

사출압축성형시 PMMA 재료의 성형수축거동 The Behavior of Shrinkage on PMMA in Injection Molding Compression Molding

최윤식 · 한성렬 · 정영득

Y. S. Choi, S. R. Han and Y. D. Jeong

Key Words : Molding shrinkage (성형수축), pVT diagram(pVT선도), Injection compression molding (사출압축성형), PMMA(polymethylmethacrylate)

Abstract : Molding shrinkage is one of the problems to be solved in conventional injection molding. Despite many trying-out has been to solve it, intrinsic cause of shrinkage such as orientation and thermal exchange between melt and mold has not been solved yet. For reducing shrinkage and residual stress on molding, injection compression molding process was invented. In this study, experiments about effects of injection compression molding's parameters on shrinkage of PMMA molding were conducted and compared with conventional injection molding's shrinkage. Before the injection compression molding experiment, molding shrinkage rate was predicted by analyzing pVT diagram and was compared with the results of experiment. The shrinkage rate of injection compression molding was lower than convention injection molding's one which was different from the predicted shrinkage. The reason was observed that the experimental mold was not a proper type for injection compression, flowing backward of melt into nozzle and unreasonable mechanism of injection molding machine.

1. 서 론

최근에 사출압축성형기술은 CD, 렌즈, LCD의 도강판 등의 제품성형에 적용되면서 광학제품 및 박육제품의 복굴절 성능을 향상시키고 잔류응력을 최소화할 목적으로 많이 사용되고 있는 성형기술이다. 사출압축성형은 전사성 및 휨 방지, 고밀도의 성형품 성형에 유리하다.¹⁾⁹⁾ 따라서 치수정밀도를 향상시키며 일반사출성형에서는 불가능한 아주 얇은 제품의 성형에 적용되는 등의 많은 장점들을 가지고 있다. 그러나 사출압축공정은 사출성형기의 형식과 금형의 형식에 따라 제어 방식이 다양할 뿐만 아니라 현장에서는 성형수축율에 대한 데이터도 찾아보기 힘든 실정에 있으므로 정밀성형품에 대한 사출압축용 금형개발에 많은 애로를 겪고 있다. 본 연구에서는 PMMA수지를 대상으로 사각형(plaque) 형태의 성형품이 사출압축성형시에 선형수축

축율(linear shrinkage)이 금형의 압축력과 압축유지 시간, 게이트의 형상에 따라 어떠한 영향을 받는지 실험연구를 통해 일반사출공정과 비교하여 고찰하였다. 또한, 사출압축성형시 PMMA수지의 pVT선도¹⁰⁾에 따라 추정된 이론적인 수축율과 실제 실험에서 측정된 수축율과의 차이에 대해 고찰하였다. 본 연구의 결과는 사출압축용 금형설계와 성형작업시 기초자료로 활용될 것으로 기대하며, 사출압축성형 해석프로그램의 개발시에 기초자료로 활용이 기대된다.

2. 사출압축성형과 pVT선도

2.1 사출압축성형 방식

사출압축성형은 보통 압축성형기를 사용하여 약간 열린 상태의 캐비티에 재료를 저압으로 주입한 후 금형을 닫으면서 가압하는 것이 기본적인 성형 방법이며, 실제적으로는 압축성형과 동일한 성형과정이다.

사출압축성형기를 이용한 사출압축성형 방법은 Fig. 1과 같이 형체력을 2단으로 변화시키면서하여

접수일 : 2005년 7월 30일
정영득(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : ydjung@pknu.ac.kr Tel. 051-620-1534
최윤식, 한성렬 : 부경대학교 기계공학부 대학원

사출압축하는 Rolinx 방식, 금형의 코어를 작동시키는 Micromolder 방식, 미리 금형을 열어놓은 상태에서 사출한 후 압축하는 사출프레스(Injection-press) 방식 등이 있다.¹¹⁾ 연구에서 사용한 방법은 Rolinx의 방법으로 사출시 사출압력에 의해 가동측이 일정량 열리며, 사출이 끝나면 보압적용시에 가동측이 압축력을 받아 압축유지시간 만큼 압축하게 하는 성형법이다.

