

<論 文>

고분자 재료의 동적 균열전파속도 측정

이 역 섭* · 한 민 구**

(1989년 8월 1일 접수)

Measurement of Dynamic Crack Propagation Velocity in Polymers

Ouk Sub Lee and Min Ku Han

Key Words : Dynamic Fracture(동적 파괴역학), Dynamic Crack Propagation Velocity(동적 균열 전파 속도), Conductive Silver Painting Line(전도성 은선), Polymer(고분자 재료)

Abstract

It is well-known that the parameters of dynamic fracture mechanics depend not only on dimensions, loading and boundary conditions but also on the dynamic crack propagation velocity. Because the measurement of dynamic crack propagation velocity is very significant in any materials, a simple and effective dynamic crack propagation velocity measuring device which can easily be expanded without modification is proposed in this report. It was found that the experimentally determined dynamic crack propagation velocity agreed well with those from other investigators in some polymers such as PMMA, Homalite-100 and Epoxy.

자들의 실험 데이터와 비교하였다.

1. 서 론

동적 파괴역학을 연구하는데 있어서 중요한 파라미터(parameter)인 동적 균열 전파속도를 정확히 측정하기 위해 많은 연구자들이 고속 촬영장치등을 이용하여 측정하였으나 이는 고가의 장비이며 원하는 위치에서의 속도를 측정하기 어렵다.

이에 Barnes⁽¹⁾는 동적 균열 전파속도를 측정할 수 있는 몇몇 실험적 기법들을 제시하였고, Chang⁽²⁾은 디지털식 균열속도 측정장치를 제안 하였으며, Curbach등⁽³⁾은 이와 유사한 장치를 설계 하여 콘크리트의 균열진전 속도를 측정하였다.

본 연구에서는 디지털식 균열속도 측정장치를 보완, 확장시켜 몇몇 고분자(polymer)재료에 있어서의 동적 균열전파속도를 측정하였으며, 다른 연구

2. 동적 균열전파속도 측정장치

이 동적 균열속도 측정장치는 간단하면서도 신뢰성있고 제작비가 저렴하여 동적 파괴역학을 연구하는 연구자들이 쉽게 제작하여 사용할 수 있는 특징이 있으며, 단지 2개의 IC들의 기본회로로 구성되어져 있어서 사용자의 요구에 의해 쉽게 확장시킬 수 있다.

Fig. 1은 동적 균열속도 측정장치의 기본회로도이다. 이 장치는 16개의 전도성(conductive line)용 균열속도 측정장치이며 8개의 GD74LS00(Quad. 2-input NAND gate)과 2개의 SN7486(Quad. 2-input Exclusive-OR gate)으로 이루어져있다. 예상되는 균열경로에 +5V의 일정전압을 입력하여 전도성 은선(conductive silver painting line)들을 Fig. 2와 같이 평행하게 혹은 1/4원

