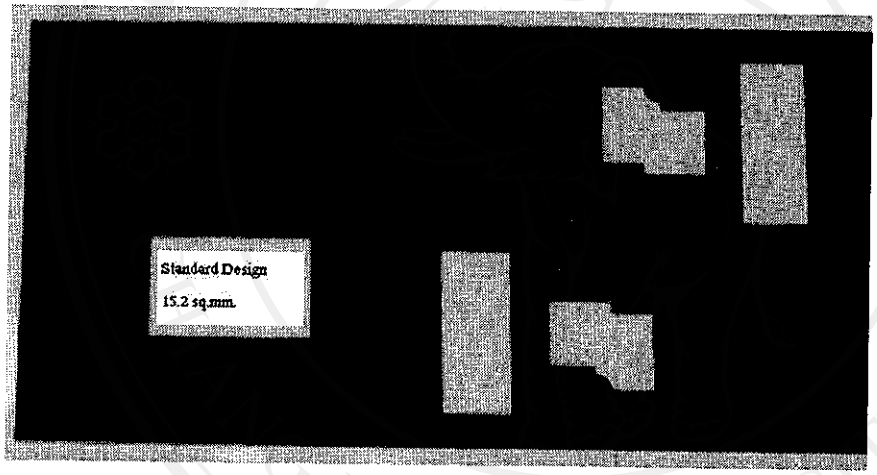
บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1. ตรวจสอบปัจจัยและดัชนีชี้วัดที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยจากการสังเกตุงานก่อนการชุบทองและหลังชุบทอง ได้ผลการสังเกตุว่า ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบทองที่คลาดเคลื่อนออกจากมาตรฐานตามการออกแบบ โดยของเสียประเภทของเสียชุบไม่ติดเกิดจากการที่ปริมาณพื้นที่ผิวเปิดมีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน และของเสียชุบเปื้อน เกิดจากการที่ปริมาณพื้นที่ผิวเปิดมีค่ามากกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 4.1 การออกแบบมาตรฐานของหน้ากาก Art work

การทดลองนี้จะใช้พื้นที่ผิวสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 29 เป็นตัวแทนพื้นที่บริเวณอื่นทั้งหมด เนื่องจากเป็นบริเวณที่ง่ายต่อการวัดพื้นที่เปิดและสามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่เปิดได้อย่างง่ายดาย ซึ่งระดับมาตรฐานของพื้นที่บริเวณนี้อยู่ที่ 15.2 ตารางมิลลิเมตร โดยจะทำการปรับเปลี่ยนพื้นที่ผิวเปิดที่แผ่นแม่แบบ (Artwork) โดยทำทั้งหมด 9 ระดับคือ 1 ระดับมาตรฐาน อีก 4 ระดับจะเปิดมากกว่ามาตรฐานการออกแบบ และอีก 4 ระดับจะเปิดน้อยกว่ามาตราฐานซึ่งพื้นที่ผิวการออกแบบมาตรฐาน โดยการขยายและลดพื้นที่เปิดนั้นจะปรับเปลี่ยน 0.2 ตารางมิลลิเมตรในแต่ละระดับ จึงได้ระดับพื้นที่ทั้งหมดคือ 14.4 14.6 14.8 15.0 15.2 15.4 15.6 15.8 และ 16.0 ตารางมิลลิเมตร โดยระดับทั้งหมดได้ทำการทดลองซ้ำระดับละ 5 ชุดเพื่อยืนยันผล จึงได้ผลการทดลองดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของของเสียชุบเปื้อนและชุบไม่ติดกับพื้นที่ผิวเปิด

พื้นที่ผิวเปิด (ตร.มม.)	ร้อยละของเสียชุบเปื้อน	ร้อยละของเสียชุบไม่ติด
14.4	0.0%	15.6%
14.4	0.0%	14.4%
14.4	0.0%	15.6%
14.4	0.0%	16.7%
14.4	0.0%	14.4%
14.6	0.0%	4.4%
14.6	0.0%	7.8%
14.6	0.0%	8.9%
14.6	0.0%	7.8%
14.6	0.0%	12.2%
14.8	0.0%	2.2%
14.8	1.1%	3.3%
14.8	1.1%	5.6%
14.8	0.0%	2.2%
14.8	0.0%	2.2%
15.0	0.0%	0.0%
15.0	1.1%	1.1%
15.0	1.1%	1.1%
15.0	1.1%	0.0%
15.0	0.0%	0.0%
15.2	0.0%	0.0%
15.2	0.0%	0.0%
15.2	0.0%	1.1%

พื้นที่ผิวเปิด (ตร.มม.)	ร้อยละของเสียชุบเปื้อน	ร้อยละของเสียชุบไม่ติด
15.2	1.1%	1.1%
15.2	1.1%	0.0%
15.4	1.1%	0.0%
15.4	0.0%	0.0%
15.4	0.0%	1.1%
15.4	0.0%	0.0%
15.4	1.1%	0.0%
15.6	3.3%	0.0%
15.6	2.2%	0.0%
15.6	3.3%	0.0%
15.6	2.2%	0.0%
15.6	2.2%	0.0%
15.8	4.4%	0.0%
15.8	4.4%	0.0%
15.8	7.8%	0.0%
15.8	8.9%	0.0%
15.8	4.4%	0.0%
16.0	16.7%	0.0%
16.0	21.1%	0.0%
16.0	15.6%	0.0%
16.0	16.7%	0.0%
16.0	18.9%	0.0%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บมาได้ด้วย Correlation Test โดยใช้เกณฑ์นัยสำคัญ 95% พบว่าพื้นที่ผิวเปิดมีความเกี่ยวเนื่องกับของเสียที่เกิดขึ้นทั้งของเสียชุบไม่ติด และของเสียชุบเปื้อนอย่างมีนัยสำคัญ (จากค่า P-Value) โดยค่า Pearson correlation เป็นบวกในของเสียชุบเปื้อน แสดงว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามคือของเสียจะมากขึ้นเมื่อมีพื้นที่ผิวเปิดมากขึ้น ส่วนของเสียชุบไม่ติด มีค่าเป็นลบแสดงว่ามีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันคือของเสียจะมากขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวลดลง

ดังแสดงใน MiniTAB ดังนี้

Correlations: Area, %Splash

```
Pearson correlation of Area and %Splash = 0.721
P-Value = 0.000
```

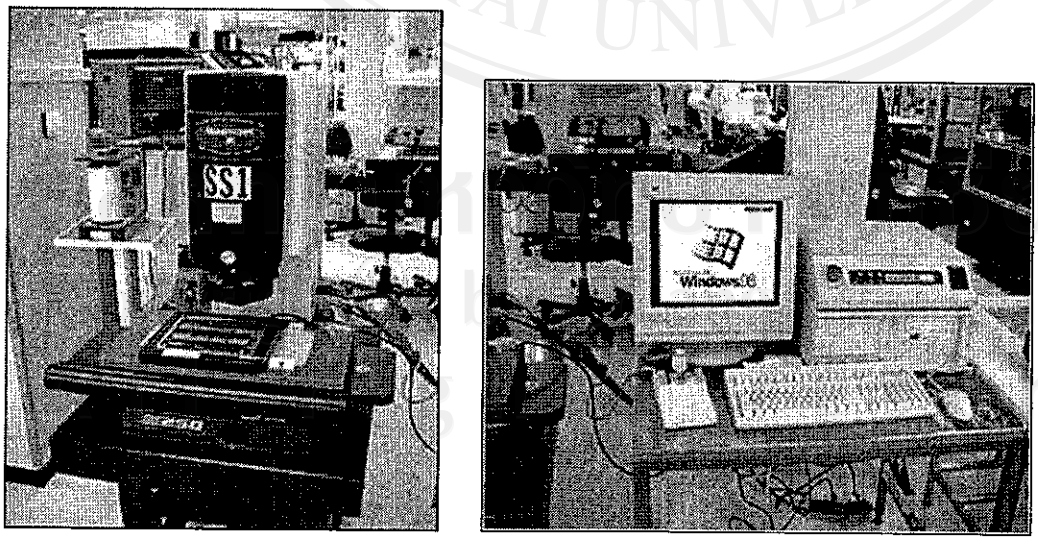
Correlations: Area, %Void

```
Pearson correlation of Area and %Void = -0.776
P-Value = 0.000
```

โดยสรุปแล้วตัวแปรแปรผัน ที่สามารถใช้เพื่อทดแทนร้อยละของของเสียทั้ง 2 ชนิดนี้คือ ปริมาณพื้นที่ผิวเปิดของฟิลม์ป้องกันการชุบ โดยแปรผันตามร้อยละของเสียชุบเปื้อนและแปรผกผันกับร้อยละของเสียชุบไม่ติด

4.1.2. **ทำ Gage R&R ของวิธีการวัด ดัชนีชี้วัด**

ในที่นี้ได้ทดลองใช้เครื่องมือวัด Dimension Smart Scope Zip 250 เนื่องจากสามารถวัดได้อย่างรวดเร็วโดยตั้งโปรแกรมการวัดอัตโนมัติได้และมีความละเอียด (Resolution) ในการวัดถึงระดับนัยสำคัญ 4 ตำแหน่งในหน่วยวัด มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 เครื่องมือวัด Dimension Smart Scope Zip 250

ในการทำการวิเคราะห์โดย Gage R & R นี้ ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างชิ้นงานจากสายการผลิต โดยเก็บตัวอย่างหลังจากกระบวนการล้างฟิล์มบริเวณเปิด 30 ชิ้น แล้วจึงนำมาให้พนักงาน (Operator) 2 คน วัดพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบของงานคนละ 2 ครั้งทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 120 ข้อมูล

