หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการทดลองหาค่าพารามิเตอร์

ในการวิจัยครั้งนี้ เราจะทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้เป็นปัจจัยสำหรับการปรับเปลี่ยนค่าความโค้งของกระจกที่กระบวนการผลิตเตา T-91 ซึ่งปัจจุบันกระบวนการผลิตเตา T-91 จะผลิตกระจกที่มีความโค้งอยู่ทั้งหมด 3 ค่า คือ 1200R, 1600R, และ 2000R เนื่องจากแบบที่ใช้ในการขึ้นรูปโค้งของกระบวนการผลิตนี้มีเพียง 3 โค้ง ตามที่กล่าวในข้างต้น เพื่อที่จะหาว่าพารามิเตอร์ใดจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความโค้งของกระจก จึงต้องนำพารามิเตอร์ที่ใช้ในการผลิตมาศึกษาตามทฤษฎีทางสถิติว่า พารามิเตอร์นั้นจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความโค้งหรือไม่ โดยที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการผลิตกระจกเทมเปอร์ที่จะนำมาพิจารณามีดังนี้ คือ อุณหภูมิของกระจก แรงดันลมบน แรงดันลมล่าง และชนิดสีของกระจก หลังจากที่ทำการทดลองแล้วพบว่าปัจจัยใดส่งผลต่อค่าความโค้งกระจก ก็จะนำค่าพารามิเตอร์นั้นมาทดลองปรับค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดเพื่อที่จะหาว่าค่าความโค้งที่สามารถทำได้อยู่ในช่วงเท่าไร เพื่อจะได้กำหนดว่าโรลเลอร์โค้งของแต่ละโค้งสามารถสร้างความโค้งได้เท่าไรเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์

4.1 การวางแผนและการเตรียมการทดลอง

สำหรับการวางแผนการเตรียมการทดลองสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าความโค้งกระจกในกระบวนการผลิตของเตา T-91 จะต้องมีการจัดเตรียมดังนี้

- วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ กระจกโดยทำการเก็บกระจกเสียก่อนเข้าเตาเพื่อใช้ในการทำการทดลอง แล้วมาทำการตัดให้ได้ขนาด 400 X 800 mm. จำนวน 48 แผ่น สำหรับการทดลองช่วงแรก และอีก 192 แผ่น สำหรับการทดลองในช่วงที่ 2
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความโค้งกระจกนั้นใช้เครื่อง C.M.M. ในการวัดค่าความโค้งของกระจก
- การทำการทดลองสำหรับความโค้งต่าง ๆ โดยใช้ค่าสูงสุด (+) และค่าต่ำสุด (-) ของแต่ละพารามิเตอร์ต่อไปนี้ โดยทำการทดลองผลิตตามเงื่อนไข

(1) อุณหภูมิของกระจก (หน่วยเป็นองศาเซลเซียส) กำหนดให้เป็นตัวแปร A

(2) แรงดันลมบน (หน่วยเป็น mm. H_2O) กำหนดให้เป็นตัวแปร B

(3) แรงดันลมล่าง (หน่วยเป็น mm. H_2O) กำหนดให้เป็นตัวแปร C

(4) สีของกระจก กำหนดให้เป็นตัวแปร D

อุณหภูมิของกระจก (A) ที่นำมาพิจารณาเป็นพารามิเตอร์สำหรับการทดลองเนื่องจากอุณหภูมิของกระจกนั้นช่วยในการขึ้นรูปของกระจก ซึ่งสำหรับกระบวนการผลิตเตา T-91 นั้นถ้าอุณหภูมิกระจกต่ำกว่า 660 °C จะทำให้กระจกเตาเมื่อถูกเป่าลม และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 670 °C ผิวของกระจกจะเป็นรอย ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงสุด (+) ที่ 680 °C และอุณหภูมิต่ำสุด (-) ที่ 660 °C

แรงดันลมบน (B) หมายถึง แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าผิวกระจกด้านบนให้เย็นตัวอย่างเร็ว เพื่อให้เกิดเป็นกระจกเทมเปอร์ แรงดันลมบนสูงสุด (+) เท่ากับ 2200 mm. H_2O และแรงดันลมบนต่ำสุด เท่ากับ 800 mm. H_2O

แรงดันลมล่าง (C) หมายถึง แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าผิวกระจกด้านล่างให้เย็นตัวอย่างเร็ว เพื่อให้เกิดเป็นกระจกเทมเปอร์ แรงดันลมล่างสูงสุด (+) เท่ากับ 2200 mm. H_2O และแรงดันลมล่างต่ำสุด เท่ากับ 800 mm. H_2O

สีของกระจก (D) หมายถึง ตัววัตถุดิบที่ใช้ คือ กระจก มี 2 ประเภท คือ สีใสและสีเขียว โดยที่สีเขียวเป็นค่าสูงสุด และสีใสเป็นค่าต่ำสุด (-)

ค่าผลลัพธ์จากการทดลองเป็นค่าความโค้งของกระจก ซึ่งวัดตามแนวโค้งของกระจกโดยกำหนดจุดวัดที่ตรงกลางของกระจก ค่าความโค้งของกระจกที่หน่วยเป็น มม. กำหนดให้เป็นตัวแปร Y ดังนั้นสามารถเขียนเป็นองค์ประกอบของปัจจัยในการทดลองในตารางที่ 4.1 แต่เนื่องจากในการทดลองอาจจะมีผลกระทบจากความต่อเนื่องของการกำหนดพารามิเตอร์ที่ปรับใช้ในการทดลอง จึงได้ดำเนินการขจัดผลกระทบดังกล่าว โดยการดำเนินการจัดลำดับการทดลอง โดยกระบวนการของตัวเลขสุ่ม ดังนั้น Y ในขั้นตอนการจัดลำดับการทดลองจะใช้แทนตัวเลขสุ่ม เพื่อช่วยให้สามารถจัดเรียงลำดับตัวเลขใช้เป็นตัวกำหนดลำดับการทดลอง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของปัจจัย

Run	Factor					Random Number		
Number	A	B	C	D	Run Label	Rep. I	Rep. II	Rep. III
1	-	-	-	-	(1)	Y1	Y2	Y3
2	+	-	-	-	a	Y4	Y5	Y6
3	-	+	-	-	b	Y7	Y8	Y9
4	+	+	-	-	ab	Y10	Y11	Y12
5	-	-	+	-	c	Y13	Y14	Y15
6	+	-	+	-	ac	Y16	Y17	Y18
7	-	+	+	-	bc	Y19	Y20	Y21
8	+	+	+	-	abc	Y22	Y23	Y24
9	-	-	-	+	d	Y25	Y26	Y27
10	+	-	-	+	ad	Y28	Y29	Y30
11	-	+	-	+	bd	Y31	Y32	Y33
12	+	+	-	+	abd	Y34	Y35	Y36
13	-	-	+	+	cd	Y37	Y38	Y39
14	+	-	+	+	acd	Y40	Y41	Y42
15	-	+	+	+	bcd	Y43	Y44	Y45
16	+	+	+	+	abcd	Y46	Y47	Y48

กำหนดการในการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้จะมี 2 ช่วง คือ

(1) การทดลองช่วงแรก จะทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อค่าความโค้งกระจกเวลาที่ใช้ประมาณ 8 ชั่วโมง โดยการทดลองช่วงแรกใช้โรลเลอร์โค้ง 1600 R ทำการทดลอง ในการทดลองนี้ใช้วิธี 2^4 Factorial Design โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งของแต่ละระดับ ซึ่งจะมีการทดลองทั้งหมด 48 ครั้ง ในการทดลองครั้งนี้จะใช้การทดลองแบบสุ่มเพื่อป้องกันผลกระทบเนื่องจากรูปแบบการปรับพารามิเตอร์ ซึ่งการทดลองช่วงแรกจะได้ข้อสรุปถึงพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการปรับค่าความโค้ง

(2) การทดลองช่วงหลัง จะทำการทดลองพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการปรับเปลี่ยนค่าไปของแต่ละโรลเลอร์ เพื่อหาว่าจะสามารถทำค่าความโค้งอยู่ในช่วงใด เวลาประมาณการที่ใช้ 12 ชั่วโมง โดยจะทำการทดลองจำนวน 192 ครั้ง

ในการทดลองครั้งนี้เพื่อที่จะไม่ให้เสียกำลังการผลิต จะใช้แบ่งเวลาจากสายการผลิตประมาณวันละ 1 ชั่วโมง โดยทำการทดลองช่วงแรกในเดือนมิถุนายน และเมื่อได้ผลแล้วจะดำเนินการปรับค่าพารามิเตอร์ของช่วงหลังในเดือนกรกฎาคม

4.2 รูปแบบการทดลอง

ในการทำการทดลองเพื่อหาว่า Parameter ใดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลองจะใช้วิธีการ 2^4 Factorial Design โดยที่ Parameter ที่ใช้ในการทำการทดลองมีดังนี้

1) อุณหภูมิของกระจก : A
2) แรงดันลมบน : B
3) แรงดันลมล่าง : C
4) สีของกระจก : D

ค่าของ Parameter ที่ใช้ในการทำการทดลอง

A : อุณหภูมิของกระจก	High level(+)	670° C
	Low level(-)	660° C
B : แรงดันลมบน	High level(+)	2200 mm. H_2O
	Low level(-)	800 mm. H_2O
C : แรงดันลมล่าง	High level(+)	2200 mm. H_2O
	Low level(-)	800 mm. H_2O
D : สีของกระจก	High level(+)	สีเขียว
	Low level(-)	สีใส

ในการทดลองนี้เราจะทำการทดลองซ้ำของแต่ละlevel 3 ครั้ง จากนั้นทำการวางแผนในการทำการทดลอง โดยที่จำนวนครั้งสำหรับการทดลองเท่ากับ $2^4 x3 = 48$ ครั้ง และทำการสุ่มว่าจะทำการทดลองของแต่ละ level ว่าจะทำการทดลองที่ Factor ใดก่อนและหลัง โดยที่ค่าตัวเลขในกลุ่มจากการใช้ตัวเลข Random ในเครื่องคิดเลขมาใส่ลงในตาราง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อกำหนดลำดับก่อนหลังของการทดลองแต่ละพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการกำหนดค่าสุ่มสำหรับการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปสรุปได้จะดำเนินการทดลองตามลำดับ โดยจัดลำดับจากตัวเลขน้อยไปมากของค่าสุ่ม ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 การแสดงการกำหนดค่าสุ่มสำหรับการทดลอง

Run	Factor					Random Number		
Number	A	B	C	D	Run Label	Rep. I	Rep. II	Rep. III
1	-	-	-	-	(1)	0.122	0.647	0.182
2	+	-	-	-	A	0.688	0.120	0.547
3	-	+	-	-	B	0.804	0.588	0.571
4	+	+	-	-	Ab	0.970	0.657	0.042
5	-	-	+	-	C	0.253	0.664	0.451
6	+	-	+	-	Ac	0.511	0.661	0.841
7	-	+	+	-	bc	0.690	0.393	0.479
8	+	+	+	-	abc	0.560	0.389	0.677
9	-	-	-	+	d	0.864	0599	0.643
10	+	-	-	+	ad	0.236	0.365	0875
11	-	+	-	+	bd	0.518	0.012	0.959
12	+	+	-	+	abd	0.235	0.531	0.484
13	-	-	+	+	cd	0.117	0.747	0.404
14	+	-	+	+	acd	0.988	0.353	0.207
15	-	+	+	+	bcd	0.146	0.967	0.541
16	+	+	+	+	abcd	0.268	0.103	0.056

ตารางที่ 4.3 แสดงลำดับในการทดลอง

Run	Factor					Random Number		
Number	A	B	C	D	Run Label	Rep. I	Rep. II	Rep. III
1	-	-	-	-	(1)	7	17	9
2	+	-	-	-	a	38	6	27
3	-	+	-	-	b	41	30	29
4	+	+	-	-	ab	47	34	2
5	-	-	+	-	c	13	36	20
6	+	-	+	-	ac	23	35	42
7	-	+	+	-	bc	39	18	21
8	+	+	+	-	abc	28	17	37
9	-	-	-	+	d	43	31	32
10	+	-	-	+	ad	12	16	44
11	-	+	-	+	bd	24	1	45
12	+	+	-	+	abd	11	25	22
13	-	-	+	+	cd	5	40	19
14	+	-	+	+	acd	48	15	10
15	-	+	+	+	bcd	8	46	26
16	+	+	+	+	abcd	14	4	3

ค่าของ Random เมื่อมาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก เพื่อที่จะกำหนดลำดับในการทดลอง คือ Run Number ที่ 11 Parameter คือ A (-), B (+), C (-), D (+) จะทดลองเป็นครั้งที่ 1 , 24 และ 45

4.3 การดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การทดลองช่วงแรก และการทดลองช่วงหลัง

4.3.1 การทดลองช่วงแรก

จากลำดับการทดลองสำหรับปัจจัยต่าง ๆ ก็จะทำการทดลองตามที่ได้วางแผนไว้ โดยใช้โรลเลอร์ 1600 R ซึ่งผลการทดลองออกมาได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของค่าความโค้งจากการทดลอง

