

## 금속인서트 사출성형품의 수축현상에 관한 연구

### A Study of Shrinkage Phenomena on Injection Molded Pa Metal Insert

김영수\*  
Youngsoo Kim

#### ABSTRACT

Shrinkage behavior was investigated to obtain more accurate dimension of injected molding parts for free and restricted shrinkage conditions. Various parameters for metal inserted injection process, such as thickness of resin, holding pressure and time, mold temperature and restriction condition of mold, were considered for the analysis of shrinkage phenomena.

For numerical analysis, MOLDFLOW software was used to find the deterministic parameters of filling time, temperature, pressure and holding time. Also, experimental shrinkage effects were measured through actual injection molding process and the resin thickness was under controlled as 3mm, 5mm and 7mm for the shapes of plastic gear made of Polyamide(PA) and Polyoxymethylene(POM).

The main parameters of these injection processes were found to be holding pressure, holding time and mold temperature in the case of metal inserted molding.

주요기술용어 : Holding pressure(보압), Holding time(보압시간), Shrinkage(수축) inserted(금속삽입), PA(Polyamide), POM(PolyOxyMethylene)

#### 1. 서론

최근 수요가 급증하고 있는 여러 가지 기계부품은 그 구성요소 중 회전운동을 주체로 하는 기구가 많다. 기어전동에 의한 기계부품이 일반적이며, 최근의 소형화 및 경량화 추세에 수

반하여 플라스틱에 의한 사출성형 기어의 수요도 급속히 증가하고 있다. 성형과정 중 충전과정에 있어서 금형내 수지의 유동상태에 대한 연구가 가장 활발하게 이루어져 왔다<sup>1,2)</sup>. 이것은 사출성형품의 품질이 수지충전과정의 유동상태에 크게 의존하고 있으며, 보압, 냉각, 수축 등의 해석을 위하여 충전과 정의 해석결과는 필요하다. 그러나 수지의 흐름은 비등온, 비정상적 및

\* 정회원, 부경대학교 응용기계공학과

용융수지 특유의 점탄성적 특성 때문에 대단히 복잡하다. 1970년대 초반부터 1차원 흐름에 관한 논문들이 발표되었고 이후 2차원 및 3차원 흐름에 대한 해석법도 점차 개발되어 왔다. 그 중 하나는 Austin에 의해 개발된 MOLDFLOW로써 유동, 냉각, 변형 및 응력해석을 수행하는 다양한 모듈로 구성되어 있어 제품의 품질과 생산성향상에 기여하고 있다<sup>3)</sup>. 이에 본 연구에서는 자동차 전동모터 내에 적용되고 있는 금속재 샤프트가 삽입된 성형플라스틱 기어를 실험적 연구와 해석적 연구를 통해 사출성형 조건이 수축에 미치는 영향을 규명하고자 한다<sup>4)</sup>. 실험계획으로는 샤프트의 직경에 각각 기어형상부의 살두께를 3mm, 5mm, 7mm 의 세 종류로 하고, 사출성형 조건변수도 보압과 보압시간, 금형온도의 3가지변수를 선정하였다.

본 연구는 성형 플라스틱기어의 진원도에 영향을 미치는 금속재 인서트 플라스틱의 살두께와 사출성형조건이 미치는 여러인자, 수지별 수축을 비교를 실험적 연구를 통해 규명하고, 사출해석 S/W인 MOLDFLOW에서의 해석적 연구와 비교해 보고자 한다<sup>5,6)</sup>. 전편의 연구는 종래의 헬리컬 기어인서트 성형품에 대한 사출성형 조건변수 즉, 사출압과 보압, 수지온도, 사출물에 관해 실험적 연구를 수행하였으며 그 결과 사출압과 보압이 수축율에 대해 가장 큰 영향을 미치는 것을 고찰하였으며, 향후 연구과제로 제시된 금형온도와 살두께 그리고 수지별 수축율을 본 연구에서 실험을 통해 결과를 얻었으며, 이는 금형의 중요한 기초자료로서 이용될 수 있을 것이라고 사료된다.

