

속 보

광섬유센서에 의한 충격분포 측정

박 우 진 · 서 광 석[†] · 강 창 균* · 박 진 우**

고려대학교 재료공학과, *제일모직 화성연구소, **고려대학교 전자공학과.
(1995년 4월 12일 접수)

Measurement of Impact Profile by an Embedded Optical Fiber Sensor

Woojin Park, Kwang S. Suh[†], Changyun Kang*, and Jinwoo Park**

Department of Materials Science, Korea University, Seoul, Korea

**Cheil Textile Inc., R & D Center, Euiwang, Korea*

***Department of Electronics, Korea University, Seoul, Korea*

(Received April 12, 1995)

요 약 : 본 연구는 한 가닥의 광섬유를 이용하여 판상 고분자 재료의 충격분포도 측정방법의 개발에 관한 연구이다. 본 연구를 통하여 한가닥의 광섬유를 이용하여 판상 고분자 재료의 충격분포를 측정할 수 있다는 것을 알았다. 또한 실험을 통하여 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)에 비하여 충격에너지 전파가 어려우며 따라서 LDPE의 충격흡수능이 HDPE에 비하여 좋다는 일반적인 사실을 확인하였다. 이러한 측정방법은 보다 세밀한 충격성의 연구에 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

Abstract : This paper describes a technique to measure the impact profile in polymer slabs by embedding a single optical fiber sensor. It was found that the impact profile of polymer plate can be measured by a single optical fiber sensor. It was confirmed by this technique that the propagation of impact energy in low density polyethylene(LDPE) is more difficult than in high density polyethylene(HDPE) and thus the impact absorbing capability (damping capacity) of LDPE is better than HDPE. This technique is expected to be useful in the study of impact properties in detail.

Keywords : *impact profile, optical fiber sensor, damping capacity, LDPE, HDPE.*

서 론

고분자 재료의 충격성을 측정하는데 있어서 지금까지는 주로 충격강도의 측정에 의존해 왔다. 그러나 재료 요구조건이 점차 엄격해지면서 단순한 충격강도 이외에 충격의 분포, 전파양상 또는 감쇠특성 등의 보다 자세한 충격성에 대한 평가가 요구되고 있다. 이 중에서 가장 간단한 형태는 충격분포라

고 할 수 있으며 이는 재료에 충격이 가해졌을 때 어떤 형태의 분포도를 갖는 지에 대한 정보 또는 복잡한 형태의 시편에서 충격이 어떤 형태로 분포되는 지에 대한 귀중한 정보를 제공할 수 있다.

지금까지는 충격분포를 얻기 위하여 여러 개의 strain gauge를 시편표면에 부착시키는 방법이 사용되었다.¹⁻³ 이 방법은 그 동안 충격분포 측정에 있어서 중요한 역할을 한 것은 사실이지만 여러 면에

있어서 불편한 방법이다. 먼저, strain gauge를 부착시키는 방법에 의한 영향을 많이 받을 수 있으며 넓은 면적 또는 복잡한 형태의 시편에는 사용할 수 없다는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 광섬유를 센서로 사용하여 고분자 재료의 충격분포를 구할 수 있는 새로운 측정방법을 고안하였다. 광섬유는 주변의 전자기파에 대하여 반응하지 않으며 광섬유 자체가 센서이기 때문에 광범위한 지역을 탐지할 수 있으며 신호측정은 물론 측정된 신호의 전송까지 가능하기 때문에 주변의 전자기파에 의한 신호 잡음이 없는 매우 유용한 방법이다.⁴ 본 연구의 목표는 광섬유 센서로 고분자 재료의 충격분포를 측정할 수 있는 가에 대한 연구이므로 가장 일반적인 고분자인 저밀도 폴리에틸렌 (LDPE)과 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE)을 시료로서 사용하였다.

