บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน (Fractional factorial) 2_{IV}^{7-3} เพื่อคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน 2_{IV}^{7-3} มีการทดลอง 16 ครั้ง และทำซ้ำ (Replication) 2 ครั้ง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 บล็อก ตามวันที่ทดลอง และทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Center point) 6 ครั้ง รวมทั้งหมด 38 การทดลองดังตารางที่ 4.2 สาเหตุที่ต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 2 บล็อก เพราะว่าทำการทดลองได้อย่างมากที่สุดเพียง 19 การทดลองต่อวัน เนื่องจากต้องรอให้การแกว่งตัวของค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าไว้ถึงจุดที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน 2_{IV}^{7-3}

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลองชุดที่ 1	ลำดับการทดลองชุดที่ 2	จุดกึ่งกลาง	อุณหภูมิพลาสติก (A)	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (B)	แรงดันยึด (C)	เวลาหล่อเย็น (D)	แรงดันฉีด (E)	เวลายึดแม่พิมพ์ (F)	ความเร็วการฉีด (G)	สัญลักษณ์
1	19	38	1	-	-	-	-	-	-	-	(1)
2	9	28	1	+	-	-	-	+	-	+	aeg
3	18	37	1	-	+	-	-	+	+	-	bef
4	7	26	1	+	+	-	-	-	+	+	abfg
5	12	31	1	-	-	+	-	+	+	+	cefg
6	1	20	1	+	-	+	-	-	+	-	acf
7	6	25	1	-	+	+	-	-	-	+	bcg
8	13	32	1	+	+	+	-	+	-	-	abce
9	16	35	1	-	-	-	+	-	+	+	dfg
10	15	34	1	+	-	-	+	+	+	-	adef
11	3	22	1	-	+	-	+	+	-	+	bdeg
12	2	21	1	+	+	-	+	-	-	-	abd
13	5	24	1	-	-	+	+	+	-	-	cde
14	11	30	1	+	-	+	+	-	-	+	acdg
15	10	29	1	-	+	+	+	-	+	-	bcdf
16	14	33	1	+	+	+	+	+	+	+	abcdefg
17	4	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	17	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	8	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สาเหตุที่เลือกการออกแบบการทดลองแบบ 2_{IV}^{7-3} เพื่อลดจำนวนการทดลองให้น้อยลง ประหยัดต้นทุนวัตถุดิบ ทรัพยากรการผลิต และเวลาในการทดลอง และการเลือกรีโซลูชั่นอันดับสี่ เนื่องจากเหมาะกับการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยหลัก เพราะสามารถประมาณค่าผลกระทบจากปัจจัยหลักและผลกระทบร่วมได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งกำหนดเจ็นเนอเรเตอร์ (Generator) ได้ดังนี้

$$E = ABC \qquad F = BCD \qquad G = ACD$$

ดังนั้นระบุความสัมพันธ์ (Defining Relation) ได้เป็น $I=ABCE=BCDF=ACDG$

$A=BCE=CDG=ABCF$	$AC=BE=DG=ABDF$
$B=ACE=CDF=ABCDG$	$AD=CG=BCDE=ABCF$
$C=ABE=BDF=ADG$	$AE=BC=ACDEG=ABCDEF$
$D=BCF=ACG=ABCDE$	$AB=CE=ACDF=BCDG$
$E=ABC=BCDEF=ACDEG$	$AF=BCEF=ABCD=CDFG$
$F=BCD=ABCEF=ACDFG$	$BD=ACDE=CF=ABCG$
$G=ACD=ABCEG=BCDFG$	$ABD=CDE=ACDF=BCDG$
$AB=CE=ACDF=BCDG$	

4.2 การทดลองตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ และเก็บข้อมูลจากผลการทดลอง

การวัดค่าความต้านทานแรงดึง จะวัดค่าจากทุกช่องแบบของแต่ละช็อต โดยนำค่าที่ได้จาก 8 ช่องแบบมาหาค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของ 1 ช็อต จากข้อมูลทั้งหมด 3 ช็อต ซึ่งสรุปผลค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานแรงดึงในแต่ละสภาวะการทดลองได้ดังตารางที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน 2_{IV}^{7-3}

