

Bentonite와 폴리에틸렌을 이용한 複合材의 機械的 性質

文卓珍·韓基諒

高麗大學校 理工大學 材料工學科

(1977. 4. 7 接受)

Mechanical Properties of Bentonite—Polyethylene Composites

Tak Jin Moon and Ki Chul Han

Materials Science Department, Korea University, Seoul, Korea

(Received April 7, 1977)

요 약. 친유기성 bentonite가 고분자 물질중에서 잘 분산된다는 성질을 이용하여 고분자 물질과 bentonite의 복합재를 제조하고 그 기계적 성질에 관해서 연구하였다. Bentonite는 고분자 물질 내에서 분산과 결합이 좋아지도록 imidazoline으로 처리한 후 충전제를 사용하였다. 고분자 물질인 polyethylene은 입도가 100 mesh인 것을 사용하였고 친유기성 bentonite 즉 bentone은 입도가 250 mesh인 것을 실험에 사용하였다. 분말의 혼합에는 V형 혼합기를 사용하였으며 Banbury mixer로 용융 혼합 시켰다.

시편의 모양은 plate press에 시료를 넣고 열을 가하여 판상으로 제작하였다. 물성을 조사하기 위하여 인장 강도, 굽 강도, 그리고 압축 강도 시험을 하였다. 인장 강도, 연신율, 굽 강도, 그리고 일정한 하중에 대한 굴곡율은 충전제 증가에 따라 감소 되었다. 또한 압축 강도는 충전제 증가에 따라 크게 증가 하였다.

ABSTRACT. Since the organophilic bentonite disperses well in polymer matrix, a composite material of polymer and bentonite was studied for its mechanical properties. To increase the degree of dispersion and the bond in forces to the polymer matrix, bentonite, encapsulated by imidazoline, was used as a filler.

Polyethylene powder of particle size of 100 mesh was used, and organophilic bentonite, so-called bentone, whose particle size was 250 mesh was also used in this experiment. V-type mixer was used for mixing and Banbury mixer was used for melt-blending.

The sample specimen were made by heating the mixture in the plate press, and the specimen were formed as a sheet, exactly the same as the mold on the plate.

Tensile strength, bending strength and compressive strength were studied specially. Tensile strength, elongation rate, bending strength and bending rate at constant pressure were decreased as the filler content increased. Compressive strength was increased as the filler content increased.

1. 서 론

고분자 물질에 비탄성 입자를 복합시킬 때의

기계적 성질의 변화는 액체에 입자를 분산시킬 때 나타나는 점도의 변화와 비슷하다. 액체에 고체 입자를 분산시킬 때 점도의 증가 영향은

Einstein이 처음 생각해 냈는데 입자의 분산이 균일하고 분자간 인력이 없다고 가정 했으며 입자의 크기는 액체 분자 보다는 크지만 모세관 크기 보다는 훨씬 적은 경우에 대한 식을 만들었다.¹

$$\eta = \eta_0(1 + 2.5C)$$

여기서 η 는 suspension 액의 점도이고 η_0 는 액체의 점도 C 는 액체에 분산된 입자의 volume fraction이다. 그 후에 Guth와 Gold에 의해서 분자간의 인력을 고려한 식이 나왔다².

$$\eta = \eta_0(1 + 2.5C + 14.1C^2)$$

이 식은 복합재의 경우에 잘 적용되는데 그 이유는 입자를 복합시킬 때 고분자 물질의 기계적 성질의 변화는 “흐름에 대한 저항”으로 설명할 수 있으며 용액의 흐름에 대한 저항 값을 측정하는 점도와 개념이 같기 때문이다. 따라서 다음과 같이 비슷한 식을 얻을 수 있다.

$$M = M_0(1 + 25C + 14.1C^2)$$

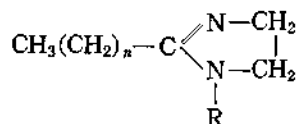
여기서 M 을 충전제가 들어있는 물질의 modulus이며 M_0 는 고분자 모체 물질의 modulus를 나타낸다. 여기에는 Young's modulus나 flexural modulus가 적용된다³.

무기 충전제가 친수성 표면을 가지고 있는 반면 중합체 고분자 물질은 소수성 표면을 가지고 있기 때문에 복합물을 형성할 때 약점이 있다. 표면에서의 이러한 차이는 rheology적 성질에서부터 기계적 성질에 많은 영향을 준다. 그러므로 표면을 화학 처리 하므로서 친유(油)성 표면에서 친 유기성 표면으로 바꾸어 여러가지 성질을 향상시킬 수 있다. 이와같은 작업을 encapsulation이라고 하는데 친 유기성 물질인 encapsulant는 충전제 입자와 중합체 matrix 사이에 화학적 결합을 형성하여 복합재의 강도를 증가시키며 matrix 내에서의 분산을 도와 줄 수 있는 물질로 선택 되어야 한다⁴.

