

〈연구논문〉

렌즈 성형품에 대한 사출시간, 충전 압력, 그리고 보강시간의 영향

허정도 · 송영현*

포항공과대학 화학공학과, *산업과학기술연구소

(1992년 10월 26일 접수)

Effects of Injection Time, Filling Pressure, and Holding Time on Injection-molded Lens Parts

Jung Do Huh and Young Hyun Song*

Department of Chemical Engineering, Pohang Institute of Science and Technology,
P.O. Box 125, Pohang 790-600, Korea

*Research Institute of Industrial Science and Technology, Pohang 790-330, Korea

(Received October 26, 1992)

요 약

본 연구에서는 형내압 파형제어 시스템, 초고속, 사출성형, 그리고 금형진공 시스템 등을 갖춘 사출성형기를 이용하여 정밀 구면렌즈를 성형하기 위한 실험을 수행하였다. 이러한 목적을 위해 성형공정 변수인 사출시간, 충전압력, 그리고 보압시간이 성형품에 미치는 영향을 중량과 곡률반경, 구면 정밀도, 그리고 구면오차의 간섭무늬를 측정하여 연구하였다. 그 결과로서 성형품의 중량(치수)과 곡률반경에 지대한 영향력을 행사하는 변수는 충전압력이며, 사출시간과 보압시간은 곡률반경과는 무관해 보이고 중량의 증가에는 기여하지만 공정사이클 시간을 증가시키는 문제가 지적된다. 구면정밀도 측정실험 결과 길지도 짧지도 않는 15~20초 사이의 보압시간, 4초이내의 빠른 사출시간, 그리고 860 kg/cm² 이상의 높은 충전압력에서 우수한 결과를 보여주었다. 마지막으로 구면의 형상에 대한 간섭무늬 측정결과는 성형공정을 이해하는데 강력한 도구가 됨을 발견하였다.

Abstract—This experimental study was performed to mold fine spherical lenses by using the injection molding machine which was equipped with a control system of a cavity pressure profile, an ultrahigh injection system, and a system of mold vacuumization. For this purpose, effects of injection time, filling pressure, and holding time as processing variables on molded parts were investigated by measuring weights and radii of curvature, spherical accuracies, and interference figures of curved surface errors. As results, the filling pressure had shown the great influence on both weights and the radii of curvatures; injection and holding times had no effect on the curvature while they contribute to the increase of weights with lengthening the process cycle time, which is not desirable. Also, spherical accuracy measurement had shown that there exists a good molding window, comprised of the medium range of a holding time (15~30 seconds), a fast injection time within 4 seconds, and a high filling pressure more than 860 kg/cm². Finally, it was found that interference figures were believed to be a very powerful tool in studying molded objects.

Keywords: injection molding, cavity pressure profile, injection time, filling pressure, holding time, spherical accuracy, curvature, molding window, plastic lens

1. 서 론

빛이나 레이저광을 응용한 장치에는 플라스틱 기능부품으로서 각종 디스크 기판(CD, OD 등의 기판)과 렌즈들이 사용되는데, 이들은 정밀 사출성형을 하여 만들어진다. 이들 제품의 공통되는 문제점으로서 성형품에 잔류응력이 남아서 광이 투과할 때 굴절에 의한 빛의 산란을 가져온다든지, 성형품의 냉각시 수축정도가 설계값보다 커져서 렌즈의 초점이 달라진다든지, 전사성(reproducibility)이 나빠져서 제품마다 팩킹밀도가 균일하지 않고, 제품 표면에 공기나 가스에 의한 미세기공의 표피층이 발생한다든지 하는 성형상의 어려움이 있다.

이러한 문제점들을 해결하고자 형내압과형제어 시스템, 고속 사출성형 시스템, 그리고 금형진공 시스템 등을 도입하여 플라스틱 렌즈에 대한 성형실험을 수행하였다. 특히 형내압과형에 의한 성형공정의 정밀제어를 위하여 게이트에 이르기 직전의 런너상에 압력센서를 설치하여 용융수지의 압력을 측정하였다. 이렇게 측정된 압력과 설정된 압력과의 편차는 피드백(feedback) 제어에 의하여 유압밸브를 작동시킴으로서 유압을 가감시켜 제어하였다.

형내압과형곡선은 기본적으로 세단계로 나눌 수 있는데, 즉 캐비티의 충전(사출단계), 용융체의 압축(압축단계), 그리고 압축된 용융체를 일정압력으로 유지하는 단계(보압단계)들을 말한다. 사출단계는 주로 성형품의 외관에 영향을 주는 반면, 보압단계는 제품의 치수를 결정하는데 중요한 역할을 하며, 압축단계에서 너무 높은 압력은 플래쉬(flash)라던가 과충전된 제품을 성형하게 되고, 따라서 성형 제품의 무게와 치수에 있어 상당한 차이를 가져온다고 알려져 있다[1].

본 연구의 구체적 내용으로서 형내압과형곡선의 사출, 압축, 보압단계에 대한 연구를 수행하여 이들 공정이 성형품의 품질에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 다시 말하자면, 우수성형품을 주는 최적공정 변수의 설정치와 그때의 압력과형곡선을 발견하여 성형할 때마다 연속적으로 이 곡선을 반복 추적해 함으로서 전사성이 뛰어난 정밀 성형제품을 가공하고자 하는 것이 본 연구의 목표이다.

플라스틱 렌즈 사출성형에 대한 연구는 수편[2-6]

발표되었지만, 구체적으로 위에 언급한 공정변수들이 성형품에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구결과는 거의 발표되어 있지 않다. 물론 이러한 연구결과는 광학제품은 물론이고 모든 사출성형제품에 공통으로 적용 가능하리라고 기대된다.

