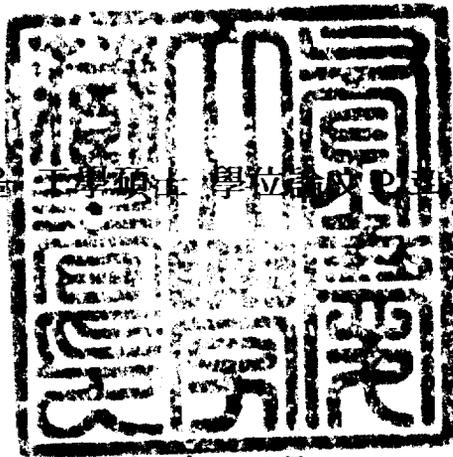


工學碩士 學位論文

실험계획법을 이용한 사출성형공정의  
최적화에 관한 연구

指導教授 정영득

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2002年 8月

釜慶大學校 大學院

精密機械工學科

權允淑

권윤숙의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 6월

주 심 공학박사 구 양



위 원 공학박사 한 규 택



위 원 공학박사 정 영 득



## 목 차

1. 서 론	1
1-1 연구 배경	1
1-2 연구 동향	2
1-3 연구 내용	4
2. 이론적 배경	6
2-1 연속 방정식	7
2-2 운동 방정식	8
3. 공정해석	9
3-1 충전 해석	11
3-1-1 냉각채널이 없는 충전 해석	12
3-1-2 냉각채널이 있는 충전 해석	13
3-2 보압 해석	16
3-3 냉각 해석	17
4. 실험결과 및 고찰	19
4-1 다구찌 실험계획법을 이용한 유의성 분석	19
4-1-1 파라미터설계와 허용차 설계	20

4-1-2 다구찌실험계획법을 이용한 유의 인자 분석 .....	23
4-1-3 결과 분석 및 최적공정 조건 결정 .....	26
5. 결 론 .....	33
참고 문헌 .....	34
Abstract	

# 1. 서 론

## 1.1 연구배경

플라스틱 성형은 제품제조에 많이 적용되고 있는 제조공정의 중의 하나로 그중 사출성형에 의해 약 1/3 정도가 사출성형에 의해 생산되어지고 있다. 사출성형공정은 저렴한 비용으로 복잡하고 다양한 플라스틱 제품들을 생산할 수 있으며, 가볍고 강도가 매우 높은 고분자 재료의 개발과 함께 전기, 전자 제품은 물론이고 자동차, 항공기 등에서 정밀제품의 생산에 이르기까지 사출성형의 중요성은 더욱 가속화되고 있다. 기술의 발전과 제품의 고정밀화에 따라, 사출성형에도 마이크론( $\mu$ -meter) 단위의 정밀도를 요하는 제품들이 나오면서 치수 정밀도가 강하게 요구되고 있다. 이러한 사출성형을 하면서 강건한 제품을 얻기 위해서는 사출성형 시 많은 변수들이 제품에 작용하며 이때 사출기의 성능, 사출금형, 재료의 특성, 사출성형 공정조건 등이 복합적으로 이루어지며 사출성형이 된다. 특히 사출성형을 하고 난 뒤 제품에서 오는 변형은 제품에 치명적인 결함을 줄 뿐만 아니라 하나의 부품에서 완제품으로 결합되었을 때는 전체 제품에도 나쁜 영향을 미칠 수가 있다.

일반 플라스틱 재료에 대한 사출 성형공정, 성형품의 잔류응력, 수축 및 휨에 관한 연구는 오래 전부터 활발히 진행되어 오고 있다. 본 연구에서 검토될 성형품은 자동차의 브레이크 오일 저장 탱크 (Reserver Tank) 로 정밀 사출성형공정을 통하여 제조되며 전체적 구조는 사각 구조를 가지고 있으며 브레이크 오일 호수로 연결되기 위한 구멍이 있는 것이 특징이며, 이를

사출하는데 있어서 부품의 경량화, 경비 절감 및 공정 단축에 기여할 수 있는 사출성형공정을 채택하며, 변형을 최소로 줄이기 위해 실험계획법을 이용하여 사출 성형조건을 얻고자한다.

## 1.2 연구 동향

최근의 사출성형에 관한 연구는 다음과 같은 몇 가지 경향으로 나누어 볼 수 있다.

- (1) 사출성형기의 기능개선
- (2) 새로운 사출성형법 및 성형기의 개발과 이에 따른 해석 및 해석 프로그램 개발
- (3) 새로운 수지의 개발 및 수반된 연구
- (4) 초정밀 성형제품의 개발 및 관련 연구
- (5) 게이트, 스푸루, 러너, 냉각수로등 금형 최적 설계
- (6) 3차원 공정해석 프로그램 개발
- (7) 최적성형조건을 찾기 위한 공정조건 분석 및 공정 최적화

공정 변수에 관한 연구는 오래 전부터 이루어져 왔으며, 80년대 부터는 공정 해석 프로그램(C-mold, Moldflow, 등)인 상용 프로그램이 개발되면서 해석적인 접근이 활기를 띠기 시작하였다. Wu<sup>(1)</sup>등은 압력을 기준으로 한 전문가 시스템을 개발하였고, 시간에 따른 압력변화의 현상을 인식하여 적절한 조건이 부여되었는지를 판별하고자 하였으며, 일정한 충전속도와 보압력이 작용한 경우에 대한 실험적인 접근을 하였다.

Liu<sup>(2)(3)</sup>등은 강건설계 실험계획법(robust design of experiment)를 사용하여 실험하였고, 수지온도, 금형온도, 최대 보압력과 사출속도가 제품의 두께 및 질량에 미치는 영향을 보였으며 일반적으로 유동성이 증가하면 제품의 정밀도가 높아짐을 보였다.

Leo<sup>(4)</sup> 등은 보압조건, 유입구의 크기가 금형의 탄성 제품의 최종크기에 어떤 영향을 주는지를 체계적으로 연구하였다. 특히 일정한 보압력 보다 다단 보압력이 두께 분포를 균일화 시켜주는 것을 보였고, 유입구의 크기가 고화층(freeze layer)에 미치는 영향과, 금형의 탄성이 보다 낮은 보압력에서 과보압을 유발하는 것을 보였다. Woll<sup>(5)(6)</sup> 등은 일정한 보압력과 사출온도를 변화시켜 가면서 성형조건과 성형제품의 질량 및 길이의 상관성을 연구하였고, 압력 패턴의 결과로부터 공정조건의 적정여부를 판정하였으며, Box-Behnken 실험계획법을 사용하여 실험하였다. Speight<sup>(7)</sup> 은 실험적인 방법으로 충전에서 보압으로의 천이과정과 압력의 속도점(velocity to pressure point)을 연구하였다. Min<sup>(8)</sup> 은 라틴방격법(latin hyper cube design method)를 사용하여 시험하였고 GMDH(group method of data handling) 알고리즘을 사용한 데이터를 처리로서 충전속도, 보압력, 보압시간, 냉각시간 그리고 수지온도의 5가지 공정조건 중에서 보압력과 수지온도가 수축(shrinkage)에 가장 큰 영향을 준다는 것을 보였다.

