

금속인서트 사출성형품의 수축현상에 관한 연구

Research of Shrinkage Phenomenon on Metal Insert Injection Molded Parts

정영득 · 김영수 · 김인관 · 정효천

Y. D. Jeong, Y. S. Kim, I. K. Kim and H. C. Jung

Key words : Injection Pressure(사출압력), Holding Pressure(보압), Injection Rate(사출율), Melt Temperature(용융수지온도), POM(Poly Oxy Methylene), Free Shrinkage(자유수축), Restricted Shrinkage(구속수축)

Abstract : Engineering plastics have been magnified its usability due to its outstanding mechanical, electrical and chemical properties, for example, in the area of computer, electricity, electronics, automobile, camera industry. In recent, automobile speedometer system is changing from manual operation to motor operation. All plastic gears inserted by metal shaft are used in motor operated speedometer system. Therefore, in this research, experimental investigation of the shrinkage phenomenon was executed according to various inserted depth and injection conditions. In experiments, the inserted depth was controlled as 30% and 90% of the total thickness of the plastic gear. The main parameters of injection process were selected as injection pressure, holding pressure, melt temperature, injection rate. As main results, free shrinkage rate of the test part is increased about 4 times to restricted shrinkage rate and shrinkage phenomenon against all injection conditions have a trivial effect on the test parts as conventional parts.

1. 서 론

최근 자동차는 안정성, 주행성, 쾌적성, 편의성 등을 개량하기 위해 운전자가 손수 작동하는 방식에서 전동모터 조작방식으로 변하고 있다. 자동차용 전동모터 내에 적용되고 있는 대부분의 기어는 금속재 샤프트(metal shaft)가 삽입된 성형 플라스틱 기어를 사용하고 있다. 금속재 샤프트가 삽입된 성형 플라스틱 기어는 부품형상에 따라 금속 샤프트가 치형 형상부에 전체적으로 삽입되거나 부분적으로 삽입되는 경우가 있다. 플라스틱 기어 부위가 용융 상태에서 냉각 고화될 때 중심부에 금속 샤프트가 삽입되어 있으면 소위 구속수축¹⁾이 일어남으로서 치형부의 원통도 등의 정밀도에 영향을 미친다. 사출성형조건이 성형품의 수축에 미치는 영

향에 관한 연구는 그 중요성 때문에 오래 전부터 많은 연구가 진행되어 왔다. Wang²⁾ 등은 사출속도 용융수지온도 및 보압의 크기에 따른 성형품의 중량과 수축에 대하여 연구하였으며, Cox³⁾ 등은 단지 충전시간에 따른 성형품의 외관, 인장성질, 수축 및 중량의 거동을 실험적으로 고찰하였으나 구속수축에 관한 연구는 아직까지 그 필요성에 비해 활성화되지 못하고 있다.

본 연구는 성형 플라스틱기어의 수축에 의한 원통도에 금속샤프트의 삽입길이와 사출성형조건이 미치는 영향을 POM수지를 대상으로 실험적 연구를 통해 규명하고자 한다. 실험계획으로는 샤프트의 삽입길이를 기어 성형부의 90% 깊이와 30% 깊이의 두 종류로 하고, 사출성형조건변수로는 사출압력, 보압, 수지온도 및 사출율의 4개 변수를 선정하였다. 본 연구의 결과는 플라스틱 기어의 제품설계, 금형설계 및 사출성형작업에 기초자료로서 활용될 것이며, 본 연구에서 취급하지 못한 금형온도가 구속 수축에 미치는 영향은 향후 연구과제라고 사료된다.

접수일 : 1998년 5월 22일

정영득 : 부경대학교 기계·자동차공학부

김영수 : 부경대학교 냉동공학과

김인관, 정효천 : 부경대학교 대학원

2. 본 론

2.1 성형수축

2.1.1 수축의 발생 원인

성형품을 금형에서 취출하여 실온까지 냉각하면 수축하는데, 일반적으로 이형 후 24시간 이내에 일어나는 수축을 성형수축(1차 수축), 그 후에 일어나는 수축을 후수축(2차 수축)으로 구별하고 있다.

