

# 컴퓨터 시뮬레이션과 다구치 방법을 이용한 냉각 필터 사출성형 공정의 최적화

이승훈<sup>†</sup> · 민병현 · 김병곤

동의대학교 기계 · 산업시스템공학부

## Optimizing the Injection Molding Process for Cooling Filter Using Computer Simulation and Taguchi Methods

Seung-Hoon Lee · Byeong-Hyeon Min · Byeong-Gon Kim

Division of Mechanical and Industrial Engineering, Dong-eui University, Busan, 614-714

The injection molding process is a one of the most efficient techniques for manufacturing plastic parts of complex shape at low cost. In injection molding, molten plastic material is injected into the mold and cooled. Selection of molding conditions greatly affects the quality of molded parts. In this case study, we attempted to optimize the injection molding condition for a cooling filter using Taguchi experimental design methodology. The injection molding experiments were carried out using the Moldflow simulation software.

**Keywords:** injection molding process, Taguchi methods, Moldflow

### 1. 서론

사출성형 공정은 저렴한 비용으로 복잡한 형상의 제품을 대량으로 생산할 수 있는 장점 때문에 널리 사용되는 제조공법으로 충전공정, 보압공정, 냉각공정 및 취출공정으로 구성되며 이러한 공정 동안 용융된 수지가 유동 및 냉각과정을 반복적으로 거치게 된다(Menges, 1993). 또한 사출성형 공정은 저렴한 비용으로 복잡하고 다양한 플라스틱 제품들을 생산할 수 있으며, 가볍고 강도가 매우 높은 고분자 재료의 개발과 더불어 기존의 전기·전자 부품, 자동차 및 항공기용 정밀 사출성형품, 플라스틱 렌즈, 레이저 디스크, 플라스틱 마그네트, 기어 및 콘넥트, 섯동부품 및 의료용 정밀부품 등 다양한 산업 분야에서 그 응용 분야가 확대되고 있다(Hiroe, 1997). Ishikawa의 Fish Bone 개념을 적용하여 사출성형품의 품질에 영향을 끼치는 요인을 분석해 보면 사출성형품의 품질은 플라스틱 수지 재료의 특성 변동, 사출성형품의 형상이나 치수 등의 설계변수, 금형의 구

조 특성, 사출성형기의 성능 및 성형공정 동안 일어나는 복잡한 유동적, 열적, 물리적 현상들의 변화에 아주 민감한 것으로 보고되고 있으며 관련된 인자들을 모두 포함하면 20 내지 30가지로 나열된다(Tadmor, 1979; Rheinfeld, 1981; Ishikawa, 1982). 금형, 사출기 성능 및 수지 재료의 특성은 사출성형 공장에 공급하는 각 공급사에 의해 기본적인 요구사항이 만족된다고 할 때 사출성형품의 품질은 공정 변수에 크게 의존하며, 사출시간, 보압, 보압시간, 냉각시간, 용융 수지온도, 금형온도 등 다수의 공정 변수에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Blyskal, 1994; Viana, 1998). 품질에 영향을 주는 인자(입력인자)들과 품질 특성 간의 정확한 관계식의 도출은 입력인자의 구성이 위에서 언급한 바와 같이 특성이 뚜렷한 5개 그룹으로 나누어져 있고 이들이 복합적으로 품질 특성에 영향을 끼치므로 현실적으로 모든 입력인자의 영향을 고려함은 거의 불가능하다. 사출성형품을 제조하는 데 있어서 주변 여건 변화에 강건한 제품의 품질을 얻기 위해서는 사출기의 성능, 사출금형, 재

<sup>†</sup> 연락저자: 이승훈 교수, 614714 부산시 부산진구 가야동 산 24 동의대학교 기계 · 산업시스템공학부, Fax: 051-890-1619, e-mail: shlee@dongeui.ac.kr  
2001년 9월 접수, 2회 수정 후 2002년 4월 게재 확정.

