

# 반복 충격장치 설계 및 반복충격에 의한 플라스틱 재료특성 연구

## Design of Repetitive Impact Tester and Mechanical Properties of Plastic Due to Cyclic Impacts

이준현 · 이상필 · 이진경\*†

Joon-Hyun Lee\*\* , Sang-Pill Lee\* and Jin-Kyung Lee\*†

(Received 15 May 2017, Revision received 17 October 2017, Accepted 17 October 2017)

**Abstract:** Many household appliances, including vacuum cleaners, are being subjected to various of impact damages, and made of plastic. However, researches on the damage of appliances materials by repetitive impacts have been rarely conducted. the mechanical stress exerted upon impact-modified polycarbonate (PC) has a great influence not only on the quality of the product but also on the life span. The purpose of this research was to quantify the effects of repetitive impact on the polycarbonate. Second, it was to design the repetitive impact tester for controlling the impact energy. The mechanical properties of tensile strength, yielding stress and strain on the specimens subjected to cyclic impacts were discussed. Tensile strength was sharply declined at the beginning of the impact cycles, while the strain gradually decreased during impact cycles.

**Key Words :** Impact Damage, Polycarbonate, Life Span, Repetitive Impact Tester, Mechanical Property

### 1. 서 론

일반 가정에서 사용하는 청소기, 냉장고 TV, 공기청정기 등 거의 모든 가정용 가전제품들은 거의 플라스틱과 금속으로 구성되어져 있다. 특히 청소기의 경우 바닥 및 카펫의 먼지나 작은 쓰레기를 흡입하여 종이주머니에 모으는 장치로 청소기의 바닥과 카펫표면과의 마찰이 필연적으로 발생하기 때문에 마찰 및 마모에 대한 연구는 어느 정도 이루어져 왔다<sup>1,2)</sup>. 그러나 청소기를 다룰 때 자주 가구, 벽면 또는 다른 가전제품들과 지속적으로 충돌이 발생한다. 이와 같은 충돌현상에 의

해 청소기의 부품에서 손상이 발생할 수 있고 작은 충격력이지만 이러한 현상이 지속적으로 발생하게 되면 플라스틱 재질의 변형 및 부품의 파손이 발생할 수 있다. 특히 청소기는 어느 일정위치에서 떨어뜨리는 충격시험을 통과하여야만 품질검사를 통과할 수 있다<sup>3)</sup>. 한편 플라스틱 재료는 탄소와 수소의 연속적인 결합으로 이루어진 거대 분자의 긴 사슬로 구성되어져 있는 고분자 재료로써 기존의 금속이나 세라믹 재료에 비하여 독특한 특성을 가지고 액체와 고체의 쌍방의 성질을 나타내는 고분자의 가장 큰 특징 중의 하나인 점탄성 거동을 하기 때문에 정확한 기계적 특성

\*† 이진경(교신저자) : 동의대학교 기계공학과

E-mail : leejink@deu.ac.kr, Tel : 051-890-1650

\*이상필 : 동의대학교 기계공학과

\*\*이준현 : 부산대학교 기계공학부

\*† Jin-Kyung Lee(corresponding author), Sang-Pill Lee :

Department of Mechanical Engineering, Dongeui University.

E-mail : leejink@deu.ac.kr, Tel : 051-890-1650

\*\*Joon-Hyun Lee : school of Mechanical Engineering, Pusan National University.