그러나 실제 성형 조작에 있어서 고온의 플라스틱 재료가 1차 사출압으로 금형내에 사출된 다음, 보압을 받으면서 냉각되는 과정에서도 성형수축이 진행되고 있다. 이것은 성형품을 금형에서 취출할 때의 수축에도 크게 영향을 받는다. 성형수축의 주된 발생 요인은 다음과 같다.

- 1) 고온의 플라스틱 재료가 냉각함으로써 일어나는 열적수축 : 열적수축은 각각의 성형재료가 갖고 있는 고유의 열팽창계수에 따라서 발생하는 체적변화이며 성형수축을 발생시키는 가장 중요한 요인이다. 플라스틱재료의 열팽창 혹은 열적 수축은 각 온도에 있어서의 비체적변화에 따라서 나타나는데 플라스틱은 점탄성적 성질이 뚜렷한 물질이며, 압력을 가하면 압축되기 때문에 온도와 비체적의 관계도 가해지는 압력에 따라 각각 다르다.
- 2) 결정성 수지인 경우, 용융수지가 고체상태로 상변화시 발생하는 결정화⁴⁾에 의한 수축 : 수지의 상(phase) 변화에 따른 비체적 감소로 결정성수지는 일반적으로 비결정성 수지보다도 큰 성형수축을 나타내는데 결정화는 냉각이 완만할수록 진행되기 쉬우므로 성형시의 금형온도와 냉각시간(냉각속도)은 결정화도에 영향을 준다. 따라서 결정성 수지의 성형수축의 크기는 금형온도가 높을수록 결정화도가 높아지는 것이 보통이다.
- 3) 이형 후 성형품의 내부응력 완화에 의한 탄성 회복에 수반하여 생기는 팽창 : 플라스틱 재료는 점탄성체이므로 압축성이 있어서 금형내에 사출된 고온의 재료는 가해진 사출압력에 의해서 압축력을 받아 이것이 내부응력으로 잔류한다. 만일 가해진 압축력이 충분히 높고 재료 온도가 아직 높은 경우에는 성형품이 금형에서 취출될 때, 재료에 잔류한 내부응력이 해방되어 원래 체적으로 팽창하여, 열적수축의 일부를 상쇄시킨다.
- 4) 성형시 수지의 분자 배향⁵⁾에 의해 발생한 내부응력의 완화에 의한 수축 : 용융수지가 금

형내 유동시 유동경로내에 유동속도의 차이에 생기는 분자배향의 수지분자는 유동방향으로 당겨져 늘어나며, 냉각과정에서 배향성이 일부 완화되어 당기어 늘어진 분자가 원래의 상태로 되돌아 갈려고 하여 수축이 발생하는데 이것이 성형수축발생의 한 원인이 된다.

2.1.2 자유수축과 구속수축

금형에 충전된 재료가 냉각에 수반하여 고화할 때 성형품에는 금형구조에 의해서 성형수축이 구속되지 않는 자유수축과 구속되는 구속수축 부분이 있다.

Fig. 1는 자유수축과 구속수축을 모형적으로 나타낸 것이며, Fig. 1의 (a)와 같은 원판 형태의 성형품에서는 화살표로 나타내듯이 직경 D_0 에 대해서는 반경방향으로, 또 두께 방향으로 자유로이 수축할 수 있다. 이와 같은 성형수축을 자유수축이라 부르며 성형 수축률은 일반적으로 크게 나타난다. 이에 대해서 Fig. 1의 (b)와 같은 링 형태의 성형품에서 내경 D_1 는 코어핀 또는 성형품내의 금속샤프트 등에 의해 수축을 방해받아 자유로이 수축이 진행되지 않기 때문에 소위 구속수축이 된다. 구속수축은 자유수축에 비해 그 수축률이 작게 나타난다.

