

เอกสารอ้างอิง

1. เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย, 2550, **เทคนิคการขึ้นรูปและวัสดุและแม่พิมพ์ต้นกำเนิดของผลิตภัณฑ์**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์ อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันไทย-เยอรมัน, หน้า 69-99.
2. Keinosuke, A., 1967, **AIDA PRESS HANDBOOK**, 3rd ed., Aida Engineering, Ltd., pp.118-179.
3. Taylan, A., Gracious, N. and Gangshu, S., 2004, **Cold and Hot Forging Fundamental and Application**, pp.70-71.
4. ดำรง ไชยธีรราญวัณศิริ, 2537, **การขึ้นรูปโลหะ**, พิมพ์ครั้งที่1, สำนักพิมพ์ บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 58-57.
5. ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์ และคณะ, 2545, **การตีกระทง**, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, หน้า 9-36, 122-123.
6. Stachowiak, G.W., 2001, **Engineering Tribology**, Butterworth-Heinemann, United State of America, pp. 483-527.
7. Schey, J.A., 1984, **Tribology in Metalworking**, The American Society for Metals, USA., pp. 1-5.
8. Koji, K. and Koshi, K., 1999, "Wear Mechanisms", **Modern Tribology Handbook**, Mc Graw-Hill , New York, pp. 273-299.
9. International Cold Forging Group (ICFG), **Lubrication aspects in cold forging of aluminum and aluminum alloys**, Document No.10/95, Date: 10.8.1995.
10. Bay, N., 1997, "Cold forming of aluminium-state of the art", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.71, pp. 76-90.

11. Bharat, B., 2001, **Modern Tribology Handbook**, Boca Raton London, New York, pp.49-85.
12. ฉันทฐนนท์ มูลสระคู, 2007, การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการดึงท่อทองแดงโดยศึกษาการหล่อลื่น, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 59-64.
13. JIS B 0601: 2009, **Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture : Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters**, pp. 81-105.
14. Busschhausen, A. and Weinmann, K., “Evaluation of lubrication and friction in cold forging using a double backward-extrusion process”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.33 (1992), pp. 95-108.
15. Ghobrial, M.I. and Lee, J.Y., “Factors Affecting the Double Cup Extrusion Test for Evaluation of Friction in Cold and Warm Forging”, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Vol.42 (1993), pp. 347-351.
16. Timothy, S., Manas, S. and Taylan, A., “A critical evaluation of the double cup extrusion test for selection of cold forging lubricants”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.189 (2007), pp. 36–44.
17. Mark, G., Gracious, N. and Taylan, A., “Evaluation of new cold forging lubricants without zinc phosphate precoat”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Vol.47 (2007), pp. 673–681.
18. Arentoft, M., Bay, N., Tang, P.T. and Jensen, J.D., “A new lubricant carrier for metal forming”, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Vol.58 (2009), pp. 243–246.
19. Dutton, R.E., Seetharaman, V., Goetz, R.L. and Semiatin, S.L., “Effect of flow softening on ring test calibration curves”, **Materials Science and Engineering**, A270 (1999), pp. 249-253.

20. Lazzarotto, L., Marechal, C., Dubar, L., Dubois A. and Oudin, J., “The effects of processing bath parameters on the quality and performance of zinc phosphate stearate coatings”, **Surface and Coatings Technology**, Vol.122 (1999), pp. 94-100.
21. Liqun, R., Hiroyuki, S., Yasuo, M. and Yasuhiro, I., “Evaluation of coating-based lubricants for cold forging using the localized rod-drawing test”, **Wear**, Vol. 259 (2005), pp. 111-112.
22. Gracious, N., Hiroyuki, S., Liqun, R. and Yasuo, M., “A tribo-testing method for high performance cold forging lubricants”, **Wear**, Vol. 262(2007), pp. 684-692.
23. Farias, M.C.M., Santos, C.A.L., Panossian, Z. and Sinatora, A., “Friction behavior of lubricated zinc phosphate coatings”, **Wear**, Vol. 266 (2009), pp. 873-877.
24. Robinson, T., Ou, H. and Armstrong, C.G., “Study on ring compression test using physical modeling and FE simulation”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 153-154 (2004), pp. 54-59.
25. John, A.W. and Rob, S.D.J., 1999, “Contact between Solid Surfaces”, In **Modern Tribology Handbook Volume One**, New York, Mc Graw-Hill, pp. 121-159.
26. Johnson, K.L., 1994, **Contact mechanics**, Cambridge university press, United State of America, pp. 92-93.
27. Kathleen, M. (Ed.), 1985, **ASM Metal Handbook of Metallurgy and Microstructures**, 9th ed., American Society for Metal, Metal Park, Vol. 9, pp. 351-388.
28. ASTM G133-95, **Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear**, pp. 523-536

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่าแรงดันสัมผัส (Contact Pressure) สำหรับการทดสอบ Ball on disc

ก.1 การคำนวณค่าแรงดันสัมผัส (Contact pressure)

แรงกดที่จุดสัมผัสระหว่างบอลกับแผ่นจานในการทดสอบ Ball on disc จะทำให้เกิดความเค้นขึ้น ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวบอกค่าความเค้นสัมผัสที่เกิดบนแผ่นจานหมุนแล้วทำให้เกิดความเสียหาย โดยขนาดของความเค้นสัมผัสจะเป็นไปตามกฎของ Hertzian Equation [25, 26]

การคำนวณค่าแรงดันสัมผัสมีสูตรคำนวณดังนี้ [25, 26]

$$P_0 = \frac{3F}{2\pi a^2} = \left(\frac{6FE^*2}{\pi^3 R^*2} \right)^{1/3}$$

โดยที่ P_0 = ความเค้นสูงสุดที่วัดได้ ที่เกิดในวัสดุ, N/mm²

F = แรงกดที่กระทำที่บอล, N

a = รัศมีของพื้นที่ที่สัมผัส, mm (จากรูป ก.1) หาได้จาก

$$a = \left(\frac{3FR^*}{4E^*} \right)^{1/3}$$

R^* = ค่ารัศมีความโค้งประสิทธิผล, mm

พิจารณาจากผลกระทบของรัศมีความโค้งของผิวสัมผัสทั้งสอง หาได้จาก

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_{ball}} + \frac{1}{R_{disk}} = \frac{1}{R_{ball}} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{R_{ball}}$$

E^* = Effective young's modulus, N/mm²

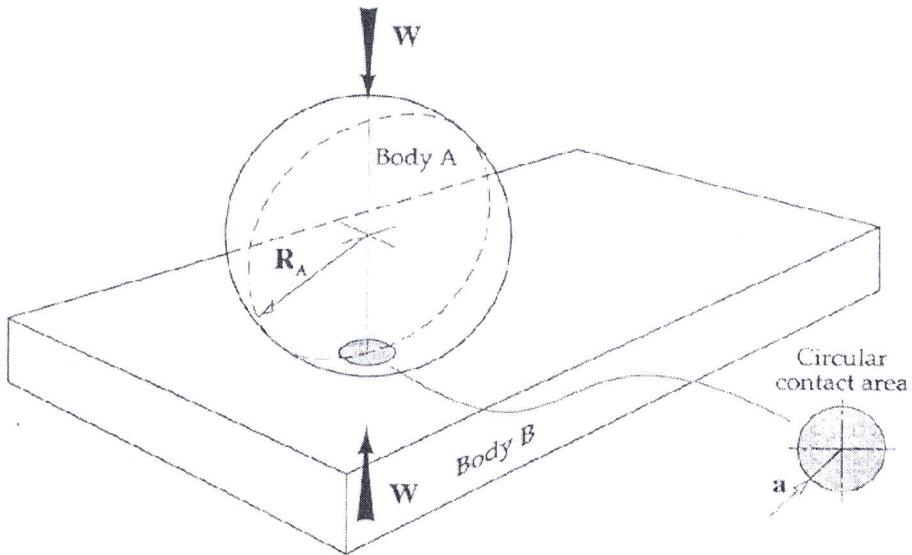
พิจารณาจากผลกระทบของการยืดหยุ่นของวัสดุทั้งสองที่สัมผัสกัน หาได้จาก

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_{ball}^2}{E_{ball}} + \frac{1 - \nu_{disk}^2}{E_{disk}}$$

E_{ball}, E_{disc} = ค่า Young's modulus ของวัสดุบอล และแผ่นจานตามลำดับ

ν_{ball}, ν_{disc} = ค่า Poisson ratio ของวัสดุบอล และแผ่นจานตามลำดับ

R_{ball}, R_{disc} = รัศมีความโค้งของลูกบอล และแผ่นจานตามลำดับ โดยรัศมีความโค้งของแผ่นจานมีค่าเท่ากับ Infinity



รูปที่ ก.1 การสัมผัสกันระหว่างลูกบอลและแผ่นจานในการทดสอบ Ball on disc [6]

จาก

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_{ball}^2}{E_{ball}} + \frac{1 - \nu_{disc}^2}{E_{disc}}$$

โดยที่

$$E_{ball} = 207,000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{disc} = 68,900 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu_{ball} = 0.29$$

$$\nu_{disc} = 0.33$$

จะได้ว่า

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - (0.29)^2}{207,000} + \frac{1 - (0.33)^2}{68,900}$$

$$E^* = 57,610.72 \text{ N/mm}^2$$

จาก

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_{ball}} + \frac{1}{R_{disk}} = \frac{1}{R_{ball}} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{R_{ball}}$$

โดยที่

$$R_{ball} = 6 \text{ mm}$$

$$R_{disk} = \infty$$

จะได้ว่า

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{6} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{6}$$

$$R^* = 6 \text{ mm}$$



เมื่อใช้แรงกด 1 N

จาก

$$a = \left(\frac{3FR^*}{4E^*} \right)^{1/3}$$

โดยที่ $F = 1 \text{ N}$

$$E^* = 57,610.72 \text{ N/mm}^2$$

$$R^* = 6 \text{ mm}$$

จะได้ว่า

$$a = \left(\frac{3 \times 1 \times 6}{4 \times 57,610.72} \right)^{1/3}$$

$$a = 0.042747 \text{ mm}$$

จาก

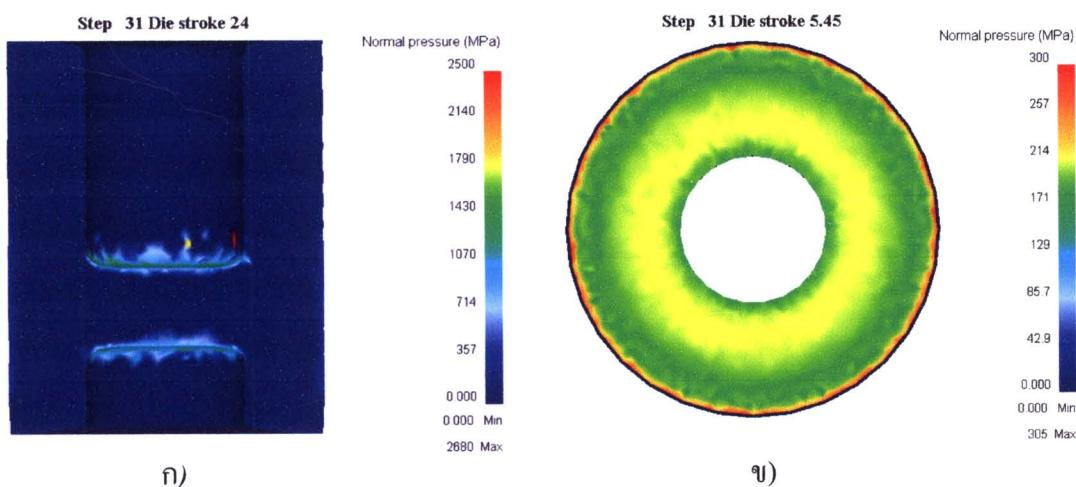
$$P_0 = \frac{3F}{2\pi a^2} = \left(\frac{6FE^{*2}}{\pi^3 R^{*2}} \right)^{1/3}$$

จะได้ว่า

$$P_0 = \frac{3F}{2\pi a^2} = \frac{3 \times 1}{2 \times \pi \times 0.042747^2}$$

$$P_0 = 261.29 \text{ N/mm}^2$$

แรงกด 1 N ทำให้เกิดแรงดันสัมผัส 261.29 N/mm^2



รูปที่ ก.2 แสดง Normal pressure ที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation ของ การทดสอบ ก) Double cup extrusion test และ ข) การทดสอบ Ring compression test

จากรูปที่ ก.2 แสดงค่า Normal pressure ที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปด้วย Finite Element Simulation ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Normal pressure สูงสุดของการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test อยู่ที่ 2,680 MPa และ 305 MPa ตามลำดับ

จากการคำนวณค่าแรงดันสัมผัสที่ใช้ในการทดสอบ Ball on disc พบว่าแรงกดที่ 1 N ทำให้เกิดแรงดันสัมผัส 261.29 MPa ดังนั้นแรงกดที่ใช้สำหรับการทดสอบ Ball on disc ให้มีแรงดันสัมผัสใกล้เคียงกับการทดสอบ Double cup extrusion test และ Ring compression test คือ 10.26 N และ 1.67 N ตามลำดับ ดังนั้นการทดสอบ Ball on disc ในครั้งนี้จึงใช้แรงกดที่ 10 N เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากการใช้แรงกดประมาณ 1-2 N ใช้เวลาในการทดสอบนานมากจนทำให้เครื่องทดสอบ error และไม่สามารถทำการทดสอบได้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลาย Poulton' reagent สำหรับกักตุนการไหลตัว
หลังการขึ้นรูปของอลูมิเนียมเกรด AA6063

ข.1 การทำการเตรียมและทดสอบชิ้นทดสอบงานเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค (Macrograph)

1. ตัดชิ้นงานที่ผ่านการชุบขึ้นรูป
2. นำชิ้นทดสอบมาขัดด้วยกระดาษทรายเครื่องขัดสายพาน เพื่อปรับผิวหน้าชิ้นทดสอบ
3. ขัดกระดาษ 150, 220, 350, 450, 600, 800, 1000, 1200 ตามลำดับ
4. ขัดชิ้นงานด้วยเครื่องขัดสกัดหลาด (Polishing) โดยใช้ผงอลูมิน่า 0.5 ไมครอนผสมน้ำ
5. นำชิ้นงานมากัดผิวหน้าโดยใช้สารละลาย Poulton'reagent จากตารางที่ ข.1 สำหรับอลูมิเนียม Al 6063 เป็นเวลา 30 วินาที ล้างคราบที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 50 % แล้วล้างออกด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ และเป่าให้แห้ง
6. นำชิ้นงานมาถ่ายโครงสร้างมหภาค

ตารางที่ ข.1 ส่วนผสมของกรดที่ใช้ในการทดสอบ [27]

Table 1 Etchants for macroscopic examination of aluminum alloys

See Table 2 for applicability to specific alloys

Etchant	Composition	Procedure for use
1 (caustic etch)	10 g NaOH to each 90 mL H ₂ O	Immerse specimen 5-15 min in solution heated to 60-70 °C (140-160 °F)(a), rinse in water, dip in 50% HNO ₃ solution to desmut, rinse in water, dry.
2 (Tucker's reagent)	45 mL HCl (conc), 15 mL HNO ₃ (conc), 15 mL HF (48%), 25 mL H ₂ O	Mix fresh before using. Immerse or swab specimen for 10-15 s, rinse in warm water, dry, and examine for desired effect. Repeat until desired effect is obtained.
3	1 mL HF (48%), 9 mL H ₂ O	Requires fairly smooth surface. Immerse until desired effect is obtained, hot water rinse, dry.
4 (Poulton's reagent)	12 mL HCl (conc), 6 mL HNO ₃ (conc), 1 mL HF (48%), 1 mL H ₂ O	May be premixed and stored(b) for long periods. Etch by brief immersion or by swabbing. Rinse in cool water, and do not allow the etchant or the specimen to heat during etching.
5	50 mL HCl (conc), 15 mL HNO ₃ (conc), 3 mL HF (48%), 5 mL FeCl ₃ solution (conc)	Mix fresh before using. Cool solution to 10-15 °C (50-60 °F) with jacket of cold water. Immerse a few seconds, rinse in cold water; repeat until desired effect is obtained.
6	10 mL HCl (conc), 30 mL HNO ₃ (conc), 20 mL H ₂ O, 5 g FeCl ₃	Mix fresh before using. Add HCl last. Use at room temperature. Immerse a few seconds, rinse in cold water, repeat until desired effect is obtained. Can also use by swabbing.
7	60 mL HCl (conc) 40 mL HNO ₃ (conc)	Mix fresh before using. Immerse or swab for a few seconds, rinse in cold water, dry, examine. Repeat until desired effect is obtained.
8	20 g CuCl ₂ (cupric chloride), 100 mL H ₂ O	Immerse specimen for a few seconds. Remove copper deposit with a mixture of 6 parts HNO ₃ (conc) and 1 part HF (conc). Repeat until desired effect is obtained. cleaning with HNO ₃ -HF mixture and rinsing in water between steps.

(a) This etchant may be used without being heated, but etching action will be slower. (b) Solution should be stored in a vented container, preferably under a fume hood, to prevent buildup of gas pressure. The container should be made of polyethylene or be lined with wax.

ข.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย Poulton'reagent สำหรับอูมิเนียมเกรด AA6063

1. เตรียมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร
2. เตรียมกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric Acid) 1 มิลลิลิตร การเตรียมกรดไฮโดรฟลูออริกจะต้องใช้ภาชนะบรรจุที่เป็นพลาสติกเนื่องจากกรดไฮโดรฟลูออริก สามารถกัดแก้วทำให้เสียหายได้
3. เตรียมกรดไนตริก (Nitric Acid) 6 มิลลิลิตร
4. เตรียมกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) 12 มิลลิลิตร
5. นำส่วนผสมทั้งสามชนิดเทรวมกัน โดยที่นำกรดไปผสมกับน้ำกลั่น และกวนให้เข้ากันควรเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด

ข.3 ข้อควรระวังในการเตรียมและกักกรดเพื่อตรวจสอบโครงสร้าง

เนื่องจากสารละลายที่นำมาทดสอบ โครงสร้างนั้นเป็นอันตรายต่อร่างกาย ในการใช้งานนั้นควรมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายดังนี้

1. ในการเตรียมสารละลายหรือขั้นตอนการตรวจสอบ โครงสร้างควรสวมถุงมือยางและมีฝาปิดจุกป้องกัน
2. ในการเตรียมสารละลายควรเตรียมในบริเวณหรือในสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก
3. หากเกิดอันตรายจากกรดเข้าที่บริเวณผิวหนังหรือดวงตาควรล้างออกด้วยน้ำสะอาดทันที

ภาคผนวก ค

ข้อมูลสำหรับการจัดทำ Calibration curve ของการทดสอบ Ring compression test ที่ได้
จากการจำลอง Finite Element Simulation (DEFORM-3D)

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานเท่ากับ 0.00 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8955	-0.12913	1.66541
2	10.2278	16.0278	-0.96220	3.32892
3	10.0518	16.1503	-1.73386	4.99244
4	9.8758	16.3066	-2.71874	6.65595
5	9.7010	16.4511	-3.62866	8.30813
6	9.5250	16.6006	-4.57071	9.97164
7	9.3490	16.7543	-5.53858	11.63516
8	9.1730	16.9123	-6.53417	13.29868
9	8.9970	17.0751	-7.55969	14.96219
10	8.8210	17.2427	-8.61512	16.62571
11	8.6450	17.4155	-9.70362	18.28922
12	8.4690	17.5936	-10.82583	19.95274
13	8.2930	17.7775	-11.98394	21.61626
14	8.1170	17.9671	-13.17858	23.27977
15	7.9410	18.1610	-14.40000	24.94329
16	7.7650	18.3638	-15.67717	26.60681
17	7.5890	18.5734	-16.99780	28.27032
18	7.4130	18.7905	-18.36535	29.93384
19	7.2370	19.0155	-19.78268	31.59735
20	7.0610	19.2488	-21.25228	33.26087
21	6.8850	19.4910	-22.77764	34.92439
22	6.7090	19.7426	-24.36252	36.58790
23	6.5330	20.0042	-26.01039	38.25142
24	6.3570	20.2764	-27.72535	39.91493
25	6.1810	20.5602	-29.51276	41.57845
26	6.0050	20.8566	-31.38016	43.24197
27	5.8290	21.1664	-33.33165	44.90548
28	5.6530	21.4908	-35.37480	46.56900
29	5.4770	21.8306	-37.51528	48.23251
30	5.3010	22.1871	-39.76126	49.89603
31	5.1250	22.5618	-42.12157	51.55955
32	4.9490	22.9566	-44.60819	53.22306
33	4.7730	23.3730	-47.23150	54.88658
34	4.5970	23.8125	-50.00000	56.55009
35	4.4210	24.2789	-52.93764	58.21361

ตารางที่ ค.2 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียหายเท่ากับ 0.02 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8772	-0.01386	1.66541
2	10.2278	15.9893	-0.71969	3.32892
3	10.0518	16.0476	-1.08693	4.99244
4	9.8758	16.1652	-1.82772	6.65595
5	9.7010	16.2864	-2.59150	8.30813
6	9.5250	16.4101	-3.37071	9.97164
7	9.3490	16.5365	-4.16693	11.63516
8	9.1730	16.6657	-4.98047	13.29868
9	8.9970	16.7977	-5.81228	14.96219
10	8.8210	16.9328	-6.66299	16.62571
11	8.6450	17.0708	-7.53260	18.28922
12	8.4690	17.2122	-8.42299	19.95274
13	8.2930	17.3568	-9.33386	21.61626
14	8.1170	17.5047	-10.26551	23.27977
15	7.9410	17.6562	-11.21984	24.94329
16	7.7650	17.8113	-12.19685	26.60681
17	7.5890	17.9701	-13.19748	28.27032
18	7.4130	18.1319	-14.21638	29.93384
19	7.2370	18.2976	-15.26047	31.59735
20	7.0610	18.4679	-16.33291	33.26087
21	6.8850	18.6422	-17.43118	34.92439
22	6.7090	18.8209	-18.55685	36.58790
23	6.5330	19.0038	-19.70898	38.25142
24	6.3570	19.1910	-20.88819	39.91493
25	6.1810	19.3807	-22.08283	41.57845
26	6.0050	19.5745	-23.30362	43.24197
27	5.8290	19.7744	-24.56283	44.90548
28	5.6530	19.9769	-25.83874	46.56900
29	5.4770	20.1838	-27.14205	48.23251
30	5.3010	20.3952	-28.47370	49.89603
31	5.1250	20.6101	-29.82709	51.55955
32	4.9490	20.8287	-31.20441	53.22306
33	4.7730	21.0500	-32.59811	54.88658
34	4.5970	21.2707	-33.98835	56.55009
35	4.4210	21.4925	-35.38551	58.21361

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.03 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8681	0.04378	1.66541
2	10.2278	15.9695	-0.59496	3.32892
3	10.0518	16.0746	-1.25732	4.99244
4	9.8758	16.1828	-1.93858	6.65595
5	9.7010	16.2922	-2.62772	8.30813
6	9.5250	16.4047	-3.33669	9.97164
7	9.3490	16.5189	-4.05606	11.63516
8	9.1730	16.6555	-4.91622	13.29868
9	8.9970	16.7537	-5.53512	14.96219
10	8.8210	16.8744	-6.29543	16.62571
11	8.6450	16.9972	-7.06866	18.28922
12	8.4690	17.1221	-7.85575	19.95274
13	8.2930	17.2492	-8.65606	21.61626
14	8.1170	17.3783	-9.46961	23.27977
15	7.9410	17.5097	-10.29701	24.94329
16	7.7650	17.6431	-11.13764	26.60681
17	7.5890	17.7787	-11.99181	28.27032
18	7.4130	17.9163	-12.85858	29.93384
19	7.2370	18.0558	-13.73732	31.59735
20	7.0610	18.1974	-14.62898	33.26087
21	6.8850	18.3406	-15.53134	34.92439
22	6.7090	18.4853	-16.44283	36.58790
23	6.5330	18.6313	-17.36252	38.25142
24	6.3570	18.7784	-18.28913	39.91493
25	6.1810	18.9262	-19.22016	41.57845
26	6.0050	19.0745	-20.15402	43.24197
27	5.8290	19.2222	-21.08441	44.90548
28	5.6530	19.3698	-22.01417	46.56900
29	5.4770	19.5155	-22.93228	48.23251
30	5.3010	19.6586	-23.83339	49.89603
31	5.1250	19.7985	-24.71465	51.55955
32	4.9490	19.9307	-25.54740	53.22306
33	4.7730	20.0571	-26.34362	54.88658
34	4.5970	20.1751	-27.08693	56.55009
35	4.4210	20.2810	-27.75402	58.21361

ตารางที่ ก.4 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.04 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8579	0.10772	1.66541
2	10.2278	15.9488	-0.46457	3.32892
3	10.0518	16.0421	-1.05228	4.99244
4	9.8758	16.1382	-1.65795	6.65595
5	9.7010	16.2343	-2.26331	8.30813
6	9.5250	16.3330	-2.88504	9.97164
7	9.3490	16.4326	-3.51244	11.63516
8	9.1730	16.5337	-4.14929	13.29868
9	8.9970	16.6368	-4.79843	14.96219
10	8.8210	16.7411	-5.45543	16.62571
11	8.6450	16.8462	-6.11780	18.28922
12	8.4690	16.9529	-6.78961	19.95274
13	8.2930	17.0605	-7.46740	21.61626
14	8.1170	17.1688	-8.14992	23.27977
15	7.9410	17.2779	-8.83717	24.94329
16	7.7650	17.3875	-9.52756	26.60681
17	7.5890	17.4978	-10.22205	28.27032
18	7.4130	17.6082	-10.91780	29.93384
19	7.2370	17.7189	-11.61480	31.59735
20	7.0610	17.8290	-12.30866	33.26087
21	6.8850	17.9383	-12.99685	34.92439
22	6.7090	18.0466	-13.67937	36.58790
23	6.5330	18.1534	-14.35181	38.25142
24	6.3570	18.2578	-15.00976	39.91493
25	6.1810	18.3599	-15.65291	41.57845
26	6.0050	18.4585	-16.27370	43.24197
27	5.8290	18.5523	-16.86488	44.90548
28	5.6530	18.6406	-17.42110	46.56900
29	5.4770	18.7221	-17.93417	48.23251
30	5.3010	18.7949	-18.39307	49.89603
31	5.1250	18.8565	-18.78110	51.55955
32	4.9490	18.9051	-19.08693	53.22306
33	4.7730	18.9408	-19.31213	54.88658
34	4.5970	18.9594	-19.42898	56.55009
35	4.4210	18.9629	-19.45102	58.21361

ตารางที่ ค.5 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานเท่ากับ 0.05 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8482	0.16882	1.66541
2	10.2278	15.9289	-0.33921	3.32892
3	10.0518	16.0107	-0.85449	4.99244
4	9.8758	16.0942	-1.38047	6.65595
5	9.7010	16.1773	-1.90425	8.30813
6	9.5250	16.2627	-2.44189	9.97164
7	9.3490	16.3498	-2.99087	11.63516
8	9.1730	16.4377	-3.54425	13.29868
9	8.9970	16.5254	-4.09669	14.96219
10	8.8210	16.6134	-4.65102	16.62571
11	8.6450	16.7012	-5.20409	18.28922
12	8.4690	16.7944	-5.79150	19.95274
13	8.2930	16.8769	-6.31087	21.61626
14	8.1170	16.9644	-6.86236	23.27977
15	7.9410	17.0511	-7.40819	24.94329
16	7.7650	17.1368	-7.94803	26.60681
17	7.5890	17.2212	-8.47969	28.27032
18	7.4130	17.3039	-9.00094	29.93384
19	7.2370	17.3847	-9.50961	31.59735
20	7.0610	17.4629	-10.00220	33.26087
21	6.8850	17.5379	-10.47465	34.92439
22	6.7090	17.6092	-10.92378	36.58790
23	6.5330	17.6763	-11.34677	38.25142
24	6.3570	17.7382	-11.73638	39.91493
25	6.1810	17.7952	-12.09543	41.57845
26	6.0050	17.8445	-12.40598	43.24197
27	5.8290	17.8857	-12.66551	44.90548
28	5.6530	17.9154	-12.85260	46.56900
29	5.4770	17.9377	-12.99339	48.23251
30	5.3010	17.9483	-13.05984	49.89603
31	5.1250	17.9495	-13.06772	51.55955
32	4.9490	17.9414	-13.01638	53.22306
33	4.7730	17.9253	-12.91528	54.88658
34	4.5970	17.8899	-12.69228	56.55009
35	4.4210	17.8414	-12.38677	58.21361

ตารางที่ ค.6 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.055 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8430	0.20189	1.66541
2	10.2278	15.9186	-0.27465	3.32892
3	10.0518	15.9941	-0.75024	4.99244
4	9.8758	16.0708	-1.23307	6.65595
5	9.7010	16.1469	-1.71276	8.30813
6	9.5250	16.2256	-2.20819	9.97164
7	9.3490	16.3058	-2.71339	11.63516
8	9.1730	16.3864	-3.22142	13.29868
9	8.9970	16.4662	-3.72409	14.96219
10	8.8210	16.5459	-4.22583	16.62571
11	8.6450	16.6252	-4.72567	18.28922
12	8.4690	16.7039	-5.22142	19.95274
13	8.2930	16.7817	-5.71150	21.61626
14	8.1170	16.8583	-6.19402	23.27977
15	7.9410	16.9335	-6.66740	24.94329
16	7.7650	17.0069	-7.13008	26.60681
17	7.5890	17.0783	-7.57953	28.27032
18	7.4130	17.1469	-8.01165	29.93384
19	7.2370	17.2135	-8.43118	31.59735
20	7.0610	17.2769	-8.83087	33.26087
21	6.8850	17.3357	-9.20126	34.92439
22	6.7090	17.3891	-9.53732	36.58790
23	6.5330	17.4363	-9.83496	38.25142
24	6.3570	17.4774	-10.09386	39.91493
25	6.1810	17.5112	-10.30646	41.57845
26	6.0050	17.5367	-10.46709	43.24197
27	5.8290	17.5540	-10.57638	44.90548
28	5.6530	17.5619	-10.62614	46.56900
29	5.4770	17.5625	-10.62961	48.23251
30	5.3010	17.5561	-10.58961	49.89603
31	5.1250	17.5404	-10.49039	51.55955
32	4.9490	17.5130	-10.31780	53.22306
33	4.7730	17.4747	-10.07685	54.88658
34	4.5970	17.4243	-9.75937	56.55009
35	4.4210	17.3514	-9.30016	58.21361