## 2. 본론

### 2.1 사출성형 공정조건

사출성형조건변수의 각 인자들은 제품 품질에 미치는 영향이 크기 때문에 성형실험과 성형해석시 이들의 설정을 신중히 고려해야 하며, 특히 해석결과의 분석으로 실제 양산

공정에 맞는 조건의 설정이 중요한 열쇠이다. 사출성형은 주로 시간, 압력 및 온도요소와 관련이 깊기 때문에 특히 여기선 보압과 보압시간, 금형온도에 관한 사항에 대해서 검토해본다. Fig 1,2는 금형온도가 저온 또는 고온일 때의 보압조건 결정을 잘 나타내고 있다. 보압시간이 게이트 응고시간보다 짧으면 캐비티 내의 높은 압력을 지닌 수지가 아직 응고되지 않은 게이트를 통해 역류하게 되므로 캐비티 내의 재료부족으로 인하여 수축이 증가하게 된다. 반면 보압시간이 게이트 응고시간보다 충분히 길면 캐비티 내의 고압수지가 게이트로 역류하지 않기 때문에 재료의 결손이 생기지 않아 수축이 작게 된다. 보압조건은 제품형상을 기본으로 게이트의 단면적, 금형온도, 게이트와 제품 각부 거리에 따라서 결정된다.

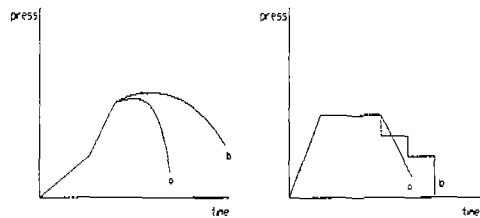


Fig. 1 Holding pressure profile      Fig.2 Control of holding pressure

### 2.2 자유수축과 구속수축

금형에 충전된 재료가 냉각에 수반하여 고화할 때 성형품에는 금형구조에 의해서 성형수축이 구속되는 구속수축 부분이 있다. 위 그림은 자유수축과 구속수축을 모형적으로 나타낸 것이며, Fig. 1의 (a)와 같은 원판 형태의 성형품에서는 화살표로 나타내듯이 직경 D0에 대해서는 반경방향으로, 또 두께 방향(상하)으로 자유로이 수축할 수 있다. 이와 같은 성형수축을 자유수축이라 부르며 성형 수축률은 일반적으로 크게 나타난다. 이에 대해서 Fig. 1의 (b)와 같은 링 형태의 성형

폼에서 내경 D1는 코어핀에 의해 수축을 방해받  
아(구속되어) 자유로이 수축이 안되기 때문에 소  
위 구속수축이 된다.

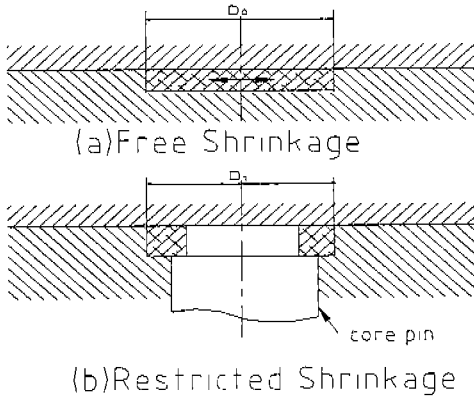


Fig.3 Free shrinkage and Restricted shrinkage

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치 및 실험<sup>7)</sup>

본 실험에 사용된 실험장치는 사출용량 3.3oz, 결합력 75ton, 스크류 직경 36mm, 사출압력 1400kgf/cm<sup>2</sup>, 형체스트로크 270mm인 직압식 사출성형기 (IDE 75EN)를 사용하였고, 금형의 형판재질은 SM 55C, 캐비티형상은 지름 25.5mm×길이 15mm의 기어형상으로 스크로크 길이는 70mm이다. 원래의 금형내의 코어부 형상은 헬리컬 기어형상이었고 샤프트 10mm인 금속재 인서트형상 이었다. 본 실험에 사용된 금형은 Fig. 3에 나타내었다. 코어부의 헬리컬 기어형상에서 나사산을 제거, 직경 25.5mm에서 직경 16mm, 20mm, 24mm의 원통형 기어형상으로 수정하였고, 코어재질은 베릴륨동에서 일반강으로 가공하여, 조건변수인 샤프트 직경 금속재 인서트 성형품의 플라스틱 성형부만 남겨 각각의 살두께와 수축율에 대해 실험하였다. 성형수축률에 미치는 조건변수를 보압과 보압시간, 금형온도를 각각 3가지씩 나누어 나머지 조건 변수인 수지온도, 사출압력, 사출률, 사출시간, 냉각시간은 일정하게 하여

성형 실험하였다.

