

중회귀분석을 이용한 플라스틱 압출공정의 작업조건 설정 방법

The Establishment of Work Conditions in Plastic Extrusion Process by using Multiple Linear Regression Analysis

김 태 호*
Kim, Tae-Ho
김 석 중**
Kim, Sug-Joong
강 경 식***
Kang, Kyung-Sik

ABSTRACT

In the plastic extrusion process, product quality is influenced by work condition for temperature of cylinders and dies. The work conditions are various, so it is difficult to standardization of the work conditions. Therefore, the work conditions are depended on the workers of experience and skill.

In the plastic extrusion process, it has five control heating points on the cylinder and three control heating points on the die. In addition, there is one control point on the extrusion process. It is extrusion speed.

In this case, we don't know how these affect product quality. We structure the multiple linear regression equation with the temperature of cylinders and dies as independent variables and the product weight as dependent variable.

We solve this equation using statistic computer package named Juse-Qcas.

1. 서론

플라스틱 수지는 열을 가하여 어느 온도 이상이 되면 용해되고, 이것을 냉각하면 고화되는 성질을 가지고 있는데, 이러한 성질을 이용하여 여러가지 플라스틱 제품을 만들고 있다. 그 성형방법으로는 압출 성형, 사출성형, 블로우성형, 캘린더성형 등이 있고, 플라스틱 성형방법의 하나인 압출성형에서는 펠릿상, 혹은 분말상의 플라스틱에 열을 가하여 용해시킨 후 그것에 원하는 형상을 부여하고 냉각하여 고화시킨다.

압출기에 공급되는 수지는 실린더 배럴내에서 열을 받아 용융되고 금형에서 제품으로 압출된다. 초창기 압출기는 외부가열에 의하여 조작이 이루어 졌으나 압출기의 성능이 향상됨에 따라 실린더 배럴내에서 재료 마찰열에 의한 내부발열이 크게 되어 질염화비닐, ABS수지에서는 외부가열을 행하지 않고 내부 발열만으로 용융을 시키는 단열압출조작이 가깝게 되므로 압출기를 외부에서 가열함과 동시에 냉각도 병용할 수 있는 가열냉각계가 필요하게 되었다.

* 명지전문대학 공업경영과
** 주식회사 제일건설팅
*** 명지대학교 산업공학과

압출기의 가열냉각계에서는 다음과 같은 3가지 중요기능을 요구한다.

첫번째 일정한 시간내에 희망하는 조작온도까지 차가운 압출기를 heat up할 수 있을 것, 이 시간은 용도에 따라서 서로 다르고, 또 압출기의 시동·정지의 반복에 의해서도 서로 다르다.

두번째 가열냉각계는 배럴과 스크류 온도를 압출조작중 희망하는 조작온도로 유지하여야 할 것이다.

세번째는 두번째 요구의 당연한 결과로서 가열냉각계는 최소의 온도 변동으로 희망온도를 유지해야 한다. 이 최소온도 변동은 압출되어지는 제품의 요구정도에 의하여 결정된다[6].

압출(entrusion)생산에서는 실린더와 금형의 온도 등의 작업조건에 따라 제품의 品質에 많은 영향을 준다. 그런데 작업조건의 요인이 여러가지이므로 작업을 표준화하여 관리하기도 매우 어려워 일반적으로 현장작업자의 경험과 감각에 의존하여 상황에 따라 작업조건을 변화시켜 관리하고 있다. 따라서 작업자간에 능력의 차가 심하여 작업조건이 잘관리되지 못하고 있어 재작업(rework)의 원인이 되고, 스크랩이 증가하게 된다. 스크랩은 다시 녹여 재생하여 가공하게 됨으로 재생원료로 인한 品質저하가 일어나기도 한다. 따라서 작업조건에 영향을 주는 요인을 파악하여 관리할 수 있다면 品質의 안정을 기할 수 있다.

압출의 경우는 작업조건을 관리하는 곳이 일반적으로 실린더에 5군데, 금형에 3군데 및 압출속도 등 아홉가지로 어느 인자가 전체작업인 品質에 영향을 미치는 지 알 수 없다. 이와 같은 경우에 작업조건이 要因간에 영향을 미치는 요소를 分析하는데에는 중회귀분석으로 model을 수립하여 독립변수인 작업조건과 종속변수인 무게(weight) 간에 분석이 가능하다.