ตารางที่ ค.7 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียหายเท่ากับ 0.06 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8380	0.23339	1.66541
2	10.2278	15.9092	-0.21512	3.32892
3	10.0518	15.9793	-0.65669	4.99244
4	9.8758	16.0503	-1.10425	6.65595
5	9.7010	16.1205	-1.54646	8.30813
6	9.5250	16.1918	-1.99528	9.97164
7	9.3490	16.2646	-2.45417	11.63516
8	9.1730	16.3374	-2.91276	13.29868
9	8.9970	16.4093	-3.36567	14.96219
10	8.8210	16.4807	-3.81512	16.62571
11	8.6450	16.5512	-4.25953	18.28922
12	8.4690	16.6203	-4.69480	19.95274
13	8.2930	16.6878	-5.12000	21.61626
14	8.1170	16.7535	-5.53354	23.27977
15	7.9410	16.8174	-5.93638	24.94329
16	7.7650	16.8793	-6.32630	26.60681
17	7.5890	16.9384	-6.69858	28.27032
18	7.4130	16.9944	-7.05102	29.93384
19	7.2370	17.0480	-7.38898	31.59735
20	7.0610	17.0954	-7.68756	33.26087
21	6.8850	17.1354	-7.93921	34.92439
22	6.7090	17.1710	-8.16378	36.58790
23	6.5330	17.1968	-8.32598	38.25142
24	6.3570	17.2215	-8.48157	39.91493
25	6.1810	17.2353	-8.56850	41.57845
26	6.0050	17.2408	-8.60346	43.24197
27	5.8290	17.2418	-8.60945	44.90548
28	5.6530	17.2369	-8.57890	46.56900
29	5.4770	17.2247	-8.50173	48.23251
30	5.3010	17.2031	-8.36567	49.89603
31	5.1250	17.1715	-8.16693	51.55955
32	4.9490	17.1285	-7.89606	53.22306
33	4.7730	17.0731	-7.54709	54.88658
34	4.5970	17.0010	-7.09260	56.55009
35	4.4210	16.9087	-6.51118	58.21361

ตารางที่ ค.8 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.07 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.40380	15.82815	0.29512	1.66541
2	10.22780	15.88810	-0.08252	3.32892
3	10.05180	15.96515	-0.56787	4.99244
4	9.87580	16.00410	-0.81323	6.65595
5	9.70100	16.05990	-1.16472	8.30813
6	9.52500	16.11740	-1.52693	9.97164
7	9.34900	16.17615	-1.89701	11.63516
8	9.17300	16.23470	-2.26583	13.29868
9	8.99700	16.29100	-2.62047	14.96219
10	8.82100	16.34445	-2.95717	16.62571
11	8.64500	16.39695	-3.28787	18.28922
12	8.46900	16.44690	-3.60252	19.95274
13	8.29300	16.49480	-3.90425	21.61626
14	8.11700	16.54060	-4.19276	23.27977
15	7.94100	16.58180	-4.45228	24.94329
16	7.76500	16.61760	-4.67780	26.60681
17	7.58900	16.65040	-4.88441	28.27032
18	7.41300	16.67825	-5.05984	29.93384
19	7.23700	16.70070	-5.20126	31.59735
20	7.06100	16.71920	-5.31780	33.26087
21	6.88500	16.72825	-5.37480	34.92439
22	6.70900	16.73360	-5.40850	36.58790
23	6.53300	16.73630	-5.42551	38.25142
24	6.35700	16.73220	-5.39969	39.91493
25	6.18100	16.72575	-5.35906	41.57845
26	6.00500	16.71320	-5.28000	43.24197
27	5.82900	16.69370	-5.15717	44.90548
28	5.65300	16.66855	-4.99874	46.56900
29	5.47700	16.63290	-4.77417	48.23251
30	5.30100	16.58660	-4.48252	49.89603
31	5.12500	16.52725	-4.10866	51.55955
32	4.94900	16.45300	-3.64094	53.22306
33	4.77300	16.36275	-3.07244	54.88658
34	4.59700	16.25015	-2.36315	56.55009
35	4.42100	16.11450	-1.50866	58.21361

ตารางที่ ค.9 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.08 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.40380	15.81730	0.36346	1.66541
2	10.22780	15.86715	0.04945	3.32892
3	10.05180	15.91435	-0.24787	4.99244
4	9.87580	15.95900	-0.52913	6.65595
5	9.70100	16.00105	-0.79402	8.30813
6	9.52500	16.04400	-1.06457	9.97164
7	9.34900	16.08755	-1.33890	11.63516
8	9.17300	16.13100	-1.61260	13.29868
9	8.99700	16.17010	-1.85890	14.96219
10	8.82100	16.20640	-2.08756	16.62571
11	8.64500	16.24080	-2.30425	18.28922
12	8.46900	16.27220	-2.50205	19.95274
13	8.29300	16.29935	-2.67307	21.61626
14	8.11700	16.32230	-2.81764	23.27977
15	7.94100	16.34080	-2.93417	24.94329
16	7.76500	16.35545	-3.02646	26.60681
17	7.58900	16.36595	-3.09260	28.27032
18	7.41300	16.37195	-3.13039	29.93384
19	7.23700	16.37370	-3.14142	31.59735
20	7.06100	16.37400	-3.14331	33.26087
21	6.88500	16.36745	-3.10205	34.92439
22	6.70900	16.35880	-3.04756	36.58790
23	6.53300	16.34585	-2.96598	38.25142
24	6.35700	16.32800	-2.85354	39.91493
25	6.18100	16.30430	-2.70425	41.57845
26	6.00500	16.27510	-2.52031	43.24197
27	5.82900	16.23765	-2.28441	44.90548
28	5.65300	16.19050	-1.98740	46.56900
29	5.47700	16.13290	-1.62457	48.23251
30	5.30100	16.06260	-1.18173	49.89603
31	5.12500	15.97715	-0.64346	51.55955
32	4.94900	15.87140	0.02268	53.22306
33	4.77300	15.74750	0.80315	54.88658
34	4.59700	15.59925	1.73701	56.55009
35	4.42100	15.42420	2.83969	58.21361

ตารางที่ ค.10 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานเท่ากับ 0.09 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.8074	0.42583	1.66541
2	10.2278	15.8481	0.16945	3.32892
3	10.0518	15.8850	-0.06268	4.99244
4	9.8758	15.9185	-0.27370	6.65595
5	9.7010	15.9481	-0.46016	8.30813
6	9.5250	15.9761	-0.63654	9.97164
7	9.3490	16.0046	-0.81606	11.63516
8	9.1730	16.0325	-0.99213	13.29868
9	8.9970	16.0562	-1.14142	14.96219
10	8.8210	16.0759	-1.26520	16.62571
11	8.6450	16.0931	-1.37386	18.28922
12	8.4690	16.1071	-1.46173	19.95274
13	8.2930	16.1163	-1.52000	21.61626
14	8.1170	16.1219	-1.55528	23.27977
15	7.9410	16.1246	-1.57228	24.94329
16	7.7650	16.1251	-1.57512	26.60681
17	7.5890	16.1246	-1.57197	28.27032
18	7.4130	16.1186	-1.53449	29.93384
19	7.2370	16.1109	-1.48598	31.59735
20	7.0610	16.0995	-1.41386	33.26087
21	6.8850	16.0846	-1.32031	34.92439
22	6.7090	16.0659	-1.20220	36.58790
23	6.5330	16.0422	-1.05323	38.25142
24	6.3570	16.0115	-0.85984	39.91493
25	6.1810	15.9733	-0.61890	41.57845
26	6.0050	15.9276	-0.33102	43.24197
27	5.8290	15.8718	0.02016	44.90548
28	5.6530	15.8045	0.44409	46.56900
29	5.4770	15.7238	0.95244	48.23251
30	5.3010	15.6280	1.55591	49.89603
31	5.1250	15.5155	2.26488	51.55955
32	4.9490	15.3833	3.09764	53.22306
33	4.7730	15.2344	4.03559	54.88658
34	4.5970	15.1031	4.86268	56.55009
35	4.4210	14.9109	6.07307	58.21361

ตารางที่ ค.11 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานเท่ากับ 0.10 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7960	0.49764	1.66541
2	10.2278	15.8256	0.31118	3.32892
3	10.0518	15.8512	0.14992	4.99244
4	9.8758	15.8727	0.01480	6.65595
5	9.7010	15.8895	-0.09102	8.30813
6	9.5250	15.9037	-0.18079	9.97164
7	9.3490	15.9168	-0.26299	11.63516
8	9.1730	15.9280	-0.33386	13.29868
9	8.9970	15.9360	-0.38425	14.96219
10	8.8210	15.9411	-0.41606	16.62571
11	8.6450	15.9446	-0.43843	18.28922
12	8.4690	15.9465	-0.45039	19.95274
13	8.2930	15.9461	-0.44787	21.61626
14	8.1170	15.9435	-0.43118	23.27977
15	7.9410	15.9385	-0.40000	24.94329
16	7.7650	15.9320	-0.35874	26.60681
17	7.5890	15.9205	-0.28630	28.27032
18	7.4130	15.9080	-0.20787	29.93384
19	7.2370	15.8902	-0.09543	31.59735
20	7.0610	15.8696	0.03402	33.26087
21	6.8850	15.8450	0.18929	34.92439
22	6.7090	15.8154	0.37543	36.58790
23	6.5330	15.7798	0.60000	38.25142
24	6.3570	15.7357	0.87748	39.91493
25	6.1810	15.6827	1.21134	41.57845
26	6.0050	15.6207	1.60189	43.24197
27	5.8290	15.5473	2.06457	44.90548
28	5.6530	15.4614	2.60567	46.56900
29	5.4770	15.3607	3.24000	48.23251
30	5.3010	15.2441	3.97417	49.89603
31	5.1250	15.1102	4.81764	51.55955
32	4.9490	14.9609	5.75811	53.22306
33	4.7730	14.7794	6.90142	54.88658
34	4.5970	14.5564	8.30646	56.55009
35	4.4210	14.2947	9.95496	58.21361

ตารางที่ ค.12 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานเท่ากับ 0.12 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7741	0.63559	1.66541
2	10.2278	15.7837	0.57543	3.32892
3	10.0518	15.7895	0.53890	4.99244
4	9.8758	15.7918	0.52441	6.65595
5	9.7010	15.7918	0.52441	8.30813
6	9.5250	15.7901	0.53480	9.97164
7	9.3490	15.7886	0.54457	11.63516
8	9.1730	15.7850	0.56693	13.29868
9	8.9970	15.7797	0.60031	14.96219
10	8.8210	15.7730	0.64283	16.62571
11	8.6450	15.7651	0.69260	18.28922
12	8.4690	15.7550	0.75622	19.95274
13	8.2930	15.7425	0.83465	21.61626
14	8.1170	15.7276	0.92850	23.27977
15	7.9410	15.7098	1.04063	24.94329
16	7.7650	15.6888	1.17291	26.60681
17	7.5890	15.6641	1.32850	28.27032
18	7.4130	15.6349	1.51244	29.93384
19	7.2370	15.6020	1.71969	31.59735
20	7.0610	15.5633	1.96378	33.26087
21	6.8850	15.5181	2.24819	34.92439
22	6.7090	15.4675	2.56693	36.58790
23	6.5330	15.4095	2.93228	38.25142
24	6.3570	15.3398	3.37134	39.91493
25	6.1810	15.2635	3.85197	41.57845
26	6.0050	15.1748	4.41102	43.24197
27	5.8290	15.0742	5.04472	44.90548
28	5.6530	14.9599	5.76441	46.56900
29	5.4770	14.8610	6.38740	48.23251
30	5.3010	14.7318	7.20157	49.89603
31	5.1250	14.6060	7.99402	51.55955
32	4.9490	14.4414	9.03055	53.22306
33	4.7730	14.2347	10.33260	54.88658
34	4.5970	14.0082	11.75969	56.55009
35	4.4210	13.7390	13.45512	58.21361

ตารางที่ ค.13 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.15 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7620	0.71213	1.66541
2	10.2278	15.7589	0.73134	3.32892
3	10.0518	15.7540	0.76220	4.99244
4	9.8758	15.7459	0.81354	6.65595
5	9.7010	15.7351	0.88157	8.30813
6	9.5250	15.7232	0.95622	9.97164
7	9.3490	15.7101	1.03874	11.63516
8	9.1730	15.6951	1.13323	13.29868
9	8.9970	15.6779	1.24157	14.96219
10	8.8210	15.6584	1.36441	16.62571
11	8.6450	15.6363	1.50362	18.28922
12	8.4690	15.6116	1.65921	19.95274
13	8.2930	15.5824	1.84346	21.61626
14	8.1170	15.5534	2.02583	23.27977
15	7.9410	15.5190	2.24283	24.94329
16	7.7650	15.4800	2.48819	26.60681
17	7.5890	15.4370	2.75906	28.27032
18	7.4130	15.3890	3.06173	29.93384
19	7.2370	15.3356	3.39780	31.59735
20	7.0610	15.2763	3.77134	33.26087
21	6.8850	15.2104	4.18677	34.92439
22	6.7090	15.1377	4.64441	36.58790
23	6.5330	15.0578	5.14772	38.25142
24	6.3570	14.9695	5.70394	39.91493
25	6.1810	14.8710	6.32472	41.57845
26	6.0050	14.7679	6.97386	43.24197
27	5.8290	14.6491	7.72220	44.90548
28	5.6530	14.5247	8.50583	46.56900
29	5.4770	14.3878	9.36850	48.23251
30	5.3010	14.2637	10.15024	49.89603
31	5.1250	14.0801	11.30677	51.55955
32	4.9490	13.9174	12.33165	53.22306
33	4.7730	13.7069	13.65764	54.88658
34	4.5970	13.4498	15.27717	56.55009
35	4.4210	13.2250	16.69291	58.21361

ตารางที่ ก.14 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียหายเท่ากับ 0.17 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7597	0.72630	1.66541
2	10.2278	15.7538	0.76346	3.32892
3	10.0518	15.7453	0.81732	4.99244
4	9.8758	15.7335	0.89165	6.65595
5	9.7010	15.7183	0.98709	8.30813
6	9.5250	15.7013	1.09417	9.97164
7	9.3490	15.6812	1.22110	11.63516
8	9.1730	15.6797	1.23024	13.29868
9	8.9970	15.6557	1.38173	14.96219
10	8.8210	15.6089	1.67622	16.62571
11	8.6450	15.5776	1.87370	18.28922
12	8.4690	15.5493	2.05197	19.95274
13	8.2930	15.5340	2.14835	21.61626
14	8.1170	15.4748	2.52094	23.27977
15	7.9410	15.4591	2.61984	24.94329
16	7.7650	15.3815	3.10898	26.60681
17	7.5890	15.3336	3.41039	28.27032
18	7.4130	15.2770	3.76693	29.93384
19	7.2370	15.2150	4.15748	31.59735
20	7.0610	15.1433	4.60913	33.26087
21	6.8850	15.0770	5.02677	34.92439
22	6.7090	15.0000	5.51181	36.58790
23	6.5330	14.9172	6.03370	38.25142
24	6.3570	14.8205	6.64252	39.91493
25	6.1810	14.6990	7.40819	41.57845
26	6.0050	14.5970	8.05039	43.24197
27	5.8290	14.4907	8.72031	44.90548
28	5.6530	14.3587	9.55181	46.56900
29	5.4770	14.1864	10.63685	48.23251
30	5.3010	13.9821	11.92409	49.89603
31	5.1250	13.7737	13.23685	51.55955
32	4.9490	13.5219	14.82299	53.22306
33	4.7730	13.2758	16.37291	54.88658
34	4.5970	13.0095	18.05039	56.55009
35	4.4210	12.7804	19.49386	58.21361

ตารางที่ ค.15 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียหายเท่ากับ 0.20 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7563	0.74772	1.66541
2	10.2278	15.7464	0.81008	3.32892
3	10.0518	15.7332	0.89323	4.99244
4	9.8758	15.7161	1.00126	6.65595
5	9.7010	15.6955	1.13071	8.30813
6	9.5250	15.6724	1.27654	9.97164
7	9.3490	15.6467	1.43843	11.63516
8	9.1730	15.6185	1.61575	13.29868
9	8.9970	15.5879	1.80882	14.96219
10	8.8210	15.5547	2.01764	16.62571
11	8.6450	15.5183	2.24693	18.28922
12	8.4690	15.4779	2.50173	19.95274
13	8.2930	15.4343	2.77606	21.61626
14	8.1170	15.3877	3.06992	23.27977
15	7.9410	15.3373	3.38709	24.94329
16	7.7650	15.2834	3.72661	26.60681
17	7.5890	15.2257	4.09008	28.27032
18	7.4130	15.1643	4.47685	29.93384
19	7.2370	15.0996	4.88472	31.59735
20	7.0610	15.0319	5.31118	33.26087
21	6.8850	14.9615	5.75433	34.92439
22	6.7090	14.9150	6.04756	36.58790
23	6.5330	14.7989	6.77858	38.25142
24	6.3570	14.6978	7.41575	39.91493
25	6.1810	14.5924	8.07937	41.57845
26	6.0050	14.4994	8.66520	43.24197
27	5.8290	14.3500	9.60661	44.90548
28	5.6530	14.1732	10.72031	46.56900
29	5.4770	13.9439	12.16472	48.23251
30	5.3010	13.6862	13.78803	49.89603
31	5.1250	13.3633	15.82173	51.55955
32	4.9490	13.0106	18.04346	53.22306
33	4.7730	12.5112	21.18929	54.88658
34	4.5970	11.9209	24.90803	56.55009
35	4.4210	11.4346	27.97102	58.21361

ตารางที่ ค.16 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียหายเท่ากับ 0.30 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7529	0.76913	1.66541
2	10.2278	15.7617	0.71402	3.32892
3	10.0518	15.7199	0.97701	4.99244
4	9.8758	15.6976	1.11780	6.65595
5	9.7010	15.6713	1.28346	8.30813
6	9.5250	15.6418	1.46898	9.97164
7	9.3490	15.6096	1.67181	11.63516
8	9.1730	15.5749	1.89039	13.29868
9	8.9970	15.5380	2.12315	14.96219
10	8.8210	15.4989	2.36913	16.62571
11	8.6450	15.4579	2.62740	18.28922
12	8.4690	15.4151	2.89732	19.95274
13	8.2930	15.3703	3.17921	21.61626
14	8.1170	15.3245	3.46803	23.27977
15	7.9410	15.2779	3.76126	24.94329
16	7.7650	15.2354	4.02929	26.60681
17	7.5890	15.1934	4.29386	28.27032
18	7.4130	15.1524	4.55213	29.93384
19	7.2370	15.0323	5.30835	31.59735
20	7.0610	14.9500	5.82677	33.26087
21	6.8850	14.8995	6.14488	34.92439
22	6.7090	14.8177	6.66047	36.58790
23	6.5330	14.6698	7.59181	38.25142
24	6.3570	14.5414	8.40063	39.91493
25	6.1810	14.4295	9.10551	41.57845
26	6.0050	14.2160	10.45039	43.24197
27	5.8290	13.9483	12.13701	44.90548
28	5.6530	13.6055	14.29638	46.56900
29	5.4770	13.1555	17.13071	48.23251
30	5.3010	12.7010	19.99402	49.89603
31	5.1250	12.1850	23.24409	51.55955
32	4.9490	11.6054	26.89543	53.22306
33	4.7730	10.9562	30.98457	54.88658
34	4.5970	10.0668	36.58709	56.55009
35	4.4210	9.2522	41.71824	58.21361

ตารางที่ ค.17 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Ring compression test ที่ค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานเท่ากับ 0.57 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	Height; mm	Inner diameter; mm	%D _{in}	%H
0	10.58	15.875	0	0
1	10.4038	15.7529	0.76945	1.66541
2	10.2278	15.7374	0.86677	3.32892
3	10.0518	15.7176	0.99181	4.99244
4	9.8758	15.6938	1.14173	6.65595
5	9.7010	15.6660	1.31654	8.30813
6	9.5250	15.6347	1.51402	9.97164
7	9.3490	15.6007	1.72819	11.63516
8	9.1730	15.5640	1.95906	13.29868
9	8.9970	15.5249	2.20567	14.96219
10	8.8210	15.4834	2.46677	16.62571
11	8.6450	15.4399	2.74110	18.28922
12	8.4690	15.3943	3.02803	19.95274
13	8.2930	15.3476	3.32252	21.61626
14	8.1170	15.3014	3.61323	23.27977
15	7.9410	15.2588	3.88157	24.94329
16	7.7650	15.2023	4.23748	26.60681
17	7.5890	15.1180	4.76882	28.27032
18	7.4130	15.0500	5.19685	29.93384
19	7.2370	14.8950	6.17323	31.59735
20	7.0610	14.7850	6.86614	33.26087
21	6.8850	14.6973	7.41858	34.92439
22	6.7090	14.5000	8.66142	36.58790
23	6.5330	14.4000	9.29134	38.25142
24	6.3570	14.2000	10.55118	39.91493
25	6.1810	14.0000	11.81102	41.57845
26	6.0050	13.8000	13.07087	43.24197
27	5.8290	13.3700	15.77953	44.90548
28	5.6530	12.8900	18.80315	46.56900
29	5.4770	12.4500	21.57480	48.23251
30	5.3010	11.8081	25.61858	49.89603
31	5.1250	11.0801	30.20409	51.55955
32	4.9490	10.1670	35.95614	53.22306
33	4.7730	9.3432	41.14539	54.88658
34	4.5970	8.4739	46.62098	56.55009
35	4.4210	7.8512	50.54359	58.21361

ภาคผนวก ง

ข้อมูลสำหรับการจัดทำ Calibration curve ของการทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้
จากการจำลอง Finite Element Simulation (DEFORM-3D)

ตารางที่ ง.1 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.00 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7531	0.4834	0.4826	1.00172	0.96292
2	31.8494	1.0680	1.0491	1.01794	2.01770
3	32.1014	1.6911	1.6815	1.00567	3.02116
4	32.3543	2.2470	2.2365	1.00468	3.87918
5	32.4292	2.3253	2.3078	1.00761	3.95387
6	32.7609	2.9507	2.9076	1.01481	4.84733
7	33.0887	3.5828	3.5319	1.01440	5.77601
8	33.3024	3.9380	3.8682	1.01805	6.25373
9	33.6019	4.5523	4.4720	1.01796	7.17239
10	33.8969	5.1480	5.0120	1.02713	8.01312
11	34.2012	5.7676	5.6252	1.02532	8.94161
12	34.4974	6.3692	6.2049	1.02648	9.82664
13	34.5794	6.5790	6.4332	1.02265	10.18280
14	34.8933	7.1520	7.0552	1.01372	11.06383
15	35.1889	7.7690	7.6837	1.01111	12.01380
16	35.2751	7.9135	7.8468	1.00850	12.23513
17	35.5789	8.4905	8.4804	1.00120	13.14194
18	35.8787	9.0924	9.1444	0.99432	14.10812
19	36.0463	9.4633	9.5001	0.99613	14.66709
20	36.3377	10.0695	10.1142	0.99558	15.59600
21	36.6433	10.6903	10.7736	0.99227	16.57060
22	36.9070	11.2340	11.3197	0.99243	17.39670
23	37.2085	11.8371	11.9556	0.99009	18.33420
24	37.4955	12.4333	12.5842	0.98801	19.27200
25	37.6970	12.8232	12.9447	0.99061	19.82090
26	38.0072	13.4417	13.5699	0.99055	20.75440
27	38.2976	14.0574	14.1961	0.99023	21.70590
28	38.5229	14.5020	14.6527	0.98972	22.38180
29	38.8258	15.0879	15.3310	0.98414	23.34310
30	39.1251	15.7120	15.8836	0.98920	24.22050
31	39.3522	16.1593	16.3719	0.98701	24.92900
32	39.6520	16.7860	16.9291	0.99155	25.81310
33	39.9465	17.4426	17.6225	0.98979	26.86860
34	40.2512	18.0307	18.2158	0.98984	27.74530
35	40.5752	18.6896	18.8445	0.99178	28.70890
36	40.8323	19.1378	19.3290	0.99011	29.38450

ตารางที่ ง.2 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.01 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7537	0.4649	0.5028	0.92461	0.96396
2	31.8489	1.1041	0.9729	1.13483	1.97802
3	32.1039	1.8314	1.4945	1.22545	2.97193
4	32.3813	2.5112	1.9664	1.27707	3.84633
5	32.7231	3.2053	2.5013	1.28144	4.73347
6	33.0474	3.8859	3.0422	1.27735	5.63066
7	33.3780	4.5495	3.5904	1.26715	6.51191
8	33.6937	5.2280	4.1347	1.26443	7.41905
9	34.0056	5.9081	4.6810	1.26215	8.33349
10	34.3058	6.5930	5.2025	1.26727	9.23966
11	34.6120	7.2918	5.7880	1.25981	10.21780
12	34.8588	7.8558	6.2335	1.26027	10.98046
13	35.1653	8.5097	6.7874	1.25375	11.88174
14	35.4731	9.2028	7.3532	1.25152	12.83290
15	35.5499	9.3557	7.5014	1.24719	13.05721
16	35.8570	10.0210	8.0655	1.24246	13.97946
17	36.1310	10.6692	8.6524	1.23309	14.94062
18	36.4378	11.3498	9.1938	1.23450	15.85583
19	36.7298	11.9803	9.7865	1.22417	16.78700
20	36.8243	12.2084	9.9536	1.22653	17.08772
21	36.9230	12.4148	10.1412	1.22419	17.38300
22	37.2269	13.0630	10.7411	1.21617	18.32720
23	37.5189	13.6839	11.2933	1.21168	19.20830
24	37.7140	14.1928	11.6951	1.21357	19.92390
25	38.0225	14.8314	12.2794	1.20783	20.83830
26	38.3081	15.4824	12.8316	1.20658	21.75590
27	38.4075	15.6734	13.0178	1.20400	22.03370
28	38.7004	16.3193	13.5880	1.20101	22.95690
29	39.0030	17.0314	14.1576	1.20299	23.93600
30	39.2327	17.4762	14.5869	1.19807	24.58040
31	39.5438	18.1763	15.1687	1.19828	25.55120
32	39.8475	18.8365	15.7453	1.19633	26.48430
33	40.1454	19.5416	16.2533	1.20232	27.39950
34	40.2790	19.7758	16.5202	1.19707	27.76700
35	40.5890	20.4048	17.1031	1.19305	28.66890
36	40.8917	21.0553	17.7211	1.18815	29.63470

ตารางที่ ๓.3 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.02 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7562	0.4812	0.4782	1.00623	0.95325
2	31.8552	1.1726	0.8421	1.39246	1.90949
3	32.1168	2.0347	1.2980	1.56763	2.96586
4	32.4059	2.8072	1.6652	1.68580	3.81649
5	32.7386	3.5484	2.1529	1.64822	4.71265
6	33.0502	4.2616	2.6577	1.60353	5.61906
7	33.3895	4.9887	3.1494	1.58401	6.49861
8	33.7020	5.7106	3.6316	1.57247	7.39012
9	34.0043	6.4407	4.1359	1.55724	8.32228
10	34.2862	7.1739	4.6283	1.55000	9.26605
11	34.6118	7.8807	5.1117	1.54170	10.13065
12	34.9292	8.6291	5.6127	1.53742	11.06264
13	35.0161	8.8420	5.7855	1.52831	11.36143
14	35.3076	9.6054	6.2748	1.53080	12.32262
15	35.6100	10.2239	6.7707	1.51003	13.13457
16	35.6974	10.4746	6.9025	1.51751	13.42970
17	36.0013	11.2128	7.4260	1.50993	14.38754
18	36.2712	11.8767	7.9201	1.49957	15.27558
19	36.3677	12.1005	8.0938	1.49503	15.57661
20	36.6680	12.8628	8.6400	1.48875	16.58480
21	36.9620	13.5279	9.1323	1.48132	17.44821
22	37.1371	13.9542	9.5081	1.46761	18.07519
23	37.4389	14.5820	10.0342	1.45323	18.92730
24	37.7391	15.2962	10.5682	1.44738	19.87530
25	37.8313	15.5130	10.7435	1.44394	20.17520
26	38.1301	16.2022	11.2628	1.43856	21.08490
27	38.4218	16.9085	11.8035	1.43250	22.04020
28	38.6383	17.3968	12.2062	1.42524	22.71470
29	38.9508	18.0801	12.7298	1.42030	23.60910
30	39.2381	18.7573	13.2614	1.41443	24.53060
31	39.4826	19.2592	13.7071	1.40505	25.23370
32	39.7798	19.9882	14.1900	1.40861	26.14840
33	40.0802	20.6287	14.7960	1.39421	27.09450
34	40.3848	21.3924	15.2769	1.40031	28.03450
35	40.6979	22.0741	15.8307	1.39439	28.95690
36	40.9926	22.6938	16.3309	1.38962	29.78210

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.03 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7546	0.4830	0.4838	0.99831	0.96212
2	31.8632	1.2535	0.8301	1.51008	1.97032
3	32.1367	2.1670	1.1899	1.82117	2.97013
4	32.2718	2.5304	1.3452	1.88112	3.35374
5	32.5289	3.1689	1.6948	1.86981	4.08482
6	32.8681	3.9626	2.1248	1.86497	4.96931
7	33.1429	4.6462	2.4744	1.87768	5.72767
8	33.4668	5.4624	2.9094	1.87748	6.65496
9	33.6408	5.9159	3.1529	1.87633	7.17799
10	33.9525	6.7150	3.5771	1.87719	8.08962
11	34.2081	7.3912	3.9178	1.88655	8.85093
12	34.5146	8.1907	4.3331	1.89027	9.75922
13	34.7779	8.9082	4.7166	1.88872	10.59690
14	35.0838	9.7234	5.1452	1.88980	11.53472
15	35.3394	10.3982	5.4915	1.89350	12.30031
16	35.6351	11.1388	5.9912	1.85918	13.24493
17	35.8803	11.7281	6.3581	1.84460	13.95588
18	36.1777	12.5193	6.8369	1.83113	14.92853
19	36.4604	13.1661	7.2855	1.80716	15.74122
20	36.7596	13.9450	7.7662	1.79559	16.70163
21	36.9453	14.4258	8.0694	1.78772	17.29987
22	37.2447	15.1200	8.5551	1.76737	18.18038
23	37.5367	15.8280	9.0484	1.74927	19.08966
24	37.6331	16.0723	9.2382	1.73977	19.42739
25	37.9305	16.8259	9.7188	1.73128	20.36419
26	38.2250	17.5503	10.2220	1.71691	21.29730
27	38.3310	17.8375	10.4097	1.71355	21.66620
28	38.6343	18.5379	10.9014	1.70051	22.55500
29	38.9281	19.2761	11.3660	1.69594	23.46400
30	39.0271	19.5577	11.5832	1.68845	23.86380
31	39.3282	20.2953	12.2282	1.65971	24.94530
32	39.6458	20.8913	12.5724	1.66168	25.56790
33	39.8752	21.4965	12.9768	1.65653	26.34810
34	40.1829	22.2021	13.4646	1.64892	27.23380
35	40.4973	22.8959	14.0225	1.63280	28.17110
36	40.8050	23.6425	14.5330	1.62681	29.12050

ตารางที่ ๓.5 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.04 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7538	0.4874	0.4685	1.04033	0.95205
2	31.8730	1.3273	0.7542	1.75972	1.95849
3	32.1319	2.2530	1.0092	2.23249	2.88026
4	32.4523	3.0853	1.4218	2.16993	3.80477
5	32.7760	3.9338	1.8149	2.16749	4.72265
6	33.1132	4.7896	2.2009	2.17622	5.62728
7	33.2803	5.2386	2.3804	2.20074	6.08867
8	33.6005	6.1096	2.7422	2.22801	7.00124
9	33.7746	6.6104	2.9580	2.23475	7.54377
10	34.0841	7.4812	3.3157	2.25632	8.46279
11	34.2644	7.9766	3.5212	2.26533	8.98343
12	34.5701	8.8101	3.8679	2.27776	9.85786
13	34.7302	9.3253	4.0911	2.27940	10.43614
14	35.0451	10.1284	4.4768	2.26240	11.31014
15	35.3028	10.8279	4.8046	2.25364	12.07973
16	35.6062	11.6674	5.2358	2.22839	13.04700
17	35.8824	12.4178	5.6306	2.20542	13.91598
18	36.1892	13.2191	6.0778	2.17498	14.85769
19	36.4788	13.9646	6.5184	2.14233	15.75422
20	36.7856	14.7542	6.9631	2.11892	16.68167
21	36.9858	15.2751	7.2661	2.10225	17.30537
22	37.2940	15.9939	7.7394	2.06656	18.18927
23	37.5923	16.7678	8.1995	2.04499	19.12497
24	37.6722	17.0239	8.3617	2.03594	19.46338
25	37.9744	17.8094	8.8224	2.01865	20.40743
26	38.2560	18.5075	9.2636	1.99788	21.26515
27	38.5646	19.2470	9.7539	1.97325	22.18634
28	38.8558	20.0210	10.2129	1.96036	23.12810
29	38.9746	20.3075	10.3851	1.95545	23.46800
30	39.2803	21.1273	10.8843	1.94108	24.48130
31	39.5968	21.8562	11.3519	1.92533	25.36130
32	39.7042	22.1271	11.5553	1.91489	25.72820
33	40.0049	22.7811	12.0215	1.89503	26.54770
34	40.3129	23.6012	12.5298	1.88361	27.56810
35	40.6337	24.2466	13.0518	1.85772	28.41470
36	40.7390	24.5143	13.2685	1.84756	28.79380

