

계장화에 의한 고분자 재료의 낙하추식 충격시험

Instrumented Drop Weight Impact Testing of Polymer Materials

장경영* · 김갑용** · 최만용*** · 한응교*

K.Y. Jhang · K.Y. Kim · M.Y. Choi · E.K. Han

(1997년 11월 11일 접수, 1998년 5월 2일 채택)

ABSTRACT

Polymer materials have been used extensively as construction materials for automobiles, ships, and airplanes in recent years, and their impact resistance has been obliged to be examined. In the present study, a dropped load and a specimen, equipped with high responsible strain gauges respectively, were dropped and then the changes of load and absorption energy with time were observed. It was found that the waveforms for dropped weight coincided with output signal wave for specimen during the destruction test. Based on this experimental result, three disc type of specimens with different compositions were prepared and examined. This instrumented impact test method showed that each specimen can be distinguished from each other better than conventional tests and is expected to contribute to assess test results of impact resistance for some materials under development.

1. 서 론

고분자 재료 특히 폴리머계의 재료에 있어서는 여러 가지 좋은 특성을 지니고 있으나 사용 목적에 따라서는 아직도 내충격성에는 문제가 있다. 이 평가에는 샤르피(Charpy) 충격시험이

많이 사용되고 있다. 이 시험법은 진자(振子)로 시험편을 타격하여 타격전후의 위치로 부터 시험편 파괴에 소비된 에너지를 구하는 방법이 기본이다.

샤르피 충격시험에서 시험편의 절개구(切開口)형상, 치수 효과 등을 설명하는 시험법의 일

* 한양대학교

** 대림전문대학

*** 한국표준과학연구소

반화도 시도되고 있다¹⁾. 그러나, 이와같은 경우는 측정치로서 얻은 시험편의 흡수 에너지가 재료의 특성치에 기인하는 가를 구명하는데 역점을 두고 있으며, 또한 얻어진 결과는 에너지 값으로 표시되고 있어서 어떤 파괴기준을 만족시키는 시험편의 파괴 개시점이 불투명하여 종래부터 적용 효용성에 의문이 제기되고 있다.

충격 파괴 메카니즘의 평가에 있어서는 시험편의 흡수에너지만의 측정보다도 시험편에 있어서 파괴할 때의 응력과 변화량을 측정하는 것이 훨씬 효과적으로 생각된다. 따라서 최근에는 샤르피 충격시험에 의한 연구는 시험기의 계장화에 대한 연구가 활발하다.

본 실험에서도 실용적인 내충격성을 가장 크게 반영하는 것으로 알려져 있는 낙하추식 충격시험기를 계장화함으로써 수종의 샤르피 시험편에 대한 균열 전개시점과 파괴시의 응력과 변위 특성 등을 조사함과 동시에 새로이 스트레인 게이지식인 낙하추 충격 시험기를 고안하여 그 성능에 대한 평가를 실시하였다.

2. 실험방법 및 실험장치

2.1 고분자재료의 시험편

시험편의 종류와 물성치를 Table 1에 표시하였다.

Table 1 Mechanical properties of specimens

Resin Designations Physical, Mechanical Properties	PC Polycarbonate	CL-PE Polyethylen	LLD-PE Low density Polyethylen
Specific Gravity	1.2	0.94	0.92
Elongation(%)	89	310	420
Tensile Strength (kg/cm ²)	625	225	142
Compressive Strength (kg/cm ²)	773	169	169
Vicat softening Temp(°C)	138	55	39

시험편은 일반 생산라인에서 채취한 것을 원

형 평판과 샤르피 시험편 5호(Ref(8), Fig. 1]로 만들어 실험하였다. 원형 평판의 지름은 약 11 cm, 두께는 1.8 mm와 3.0 mm를 사용하였다. 시험편 재료로서는 Table. 1에서 보는 바와 같이 ① 투명성이 좋고 기계적 성질이 탁월하여 이동용 석수 탱크 등에 널리 사용되고 있는 PC ② 고밀도 폴리에틸렌으로서 기계 부품, 특히 자동차의 연료 탱크 등에 사용되는 CL-PE ③ 저밀도 폴리에틸렌으로서 대형 탱크, 용기(화학약품 등)로서 사용되는 LLD-PE의 3가지 종류를 택하였다.

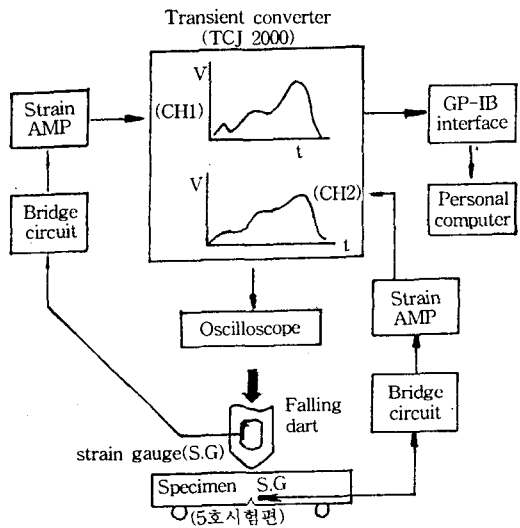


Fig. 1 Construction of measurement system

2.2 낙하추식 충격시험장치

낙하추식 충격시험장치의 측정시스템 구성은 Fig. 1과 같다.

