

충격하중을 받은 ABS 수지의 변형률 및 수명평가 Strain and Life Evaluation of ABS Resin Subjected to Impact Loads

이진경*†
Jin-Kyung Lee*†

(Received 1 July 2020, Revision received 7 August 2020, Accepted 10 August 2020)

Abstract : The acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) resin has stable mechanical properties and excellent processability such as injection and extrusion molding. Due to these properties, various products can be made, and heat-resistant, flame-retardant and plating materials can be further strengthened to produce heat-resistant and scratch-resistant products. In this study, a system was designed to evaluate the strain and the life of the ABS resin according to the impact load. Using the designed system, the impact mass was constantly increased from 3kg to 6kg, and the strain and the life until failure were evaluated. When the impact was applied with a mass of 3.0 kg and 4.0 kg, the strain was 0.035 and 0.043, respectively. In addition, as the mass increased to 5.0 kg and 6.0 kg, strains of 0.053 and 0.051 were exhibited. The equation of the exponential function was derived using the relationship between the strain and the number of repetition according to the change in the impact load.

Key Words : ABS resin, Injection, Extrusion molding, Impact mass, Exponential function

1. 서 론

일상에 사용되는 모든 일상용품들은 플라스틱 소재가 들어가 있고 어떤 것들은 모두가 플라스틱 소재로 만들어져 있다. 이와 같이 플라스틱은 우리 생활에 금속과 함께 가장 많은 비중을 주는 소재중의 하나이다. 플라스틱에도 종류가 다양하게 존재하는데 그 특성은 전체적으로 금속에 비하여 가볍고 절연성을 띠는 것들이 대부분이지만 플라스틱은 고분자 재료이기 때문에 결합의 형태에 따라서 매우 다양한 특성을 나타낸다.

특히 ABS 플라스틱은 Acrylonitrile-Butadiene-

Styrene의 줄임말로 아크릴로니트릴(A), 부타디엔(B) 그리고 스타이렌(S)의 합성수지이다. 각각의 성분마다 특성을 가지고 있기 때문에 이들 각성분의 특성을 이용하여 ABS 수지를 제조한다. 즉, 아크릴로니트릴은 화학적으로 안정적이고 부타디엔은 충격에 강한 성질, 그리고 스타이렌은 가공성이 뛰어나기 때문에 이들 원료들이 합성된 ABS 수지는 기계적 특성이 안정적이고 사출 및 압출 성형 등의 가공성이 우수하다. 위와 같은 특성 때문에 다양한 제품을 만들 수 있으며, 소재에 내열성, 난연, 도금 등의 특성을 더 강화하여 열에 강한 제품 및 스크래치에 강한 제품 등을 제조할 수 있다.

*† 이진경(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4281-1149) : 교수, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부
E-mail : leejink@deu.ac.kr, Tel : 051-890-1650

*† Jin-Kyung Lee(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4281-1149) : Professor, Division of Mechanical, Automobile and Robot Component Engineering, Donggeui University.
E-mail : leejink@deu.ac.kr, Tel : 051-890-1650

한편, ABS 플라스틱 수지에 대한 연구는 주로 강도 증가 및 열에 의한 영향 등을 연구하기 위한 복합재료에서 ABS의 역할 등에 대한 연구,¹⁻³⁾ 또는 샷피닝을 받은 후 ABS 재료의 저속충격에 대한 연구가 이루어졌으며 윤활유에 의한 ABS 재료의 마찰소음에 대한 연구 등 다양한 연구가 이루어졌다.^{4,7)} 그러나 반복적으로 재료에 외부하중이 가해진 경우에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않고 특히 반복적인 충격에 대한 ABS 수지의 변형 및 강도에 대한 연구는 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 ABS 수지에 대한 반복적인 충격과 충격하중이 변할 때 이에 대한 수지의 변형 특성 및 수명 등을 연구하였다. 이를 위하여 반복적인 충격을 가하기 위해 반복충격 시험기를 고안하여 제조하였으며 충격에 따른 변형을 측정하여 최종적으로 변형률-수명곡선을 이끌어 내어 ABS 수지에 대한 ϵ -N curve를 도출하였다.

