

저속 충격시 PVC/MBS재료의 파괴특성에 관한연구

최영식*(명지대 대학원 기계공학과), 박명균(한국대 기계공학과), 박세만(명지대 기계공학과)

A Study on Fracture Parameters for PVC/MBS Composites under Low Velocity Impact

Y. S. Choi(Dept. of Mech. Eng., Myongji Univ.), M. K. Park(Dept. of Mech. Eng., Myongji Univ.)
S. M. Bahk(Dept. of Mech. Eng., Myongji Univ.)

ABSTRACT

An analysis method for rubber toughened PVC is suggested to evaluate critical dynamic strain energy release rates(G_c) from the Charpy impact energy measurements. An instrumented Charpy impact tester was used to extract ancillary information concerning fracture parameters in addition to total fracture energies and maximum critical loads. The dynamic stress intensity factor $K_{I,d}$ was computed for varying amounts of rubber contents from the obtained maximum critical loads and also toughening effects were investigated as well. The fracture surfaces produced under low velocity impact for PVC/MBS composites were investigated by SEM. The results show that MBS rubber is very effective reinforcement material for toughening PVC.

Key Words : PVC/MBS Composite(PVC/MBS 복합재료), Instrumented Charpy Impact Test(계장화 샤르피충격시험기), Breaking Energy(파단에너지), Breaking Strength(파단강도), Energy Release Rate(에너지 해방률), Stress Intensity Factor(응력세기계수)

1. 서론

최근 국내에서도 새로운 소재가 활발하게 개발되고 있다. 이러한 신소재를 이용하여 구조물의 부품 설계시 재료의 기계적 성질을 정확하게 해석하여 안전하면서도 경제적인 설계의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 신소재 중에서도 기존의 금속재료를 대신하여 폴리머 재료가 다양한 목적으로 널리 사용되어지고 있다. 폴리머 재료의 파괴특성을 파악하고 분석하기 위해서는 ASTM -D-256 에 언급된 대로 아이조드나 샤르피 충격시험기를 사용한다. 아이조드나 샤르피 충격시험은 폴리머 시편을 홀더 위에 올려놓고 진자(pendulum)을 움직여서 고속으로 충격을 가해 파괴된 시편과 진자에 의한 운동에너지를 측정하고 시편을 파괴시키는데 소요되는 순수한 파괴 에너지(breaking energy)를 환산하여 재료의 충격 특성치를 비교 판단하는데 매우 유용한 방법으로 널리 사용되어져 왔다. 최근에 파괴역학의 발달과 더불어 이러한 파단에너지와 파괴역학적 설계인자인 응력세기계수($K_{I,d}$) 및 에너지해방률(G_c)과의 관계를 규명하

는 것이 필요하게 되었다. 국내에서는 샤르피 충격 시험기를 이용 동적파괴에너지와 파괴역학 설계인자와의 관계를 규명하는 연구가 활발하지 못한 실정이다.

본 연구에서는 일반 취성재료인 PVC재료에 연성의 고무를 다양한 비율로 첨가한 폴리머 복합재료를 사용하여 고무 함유량이 동적파괴특성에 미치는 영향을 알아보고자 상온에서 계장화 샤르피충격 시험기를 사용하여 동적 파괴인성치와 동적 에너지 해방률의 변화를 검토하였다.

2. 기본이론

2.1 파단에너지로부터 동적 에너지 해방률(G_c) 계산

에너지 관점에서 기본 파괴역학 관계식을 선형파괴역학 식으로 유도하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$w = G_c \cdot B \cdot D \cdot \phi \quad (1)$$

여기서, $\phi = \frac{C}{dc/d(a/D)}$ 는 보정계수이고 B는 시편의 두께 D는 시편의 폭이다. ϕ 는 이론적으로 또는 실험적으로 구할 수가 있는데 본 연구에서는 Williams(1)가 제안한 실험적 방법을 사용하였다. 샤르피 시편규격에서 구한 보정계수값은 대략 1.1 정도였다.

2.2 동적 파괴인성치(K_{Id})의 계산

본 연구에서는 샤르피충격시험기를 계장화시켜 시간과 하중곡선으로부터 최대하중을 구하고, 이에 따른 샤르피 시편의 동적 파괴인성치는 다음식부터 계산하였다.(2)

$$K_{Id} = \frac{3P_m L \sqrt{a}}{2BD^2} Y \quad (2)$$

여기서,

$$Y = 1.93 - 3.07 \left(\frac{a}{D}\right) + 14.53 \left(\frac{a}{D}\right)^2$$

$$- 25.11 \left(\frac{a}{D}\right)^3 + 25.8 \left(\frac{a}{D}\right)^4$$

여기서, P_m 는 최대하중, B는 시편의 두께, D는 시편의 폭, a는 균열길이, L은 하중작용점 사이의 길이이다.