ตารางที่ ง.6 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่า
สัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.05 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7521	0.4805	0.4776	1.00601	0.95596
2	31.8733	1.3680	0.7263	1.88359	1.97101
3	32.1298	2.3371	0.9422	2.48040	2.89947
4	32.4583	3.2318	1.2894	2.50638	3.81286
5	32.7189	3.9596	1.5678	2.52557	4.55853
6	33.0495	4.8705	1.8961	2.56867	5.46705
7	33.2828	5.5489	2.1156	2.62287	6.13170
8	33.3663	5.7944	2.2103	2.62152	6.38848
9	33.6809	6.6922	2.5418	2.63285	7.30311
10	33.8576	7.2423	2.7120	2.67046	7.84666
11	34.1647	8.1404	3.0473	2.67135	8.77303
12	34.3397	8.6489	3.2378	2.67123	9.29698
13	34.6559	9.5090	3.5982	2.64275	10.20129
14	34.8234	10.0389	3.7690	2.66352	10.73454
15	35.1398	10.9050	4.1101	2.65321	11.62531
16	35.3207	11.4057	4.3245	2.63749	12.15945
17	35.6339	12.2589	4.7197	2.59740	13.09468
18	35.8205	12.7852	4.9422	2.58693	13.65692
19	36.1332	13.6113	5.3432	2.54742	14.57128
20	36.3190	14.1677	5.5899	2.53452	15.18860
21	36.6326	14.9845	5.9976	2.49844	16.09945
22	36.9230	15.7281	6.4166	2.45116	16.97169
23	37.2330	16.5493	6.8470	2.41700	17.91334
24	37.5103	17.2756	7.2423	2.38538	18.75757
25	37.8102	18.0492	7.7068	2.34197	19.69584
26	38.0089	18.6284	7.9979	2.32917	20.36736
27	38.3223	19.3973	8.4430	2.29745	21.26796
28	38.6117	20.0971	8.9179	2.25357	22.15330
29	38.7202	20.4063	9.0980	2.24295	22.53407
30	38.9349	20.8946	9.4271	2.21645	23.13675
31	39.2342	21.7178	9.8290	2.20956	24.06260
32	39.5300	22.4792	10.2913	2.18429	24.99050
33	39.6340	22.7984	10.4399	2.18378	25.35430
34	39.9464	23.5213	10.9093	2.15608	26.23420
35	40.2535	24.3511	11.3799	2.13983	27.22750
36	40.5639	25.0245	11.8787	2.10667	28.08930

ตารางที่ ๓.7 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.06 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7529	0.4764	0.4713	1.01080	0.94482
2	31.8908	1.4216	0.6794	2.09248	1.96024
3	32.1455	2.4089	0.8742	2.75538	2.88759
4	32.4621	3.3058	1.2090	2.73440	3.80260
5	32.7814	4.2171	1.5285	2.75901	4.71413
6	33.1007	5.1445	1.8440	2.78994	5.63779
7	33.2711	5.6342	2.0067	2.80768	6.11978
8	33.5809	6.5568	2.3170	2.82986	7.04289
9	33.7331	7.0417	2.4600	2.86254	7.51856
10	34.0361	7.9588	2.7668	2.87653	8.43948
11	34.2107	8.4403	2.9311	2.87960	8.91061
12	34.5158	9.4013	3.2265	2.91374	9.86205
13	34.7018	9.9418	3.4301	2.89837	10.42010
14	35.0108	10.8359	3.7408	2.89670	11.31588
15	35.0995	11.1186	3.8290	2.90379	11.59809
16	35.4123	11.9665	4.1449	2.88704	12.44910
17	35.6021	12.5280	4.3544	2.87712	13.03026
18	35.9159	13.4128	4.7003	2.85361	13.94720
19	36.2047	14.2159	5.0485	2.81585	14.80973
20	36.5156	15.0423	5.4274	2.77156	15.70408
21	36.7814	15.8079	5.7549	2.74686	16.53139
22	37.0921	16.6504	6.1607	2.70268	17.46901
23	37.4034	17.4840	6.5606	2.66500	18.39119
24	37.7171	18.2751	6.9437	2.63189	19.25172
25	37.9200	18.8995	7.1979	2.62569	19.92742
26	38.2346	19.7077	7.6328	2.58198	20.85588
27	38.3412	19.9898	7.7915	2.56559	21.19010
28	38.6506	20.8065	8.2051	2.53579	22.11103
29	38.9459	21.6099	8.6355	2.50245	23.04951
30	39.2432	22.4185	9.0432	2.47904	23.96852
31	39.5491	23.2281	9.4557	2.45652	24.88470
32	39.6607	23.5163	9.6428	2.43874	25.24842
33	39.9721	24.3294	10.0757	2.41466	26.18300
34	40.2870	25.1418	10.4936	2.39592	27.09840
35	40.4158	25.4509	10.6813	2.38275	27.46640
36	40.7244	26.2124	11.1709	2.34649	28.40890

ตารางที่ ๖.8 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.07 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7533	0.4812	0.4668	1.03078	0.94467
2	31.9004	1.4518	0.6598	2.20048	1.96114
3	32.1477	2.4278	0.8471	2.86606	2.87712
4	32.4619	3.3574	1.1664	2.87854	3.81184
5	32.7218	4.0835	1.4158	2.88432	4.52742
6	33.0386	5.0183	1.7215	2.91512	5.45113
7	33.2109	5.5269	1.8752	2.94736	5.94126
8	33.5206	6.4629	2.1726	2.97471	6.86494
9	33.5950	6.7094	2.2516	2.97983	7.11606
10	33.9030	7.6175	2.5429	2.99560	8.00737
11	33.9832	7.8645	2.6226	2.99873	8.25394
12	34.3012	8.8125	2.9268	3.01101	9.18807
13	34.4868	9.3767	3.1061	3.01880	9.74599
14	34.7980	10.3197	3.3907	3.04354	10.66239
15	34.9704	10.8246	3.5802	3.02349	11.18437
16	35.2854	11.7556	3.8743	3.03427	12.09448
17	35.5258	12.4743	4.1163	3.03046	12.81481
18	35.8357	13.4404	4.4432	3.02496	13.79786
19	35.9354	13.6926	4.5371	3.01791	14.04431
20	36.0333	13.9358	4.6412	3.00265	14.29367
21	36.3510	14.8395	4.9946	2.97114	15.23305
22	36.6455	15.6740	5.3302	2.94063	16.10865
23	36.9715	16.5406	5.6686	2.91792	16.98773
24	37.0711	16.8139	5.8139	2.89201	17.30672
25	37.3953	17.6836	6.1887	2.85739	18.22702
26	37.7156	18.5255	6.5665	2.82123	19.12637
27	37.9091	19.0768	6.7935	2.80809	19.71121
28	38.2242	19.9273	7.2219	2.75928	20.67501
29	38.5170	20.7633	7.5778	2.74001	21.57412
30	38.8266	21.6316	7.9542	2.71952	22.50919
31	39.0465	22.1821	8.2324	2.69449	23.11800
32	39.3589	23.0578	8.6157	2.67626	24.06459
33	39.6700	23.9186	8.9901	2.66055	24.98871
34	39.9667	24.7397	9.3804	2.63739	25.90338
35	40.2650	25.5426	9.7687	2.61473	26.79633
36	40.4881	26.2354	10.1035	2.59666	27.60080

ตารางที่ ๙.๑ แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่า

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.08 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7566	0.4772	0.4653	1.02561	0.93594
2	31.9019	1.4778	0.6336	2.33232	1.95952
3	32.1566	2.4987	0.7872	3.17423	2.87931
4	32.4636	3.4210	1.0943	3.12625	3.80167
5	32.7766	4.3636	1.3915	3.13585	4.72848
6	33.0834	5.2990	1.6738	3.16578	5.63941
7	33.2316	5.7355	1.8098	3.16920	6.06370
8	33.5371	6.6675	2.1131	3.15531	6.99344
9	33.6188	6.9395	2.1942	3.16271	7.26490
10	33.9280	7.8471	2.4815	3.16220	8.15058
11	34.0097	8.0939	2.5631	3.15787	8.39726
12	34.3212	9.0404	2.8527	3.16911	9.32190
13	34.4967	9.5818	3.0124	3.18079	9.84755
14	34.8056	10.5131	3.3130	3.17327	10.77052
15	34.9864	11.0710	3.4831	3.17848	11.31771
16	35.2978	11.9674	3.7853	3.16156	12.20488
17	35.4795	12.5015	3.9611	3.15609	12.73307
18	35.7948	13.4376	4.2741	3.14398	13.66687
19	36.1152	14.3591	4.6054	3.11786	14.59934
20	36.2102	14.6529	4.6925	3.12261	14.88522
21	36.5295	15.5312	5.0228	3.09212	15.77454
22	36.7094	16.0978	5.2407	3.07168	16.37912
23	37.0351	16.9529	5.6005	3.02706	17.26825
24	37.1304	17.2109	5.6790	3.03061	17.50953
25	37.4517	18.1173	6.0417	2.99869	18.45734
26	37.7635	18.9692	6.4025	2.96276	19.35824
27	38.0783	19.9277	6.7660	2.94529	20.36535
28	38.3855	20.7458	7.1418	2.90483	21.25213
29	38.7071	21.6286	7.5028	2.88274	22.17430
30	38.9334	22.2472	7.7821	2.85875	22.84594
31	39.2445	23.0992	8.1505	2.83409	23.75519
32	39.5395	23.9658	8.5269	2.81060	24.70322
33	39.8525	24.8178	8.8970	2.78947	25.61225
34	40.1627	25.6539	9.2624	2.76967	26.50364
35	40.4647	26.4634	9.6929	2.73020	27.44155
36	40.7750	27.2900	10.1130	2.69851	28.37800

ตารางที่ ง.10 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.09 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7561	0.4762	0.4662	1.02161	0.93631
2	31.9020	1.4980	0.6155	2.43382	1.96142
3	32.1510	2.5348	0.7672	3.30397	2.90100
4	32.2816	2.9227	0.8788	3.32584	3.26985
5	32.5906	3.8600	1.1727	3.29139	4.19209
6	32.7537	4.3675	1.3223	3.30289	4.68606
7	33.0688	5.3031	1.6032	3.30783	5.58747
8	33.1444	5.5397	1.6761	3.30510	5.82146
9	33.4556	6.4885	1.9595	3.31137	6.74232
10	33.6154	7.0065	2.1083	3.32327	7.24944
11	33.9207	7.9193	2.4029	3.29581	8.15149
12	34.0836	8.4199	2.5455	3.30775	8.63174
13	34.3888	9.3477	2.8387	3.29293	9.54759
14	34.4809	9.6320	2.9121	3.30761	9.81321
15	34.7898	10.5240	3.2012	3.28751	10.68541
16	34.9663	11.0588	3.3771	3.27466	11.21958
17	35.2809	12.0614	3.6782	3.27919	12.20866
18	35.4659	12.5424	3.8673	3.24322	12.69377
19	35.7808	13.4836	4.1564	3.24404	13.60922
20	35.9671	14.0392	4.3301	3.24221	14.15223
21	36.2876	14.9734	4.6418	3.22580	15.07756
22	36.4827	15.5117	4.8442	3.20212	15.62320
23	36.7994	16.4649	5.1880	3.17366	16.60348
24	36.8949	16.6915	5.2820	3.16007	16.82861
25	37.2216	17.6196	5.6168	3.13697	17.76475
26	37.4159	18.1548	5.8354	3.11113	18.32433
27	37.7464	19.0343	6.1604	3.08978	19.19831
28	38.0618	19.9763	6.5027	3.07202	20.16717
29	38.3721	20.8466	6.8687	3.03500	21.09323
30	38.6936	21.7292	7.2007	3.01766	21.98628
31	39.0023	22.6915	7.5680	2.99834	23.00722
32	39.2268	23.2210	7.7914	2.98036	23.53555
33	39.5462	24.1587	8.1321	2.97078	24.49461
34	39.7659	24.7870	8.3987	2.95130	25.16976
35	40.0833	25.6678	8.7631	2.92908	26.09760
36	40.3910	26.4186	9.1440	2.88918	26.92159

ตารางที่ ง.11 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.10 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7578	0.4812	0.4656	1.03342	0.93895
2	31.9012	1.5452	0.5731	2.69626	1.96706
3	32.0184	2.0629	0.6343	3.25234	2.42877
4	32.3158	3.0478	0.9021	3.37862	3.38411
5	32.5666	3.8466	1.1152	3.44911	4.14523
6	32.8831	4.7946	1.3846	3.46283	5.04609
7	33.1479	5.3091	1.5179	3.49768	5.42913
8	33.3564	6.2537	1.8027	3.46902	6.44999
9	33.5121	6.7366	1.9506	3.45365	6.92511
10	33.8197	7.6714	2.2207	3.45454	7.82232
11	33.9879	8.1875	2.3631	3.46478	8.31268
12	34.2921	9.1154	2.6588	3.42841	9.23211
13	34.4633	9.6592	2.8148	3.43153	9.76076
14	34.7679	10.6215	3.1035	3.42247	10.70706
15	34.8612	10.8759	3.1859	3.41372	10.95064
16	35.1732	11.8169	3.4731	3.40239	11.86682
17	35.2614	12.0385	3.5505	3.39065	12.07760
18	35.5783	12.9580	3.8575	3.35917	12.98720
19	35.6725	13.2312	3.9446	3.35424	13.25332
20	35.9915	14.1882	4.2504	3.33813	14.19705
21	36.0780	14.4444	4.3263	3.33874	14.44270
22	36.3927	15.3970	4.6507	3.31066	15.40503
23	36.5768	15.9598	4.8352	3.30077	15.96817
24	36.9019	16.8511	5.1688	3.26016	16.86800
25	37.0036	17.1117	5.2611	3.25249	17.11920
26	37.3254	18.0649	5.5929	3.22999	18.08237
27	37.5069	18.5893	5.8158	3.19637	18.64815
28	37.8278	19.5136	6.1341	3.18118	19.56987
29	37.9255	19.7978	6.2358	3.17488	19.85807
30	38.2477	20.6792	6.5721	3.14651	20.75360
31	38.4520	21.2587	6.7923	3.12983	21.34898
32	38.7691	22.1146	7.1305	3.10142	22.22597
33	38.9685	22.7179	7.3516	3.09021	22.85097
34	39.2921	23.6357	7.7014	3.06900	23.79504
35	39.5016	24.2529	7.9182	3.06294	24.41947
36	39.8086	25.1496	8.2913	3.03327	25.38225

ตารางที่ ๓.12 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.12 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7566	0.4782	0.4631	1.03261	0.93471
2	31.9029	1.5427	0.5942	2.59628	1.98393
3	32.0219	2.0774	0.6288	3.30354	2.43433
4	32.3197	3.1093	0.8553	3.63552	3.39487
5	32.4956	3.6911	0.9859	3.74372	3.93143
6	32.8035	4.6498	1.2308	3.77805	4.82708
7	32.9560	5.1605	1.3550	3.80849	5.30951
8	33.2577	6.1008	1.6209	3.76377	6.21404
9	33.4159	6.6353	1.7564	3.77778	6.72574
10	33.7192	7.5622	2.0329	3.72000	7.62589
11	33.8815	8.1011	2.1755	3.72375	8.14516
12	34.1933	9.0346	2.4463	3.69321	9.03756
13	34.2822	9.3190	2.5274	3.68712	9.31422
14	34.5565	10.1423	2.7700	3.66152	10.10577
15	34.7269	10.6582	2.9324	3.63461	10.61372
16	35.0443	11.6255	3.2158	3.61507	11.54704
17	35.1366	11.8947	3.3005	3.60395	11.80856
18	35.4501	12.8250	3.5952	3.56727	12.72009
19	35.5482	13.1082	3.6779	3.56406	12.98788
20	35.8624	14.0404	3.9628	3.54304	13.89081
21	35.9605	14.3456	4.0645	3.52950	14.19958
22	36.2644	15.1482	4.3673	3.46856	15.00109
23	36.5874	16.1117	4.6859	3.43831	15.96024
24	36.6822	16.4049	4.7880	3.42624	16.26072
25	37.0129	17.3343	5.1091	3.39283	17.18050
26	37.2133	17.8726	5.2996	3.37242	17.70893
27	37.5417	18.8093	5.6429	3.33326	18.66052
28	37.7327	19.3611	5.8309	3.32042	19.20932
29	38.0626	20.3197	6.1655	3.29569	20.17263
30	38.1555	20.5870	6.2544	3.29161	20.43589
31	38.4782	21.4952	6.5731	3.27020	21.34005
32	38.7862	22.3286	6.9103	3.23121	22.20268
33	39.0949	23.2742	7.2379	3.21559	23.16722
34	39.2932	23.8701	7.4288	3.21321	23.75565
35	39.6027	24.8524	7.7463	3.20830	24.74598
36	39.7113	25.1059	7.8690	3.19049	25.01357

ตารางที่ ง.13 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.15 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7568	0.4809	0.4478	1.07398	0.92186
2	31.7832	0.9361	0.5001	1.87163	1.40301
3	31.9974	1.9952	0.6032	3.30762	2.35100
4	32.2960	3.0679	0.7705	3.98174	3.29233
5	32.4735	3.6496	0.8701	4.19460	3.79622
6	32.7721	4.6528	1.0906	4.26637	4.72130
7	32.9281	5.1548	1.2057	4.27553	5.18240
8	33.2276	6.1304	1.4522	4.22159	6.10498
9	33.3052	6.3899	1.5158	4.21550	6.35050
10	33.6044	7.3534	1.7820	4.12642	7.28098
11	33.7741	7.9143	1.9157	4.13128	7.80589
12	34.0236	8.6804	2.1393	4.05765	8.54602
13	34.3357	9.6288	2.3984	4.01473	9.44147
14	34.5101	10.1874	2.5536	3.98941	9.98091
15	34.8294	11.1627	2.8121	3.96954	10.89539
16	34.7897	11.6222	2.9757	3.90568	11.55822
17	35.3030	12.6175	3.2327	3.90311	12.29718
18	35.3956	12.8883	3.3341	3.86562	12.57678
19	35.7132	13.8329	3.6214	3.81977	13.49110
20	35.9016	14.3687	3.8026	3.77865	14.01970
21	36.2237	15.3371	4.0878	3.75194	14.95118
22	36.3228	15.6315	4.2041	3.71813	15.26283
23	36.6499	16.5332	4.5130	3.66349	16.14627
24	36.8373	17.0702	4.7034	3.62934	16.68629
25	37.1697	18.0403	4.9932	3.61296	17.61382
26	37.4496	18.8943	5.2958	3.56780	18.49049
27	37.7718	19.8431	5.6241	3.52822	19.44541
28	37.9646	20.4161	5.8235	3.50580	20.02502
29	38.2915	21.3037	6.1357	3.47207	20.89793
30	38.4806	21.8903	6.3515	3.44649	21.51118
31	38.8014	22.7878	6.6815	3.41059	22.41788
32	38.9010	23.0658	6.7516	3.41636	22.66637
33	39.2201	24.0903	7.0666	3.40904	23.68680
34	39.3174	24.3498	7.1942	3.38462	23.97664
35	39.4362	24.6898	7.2960	3.38404	24.29955
36	39.7358	25.6145	7.6085	3.36655	25.23723

ตารางที่ ง.14 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.20 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7564	0.4846	0.4554	1.06400	0.93357
2	31.8890	1.6433	0.5101	3.22182	2.01439
3	32.0012	2.1854	0.5239	4.17107	2.45812
4	32.3019	3.2863	0.6779	4.84795	3.41223
5	32.4710	3.8765	0.7699	5.03493	3.92540
6	32.7661	4.8841	0.9578	5.09930	4.82574
7	32.8552	5.1619	1.0110	5.10559	5.06767
8	33.1555	6.1774	1.2369	4.99412	6.00887
9	33.2334	6.4177	1.3037	4.92267	6.23798
10	33.5228	7.3911	1.5436	4.78835	7.16180
11	33.6032	7.6740	1.6122	4.76006	7.43299
12	33.9038	8.6437	1.8546	4.66060	8.34458
13	33.9871	8.9245	1.9241	4.63834	8.61146
14	34.2953	9.8952	2.1718	4.55619	9.52175
15	34.3821	10.1077	2.2421	4.50824	9.71765
16	34.6926	11.1321	2.4993	4.45407	10.68881
17	34.7774	11.3867	2.5685	4.43316	10.92783
18	35.0946	12.3366	2.8302	4.35885	11.82224
19	35.2712	12.8690	2.9924	4.30060	12.34017
20	35.5860	13.8415	3.2644	4.24014	13.26990
21	35.6792	14.0980	3.3508	4.20740	13.51956
22	36.0036	15.0349	3.6361	4.13489	14.41741
23	36.0936	15.3260	3.7247	4.11469	14.70710
24	36.4191	16.2552	4.0187	4.04491	15.60478
25	36.5137	16.5798	4.1014	4.04251	15.91746
26	36.8433	17.4827	4.4266	3.94948	16.81598
27	37.0342	18.0575	4.6015	3.92425	17.37482
28	37.3593	18.9383	4.8900	3.87288	18.21898
29	37.6316	19.8981	5.1729	3.84662	19.18938
30	37.9575	20.7980	5.5073	3.77644	20.09780
31	38.1541	21.3381	5.6866	3.75238	20.62055
32	38.4667	22.3106	6.0095	3.71254	21.60342
33	38.6625	22.8676	6.2114	3.68158	22.16646
34	38.9821	23.8252	6.5363	3.64509	23.12935
35	39.1707	24.4012	6.7191	3.63164	23.69955
36	39.4914	25.3365	7.0211	3.60862	24.61620

ตารางที่ ง.15 แสดงข้อมูลสำหรับจัดทำ Calibration curve of Double cup extrusion test ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.57 ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Step	H; mm	H ₁ ; mm	H ₂ ; mm	Cup height ratio; R	Real stroke; S _r
0	31.75	0	0	0	0
1	31.7561	0.5107	0.4175	1.22335	0.92213
2	31.8381	1.7360	0.4451	3.90000	2.09308
3	31.9087	2.3091	0.4612	5.00669	2.61159
4	31.9772	2.7601	0.4850	5.69131	3.01786
5	32.2020	3.8882	0.5974	6.50823	4.03358
6	32.4577	4.9193	0.7460	6.59454	4.95751
7	32.5316	5.2028	0.8377	6.21085	5.25894
8	32.7864	6.2179	1.0642	5.84297	6.24562
9	32.8420	6.4790	1.1182	5.79431	6.50519
10	33.0953	7.4869	1.3463	5.56111	7.48786
11	33.1600	7.7640	1.4136	5.49234	7.76763
12	33.4080	8.7256	1.6463	5.30018	8.71393
13	33.4775	9.0108	1.7109	5.26666	8.99419
14	33.7139	10.0208	1.9297	5.19299	9.98658
15	33.7789	10.3028	2.0042	5.14071	10.27806
16	34.0156	11.3205	2.2411	5.05127	11.29602
17	34.0821	11.5851	2.3152	5.00397	11.56818
18	34.3206	12.5685	2.5538	4.92151	12.55169
19	34.3791	12.8832	2.6334	4.89230	12.88746
20	34.6106	13.8870	2.8748	4.83055	13.90123
21	34.7447	14.3745	3.0020	4.78824	14.38184
22	34.9838	15.3296	3.2713	4.68605	15.36713
23	35.1167	15.9379	3.4418	4.63074	16.01296
24	35.3619	16.9189	3.6966	4.57688	17.00360
25	35.5045	17.5391	3.8676	4.53490	17.65218
26	35.7459	18.4251	4.1292	4.46218	18.55837
27	35.8807	19.0133	4.2829	4.43938	19.16547
28	36.1317	20.0053	4.5562	4.39081	20.17978
29	36.2037	20.3058	4.6536	4.36344	20.50572
30	36.4482	21.2417	4.9167	4.32031	21.46021
31	36.5924	21.7967	5.0914	4.28109	22.04569
32	36.8438	22.7888	5.3849	4.23198	23.07990
33	36.9912	23.3576	5.5599	4.20108	23.67630
34	37.2328	24.3022	5.8450	4.15775	24.66444
35	37.3035	24.6550	5.9363	4.15327	25.03779
36	37.4381	25.1476	6.0697	4.14312	25.52923

ภาคผนวก จ

ค่าที่วัดจากชิ้นงานทดสอบและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ได้จากการทดสอบ

Ring compression test และ Double cup extrusion test

ตารางที่ จ.1 แสดงค่าต่างๆ ที่วัดจากชิ้นงานหลังการทดสอบ Ring compression test

Condition		Inner diameter; D_{in} (mm)				$D_{in,ave}$	Height; h (mm)		h_{ave}	$\%D_{in}$	$\%h$
Non lubricant (0 g/m ³)	No.1	13.51	14.14	13.65	14.09	13.848	4.96	4.96	4.960	12.772	53.119
	No.2	13.60	14.32	12.91	14.43	13.815	5.09	5.11	5.100	12.976	51.796
	No.3	12.92	14.78	14.04	13.76	13.875	5.04	5.02	5.030	12.598	52.457
	No.4	13.62	13.95	13.11	12.98	13.415	5.09	5.05	5.070	15.496	52.079
	No.5	13.67	13.71	13.22	13.19	13.448	4.99	5.02	5.005	15.291	52.694
Aluminum fluoride (0.88 g/m ³)	No.1	15.58	15.61	15.48	15.52	15.548	4.98	4.98	4.980	2.063	52.930
	No.2	15.69	15.55	15.45	15.42	15.528	5.04	5.03	5.035	2.189	52.410
	No.3	15.2	15.37	15.11	15.15	15.208	5.02	5.03	5.025	4.205	52.505
	No.4	15.1	15.53	15.16	15.65	15.360	5	4.99	4.995	3.244	52.788
	No.5	15.62	14.89	15.45	15.39	15.338	5.01	5.01	5.010	3.386	52.647
Aluminum fluoride (1.71 g/m ³)	No.1	15.37	15.34	15.46	15.25	15.355	4.96	4.96	4.960	3.276	53.119
	No.2	14.97	15.58	15.2	15.48	15.308	4.96	4.97	4.965	3.575	53.072
	No.3	15.22	15.58	16.15	15.25	15.550	4.96	4.97	4.965	2.047	53.072
	No.4	15.57	15.21	15.16	15.79	15.433	4.97	4.98	4.975	2.787	52.977
	No.5	15.69	15.26	15.19	15.41	15.388	4.96	4.97	4.965	3.071	53.072
Aluminum fluoride (1.80 g/m ³)	No.1	15.67	15.72	15.93	15.85	15.793	4.95	4.96	4.955	0.520	53.166
	No.2	15.43	16.07	15.3	15.23	15.508	4.95	4.96	4.955	2.315	53.166
	No.3	15.21	15.61	15.62	15.44	15.470	4.95	4.93	4.940	2.551	53.308
	No.4	15.97	15.61	15.24	15.31	15.533	4.95	4.96	4.955	2.157	53.166
	No.5	16.13	15.66	15.19	15.59	15.643	4.97	4.97	4.970	1.465	53.025
Aluminum fluoride (2.07 g/m ³)	No.1	15.71	16.63	15.69	16.23	16.065	4.99	4.99	4.990	-1.197	52.836
	No.2	15.55	16.55	15.55	16.60	16.063	5.01	5.02	5.015	-1.181	52.599
	No.3	16.37	15.50	16.76	15.51	16.035	4.99	5.01	5.000	-1.008	52.741
	No.4	15.70	16.30	15.65	16.47	16.030	5.03	5.02	5.025	-0.976	52.505
	No.5	17.00	15.36	15.89	15.87	16.030	4.99	4.99	4.990	-0.976	52.836
Aluminum fluoride (5.92 g/m ³)	No.1	16.47	15.92	16.12	16.3	16.203	4.96	4.96	4.960	-2.063	53.119
	No.2	16.37	15.74	15.62	16.29	16.005	4.96	4.95	4.955	-0.819	53.166
	No.3	16.81	16.16	15.91	16.42	16.325	4.96	4.95	4.955	-2.835	53.166
	No.4	15.91	16.16	16.19	16.21	16.118	4.94	4.95	4.945	-1.528	53.261
	No.5	16.5	16.23	15.79	15.91	16.108	4.93	4.93	4.930	-1.465	53.403
Phosphate (0.73 g/m ³)	No.1	16.89	16.85	16.22	16.19	16.538	5.11	5.11	5.110	-4.173	51.701
	No.2	17.18	17.02	16.51	16.44	16.788	5.09	5.12	5.105	-5.748	51.749
	No.3	16.63	16.68	16.20	16.03	16.385	4.95	4.95	4.950	-3.213	53.214
	No.4	16.61	16.96	16.00	16.13	16.425	4.95	4.96	4.955	-3.465	53.166
	No.5	16.99	17.27	16.42	16.39	16.768	4.97	4.97	4.970	-5.622	53.025

