



유리섬유 강화 폴리카보네이트의 환상형상부품 사출성형시 성형수축에 관한 연구

이민아 · 류민영*

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

접수일(2013년 10월 29일), 수정일(2013년 10월 29일), 게재확정일(2013년 11월 6일)

A Study on the Part Shrinkage in Injection Molded Annular Shaped Product for Glass Reinforced Polycarbonate

Mina Lee and Min-Young Lyu[†]

Dept of Mechanical System Design Engineering, Seoul National Univ. of Science & Technology, 232
Gongneungro, Nowongu, Seoul, 139-743, S. Korea

(Received October 29, 2013, Revised October 29, 2013, Accepted November 6, 2013)

요약 : 사출성형에서 성형수축은 피할 수 없는 현상이다. 따라서 성형수축을 줄이기 위한 연구가 필요할 뿐만 아니라 성형수축의 특성을 명확히 파악하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 유리섬유로 보강된 폴리카보네이트를 이용하여 2.5차원형상인 환상형상의 시편에서 보이는 성형수축 현상을 조사하였다. 환상시편은 외경의 크기와 두께를 달리하여 설계하였다. 성형조건은 수지온도, 보압시간 및 보압크기를 변수로 설정하였다. 여러 성형조건으로 성형된 시편에서 내경과 외경의 크기가 변하는 양상에 대해서 분석하였다. 성형된 시편의 외경과 내경의 치수는 금형의 치수보다 작게 나타났다. 시편의 외경이 클수록, 그리고 시편의 두께가 두꺼울수록 수축율은 작게 나타났다. 또한 게이트의 위치에 따라 수축의 크기가 방향성을 보였다. 따라서 성형된 시편은 원형이 아니라 타원형으로 나타났고 게이트 방향으로 내경과 외경이 가장 큰 수축을 보였다. 수축된 제품의 형상조절을 위해서는 게이트 설계와 같은 금형설계가 중요하다고 판단된다.

ABSTRACT : Part shrinkage in injection molding is inevitable phenomenon. Thus, it is necessary not only study on the reducing part shrinkage but characterization of part shrinkage. In this study, part shrinkage in injection molded 2.5 dimensional annular shaped specimens has been studied using glass fiber reinforced PC. Annular shaped specimens were designed with various sizes of outer diameter and thickness. Injection temperature, packing time and packing pressure were selected for operational conditions. Profile variations of outer and inner diameters of molded specimens for various operational conditions were investigated. Sizes of outer and inner diameters of injection molded specimens were smaller than the sizes of mold. Part shrinkage decreased as outer diameter and thickness increased. Part shrinkage showed anisotropic behavior and it depended upon gate location. Subsequently, molded specimens were not circular but oval in shape, and showed the largest shrinkage in the direction of gate. It was realized that the mold design such as gate design is important to control the shape of molded products.

Keywords : injection molding, part shrinkage, three dimensional part shrinkage, annular shaped part, glass fiber reinforced polycarbonate

I. 서론

플라스틱 성형 방법 중 사출성형은 일반부품은 물론 정밀부품에 이르기까지 가장 많이 사용되고 있다. 성형기술의 발전과 제품의 고 정밀화에 따라 사출성형에서도 높은 치수 정밀도가 요구되고 있다.¹ 이를 위해 제품디자인 측면에서는 수지의 기계적, 물리적 특성이 충분히 고려되어야 하고, 금형설계

의 측면에서는 수지의 유동특성이 고려되어야 한다. 또한 올바른 형상의 재현을 위해 금형 부품들의 조합과 구동이 원활히 이루어져야 한다. 또한 사출기의 조작은 수지의 열적, 물리적, 그리고 유변학적 특성에 맞게 이루어 져야 한다.² 플라스틱 수지는 온도와 압력에 따라 체적이 크게 변하는 성질을 갖고 있는데 사출성형과정 동안 금형 내의 온도와 압력이 변하기 때문에 성형 중에 나타나는 체적의 변화는 피할 수 없는 일이다.³ 결국 성형품은 금형의 캐비티 형상으로 재현되지 않고 캐비티의 치수보다 작아지게 된다. 또한 플라스틱의 기계적