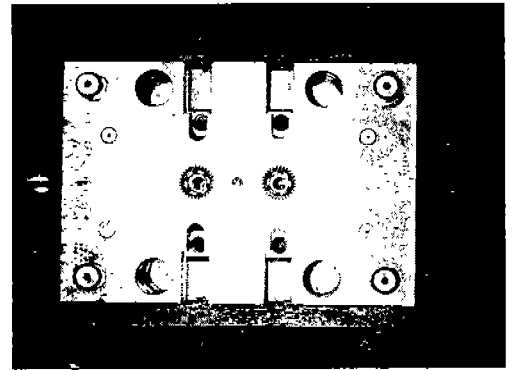


Fig. 4 Bottom Plate of mold

#### 3.2 실험조건 및 재료물성

본 실험에서는 나일론(PA 6)과 아세탈(POM)의 실험조건을 동일하게 하여 실험하였다. 단 여기서의 사출시간 5초는 보압시간 2초를 포함한 시간이며, ☆표는 해석시 실험조건과 동일하게 준 값이다.

Table 1 Injection conditions

| Conditions \ Resin  | PA 6         | POM          |
|---------------------|--------------|--------------|
| ☆Injection Pressure | 60%          | 60%          |
| ☆Hold Pressure      | 40, 50, 60%  | 40, 50, 60%  |
| ☆Injection time     | 5sec         | 5sec         |
| ☆Holding time       | 2sec         | 2sec         |
| Thickness           | 3, 5, 7 mm   | 3, 5, 7 mm   |
| ☆Mold temperature   | 60, 80, 100℃ | 60, 80, 100℃ |
| Melt temperature    | 260℃         | 210℃         |

본 실험에서 사용한 금형은 2개의 캐비티를 가진 2개취 3매구성 금형이다<sup>8)</sup>. 금형구조의 특징은 사이드 코어가 양쪽에서 로킹블록(locking block)으로 샤프트의 동심도를 맞추도록 설계되어 있다. 그리고 실험에 적용한 성형품은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 직경은 16mm, 20mm, 24mm씩 세가지이고, 길이는10mm이다.

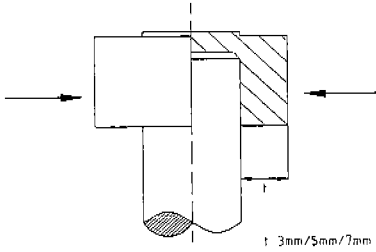


Fig. 5 Sample part

Table 2 Properties of PA 6 and POM resin<sup>9)</sup>

| Properties       | Unit | PA 6         | POM      |
|------------------|------|--------------|----------|
| Bending strength | MPa  | 102          | 7.1~35.7 |
| Shrinkage        | %    | 1.0~1.6      | 1.8~2.1  |
| Elongation       | %    | 140<br>(170) | 70       |
| Tensile strength | MPa  | 76.5         | 63.8     |

### 3.3 실험결과

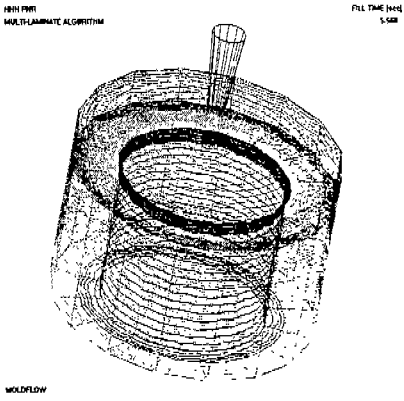
본 실험에서는 사출압력, 사출율, 사출시간, 수지온도를 일정하게 하고 각각 보압과 보압시간 그리고 금형온도를 3변수로 하여 수축율의 변화에 관해 실험하였다. 실험에 사용한 사출성형기는 전자동비례제어방식에 의해 압력 및 속도를 제어하며 성형기 스크류 선단에 걸리는 최대압력 1.43MPa를 100%로 했을 때 보압시간은 0, 1, 2초로 하고 보압을 40%에서 50%, 60% 세 단계로 증가시켜 각각의 성형품 살두께 3mm, 5mm, 7mm에 대해서 수축율을 관찰하였다. 그리고 PA 6와 POM에 대해서도 비교, 검토하여 다음과 같은 실험결과에 대해 고찰하였다. 이것은 예상한 대로 금속샤프트 인서트의 살두께가 가장 작은 3mm는 거의 수축율이 0.7%내외를 보여 살두께가 샤프트에 의해 수축방해를 받은 것으로 보여진다. 본 실험에서의 보압과 보압시간은 수축률에 크게 영향을 미치지 않았다<sup>10)</sup>.