2. 실 험

본 성형실험에 사용된 사출성형기[7]와 주변장치의 배치도를 보면 Fig. 1과 같다. 사용수지는 일본의 Sumittomo 회사에서 생산한 PMMA(굴절지수=1.49, 투과율 92%, 최대 사용가능온도=200 °F)로서 흡습으로 인하여 물성의 저하를 초래하므로 가공하기 전에 미리 90~100°C의 온도에서 4~6시간 건조기에 넣고 건조시켰다. 성형하고자 하는 캐비티의 형상(렌즈), 스푸루, 런너, 게이트, 그리고 압력센서의 위치를 Fig. 2에 나타내었다. 스크류 실린더의 가열밴드 온도분포는 Fig. 3과 같이 설정하여 용융수지 온도를 공정시켰다. 금형내의 냉각수 온도는 금형온조기로 제어하였으며 90°C로 설정하였다. 사출할

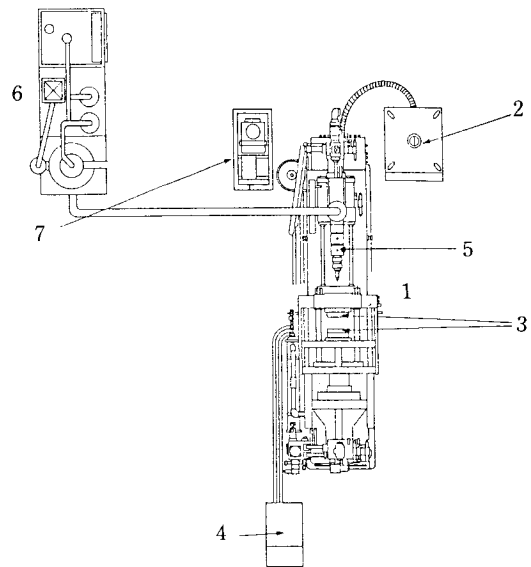


Fig. 1. Layout of an injection molding machine and supplementary equipments; 1. a ultra high speed injection molding machine, 2. a control box, 3. a lens mold, 4. a mold temperature controller, 5. a heating cylinder barrel, 6. a hopper dryer, 7. a vacuum equipment.

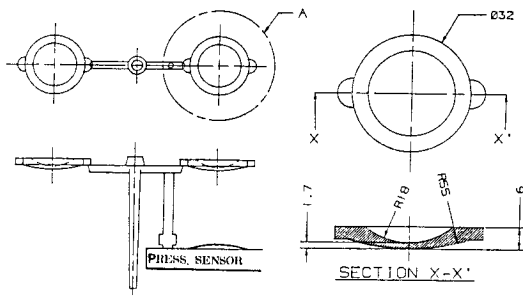


Fig. 2. A schematic drawing of sprue, runner, gate, and two cavities of the spherical lens and location of the pressure sensor.

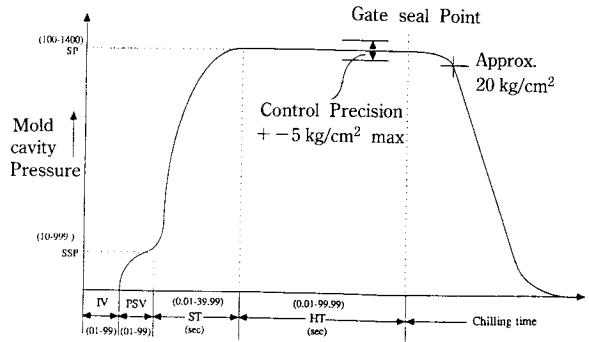


Fig. 4. A set profile example of the mold cavity profile control.

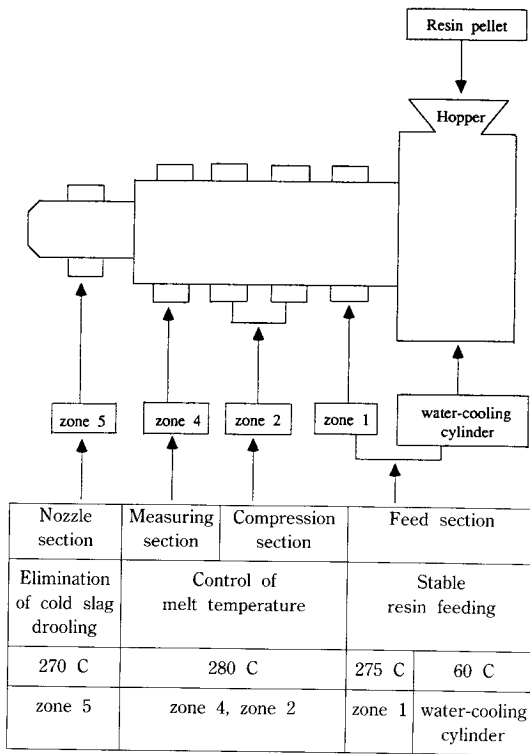


Fig. 3. Heating zones of the cylinder barrel and set up of temperature distribution for the PMMA resin.

때 캐비티내의 공기나 수지의 용융에 의하여 발생하는 가스는 성형불량과 제품의 찌수, 정밀도, 강도, 변형 등에 관계하기 때문에 캐비티를 외부와 차단하고 진공장치와 연결하여 진공을 시켜야 한다. 진공을 하지 않으면 통상 고압사출을 하게 되고 이로

인하여 잔류응력, 내부변형, 뒤틀림 등과 같은 문제를 유발하게 된다[8].

따라서 금형이 채결되어 단형과 동시에 즉, 사출하기 바로 직전에 진공장치를 사용하여 순식간에(0.1초내에) 5×10^{-3} torr 이하로 진공시켰다.

그 후, 용융수지가 금형속의 유로를 통과하여 캐비티를 충전시키도록 미리 설정된 압력과 속도에 해당하는 형내압과형곡선을 따라 사출을 행하였다.

방금 언급하였듯이 사출동작은 설정된 압력과형곡선의 값을 따라 이루어지는데 이에 대한 전형적인 패턴이 Fig.4에 보여지고 있다. 처음 성형기에서 사출동기신호를 받으면 용융수지가 최초사출속도(IV : 사출 개시하여 수지가 게이트에 도달할 때까지의 충전속도)로 전진하고 다음에 초기충전속도(PSV : 수지가 런너에서 게이트를 통과하는 속도)로 설정된 값에 따라, 형내압이 제어개시 설정압력(SSP)만큼 상승할 때까지 계속해서 사출된다. 이어서 주어진 충전시간(ST) 동안 과형곡선에 따라 형내압이 형내설정압(SP)에 도달하도록, 압력센서의 감지압력과 설정압력과의 편차를 구하여 이에 해당하는 서보밸브의 사출속도를 가감시켜 연속 수정 제어한다. 이리하여 형내설정압에 이르면 보압시간(HP) 동안 형내압은 형내설정압(SP)에 대하여 5 kg/cm² 이내로 제어된다. 보압시간이 지난 후에 게이트가 고화할 경우에, 수지의 냉각고화에 따라 형내압이 내려가기 때문에 형내 설정압(SP)보다 약 -20 kg/cm²가 되는 점에서 사출을 멈추고 냉각으로 옮겨간다.