소프트웨어적인 사출성형 공정조건 자동설정 혹은 최적화는 1996년 Moldflow 사의 MF/Optim 최적화 모듈에서 처음이자 유일하게 이루어졌으나, MF/Optim 최적화의 구체적인 알고리즘은 거의 알려진 것이 없다.

다만, 최적화 과정이 통상 20~30분, 거대 구조물의 경우 길어도 1시간내에 이루어진다는 점에서 정확성보다는 실용성을 추구하였다고 할 것이다. 또한 목적함수와 필요 조건들을 만족하는 변수 값들의 결정에서 5% 혹은 10% 등의 단순한 일정비용 증감법으로 최적값을 찾는 것으로 알려져 있다.

### 1.3 연구 내용

브레이크 오일 탱크(Fug. 1)의 MAX와 MIN 표시 사이에 오일이 위치하고 용기는 완전히 밀폐하여 보관해야 하므로 치수의 정밀도가 뛰어나야 한다. 브레이크 오일 탱크의 오일이 현저하게 줄어들 경우에는 브레이크 패드나 라이닝 마모를 일으킬 수 있으므로 오일의 양은 항상 일정한 부분을 유지해야 한다.

강인성내약품성과 가공 안정성이 우수 해야하고 내충격강도와 충격강도와 강성의 균형이 뛰어나야 하므로, 수지는 PP(Poly Propylene)로 정하였다.

사출성형품의 품질인자로 정의할 수 있는 다수의 후보 인자들을 고려한 후, 그들 중 정량적으로 수식화 할 수 있는 인자를 선택하여 최적화 할 목적함수로 규정하며 엔지니어링 플라스틱 제품을 대상으로 조립성, 외관 결함 여부를 판단할 수 있는 치수 정밀도, 기계적 강도, 내구성, 내마모성 등의 인자들을 최적화 할 목적함수 후보로 고려할 예정이다.

사출성형공정을 위한 최적화 모델링은 독립변수인 공정조건과 종속변수인 품질인자 사이의 관계를 도출하기 위한 모델링이 필요하며, 고려할 수 있는 모델로는 물리적 현상에 근거한 수학적 모델, 실험 데이터로부터 설정된 실험적 모델, 현장에서의 운용 경험에 근거한 경험적 모델 등을 들 수 있는데, 본 연구에서는 실험적 모델을 사용하여 적용 방법은 다구찌 실험계획법의 하나인 파라미터 설계(parameter design)를 이용하기로 한다.

파라미터 설계는 제품설계와 공정설계에서 유용하게 사용되는 다구찌 실험계획법의 핵심이다. “파라미터”는 제품성능의 특성치에 영향을 주는 제어가능한 인자(controllable factor)를 의미하며, 파라미터 설계는 이들 인자들의 최적수준을 정하여 주는 것을 말한다. 파라미터를 설계변수(design variable)라고 부르며, 파라미터 설계에

서는 제품의 품질변동이 잡음에 둔감하면서 목표품질을 가질 수 있도록 설계변수들의 최적조건을 구하여 준다. 최적조건을 찾을 때 설계변수와 잡음을 주는 인자들을 포함시켜 실험하는 직교배열표 등이 주로 사용된다. 이때 목표품을 만족시키는 범위내에서 가능한 비용이 적게 드는 조건이나 부품 등을 이용한다.

본 논문에서는 사출금형설계를 보다 최적화하기 위하여 시뮬레이션 도구(Computer Aided Engineering)를 활용하였고 사출성형해석을 위한 시뮬레이션 도구로는 Moldflow 상용 소프트웨어로 모의 실험을 하였으며, 충전, 보압, 냉각 과정의 해석을 하였고, 사출성형공정상의 최적화와 수축을 최소화하기 위해서 수축에 미치는 주요한 인자들 중 보압공정이 수축에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

사출금형 내에서 용융수지의 흐름은 유동폭(B)이나 유동길이(L)에 비해 제품의 두께가(H)가 얇으므로 Fig.1과 같이 높이 H, 폭이 B인 슬릿형( $H \ll B$ ) 유로로 가정할 수 있다. 이 유로를 통하여 흐르는 유동의 흐름은 층류이며, 입구의 압력 손실을 무시하고 정상상태의 흐름이라고 가정한다.

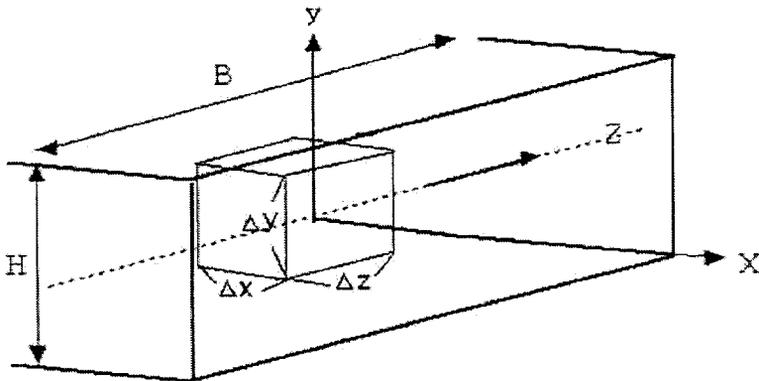


Fig.1 A schematic diagram of slit flow

## 2.1 연속 방정식

3차원 비정상 흐름에 대한 연속 방정식은 식(1)로 나타나지만,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho V_z) = 0 \quad (1)$$

사출금형 내의 유동을 슬릿 유동으로 가정하였으므로 식(1)에  $V_y=0, V_z=0, \rho=\text{일정}$ , 및 금형 내의 유동 흐름이 정상흐름 ( $\frac{\partial}{\partial t}=0$ )이라고 가정하여 적용하면 식(2)와 같이 간단한 연속 방정식을 얻을 수 있다. ( $\rho=\text{밀도}, t=\text{시간}$ )

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

## 2.2 운동 방정식

Fig. 1에 주어진 미소체적  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  에 대한 운동방정식을 고려하면  $x$ ,  $y$ ,  $z$  방향에 대한 결과는 식(3),(4) 및 (5)로 나타난다.

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \rho g_x \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial y} + \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + \rho g_y \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial V_z}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial z} + \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + \rho g_z \end{aligned} \quad (5)$$

사출금형 내의 유동을 슬릿유동으로 가정하여 중력가속도를 무시하고,  $B \gg H$  이기 때문에  $\tau_{zx}$ 를 무시하고, 변형에 의한 수직응력  $\tau_{xx}$ 를 무시하며,  $V_y=0$ ,  $V_z=0$ , 및  $\frac{\partial V_x}{\partial V_t} = 0$ (정상상태)이라고 가정하여 적용하면 식 (6) 으로 단순화 된다.

$$\rho \left( V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \quad (6)$$

### 3. 공정 해석

일반적으로 사출성형법은 금형안으로 액상으로 가소화시킨 플라스틱수지를 유입하여 가압하고 고화시켜 성형하는 방법으로 충전, 보압, 냉각의 단계로 나누어지고 그 후 변형의 단계가 있다. 수지가 완전히 충전되면 보압과정이 시작되고 보압은 수지의 압축성을 이용하여 이미 충전된 금형내에 재료의 냉각에 의한 수축을 보상하기 위하여 높은 압력으로 캐비티 내에서 충분한 수지를 주입하게 되며, 유동은 매우 작게 발생하고 속도는 느리다. 보압과정이 끝나면 금형 캐비티의 게이트가 최초로 고화되어 외압이 없어지면서 성형품이 완성되고 취출과정을 끝으로 하나의 사이클을 이룬다. 여기서 한 개의 단계를 고려하면 변형의 과정이다. 변형은 취출이 끝난 다음 오는 후 변형으로 이는 실제 공정의 단계에서는 예측하기가 어렵다. 후 변형의 예측은 경험에 의한 예측이 많지만 본 연구에서는 시뮬레이션도구를 이용하여 예측을 할 수 있다.