* 정회원, 인하대학교 공과대학 기계공학과

** 정회원, 인하대학교 대학원

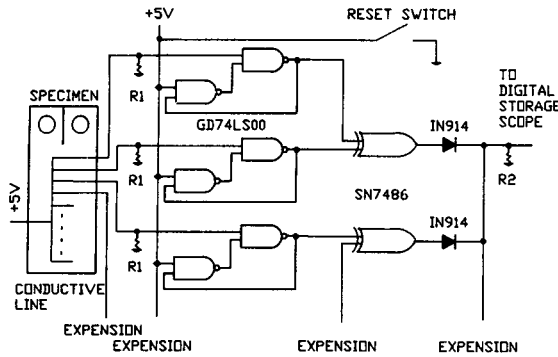


Fig. 1 Electrical circuit of dynamic crack propagation velocity measuring device

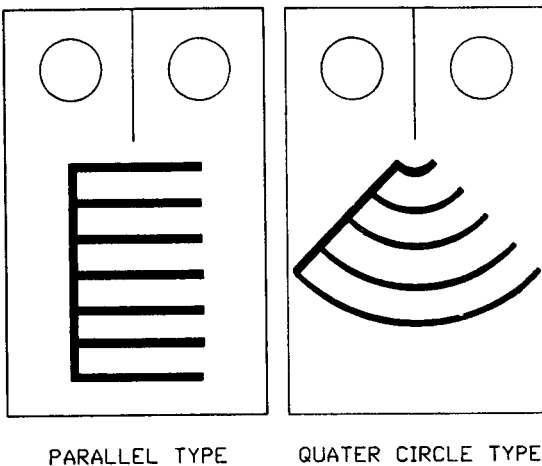


Fig. 2 Two types of conductive silver painting line

형으로 분포시킨다. 이들 전도성 은선들이 균열선단에 의해 끊어져서 기계적 스위치 역할로서 입력 신호를 발생시킨다.

이 스위치시스템은 끊어진 전도선의 순간적인 재결합에 의한 sparking 등의 기계적인 파괴과정을 포함하고 있어서 잘못된 신호가 발생되기 쉽다. 이것을 억제하기 위해 각선들을 2개의 NAND gate의 debounce circuit의 입력단자에 연결하였다.

초기에 debounce회로의 출력을 “zero”에 놓기위

해 리셋스위치를 붙여 사용하였고 리셋한 후의 debounce 회로는 리셋하기 전 상태의 한 변화신호만을 받아들인다. 또한 NAND gate들의 switching시간의 지연을 줄이기 위해 전전압용 Schottky NAND gate를 사용하였다. 이 debounce회로의 출력은 전도선의 파단시간들을 저장하는 SN7486의 입력에 연결되어졌다. 첫번째 전도선이 끊어졌을 때 +5V의 출력이 나올 것이며 두번째 전도선이 끊어졌을 때 OV의 출력이 나오는 것을 반복하여 본 논문의 경우 최대 8개의 사각파들이 만들어질 것이다. 이 Exclusiver-OR gate의 출력들은 grounding을 막기위해 부착된 IN914 diod를 통해 digital storage oscilloscope (Tektronix 468)에 기록하였다. 입력전원은 전도선들이 끊어졌을때 순간적으로 접지되어야하므로 전도선과 리셋스위치의 전원용으로 +5V씩 각각 사용하였다.

이 동적 균열속도 측정장치는 균열이 전도선들의 한쪽방향으로 진행되어야만 측정가능하다. 만일 균열진전에 따라 첫번째 선은 끊어지지 않고 중간선부터 끊어지면 균열속도를 측정할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 비전도성 재료인 PMMA, Homalite-100, Epoxy의 균열전파속도를 측정하였으나, 측정하고자 하는 시편의 재료가 전도성 재료라면 silver painting 하기전에 표면절연막이나 코팅을 하여야한다. 각각의 전도선의 상태와 회로의 작동은 파괴실험 전에 체크할 수 있으므로 실험결과와의 유효도를 높이고 실험비를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

3. 실험방법 및 절차

본 실험에서의 재료로서는 광학적 등방성 재료인 PMMA (Polymethylmethacrylate)와 광학적 비등방성 재료이며 취성재료인 Homalite-100과 Epoxy 판재를 사용하였고, 재료의 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of materials

Materials	Modulus of elasticity (MPa)	Poisson's ratio	Ultimate stress (MPa)
PMMA	2800	0.38	44.93
Homalite-100	3900	0.35	48.93
Epoxy	3300	0.37	55.20

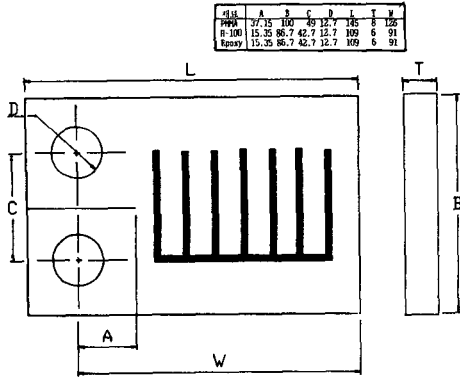


Fig. 3 Dimensions of compact tension specimen(unit : mm)