Run	Factor					Radius			
Number	A	B	C	D	Run Label	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Total
1	-	-	-	-	(1)	1690	1682	1688	5060
2	+	-	-	-	a	1688	1695	1679	5062
3	-	+	-	-	b	1865	1875	1873	5613
4	+	+	-	-	ab	1850	1863	1869	5582
5	-	-	+	-	c	1455	1482	1475	4412
6	+	-	+	-	ac	1486	1460	1478	4424
7	-	+	+	-	bc	1695	1688	1675	5058
8	+	+	+	-	abc	1673	1689	1682	5044
9	-	-	-	+	d	1677	1685	1685	5047
10	+	-	-	+	ad	1684	1693	1700	5077
11	-	+	-	+	bd	1880	1873	1873	5626
12	+	+	-	+	abd	1866	1875	1858	5599
13	-	-	+	+	cd	1475	1458	1466	4399
14	+	-	+	+	acd	1445	1470	1453	4368
15	-	+	+	+	bcd	1675	1687	1692	5054
16	+	+	+	+	abcd	1695	1680	1686	5061

จาก $SS = \frac{(Contrast)^2}{16\,n}$

$$SS_A = \frac{(a - (1) - b + ab - c + ac - bc + abc - d + ad - bd + abd - cd + acd - bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5062 - 5060 - 5613 + 5582 - 4412 + 4424 - 5058 + 5044 - 5047 + 5077 - 5626 + 5399 - 4399 + 4368 - 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(-52)^2}{48}$$

$$= 56.33$$

$$SS_B = \frac{(b - (1) - a + ab - c - ac + bc + abc - d - ad + bd + abd - cd - acd + bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5613 - 5060 - 5062 + 5582 - 4412 - 4424 + 5058 + 5044 - 5047 - 5077 + 5626 + 5599 - 4399 - 4368 + 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(4788)^2}{48}$$

$$= 477603$$

$$SS_{AB} = \frac{((1) - a - b + ab + c - ac - bc + abc + d - ad - bd + abd + cd - acd - bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5060 - 5062 - 5613 + 5582 + 4412 - 4424 - 5058 + 5044 + 5047 - 5077 - 5626 + 5599 + 4399 - 4368 - 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(-78)^2}{48}$$

$$= 126.75$$

$$SS_C = \frac{(c - (1) - a - b - ab + ac + bc + abc - d - ad - bd - abd + cd + acd + bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(4412 - 5060 - 5063 - 5613 - 5582 + 4424 + 5058 + 5044 - 5047 - 5077 - 5626 - 5599 + 4399 + 4368 + 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(-4846)^2}{48}$$

$$= 489244$$

$$SS_{AC} = \frac{((1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc + d - ad + bd - abd - cd + acd - bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5060 - 5062 + 5613 - 5582 - 4412 + 4424 - 5058 + 5044 + 5047 - 5077 + 5626 - 5599 - 4399 + 4368 - 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(0)^2}{48}$$

$$= 0$$

$$SS_{BC} = \frac{((1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc + d + ad - bd - abd - cd - acd + bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5060 + 5062 - 5613 - 5582 - 4412 - 4424 + 5058 + 5044 + 5047 + 5077 - 5626 - 5599 - 4399 - 4368 + 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(440)^2}{48}$$

$$= 4033.33$$

$$SS_{ABC} = \frac{(a - (1) + b - ab + c - ac - bc + abc - d + ad + bd - abd + cd - acd - bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5062 - 5060 + 5613 - 5582 + 4412 - 4424 - 5058 + 5044 - 5047 + 5077 + 5626 - 5599 + 4399 - 4368 - 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(102)^2}{48}$$

$$= 216.75$$

$$SS_{D} = \frac{(d - (1) - a - b - ab - c - ac - bc - abc + ad + bd + abd + cd + acd + bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5047 - 5060 - 5062 - 5613 - 5582 - 4412 - 4424 - 5058 - 5044 + 5077 + 5626 + 5599 + 4399 + 4368 + 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(-24)^2}{48}$$

$$= 12$$

$$SS_{AD} = \frac{(\underline{(1) - a + b - ab + c - ac + bc - abc - d + ad - bd + abd - cd + acd - bcd + abcd})^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(\underline{5060 - 5062 + 5613 - 5582 + 4412 - 4424 + 5058 - 5044 - 5047 + 5077 - 5626 + 5599 - 4399 + 4368 - 5054 + 5061})^2}{48}$$

$$= \frac{(10)^2}{48}$$

$$= 2.08$$

$$SS_{BD} = \frac{(\underline{(1) + a - b - ab + c + ac - bc - abc - d - ad + bd + abd - cd - acd + bcd + abcd})^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(\underline{5060 + 5062 - 5613 - 5582 + 4412 + 4424 - 5058 - 5044 - 5047 - 5077 + 5626 + 5599 - 4399 - 4368 + 5054 + 5061})^2}{48}$$

$$= \frac{(110)^2}{48}$$

$$= 252.08$$

$$SS_{ABD} = \frac{(\underline{a - (1) + b - ab - c + ac + bc - abc + d - ad - bd + abd + cd - acd - bcd + abcd})^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(\underline{5062 - 5060 + 5613 - 5582 - 4412 + 4424 + 5058 - 5044 + 5047 - 5077 - 5626 + 5599 + 4399 - 4368 - 5054 + 5061})^2}{48}$$

$$= \frac{(40)^2}{48}$$

$$= 33.33$$

$$SS_{CD} = \frac{(\underline{(1) + a + b + ab - c - ac - bc - abc - d - ad - bd - abd + cd + acd + bcd + abcd})^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(\underline{5060 + 5062 + 5613 + 5582 - 4412 - 4424 - 5058 - 5044 - 5047 - 5077 - 5626 - 5599 + 4399 + 4368 + 5054 + 5061})^2}{48}$$

$$= \frac{(-88)^2}{48}$$

$$= 161.33$$

$$SS_{ACD} = \frac{(a - (1) - b + ab + c - ac + bc - abc + d - ad + bd - abd - cd + acd - bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5062 - 5060 - 5613 + 5582 + 4412 - 4424 + 5058 - 5044 + 5047 - 5077 + 5626 - 5599 - 4399 + 4368 - 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(-54)^2}{48}$$

$$= 60.75$$

$$SS_{BCD} = \frac{(b - (1) - a + ab + c + ac - bc - abc + d + ad - bd - abd - cd - acd + bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5613 - 5060 - 5062 + 5582 + 4412 + 4424 - 5058 - 5044 + 5047 + 5077 - 5626 - 5599 - 4399 - 4368 + 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(54)^2}{48}$$

$$= 60.75$$

$$SS_{ABCD} = \frac{((1) - a - b + ab - c + ac + bc - abc - d + ad + bd - abd + cd - acd - bcd + abcd)^2}{16 \times 3}$$

$$= \frac{(5060 - 5062 - 5613 + 5582 - 4412 + 4424 + 5058 - 5044 - 5047 + 5077 + 5626 - 5599 + 4399 - 4368 - 5054 + 5061)^2}{48}$$

$$= \frac{(88)^2}{48}$$

$$= 161.33$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{2} \sum_{k=} \sum_{l=1}^{2} y_{jkl}^2 - \frac{y_{....}^2}{4n}$$

$$= 135932854 - 134958254.1$$

$$= 974599.92$$

$$SS_{ABCD} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - \ldots - SS_{ABCD}$$

$$= 974599.92 - 56.33 - 477603 - 489244 - \ldots - 161.33$$

$$= 2576.11$$

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในการทดลอง

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A	56.33	1	56.33	0.7
B	477603	1	477603	5932.96
AB	126.75	1	126.75	1.57
C	489244	1	489244	6077.5
AC	0	1	0	0
BC	4033.33	1	4033.33	50.1
ABC	216.75	1	216.75	2.69
D	12	1	12	0.15
AD	2.08	1	2.08	0.03
BD	252.08	1	252.08	3.13
ABD	33.33	1	33.33	0.41
CD	161.33	1	161.33	2
ACD	60.75	1	60.75	0.75
BCD	60.75	1	60.75	0.75
ABCD	161.33	1	161.33	2
Error	257.11	32	80.5	
Total	974599.92	47		