ตารางที่ จ.2 แสดงค่าต่างๆ ที่วัดจากชิ้นงานหลังการทดสอบ Double cup extrusion test

Condition		H		H _{ave}	H ₁		H _{1,ave}	H ₂		H _{2,ave}	R	S _r
Non lubricant (0 g/m ²)	No.1	38.78	39.46	39.12	24.11	23.44	23.78	6.94	7.38	7.16	3.321	23.565
	No.2	39.64	39.20	39.42	23.82	23.74	23.78	7.27	7.02	7.15	3.328	23.255
	No.3	38.92	38.32	38.62	22.83	23.62	23.23	7.46	7.04	7.25	3.203	23.605
	No.4	38.58	39.26	38.92	23.93	23.11	23.52	7.08	6.93	7.01	3.358	23.355
	No.5	39.59	38.54	39.07	24.42	23.70	24.06	7.51	6.69	7.10	3.389	23.845
Aluminum fluoride (1.07 g/m ²)	No.1	38.76	39.13	38.95	22.80	22.72	22.76	7.77	7.86	7.82	2.912	23.380
	No.2	39.16	38.88	39.02	22.58	22.46	22.52	8.42	8.26	8.34	2.700	23.590
	No.3	38.40	38.64	38.52	22.32	22.37	22.35	7.88	8.00	7.94	2.814	23.515
	No.4	38.78	38.84	38.81	22.79	22.76	22.78	7.90	7.75	7.83	2.911	23.540
	No.5	38.68	38.48	38.58	22.52	22.41	22.47	8.00	7.89	7.95	2.828	23.580
Aluminum fluoride (1.61 g/m ²)	No.1	38.47	39.14	38.81	23.06	22.82	22.94	7.83	7.91	7.87	2.915	23.755
	No.2	38.93	38.13	38.53	22.06	22.12	22.09	7.80	8.20	8.00	2.761	23.310
	No.3	37.98	37.84	37.91	21.50	21.48	21.49	8.51	8.00	8.26	2.603	23.585
	No.4	37.96	38.14	38.05	22.00	21.98	21.99	8.03	8.35	8.19	2.685	23.880
	No.5	38.14	38.45	38.30	22.29	22.20	22.25	7.92	8.20	8.06	2.760	23.760
Aluminum fluoride (1.89 g/m ²)	No.1	38.25	38.65	38.45	21.52	21.59	21.56	8.44	8.68	8.56	2.518	23.415
	No.2	38.33	38.48	38.41	21.29	21.55	21.42	8.71	8.65	8.68	2.468	23.445
	No.3	38.19	38.76	38.48	22.14	22.39	22.27	7.90	8.26	8.08	2.756	23.620
	No.4	38.35	38.63	38.49	22.40	22.10	22.25	8.17	8.27	8.22	2.707	23.730
	No.5	38.56	38.85	38.71	22.64	22.73	22.69	8.15	8.54	8.35	2.718	24.075
Aluminum fluoride (2.55 g/m ²)	No.1	38.63	38.95	38.79	21.68	21.70	21.69	8.78	8.82	8.80	2.465	23.450
	No.2	39.15	38.91	39.03	22.35	22.39	22.37	8.28	8.09	8.19	2.733	23.275
	No.3	39.21	38.94	39.08	22.19	22.28	22.24	8.80	8.05	8.43	2.639	23.335
	No.4	38.78	39.07	38.93	21.48	21.47	21.48	9.13	8.82	8.98	2.393	23.275
	No.5	38.97	39.53	39.25	22.08	21.97	22.03	8.17	8.84	8.51	2.590	23.030
Aluminum fluoride (5.30 g/m ²)	No.1	38.96	38.76	38.86	21.40	21.35	21.38	9.26	9.23	9.25	2.312	23.510
	No.2	39.01	38.99	39.00	21.28	21.36	21.32	9.13	8.97	9.05	2.356	23.120
	No.3	39.31	39.04	39.18	21.26	21.28	21.27	9.24	9.20	9.22	2.307	23.065
	No.4	39.39	39.30	39.35	22.19	22.07	22.13	8.83	8.89	8.86	2.498	23.395
	No.5	38.94	38.98	38.96	21.36	21.26	21.31	8.91	9.01	8.96	2.378	23.060
Phosphate (0.80 g/m ²)	No.1	38.87	38.75	38.81	21.2	21.14	21.17	8.82	8.77	8.80	2.407	22.905
	No.2	38.79	38.66	38.73	21.41	21.6	21.51	8.58	8.69	8.64	2.490	23.165
	No.3	38.68	38.61	38.65	20.91	21.18	21.05	8.32	8.61	8.47	2.486	22.615
	No.4	38.69	38.45	38.57	20.56	20.41	20.49	8.98	9.22	9.10	2.251	22.765
	No.5	38.8	38.89	38.85	22.24	22.17	22.21	8.26	8.31	8.29	2.680	23.395

ตารางที่ ๑.๓ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบ Ring compression test

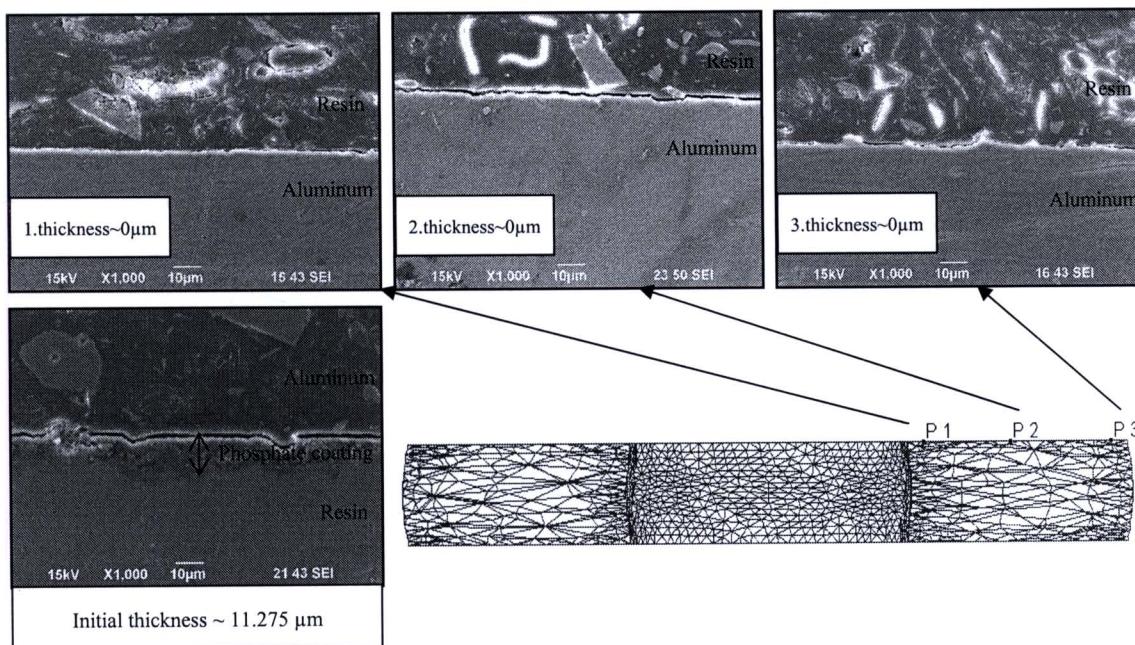
Lubricant	Coating weight of metal soap (g/m ²)	The friction coefficient of Ring compression test; μ					
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Average
lubricant- Non	0.00	0.1780	0.1850	0.1660	0.1590	0.1530	0.1682
S0ap aluminum fluoride coating	0.88	0.0880	0.0891	0.0909	0.0920	0.0965	0.0913
	1.71	0.0912	0.0910	0.0900	0.0890	0.0894	0.0901
	1.80	0.0895	0.0890	0.0893	0.0850	0.0810	0.0868
	2.07	0.0790	0.0790	0.0760	0.0760	0.0770	0.0770
	5.92	0.0785	0.0760	0.0750	0.0746	0.0720	0.0752
Soap phosphate coating	0.73	0.0650	0.0660	0.0700	0.0705	0.0710	0.0685

ตารางที่ ๑.๔ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบ Double cup extrusion test

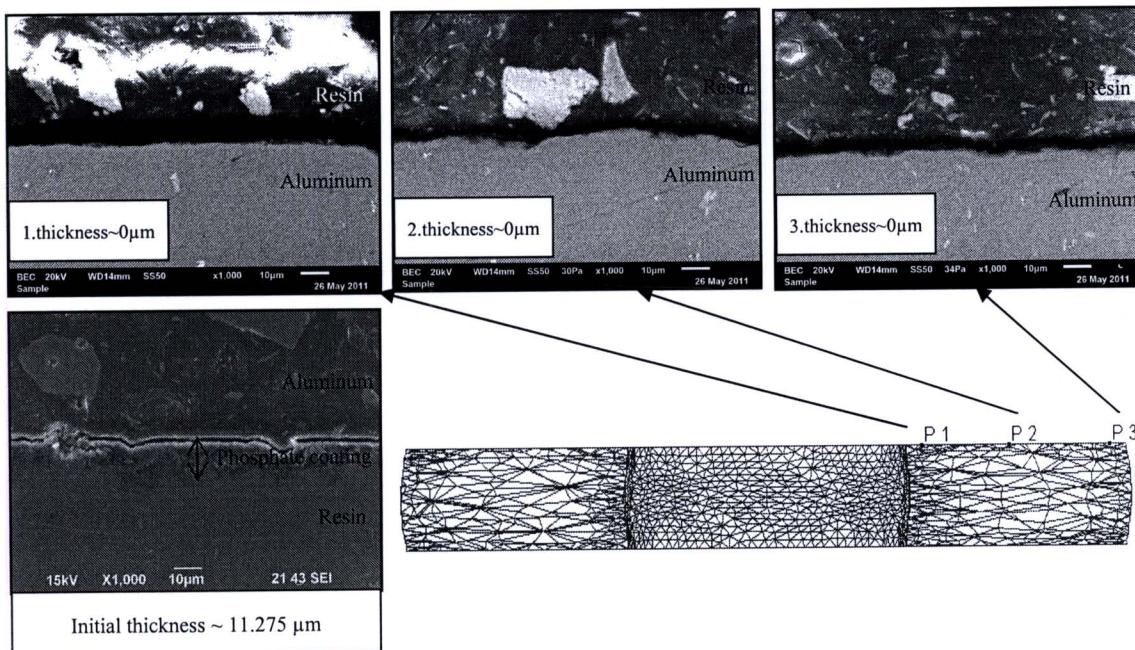
Lubricant	Coating weight of metal soap (g/m ²)	The friction coefficient of Double cup extrusion test; μ					
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Average
lubricant- Non	0.00	0.1500	0.1200	0.1260	0.1285	0.1330	0.1320
Soap aluminum fluoride coating	1.07	0.0850	0.0850	0.0798	0.0789	0.0707	0.0799
	1.61	0.0700	0.0701	0.0746	0.0757	0.0850	0.0750
	1.89	0.0596	0.0609	0.0750	0.0710	0.0720	0.0680
	2.55	0.0725	0.0682	0.0639	0.0597	0.0568	0.0642
	5.30	0.0600	0.0560	0.0550	0.0538	0.0529	0.0555
Soap phosphate coating	0.80	0.0505	0.0570	0.0590	0.0597	0.0600	0.0572

ภาคผนวก ฉ

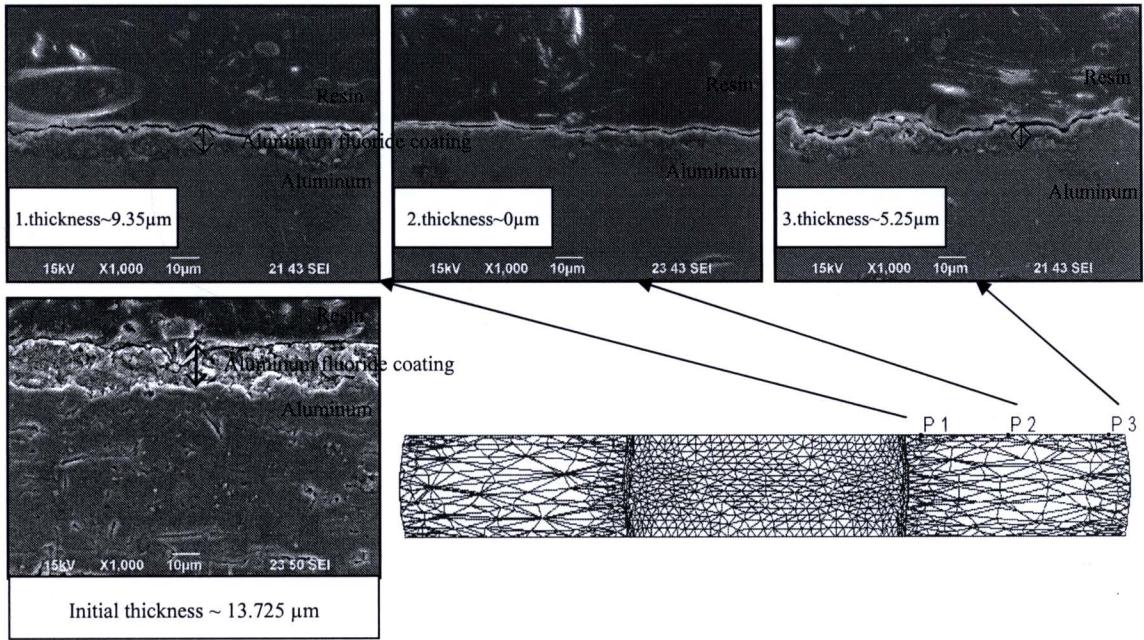
ภาพความหนาของสารหล่อลื่นหลังการทดสอบ Ring compression test และ Double cup
extrusion test ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



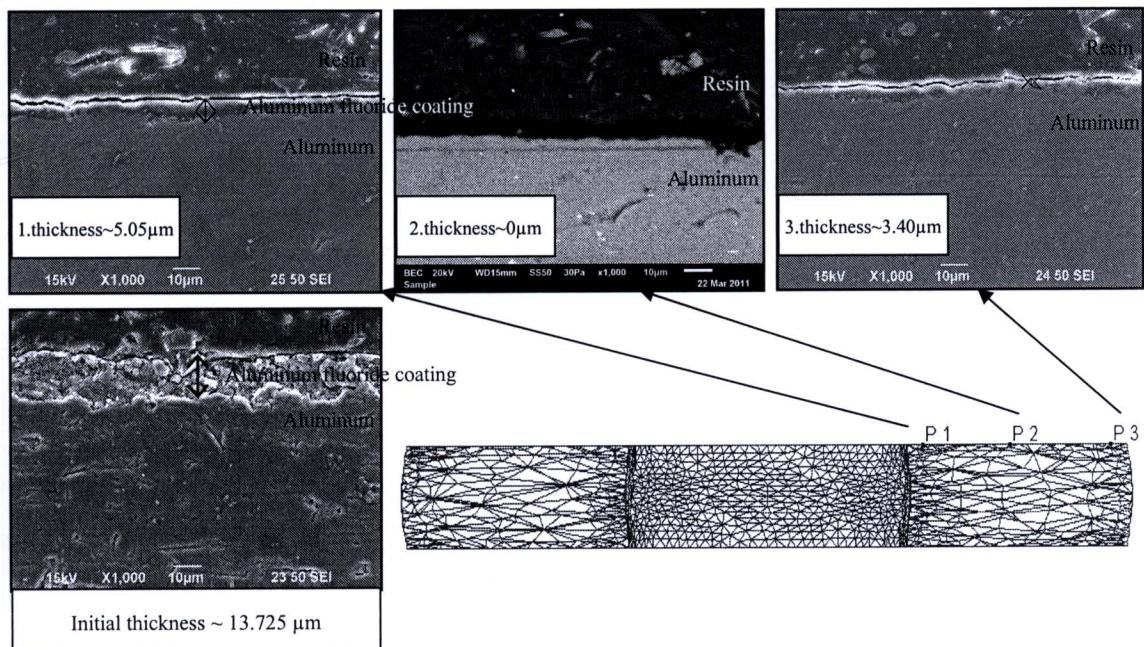
รูปที่ ๑.1 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ PO_4 -soap (Coating weight of metal soap = 0.73 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



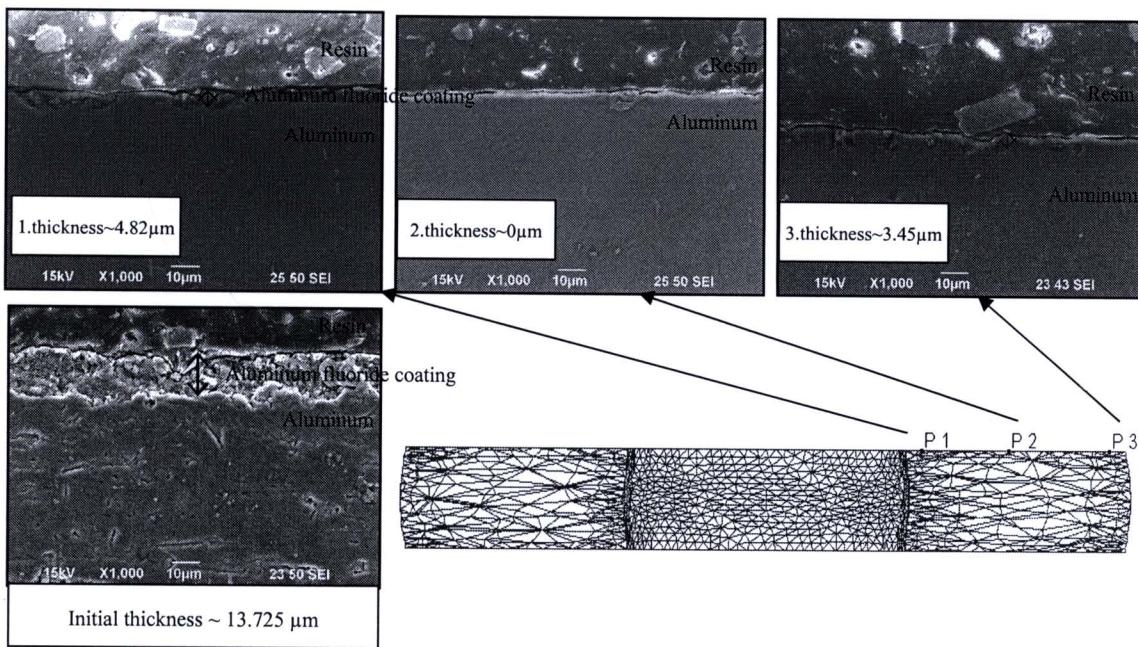
รูปที่ ๑.2 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ PO_4 -soap (Coating weight of metal soap = 0.73 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



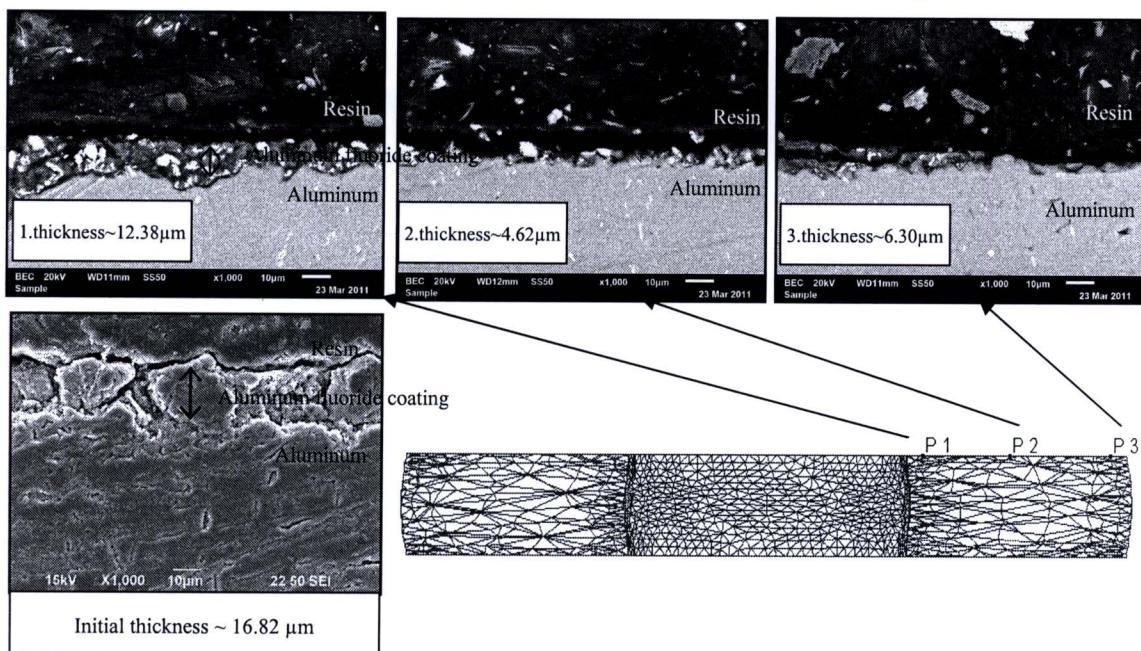
รูปที่ ๓.3 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 0.88 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



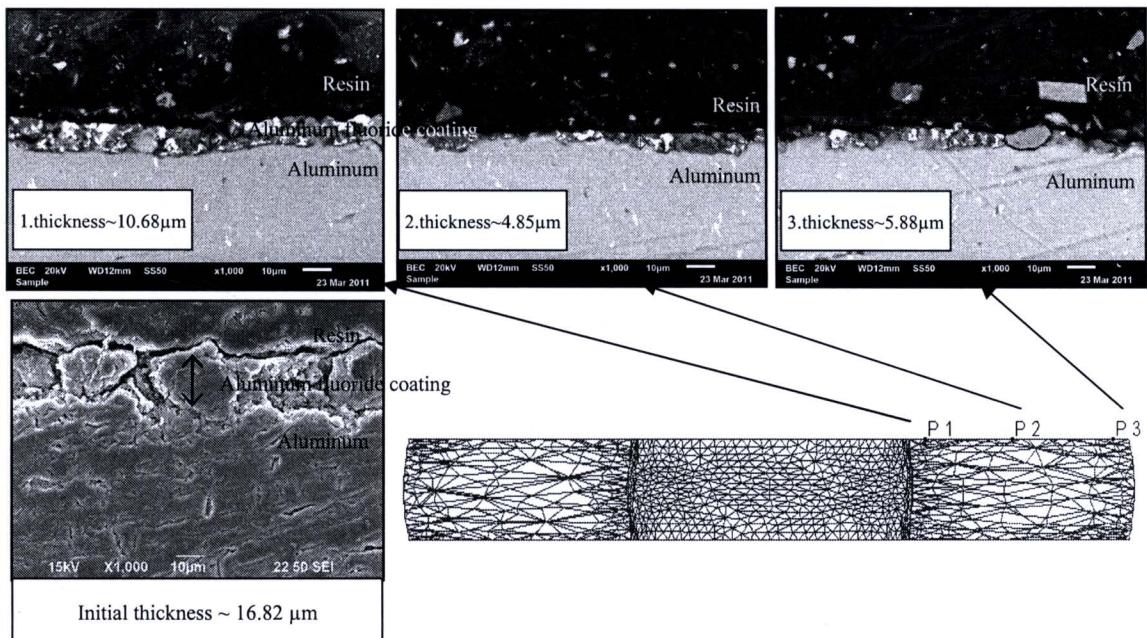
รูปที่ ๓.๔ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 0.88 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



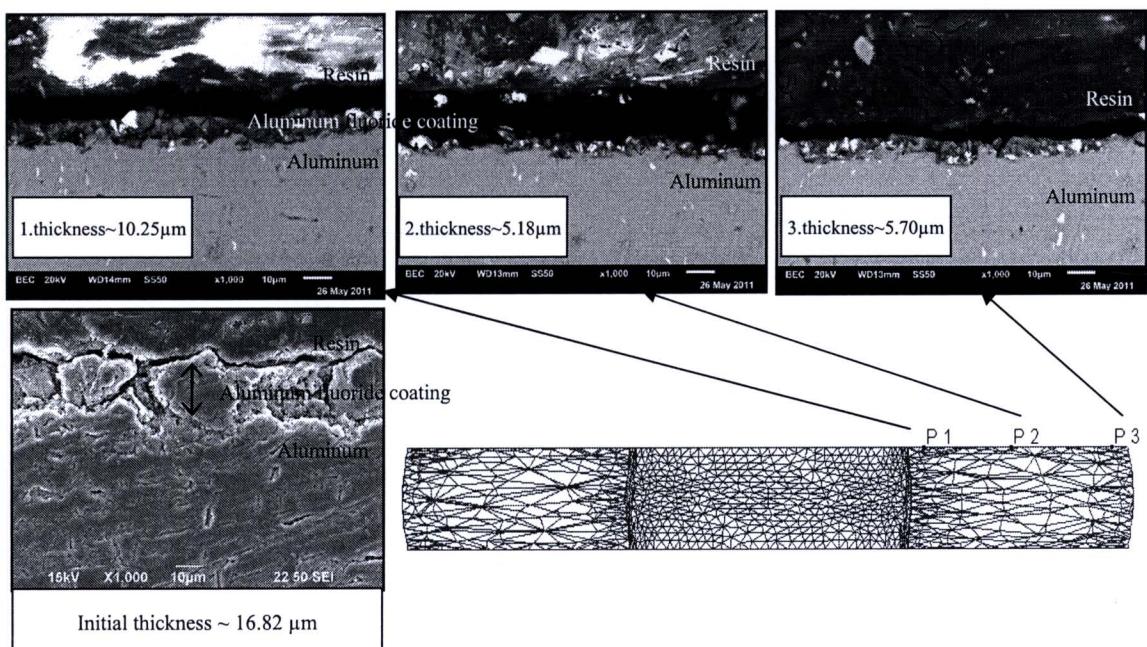
รูปที่ ๑.5 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 0.88 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 3



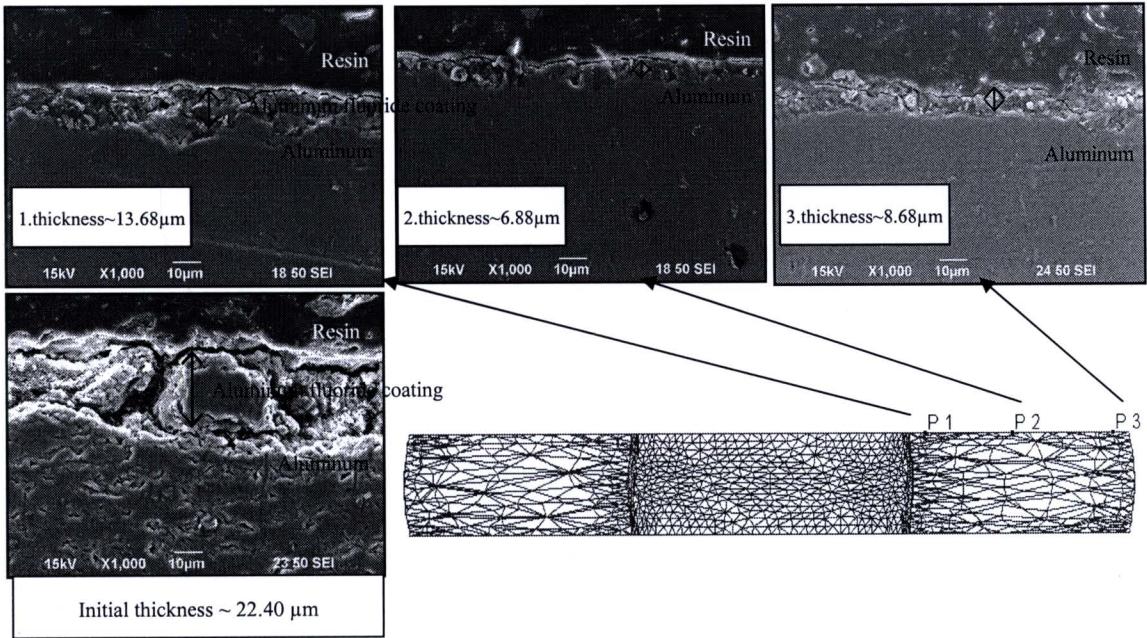
รูปที่ ๑.6 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 2.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



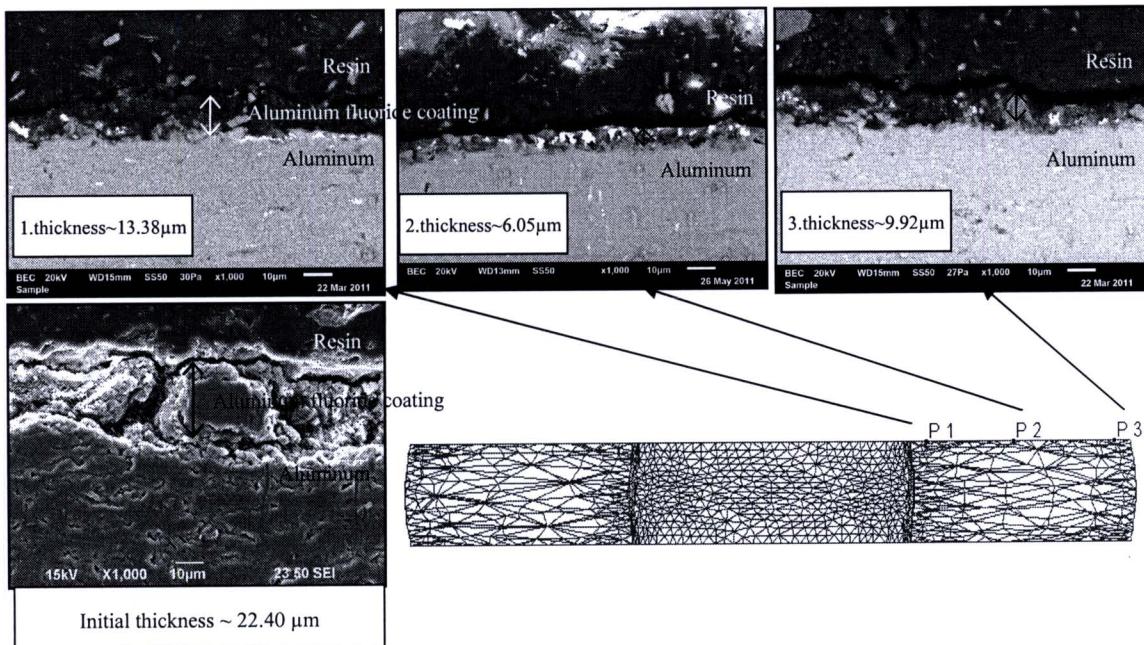
รูปที่ ๗.7 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 2.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



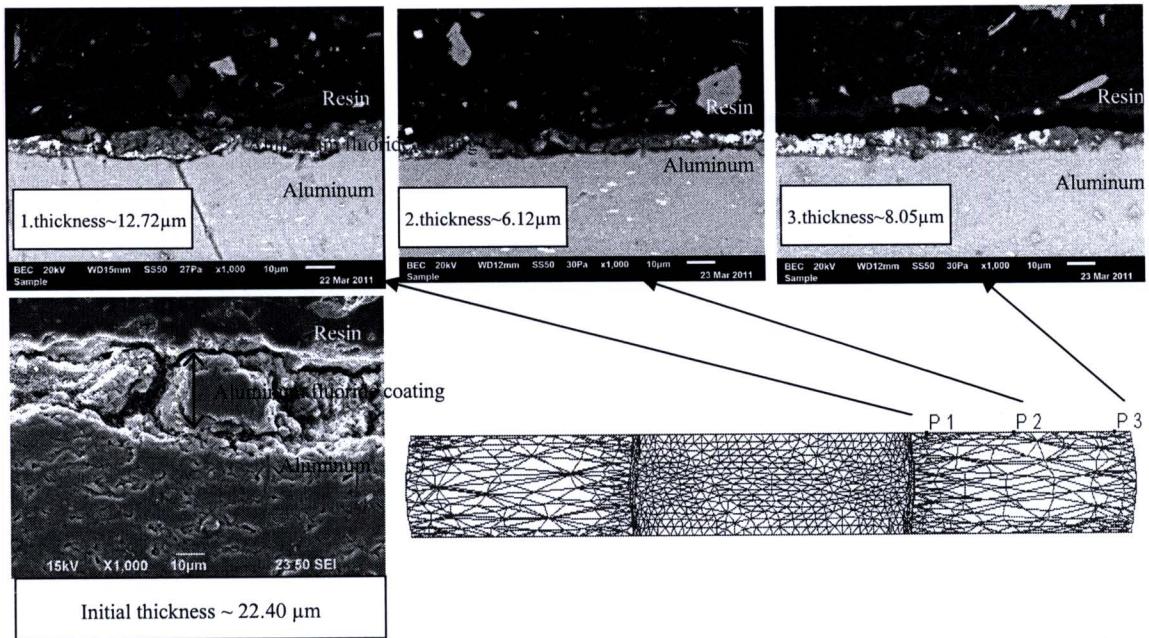
รูปที่ ๗.๘ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 2.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 3



