

반복적인 충격하중을 받은 PC 플라스틱 재료의 변형 및 수명 평가

Deformation and Life Evaluation of PC Plastic Materials Subjected to Repeated Impact Loads

이진경^{1*}

Jin-Kyung Lee^{1*}

〈Abstract〉

Polycarbonate (PC) materials having electrical insulation properties, are thermoplastic material and are easily processed, have excellent strength and heat resistance characteristics, and also have transparent and hard characteristics. In this study, we tried to derive the ϵ -N curve of strain-life, which shows the relationship between the strain characteristics and the life of the material when repeated impact loads are applied to the PC plastic material. As the impact load increased to 3.0kg, 4.0kg, 5.0kg, and 6.0kg, the strain also increased linearly to 0.033, 0.041, 0.046, and 0.055. At 3.0kg of mass impact, the test piece broke with 12000 impact cycles, 8400 times at 3.5kg, 7400 times at 4.0kg, 6600 times at 4.5kg, 4700 times at 5.0kg, 3000 times at 5.5kg, and 1000 times at 6.0kg. The number of fractures exponentially decreased as the load gradually increased. Using these results, an ϵ -N curve for PC plastic was derived.

Keywords : PC Plastic, Impact, Tensile Strength, Strain, Strain-Life Curve

^{1*} 정회원, 이진경, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부, ^{1*} Division of Mechanical, Automotive, Robot Component
교수 E-mail: leejink@deu.ac.kr Engineering, Dongeui University

1. 서론

우리 주위에 플라스틱이 재료인 제품이 매우 많다. 거의 모든 제품에 플라스틱이 조금이라도 들어있지 않는 제품은 없을 만큼 다양하게 이용되고 있는 소재가 플라스틱이다. 플라스틱의 종류도 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리스티렌(PS), 폴리염화비닐(PVC) 등 다양하다. 한편 폴리 카보네이트(Polycarbonate, PC)재료는 전기 절연성을 가지고 비결정성 열가소성 소재로 쉽게 가공되고 강도와 내열성이 매우 우수한 특징을 가지고 또한 투명하고 단단한 특징을 가지고 있기 때문에 휴대폰 케이스, 노트북, CD, DVD 등의 케이스 소재로 많이 사용되고 있다. 특히 열가소성 수지 중에서 충격강도가 가장 높기 때문에 고강도 여행용 가방으로 사용되고 유리보다 강하고 가볍고 가공이 쉬워 건축소재로도 사용된다. 또한 자동차에 들어가는 헤드라이트, 후면 및 측면 윈도우 등에 사용되고 검사용 안경, 일회용품 의료용품 및 광학, 전기전자 산업의 소재로 다양한 용도로 사용된다. 굽힘강도 및 인장강도 역시 매우 우수한 특성 때문에 많이 연구되어져 왔지만 PC 소재에 대한 기존의 연구는 탄소성 파괴인성에 대한 연구, 파괴거동, 복합재료로써 재료특성 등 고전적인 재료특성에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다[1-5]. 그러나 반복적으로 다양한 충격을 받을 때 어떻게 재료의 변화가 발생하는지에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다. 외부로부터 다양한 하중을 반복적으로 받을 때 PC 재료의 변형특성과 수명과의 상관관계를 밝혀냄으로써 다양한 기계부품 소재로도 더욱 많이 이용될 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 PC 플라스틱 소재에 대한 반복적인 충격하중을 가할 때 재료의 변형특성 및 변형률과 수명과의 관계를 나타내는 변형률-반복횟수[6,7]의 ϵ -N 곡선을 도출하고자 하였다.

