

# 사출성형공정에 의한 엔지니어링 플라스틱 기어 개발

민병현\*

## Development of Engineering Plastic Gear Based on Injection Molding Process

Byeong-Hyeon Min\*

### ABSTRACT

The application range of injection molded parts is expanding by the development of engineering plastics with good mechanical properties. Plastic gears are specially used as automotive parts due to an excellent performance in the characteristics of a strength vs. weight, and the study of injection molding process of plastic gear using Nylon66 is performed in this study. Filling, packing and cooling analyses were done by using the simulation software like Moldflow, and a mold was designed by following the simulation results. Pin-point gates with three points were taken to satisfy the design guides like a full-shot, and lower clamping force and uniform shrinkage. Characteristics of shrinkage of molded gear and temperature difference between cavity and core sides of a mold were shown.

**Key Words** : Injection Molding Process(사출성형공정), Engineering Plastic Gear(엔지니어링 플라스틱 기어), Filling Analysis(충전해석), Packing Analysis(보압해석)

### 1. 서론

사출성형공정은 저렴한 비용으로 복잡한 형상의 제품을 대량으로 생산할 수 있는 장점 때문에 많이 사용되고있는 제조공정이다. 플라스틱 수지의 제한된 특성 때문에 주로 가전제품의 하우징이나 용기로 사용되는 생활용품이 주요 생산품목이었으나 엔지니어링 플라스틱의 개발 이래로 개선된 기계적, 열적, 물리적 및 화학적 특성 때문에 그 적용범위가 확대되었으며 근래에는 차량 경량화 요구에 부응하여 비철금속류로 생산되던 자동차 부품을 많

이 대체하고 있는 실정이다.<sup>(1)</sup> 이러한 추세에 맞추어 본 연구에서도 자동차 부품이나 다른 기계요소 부품으로 사용될 수 있는 엔지니어링 플라스틱 기어의 사출성형공정 기술에 대하여 연구하고자 한다. 플라스틱 기어의 경우는 금형설계 기술, 금형가공 기술 및 성형시 수지의 응고에 따른 수축에 기인한 치형 접촉 구간의 치수 및 형상 정의가 해결하기 어려운 문제로 남아있다. 이처럼 기계적 강도 및 고 정도의 치수를 요하는 기능부품을 플라스틱 제품으로 생산하기 위해서는 엔지니어링 플라스틱을 이용하여 사출이 이루어져야 하며 성형 수축률

\* 동의대학교 기계산업시스템공학부

라 배향성, 수지충전 정밀도, 금형의 마모 및 부식 등도 고려되어야 한다.

ABS, PE, PP 등과 같은 범용 플라스틱의 금형 설계 및 사출성형에 CAE 툴을 이용하는 것이 경제적으로 효용가치가 있기 때문에 엔지니어링 플라스틱을 이용한 성형품의 개발에도 CAE 툴을 이용하여 도출된 금형설계 기술 및 정밀 사출성형기술을 적용함이 바람직하다고 생각된다. 현재 알루미늄 다이캐스팅 주조 및 단조품으로 제조된 자동차 기어류 부품을 엔지니어링 플라스틱 기어 성형품으로 대체함으로써 5-6개 공정에서 1개 공정으로 줄여 생산성을 향상시키고 중량 감소에 의한 자동차 연비효율 증대를 기대할 수 있다.<sup>(2)</sup> 엔지니어링 플라스틱 기어는 수지의 특성상 무게가 감소되고 사출 특성상 여러 부품을 일체화한 제품의 개발이 용이하므로 일반산업용 모터 부품 등의 기능부품으로도 사용될 수 있고, 엔지니어링 플라스틱 기어의 생산과 관련한 정밀 사출성형기술은 플라스틱 렌즈, 레이저 디스크, 플라스틱 마그네트, 의료용 정밀부품의 개발에 적용할 수 있다.<sup>(3)</sup> 본 연구에서의 적용대상 품목으로는 PA(Polyamid) 중 나일론66 엔지니어링 플라스틱을 재료로 사용하고 내부에 치형구조를 갖추고 있는 인터널 엔지니어링 플라스틱 기어로 하였다.