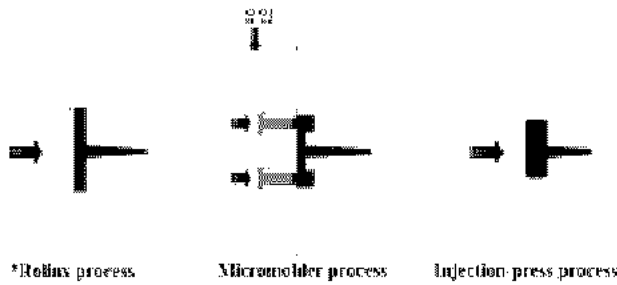


Fig. 1 Injection compression molding processes

2.2 일반사출공정의 pvT선도

Fig. 2는 PMMA의 pvT선도¹²⁾에서 일반사출성형 곡선은 Fig. 2의 ① → ② → ③ → ④를 통해 ④에 해당하는 비체적으로 성형된다. 즉, ① → ②에서 사출되어 ② → ③에서 보압이 작용하며 ④의 지점에서 이젝팅(ejecting)된다.

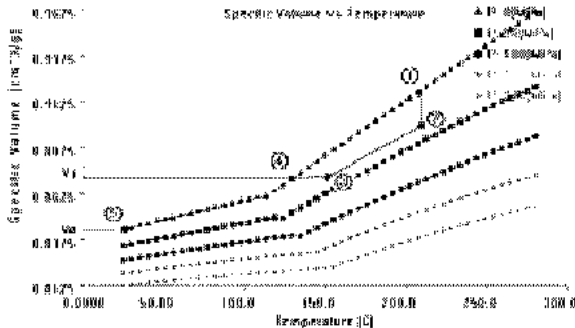


Fig. 2 pvT diagram for PMMA conventional injection molding

2.3 사출압축공정의 pvT선도

Fig. 3은 PMMA의 사출압축성형시 pvT곡선상에서의 성형과정을 설명한 것으로 ① → ② → ③ → ④ → ⑤를 통해 ⑤에 해당하는 비체적으로 성형된다. 즉, 수지가 금형에 유입되면 사출압력은 200 ~ 300kg/cm² 정도로 낮게 된 상태에서 보압이 작용하며, 어느 정도 수지온도가 낮게 될 때 압축력이 900kg/cm² 정도 높게 걸리어 ④지점에서 캐비티 내에서 계속 응고하여 동일 비체적으로 ⑤의 지점에

서 이젝팅 된다. 만약 ⑤의 비체적을 ⑥과 같게 압축을 제어하면 이론적으로 수축을 제로의 상태로 성형할 수 있을 것이다.

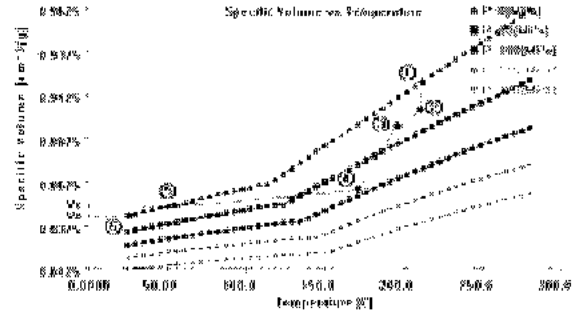


Fig. 3 pvT diagram for PMMA injection compression molding

3. 성형수축율

Fig. 2와 Fig. 3의 pvT선도에서 본 체적수축은 비체적 V₁과 V₀의 차이로 나타난다. 따라서, 성형품이 등방성 수축을 한다고 가정하면, 성형수축을 S는 식(1)과 같이 표현된다.¹¹⁾

$$S = 1 - \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{1}$$

여기서,

V₀ : 표준상태에서의 수지의 비체적

V₁ : 성형조건하에서의 수지의 비체적

만약 실험에 사용한 금형에서의 보압냉각공정이 Fig. 3과 같은 프로파일을 따라 성형되었다고 하면 즉, V₀는 약 0.8425이며, 비체적 V₁은 약 0.8475이므로, 수축율은 식(1)을 이용하여 계산하면 약 0.002로 예측되었다.