2. 재료 및 시험방법

본 연구에 이용된 PC 플라스틱 소재의 화학구조는 Fig. 1과 같으며 내열성, 기계적 특성, 전기적 특성 등이 균형적으로 갖추어져 있으며 투명한 특성을 가지고 있다. Table 1에서는 PC 소재의 특성과 그에 따른 사용되는 용도를 나타내었다. 표에서 나타낸바와 같이 PC 소재는 내충격성이 크기 때문에 휴대전화케이스 및 전동기구 등의 전기전자분야 및 정밀기계분야 등에 이용되고 내열성도 좋아 헤어드라이어 및 배터리 외장 등의 통신분야에도 이용된다. 또한 투명성 및 치수정밀도도 높기 때문에 자동차의 헤드램프렌즈 채광판 등의 자동차와 건축부품 등으로 사용되고 위생성 및 무독성에 의해 의료분야의 인공투석기 또는 인공신장 하우징 소재로써 사용되어진다. 이와 같이 PC 소재의 우수한 특성들 때문에 거의 모든 분야에 응용되고 있다.

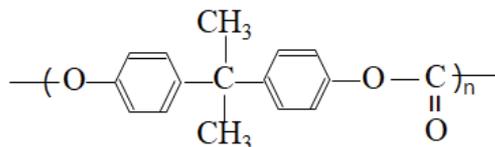


Fig. 1 Chemical structure of polycarbonate material

Table 1. PC properties and using examples

특성	사용용도
내충격성	휴대전화 케이스, 전동공구, 카메라부품
내열성	헤어드라이어, CD-ROM, 배터리 케이스, 인공투석기, 램프커버
투명성	헤드램프렌즈, 인너렌즈, 아케이드, 채광판
치수정밀성	IC카드, 카메라부품
위생성	인공투석기, 인공신장 하우징
무독성	다이아라이저(캡)

Fig. 2에서는 PC 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.8) 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 위해 설계하였다. 또한 자동화를 위한 컨트롤 패널로써 캠과 연결된 모터의

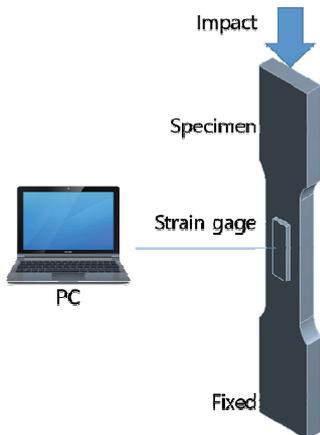
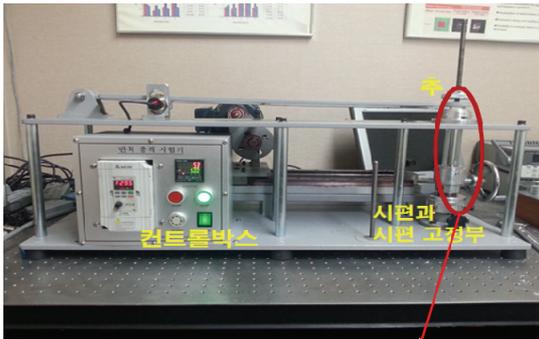


Fig. 2 Repetitive impact tester and strain measurement

rpm을 조절하는 장치와 충격 횟수를 설정하여 카운팅하는 장치로 설계하였으며 해머가 낙하할 때 센서로 카운팅하여 원하는 횟수에 도달하였을 자동으로 정지하도록 설계하였다(8,9).

