รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จรัญ จันทลักขณา. สถิติ วิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพาณิช, 2534.

ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ฐิติเกียรติพงศ์. วัสดุในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538.

บรรเลง ศรนิล. การใช้สารเพิ่มเนื้อและสารเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก. วารสารพลาสติก. 10 (มีค.-เม.ย. 2537) : 15-22.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร : ห.จ.ก.ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2538.

ภูษิต วงศ์หล่อสายชล และ วัชรพล ธรรมอารี. การประยุกต์ Linear Programming กับวัตถุดิบทางเซรามิกส์. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

มยุรี ภาคลำเจียก. คุณสมบัติและข้อพิจารณาในการเลือกใช้ บรรจุภัณฑ์พลาสติก. วารสารพลาสติก. 11 (พย.-ธค. 2537) : 35-43.

วิฑูรย์ ศิริไพบูลย์. การใช้สารเติมแต่งในกระบวนการผลิตโพลิเมอร์. วารสารพลาสติก. 10 (พค.-มิย. 2537) : 53-56.

วิฑูรย์ ศิริไพบูลย์. ขวดโพลีไวนิลคลอไรด์. วารสารพลาสติก. 9 (กย.-ตค. 2535) : 55-61.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ จันทนา จันทโร. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สมศักดิ์ แซ่จึง และ สมบูรณ์ โลเกศกระวี. การทำอีพอกซิเดชั่นน้ำมันเมล็ดยางพารา เพื่อใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ และสเตบิไลเซอร์ สำหรับสารประกอบโพลีไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี). ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ภาษาอังกฤษ

Bazaraa, Mokhtar S. and Shetty, C.M. Nonlinear Programming Singapore : John Wiley & Son, 1990.

Bohl, Alan H. Computer optimization of formulations. Plastics Compounding. 10 (September 1987) : 12-18.

Borden, Keith A., Weil, Richard C. and Manganaro, Carl R . Optimizing mica-filled polypropylene. Plastic Compounding. 16 (September 1993) : 51-55.

Brofman, C., Caillault, J., and Krauskopf, L. Computerized formulating for flexible PVC. Plastics Compounding. 12 (March 1989) : 27-32.

Helwig , Jane T. and Council ,Kathryn A. SAS User's Guide. North Carolina : SAS Institute, 1979.

Katz, Harry S. and Milewski, John V. Handbook of Fillers and Reinforcements for Plastics New York : Van Nostrand Reinhold, 1978.

McBroom John. Formulating plasticizer blends by master charts. Modern Plastic. 43 (January 1966) : 145-146.

Moen, Ronald D., Nolan, Thomas W. and Provost, Lloyd P. Improving Quality Through Planned Experimentation. Singapore : McGraw-Hill , 1991.

Montgomery, Douglas C. Design and Analysis of Experiments 3rd ed. Singapore : John Wiley & Sons, 1991.

Nass, Leonard I. and Heiberger, Charles A. Encyclopedia of PVC. 2nd ed. Vol 1-3. New York : Dekker, 1985.

Schwartz, Joseph B., Flamholz, Joel R. and Press, Robert H. Computer Optimization of Pharmaceutical Formulation I:General Procedure. Journal of Pharmaceutical Sciences 61 (July 1973) : 1165-1170.

Sumanutvarapun, Prasit. Effect of Filler on the Mechanical Properties of High Density Polyethylene. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University.

Taha, Hamdy A. Operation Research. 4th ed. New York : Maxwell Macmillan, 1989.

Woebcken Wilbran International Plastics handbook 3rd ed. New York : Hanser/Gardner, 1995.

Younger, Mary Sue. Handbook for Linear Regression California : Wadsworth, 1979.