2. 실험방법

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.⁸⁾

한편, 충격 높이도 레버를 돌려 캠이 부착되어 있는 모터의 위치를 제어함으로써 역시 충격 에너지에 변화를 줄 수 있도록 제작되었다. 모터에 의한 캠의 반복적인 회전으로 해머가 낙하하면서 시편에 충격을 가하는 방식이다. 해머의 지지대 부분을 사각채널로 설계한 것은 캠과 지지대 사이에 점접촉이 아닌 면접촉을 유도하여 마모를 줄이기 위함이며, 시편은 한 번에 최대 3개까지 시험이 가능하도록 설계하였다.

또한 자동화를 위한 컨트롤 패널로써 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 알리는 시스템으로 설계되었다.

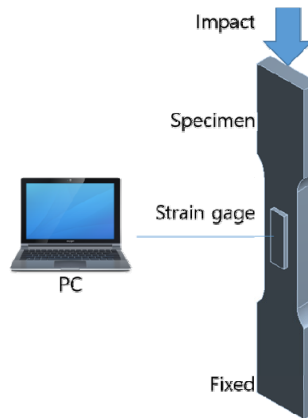
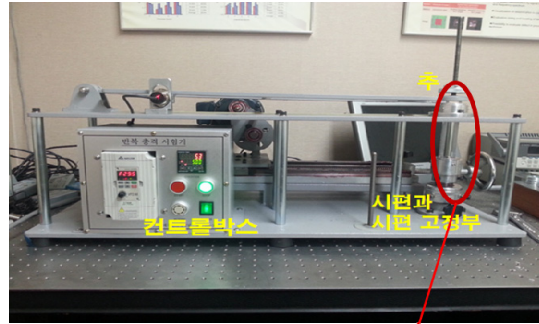


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

3. 실험 결과

ABS 수지에 대해 충격에 대한 특성을 평가하기 위해 본 연구에서는 하중을 달리하여 일정한 높이에서 낙하시키면서 변형 특성을 관찰하였다. Fig. 2에서는 ABS 수지에 대한 충격하중이 가해질 때 변형률의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 충격이 가해질 때 큰 압축변형과 작은 변형이 연달아 발생함을 알 수 있다. Fig. 2(a)에서는 3.0 kg의 질량으로 충격을 가한 경우 변형률을 나타낸 것으로 약 0.035 정도의 변형률을 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 2(b)는 4.0 kg의 질량으로 충격을 가한 경우 변형률을 나타낸 것으로, 약 0.043 정도의 값을 나타내었다. 또한 질량이 5.0 kg, 6.0 kg으로 증가할수록 Fig. 2(c), Fig. 2(d)에서 보여주는 바와 같이 0.053, 0.051의 변형률을 나타내었다. 이와 같이 질량이 점차적으로 증가하면서 충격을 가할 경우 변형률