2. 중회귀 모델의 이론적 고찰

독립변수의 수가 k개인 경우의 증선형회귀모형은 i번째 관찰값에 대하여

$$Y_i = B_0 + B_1X_{i1} + B_2X_{i2} + \dots + B_kX_{ik} + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

으로 표현되며 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$ 는 k개의 독립변수들의 어떤 고정된 값들이며 Y_i 는 이들 독립 변수의 값에서 얻어진 반응값이다. 오차 e_i 는 정규분포 $N(0, \sigma)$ 를 따르며, 서로독립이다.

모수 B_0, B_1, \dots, B_k 는 미지의 상수들이다[1].

그리고 중회귀 분석을 실제문제에 이용하는 단계는 다음과 같다[3].

- (1) 문제의 정형화(Formulation of the Problem)
- (2) 경제적인 그리고 다른 관계된 지수의 선택(Choice of Economic and Other Relevant Indicators)
- (3) 중회귀의 초기 검정 실행 (Initial Test Run of Multiple Regression)
- (4) 단순상관행렬의 연구(Studying the Matrix of Simple Correlations)
- (5) 개별적 회귀 중에서 결정(Deciding among Individual Regressions)
- (6) R^2 값의 관측 (Observing the Value of R^2)
- (7) 회귀가정의 타당성 검토(Checking the Validity of the Regression Assumptions)
- (8) 예측의 준비(Preparing a Forecast)
- (9) 이해를 높이는 회귀식 사용(Using the Regression Equation to Increase Understanding)

따라서 본 연구에서도 위의 절차에 따라서 압출공정에서 제품의 중량을 종속변수로 하고 작업조건인 각 부분들의 온도를 독립변수로 하여 중회귀모델을 구성하고 통계적 계산과정은 品質관리전용패키지인 JUSE-QCAS를 사용하여 계산결과를 얻었다.

3. 중회귀 model 分析

먼저 모델을 구축하기 위하여 사용한 변수들을 정의 하면 다음과 같다.

C_i : Cylinder 부분의 온도 ($i=1, \dots, 5$)

D_j : 금형온도 부분온도 ($j=1, \dots, 3$)

RPM : 기계 압출 속도
 Weight : 생산된 제품의 무게
 SEC : 인취시간
 Bi : 모수

작업상황을 모델화하기 위하여 실린더의 온도, 금형의 온도 및 스크류의 회전속도와 제품을 인취하는 시간까지를 고려하여 다음과 같은 중회귀모델을 구축하였다.

$$Weight = B_0 + B_1C_1 + \dots + B_5C_5 + B_6D_1 + \dots + B_8D_3 + B_9RPM + B_{10}SEC \quad (2)$$

위의 모델을 이용하여 압출공정(extrusion process)의 작업조건을 분석하기 위한 KI부품의 19개의 data는 다음과 같다.

<표 3-1> 압출공정 data

Var. name	1	2	3	4	5	6
Sample	c1 (numeric)	c2 (numeric)	c3 (numeric)	c4 (numeric)	c5 (numeric)	d1 (numeric)
1 001	180.000	178.000	180.000	180.000	166.000	172.000
2 002	180.000	178.000	180.000	180.000	166.000	172.000
3 003	184.000	179.000	186.000	181.000	170.000	186.000
4 004	184.000	179.000	186.000	181.000	170.000	186.000
5 005	184.000	179.000	186.000	181.000	170.000	186.000
6 006	185.000	181.000	180.000	176.000	170.000	175.000
7 007	185.000	181.000	180.000	176.000	170.000	175.000
8 008	187.000	183.000	187.000	179.000	168.000	178.000
9 009	187.000	183.000	187.000	179.000	168.000	178.000
10 010	187.000	183.000	187.000	179.000	168.000	178.000
11 011	190.000	188.000	187.000	179.000	168.000	189.000
12 012	190.000	188.000	187.000	179.000	160.000	189.000
13 013	176.000	180.000	175.000	175.000	160.000	177.000
14 014	176.000	180.000	175.000	175.000	160.000	177.000
15 015	176.000	180.000	175.000	175.000	164.000	177.000
16 016	176.000	180.000	175.000	175.000	164.000	177.000
17 017	177.000	180.000	180.000	179.000	173.000	178.000
18 018	180.000	180.000	183.000	180.000	175.000	182.000
19 019	180.000	180.000	183.000	180.000	175.000	182.000