및 파손의 판단기준을 명확히 정하기 어렵다<sup>4,5)</sup>. 또한 플라스틱은 금속보다 가볍고 전기 절연성, 착색성, 성형 가공성 등의 우수한 특성을 가지고 있지만 강도와 내열성이 약하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이들 단점을 극복하기 위해 등장한 것이 엔지니어링 플라스틱(Engineering Plastic, EP)이다. 엔지니어링 플라스틱은 구조용 및 기계부품에 적합한 고성능 플라스틱으로서 자동차, 기계, 전기부품과 같은 공업적 용도로 사용되어진다. 엔지니어링 플라스틱의 인장강도는 50 MPa 이상, 2 GPa 이상의 굴곡탄성률과 내열성도 우수한 성질을 가지고 있다. 엔지니어링 플라스틱의 대표적인 것으로 폴리부틸렌테레프탈레이트 수지, 폴리페닐렌옥사이드 수지, 폴리카보네이트 수지, 폴리아세탈수지 및 폴리아미드 수지를 5대 엔지니어링 수지라고 한다. 이들 엔지니어링 플라스틱들이 기계 및 자동차, 항공기 부품으로 사용되어지면 다양한 외부 환경에 의해 영향을 받는다. 특히 청소기 등과 같이 반복적인 충격을 받을시 플라스틱의 기계적 특성이 변질될 수 있고 이들에 대한 정확한 특성을 파악해야 제품의 수명을 예측할 수 있다. 그러나 반복적인 충격에 의해 재료의 특성 변화를 연구하는 연구결과에서도 10여 회의 적은 반복횟수에 의한 내충격 특성을 연구한 결과와 세라믹 재료에 최대 120회 정도로 국부적인 충격을 가함으로써 경도변화 등을 측정한 결과 그리고 코팅된 금속에 수십만번의 국부적인 충격을 주어 코팅의 상태를 평가한 연구결과는 있지만, 플라스틱 재료전체에 충격하중을 주어 충격특성에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다<sup>6-8)</sup>. 따라서 본 연구에서는 수천회의 반복적인 충격을 받는 플라스틱 재료의 특성 파악을 위해 반복충격장치를 고안하였으며, 이를 이용하여 반복적인 충격을 받은 플라스틱 재료의 인장강도 및 연신율의 변화 등 기계적 특성을 관찰하였다.

## 2. 재료 및 시험기 설계

일반적으로 가전용 제품에 가장 많이 사용되고 있는 플라스틱 재료는 PC(Polycarbonate)와

ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) 재료이다. 각 재료에 대한 물성치는 Table 1에 나타내었다. 본 연구에 사용된 재료는 PC 플라스틱으로서 우수한 기계적 특성, 내열성, 전기적 특성 및 치수안정성을 가지고 있기 때문에 자동차, 전기, 전자제품의 기능성 부품에서 외장 재료에 이르기까지 다양한 용도에 사용되어진다. 본 연구에서는 플라스틱 재료에 반복적인 충격을 가하기 위해 반복 충격시험기를 고안하였으며 설계방향의 중점은 첫째, 자동화의 구현이다. 오랜 시간동안 반복해서 충격을 가하고 원하는 횟수만큼 충격을 가해야하므로 자동화의 구현은 필수적인 요소다. 둘째, 충격 에너지의 변화이다. 일상생활에서 가전제품을 사용할시 떨어뜨리거나, 벽에 부딪히거나 할 때 충격량의 차이가 발생할 수밖에 없으므로, 다양한 충격량에 대한 실험이 가능하도록 충격량을 조절 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 이와 같은 관점에 중점을 두고 반복 충격시험기를 설계하여 제작하였다. Fig. 1에서는 제작된 반복 충격시험기의 전체적인 모형을 나타낸 것으로, 그림에서 보여주는 바와 같이 모터에 의한 캠의 반복적인 회전으로 해머가 낙하하면서 시편에 충격을 가하는 방식이다. 해머의 지지대부분을 사각채널로 설계한 것은 캠과 지지대 사이에 점접촉이 아닌 면접촉을 유도하여 마모를 줄이기 위함이며 시편은 한번에 최대 3개까지 시험이 가능하도록 설계하였다. 세부적으로 각 부분을 살펴보면 Fig. 2는 첫 번째 설계방향이었던 자동화를 위한 컨트롤 패널로서 캠과 연결된 모터의 rpm을 조절하는 장치와 충격 횟수를 설정하여 카운팅하는 장치의 모습이다. 해머가 낙하할 때 센서로 카운팅하여 원하는 횟수에 도달하였을 시, 시험기는 자동으로 멈추게 되며 멈춤을 부저를 통해 알린다. 두 번째 설계방향인 충격 에너지의 변화를 위한 하중 제어부로서, Fig. 3과 같이 해머 상단부분에 다양한 무게로 제작한 추를 체결함으로써 충격 에너지의 변화를 줄 수 있게 설계하였다. 한편, 충격 높이도 레버를 돌려 캠이 부착되어 있는 모터의 위치를 제어함으로써 역시 충격 에너지에 변화를 줄 수 있도록 제작되었다.