료의 특성 및 사출성형 공정조건 등을 분석할 필요가 있다. 이러한 연유로 한 개의 입력인자 그룹의 품질 변수에 대한 영향을 먼저 분석하고 그 결과에 따라 분석된 입력인자 그룹의 최종조건을 고정한 후 다음 입력인자 그룹으로 옮겨 품질 변수에 대한 영향을 분석하는 것이 효율적이다. 따라서 이들 공정 변수와 사출성형품의 품질과의 관계를 모델링과정을 통해 정립한 후 유도된 모델식을 품질요구조건에 부합하도록 최적화할 필요가 있다. 특히 사출성형을 하고 난 뒤 제품에서 오는 변형은 제품에 치명적인 결함을 줄 뿐만 아니라 하나의 부품에서 완제품으로 조립되었을 때는 전체 제품에도 나쁜 영향을 미칠 수가 있다. 일반 플라스틱 재료에 대한 사출성형 공정, 성형품의 잔류응력, 수축 및 뒨에 관한 연구는 오래 전부터 활발히 진행되어 오고 있다(Chang, 1999; Min, 1999; Chen, 1999).

본 연구의 대상 제품은 냉각탑에서 고온의 냉각수와 대기 중에 있는 상온의 공기 사이에서 강제 열전달을 위한 전열부품으로 사용되는 플라스틱 냉각 필터이다. 일반적으로 냉각 필터는 얇은 박판의 비철금속을 소재로 하여 사용되고 있다. 이에 비하여 사출성형품은 저렴한 비용으로 사출금형을 통하여 대량생산할 수 있는 이점이 있고, PVC 수지가 사용되었으며 열전달이 우수하며 장시간 사용에 따른 내습성, 내부식성, 내구성의 특성을 갖는 장점을 지니고 있다. 그러나 플라스틱 냉각 필터는 1~2 mm 정도의 얇은 두께의 제품이므로 사출성형에서 수축(shrinkage), 미성형 등 금속에서는 볼 수 없는 성형 불량 발생이 가능하다(Fassett, 1995). 사출성형품의 개발과정은 개발제품의 설계, 금형설계, 금형가공 및 시사출 등의 과정을 거쳐서 개발되는데, 금형을 가공하기 전에 제품설계나 금형설계의 타당성을 공학적으로 검증할 필요가 있다. 지금까지는 설계자 혹은 생산공학자의 경험에 의존하였고, 또한 제품이나 금형설계의 미비점은 시사출을 하고 난 후에 알 수 있어 설계의 잘못을 수정하는 데 많은 시간과 비용이 소요되었다. 하지만 사출성형 공정 해석용 툴이 개발된 이후로는 해석툴을 제품설계나 금형설계 단계부터 동시에 적용하여 미리 발생할 수 있는 문제점을 해결함으로써 비용과 개발시간을 절약할 수 있게 되었다(Cho, 1993).

그러나 설계시에 이러한 사항을 충분히 고려하였다 하더라도 양산현장에서는 기계 간의 변동, 공정 변수의 변동 등 잡음요인(noise)으로 말미암아 제품 간 성능특성이 서로 달라질 수 있다. 이를 최소화하기 위해서 설계 단계에서 제품의 잡음에 대한 신뢰도와 안정성을 얻기 위해 많은 노력이 필요하게 된다. 즉, 제품 및 공정설계 단계에서 설계 변수뿐만 아니라 잡음인자도 고려하여, 제품의 특성이 잡음인자에 대하여 강건한 품질을 유지하도록 설계 변수들의 값을 결정하는 강건설계(robust design) 기법이 요구된다. 본 연구에서는 사출성형 해석용 상용 소프트웨어인 Moldflow와 강건설계기법인 다구치 방법을 함께 이용하여 고려된 플라스틱 냉각 필터에 대한 사출성형 공정의 최적화를 도모하고자 한다.

