

사출압축성형시 PMMA 재료의 성형수축거동

최윤식*(부산기능대), 강철민(부경대 대학원), 정영득(부경대 기계공학부)

The Behavior of Shrinkage on PMMA in Injection Compression Molding

Y. S. Choi(Mech. Eng. Dept. BPC), C. M. Kang(Graduated school of Mech. Eng., PKNU) , Y. D. Jeong(School of Mech. Eng., PKNU)

ABSTRACT

Molding shrinkage 를 variation is one of the problems to be solved in conventional injection molding. Despite many trying-out has been to solve these, intrinsic causes of shrinkage such as orientation and thermal exchange between melt and mold has yet not solved. For reducing shrinkage and residual stress on molding, injection compression molding process was invented. In this study, experiments about effect of injection compression molding 를 parameters on shrinkage of molding were conducted with PMMA and compared with conventional injection molding 를 shrinkage. Before the injection compression molding experiment, molding shrinkage rate was predicted by analyzing pVT graph and was compared with the results of experiment. The shrinkage rate of injection compression molding was lower than convention injection molding?one but was different from the predicted shrinkage. The reason was observed that experiment mold was not positive type, flowing backward of melt into nozzle and unreasonable mechanism of injection molding machine.

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

1. 서론

최근에 사출압축성형기술은 CD, 렌즈, LCD 의 도강판 등의 제품성형에 적용되면서 광학제품 및 박육제품의 복굴절 성능을 향상시키고 잔류응력을 최소화할 목적으로 많이 사용되고 있는 성형기술이다. 사출압축성형은 캐비티 형상의 전사성이 우수 하며, 휨이 방지되는 성형이 가능하며, 밀도를 높이며, 치수정밀도를 향상시키며 일반사출성형에서는 불가능한 초박육 제품의 성형에 적용되는 장점들을 갖고있다. 그러나 사출압축공정은 사출성형기의 형식과 금형의 형식에 따라 제어 방식이 다양할 뿐만 아니라 성형수축율에 대한 데이터도 찾아보기 힘든 실정에 있으므로 정밀성형품에 대한 사출압축용 금형개발에 많은 애로를 겪고 있다.

본 연구에서는 PMMA 수지를 대상으로 사각형 상품(plaque)이 사출압축 성형시 선형수축율이 압축력과 압축유지 시간에 따라 어떠한 영향을 받는지

를 실험연구를 통해 일반사출공정과 비교하여 고찰하였다. 또한, 사출압축공정시 PMMA 수지의 pVT 선도¹에 따라 추정한 이론적인 수축율과 실제 수축율과의 차이에 대해 고찰하였다. 본 연구의 결과는 사출압축용 금형설계와 성형작업시 기초자료로 활용될 것으로 기대하며, 사출압축성형 해석프로그램의 개발에도 기초자료로 활용이 기대된다.

2. 사출압축성형과 pVT 선도

2.1 사출압축성형 방식

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

사출압축성형기를 이용한 사출압축성형 방법은 i) 금형의 코어를 작동시키는 방법, ii) 형체력을 2 단으로 절환하여 사출압축하는 방법, iii) 미리 금

형을 열어놓은 상태에서 사출한 후 압축하는 방법 등이 있다.² 본 연구에서 사용한 방법은 ii)의 방법으로 사출시 사출압력에 의해 가동축이 일정량 열리며, 사출이 끝나면 보압적용시에 가동축이 압축력을 받아 압축유지시간 만큼 압축하게 되는 성형법이다.

2.2 사출압축공정의 pVT 곡선

Fig. 1은 PMMA의 pVT 선도³로서 사출압축성형 곡선은 Fig. 1 의 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 지점에서 이젝팅 된다. 만약 ⑤의 비체적을 ⑥과 같이 압축을 제거하면 이론적으로 수축율 제로의 상태로 성형할 수 있을 것이다.

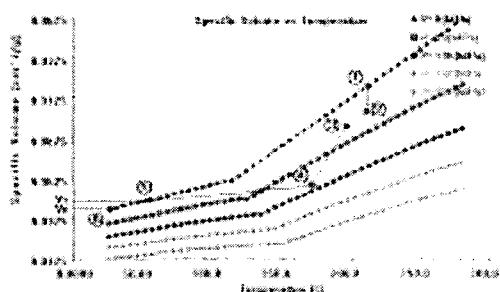


Fig. 1 pVT diagram for PMMA

3. 성형 수축율

Fig. 1의 pVT 선도에서 본 체적수축은 비체적 V_1 과 V_0 의 차이로 나타난다. 따라서, 성형품이 등방 성 수축을 한다고 가정하면, 성형수축율 S 는 식(1)과 같이 표현된다.²

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

여기서,

V_0 : 성형조건하에서의 수지의 비체적

V_1 : 표준상태에서의 수지의 비체적이다.