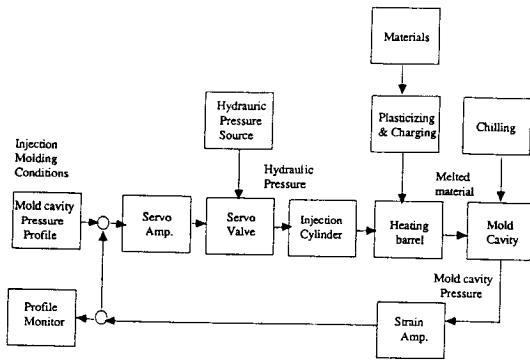


Fig. 5. A control mechanism of an injection servo controller adopted for injection molding experiments.

Table 1. Set values of variables adapted in injection molding experiments

Processing variables	Set values
Initial injection velocity	(5) cm/sec
Pressure starting velocity	(12) cm/sec
Set time	0.1, 0.3, 0.6, 1.0, 1.4, (2.0), 3.0, 3.5, 4.0 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 sec
Set pressure	600, 700, (850), 900, 960, 1000, 1060, 1100 1150, 1200, 1250 kg/cm ²
Holding pressure	10, 13, 14, 15, (16), 17, 18, 19, 20, 22 sec
Starting set pressure	(50) kg/cm ²

본 연구에 사용된 제어 시스템은 폐쇄회로 서보 제어 시스템(Closed loop servo control system)으로 Fig. 5에 나타내었다. 이 제어 시스템은 용융수지의 주입에서 충전, 보압 및 게이트씰(gate seal)에 이를 때까지의 사출성형 공정을 설정된 형내압과형태에 따라서 성형되도록 사출유압을 제어한다.

본 실험에서는 형태압과형의 중요한 설정치인 충전시간(ST), 사출압력(SP), 보압시간(HT)을 변경하여 성형함으로써 매 쇼트(shot)의 형내압과형태를 다르게 하고, 이에 따른 성형품의 정밀도, 안전성, 그리고 팩킹정도를 조사하였다. 성형 실험조건을 Table 1에 나타낸다. Table 1에서 괄호()로 표시한 수치는 성형실험시 표준 으로 고정시킨 값이다. 예를들면 충전시간에 대한 실험을 할 때는 사출압

력과 보압시간의 값을 각각 850 kg/cm²와 16초로 고정시키고 충전시간의 값만 표에 지시된 대로 변경하여가며 실험하였다. 실험결과로 얻어진 성형품의 분석방법으로는 정밀천평을 사용하여 성형품의 무게를 측정하였고, 또한 Zygo Mark III와 IV 간섭계로 렌즈의 곡률반경, 구면정밀도, 그리고 간섭패턴을 각각 측정하여 데이터를 분석 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 중량실험

성형제품의 무게를 중축으로 이에 해당하는 보압 시간, 사출시간, 그리고 충전압력을 횡축으로 하여 그린 그래프를 Fig. 6, 7, 8에 각각 나타내었다. 보압시간을 길게하면 캐비티내에 이미 사출되어 체재하고 있는 용융수지가 냉각되어 부피가 줄어들게 된다. 줄어든 부피를 보상하기 위하여 보압에 의해 더 많은 수지가 유동해 들어간다. 따라서 보압시간이 길어지면 제품의 중량증가가 예상되는데 Fig. 6에 이 결과를 보여준다. 그러나 보압시간이 길어질수록 게이트 주변의 용융수지가 냉각되어 점도가 높아진다. 이에 따라 용융수지의 캐비티 유입이 제한을 받고, 마침내는 게이트의 용융수지가 완전히 고화되어 캐비티 속으로 수지유입이 전면 금지됨과 동

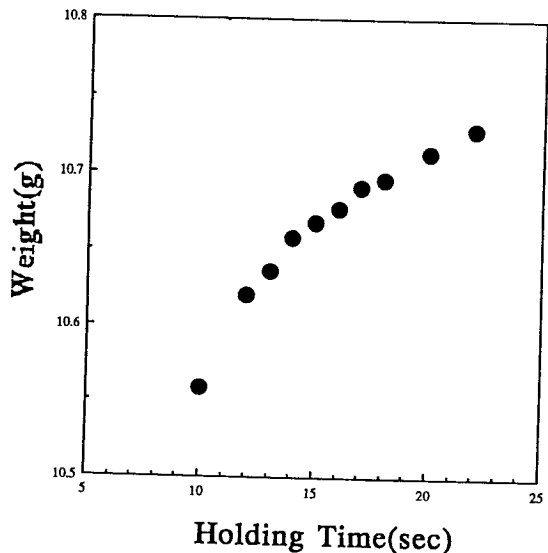


Fig. 6. Weight of molded parts with respect to the holding time.

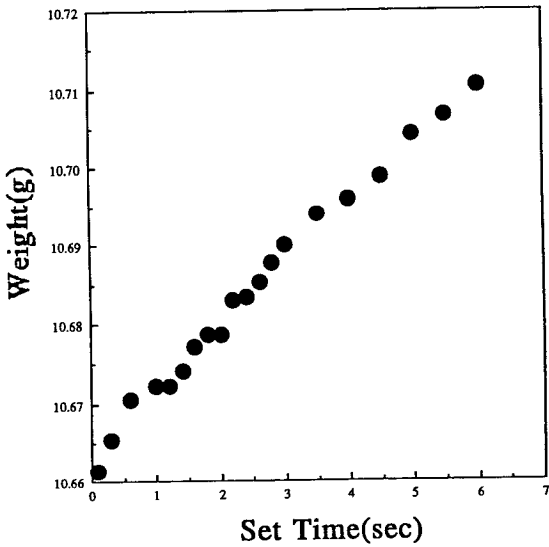


Fig. 7. Weight of molded parts with respect to the injection time.