설계된 성형품이 완성되기까지는 금형설계 전체 성형공정의 해석이 필요하며 이에 대한 정보를 시뮬레이션도구를 이용하여 데이터를 만든다. 시뮬레이션도구에 조정할 수 있는 인자로는 용융수지온도, 충전시간, 보압크기, 보압시간, 금형온도 및 냉각시간 등이 있는데 용융수지온도, 금형온도 등이 사용된 수지재료 PP(폴리프로필렌) 수지의 물성데이터로 부터 값들을 취하고 냉각시간은 수지가 취출온도에 도달하는 시간을 이용하여 결정된 값을 적용한다. 취출 후 제품이 변형되는 값을 도출한다.

PP 수지의 물성치는 다음의 Table 1 과 같다.

Table 1 Material properties of PP

Conductivity	0.15	W/m/degC
Specific Heat	3000.00	J/kg/degC
Melt Density	770.00	kg/cu.m
Ejection Temperature	140.00	deg.C
No Flow Temperature	160.00	deg.C

### 3.1 충전 해석

사출성형에 있어서 금형의 캐비티 말단까지 수지가 유입하는지, 즉 완전충전(full shot)이 가능한지가 중요하며 완전충전이 되더라도 용융수지가 게이트에서 제품의 끝단까지 흘러들어 갈 때 동시충전이 중요하다.

종래에는 경험에 의해 해결할 수밖에 없었지만 시뮬레이션도구를 이용하면 실제로 금형을 제작하기 전에 그 결과를 예측할 수 있으며, 사출성형 조건을 변화시키면서 성형품의 상태를 알 수 있어 최적조건의 도출에도 활용 할 수 있다.

엔진 브레이크 오일이 담기는 성형품으로 상·하의 패밀리 제품으로 한쪽은 큰 제품이고 한쪽은 작은 제품으로 러너의 크기와 길이 설계, 게이트의 위치 설계가 중요하며, 충전 공정동안 균일한 유동평형을 이루면서 용융수지가 캐비티 내를 채워나가는

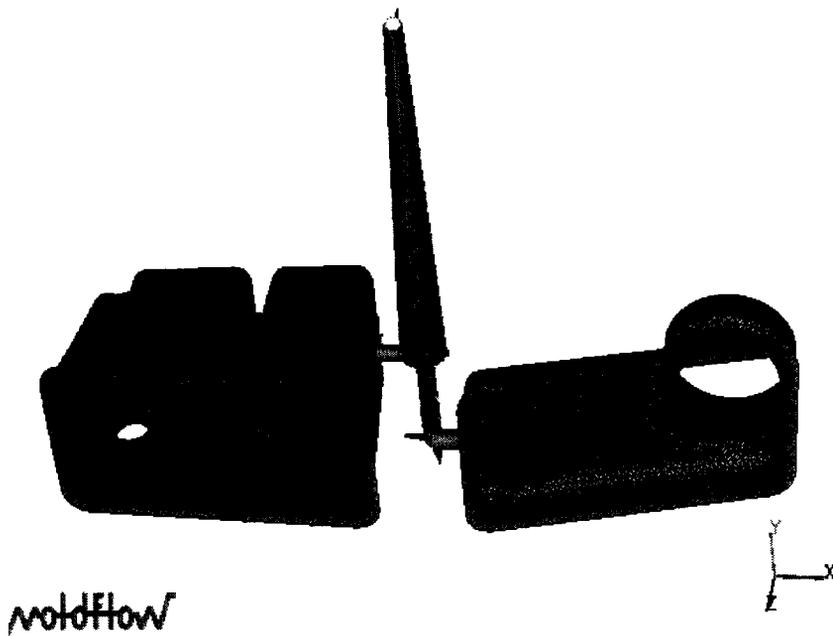


Fig.2 Solid modeling for Reserver Tank

것이 중요한 요소이다. 첫 단계에서는 냉각채널에 냉각수를 흘리지 않고 시뮬레이션을 행하여 균일 유동을 달성할 수 있는 조건을 결정하고, 다음 단계로 냉각채널에 냉각수를 순환시키면서 균일 유동 충전율 분석 할 것이며, 이때 냉각공정과 관련된 인자들의 영향을 다구찌 실험계획법으로 분석하였다.

### 3.1.1 냉각채널이 없는 충전 해석

게이트는 대칭적인 충전을 보장하기 위해 제품에 다점 게이트가 필요하고 제품의 모든 부분에 패킹을 보장하기 위해 사각단면과 원형단면의 핀 포인트 게이트를 사용하였다. 메인 탱크에는 사각형 단면  $3 \times 1(h \times w)$ 의 크기를 설계하였고, 두껍에는 원형단면  $\phi 1$ 의 게이트를 사용하였고 1차, 2차 러너의 지름은  $\phi 5, \phi 6$ 으로 하였으며, 길이는 10mm으로 하였다. 스프루의 길이는 120mm로 하였으며, 위쪽의 지름은 6mm아랫쪽 지름은 15mm로 하였다. 제품의 충전압력과, 금형의 온도, 수지의 온도를 조정하면서 시뮬레이션을 행하여 유동 평형 상태를 살펴보았다.

### 3.1.2 냉각채널이 있는 충전 해석

3.1.1에서 나온 해석 결과를 가지고 냉각채널에 냉각수를 순환시키면서 다시 충전해석을 분석하였다. 실제 사출품을 생산 할 경우 냉각채널에 냉각수를 흘려서 사출성형을 하기 때문에 실제 현장에서 작업하는 환경과 같은 조건을 이용하여 충전 시뮬레이션을 수행하였다. Fig.3는 리저브 탱크의 충전 공정 시 적용될 냉각 채널이며, 충전공정에서 영향을 줄 수 있는 냉각채널 인자들 중 냉각시간, 냉각수 입구온도, 냉각수 유량을 설계인자로 하였다. 이 설계인자들은 최적 공정설계를 위한 다구찌 실험계획법의 인자로 사용되어 질 것이다. Fig.4은 냉각채널을 이용한 충전 해석의 결과 충전시간이 2.42 초로 나타났다.