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับทดลองชุดที่ 1	ลำดับทดลองชุดที่ 2	จุดกึ่งกลาง	อุณหภูมิพลาสติก **(A)**	อุณหภูมิแม่พิมพ์ **(B)**	แรงดันยึด **(C)**	เวลาหล่อเย็น **(D)**	แรงดันฉีด **(E)**	เวลายึดแม่พิมพ์ **(F)**	ความเร็วการฉีด **(G)**	ผลตอบ 1 (นิวตัน)	ผลตอบ 2 (นิวตัน)
1	19	38	1	-	-	-	-	-	-	-	122.4	122.4
2	9	28	1	+	-	-	-	+	-	+	122.5	122.4
3	18	37	1	-	+	-	-	+	+	-	122.0	122.0
4	7	26	1	+	+	-	-	-	+	+	122.1	122.3
5	12	31	1	-	-	+	-	+	+	+	121.9	121.9
6	1	20	1	+	-	+	-	-	+	-	121.5	121.4
7	6	25	1	-	+	+	-	-	-	+	122.4	122.5
8	13	32	1	+	+	+	-	+	-	-	122.1	122.2
9	16	35	1	-	-	-	+	-	+	+	122.8	122.9
10	15	34	1	+	-	-	+	+	+	-	121.6	121.5
11	3	22	1	-	+	-	+	+	-	+	122.4	122.3
12	2	21	1	+	+	-	+	-	-	-	121.9	122.0
13	5	24	1	-	-	+	+	+	-	-	122.0	122.0
14	11	30	1	+	-	+	+	-	-	+	122.0	122.1
15	10	29	1	-	+	+	+	-	+	-	122.8	122.8
16	14	33	1	+	+	+	+	+	+	+	122.3	122.2
17	4	23	0	0	0	0	0	0	0	0	122.2	122.2
18	17	36	0	0	0	0	0	0	0	0	122.0	122.1
19	8	27	0	0	0	0	0	0	0	0	122.3	122.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ และหารูปแบบความสัมพันธ์

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองด้วยโปรแกรมทางสถิติ

Estimated Effects and Coefficients for Tensile (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		122.178	0.01112	10988.35	0.000
Block		-0.011	0.01020	-1.03	0.315
a	0.481	0.241	0.01112	21.64	0.000
b	-0.356	-0.178	0.01112	-16.02	0.000
c	-0.444	-0.222	0.01112	-19.95	0.000
d	-0.019	-0.009	0.01112	-0.84	0.409
e	0.044	0.022	0.01112	1.97	0.063
f	0.019	0.009	0.01112	0.84	0.409
g	-0.019	-0.009	0.01112	-0.84	0.409
a*b	-0.006	-0.003	0.01112	-0.28	0.782
a*c	0.006	0.003	0.01112	0.28	0.782
a*d	0.006	0.003	0.01112	0.28	0.782
a*e	-0.031	-0.016	0.01112	-1.41	0.175
a*f	-0.006	-0.003	0.01112	-0.28	0.782
a*g	0.031	0.016	0.01112	1.41	0.175
b*d	0.044	0.022	0.01112	1.97	0.063
a*b*d	-0.006	-0.003	0.01112	-0.28	0.782
Ct Pt		0.005	0.02798	0.19	0.854