$F_{0.05,1,32}$ = 4.17 จากภาคผนวกตารางที่ ก

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า ค่า F_0 ของปัจจัย B = 5932.96 และค่า F_0 ของปัจจัย C = 6077.5 c และค่า F_0 ของปัจจัย BC = 50.1 มีค่ามากกว่า $F_{0.05,1,32}$ ซึ่งแสดงว่าปัจจัย B และปัจจัย C เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความโค้งของกระจก ถ้าต้องการปรับค่าความโค้งของกระจก ให้ทำการปรับค่าแรงดันลมบนและแรงดันลมล่าง

4.3.2 การทดลองช่วงหลัง

เมื่อเราทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความโค้ง คือ แรงดันลมบนและแรงดันลมล่าง เราจะทำการทดลองปรับค่าแรงดันลมบนและล่าง เพื่อหาค่าความโค้งว่าสามารถทำได้อยู่ในช่วงใด โดยจะทำการปรับแรงดันเพิ่มขึ้นทีละ 200 mm.H_2O ซึ่งช่วงของแรงดันลมบนและล่าง คือ 800 – 2200 mm.H_2O โดยเราจะใช้โค้ง 1200 R, 1600 R, 2000 R มาทดลองเพื่อกำหนดว่าความโค้งที่สามารถจะทำได้ของแต่ละชุดความโค้ง โดยมีการปรับค่าแรงดันลมบนและแรงดันลมล่าง การทดลองนี้จะใช้รวมทั้งสิ้น 64 x 3 = 192 ครั้ง มีผลการทดลองแสดงตามตารางที่ 4.6 ถึง 4.8 รูปที่ 4.1 – 4.3 แสดงกราฟผลการทดลองดังกล่าว

ตารางที่ 4.6 ค่าความโค้งเมื่อทำการปรับแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 1200 R

แรงดันลมล่าง / แรงดันลมบน	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
800	1280	1261	1215	1200	1143	1119	1100	1095
1000	1313	1297	1248	1208	1192	1150	1127	1112
1200	1345	1325	1305	1240	1200	1195	1162	1135
1400	1370	1349	1332	1291	1243	1208	1206	1148
1600	1382	1362	1361	1319	1288	1259	1205	1187
1800	1403	1374	1382	1357	1312	1297	1238	1211
2000	1427	1391	1390	1372	1345	1322	1285	1236
2200	1425	1415	1405	1385	1366	1366	1313	1295

ตารางที่ 4.7 ค่าความโค้งเมื่อทำการปรับแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 1600 R

แรงดันลมล่าง / แรงดันลมบน	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
800	1723	1662	1622	1614	1575	1510	1463	1450
1000	1761	1706	1645	1622	1600	1546	1489	1450
1200	1778	1738	1693	1650	1619	1613	1535	1500
1400	1812	1763	1758	1688	1658	1635	1582	1543
1600	1825	1788	1770	1740	1710	1664	1620	1594
1800	1839	1830	1795	1773	1742	1700	1656	1621
2000	1855	1851	1815	1800	1765	1735	1711	1658
2200	1860	1862	1843	1823	1788	1768	1740	1700

ตารางที่ 4.8 ค่าความโค้งเมื่อทำการปรับแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 2000 R

แรงดันลมล่าง / แรงดันลมบน	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
800	2115	2044	2012	2008	1970	1942	1903	1900
1000	2168	2103	2039	2020	1989	1975	1938	1893
1200	2266	2175	2088	2047	2010	2005	1988	1945
1400	2295	2255	2165	2110	2050	2021	2013	1985
1600	2343	2312	2243	2170	2105	2063	2015	2005
1800	2435	2345	2308	2263	2163	2100	2035	2010
2000	2488	2447	2359	2287	2247	2177	2090	2040
2200	2575	2506	2450	2342	2300	2265	2162	2100

ทำการนำค่าที่ได้จากการทดลองปรับค่าแรงดันลมบนและแรงดันลมล่างของโรลเลอร์โค้ง 1200R 1600R และ 2000R จากตารางที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 มาคำนวณหาฟังก์ชันที่เหมาะสมของแต่ละชุดโรลเลอร์ โดยจะใช้โปรแกรม Statgraphic ในการหาฟังก์ชันความสัมพันธ์ของค่าความโค้งกับแรงดันลมบนและแรงดันลมล่าง ซึ่งจะได้สมการดังนี้