## 2. 최적 공정조건 도출을 위한 다구치 실험계획

다구치 실험계획법은 잡음의 영향에 민감하지 않도록 제품 또는 공정을 설계하여 품질을 개선하는 방법으로 최근 기업이나 연구소 등에서 많이 활용되고 있는 기법이다. 생산된 제품의 특성치가 잡음에 둔감하도록(즉, 잡음하에서도 성능 변동이 심하지 않도록) 제품이나 공정을 설계하기 위하여, 다구치는 소위 직교표(orthogonal table)라 부르는 실험계획을 이용하여 데이터를 수집할 것과, 그 데이터로부터 유도된 SN비(signal-to-noise ratio)를 분석함으로써 제품이나 공정의 최적조건을 결정할 것을 제안하고 있다(Yum *et al.*, 1990; Yum *et al.*, 2001). 직교표를 사용하는 이유는 실험횟수를 줄이기 위해서이고, 원 데이터로 분석하지 않고 SN비로 분석하는 이유는 잡음인자에 대해 강건한(robust) 제품이나 공정의 최적조건을 찾기 위함이다. 다구치기법의 현장 응용 사례는 다구치 박사의 저서인 품질공학강좌 6권과 7권에 많이 소개되어 있으며, 1983년부터 매년 개최되는 Taguchi Symposium에서도 많은 응용사례 연구가 발표되고 있다. 그리고 최근 Taguchi *et al.*(2000)이 최근의 응용사례를 모아 사례집을 출간하였는데, 여기에는 주로 동특성(dynamic characteristic) 문제를 다루고 있다.

### 2.1 제어인자, 잡음인자 및 수준 결정

성형품의 품질특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 사출성형 후의 수축률로 정하였다. 수축률에 영향을 미치는 제어인자, 잡음인자와 수준을 결정하기 위하여 생산 부문, 품질관리 부문, 생산과 공정에 종사하는 기술자들이 모여 토의하였다. 제어인자는 금형온도, 용융 수지온도, 충전시간, 보압, 보압시간, 냉각시간을 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준(level)은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위 한계 내에서 <표 1>과 같이 각각 3수준으로 정하였다. 잡음인자는 실제 공정을 장기간 운용시 세팅한 각 제어인자의 값이 명목치를 유지하지 못하고 산포하는 것으로 하였다. <표 2>에 각 잡음인자의 수준 내용이 주어진다.

표 1. 제어인자와 수준

제어인자	수준		
	1	2	3
금형온도(A)	40℃	55℃	70℃
용융 수지온도(B)	180℃	200℃	220℃
충전시간(C)	1초	2초	3초
보압(D)	70 Mpa	80 Mpa	90 Mpa
보압시간(E)	4초	7초	11초
냉각시간(F)	3초	8초	13초

표 2. 잡음인자와 수준

잡음인자	수 준	
	1	2
A'	-4℃	+4℃
B'	-6℃	+6℃
C'	-0.3초	+0.3초
D'	-4 Mpa	+4 Mpa
E'	-1초	+1초
F'	-1초	+1초

2.2 직교표를 이용한 실험계획

제어인자를 배치하기 위한 내측직교표는  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ , 잡음인자를 배치하기 위한 외측직교표는  $L_8(2^7)$ 을 선정하여, <표 3>과 같이 제어인자와 잡음인자를 할당하였다. 실험조건은 총  $18 \times 8 = 144$  가지로서, 예를 들어 실험조건 (55)는 제어인자 (A<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>), 잡음인자 (A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>,

E<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>)이므로 금형온도(A)는  $40+4=44℃$ , 용융 수지온도 (B)는  $200+6=206℃$ , 사출시간(C)는  $1-0.3=0.7$ 초, 보압(D)는  $90-4=86$ Mpa, 보압시간(E)는  $7+1=8$ 초, 냉각시간(F)는  $13+1=14$ 초가 된다.