ภาคผนวก

ภาคผนวก-ก

ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

1. ผลการทดลองสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.3287	0.0112	1.3300	0.0006
2	1.2629	0.0293	1.2748	0.0100
3	1.2416	0.0045	1.2489	0.0210
4	1.2056	0.0148	1.1959	0.0077
5	1.4306	0.0462	1.4756	0.0013
6	1.4395	0.0013	1.4801	0.1058
7	1.3671	0.0160	1.3601	0.0049
8	1.3119	0.0057	1.3004	0.0066
9	1.5719	0.0028	1.5756	0.0098
10	1.5116	0.0171	1.5270	0.0014
11	1.4662	0.0016	1.4541	0.0072
12	1.4226	0.0174	1.3818	0.0203
13	1.6532	0.0296	1.6647	0.0057
14	1.5860	0.0327	1.5865	0.0164
15	1.5419	0.0139	1.5223	0.0111
16	1.4707	0.0117	1.4868	0.0050

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลค่าแรงดึงที่จุดขาด(tensile strength) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	312.25	3.95	311.43	12.37
2	208.67	7.59	207.42	4.76
3	159.36	1.01	161.78	5.74
4	114.83	3.07	122.55	2.34
5	255.26	18.10	256.99	12.02
6	175.52	3.40	182.51	8.80
7	138.10	4.15	139.41	4.32
8	97.76	4.20	106.90	4.51
9	192.54	6.48	209.27	4.64
10	152.19	3.96	152.06	5.48
11	115.83	2.43	123.93	1.59
12	88.30	2.61	91.55	2.60
13	167.00	10.54	180.16	5.20
14	130.77	3.40	130.11	5.49
15	101.15	2.54	107.61	0.82
16	83.49	3.37	86.47	2.88

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% elongation)ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	225.75	6.70	217.25	9.71
2	268.40	12.01	260.80	10.85
3	304.60	10.97	280.50	3.87
4	256.20	27.05	295.00	10.80
5	160.00	6.82	154.60	6.69
6	222.20	6.80	233.40	9.40
7	247.80	5.36	254.00	4.24
8	237.80	9.15	232.00	12.71
9	124.60	9.76	119.36	8.62
10	189.00	15.49	187.80	4.82
11	221.60	7.16	233.50	11.03
12	198.00	8.29	195.00	11.25
13	95.70	4.65	89.68	10.67
14	152.00	11.34	173.20	3.83
15	209.00	11.83	213.25	14.45
16	190.00	14.97	210.25	25.09

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลค่า100%โมดูลัสความยืดหยุ่น (100% elastic elasticity) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	217.20	6.24	220.82	4.55
2	104.90	5.10	104.54	3.65
3	69.13	2.11	73.94	1.09
4	58.62	3.23	55.41	1.82
5	219.77	12.43	222.80	8.71
6	111.22	1.60	110.76	3.52
7	71.74	2.79	70.37	3.04
8	50.83	1.58	55.78	2.37
9	183.87	7.99	202.06	6.13
10	115.94	5.63	115.93	4.16
11	73.23	2.20	73.01	0.66
12	55.46	2.83	57.78	2.06
13	179.29	0.00	176.28	2.51
14	112.25	5.04	107.20	4.82
15	71.56	1.41	73.94	2.29
16	58.60	2.59	62.81	6.69

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลค่าความแข็ง (hardness) ที่วัดได้จากการทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : ชอร์ A

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	92.30	2.17	95.20	1.79
2	84.40	0.82	84.50	1.06
3	71.90	1.02	72.90	0.82
4	61.10	1.24	61.50	1.84
5	95.60	0.42	96.20	0.84
6	87.00	1.58	87.30	1.44
7	75.70	0.84	75.30	1.30
8	65.30	1.30	65.90	1.02
9	96.80	0.57	97.10	1.56
10	90.10	0.74	90.30	0.57
11	78.10	0.65	79.70	0.97
12	68.30	1.52	69.50	0.79
13	96.60	1.14	97.00	1.58
14	91.50	0.50	91.80	0.57
15	80.90	0.89	80.60	2.30
16	73.20	0.84	72.70	0.57

2. ผลการทดลองสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ

ตารางที่6 แสดงข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	1.4408	0.0053	1.4441	1.4441
2	1.4430	0.0053	1.4454	1.4454
3	1.4608	0.0035	1.4536	1.4536
4	1.4677	0.0021	1.4624	1.4624
5	1.4720	0.0133	1.4736	1.4736
6	1.4807	0.0047	1.4980	1.4980
7	1.4947	0.0060	1.4948	1.4948
8	1.5149	0.0047	1.5118	1.5118
9	1.5154	0.0047	1.5159	1.5159
10	1.5190	0.0051	1.5163	1.5163

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลค่าแรงดึงที่จุดขาด(tensile strength) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	115.37	5.73	122.45	2.78
2	125.11	5.21	124.20	5.15
3	129.06	5.24	133.76	2.23
4	132.45	5.24	138.11	9.47
5	141.41	2.83	152.01	2.62
6	154.07	7.13	145.86	7.61
7	149.81	5.12	153.44	10.55
8	161.82	2.66	160.76	14.48
9	173.50	7.69	163.09	20.79
10	170.91	6.78	173.47	6.81

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% elongation) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

รุ่น	ทำซ้ำครั้งที่ 1		ทำซ้ำครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	227.00	13.51	229.00	6.00
2	227.60	16.67	231.00	10.79
3	235.00	14.27	236.20	3.70
4	246.00	10.79	241.25	9.00
5	249.20	7.98	243.40	10.24
6	258.60	8.29	244.00	9.46
7	230.40	7.50	231.20	13.44
8	231.40	2.41	225.00	18.17
9	221.60	7.16	217.25	9.71
10	210.25	25.09	208.00	11.83

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลค่า100%โมดูลัสความยืดหยุ่น (100% elastic modulus) ที่วัดได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	71.16	2.32	70.59	0.96
2	70.13	1.59	70.31	1.31
3	76.63	1.21	74.06	1.00
4	81.33	1.65	79.45	1.52
5	84.46	0.58	85.36	0.91
6	89.92	2.48	87.85	0.97
7	90.09	2.44	93.04	1.51
8	96.46	1.37	97.93	1.06
9	104.21	9.43	102.00	4.69
10	112.85	11.91	100.13	2.82

ตารางที่10 แสดงข้อมูลค่าความแข็ง (hardness)ที่วัดได้จากการทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

หน่วย : ชอร์ A

รุ่น	ทดลองครั้งที่ 1		ทดลองครั้งที่ 2	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	77.20	0.84	78.30	0.45
2	80.10	1.02	79.60	0.96
3	80.80	1.30	80.70	0.84
4	82.20	0.76	82.20	0.84
5	82.60	1.14	83.90	0.65
6	83.20	1.30	85.50	0.35
7	85.10	0.22	86.80	0.91
8	85.30	0.67	87.80	0.76
9	86.70	0.57	87.10	0.74
10	87.50	0.50	87.60	0.55

ภาคผนวก-ข.

วิธีคำนวณต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต

การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบของสารประกอบพลาสติกพีวีซี ซึ่งคิดเป็นต้นทุนต่อสารประกอบพลาสติกพีวีซีที่ได้ 1 กิโลกรัม มีวิธีการคำนวณดังนี้

สารประกอบพลาสติกพีวีซี ที่ประกอบด้วย

พีวีซีเรซิน	100 กก.
โอพี แวค	0.3 กก. (0.3 กก./เรซิน 100 กก. หรือ 0.3 phr.)
ไตรเบสิค	3.0 กก. (3 กก./เรซิน 100 กก. หรือ 3 phr.)
DOP	X1 กก. (X1 กก./เรซิน 100 กก. หรือ X1 phr.)
แคลเซียมคาร์บอเนต	X2 กก. (X2 กก./เรซิน 100 กก. หรือ X2 phr.)
ซีรีคลอ	X3 กก. (X3 กก./เรซิน 100 กก. หรือ X3 phr.)