샤르피 5호 시험편에 Fig. 2와 같은 위치에 스

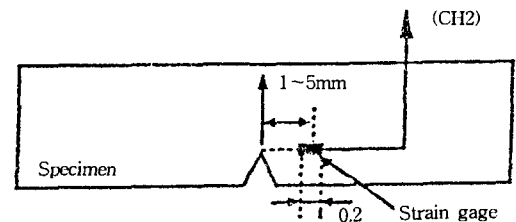
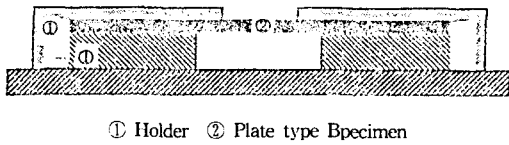


Fig. 2 Position of strain gauge attachment for measurement of crack propagation

트레인 게이지를 접착하였고 낙하 하중에 의해서 검출된 신호는 오실로스코프에 모니터되는 동시에 일단 Model TCJ-2000²⁾에 기록한 후 GP-IB를 통해서 PC에 전송된다. 여기서 충격시험편의 균열 개시점이 검출된다. 그리고 일반 평판 시험편의 고정은 원형 캡셀에 넣어서 Fig. 3과 같이 지지하였다. 시험편 두께는 3mm까지로 되어 있다.



① Holder ② Plate type Specimen

Fig. 3 Plate type specimen and holder

낙하추의 중량은 0.4 kg 1개, 1 kg 11개로서 26 kg부터 14 kg까지 변화 시킬 수 있다. Transient Converter(TCJ 2000)의 샘플링 시간은 0.1 μsec로서 12단계까지 바꿀 수 있다.

2.3 하중-시간 곡선 기록

계측 시스템화한 낙하추식 충격시험장치로 부터 직접 얻어내는 것은 전압-시간 관계이다. 따라서 하중-시간 곡선의 관계를 구하기 위해서는 전압에서 하중값으로 변환시켜야만 된다. 이것은 출력 전압 1 mV는 스트레인 값으로 약 2000 μ 정도³⁾로서 부가하중(附加荷重) 추(錘)를 2 kg 씩 10 kg까지 바꾸어가면서 시행한 교정을 통해서 구해낼 수가 있다. 출력(전압)-하중 관계는 거의 비례 직선인 관계를 나타내었다.

2.4 시험편의 흡수 에너지

2.4.1 낙하추의 속도 변화를 생각할 경우

측정은 하중-시간 관계이므로 변위에 대해서는 다른 방법으로써 구할 필요가 있다.

본 실험은 가속도의 변화로 부터 간접적으로 계산해 내는 방법을 선택하였다⁴⁾. 즉, 등시간 간격 Δt마다 얻어지는 이산적 충격하중-시간값에 충돌시작 부터 차례로 번호를 붙여간다. 이 때 임의의 i번째의 시간 이내일 때 하중추의 평균 가속도 A_i는 지면 수직상 방향을 양(+)으로 하면

$$A_i = \frac{P_i}{M} = g \dots\dots\dots (1)$$

가 된다.

여기서 P_i는 i번째의 시간일 때의 표시되는 충격하중이고 M은 하중추의 질량, g는 중력가속도이다. 따라서 이때의 하중추의 속도는

$$V_i = V_{i-1} - A_i \Delta t \dots\dots\dots (2)$$

가 된다.

이때의 시간 Δt중의 하중추의 이동거리는 V_i Δt가 되므로 충돌 시작부터 시간 t_i까지 될 때의 하중추의 이동 거리는

$$D_i = \sum V_i \Delta t \dots\dots\dots (3)$$

가 된다. 따라서 이 식(3)에 식(2)를 대입하면

$$D_i = \sum \Delta t (V_{i-1} - A_i \Delta t) \dots\dots\dots (4)$$

로 된다. 따라서 미소시간 Δt후의 시험편의 흡수 에너지 U는

$$U = \int Pdv = \sum P_i \Delta D_i \dots\dots\dots (5)$$

로 표시되며, 이 식으로 계산한 흡수 에너지값을 E_c로 한다.

그리고 여기서 V₀ = √2gh이며, h는 하중추의 낙하 높이가 된다.

2.4.2 낙하추의 속도변화를 생각지 않을 경우

하중추의 속도를 일정, 즉 시험편의 변위속도는 일정하다고 가정한다. 그래서 미소 시간 Δt후의 미소 변위 Δδ는

$$\Delta \delta = V \Delta t = V \times SP \dots\dots\dots (6)$$

로 된다. 여기서 SP는 Sampling Time이다.