Bentonite에 amine을 처리하여 만든 bentone은 보통 윤활 grease의 thickener로 사용되는 물질인데 이 bentone이 점토류에 친유기성 물질로 encapsulation하여 얻은 물질로 윤활기유나 고분

자 물질과 혼합할 때 잘 분산되는 성질을 갖고 있는 동시에 고분자 물질과 잘 결합이 된다는⁵ 성질을 이용하여 ceraplast의 충전제로써 사용할 때 보강 효과를 나타내어 기계적 성질을 향상시킬 수 있을것으로 기대되므로 본 연구에서는 신장울과 굴곡율이 너무 커서 재료로써 사용하기 곤란한 polyethylene에 첨가시켜서 복합재를 만들었다.

Bentone은 bentonite와 여러 종류의 organic cation과의 반응 생성물이며 유기 양이온에는 주로 amine 계통이 쓰인다. Bentone을 amine의 종류에 따라 여러가지가 제조되어 시판되고 있으며 구조적으로는 bentonite의 hydrated aluminum magnesium silicate의 층상 구조 사이에 amine 분자가 끼어 들어간 것이다⁶. Amine 중의 양이온은 bentonite 중의 silica의 산소이온과 전기적인 coulombic forces로 결합되어 있고 또한 표면의 분자들과 van der Waals forces로 결합되어 있다⁷. 실험에 사용된 bentonite 제조에 이용된 amine은 imidazoline으로 분자 구조식은 다음과 같다⁸.



이때 alkyl group의 탄소 원자수는 10 정도, R는 ethyl radical처럼 분자량이 적은 물질이다. 이 imidazoline은 ammonium acetate와 ammonium chloride로 처리되어 quaternary ammonium 염을 형성하고 이 염이 bentonite와 반응하여 bentone이 된다. 이때 bentonite의 양이온 교환율(CEC)이 100 meq/100g 이상이나 된다^{9,10}.

2. 실험 방법

(1) 시험편 제조. 실험에 사용된 bentonite는 경상북도 영일군에서 산출되는 백토에서 얻었으며 이것을 선별하여 ball mill로 200 mesh 정도로 분쇄하였다. 이 분쇄된 bentonite를 물에 분산시켜 불순물을 제거하고 수용액의 pH는 tetrasodium pyrophosphate로 10.2~10.4 정도로 유

지하였다. 불순물과 분리한 분산용액은 시료 100 g 당 100 ml 에 해당하는 imidazoline 의 염산염으로 처리하여 bentone 을 만들었다. 응집된 bentone 은 여과한 다음 80°C로 건조 시킨후 alumina ball mill로 약 250 mesh 정도로 분쇄하였다.

Polyethylene 은 한양화학 제품의 low density polyethylene 으로 melt index 는 3이고 film 제조용이다. Bentone 과의 혼합을 좋게하기 위하여 100 mesh 정도의 powder 를 사용하였다.

혼합은 polyethylene powder 와 bentone 을 무게 % 비율로 각각 100%-0%, 90%-10%, 80%-20%, 70%-30%, 60%-40% 가 되도록 무게를 달아 V-type mixer 로 혼합 시키고 Banbury mixer 로 120°C 에서 melt blending 시켰다. 혼합된 복합재의 덩어리는 냉각시켜 보관해 두었다. 시험편 제작은 heating plate press 에 판상의 금형을 놓고 시료를 적당량 넣은후 압력을 가하여 판상으로 제작하였다.

(2) 물성 측정. 모든 물성측정은 상온과 open space 에서 행하였다.

인장강도 시험은 만능 시험기 Instron TTDM 을 사용하였고 이때의 시험편은 KS M 3006 에 의해서 제작 하였다. 실험 결과는 같은 종류의 시험편을 5 번씩 시험하여 평균치를 결과로 채택 하였다. Stress-strain curve 는 Detroit Testing Mashine TCU-280S 를 사용하여 그렸으며 5 번 실험하여 가장 일반적 이라고 생각되는 것을 선택하여 결과로 채택하였다.

곡강도 시험은 2 가지 방법으로 실시하였다. 첫번째 방법은 KS L 3110 에 의한 것이다. 적육면체의 양쪽을 축으로 받치고 중앙 부분에 하중을 주어 시험편이 부서질 때의 하중을 측정하여 bending strength 를 계산하였다. 두번째 실험은 일정한 크기의 판상 시료를 한쪽은 고정 시키고 다른 한쪽에 일정한 하중을 가했을때 bending 되는 길이를 cathetometer 로 측정하였다. 이 실험 결과로 일정한 하중에 대하여 변형된 시료의 상대적인 강도를 알 수 있다.