Table 1 Mechanical properties of PC and ABS plastics

Materials	Tensile strength(MPa)	Elongation at Break(%)	Flexural Strength(MPa)	Hardness (R-scale)
PC	69	100	92	120
ABS	48	83	68	105

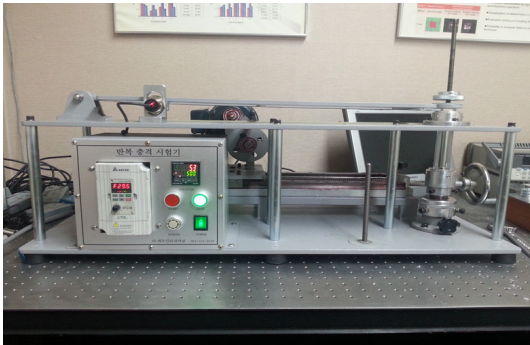


Fig. 1 Impact tester for repetitive impact



(b) Adjustment of motor position

Fig. 3 Instruments for impact energy control



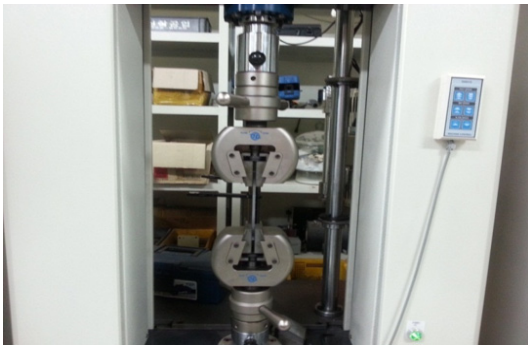
Fig. 2 Control panel of the impact tester



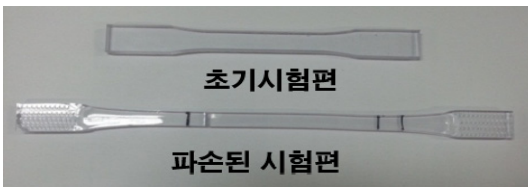
(a) Weights

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 PC 재료의 반복적인 충격에 대한 기계적 특성 중의 하나인 강도와 연신율의 변화를 평가하였으며 개발된 반복 충격시험기를 이용하여 플라스틱 시험편에 5.0 J의 충격에너지를 반복적으로 가하였다. Fig. 4에서는 본 실험에 사용된 인장시험기(10톤)와 인장되고 있는 시험편을 나타낸 것이다. Fig. 4(b)에서는 판형의 인장시험편과 인장되어 파손된 시험편을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 초기 시험편에 비하여 파손된 시험편은 많은 신장량을 보이고 있다. 시험조건은 변형률 제어로서 10 mm/min로 하중을 가하였다. Fig. 5에서는 반복적인 충격하중을 받은 PC 플라스틱 시험편의 강도와 연신율을 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 초기 충격을 받지 않은 시험편에서는 약 69 MPa의 인장강도와 66 MPa의 항복강도를 나타내었으며, 연신율도 100% (변형률 1) 정도의 값을 나타내었다. 또한 항복점에서 급격히 강도가 감소하여 약 48 MPa 정도