มีน้ำหนักรวม = 100 + 0.3 + 3.0 + X1 + X2 + X3 กก.

ในสารประกอบหนัก 103.3 + X1 + X2 + X3 กก. มีพีวีซีเรซิน = 100 กก.

ดังนั้น ในสารประกอบหนัก 1 กก. จะมีพีวีซีเรซิน = 100/(103.3 + X1 + X2 + X3) กก.

ด้วยวิธีการเช่นเดียวกัน จะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของ โอพี แวค ไตรเบสิค DOP แคลเซียมคาร์บอเนต และซีรีคลอ ในสารประกอบพลาสติกพีวีซีหนัก 1 กิโลกรัม ได้ดังนี้

พีวีซีเรซิน	100 / (103.3 + X1 + X2 + X3)	กิโลกรัม
โอพี แวค	0.3 / (103.3 + X1 + X2 + X3)	กิโลกรัม
ไตรเบสิค	3.0 / (103.3 + X1 + X2 + X3)	กิโลกรัม
DOP	X1 / (103.3 + X1 + X2 + X3)	กิโลกรัม
แคลเซียมคาร์บอเนต	X2 / (103.3 + X1 + X2 + X3)	กิโลกรัม
ซีรีคลอ	X3 / (103.3 + X1 + X2 + X3)	กิโลกรัม

ดังนั้นจะได้สมการต้นทุนวัตถุดิบรวมของสารประกอบพลาสติกพีวีซี ดังนี้

$$\text{ต้นทุน/คอมเปานด์ 1 กก.} = \frac{100c1 + 0.3c2 + 3c3 + c4X1 + c5X2 + c6X3}{103.3 + X1 + X2 + X3}$$

เมื่อ c1 c2 c3 c4 c5 และ c6 คือ ราคา ต่อ หน่วยกิโลกรัมของ พีวีซีเรซิน โอพี แวค ไตรเบสิค DOP แคลเซียมคาร์บอเนต และซีรีคลอ ตามลำดับ

สำหรับงานวิจัยนี้ จะได้ทำการศึกษาโดยใช้ระดับราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด ดังนี้

พีวีซีเรซิน (c1)	=	24.50	บาท/กก.
โอพี แวค (c2)	=	167.6	บาท/กก.
ไตรเบสิค (c3)	=	40	บาท/กก.
DOP (c4)	=	26	บาท/กก.
แคลเซียมคาร์บอเนต (c5)	=	4.8	บาท/กก.
ซีรีคลอ (c6)	=	19.0	บาท/กก.

ดังนั้น สามารถสรุปเป็นสมการต้นทุนวัตถุดิบของสารประกอบพลาสติกพีวีซี ได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุน/สารประกอบพลาสติก 1 กก.} = \frac{2620.28 + 26X1 + 4.8X2 + 19X3}{103.3 + X1 + X2 + X3} \text{ บาท}$$

เมื่อ X1 คือ น้ำหนักของ DOP (phr.)

X2 คือ น้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนต (phr.)

X3 คือ น้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนต (phr.)

ภาคผนวก-ค

ตัวอย่างผลการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

Rubber Modulus Test [H500LC]

Product Code..... : PVC

Batch Reference.....: 1.4

Product Descript.....: PVC

Date.....: 9.11.96

Operator.....: Kanchana

Temperature [C].....:

Relative Humidity.....:

,Load Range,500,N

Extension Range,500,%

Test Speed,50,mm/min

Modulus Point 1,100,%

Modulus Point 2,125,%

Modulus Point 3,150,%

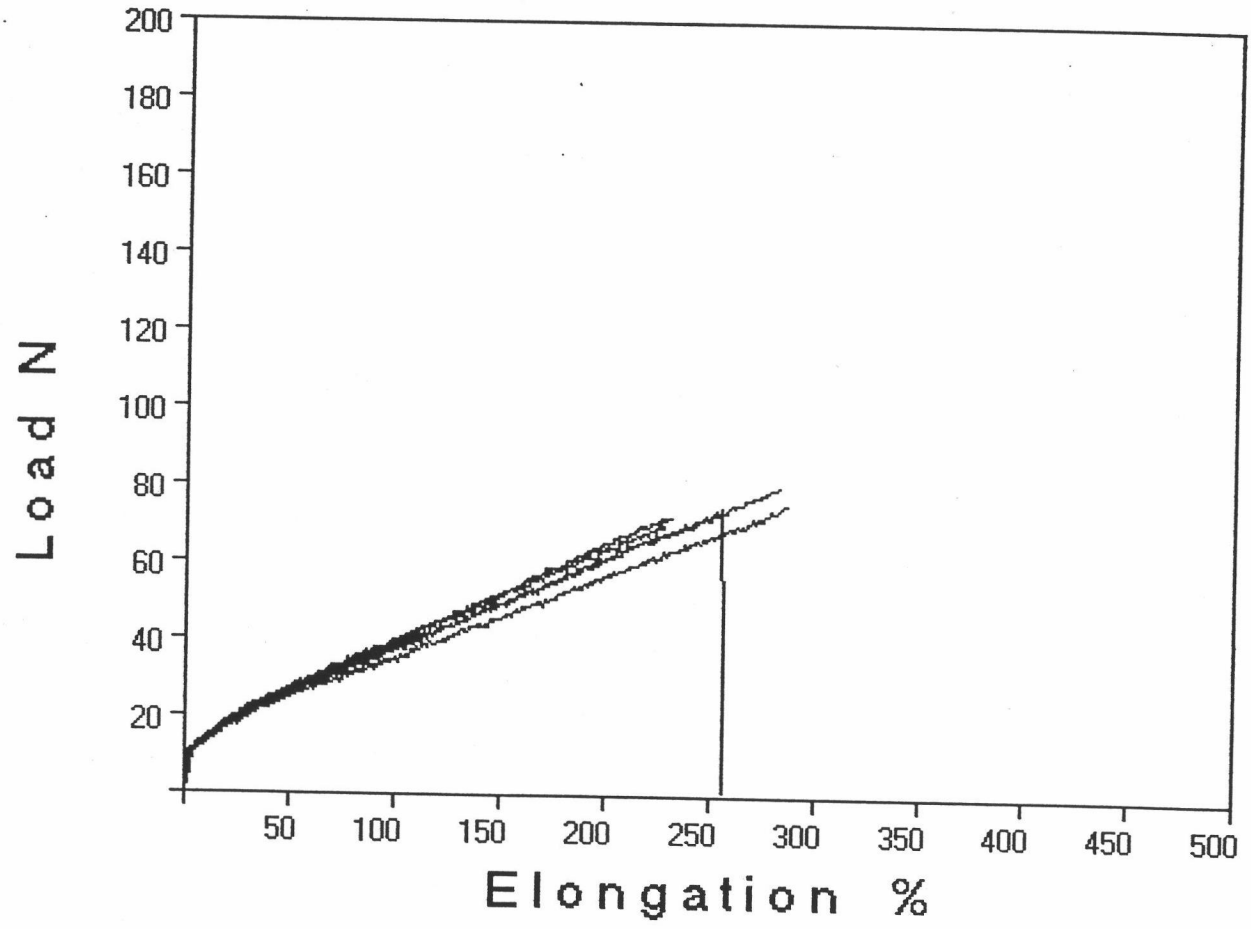
Modulus Point 4,200,%

Modulus Point 5,250,%

Auto Reverse,On,

	Modulus 1	Modulus 2	Modulus 3	Modulus 4	Modulus 5	Max Load	Extn at Break
	N	N	N	N	N	N	%
1	38.0	43.4	49.4	60.6	72.0	70.0	282
2	38.6	45.4	51.4	64.0	-	70.6	228
3	35.4	40.0	45.4	56.6	67.4	75.4	285
4	38.0	43.4	49.4	61.4	72.0	74.6	255
5	40.0	46	52	65.4	-	72.0	231