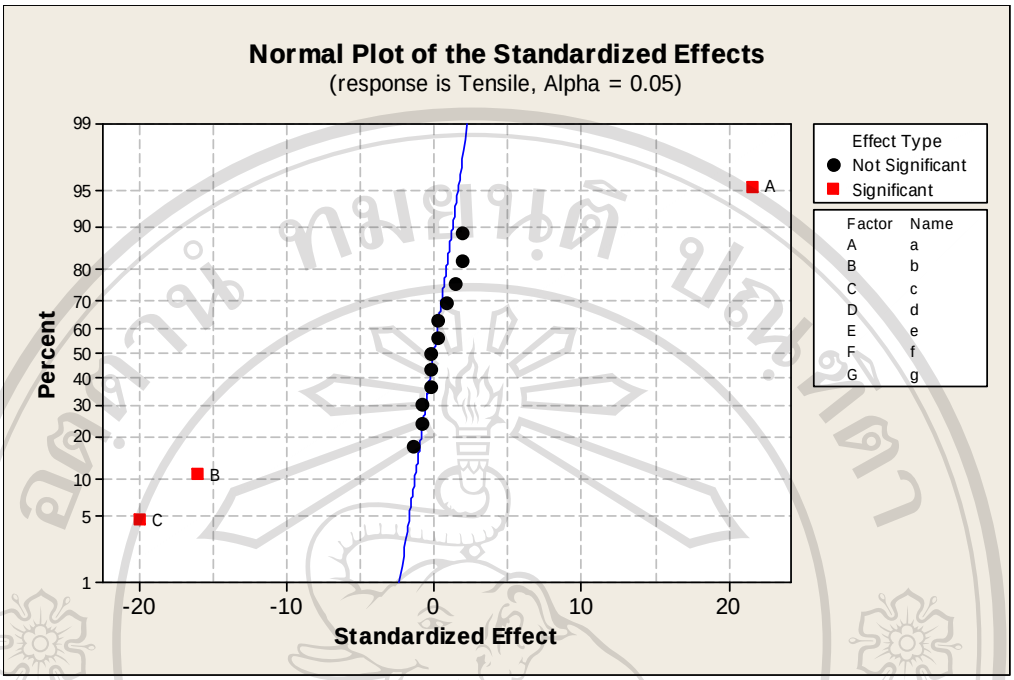
S = 0.0628979 PRESS = 1.50050
R-Sq = 98.27% R-Sq(pred) = 67.26% R-Sq(adj) = 96.81%

Analysis of Variance for Tensile (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.00421	0.00421	0.004211	1.06	0.315
Main Effects	7	4.46719	4.46719	0.638170	161.31	0.000
2-Way Interactions	7	0.03219	0.03219	0.004598	1.16	0.367
3-Way Interactions	1	0.00031	0.00031	0.000312	0.08	0.782
Curvature	1	0.00014	0.00014	0.000137	0.03	0.854
Residual Error	20	0.07912	0.07912	0.003956		
Lack of Fit	16	0.06579	0.06579	0.004112	1.23	0.464
Pure Error	4	0.01333	0.01333	0.003333		
Total	37	4.58316				

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยการพิจารณาค่าพี (P-Value) จากผลการประมวลผลข้อมูล เมื่อพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า ปัจจัย A B และ C มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ แสดงว่าปัจจัย A B และ C เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงดึงป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง เมื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยการใช้วิธีการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot Analysis) ได้ผลดังภาพที่ 4.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.1 ผลการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติ

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของป้ายปลอกคือสัตว์เลี้ยงมากที่สุดคือปัจจัย A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด C : แรงดันยึดแม่พิมพ์ และ B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ ตามลำดับ

4.3.2 การวิเคราะห์นัยสำคัญอิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัย จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่า ค่าพีของผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effect) เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าผลกระทบปัจจัยมีนัยสำคัญ และ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสองทาง (2-Way Interaction) และอิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสามทาง (3-Way Interaction) จะเห็นได้ว่าค่าพีมากกว่า $\alpha = 0.05$ (0.367 และ 0.782 ตามลำดับ) จึงสรุปได้ว่า อิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสองทางและสามทาง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 การวิเคราะห์อิทธิพลจากการขจัดปัจจัยรบกวน (Blocks) ในที่นี้คือวันในการทดลองที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้ เพราะค่าพีของบล็อกเท่ากับ 0.315 มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ เมื่อพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3.4 การกำหนดข้อสมมติฐานเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ (Hypothesized the Form) ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังภาพที่ 4.13 ค่าพี ของค่าความโค้ง (Curvature) เท่ากับ 0.854 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ รวมทั้งค่าพีของจุดกึ่งกลางมีค่าเท่ากับ 0.854 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ แสดงว่าความสัมพันธ์ของความต้านทานแรงดึง กับปัจจัยอยู่ในรูปสมการลำดับหนึ่งหรือสมการถดถอยอยู่ในรูปสมการเส้นตรง จึงไม่จำเป็นที่จะต้องออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ในรูปสมการลำดับสองต่อ

