

단신

사출성형 시편 표면의 잔류응력과
케미컬 크랙과의 관계

우정우 · 류민영*[†]

서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과
*서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과
(2015년 2월 23일 접수, 2015년 3월 7일 수정,
2015년 3월 9일 채택)

Relationship between Residual Stress in
the Surface of an Injection Molded
Specimen and Chemical Crack

Jeong-Woo Woo and Min-Young Lyu*[†]

Dept of Product Design and Manufacturing Engineering,
Graduate School, Seoul National Univ. of Science & Technology,
232 Gongneungro, Nowongu, Seoul 139-743, Korea

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

(Received February 23, 2015; Revised March 7, 2015;
Accepted March 9, 2015)

초록: 사출성형품의 잔류응력은 열에 의한 잔류응력과 흐름에 의한 잔류응력에 기인한다. 풀림 처리된 사출시편을 이용한 케미컬 크랙킹 실험을 통하여 시편표면의 잔류응력이 압축응력임을 확인할 수 있었다. 그리고 압축 잔류응력은 케미컬에 의한 표면의 크랙 형성에 저항하는 응력으로 작용하여 긍정적인 역할을 함을 알 수 있었다. 또한 사출성형품 표면에 형성된 압축 잔류응력은 충격에 의해 생성되는 크랙의 저항도 높일 수 있다고 판단된다.

Abstract: Residual stress in an injection molded product is originated from thermal induced residual stress and flow induced residual stress. It was verified that the residual stress near surface region is compressive stress through chemical cracking test with annealed injection molded specimen. The compressive residual stress acted as an affirmative part that giving resistance to chemical crack formation at the surface of the specimen. The compressive residual stress formed in the surface region of an injection molded product can also increase the resistance of crack that formed by an impact.

Keywords: injection molding, residual stress, compressive residual stress, annealing, chemical cracking.

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr
©2015 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

서론

사출성형품에 형성된 잔류응력은 열에 의한 잔류응력과 흐름에 의한 잔류응력에 기인한다. 그리고 사출성형품 내의 잔류응력 분포는 두께의 중앙영역에서는 인장응력을, 표면영역에서는 압축응력을 형성하고 있다고 보고되고 있다.^{1,2}

플라스틱 사출성형품의 잔류응력을 측정하는 방법은 layer removal 방법과 hole drilling 방법, 그리고 케미컬 크랙킹 방법을 포함하여 여러 방법들이 있는데 정량적인 측정이 매우 어렵고 큰 실험오차를 포함하고 있다.³ 케미컬 크랙킹 방법은 용매에 시편을 담가두고 시간이 지나면서 잔류응력에 의해 발생하는 크랙을 분석하여 잔류응력 크기를 측정하는 방법으로 측정이 간편하다.^{4,6}

본 실험실에서 기존에 발표한 케미컬 크랙킹에 관한 논문에서는 사출성형 시편의 내부 잔류응력을 완전히 해소한 상태에서 케미컬 크랙킹 실험을 실시하여 시편표면에 가해진 인장응력과 크랙과의 관계를 규명하였다. 본 논문은 기존의 연구에서 추가된 연구로써 사출성형 시편에서 풀림처리(annealing) 시간을 달리한 후 케미컬 크랙킹 실험을 실시하여 시편표면의 잔류응력과 크랙과의 관계를 관찰하였다.^{3,6}

실험

재료 및 시편. 본 연구에서 사용된 수지는 삼양사의 PC/PBT인 TRILOY 170BK-615L과 PC/ABS인 TRILOY 215NA-6231L이다. 이 두 수지는 PC를 70% 포함하고 PBT와 ABS를 각각 30% 포함하고 있다.

케미컬 크랙킹 실험을 위한 시편형상은 인장시편(ASTM D638-1)을 사용하였으며 사출성형으로 제작하였다. 시편 사출성형에서 금형의 온도는 60 °C로 두 수지에서 동일하게 하였고, 사출온도는 PC/PBT는 280 °C 그리고 PC/ABS는 275 °C로 하였다. 사출시간은 7.5초, 보압은 34 MPa로 4초, 그리고 냉각시간은 15초로 하였다.

풀림처리 및 케미컬 크랙킹. PC/PBT와 PC/ABS의 풀림처리 온도는 두 수지의 열변형온도인 118 °C와 115 °C 근처 온도인 110 °C로 설정하였다.

시편에 응력을 가하기 위한 도구로 시편에 변형을 줄 수 있는 베르젠 지그(Bergen Jig)를 사용하였다.^{3,5} 베르젠 지그는 하나의 시편에서 위치에 따라 다양한 변형률을 가하여 궁극적으로 시편에 다양한 응력을 줄 수 있도록 고안된 지그이다. Figure 1은 베르젠 지그에 시편을 고정하여 변형을 가하고 있는 단면을 보여주고 있다. 타원의 1/4형상의 베르젠 지그에 고정된 시편 표면에 가해진 변형률은 식 (1)로 계산된다.^{3,6} 식 (1)에서 $a(170\text{ mm})$ 와 $b(30\text{ mm})$ 는 베르젠 지그의 타원형상에서 장축과 단축의 길이이고, $t(3.2\text{ mm})$ 는 시편의 두께, 그리고 x, y 는 타원의 중심에서 장축과 단축방향의 좌표

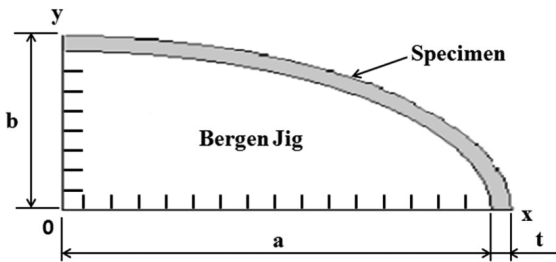


Figure 1. Cross section of elliptical shaped Bergen jig with fixed specimen.

이다(Figure 1). 변형을 받고 있는 시편 표면의 응력은 탄성 이론에 의해 식 (2)와 같이 계산된다.^{3,6} E 는 시편 재료의 탄성계수(elastic modulus)이다.

베르젠 지그에 고정된 PC/PBT와 PC/ABS 시편을 용매에 10분간 담갔다가 꺼내어 표면에 생성된 크랙과 표면에 가해진 응력과의 관계를 분석하였다. 본 연구에서 사용한 용매는 THF(tetrahydrofuran)와 methyl alcohol을 1:3으로 혼합한 것이다.

$$\varepsilon(x) = \frac{bt}{2a^2} \left[1 - \left(\frac{1}{a^2} - \frac{b^2}{4a^2} \right) x^2 \right]^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

$$\sigma(x) = E \cdot \varepsilon(x) \quad (2)$$

결과 및 토론

사출성형된 시편을 풀림처리를 하여 사출성형 중에 형성된 잔류응력을 풀어준 다음 베르젠 지그에 고정하였다. 베르젠 지그에 고정된 시편은 변형을 받아 표면에 인장응력이 가해진 상태이다. 이를 용매에 담가서 크랙을 유발시킨다. 베르젠 지그에 고정된 시편은 타원의 곡면형상에 의해 위치에 따라 다른 응력이 가해지므로 크랙은 시편의 위치에 따라 응력의 크기에 비례하여 관찰되었다.

사출성형품의 잔류응력은 풀림처리에 의해 해소된다.⁷ Figure 2에 풀림처리 시간 10분과 20분의 시편에서 측정된 크랙의 수를 나타내었다. Figure 2의 그래프에서 세로축이 Figure 1의 x축이며, x축의 위치에 따라 베르젠 지그를 통해 시편에 가해진 표면의 인장응력이 식 (1)과 식 (2)에 의해 다르게 계산된다.³ 케미컬 크래킹 테스트결과 풀림처리 시간이 긴 시편의 표면에서 많은 수의 크랙이 관찰되었다. 시편의 풀림처리를 통하여 잔류응력이 해소되었으므로 표면의 크랙 수가 적게 관찰되어야 할 것으로 예측되지만, 풀림처리 시간이 길어서 잔류응력이 크게 해소된 시편에서 오히려 표면의 크랙 수가 많게 측정되었다. Figure 2에서 보듯이 PC/PBT와 PC/ABS 두 시편에서 모두 풀림처리 시간이 길수록 시편 표면의 크랙 수가 많게 측정되었다. 이는 시편 표면에서 압축의 잔류응력

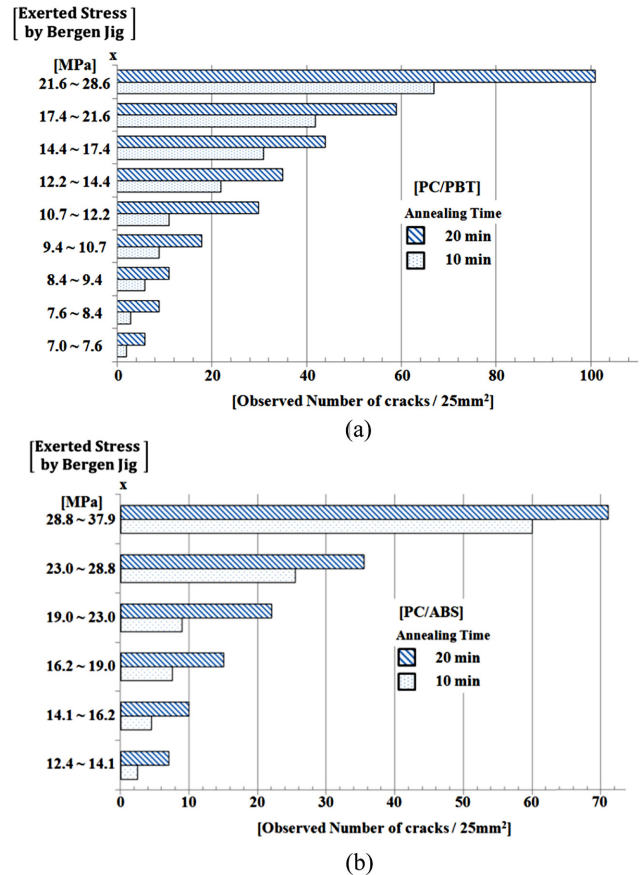


Figure 2. Comparisons of surface cracks for exerted stress in the specimens according to annealing time at annealing temperature 110 °C. (a) PC/PBT specimen; (b) PC/ABS specimen.

이 존재하였음을 반증하는 것이다. 표면에서 압축의 잔류응력이 형성되어 있기 때문에 인장에 대한 저항이 커서 크랙의 생성이 적게 나타난 것이다. 반대로 풀림처리를 통하여 압축의 잔류응력이 모두 해소된 경우에는 베르젠 지그에 의한 인장응력이 그대로 시편의 표면에 부과되어 많은 크랙이 나타난 것이다.

이러한 결과로 보아 사출성형품의 표면에는 압축의 잔류응력이 나타남이 확인되었다. 일반적으로 잔류응력은 시간에 지남에 따라 해소되면서 제품에 변형을 유발시키기 때문에 최소화하는 것이 좋다. 그러나 용매에 의한 표면의 크랙형성에 대해서는 오히려 표면의 잔류응력이 크랙형성을 방해하는 긍정적인 역할을 하고 있다. 또한 표면의 압축 잔류응력은 충격에 의한 크랙형성의 저항을 높여주는 요소로 작용할 수 있다고 판단된다.

결론

본 연구에서는 PC/PBT와 PC/ABS수지의 사출성형 시편

표면의 잔류응력의 영향에 대해서 조사하였다.

시편의 풀림처리 시간이 길수록 베르젠 지그를 통해 부여한 표면의 인장응력이 커짐으로 보아 사출성형품의 표면은 압축의 잔류응력이 형성됨을 확인할 수 있었다.

사출성형된 시편에 형성된 표면의 압축 잔류응력은 인장에 대한 저항을 높여주어 용매에 의한 케미컬 크랙킹의 발생을 방지함을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 표면의 압축 잔류응력은 제품의 충격에 의한 크랙형성을 줄이는데 긍정적으로 작용할 수 있다고 판단된다.

감사의 글: 본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다(10051680, 3D 프린팅용 친환경 고강도 고분자 소재 개발).

참 고 문 헌

1. J. S. Hong, S. R. Park, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **35**, 1 (2011).
2. C. H. Kim, S. H. Kim, H. J. Oh, and J. R. Youn, *Annual Conference of the Korean Society of Automotive Engineers*, p 1982 (2005).
3. S. T. Won, T. B. Kim, S. Lee, J. M. Won, K. H. Cha, and M.-Y. Lyu, *Elast. Compos.*, **47**, 336 (2012).
4. V. Shah, *Handbook of Plastics Testing Technology*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1998.
5. Jr. R. L. Bergen, *SPE J.*, **18**, 667 (1962).
6. S. J. Yoo, H. S. Hong, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **38**, 645 (2014).
7. J. H. Cho, S. Park, H. Kim, and M.-Y. Lyu, *Polym. Korea*, **36**, 131 (2012).