따라서, 변위 δ후의 흡수에너지 U는

$$U = \int Pd\delta = \sum P_i \Delta \delta_i = \sum P_i (SP \times V) = SP \times \sqrt{2gh} \times \sum P_i \dots\dots\dots (7)$$

이 식에서 계산한 흡수에너지값을 E_c로하여 E_v와 E_c의 관계를 Fig. 8에서 나타내었다.

여기서 ∑P_i는 하중-시간 곡선하의 하중에 대한 총합이다.

이절에서 계산은 모두 Basic프로그램에 따라 마이크로컴퓨터(NECPC9801-VM)(九州大學 應用力學 연구소)에서 수행되었으며, 시험편의 흡수에너지 이외에 필요한 변위, 시간, 하중, 하중추의 속도, 최대 하중, 샤르피 충격치까지 표시 할 수 있는 프로그램을 마련했다.

시험편의 흡수에너지가 낮은 경우, 즉 충격에서 발생하는 진동이 겹쳐서 시험편의 출력신호가 잘 나타나지 않는 경우에는 시험편만의 출력판별이 어렵게 된다. 이럴 때에는 진동의 소멸법으로 고속 푸리에(Fourier)변환⁵⁾, 이동 평균법^{6,7)}, 위상 180도로 중첩시키는 방법^{8,9)}의 기법을 이용한다. 그러나 이번 실험에 있어서는 전기적(電氣的)인 방법인 3kHz의 LPF(Low Pass Filter)를 사용해서 외부로부터의 진동 노이즈를 제거시켰다. Fig. 4는 3가지의 컷오프(Cut-off)주파수에 대한 출력 신호 파형의 비교를 나타낸다.

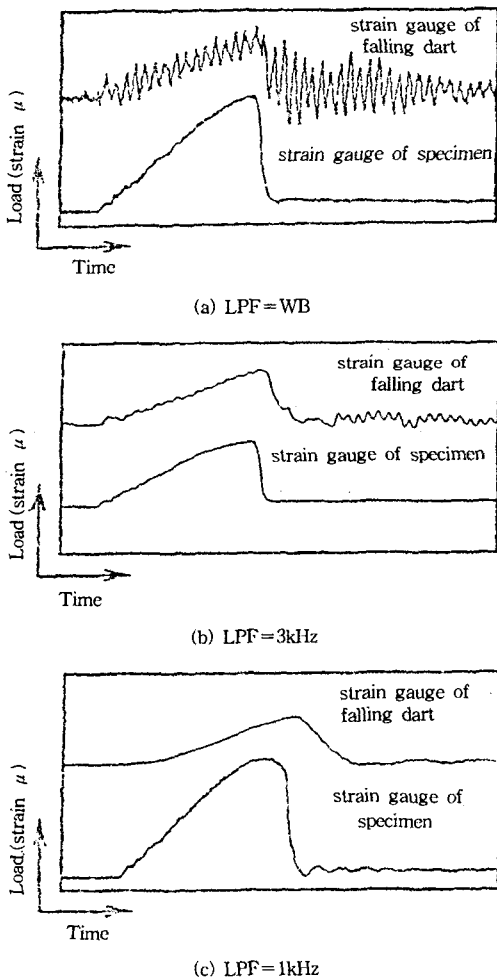


Fig. 4 Change of strain gauge signals due to the change of cut off frequency

2.5 균열진전 개시점의 측정

균열진전 개시점의 검출시는 스트레인 게이지법^{10,11)}, 컴플라이언스(Compliance)법^{12,13)}, 전도성 도료법¹⁴⁾, 초음파법^{15,16)}, A.E(Acoustic Emission)법¹⁷⁾ 등 여러가지 방법이 있다. 본 실험에서는 다음과 같은 스트레인 게이지법을 적용하였다.

균열 주변의 응력장은 균열진전에 따라 평행이동을 한다고 가정하면, 게이지 부착위치가 균열진전방향에 대해서 70도 이상 벌어진 각의 경우에는 균열이 진전되고 있으면 게이지 출력은 저하한다. 따라서 70도 이상의 위치에 스트레인 게이지를 부착할 경우 게이지 출력의 최대점은 균열진전 시작점으로 볼 수가 있다¹⁷⁾. 이와 같은 이유에서 본 실험에서는 Fig. 2와 같이 취성적인 재료에 대해서는 균열 끝에서 약 1mm, 연성적인 재료에 대해서는 약 3~5mm 떨어진 곳에 거의 90도의 위치에 스트레인 게이지를 부착함으로써 이 조건을 만족시키고자 하였다.

취성적인 재료 시험편으로서는 CL-PE, 연성적인 시험편으로서는 PC재료를 대표적으로 사용하였다. 스트레인 게이지는 PC에 대해서는 게이지 길이 5mm, CL-PE에 대해서는 0.2mm 것을 사용했다.(게이지는 NMB것을 사용)

Fig. 5는 시편 CL-PE에 대해서 추를 낙하할 때 시편의 균열개시점을 측정하기 위하여 시편 2개를 시험한 하나의 예이며 측하여 평균한 결과 0.99 ± 0.014 이었다.