4.3.5 การสร้างสมการถดถอยของค่าความต้านทานแรงดึง มีขั้นตอนการวิเคราะห์คือ คำนวณผลกระทบของแต่ละวิธีทดลองในสมการ จากสมการโครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias Structure) ที่สร้างขึ้น สามารถแทนค่าผลกระทบตามที่คำนวณได้จากตารางที่ 4.4 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมการโครงสร้างซ้ำซ้อนที่แทนค่าด้วยผลกระทบของปัจจัย

	P-value
A = a + b*c*e + b*f*g + c*d*g + d*e*f + a*b*c*d*f + a*b*d*e*g + a*c*e*f*g = 0.241	0.000
B = b + a*c*e + a*f*g + c*d*f + d*e*g + a*b*d*e*f + a*b*c*d*g + b*c*e*f*g = -0.178	0.000
C = c + a*b*e + a*d*g + b*d*f + e*f*g + a*c*d*e*f + a*b*c*f*g + b*c*d*e*g = -0.222	0.000
D = d + a*e*f + a*c*g + b*c*f + b*e*g + a*b*c*d*e + a*b*d*f*g + c*d*e*f*g = -0.009	0.409
E = e + a*b*c + a*d*f + b*d*g + c*f*g + a*c*d*e*g + a*b*e*f*g + b*c*d*e*f = 0.022	0.063
F = f + a*d*e + a*b*g + b*c*d + c*e*g + a*b*c*e*f + a*c*d*f*g + b*d*e*f*g = 0.009	0.409
G = g + a*c*d + a*b*f + b*d*e + c*e*f + a*b*c*e*g + a*d*e*f*g + b*c*d*f*g = -0.009	0.409
AB = a*b + c*e + f*g + a*c*d*f + a*d*e*g + b*d*e*f + b*c*d*g + a*b*c*e*f*g = -0.003	0.782
AC = a*c + b*e + d*g + a*b*d*f + a*e*f*g + b*c*f*g + c*d*e*f + a*b*c*d*e*g = 0.003	0.782
AD = a*d + c*g + e*f + a*b*c*f + a*b*e*g + b*c*d*e + b*d*f*g + a*c*d*e*f*g = 0.003	0.175
AE = a*e + b*c + d*f + a*b*d*g + a*c*f*g + b*e*f*g + c*d*e*g + a*b*c*d*e*f = -0.016	0.782
AF = a*f + b*g + d*e + a*b*c*d + a*c*e*g + b*c*e*f + c*d*f*g + a*b*d*e*f*g = -0.003	0.175
AG = a*g + b*f + c*d + a*b*d*e + a*c*e*f + b*c*e*g + d*e*f*g + a*b*c*d*f*g = 0.016	0.063
BD = b*d + c*f + e*g + a*c*d*e + a*b*e*f + a*b*c*g + a*d*f*g + b*c*d*e*f*g = 0.022	0.782
ABD = a*b*d + a*c*f + a*e*g + b*e*f + b*c*g + c*d*e + d*f*g + a*b*c*d*e*f*g = -0.003	0.854

ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสองทาง และอิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสามทาง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผลกระทบของแต่ละปัจจัย จึงมาจากปัจจัยหลักเท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) จากการกำหนดข้อสมมติฐานเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ (Hypothesized the Form) ความสัมพันธ์ของความต้านทานแรงดึง กับปัจจัยอยู่ในรูปสมการลำดับหนึ่งหรือสมการถดถอยอยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยที่ค่าตอบสนอง (Y) คือค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile

Strength) และตัวแปรปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่คัดเลือกมาได้คือ A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ และ C : แรงดันยึดแม่พิมพ์ ค่าจุดตัดแกน Y คือค่าคงที่จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเท่ากับ 122.178 และค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่ได้คือค่าความชัน ดังนั้นสมการที่ได้คือ