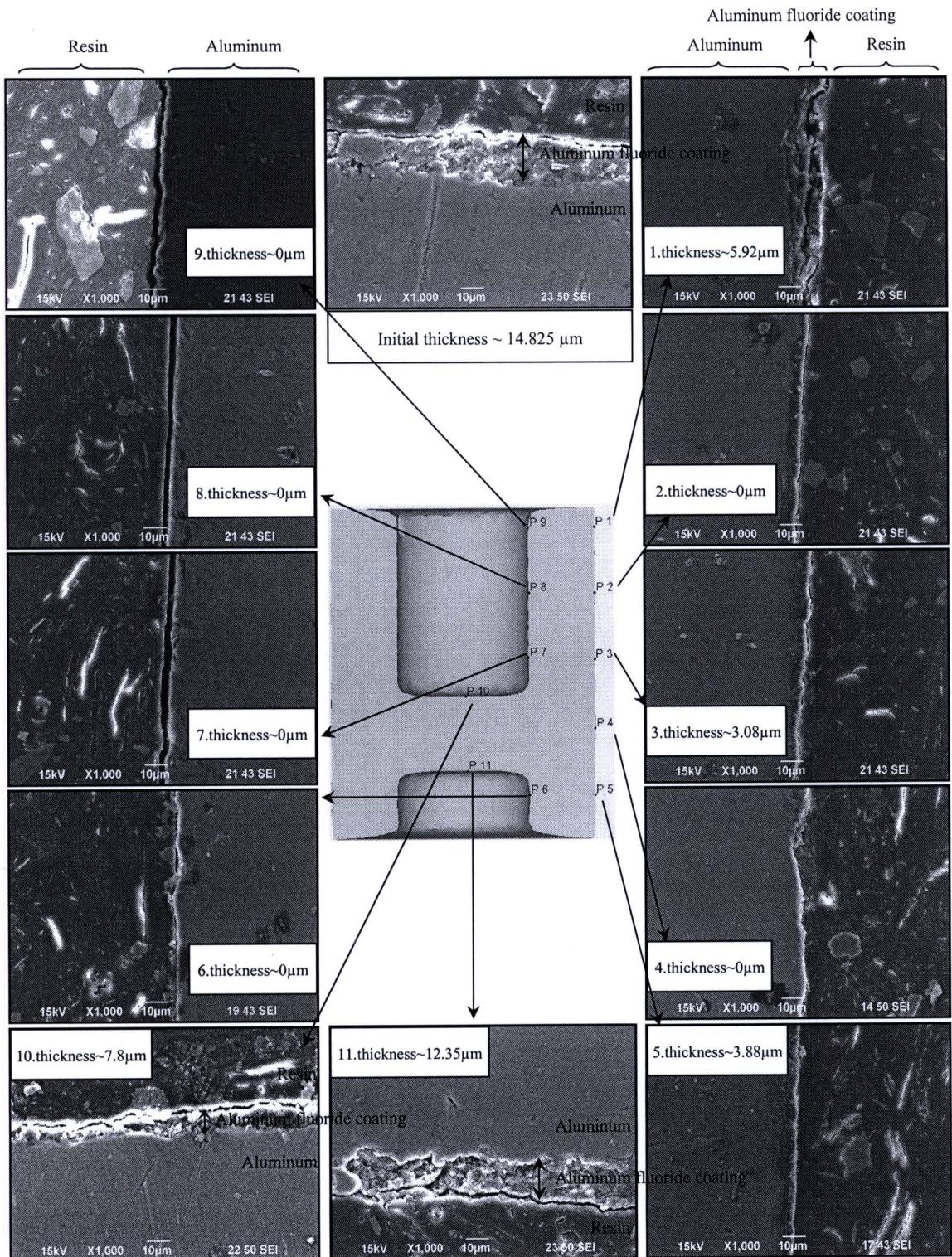
รูปที่ ๑.๙ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 5.92 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



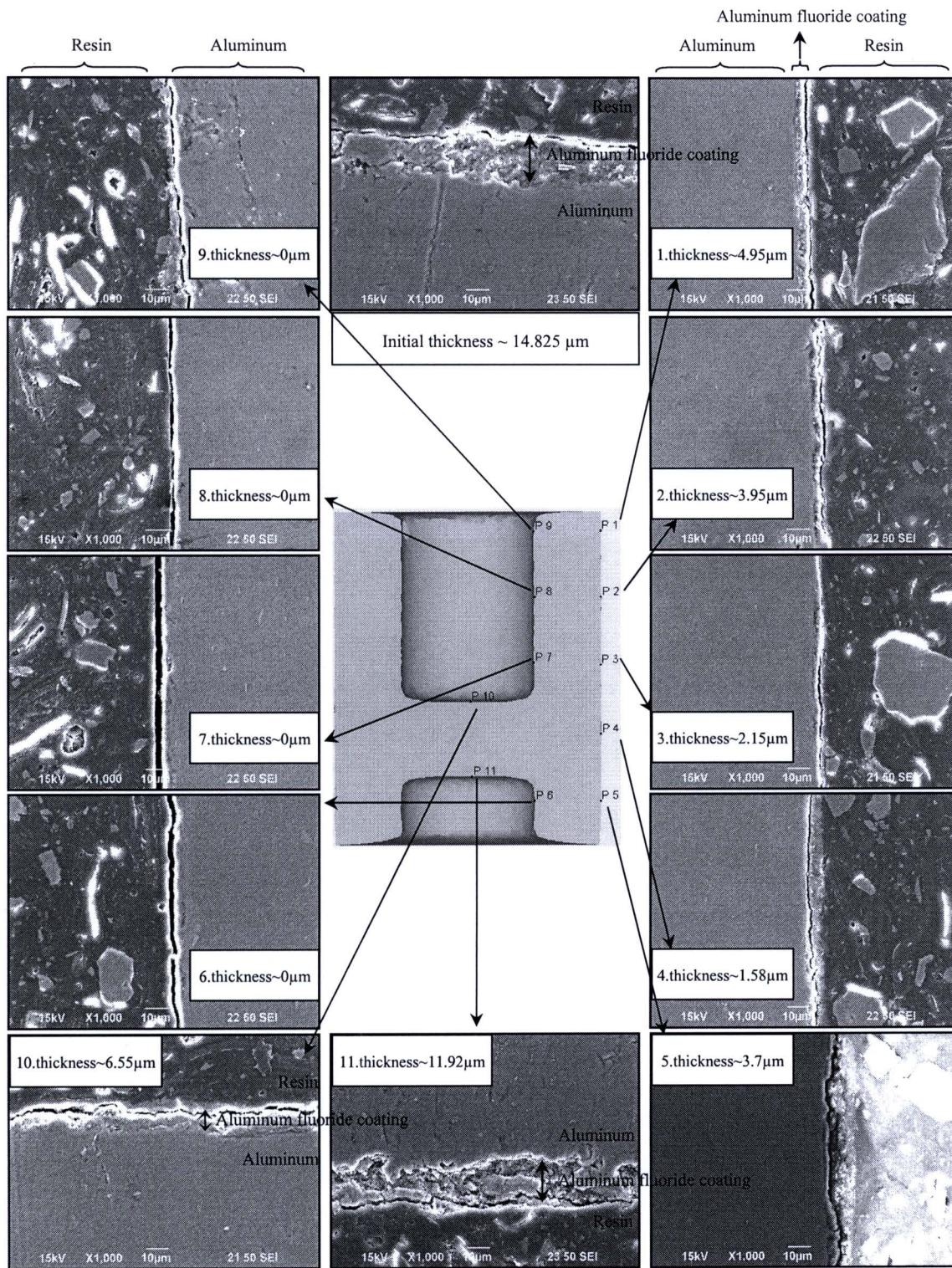
รูปที่ ๑.๑๐ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 5.92 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



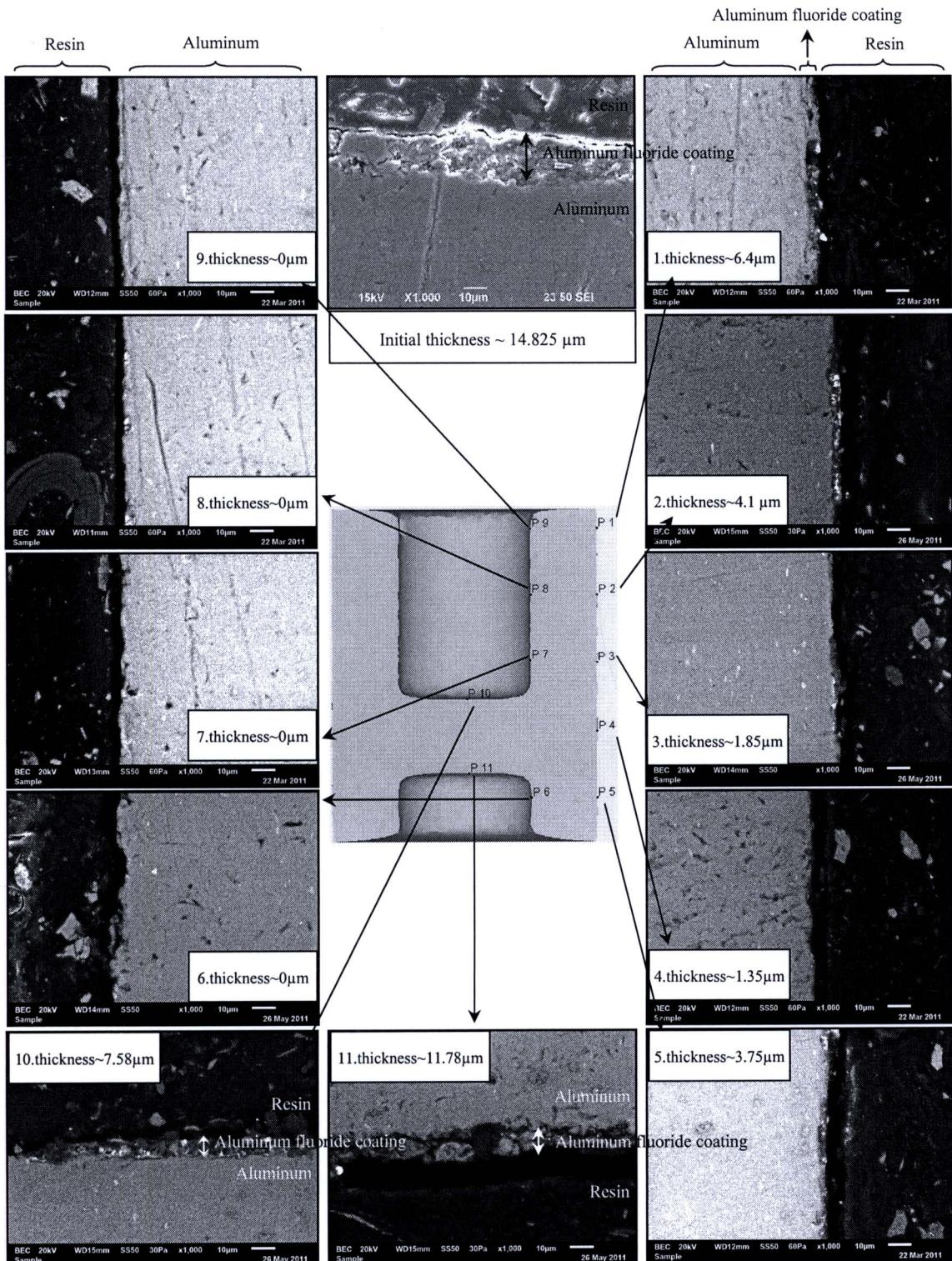
รูปที่ ๑.๑๑ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Ring compression test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 5.92 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 3



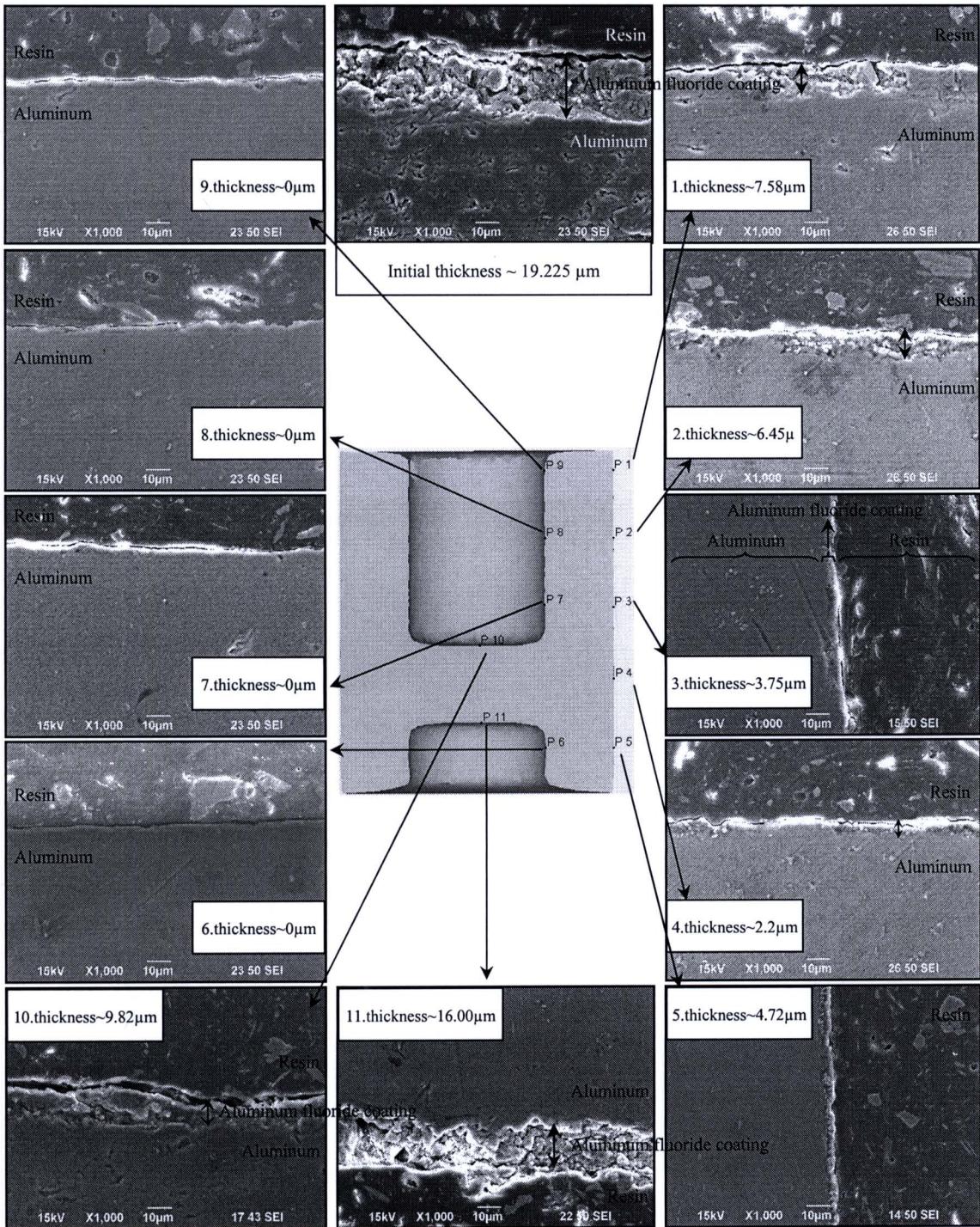
รูปที่ ๑.๑๒ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



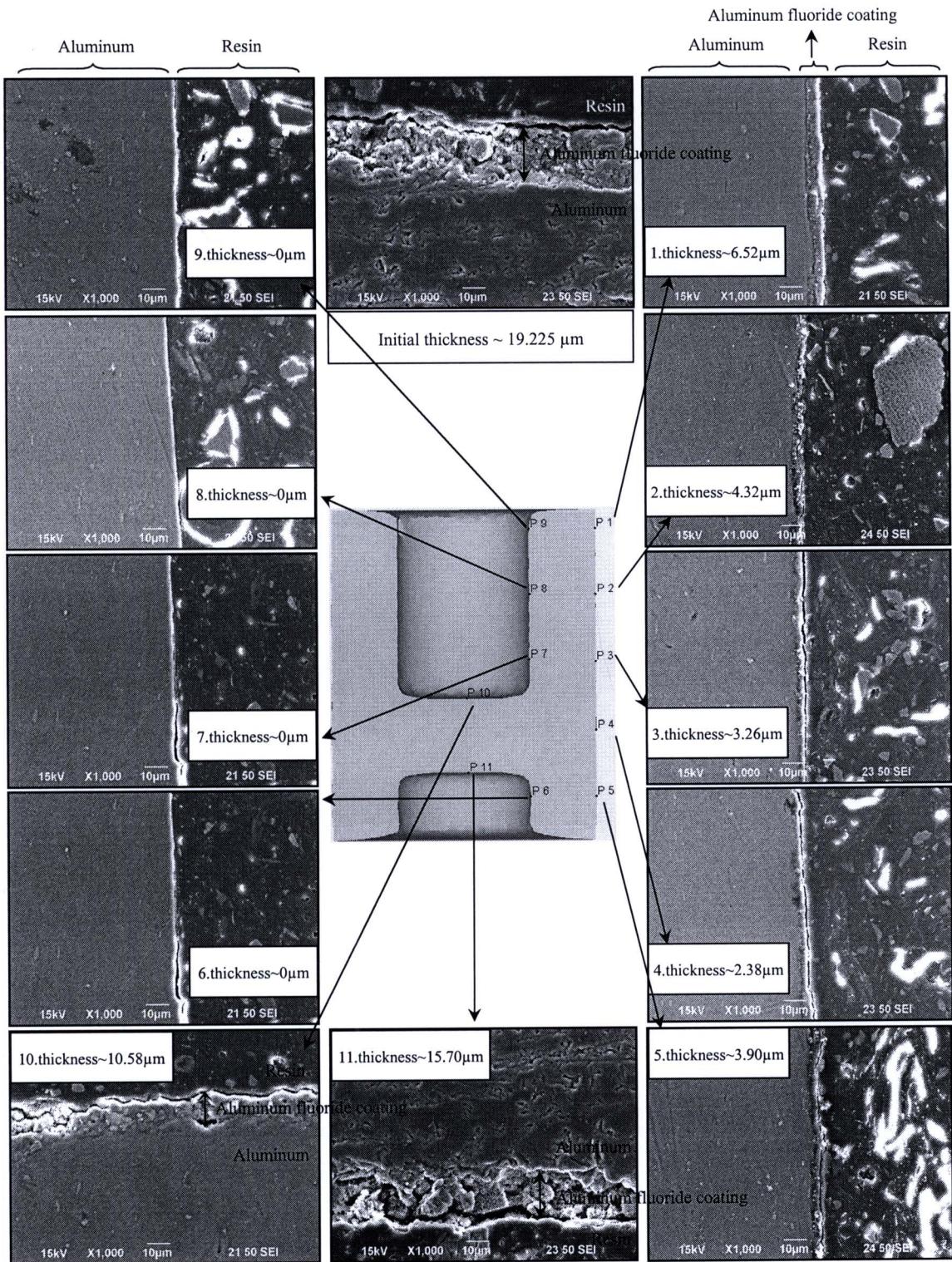
รูปที่ ๑.13 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



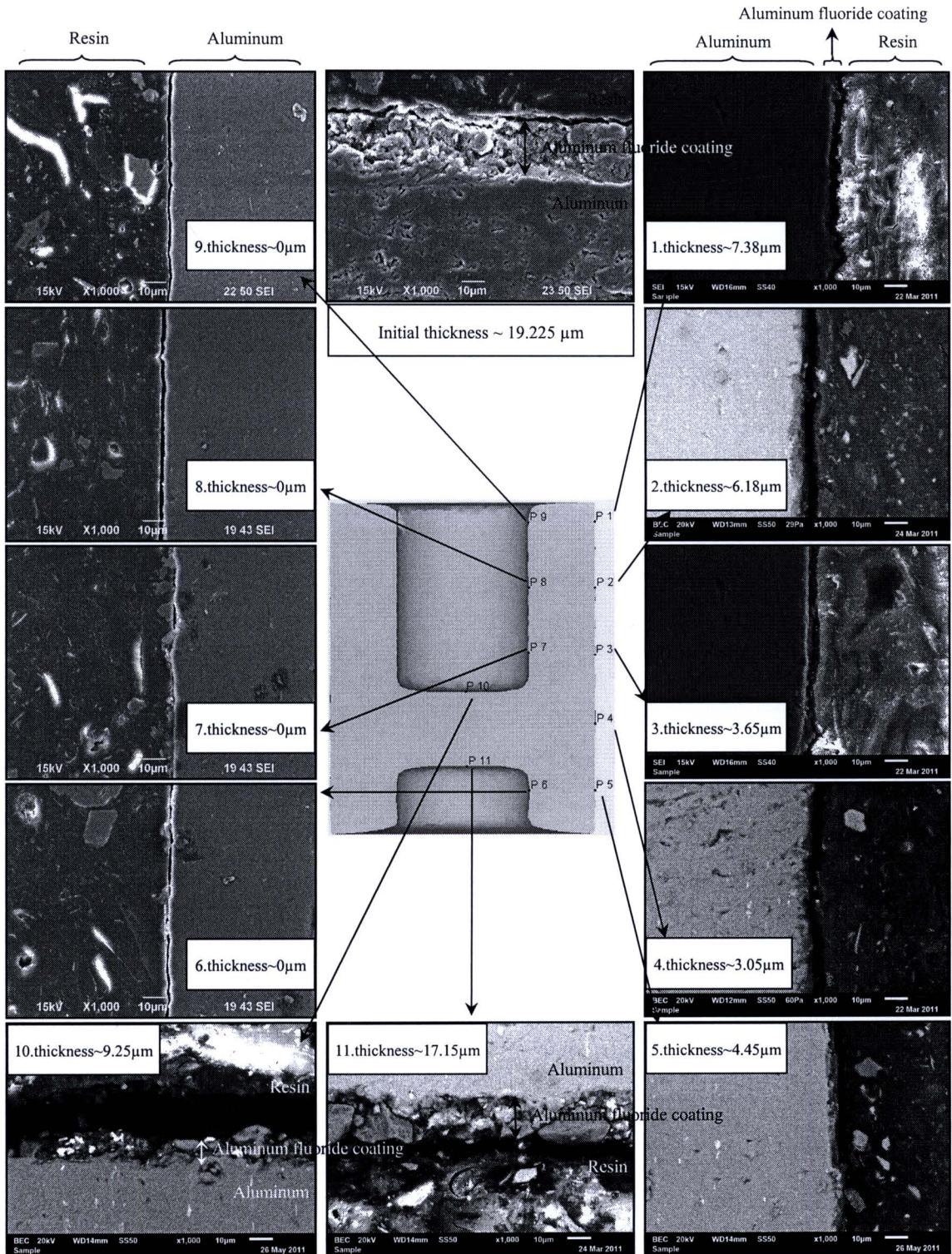
รูปที่ ๑.14 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 3



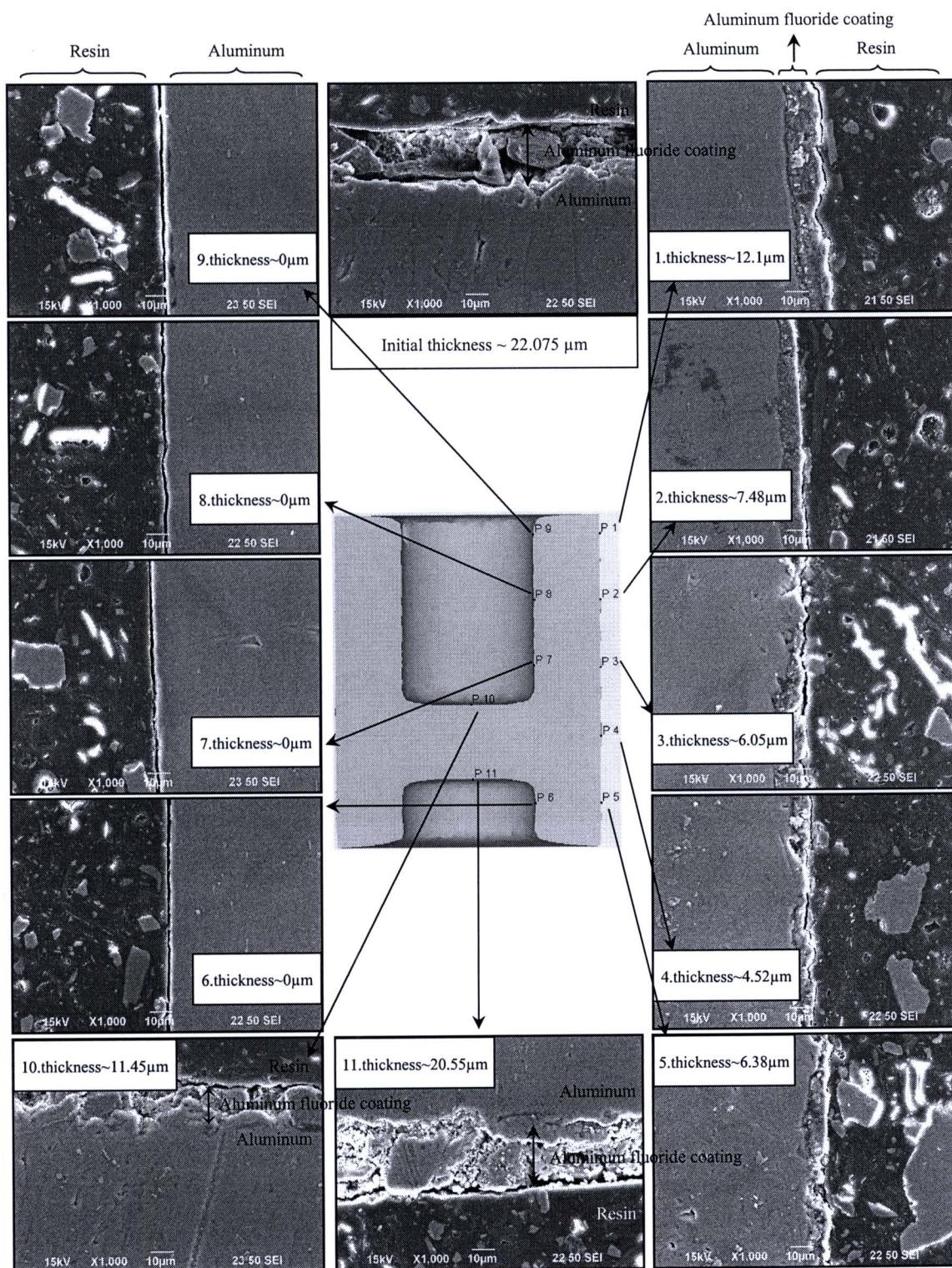
รูปที่ ๑.15 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 2.55 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



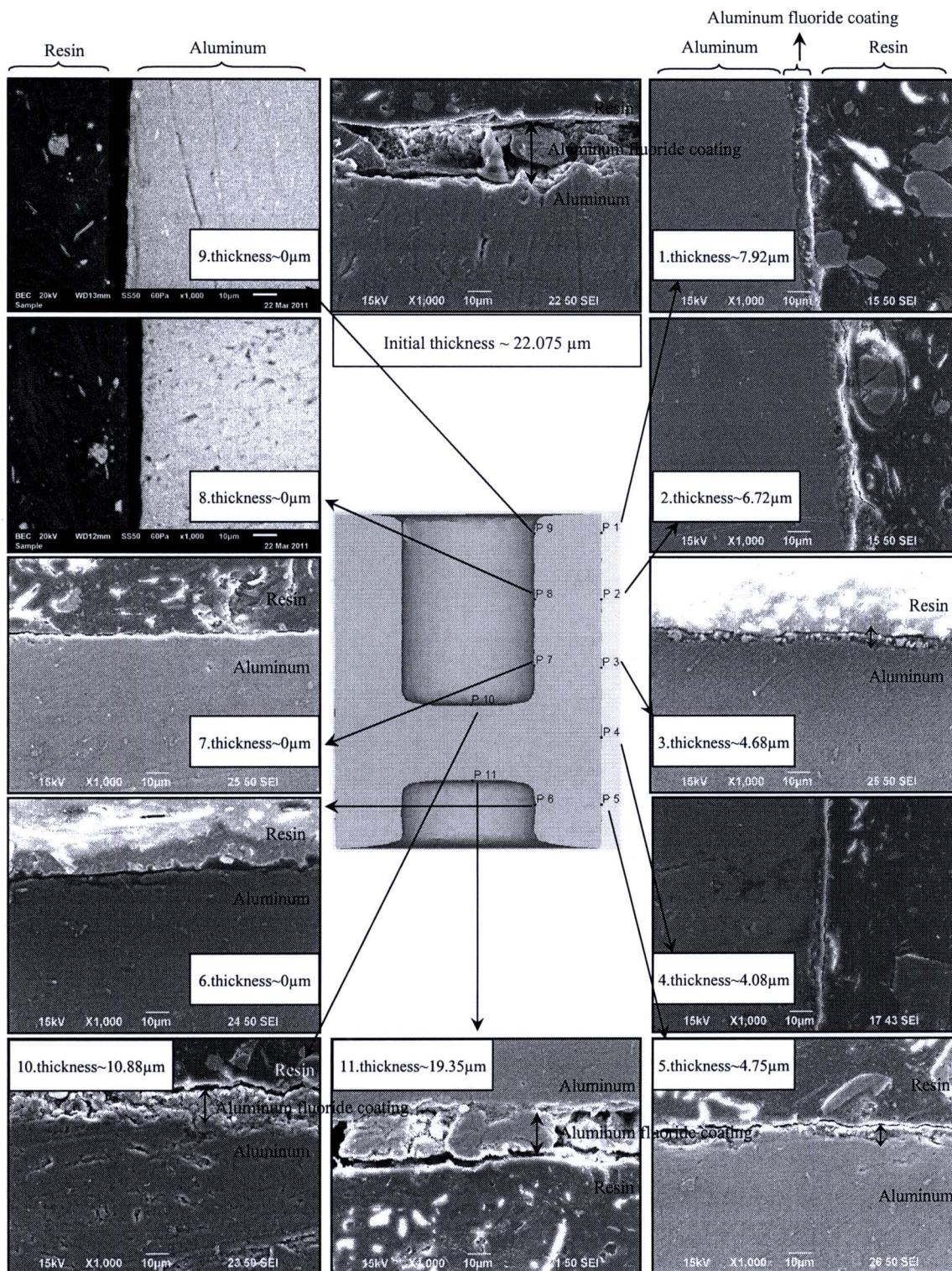
รูปที่ ๑.16 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 2.55 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