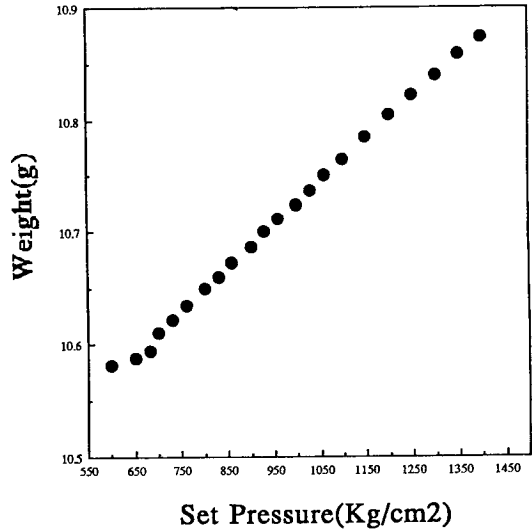


Fig. 8. Weight of molded parts with respect to filling pressure.

시에 더이상의 중량증가를 기대할 수 없게 된다. Fig. 6에서 관측되는 바와 같이 보압시간이 큰 영역에서의 중량증가의 둔화는 이러한 이유라고 믿어진다.

사출시간과 제품중량과의 관계에서도 비슷한 현상이 Fig. 7에서 관측된다. 즉, 사출시간이 짧으면 금형 캐비티내에 유입되는 용융수지가 유입과정동안 냉각 수축하여 여분의 수지가 흘러들어갈 시간적 여유가 없게 된다. 따라서 사출시간내에 충전된 양 만큼만 냉각되므로 사출중량이 비교적 작다. 반면에 사출시간이 길어지면 일부 유입된 용융수지는 냉각되어 부피 수축을 일으키고, 수축된 부피만큼 더 많은 수지의 유입이 가능해지며 또한 런너와 게이트에서 유입되는 용융수지의 냉각에 의하여도 부피가 수축되므로 중량증가가 일어난다. 그러나 사출시간이 너무 길어지면 런너와 게이트를 통과할 때 용융수지가 현저히 냉각되어 점도가 높아지고 이에 따라 유동속도가 더욱 느려져서 사출시간내에 캐비티에 유입되는 양의 증가가 다소 감소하는 경향을 보이게 된다. 사출시간이 3초를 넘어설 때 이러한 현상이 관측된다.

마지막으로 충전압력과 제품중량과의 관계를 Fig. 8에 표시하였다. 고분자 용융체는 긴 체인의 분자들이 무질서한 코일 형태로 엉켜있기 때문에 자유

공간(free space)을 포함하고 있다. 캐비티내의 압력이 높아지면 상대적으로 자유공간이 줄어들면서 더 많은 용융수지의 유입이 가능해지고, 이에 따라 성형품의 중량이 증가한다. 즉, 압축에 의하여 여분의 용융체가 유입되어 고분자의 밀도가 높아지고 무게 또한 증가된다고 볼 수 있다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 실험영역내에서 충전압력과 제품중량과의 관계는 직선관계식을 보여주고 있다.

일반적으로 제품의 중량이 증가하게 되면 체적수축이 감소되어 제품의 치수가 금형 캐비티의 치수에 근접하게 된다. 정밀도를 요하는 제품에는 치수의 오차가 지대한 관심사가 되기 때문에 제품의 중량이 증가되어 체적수축이 감소되는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 보압시간, 사출시간, 그리고 충전압력의 무게에 대한 영향을 실험결과로부터 고려할 때 가장 큰 영향을 행사하는 공정변수는 사출압력임을 알 수 있다. 또한 보압시간과 사출시간을 길게하면 제품의 무게는 상대적으로 증가하나, 잔류응력을 유발하게 될 뿐만 아니라 공정 사이클 시간을 증가시켜 생산성을 떨어뜨리므로 바람직하지 못하다. 이런 점을 종합해 볼 때 사출시간을 짧게 하고 캐비티내에서의 충전압력을 크게 해서 중량을 증가시키는 것이 바람직하다 하겠다.

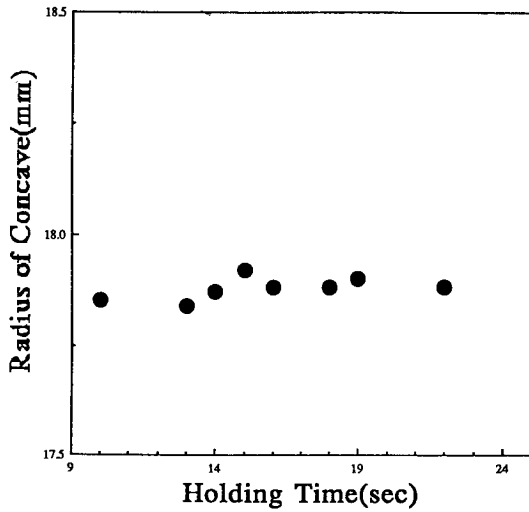


Fig. 9. Radius of the concave curvature affected by the holding time.

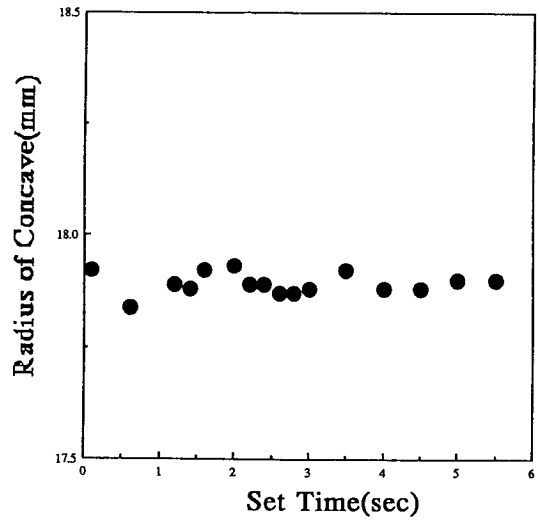


Fig. 11. Radius of the concave curvature affected by the injection time.

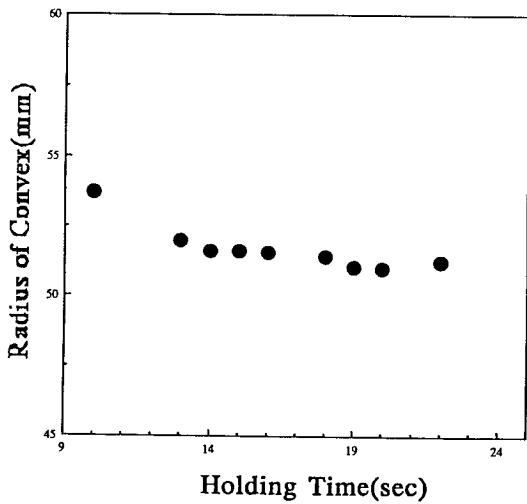


Fig. 10. Radius of the convex curvature affected by the holding time.