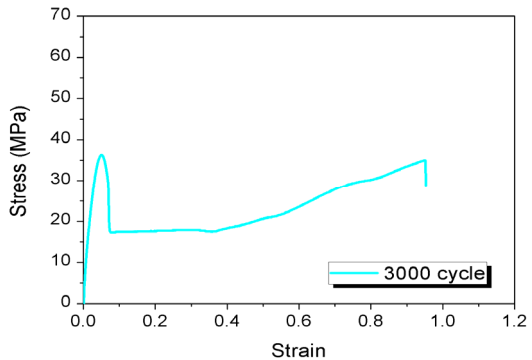
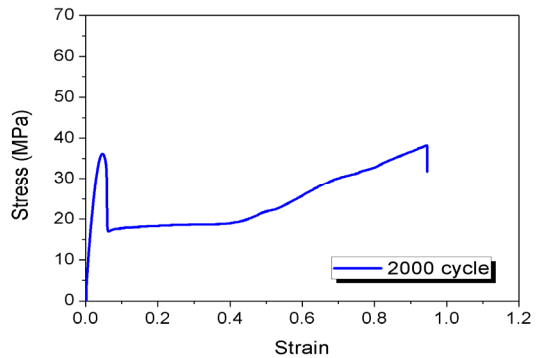
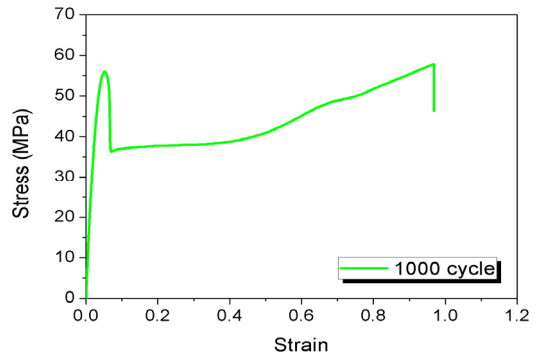
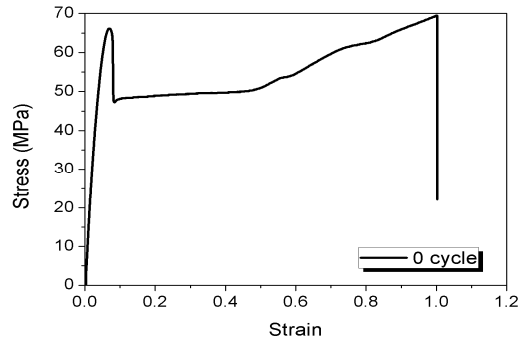


(a) Tensile tester



(b) Specimens

Fig. 4 Tensile test instrument and specimen



까지 항복강도가 감소하였다. 그리고 연신을 40~50% 지점까지 강도는 거의 일정하게 유지되며 그 이후부터 다시 강도가 점차적으로 증가하는 경향을 나타내고 최종파단에 도달하였다. 이러한 경향은 반복적인 충격을 받은 시험편 모두에서도 비슷한 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 플라스틱의 전형적인 성질로서 점탄성 재료에서 나타날 수 있는 현상이다. 즉 하중초기 고체와 같이 탄성의 성질을 나타내어 하중이 급격히 증가하고 항복점 이후에는 강도가 순간적으로 급격히 감소하며 소성변형도 현저히 증가한다. 이 시점부터는 유체의 점성적인 성질을 나타내게 된다. 한편 반복적인 충격을 받은 시험편에서의 인장 및 항복강도의 변화는 1,000번의 충격을 받은 시험편에서는 인장강도가 약 61 MPa, 항복강도는 56 MPa의 값을 나타내어 충격을 받지 않은 시험편에 비하여 인장강도는 약 10%, 항복강도는 약 15% 정도 감소함을 알 수 있다. 그리고 2,000번의 충격을 받은 시험편에서는 약 40 MPa의 인장강도와 36 MPa의 항복강도를 나타내어 충격을 받지 않은 시험편에 비하여 약 42% 및 45%의 인장강도와 항복강도의 감소를 나타내었다.

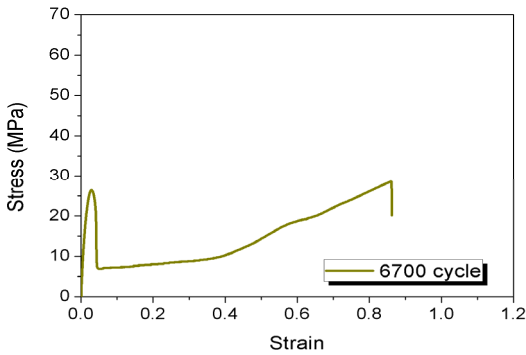
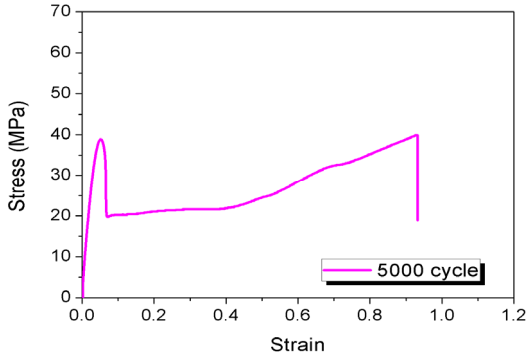