사출성형품의 개발과정은 개발제품의 설계, 금형설계, 금형가공 및 시사출 등의 과정을 거쳐 개발되는데 금형을 가공하기 전에 제품설계나 금형설계의 타당성을 공학적으로 검증할 필요가 있다. 지금까지는 설계자나 생산공학자의 경험에 의존하였고 또한 제품이나 금형설계의 미비점은 시사출을 하고난 후에 알 수 있어 설계의 잘못을 수정하는데 시간과 비용이 많이 소요되었다. 하지만 사출성형 공정 해석용 툴이 개발된 이후로는 해석 툴을 제품설계나 금형설계 단계부터 동시에 적용하여 미리 발생할 수 있는 문제점을 해결함으로써 비용과 개발시간을 절약할 수 있게 되었다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 상용 소프트웨어를 이용하여 엔지니어링 플라스틱 기어의 형상을 3차원으로 모델링하고 이에 대한 수지의 충전, 보압 및 냉각공정 해석과정을 통하여 금형구조의 적합성을 분석하였다. 특히 충전공정 해석에서는 미성형, 과충진, 에어트랩 위치, 웰드라인 분포를 규명하였고, 보압공정 해석에서는 성형품의 체적수축률을 분석하여 최적의 설계와 성형품을 생산할 수 있는 사출성형공

정 기술을 연구하였다. 연구결과로는 시제품을 생산할 수 있는 시작금형이 설계, 제작되었으며 이를 이용한 시제품도 시사출을 통하여 제조되었다. 한편 기대효과로는 3차원 치형구조의 기하학적 형상 모델링 기술 및 사출성형 해석 툴을 이용한 용융수지의 유동 및 냉각공정을 해석할 수 있는 기반을 확보하였으나, 기어의 경우는 치형구조의 특성상 성형품의 두께 편차(얇은 부위는 2.5mm 두꺼운 부위는 5.0mm)가 커 이를 성형해석에서 어떻게 해결할 것인지가 본 연구과정에서 발생한 예외사항이었다.

## 2. 적용제품 개요

본 연구에서 적용될 제품은 자동차 부품이나 다른 기계요소 부품으로 사용될 수 있는 엔지니어링 플라스틱 기어로 나일론66 엔지니어링 플라스틱을 재료로 사용하고 내부에 치형구조를 갖추고 있는 인터널 엔지니어링 플라스틱 기어이다. 나일론66은 성형 온도와 금형 온도가 높고 일반적으로 유기가스의 발생량이 많아 취급시 범용 플라스틱과는 구분이 되나 기능적인 용도에서 요구되는 치수 정밀도의 엄밀함 때문에 정밀성형에서 많이 사용되고 있다. 소형 정밀성형에서는 압력 및 속도의 제어가 중요하며 유기가스 발생에 따른 강제적인 가스 빼기 기구를 금형에 설치해야 한다.<sup>(5)</sup>

제품도가 Fig. 1에 보여지며 베어링과 인터널 기어를 일체성형한 후 베어링부에 다이아몬드 L393 오일을 충분히 함침시켜야 하며 함유률은 18% 이상이어야 한다.