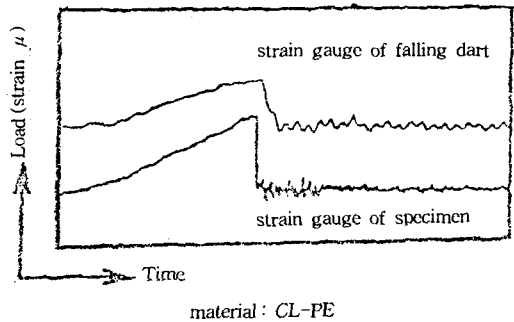


Fig. 5 Measurement of starting time of crack propagation by using strain gauge (material: CL-PE)

따라서 거의 td/ts 는 1로 봐도 된다. 여기서

td는 하중추에 부착된 스트레인 게이지에서 얻어진 최대 하중까지 걸린 시간을 나타낸 것이고, ts는 신호가 급변하는 점, 즉 균열의 진전이 시작된다고 보는 점까지의 시간을 말한다. 스트레인 게이지법이 다른방법인 ① 도전성 도료에 의한 방법¹⁴⁾, ② 컴플라이언스 변화법¹²⁾에 비해서 균열진전점 검출능은 탁월한 기능을 지니고 있다고 볼 수 있다. Fig.6(a), (b)는 시험편 CL-PE와 PC의 하중-시간 및 스트레인-시간 곡선 관계를 보여준 것이다.

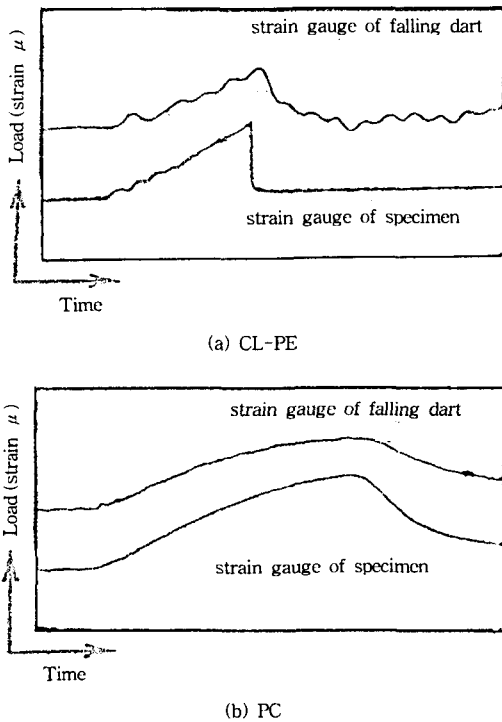


Fig. 6 Measurement of starting time of crack propagation by using strain gauge (material: (a) CL-PE and (b) PC)

두 가지 시험편 모두 곡선의 최대 피크(Peak)가 일치하며 이 점이 균열 진전 시작점이라 볼 수 있다. 즉 본 실험 조건하에서는 모든 재료는 최대하중에서 균열 진전이 발생한다고 볼 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고찰

3.1.1 측정과정

Fig. 7(a), (b)는 3 kHz의 L.P.F를 사용했을 때의 PC와 CL-PE의 하중-시간 곡선을 표시한 것이다.

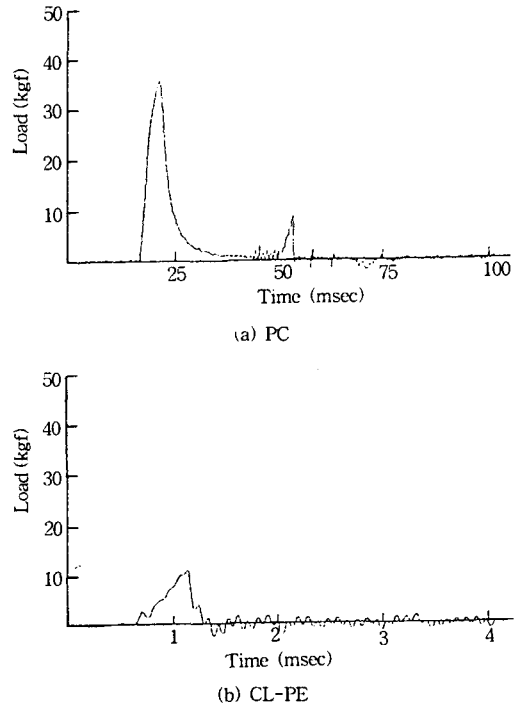


Fig. 7 Time history of impact load for each material: (LPF=3kHz) ((a) PC, (b) CL-PE)

여기서 보면 샘플링 타임이 긴 PC의 경우와 달리 CL-PE는 부하 초반에 피이크(Peak)가 있음을 알 수 있다. 이는 낙하추가 타격에 의해 우선 시험편을 가속시켜서 시험편이 타격 속도가 됐을 때 생긴 관성 하중의 해방이 일으키는 진동이라고 일반적으로 해석되고 있다¹⁸⁾. 이 진동후에 각 재료 모두 탄성적으로 하중이 증가하여 최대하중에 도달한 다음 취성 파단한다.