실 험

측정원리 및 실험장치. 재료에 충격을 가하면 충격에너지는 매질내에서 longitudinal wave와 transverse wave로 이루어진 충격파 형태로 전파된다.⁵ 충격파가 매질내를 진행할때 재료들은 국부적인 변위를 겪게되며 이 변위는 충격파가 재료를 빠져 나갈 때까지 연속적으로 진행한다. 이 충격파가 광섬유에 충돌하면 광섬유의 배열상태가 미세하게 요동치는데, 이때 광섬유내에서 진행하던 빛의 전반사조건이 변하게 되어 빛이 외부로 빠져나가고 모드(mode)가 변하는 현상이 발생한다. 이러한 현상이 반대쪽에 있던 광검출기에는 빛세기의 감소로서 나타나는데, 검출된 신호의 형태는 충격파의 형태에 의하여 결정된다. 즉, 충격파의 형태가 펄스의 형태이면 검출된 빛세기 감소도 펄스의 형태로 나타난다. 또한 충격파의 세기는 광세기 감소소기로 나타난다. 이러한 현상을 이용하면 복잡한 간섭계 원리를 사용하지 않고도 간단한 형태의 빛발생기와 광검출기만 가지고도 충격파를 쉽게 측정할 수 있다.

충격이 발생하여 충격파가 발생하고 이 충격파가

광섬유가 있는 곳까지 진행되는 동안 충격파는 재료내에 있는 결정 또는 불순물 등의 입자들에 의하여 산란되기도 하고 일부는 고분자 사슬의 움직임 유발할 수 있기 때문에 감쇠된다.⁶ 동일한 에너지를 갖는 충격파가 발생하였다고 해도 이 충격파가 진행되는 동안 감쇠정도가 다르기 때문에 검출되는 광신호 세기도 각기 다를 것이다. 동일한 충격이 가해졌다고 가정하면 충격강도가 큰 재료, 즉 인성이 강한 재료에서는 충격파의 감쇠가 클 것이다. 따라서 검출된 광신호의 크기와 재료에 가한 충격에너지간의 관계를 비교하면 그 차이는 결국 그 재료의 인성 또는 충격강도와 깊은 관련이 있을 것이다.

Fig. 1은 본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도이다. 광섬유가 삽입된 시료를 광테이블 위에 고정하고 시편내부에 삽입된 광섬유가 실험 도중에 흔들리는 것을 방지하기 위하여 광신호의 전송로 역할을 하는 광섬유의 양단을 광테이블위에 고정하였다. 광섬유의 입력단으로는 633 nm파장의 광파가 입사되고, 시편내의 광섬유 센서를 지날 때 시편에 가해진 충격에 따라 발생하는 광섬유의 센싱신호는 필터를 거쳐 PIN다이오드에 의하여 검출된다. PIN다이오드는 입사되는 광파에 비례하는 전류를 발생하고 검출기에서 전기적으로 처리된 신호는 신호변환기를 거쳐 컴퓨터의 기억장치에 저장되며, 이 신호를 목적에 따라 처리하여 충격분포를 얻는다.

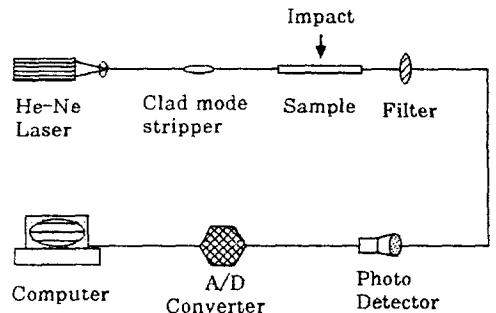


Fig. 1. Diagram of an apparatus for the measurement of impact profile.

시료. 본 실험에서는 HDPE와 LDPE를 시료로서 사용하였다. 본 연구는 광섬유를 센서로 사용할 수 있는 가에 대한 연구이기 때문에 시료에 대한 자세한 사항은 언급하지 않기로 한다. 시편의 크기는 14 cm x 14 cm이고 두께는 2 mm를 갖도록 hot press를 이용하여 제작하였는데, 먼저 1 mm두께의 판상 시료를 두 장 만든 다음 이 중간에 광섬유를 넣고 다시 hot press를 이용하여 압착하였다. 일정한 높이(48 cm)에서 일정한 지점에 충격을 가할 수 있는 장치를 제작하여 사용하였으며, 실험에 사용된 추의 무게는 5, 10, 20, 50 g이었는데, 이는 0.024, 0.047, 0.096, 0.24의 에너지에 해당한다. 본 연구에 사용된 광섬유는 국내에서 생산된 일반 통신용 다중모드 광섬유였으며 그 제원은 Table 1과 같다.