-โค้ง 1200R

$$Y = 1356.90 - 0.191924X1 + 0.087406X2 + 0.000035X1X2$$

$$R^2 = 0.9749$$

-โค้ง 1600R

$$Y = 1840.93 - 0.262934X1 + 0.072423X2 + 0.0006X1X2$$

$$R^2 = 0.9853$$

-โค้ง 2000R

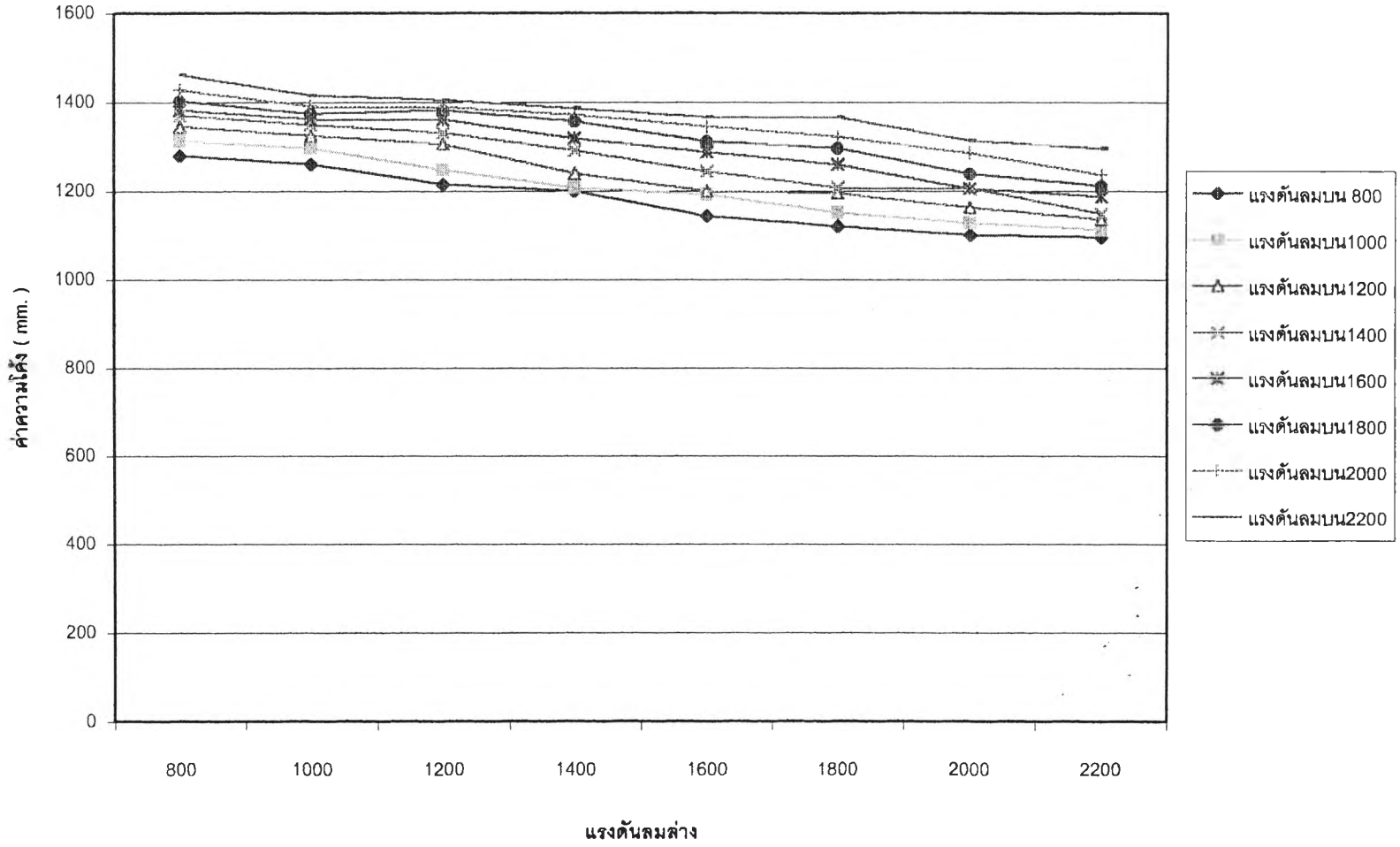
$$Y = 1819.47 - 0.032898X1 + 0.466239X2 - 0.000145X1X2$$

$$R^2 = 0.9791$$

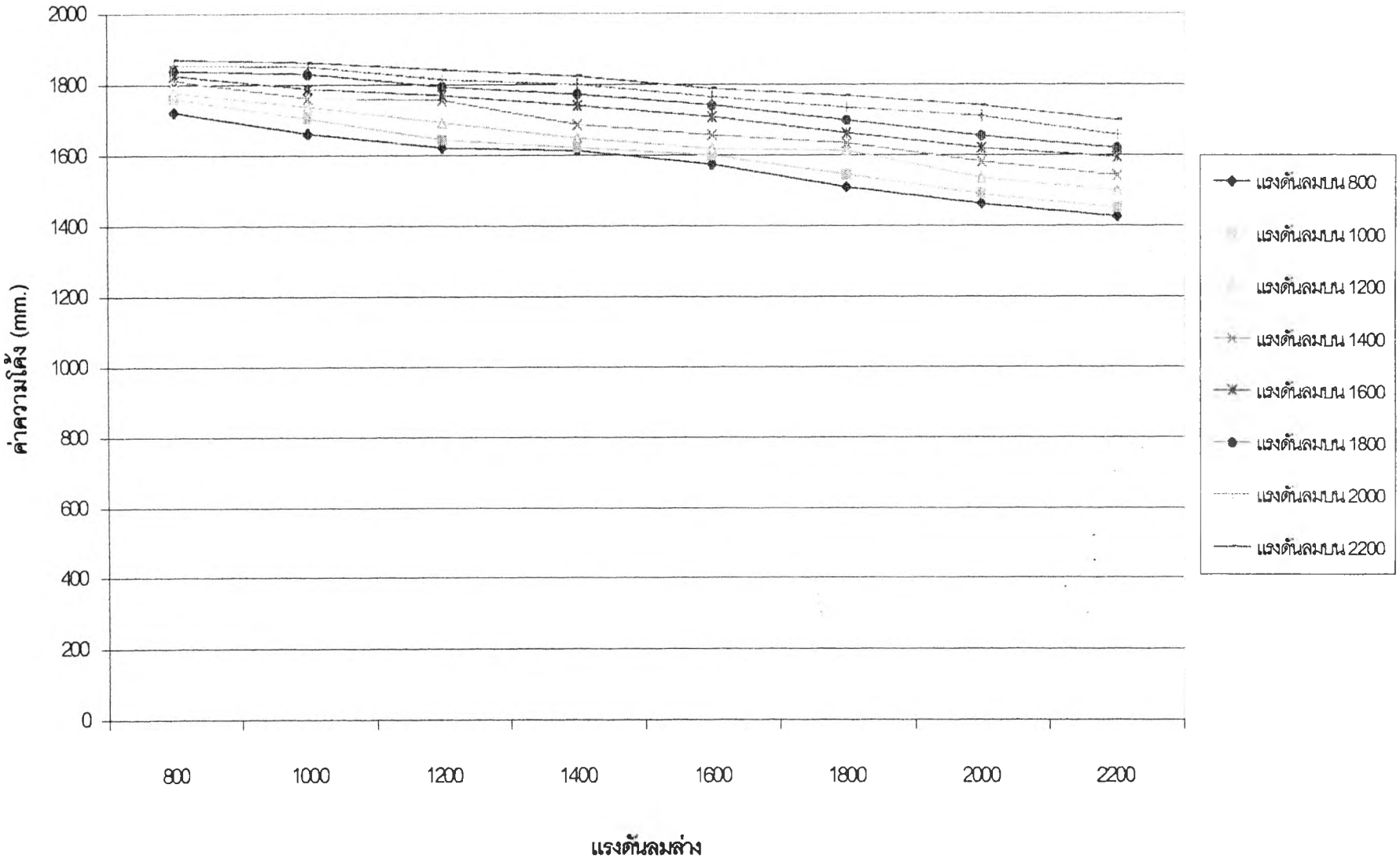
โดยที่ Y = ค่าความโค้ง (มม.)