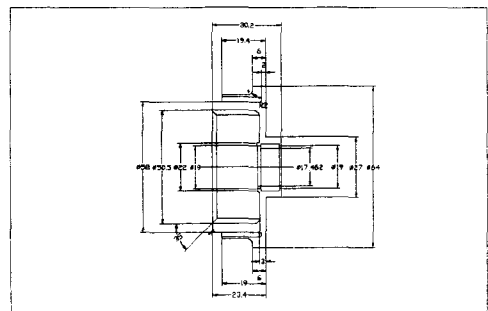


Fig. 1 Drawing of engineering plastic gear

제품의 외관은 주름이나 크랙이 없어야 하며 함

값 후의 강도는 치부 비틀림의 도크가 26Kg·m 이  
 되어야 한다. 사출 성형품의 형상을 설계함에 있  
 어서 응력 및 성형시의 수축편차를 적게 하고 필요  
 에 따라서 리브 등에 의한 보강을 줄 수도 있어야  
 하며 외관에 주의해야 한다. 또한 금형구조를 고려  
 하여 형상을 결정해야 하며 끼워맞춤이나 체결 등  
 도 고려한다. 가능한 직각도, 평행도, 평면도 등을  
 정하고 금형가공과 성형의 경제성을 고려하여 구석  
 부에 라운드를 붙이고 빼기구배 등을 명확히 한  
 다.<sup>(6)</sup> 본 연구에서 고려된 성형품의 충전 및 보압  
 공정 해석을 수행하기 위해 Fig. 2에서와 같이 캐비  
 티 모델링을 3차원으로 행하였고, 러너의 직경은  
 6mm 길이는 25mm이며, 적용된 게이트는 3점 핀  
 포인트 게이트로 게이트 직경이 1.2mm이고 게이트  
 랜드의 길이는 1.0mm이다. 한편 사용된 CAE 툴인  
 Moldflow에서의 성형해석은 모델링 된 형상의 중  
 간 면을 따라 각 중 계산을 행하기 때문에 3차원  
 모델링에서 중간 면을 지정하기 위한 변환을 행할  
 때 복잡한 치형을 따라 중간 면을 구성해야하므로  
 주의가 필요하다.

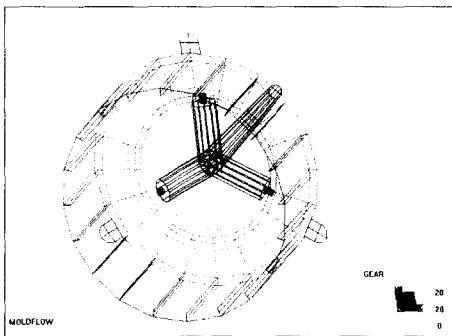


Fig. 2 Geometric modeling for the simulation

### 3. 사출성형공정 해석

설계된 성형품이 완성되기까지는 금형설계 전  
 성형공정의 해석이 필요하며 이에 대한 정보를  
 CAE 툴을 이용하여 수집한다. CAE 툴에서 조정할  
 수 있는 인자로는 용융수지 온도, 충전시간, 보압  
 크기, 보압 시간, 금형온도 및 냉각시간 등이 있는  
 데 용융수지 온도, 금형온도 등은 사용된 나일론

66 수지의 물성 데이터로부터 값을 취하고 냉각  
 시간은 수지가 뒤줄온도에 도달하는 시간을 이용하  
 여 결정된 값을 적용한다. 따라서 CAE 툴을 이용  
 한 시뮬레이션에서 사용된 실험조건이 Table 1에  
 보여진다.

#### 3.1 충전공정 해석

사출성형에 있어서 금형의 캐비티 말단까지 수  
 지가 유입하는지는 대단히 중요한 문제이며 종래에  
 는 경험으로 해결할 수 밖에 없는 문제였지만 CAE  
 툴을 이용하면 실제로 금형을 제작하기 전에 그 결  
 과를 예측할 수 있으며, 사출성형 조건을 변화시키  
 면서 성형품의 상태를 알 수 있어 최적조건의 도출  
 에도 활용할 수 있다.<sup>(7-9)</sup>

Table 1 Molding process condition used at the simulation

Molding Process	Value
Mold temp.( °C)	60
Melt temp.( °C)	280
Injection time(sec)	1.5, 2.5, 3.5
Holding pressure(MPa)	25 50, 75, 100
Holding time(sec)	18
Cooling time(sec)	40

Table 2에 충전시간의 변화 즉 사출속도의 변화  
 에 따른 충전 후 압력, 전단응력, 고화율 및 수지의  
 순간온도 등 각 중 인자들의 값을 보여준다. 충전  
 후 압력은 보압을 결정할 때 이 보다 큰 값이 적용  
 되어야 하며, 각 노드에 수지가 도착할 때의 순간  
 온도의 경우에는 일반적으로 용융수지의 비유동 온  
 도인 “용융 수지온도 - 20℃”의 범위 값인 260℃ 보  
 다 크고, 충전 후 수지 고화율도 60 - 80%로 적정  
 한 범위 내에 들므로 3가지 충전시간의 사용이 모  
 두 허용된다. 하지만 전단응력은 나일론 66에 대해  
 추천된 최대 전단응력 값이 0.5Mpa 정도 이므로 충  
 전시간 3.5초 이후의 시간의 적용이 가능하며 일반  
 적으로 성형이 되는 사이클 타임의 관점에서는 충  
 전시간을 짧게 함이 바람직하므로 본 연구에서 충  
 전시간은 3.5초로 하였다.