Var. name	7	8	9	10	11
Sample	d2 (numeric)	d3 (numeric)	rpm (numeric)	sec (numeric)	weight (numeric)
1 001	175.000	167.000	40.000	21.000	185.000
2 002	170.000	159.000	42.000	22.000	195.000
3 003	190.000	184.000	46.000	24.000	270.000
4 004	186.000	172.000	50.000	22.000	250.000
5 005	186.000	172.000	50.000	22.000	250.000
6 006	153.000	185.000	48.000	23.000	230.000
7 007	153.000	185.000	48.000	22.000	230.000
8 008	151.000	164.000	51.000	26.000	225.000
9 009	151.000	164.000	51.000	28.000	230.000
10 010	151.000	164.000	51.000	31.000	220.000
11 011	159.000	173.000	41.000	29.000	235.000
12 012	159.000	173.000	41.000	26.000	220.000
13 013	179.000	170.000	39.000	21.000	225.000
14 014	179.000	170.000	39.000	20.000	230.000
15 015	179.000	170.000	39.000	19.000	220.000
16 016	181.000	170.000	40.000	17.000	225.000
17 017	180.000	166.000	31.000	16.000	250.000
18 018	185.000	164.000	34.000	19.000	225.000
19 019	185.000	164.000	34.000	19.000	220.000

각 공정의 작업조건의 기초통계량인 평균, 표준편차, 최대치, 최소치, 왜도, 첨도등은 표와 같다. 여기서 왜도는 분포가 좌우로 치우친 정도를 나타내고 첨도는 곡선의 뾰족한 정도와 꼬리부분의 두터운 정도를 나타내는 데 정규분포일 때는 왜도와 첨도가 0이 된다.

그러므로 이 두 통계량은 데이터의 분포가 정규분포로 부터 얼마나 많이 벗어나 있는지를 결정하는데 쓰인다. 이들의 절대값이 1.5이상이면 주의를 하여야 하지만 본 연구의 데이터들은 금형의 2부분 온도가 -1.7로 약간 벗어났을 뿐 문제가 없다.

〈표 3-2〉 데이터의 기초통계량

****<Fundamental statistics>****								Samples= 19
No. Var. name	min.	max	mean	S. D.	C. V.	Skew.	Kurt.	
1. c1	176.000	190.000	182.316	4.808	0.026	0.029	-1.442	
2. c2	178.000	188.000	181.053	2.857	0.016	1.358	0.899	
3. c3	175.000	187.000	182.053	4.660	0.026	-0.340	-1.470	
4. c4	175.000	181.000	178.368	2.241	0.013	-0.495	-1.434	
5. c5	160.000	175.000	167.632	4.549	0.027	-0.233	-0.858	
6. d1	172.000	189.000	179.684	5.303	0.030	0.419	-1.131	
7. d2	151.000	190.000	171.158	14.392	0.084	-0.326	-1.675	
8. d3	159.000	185.000	170.316	7.439	0.044	0.782	-0.371	
9. rpm	31.000	51.000	42.895	6.367	0.148	-0.147	-1.307	
10. sec	16.000	31.000	22.474	4.033	0.179	0.461	-0.715	
11. weight	185.000	270.000	228.158	19.018	0.083	-0.109	0.398	
all samples	16.000	270.000	155.100	60.595	0.391	-1.302	0.474	

각 변수들의 단순상관관계는 〈표3-3〉에서 보는 것처럼 별로 높지 않게 나타나고 있다.