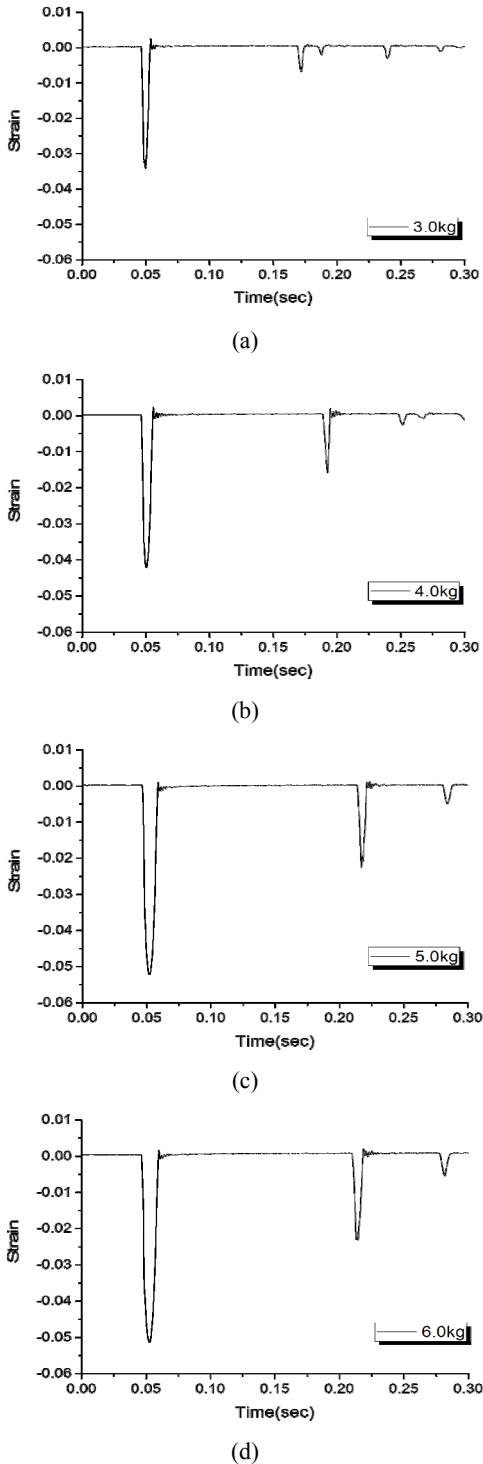


Fig. 2 Strain according to impact loads

도 점차적으로 증가하는 경향을 나타내었지만 0.5 kg 이상에서는 변형률의 변화는 거의 발생하지 않는 경향을 나타내어 어느 하중 이상에서는 변형률이 급격히 증가하지는 않음을 알 수 있었다.

이와 같은 결과를 이용하여 하중에 의한 변형률과의 관계를 나타낸 것을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 하중 증가에 의해 변형률의 증가는 지수함수적으로 증가하며 0.5 kg 이상에서는 거의 일정함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 이용하여 아래 식 (1)과 같은 지수함수를 도출하였다.

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

$$A_1 = -0.11$$

$$t_1 = -2.11$$

$$y_0 = 0.06$$

또한 앞에서 언급한 바와 같이 ABS 수지에 충격을 가하기 위해 해머를 낙하시키는 방향으로 진행하였는데, 충격 후 순간적으로 다시 반발에 의해 제 2차 충격이 가해지는 결과를 보였다. 따라서 본 연구에서는 두 번째 충격이 가해질 때까지의 순간적인 시간차와 두 번째 충격에 의한 정보를 수집하기 위해 Fig. 4에서와 같이 첫 번째 충격 이후 두 번째 충격까지의 시간차이와 두 번째 충격에서의 변형률을 측정하였다.

Fig. 5에서는 충격하중에 따라 첫 번째 충격과 두 번째 충격과의 시간차를 나타낸 것으로 3.0 kg에서는 0.123초, 3.5 kg은 0.131초, 4.0 kg은 0.141초, 4.5 kg은 0.151초, 5.0 kg은 0.164초, 5.5 kg과 6.0 kg은 0.164초 및 0.160초로 나타나 충격하중이 증가함에 따라 시간차 역시 지수함수적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 5.0 kg 이상의 질량에서는 거의 큰 변화는 발생하지 않았다. 일정 하중 이상에서는 반발되는 시간의 차이는 거의 발생하지 않았다. Fig. 6에서는 첫 번째 충격 이후 해머의 반발에 의해 다시 두 번째 충격이 가해질 때의 변형률을 나타내었는데, 첫 번째 충격에 의한 변형률과 마찬가지로 하중에 따라 지수함수적으로 증가하다 5.0 kg 이상에서는 거의 큰 변화가