본 연구에서의 실험은 사출성형 해석틀로 많이 사용되는 Moldflow 상용 소프트웨어를 이용하여 수행하였다. 이를 위하여 <그림 1>과 같이 Moldflow에서 사출성형 해석을 위한 3차

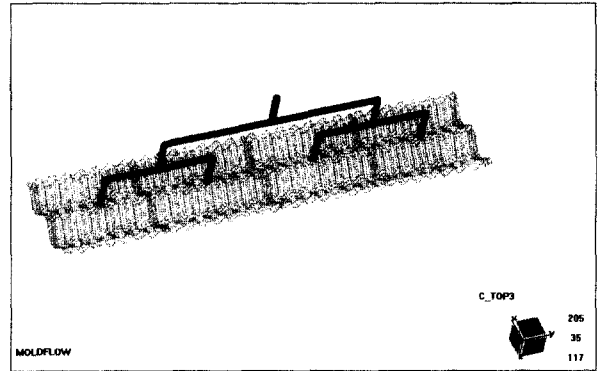


그림 1. 사출성형 해석을 위한 형상 모델링.

표 3. 제어인자와 잡음인자의 직교표 할당

			A	B	C	D	E	F										
									1	1	1	1	2	2	2	2		A'
									1	1	2	2	1	1	2	2		B'
									1	1	2	2	2	2	1	1		C'
									1	2	1	2	1	2	1	2		D'
									1	2	1	2	2	1	2	1		E'
									1	2	2	1	1	2	2	1		F'
									1	2	2	1	2	1	1	2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		
2	1	1	2	2	2	2	2	2	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)		
3	1	1	3	3	3	3	3	3	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)		
4	1	2	1	1	2	2	3	3	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)		
5	1	2	2	2	3	3	1	1	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(40)		
6	1	2	3	3	1	1	2	2	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)		
7	1	3	1	2	1	3	2	3	(49)	(50)	(51)	(52)	(53)	(54)	(55)	(56)		
8	1	3	2	3	2	1	3	1	(57)	(58)	(59)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)		
9	1	3	3	1	3	2	1	2	(65)	(66)	(67)	(68)	(69)	(70)	(71)	(72)		
10	2	1	1	3	3	2	2	1	(73)	(74)	(75)	(76)	(77)	(78)	(79)	(80)		
11	2	1	2	1	1	3	3	2	(81)	(82)	(83)	(84)	(85)	(86)	(87)	(88)		
12	2	1	3	2	2	1	1	3	(89)	(90)	(91)	(92)	(93)	(94)	(95)	(96)		
13	2	2	1	2	3	1	3	2	(97)	(98)	(99)	(100)	(101)	(102)	(103)	(104)		
14	2	2	2	3	1	2	1	3	(105)	(106)	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)		
15	2	2	3	1	2	3	2	1	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)	(119)	(120)		
16	2	3	1	3	2	3	1	2	(121)	(122)	(123)	(124)	(125)	(126)	(127)	(128)		
17	2	3	2	1	3	1	2	3	(129)	(130)	(131)	(132)	(133)	(134)	(135)	(136)		
18	2	3	3	2	1	2	3	1	(137)	(138)	(139)	(140)	(141)	(142)	(143)	(144)		

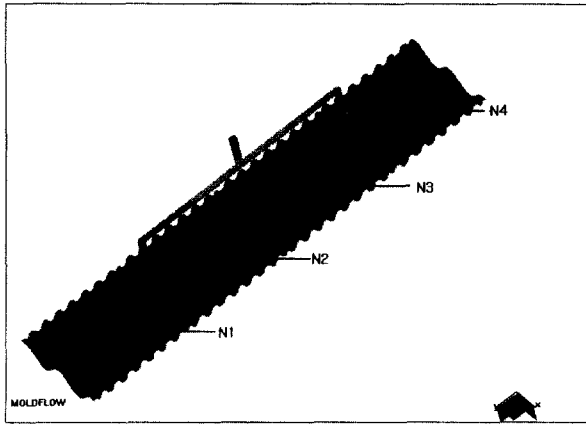


그림 2. Moldflow에서 수축률이 표시된 형상.