ได้ผลการวิเคราะห์โดย MiniTAB ดังนี้

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	29	16.6321	0.573522	12911.3	0.000
Operator	1	0.0112	0.011250	253.3	0.000
Part * Operator	29	0.0013	0.000044	3.0	0.000
Repeatability	60	0.0009	0.000015		
Total	119	16.6456			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000216	0.15
Repeatability	0.000015	0.01
Reproducibility	0.000201	0.14
Operator	0.000187	0.13
Operator*Part	0.000015	0.01
Part-To-Part	0.143369	99.85
Total Variation	0.143586	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.014713	0.08828	3.88
Repeatability	0.003877	0.02326	1.02
Reproducibility	0.014193	0.08516	3.75
Operator	0.013666	0.08200	3.61
Operator*Part	0.003833	0.02300	1.01
Part-To-Part	0.378642	2.27185	99.92
Total Variation	0.378927	2.27356	100.00

Number of Distinct Categories = 36

ซึ่งสามารถแปรผลของการวิเคราะห์ Gage R&R ได้ว่า ค่าความแปรปรวนกว่า 99.92 % เกิดขึ้นจากส่วนของชิ้นงานแต่ละชิ้นเอง (Part to Part) ซึ่งนั่นหมายความว่าเครื่องมือวัดที่ใช้วัดนั้นมีความแปรปรวนน้อยกว่าชิ้นงานมากทำให้สามารถมั่นใจได้ว่าเครื่องมือวัดสามารถเชื่อถือได้ อีกทั้ง Number of Distinct Categories ยังมีค่าถึง 36 แสดงว่า วิธีและเครื่องมือวัดที่เลือกมานี้มีความสามารถในการแยกแยะดีมากๆ แต่พบปัญหาคือ ค่า P-Value ของ Operator และ Part * Operator มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งสามารถแปรผลได้ว่าความแตกต่างของพนักงานมีผลต่อค่าที่วัดออกมาได้ จึงได้จัดทำการทดลองใหม่อีกครั้งหนึ่ง โดยคาดว่าสิ่งที่ผิดพลาดจากการทดลองครั้งก่อนคือตัวอย่างที่นำมาวัดมีช่วงข้อมูลแคบเกินไป ในการทดลองซ้ำครั้งนี้จึงมีการเลือกตัวอย่างที่นำมาวัดให้มีช่วงพื้นที่เปิดที่กระจายตัวมากขึ้น โดยได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง G R&R

Sample	1st Operator	1st Operator	2nd Operator	2nd Operator
1	13.5149	13.5167	13.5128	13.5115
2	11.7783	11.7775	11.7796	11.7804
3	19.8444	19.8408	19.8386	19.8404
4	11.8553	11.8564	11.8573	11.8610
5	17.9359	17.9313	17.9359	17.9361
6	15.3442	15.3436	15.3454	15.3406
7	12.6348	12.6384	12.6333	12.6339
8	17.9557	17.9512	17.9561	17.9556
9	13.5427	13.5418	13.5393	13.5430
10	17.1352	17.1360	17.1354	17.1391
11	18.9745	18.9792	18.9746	18.9766
12	17.1455	17.1453	17.1427	17.1481
13	14.3251	14.3270	14.3305	14.3288
14	15.2441	15.2464	15.2411	15.2454
15	16.1260	16.1251	16.1238	16.1230
16	19.8433	19.8443	19.8485	19.8449
17	16.1095	16.1106	16.1113	16.1071
18	12.5978	12.5974	12.5924	12.5956
19	16.1429	16.1461	16.1451	16.1434
20	17.0992	17.0987	17.1004	17.0953
21	13.5515	13.5552	13.5522	13.5523
22	17.9372	17.9364	17.9334	17.9365
23	12.6063	12.6081	12.6111	12.6075
24	18.9500	18.9514	18.9493	18.9476
25	15.3274	15.3234	15.3274	15.3264
26	19.0421	19.0472	19.0456	19.0460
27	14.3277	14.3233	14.3229	14.3240
28	14.3150	14.3142	14.3175	14.3193
29	19.9129	19.9118	19.9123	19.9141
30	11.8471	11.8455	11.8512	11.8490

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งจากผลการทดลองใหม่ได้ผลการวิเคราะห์โดย MiniTAB ดังนี้

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	29	799.755	27.5778	4965012	0.000
Operator	1	0.000	0.0000	0	0.900
Part * Operator	29	0.000	0.0000	2	0.086
Repeatability	60	0.000	0.0000		
Total	119	799.756			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.00000	0.00
Repeatability	0.00000	0.00
Reproducibility	0.00000	0.00
Operator	0.00000	0.00
Operator*Part	0.00000	0.00
Part-To-Part	6.89444	100.00
Total Variation	6.89444	100.00

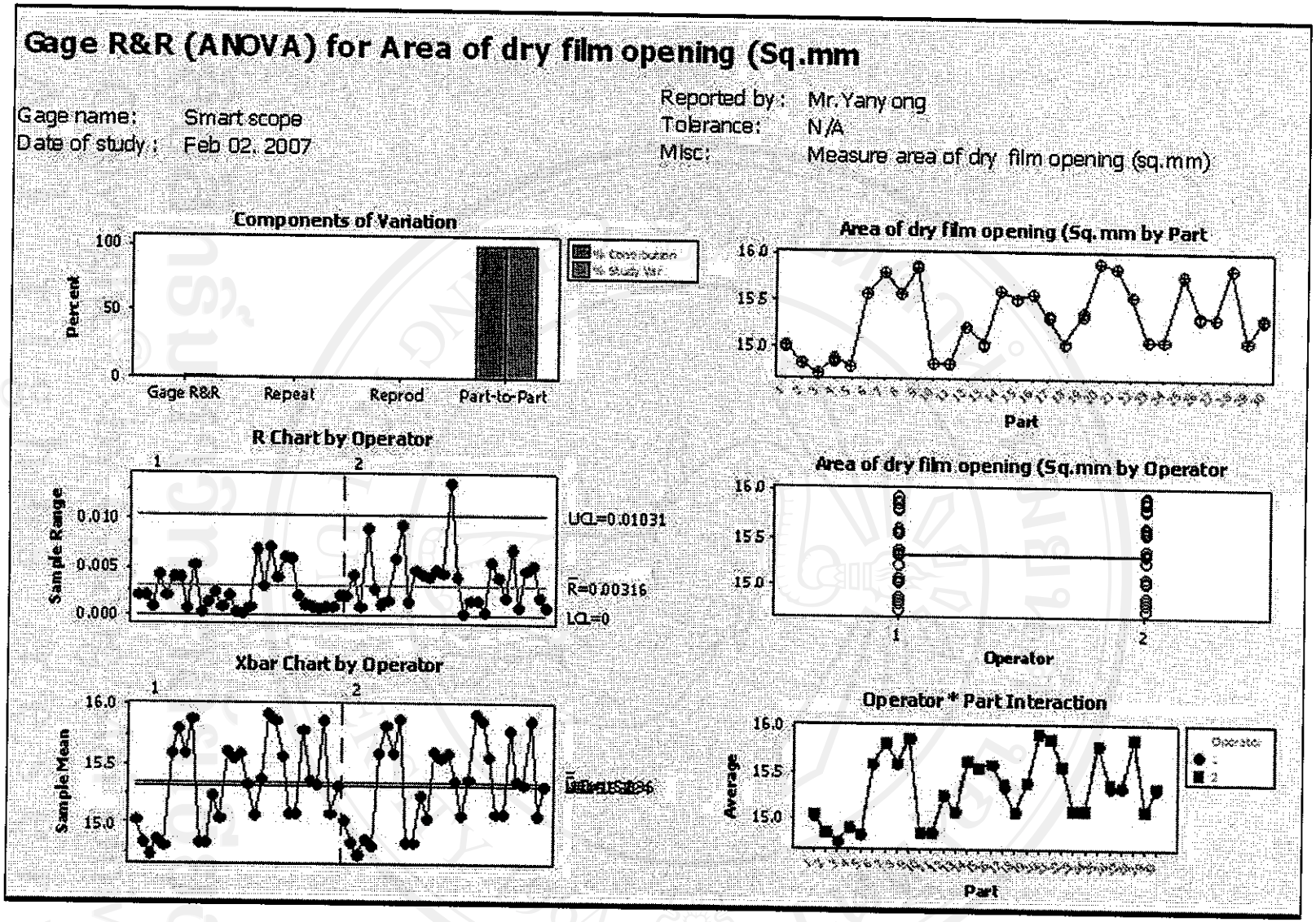
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.00215	0.0129	0.08
Repeatability	0.00191	0.0115	0.07
Reproducibility	0.00097	0.0058	0.04
Operator	0.00000	0.0000	0.00
Operator*Part	0.00097	0.0058	0.04
Part-To-Part	2.62573	15.7544	100.00
Total Variation	2.62573	15.7544	100.00