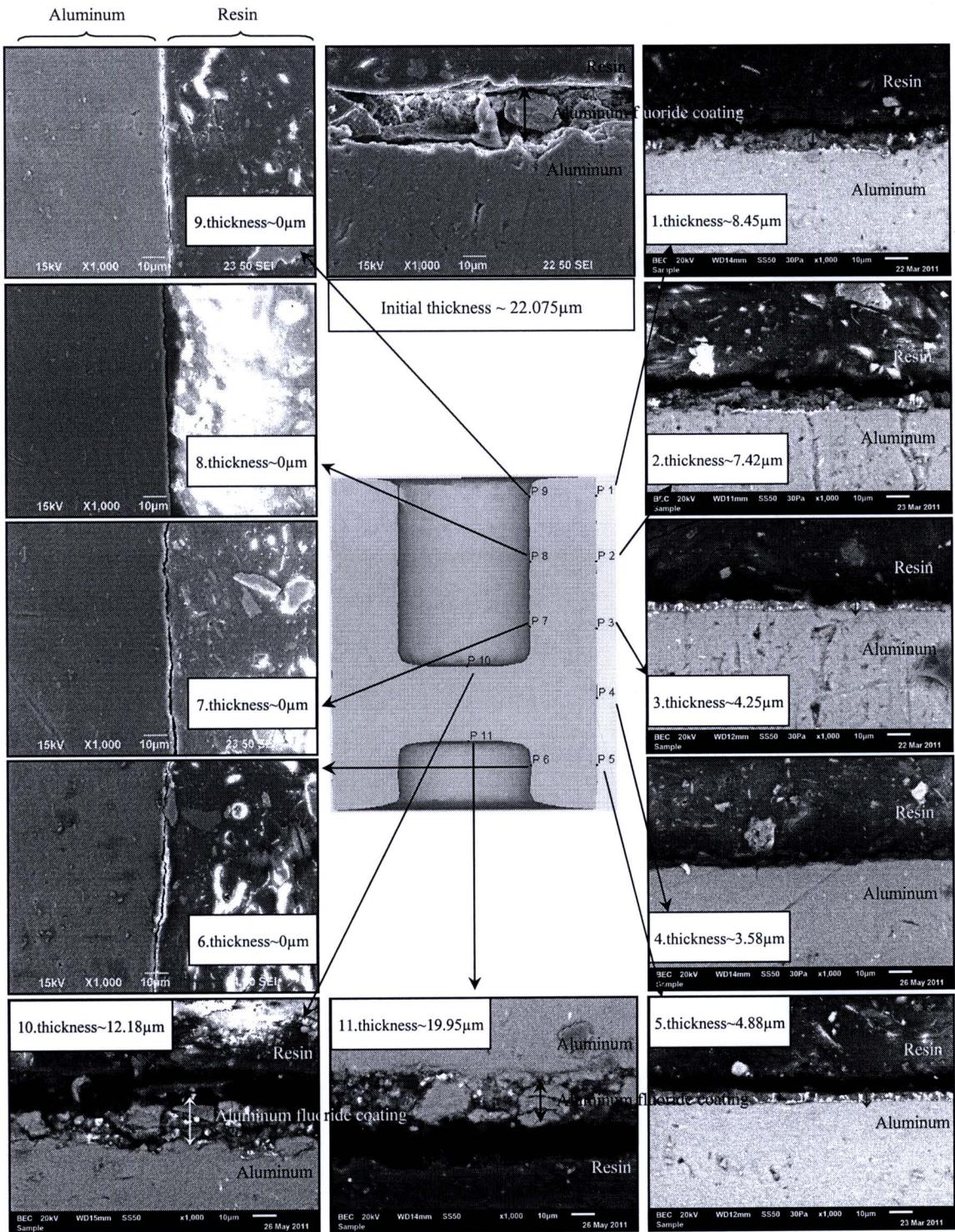
รูปที่ ๑.17 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AIF-soap (Coating weight of metal soap = 2.55 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 3



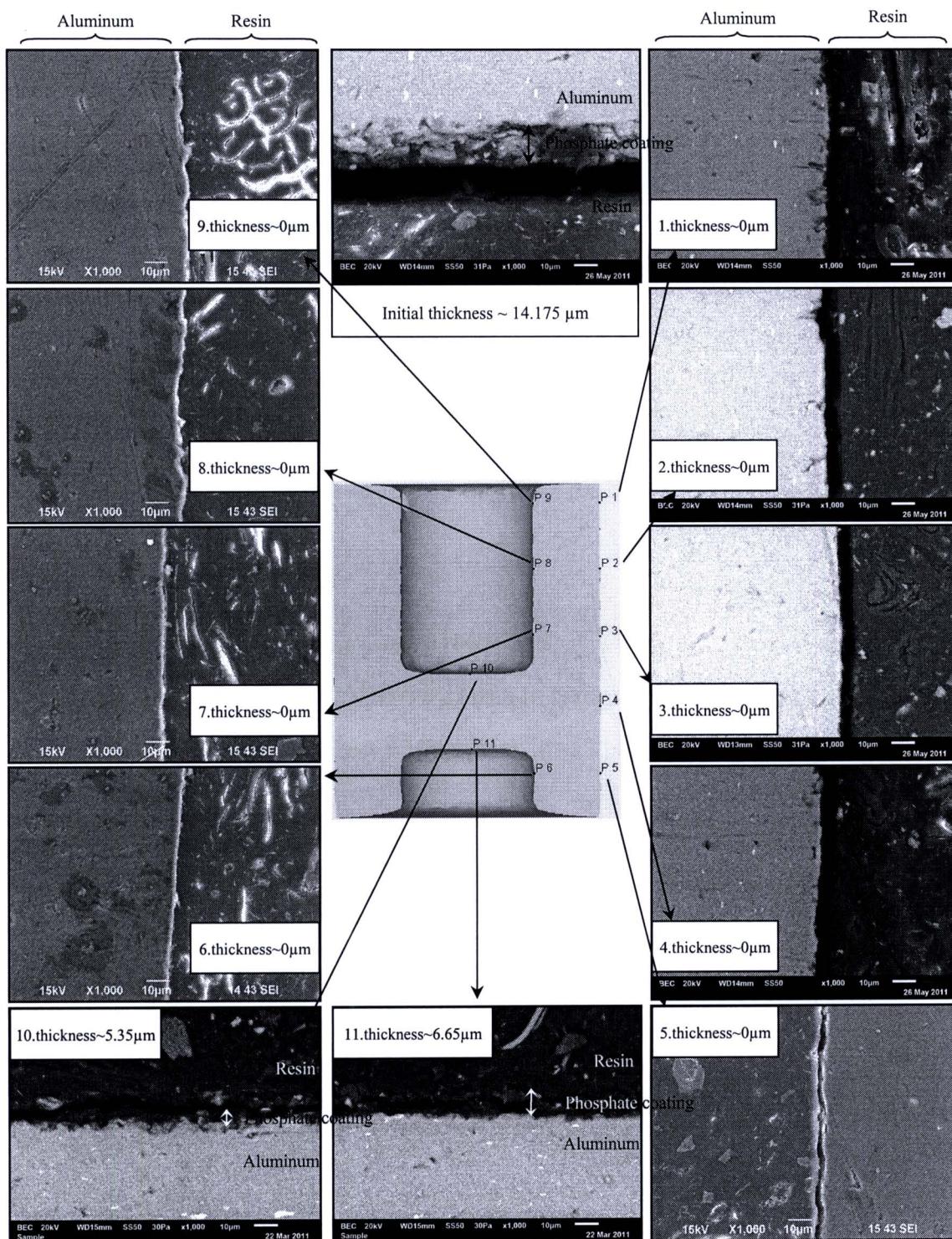
รูปที่ ๑.๑๘ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 5.30 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 1



รูปที่ ๑.19 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 5.30 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 2



รูปที่ ๒.๒๐ แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ AlF-soap (Coating weight of metal soap = 5.30 g/m²) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ครั้งที่ 3

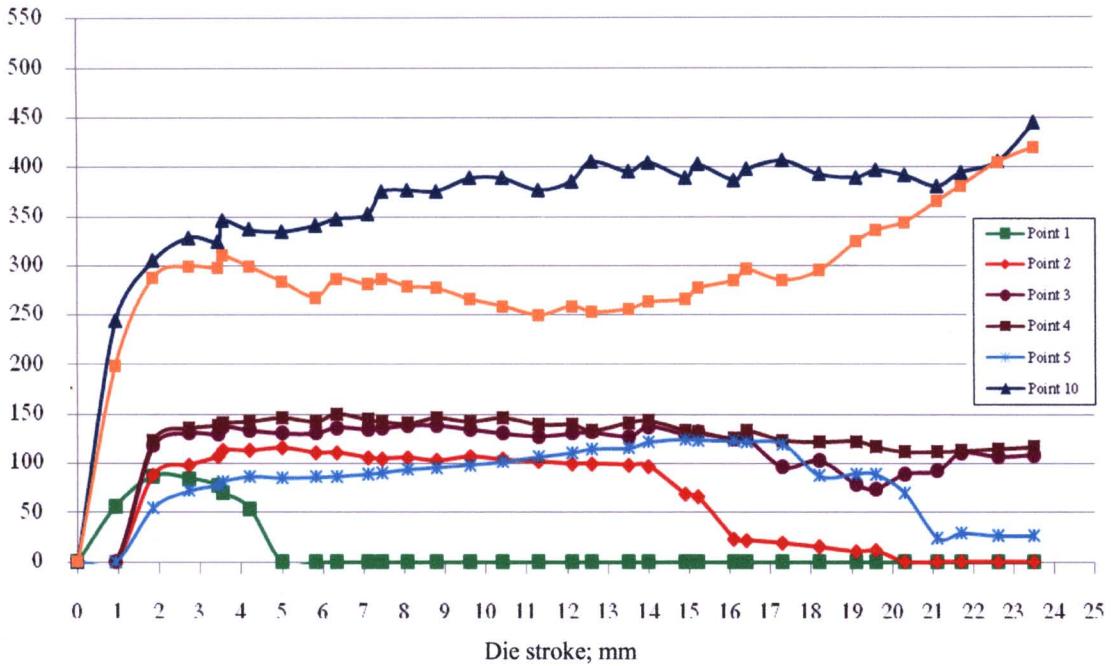


รูปที่ จ.21 แสดงความหนาของสารหล่อลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ของ PO_4 -soap (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ภาคผนวก ข

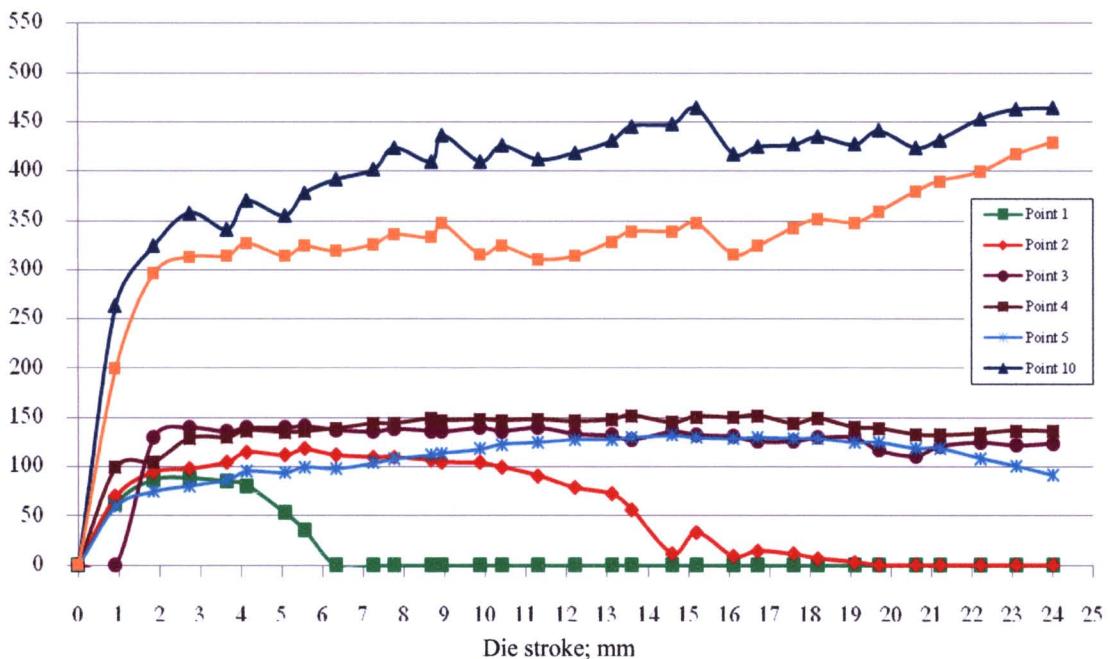
Normal pressure ที่เกิดขึ้นขณะทำการขึ้นรูปของการทดสอบ Ring compression test และ Double cup extrusion test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation

Normal pressure; MPa



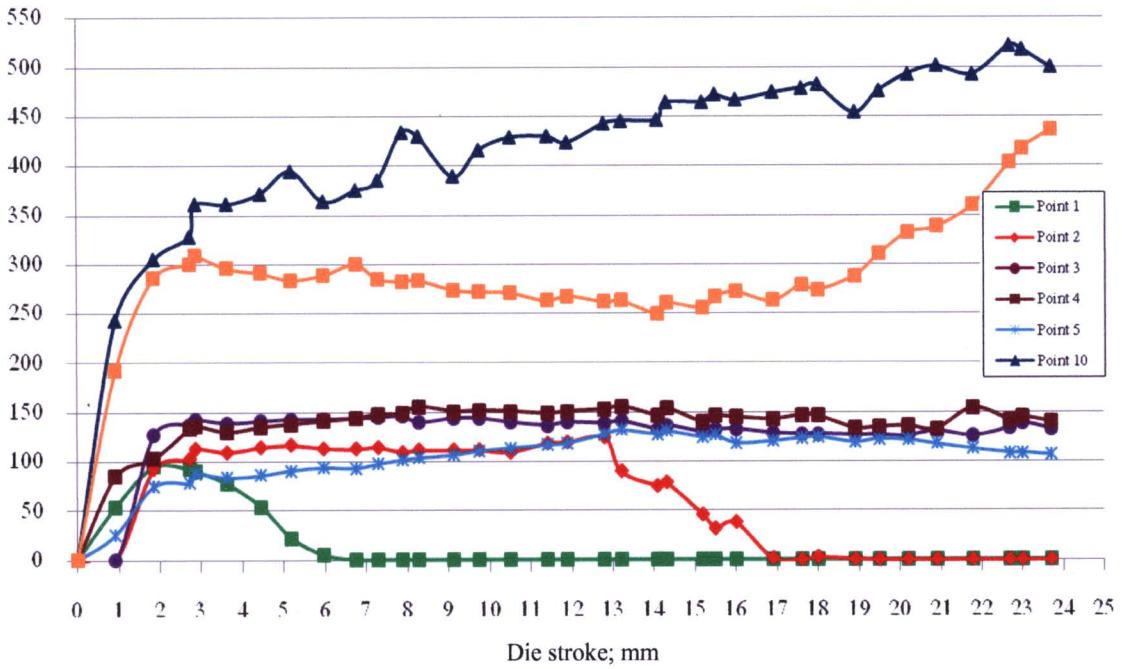
รูปที่ ข.1 แสดง Normal pressure ขณะทำการขึ้นรูปของ Double cup extrusion test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.0555

Normal pressure; MPa



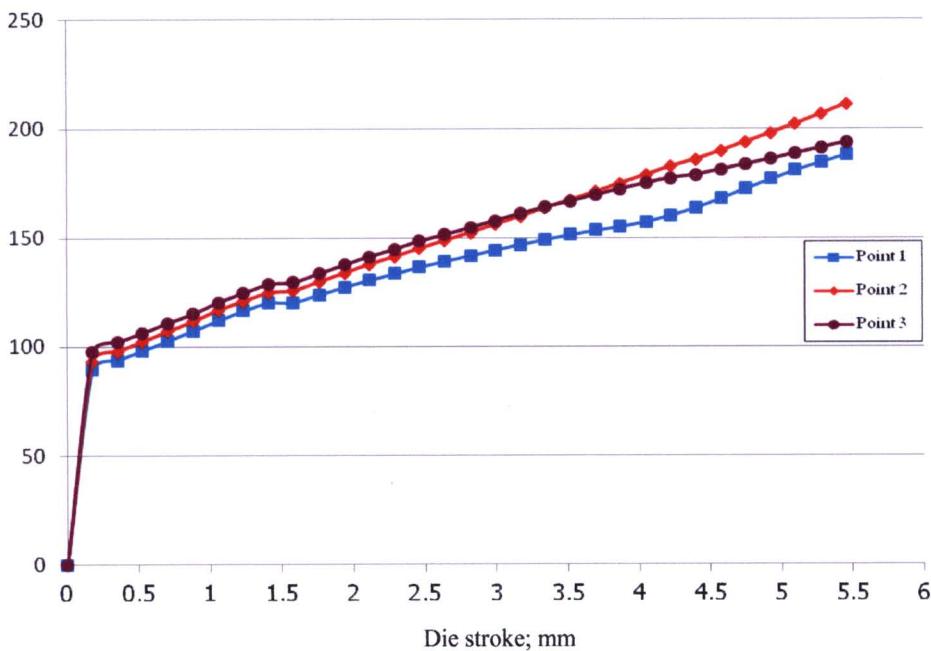
รูปที่ ข.2 แสดง Normal pressure ขณะทำการขึ้นรูปของ Double cup extrusion test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.0642

Normal pressure; MPa



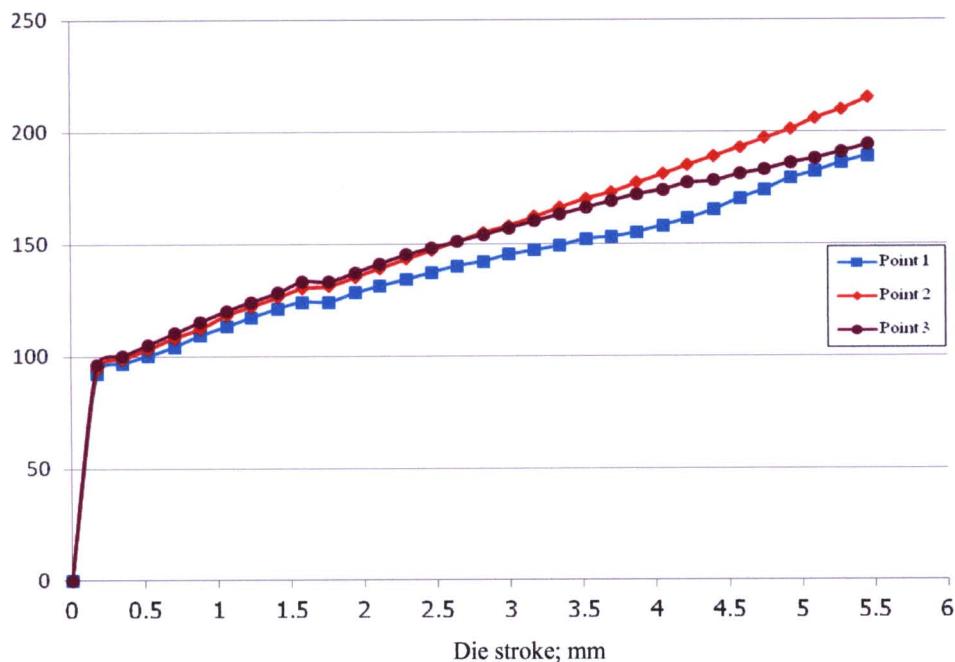
รูปที่ ๓.3 แสดง Normal pressure ขณะทำการขึ้นรูปของ Double cup extrusion test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.0799

Normal pressure; MPa



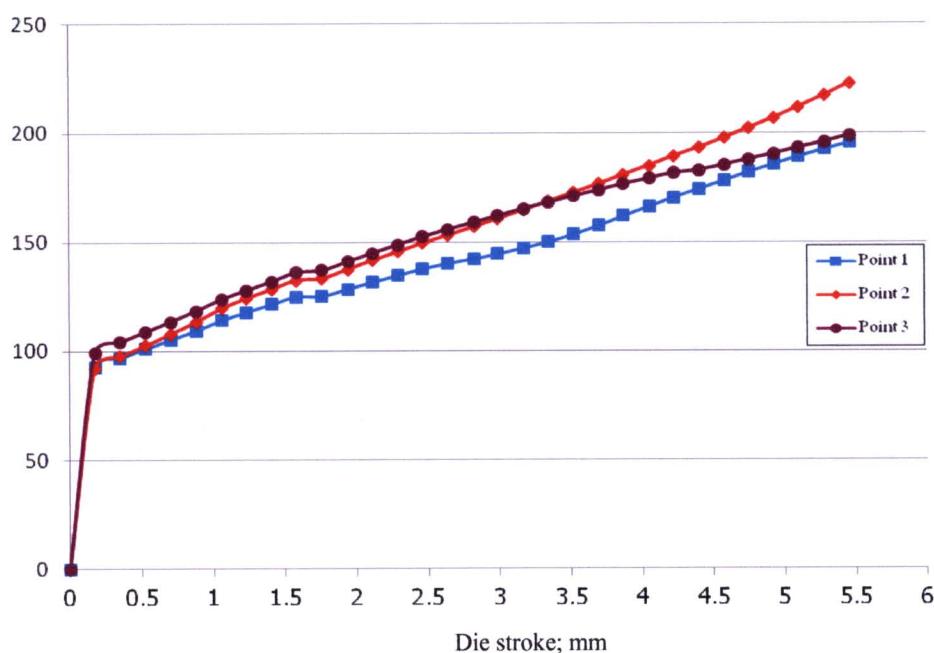
รูปที่ ๓.๔ แสดง Normal pressure ขณะทำการขึ้นรูปของ Ring compression test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.0752

Normal pressure; MPa



รูปที่ ๕.๕ แสดง Normal pressure ขณะทำการขึ้นรูปของ Ring compression test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.0770

Normal pressure; MPa



รูปที่ ๕.๖ แสดง Normal pressure ขณะทำการขึ้นรูปของ Ring compression test ที่ได้จากการจำลอง Finite Element Simulation ที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.0913



ภาคผนวก ข

ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์การบางลงของสารหล่อลื่นหลังการขึ้นรูป

ตารางที่ ข.1 แสดงความหนาของ Soap aluminum fluoride หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

Position		Friction coefficient ($\mu=0.0799$)				Friction coefficient ($\mu=0.0642$)				Friction coefficient ($\mu=0.0555$)			
		Coating weight 1.07 g/m ²				Coating weight 2.55 g/m ²				Coating weight 5.3 g/m ²			
		No.1	No.2	No.3	Avg.	No.1	No.2	No.3	Avg.	No.1	No.2	No.3	Avg.
P.1	Rep.1	5.2	5.7	6.6	5.758	5.7	6.5	8.8	7.158	12.5	8.3	8.4	9.492
	Rep.2	4.9	5.1	6.2		8.6	5.9	8.2		10.5	8	8.3	
	Rep.3	6.9	4.3	6.3		7.8	7	6.3		13	8.2	8.5	
	Rep.4	6.7	4.7	6.5		8.2	6.7	6.2		12.4	7.2	8.6	
	Avg.	5.93	4.95	6.40		7.58	6.53	7.38		12.1	7.93	8.45	
P.2	Rep.1	5	4.8	3.8	4.250	7.3	4.9	7.4	5.650	7.8	6.7	8.2	7.208
	Rep.2	5	3.8	5.3		5.9	4.8	6.8		8.1	6.2	8.4	
	Rep.3	4.2	3.4	3.4		5.8	3.8	5.6		6.6	8	5.7	
	Rep.4	4.6	3.8	3.9		6.8	3.8	4.9		7.4	6	7.4	
	Avg.	4.70	3.95	4.10		6.45	4.33	6.18		7.48	6.73	7.43	
P.3	Rep.1	2.8	2.2	1.2	2.358	3.7	3	3.1	3.552	5.5	3.8	4.2	4.992
	Rep.2	3	2.1	1.9		4.6	3.5	4.1		6.5	4.9	4.5	
	Rep.3	3.4	2.5	2.9		3.9	2.9	3.4		7.1	4.4	4.4	
	Rep.4	3.1	2.8	1.4		2.8	3.5	4		5.1	5.6	3.9	
	Avg.	3.08	2.15	1.85		3.75	3.26	3.65		6.05	4.68	4.25	
P.4	Rep.1	0	1.4	1.1	0.975	1.7	2.4	3.6	2.542	4.4	3.6	3.3	4.058
	Rep.2	0	2.1	1.8		2.3	2.6	3.1		4	4	3.4	
	Rep.3	0	1.9	1.5		2.2	2.3	2.5		5.2	5	3.8	
	Rep.4	0	0.9	1		2.6	2.2	3		4.5	3.7	3.8	
	Avg.	0.00	1.58	1.35		2.20	2.38	3.05		4.53	4.08	3.58	
P.5	Rep.1	4.3	3.4	3.3	3.775	4.5	4.1	3.9	4.358	6.5	5.1	5	5.333
	Rep.2	3.9	3.1	3.9		4.5	3.6	4.2		5.5	4.5	5.3	
	Rep.3	3.4	3	3.7		5.6	4	5		7.6	4.9	4.5	
	Rep.4	3.9	5.3	4.1		4.3	3.9	4.7		5.9	4.5	4.7	
	Avg.	3.88	3.70	3.75		4.73	3.90	4.45		6.38	4.75	4.88	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) แสดงความหนาของ Soap aluminum fluoride หลังการทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

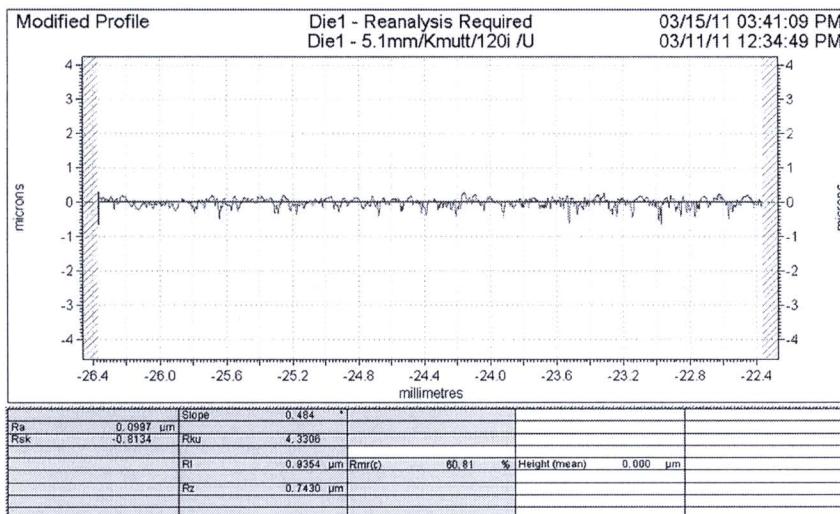
Position		Friction coefficient ($\mu=0.0799$)				Friction coefficient ($\mu=0.0642$)				Friction coefficient ($\mu=0.0555$)			
		Coating weight 1.07 g/m^2				Coating weight 2.55 g/m^2				Coating weight 5.3 g/m^2			
		No.1	No.2	No.3	Avg.	No.1	No.2	No.3	Avg.	No.1	No.2	No.3	Avg.
P.10	Rep.1	7.9	5.1	8.2	7.575	9.4	10.3	10	9.880	12	11.2	10.5	11.500
	Rep.2	7.3	6.3	7.9		10.8	11	9.8		10.6	10.9	13.9	
	Rep.3	8.1	6.5	8.3		9.4	11.6	8		10.2	10	13.9	
	Rep.4	7.9	8.7	8.7		9.7	9.4	9.2		13	11.4	10.4	
	Avg.	7.80	6.65	8.28		9.83	10.58	9.25		11.45	10.88	12.18	
P.11	Rep.1	10.7	11.7	9.7	11.775	17.4	15.8	18.3	16.283	21.3	19.1	20.7	19.950
	Rep.2	13.1	11.1	12.4		15.1	15.7	17.9		20.6	19.7	19.2	
	Rep.3	13.4	13.3	10.8		17.1	16.7	14.3		18.5	19.4	19	
	Rep.4	12.2	11.6	11.3		14.4	14.6	18.1		21.8	19.2	20.9	
	Avg.	12.35	11.93	11.05		16.0	15.7	17.15		20.55	19.35	19.95	

ตารางที่ ข.2 แสดงความหนาของ Soap aluminum fluoride หลังการทดสอบ Ring compression test ที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

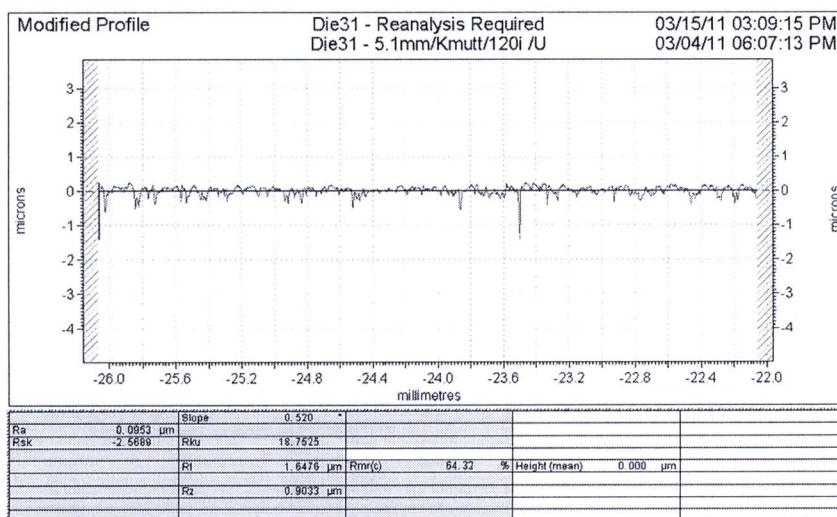
Position		Friction coefficient ($\mu=0.0913$)				Friction coefficient ($\mu=0.0770$)				Friction coefficient ($\mu=0.0752$)			
		Coating weight 0.88 g/m^2				Coating weight 2.07 g/m^2				Coating weight 5.92 g/m^2			
		No.1	No.2	No.3	Avg.	No.1	No.2	No.3	Avg.	No.1	No.2	No.3	Avg.
P.1	Rep.1	8.8	5.7	5	6.408	13.1	10.8	9.5	11.1	14.1	13.4	12.3	13.258
	Rep.2	10	4.7	5		13	10	9.9		12.9	14.7	12.1	
	Rep.3	9.3	5.5	4.8		11.4	10.8	11.3		15	14.8	12.9	
	Rep.4	9.3	4.3	4.5		12	11.1	10.3		12.4	10.6	13.6	
	Avg.	9.35	5.05	4.83		12.38	10.68	10.25		13.68	13.38	12.73	
P.2	Rep.1	0	0	0	0	5.8	6.1	4.7	4.883	6.3	6.8	6	6.483
	Rep.2	0	0	0		4.1	4.9	5.1		5.9	6.3	6.9	
	Rep.3	0	0	0		5.3	3.5	5.3		7.3	5.9	5.5	
	Rep.4	0	0	0		3.3	4.9	5.6		8	5.2	6.1	
	Avg.	0	0	0		4.63	4.85	5.18		6.88	6.05	6.13	
P.3	Rep.1	5.3	3.8	3.4	4.033	5.1	4.8	4.5	5.958	9.8	8.2	8	8.883
	Rep.2	5.8	3.3	3.4		5.8	6.1	6.3		8.4	9.2	8.6	
	Rep.3	5	3.6	3.1		6.2	6.1	6		8	11.1	7.5	
	Rep.4	4.9	2.9	3.9		8.1	6.5	6		8.5	11.2	8.1	
	Avg.	5.25	3.40	3.45		6.30	5.88	5.70		8.68	9.93	8.05	

ภาคผนวก ฅ

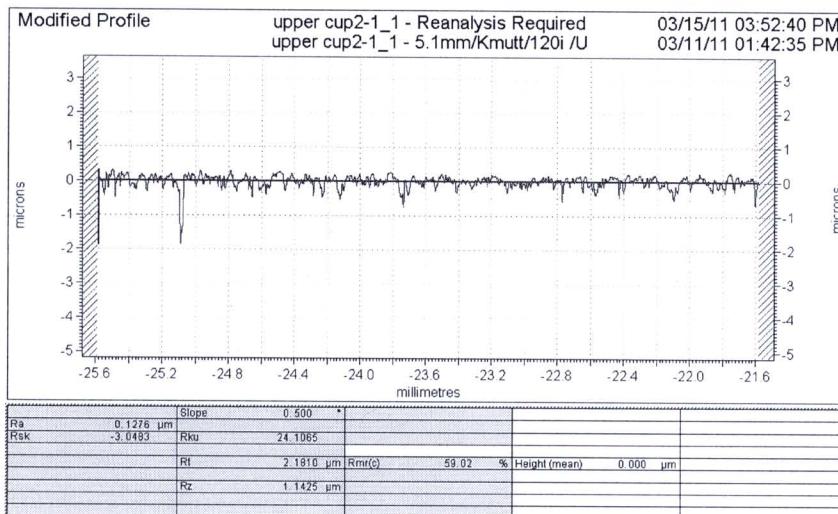
กราฟแสดงค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ที่วัดบนผิวของแม่พิมพ์ ทดสอบ
Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว
(Surface Roughness Measuring Device)