[†] Corresponding Author. E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

성질을 보강하기 위해서 유리섬유와 같은 첨가제가 많이 사용되는데 이에 따라 성형수축은 달라진다.⁴⁷

성형수축 현상은 수지온도, 보압시간, 보압크기, 금형의 온도 등 사출 성형시 조건과 여러 가지 첨가제에 의해서 크게 달라진다.⁴⁵ 또한 제품의 두께, 제품의 형상 등 제품의 디자인에 따라서도 달라지게 된다.^{6,7} 그 외 게이트의 종류와 치수, 금형설계 요소들 사이에서도 큰 영향을 받는다.² 성형수축은 치수정밀도가 높은 제품을 성형할 때 매우 중요하게 여겨지기 때문에 정밀 사출성형에 있어서 매우 중요하다.⁸⁻¹⁰ 그러나 보고 되고 있는 연구는 단편적으로 수지 또는 성형조건의 변화에 따른 연구로 제한된 범위의 연구가 대부분이다. 또한 ASTM D955 규정을 보면 수축 관련 시편들은 2차원 형상의 제품에 관한 내용만 다루어지고 있다.¹ 그러나 실제상황에서는 2차원 형상보다 3차원 형상이 더 많이 사용되며 여러 가지 요소가 복합적으로 작용되기 때문에 보다 실질적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 2.5차원 형상 중 축 대칭인 환상(Annular) 형상을 시편으로 선정하고 유리섬유가 첨가된 PC수지를 이용하여 사출성형 공정변수에 따른 성형수축을 연구하였다. 수지온도, 보압시간, 그리고 보압크기에 따라 수축이 어떤 경향을 보이는지를 환상 시편의 내경과 외경의 변화를 통하여 관찰하였다. 또한 수축의 이방성에 대해서도 분석하였다.

II. 실험

1. 재료 및 시편제작

본 연구에서 사용한 수지는 삼양사의 폴리카보네이트(PC)로 유리섬유가 20% 함유된 TRIREX 3025G20이다.

수축의 현상을 파악하기 위한 시편으로 축 대칭인 환상형상을 사용하였다. 환상형상의 제품 사용 예는 카메라 모듈의 경통 등이다. 환상형상의 경통 속에 몇 개의 렌즈가 안착되기 때문에 경통의 치수 및 형상의 정밀도가 중요하다. 본 연구에서 사용한 시편의 외경은 60mm, 40mm, 그리고 20mm이고, 각 외경에서 시편 두께를 1.5mm, 3mm, 그리고 4mm로 설계하였다. 같은 두께의 시편을 비교함으로써 외경이 달라짐에 따라 수축이 어떠한 경향을 갖는지 알 수 있고, 같은 외경의 시편에서 두께가 달라짐에 따라 수축이 어떠한 변화를 가지는지 알 수 있다.

시편의 사출을 위해 사용한 금형은 2-캐비티 금형이며, 인서트 코어 방식을 사용하여 총 9쌍의 코어, 3쌍의 캐비티, 3쌍의 스트리퍼 플레이트를 가지고 있다. 이젝팅 방식은 스트리퍼 이젝팅 방식이며, 냉각 방식은 Baffle 방식이다. 게이트는 3점 사이드 게이트이다. 금형의 2D형상이 Figure 1에 나타나 있고 제품의 형상 및 게이트의 위치는 Figure 2에 나타나 있다.

사출성형 후 시편의 형상을 측정하기 위한 측정기기는

1/1000mm까지 측정이 가능한 공구 현미경(QC4300-VED-C, 대한민국)을 이용하였다. 사출성형 후 하루가 지난 후에 측정하였다. 시편의 측정 위치는 Figure 2에 나타난 바와 같이 첫 번째 게이트를 기준으로 0°, 60°, 그리고 90° 방향으로 수축을 측정하였다.