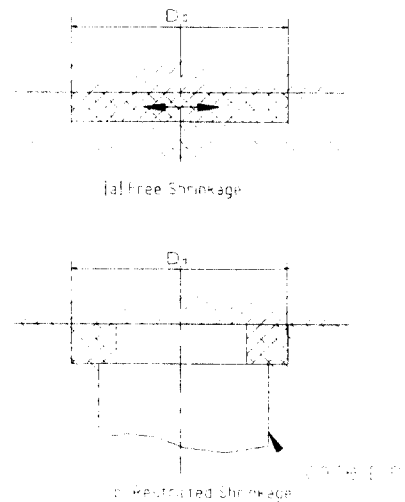


Fig. 1 Free shrinkage and restricted shrinkage

2.2 실험장치 및 실험

2.2.1 실험대상 수지

본 연구에서 대상수지로 사용한 것은 POM(Poly Oxy Methylene)수지로서 금속 스프링과 같은 강력한 탄성을 가지며 가공성이 양호하며, 내마모성이 좋아서 기어, 베어링과 같은 기계부품 등에 이

용된다.

Table 1 Properties of POM resin⁶⁾

Properties	Unit	Values
Bending strength	kPa	0.7~3.4
Dielectric constant	10 ³ Hz	182~220
Impact strength	kPa	13.7
Shrinkage	mm/mm	0.02
Elongation	%	60~75
Tensile strength	kPa	6.1

그러나 수지의 용융온도가 약 220℃ 이상 올라가면 포르말린 유독가스가 발생하며, 게이트가 균등하지 않으면 싱크마크(sink mark)가 생기기 쉬운 단점이 있다. 또한 유리섬유를 첨가하면 강성이 비보강수지에 비해 수배에 이르며 성형수축률이 거의 1/2 만큼 적어지고, 열변형온도가 높아지며 인장, 충격강도가 높아진다. Table 1은 본 연구에 적용한 POM수지로서 LG화학사의 Lucel(grade N109-LD)의 물성을 정리한 것이다.

2.2.2 실험용 금형

실험에서 사용한 금형은 2개의 캐비티를 가진 2개취 3매 구성 금형이다. 금형구조의 특징은 사이드 코어(side core)가 양쪽에서 로킹 블록(locking block)으로 샤프트의 동심도를 맞추도록 설계되어 있다. 그리고 실험에 적용한 성형품은 Fig. 2와 같이 금속재 샤프트가 삽입된 헬리컬기어 형상⁷⁾으로 직경은 25.5mm이며, 길이는 15mm이다.

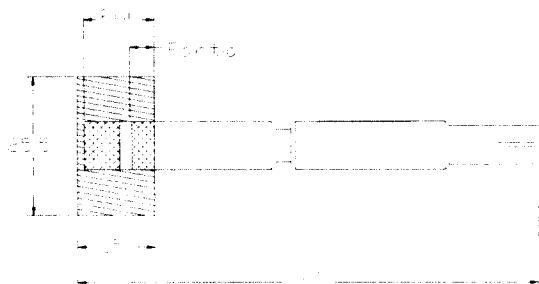


Fig. 2 Molded Part

2.2.3 실험방법

사출성형기 형체부에 장착한 금형의 작동을 원활하게 하기 위해 충분한 스트로크 및 형체 압력으로 금형을 세팅하였으며, 사용수지는 건조기 내

3시간 가열후 Table 2와 같은 성형조건 하에 성형 실험하였다. Table 2의 성형조건⁸⁾중 *표시 조건은 실험에서 고정변수로 설정한 항목을 나타내었다.

Table 2 Injection conditions

* Nozzle temperature	210℃		
Injection Pressure	6.9kPa	8.2kPa	9.6kPa
Holding Pressure	4.1kPa	5.5kPa	6.9kPa
Injection rate	31.5cm ³ /sec	37.8cm ³ /sec	42cm ³ /sec
* Mold temperature	34.5℃		
* Injection Time	4sec		
* Cooling Time	15sec		

본 실험에서 사용한 사출성형기⁹⁾¹⁰⁾는 사출용량 3.3oz, 형체력 75ton, 스크류직경 36mm, 사출압력 0.0137MPa, 형체 스트로크 270mm인 직압식 사출성형기(LG기계:IDE 75EN)를 사용하였고, 금형의 형판 재질은 SM 55C, 캐비티 형상은 Fig. 2과 같은 기어형상으로 스트로크길이는 70mm이다.