4. 실험 및 실험장치

실험을 시작하기 전에 수지는 열풍건조기에 넣어 예비 건조시켰다. 성형조건은 Table 1과 같이 80℃에서 3시간동안 건조시켰으며, 수지온도 215℃, 금형온도 45℃, 사출압 80%로 설정하였다. 또한, 사출압축성형의 주요 성형조건인 압축유지시간은 5초, 10초, 15초로 3단계로 설정하였으며, 압축력은 크램핑력의 45%, 55%, 65%로 3단계로 실험하였다.

Table 1 The molding conditions for experiment

Resin dry	Heat drier(°C)	3Hours dry at 80°C
	Hopper pressure(%)	80
Pressure	Injection pressure(%)	80
	Injection velocity(%)	70
	Pressure time(sec)	5,10,15
	Compression pressure(%)	45,55,55
Temperature	Melt temp.(°C)	215
	Mold temp.(°C)	45
	Laboratory temp(°C)	15
The others	Total cycle time(sec)	22
	Cooling time(sec)	12
	Holding time(sec)	10
	Humidity(%)	48

실험에 사용된 수지는 LG Chemical사의 PMMA IF 850이며, 성형품의 크기는 Fig. 4와 같이 90×135×3mm 크기의 사각형상품(plaque)이다. 실험용 금형은 2캐비티의 2단 금형으로 설계 제작하였다.



Fig. 4 Experimental specimen



Fig. 5 Experimental injection molding machine

사용한 사출성형기는 Fig. 5와 같이 사출압축 기능이 가능한 LG기계 140 ton (LGH140N) 직압식 수평형타입¹³⁾을 이용하여 실험하였다.

성형된 시편은 이젝팅 한 후 24시간이 경과한 후에 Fig. 6과 같이 게이트¹⁴⁾측의 폭을 A, 게이트 반대쪽의 폭을 B, 가로방향 길이를 C로 하여 3개소에

대한 수축율을 측정하였다. 시편에 대한 길이 측정은 Mitutoyo 사의 OPTOEYE A2(Fig.7)를 이용하여 정밀도 1/1000의 측정이 가능하였으며 각각의 시편을 3회 측정하여 그 평균값을 기록하였다.

사출압축실험을 위하여 금형의 게이트를 세가지 형태로 변화시키면서 실시하였다. 세가지 게이트는 각각 사이드 게이트(side gate), 팬 게이트(fan gate), 필름 게이트(film gate) 이다. Fig. 8은 각 게이트의 형상을 나타낸 것이다.