〈표3-3〉 데이터의 상관관계

****<Correlation matrix>****								Samples = 19	1 / 2
Var. name	1	2	3	4	5	6			
	c1	c2	c3	c4	c5	d1			
Var. name									
1 c1	1.0000	0.7064	0.8645	0.4423	0.1555	0.4966			
2 c2	0.7064	1.0000	0.4837	-0.0292	-0.2164	0.4999			
3 c3	0.8645	0.4837	1.0000	0.7799	0.4098	0.6212			
4 c4	0.4423	-0.0292	0.7799	1.0000	0.5535	0.4591			
5 c5	0.1555	-0.2164	0.4098	0.5535	1.0000	0.1469			
6 d1	0.4966	0.4999	0.6212	0.4591	0.1469	1.0000			
7 d2	-0.6535	-0.6298	-0.3198	0.1772	0.1342	0.2118			
8 d3	0.2394	0.0724	-0.0390	-0.2539	-0.0029	0.2055			
9 rpm	0.6290	0.1316	0.5001	0.1586	-0.0321	0.0533			
10 sec	0.8514	0.6583	0.7110	0.2685	-0.1111	0.2906			
11 weight	0.1616	0.0326	0.2926	0.1602	0.3096	0.5971			
Var. name	d2	d3	rpm	sec	weight				
1 c1	-0.6535	0.2394	0.6290	0.8514	0.1616				
2 c2	-0.6298	0.0724	0.1316	0.6583	0.0326				
3 c3	-0.3198	-0.0390	0.5001	0.7110	0.2926				
4 c4	0.1772	-0.2539	0.1586	0.2685	0.1602				
5 c5	0.1342	-0.0029	-0.0321	-0.1111	0.3096				
6 d1	0.2118	0.2055	0.0533	0.2906	0.5971				
7 d2	1.0000	-0.0685	-0.5102	-0.7020	0.2802				
8 d3	-0.0685	1.0000	0.2822	0.0410	0.4932				
9 rpm	-0.5102	0.2822	1.0000	0.6706	0.1956				
10 sec	-0.7020	0.0410	0.6706	1.0000	0.0084				
11 weight	0.2802	0.4932	0.1956	0.0084	1.0000				

모든 변수를 다 고려하여 회귀식을 구하면 식3과 같으며

$$Weight = -1104.391 - 22.820C_1 + 3.617C_2 + 2.150C_3 + 15.696C_4 + 0.916C_5 + 8.150D_1 - 4.112D_2 + 3.452D_3 + 3.074RPM + 0.591SEC \quad (3)$$

아래의 <표3-4> 에서 부분회귀계수 열의 값이 각 모수를 나타내며 다중상관계수는 0.978로서 강상관을 나타내고 있다.

<표3-4> 중회귀방정식의 모수값

===== Multiple regression analysis =====

No	X var.	Partial Reg. coef.	Standard Reg. coef.	t-value	Var.select method	General Objective variable weight
1	c1	-22.820	-5.769	-6.408	Constant term	-1104.391
2	c2	3.617	0.543	0.715		
3	c3	2.150	0.527	0.774	R.S.S	282.359
4	c4	15.696	1.858	2.891	Multi-correlate(R)	0.978
5	c5	0.916	0.219	1.287	Contribution(R^2)	0.957
6	d1	8.150	2.272	3.443	Contribution(R*^2)	0.902
7	d2	-4.112	-3.112	-3.657	Contribution(R**^2)	0.854
8	d3	3.452	1.350	6.421	Deg. of res. DF(E)	8.000
9	rpm	3.074	1.029	2.633	S.D. of residuals	5.941
10	sec	0.591	0.125	0.604		

이 회귀직선식에 대한 분산분석은 <표3-5> 와 같으며 표에서 볼 수 있는 것처럼 유의수준 유의수준 1%에서 유의하다.