이상의 실험장치와 실험방법에 의해 사출성형된 성형품의 치수변화¹¹⁾를 관찰하기 위해서 성형품의 측정부위를 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 양쪽 단부에서 각각 2mm 내측인 A부와 B부를 설정하였으며, A부위는 자유수축량의 측정부위이며 B부위는 구속수축량의 측정부위이다.

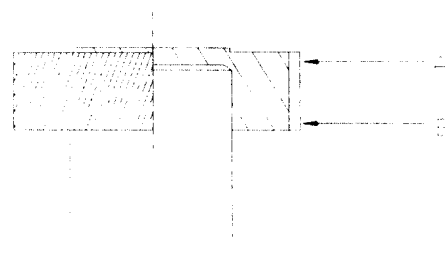


Fig. 3 Measuring part of sample

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

플라스틱 성형재료의 성형수축률은 기본적으로

성형수지의 수지특성에 따라서 결정되지만, 다음의 요인도 성형수축률의 크기와 관련이 깊다. 즉, 성형조건(사출압력, 금형온도, 보압등)과 금형설계(특히 게이트 부의 형상과 치수), 그리고 성형품의 설계(형상, 두께 등)의 요인들이 성형수축에 관련된다. 본 실험에서는 첫 번째의 실험으로, 수지 온도는 일정하게 하고, 각각의 사출압력, 사출속도, 보압에 따른 수축량의 변화에 관해 실험하였다.

실험에 사용한 사출성형기는 전자비례제어방식에 의해 압력 및 속도를 제어하며 성형기 스크류(screw)선단에 걸리는 최대 압력 13.7kPa를 100%로 했을 때 보압을 30%로 설정시켜놓고 사출율을 40%로 고정시킨 후 사출압력을 각각 50, 60, 70%로 증가시켜 실험하였다. 사출율은 63cm³/sec를 100%로 했을 때 50%, 사출압은 50%, 60%, 70%로 변화시켜 보압 70%까지 전체 삽입(Full insert)한 경우의 수축량을 실험하였다. 두 번째의 실험은 기어샤프트를 부분 삽입(Partial insert)하여 자유수축과 구속수축에 대해 실험해 보았다. 실험조건은 사출압 50%, 60%, 70%로 변화시키며, 보압은 40%, 사출율은 50%으로 고정시켜 실험하였다. 실험결과를 총괄하면 전체 삽입한 것 보다 부분 삽입한 것의 수축량이 현저히 크며 B부분 즉, 구속수축하는 부분은 전체 삽입한 것과 그다지 차이가 없다는 것을 알았다. 이것은 예상한대로 금속샤프트가 수축을 방해하고 있으므로 응고의 진행에 따른 수축의 구속을 받게 되어 수축량이 현저히 작게 나타나는 것을 알았다. 본 연구에서는 전체 인서트한 성형품과 부분 삽입한 성형품에 대해 수축에 미치는 각 인자와의 관계를 고찰하였으며, 그래프에 나타낸 바와 같이 자유수축과 구속수축은 전체 삽입한 것과 부분삽입을 구분하여 나타내었다.