Number of Distinct Categories = 1725

ซึ่งจากการทดลองซ้ำนี้ สามารถแปรผลของการวิเคราะห์ Gage R&R ได้ว่า ค่าความแปรปรวนกว่า 100.00 % เกิดขึ้นจากส่วนของชิ้นงานแต่ละชิ้นเอง (Part to Part) ซึ่งนั่นหมายความความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นเกิดจากความแปรปรวนระหว่างชิ้นงานเอง และค่า Number of Distinct Categories ยังมีค่า 1725 ซึ่งหมายความว่าเครื่องมือและวิธีการวัดนี้มีความสามารถในการแยกแยะดีมากๆ และ ค่า P-Value ของ Operator และ Part * Operator ที่เคยมีปัญหาในการทดลองครั้งแรก ในครั้งนี้มีค่า 0.900 และ 0.086 ตามลำดับซึ่งหมายความว่าความแตกต่างของพนักงานวัดไม่มีผลต่อค่าที่วัดได้

จากกราฟผล Gage R&R ใน รูปที่ 31 พบว่าการวัดของ พนักงานทั้ง 2 มีความสอดคล้องกันในกราฟพื้นที่เปิดกับชิ้นงาน ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันระหว่างพนักงาน 2 คนในกราฟพื้นที่เปิดกับพนักงาน และข้อมูลกระจายตัวดีหลายระดับในกราฟ Xbar จึงสามารถสรุปได้ว่า เครื่องมือวัด วิธีวัดมีความเที่ยงตรงและสามารถเชื่อมั่นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



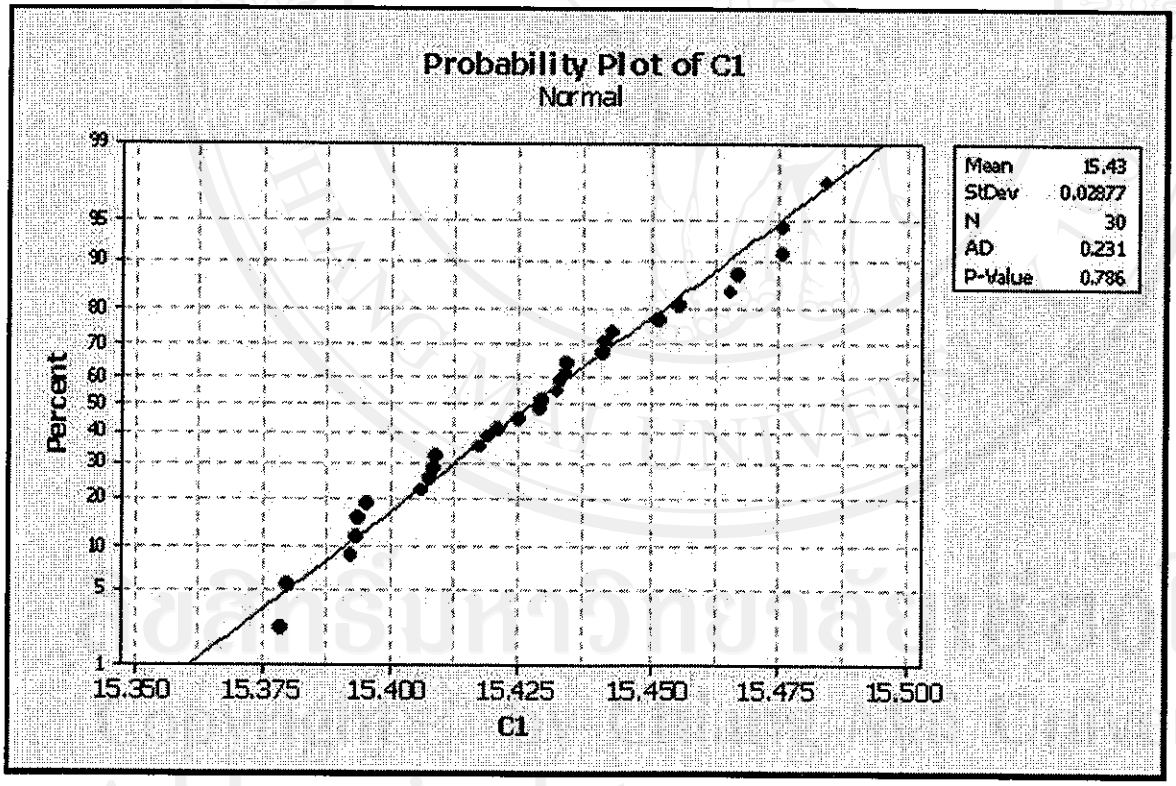
รูปที่ 4.3 กราฟผลการวิเคราะห์การทำ Gage R&R

4.1.3. **การหาจำนวนการจำลองการทดลองที่เหมาะสม**

ก่อนทำการออกแบบการทดลองต้องทำการหาจำนวนการจำลองการทดลองที่เหมาะสมเสียก่อนเนื่องจากจำนวนการจำลองการทดลองเป็นค่าหนึ่งที่ส่งผลถึงจำนวนในการทดลองทั้งหมดและส่งผลถึงความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์

โดยก่อนที่จะสามารถหาค่าจำนวนการจำลองการทดลองได้นั้น ต้องมีข้อมูลค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในปัจจุบันเสียก่อน เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการคำนวน อีกทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังต้องใช้ในการคำนวนต่อๆไป เช่น การหาจำนวนการสุ่มเก็บข้อมูลในการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างด้วยประชากรเดี่ยว

โดยการคำนวนหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในปัจจุบัน ทำได้โดยการสุ่มเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ในสถานะปัจจุบัน 30 ข้อมูลก่อน ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าที่เก็บได้ด้วย Probability plot พบว่าข้อมูลที่เก็บได้ มีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) ที่ระดับนัยสำคัญ 95 % ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.03 ตารางมิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวเปิดในปัจจุบันอยู่ที่ 15.43 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างกับค่าจากการออกแบบซึ่งมีค่าอยู่ที่ 15.20 ตารางมิลลิเมตร ถึง 0.23 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 32



รูปที่ 4.4 Probability plot พื้นที่ผิวเปิดในปัจจุบัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
All rights reserved

จากการคำนวนจำนวนการจำลองการทดลองที่เหมาะสมโดย Power and Sample Size ซึ่งใช้ค่า จำนวนปัจจัย (Number of factor) ทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยอ้างอิงจากปัจจัยที่ระบุในคู่มือทางเทคนิค ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 ตร.มม.จากการนำข้อมูลย้อนหลังมาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบ ความสามารถการตรวจจับ (Power value) ใช้ค่าความเชื่อมั่นที่ 95% และจำนวนจุดกลาง (Number of center point) เท่ากับ 0 จุดในการคัดกรองปัจจัย เนื่องจากไม่มีการใช้จุดกลางช่วยในการตรวจจับผลกระทบ พบว่าจำนวนการจำลองการทดลองที่จะต้องมีการทำการทดลองซ้ำ มีค่าเท่ากับ 2 ชุดการทดลอง

4.1.4. **ออกแบบการทดลองแบบ 2-Level Factorial เพื่อคัดกรองปัจจัย**

ในการออกแบบการทดลอง ใช้ ปัจจัย (Factor) ทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยใช้ค่า สูง-ต่ำ ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าสูงต่ำของปัจจัยในการออกแบบการทดลอง 2 levels factorial

ปัจจัย (Factor)	ต่ำ	สูง	หน่วย (Unit)
อุณหภูมิสารเคมี(Chemical temperature)	27.00	32.00	องศาเซลเซียส
ความดันหัวฉีดเคมี(Chemical spray pressure)	20.00	35.00	psig
ความเข้มข้นเคมี(Chemical concentration)	0.70	1.00	wt%
ระยะเวลาในการล้าง(Dwell time)	36.00	46.00	วินาที
อุณหภูมิน้ำล้าง (Rinse water temperature)	21.00	25.00	องศาเซลเซียส
ความดันหัวฉีดน้ำล้าง (Rinse water spray pressure)	20.00	35.00	psig

จากทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบ 2-Level Factorial จำนวนครั้งในการทำการทดลองเท่ากับ 2^n ซึ่งในที่นี้จะได้ค่าทั้งหมดเท่ากับ $2^6 = 64$ ครั้งการทดลอง และจากการคำนวนจำนวนการจำลอง (Replicate) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ทำให้จำนวนการทดลองทั้งหมด เท่ากับ 128 ครั้งการทดลอง

4.1.5. **ทดลองและเก็บข้อมูลตามแผนการทดลอง**

ทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง 2 levels factorial โดยการสุ่มการทดลองโดยฟังก์ชัน Randomize ใน MiniTAB โดยงานทั้ง 128 ชิ้นงานที่นำมาทดลองนำมาจากวัสดุ (Material) ชุดเดียวกันทั้งหมดได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 5.1 5.2 และ 5.3 ซึ่งสัญลักษณ์ ที่ใช้แทนตัวแปรต่างๆในตาราง เป็นดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

A คือ ระยะเวลาในการล้าง, B คือ ความดันหัวฉีดเคมี, C คือ ความเข้มข้นเคมี, D คือ อุณหภูมิสารเคมี, E คือ ความดันหัวฉีดน้ำล้าง, F คือ อุณหภูมิน้ำล้าง

ตารางที่ 4.4.1 ผลการคัดกรองปัจจัยโดย 2 levels factorial design (1)