한편 PC는 연성적으로 하중이 감소한 후, 다시 충격하중을 나타낸다. 이러한 재충격하중의 이유로서는 파단된 시험편을 낙하추와 같은 방향으로 날려 보내기 위한 에너지를 얻는 것으로 연구 보고된 것이 있으나, 균열 진전 개시 직후

의 균열 진행 속도와 비교해서 어느 정도 속도가 떨어진 후 또 다시 충격을 받아서 시험편이 파괴된 것이라는 파괴 양식의 가능성도 있다. 이와 같은 문제는 앞으로의 연구과제라고 본다.

3.1.2 파단까지의 흡수 에너지

Fig. 8은 2.4절에서 기술한 E_v 와 E_c 의 관계를 나타낸 것이다.

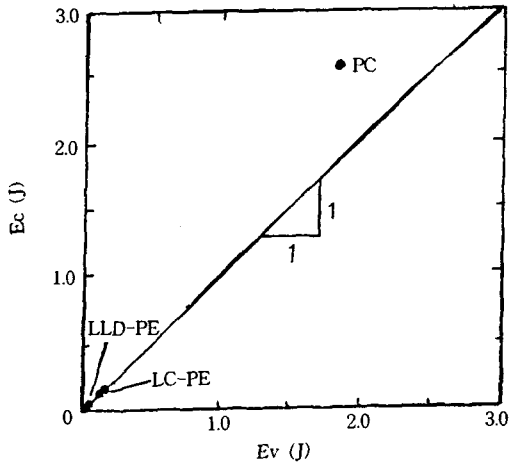


Fig. 8 Comparison of absorption energy until fracture when the change of falling velocity is considered (E_v) and neglected (E_c)

즉 E_v 는 식(5)에서 구해낸 파단까지의 흡수 에너지이고, E_c 는 식(7)에서 구한 파단까지의 흡수 에너지이다. 이와 같은 실험 조건 하에서는 취성파단을 하는 CL-PE는 거의 $E_v \approx E_c$ 라고 볼 수 있어, 시험편의 변형 속도는 거의 등속이라고 할 수 있다. PC의 흡수 에너지는 다른 재료보다 4배 이상 크며, Fig. 8의 직선상에서 많이 벗어나고 있다. PC의 결과는 식(5)에서 흡수 에너지와 식(7)에 의한 흡수 에너지식을 취급하는데 있어 오차가 있음을 알 수가 있다.

이것은 연성적 파단을 하는 재료의 경우에는 낙하추의 속도, 즉 시험편의 변형속도가 크게 변화한다는 것을 말해주고 있다. 따라서 식(7)의 취급에는 재료의 흡수 에너지가 많은 방향으로 과대평가 하기 쉽다. 따라서 식(5)를 취급하는 것이 보다 타당성이 있다고 생각된다.

3.1.3 휨 에너지

취성 고분자재료는 취성적 파단을 하게 되며 탄성적으로 변형을 한다고 생각된다. 그리고 타격에 의한 시험편의 변형 속도(약 1.2 m/s)는 재료 속을 전파하는 탄성파의 속도(고분자재료의 탄성파 전파속도는 1500 m/s 정도)와 비교하면 매우 작기 때문에 탄성파는 시험편내를 상당한 횡수($t=100$ mm, $L=600$ mm일 때 탄성파의 속도를 1500 m/s라 하면 십여회)로 왕복한다고 생각된다. 따라서 이 변형의 문제는 탄성적인 준정적(準靜的) 문제로 삼아 재료역학적으로 취급할 수가 있다¹⁸⁾. 이와 같이 생각할 때 시험편의 휨(Deflection) δ 는 다음과 같다.

$$\delta = \frac{BF L^3}{4Et b^3} \dots\dots\dots (8)$$

- 여기서 E: Young's Moudulus
- F: 낙하추가 부여하는 부하 하중
- L: 길이 (Span Length)
- t: 두께
- b: 폭

포와송(Poisson's)비는 고분자 재료의 경우 0.3~0.4이며 본 실험에서는 모든 재료에 대해서 $\nu=0.35$ 를 사용했다.

β 는 선단 휨에 의한 보정계수이고, 포와송비를 ν 라 하면

$$\beta = 1 + \frac{(1+\nu) b^2}{5 L^2} \dots\dots\dots (9)$$

로 계산된다.

샤르피 충격시험편에 Fig. 2와 같이 중심에 노치가 있을 경우에는 그 휨은 노치가 없을 때보다 증가되므로 그 증가분은 다음과 같다.

$$\delta' = K \delta \dots\dots\dots (10)$$

K값은 노치(Notch)의 형상에 따른 값이며 UYEMURA²⁰⁾에 의해서 FEM(유한요소법)에 의한 계산과 실험 결과를 본 실험에 사용한 시험편에 적용하면 $K=0.6$ 이 된다.