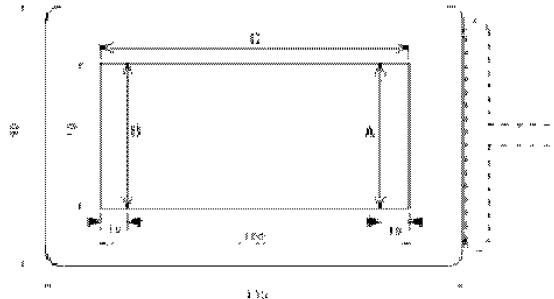


Fig. 6 The measuring point for shrinkage

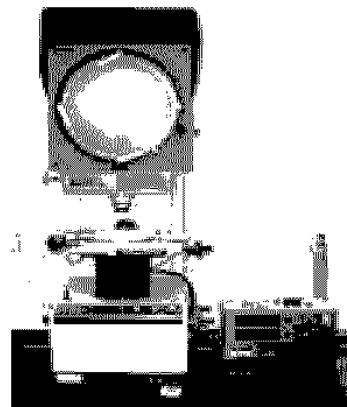


Fig. 7 Measuring machine

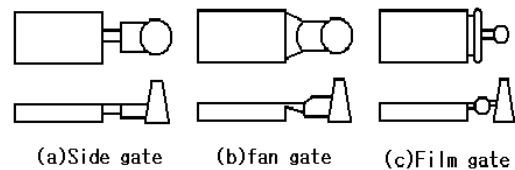


Fig. 8 Gate type of experimental mold

5. 실험결과 및 고찰

5.1 일반사출성형과 압축사출성형의 수축율

Fig. 9에서 Fig. 11까지는 각각 사이드 게이트(side gate), 팬 게이트(fan gate), 필름 게이트(film gate) 일 경우 일반사출성형과 사출압축성형을 이용하여

보압 70%, 사출속도 70% 일 때의 성형품의 수축율의 변화를 나타내는 그래프이다. Fig. 9과 같이 사이드 게이트를 사용하였을 때, 일반사출성형시 A부위는 0.92%, B부위는 0.88%, C부위는 0.38%의 수축율을 보였다. 사출압축성형시에는 A부위는 0.858%, B부위는 0.84%, C부위는 0.35%의 평균 수축율을 보였다.

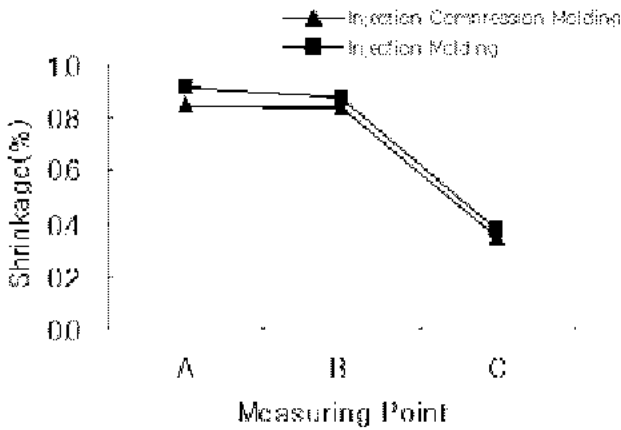


Fig. 9 Shrinkage by side gate

Fig. 10과 같이 팬 게이트를 사용하였을 때, 일반사출성형시 A부위는 0.92%, B부위는 0.91%, C부위는 0.42%의 수축율을 보였다. 사출압축성형시 A부위는 0.85%, B부위는 0.86%, C부위는 0.39%의 평균 수축율을 보였다

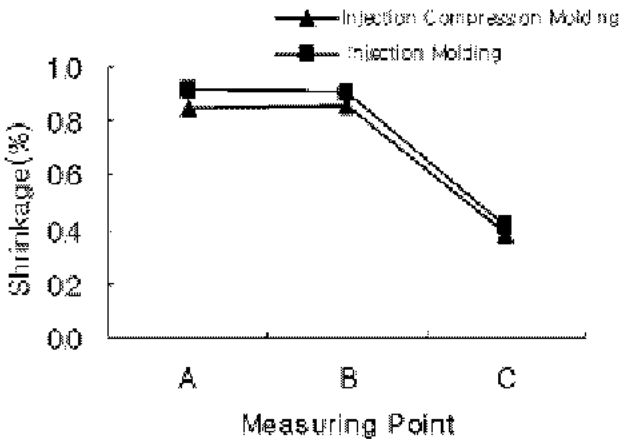


Fig. 10 Shrinkage by fan gate

Fig. 11과 같이 필름 게이트를 사용하였을 때, 일반사출성형시 A부위는 0.83%, B부위는 0.77%, C부위는 0.36%의 수축율을 보였다. 사출압축성형시 A부위는 0.78%, B부위는 0.74%, C부위는 0.33%의 평균 수축율을 보였다.