A	B	C	D	E	F	Area
36	20	0.7	27	20	21	**14.38**
36	35	0.7	27	20	21	**15.04**
36	20	1.0	27	20	21	**14.95**
36	35	1.0	27	20	21	**15.76**
36	20	0.7	32	20	21	**14.16**
36	35	0.7	32	20	21	**14.99**
36	20	1.0	32	20	21	**15.11**
36	35	1.0	32	20	21	**15.65**
36	20	0.7	27	35	21	**14.31**
36	35	0.7	27	35	21	**14.96**
36	20	1.0	27	35	21	**14.96**
36	35	1.0	27	35	21	**15.69**
36	20	0.7	32	35	21	**14.37**
36	35	0.7	32	35	21	**15.03**
36	20	1.0	32	35	21	**15.08**
36	35	1.0	32	35	21	**15.69**
36	20	0.7	27	20	25	**14.39**
36	35	0.7	27	20	25	**14.98**
36	20	1.0	27	20	25	**15.07**
36	35	1.0	27	20	25	**15.77**

A	B	C	D	E	F	Area
46	20	0.7	27	20	21	**14.93**
46	35	0.7	27	20	21	**15.51**
46	20	1.0	27	20	21	**15.72**
46	35	1.0	27	20	21	**16.49**
46	20	0.7	32	20	21	**14.99**
46	35	0.7	32	20	21	**15.75**
46	20	1.0	32	20	21	**15.78**
46	35	1.0	32	20	21	**16.31**
46	20	0.7	27	35	21	**14.98**
46	35	0.7	27	35	21	**15.62**
46	20	1.0	27	35	21	**15.70**
46	35	1.0	27	35	21	**16.38**
46	20	0.7	32	35	21	**15.06**
46	35	0.7	32	35	21	**15.65**
46	20	1.0	32	35	21	**15.79**
46	35	1.0	32	35	21	**16.28**
46	20	0.7	27	20	25	**14.92**
46	35	0.7	27	20	25	**15.60**
46	20	1.0	27	20	25	**15.73**
46	35	1.0	27	20	25	**16.45**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4.2 ผลการคัดกรองปัจจัยโดย 2 levels factorial design (2)

A	B	C	D	E	F	Area
36	20	0.7	32	20	25	**14.20**
36	35	0.7	32	20	25	**14.98**
36	20	1.0	32	20	25	**14.99**
36	35	0.7	32	35	25	**14.97**
36	20	1.0	32	35	25	**15.12**
36	35	1.0	32	35	25	**15.75**
36	20	0.7	27	20	21	**14.43**
36	35	0.7	27	20	21	**14.97**
36	20	1.0	27	20	21	**15.01**
36	35	1.0	27	20	21	**15.61**
36	20	0.7	32	20	21	**14.22**
36	35	0.7	32	20	21	**15.05**
36	20	1.0	32	20	21	**15.01**
36	35	1.0	32	20	21	**15.57**
36	20	0.7	27	35	21	**14.39**
36	35	0.7	27	35	21	**14.94**
36	20	1.0	27	35	21	**14.97**
36	35	1.0	27	35	21	**15.65**
36	20	0.7	32	35	21	**14.27**
36	35	0.7	32	35	21	**14.94**
36	20	1.0	32	35	21	**15.01**

A	B	C	D	E	F	Area
46	20	0.7	32	20	25	**14.93**
46	35	0.7	32	20	25	**15.64**
46	20	1.0	32	20	25	**15.65**
46	35	0.7	32	35	25	**15.62**
46	20	1.0	32	35	25	**15.72**
46	35	1.0	32	35	25	**16.38**
46	20	0.7	27	20	21	**14.92**
46	35	0.7	27	20	21	**15.62**
46	20	1.0	27	20	21	**15.57**
46	35	1.0	27	20	21	**16.39**
46	20	0.7	32	20	21	**14.91**
46	35	0.7	32	20	21	**15.69**
46	20	1.0	32	20	21	**15.77**
46	35	1.0	32	20	21	**16.42**
46	20	0.7	27	35	21	**14.93**
46	35	0.7	27	35	21	**15.65**
46	20	1.0	27	35	21	**15.82**
46	35	1.0	27	35	21	**16.49**
46	20	0.7	32	35	21	**14.98**
46	35	0.7	32	35	21	**15.56**
46	20	1.0	32	35	21	**15.61**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

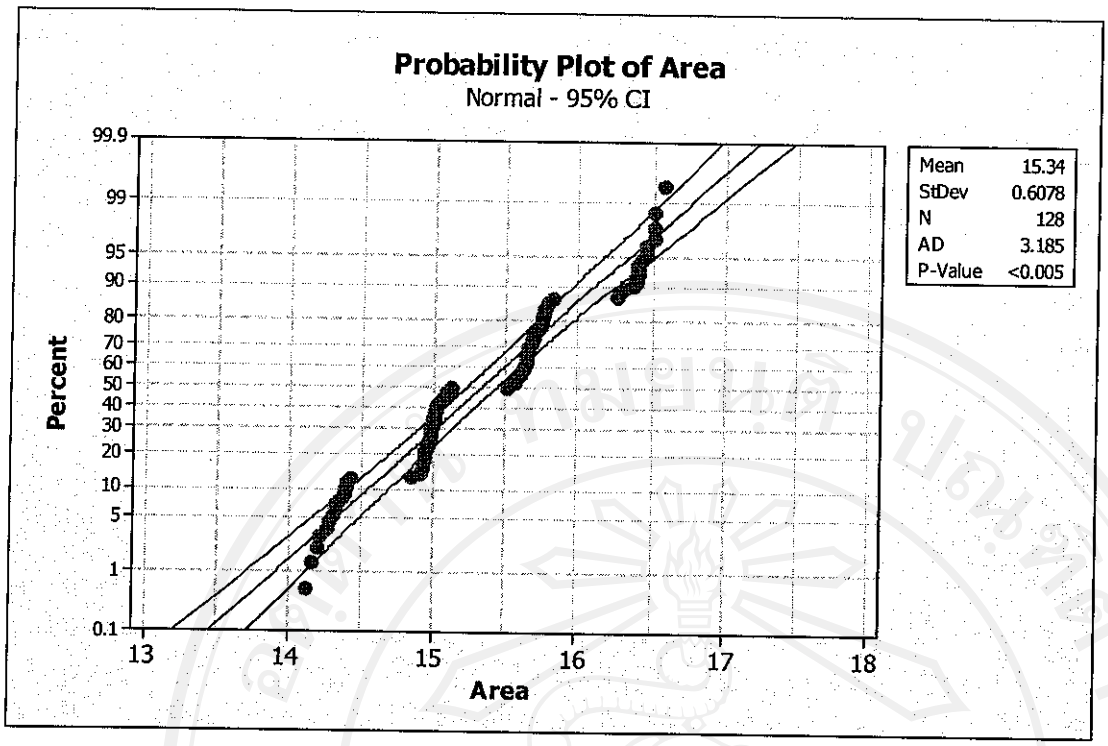
ตารางที่ 4.4.3 ผลการคัดกรองปัจจัยโดย 2 levels factorial design (3)

A	B	C	D	E	F	Area
36	35	1.0	32	35	21	**15.64**
36	20	0.7	27	20	25	**14.12**
36	35	0.7	27	20	25	**15.09**
36	35	0.7	27	35	25	**15.01**
36	20	1.0	27	35	25	**15.00**
36	35	1.0	27	35	25	**15.70**
36	20	0.7	32	35	25	**14.32**
36	35	0.7	32	35	25	**15.13**
36	20	1.0	32	35	25	**14.99**
36	35	1.0	32	35	25	**15.70**

A	B	C	D	E	F	Area
46	35	1.0	32	35	21	**16.44**
46	20	0.7	27	20	25	**15.00**
46	35	0.7	27	20	25	**15.80**
46	35	0.7	27	35	25	**15.71**
46	20	1.0	27	35	25	**15.54**
46	35	1.0	27	35	25	**16.39**
46	20	0.7	32	35	25	**14.85**
46	35	0.7	32	35	25	**15.65**
46	20	1.0	32	35	25	**15.67**
46	35	1.0	32	35	25	**16.39**

หลังจากจบการทดลองและเก็บข้อมูล พบว่าข้อมูลมีกระจายตัวมากกว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วงอย่างเห็นได้ชัดเจน ทำให้สามารถตีความคร่าวๆได้ว่าการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยการผลิตงานครั้งนี้มีผลกระทบกับปริมาณพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบทองแน่นอน แต่คงมีผลกระทบไม่ครบทุกปัจจัย เนื่องจากถ้ามีผลกระทบครบทั้ง 6 ปัจจัย จำนวนช่วงในการกระจายของข้อมูลควรมีมากกว่านี้ จึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์ผลการคัดกรองปัจจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.5 กราฟ Probability plot ของผลการคัดกรองปัจจัย

4.1.6. การวิเคราะห์ผลการคัดกรองปัจจัย

จากการวิเคราะผลการคัดกรองปัจจัยด้วย Analysis factorial design พบว่า จาก ค่า R-sq สามารถเชื่อถือได้ว่าสามารถพยากรณ์ความสัมพันธ์นี้ได้ถึง 99.39% และความสัมพันธ์แบบทางหลัก มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ (จาก P-Value 0.00) และความสัมพันธ์แบบ 2 ปฏิกิริยาที่มีความสัมพันธ์ถึง 96.80 % ดังผลการวิเคราะห์โดย Minitab ต่อไปนี้

Factorial Fit: Area versus Dwell time, Chem Press, ...