Mean	38.0	43.6	49.5	61.6	70.5	74.5	256
Median	38	43.4	49.4	61.4	67.4	74.6	255
Std.Dev	1.7	2.3	2.6	3.4	2.7	3.6	27
Range	4.6	6.0	6.6	8.8	4.6	9.4	57
Coe.Var.	4.4	5.4	5.2	5.5	3.8	4.9	11
Minimum	35.4	40.0	45.4	56.6	67.4	70.6	228
Maximum	40	46.0	52.0	62.4	72.0	80.0	285



ภาคผนวก-ง

ตัวอย่างโปรแกรมคำสั่ง และผลการรันโปรแกรม SAS

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความถ่วงจำเพาะ

```
INPUT X1 X2 REP Y @@;
CARDS;
30 0 1 1.3287 30 0 2 1.3300
50 0 1 1.2629 50 0 2 1.2748
70 0 1 1.2416 70 0 2 1.2489
90 0 1 1.2056 90 0 2 1.1959
30 35 1 1.4306 30 35 2 1.4756
50 35 1 1.4395 50 35 2 1.4801
70 35 1 1.3671 70 35 2 1.3601
90 35 1 1.3119 90 35 2 1.3004
30 70 1 1.5719 30 70 2 1.5756
50 70 1 1.5116 50 70 2 1.5270
70 70 1 1.4662 70 70 2 1.4541
90 70 1 1.4226 90 70 2 1.3818
30 100 1 1.6532 30 100 2 1.6647
50 100 1 1.5860 50 100 2 1.5865
70 100 1 1.5419 70 100 2 1.5223
90 100 1 1.4707 90 100 2 1.4868
;
PROC ANOVA;
CLASS X1 X2;
MODEL Y = X1 X2 X1*X2;
RUN;
```

SAS 09:42 Friday, January 10, 1986 4

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
X1	4	30 50 70 90
X2	4	0 35 70 100

Number of observations in data set = 32

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	0.52760435	0.03517362	161.18	0.0001
Error	16	0.00349153	0.00021822		
Corrected Total	31	0.53109588			

R-Square	C.V.	Root MSE	Y Mean
0.993426	1.0349136	0.01477229	1.42739375

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
X1	3	0.11209064	0.03736355	171.22	0.0001
X2	3	0.40894935	0.13631645	624.67	0.0001
X1*X2	9	0.00656436	0.00072937	3.34	0.0171

2. การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลความถ่วงจำเพาะ

```
DATA SPECIFIC GRAVITY;
INPUT X1 X2 REP Y @@;
X3 = X1*X1;
X4 = X2*X2;
X5 = X1*X2;
CARDS;
30 0 1 1.3287 30 0 2 1.3300
50 0 1 1.2629 50 0 2 1.2748
70 0 1 1.2416 70 0 2 1.2489
90 0 1 1.2056 90 0 2 1.1959
30 35 1 1.4306 30 35 2 1.4756
50 35 1 1.4395 50 35 2 1.4801
70 35 1 1.3671 70 35 2 1.3601
90 35 1 1.3119 90 35 2 1.3004
30 70 1 1.5719 30 70 2 1.5756
50 70 1 1.5116 50 70 2 1.5270
70 70 1 1.4662 70 70 2 1.4541
90 70 1 1.4226 90 70 2 1.3818
30 100 1 1.6532 30 100 2 1.6647
50 100 1 1.5860 50 100 2 1.5865
70 100 1 1.5419 70 100 2 1.5223
90 100 1 1.4707 90 100 2 1.4868
;
PROC STEPWISE;
MODEL Y = X1 X2 X3 X4 X5/STEPWISE;
RUN;
```

