

클레이강화 에폭시 나노복합재의 파괴 특성

*하성록¹, 이경엽²

¹ 경희대학교 기계공학과, ² 경희대학교 테크노공학부

Fracture properties of MMT/epoxy nanocomposites

*S. R. Ha¹, K. Y. Rhee²

¹ Dept. of Mech. Eng., Kyunghee Univ., ² Dept. of Mech. Eng. Kyunghee Univ.

Key words : MMT, Fracture, Nanocomposite, MMT/Epoxy nanocomposite

1. 서론

클레이강화복합재는 기존의 철강재료보다 무게가 가볍고 내부식성, 내마모성 및 강도가 우수하며, 외부 하중에 대한 변형이 작다는 장점을 가지고 있다. 또한 제작방법에 따라 특성을 조절할 수 있으며 원하는 모양으로 가공이 용이하다. 최근 들어 자동차, 항공, 선박 등 고부가가치 산업에 활용이 증가하고 있다. 그러나 입자강화복합재는 입자의 응집으로 균일한 물성이 나타나지 않고 입자와 기지재 사이의 층간분리 현상이 일어나는 문제점이 있다.

최근들어 이러한 문제점을 개선할 수 있는 방법으로 클레이/고분자 나노복합재가 각광을 받고 있다. 클레이/고분자 나노복합재는 1987년 일본의 Toyota 연구진이 나일론 단량체를 실리케이트 층 사이에 삽입을 시켜 층간거리가 증가하는 박리현상을 보고한 이후 많은 연구자에 의하여 연구되어지고 있다.[1-4]

클레이/고분자 나노복합재는 클레이량을 기존의 방법보다 훨씬 소량만 사용하여도 입자강화복합재에서 얻기 힘든 물성을 얻을 수 있다. 그 이유는 점토입자가 기지재에 나노미터 간격으로 균일하게 분산 되고 점토입자층 사이에 기지재가 삽입되어 점토입자와 기지재의 접촉면적이 커져 표면에너지가 증가되기 때문이다.

MMT/고분자 나노복합재가 기존의 입자강화 복합재보다 우수한 기계적 특성을 가지기 위해서는 MMT 층간에 고분자 기지재를 적절히 삽입시키는 것이 중요하며 이는 MMT의 분산성에 영향을 받는다. 따라서 MMT 층간 분산성 향상을 위해 다양한 연구가 이루어진 바 Yasmin 등[5]은 Twin screw 사출기를 이용하여 에폭시를 MMT 층간에 삽입하였고, Liu 등[6]은 정수압을 이용하여 MMT 층간에 에폭시를 삽입하는 HPM 방법을 발표하였다. 그러나 위와 같은 기계적인 방법은 많은 시간과 비용이 소비될 뿐만 아니라 소량의 제조만이 가능한 단점이 있다.

현재까지 클레이/고분자 나노복합재에 대한 연구는 고분자기지과 나노복합재의 강도특성비교와 기지재 종류에 따른 인장특성변화에 대한 연구로 이루어져 있다. 예를 들면 Daniel 등[7]은 순수에폭시보다 클레이 (MMT, Montmorillonite)의 중량비를 5wt%로 하여 MMT/에폭시 나노복합재를 제작하였을 때 탄성계수가 50%이상 증가함을 발표하였고, Tjong 등[8]은 MMT/폴리아미드(PA) 나노복합재의 기지재인 폴리아미드의 변화에 따라 탄성계수가 116% 증가한다는 것을 발표하였다. 한편 클레이/고분자 나노복합재의 파괴특성에 대한 연구가 반드시 필요하지만 이에 대한 연구는 미흡한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 MMT/에폭시 나노복합재의 파괴 특성에 대하여 연구하였다. 이를 위해 MMT의 중량비를 변화시킴으로써 중량비가 MMT/에폭시 나노복합재의 파괴 인성에 미치는 영향 검토하였다.

2. 시편제작 및 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 MMT (Southern Clay, Na+

MMT)와 에폭시(DGEBA, YD-115)를 사용하였다. MMT의 양이온 교환능력 및 층간거리 등의 특성은 Table 1에 나타나 있다.

질량비를 3 단계(2 wt%, 6 wt%, 10 wt%)로 하여 나노복합재를 제작하였다. 시편제작을 위해 MMT와 에폭시를 1시간 동안 교반한 후 경화제를 첨가하여 다시 2분간 교반시켰다. 이를 mold에 부어 오븐에 넣고 110°C에서 24시간 동안 경화시켜 MMT/에폭시 나노복합재를 제작하였다.

제작된 나노복합재로 파괴실험을 ASTM E399에 따라 수행하였다. 이때 파괴시편은 두께 3.0 mm, 가로, 세로의 길이 100.0 mm, 30.0 mm, 초기크랙 9.0 mm로 가공하였다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 파괴시편의 형상을 나타낸 것이다.

파괴시험은 만능재료시험기(INSTRON 8871)를 이용하여 수행하였으며, 이때 0.2 mm/min의 일정한 변형률을 유지한 채 수행하였다. 본 연구에서는 실험결과의 유사성을 위하여 최소한 다섯 번이상의 실험을 반복수행하였다.

3. 결과 및 검토

Fig. 2는 MMT/에폭시 나노복합재의 파괴인성값을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 MMT/에폭시 나노복합재는 MMT의 중량비가 증가함에 따라 파괴강도 및 파괴인성값이 감소함을 알 수 있다. 구체적으로 중량비가 2 wt%에서 10 wt%로 증가함에 따라 파괴강도는 616.8 N에서 395.3 N으로, 파괴인성은 36.4 MPa·mm^{1/2}에서 23.3 MPa·mm^{1/2}로 각각 감소하였다.