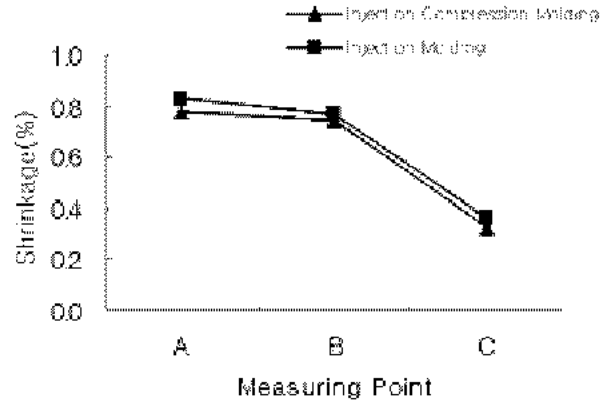


Fig. 11 Shrinkage by film gate

일반사출보다 사출압축방법이 수축율이 약 5/1000 정도 작게 나타났다. 그러나 2.3절에 예측하였던 수축율보다는 크게 나타났는데, 이와 같은 결과는 실험에 사용한 금형이 등방성의 성형에 유리한 포지티브(positive)형이 아니며, 성형압축시 게이트가 미처 고화되지 못하여 캐비타에서 노즐로 수지의 일부 역류가 발생한 것으로 추정되며, 본 실험에 사용한 사출성형기는 압축시작 시점이 성형기의 보압과 동시에 작용되는 제한점 등의 이유에서 완전한 압축이 이루어 지지 못함에서 오는 결과라 사료된다. 그러나 사출압축성형에 의한 성형수축율은 일반사출에서의 성형수축율 보다는 낮게 나타났다. 만약, 금형의 포지티브화 및 게이트의 기계적 강제고화 등을 가능케 하면 수축율을 더욱 감소시킬 수 있으며 등방성도 크게 향상될 것으로 생각된다.

5.2 압축력과 수축율

Fig. 12에서 Fig. 14까지는 게이트 형태에 따라 사출압축성형시 압축력이 45, 55, 65%일 때의 측정 부위에 따른 수축율을 나타내는 그래프이다.

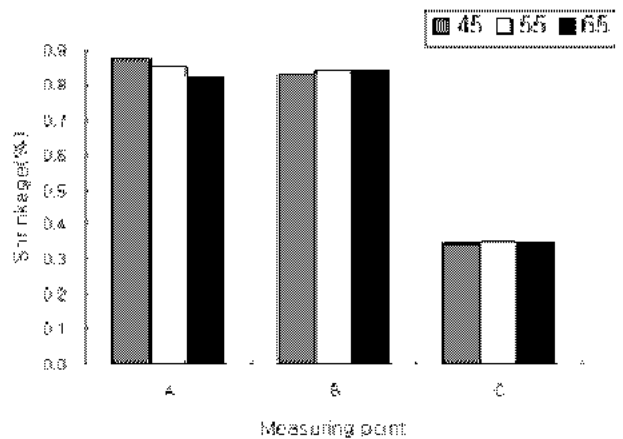


Fig. 12 The relation of shrinkage and compression

Fig. 12는 사이드 게이트를 사용하였을때 압축력과 수축력을 나타내는 그래프이며, 압력이 45%일 때 게이트부는 0.87%, 게이트 반대부는 0.83%, 유동방향은 0.35%의 수축율을 보였으며, 압력이 55%일 경우에는 게이트부는 0.86%, 게이트 반대부는 0.84%, 유동방향은 0.35%, 압력이 65%일 경우에는 게이트부는 0.82%, 게이트 반대부는 0.84%, 유동방향은 0.34%의 수축율을 보였다.