3. 결과 및 토의

Fig. 3은 PC 플라스틱 재료에 대한 충격하중이 가해질 때 변형률의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 충격이 가해질 때 큰 압축 변형이 발생한다. Fig. 3(a)는 3.0kg의 질량으로 충격을 가한 경우 변형률을 나타낸 것으로 약 0.033m/m 정도의 변형률을 나타내었다. 그리고 Fig. 3(b)는 4.0kg의 질량으로 충격을 가한 경우 변형률을 나타낸 것으로 약 0.041m/m 정도의 값을 나타내었다. 또한 질량이 5.0kg, 6.0kg으로 증가할수록 Fig. 3(c), Fig. 3(d)에서 보여주는 바와 같이 0.046m/m, 0.055m/m의 변형률을 나타내었다. 이와 같이 질량이 점차적으로 증가하면서 충격을 가할 경우 변형률도 점차적으로 증가하였다. 본 연구에서는 플라스틱 시험편에 충격을 가하기 위해 일정한 질량을 가진 물체를 낙하시키는 방법으로 가하였다. 따라서 일정 무게를 가진 추가 낙하하면서 시험편에 충격을 가한 후 다시 튀겨 올라가 반발하여 0.1s-0.2s 이내에 다시 시험편에 약간의 충격을 가하는 상태이다. 따라서 두 번째의 충격에 대한 정보를 얻기 위해 Fig. 4에서와 같이 첫 번째 충격이후 두 번째 충격까지의 시간 차이와 두 번째 충격에서의 변형률을 측정하였다.

Fig. 5에서는 충격하중에 따라 첫 번째 충격과 두 번째 충격과의 시간차를 나타낸 것으로 3.0kg에서는 0.109s, 3.5kg는 0.129s, 4.0kg은 0.141s, 4.5kg은 0.145s, 5.0kg은 0.158s, 5.5kg은 0.176s 및 0.186s로 나타나 충격하중이 증가함에 따라 시