만약 실험에 사용한 금형에서의 보압냉각공정이 Fig. 1과 같이 성형되었다고 할 때, 즉, V_0 는 약 0.8425이며, 비체적 V_1 은 약 0.8475이므로, 수축율은 식(1)을 이용하여 계산하면 약 0.002로 예측되

었다.

4. 실험 및 실험장치

실험을 시작하기 전에 수지는 열풍건조기에 넣어 예비 건조시켰다. 성형조건은 Table 1과 같이 80°C에서 3시간동안 건조시켰으며 수지온도 215°C, 금형온도 45°C, 사출압 80%, 압축유지시간은 5초에서 15초까지 3단계이며 압축력은 45%에서 65%까지 3단계로 실험하였다.

Table 1 The molding conditions for experiment

Resin dry	Heat drier	3Hours dry at 80°C
	Hopper drier(°C)	80
Pressure	Injection pressure(%)	80
	Injection velocity(%)	70
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
	Pressure time(sec)	5~15
	Compression Pressure(%)	45~65

실험에 사용된 수지는 LG Chemical 사의 PMMA IF850이며, 성형품은의 크기는 Fig. 2와 같이 90×150×3 mm 크기의 사각형상품(Plaque)이다. 실험용 금형은 2 캐비티의 2 단 금형으로 설계 제작하였다. 사용한 사출성형기는 Fig. 3과 같이 사출압축 기능이 가능한 LG 기계 140 ton (LGH140N) 직압식 수평 형타입⁴을 이용하여 성형하였다.

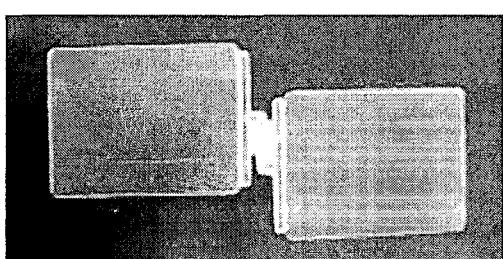


Fig. 2 Plaque molding by injection compression process

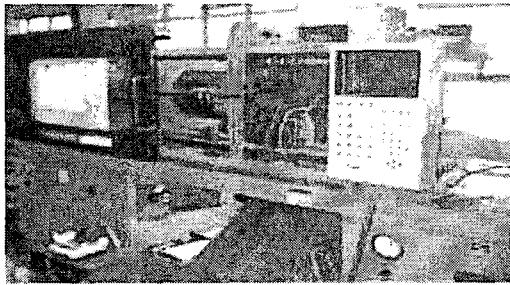


Fig. 3 Injection molding machine used for experiment

성형된 시편은 축출 후 24 시간이 경과한 후에 Fig. 4 와 같이 필름 게이트(film gate)⁵부 시편폭을 A, 게이트 반대편 폭을 B, 가로방향 길이를 C 로 하여 세부위의 수축율을 측정하였다. 시편에 대한 길이 측정은 Fig. 5 와 같이 Mitutoyo 사의 OPTOEYE A2 를 이용하여 정밀도 1/1000 의 측정이 가능하였으며 각각의 시편을 3 회 측정하여 그 평균값을 기록하였다.