Table 2 Decision parameters for the evaluation of filling pattern

Fill time (s)	Filling pressure (Mpa)	Shear stress (Mpa)	Frozen rate(%)	Instant melt temp.(℃)
1.5	13.33	0.5453	48	279
2.5	12.94	0.5214	64	274
3.5	12.03	0.4807	76	264

한편, 사출압력과 사출속도는 캐비티 내의 수지 온도, 밀도, 표면광택, 성형수축, 잔류응력 등의 발생에 영향을 미치므로 게이트의 위치 선정 시부터 고려되어야 하나 본 연구에서는 3점 핀 포인트 게이트를 채택하여 낮은 사출압력으로 충전이 이루어 지도록 구성하였다.

에어트랩(Air trap)은 캐비티 내의 공기 또는 휘발 가스가 금형 밖으로 배출되지 않아 발생하는 것으로 적절한 위치에 가스 빼기 기구를 주지 않으면 압축열에 따른 성형품의 변색이나 가스 탄화의 불량이 나타나고 배압의 생성에 따른 유동성 저하로 충전부족이 발생할 수도 있다. 또한 공기와 용융수지가 응축되어 기포, 은줄, 얼룩 등의 외관 불량 원인이 되므로 필히 배제되어야 한다.<sup>(10)</sup> Fig. 3은 용융수지가 캐비티를 채워나갈 때 캐비티 말단에서 발생할 수 있는 에어트랩의 위치를 보여주는데 이는 웰드라인이 겹쳐지는 부분에서 나타나는 것으로 본 연구에서 채택된 다점 핀 포인트 게이트를 사용하는 경우에는 이의 발생이 필수적이며 더구나 엔지니어링 플라스틱은 성형 온도와 금형 온도가 높고 일반적으로 유기가스의 발생량이 많아 취급시 범용 플라스틱과는 구분이 되며 유기가스 발생에 따른 강제적인 가스 빼기 기구를 필히 금형에 설치해야 한다.

### 3.2 보압공정 해석

보압 프로파일 즉, 보압 시간과 보압 크기의 구성이 성형공정에 미치는 영향을 주로 관찰하고자 한다. 보압공정은 충전공정 동안에 캐비티를 채워나간 용융수지가 차가운 금형면과 접하면서 수축을 일으켜 줄어든 수지량을 보충하여 체적수축을 보상하고 역류(Back flow)를 방지하며 게이트가 냉각되어 고화될 때까지 지속된다. 수축보상을 위해

캐비티 내로 밀어넣는 수지의 양은 종류에 따라 다르지만 최대 15%에 이르며<sup>(11,12)</sup> 충전공정 직후에 가해지는 일반적인 프로파일이 Fig. 4에 보여진다.

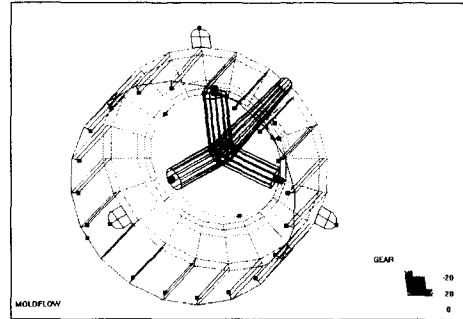


Fig. 3 Position of air trap

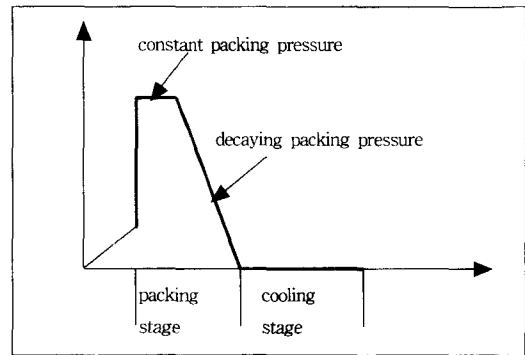


Fig. 4 General packing profile

보압 공정을 세분화하면 압축공정과 냉각공정까지 포함되며 이는 일정압력 하에서 지속적으로 유지될 수도 있으나 게이트가 고화 된 이후에는 아무리 압력을 가하여도 전달이 되지 않으므로 게이트가 고화 될 때까지만 압력이 가해지고 그 이후에는 냉각만 지속되는 것이 좋다. 게이트가 고화되기 전에도 두 종류의 압력 프로파일이 주어질 수 있는데 일정압력이 계속 지속되거나 일정시간 동안 동안 일정압력을 지속한 후에 서서히 감소시킬 수 있는 압력 프로파일을 구성할 수 있다.