X1 = แรงดันลมล่าง (มม. น้ำ)

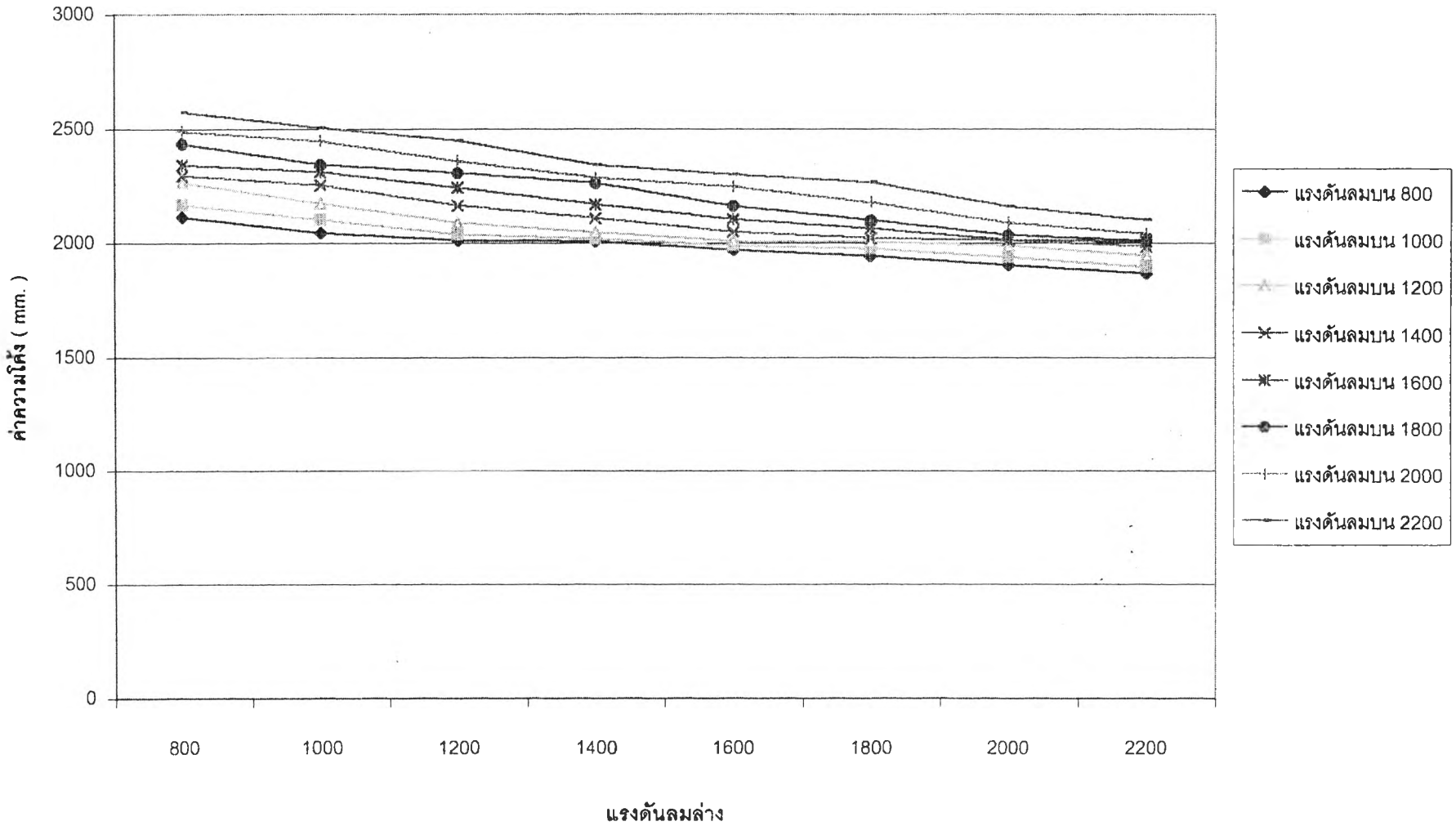
X2 = แรงดันลมบน (มม. น้ำ)



รูปที่ 4.1 ค่าความโค้งเมื่อทำการปรับแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 1200 R



รูปที่ 4.2ค่าความโค้งเมื่อทำการปรับแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 1600R



รูปที่ 4.3 ค่าความโค้งเมื่อทำการปรับแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 2000 R

จากกราฟทั้ง 3 ของรูปที่ 4.1 – 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันบนเพิ่มขึ้นค่าความโค้งจะมากขึ้น และลมล่างมากขึ้น ค่าความโค้งจะน้อยลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลต่างของแรงดันลมบนและแรงดันลมล่างทำให้เกิดค่าความโค้ง ดังนั้นจึงนำค่าที่ได้จากตารางการทดลองมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งกับผลต่างของแรงดันลมบนและแรงดันลมล่าง

ตารางที่ 4.9 ถึง 4.11 แสดงถึงค่าความโค้งจากผลต่างของแรงดันลมบนและล่างของโรลเลอร์โค้ง 1200 R , 1600 R , 2000 R โดยมีรูปที่ 4.4 – 4.6 แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความโค้งกับผลต่างของแรงดันลมบนและล่างสำหรับโรลเลอร์โค้งต่าง ๆ

ตารางที่ 4.9 ค่าความโค้งจากผลต่างของแรงดันลมบนและล่างของโรลเลอร์โค้ง 1200 R

ผลต่างแรงดันลมบนและล่าง	ค่าความโค้ง (mm.)							
1400	1425							
1200	1427	1415						
1000	1403	1391	1405					
800	1382	1374	1390	1385				
600	1370	1362	1382	1372	1366			
400	1345	1349	1361	1357	1345	1366		
200	1313	1325	1332	1319	1312	1322	1313	
0	1280	1297	1305	1291	1288	1297	1285	1295
-200	1261	1248	1240	1243	1259	1238	1236	
-400	1215	1208	1200	1208	1205	1211		
-600	1200	1192	1195	1206	1187			
-800	1143	1150	1162	1148				
-1000	1119	1127	1135					
-1200	1100	1112						
-1400	1095							