결국 양단 지지보에 저장된 휨에너지 U_e 는

$$U_e = \frac{F \delta'}{2} \dots\dots\dots (11)$$

$$= \frac{2Et b^3 \delta'^2}{\beta K L^3} \dots\dots\dots (12)$$

로 된다.

3.1.4 소멸 에너지

고분자재료의 충격시험에서는 파단 시험편의 소멸 에너지가 문제가 된다. 그러나, 이 소멸 에너지의 정확한 보정을 하기는 매우 어렵다.

PC의 경우 Fig. 7과 같이 50 m/sec되는 곳에 또 다시 피크가 나타나고 있다. 이 부분을 가지고 소멸 에너지로 삼은 보고도 있다¹⁹⁾.

그러나 소멸 에너지는 소멸 때까지의 시험편에 축적된 스트레인 에너지 일부라고 보는 것이 보다 타당하다고 생각된다.

따라서 취성 파단하는 CL-PE에 대해서 고찰하면 전술한 시험편의 파단까지의 흡수에너지는 거의 파괴할 때까지 축적된 스트레인 에너지와 같다고 볼 때, 다음과 같이 말할 수가 있다.

시험편의 파단까지의 흡수 에너지는 거의 파괴할 때 까지 축적된 스트레인 에너지와 같으며, 이는 파괴에너지와 소멸된 에너지를 합산한 것과 거의 같다고 볼 수 있다.

여기서 말하는 파괴에너지라는 것은 자유표면에 생겨 나는 표면에너지, 열에너지, 시험편을 변형시키기 위한 에너지, 시험편의 진동에너지 등 파괴에 소요되는 에너지 모두를 합성한 것이다.

그리고 여기서 최대 하중점까지의 흡수 에너지, 시간, 변위는 각각 E_i , t_{max} , δ_{max} 이고, 파단 직전까지의 흡수에너지, 시간, 변위는 각각 $E_i + E_0$, t_{frac} , δ_{frac} 이다.

그리고 샤르피 충격치 $a_{kc} (J/m^2)$ 는 시험편의 치수를 고려하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a_{kc} = \frac{E}{b(t-d)} \dots\dots\dots (13)$$

- 여기서, E_a : 시험편을 파단하는데 소요된 에너지
- b: 시험편 노치부의 폭
- t: 시험편 노치부 부근의 폭
- d: 시험편 노치 길이

Uyemura는 V형 노치(notch) 끝에 반지름 $r = 0 \sim 2.0$ mm, 노치 길이 $d = 0.1 \sim 5.0$ mm의 범위에서 메다크릴 수지(Methacrylate)와 내충격성 폴리에틸렌 수지(Polyethylen) 등에 대해서 샤르피 충격치의 취할 수 있는 범위를 구했다²⁰⁾.

본 실험에서 얻어낸 a_{kc} 는 이 범위내에 있다.

3.2 평판형 시험편에 대한 실험 결과

3.2.1 흡수에너지의 비(일명; 인성지수)

3가지의 시험편에 대한 낙하추에 의한 충격 시험 결과를 Table 2에 표시하였다. 표에서 D.I. (Ductility Index)는 충격 파괴 과정에 있어 흡수에너지의 비로서 일명 인성 지수라고도 하며, 고분자 재료의 내충격 평가에 유효하다. Fig. 9는 충격시험 중 하중에 대한 시간적 변화이며, 출력파형으로 부터 D.I.를 구해내는 근거가 된다. 앞의 표는 세가지 시험편의 D.I.와 파괴상태를 관찰한 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

Table 2 Comparison of D.I. and fracture status of specimens due to different loading conditions

Hight(m)	두께			
	PC 3.0 mm	LLD-PE 3.0 mm	CL-PE 1.8 mm	
1.5	0.417	0.585	0.428	D.I
	4.0	5.0	2.6	ta
	●	●	●	상태
1.0	0.09		0.48	D.I
	6.0		2.8	ta
	●	●	●	상태
0.5	0.05	0.54	0.5	D.I
	6.0	3.2	4.2	ta
	○	●	●	상태

ta : Max Time (msec), ● Fracture, ○ No Fracture
* Falling Dart Weight : 10 kg

3.2.2 일정 타격에너지에 있어서 타격속도의 효과

Fig. 10, Fig. 11은 CL-PE의 하중-시간 곡선과 하중-변위곡선을 나타낸 것이다. 타격속도를 증가시키면 충격하중-시간 곡선은 구배가 가파르게 증가하고 있으나 하중-변위곡선을 보면 구배는 거의 일치됨을 알 수가 있다. 그리고 충격 속도 효과를 알기 위해서 실험한 결과를 보면 관성하중은 속도에 비례해서 커지고 있다.(즉, 2.9 m/s(규격화)의 관성하중은 1.5 m/s에서는 약 2배) CL-PE는 최대하중은 타격속도 2.9 m/s의 경우나 1.5 m/s의 경우도 거의 변화가 없다. 최대 하중까지의 시간(t_{max})은 속도가 약 2배가 되면 약 1/2이 된다.