□

SAS 09:14 Sunday, April 6, 1986 20

Stepwise Procedure for Dependent Variable Y

Step 1 Variable X2 Entered R-square = 0.76145293 C(p) =345.23322270

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Prob>F
Regression	1	0.40440451	0.40440451	95.76	0.0001
Error	30	0.12669137	0.00422305		
Total	31	0.53109588			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II Sum of Squares	F	Prob>F
INTERCEP	1.27367140	0.01946112	18.08859175	4283.30	0.0001
X2	0.00299946	0.00030651	0.40440451	95.76	0.0001

Bounds on condition number: 1.0000, 1.0000

Step 2 Variable X1 Entered R-square = 0.97201872 C(p) = 17.77979590

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Prob>F
Regression	2	0.51623514	0.25811757	503.70	0.0001
Error	29	0.01486074	0.00051244		
Total	31	0.53109588			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II Sum of Squares	F	Prob>F
INTERCEP	1.43229640	0.01269866	6.51917357	12721.8	0.0001
X1	-0.00264375	0.00017896	0.11183063	218.23	0.0001
X2	0.00299946	0.00010677	0.40440451	789.18	0.0001

Bounds on condition number: 1.0000, 4.0000

Step 3 Variable X4 Entered R-square = 0.97975624 C(p) = 7.67359890

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Prob>F
Regression	3	0.52034450	0.17344817	451.71	0.0001
Error	28	0.01075138	0.00038398		
Total	31	0.53109588			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II Sum of Squares	F	Prob>F
INTERCEP	1.42120818	0.01150302	5.86134772	15264.8	0.0001
X1	-0.00264375	0.00015491	0.11183063	291.24	0.0001
X2	0.00402957	0.00032817	0.05789403	150.77	0.0001
X4	-0.00001035	0.00000316	0.00410936	10.70	0.0028

Bounds on condition number: 12.6070, 78.6423

Step 4 Variable X5 Entered R-square = 0.98313689 C(p) = 4.38419202

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	Prob>F
Regression	4	0.52213995	0.13053499	393.53	0.0001
Error	27	0.00895593	0.00033170		
Total	31	0.53109588			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type II Sum of Squares	F	Prob>F
INTERCEP	1.39372405	0.01593290	2.53811195	7651.81	0.0001
X1	-0.00218568	0.00024392	0.02663382	80.29	0.0001
X2	0.00456585	0.00038231	0.04730995	142.63	0.0001
X4	-0.00001035	0.00000294	0.00410936	12.39	0.0016
X5	-0.00000894	0.00000384	0.00179545	5.41	0.0277

Bounds on condition number: 19.8070, 181.4

All variables in the model are significant at the 0.1500 level.
No other variables met the 0.1500 significance level for entry into the model.

Summary of Stepwise Procedure for Dependent Variable Y

Step	Variable Entered	Variable Removed	Number In	Partial R**2	Model R**2	C(p)	F	Prob>F
1	X2		1	0.7615	0.7615	345.2332	95.7613	0.0001
2	X1		2	0.2106	0.9720	17.7798	218.2319	0.0001
3	X4		3	0.0077	0.9798	7.6736	10.7021	0.0028
4	X5		4	0.0034	0.9831	4.3842	5.4129	0.0277

```
DATA SPECIFIC GRAVITY;
INPUT X1 X2 REP Y @@;
X3 = X1*X1;
X4 = X2*X2;
X5 = X1*X2;
CARDS;
30 0 1 1.3287 30 0 2 1.3300
50 0 1 1.2629 50 0 2 1.2748
70 0 1 1.2416 70 0 2 1.2489
90 0 1 1.2056 90 0 2 1.1959
30 35 1 1.4306 30 35 2 1.4756
50 35 1 1.4395 50 35 2 1.4801
70 35 1 1.3671 70 35 2 1.3601
90 35 1 1.3119 90 35 2 1.3004
30 70 1 1.5719 30 70 2 1.5756
50 70 1 1.5116 50 70 2 1.5270
70 70 1 1.4662 70 70 2 1.4541
90 70 1 1.4226 90 70 2 1.3818
30 100 1 1.6532 30 100 2 1.6647
50 100 1 1.5860 50 100 2 1.5865
70 100 1 1.5419 70 100 2 1.5223
90 100 1 1.4707 90 100 2 1.4868
;
PROC GLM;
MODEL Y = X1 X2 X4 X5/P;
OUTPUT PREDICTED=YHAT RESIDUAL=R;
PROC PLOT;
PLOT R*YHAT;
RUN;
```