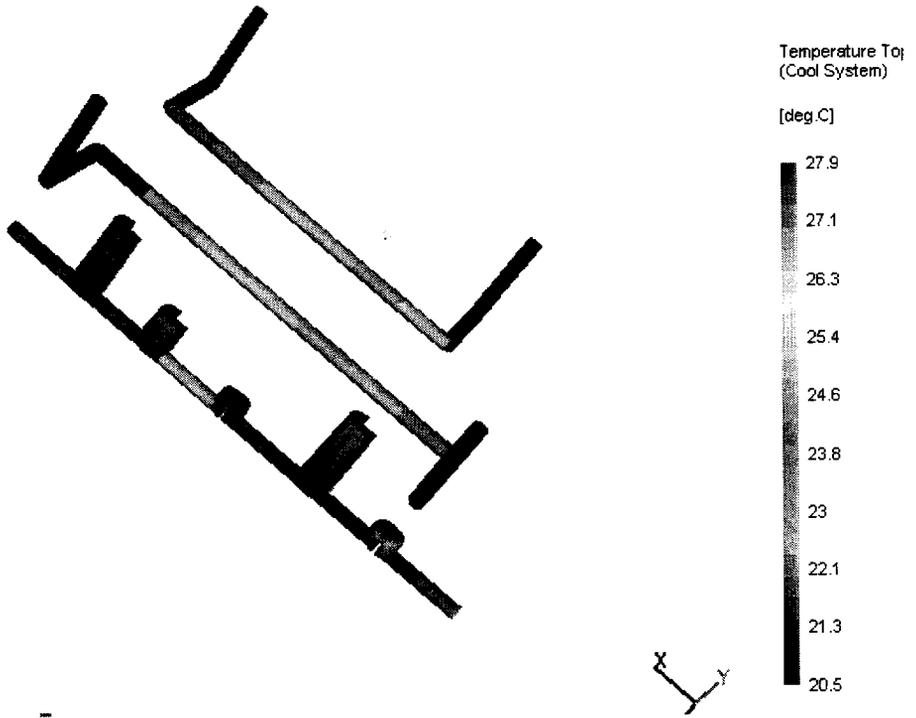


Fig.3 A schematic diagram of cooling channel

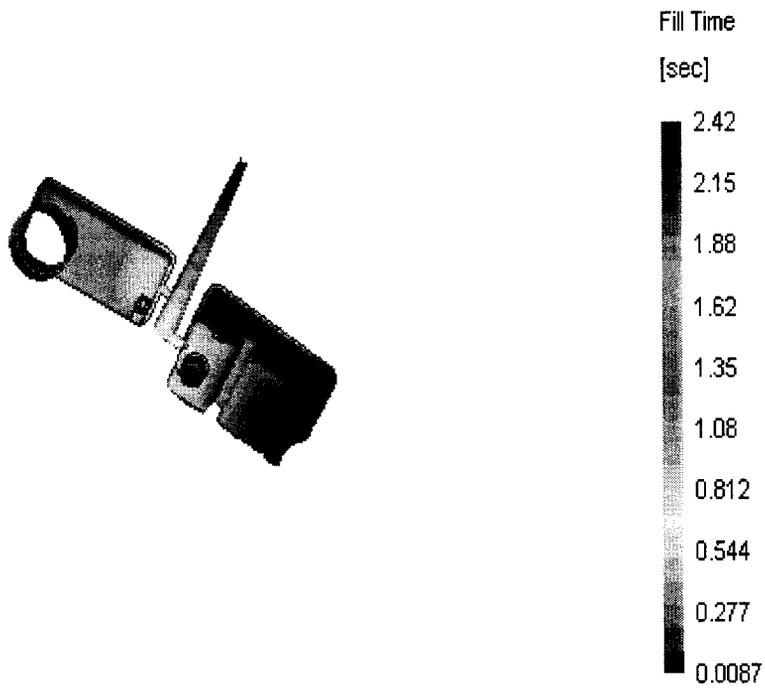


Fig. 4 Filling time distribution of reserver tank with cooling channel

### 3.2 보압 해석

보압 공정은 충전공정 동안에 캐비티를 채운 용융수지가 금형 면에 접하면서 수축을 일으키며 줄어든 수지의 양을 보충하여 체적 수축을 보상하고 역류를 방지하며 게이트가 냉각되어 게이트가 고화 될 때까지 지속된다. 수축보상을 위해 캐비티 내로 밀어 넣는 수지의 양은 종류에 따라 다르지만 최대 15%에 이르며 Fig. 5은 충전 공정 직후에 가해지는 일반적인 프로파일이다.

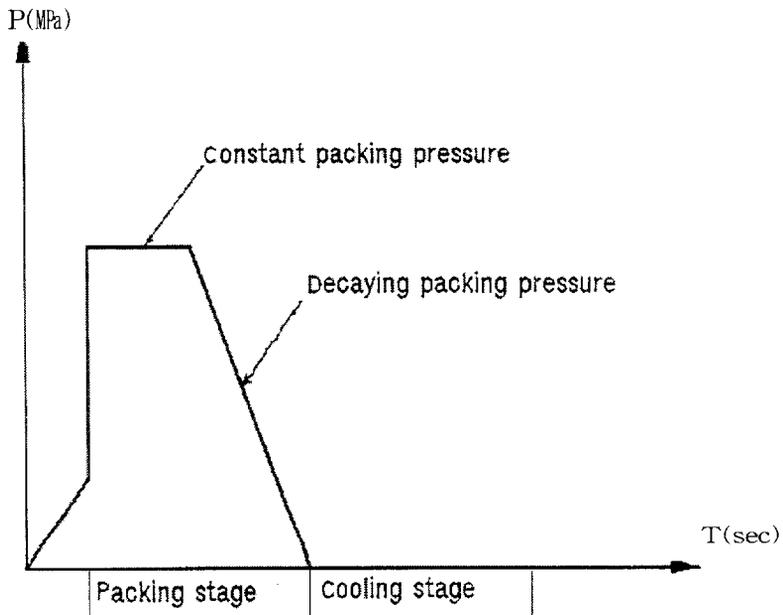


Fig.5 A schematic diagram of general packing profile

게이트가 고화 된 후에는 압력을 가해도 제품에 영향을 미치지 않으므로 게이트가 고화 된 후에는 압력을 가하지 않고 냉각만 해주면 된다.

보압과 보압 시간의 결정은 고화 시간과 연계하여 결정하고, 보압 크기는 사출성형기가 견딜수 있는 최대형체력으로 수지 특성에 따른 범위 내에서는 일반적으로 어떠한 값이라도 적용 가능하므로 먼저 사출성형기에 걸리는 형체력과 투영면적을 근거로 식 (7)을 이용하여 최대보압을 결정할 수 있다.

$$P_{packing} = K\alpha \frac{\text{clamping force}}{\text{projection area}} \quad (MPa) \quad (7)$$

여기서 K는 단위환산과 관련된 상수로 100을 가지며,  $\alpha$ 는 성형재료에 따라 최대 형체력의 몇 %까지 보압을 줄 것인지에 따라 대략 0.5 에서 1 사이의 값을 가진다. 본 연구에서 적용될 보압은 사용될 사출성형기의 형체력은 약 100 Ton, 성형품의 투영면적이 130.1074 cm<sup>2</sup> 이고  $\alpha$  를 1로 할 때 적용될 수 있는 최대 보압이 85.6 MPa 까지 가능하다.

### 3.3 냉각 해석

냉각공정은 고온으로 주입된 수지의 온도를 금형 밖으로 배출하는 것이며, 그러기 위해서 냉각수가 항상 내부를 순환하고 있어야 한다. 즉 열교환으로 언제나 금형표면 온도를 균일하게 유지하는 것이 가장 이상적이다.