### 4. 해석환경

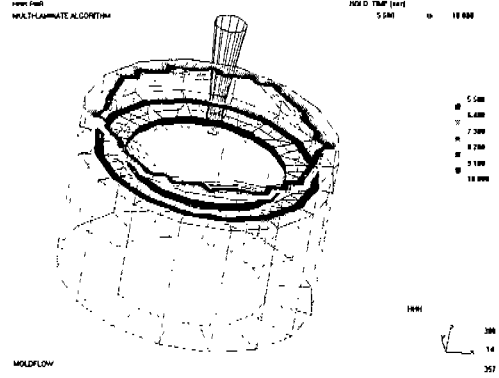
사출성형의 CAE 소프트웨어가 많이 시판되고 있고 실제 공정에도 이용되고 있다. 사출성형의 CAE는 주요 공정의 충전, 보압, 냉각과정에 대응시켜 Fig. 6와 같이 계산하고 있다. 해석은 유동해석과 보압해석 그리고 냉각해석을 순차적으로 수행하여 유동상태와 수축율을 과학적으로 정량화하는 한편, 해석상의 표면 유동상태를 봄으로써 실험치와의 비교를 수행하였다. 유동해석에 대한 알고리즘은 다층유동이며, mesh의 크기를 40으로 잘게 잡았으며, 해석상에서의 냉각시간은 자동으로 설정하였다. 실험과 동일한 성형조건을 적용하였으며, 수지온도는 각각의 재료에 맞는 grade와 온도가 없어서 data를 만들어 작업하였고, 일반수치해석프로그램과 다른 경계조건이라는 의미는 여기선 사출점 (Injection node)을 의미한다. 사출점 즉 게이트의 크기와 형상에 따라서 바뀌며, 위치에 따라서도 크게 바뀐다. 한편 플라스틱 전용해석 프로그램인 MOLDFLOW내에서 물성치를 줄 때 실험조건변수 즉 사출압력, 보압, 금형온도, 사출시간 등은 실험물성값과 동일하며 그 외에 열적 물성은 본 수지 grade에 맞는 data가 없어 별도의 personal data를 만들어 다음과 같이 적용하였다.

Table 3 Personal resin data from experiments

|                      | PA 6           | POM            |
|----------------------|----------------|----------------|
| Specific Heat        | 3728 J/kg/degC | 2413 J/kg/degC |
| Melt Density         | 931.79 kg/cu.m | 1145.9 kg/cu.m |
| Ejection Temperature | 175 deg.C      | 135 deg.C      |