Fig. 5 Change in tensile strength due to repeated impact

그리고 5,000번까지의 충격을 받은 시험편에서의 인장강도와 항복강도의 변화는 2,000번의 충격을 받은 시험편과 거의 유사하여 큰 변화를 나타내지 않았다. 그러나 6,000번 이상의 충격을 받은 시험편에서의 인장강도와 항복강도의 값은 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과를 이용하여 Fig. 6에서는 반복적인 충격에 따른 PC 플라스틱의 인장강도 변화를 나타내었다. 그림에서 보여주는 바와 같이 약 2,000번의 초기 충격에서 인장강도는 현저히 감소하였으며 2,000회 이상의 충격에서는 점차적으로 감소하는 경향을 볼 수 있어 PC 플라스틱 재료는 초기의 반복적인 충격에 매우 민감하게 반응하고 다수의 충격을 받을 경우 점차적으로 반응이 감소함을 알 수 있다. 따라서 약 5.0 J의 충격에너지에서는 2,000회 정도의 충격까지 인장강도가 급격히 감소하지만 그 이후의 인장강도는 큰 변화가 발생하지 않음을 알 수 있다. 한편 변형률의 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

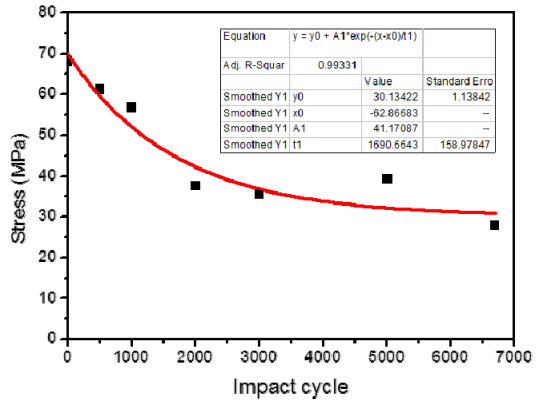


Fig. 6 Tensile stress vs. Impact cycle

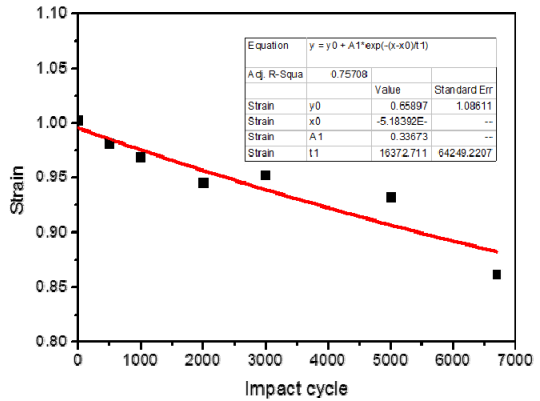


Fig. 7 Strain vs. Impact cycle

그림에서 보여주는 바와 같이 충격을 받지 않았을 때에는 거의 100%의 연신율을 나타내었지만 충격이 반복적으로 증가함에 따라 연신율은 점차적으로 감소함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 반복적인 충격이 가해짐에 따라 플라스틱 재료의 경화현상이 발생함으로써 연신율의 감소를 가져오는 것으로 사료된다. 특히 연신율의 감소는 인장강도와는 달리 전 영역을 통해 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 실험결과를 통해 반복적인 충격에 따른 인장강도와 연신율의 감소의 관계를 이끌어내기 위하여 지수적 감쇠 함수 (Exponential Decay Formula)를 이용하여 유도하였다. 이것은 어떤 양이 그 양에 비례하는 속도로 감소할 경우 많이 이용되는 함수이다. 반복적인

충격횟수(x)와 인장강도(y) 및 연신율(y)의 식은 아래와 같다.