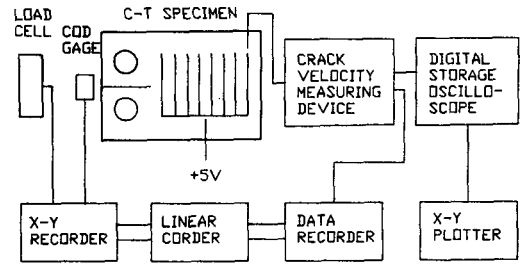


Fig. 4 Schematic diagram of an experimental set-up

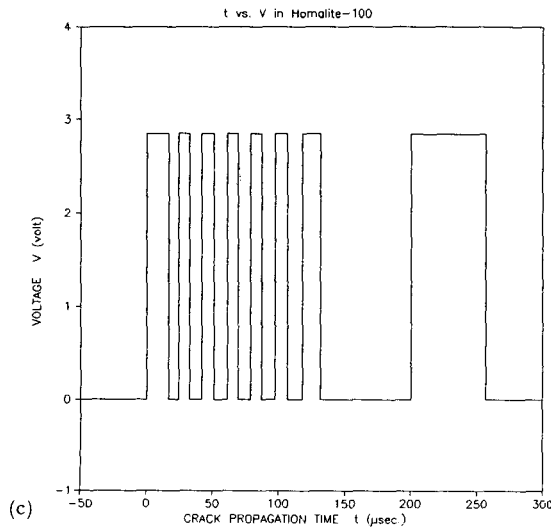
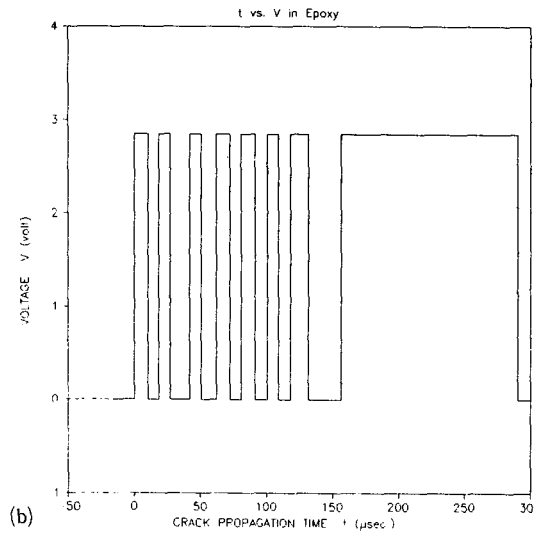
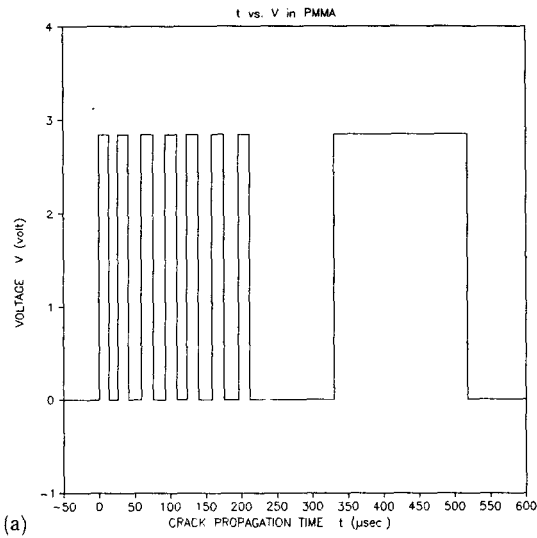


Fig. 5 Crack propagation times and output voltage of PMMA, Homalite-100 and epoxy plate

Table 2 Crack propagation time of each time interval

(unit : μsec)

Time interval	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PMMA	14	12	15	18	17	17	16	14	16	19	17	21	15	119	187
Homalite-100	17	8	8	9	9	10	8	9	8	10	10	11	14	69	56
Epoxy	10	8	8	15	9	11	10	9	10	9	8	9	14	25	134

이들 3 가지 판재를 Fig. 3과 같이 C-T (compact-tension) 시편으로 가공하고 만능재료시험기 (Toyo Baldwin, 10Ton, Japan)를 인장속도 5 mm/min로 하여 시험하였으며, Fig. 4에 시험장치 개략도를 나타내었다.