표 4. 내측직교표 10행의 실험조건에서의 데이터

(73)	(74)	(75)	(76)	(77)	(78)	(79)	(80)
1.8927	1.5825	1.7586	1.4576	1.8559	1.5267	1.7462	1.4268
1.8486	1.5260	1.7103	1.3974	1.8089	1.4868	1.6896	1.3875
1.9336	1.5955	1.7909	1.4683	1.8856	1.5537	1.7654	1.4446
1.9119	1.5962	1.7910	1.4683	1.8689	1.5537	1.7653	1.4446

원 형상 모델링을 하였고, 각 실험조건을 Moldflow의 입력 변수의 조건으로 시뮬레이션하여 성형품의 여러 부위 중 수축이 가장 많은 부분 4곳(<그림 2>의 N1, N2, N3, N4)의 수축률을 조사하였다. 지면관계상 이 중 내측직교표 10번째 행의 데이터만 <표 4>에 소개하기로 한다.

### 3. 결과 분석 및 최적공정조건 결정

본 연구의 경우에는 품질특성치가 수축률이므로 망소특성에 해당되며 SN비는 아래의 공식에 의해서 계산된다.

$$SN_i = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right) \right\}$$

예를 들어, 내측직교표 10행의 SN비값 계산은 다음과 같다.

$$SN_{10} = -10 \log \left\{ \frac{1}{32} (1.8927^2 + \dots + 1.4446^2) \right\} \\ = -4.4203$$

각 실험점에서의 SN비 계산결과가 <표 5>에 주어져 있다. SN비에 대한 수준별 평균값과 기여량을 구한 결과는 <표 6>과 같으며, 이에 대한 요인 효과도는 <그림 3>과 같다.

SN비에 대한 분산분석(ANOVA) 결과가 <표 7>에 주어져 있다. <표 7>의 분산분석표에서 제어인자의 기여율(Rho)을 고려하여 보면 보압(D)이 사출성품의 수축률에 가장 큰 영향을 주며 총변동량의 70%를 차지하고 있다. 그 다음이 용융 수지 온도(B)이며, 보압시간(E), 금형온도(A) 순으로 나타났으며, 총

표 5. SN비 계산결과

실험조건	SN비
1	-7.7938
2	-5.3395
3	-0.6728
4	-6.8151
5	-3.5267
6	-5.4265
7	-2.7427
8	-6.0543
9	-6.6411
10	-4.4203
11	-3.9696
12	-7.3998
13	-7.3875
14	-5.2950
15	-4.2591
16	-2.7270
17	-8.2883
18	-4.3485

표 6. SN비에 대한 인자별 수준합, 수준평균, 기여량

Factor	Level	Sum	Mean	Contribution
A	1	-31.8865	-5.3144	-0.1418
	2	-32.4735	-5.4122	-0.2396
	3	-28.7478	-4.7913	0.3813
B	1	-37.7671	-6.2945	-1.1219
	2	-30.7448	-5.1241	0.0485
	3	-24.5959	-4.0993	1.0733
C	1	-29.5762	-4.9294	0.2433
	2	-32.5948	-5.4325	-0.2598
	3	-30.9367	-5.1561	0.0165
D	1	-42.3503	-7.0584	-1.8857
	2	-32.8595	-5.4766	-0.3039
	3	-17.8980	-2.9830	2.1897
E	1	-33.3835	-5.5639	-0.3913
	2	-30.4764	-5.0794	0.0932
	3	-29.2478	-4.8746	0.2980
F	1	-30.4026	-5.0671	0.1055
	2	-31.4913	-5.2486	-0.0759
	3	-31.2138	-5.2023	-0.0296
Total		-93.1078	-5.1727	

전시간(C)과 냉각시간(F)은 SN비에 유의한 차이가 없었다.