Fig. 13은 팬 게이트를 사용하였을때 압축력과 수축율을 나타내는 그래프이며, 압력이 45%일 때 게이트부는 0.89%, 게이트 반대부는 0.87%, 유동방향은 0.39%의 수축율을 보였으며, 압력이 55%일 경우에는 게이트부는 0.84%, 게이트 반대부는 0.86%, 유동방향은 0.40%, 압력이 65%일 경우에는 게이트부는 0.83%, 게이트 반대부는 0.85%, 유동방향은 0.38%의 수축율을 보였다.

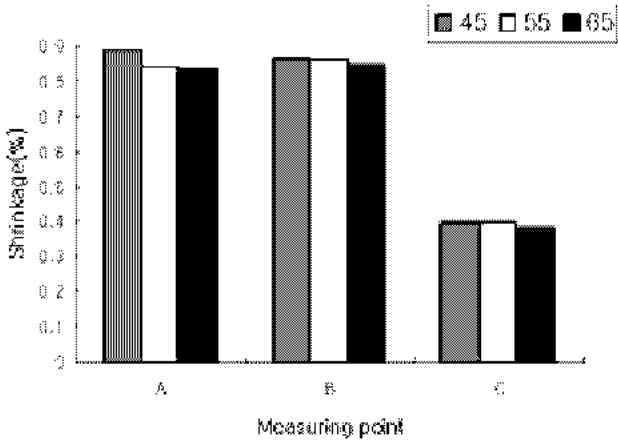


Fig. 13 The relation of shrinkage and compression

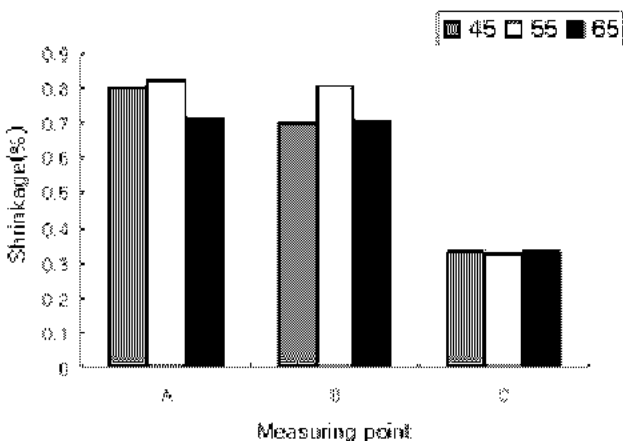


Fig. 14 The relation of shrinkage and compression

Fig. 14는 필름 게이트를 사용하였을때 압축력과 수축력을 나타내는 그래프이며, 압력이 45%일 때

게이트부는 0.80%, 게이트 반대부는 0.70%, 유동방향은 0.33%의 수축율을 보였으며, 압력이 55%일 때 게이트부는 0.82%, 게이트 반대부는 0.80%, 유동방향은 0.33%, 압력이 65% 일때 게이트부는 0.71%, 게이트 반대부는 0.71%, 유동방향은 0.34%의 수축율을 보였다. 압축력이 45%에서 65%로 커졌을 때의 수축율이 일정한 경향이 없이 변화되었다.

이상의 실험결과에서 압축력이 증가할수록 수축율이 약간 감소한 경향을 나타내었다. 이는 Fig. 3의 pvT선도에서 ③ → ④의 간격이 크게 되어 V_1 의 값이 V_0 에 더 근접하게 되므로 일어나는 결과라 할 수 있다. 그러나 Fig. 12의 사이드 게이트 경우에는 팬 게이트, 필름 게이트에 비해 게이트의 단면적이 작아서 성형시편의 고화가 많이 발생하여 압력전달성이 떨어지는 영향과 측정오차 등에 의한 결과라고 추정되며, 특히 Fig. 14에서 압축력 55% 경우에는 캐비티 내부의 수지가 사출기 노즐부로 일부가 역류되어 수축율이 더 크게 되는 결과를 보인 것으로 사료된다.

5.3 압축유지시간과 수축율

Fig. 15에서 Fig. 17까지는 압력유지시간이 5, 10, 15초 때의 사출압축성형에서 측정부위에 따른 수축율을 나타내는 그래프이다.