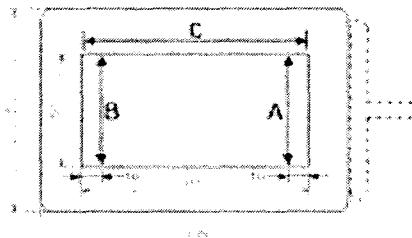


Fig. 4 The shrinkage measuring point

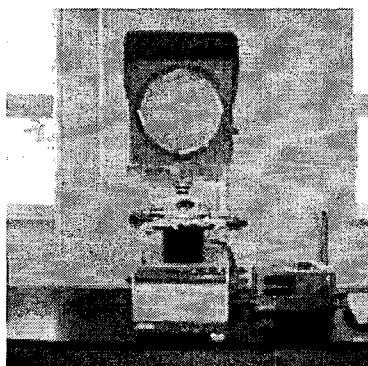


Fig. 5 Measuring machine used for experiment

5. 실험결과 및 고찰

5.1 일반사출성형과 압축사출성형의 수축율

Fig. 6 은 일반사출성형과 사출압축성형을 이용하여 보압 70%, 사출속도 70% 일때의 성형품의 수축율의 변화를 나타내는 그래프이다. 일반사출성형 시 게이트부위(A)는 0.83%, 게이트 반대부위(B)는 0.77%, 유동방향(C)은 0.36%의 수축율을 보였다. 사출압축성형시 게이트부위는 0.58%, 게이트 반대부위는 0.52%, 유동방향은 0.25%의 평균 수축율을 보였다. 일반사출보다 사출압축방법이 수축율이 약 2/1000 정도 작게 나타났다. 그러나 2.3 절에 예측하였던 수축율보다는 크게 나타났는데, 이와 같은 결과는 실험에 사용한 금형이 등방성의 성형에 유리한 포지티브(positive)형이 아니며, 성형압축시 게이트의 미고화로 캐비티에서 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 감소 시킬 수 있으며 등방성도 크게 향상될 것으로 생각된다.

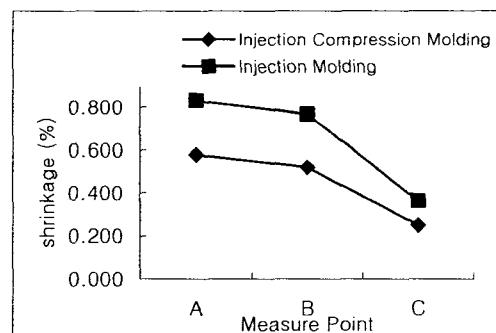


Fig. 6 The relation of shrinkage and molding process

5.2 압축력과 수축율

Fig. 7 은 사출압축성형시 압축력이 45 ~ 65%일 때의 측정부위에 따른 수축율을 나타내는 그래프이다. 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%일 때 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. 이와 같은 결과는 성형기의 압축력이 충분히 캐비티에 전달되지

못함에 의한 것으로 사료된다.

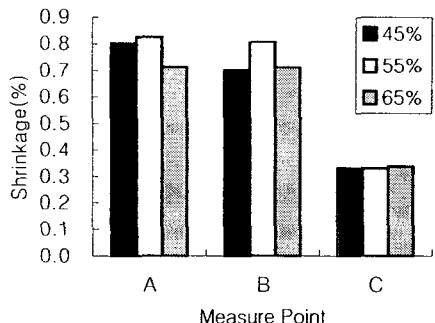


Fig. 7 The relation of shrinkage and compression

5.3 압축유지시간과 수축율

Fig. 8은 압력시간이 5 ~ 15 초 때의 사출압축성형에서 측정부위에 따른 수축율을 나타내는 그래프이다. 압력시간이 5 초 때 게이트부는 0.82%, 게이트 반대부는 0.78%, 유동방향은 0.35%의 수축율을 보였으며, 압력시간이 10 초일 때 게이트부는 0.78%, 게이트 반대부는 0.74%, 유동방향은 0.32%, 압력시간이 15 초 때 게이트부는 0.74%, 게이트 반대부는 0.69%, 유동방향은 0.32%의 수축율을 보였다.

압력시간이 15 초 때의 수축율이 5 초 때의 수축율보다 더 작다는 것을 알 수 있으며 압력시간이 늘어남에 따라 수축율도 약간 감소한다는 것을 알 수 있다.

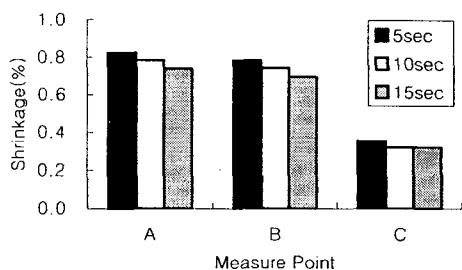


Fig. 8 The relation of shrinkage and compression

감소되게 나타났다.

2. 사출압축시 수축율에 대한 영향은 압축력보다는, 압축유지시간이 더 크게 작용하는 것을 알 수 있었다.
3. 사출압축성형시 해당 수지의 pVT 선도를 참조하여 게이트 고화시간과 압축력의 크기를 제어하면 성형수축율은 제어가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Edited by Avraam I. I., *Injection and compression molding fundamentals*, Marcel Dekker, Inc., pp. 6 10, 1987.
2. 工業調査會, 射出壓縮成形技術のポイント, プラスチック, Vol. 17 ? 23, 1986.
3. Moldflow MPI 5.0 Material Data Base
4. http://www.lsintegration.co.kr/kr/prod/sm3_n140_1.asp
5. 정영득, 구본홍, 사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계, 인터비전, pp. 163 ? 164, 2005.

6. 결론

PMMA 수지를 이용하여 일반사출성형과 압축사출성형시의 수축율 변화에 대한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 사출압축성형시의 성형수축율은 일반사출성형시의 성형수축율에 비하여 약 2/1000 정도