SN비에 유의한 영향을 주는 제어인자의 최적수준은 SN비를 최대화 하는 수준이다. 따라서 플라스틱 냉각 필터 사출성형에 관한 최적공정조건은 <표 6>과 <그림 3>으로부터 A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>3</sub>임을 알 수 있다.

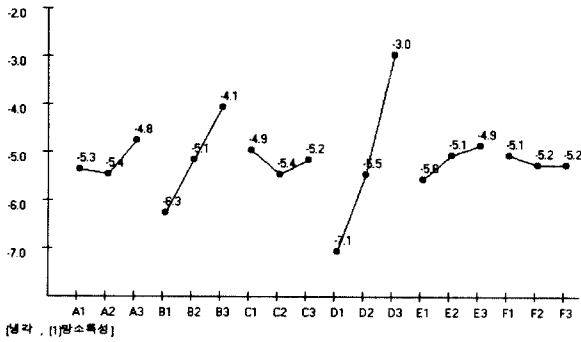


그림 3. SN비에 대한 요인효과도.

표 7. SN비에 대한 분산분석표(ANOVA Table)

Source	Pooling	SS	d.f.	MS	F <sub>0</sub>	Rho
A	[N]	1.3376	2	0.6688	2.3362	1.0843
B	[N]	14.4779	2	7.2389	25.2873	19.7090
C	[Y]	0.7618	2	0.3809		
D	[N]	50.6577	2	25.3289	88.4797	70.9892
E	[N]	1.5036	2	0.7518	2.6263	1.3197
F	[Y]	0.1067	2	0.0533		
error		1.7079	9	0.3416		6.8977
Total		70.5532	17			

이 실험결과를 생산부서의 기술팀과 검토한 결과 기술적인 문제점은 없었으나, 생산성을 고려하여 앞에서 구한 최적수준 A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>3</sub> 중에서 인자 E는 E<sub>3</sub>와 E<sub>2</sub> 간에는 SN비의 차이가 작으므로 E<sub>2</sub>를 작업표준으로 정하였다. 그리고 나머지 유의하지 않은 인자 C와 F는 생산성을 고려하여 각각 C<sub>1</sub>, F<sub>1</sub>으로 정하였다. 따라서 최종적인 냉각 필터 사출공정의 작업표준조건인 A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>에서의 SN비에 대한 예측값은 다음과 같이 구할 수 있다.

표 8. 확인실험에서의 데이터

A	B	C	D	E	F	1	2	2	1	2	1	1	2
						1.2471	0.9235	1.2183	0.8862	1.2106	0.9891	1.0781	1.0170
						1.2322	0.9111	1.1974	0.8644	1.2106	0.9796	1.0628	1.0089
						1.2670	0.9422	1.2282	0.9115	1.2575	1.0086	1.0971	1.0276
						1.2680	0.9432	1.2293	0.9123	1.2586	1.0095	1.0979	1.0284

$$\begin{aligned} \widehat{SN} &= \widehat{\mu} + \widehat{a}_3 + \widehat{b}_3 + \widehat{d}_3 + \widehat{e}_2 \\ &= -5.1727 + 0.3813 + 1.0733 + 2.1897 + 0.0932 \\ &= -1.4351 \end{aligned}$$

그리고 냉각 필터 사출공정의 작업표준조건으로 결정한 A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>에서 실험이 행해지지 않았으므로 이 조건에서 확인실험을 행할 필요가 있다. 확인실험에서 반복을 1회 행한다고 하고, 확인실험에서의 SN비(SN<sub>f</sub>)에 대한 90% 예측구간을 구해 보면 다음과 같다. 여기서 n<sub>e</sub>는 유효 반복수, r은 확인실험에서의 반복횟수를 나타낸다.