MMT 중량비가 증가함에 따라 파괴 인성이 감소하는 이유는 다음과 같다. 나노복합재에 외부의 힘이 작용하면 가해진 힘을 에폭시가 MMT로 전달하고, 이때 MMT는 전달된 힘에 저항하여 나노복합재를 강화시킨다. 즉 MMT는 나노복합재의 변형을 억제하는 역할을 하며 이러한 효과는 MMT 중량비가 증가할수록 증가하게 된다. 그러나 나노복합재에 초기크랙이 생성되면 나노복합재 내에 존재하던 기공 및 MMT와 에폭시 사이에서의 층간분리현상 증가로 인하여 크랙 전파가 쉽게 되며, 이러한 현상은 MMT의 중량비가 증가함에 따라 더욱 뚜렷이 나타나게 된다. 또한 MMT의 중량비가 증가함에 따라 취성재료인 MMT의 특성이 나노복합재에 미치는 영향이 더욱 크게 나타나게 됨에 따라 나노복합재가 마치 취성재료와 같은 현상을 보이게 된다. 이로 인해 나노복합재는 초기크랙이 존재할 때 MMT의 중량비가 증가함에 따라 파괴인성이 감소하는 것으로 판단된다.

Table 1 Characteristics of Na⁺-MMT used in this study

Treatment/Properties:	Organic Modifier	Cation Exchange Capacity	D-spacing
Cloisite® Na ⁺	None	92.6meq/100g clay	11.7Å

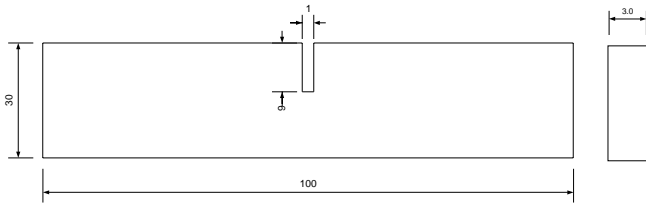


Fig. 1 Schematic diagram of fracture specimen

4. 결론

MMT 중량비가 MMT 나노복합재의 파괴특성에 미치는 영향을 규명하기 위해 MMT/에폭시 나노복합재를 이용하여 중량비를 3 단계로 변화시켜 MMT/에폭시 나노복합재를 제작하였고 이로부터 파괴시험을 수행하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) MMT의 중량비가 증가할수록 파괴인성은 감소한다. 중량비가 10wt%인 경우 MMT/에폭시의 파괴인성 값은 2 wt% 경우에 비해 56% 이상 감소한다.

2) MMT 중량비가 증가함에 따라 파괴인성 값이 감소하는 원인은 MMT와 에폭시 사이에서 층간분리현상 및 기포가 크랙진전을 촉진시키며, MMT 중량비 증가로 인하여 MMT의 특성이 나노복합재에 크게 작용함에 따라 나노복합재의 취성이 더욱 강해지는 현상엔 기인하는 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (과제번호 R01-2005-000-10388-0)의 지원으로 연구되었으며, 이에 사의를 표합니다.

참고문헌

1. X. Liu, Q. Wu, "PP/clay nanocomposites prepared by grafting-melt intercalation", *Polymer*, vol. 42, pp. 10013-10019, 2001.
2. A.S. Zerda, A. J. Lesser, "Intercalated clay nanocomposites: morphology, mechanics, and fracture behavior", *J. polymer science:part B*, vol. 39, pp. 1137-1146, 2001.
3. L.L. Pluart, J. Duchet, H. Sautereau, "Epoxy/montmorillonite nanocomposites: influence of organophilic treatment on reactivity, morphology and fracture properties", *Polymet*, vol. 46, pp.12267-12278, 2005.
4. Yasmin, A., Abot, J., L. Daniel, I. M., "Processing of Clay/Epoxy Nanocomposites With a Three-Roll Mill Machine", *Materials Research Society symposia proceedings*, vol. 740, pp. 75-80, 2003.
5. A. Yasmin, J. L. Abot and I. M. Daniel, "Processing of clay/epoxy nanocomposites by shear mixing", *Scripa Materailia*, Vol. 49, pp. 81-86, 2003.
6. W. Liu, S. V. Hoa and M. Pugh, "Fracture toughness and water uptake of high-performance epoxy/nanoclay nanocomposites", *Composites Sci. Technol.*, Vol. 65, pp. 2364-2373, 2005.
7. Daniel, I. M., Miyagawa, H., Gdoutos, E. E., Luo, J. J., "Processing and Characterization of Epoxy/Clay Nanocomposites", *Experimental mechanics*, vol. 43, pp.348-354, 2003.
8. Tjong, S.C., Bao, S. P., "Preparation and nonisothermal

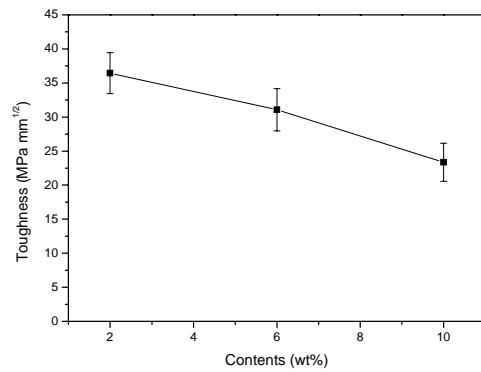


Fig. 2 Fracture toughness change of Na⁺ MMT/epoxy nanocomposites as a function of MMT weight ratio.

crystallization behavior of polyamide 6/montmorillonite nanocomposites", vol. 42, pp.2878-2891, 2004.