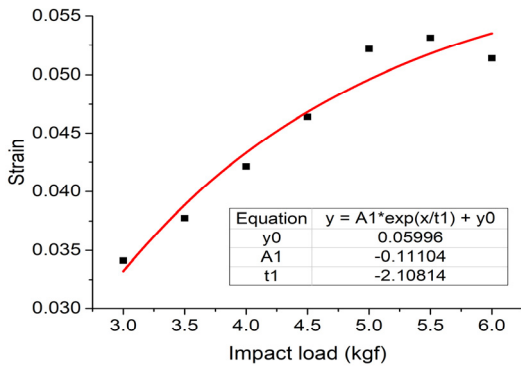


Fig. 3 First strain vs. Impact load

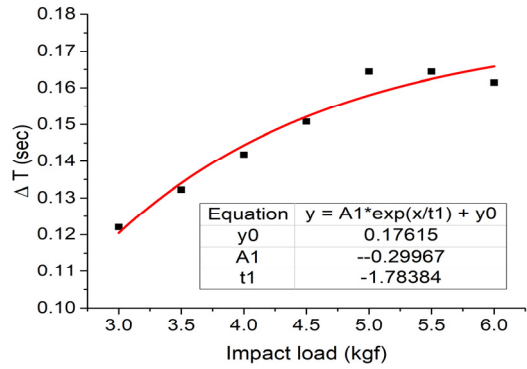


Fig. 5 Time difference vs. Impact load

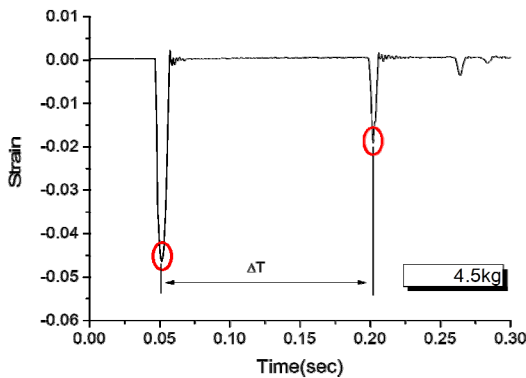


Fig. 4 Strain vs. Time difference between first and second strains by impact load

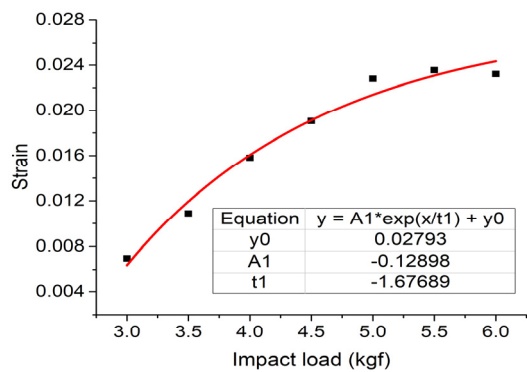


Fig. 6 Second strain vs. Impact load

일어나지 않는 경향을 나타내었다. 특히 두 번째 충격에서 가장 큰 변형률은 약 0.023으로, 이것은 본 연구에서 가장 가벼운 3.0 kg의 첫 번째 충격에서의 0.035의 약 66% 정도의 충격으로 나타났다. Fig. 7에서는 3.0 kg, 3.5 kg, 4.0 kg, 4.5 kg, 5.0 kg, 5.5 kg 그리고 6.0 kg의 질량에서 반복적으로 충격을 받은 시험편에서의 반복횟수와 변형률과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 질량 3.0 kg에서 변형률 0.035의 충격에서는 2200여회의 충격에 시험편은 파단되었으며, 4.0 kg의 0.043의 변형률에서는 1400여회, 4.0 kg은 900여회, 5.0 kg, 6.0 kg으로 하중이 증가할수록 거의 선형적으로 반복횟수는 감소하였다. 본 연구에서는 일반적인 피로시험에서 재료의 피로 한도를 도출하는 것과는 달리 3.0 kg의 반복적인

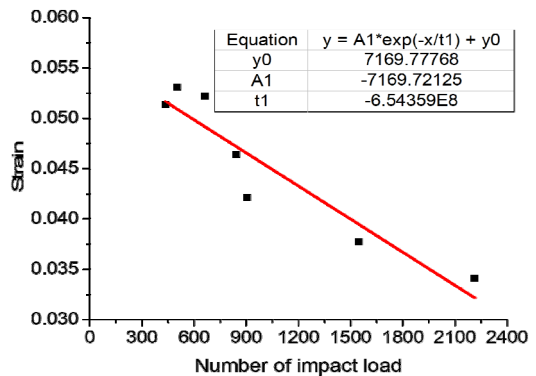


Fig. 7 Strain-Number curve

작은 충격을 받은 ABS 수지의 수명은 일정 한계를 가짐을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 이용하여 변형률과 반복횟수와의 관계를 도출한 결과, 아래와 같은 식 (2)의 지수함수를 도출하였다.