<표3-5> 회귀선의 분산분석표

===== Analysis of variance table =====

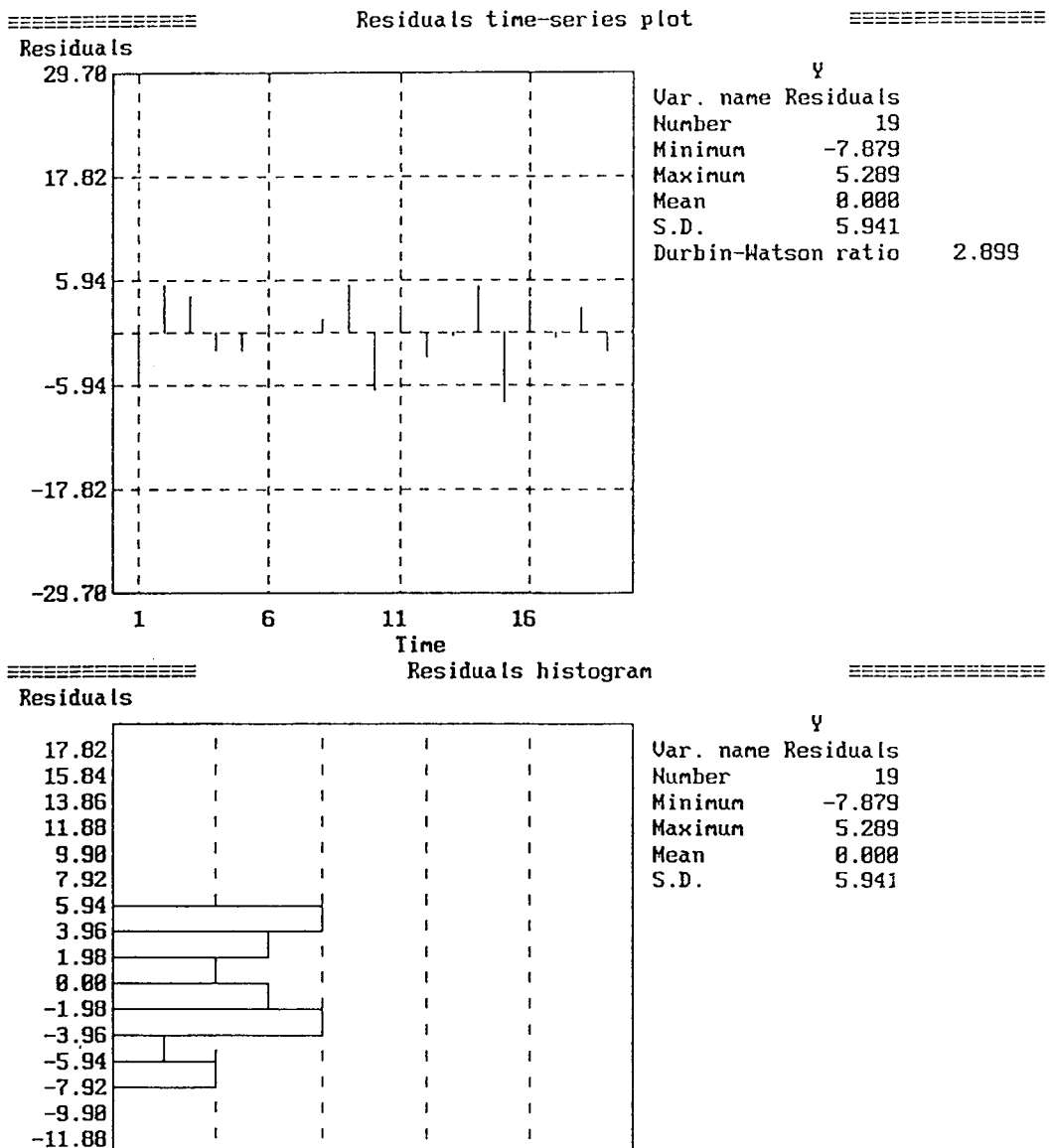
<Analysis of variance table> Samples = 19

Fact	S.S.	Degrees	Variance	Ratio	Test
Reg.	6228.17	10	622.82	17.65	**
Res.	282.36	8	35.29		
T	6510.53	18			

< Corr. coef. >

Multi-correlate (R)	0.978	R.S.S. (SE)	282.359
Contribution (R^2)	0.957	Degrees of residual	8.000
Contribution (R*^2)	0.902	S.D. of residual	5.941
Contribution (R**^2)	0.854		

(그림 3-1)의 위에 있는 잔차의 시계열에서 오른쪽에 구하여진 더빙-왓슨비가 2.89로 2보다는 좀 크게 나타나고 있는데 더빙-왓슨비는 2가 되어야 양 또는 음의 상관관계가 없는 것이다. 아래 그림의 잔차의 히스토그램을 보면 모두 2 σ 범위안에 들어있다.