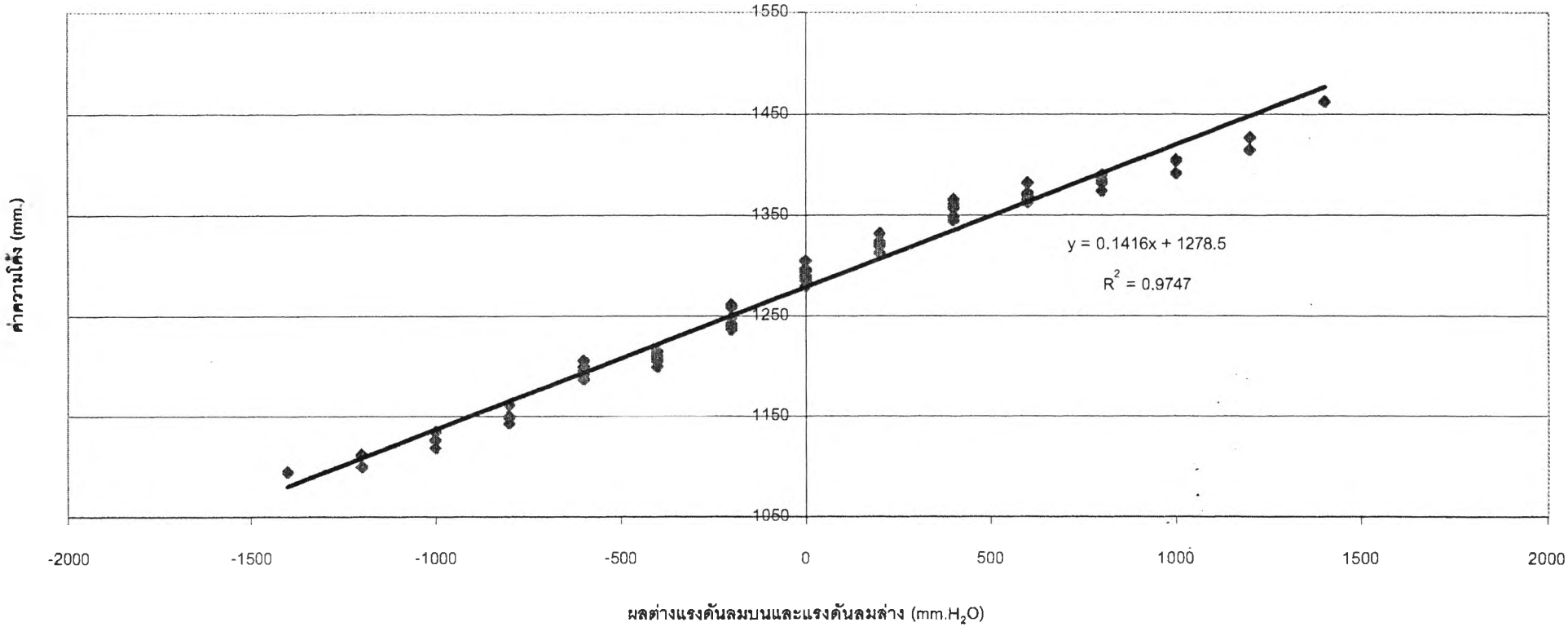
จากตารางที่ 4.9 จะพบว่าเมื่อผลต่างแรงดันลมบนและล่างมาก ค่าความโค้งก็จะมาก เมื่อผลต่างของแรงดันลมบนและล่างน้อย ค่าความโค้งก็จะลดน้อยตาม ดังตัวอย่าง ผลต่างแรงดันลมบนและล่างเท่ากับ 1425 และผลต่างแรงดันลมบนและล่างเท่ากับ –1400 จะได้ค่าความโค้งเท่ากับ 1095

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความโค้งจากผลต่างของแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 1600 R

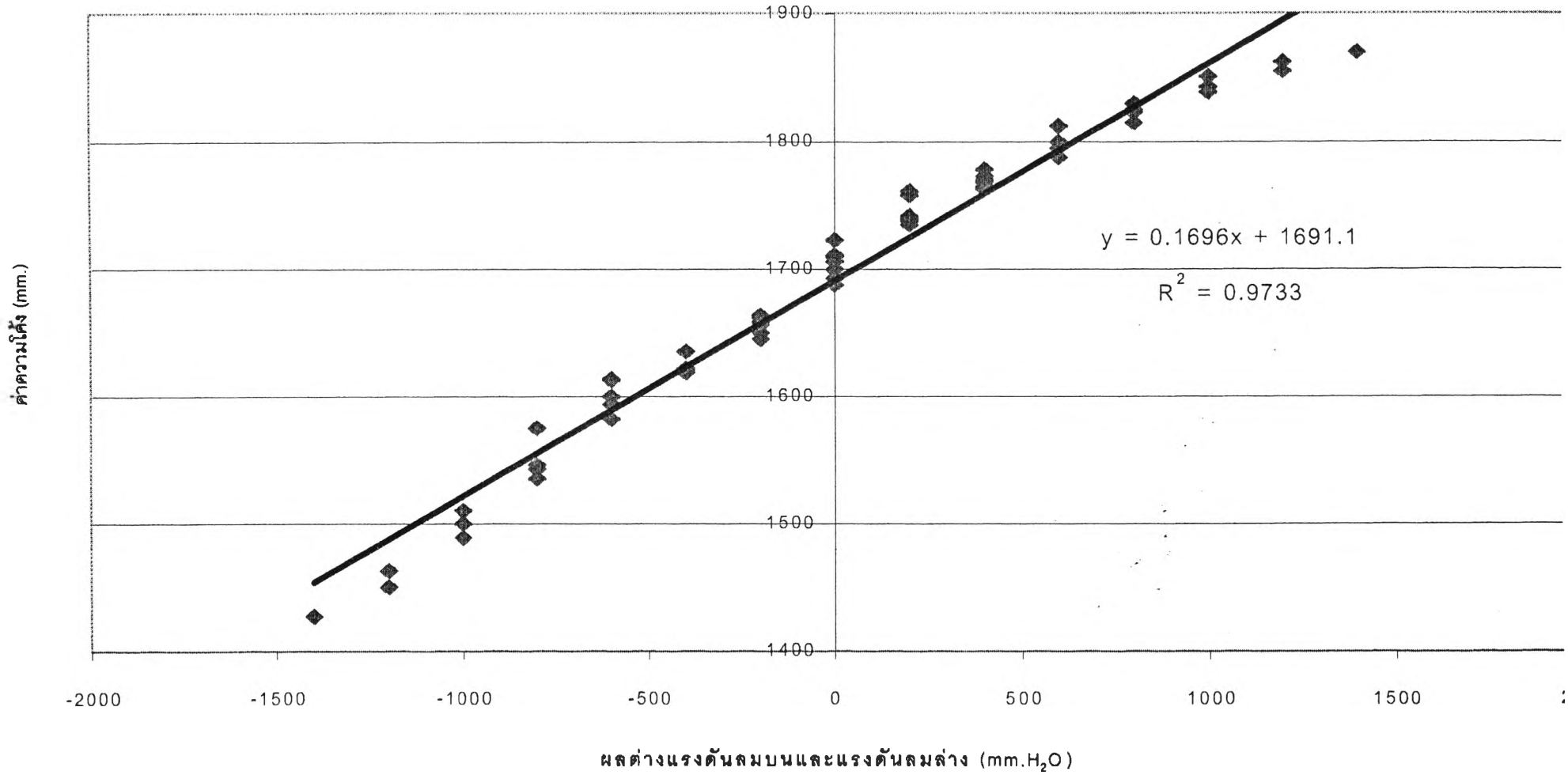
ผลต่างแรงดันลมบนและล่าง	ค่าความโค้ง (mm.)							
1400	1860							
1200	1855	1862						
1000	1839	1851	1843					
800	1825	1830	1815	1823				
600	1812	1788	1795	1800	1788			
400	1778	1763	1770	1773	1765	1768		
200	1761	1738	1758	1740	1742	1735	1740	
0	1723	1706	1693	1688	1710	1700	1711	1700
-200	1662	1645	1650	1658	1664	1656	1658	
-400	1622	1622	1619	1635	1620	1621		
-600	1614	1600	1613	1582	1594			
-800	1575	1546	1535	1543				
-1000	1510	1489	1500					
-1200	1463	1450						
-1400	1450							