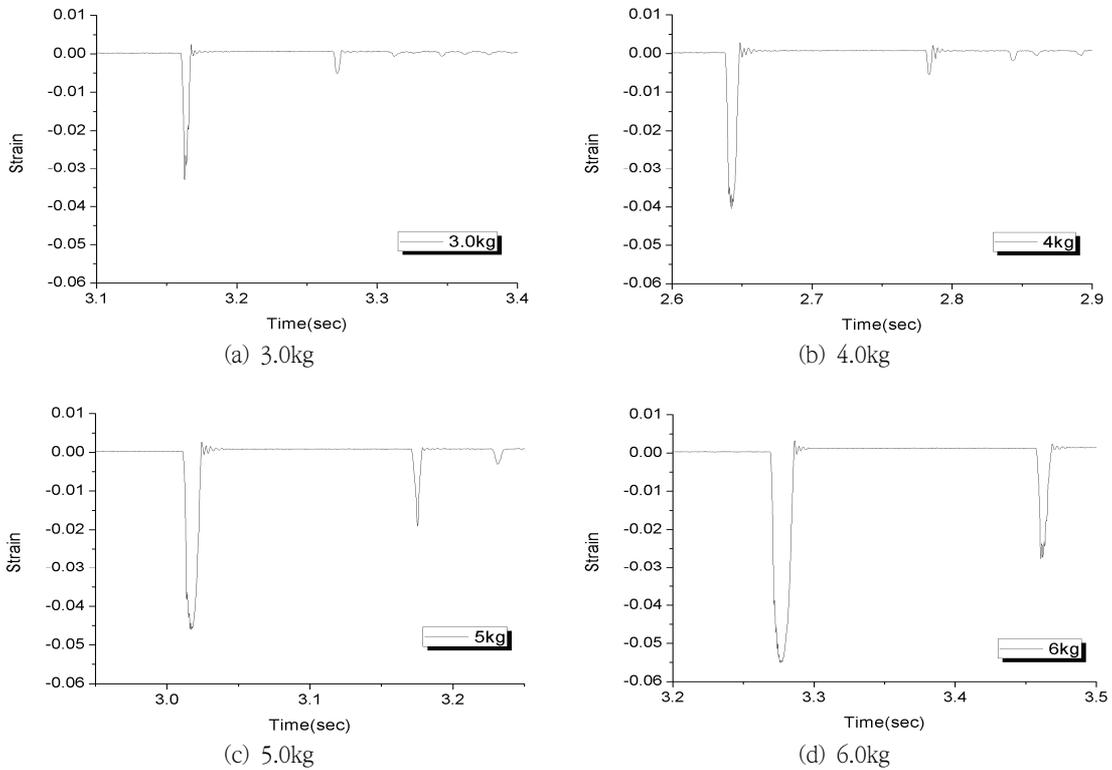


Fig. 3 Strain according to impact loads

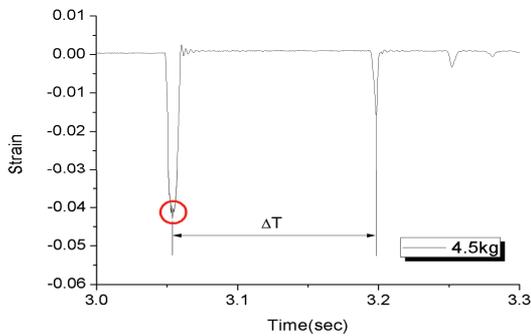


Fig. 4 Time difference between first and second strains by impact load

간차는 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 충격하중이 증가함에 따라 반발되는 높이도 증가하여 두 번째 충격을 가하는 시간이 조금씩 증가함을 알 수 있다. Fig. 6에서는 충격하중에 따라 두 번째 충격에서의 변형률을 나타낸 것

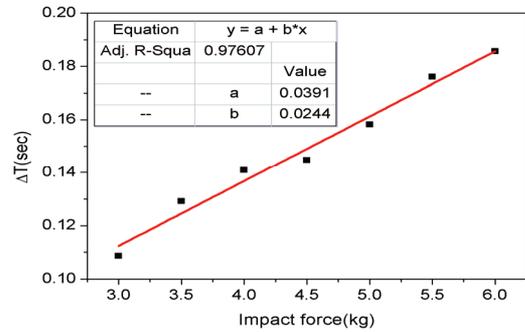


Fig. 5 Time difference vs. Impact load

으로 질량이 4.0kg 이하인 경우에는 두 번째 변형률의 크기는 거의 발생하지 않았지만 4.0kg이상의 질량에서는 변형률이 거의 선형적으로 증가하였다. 특히 가장 무거운 6.0kg의 질량에서는 변형률이 0.0273m/m 정도의 값을 나타내었으며 이것

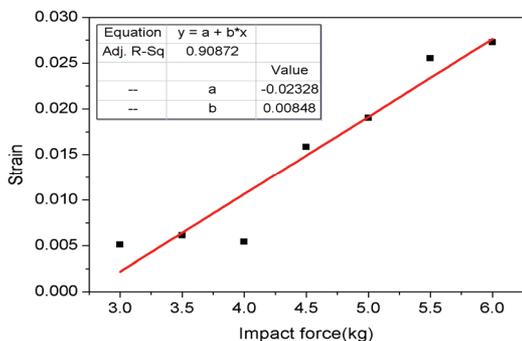


Fig. 6 Strain vs. Impact load

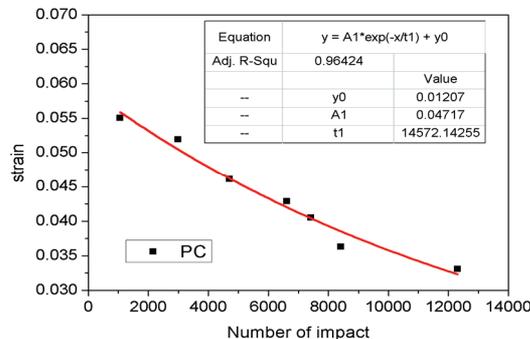


Fig. 7 Strain-Life curve

은 가장 가벼운 3.0kg의 질량으로 충격을 가한 경우의 첫 번째 변형률인 0.0331m/m의 약 82% 정도의 충격이었다. Fig. 7에서는 3.0kg, 3.5kg, 4.0kg, 4.5kg, 5.0kg, 5.5kg 그리고 6.0kg의 질량에서 반복적으로 충격을 받은 시험편과 변형률과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 질량 3.0kg의 충격에서는 12000여회의 충격에 시험편은 파단되었으며 3.5kg에서는 8400여회, 4.0kg은 7400여회, 4.5kg은 6600여회, 5.0kg은 4700여회, 5.5kg에서는 3000여회 및 6.0kg에서는 1000여회에서 시험편이 파단되었다. 이와 같이 하중이 점차적으로 증가함에 따라 파단되는 횟수는 지수함수적으로 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 이용하여 아래와 같은 지수함수를 이끌어내었다.