3. 실험방법 및 절차

3.1 실험장치

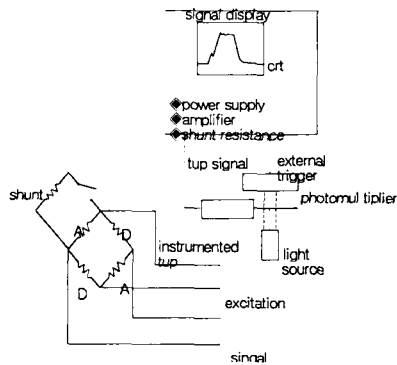


Fig. 1 Block diagram of the instrumented impact test system

충격시험기로는 아이쥘드와 샤르피시험 모두가 가능한 용량 5.65J의 Tinius Olsen사의 92T 샤르피 충격시험기를 사용하였다. 동적 파괴인성치를 구하기 위해 샤르피 시험기의 충격날(tup)에 최대용량 4.5kN인 반도체용 스트레인게이지를 계장화 하였으며 그 구성도는 Fig. 1과 같다. 이때 충격날에 부착된 게이지의 위치는 충격시 시편 중앙부와 접촉되는 충격날

의 가운데 위치에 부착시켰다. 게이지에서 나온 신호는 데이터 획득장치(GRC 830)를 이용하여 분석하였다.

3.2 실험방법

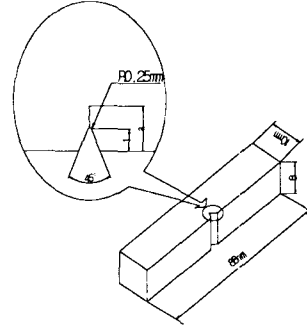


Fig. 2 Charpy specimen geometry

시편제작은 193℃에서 3분동안 롤 밀링 하였으며 185℃에서 7분동안 예열하고, 3분동안 프레싱하였다. 시편의 규격은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 계장화된 충격날과 데이터 획득 장치(GRC 830)를 이용하여 각 시편의 파단에너지와 최대하중을 구하였다. 시편 재료는 충격보강재 MBS 고무 함량을 0phr (part/hundred resin), 5phr, 7phr 및 9phr로 변화시켜 제작하였고 각각의 PVC/MBS 함유량에 따라 시편의 두께를 2t, 3t 및 5t로 각 10개씩 제작하여 실험을 행하였다. 그리고 동적 파괴인성치(K_{Id})를 구하기 위하여 각 고무 함유량과 두께에 따른 시편을 액화질소 안에 약 8시간 넣어 재료를 취성화 시킨후 칼날과 고무해머를 사용하여 시편노치부에 칼날을 대고 고무해머를 이용 부드럽게 탭핑하여 각 두께에 대하여 대략 1mm, 2mm 및 3mm의 예비균열을 생성시켰으며 측정은 특수자와 현미경을 이용하여 1/10mm범위까지 측정하였다. 에너지 해방률은 식 (9)에 표시된 $BD\phi$ 를 계산한 값과 측정 되어진 파단 에너지 값과의 기율기를 계산하여 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

SEM(Scanning electron microscopy)로 샤르피 시편의 파단면을 관찰해 보면 MBS의 함유량에 따른 전형적인 파단면 노치부분의 형태는 Fig. 3과 같다. Fig. 3을 살펴보면 고무 함유량이 증가할수록 파단입자가 매우 커지며 파면이 거칠어지는 것을 볼 수가 있고, 또한 일정한 texture가 형성되는 것을 알 수가 있다. 이는 함유량이 증가할수록 재료내의 고무입자