압축강도 시험은 보통의 방법처럼 압력을 주어 파괴가 일어날 때의 강도를 측정 한 것이 아니라 압력에 따른 압축된 길이 변화를 측정하였

다. 이 실험에서 시험편은 1 번의 길이가 15 mm 인 정육면체로 만들었고 압력은 press 평면에 시료를 놓고 위에서 가하였다. 이때 압축된 길이 변화는 Peacock Dial Gauge No 107 을 사용하여 10^{-3} mm 까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Polyethylene 에 bentone 을 복합시킨 복합재의 시료별 인장강도 및 탄성의 성질을 가지는 부분까지 stress-strain curve 의 기울기로 계산할 수 있는 탄성계수 (Young's modulus) 는 Table 1 과 같다. 인장 강도는 예상과는 달리 bentone 의 양을 증가시킬 수록 떨어졌다. 그러나 Young's modulus 는 크게 증가되었다. 이 결과는 연신율이 큰 재료에 탄성이 큰 무기물을 첨가 시킬때 딱딱하고 취약해진다는 것을 알 수 있다. 그러나 구조물로 사용될때 이 재료의 성질은 큰 이점이 있다. 그 결과는 Fig. 2 의 stress-strain curve 에서 잘 알 수 있다. 그림에서 점선 b 를 보면 polyethylene 은 응력이 50 kg/cm² 인 부분에서 yielding 이 일어났다. 그러므로 실제 구조

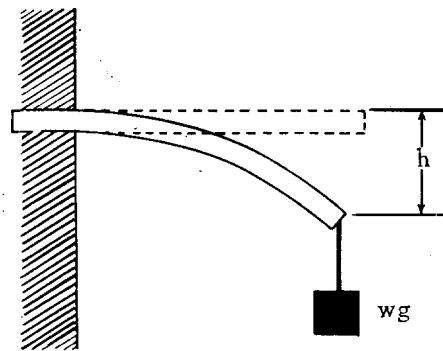


Fig. 1. Bending strength.

Table 1. Tensile strength and Young's modulus of composites.

Specm No.	P. E. wt%	Bentone wt%	Tensile st. kg/cm ²	Young's mod kg/cm ²
1	100	0	79.1	6×10^2
2	90	10	74.8	9×10^2
3	80	20	72.1	10×10^2
4	70	30	69.6	14×10^2
5	60	40	62.0	16×10^2

Table 2. Bending strength of composites.

Specim No.	P. E. wt %	Bentone wt %	Bending strength (Method 1)	Bending length Method 2)
1	100	0	above 0.500 kg/cm ²	42.05 mm
2	90	10	above 0.180 kg/cm ²	30.03 mm
3	80	20	above 0.137 kg/cm ²	25.65 mm
4	70	30	above 0.123 kg/cm ²	24.55 mm
5	60	40	above 0.105 kg/cm ²	21.28 mm

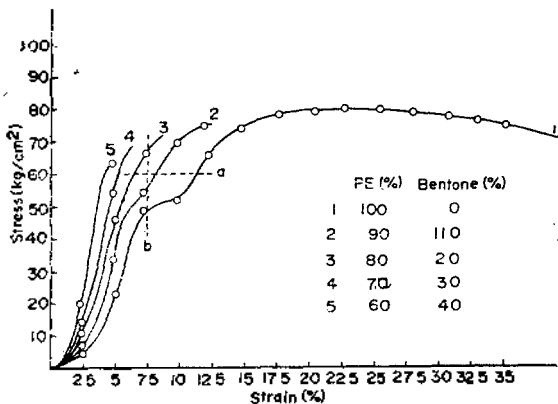


Fig. 2. Stress-strain curve.

물로 사용될 수 있는 강도는 그 이하이다. 그러나 20%의 bentone 을 복합시킨 ③번 시료의 경우는 yield point 도 없었고 같은 7.5% 변형 됐을때의 강도가 무려 70 kg/cm²나 된다. 이 결과로 두가지 재료에 일정한 변형을 주려면 복합재의 경우 더 많은 힘이 필요하게 된다는 것을 알 수 있다. 즉 복합재의 인장 강도는 다소 떨어지지만 실제 사용에 유용한 강도는 훨씬 높은 것이다. 10% bentone 을 복합시킨 복합재는 polyethylene 에 성질이 가깝고 30%, 40% 복합시킨 것은 이런 성질이 두드러지나 인장 강도가 너무 떨어진다. 일정한 stress 로 표시된 점선 a 를 보면 ①번 시료에서 늘어난 길이는 ③번 시료에 비해 훨씬 크다. 이것은 polyethylene 에 bentone 을 복합시킬 경우 일정한 하중에 대하여 변형되지 않고 견딜 수 있는 힘이 강하다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 폭강도 시험과 압축강도 시험에서 더욱 잘 설명된다.