Fig. 15는 사이드 게이트를 사용하였을때 압축유지시간과 수축력을 나타내는 그래프이며, 압력시간이 5초때 게이트부는 0.87%, 게이트 반대부는 0.84%, 유동방향은 0.35%의 수축율을 보였으며, 압력시간이 10초 일때 게이트부는 0.85%, 게이트 반대부는 0.84%, 유동방향은 0.34%, 압력시간이 15초 일때 게이트부는 0.83%, 게이트 반대부는 0.83%, 유동방향은 0.33%의 수축율을 보였다.

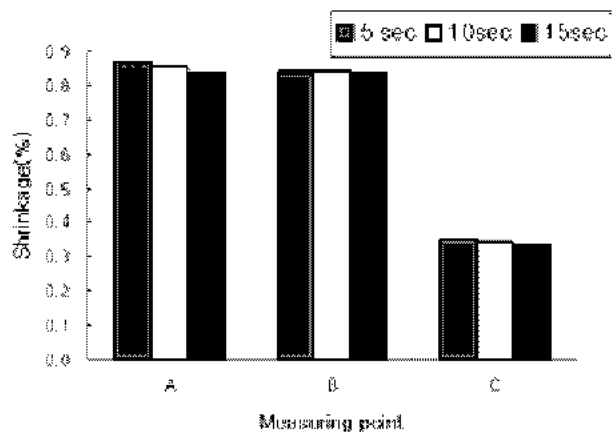


Fig. 15 The relation of shrinkage and compression time

Fig. 16은 팬 게이트를 사용하였을때 압축유지시간과 수축력을 나타내는 그래프이며, 압력시간이 5초때 게이트부는 0.87%, 게이트 반대부는 0.86%, 유동방향은 0.40%의 수축율을 보였으며, 압력시간이 10초 일때 게이트부는 0.85%, 게이트 반대부는 0.85%, 유동방향은0.39%, 압력시간이 15초 일때 게이트부는 0.84%, 게이트 반대부는 0.84%, 유동방향은 0.37%의 수축율을 보였다.

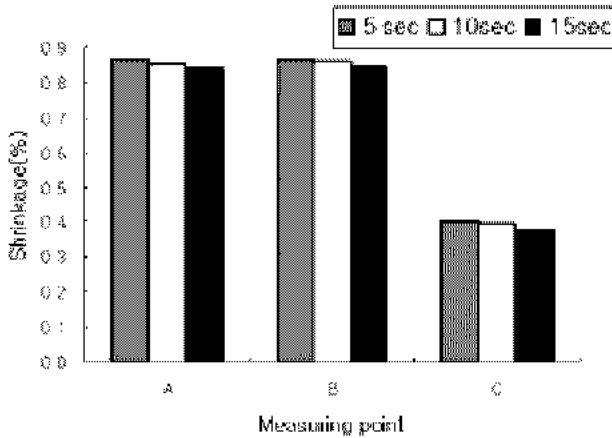


Fig. 16 The relation of shrinkage and compression time

Fig. 17은 필름 게이트를 사용하였을때 압축유지시간과 수축력을 나타내는 그래프이며 압력시간이 5초 일때 게이트부는 0.82%, 게이트 반대부는 0.78%, 유동방향은 0.35%의 수축율을 보였으며, 압력시간이 10초 일때 게이트부는 0.78%, 게이트 반대부는 0.74%, 유동방향은0.32%, 압력시간이 15초 때 게이트부는 0.74%, 게이트 반대부는 0.69%, 유동방향은 0.32%의 수축율을 보였다.