4. 실험결과 및 고찰

균열전파속도 측정장치에 의해 PMMA, Homalite-100 및 Epoxy 판재의 균열전파시간을

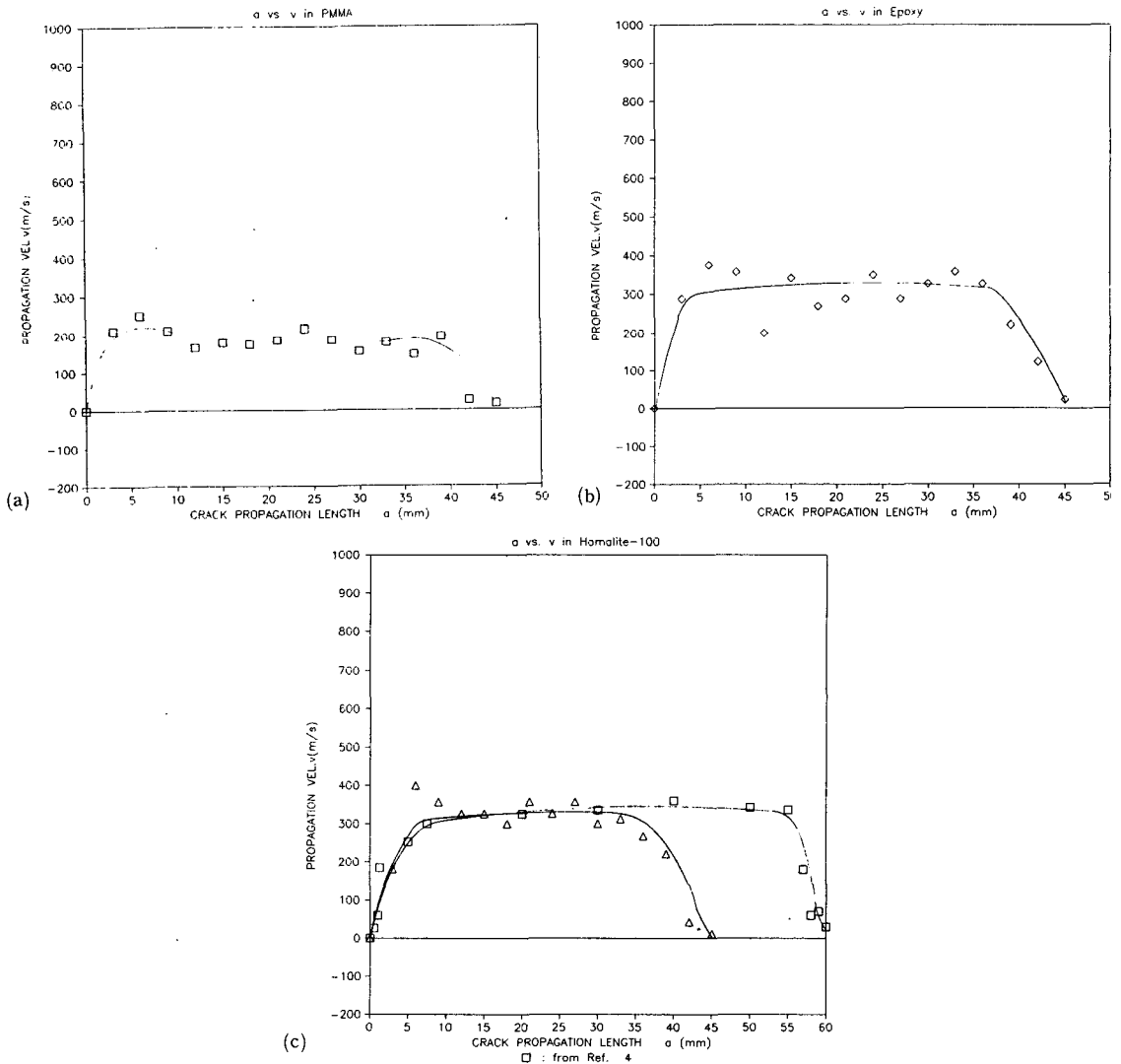


Fig. 6 Crack propagation length and crack propagation velocity

Table 3 Crack propagation velocity of each time interval

(unit : m/sec)

Time interval Materials	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PMMA	212	250	212	166	179	175	185	216	186	154	179	146	195	25	16
Homalite-100	181	400	357	326	326	300	357	326	357	300	313	268	221	43	12
Epoxy	288	375	357	200	341	268	288	349	288	326	357	326	221	121	22

측정하여 Fig. 5a-Fig. 5c에 나타냈으며, 그림에서 16개의 횡축선(8개의 사각파)들은 16개의 전도선들의 파단으로 기인된 것이다. 이 전도선들의 파단으로 얻은 16개의 횡축선들 사이의 시간간격들은 디지털저장식 오실로스코프에 의해 쉽게 측정될 수 있다. 실험으로 얻은 균열전파증가시간들을 Table 2에 나타내었다.

Fig. 6(a)~Fig. 6(c)에 각각의 균열전파 거리에 대한 균열전파속도를 나타내었으며, 실험으로 얻은 균열전파 증가시간에 대한 속도들을 Table 3에 나타내었다. 특히 Fig. 6(b)는 참고문헌 (4)의 실험 결과와 비교한 것이다. 이 균열전파속도들과 참고문헌 (4)의 균열속도들과 비교하여 보면 본 실험의 경우의 값들과 유사한 값들을 알 수 있으며 균열전파거리의 차이는 시편의 형상과 규격의 차이(본 실험의 경우는 CT시편이고 참고문헌 (4)에서는 SEN시편)로 생각된다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 균열전파의 전파속도가 급격히 변하는 것은 silver paint 두께의 영향인 것이라고 생각된다.