$$\begin{aligned} SN_f &\in \widehat{SN} \pm t_{(9;0.05)} \sqrt{\left(\frac{1}{n_e} + \frac{1}{r}\right) MS_e} \\ &\in -1.4351 \pm 1.833 \sqrt{(9/18 + 1)(0.3416)} \\ &\in -1.4351 \pm 1.3121 \\ &\in (-2.747, -0.123) \end{aligned}$$

실제로, A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>에서 확인실험을 수행한 결과 <표 8>과 같은 데이터를 얻을 수 있었다. 확인실험에서는 <표 3>의 파라미터설계에서와 같은 잡음조건하에서 수축률을 관찰한 다음 SN비를 계산하여, 추정값과 실제 결과를 비교한다. 만일 실제 결과가 예측구간에 들어가지 않는다면 이 실험결과는 의심스럽다. 이러한 경우에는 숨은 유의요인이 존재하거나, 실험에 결함이 있거나 또는 어떤 강력한 교호작용이 있을 것으로 생각할 수 있다. 본 사례연구에 대한 확인실험에서 얻은 32개의 수축률 데이터의 평균은 1.078869, 표준편차는 0.135727로 만족할 만한 수준이었으며, SN비는 -0.72545로 계산되어 예측구간 안에 포함됨을 확인할 수 있었다.

<그림 4>는 본 연구의 결과를 이용하여 사출성형한 냉각탑용 플라스틱 냉각 필터의 시제품 모습이다. 시제품을 시도해 본 결과, 사출성형품의 품질이 우수하며 생산성 면에서도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 해당 기업에서는

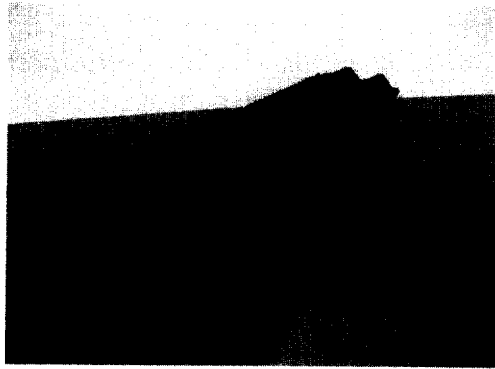


그림 4. 플라스틱 냉각 필터 시제품.

냉각탑용 플라스틱 냉각 필터의 사출성형 공정조건으로 금형 온도(70℃), 용융 수지온도(220℃), 충전시간(1초), 보압(90 Mpa), 보압시간(7초), 냉각시간(3초)을 표준화하였다.

#### 4. 결론

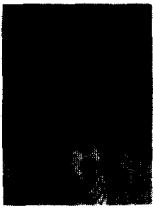
본 사례연구에서는 비철금속의 소재를 사용한 냉각탑용 냉각 필터를 사출성형품으로 대체하기 위하여, 사출성형 해석용 상용 소프트웨어인 Moldflow와 강건설계기법인 다구치 방법을 함께 이용하여 냉각탑용 플라스틱 냉각 필터에 대한 사출성형 공정의 최적화를 시도하였다.

제어인자로는 금형온도, 용융 수지온도, 충전시간, 보압, 보압시간, 냉각시간을 고려하였으며, 잡음인자는 실제 공정운용 시 세팅한 각 제어인자의 값이 명목치를 유지하지 못하고 산포하는 것으로 하였다.  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교표에 제어인자,  $L_{18}(2^7)$  직교표에 잡음인자를 배치하여 직접 실험을 수행하였다. 실험은 사출성형 해석용 상용 소프트웨어인 Moldflow를 이용하였으며, 특성치는 사출성형의 수축률로 하여 성형품의 여러 부위 중 수축이 가장 많은 4곳의 수축률을 조사하였다. SN비 분석을 행하였으며, 분석 결과를 정리하여 보편 보압이 가장 영향이 크며 총 변동량의 70%를 차지하였고, 그 다음이 용융 수지온도, 그리고 보압시간, 금형온도 순으로 나타났다. 충전시간과 냉각시간은 SN비에 유의한 차이가 없었다. 실험결과를 생산부서의 기술팀과 검토하여 기술적인 문제와 생산성을 고려한 제어인자의 최적공정조건을 도출하였다. 본 연구의 결과

를 이용하여 시험생산을 시도해 본 결과, 사출성형품의 품질이 우수하며 생산성면에서도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 다구치 방법과 사출성형 해석툴인 Moldflow를 이용하는 체계적인 접근 방법을 사용하여 제품개발기간도 상당히 단축할 수 있었다.