또 용융수지가 금형 내에서 고화하여 제품이 금형으로부터 변형없이 제품이 생산될 수 있도록 하는 과정이며, 전체 성형공정 중 약 2/3 이상을 차지하고 있다. 생산성을 향상시키기 위해서는 냉각시간을 최소화하여야 하며, 높은 품질을 위해서는 캐비티의

각부의 균일한 냉각속도를 유지해야 한다. 냉각공정과 관련된 인자로는 금형온도와 냉각시간 등이 있다.

냉각시간이 긴 경우는 금형온도와 스프루, 러너를 포함한 성형품의 변형을 작게 할 수 있으나 성형사이클이 길어지고 금형으로부터 취출이 좋지 않게된다. 냉각시간이 짧은 경우에는 성형품이 충분히 고려하지 않으므로 취출에 의한 외력으로 변형을 일으키거나 치수 안정이 나빠질 뿐만 아니라 금형이 열릴 때 이미 변형되어 캐비티 치수를 재현하지 못한다. 냉각에 관련된 인자로 냉각라인의 위치, 크기, 냉각수의 온도 및 유량 등이 있다. 냉각공정에서는 제품의 상하 평균온도차이가 제품 성능 평가에 기준이 될 수 있다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 다구찌 실험계획법을 이용한 유의성분석

다구찌 실험계획법은 공정의 관리 및 품질개선에 대한 새로운 접근 방식이라고 할 수 있다. 이 방법은 품질손실 함수의 개선과 신호대 잡음비(S/N 비)를 이용하여 품질을 향상시킬 수 있는 수단을 제공한다. 또 실험계획에 있어서 직교배열표를 이용함으로써 많은 설계의 대안을 신속하게 찾을 수 있다.

다구찌 실험계획법의 기본개념을 다음 몇 가지로 요약 할 수 있다.

- (1) 품질관리 활동은 제품설계, 늦어도 공정설계 단계에서 이루어지는 것이 바람직하다. 왜냐하면 그 다음 단계인 공정관리나 최종제품의 검사 등을 통해서 제품의 고유 품질 수준을 향상시키기 어렵기 때문이다.
- (2) 제품의 성능특성은 잡음의 영향으로 말미암아 목표치 또는 이상치를 일관성 있게 유지하지 못하고 산포하기 마련이다. 이러한 성능변동의 산포를 손실의 개념으로 도입하여 정량화 함으로써 품질 문제를 객관적, 공학적 문제로 다룰수 있다.
- (3) 높은 품질의 제품이란 소비자에게 끼치는 손실이 작은 제품을 의미한다.

다구찌는 위와 같은 전략을 수행함에 있어, 소위 직교표라 부르는 실험계획법을 이용하여 데이터를 수집할 것과, 그 데이터로 유도된 SN비(signal-to-noise ratio)를 분석함으로써 제품이나 공정의 최적조건을 결정 할 수 있다.

### 4.1.1 파라미터설계와 허용차 설계

공정 또는 제품에 대한 파라미터설계 목적은 잡음영향하에서도 성능특성치의 분산이 작고 평균이 목표치에 근접하도록 하는 설계변수의 조건을 찾는 것이다. 파라미터설계로 정해진 설계변수의 조건에서 특성치 산포가 아직 만족 할 만한 상태가 아닐 때에는 허용차 설계를 통하여 산포에 큰 영향을 미치는 부품 또는 공정변수들을 선택하여 그 허용차를 줄여주게 된다.

직교표를 이용한 파라미터설계는 몇 가지 중요한 점이 있다. 우선, 파라미터 설계에서는 설계변수의 한 조합(즉, 직교표의 한 행)에서 여러 개의 특성치를 얻는다. 즉 한 실험에서 성능특성치를 반복해서 얻는 방법에는 크게 다음 2가지가 있다.

(1) 잡음을 제어하지 않고 있는 그대로의 상태에서 특성치를 반복 관찰하는 것이다. 예를 들면 타일회사의 경우 잡음의 일종인 가마의 온도를 있는 그대로 놓아둔 상태에서 실험이 수행된다.

(2) 잡음인자들의 수준을 정하여 이들 수준의 조합에서 성능특성치를 관측하는 것이다.

두 번째의 경우, 전체실험계획은 2개의 직교표가 교차하는 형태로 주어지며, 예를 들면 Table 2와 같다. 설계변수들로 이루어진 직교표를 설계변수, 행렬 또는 외측 직교표라 부르고 Table 2에서 설계변수 행렬은  $L_8(2^7)$ 이고 잡음인자 행렬은  $L_4(2^3)$  직교표를  $90^\circ$  회전하여 놓은 것이다.

파라미터 설계를 위한 실험과 일반 직교표에 의한 실험의 차이점은, 전자에서는 성능특성치  $y$ 에 대한 분석을 하지 않고 다음에 정의된 SN 비를 새로운 특성치로 삼아 분석한다.

Table 2 Orthogonal array table

							Number of experiments				
							1	2	3	4	U
							1	1	2	2	V
							1	2	1	2	W
#	A	B	C	D	e	E	1	2	2	1	
1	1	1	1	1	1	1	y <sub>11</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	y <sub>14</sub>	
2	1	1	1	2	2	2	y <sub>21</sub>	y <sub>22</sub>	y <sub>23</sub>	y <sub>24</sub>	
3	1	2	2	1	1	2	y <sub>31</sub>	y <sub>32</sub>	y <sub>33</sub>	y <sub>34</sub>	
4	1	2	2	2	2	1	y <sub>41</sub>	y <sub>42</sub>	y <sub>43</sub>	y <sub>44</sub>	
5	2	1	2	1	2	1	y <sub>51</sub>	y <sub>52</sub>	y <sub>53</sub>	y <sub>54</sub>	
6	2	1	2	2	1	2	y <sub>61</sub>	y <sub>62</sub>	y <sub>63</sub>	y <sub>64</sub>	
7	2	2	1	1	2	2	y <sub>71</sub>	y <sub>72</sub>	y <sub>73</sub>	y <sub>74</sub>	
8	2	2	1	2	1	1	y <sub>81</sub>	y <sub>82</sub>	y <sub>83</sub>	y <sub>84</sub>	

가. 망소 특성일 경우

$$SN_i = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] \quad (8)$$

단,  $y_{ij}$  는 설계변수 행렬의  $i$  번째 실험점에서 관측된  $j$  번째 특성치이고,  $n$  은 한 실험 점에서의  $y$ 의 반복수이다.

나. 망대 특성일 경우

$$SN_i = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right] \quad (9)$$

다. 망목 특성일 경우

$$SN_i = 10 \log \frac{\frac{1}{n} (S_{mi} - V_i)}{V_i} \quad (10)$$

$$S_i = 10 \log \frac{1}{n} (S_{mi} - V_i) \quad (11)$$

단,  $S_{mi} = n \overline{y_i^2}$

$$\overline{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1} y_{ij}$$

$$V_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1} (y_{ij} - \overline{y_i})^2$$

식(8)은 망소특성의 기대손실과 직접적인 연관이 있다. 즉 식(8)의  $[\frac{1}{n} \sum_{j=1} y_{ij}^2]$ 은 i 번째 실험점에서  $E(y^2)$ 의 추정이라고 볼 수 있으며,  $SN_i$ 는 이것을 로그로 변환시킨 다음 (-10)을 곱한 것이므로  $SN_i$ 를 크게하는 설계조건을 찾는다는 것은 기대손실을 적게하는 조건을 찾는 것과 대등하다고 할 수 있다.