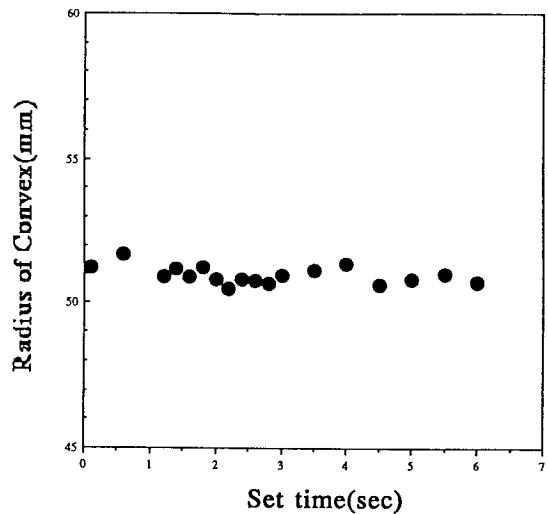


Fig. 12. Radius of the convex curvature affected by the injection time.

3.2. 곡률반경 측정실험

성형실험에서 얻어진 렌즈의 오목면과 볼록면의 중심에서 Zygo Mark III 간섭계를 사용하여 곡률반경을 각각 측정하였는데, 상온(23°C)과 상대습도 50%의 실험환경하에서 수행하였다. Fig. 2에 표현되어 있듯이 렌즈의 오목면 곡률은 18 mm이고, 볼록면 곡률은 55 mm로 되어 있다.

Fig. 9와 Fig. 10에서는 보압시간의 영향에 대한

곡률반경의 값을 오목면(concave surface)과 볼록면(convex surface)에 대하여 그림으로 표시하였다. 곡률반경의 보압시간에 대한 평균곡률반경은 17.875 mm로서 0.125 mm 수축오차를 보여주며, 볼록면의 평균곡률반경은 51.5 mm로서 3.5 mm의 오차를 보여주고 있다. 특히, 오목면의 곡률반경은 보압시간이 커짐에 따라 편차가 매우 작은 반면, 볼록면의 곡률반경은 다소 감소하는 경향이 관찰된다. 이러한

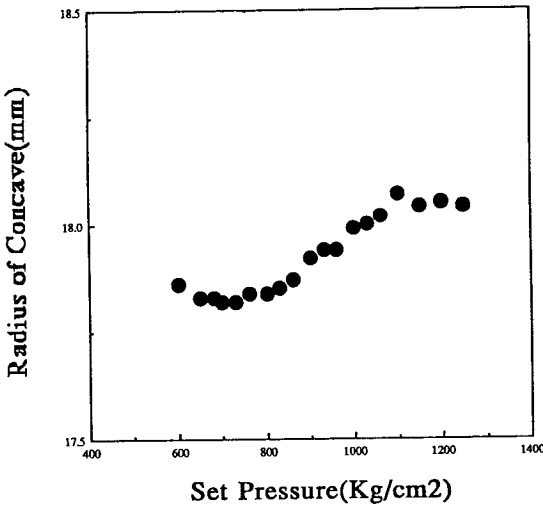


Fig. 13. Radius of the concave curvature affected by the holding pressure.

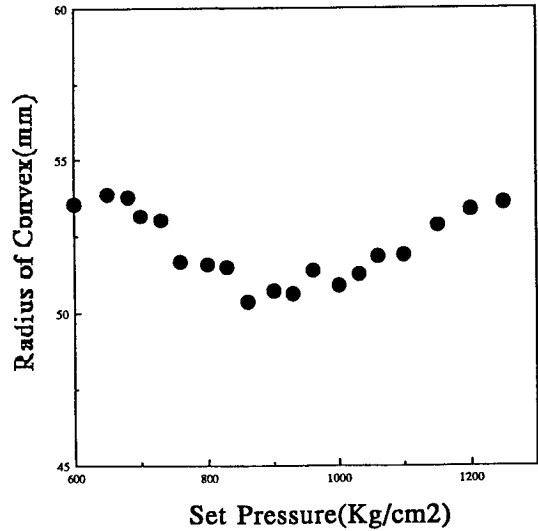


Fig. 14. Radius of the convex curvature affected by the holding pressure.

현상은 보압시간 렌즈 중심부분이 과충전되고 가장 자리 부분이 덜 팩킹되어 두께가 비교적 두터운 가장자리 부분에서 볼록면의 수축에 기인한다고 생각된다.

Fig. 11과 12에는 사출시간의 영향에 대한 곡률 반경의 값을 역시 오목면과 볼록면에 대하여 나타내었으며 사출시간의 길고 짧음이 곡률반경에 미치는 영향에 매우 작음을 알 수 있다. 오목면의 평균 곡률반경은 17.89 mm(0.11 mm 오차)이고, 볼록면의 평균은 51 mm(4 mm 오차)로서 비교적 큰 수축오차를 보여준다. 이러한 오차는 보압시간의 경우처럼 렌즈의 중심을 벗어난 모든 부분에서 볼록면이 오목면과 함께 오목면 방향으로 휘어지는 정도를 나타내고 이에 따라 초점거리가 설계치와는 달라지리라고 예측할 수 있다.

Fig. 13과 14에는 충전압력의 영향에 대한 오목면과 볼록면의 수축현상이 다르게 나타난다는 점이며 두 경우 모두 충전압력의 영향이 두드러진다는 점이다. 오목면에서는 충전압이 낮을 경우 큰 수축률을 보이다가 충전압의 증가와 더불어 수축오차가 점점 감소되어 1040 kg/cm² 압력에서는 설계치인 18 mm와 일치하고 더 높은 압력에서는 오히려 설계치보다 큰 값인 18.05 mm에 이르고 있다. 반면에, 볼록면에서는 낮은 충전압력이 오히려 적은 수축률을 보이며, 압력증가와 더불어 수축이 증가하여 830

kg/cm² 부근에서는 최대수축을 나타내고, 그보다 높은 압력에서는 다시 수축이 감소하는 현상을 초래하여 곡률반경값이 54 mm(1 mm 오차)에 접근하는 결과를 낳고 있다.