전도선들 사이의 실제거리는 1/100mm의 정밀도를 갖는 이동식 현미경(traveling microscope)에 의해 $3\text{mm} \pm 0.07\text{mm}$ 로 측정되었다. 여기서 전도선들의 거리를 줄임으로써 더 좋은 속도측정을 할 수 있다.

5. 결 론

(1) Chang이 제안한 장치를 보완하고 16채널로 확장하여 동적 균열속도 측정장치를 제작하며, 더 많은 채널로 확장이 가능함을 확인하였다.

(2) 본 논문에서 제시한 디지털식 동적 균열속도 측정장치는 간단하면서도 신뢰성있고 제작비가 저렴한 장치이며, 본 장치에 의해 몇몇 고분자 재료의 동적 균열전파속도를 측정하여 다른 연구자들의 결과와 비교하여 유사한 값들을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) Barnes, C.R., 1985, "A Measurement Technique for Determining Crack Speeds in Engineering-Materials Experimentation," EXPERIMENTAL TECHNIQUES, 9, No. 3, pp. 33~37.
- (2) Chang, C., 1989, "A Digital Dynamic-Crack Speed Measuring Device," EXPERIMENTAL TECHNIQUES, 13, No. 1, pp. 16~17.
- (3) Curbach, M., Hehn, K.H. and Eibl, J., 1989, "Measurement of Crack Velocity in Concrete," EXPERIMENTAL TECHNIQUES, 13, No. 1, pp. 25~27.
- (4) Knauss, W.G., Ravi-Chander, K. and Rosakis, A. J., 1983, "Workshop on Dynamic Fracture," California Institute of Technology, pp. 11~35.