보압 프로파일을 구성하는 보압과 보압 시간의 결정은 우선 보압시간을 결정하고 그 이후 보압의 크기 변화를 관찰함이 바람직하다. Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 게이트의 노드(#148)가 100% 고화하는 시간을 보압시간으로 결정하면 대략 18초 정

도로 이 이상 보압을 지속시키는 것은 별 의미가 없다. 본 연구에서는 18초를 두 영역으로 나누어 8초간은 일정 보압이 작용되는 영역, 나머지 8초 동안은 보압이 감소하는 영역으로 구성한다. 한편 게이트가 고화된 후에도 성형품의 취출이 가능한 취출온도까지 성형품의 온도가 떨어지도록 보압시간이 지속되어야하므로 게이트 고화 후의 지속시간은 캐비티의 가장 안 쪽 노드(#124)의 평균온도를 Fig. 6에서와 같이 검토하여 게이트 고화 후 보압시간을 40초로 하였다.

보압(MPa)은 사출성형기가 견딜 수 있는 최대 형체력으로 수치 특성에 따른 범위 내에서는 일반적으로 어떠한 값이라도 적용 가능하므로 먼저 사출성형기에 걸리는 형체력(Ton)과 성형품의 투영면적(cm<sup>2</sup>)을 근거로 아래의 식을 이용하여 최대 보압을 결정할 수 있다.

$$P_{clamping} = K\alpha \frac{\text{clamping force (MPa)}}{\text{projected area}} \quad (1)$$

여기서 K는 단위환산과 관련한 상수로 100을 가지며, α는 성형재료에 따라 최대 형체력의 몇%까지 보압을 줄 것인지에 따라 대략 0.5에서 1사이의 값을 가진다. 본 연구에서 적용될 보압은 사용될 사출성형기의 형체력이 최대 100Ton, 성형품의 투영면적이 28cm<sup>2</sup>이고 α를 0.5로 할 때 적용될 수 있는 최대 보압은 178MPa 까지 가능하다. 이는 성형기에서 줄 수 있는 최대 보압이며 적용 보압은 성형품에 과부압이 걸리지 않고 잔류응력도 발생되지 않게 보압을 적용해야 하나, 본 연구에서는 과부압이나 잔류응력을 조사할 변형 해석이 이루어지지 않아 나일론 66의 경우 실제 적용되는 최대 보압이 950kg/cm<sup>2</sup> 정도로 제한되어 있으므로<sup>(13)</sup> Table 3에서와 같이 충전 후 압력인 13MPa 보다 큰 25MPa에서 100MPa 까지 25MPa씩 증가시키면서 보압 크기의 효과를 관찰하였다.

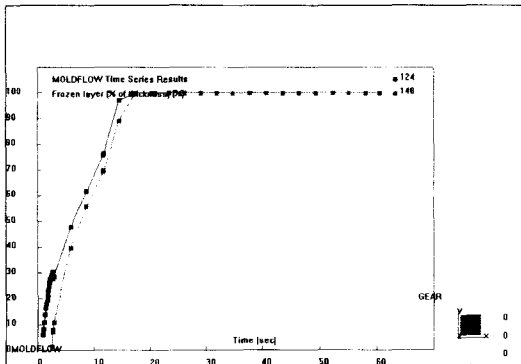


Fig. 5 Percentage of frozen layer thickness at the gate (node #148)

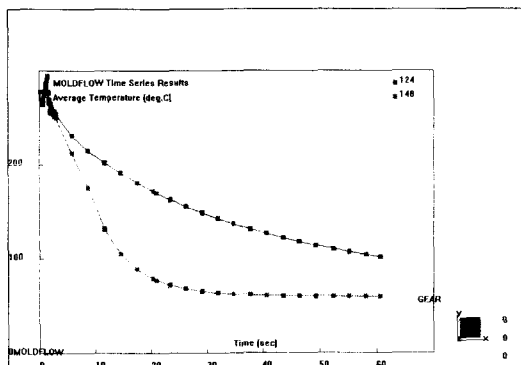


Fig. 6 Average temperature of molded part at far distance from gate (node #124)

Table 3 Packing profile with constant and decaying packing region

#	Holding pres. (MPa)	Holding time(sec)		
		constant	decaying	post holding
1	25	9	9	40
2	50			
3	75			
4	100			

Fig. 7은 Table 3에서와 같은 압력 프로파일을 적용했을 때의 일반적인 체적수축률의 결과가 보여 지는데 게이트 부근에서 최소 값이 두께가 두꺼우 지형의 산 부분에서 최고 값이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8은 보압 크기에 따른 성형품의 체적수축률의 변화를 보여주는데 최대, 최소 및 평균 값을 나타내었다. 보압이 증가함에 따라 체적수축률은 단조 감소 현상을 보여주며 보압에 반비례 관계임을 알 수 있다.