이상을 종합하여 볼 때 낮은 충전압에서는 볼록면의 곡률반경은 양호하나 오목면의 반경수축이 크므로, 볼록면과 오목면 모두 우수한 곡률반경값을 얻을 수 있는 높은 충전압(1230 kg/cm²)이 바람직하다고 결론을 내릴 수 있다. 다시말해서, 압력이 올 때에는 두께가 두꺼운 렌즈 가장자리 부분의 밀도가 높아지고 충전압력이 증가하면 렌즈의 모든 부분이 골고루 팩킹된다고 믿어진다.

요약하면 결론을 짓는다면 제품의 수축, 즉 칫수에 가장 큰 영향을 미치는 가공변수는 보압시간이나 사출시간보다도 충전압력이라고 말할 수 있다.

3.3. 구면 정밀도 측정실험

Zygo Markk IV간섭계를 사용하여 표준렌즈 시편과 성형실험 렌즈와의 구면비교오차를 홀로그래프 간섭원리를 이용하여 측정하였다. 오목면의 직경 22 mm 중 12 mm만 조사하였고 표준시편에 대한 실험렌즈의 구면차이를 등고선으로 된 간섭무늬와 입체형상으로 표현하였으며, 구면의 정밀도도 함께 측정하였다. 측정된 구면 정밀도를 보압시간, 사출

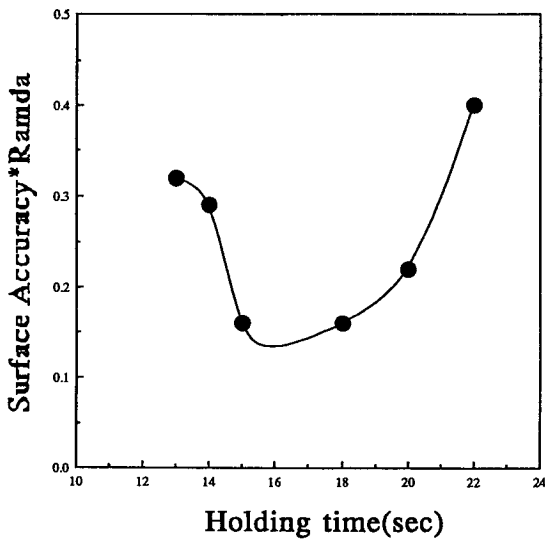


Fig. 15. Spherical accuracy of the concave side according to the holding time.

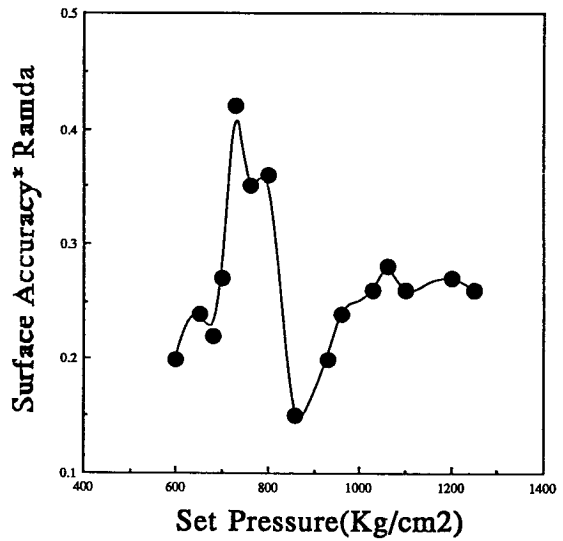


Fig. 17. Spherical accuracy of the concave side according to the filling pressure.

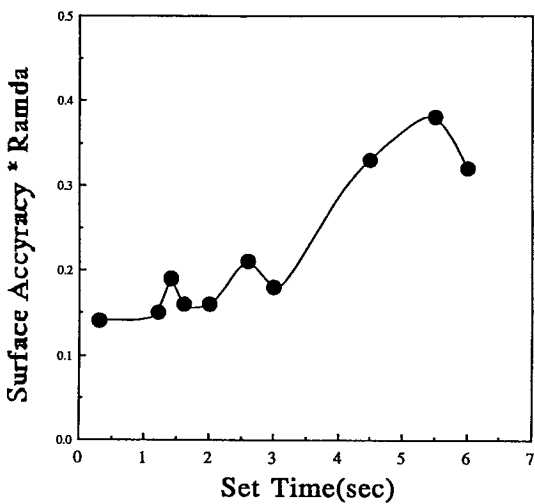


Fig. 16. Spherical accuracy of the concave side according to the injection time.

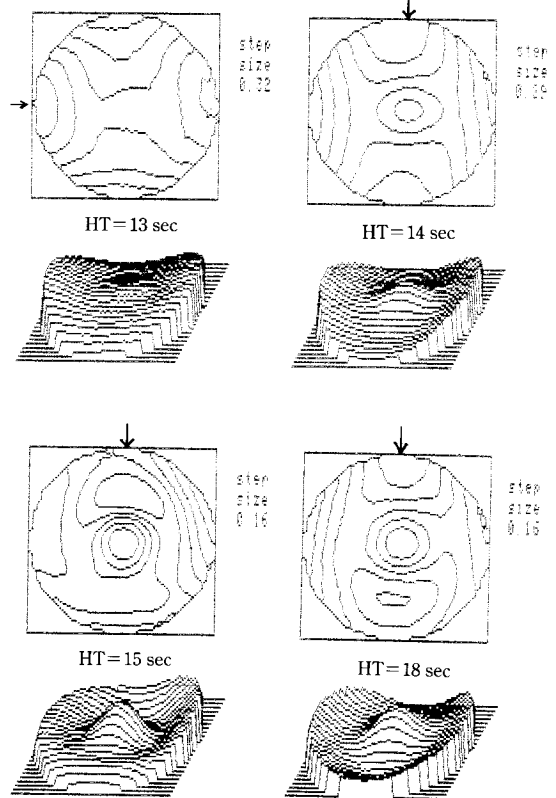


Fig. 18. Error expressions of the two-dimensional interferometry and its three-dimensional correspondence for the concave side with respect to the holding time.