최대하중 도달까지의 변위(δ_{max})는 속도와는 거의 관계가 없으나 파괴까지의 변위(δ_{frac})는 달라진다.

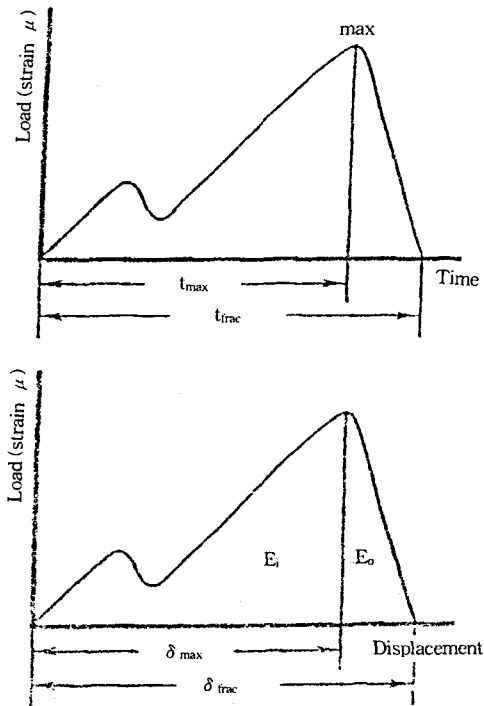


Fig. 9 Meaning of each parameter

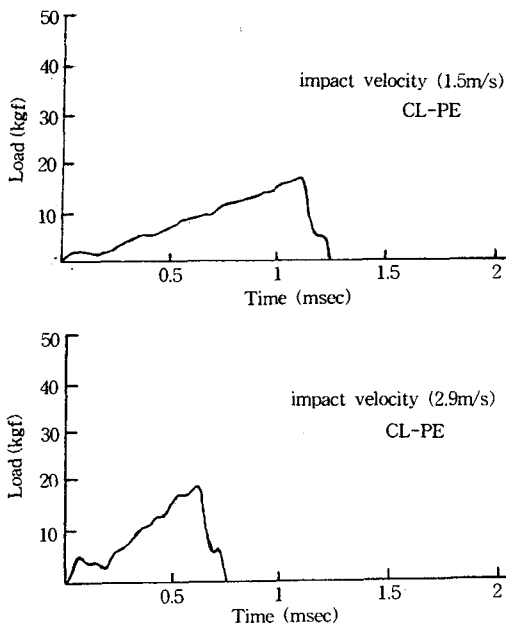


Fig. 10 Change of impact load for impact energy 12.6J (LPF=3kHz)

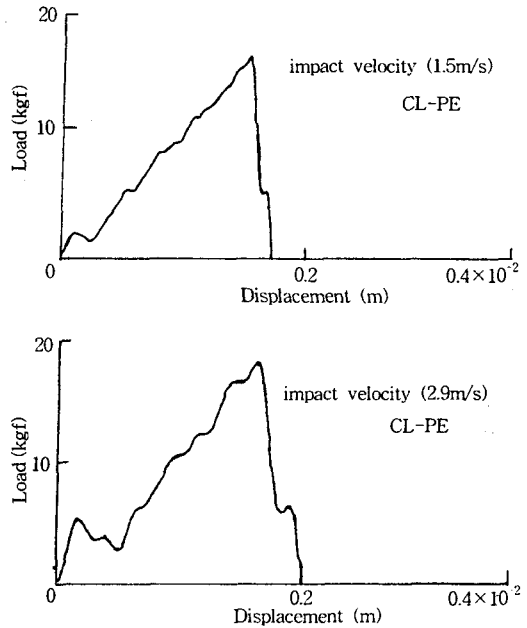


Fig. 11 Displacement of specimen and impact load for impact energy 12.6J (LPF=3kHz)

E_i 는 타격속도 1.5 m/s인 쪽이 2.9 m/s의 경우보다 15% 가량 작게 나왔으나 거의 같은 값으로 보아도 좋다. 그러나 E_o 는 1.5 m/s보다 2.9 m/s일 때가 거의 2배 크다. 따라서 전에너지(= $E_i + E_o$), E_{tot} 의 달라짐은 거의 E_o 의 달라짐에 따른 것으로 보게 된다. 시험편의 파단까지의 흡수 에너지는 타격에너지의 약 2%미만이다.

그리고 시험편의 변형속도의 변화는 2%미만이고 거의 등속이다.

충격속도를 2배로 하면 최대하중부터 파단까지의 변위는 작아진다. 관성하중은 충격속도에 비례해서 커졌다.

4. 결 론

전술한 것을 종합정리를 해서 결론을 내리면 다음과 같다.