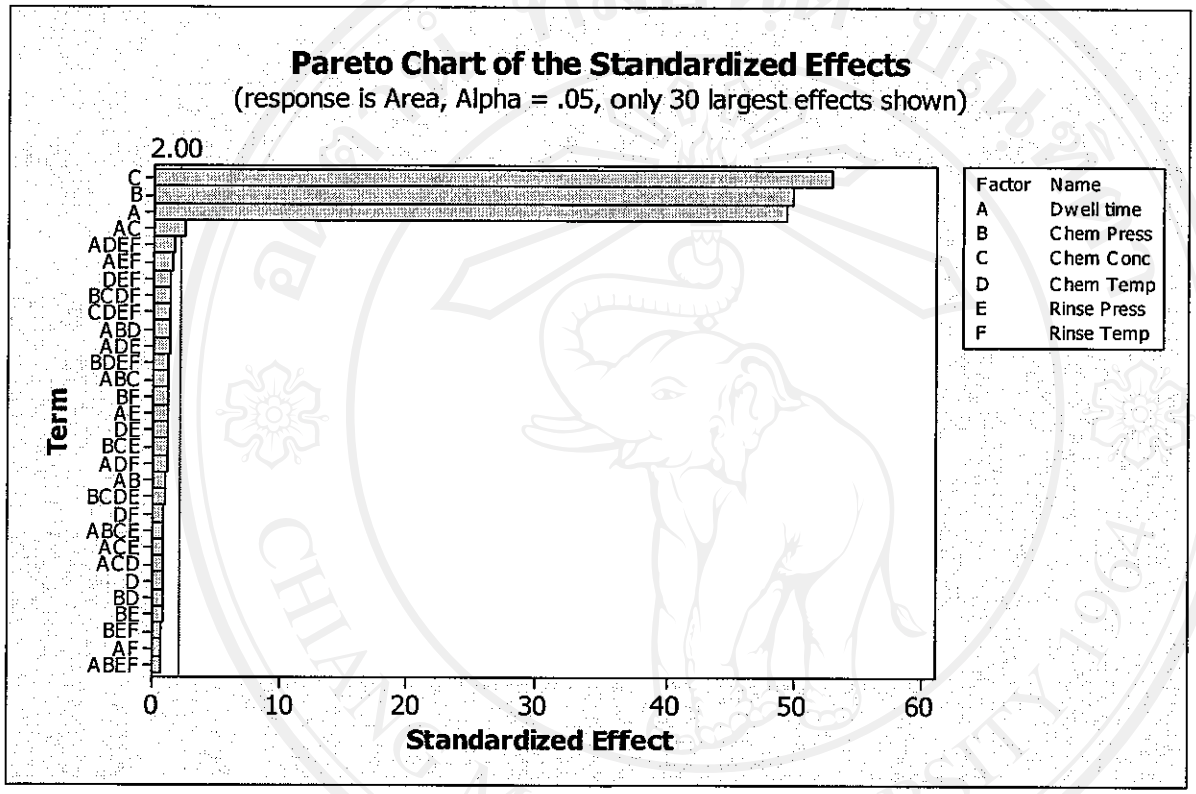
```
S = 0.0644713   R-Sq = 99.39%   R-Sq(adj) = 98.79%

Analysis of Variance for Area (coded units)

Source               DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
Main Effects          6  43.1301  43.1301  7.18835  1729.40  0.000
2-Way Interactions   15   0.1227   0.1227  0.00818     1.97  0.032
3-Way Interactions   20   0.0949   0.0949  0.00474     1.14  0.333
4-Way Interactions   15   0.0246   0.0246  0.00164     0.40  0.976
5-Way Interactions    6   0.0155   0.0155  0.00258     0.62  0.713
6-Way Interactions    1   0.0173   0.0173  0.01731     4.17  0.045
Residual Error       64   0.2660   0.2660  0.00416
  Pure Error         64   0.2660   0.2660  0.00416
Total               127  43.6712
```

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยจากรูปที่ 34 พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบตรง ต่อปริมาณพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบทอง มีทั้งหมด 3 ปัจจัยตามระดับนัยสำคัญ 95 % คือ ความเข้มข้นเคมี ความดันหัวฉีดเคมี และระยะเวลาในการล้าง ตามลำดับ ส่วนผลกระทบปฏิกิริยาซึ่งมีผลกระทบน้อยมากเมื่อเทียบกับผลกระทบตรง คือ ผลเกี่ยวเนื่องระหว่าง ระยะเวลาในการล้าง และ ความเข้มข้นเคมี จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อในการออกแบบการทดลองแบบ general full Factorial คือความเข้มข้นเคมี ความดันหัวฉีดเคมี และระยะเวลาในการล้าง



รูปที่ 4.6 กราฟปัจจัยที่มีผลกระทบของผลการคัดกรองปัจจัย

4.1.7. ออกแบบการทดลองแบบ General full factorial เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบ

สืบเนื่องมาจากผลการคัดกรองปัจจัยด้วยการทดลองและวิเคราะห์แบบ 2-level factorial ทำให้ปัจจัยที่มีผลกระทบ ซึ่งเหลือมาวิเคราะห์ในการออกแบบการทดลองแบบ General full Factorial เหลืออยู่แค่ 3 ปัจจัย คือ ความดันหัวฉีดเคมี ความเข้มข้นเคมีและระยะเวลาในการล้าง ซึ่งในการนี้จะใช้ระดับปัจจัยเท่ากับ 3 ระดับ คือระดับต่ำ กลาง และสูง โดยปัจจัยต่างๆ จะใช้ค่าในการทำการทดลองดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ค่าสูง กลาง ต่ำของปัจจัย ในการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial

ปัจจัย	ต่ำ	ค่ากลาง	สูง	หน่วย (Unit)
ความดันหัวฉีดเคมี	20.00	27.50	35.00	Psig
ความเข้มข้นเคมี	0.70	0.85	1.00	wt%
ระยะเวลาในการล้าง	36.00	41.00	46.00	วินาที

จากทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial แบบ 3 ระดับ จำนวนครั้งในการทำการทดลองเท่ากับ 3^n ซึ่งในที่นี้จะได้ค่าทั้งหมดเท่ากับ $3^3 = 27$ ครั้งการทดลอง และจากการคำนวนจำนวนการจำลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ทำให้จำนวนการทดลองทั้งหมด เท่ากับ 54 ครั้งการทดลอง

4.1.8. **ทดลองและเก็บข้อมูลตามแผนการทดลอง**

เริ่มทำการทดลองและเก็บข้อมูลตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้การสุ่มการทดลองโดยฟังก์ชัน Randomize ใน MiniTAB โดยจำนวนการทดลองทั้งหมด 54 การทดลองซึ่งชิ้นงานที่นำมาทำทดลองนั้น ถูกนำมาจากวัสดุ และล็อตผลิตชุดเดียวกันทั้งหมด

ซึ่งจากการทดลองจริงพบว่าค่าพื้นที่เปิดมีค่าตั้งแต่ 13.18 ตารางมิลลิเมตร จนไปถึง 17.66 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่าในการทดลองทั้งหมดได้แสดงใน ตารางที่ 6 ซึ่งสัญลักษณ์ ที่ใช้แทนตัวแปรต่างๆในตาราง เป็นดังนี้

A คือ ความเข้มข้นเคมี, B คือ ระยะเวลาในการล้าง, C คือ ความเข้มข้นเคมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

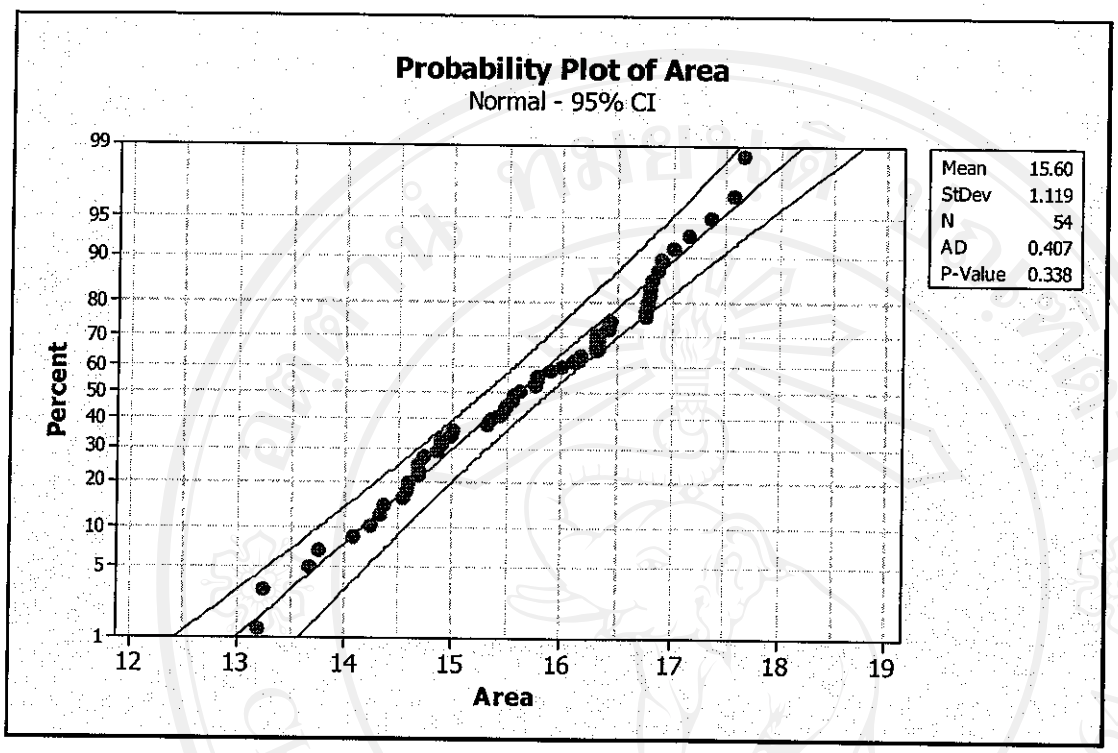
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจาก General full factorial design