Polyethylene 복합재의 폭강도 시험 결과는 다음 Table 2와 같다. 폭강도 시험결과도 인장강

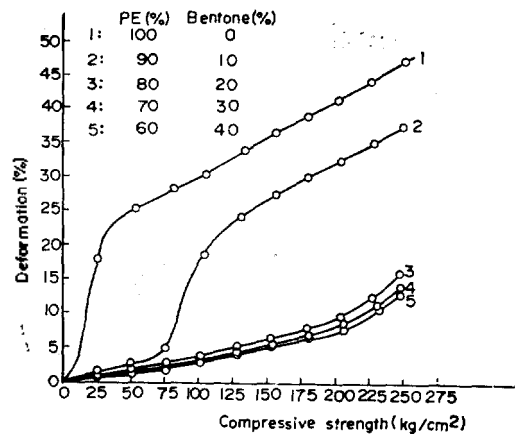


Fig. 3. Compressive strength of composites.

도와 같은 결과를 나타냈다. 시료중 bentone 의 양이 증가할 수록 최대 폭강도는 떨어졌다. 순수한 polyethylene 은 파괴가 일어나지 않고 소성 변형이 일어났다. 그러나 두번째 실험에서 판상의 시료 한쪽을 고정시키고 다른 한쪽에 일정한 하중을 가했을때 시험편의 bending 된 길이 h 를 측정하니 하중양이 증가할 수록 bending 된 길이는 짧았다. 이것은 bentone 을 복합시키면 연신율이 큰 재료의 성질이 딱딱해져서 파괴가 일어나기 직전까지 하중에 변형되지 않고 견딜 수 있다는 것을 밝혀 준다.

압축강도 시험은 압력 변화에 따른 압축된 길이 변화를 측정하였는데 그 결과는 Fig. 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 polyethylene 시료는 낮은 강도에서 5% 미만으로 압축되어 소성 변형이 되기 시작하였다. 고유의 좋은 연신율을 가지고 있기 때문에 압력을 계속 높여도 파괴는 일어나지 않았고 완전히 모양이 변해 버렸다. 10%의 bentone 이 들어 있는 ②번 시료는

75 kg/cm² 정도의 압력에서 소성 변형하기 시작하였다. ③~⑤번 시료의 성질은 비슷하였으며 250 kg/cm² 정도의 압력에서 소성 변형이 일어났고 압력을 계속 높이면 bentone 의 양이 많은 것일 수록 변형된 부분의 금이 커져서 파괴가 일어났다. 이와같은 결과로 bentone 으로 polyethylene 을 보강시켰을때 인장 강도는 떨어지지만 압축 강도는 크게 향상된다는 것을 알았다.

4. 結 論

Polyethylene 에 bentone 을 보강 시켰을때 모체 물질 보다 인장강도는 감소되었으나 신장율은 줄었고, 탄성계수는 커졌다. 곡강도는 떨어졌으나 일정한 하중에 대한 굴곡율은 감소 되었다. 또한 압축 강도는 크게 향상 되었다. 그러므로 건축 자재나 기계 부품 같은 구조물의 재료로써 사용될 때 변형율이 적기 때문에 모체물질인 polyethylene 보다 복합재가 유리하고 그

조성은 무게 비율로 20 % 정도가 좋다.

인 용 문 헌

1. A. Einstein, *Ann. d. physik*, **19**, 289 (1906).
2. E. Guth and O. Gold, *Phys. Rev.*, **53**, 322 (1938).
3. W. F. Futter, *The Canadian J. Chem. Eng.*, **42**, 77, April (1964).
4. G. J. Fallick, *Modern Plastics*, **45**(5), 143, (1968).
5. 문탁진, 과학기술처, R-74-18
6. C.M. Finlayson and P.R. Mc Carthy, *The Institute Spokesman*, May, 13 (1950).
7. S.B. Hendricks, *J. Phys. Chem.*, **45**, 65 (1941).
8. R.C. Weats, *Handbook of Chem. and Phys.*, 1974.
9. D. Robbins, *Composites*, **2**(3), 161 (1971).
10. 문탁진, 대한 화학회지, **16**, 193 (1972).