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

$$A_1 = 0.04717, t_1 = 14572.14, y_0 = 0.01207$$

4. 결론

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

- (1) 충격하중이 3.0kg, 4.0kg, 5.0kg, 6.0kg으로 증가함에 따라 변형률도 0.033m/m, 0.041m/m, 0.046m/m 및 0.055m/m 등으로 질량이 증가함에 따라 선형적으로 변형률도 증가하였다.
- (2) 낙하에 의한 충격으로 인해 첫 번째 충격 뿐만 아니라 순간적으로 튕겨올라가 두 번째 충격이 가해지고 첫 번째 충격과 두 번째 충격과의 시간차는 3.0kg에서는 0.109s, 3.5kg는 0.129s, 4.0kg은 0.141s, 4.5kg은 0.145s, 5.0kg은 0.158s, 5.5kg은 0.176s 및 0.186s로 충격하중이 증가함에 따라 시간차는 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다.
- (3) 질량 3.0kg의 충격에서는 12000여회의 충격에 시험편은 파단되었으며 3.5kg에서는 8400여회, 4.0kg은 7400여회, 4.5kg은 6600여회, 5.0kg은 4700여회, 5.5kg에서는 3000여회 및 6.0kg에서는 1000여회에서 시험편이 파단되어 하중이 점차적으로 증가함에 따라 파단되는 횟수는 지수함수적으로 감소하였다. 이와 같은 결과를 이용하여 PC 플라스틱에 대한 ϵ -N 곡선을 도출하였다.

참고문헌

- [1] M. L. Lu, K. C. Chiou, F. C. Chang, "Elastic-Plastic Fracture Toughness of PC/ABS Blend Based on CTOD and J-integral Methods", *Polymer*, Vol. 37, pp. 4289-4297. (1996)
- [2] J. Hund, J. Naumann, T. Seelig, "An Experimental and Constitutive Modeling Study on the Large Strain Deformation and Fracture Behavior of PC/ABS Blends", *Mechanics of Materials*, Vol. 124, pp. 132-142. (2018)
- [3] 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)
- [4] B. Bai, Y. Liu, X. Meng, C. Liu, G. Zhang, W. Zhang, H. Jin, "Experimental Investigation on Gasification Characteristics of Polycarbonate (PC) Microplastics in Supercritical Water", *J. of the Energy Institute*, Vol. 93, pp. 624-633, (2020)
- [5] A. Pascu, M. Oleksik, N. Rosca, E. Avrigean, V. Oleksik, "Experimental Studies on Uniaxial and Echi Biaxial Tensile Tests Applied to Plastic Materials Sheets", *Materialstoday : PROCEEDINGS*, Vol. 12(2), pp. 271-278. (2019).
- [6] 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).
- [7] J. Polak, "Plastic Strain-Controlled Short Crack Growth and Fatigue Life", *International Journal of Fatigue*, Vol. 27, pp. 1192-1201, (2005).
- [8] 이준현, 이상필, 이진경, "반복 충격장치 설계 및 반복충격에 의한 플라스틱 재료특성 연구", *한국동력기계공학회지*, 제 21권 5호, pp.29-34. (2017).
- [9] 이진경, "PC와 ABS 플라스틱재료의 반복적인 충격하중에 의한 기계적 특성 평가, 한국산업융합학회 논문집, 제23권 3호, pp. 375-380. (2020).

(접수: 2020.05.25. 수정: 2020.06.22. 게재확장: 2020.06.29.)