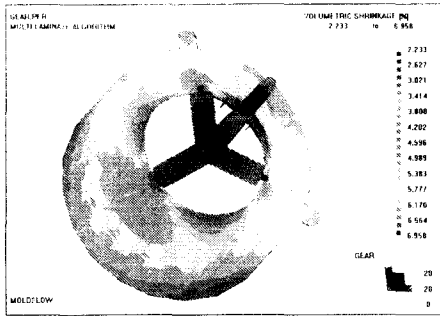


Fig. 7 Volumetric shrinkage of engineering plastic gear under decaying pressure

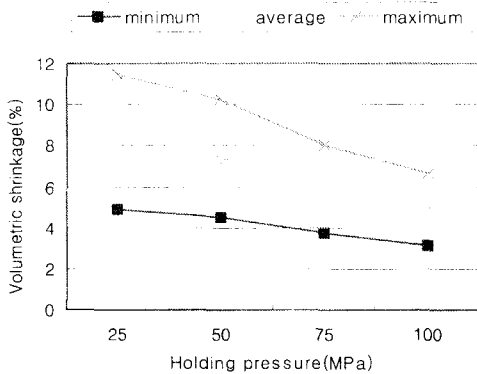


Fig. 8 Volumetric shrinkage of molded part according to the increase of holding pressure

하지만 최대 보압은 사출성형기의 최대 형체력의 범위 내에서 성형품에 과부압이 걸리지않고 잔류응력도 발생하지 않는 보압이 적정하며<sup>(14)</sup> 이의 확인은 응력 및 변형 해석을 통해서 가능하나 본 연구에서는 잔류응력에 따른 변형이나 비틀림의 효과를 고려하지 않고, 동일한 보압시간 하에서 단지 보압만 변화시켜 성형품의 체적수축률에 끼치는 영향을 확인하였다. 이러한 기초결과를 바탕으로 향후 연구에서는 보압시간 및 보압의 크기를 비선형 효과까지 고려할 수 있는 3 수준 이상으로 조합하여 그 효과를 연구하기로 한다.

### 3.3 냉각공정 해석

냉각공정은 보압공정과 맞물려 진행이 되며 냉

각해석에 영향을 끼칠 수 있는 인자는 냉각관의 형상, 길이, 배치도, 냉각수량 및 금형의 재질 등 여러 가지가 있으나<sup>(15)</sup> 본 연구에서와 같이 실제 사용되는 복잡한 형상의 성형품을 대상으로 위 인자들의 효과를 규명하기에는 다소 어려움이 있어 현 단계에서는 금형제작 업체에서 경험적으로 사용하는 냉각관을 Fig. 9에 보여진바와 같이 인터널 기어부가 위치한 안쪽에 설치하였으며 관의 직경은 8mm이고 캐비티 표면까지의 거리는 10mm 이다.

냉각공정이 해석되면 Fig. 10에 보여주는 바와 같이 성형품의 상하 평균온도차를 분석할 수 있는데 이 값은 냉각공정의 성능을 대변해주는 인자로 고려될 수 있다. 즉 정밀한 성형품 일수록 온도차에 따른 비틀림을 줄이기 위해 상하 평균온도차가 작아야 하며 향후 엔지니어링 플라스틱 기어가 자동차 기능부품으로 사용되기 위한 성능지수로 성형품의 상하 평균온도차가 정해지면 제품생산에 매우 유익하리라 판단된다. 예를들어 CD(Compact disk) 플레이트를 사출성형품으로 생산하기 위해서는 성형품의 상하 평균온도차가 0.1 °C 내에서 조절되어야 한다는 성능지수 값의 결정이 정밀성형품의 사출에서는 필수적이라고 사료된다.<sup>(16)</sup>