- 1) 낙하추식 충격시험기를 계장화해서 시험편의 흡수에너지 뿐만이 아니라 파괴할 때 시험편의 응력 및 변형량 등의 측정이 가능하였다. 그리고 측정데이터의 재현도 되기 때문에 충격하에서 재료의 응답 특성도 상세히 해석이

가능하였다.

- 2) 파괴될 때 일어나는 균열진전 개시점을 결정하기 위한 시험에는 여러 가지 방법중 응답성과 신뢰성이 좋은 스트레인 게이지법을 적용한 결과 3가지 모든 재료가 거의 최대 하중점에서 균열 진전이 개시한다는 결과를 얻었다.
- 3) 타격에너지 2.2J, 타격속도 1.2 m/s의 동일 조건하에서 3가지 종류 고분자 재료에 대한 충격시험 결과는 다음과 같다.
각 재료 모두 탄성적으로 하중이 증가하여 최대 하중에 도달한 후 CL-PE, LLD-PE는 취성파괴를 하는 한편 PC는 연성적으로 하중이 감소한 후의 재 충격하중을 볼 수가 있었다. 즉 취성파단과 연성파단은 최대 하중 후에 있어서의 파괴 거동이 전혀 다르게 나타나고 있었다.
- 4) 샤르피 시험편에서 구해낸 파괴에너지와 평판시험편(생산라인에서 샘플링)으로 실험한 결과 파괴 에너지는 거의 같다. 이는 타격속도 시험에서 타격속도가 빨라지면 시험편의 변위 속도도 빨라지고 있으나 균열 진전 개시점(최대하중)까지의 변위와 시험편이 흡수하는 에너지는 충격속도와는 그다지 관계없이 거의 일치하였다. 그리고 타격속도에 대한 파괴까지의 시험편 변형속도 변화는 약 2%이 내로 거의 등속변형 하였다.

앞으로는 이 방법을 토대로 파괴 진전속도를 보다 정확하게 측정하고자 하며, 이 장치를 보완하고 소프트웨어도 개발하여 복합재료등 신소재 평가에 대한 연구를 할 생각이다.

본 실험에 있어서 일본 큐슈(九州) 대학 응용역학 연구소 다카하시(高橋) 교수님과 사쿠라다(櫻田) 기관(技官)의 협조에 대해서 감사하는 바이다.
또한 본연구는 (財)산학협동재단과 (株)한국포리 탱크의 공동 지원하에 이루어진 것이며 許石翰 사장에게 감사를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

- 1) T.Vu-Khan, "Polymer. Eng. and Sci", Vol. 25, No. 13, p. 841, 1985.
- 2) 長橋芳行, AD/DA 變換回路設計, CQ出版社, p. 217, 1980.
- 3) 韓應教, 스트레인게이지 理論과 應用, 改訂版, 普成文化社, p. 146, 1976.
- 4) 成澤, 石川, 佐藤, 高分子論文集, Vol. 44, p. 845, 1987.
- 5) 吉川 敏則, 實用數值計算 Program集, 昭光社, p. 93, 1984.
- 6) 成戶建一, "Digital 信號處理", 電子通信學會, p. 43, 1975.
- 7) T. Kobayashi, "Eng. Frac. Mech.", Vol. 19, p. 949, 1984.
- 8) H.Y. Inoue, M.I, WATANABE, SIBUYA, KOISUMI, 非破壞檢査, Vol. 37, No. 4, p. 37, 1988.
- 9) H.Y. INOUE, M.I, WATANABE, SIBUYA, KOISUMI, 非破壞檢査, Vol. 37, No. 11, p. 874, 1988.
- 10) 韓應教, 스트레인 게이지 理論과 應用, 개정판, 普成文化社, p. 117, 1991.
- 11) 小林俊郎, 官田 博, 菊池, 東原, "日本機械學會論文集(A編)", Vol. 5, No. 520, p. 2434, 1989.
- 12) T. KOBAYASHI & Mitsuo Ninomiya, "Nuclear Eng and Design", Vol. 111, p. 2434, 1989.
- 13) B.Y. Chen & Y.W. Shi, "Eng. Frac. Mech.", Vol. 16, No. 6, p. 895, 1982.
- 14) Roger D. Goolsby & Chunliang Lin, ASTM STP 936, p. 351, 1986.
- 15) M. Ehara, "Study on Micro-Defect Evaluation NDI", Vol. 38, No. 5, p. 401, 1989.
- 16) 韓應教, 李範成, 宋昌燮, "超音波 Fractography에 의한 破壞速度的 精密測定", 韓國精密工學會誌, Vol. 10, No. 2, p. 154, 1993.
- 17) Corle, R.R. & Schliessmann, J.A., "Flam Detection and characterization using Acoustic Emission", Material Evaluation, p. 115, June, 1993.
- 18) Matthew C. Cheresch and Steven Mcmi-

chael, ASTM STP936, p. 9, 1986.
19) 成澤, 石川, 佐藤, “高分子論文集”, Vol. 45,
p. 139, 1988.

20) Uyemura(植村), “鎖狀高分子材料の Charpy
衝擊値に關する研究”, 1979.