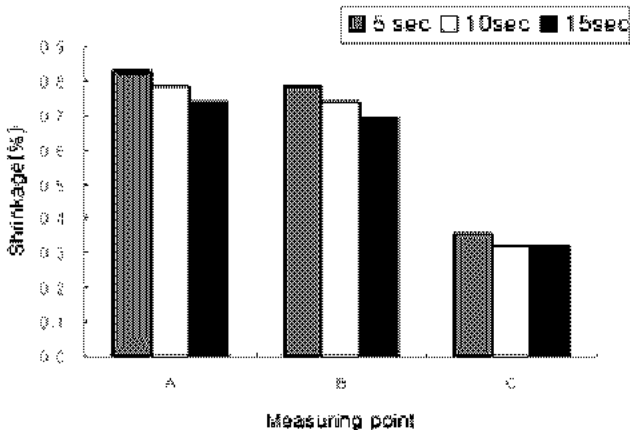


Fig. 17 The relation of shrinkage and compression time

압력유지시간이 15초 때의 수축율이 5초 때의 수축율보다 더 작다는 것을 알 수 있으며 압력유지시간이 늘어남에 따라 수축율은 약간 감소한다는 것을 알 수 있다

6. 결 론

일반사출성형과 압축사출성형시의 수축을 거동을 알아보기 위해 PMMA 수지를 대상으로 실험연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사출압축시 수축율에 대한 영향은 압축력보다는, 압축유지시간이 더 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.
- 2) 사출압축시 금형 게이트 형식에 따른 수축율의 영향은 필름 게이트의 경우가 사이드게이트, 팬 게이트에 비해 수축율이 적게 나타났다.
- 3) 사출압축성형시 해당 수지의 pvT선도를 참조하여 게이트 고화시간과 압축력의 크기를 제어하면 성형수축율은 임의로 제어가 가능함을 알 수 있었다.
- 4) 사출압축성형시의 성형수축율이 일반사출성형시의 성형수축율에 비하여 약 5/1000정도 감소하였다.

참고 문헌

1. W. Knappe and A. Lampl, 1984, "Optimum processing conditions in the injection/compression molding of plastics". *Kunststoffe*, Vol. 74, Issue 5, pp. 79.
2. B. Friedrichs, W. Friesenvichler and K. Gissing, 1990, "Injection Compression Moulding of Thin-Wall Thermoplastics", *Kunststoffe*, Vol. 80, Issue 5, pp. 13.
3. S. Y. Yang and L. Lien, 1996, "Experimental Study on the Injection Compression Molding of Parts with Precision Contours", *Intern. Polymer Procession*, XI, 2, pp. 188.
4. S. Y. Yang and M. Ke, 1993, "Experimental Study on the Injection Compression Molding of Cylindrical Parts", *Advances in Polymer Technology*, Vol. 15, Issue 3, pp. 205.
5. S. Young and M. Ke, 1993, "Experimental Study on Injection-Compression Molding", *ANTEC 93*, Vol. X X X I X, pp. 2182.

6. Y. C. Chen, S. C. Chen and M. Chang, 1996, "Simulation of the Injection-Compression Molding Process Using CV/FEM Technique", Chung Yuan Journal, Vol. 24, No. 1, pp. 37.
7. T. Maruyama and et al, 1988, "An Analysis of Molded Deformation in Injection-Compression Molded Plastic Lens by Finite-Element Method", Kobunshi Ronbunshu, 45, pp. 625.
8. J. A. Avery, 1998, "Injection Molding Alternatives-A Guide for Designers and Product Engineers", Hanser Publishers, Mních
9. L. S. Turng, 2001, "Special and Emerging Injection Molding Processes", Journal of Injection Molding Technology, Vol. 5, No. 3. pp. 170~171.
10. Edited by Avraam I. I., 1987, "Injection and compression molding fundamentals", Marcel Dekker, Inc., pp. 6~10
11. 工業調査會, 1986, "射出壓縮成形技術のポイント", プラスチック, Vol. 17 pp. 23
12. Moldflow MPI 5.0 Material Data Base
13. http://www.lsinjection.co.kr/kr/prod/sm3_n140_1.asp
14. 정영득, 구본홍, 2005, "사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계", 인터비전, pp. 163~164