실험방법. 충격분포도는 어느 한 지점에 충격이 가해졌을 때 이 충격이 전파되어 나가는 양상을 측정하는 방법이다. 따라서 정확한 충격량을 측정하려면 여러가닥의 광섬유를 재료내에 삽입하여 측정된 서로 다른 신호들을 비교, 조합하는 방법이 가장 이상적이다. 그러나, 현재 본 연구는 광섬유를 이용하여 충격분포를 측정하는 첫 시도인 만큼 가운데 한가닥의 광섬유를 사용하여 충격분포를 측정하였다.

먼저 14 cm x 14 cm의 시편의 중간에 광섬유를 한가닥 삽입하여 2 mm두께의 시편을 만들었다. 이 시편에 광섬유가 있는 위치부터 바깥쪽으로 매 1 cm지점에 표시를 한 후 이 표시점에 충격을 가하면서 광섬유 센서의 응답을 측정하였다. 이때 측정상의 오차를 줄이기 위하여 한 지점에서 약 10번씩 충격을 가한 후 이를 평균한 값을 결과로 취하였다. 이렇게 얻은 결과를 2차원 또는 3차원으로 40 cm x 40 cm에 나타냈고 3차원 도시는 실험에서 얻은 결과를 Mathematica 프로그램을 이용하였다.

Table 1. Specification of Optical Fiber Sensor Used in the Study

Type	Loss dB/km	Clad 지름(μm)	Coating (μm)	Numerical aperture	Eccentricity (%)
Multimode	0.96	125.3	248.9	0.224	0.83

결과 및 고찰

대표적 신호 및 신호처리. Fig. 2(a)는 시편에 충격을 가했을 때 본 실험장치에서 얻은 대표적인 출력신호이다. 정상상태에 있던 광섬유 센서는 충격이 가해졌을 때 순간적으로 반응하며 곧 급격한 감쇠를 나타내어 충격에너지가 소진됨에 따라 전이구간을 가지며 어느 정도의 시간이 흐른 뒤 다시 정상상태로 돌아온다. 이때 신호가 기준선을 중심으로 위 아래로 흔들리기 때문에 각 신호값을 제곱한 후 적분하는 방법을 사용하여 실험에서 얻은 신호를 정량화하였다.

Fig. 2(b)에 충격시 얻은 신호 (Fig. 2(a))를 제공하여 적분한 결과가 나와 있다. 위에서 얻은 결과에 대한 보정은 다음과 같은 방법을 사용하였다. 먼저 광섬유가 위치한 지점 바로 위에서 정확하게 광섬유가 있는 지점에 추를 떨어뜨려 신호를 얻은 다음 이를 제공하여 적분한 뒤 이 값을 해당 추가 갖는 에너지값으로 하였다. 4개 추에 대한 실험결과 얻은 신호값과 에너지값과의 관계는 Fig. 3에 나와 있다. 이 그림에 나와 있는 바와 같이 출력신호를 제곱하여 적분한 값과 에너지값 사이에는 직비례 관계가 성립됨을 알 수 있다. 이후에 나오는

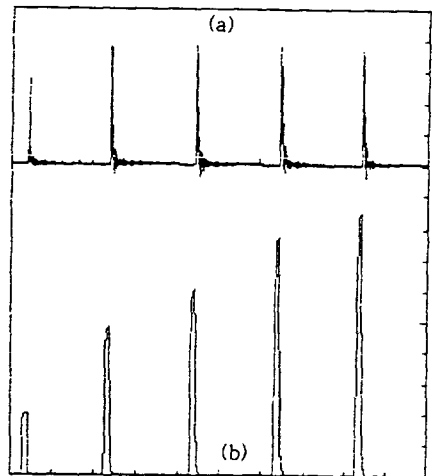


Fig. 2. Measured signals (a) and square integrated pattern (b).

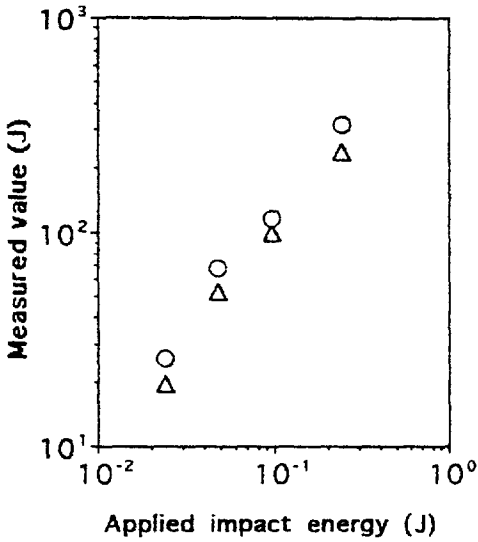


Fig. 3. Square integrated value of detected signal vs. impact energy. Distance of impact from sensor : 4 cm, HDPE(○), LDPE(△).