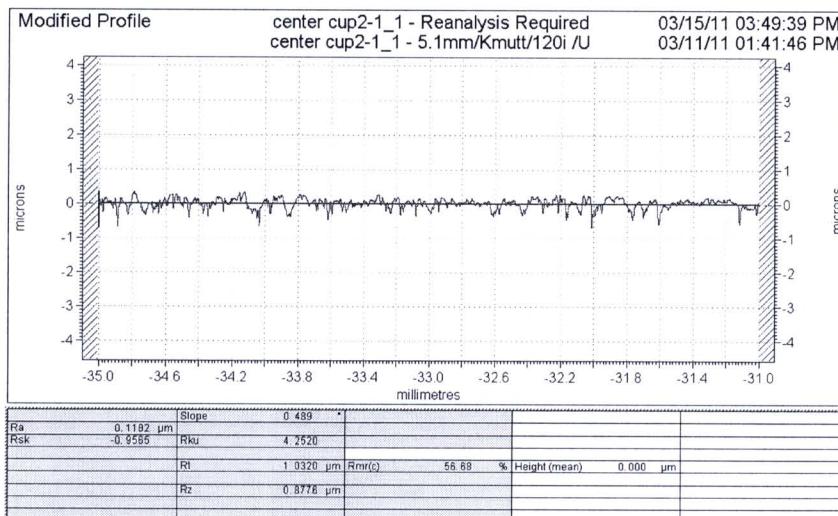
รูปที่ ฅ.1 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ก่อนการทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ครั้งที่ 1



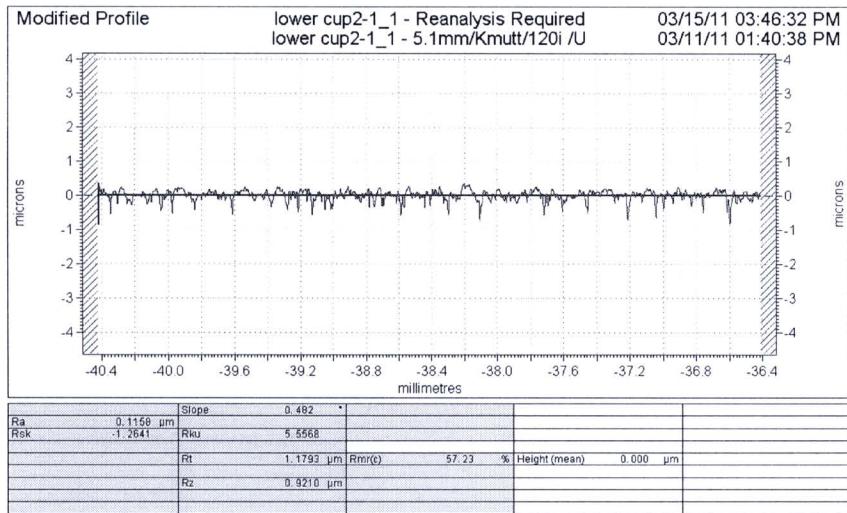
รูปที่ ฅ.2 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ก่อนการทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ครั้งที่ 2



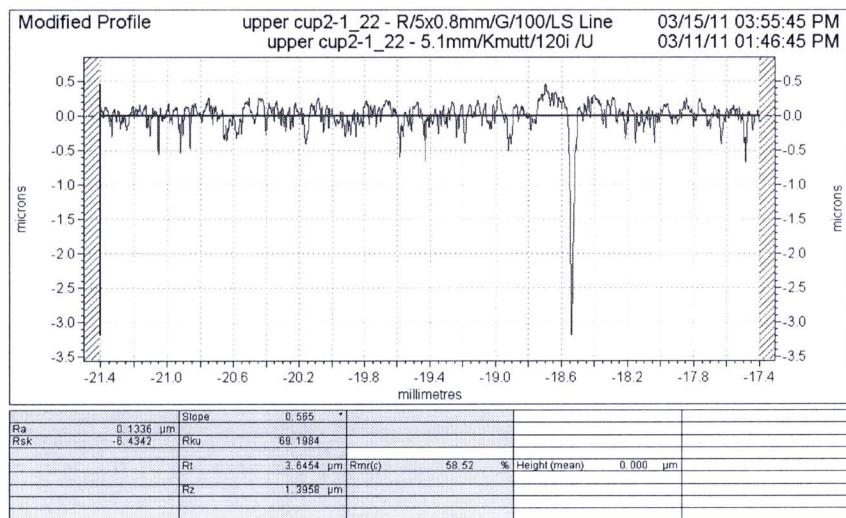
รูปที่ ๓.3 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m²) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 1



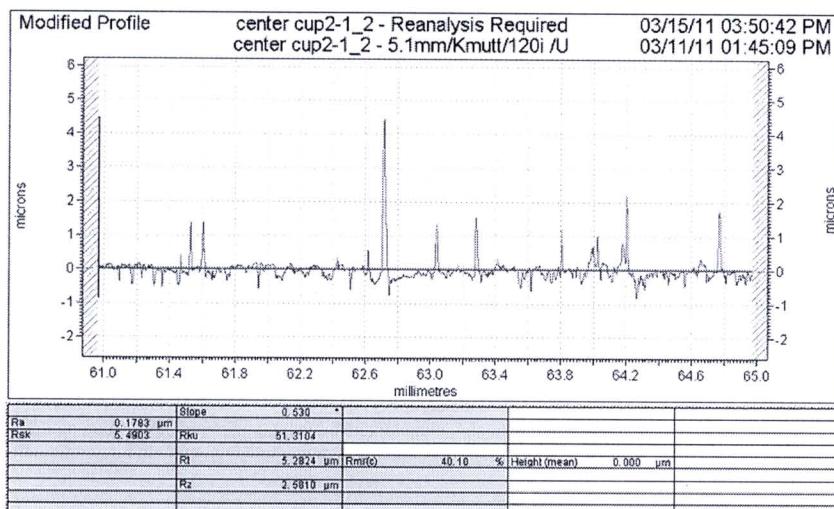
รูปที่ ๓.4 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m²) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 1



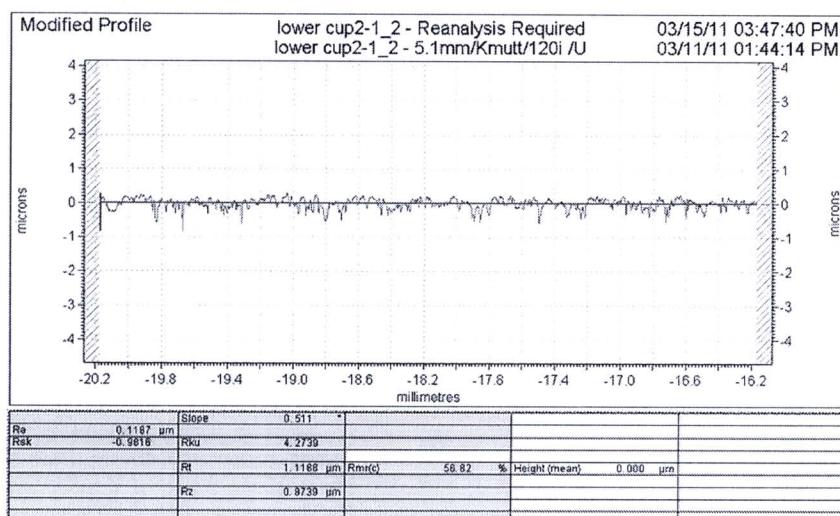
รูปที่ ๕.๕ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 1



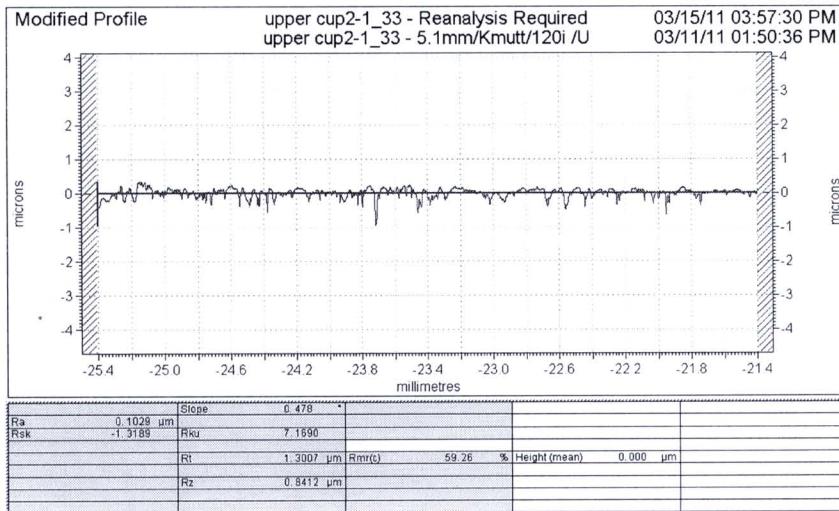
รูปที่ ๕.๖ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 2



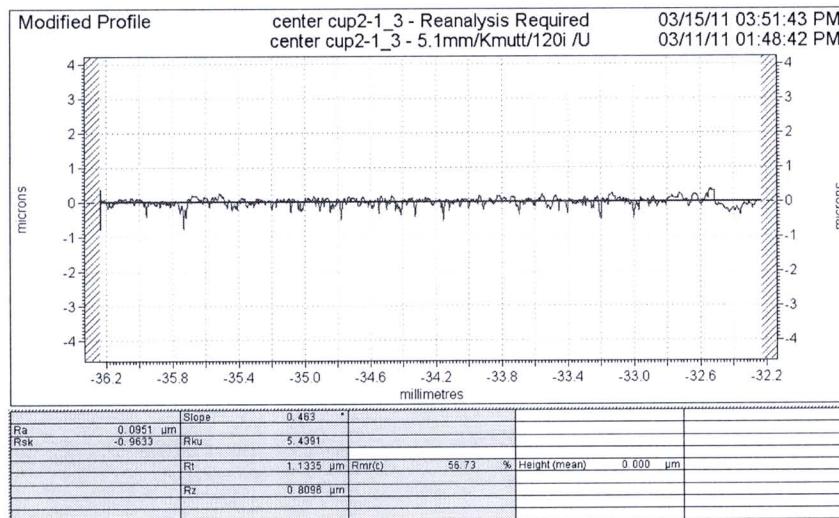
รูปที่ ๗.๗ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 2



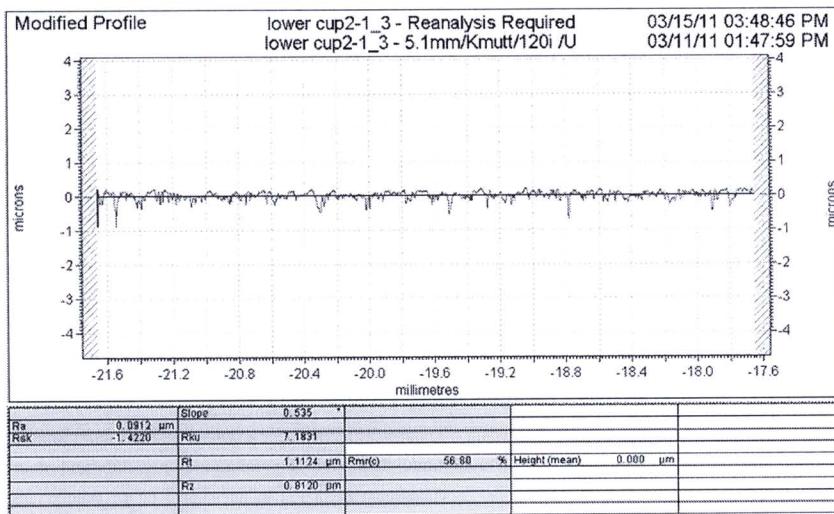
รูปที่ ๗.๘ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 2



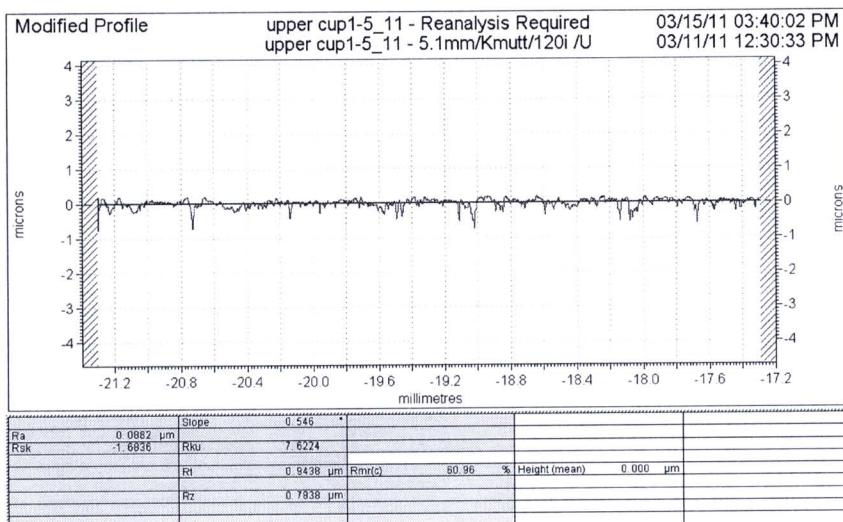
รูปที่ ๙.๙ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 3



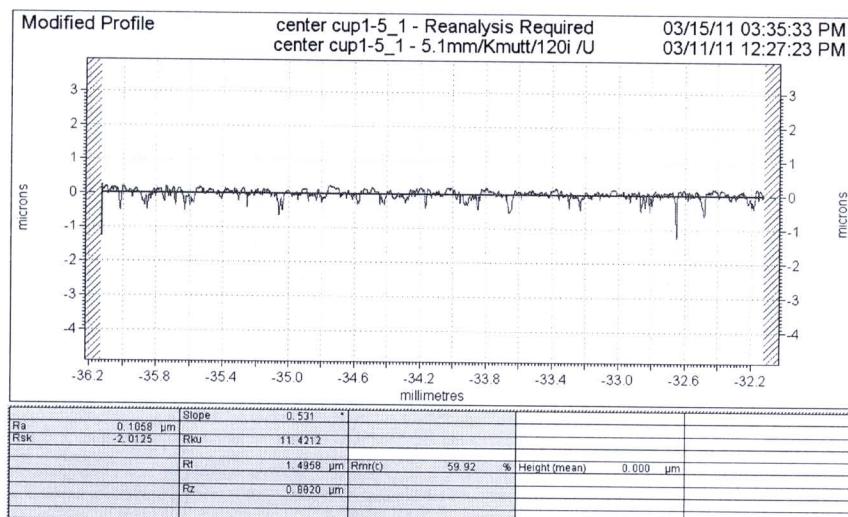
รูปที่ ๙.๑๐ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 3



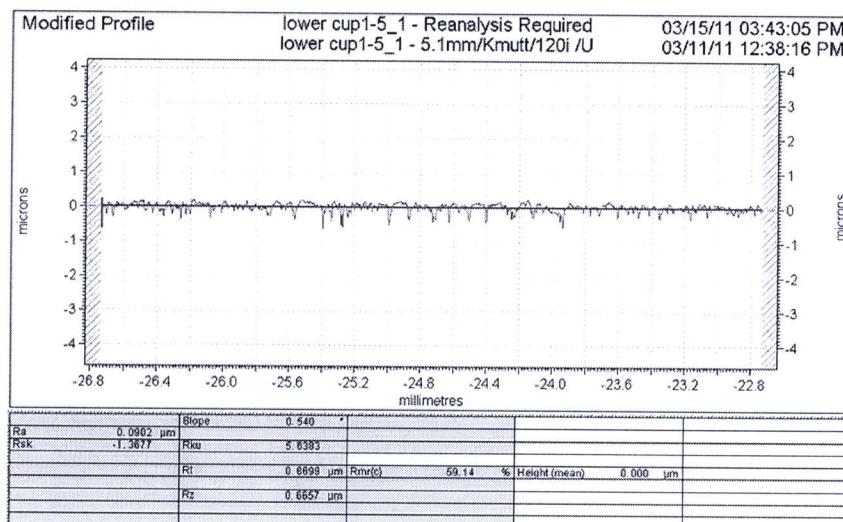
รูปที่ ๑๑.๑๑ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 1.07 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 3



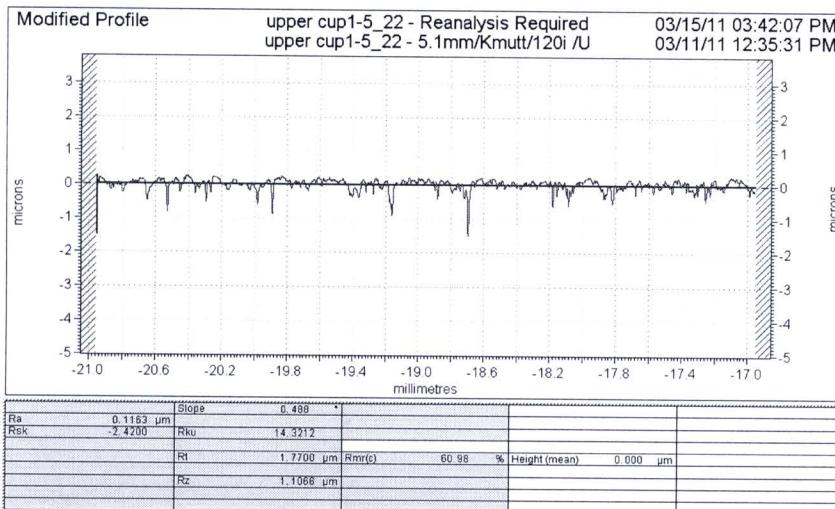
รูปที่ ๑๑.๑๒ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 1



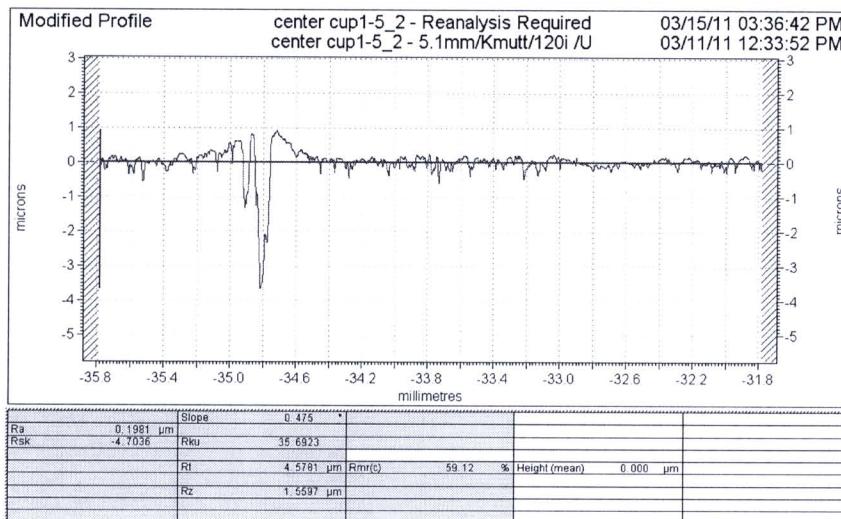
รูปที่ ๑๓.13 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 1



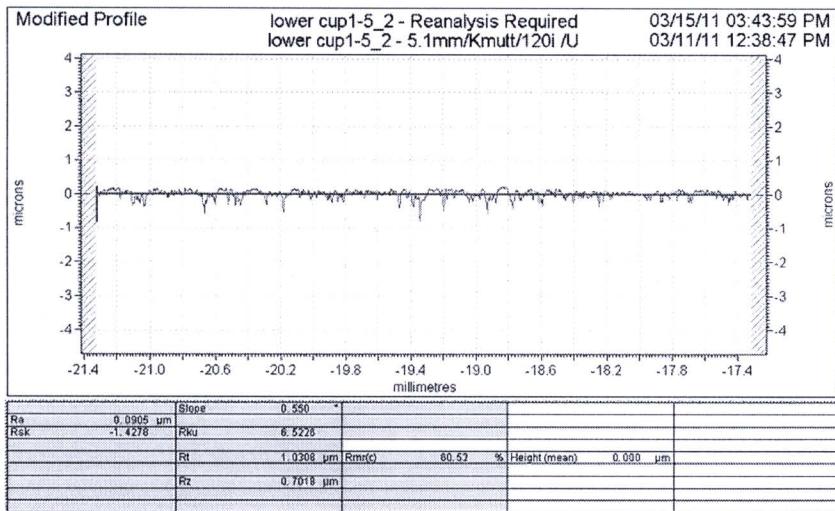
รูปที่ ๑๓.14 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 1



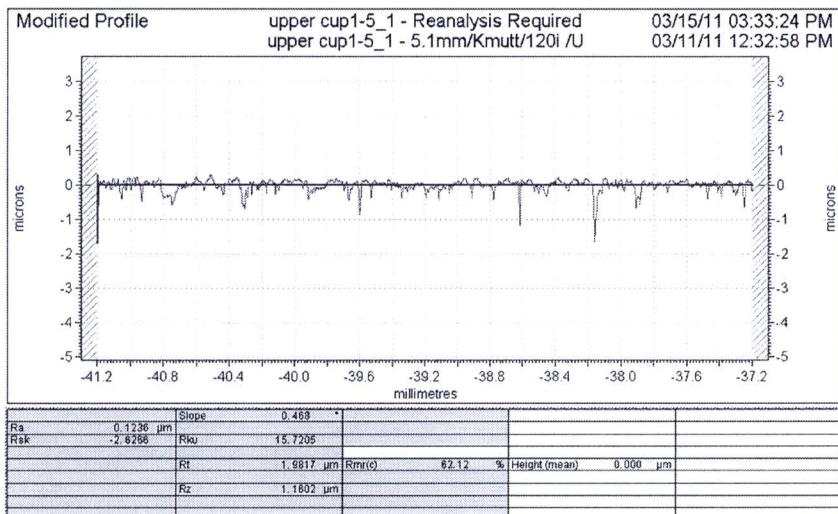
รูปที่ ๑๕.15 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m²) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 2



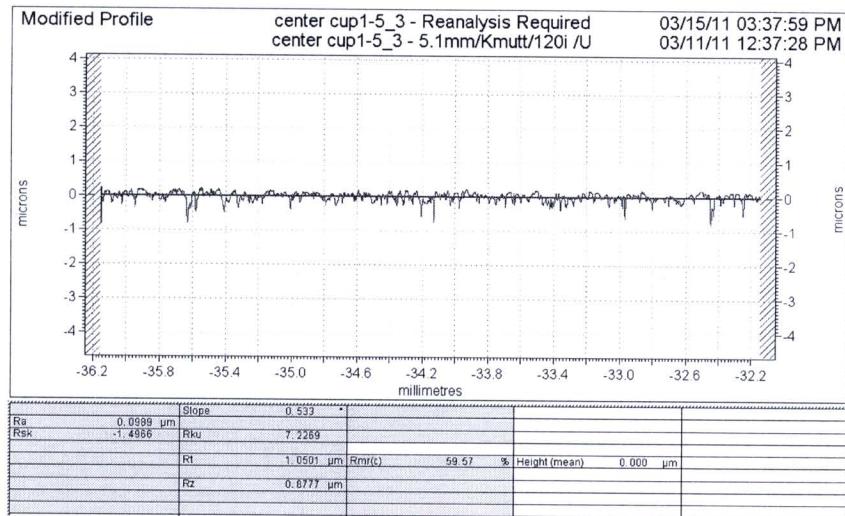
รูปที่ ๑๕.16 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m²) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 2



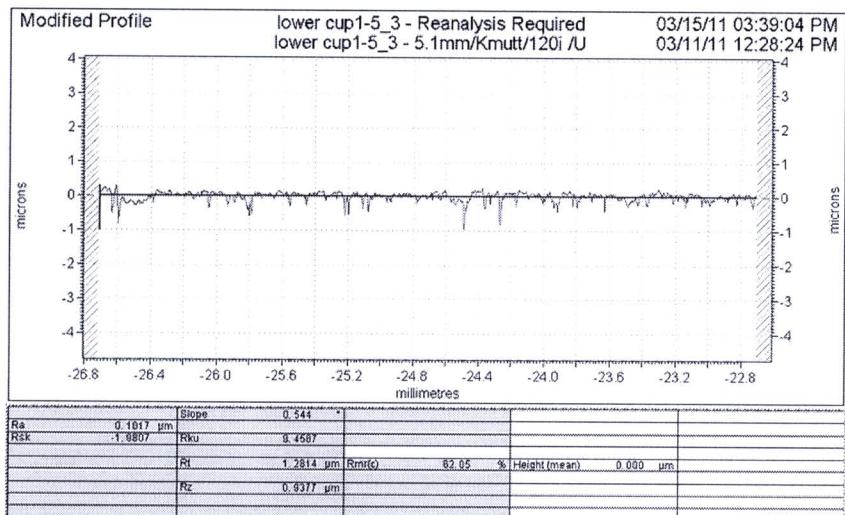
รูปที่ ๑๗.17 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 2



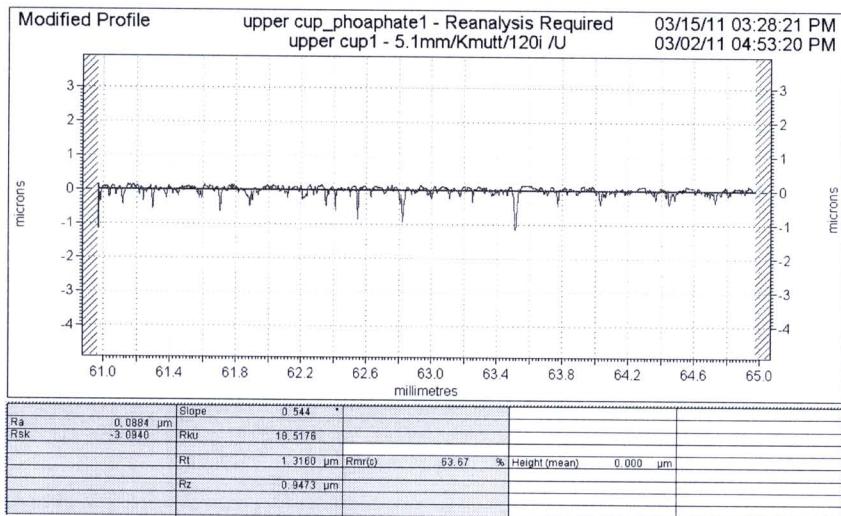
รูปที่ ๑๗.18 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 3



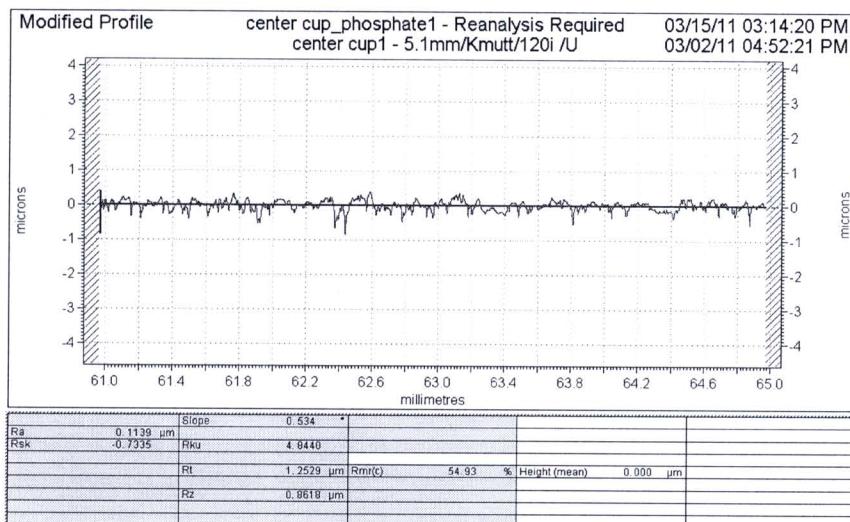
รูปที่ ๑๙ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 3



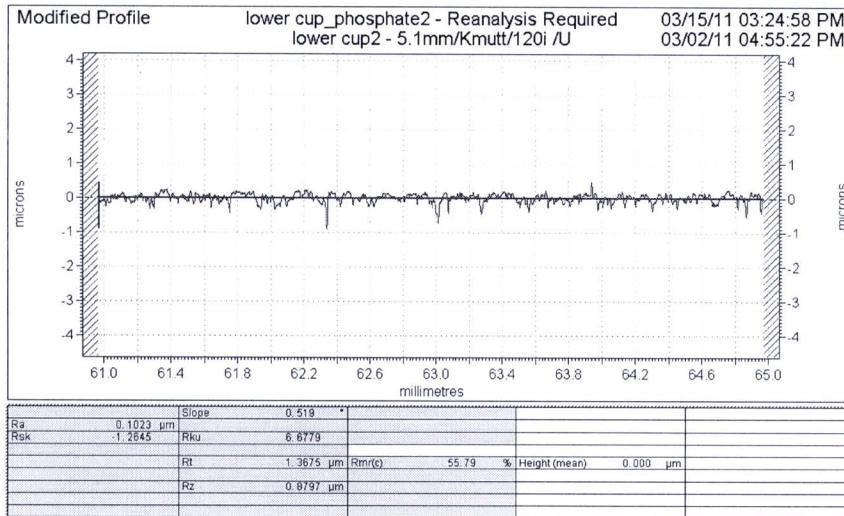
รูปที่ ๒๐ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap aluminum fluoride (Coating weight of metal soap = 5.50 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 3



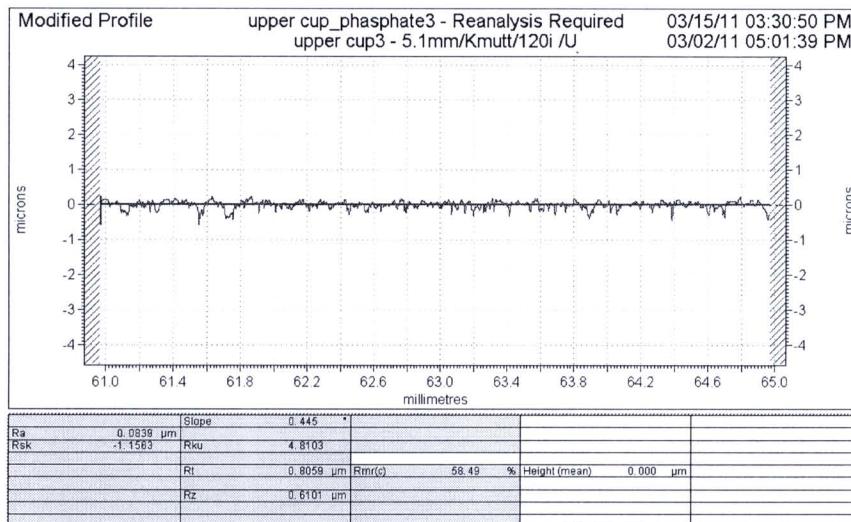
รูปที่ ๓.21 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 1