$$TensileStrength = 122.178 + 0.241A - 0.178B - 0.222C \qquad (4.1)$$

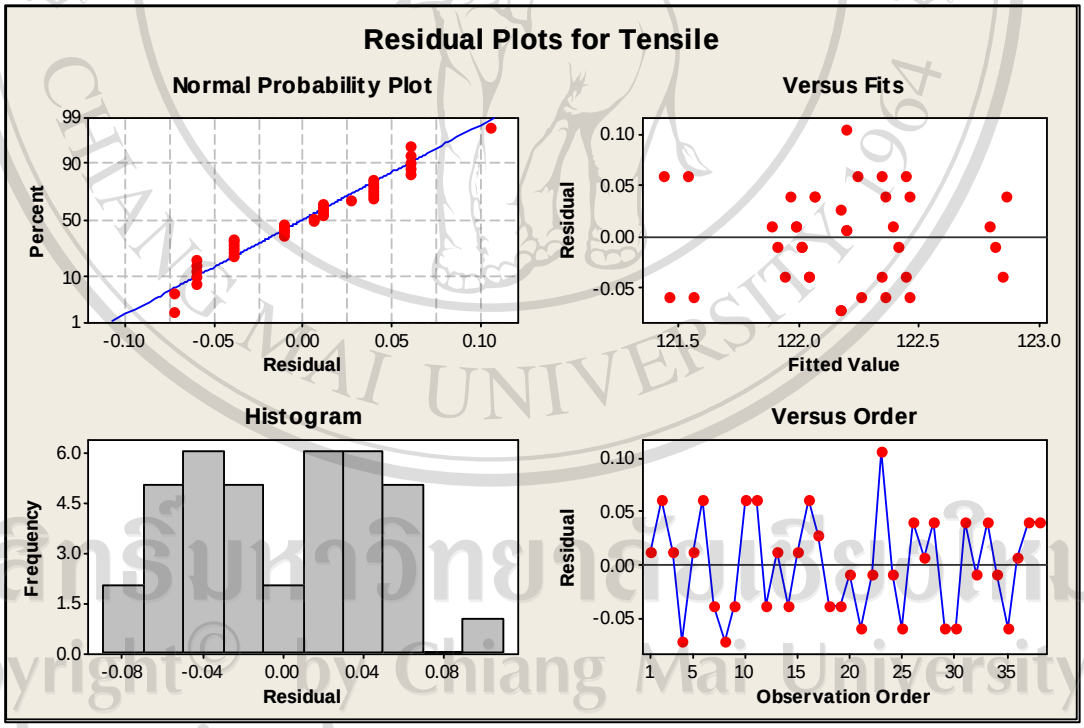
(2) การวิเคราะห์ความถูกต้องของสมการต้นแบบ จากการวิเคราะห์ค่าส่วนค้าง (Residual) ซึ่งมีหลักสำคัญ 4 ประการคือ

(2.1) ค่าส่วนค้าง มีการแจกแจงแบบปกติ

(2.2) ค่าส่วนค้างเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ $E(\varepsilon_i) = 0$

(2.3) ความแปรปรวนมีค่าคงที่ $V(\varepsilon_i) = \sigma^2$

(2.4) ค่าผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน $Cov(\varepsilon_I, \varepsilon_j) = 0$



ภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่าส่วนค้างจากผลการทดลอง

ในการทดสอบข้อสมมุตินี้ จะใช้หลักการเดียวกับข้อสมมุติในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือใช้แผนภูมิที่ต่างกันดังภาพที่ 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- กราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) ใช้ทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1 ซึ่งจากการตรวจสอบการกระจายตัวของค่าส่วนค้างของค่าความต้านทานแรงดึงป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง พบว่ากราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติของค่าส่วนค้าง มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ดังกราฟที่ 1 ในภาพที่ 4.2 จึงสรุปได้ว่า ค่าส่วนค้างมีการแจกแจงแบบปกติ
- กราฟค่าส่วนค้าง (Residual Plot) ระหว่าง ค่าผิดพลาดกับค่าที่เหมาะสม (Fitted Value) และลำดับในการทดลอง (Observation Order)ใช้ทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 3 และ 4 จากกราฟที่ 2 และ 4 ในภาพที่ 4.2 พบว่าจุดมีการกระจายตัวรอบศูนย์อย่างสมดุลแสดงว่ามีค่าส่วนค้างเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ รวมทั้งมีความกว้างของแถบคงที่แสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่ และมีการกระจายตัวแบบสุ่มแสดงถึงความเป็นอิสระต่อกันของค่าผิดพลาดและต่อลำดับการทดลอง

(3) การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการต้นแบบ (Model Adequacy Checking)