(그림 3-1) 잔차의 시계열 및 히스토그램

다음으로 현실적으로 모든 변수를 다 고려하여 회귀방정식을 구하여 관리하는 불가능하므로 회귀방정식에 포함된 변수들 중에서 낮은 분산비를 가지는 변수를 제거하여 다시 회귀방정식을 구축하여 이때의 회귀식을 최적회귀방정식이라고 하면 표3-6의 결과에 따라 다음식과 같다.

$$Weight = 28.949 - 2.258C_2 + 2.473D_1 + 0.962D_3$$

따라서 실린더 2와 금형1과 3에 대하여 집중적인 관리가 필요하다.

<표3-6> 최적회귀방정식

===== Interactive selection =====				
SEQ No.	Var.	Res. S.S. (SE)	F value (F)	Part. coef (B)
1	1 c1	6340.416	0.456	
2	2 c2	6503.626	0.018	
3	3 c3	5953.056	1.592	
4	4 c4	6343.495	0.448	
5	5 c5	5886.433	1.802	
6	6 d1	4188.998	9.421	
7	7 d2	5939.372	1.448	
8	8 d3	4926.689	5.465	
9	9 rpm	6261.489	0.676	
10	10 sec	6510.068	0.001	

Variables
 Constant term
 R.S.S. (SE)
 Multi-correlate (R)
 Contribution(R^2)
 Contribution(R**^2)
 Contribution(R**^2)
 Deg. of res. DF(E)
 S.D. of residual

===== Interactive selection =====				
SEQ No.	Var.	Res. S.S. (SE)	F value (F)	Part. coef (B)
1	1 c1	2688.217	0.073	
2	2 c2	3255.756	3.126	-2.258
3	3 c3	2672.148	0.116	
4	4 c4	2636.611	0.386	
5	5 c5	2554.973	0.763	
6	6 d1	4926.625	12.428	2.473
7	7 d2	2605.826	0.475	
8	8 d3	3575.211	4.985	0.962
9	9 rpm	2625.988	0.364	
10	10 sec	2691.321	0.015	

Variables 2
 Constant term 28.949
 R.S.S. (SE) 2694.259
 Multi-correlate (R) 0.766
 Contribution(R^2) 0.586
 Contribution(R**^2) 0.503
 Contribution(R**^2) 0.429
 Deg. of res. DF(E) 15.000
 S.D. of residual 13.402

4. 결론

화학공정에서 여러가지 작업조건이 製品品質에 영향을 미칠때는 경험적인 방법으로는 작업자의 기량이나 경험에 따라 차이가 크므로 품질에 산포를 줄일 수 없다. 또한 재작업 및 폐기로 인하여 많은 품질 실패비용을 발생시키어 재작업 및 불량이 높은 기업일수록 수익성이 저하되어 경쟁력을 잃게 되므로 기업부실의 원인이 된다.

중회귀 분석(multiple linear regression model analysis)을 통해 각 공정의 작업조건을 分析하면 품질을 안정시킬수 있고 작업조건에 영향을 미치는 요인을 관리할 수 있어서 품질에 안정 및 向上을 기할 수 있다고 생각 되어지며 앞으로 주어진 품질조건에 적합시킬 수 있도록 규격에 접근시키는 분석방법의 연구가 요구되어진다.

參 考 文 獻

1. John, N., William, W., Michael, H., K., *Applied Linear Regression Models*, 2nd ed., IRWIN, 1989.
2. Kyung-Sik, K., Tae-Ho, K., Il-King, R., "The Establishment of Standard Time in Die Manufacturing Process Using Standard Data", *Computers ind. Engng*, Vol 27, Nos1-4, pp.539-542, 1994.
3. Spyros, M., Stever, C. W., *Forecasting Methods for Management*, 5th ed., John Wiley & Sons, 1983.
4. 김우철 외, 현대통계학, 영지문화사, 1982.
5. 박성현, 회귀분석, 대영사, 1981.
6. 이기만, 김옥삼, 알기쉬운 압출 성형, 한국플라스틱기술정보센터, 1991.
7. "품질관리지원시스템 JUSE-QCAS 사용자 설명서", 미원정보기술(주), 1994.