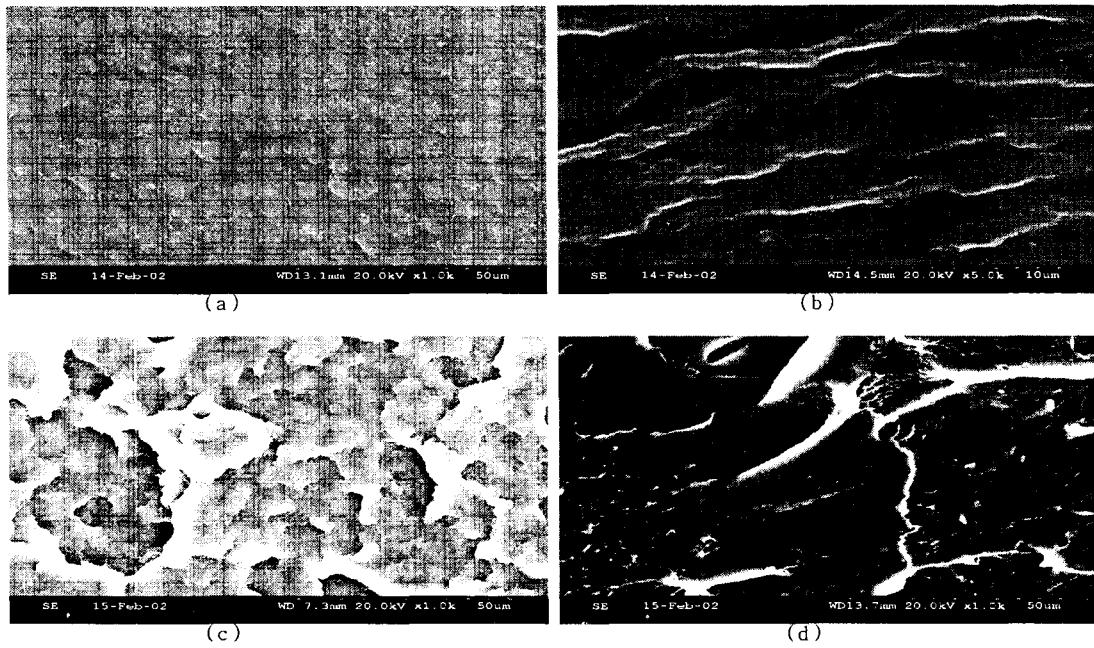


Fig. 3 Scanning electron micrograph(SEM) of fracture surface. The fracture proceeds from top to

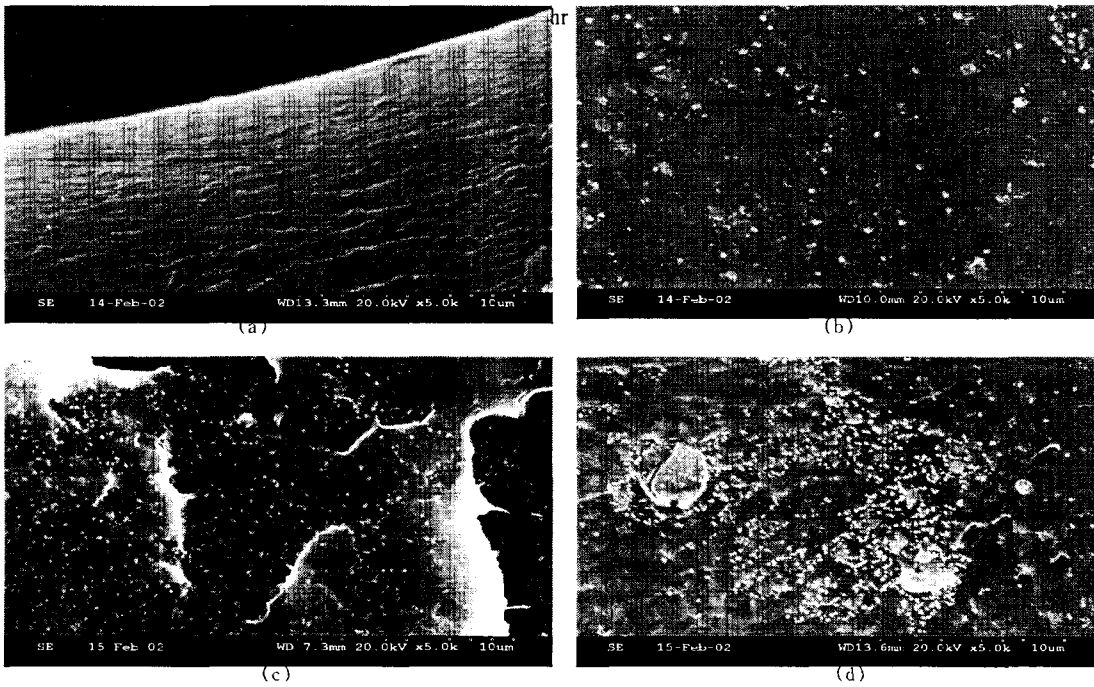


Fig. 4 Scanning electron micrograph(SEM) of the deformed region around the crack tip for charpy test specimen. The specimen contained (a) 0 phr (b) 5 phr (c) 7 phr (d) 9 phr of 0.12 μ m rubber particles (magnification = 5000X)

Table 1 Calculated fracture parameters

Rubber content	K_{Id} ($MN/m^{3/2}$)	G_c (kJ/m^2)
0phr	0.82	5.79
5phr	2.08	6.14
7phr	3.73	8.49
9phr	4.85	10.91