(3.1) การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่า R^2 ที่คำนวณได้เท่ากับ 97.27 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึง 97.27 เปอร์เซ็นต์ มาจากสมการถดถอย รวมทั้งค่า R^2_{adj} มีค่าเท่ากับ 96.81 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าสมการมีความเหมาะสมนั่นเอง

(3.2) การทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack-of-Fit Test : LOF) จะทำเมื่อมีการเก็บข้อมูลซ้ำซึ่งในการศึกษาอิสระนี้มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง พิจารณาจากค่าพี ที่เท่ากับ 0.464 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดคือ $\alpha = 0.05$ แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า สมการมีความเหมาะสมได้ แสดงว่าสมการมีความเหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

(3.3) การทดสอบนัยสำคัญสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย (Hypothesis Testing for Regression Coefficients) เป็นการทดสอบก่อนที่จะนำสมการไปพยากรณ์ เมื่อทดสอบด้วยโปรแกรมทางสถิติได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบนัยสำคัญสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

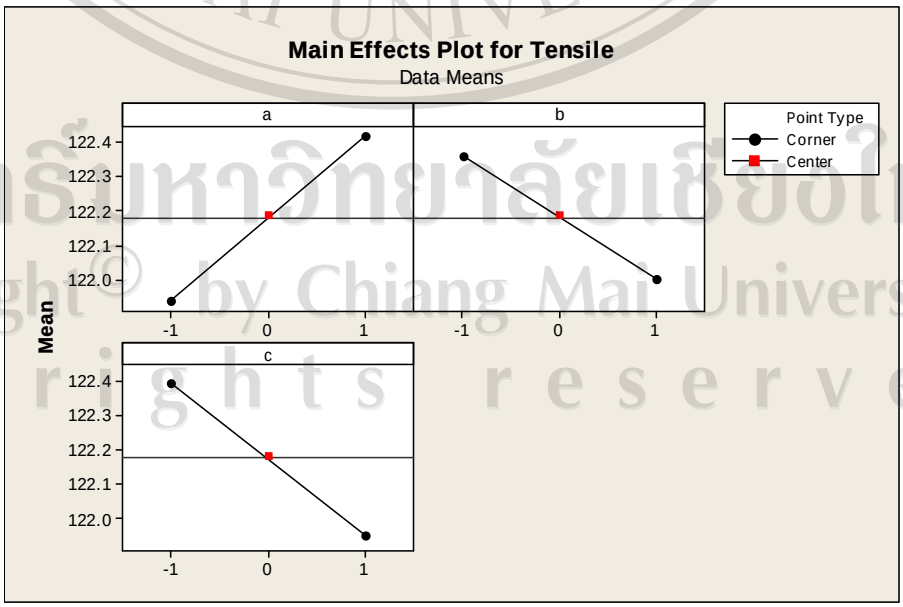
```
The regression equation is

Tensile = 122.178 + 0.241 a - 0.178 b - 0.222 c
```

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	122.178	0.010	11748.91	0.000
a	0.24063	0.01133	21.23	0.000
b	-0.17812	0.01133	-15.72	0.000
c	-0.22187	0.01133	-19.58	0.000

```
S = 0.0641048   R-Sq = 97.0%   R-Sq(adj) = 96.7%
```

จากตาราง 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำปัจจัยที่คัดเลือกว่ามีนัยสำคัญมาทดสอบอีกครั้ง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดลงจาก 98.27% เป็น 97.0% แสดงว่าสมการยังมีความเหมาะสม แม้จะตัดปัจจัยอื่นออกไปแล้ว

4.3.6 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยงของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากสมการถดถอยจะเห็นว่า เครื่องหมายหน่วยรหัส (Code unit) ของแต่ละปัจจัยเป็นดังนี้ A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด เป็นเครื่องหมายบวกแสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมคือระดับสูงของปัจจัย B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ เป็นเครื่องหมายลบแสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมคือระดับต่ำของปัจจัย และ C :แรงดันยึดแม่พิมพ์ เป็นเครื่องหมายลบแสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมคือระดับต่ำของปัจจัย ซึ่งวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมะสมเพิ่มเติมจากกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) ดังนี้