목표치가 0이며 음 또는 양의 값을 가질 수 있는 망목특성에 대해서  $SN = -10 \log V$ 로 계산한다.

#### 4.1.2 다구찌실험계획법을 이용한 유의인자 분석

냉각채널이 없는 충전해석에서 충전의 결과가 가장 잘나오는 결과를 가지고 냉각채널에 냉각수를 순환시키면서 다시 충전공정을 분석하였다.

본 연구에서는 다구찌 실험계획법에 의한 내측 직교표는  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 를 이용하고 외측 직교표는  $L_8(2^7)$ 를 이용하였다.

성형품의 품질특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 사출성형 후의 수축률로 정하였다. 수축률에 영향을 미치는 제어인자, 잡음인자와 수준을 결정하였다. 제어인자는 금형온도, 용융 수지온도, 충전시간, 보압, 보압시간, 냉각시간을 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준(level)은 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형 범위 한계 내에서 Table 3와 같이 각각 3수준으로 정하였다. 잡음인자는 실제 공정운용시 세팅한 각 제어인자의 값이 명목치를 유지하지 못하고 산포하는 것으로 하였다. Table 4에 각 잡음인자의 수준 내용이 주어져 있다.

제어인자를 배치하기 위한 내측직교표는  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ , 잡음인자를 배치하기 위한 외측 직교표는  $L_8(2^7)$ 를 선정하여, Table 4와 같이 제어인자와 잡음인자를 할당하였다. 실험조건은 총  $18 \times 8 = 144$  가지로서, 예를들어 실험조건 (55)는 제어인자 ( $A_1, B_2, C_1, D_3, E_2, F_3$ ), 잡음인자( $A_2, B_2, C_1, D_1, E_2, F_2$ )이므로 금형온도(A)는  $40+4=44^\circ\text{C}$ , 용융 수지온도(B)는  $200+6=206^\circ\text{C}$ , 사출시간(C)는  $1-0.3=0.7$ 초, 보압(D)는  $90-4=86\text{Mpa}$ , 보압시간(E)는  $7+1=8$ 초, 냉각시간(F)는  $13+1=14$ 초가 된다.

Table 3 Control factors and level

Control factors	Level		
	1	2	3
금형온도(A)	40℃	55℃	70℃
용융 수지온도(B)	230℃	245℃	260℃
충전시간(C)	2초	3초	4초
보압(D)	70MPa	80MPa	90MPa
보압시간(E)	4초	7초	11초
냉각시간(F)	13초	18초	23초

Table 4 Noise factors and level

잡음인자	수준	
	1	2
A'	-4℃	+4℃
B'	-5℃	+5℃
C'	-0.3초	+0.3초
D'	-4Mpa	+4Mpa
E'	-1초	+1초
F'	-1초	+1초

Table 5 Control factors and noise factors of orthogonal table

									1	2	3	4	5	6	7	8		
									1	2	2	1	2	1	1	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'
			A	B	C	D	E	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)		

본 연구에서의 실험은 각 실험조건을 Moldflow의 입력변수의 조건으로 시뮬레이션 하여 성형품의 여러 부위중 수축이 가장 많은 부분 4 곳의 수축률을 조사하였다. 이 중 내측직교표 10번째 행의 데이터만 Table 6에 소개하기로 한다.

Table 6 내측직교표 10행의 실험조건에서의 데이터

(73)	(74)	(75)	(76)
3.0313	8.7430	3.5240	5.9952
1.4787	0.5312	0.318	1.3796
6.4784	8.5911	0.0000	6.9354
6.5220	8.5739	0.0000	6.9354
(77)	(78)	(79)	(80)
4.2130	4.1131	3.6373	4.0277
0.9655	4.3471	3.0324	1.1785
5.1797	9.0541	8.7411	8.5047
5.0481	9.0633	8.6398	8.2268

#### 4.1.3. 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.

$$\begin{aligned} SN_{10} &= -10 \log \left\{ \frac{1}{32} (3.0313^2 + \dots + 8.2268^2) \right\} \\ &= -15.2363 \end{aligned}$$

각 실험점에서의 SN비 계산결과가 Table 7에 주어져 있다. SN비에 대한 수준별 평균값과 기여량을 구한 결과는 Table 8과 같으며, 이에 대한 요인 효과도는 Fig. 6과 같다.

Table 7 Simulated data obtained from an orthogonal table

실험조건	SN비
1	-15.8842
2	-17.2794
3	-13.6122
4	-17.9076
5	-13.3921
6	-17.8439
7	-17.1898
8	-18.1757
9	-15.7753
10	-15.2363
11	-16.0065
12	-13.8420
13	-16.7660
14	-15.0817
15	-16.6224
16	-16.5962
17	-16.2103
18	-16.0788

Table 8 Sum, mean and contribution rate of SN ratio according to level

Factor	Level	Sum	Mean	Contribution
A	1	-99.5801	-16.5967	-0.5133
	2	-96.1458	-16.0243	0.0591
	3	-93.7746	-15.6291	0.4543
B	1	-98.4064	-16.4011	-0.3177
	2	-96.5461	-15.7580	0.3253
	3	-94.5481	-16.0910	-0.0076
C	1	-90.9923	-16.3475	-0.2641
	2	-100.4233	-16.7372	-0.6539
	3	-98.0848	-15.1654	0.9180
D	1	-93.4192	-16.4537	-0.3703
	2	-97.3593	-16.2265	-0.1432
	3	-98.7220	-15.5699	0.5135
E	1	-98.5469	-15.0953	0.9881
	2	-100.3821	-16.7303	-0.6470
	3	-90.5716	-16.4245	-0.3411
F	1	-93.8436	-15.8982	0.1851
	2	-100.2674	-16.7112	-0.6279
	3	-95.3895	-15.6406	0.4428
Total		-289.5005	-16.0834	

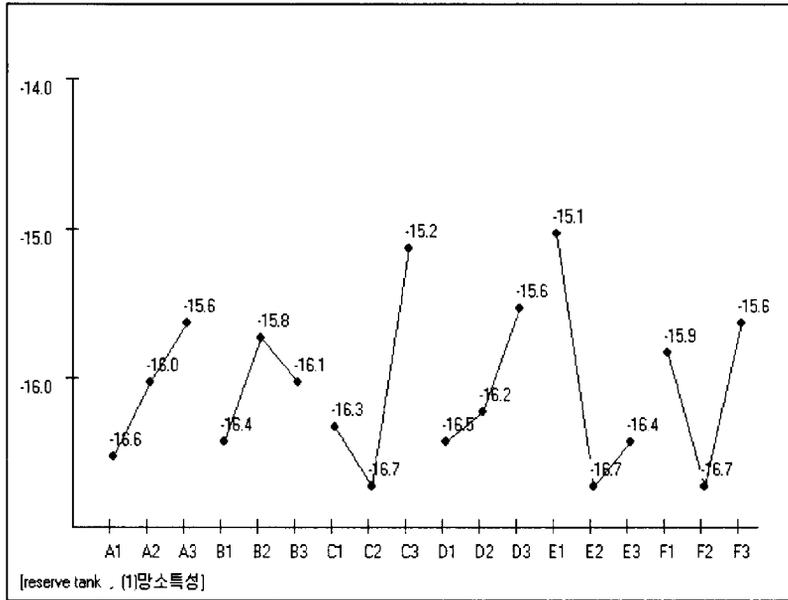


Fig. 6 Plot of main effects of SN ratio

Table 9 Analysis of variance of SN Ratio (ANOVA Table)