$$y = A_1 * \exp(-x/t_1) + y_0 \quad (2)$$

$$A_1 = -7169.72$$

$$t_1 = 6.54$$

$$y_0 = 7169.78$$

4. 결 론

본 연구에서는 반복적인 충격을 받는 ABS 수지에 대한 변형률과 수명과의 상관관계에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 3.0 kg의 질량으로 충격을 가한 경우 변형률은 약 0.035, 4.0 kg의 질량으로 충격을 가한 경우 변형률은 0.043 정도의 값을 나타내었다. 또한 질량이 5.0 kg, 6.0 kg으로 증가할수록 0.053, 0.051의 변형률을 나타내었다

2) 충격하중에 따라 첫 번째 충격과 두 번째 충격과의 시간차에서는 3.0 kg에서는 0.123초, 3.5 kg은 0.131초, 4.0 kg은 0.141초, 4.5 kg은 0.151초, 5.0 kg은 0.164초, 5.5 kg과 6.0 kg은 0.164초 및 0.160초로 나타나 충격하중이 증가함에 따라 시간차도 지수함수적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

3) 충격하중의 변화에 따른 변형률과 반복횟수와의 관계를 도출한 결과, 아래와 같은 식의 지수함수를 도출하였다.

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

$$A_1 = -7169.72, t_1 = 6.54, y_0 = 7169.78$$

4) ABS 수지의 충격에 따른 변형률은 가전제품의 재료로 많이 이용되는 PC 수지에 비해 5 kg까지의 약 3배 정도 높게 나타남을 알 수 있었다.

References

1. D. K. Hwang and D. H. Cho, 2019, "Fiber aspect ratio effect on mechanical and thermal properties of carbon fiber/ABS composites via extrusion and long fiber thermoplastic processes", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 80, pp. 335-344.
(<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.08.012>)
2. G. Huang, S. Huo, X. Xu, W. Chen, Y. Jin, R.

- Li, P. Song and H. Wang, 2019, "Realizing simultaneous improvements in mechanical strength, flame retardancy and smoke suppression of ABS nanocomposites from multifunctional graphene", *Composite Part B:Engineering*, Vol. 177, pp. 1-10.
(<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107377>)
3. H. Hadidi, B. Mailand, T. Sundermann, E. Johnson, G. Madireddy, M. Negahban, L. Delbreilh and M. Sealy, 2019, "Low velocity impact of ABS after shot peening predefined layers during additive manufacturing", *Additive Manufacturing*, Vol. 34, pp. 594-602.
(<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.169>)
4. M. K. Eriksen, J. D. Christiansen, A. E. Daugaard and T. F. Astrup, 2019, "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.
(<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.005>)
5. A. Pascu, M. Oleksik, N. Rosca, E. Avrigean and V. Oleksik, 2019, "Experimental Studies on Uniaxial and Echi-biaxial Tensile Tests Applied to Plastic Materials Sheets", *Materialstoday : PROCEEDINGS*, Vol. 12(2), pp. 271-278.
(<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.124>)
6. M. Seghiri, D. Boutoutaou, A. Kriker and M. I. Hachani, 2017, "The Possibility of Making a Composite Material from Waste Plastic", *Energy Procedia*, Vol. 119, pp. 163-169.
(<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.065>)
7. J. P. B. Karama, A. Bere, J. Lemonon, T. Daho, A. Dissa, Y. Rogaume and J. Koulidiati, 2013, "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.
(<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.01.006>)

8. J. H. Lee, S. P. Lee and J. K. Lee, 2017, "Design of Repetitive Impact Tester and Mechanical Properties of Plastic Due to Cyclic Impacts",

Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 21, No. 5, pp.29-34.
(<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2017.21.5.029>)