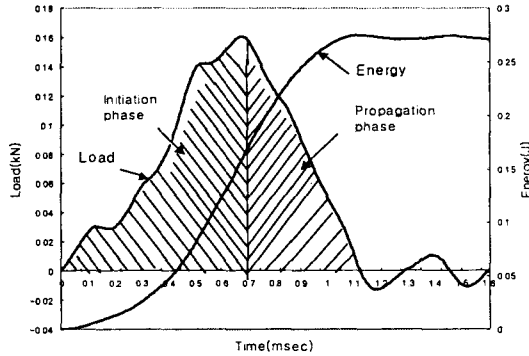


Fig. 5 Load-time-energy curve for PVC with 7phr rubber

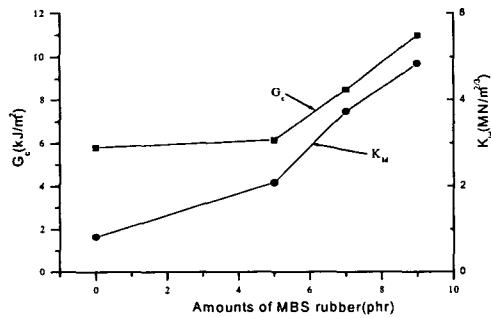


Fig. 6 Dynamic fracture toughness and energy release rate

의 계면에서 시작하는 균열전진의 방향이 많이 달라져서 한 방향으로 균열전진이 어려워져서 다른 방향으로 균열의 방향이 바뀌게 되며 또한 균열전진을 방해받는 과정에서 생기는 현상임을 확인할 수가 있다. Fig. 4는 각 phr에서 실험시편의 MBS rubber를 SEM으로 옮겨 놓은 것이다. 즉 미세구조학적으로 보강제인 MBS 고무가 균열 전진시에 방해 또는 둔화시키는 역할을 함으로써 더 많은 균열전진에너지를 소모시킴을 알 수 있다. 예비균열이 없는 시편을 사용하여 샤르피충격시험을 한 결과 시편 두께 및 고무 함유량에 따른 파단에너지와 파단강도 값은 증가함을 알 수가 있었다. 계장화 샤르피충격시험의 실험

결과 곡선은 Fig.5와 같다. 이 그림은 고무를 7phr 첨가했을 경우 하중-시간-에너지를 나타내는 전형적인 곡선이다.

에너지 해방률(G_c)과 동적 응력세기계수는 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 구하였고 그 결과를 Fig. 6과 Table 1에 나타내었다. 실험결과에 따르면 동일한 두께, 동일한 노치 및 균열길이에 대한 최대 충격 하중 값은 MBS 고무 함유량의 증가(0~9phr 범위내)에 따라 증가함을 알 수 있다. 이는 충격하중이 작용할 경우 MBS 고무함유량이 적은 시편의 경우에는 균열선단 부근에서 큰 변형을 일으키지 않은 상태 하에서 균열이 진전되지만, 함유량이 많은 경우 균열선단에 상당한 변형이 발생하여 에너지가 소요되며 이후 균열을 진전시키는데 역시 많은 에너지가 소요됨을 알 수 있다. 이는 균열선단의 소성역 변형을 관측한 결과로 유추할 수가 있다. 주목할 점은 0~9phr범위에서는 적절히 분포된 MBS 고무와 이 재료 내에 입혀진 코팅 효과로 인해 충격 저항 상승 효과를 낸다고 사료된다. 이로 미루어 볼 때 이 범위 내의 보강제 MBS의 첨가량이 적절한 양이라 사료된다.

4. 결론

(1)PVC/MBS재료에 있어 충격 보강제인 MBS 함유량이 증가될수록 동적파괴인성치 및 에너지 해방률이 증가됨을 알 수 있다. 특히 5phr에서부터 9phr 범위에서의 보강효과가 두드러짐을 알 수 있다.

(2)SEM 관독 결과 충격하중시 MBS 재료가 시편의 균열선단부근에서 균열의 진행을 여러 방향으로 진행하게 하므로 충격하중과 에너지를 증가시키는 효과를 가져온다고 사료된다.

참고문헌

- Platti, E. and Willams, J. G., "The Determination of the Fracture Parameters for Polymers in Impact," Polymer Engineering and Science, Vol. 15, pp. 470~477, 1975
- Williams, J. G., Fracture Mechanics of Polymers, John Wiley & Son, Toronto, pp. 64~71, 1984
- Broek, D., Elementary Engineering Fracture Mechanics, Nordhoff International Pub., Leyden, The Netherlands, pp. 96, 1974