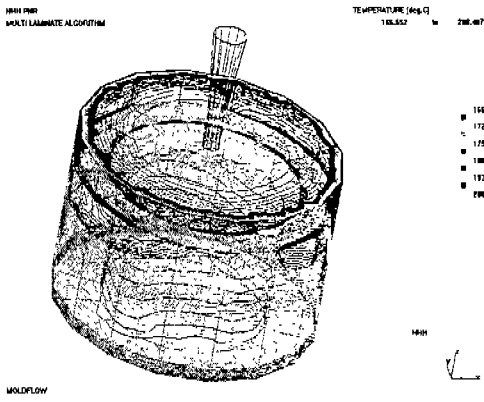


가. Fill time

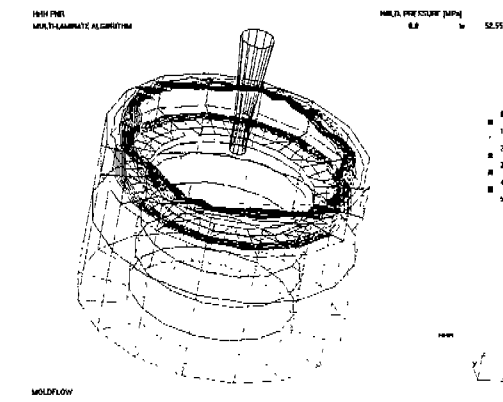


라. Holding time

Fig. 6 Analytical results



나. Temperature



다. Injection pressure

## 5. 고찰

### 5.1 실험 및 해석결과 비교

본 연구의 실험에서 본 성형품에 대해 최적 살두께와 조건을 찾아 해석 데이터와 함께 수축거동에 대해 규명하였다.

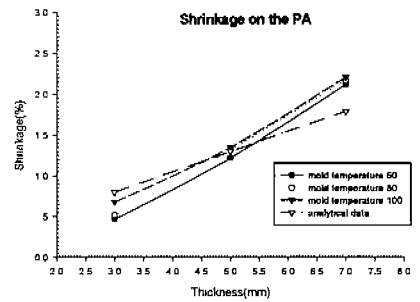


Fig. 7 Relation between shrinkage and mold temperature on the thickness

살두께가 증가함에 따라 최소 0.5%, 최대 2.25%의 수축율을 나타내었다. 또 실험데이터와 해석 데이터의 수축율 편차가 적어 실험데이터와

잘 일치함을 볼 수 있다. 살두께에 따른 모든 성형품에 대해서는 보압은 50%에서 60%까지 가 크게 나타났으며, 보압시간은 2초일 때 약간 크게 나타났고 금형온도는 60°C~80°C일때가 100°C 일때보다 큰 수축율을 나타내었다. PA수지 재료는 금형온도가 60°C에서 80°C사이가 최적 온도다 사료된다. PA수지에 대한 해석입력 데이터는 금형온도 80°C, 사출압력 60%, 보압 50%, 사출시간 5초일 때 산정한 수축율이다. 각 살두께와 수축율의 차이는 근소하게 나타났으며, 금형온도에 대해서는 살두께가 5mm에서 금형온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 살두께 5mm에서의 보압력에 의한 수축율이 크게 나타났다. 특히 폴리아세탈수지에 대해서는 해석데이터가 실험데이터보다 크게 나타났으며 7mm에 대해서는 약 2배이상 크게 나타남을 볼 수 있었다. 하지만 폴리아세탈 수지는 수지재료자체의 물성(수분흡습량)이 실험에서 약간의 오차발생의 원인이 될 수 있어서 실험과 해석결과에 대한 정확성이 약간 떨어지는 것을 두께 5mm이상부터 볼 수 있다.

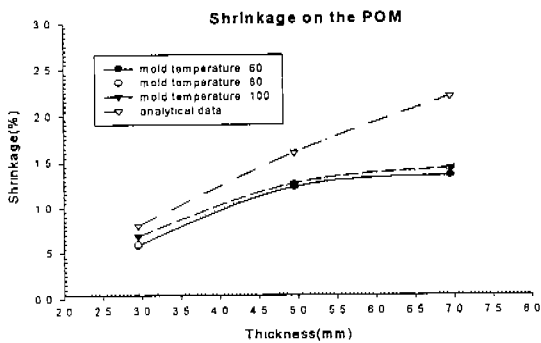


Fig. 8 Relation between shrinkage and mold temperature on the thickness

## 5.2 자유 및 구속수축과의 관계<sup>11,12)</sup>

자유수축부분까지의 금형온도변화는 구속수축

부분과 별 차이를 보이지 않았고, 살두께 3mm에서 7 mm이내에서 자유수축부분이 구속수축부분에 비해 수축율 약 1.5배 정도 크게 나타났다. 그리고 살 두께 13mm에 대해서는 더 이상 증가하는 경향은 보이지 않았다.