A	B	C	Area
0.7	36	20.0	**13.24**
0.7	36	27.5	**14.23**
0.7	36	35.0	**15.75**
0.7	41	20.0	**13.75**
0.7	41	27.5	**14.86**
0.7	41	35.0	**16.43**
0.7	46	20.0	**14.36**
0.7	46	27.5	**15.49**
0.7	46	35.0	**16.80**
0.85	36	20.0	**14.32**
0.85	36	27.5	**15.43**
0.85	36	35.0	**16.32**
0.85	41	20.0	**14.67**
0.85	41	27.5	**15.78**
0.85	41	35.0	**16.75**
0.85	46	20.0	**14.89**
0.85	46	27.5	**16.12**
0.85	46	35.0	**16.99**
1.00	36	20.0	**14.68**
1.00	36	27.5	**15.78**
1.00	36	35.0	**16.89**
1.00	41	20.0	**14.99**
1.00	41	27.5	**16.19**
1.00	41	35.0	**17.35**
1.00	46	20.0	**15.48**
1.00	46	27.5	**16.32**
1.00	46	35.0	**17.66**

A	B	C	Area
0.7	36	20.0	**13.18**
0.7	36	27.5	**14.08**
0.7	36	35.0	**15.62**
0.7	41	20.0	**13.67**
0.7	41	27.5	**14.67**
0.7	41	35.0	**16.32**
0.7	46	20.0	**14.53**
0.7	46	27.5	**15.56**
0.7	46	35.0	**16.86**
0.85	36	20.0	**14.57**
0.85	36	27.5	**15.31**
0.85	36	35.0	**16.78**
0.85	41	20.0	**14.73**
0.85	41	27.5	**15.89**
0.85	41	35.0	**16.77**
0.85	46	20.0	**14.98**
0.85	46	27.5	**16.00**
0.85	46	35.0	**16.78**
1.00	36	20.0	**14.58**
1.00	36	27.5	**15.54**
1.00	36	35.0	**16.75**
1.00	41	20.0	**14.89**
1.00	41	27.5	**16.32**
1.00	41	35.0	**17.14**
1.00	46	20.0	**15.34**
1.00	46	27.5	**16.42**
1.00	46	35.0	**17.56**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทำจบการเก็บข้อมูลในการทดลองพบว่าข้อมูลกระจายตัวในช่วงกว้างมากกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในงานปัจจุบันจึงคาดว่าอย่างน้อยหนึ่งในปัจจัยทั้งสามนี้มีปัจจัยที่มีผลการทบต่อปริมาณพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบทอง



รูปที่ 4.7 กราฟ Probability plot ของผลการการทดลองแบบ general full factorial

4.1.9. วิเคราะห์ผลกระทบทางหลักและทางปฏิกิริยา

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า R-Sq มีค่ามากถึง 99.47% จึงสามารถเชื่อมั่นได้ว่าความสัมพันธ์นี้เป็นแบบเส้นตรงและ General Linear Model สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ โดยพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ที่นำมาวิเคราะห์มีผลกระทบตรง ต่อปริมาณพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบทองโดยมีความสัมพันธ์ถึงเกือบ 100 % และผลกระทบปฏิกิริยา ที่มีผลคือ ผลเกี่ยวเนื่องระหว่างระยะเวลาในการล้าง กับ ความเข้มข้นเคมี และ ความดันหัวฉีดเคมี กับ ความเข้มข้นเคมี ซึ่งทั้ง 2 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน โดยผลกระทบตรง จัดเป็นผลกระทบแบบแปรผันตามทั้ง ในความเข้มข้นเคมี ความดันหัวฉีดเคมีและระยะเวลาในการล้าง ส่วนผลกระทบปฏิกิริยา ของทั้ง 2 ความสัมพันธ์มีลักษณะใกล้เคียงกันคือ จะมีผลกระทบต่อปริมาณพื้นที่ผิวเปิดชุบของฟิลม์ป้องกันการชุบทองในช่วงความเข้มข้นต่ำมากกว่าช่วงความเข้มข้นสูง ดังผลการวิเคราะห์โดย MiniTAB ต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

General Linear Model: Area versus Chemical con, Dwell time, Chemical pre

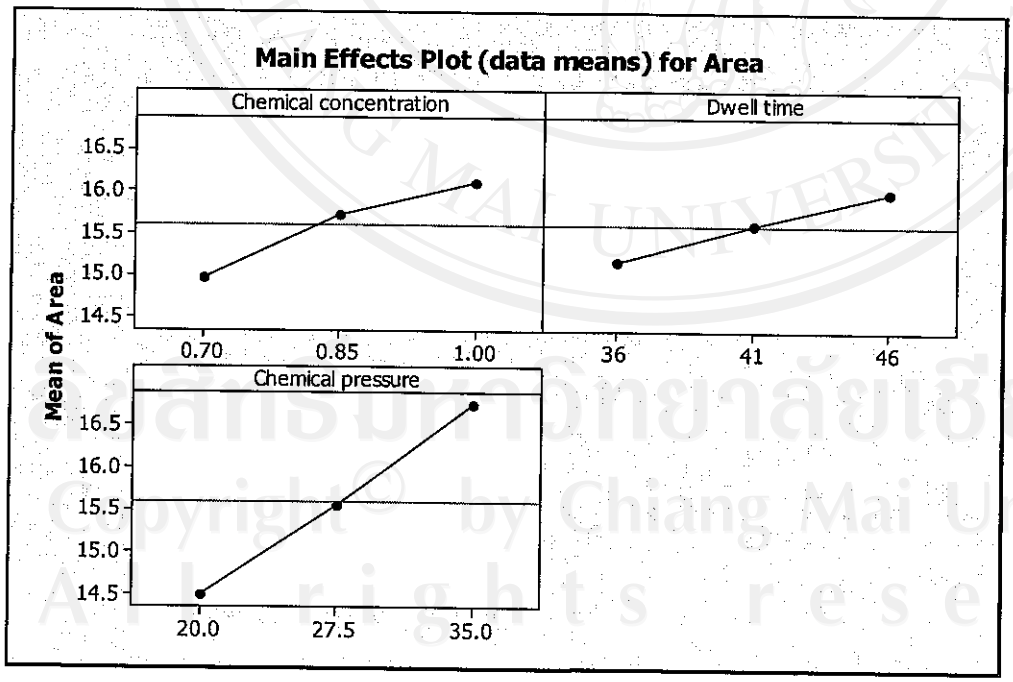
Factor	Type	Levels	Values
Chemical concentration	fixed	3	0.70, 0.85, 1.00
Dwell time	fixed	3	36, 41, 46
Chemical pressure	fixed	3	20.0, 27.5, 35.0

Analysis of Variance for Area, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Chemical concentration	2	12.0891	12.0891	6.0446	463.65
Dwell time	2	6.3375	6.3375	3.1687	243.06
Chemical pressure	2	45.9987	45.9987	22.9993	1764.15
Chemical concentration*Dwell time	4	0.8797	0.8797	0.2199	16.87
Chemical concentration* Chemical pressure	4	0.4970	0.4970	0.1242	9.53
Dwell time*Chemical pressure	4	0.0972	0.0972	0.0243	1.86
Chemical concentration*Dwell time* Chemical pressure	8	0.1164	0.1164	0.0145	1.12
Error	27	0.3520	0.3520	0.0130	
Total	53	66.3676			

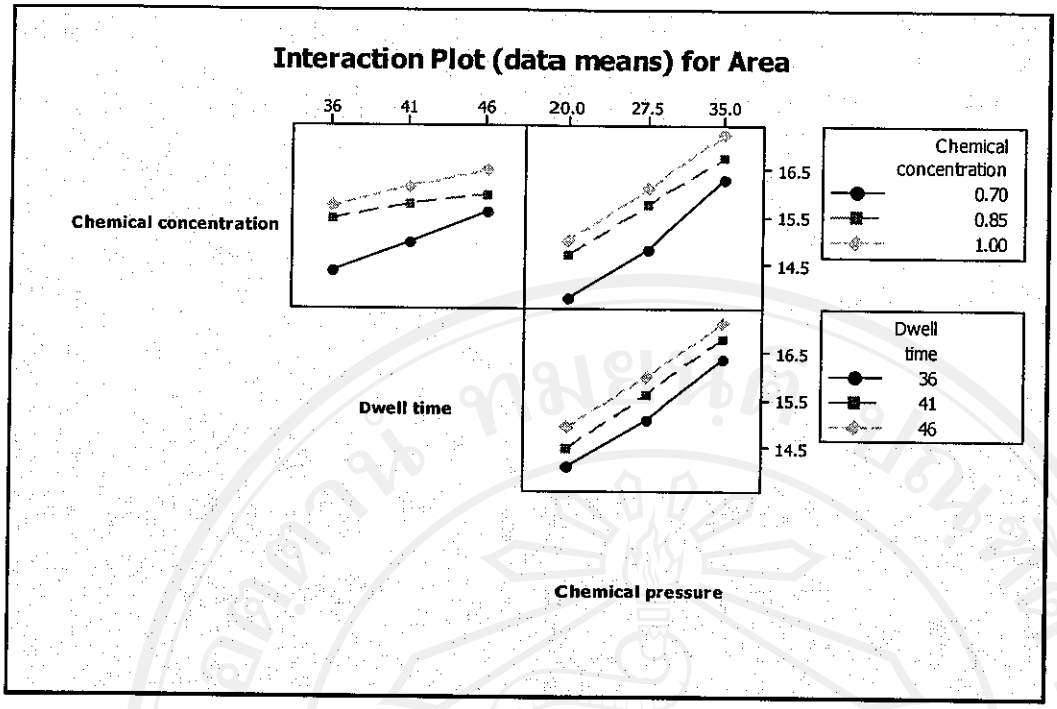
Source	P
Chemical concentration	0.000
Dwell time	0.000
Chemical pressure	0.000
Chemical concentration*Dwell time	0.000
Chemical concentration* Chemical pressure	0.000
Dwell time*Chemical pressure	0.146
Chemical concentration*Dwell time* Chemical pressure	0.384
Error	
Total	