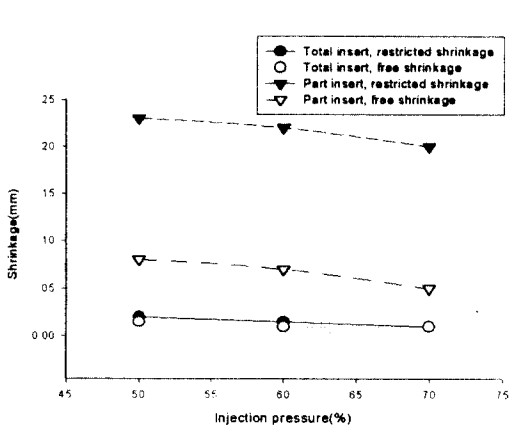


Fig. 4 Relation between injection pressure and shrinkage

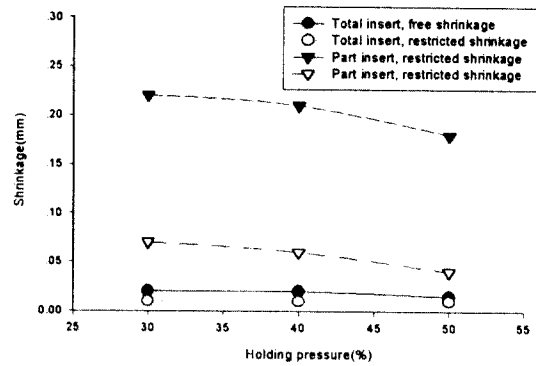


Fig. 5 Relation between holding pressure and shrinkage

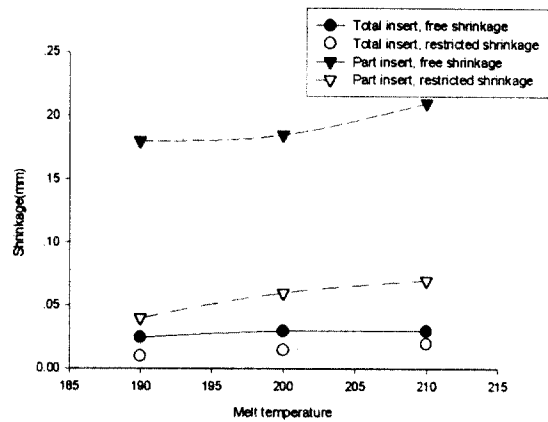


Fig. 6 Relation between melt temperature and shrinkage

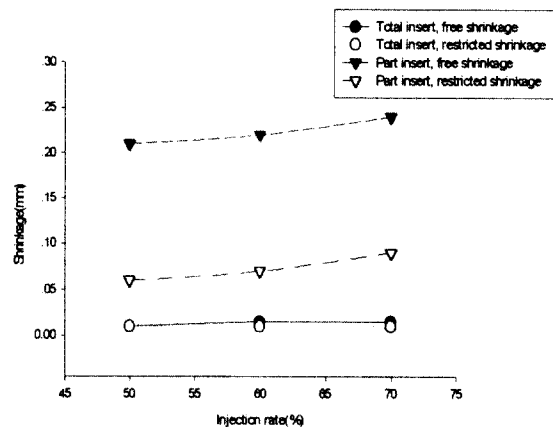


Fig. 7 Relation between injection rate and shrinkage

3.2 실험결과에 대한 고찰

3.2.1. 사출압력이 수축에 미치는 영향

전체 삽입의 경우 자유수축부위와 구속수축부위의 후수축량은 1/100~2/100mm의 차이를 나타내었으며, 사출압력에 따라 큰 변화가 없었다. 이는 금속 샤프트가 성형품의 두께의 약 90%로 삽입되어 있어 자유수축의 영향이 거의 없었기 때문이다. 부분 인서트의 경우는 자유수축부위의 수축량이 구속수축부위보다 약 20/100mm정도 크게 증가되었다. 이는 자유수축부위가 금속샤프트가 삽입되지 않아서 플라스틱 자체의 살두께가 증가되어 사출압력의 영향을 직접적으로 받아 수축량이 커진 것으로 사료된다¹²⁾.

3.2.2 보압이 수축에 미치는 영향

보압과 수축량의 관계에서 전체 삽입한 경우 보압 증가에 따라 수축량의 감소는 미소하게 나타났으며, 부분 삽입의 경우 전체 삽입보다 현저히 수축량이 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 이는 보압 과정은 사출압력의 연속과정이므로 사출압력이 수축에 미치는 영향과 동등하게 고려할 수 있기 때문이다. 또한, 자유수축과 구속수축의 경우 전체 삽입의 자유수축과 구속수축의 차는 1/100~2/100mm 정도의 극히 미소한 차이를 나타내었다.