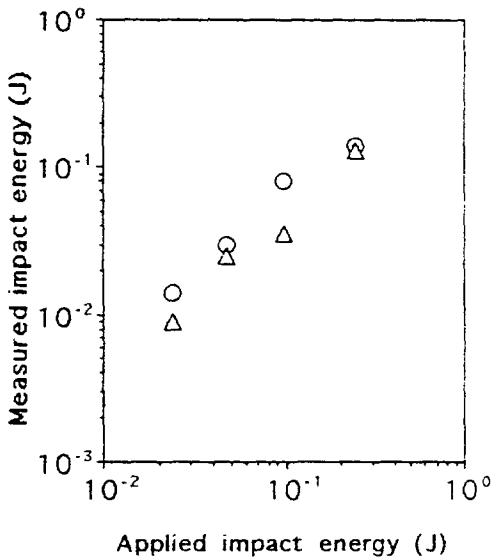


Fig. 4. Measured impact energy (calibrated) at 2 cm(○) and 4 cm (△) from sensor(HDPE).

모든 결과는 이러한 과정을 거쳐 에너지값으로 보정하였다.

HDPE와 LDPE. 먼저, HDPE에 충격을 가했을 때의 거리에 따른 충격의 감쇠정도를 측정하였

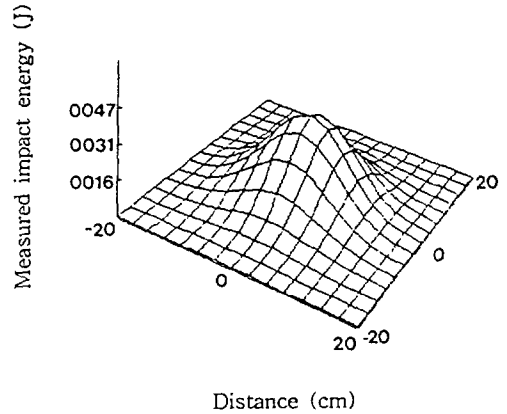


Fig. 5. 3-Dimensional diagram of measured impact energy of HDPE (0.047 J).

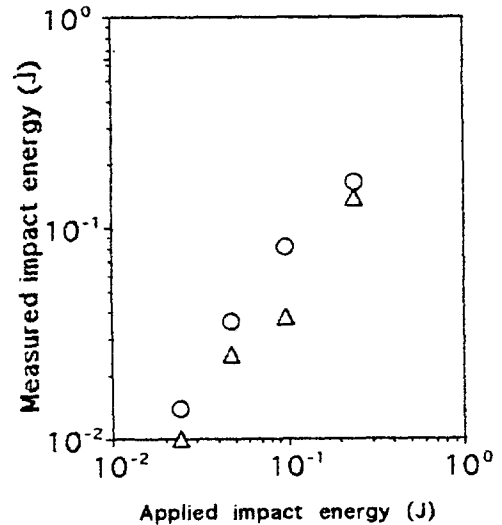


Fig. 6. Measured impact energy (calibrated) at 2 cm(○) and 4 cm (△) from sensor (LDPE).

으며 그 결과가 Figs. 4와 5에 나와 있다. Fig. 4는 HDPE를 사용하여 광섬유 센서가 있는 위치에서 2 cm 및 4 cm 지점에 충격을 가했을 때 충격 에너지에 따른 충격량을 도시한 것이다. 예상대로 충격에너지가 높을수록 광섬유 센서를 통하여 측정된 에너지도 높아지는 것을 보여 준다. Fig. 5는 0.047 J의 충격에너지를 가했을 때 HDPE가 보여주는 충격분포도이다. 이 그림은 충격이 가해진 지