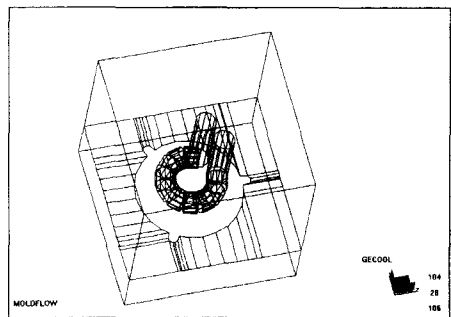


Fig. 9 Diagram of cooling channel

하지만 본 연구에서 보여준 엔지니어링 플라스틱 기어 성형품의 상하 평균온도차는 -8.7 °C에서 5.6 °C까지로 매우 크게 나타나며 최적의 상하 평균온도차 범위를 정하기 위해서는 냉각회로 및 공정의 최적화 후에 시사출을 통하여 성형된 시제품에 대한 변형량 측정을 통하여 규명되어야 하나 본 연구에서는 상하 평균온도차가 제품성능 평가를 위한 기준이 될 수 있다는 아이디어를 제공하는 것으로 한정한다.

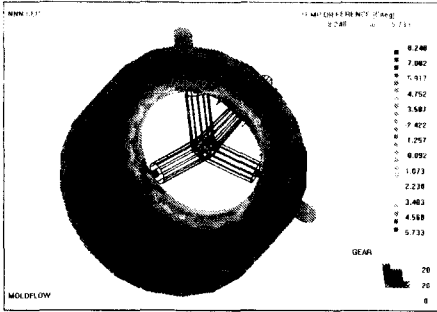


Fig. 10 Temperature difference of gear between up and bottom sides

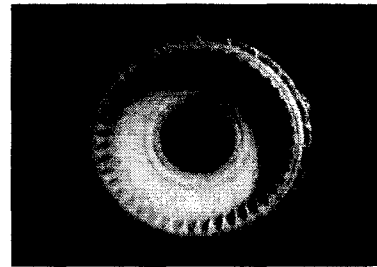


Fig. 12 Gear molded by engineering plastic

#### 4. 시작금형 제작 및 시제품 생산

앞서 해석된 결과와 현장 기술자의 경험을 토대로 시작금형이 제작되었으며, 캐비티 및 코어부는 주로 CNC 밀링 머신으로 가공되었고 인서트, 리브 등은 밀링 가공이 곤란하여 방전가공기로 가공하였다. 특히 엔지니어링 플라스틱 수지의 특징인 유기 가스 발생에 따른 강제적인 가스 빼기 기구를 금형에 설치해야 하는데 성형해석의 결과로부터 예측된 에어트랩의 위치를 참조하여 지정하였고 Fig. 11에 가공된 시작금형의 캐비티와 코어부의 사진이 보여진다.

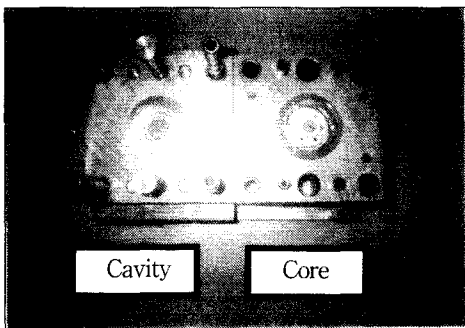


Fig. 11 Cavity and core parts of a mold

시작금형을 통하여 성형된 시제품이 Fig. 12에 보여지는데 사용된 시사출기는 형체력이 100톤, 사출속도와 보압이 4단까지 제어 가능한 사출성형기(동신유압(주))가 사용되었다.

#### 5. 결론

기존 금속이나 비철금속(알루미늄, 마그네슘 등)으로 제조되어 사용되던 기어를 엔지니어링 플라스틱을 이용한 사출성형공정을 통해 제조할 수 있는 기본적인 연구를 사출성형해석 CAE 툴인 Moldflow를 사용하여 수행하였으며 다음의 결론을 얻었다.

(1) 충전공정 해석에서는 충전시간이 짧으면 사출속도 증가에 따른 전단응력이 사용 수지의 한계 전단응력에 근접하고, 시간이 길면 벽면에서의 수지 고화를 증대로 유동저항이 증가하므로 적용된 1.5, 2.5 및 3.5초 중에 3.5초를 적정 값으로 정하였다. 이때 용융 수지온도 및 금형온도 등은 사용된 나일론 66 수지에 대한 물성으로부터 추천된 280℃ 및 60℃ 가 적용되었다.