시간, 그리고 충전압력의 공정변수와 연관시켜 Fig. 15, 16, 그리고 17에 각각 나타내었다.

그림에서 λ 는 빛의 파장을 나타낸다. 보압시간과 구면정밀도와와의 관계를 표시한 Fig. 15를 조사해 보면, 보압시간은 적지도 크지도 않은 시간대인 15초에서 20초 사이가 적절하며, 이 영역을 벗어나면 정밀도가 떨어짐을 나타내고 있다. 마찬가지로 Fig.

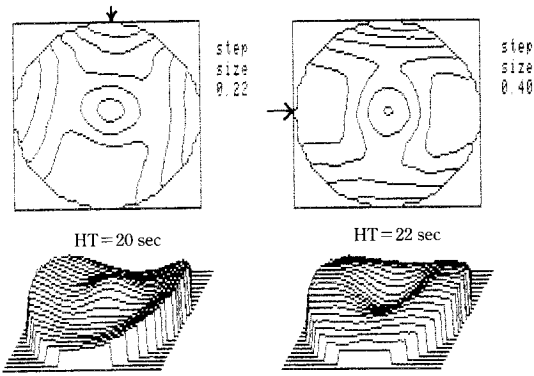


Fig. 18. Continued.

16을 참고하면 사출시간은 4초이내의 빠른 영역에서 완료하는 것이 구면정밀도에 바람직하고, 그 이후에서는 나쁜 결과를 초래하고 있다. 또한 충전압력의 영향을 Fig. 17에서 고려하여 보면, 압력설정이 적어도 850 kg/cm² 이상이 되어야 정밀도가 비교적 양호하다는 것이 지적된다. 오차값이 등고선으로 표현된 간섭무늬와 그 크기를 입체형상으로 나타낸 도표는 공정변수가 성형품에 미치는 영향을 조사하는데 강력한 도구가 된다는 사실을 본 연구를 통하여 발견하였다. 간섭무늬의 대칭성을, 등고선의 밀도, 그리고 시간이나 압력에 따라서 변화하는 입체의 모양을 통해, 렌즈구면의 대칭성, 구면의 형성모양, 그리고 용융체의 캐비티안으로 유입되어 팩킹되는 과정을 관찰할 수 있게 해주기 때문이다. Fig. 18을 조사해보면 보압시간이 비교적 짧을 때는 렌즈의 중앙부분과 가장자리 부분에 용융체가 밀집되어 오차가 커지고 중앙 주위에는 원형을 띤 작은 오차 지역이 존재한다. 그러나 보압시간이 길어짐에 따라 중앙의 충전이 점차로 억제 또는 감소되고 측면쪽으로 유동이 강화되면서 전반적으로 오차의 크기가 증가한다. 매우 긴 보압시간에서는 중앙에서만 약간 적은 오차를 보일 뿐이고 대부분의 영역에서는 큰 편차를 드러내고 있다.

Fig. 19에서도 Fig. 18과 비슷한 현상을 관찰할 수 있다. 다만 다른 점을 지적한다면 아주 짧은 사출 시간에서는 테두리를 제외한 모든 부분의 오차가 미세하다는 점이다. 그러나 시간이 길어짐에 따라 Fig. 18과 같이 되어 중앙과 가장자리에 있어서의 편차가 증대되고 중심을 둘러싸고 있는 지역에는

오차의 크기가 감소한다. 계속 사출시간이 길어져도, 중앙의 수지가 압력을 받아 측면으로 이동하고 이에 따라 중심의 유량은 줄어들면서 가장자리 부근의 오차가 큰 값으로 증가하는 현상은 Fig. 18과 동일한 추세를 보인다.

마지막으로 충전압력에 대한 수지의 유동상태를 Fig. 20을 통하여 알아보면 Fig. 18과 19에 있어서와는 전혀 다른 양상을 띤다. 충전압력이 적을 때에는 중앙을 제외한 모든 부분에서 큰 오차가 목격되지만 압력의 증가와 더불어 측면에 위치한 수지들이 중심으로 이동하여 오히려 중앙과 가장자리 부분에 유량이 많아지고 중심주위에는 오차가 적은 지역이 원형의 대를 형성하고 있다. 압력이 더욱 높아지면 중앙에 집중된 용융체는 가장자리로 이동하거나 또는 팩킹되어 테두리를 제외한 모든 분에서 오차가 거의 존재하지 않는다. 이리하여 매우 높은 충전압력에서는 가장자리에서 약간의 오차가 관찰된다. 위의 결과들을 종합해 볼 때, 구면 정밀도를 향상시키기 위하여서는 역시 사출시간은 짧게, 충전압력은 높게, 그리고 보압시간은 짧지도 길지도 않은 값이 적당하다는 최종 결론에 도달한다.

4. 결 론

두개의 캐비티를 가진 플라스틱 렌즈(Fig. 2 참조)의 성형과정에서 보압시간, 사출시간, 그리고 충전압력 등과 같은 가공변수들에 대한 영향을 성형된 렌즈의 품질을 분석함으로써 알아보았다. 중량실험 결과로서 밝혀진 사실은 보압시간, 사출시간, 그리고, 충전압력중 성형품의 치수(또는, 중량)에 가장 큰 영향력을 행사하는 공정변수는 보압시간이 아니라 충전압력이라는 점이다. 또한 보압시간과 사출시간은 렌즈의 평균곡률반경의 수축오차를 감소시키는데 큰 영향력을 발휘하지 못하고 비교적 큰 오차(오목면에서는 0.11~0.125 mm, 볼록면에서는 3.5~4.0 mm)를 유발시킨다. 반면에 충전압력은 상대적으로 큰 영향력을 발휘하여 평균곡률반경의 수축오차를 극소화시켜서 오목면에서는 거의 설계치와 일치하고 볼록면에서는 1.0 mm만의 오차를 보여준다. 아울러 구면정밀도의 측정실험은 Fig. 2에 주어진 게이트의 형상과 앞에서 언급한 성형조건하에서의 최적 성형