#### 참고문헌

- Blyskal, P. J. (1994), Applying DOE Analysis Techniques to the Injection Molding Process, *ANTEC '94*, 729-803.
- Chang, R. and Hsu, C. (1999), On the PVT and Thermal Shrinkage for the Injection Molding of Plastic Lens, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 18(3), 261-270.
- Chen, S., Hu, S. and Jong W. (1999), Integrated Simulations of Structural Performance, Molding Process, and Warpage for Gas Assisted Injection-Molded Parts, *Journal of Applied Polymer Science*, 71(2), 339-351.
- Cho, Y. M. (1993), *Theory of Injection Molding*, Il-Jin Press., Seoul.
- Fassett, J. (1995), Thin Wall Molding: How Its Processing Considerations Differ from Standard Injection Molding, *Plastics Engineering*, 51(12), 35-37.
- Hiroe, J. (1997), *Recent Technology of Injection Molding*, Sung-Ahn Press, Seoul.
- Ishikawa, K. (1982), *Guide to Quality Control*, Asian Productivity Organization, Tokyo.
- Menges, G. and Mohren, P. (1993), *How to Make Injection Molds*, Hanser Publishers, Munich.
- Min, B. H. (1999), Development of Engineering Plastic Gear Based on Injection Molding Process, *Korean Society of Precision Engineering*, 16(8), 71-78.
- Rheinfield, D. (1981), *Influencing Molding Quality During Injection Molding*, VDI-Verlag, Munich.
- Tadmor, Z. and Gogos, C. G. (1979), *Principals of Polymer Processing*, John Wiley & Sons, New York.
- Taguchi, G. (1988a), *Quality Engineering Series Vol. 6: Case Studies from U.S. and Europe*, Japanese Standards Association.
- Taguchi, G. (1988b), *Quality Engineering Series Vol. 7: Case Studies in Measurement from Japan*, Japanese Standards Association.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. and Taguchi, S. (2000), *Robust Engineering*, McGraw-Hill.
- Viana, J. C., Kearney, P. and Cunha, A. M. (1998), Improving Impact Strength of Injection Molded Plates through Molding Conditions Optimization: A Design of Experiments Approach, *ANTEC '98*, 646-650.
- Yum, B. J., Ko, S. W. and Kim, S. J. (1990), The Taguchi Method for Product and Process Design, *Korean Management Science Review*, 7(2), 3-12.
- Yum, B. J., Seo, S. K., Byun, J. H., Lee, S. H. and Kim, S. J. (2001), *Lectures on Design and Analysis of Experiments: Taguchi Method*, KAIST.



**이승훈**

성균관대학교 산업공학과 학사  
KAIST 산업공학과 석사  
KAIST 산업공학과 박사  
현재: 동의대학교 기계·산업시스템공학부  
산업공학전공 교수  
관심분야: 품질공학, 측정시스템분석,  
신뢰성공학



**김병곤**

동의대학교 산업공학과 학사  
동의대학교 기계공학과 석사  
현재: 동의대학교 기계공학과 박사과정  
관심분야: 사출성형공정 최적화, 기구설계,  
3D 모델링



**민병현**

부산대학교 기계공학과 학사  
부산대학교 기계공학과 석사  
노스웨스턴대학교 기계공학과 박사  
현재: 동의대학교 기계·산업시스템공학부  
기계공학전공 교수  
관심분야: 사출성형공정 최적화,  
전자세라믹스 시뮬레이션 기법 개발