(2) 보압공정 해석에서 보압시간은 게이트의 100% 고화 시간으로부터 18초임을 알았고, 압력 프로파일에 적용 시 처음 9초간은 일정 보압 영역, 나머지 9초간은 보압이 감소하는 영역으로 구성하였다. 게이트 고화 후 보압시간은 캐비티에서 가장 멀리 떨어진 곳의 평균온도가 취출온도(95℃)가 되는 40초를 정하였다.

(3) 보압공정 해석에서 보압은 충전 후 압력인 13MPa 보다 큰 25 - 100MPa 까지 25MPa씩 증가시키면서 효과를 관찰하였는데 보압이 증가할수록 체적수축률의 평균 값이 8.18%에서 4.88%까지 단조 감소함을 알았다. 하지만 적정 보압은 사출성형기의 최대 형체력의 범위 내에서 성형품에 과부압과 잔류응력을 발생시키지 않는 보압이 적정하며 이의

확인은 성형품의 응력 및 변형 해석을 통해서 가능하다. 본 연구에서는 잔류응력에 따른 변형이나 비틀림의 효과를 고려하지 않아 한계 값을 지정할 수 없었다.

(4) 냉각공정 해석에서는 관련인자의 영향은 정량화하지 않았으나 냉각공정 해석 후 성형품의 상하 평균온도차가 냉각관 구성이나 공정의 최적화를 위하여 특성치로 사용될 수 있음을 제안하였다.

(5) 시작금형의 제작을 통하여 엔지니어링 플라스틱 기어의 시제품을 얻었다.

향후 실험계획법에 의한 공정조건의 조합을 이용하여 품질인자로 규정할 수 있는 특성치를 최소화나 최대화 시켜 최적성형조건을 구할 수 있는 연구가 수행되어야 한다.

### 참고문헌

1. 신동명, "자동차재료," 형설출판사, pp. 13-14, 1996.
2. 신보선 외, "자동차 엔진 폴리 성형공정 설계에 관한 연구," 한국정밀공학회, '97 춘계학술대회논문집, pp. 630-634, 1997.
3. 유병열외, "최신사출성형기술," 성안당, pp. 205-210, 1990.
4. 조용무, "사출성형이론," 일진사, pp. 256-275, 1993.
5. 김근형 외, "플라스틱 이론과 응용," 문운당, pp. 273-282, 1997.
6. 홍명웅, "사출성형기술 I," 기전연구소, pp. 176-182, 1990.
7. Seow, L. W. and Lam, Y. C., "Optimizing flow in plastic injection molding," J. of Materials Processing Technology, Vol. 72, pp. 333-341, 1997.
8. Chiu, C. P., Shih, M. C., and Wei, J. H., "Dynamic modeling of the mold filling process in an injection molding machine," Polymer Engineering and Science, Vol. 31, No. 19, pp. 1417-1425, 1991.
9. Min, B.H., "An analysis of shrinkage of injection molded parts based on the GMDH algorithm," J. of Injection Molding Technology, Vol. 1, No. 4, pp. 204-211, 1997.
10. Menges, G. and Mohren, P., "How to make injection molds," 2nd ed, Hansher Publishers, pp.147-151, 1993.
11. Nguyen, K. T. and Kamal, M. R., "Analysis of the packing stage of a viscoelastic melt," Polymer Engineering and Science, Vol. 33, No. 11, pp. 665-674, 1993.
12. Lee, B. H. and Kim, B. H., "Automated design for the runner system of injection molds based on packing simulation," ANTEC '96, pp. 708-713, 1996.
13. 홍명웅, "사출성형기술 II," 기전연구소, pp. 87-93, 1990.
14. Souder, B., Davis J., and Bak J., "Comparison of fill-to-pack transfer methods during process/material disturbances," ANTEC '96, pp.814-820, 1996.
15. Tang, L. Q. and Pochiraju, K., "Optimal design of cooling system for injection molding," ANTEC '96, pp. 714-718, 1996.
16. Yoshida H., "금형 CAD/CAM," 성안당, pp. 240-247, 1993.