Source	Pooling	SS	d.f.	MS	F <sub>0</sub>	Rho
A	[Y]	2.8400	2	1.4200		
B	[Y]	1.2411	2	0.6205		
C	[N]	9.0678	2	4.0199	3.1869	15.8856
D	[Y]	2.5278	2	1.2639		
E	[N]	8.0398	2	4.5339	1.4853	18.8453
F	[N]	3.7471	2	1.8735	3.5943	3.5251
error		13.8753	11(5)	1.2614		61.7440
Total		34.7300	17			

SN비에 대한 분산분석(ANOVA) 결과가 Table 9에 주어져 있다. Table 9의 분산분석표에서 제어인자의 기여율(Rho)을 고려하여 보면 충전시간(C)과 보압시간(E)이 사출성품의 수축률에 가장 큰 영향을 주며 총변동량의 40%를 차지하고 있다. 그 다음이 용융 냉각시간(F)이며, 금형온도(A), 수지온도(B), 보압(D)은 SN비에 유의한 차이가 없었다.

SN비에 유의한 영향을 주는 제어인자의 최적수준은 SN비를 최대로 하는 수준이다. 따라서 리저브 탱크의 사출성형에 관한 최적 공정 조건은 Fig. 6과 Table 9로부터  $C_3, E_1, F_3$  임을 알 수 있다. 이 최적조건에서의 SN비에 대한 예측값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{SN} &= \widehat{\mu} + \widehat{c}_3 + \widehat{e}_1 + \widehat{f}_1 \\ &= -16.0834 + 0.9180 + 0.9881 + 0.4428 \\ &= -13.7345 \end{aligned}$$

그리고 나머지 인자는  $A_1, B_1, D_1$  으로 정하였다. 최종적인 리저브 탱크의 사출공정의 작업표준 조건인  $A_1, B_2, C_3, D_1, E_1, F_3$ 에서 확인실험을 행할 필요가 있다.

확인실험에서 반복을 1회 행한다고 하고, 확인실험에서의 SN비 ( $SN_r$ )에 대한 90% 예측구간을 구해보면 다음과 같다. 여기서  $n_e$  는 유효 반복수,  $r$ 은 확인실험에서의 반복회수를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
SN_f &\in \widehat{SN} \pm t_{(9;0.05)} \sqrt{\left(\frac{1}{n_e} + \frac{1}{r}\right)MS_e} \\
&\in -13.7345 \pm 1.833 \sqrt{(9/18 + 1)(1.2614)} \\
&\in -13.7345 \pm 0.7669 \\
&\in (-14.5014, -12.9676)
\end{aligned}$$

A<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, D<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>, F<sub>3</sub>에서 확인실험을 수행한 결과 Table 10과 같은 데이터를 얻을 수 있었다. 확인실험에서는 파라미터설계에서와 같은 잡인인자조건하에서 수축률을 관찰한 다음 SN비를 계산하여, 추정값과 실제 결과를 비교한다. 본 연구에서 대한 확인 실험에서 얻은 32개의 수축률 데이터의 SN비는 -13.2362로 계산되어 예측구간 안에 포함됨을 확인 할 수 있었다.

Table 10 Data obtained confirm experiment

							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'
A	B	C	D	E	F		1	2	2	1	2	1	1	2	
1	2	3	1	1	3		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	

Fig. 7은 본 연구의 결과를 이용하여 사출 성형한 브레이크 오일저장용 플라스틱 리저브 탱크의 시제품 모습이다. 시험생산을 시도해 본 결과, 사출성형품의 품질이 우수하며 제품 개발 기간도 단축할 수 있었다.

따라서, 리저브 탱크의 사출성형 조건으로 금형온도(40℃), 용융 수지온도(245℃), 충전 시간(4초), 보압(70MPa), 보압시간(4초), 냉간시간(23초)로 표준화하였다.

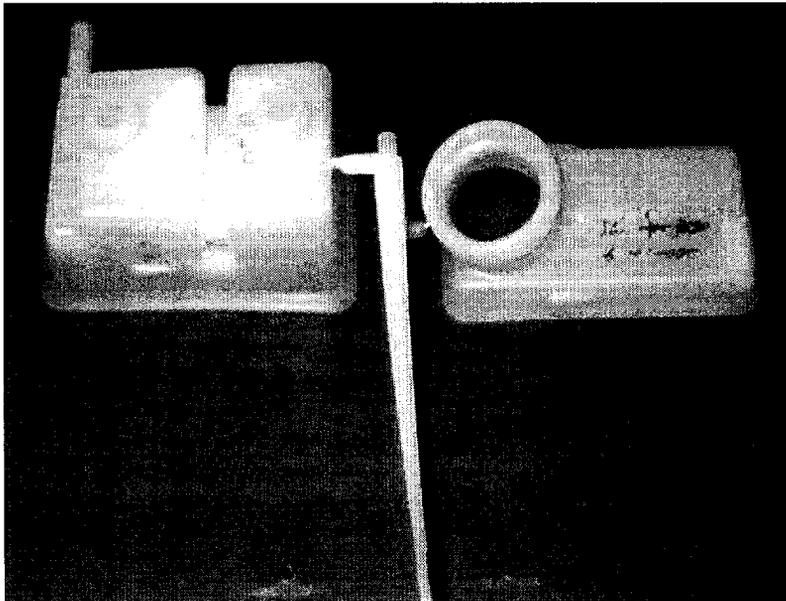


Fig. 7 Parts for oil reserver tank

## 5. 결 론

본 연구는 자동차 내장용 브레이크 오일을 저장하는 리저브 탱크를 사용한 사출성형품으로, 사출성형 해석용 상용 소프트웨어인 Moldflow와 강건설계기법인 다구찌방법을 함께 이용하여 리저브 탱크에 대한 사출성형 공정의 최적화를 시도하였다.

따라서, 리저브 탱크의 사출성형 조건으로 금형온도(40℃), 용융 수지온도(245℃), 충전 시간(4초), 보압(70MPa), 보압시간(4초), 냉간시간(23초)으로 시험생산을 시도해 본 결과, 사출성형품의 품질이 우수하며 제품 개발 기간도 단축할 수 있었다.