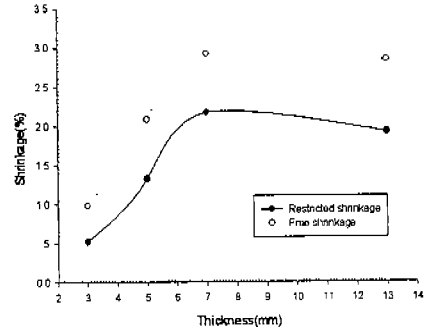


Fig. 7 Relation between free shrinkage and restricted shrinkage on the PA

폴리아세탈 수지에 대해서는 금속재 샤프트가 삽입되지 않은 성형품(자유수축부분)과 금속재 샤프트가 삽입된 성형품(구속수축부분)과는 성형 조건에 따라 좋은 대비를 보여주고 있다. 그리고 살두께 3mm에서 13mm까지 증가하는 특이한 경향을 나타내었다. 특히 살두께 13mm에 대해서는 PA수지 보다 3배정도 더 크게 나타났다.

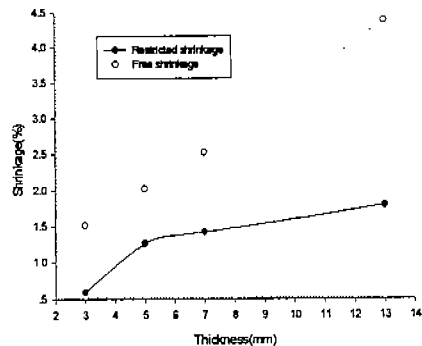


Fig. 9 Relation between free shrinkage and restricted shrinkage on the POM

### 5.3 수지재료에 따른 비교

수지재료별 살두께에 따른 변화에서 PA와 POM은 5mm에서부터 명확한 차이를 보였고, 보압 40 %, 금형온도 60℃, 보압시간 1초로 일정한 상태에서 비교 고찰한 것이다. 평균적으로 POM 수지가 다소 수축율이 크게 나타났다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 폴리아세탈과 폴리아미드 수지를 대상으로 하여 금속재 샤프트를 사출성형조건 변수와 살두께를 변수로 하여 수축에 미치는 영향을 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 폴리아미드에 대해서 살두께가 증가함에 따라 수축을 편차 2.2%의 비교적 높은 수축율을 나타내었다. 특히 살두께 10mm이상에 대하여서는 수치해석결과의 오차가 커짐을 알 수 있다.

또 실험결과와 해석결과를 비교해 볼 때 수축율 편차가 작은 것은 물론 서로 잘 일치함을 볼 수 있다. 폴리아세탈 수지에 대해서는 살두께 3mm에서 13mm까지 수축율이 계속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 수지재료별 살두께에 따른 변화는 평균적으로 POM수지가 PA수지보다 다소 수축율이 크게 나타났다.

## 후 기

본 실험에 사용된 금형을 제공해 주신 (주)우진정밀께 감사의 뜻을 포함합니다.

## 참 고 문 헌

1. 김현필, 김용조, "게이트 위치 결정을 위한 사출성형 유동해석", 추계학술대회 논문집(II), pp.786-790, 1998.
2. 차재우, "CAE를 활용한 사출 성형품의 해석", 연세대학교, 1995.

3. Colin Austin, "Shrinkage Data in Moldflow's CAE Analysis", Moldflow Pty. Ltd., pp.196-220, 1992.
4. Sherbelis. G. and Friedl. C., "The Importance of Low Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation", SPE ANTEC Technical papers, pp. 954-957, 1994.
5. Moldflow Pty. Ltd, "Moldflow Training Manual", Release 9.1, pp. 168-174, 1996.
6. Peter Kennedy, "Flow Analysis Reference Manual", Moldflow Pty. Ltd., pp.142-167, 1993.
7. Menges and Mohren, "How to make Injection Molds", Hanser, pp. 93-98, 1993.
8. R.G.W. Pye "Injection molding design" fourth edition Longman scientific & technical pp. 135-146, 1995.
9. "엔지니어링 플라스틱 재료총람", (주)럭키엘라이드 시그널, pp. 124-125, 1994.
10. John D. Ferry, "VISCOELASTIC PROPERTIES OF POLYMERS", JOHN WILEY & SONS INC, pp. 264-320, 1980.
11. Coyle, D.J., Blake, J.W. and Macosko, C.W., "The Kinematics of Fountain flow in Mold-Filling", Alche J., Vol. 33, No. 7, pp.1168-1177, 1987.
12. 서영수, "플라스틱의 사출과 압출", 제2편 사출성형, P.127, 1994.