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความโค้งจากผลต่างของแรงดันลมบนและล่างของโค้ง 2000 R

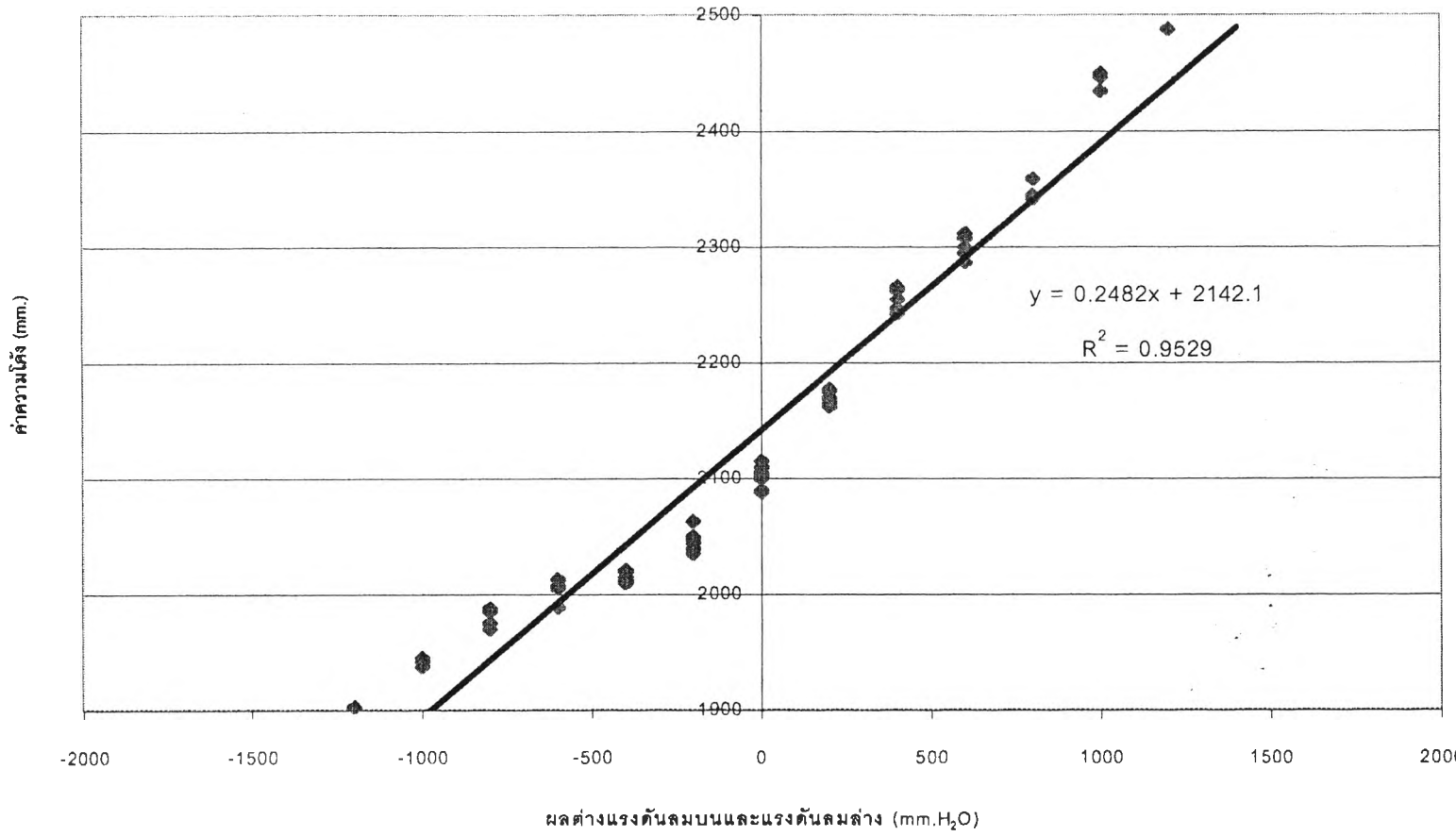
ผลต่างแรงดันลมบนและล่าง	ค่าความโค้ง (mm.)							
1400	2515							
1200	2488	2506						
1000	2435	2447	2450					
800	2343	2345	2359	2342				
600	2295	2312	2308	2287	2300			
400	2266	2255	2243	2263	2247	2265		
200	2168	2175	2165	2170	2163	2177	2162	
0	2115	2103	2088	2110	2105	2100	2090	2100
-200	2044	2039	2047	2050	2063	2035	2040	
-400	2012	2020	2010	2021	2015	2010		
-600	2008	1989	2005	2013	2005			
-800	1970	1975	1988	1985				
-1000	1942	1938	1945					
-1200	1903	1893						
-1400	1900							



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งกับผลต่างแรงดันลมบนและลมล่างของโค้ง 1200 R



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งกับผลต่างแรงดันลมบนและลมล่างของ



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งกับผลต่างแรงดันลมบนและลมล่างของโค้ง 2000 R

จากตารางที่ 4.9 , 4.10 และ 4.11 สามารถสรุปได้ว่า ช่วงค่าความโค้งที่สามารถปรับได้ของแต่ละโรลเลอร์โค้งเป็นดังนี้

(1) โรลเลอร์โค้ง 1200 R สามารถปรับค่าความโค้งอยู่ในช่วง 1095 – 1425 R

(2) โรลเลอร์โค้ง 1600 R สามารถปรับค่าความโค้งอยู่ในช่วง 1450 – 1860 R

(3) โรลเลอร์โค้ง 2000 R สามารถปรับค่าความโค้งอยู่ในช่วง 1900 – 2515 R

และจากราฟรูปที่ 4.4 , 4.5 และ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งกับผลต่างแรงดันลมบนและล่าง จะพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้น คือ

(1) โค้ง 1200 R สมการเชิงเส้น $y = 0.1416x + 1278.5$

(2) โค้ง 1600 R สมการเชิงเส้น $y = 0.1696x + 1691.1$

(3) โค้ง 2000 R สมการเชิงเส้น $y = 0.2482x + 2142.1$

โดยที่ y คือค่าความโค้ง

x คือค่าผลต่างแรงดันลมบนและล่าง