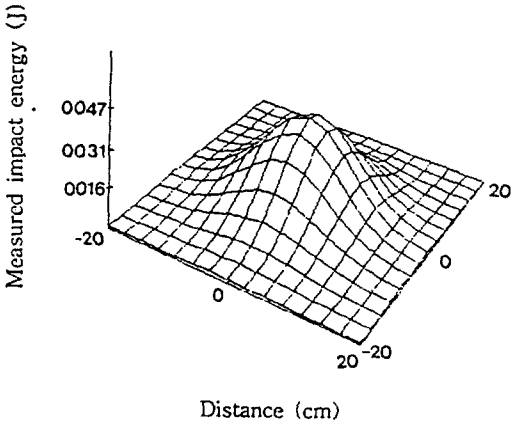


Fig. 7. 3-Dimensional diagram of measured impact energy of LDPE (0.047 J).

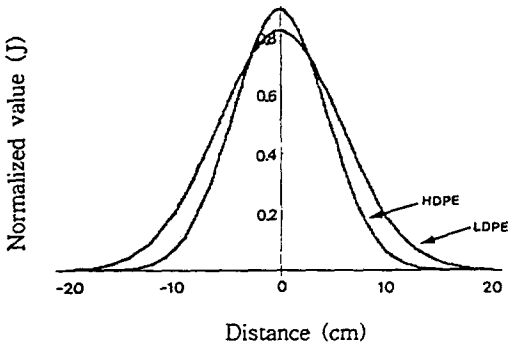


Fig. 8. Comparative diagram of LDPE vs. HDPE at 4 cm away from sensor.

점으로부터 멀리 떨어질수록 충격량이 점차로 작아지는 것을 보여 준다.

LDPE 시편에 대하여 동일한 실험을 수행하였으며 그 결과가 Figs. 6과 7에 나와 있다. 그 시편에서도 정도의 차이는 있지만 HDPE와 마찬가지로 특성을 보이고 있다. 즉, 충격량이 증가하면 광섬유 센서를 통하여 측정된 신호도 크며 충격지점으로부터 멀어질수록 충격량은 감소된다.

Fig. 8에 광섬유가 있는 위치로부터 4 cm 지점에서 0.047 J의 충격을 가했을 때 측정된 HDPE와 LDPE가 보여 주는 결과를 비교하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 LDPE는 광섬유가 측정한 에너지값

이 작음을 알 수 있는데, 이는 LDPE에서는 충격파의 전파가 HDPE 보다는 어렵다는 것을 의미하며 이는 다시 LDPE의 충격흡수능이 HDPE 보다는 좋다는 것을 의미한다. 가한 충격에너지와 측정된 충격에너지가 차이난다는 것은 그 재료가 충격 에너지를 흡수할 수 있는 능력, 즉 충격흡수능 또는 damping capacity를 말한다. 앞의 결과로부터 예측할 수 있듯이 LDPE의 경우 HDPE보다 충격 흡수능이 높다는 것을 알 수 있다.

본 실험은 한가닥의 광섬유를 이용하여 충격실험을 했으나 현재 여러가닥의 광섬유를 이용한 센싱장치를 개발하고 있다. 이 장치로는 충격의 크기뿐만 아니라 충격지점도 판별할 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

한가닥의 다중모드 광섬유 센서를 이용하여 판상 시료의 충격분포를 측정할 수 있는 실험방법을 고안하였다. 이 방법을 이용하여 LDPE와 HDPE의 충격분포도를 구하였으며, LDPE의 충격흡수능이 HDPE보다 크다는 일반적인 사실을 확인할 수 있었다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 연구비지원 (과제번호 91-04-00-02)에 의한 결과로 지원기관에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. W. R. Rose, S. I. Rokhin, and L. Alder, *Rev. Prog. Quantative NDE*, **6B**, 1111 (1987).
2. N. Takeda, R. L. Sierakowasaki, and L. E. Malvern, *J. Composite Materials*, **15**, 154 (1981).
3. M. R. Gorman, *J. Acoust. Soc. Am.*, **90**, 358 (1991).
4. 박용, "센서의 원리와 사용법 (I)", Chap. II, p. 46, 도서출판 세화, 1988.
5. Fetter and Walecka, "Theoretical Mechanics of Particles and Continua", Chap. 13, p. 459, Times Roman, 1971.
6. W. Saches and Y. H. Pao, *J. Appl. Phys.*, **49** (8), 4320 (1978).