본 연구의 결과를 토대로 플라스틱 리저브 탱크의 양산을 시작한다면 기존의 생산 방식에 비해서 생산 공정을 줄일 수 있고 대량생산이 가능하며 가격 면에서도 기존의 제품보다 훨씬 유리할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- (1) J.L. Wu, S. J. Chen, and R Malloy, "Development of an On-Line Cavity Pressure- Based Export System for Injection Molding Process," Antec, 1991
- (2) C. Liu and L. T. Manzione, "Process Studies in Precision Injection Molding I: Process Parameters and Precision," Polymer Eng. & Sci., Mid-january, Vol.36, No. 1, 1996
- (3) C. Liu and L. T. Manzione, "process Studies in Precision Injection Molding. II: morphology and Precision in Liquid Crystal Polymers." Polymer Eng. & Sci., Mid-january, vol.36, No. 1, 1996
- (4) V.Leo and Ch. Cuveliez, "The Effect of the Parking Parameters, Gate Geometry, And Mold Elasticity on the Final Dimensions of a Molded Part," Polymer Eng. & Sci., mid-August, vol. 36, NO. 15, 1996
- (5) Suzanne L. B. Woll, Douglas J. Cooper and Blair V. Souder, "Online Pattern-Based Part Quality monitoring of the Injection Molding Process," Polymer Eng. & Sci., Mid-jun, Vol.36, No11, 1996
- (6) Suzanne L. B. Woll, Douglas J. Cooper and Blair V. Souder, "Pattern-Based Closed-Loop Quality Control for the Injection Molding Process," Polymer Eng. & Sci., Mid-jun, Vol.37, No5, 1997
- (7) Russel G. Speight, "Optimization of Velocity to Pressure Phase Transfer for the Polymer Injection Molding Process," J. of Injection Molding Tech, March, Vol. 1, 1997

- (8) C. Y. Zhang, J. Leonard and R. g. Speight, "adaptive Controller Performance Used for Ram Velocity Contol During Filling Phase," Byeong-heyon Min, " An Analysis of Shairinkge of Injection Molded part Based on the GMDH Algorithm." j. of injection Molding Tech., Dec., vol 1, No. 4, 1997
- (9) 정성택, 김전근, 구본홍, "단섬유 보강 이방성 사출성형품의 휨 해석,"대한기계학회 논문집, 제8호, pp.1968-1976, 2000
- (10) 홍명웅, "사출성형기술 II", 기전연구소, pp.13-18, 1999
- (11) 조용수, 이정일, "사출성형 이론", 일지사, pp.155-160, 1995
- (12) 박성현, "현대실험계획법", 민영사, pp.521-524, 1995
- (13) 여홍태, 민병현, 허관도, "실험계획법을 이용한 예압된 냉간 압출 금형의 유한요소 해석", 대한기계학회, pp.126-131, 2000
- (14) 염봉전, 고선우, 김성준, "제품 및 공정설계를 위한 다구찌 방법", 경영과학, pp.3-2, 1990
- (15) 염봉전, 변재현, 이승훈, 김성준, "제품 및 공정설계를 위한 다구찌방법", 한국과학기술원 산학협동강좌교재, 2000
- (16) 조용무, "사출성형이론", 일지사, 1993
- (17) 田口玄一, "품질공학강좌 6: 품질공학 사례집 미국, 유럽편", 일본규격협회, 한국표준협회번역발간, 1991
- (18) 田口玄一, "품질공학강좌 6: 품질공학 사례집 계측편", 일본규격협회, 한국표준협회번역발간, 1991
- (19) Taguchi. G., Chowdhury, S., and Tauguchi, S., "Robust Engineering",

McGraw-hill, 2000

- (20) 홍명웅, “사출성형기술 I”, 기전연구사, 1990
- (21) 이호상, “유한요소법에 의한 사출성형의 충전에 관한연구”, 서울대학교 공학박사 학위논문, 1998
- (22) 박성전, 권태현, “경계요소법을 이용한 사출성형금형 냉각시스템의 최적설계”, 대한기계학회논문집(A), Vol 21, pp.1773-1785, 1997
- (23) 최원준, 신호철, 곽신웅, “유전알고리즘을 이용한 사출성형공정조건 최적화”, 대한기계학회논문집(A), Vol.24, pp.2543-2551, 2000
- (24) 정성택, 권태현, “단섬유 보강 플라스틱 사출성형품의 섬유방향성에 따른 기계적 성질 예측”, 유변학, Vol.8, pp.154-163, 1997
- (25) 이재형, 이용식, 윤성기, “SMC 압축성형공정에서의 열변형에 관한 유한요소 해석”, 대한기계학회, 제21권, pp.154-163, 1997
- (26) 민병현, “신경회로망을 이용한 사출성형품의 체적수축률에 관한연구”, 한국정밀공학회, 제16권, 제11호, pp.224-233, 1999
- (27) 민병현, 이경돈, 유병길, “반응표면분석법을 이용한 사출공정 및 품질 모니터링에 관한 연구” 대한산업공학회, 제9호, pp13-24, 1996
- (28) 박성현, “응용실험계획법”, 영지문화사, 1994
- (29) 김석주, 이건우, 김영일, 이호상, “유전알고리즘을 이용한 플라스틱 사출성형 조건의 최적화”, 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 학술대회논문집, pp.63-67, 1994

# **A study on the optimization of injection molding process using experiment of design**

Youn Suk Kwon

Dept. of Precision Mechanical Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University

## **Abstract**

Injection molding process is the manufacturing process that can obtain a high quality products in large quantity to a low cost. Since there are many input factors in every situation that can influence part's quality, the method is difficult to save the exact simulation data. Latest, it deals with the CAE method that supports the experiment, it is applied to the design of experiment for the optimum injection molding process.

If there are many factors, the interaction among those factors must be considered by applying design of experiment which is taken from the technique of minimizing the number of experiments. Without a real test, it is taken the simulation data using Moldflow software.

Moldflow software is used for the analysis of injection molding process, it is analyzed the factors that affect a warpage using the Taguchi method then the optimum injection molding process is obtained.

## 감 사 의 글

가을에 열매를 거두기 위해 여름에 열심히 일하라는 선인들의 말처럼, 그렇게 살려고 노력합니다.

그런데 이제 논문을 끝내려고 하니 내가 정말 그렇게 살았었나, 하고 다시 한번 나의 뒤를 되돌아보게끔 합니다.

앞으로는 그것보다 더 열심히 살려고 합니다.

뒤돌아보지 않아도 되게끔 그렇게 살려고 합니다.

우선 이 논문이 있기까지의 저희 지도 교수님께 감사 드리고, 여러 교수님께 감사의 말씀을 전합니다.

그리고 동의대학교 민병현 교수님과 이승훈 교수님께 깊이 감사드립니다.

내가 무얼 하던지 묵묵히 보여주시던 부모님께 사랑을 전하고 싶습니다.

언제나 나의 부족한 부분을 채워 주었던 여동생과 가끔 공부 열심히 하라며 격려금을 내주던 남동생에게 고맙다는 말 전하고 싶습니다

그리고 내 주위에서 언제나 격려 해주던 6공학관 선후배와 동기들에게 감사합니다.

당신들의 사랑의 있어 행복했다는 말을 전하고 싶습니다.

내 가슴속 깊이 남아 있는 그 사람에게 이 논문을 바칩니다.

깜박 잊을 뻔했는데 내게 많은 도움을 주었던 병곤이에게 ‘고맙데~이’