$$y = y_0 + A_1 \times (\exp(x_0 - x)/t_1) \quad (1)$$

(인장강도와 충격횟수), 여기서

$$y_0 = 30.13, A_1 = 41.17, x_0 = -62.87, \\ t_1 = 1690.66$$

(변형률과 충격횟수), 여기서

$$y_0 = 0.66, A_1 = 0.34, x_0 = -5.18, \\ t_1 = 16372.71$$

#### 4. 결 론

1) 개발된 반복충격시험기를 이용하여 충격실험을 한 결과 충격을 받지 않은 PC 플라스틱 재료의 인장강도 및 항복강도는 각각 69 MPa, 66 MPa이었지만, 2,000회까지 충격을 받은 시험편의 인장강도 및 항복강도는 각각 42%와 45%의 강도 감소현상을 나타내었다. 그러나 2,000회 이상의 충격을 받은 시험편에서의 강도저하는 크게 발생하지 않아 PC 플라스틱 재료인 경우 2,000회 이전의 초기 충격에 매우 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

2) 변형률의 변화는 충격을 받지 않은 시험편에서 100%의 연신율을 나타내었으며, 충격을 받은 시험편에서는 점차적으로 연신율이 감소하는 경향을 나타내었다. 최종적으로 약 6,000회 정도의 충격을 받은 시험편에서는 약 90% 정도의 값을 연신율을 나타내어 약 10% 정도의 연신율이 감소하였다.

3) PC 플라스틱의 반복적인 충격에 따른 실험결과를 이용하여 인장강도 및 변형률(y)과 충격회수(x)의 관계식을 유도하였다.

$$y = y_0 + A_1 \times (\exp(x_0 - x)/t_1)$$

(인장강도와 충격횟수), 여기서

$$y_0 = 30.13, A_1 = 41.17, x_0 = -62.87, \\ t_1 = 1690.66$$

(변형률과 충격횟수), 여기서

$$y_0 = 0.66, A_1 = 0.34, x_0 = -5.18, \\ t_1 = 16372.71$$

#### 후 기

이 연구는 부산대학교 기본연구사업(2년), 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

#### References

1. A. S. Mohammed and M. I. Fareed, 2016 "Improving the Friction and Wear of Poly-Ether-Etherketone (PEEK) by Using Thin Nano-Composite Coatings", *Wear*, Vol. 364-365, pp. 154-162.
2. H. J. Kang, T. G. Kim, D. H. Moon, 2014 "Vibration Transfer Characteristic of Seat with the Auxiliary Plastic Member for Movie Theater Chair", *Journal of KSPSE*, Vol. 18, No. 6, pp. 45-50.
3. J. G. Kim, J. Y. Kim, H. S. Kim, 2009 "Design for Improving Impact Resistance of Microwave Oven Using Drop/Impact Analysis", *Journal of KSPSE*, Vol. 13, No. 3, pp. 53-58.
4. L. Yang, X. Liu, Z. Wu, R. Wang, 2016, "Effects of Triangle-Shape Fiber on the Transverse Mechanical Properties of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Plastics", *Composite Structures*, Vol. 152, pp. 617-625.
5. C. Y. Moon, J. S. Park, Y. D. Jeong, 2003 "Spring Back on the Compound Bending of the Plastic Fuel Tube for Automobile", *Journal of KSPSE*, Vol. 7, No. 2, pp. 51-55.
6. D. E. Krzeminski, B. M. D. Fernando, G. Curtzwiler, T. E. Gould, S. G. Piland, J. W. Rawlins, 2016 "Repetitive Impact Exposure and Characterization of Stress-Whitening of an American Football Helmet Outer Shell Material", *Polymer Testing*, Vol. 55, pp. 190-203.
7. E. S. Zanoria, L. E. Seitzman, 2004 "Characterization of Thin Metallurgical Coating Systems by Repetitive Inclined Impact Test in Dry Condition", *Surface and Coating technology*, Vol. 182, pp. 161-170.
8. E. Frutos, J. L. Gonzalez-Carrasco, T. Polcar, 2016 "Repetitive Nano-Impact Tests as a New Tool to Measure Fracture Toughness in Brittle Materials", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 36, pp. 3235-3242.