S = 0.114180 R-Sq = 99.47% R-Sq(adj) = 98.96%



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลกระทบทางตรงการทดลองแบบ general full factorial

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลกระทบทางปฏิกิริยาในการทดลอง

4.1.10. **สร้างสมการพยากรณ์ดัชนีชี้วัดที่ได้จากการวิเคราะห์**

จากการทำ Regression model พบว่าได้ค่า P-value ใน regression 0.00 แสดงว่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์นี้เป็นแบบ regression จริงที่ระดับนัยสำคัญ 95% โดยจะเพิกเฉยค่า P-value ที่ไม่มีนัยสำคัญคือความสัมพันธ์แบบปฏิกิริยาของ ความเข้มข้นเคมีกับความดันสารเคมีเนื่องจากถือว่าตัวแปรนี้มีนัยสำคัญโดยอ้างจากผลในการวิเคราะห์แบบ General full factorial ซึ่งสามารถสร้างสมการพยากรณ์ที่สามารถสะท้อนถึงความสัมพันธ์นี้ได้ถึง 97.0% ตามค่าของ R-Sqได้ ดังนี้

พื้นที่ผิวเปิด = - 2.33 + 12.2 ความเข้มข้น + 0.223 เวลาการล้าง + 0.203 ความดันหัวฉีด - 0.0615 ความเข้มข้น * ความดันหัวฉีด - 0.163 เวลาการล้าง * ความเข้มข้น

ซึ่งผลการทดลองโดย MiniTAB มีดังนี้

Regression Analysis: Area versus Chemical concentration, Dwell time, ...

```
The regression equation is
Area = - 2.33 + 12.2 Chemical concentration + 0.223 Dwell time
       + 0.203 Chemical pressure - 0.0615 Con * Press - 0.163 Dwell * Con
```

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-2.333	2.136	-1.09	0.280
Chemical concentration	12.180	2.487	4.90	0.000
Dwell time	0.22267	0.04736	4.70	0.000
Chemical pressure	0.20289	0.03157	6.43	0.000
Con * Press	-0.06148	0.03677	-1.67	0.101
Dwell * Con	-0.16333	0.05515	-2.96	0.005

S = 0.202625 R-Sq = **97.0%** R-Sq(adj) = 96.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	64.397	12.879	313.70	**0.000**
Residual Error	48	1.971	0.041		
Total	53	66.368			

Source	DF	Seq SS
Chemical concentration	1	11.651
Dwell time	1	6.325
Chemical pressure	1	45.946
Con * Press	1	0.115
Dwell * Con	1	0.360

4.1.11. พยากรณ์ปัจจัยที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการผลิต

จากการใช้งานจริงในกระบวนการผลิตพบว่าค่าระยะเวลาในการล้าง และความดันหัวฉีดเคมี เป็นค่าที่สามารถปรับตั้งได้โดยเครื่องจักรและสามารถป้องกันการปรับเปลี่ยนได้ จึงทำการตั้งค่าระยะเวลาในการล้าง ไว้ที่ค่าต่ำคือ 36 วินาทีเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ความเข้มข้นเคมี อยู่ที่ค่ากลางที่ 0.85wt% เพื่อง่ายแก่การควบคุมกระบวนการผลิต และพื้นที่ผิวเปิดที่ต้องการคือค่าตามการออกแบบมาตรฐานซึ่งมีค่าอยู่ที่ 15.2 ตารางมิลลิเมตร โดยจากผลการคำนวนพบว่าต้องทำการตั้งค่าตัวแปรที่เหลือคือ ความดันสารเคมีที่ 28 psig

จึงสามารถสรุปค่าปัจจัยทั้งหมดที่ปรับตั้งดังนี้

ค่าระยะเวลาในการล้าง	36	วินาที
ความเข้มข้นเคมี	0.85	wt%
ความดันสารเคมี	28	psig
โดยค่าพื้นที่ผิวเปิดที่พยากรณ์ไว้คือ	15.2	ตารางมิลลิเมตร

4.1.12. ทดลองผลิตงาน 10 ล๊อต พร้อมสุ่มตรวจดัชนีชี้วัดเป็นช่วงๆ

จากการคำนวณหาจำนวนที่ต้องการในการสุ่มเก็บค่าพื้นที่ผิวเปิด โดย Power and Sample Size ซึ่งใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.03 ตารางมิลลิเมตร ความเชื่อมั่น 95% ใน การเปรียบเทียบโดย การเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างด้วยประชากรเดี่ยว พบว่าต้องทำการสุ่มงานออกมา 117 ค่าการทดลอง ดังผลการวิเคราะห์โดย Minitab ต่อไปนี้

Power and Sample Size

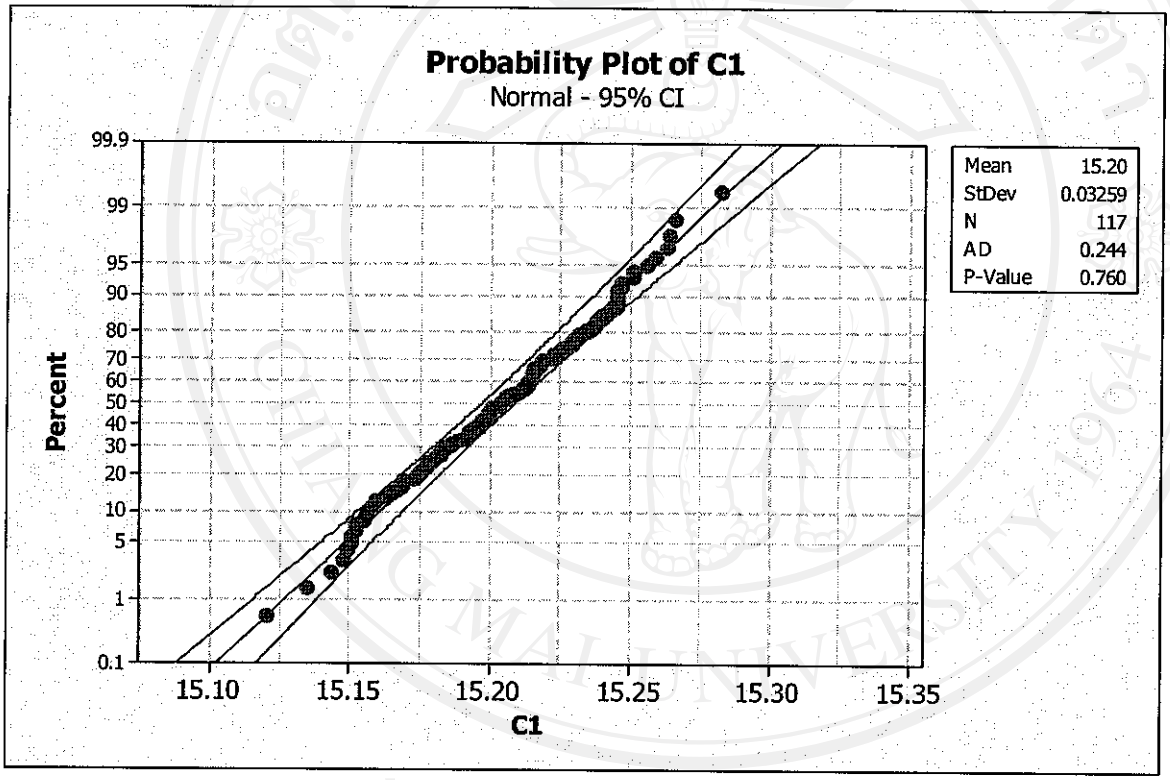
1-Sample Z Test
Testing mean = null (versus not = null)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

```
Calculating power for mean = null + difference
Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 0.03

            Sample  Target
Difference    Size   Power  Actual Power
      0.01     117    0.95      0.950076
```

หลังจากนั้นจึงทำการผลิตงานต่อเนื่อง 10 ล๊อต แล้วทำการสุ่มเก็บข้อมูลพื้นที่ผิวเปิด 117 ข้อมูล ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เก็บมาด้วย Probability plot พบว่าข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 95 % ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อยู่ที่ 0.03 ค่าเฉลี่ยข้อมูลมีค่าเท่ากับ 15.20 ตารางมิลลิเมตรซึ่งมีค่าเท่ากับ ค่าในการออกแบบ ต่างจากการก่อนการปรับปรุงซึ่งมีค่าอยู่ที่ 15.43 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 38