ภาพที่ 4.3 กราฟอิทธิพลหลักของปัจจัย A, B และ C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นว่า ปัจจัย A จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ระดับสูง (+1) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 230 องศาเซลเซียส ส่วนปัจจัย B จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ระดับต่ำ (-1) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส และปัจจัย C จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดที่ระดับต่ำ (-1) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 100 เมกะปาสคาล ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกเทอร์โมพลาสติก โพลียูริเทน สำหรับป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง ที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดคือ

A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด (Melt plastic temperature) เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส
B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold coolant temperature) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส
C : แรงดันยึดแม่พิมพ์ (Packing pressure profile) เท่ากับ 100 เมกะปาสคาล

4.3.7 การนำสมการไปพยากรณ์หาค่าที่ดีที่สุด โดยแทนค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลองลงในสมการถดถอย จากสมการที่ (4.1) คือ

$$TensileStrength = 122.178 + 0.241A - 0.178B - 0.222C$$

โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ที่ให้ผลค่าความต้านทานแรงดึงของป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยงสูงที่สุดคือ

A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด (Melt plastic temperature) เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส
B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold coolant temperature) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส
C : แรงดันยึดแม่พิมพ์ (Packing pressure profile) เท่ากับ 100 เมกะปาสคาล

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.3 เป็นการวิเคราะห์เชิงหน่วยรหัส (Coded Units) ดังนั้นจึงแทนค่า ระดับปัจจัยที่ให้ผลดีที่สุดต่อค่าความต้านทานแรงดึงป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง ได้ดังนี้

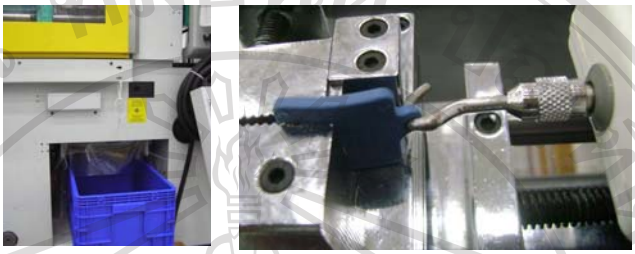
$$\begin{aligned} TensileStrength &= 122.178 + 0.241(+1) - 0.178(-1) - 0.222(-1) \\ &= 122.819 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าที่ดีที่สุดจากการแทนค่าระดับที่เหมาะสมในสมการถดถอยคือ 122.819 นิวตัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การทดสอบในกระบวนการจริง

นำสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ มาทดสอบในกระบวนการผลิตจริง (Verification) โดยทดลองทำการผลิตจริง 1 ล็อต จำนวน 10,000 ชิ้น เก็บข้อมูลโดยการสุ่มวัดค่าความต้านทานแรงดึงจาก 520 ข้อมูล โดยวัดค่าทุกชิ้นจาก 160 ชิ้นแรก และสุ่มวัดค่า 8 ชิ้น จากการผลิตทุก 200 ชิ้น ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การผลิตและการทดสอบความต้านทานแรงดึงของป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง

จากผลการทดสอบในกระบวนการผลิตจริง โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตที่ได้จากการออกแบบการทดลองคือ

A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด (Melt plastic temperature) เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส

B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold coolant temperature) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส

C : แรงดันยึดแม่พิมพ์ (Packing pressure profile) เท่ากับ 100 เมกะปาสคาล

ส่วนปัจจัยอื่นจะปรับตั้งไว้ ณ จุดที่ให้ประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

D : เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) ที่ระดับต่ำ (-1) คือ 20 วินาที เพื่อลดเวลาในการฉีดต่อรอบการผลิต

F : เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ (Packing time) ที่ระดับต่ำ (-1) คือ 25 วินาที เพื่อลดเวลาในการฉีดต่อรอบการผลิต

G : ความเร็วในการฉีด (Injection velocity profile) ที่ระดับสูง (+1) คือ 60 กรัมต่อนาที เพื่อลดเวลาในการฉีดต่อรอบการผลิต

E : แรงดันในการฉีด (Injection pressure) ที่ระดับกลาง (0) คือ 45 เมกะปาสคาล ลดการใช้งานระบบไฮดรอลิคไม่ให้สูงเกินไป แต่รักษาความสม่ำเสมอในการฉีดพลาสติกเหลวสู่แม่พิมพ์

โดยปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลรบกวนต่อค่าความต้านทานแรงดึง ได้ควบคุมให้เหมือนการทดลอง คือ

(1) ใช้วัตถุดิบจาก ล็อตการผลิตเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) อบวัตถุดิบเพื่อควบคุมความชื้น ใช้อุณหภูมิและเวลาเท่ากัน จากเครื่องเดียวกัน

(3) ใช้วิศวกรควบคุมการผลิตคนเดียวกัน และช่างดูแลแม่พิมพ์คนเดียวกัน

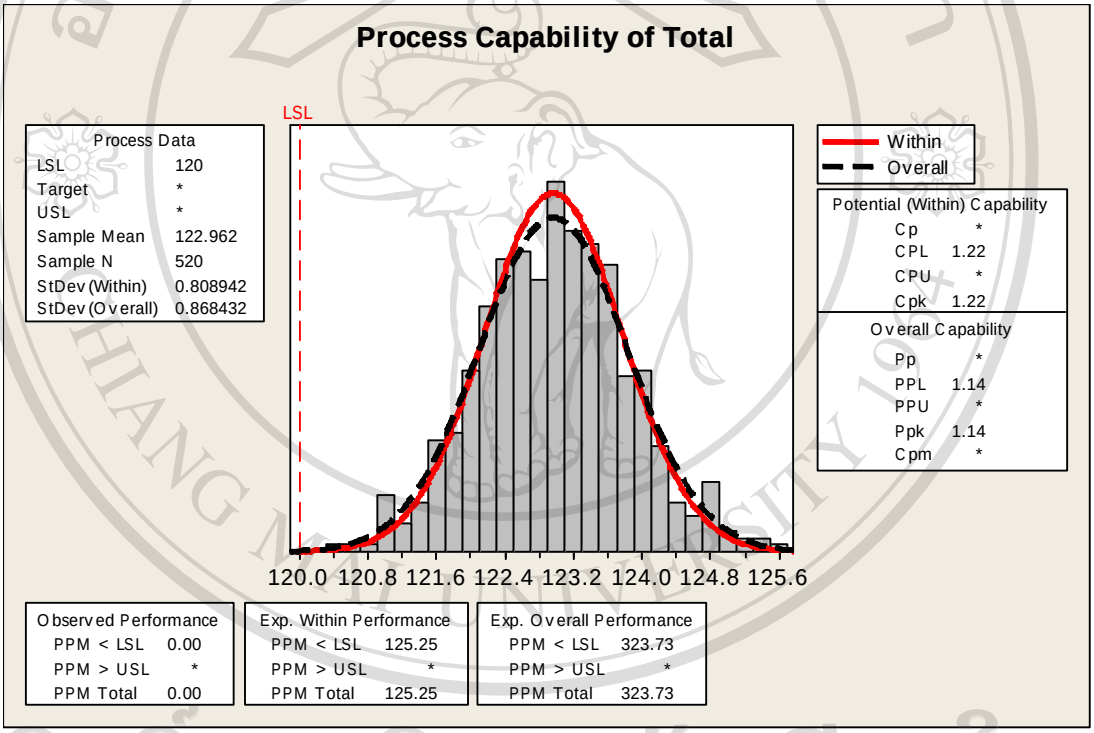
(4) ใช้เครื่องฉีดพลาสติกเครื่องเดียวกัน

(5) ใช้ผู้วัดค่าความต้านทานแรงดึงคนเดียวกัน จากเครื่องวัดค่าเครื่องเดียวกัน

(6) ควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส

(8) ควบคุมอัตราส่วนผสมวัตถุดิบนำกลับมาใช้ใหม่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบใช้สภาวะที่เหมาะจากการออกแบบการทดลองในการผลิตจริง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าไม่พบชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าค่าที่กำหนดคือ 120 นิวตัน โดยข้อมูลที่ได้มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมเท่ากับ 0.8684 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 122.962 นิวตันซึ่งสูงกว่าค่าทำนายโดยสมการที่ 122.819 นิวตัน เมื่อทดสอบช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้พบว่าได้ค่าเท่ากับ 122.792 – 122.995 นิวตัน ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบในกระบวนการจริงอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น จึงสรุปได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาใช้กับกระบวนการจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