3.2.3 용융수지 온도가 수축에 미치는 영향

용융수지 온도를 증가함에 따라 수축량이 증가함을 볼 수 있었다. 이는 용융수지 온도가 증가함에 따라 열적 수축이 증가되는 요인에 의한 것으로 사료된다. 구속수축과 자유수축에 있어서 전체 삽입인 경우 수축변화량이 미소하지만, 부분 삽입인 경우 앞서 언급한 보압, 사출압과 유사한 경향을 볼 수 있었다.

3.2.4 사출율이 수축에 미치는 영향

전체 삽입의 경우 사출율의 증가에 따라 수축량 변화는 거의 볼 수 없었고, 부분삽입의 경우 사출율의 증가에 따라 수축량의 변화는 5/100mm정도 증가함을 볼 수 있었다. 전체 사출시간이 한정된 상태에서 사출속도의 증가에 따라 보압으로의 전환이 빨리 발생하여 완전한 사출압력이 캐비티 내에 전달되지 못하여 수축량이 증가되었다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 폴리아세탈 수지를 대상수지로

하여 금속재 샤프트를 부분삽입한 경우와 전체삽입한 경우에 대해 각 성형조건이 수축에 미치는 영향을 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사출압력의 영향은 사출압력이 증가할수록 수축율이 감소하였으며, 부분삽입의 경우 자유수축부위의 수축율이 구속수축부위보다 약 0.59%만큼 크게 나타났다.
- 2) 보압력의 영향은 전체삽입 경우의 자유수축부위만 약간의 감소경향을 보였을 뿐 구속수축부위는 별 영향이 없었으며, 부분삽입의 경우에는 보압이 증가할수록 자유수축부위의 수축율이 구속수축 부위의 수축율보다 약 0.55%만큼 크게 나타났다.
- 3) 수지 온도의 영향은 전체 삽입의 경우에는 별 영향이 없었으며, 부분 삽입의 경우는 수지온도의 증가에 따라 수축율도 증가하였으며, 자유수축부위의 수축율이 구속수축부위의 수축율보다 약 0.49% 수축율이 크게 나타났다.
- 4) 사출율의 영향은 수지온도의 영향과 유사하였으며, 부분삽입의 경우는 사출속도가 증가할수록 수축율도 증가하였고, 자유수축부위의 수축율이 구속수축부위의 수축율 보다 수축율의 차이가 약 0.57%정도 크게 나타났다.
- 5) 자유수축은 구속수축에 비해 약 10배 정도의 수축율이 증가되었으며, 사출조건들의 영향은 금속재 삽입이 없는 일반 성형의 경우와 같은 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. Herbert Rees, "Mold Engineering", Hanser, pp. 103~110, 1995
2. Wang K. K. et al., "Computer Aided Design and Fabrication of Molds and Computer Controll of Injection Molding", CIMP Progress Report, No. 10, pp. 130~136, 1983
3. Cox H. W. and Mentzer C. C., "Injection Molding: The effect of fill time on Properties", Polymer. Eng. and Sci., Vol. 26. pp. 488~498, 1986
4. "Die & Mold Technology", Chomdan, pp. 144~156, 1991
5. 酒井, "プラスチック成形技術", 7卷 1号, pp. 12~18, 1990
6. "型技術", 日刊工業新聞社, pp. 138~139, 1991

7. 서영수, “플라스틱의 사출과 압출”, 제2편 사출 성형, p. 127, 1994
8. 石橋昌三, “精密エンブラ金型の製作”, 日本合成樹脂, 9号, 日本合成樹脂技術協會, 1989
9. Menges and Mohren, “How To Make Injection Molds”, Hanser, pp. 93~98, 1993
10. 中野一, “射出成形機”, (주)플라테크 컨설팅 사업부, pp. 21~22, 1994
11. 압출성형 연구회, “알기쉬운 사출·압축·압출 성형”, pp. 117~118, 1992
12. 岡小天, “레올로지 입문”, pp. 38~40, pp. 158~163, 1992