รูปที่ 4.10 กราฟ Probability plot ข้อมูลจากการสุ่มเพื่อยืนยันผลสมการพยากรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ต่อด้วย การเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างด้วยประชากรเดี่ยว โดยเปรียบเทียบกับค่าในการออกแบบ 15.2 ตารางมิลลิเมตร พบว่าได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.260 เนื่องด้วยค่ามากกว่า 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าพื้นที่ในการเปิดฟิล์มที่ได้ไม่แตกต่างกับค่าในการออกแบบที่15.2 ตร.มม.ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ดังผลการวิเคราะห์โดย MiniTAB ต่อไปนี้

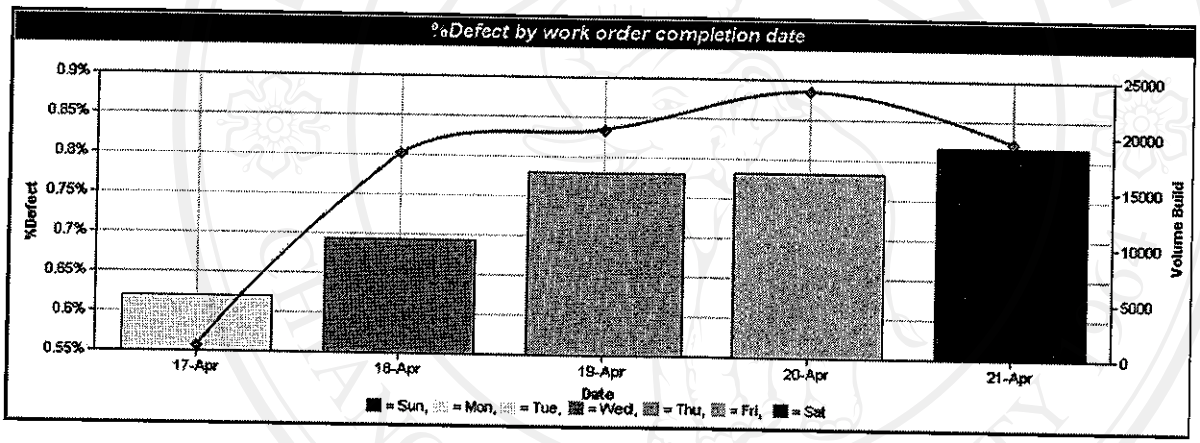
One-Sample Z: C1

```
Test of mu = 15.2 vs not = 15.2
The assumed standard deviation = 0.03

Variable     N      Mean    StDev  SE Mean          95% CI            Z      P
C1         117   15.2031   0.0326   0.0028  (15.1977, 15.2086)    1.13  0.260
```

4.1.13. **ทดลองผลิตงาน 1 อาทิตย์ และทำการเปรียบเทียบของเสีย ด้วยการเปรียบเทียบ 2 สัดส่วนกับประวัติศาสตร์ก่อนหน้าการปรับปรุง**

จากการทดลองผลิตงาน 1 อาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ในวันที่ 16 เมษายน 2550 ถึง วันที่ 24 เมษายน 2550 ด้วยค่าดัชนีปัจจัยที่ปรับตั้งใหม่ พบว่าของเสียทั้ง 2 นี้มีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 0.55 % ถึง 0.88 % ซึ่งน้อยกว่าค่าในอดีตซึ่งอยู่ที่ 0.7 % ถึง 2.4 % วันที่ 1 ธันวาคม 2549 ถึงวันที่ 15 มกราคม 2550 ดังรูปที่ 39



รูปที่ 4.11 กราฟของเสียชุบเปื้อนและชุบไม่ติดหลังจากมีการปรับตั้งปัจจัยใหม่

โดยพบว่า ของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดมี 892 ชิ้นใน จำนวนการผลิต 67314 ชิ้น จึงนำมาวิเคราะห์ด้วย การเปรียบเทียบ 2 สัดส่วนเทียบกับงานเสียก่อนหน้าการปรับปรุงโดยของเสียก่อนหน้าการปรับปรุงมีทั้งหมด 1133 ชิ้น ในจำนวนการผลิต 69600 ชิ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากค่า P-Value 0.00 และค่า ของเสียลดลงจาก 1.63% ลงเหลือ 1.33 %

ดังแสดงโดย MiniTAB ต่อไปนี้

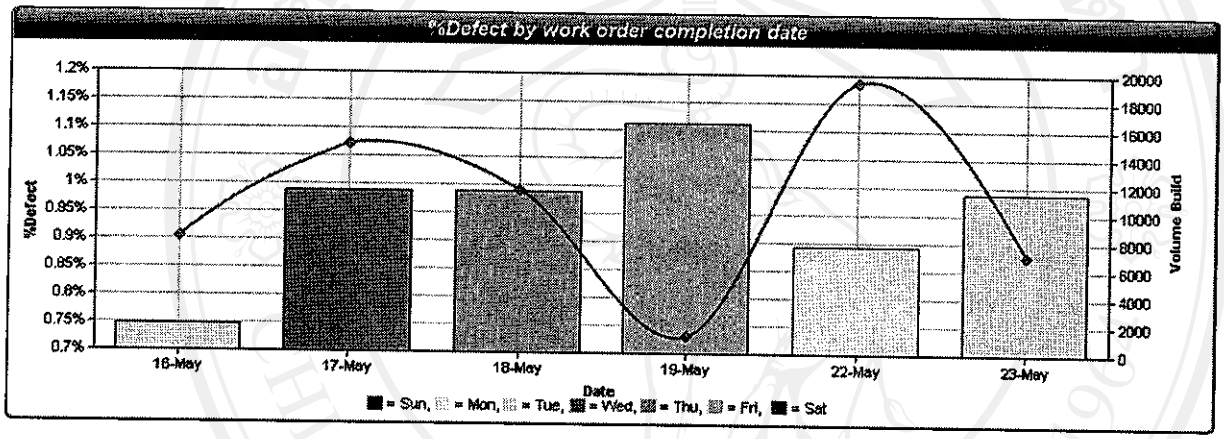
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Test and CI for Two Proportions

```
Sample      X      N  Sample p
1         892  67314  0.013251
2        1133  69600  0.016279


Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference:  -0.00302741
95% CI for difference:  (-0.00430414, -0.00175067)
Test for difference = 0 (vs not = 0):  Z = -4.65  P-Value = 0.000
```

หลังจากนั้นได้นำค่าปัจจัยที่ได้จากการคำนวนมาใช้จริงในกระบวนการผลิต ตั้งแต่วันที่ 16 พฤษภาคม 2550 ผลปรากฏดังรูปที่ 40 คือ ของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณ ร้อยละของเสียอยู่ไม่เกิน 1.2 % ซึ่งทำให้สามารถแสดงได้ว่า ปัจจัยปรับตั้งใหม่นี้สามารถนำมาใช้จริงในกระบวนการผลิตได้



รูปที่ 4.12 กราฟของเสียชุบเปื้อนและชุบไม่ติดหลังจากใช้มีการใช้ปรับตั้งปัจจัยใหม่จริงในการผลิต

4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

หลังจากได้ผลการทดลองดังนี้แล้วทางฝ่ายควบคุมคุณภาพการผลิตของกระบวนการนี้ควรมีการติดตั้งเครื่องมือป้องกันความผิดพลาด (Error proof) แก่พนักงานเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปรับตั้งค่าที่ผิดพลาด อันก่อให่เกิดงานเสียมากมายอีกทั้งยังสามารถทำให้วิศวกรสามารถวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้ง่ายขึ้น ไม่เกิดของเสีย

แม้ว่าการค้นคว้าวิจัยนี้จะได้ผลสัมฤทธิ์ตามที่คาดหวังไว้แต่ทว่าการค้นคว้านี้ทำโดยกรอบเวลา (Time frame) ที่จำกัดและเร่งรีบทำให้สามารถค้นคว้าได้แค่ ค่าดัชนีปัจจัยที่อยู่ในคู่มือทางเทคนิค เท่านั้น อีกทั้งยังจำกัดอยู่แค่ในช่วงที่ระบุไว้ในคู่มือเทคนิค จึงควรมีการค้นคว้าวิจัยต่อยอดในผลกระทบอื่นๆนอกเหนือจากคู่มือทางเทคนิค อีกทั้งควรมีการค้นคว้าถึงการปฏิบัติงานนอกเหนือช่วงที่ระบุเพื่อเป็นการศึกษาถึง ของเสีย ที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังสามารถพัฒนาความสามารถ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางการผลิตนอกเหนือช่วงที่กำหนด โดยแนะนำว่าควรใช้ Surface respond แทนที่ General full factorial เนื่องจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงดัชนีปัจจัยออกนอกช่วง คู่มือทางเทคนิค อาจทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เส้นตรงขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ General full factorial ไม่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง

การค้นคว้านี้ได้ทำกับผลิตภัณฑ์เพียง 1 ชนิดเท่านั้นเพื่อความแม่นยำในการพยากรณ์ควรทำการค้นคว้ากับผลิตภัณฑ์อื่นซึ่งมีความยากง่ายแตกต่างกันเพื่อสามารถมั่นใจได้ว่าจะได้ผลการดำเนินที่เหมือนๆกันในทุกๆผลิตภัณฑ์

สมการการพยากรณ์ที่ได้จากการค้นคว้านี้เป็นสมการที่เฉพาะเจาะจงสามารถใช้ที่เครื่องล้าง และฟิล์มที่ใช้ในปัจจุบันเท่านั้น โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเครื่องล้างหรือฟิล์มที่มีการใช้ ควรทำการออกแบบการทดลองใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อยืนยันว่าสมการพยากรณ์นี้ยังสามารถใช้ในการพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved