

PC와 ABS 플라스틱재료의 반복적인 충격하중에 의한 기계적 특성 평가

Evaluation on Mechanical Properties of PC and ABS Plastic Materials by Repetitive Impact

이진경^{1*}

Jin-Kyung Lee^{1*}

〈Abstract〉

In this study, we tried to evaluate the mechanical properties of Polycarbonate(PC) and acrylonitrile-butadiene-styrene(ABS) plastic materials, which are frequently used as parts of home appliances and machinery, when repeated impacts were applied. A repeating impact tester for this research was designed and manufactured to apply repetitive impacts. Two types of plastic were repeatedly impacted under a constant load, and a tensile test was performed on the plastic material that was impacted. The tensile strength of PC plastic materials that received impact more than 2000 times was reduced by about 45 % and elongation was reduced by about 10 % when compared to impact free specimens. On the other hand, in ABS plastic, a reduction of tensile strength of about 20 % was observed at about 2,000 impacted specimen, but at about 20,000 repetitive impacted specimen, a tensile strength decrease of about 65 % was observed. And the elongation was reduced by 10 % due to the cyclic hardening behavior of the material.

Keywords : PC Plastic, ABS Plastic, Impact, Tensile Strength, Elongation, Cyclic Hardening Behavior

^{1*} 정회원, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부, 조교수
E-mail: leejink@deu.ac.kr

^{1*} Division of Mechanical, Automotive, Robot Component
Engineering, Donggeui University

1. 서론

최근 텔레비전, 냉장고, 에어컨 및 청소기 등의 가전제품들의 부품과 외관은 대부분은 플라스틱으로 되어있다. 플라스틱에도 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리스티렌(PS), 폴리염화비닐(PVC) 등 다양한 종류가 있다. 특히 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC)재료는 투명하고 단단한 특징을 가지고 있기 때문에 휴대폰, 노트북, CD, DVD 등의 소재로 많이 사용되고 있다. 이전에는 가공이 쉽고 내열성이 좋기 때문에 식품과 젓병용기 등에 사용되었지만 비스페놀A가 나오는 것이 알려지면서 지금은 거의 사용되고 있지 않다. 또한 ABS 플라스틱은 아크릴로니트릴(acrylonitrile), 부타다이엔(butadiene), 스타이렌(styrene)의 세가지 성분으로 이루어진 플라스틱이며 기계적 성질이 우수하고 내열성, 내구성이 우수하여 기계부품 및 가전제품의 수지로 많이 사용되는 플라스틱이다. 특히 최근에는 3D 프린터를 이용해 샘플 재료를 많이 제조하는데 여기에 사용되는 샘플소재로써 ABS 재료가 많이 이용되고 CNC를 이용하여 플라스틱 소재를 가공할 때에도 ABS 플라스틱 재료가 많이 이용된다. 이와같이 광범위하게 PC 플라스틱 및 ABS 플라스틱이 이용되고 있기 때문에 기계부품 및 가전제품의 소재로 사용될 때 다양한 환경에서 이용될 수 있다. 그리고 플라스틱 재료는 고분자 재료로써 기존의 금속, 비금속, 세라믹 재료에 비하여 특이한 성질중의 하나인 점탄성 거동을 하기 때문에 명확하게 재료적 특성 및 파손의 판단기준을 정하기 어렵다[1,2]. 한편, 플라스틱에 대한 재활용, 화학적 특성 및 재료의 표면에 대한 마모, 코팅 등의 재료적 특성에 대한 연구는 많이 이루어졌다[3-7]. 또한 PC와 ABS 플라스틱에 대한 변형속도에 따른 압축거동에 대한 연구 및 각각 다른 온도에서 제조된 PC 플라스틱의 충

격파괴에 대한 거동에 대한 연구 등이 이루어졌다[8,9]. 그러나 플라스틱 재료가 외부로부터 충격을 받는 부분에 사용되어질 때 이들에 대한 충격에 대한 특성은 거의 연구가 이루어지고 있지 않다. 특히 반복적인 충격에 대한 재료의 특성에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 두 가지 종류의 플라스틱에 대한 반복적인 충격을 받을 때 재료의 인장강도, 항복강도 및 연신율의 기계적 특성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 반복적인 충격을 가하기 위한 장치를 고안하여 실험을 실시하였다.

2. 시험방법

Fig. 1은 본 연구에서 플라스틱 재료에 반복적인 충격을 가하기 위해 고안한 도면과 장치를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 일정한 하중을 가하기 위해 해머 상단부분에 다양한 무게로 제작한 추를 체결함으로써 충격 에너지의 변화를 줄 수 있게 설계하였다[10]. 한편, 충격 높이도 레버를 돌려 캠이 부착되어있는 모터의 위치를 제어함으로써 역시 충격 에너지에 변화를 줄 수 있도록 제작되었다. 모터에 의한 캠의 반복적인 회전으로 해머가 낙하하면서 시편에 충격을 가하는 방식이다. 해머의 지지대부분을 사각채널로 설계한 것은 캠과 지지대사이에 점접촉이 아닌 면접촉을 유도하여 마모를 줄이기 위함이며 시편은 한번에 최대 3개까지 시험이 가능하도록 설계하였다. 또한 자동화를 위한 컨트롤 패널으로써 캠과 연결된 모터의 rpm을 조절하는 장치와 충격 횟수를 설정하여 카운팅하는 장치로 설계하였으며 해머가 낙하할 때 센서로 카운팅하여 원하는 횟수에 도달하였을 시, 시험기는 자동으로 멈추게 되며 멈춤을 부저를 통해 알린다.

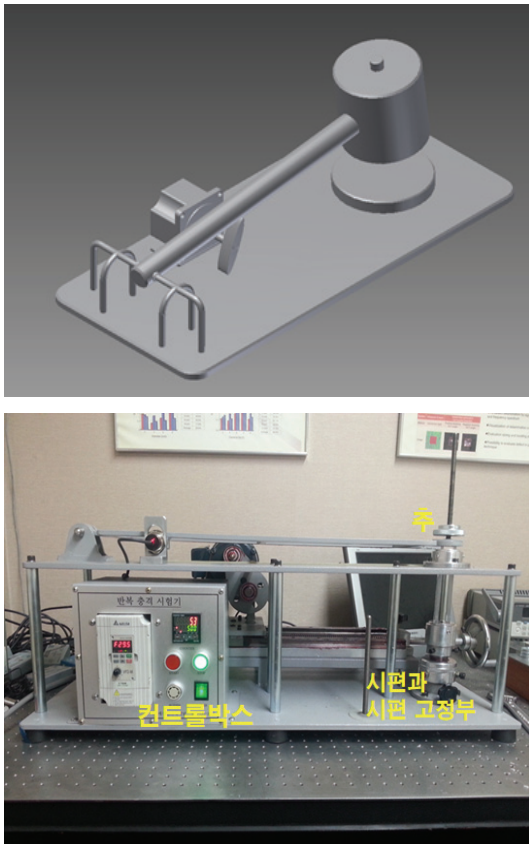


Fig. 1 Drawing and equipment of impact tester for repetitive impact

3. 결과 및 토의

3.1 PC와 ABS 플라스틱 재료에 대한 충격전후의 인장응력-변형률 선도[11]

Fig. 2는 PC 플라스틱 재료에 대한 응력-변형률 곡선을 나타낸 것으로 충격을 가하기 전의 곡선이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 일반적인 금속재료와는 많이 다른 경향을 나타낸다. 즉 하중 초기에는 변형이 거의 발생하지 않고 거의 선형적으로 증가하다가 항복점에서 다시 급격히 하중이

감소하고 다시 일정한 하중에 변형이 급격히 일어나는 영역이 발생한다. 이것이 탄소성 재료의 대표적인 특성을 나타내고 있는 것이다. 그리고 점차적으로 하중이 증가하고 시험편의 단면이 급격히 감소하며 변형률 또한 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으며 최종 파단에 도달하였다. 충격을 받기 전에 인장강도는 약 64 MPa 정도를 나타내었으며 최대인장강도 역시 약 65 MPa로 거의 비슷한 값을 나타내었다. 그리고 연신율은 1, 즉 100 % 정도의 값을 나타내어 매우 많은 변형이 발생함을 알 수 있었다. Fig. 3에서는 약 10,000 회 정도의 반복적인 충격을 받은 PC 재료의 응력-변형률 선도를 나타낸 것으로 앞의 충격을 전혀 받지 않은 시험편과 모양은 거의 비슷함을 알 수 있다. 즉 인장강도와 최대인장강도의 값은 비슷하기 나타나고 항복이후 응력은 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러나 인장강도는 약 35 MPa 정도를 나타내어 충격을 받지 않은 재료의 약 55 % 정도의 낮은 값을 나타낸 반면 연신율은 약 0.95 정도로 크게 나타나 충격을 받지 않은 재료와 비슷한 값을 나타내었다. 따라서 PC 플라스틱 재료는 반복적인 충격을 받게 되면 강도는 현저히 감소하지만 연신율은 크게 감소하지 않음을 알 수 있었다. Fig. 4에서는 충격을 받지 않은 ABS 플라스틱 재료에 대한 응력-변형률 선도를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 앞의 PC 플라스틱과는 약간 상이함을 알 수 있다. 하중 초기 거의 선형적으로 선도는 증가하지만 PC 재료에 비해 조금 완만하게 증가하고 항복응력에서 응력은 다시 감소하지만 PC 재료에 비해서는 그렇게 많지 않았다. 그리고 하중이 증가하지만 응력은 조금씩 감소하고 변형은 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

이러한 현상은 PC 재료와는 두드러지게 다른 경향을 나타내는 것이다. 인장강도는 약 43 MPa

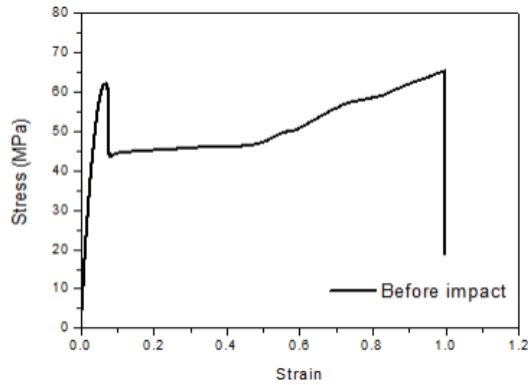


Fig. 2 Stress-strain curve of PC material before impact test

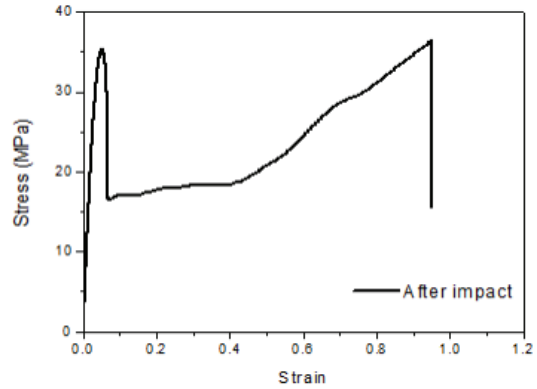


Fig. 3 Stress-strain curve of PC material after impact test

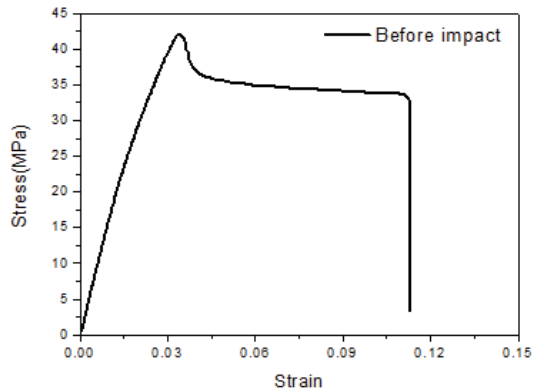


Fig. 4 Stress-strain curve of ABS material before impact test

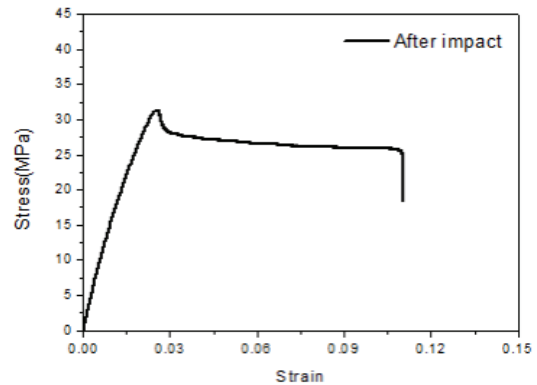


Fig. 5 Stress-strain curve of ABS material after impact test

정도를 나타내었으며 파단될 때까지 응력은 점차적으로 감소하여 최종적으로 파단되었다. 그리고 반복적인 충격을 받은 재료의 응력-변형을 선도역시 Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 충격을 받지 않은 재료와 거의 비슷한 모형을 하고 있지만 인장강도 값이 약간 낮은 값을 나타내었다. 그러나 연신율은 거의 변화가 없음을 알 수 있었다. 이와 같은 특성은 PC 플라스틱과 비슷한 경향을 보여준다.

3.2 반복충격에 대한 PC와 ABS 플라스틱의 인장강도 및 변형을 변화

Fig. 6에서는 PC 플라스틱 재료에 대해 반복적으로 충격을 받았을 때 인장강도 및 연신율의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 1,000회~2,000회 정도의 반복적인 충격을 받은 재료의 인장강도는 충격을 받지 않은 시험편에 비해 급격히 감소하는 것을 알 수 있으며 그 이후의 반복적인 충격에서는 인장강도의 변화는 거의 발

생하지 않았다. 특히 20,000회 정도의 충격을 가하더라도 인장강도의 변화는 거의 발생하지 않을 수 있었다. 한편 앞에서 언급한 바와 같이 충격을 받지 않은 재료에 비하여 2,000회 이상의 충격을 받은 재료의 인장강도는 약 55 % 정도를 나타내어 45 % 정도 감소하였다. 그리고 연신율의 변화에서도 충격을 받지 않은 시험편의 연신율은 100 % 정도였지만 반복적인 충격을 받은 재료의 연신율은 점차적으로 감소함을 알 수 있었다. 이것은 재료가 충격에 의해 조금씩 경화됨에 따라 연신율이 감소하는 것으로 사료되며 반복적인 충격을 받으면 전체적으로 약 10 % 정도의 연신율 감소를 나타내었다. Fig. 7에서는 ABS 플라스틱 재료의 반복적인 충격에 따른 인장강도와 연신율의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 인장강도는 충격을 받지 않은 재료는 약 43 MPa 정도의 값을 나타내지만 반복적인 충격을 받은 경우 점차적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 약 1,000회 정도의 충격에서 약 35 MPa 정도의 인장강도를 나타내어 약 20 % 정도 인장강도의 감소를 나타내었다. 그러나 2,000회 이상의 반복적인 충격에서는 거의 강도변화는 발생하지 않고 약 10,000회 이상의 반복적인 충격에서 다시 급격히 인장강도 값이 감소함을 알 수 있었다. 이와 같은 경향은 PC 플라스틱과는 약간 상이한 특징을 보여주었다. 그리고 연신율의 변화에서도 충격을 받지 않은 시험편에서는 약 10 % 정도의 연신율을 나타내었지만 1,000회 이상의 반복적인 충격을 받은 시험편에서는 연신율이 조금씩 감소하여 20,000회 정도의 충격을 받은 시험편은 약 9 % 정도의 연신율을 나타내어 충격을 받지 않은 시험편에 비하여 10 % 정도 연신율 감소를 나타내었다. 따라서 ABS 플라스틱인 경우에도 반복적으로 충격이 가해지면 재료가 경화됨으로써 연신율이 감소하는 것을 알 수 있었다.

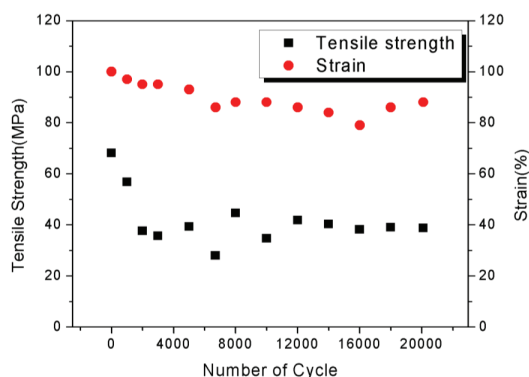


Fig. 6 Change of tensile strengths of PC materials due to repetitive impact cycles

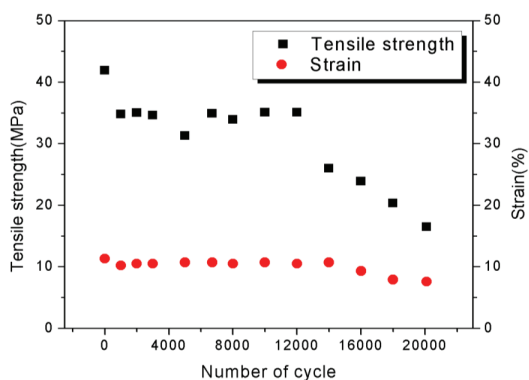


Fig. 7 Change of tensile strengths of ABC materials due to repetitive impact cycles

4. 결론

본 연구에서는 PC와 ABS 플라스틱 재료에 대한 반복적인 충격에 의해 기계적 특성의 변화를 평가한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 충격을 받지 않은 PC 플라스틱 재료의 인장강도는 약 65 MPa 이었으며 2,000회 이상의 반복적인 충격을 받은 경우 인장강도는 약 45 %

의 감소를 나타내어 36 MPa의 값을 나타내었다.

(2) PC 플라스틱 재료의 연신율은 100 %의 값을 나타내었지만 반복적인 충격을 받은 경우 10 % 정도의 연신율 감소를 나타내었다.

(3) ABS 플라스틱 재료는 충격을 받지 않은 경우 인장강도는 43 MPa 정도의 값을 나타낸 반면 1,000회 이상의 반복적인 충격을 받은 경우 약 20 % 정도의 인장강도 감소를 나타낸 반면 2,000회 이상에서는 급격히 감소하여 20,000회까지 65 % 정도 인장강도 감소를 나타내었다.

(4) ABS 재료의 연신율은 충격을 받지 않은 경우 약 10 % 정도를 보였지만 20,000회 정도까지 반복적인 충격을 받은 경우 10 % 정도의 연신율 감소를 보여 최종적으로 약 9 % 정도의 연신율을 나타내었다.

참고문헌

- [1] L. Yang, X. Liu, Z. Wu, R. Wang, "Effects of Triangle-Shape Fiber on the Transverse Mechanical Properties of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Plastics", *Composite Structures*, Vol. 152, pp. 617-625. (2016)
- [2] C. Y. Moon, J. S. Park, Y. D. Jeong, "Spring Back on the Compound Bending of the Plastic Fuel Tube for Automobile", *Journal of KSPSE*, Vol. 7(2), pp. 51-55. (2003)
- [3] S. Hassanifard, S. M. Hashemi, "On the Strain-Life Fatigue Parameters of Additive Manufactured Plastic Materials Through Fused Filament Fabrication Process", *Additive Manufacturing*, in press, (2020).
- [4] M. K. Eriksen, J. D. Christiansen, A. E. Daugaard, T. F. Astrup, "Closing the Loop for PET, PE and PP Waste from Households: Influence of Material Properties and Product Design for Plastic Recycling", *Waste Management*, Vol. 96, pp. 75-85. (2019)
- [5] A. Pascu, M. Oleksik, N. Rosca, E. Avrigean, V. Oleksik, "Experimental Studies on Uniaxial and Echibiaxial Tensile Tests Applied to Plastic Materials Sheets", *Materialstoday : PROCEEDINGS*, Vol. 12(2), pp. 271-278. (2019).
- [6] M. Seghiri, D. Boutoutaou, A. Kriker, M. I. Hachani, "The Possibility of Making a Composite Material from Waste Plastic", *Energy Procedia*, Vol. 119, pp. 163-169. (2017).
- [7] J. P. B. Karama, A. Bere, J. Lemonon, T. Daho, A. Dissa, Y. Rogaume, J. Koulidiati, "Modeling the Emission of Hydrogen Chloride and Free Chlorine from the Thermal Treatment of Polyvinyl Chloride- (PVC-) based Plastic Materials", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 101, pp. 209-214, (2013).
- [8] H. Wang, Y. Zhang, Z. Huang, H. Gao, Y. Zhang, X. Gao, H. Zhou, "Experimental and Modeling Study of the Compressive Behavior of PC/ABS at Low, Moderate and High Strain Rates", *Polymer Testing*, Vol. 56, pp. 115-123. (2016)
- [9] Z. M. Li, Z.Q. Qian, M. B. Yang, W. Yang, B. H. Zie, R. Huang, "Anisotropic Microstructure-Impact Fracture Behavior Relationship of Polycarbonate/polyethylene Blends Injection-molded at Different Temperatures", *Polymer*, Vol. 23, pp. 10466-10477. (2005)
- [10] 이준현, 이상필, 이진경, "반복 충격장치 설계 및 반복충격에 의한 플라스틱 재료특성 연구", *한국동력기계공학회지*, 제 21권 5호, pp.29-34. (2017).
- [11] 신동화, 이병호, "송배전 선로 고장력 인장시험기 개발", *한국산업융합학회논문집*, 제 21권 5호, pp.219-225 (2018).

(접수: 2020.03.23. 수정: 2020.04.23. 게재확장: 2020.05.11.)