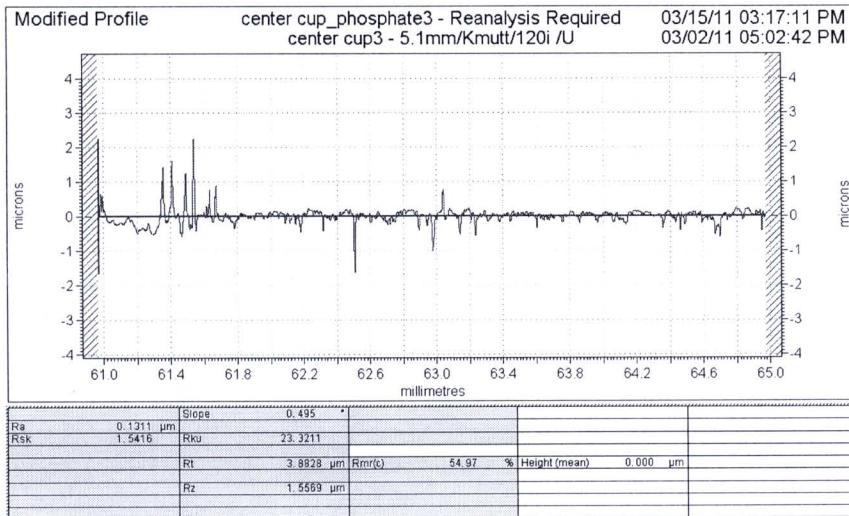
รูปที่ ๓.22 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 1



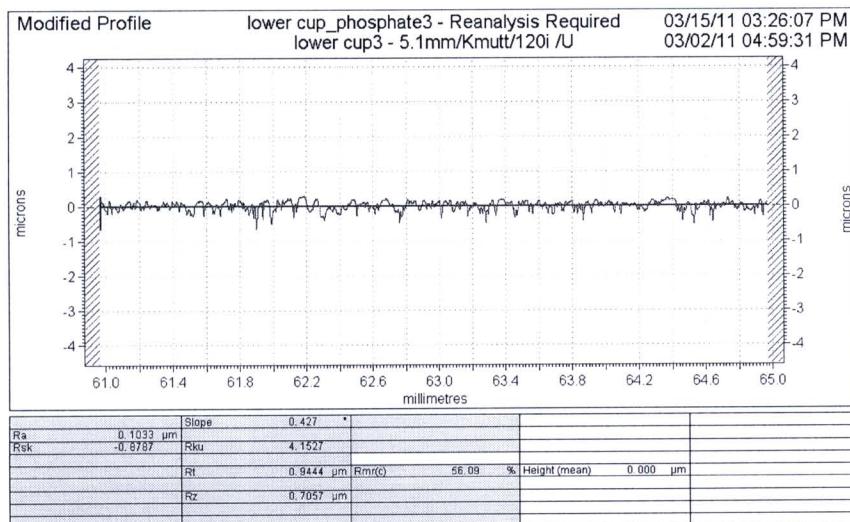
รูปที่ ๓.23 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 1



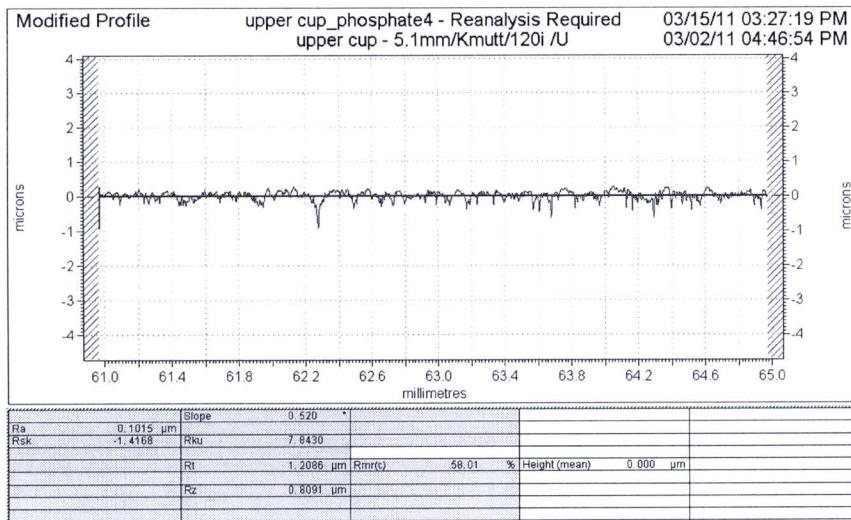
รูปที่ ๓.24 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 2



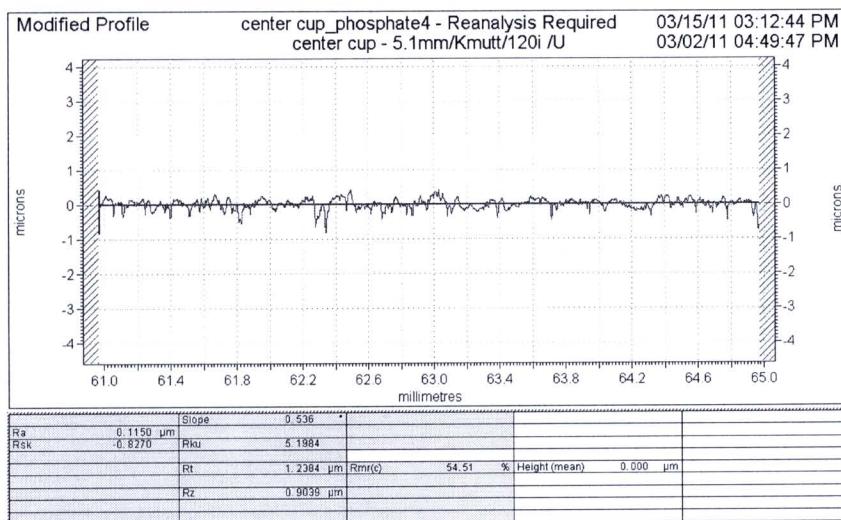
รูปที่ ๓.25 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 2



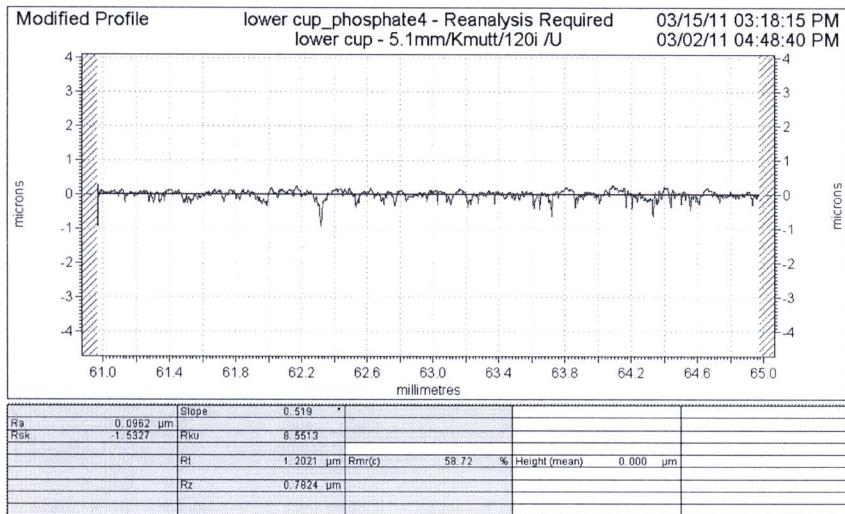
รูปที่ ๓.26 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 2



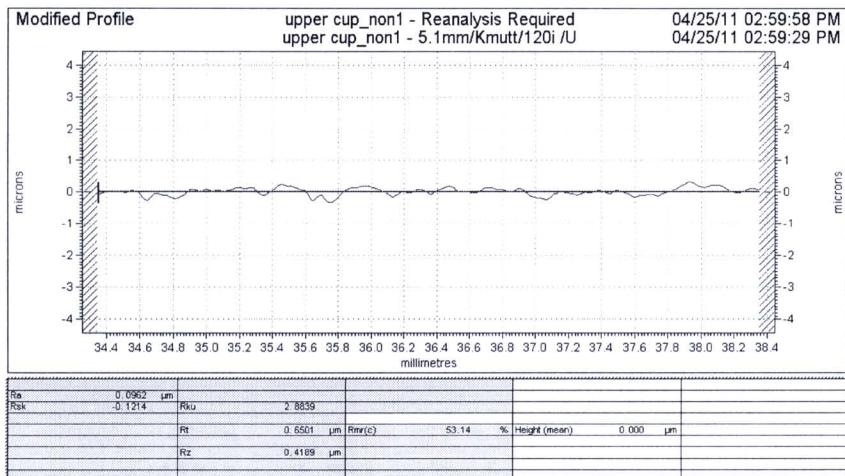
รูปที่ ๓.๒๗ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 3



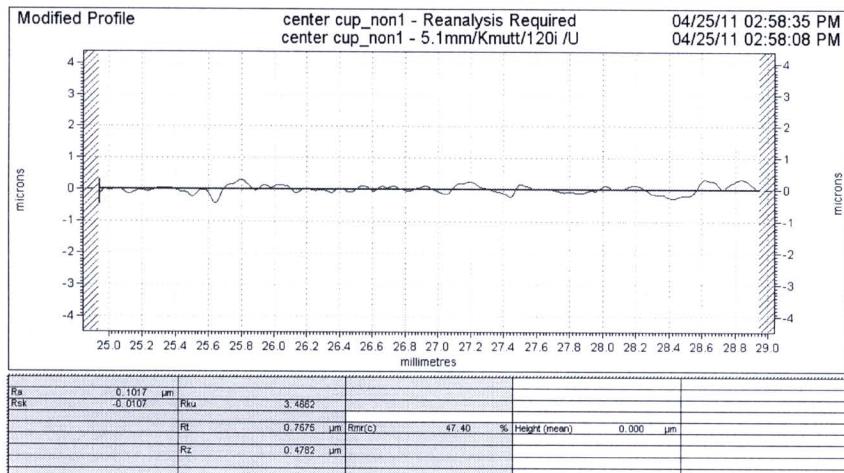
รูปที่ ๓.๒๘ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 3



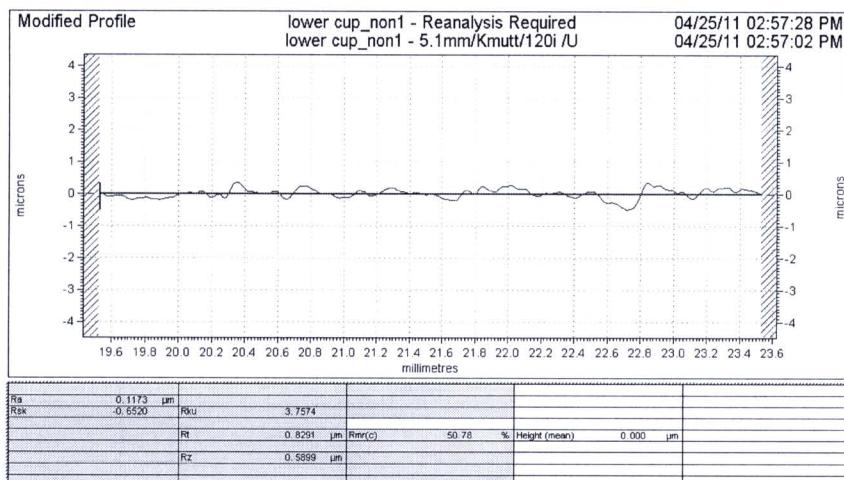
รูปที่ ๓.29 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) ของ Soap phosphate (Coating weight of metal soap = 0.80 g/m^2) บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 3



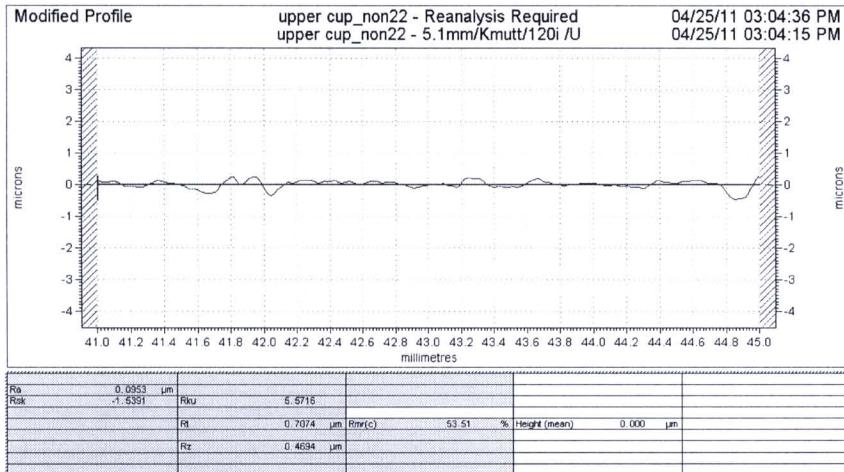
รูปที่ ๓.30 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 1



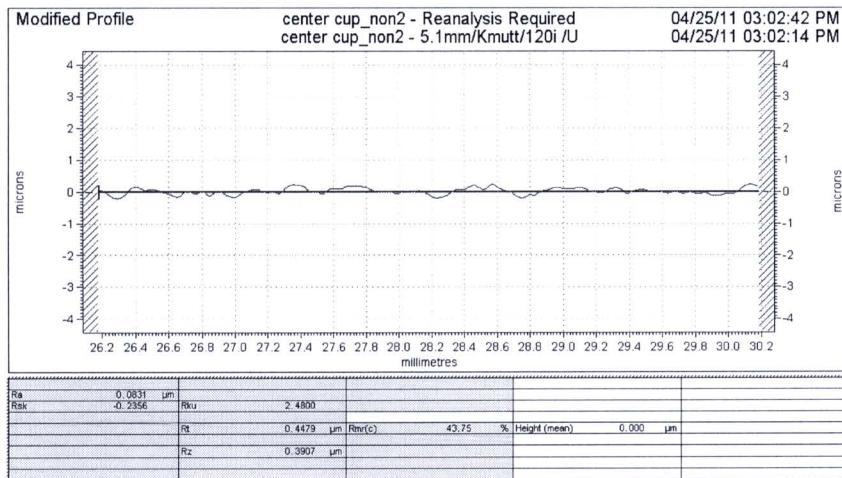
รูปที่ ๓.31 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 1



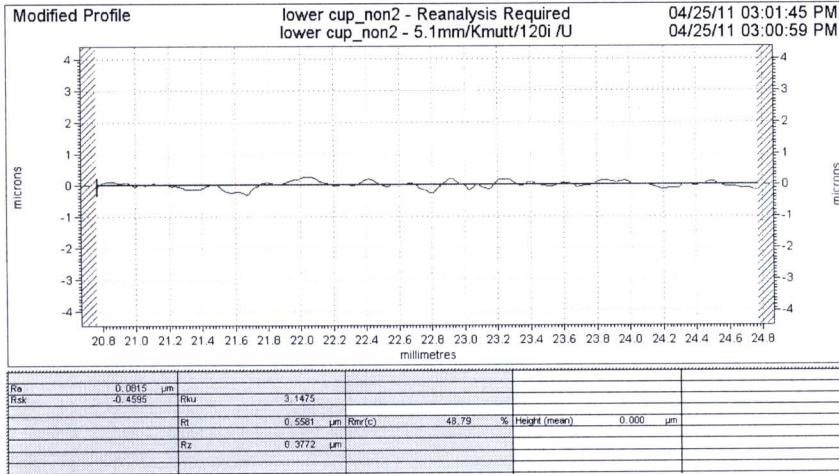
รูปที่ ๓.32 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 1



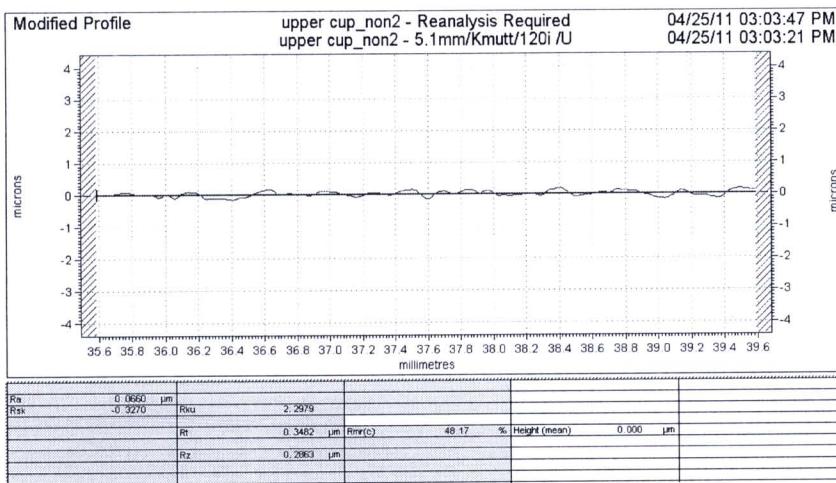
รูปที่ ๓.๓๓ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช่สารหล่อลื่น บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 2



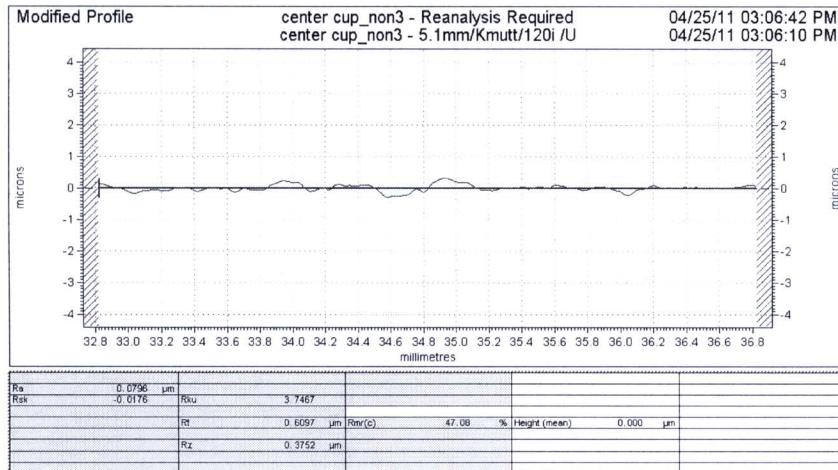
รูปที่ ๓.๓๔ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช่สารหล่อลื่น บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 2



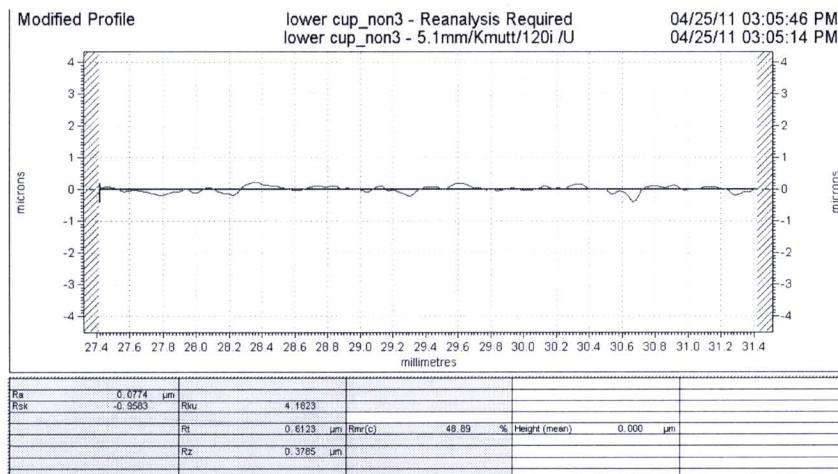
รูปที่ ๓.๓๕ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 2



รูปที่ ๓.๓๖ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น บริเวณที่ 1 ครั้งที่ 3



รูปที่ ๓.๓๗ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช่สารหล่อลื่น บริเวณที่ 2 ครั้งที่ 3



รูปที่ ๓.๓๘ แสดงกราฟที่ได้จากการวัดผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device) กรณีไม่ใช่สารหล่อลื่น บริเวณที่ 3 ครั้งที่ 3

ภาคผนวก ๑

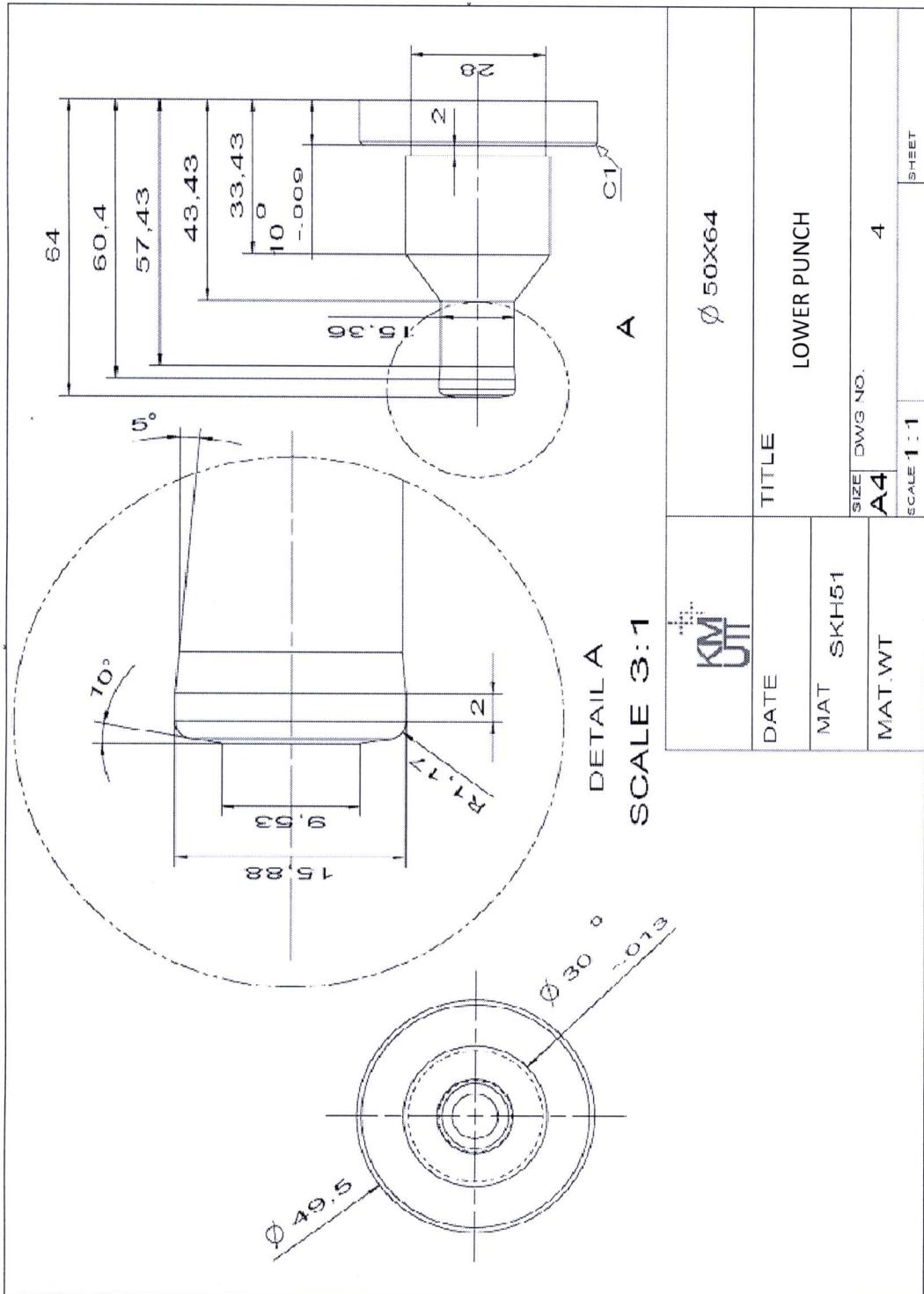
ตารางแสดงค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ที่วัดบนผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ
Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว
(Surface Roughness Measuring Device)

ตารางที่ ๑.1 แสดงค่า Material ratio curve of the profile; Rmr(c) ที่วัดบนผิวของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test ที่ได้จากเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness Measuring Device)

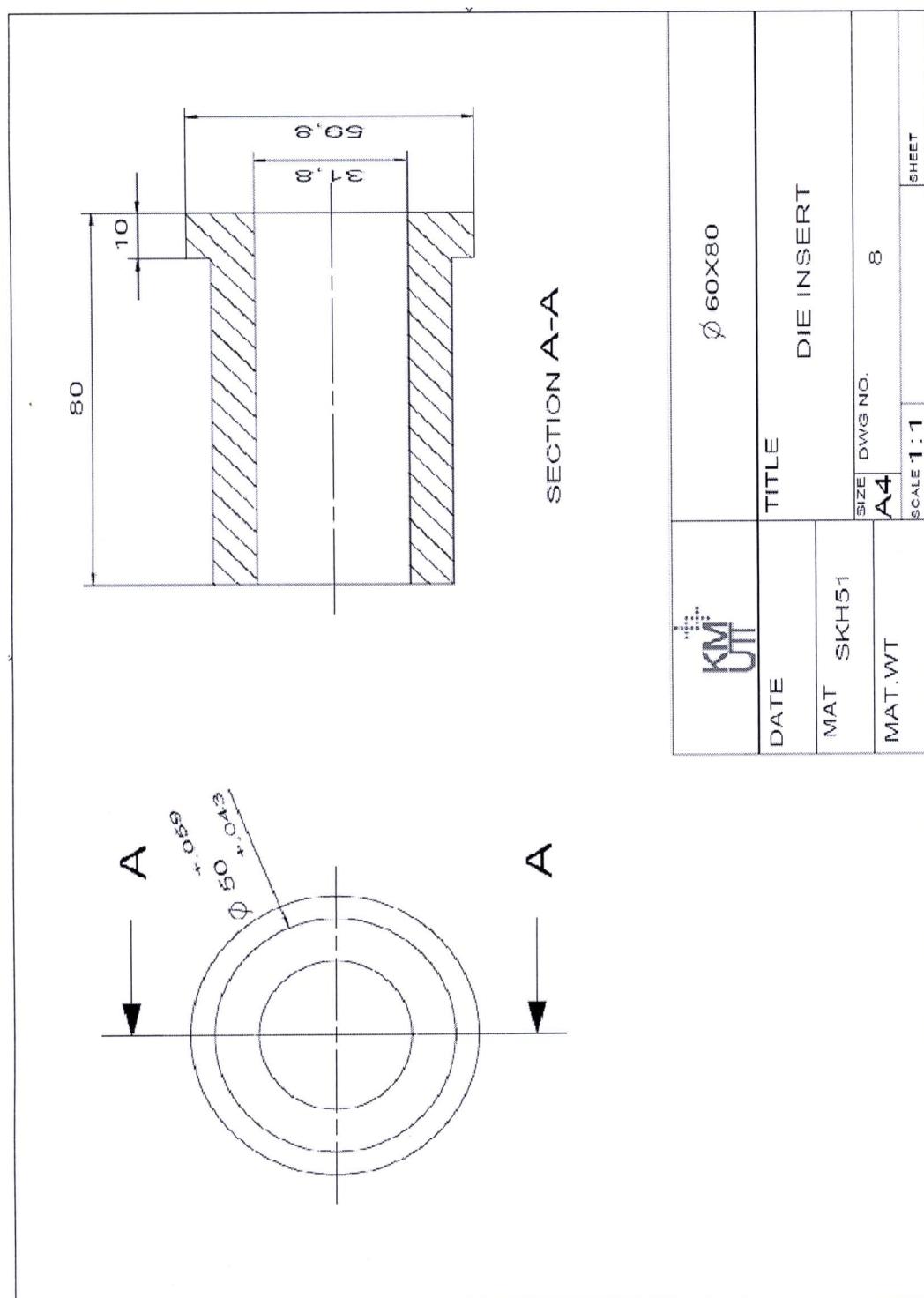
Condition	ครั้งที่	Material ratio curve of the profile; Rmr(c)		
		บริเวณที่ 1	บริเวณที่ 2	บริเวณที่ 3
Non-lubricant (C.W.=0.00 g/m ²)	1	53.14%	47.40%	50.78%
	2	53.51%	43.75%	48.79%
	3	51.23%	47.08%	48.89%
	เฉลี่ย	52.63%	46.08%	49.49%
Soap aluminum fluoride (C.W.=1.07 g/m ²)	1	59.02%	56.68%	57.23%
	2	58.52%	40.10%	56.82%
	3	59.26%	56.73%	56.80%
	เฉลี่ย	58.93%	51.17%	56.95%
Soap aluminum fluoride (C.W.=5.30 g/m ²)	1	60.96%	59.92%	59.14%
	2	60.98%	59.12%	60.52%
	3	62.12%	59.57%	62.05%
	เฉลี่ย	61.35%	59.54%	60.57%
Soap phosphate (C.W.=0.80 g/m ²)	1	63.67%	54.93%	55.79%
	2	58.49%	54.97%	56.09%
	3	58.01%	54.51%	58.72%
	เฉลี่ย	60.06%	54.80%	56.87%
Initial die	1	64.32%	64.32%	64.32%
	2	60.81%	60.81%	60.81%
	เฉลี่ย	62.57%	62.57%	62.57%

ภาคผนวก ๓

แบบแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ Double cup extrusion test



รูปที่ ๓.๒ แสดงแบบของ Lower punch ของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test



รูปที่ ๓.๓ แสดงแบบของ Insert die ของแม่พิมพ์ทดสอบ Double cup extrusion test

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายพงศ์พันธุ์ นิยมฤทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	13 สิงหาคม 2529
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศจังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2547
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2554
ทุนการศึกษา หรือทุนวิจัย	กองทุนสนับสนุนการวิจัย โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับ งานวิจัย ทุน สกว.-อุตสาหกรรม (MRG-WI525E079)
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	Niyomrit, P., Maleejalearn, N. and Premanond, V., “Investigation of friction on aluminum fluoride coating for forging operations”, The International Conference on Materials Processing Technology 2011 , 2-3 June,2011, Phuket, Thailand, pp.134-138.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 14 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2554

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....พงศ์พันธุ์ นิยมฤทธิ์.....รหัสประจำตัว.....52404203.....
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ระดับ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ปริญญาโท ปริญญาเอก
หลักสูตร...วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต... สาขาวิชา...เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ...คณะ...วิศวกรรมศาสตร์.....
อยู่บ้านเลขที่...2...หมู่...7.....ต.รอก/ชอย.....-.....ถนน.....-.....ตำบล/แขวง.....แสง.....
อำเภอ/เขต.....เมือง.....จังหวัด.....จันทบุรี.....รหัสไปรษณีย์.....22000.....
เป็น “ผู้โอน”ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี
รศ.ดร.บุญเจริญ ศรีนาวกุล ตำแหน่งคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทาง
ปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การประเมินสารหล่อลื่นสำหรับกระบวนการทอขึ้นรูปเย็น
ขึ้นส่วนอลูมิเนียม ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ รศ.ดร. วารุณี เปรมานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ตามพระราชบัญญัติ
ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์
ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์
พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้อง
ระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่
ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ
ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ก่อน
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็น
สิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลง
ฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระ
ค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรรผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือ
ทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การ
บริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้น โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วยการบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....^๔
พงษ์พันธ์ นิมมฤทธิ ผู้โอนสิทธิ
(นายพงษ์พันธ์ นิมมฤทธิ)
(นักศึกษา)

ลงชื่อ.....
ผู้รับโอนสิทธิ
(รศ.ดร. ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทนคณบดี

ลงชื่อ.....
พยาน
(รศ.ดร. วารุณี เปรมานนท์)

ลงชื่อ.....
พยาน
(รศ.ดิลก ศรีประไพ)