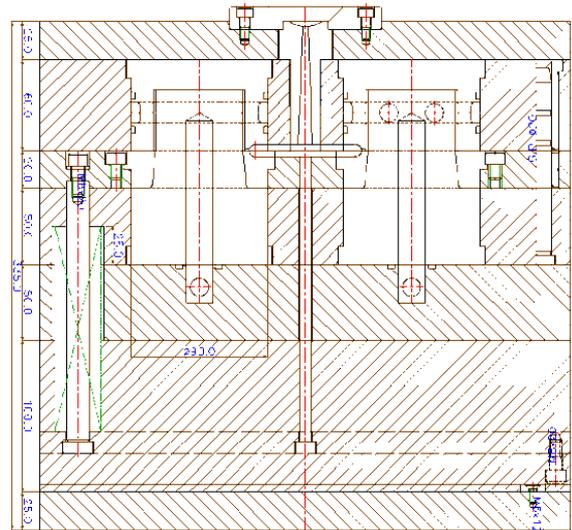
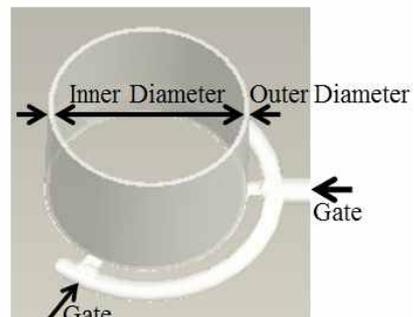
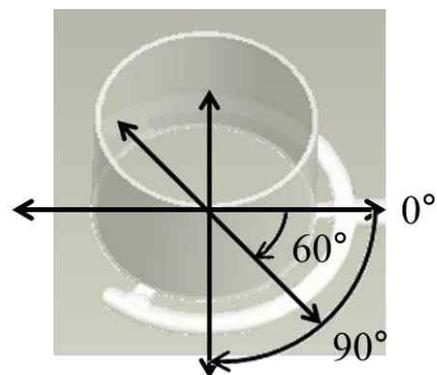


Figure 1. Mold design for 2-cavity injection molding.



(a) Specimen with three gates



(b) Measuring direction

Figure 2. Measurement direction in injection molded annular specimen.

2. 사출성형 조건

사출성형을 수행하기 위해 Woojin Selex(현재 Woojin Plaimm)의 사출 성형기(Selex NE-80)를 사용하였으며 사출기의 형체력은 110ton 이고 최대 사출용량은 78g이다.

성형 조건의 변수로는 수지온도, 보압시간, 그리고 보압크기로 정하였다. 수지온도는 300°C, 315°C, 그리고 330°C로 실험을 수행 하였다. 보압은 수축을 보상하는 중요한 요소이다.^{1,4,5} 따라서 보압에 따라 어떻게 수축이 변화하는가를 알아보기 위해 보압크기와 보압시간을 변수로 선정하였다. 보압크기는 사출기의 최대 사출압력 300MPa의 70% (210MPa), 80% (240MPa), 그리고 90% (270MPa) 로 설정하였으며, 보압시간은 미성형과 플래시가 발생하지 않는 범위를 관찰하여 2 sec, 3 sec, 그리고 4 sec로 선정하였다. 금형온도는 금형온도 조절기를 사용하여 80°C 로 고정하여 실험하였다. 냉각시간은 30sec로 동일하게 하였다. 성형조건을 Table 1에 정리 하였다.

Table 1. Injection molding condition.

Mold Temp. (°C)	Melt Temp. (°C)	Packing Pressure (%)*	Packing Time (sec)
80	300	70	2
	315	80	3
	330	90	4

* Percentage of Maximum Injection Pressure of Machine (300MPa)

III. 결과 및 고찰

1. 성형 조건에 따른 성형 수축

Figure 3, 4, 그리고 5 는 외경 20mm, 두께 3.0mm 시편에서 수지온도, 보압크기, 보압시간에 따른 외경과 내경의 치수를 나타낸 그래프이다. 그림에서 점선으로 나타난 치수는 금형을 측정 한 치수이다. 제작된 금형의 치수는 설계치와 차이가 있을 수 있어 금형의 치수를 직접 측정하여 성형품의 치수와 비교하였다.

Figure 3 은 보압시간 3sec 그리고 보압크기 80% 일 때 수지온도에 따른 내경과 외경의 치수변화를 보여주고 있다. 성형 후 내경과 외경 모두 치수가 감소 하였음을 알 수 있다. 또한 수지온도 300°C ~ 330°C까지의 치수의 변화가 거의 없었다. Figure 4 는 보압시간 3sec 그리고 사출온도 315°C 일 때 보압크기에 따른 치수변화를 보여주고 있다. 성형 후 내경과 외경의 치수가 모두 감소 하였으며 보압 크기에 따른 치수변화는 거의 없었다. Figure 5 는 사출온도 315°C 그리고 보압크기 80% 일 때 보압시간에 따른 치수변화를 보여주고 있다. 성형 후 내경과 외경 모두 치수가 감소 하였는데 보압시간에 따라서 치수의 변화는 거의 나타나지 않았다.

이상의 결과로 보아 본 실험에서 제작한 시편은 성형조건에 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 그 이유는 모든 성형조건에서 성형이 매우 적절히 일어났기 때문인 것으로 사료된다. 또한 성형 후 1 일 이후에 측정하였기 때문에 치수가 안정적인 상태에 도달하였기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 시편의 크기에 따른 수축의 양상을 파악하는데 유리할 것으로 판단된다.

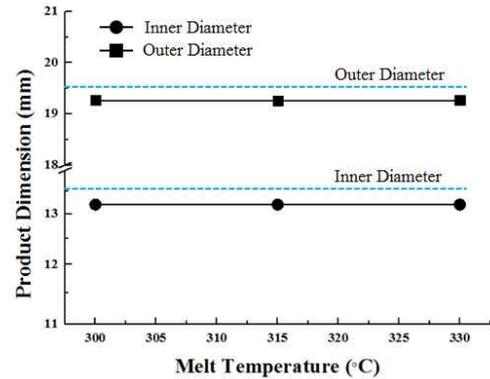


Figure 3. Variations of inner and outer diameters of product for melt temperature.

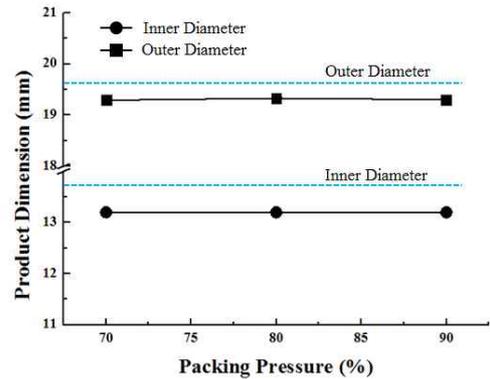


Figure 4. Variations of inner and outer diameters of product for packing pressure.

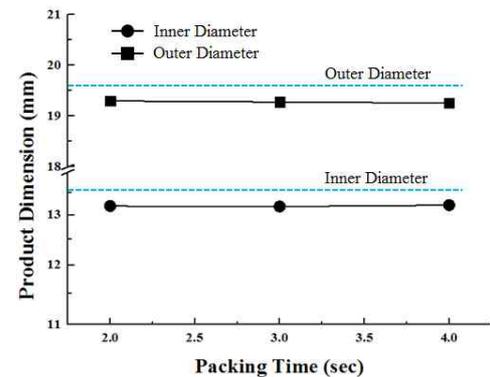


Figure 5. Variations of inner and outer diameters of product for packing time.

2. 시편 두께 별 외경의 수축 분포

Figure 6, 7, 그리고 8은 환상형상의 제품에서 벽 두께 별 외경의 수축율을 보여주고 있다 외경은 60mm로 일정하고 두께가 1.5mm, 3.0mm, 그리고 4.0mm인 경우의 외경의 수축율이다. 외경의 치수가 중요한 경우에 벽 두께 설계에 대한 정보를 줄 수 있는 결과이다. 수축율 (shrinkage)은 식(1)과 같이 정의하였다.

$$\text{Shrinkage (\%)} = \frac{\text{Mold Dimension} - \text{Product Dimension}}{\text{Mold Dimension}} \times 100 \quad (1)$$

Figure 6은 여러 수지온도에서 제품의 두께에 따른 외경의 수축율 변화를 나타낸 그래프이다. 모든 온도에서 두께가 증가할수록 수축율이 증가함을 알 수 있다. Figure 7은 다양한 보압크기에서 두께에 따른 외경의 수축율 변화를 나타낸 그래프이다. 여러 온도에서와 마찬가지로 여러 압력에서 두께가 증가할수록 수축율이 증가하는 경향을 보였다. Figure 8은 다양한 보압시간에서 두께에 따른 외경의 수축율 변화를 나타낸 것이다. 역시 두께가 증가할수록 수축율이 증가함을 알 수 있다. 외경의 치수 변화율은 보압크기에 가장 크게 영향을 받고 그 다음이 보압시간, 그리고 수지의 온도 순으로 나타났다.

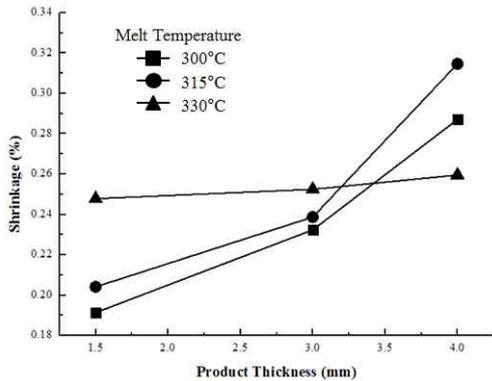


Figure 6. Shrinkage of outer diameter of product according to thickness for various temperatures.

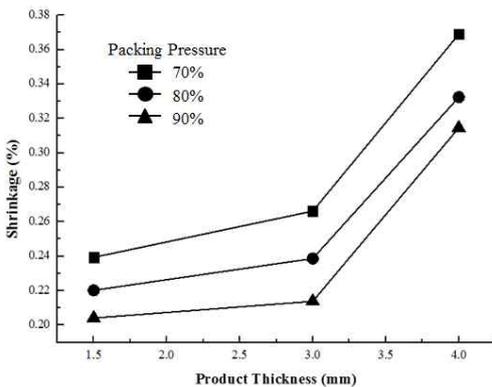


Figure 7. Shrinkage of outer diameter of product according to thickness for various packing pressures.

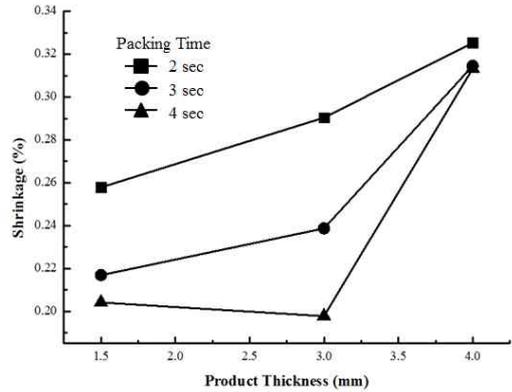


Figure 8. Shrinkage of outer diameter of product according to thickness for packing times.

3. 외경에 따른 수축 분포

Figure 9, 10, 그리고 11은 제품의 두께가 3.0mm일 때 성형조건에 따라 여러 외경의 크기에서 외경의 수축율을 보여주고 있다. 그림 9는 외경의 크기 별 수축율을 나타낸 그래프로서 수지온도에 따른 변화를 보여주고 있다. 외경이 클수록 수축율은 다소 감소하고 있으며, 수지의 온도가 높을수록 수축율은 감소하고 있다. 수지의 온도가 높을수록 점도가 낮아지고 흐름성이 좋아져 사출 시 패키징이 잘되어 수축이 작아진 것으로 판단된다. Figure 10은 보압크기 별 외경의 크기에 따른 수축율의 변화를 보여주고 있다. 외경이 클수록 수축이 현저히 줄어들고 있다. Figure 11은 보압시간 별 외경의 크기에 따른 수축율의 변화를 보여주고 있다. 역시 외경이 클수록 수축율이 감소하고 있다.

Figure 9-11의 세 그래프를 보면 외경이 증가할수록 수축율이 감소함을 알 수 있다. 이는 식 (1)을 이용하여 분석할 수 있다. 외경이 60mm, 40mm, 그리고 20mm로 변화할 때 식 (1)의 분모인 실제 금형 치수는 큰 폭으로 변화한다. 또한 분자인 ‘실제 금형치수 - 성형된 시편의 치수’는 세가지 외경에서 모

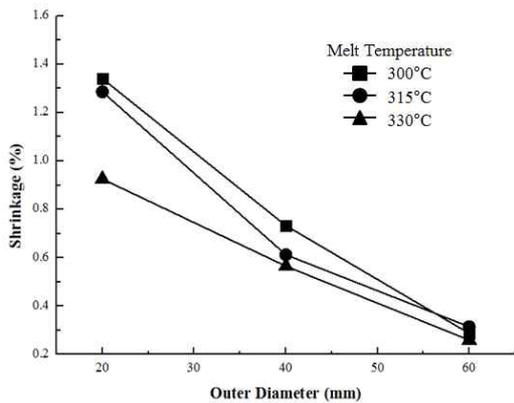


Figure 9. Shrinkage of outer diameter of product according to outer diameter for resin temperature.

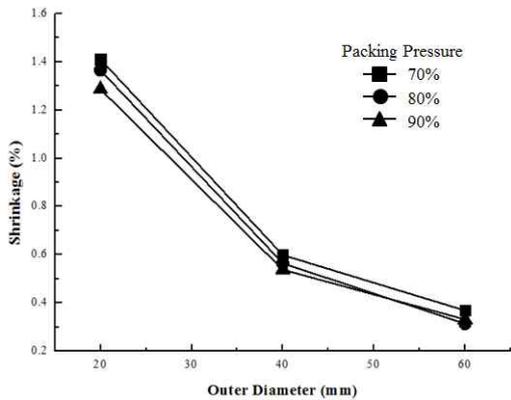


Figure 10. Shrinkage of outer diameter of product according to outer diameter for packing pressure.

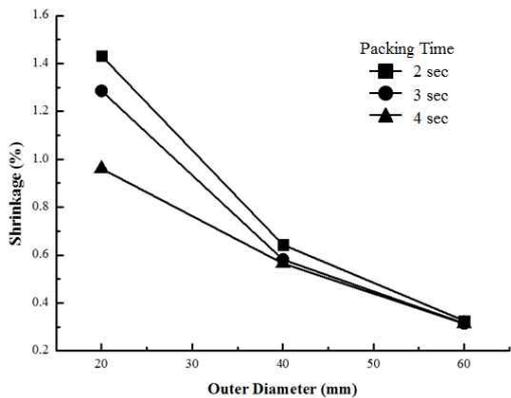


Figure 11. Shrinkage of outer diameter of product according to outer diameter for packing time.

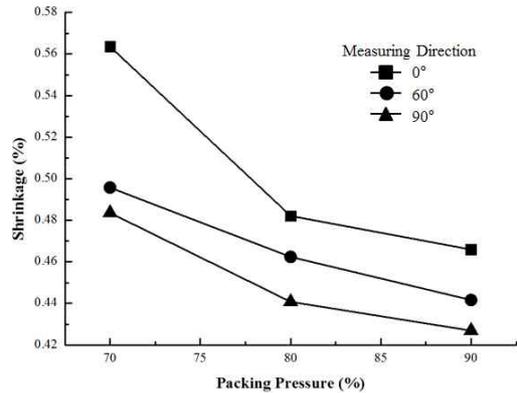
두 큰 수치가 아니다. 따라서 같은 두께에서 외경이 증가함에 따라 수축율이 크게 감소함을 알 수 있다.

4. 수축의 이방성

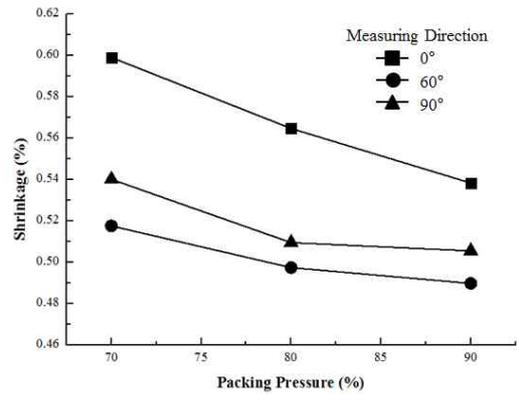
Figure 12는 외경 40mm, 두께 1.5mm와 4.0mm의 시편에서 보압크기에 따라 측정 방향 별 (측정방향의 각도 별) 각도 별 외경과 내경의 수축율을 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면 측정방향에 따라 서로 다른 수축율을 보이고 있다. 보압크기에 따라 수축율이 감소하는데 그림 2에 나타난 0° 방향의 치수가 수축율이 가장 크고, 90° 방향의 수축율이 제일 적다. Figure 12(a)의 1.5mm의 두께보다 Figure 12(b)의 4.0mm에서 수축율이 더 크게 나타나나 수축의 경향은 같게 나타났다. 이는 환상형상의 제품이 원형이 아닌 타원형으로 성형됨을 의미한다. 그래서 환상형상이 어떻게 변화되어 성형되는지 Figure 13에 도식적으로 나타냈다.

이는 금형설계 시 코어와 캐비티를 진원으로 하여도 게이트의 위치와 크기 등 여러 가지 요인으로 실제 제품의 치수는 진원이 되지 않음을 말해준다.

Figure 2에 나타난 제품의 3점 게이트에서 0° 방향으로 제일 먼저 수지가 유입되고, 이와 120° 간격에 있는 두 게이트에서 수지가 유입된다. 이러한 수지의 충전순서 때문에 형상의 변형의 이방성이 나타난 것으로 판단된다. 충전 불균형에 의한 형상변형을 방지하여 진원의 환상형상을 얻기 위해서는 링게이트나 다이프램 게이트 등으로 설계하여 흐름이 완전히 확대칭이 되도록 해야 할 것으로 사료된다.



(a) Thickness 1.5mm



(b) Thickness 4.0mm

Figure 12. Shrinkage of outer diameter of product according to packing pressure for measurement direction.

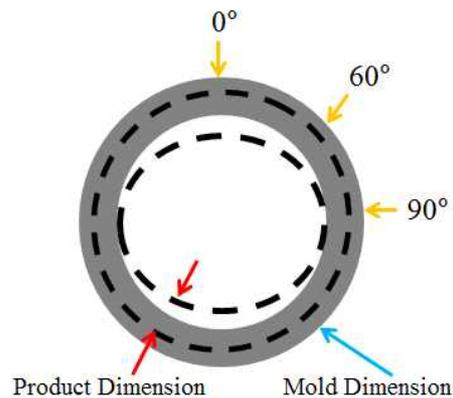


Figure 13. Schematic drawing of mold profile and product profile.

IV. 결 론

본 연구는 사출성형에서 공정변수와 시편의 크기, 두께에 따른 성형 수축율에 대해서 알아 보았다. 유리섬유가 20% 첨가된 PC수지를 사용하여 2.5차원 형상인 환상형상을 이용하여 내경과 외경의 변화를 측정하여 수축을 평가하였다. 동일 외경에서 두께가 커질수록 수축율이 증가함을 알 수 있었고, 동일 두께에서는 외경이 커질수록 수축율이 작아짐을 알 수 있었다. 측정 방향과 게이트의 위치에 따라 서로 다른 수축율을 가지며 사출 성형된 시편이 진원이 아닌 타원으로 나타났다. 환상형상의 시편에서 충전이 가장 먼저 일어나는 게이트 방향으로 수축이 가장 크게 일어났다.

이와 같은 결과를 통해 환상형상의 제품인 경우 제품의 형상이 유사하더라도 제품의 크기 및 두께에 따라, 그리고 게이트의 위치에 따라 수축율이 다르기 때문에 원하는 치수 정밀도를 맞추기 위해서는 금형설계가 중요한 요인임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. E. Alfredo Campo, "The Complete Part Design Handbook: For Injection Molding", Hanser, Munich (2006).
2. T. A. Osswald, T. Turng, and P. J. Gramann, "Injection

- Molding Handbook", Hanser, Munich (2002).
3. F. R. Fried, "Polymer Science and Technology", 2nd Ed., Prentice Hall, Upper Saddle River (2003).
4. M.-Y. Lyu, J.-H. Mo, W.-J. Chung, "Shrinkage in Injection Molded part for operational conditions and resins", *Elast. Compos.*, 38, 295 (2003).
5. M.-Y. Lyu, J.-H. Mo, "Investigation the part shrinkage in injection molding for glass fiber reinforced thermoplastics", *Trans. Mater. Process*, 13, 515 (2004).
6. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, "A study on the warpage of glass fiber reinforced plastics for part design and operation condition: Part 1. Amorphous plastics", *Polymer(Korea)*, 36, 555 (2012).
7. M. Lee, H. Kim, and M.-Y. Lyu, "A study on the warpage of glass fiber reinforced plastics for part design and operation condition: Part 2. Crystalline plastics", *Polymer(Korea)*, 36, 677 (2012).
8. S. R. Han, J. H. Kim, S. G. Jeon, Y. D. Jeong, "A Study on the Mechanical Properties and Shrinkage of Thermoplastic Elastomer", *Trans. Mater. Process*, 16, 36 (2007).
9. H. I. Moon, H. Y. Kim, C. W. Choi, K. S. Jeong, "Thermal Viscoelastic Analysis of Plastic Part Considering Residual Stress", *Trans. Mater. Process*, 17, 496 (2008).
10. D. S. Choi, "Design of Gate Locations, Molding Conditions, and Part Structure to Reduce the Warpage of Short-Fiber Reinforced Injection Molded Part", *Trans. Mater. Process*, 17, 443 (2008).
11. Vishu Shah, "Handbook of Plastics Testing Technology", 2nd Ed., John Wiley & sons, New york (1998).