SAS 09:42 Friday, January 10, 1986 65

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	0.52213995	0.13053499	393.53	0.0001
Error	27	0.00895593	0.00033170		
Corrected Total	31	0.53109588			

R-Square	C.V.	Root MSE	Y Mean
0.983137	1.2759380	0.01821266	1.42739375

Dependent Variable: Y

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
X1	1	0.11183063	0.11183063	337.14	0.0001
X2	1	0.40440451	0.40440451	1219.18	0.0001
X4	1	0.00410936	0.00410936	12.39	0.0016
X5	1	0.00179545	0.00179545	5.41	0.0277

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
X1	1	0.02663382	0.02663382	80.29	0.0001
X2	1	0.04730995	0.04730995	142.63	0.0001
X4	1	0.00410936	0.00410936	12.39	0.0016
X5	1	0.00179545	0.00179545	5.41	0.0277

Dependent Variable: Y

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > |T|	Std Error of Estimate
INTERCEPT	1.393724047	87.47	0.0001	0.0159328983
X1	-0.002185681	-8.96	0.0001	0.0002439177
X2	0.004565845	11.94	0.0001	0.0003823124
X4	-0.000010345	-3.52	0.0016	0.0000029392
X5	-0.000008938	-2.33	0.0277	0.0000038417

SAS 09:42 Friday, January 10, 1986

General Linear Models Procedure

Observation	Observed Value	Predicted Value	Residual
1	1.32870000	1.32815362	0.00054638
2	1.33000000	1.32815362	0.00184638
3	1.26290000	1.28444000	-0.02154000
4	1.27480000	1.28444000	-0.00964000
5	1.24160000	1.24072637	0.00087363
6	1.24890000	1.24072637	0.00817363
7	1.20560000	1.19701275	0.00858725
8	1.19590000	1.19701275	-0.00111275
9	1.43060000	1.46590027	-0.03530027
10	1.47560000	1.46590027	0.00969973
11	1.43950000	1.41593009	0.02356991
12	1.48010000	1.41593009	0.06416991
13	1.36710000	1.36595992	0.00114008
14	1.36010000	1.36595992	-0.00585992
15	1.31190000	1.31598975	-0.00408975
16	1.30040000	1.31598975	-0.01558975
17	1.57190000	1.57830070	-0.00640070
18	1.57560000	1.57830070	-0.00270070
19	1.51160000	1.52207398	-0.01047398
20	1.52700000	1.52207398	0.00492602
21	1.46620000	1.46584725	0.00035275
22	1.45410000	1.46584725	-0.01174725
23	1.42260000	1.40962053	0.01297947
24	1.38180000	1.40962053	-0.02782053
25	1.65320000	1.65447041	-0.00127041
26	1.66470000	1.65447041	0.01022959
27	1.58600000	1.59288093	-0.00688093
28	1.58650000	1.59288093	-0.00638093
29	1.54190000	1.53129145	0.01060855
30	1.52230000	1.53129145	-0.00899145
31	1.47070000	1.46970197	0.00099803
32	1.48680000	1.46970197	0.01709803

Sum of Residuals	-0.00000000
Sum of Squared Residuals	0.00895593
Sum of Squared Residuals - Error SS	0.00000000
First Order Autocorrelation	0.13835322
Durbin-Watson D	1.69061785

SAS 09:42 Friday, January 10, 1986 71

Plot of R*YHAT Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.