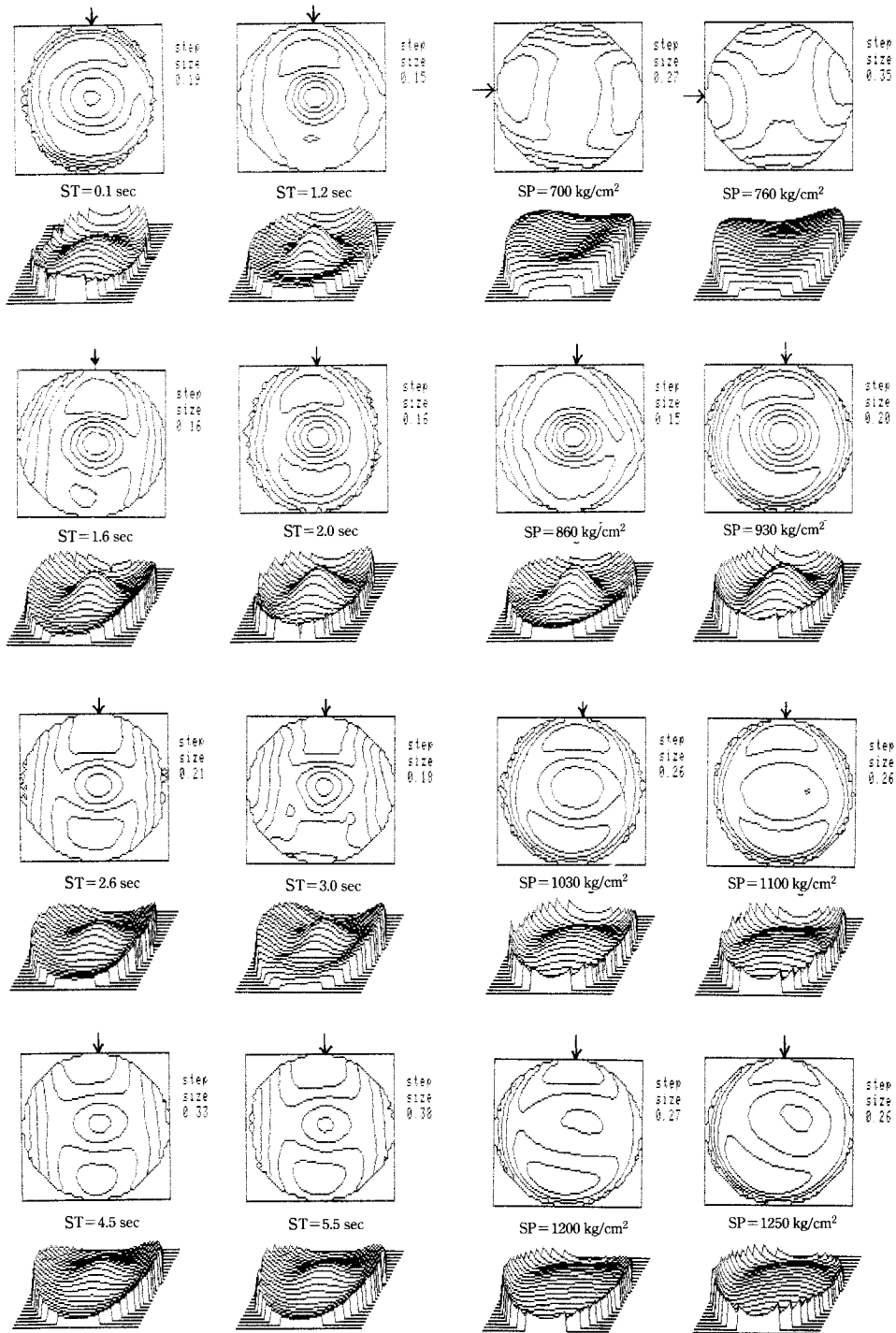


Fig. 19. Error expressions of the two-dimensional interferometry and its three-dimensional correspondence for the concave side with respect to the injection time.

Fig. 20. Error expressions of the two-dimensional interferometry and its three-dimensional correspondence for the concave side with respect to the filling pressure.

가공 창구를 제공해주었는데, 즉 15~20초 사이의 짧지도 길지도 않은 보압시간과, 4초 이내의 빠른 사출시간, 그리고 적어도 860 kg/cm^2 이상의 비교적 높은 충전압력이 가장 바람직하다는 것이다. 마지막으로 언급하고 싶은 점은 홀로그램을 이용한 간섭계의 간섭무늬측정과 입체형상 구성은 공정변수에 따라서 수지용융체가 제품 캐비티속에서 어떻게 이동하는가 또는 각 공정 레벨에서의 제품형상이 어떤 모양을 가지고 있는가를 알아내는데 없어서는 안될 성형공정의 강력한 도구가 된다는 점이다. 일반 플라스틱 렌즈의 면정도는 $3\sim 10 \mu\text{m}$ 의 정확성을 요구하나 본 연구에서의 오차는 이에 비해 너무 크다. 고정밀도를 이루기 위해서는 사출·압출성형이 요구되나 우리는 사출성형연구만 수행하였음을 밝혀둔다.

감 사

본 연구를 수행하도록 재정적인 지원을 해주신 한국학술진흥재단에 감사드립니다.

참고문헌

1. F. Johannaber, "Injection Molding Machines-A User's Guide", Hanser Pub., Munich, 1983.
2. Y. Imatomi and N. Morikita, "Molding of a Super-precision Plastic Lense", *Plastic(Japan)*, Vol. 39, No. 9, 1989, p. 56.
3. M. Takagi, M. Muranaka, Y. Noro, T. Maruyama, H. Inage, and K. Wada, Precise Aspherical Plastic Lens Molding for Home-use Electronic Appliances, *Proc. PPS Int. 5th Annual Meeting*, 48, Kyoto (1989).
4. H. Karasawa, K. Miyazaki, and K. Yanagizawa, "Injection & Compression Molding Technology," *Plastics(Japan)*, Vol. 37, No. 5, 1988, p. 24.
5. E. Ayai, "Points of Injection & Compression Molding Technology", *Plastics(Japan)*, Vol. 37, No. 5, 1988, p. 114.
6. M. Niwa and S. Matsuda, "The Method of Injection and Compression", *Plastics(Japan)*, Vol. 37, No. 5, 1988, p. 34.
7. Technoplas Inc., "Super Injection Molding Machine-Instruction Manual", Model SIM 4749/80A, Japan.
8. H. Kojima, "Injection Molding Method and Apparatus", Europ. Patent 96132A1 (1982).