

세라믹 박판의 접착 강도 측정

허용학[†] · 김동일* · 김동진* · 이경호** · 김동진***

Measurement of Adhesion Strength for Ceramic Sheet

Y.-H. Huh, D.I.Kim, D.J. Kim, K.Lee, D. Kim

Key Words: Peel test(필 시험), adhesion strength(접착 강도), ceramic sheet(세라믹 박판), standard peel test(표준 필 시험), peel angle(필 각도) testing speed(시험 속도)

Abstract

Adhesion strength of single layer ceramic capacitor sheet was measured using a peel testing system developed in this study. The peel test specimens with various dimensions were prepared from the ceramic sheet cast on the PET film. In peel test, the sheet specimen was adhered on the glass jig floating on the liquid media, which was designed to minimize the friction, and the specimen was then pulled up by micro-actuator. During the separation of the sheet from the PET film, peel force was measured. To normalize the testing condition, 3 different widths of the specimen were selected: 5, 10 and 20 mm. was used Furthermore, testing speed effect was investigated in this study. From the results using various testing conditions, the standard method for the peel strength testing may be suggested. Based on the testing condition, effect of peel angle on the strength was experimentally examined. It was found that the adhesive strength for the ceramic sheet is nearly identical, irrespective of the specimen width ranged from 5 to 20 mm, while the adhesive strength was increased with increasing testing speed. Furthermore, the strength was shown to be dependent on the peel angle.

기호설명

P : 필 하중, 접착 하중
B : 시험편 너비
t : 시험편 두께
G : 접착 파괴 에너지
 θ : 필 각도

1. 서 론

최근 전자 기기의 집적화 소형화에 따라 소형 고용량의 전압을 제공할 수 있는 디바이스의 개발이 진행되고 있다. 이러한 소형 고용량 전압을 적층 세라믹 캐패시터(ceramic sheet capacitor)로 공급하게 되며, 세라믹 캐패시터의 신뢰성은 매우 중요한 문제가 된다. 적층 세라믹 캐패시터는 PET필름위에 유전체 세라믹 입자를 일정 두께로 코팅하여 분산하여 인쇄적층하여 만든다. 이러한 단층의 세라믹 층을 다층으로 제작하기 위해서는 PET필름과 세라믹 박판과의 접착력에 대한 정보가 필요하다.

일반적으로 유연한 판의 접착 강도는 ISO 8510-1, 2 혹은 ISO11339와 같은 표준화된 방법에 따라 측정하였다. 최근 접착 파괴인성을 필 시험에 따라 결정하는 시험 표준안(ESIS protocol, 2006)이 제안되었고[1], 이에 따라 필 강도를 접착 파괴인성의 결정하게 하였다. 그러나 이러한

† 회원, 한국표준과학연구원, 안전그룹
E-mail : yhhuh@kriss.re.kr
TEL : (042)868-5386 FAX : (042)868-5635

* 한국표준과학연구원 안전그룹

** 삼성전자중앙 R&D센터

과거의 시험법으로는 상대적으로 강도가 작고, 박막에서의 접착력의 측정에는 다소 문제를 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 세라믹 박판의 접착 강도를 측정할 수 있는 필 시험 시스템을 개발하여 본 시험을 통하여 시험표준화를 위한 시험 속도와 시험편 크기의 영향을 고찰하였다. 또한 필 각도의 변화에 따라 필 강도 즉 접착 강도의 영향을 조사하였다. 본 시험 결과를 기반으로 박판의 접착 시험법의 표준을 위한 적절한 방법이 제시되기를 기대한다.

2. 필 시험 시스템 및 시험 준비

2.1 필 시험 시스템

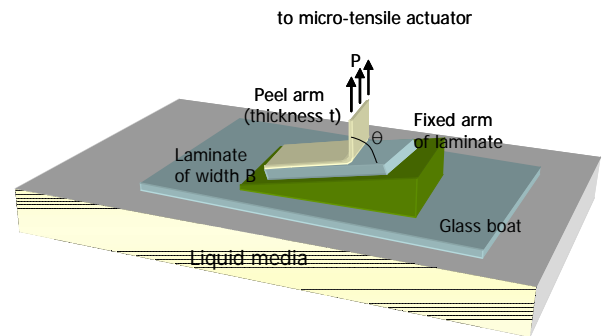
박판의 접착 강도는 마찰력이 작은 선형 베어링 시스템을 따라 움직이는 필 시험 치구를 사용하여 측정하였다. [1] 이러한 기존의 시험 장치는 매우 작은 접착 강도를 가지는 계면에서 그 강도를 측정하는 것은 용이하지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 Fig. 1에서 보여준 바와 같은 박판의 접착 강도를 측정할 수 있는 필 시험 시스템을 개발하였다. 시험편은 물과 같은 점성이 크지 않은 액체상에 떠있는 유리판(slide glass)위에 고정하였으며, 필 각도는 유리판에 고정하는 치구의 각도로 조절하도록 하였다. 시험편의 한쪽 자유단은 마이크로 인장 액추에이터에 연결되어 있다. 액추에이터는 4.5 nm의 스트로크 해상도를 가지고 있고 최대 하중 50 mN의 하중 센서로 필 하중을 측정하도록 하였다. 시험편의 자유단이 일정 변위 속도로 액추에이터에 의하여 수직으로 끌어 당겨짐에 따라 세라믹 박판은 PET 필름으로부터 분리되고 이에 따르는 하중은 하중 센서에 의하여 측정하게 된다. 이 때 이동하는 거리는 최대 10 mm로 하였다.

2.2 시험편 및 시험 조건

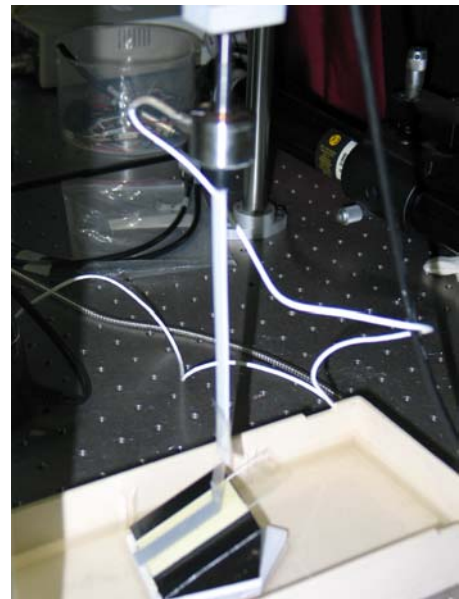
일반적으로 다층 적층 세라믹 캐패시터는 전극이 인쇄된 유전체 세라믹 박판을 여러 장 적층하여 만들어진다. 균일한 세라믹 박판은 잘 분산된 세라믹 슬러리를 PET 필름위에 캐스트하여 일정 건조 조건하에서 제작되어진다. 제작된 세라믹 박판은 1.7 μm 의 두께를 가지게 된다. 판상으로 제작된 PET 필름위에 성형된 세라믹 박판으로부

터 필 시험을 하기 위한 시험편을 기계적 가공으로 얻는다. 시험편은 너비에 따른 접착 강도를 확인하기 위하여 5, 10, 20 mm의 너비를 가지는 시험편을 제작하였다.

또한 시험 조건의 표준화를 위하여 시험 속도에 따른 강도의 변화를 조사하였다. 이를 위하여 시험 속도를 0.256 mm/min에서 26 mm/min사이의 속도 범위 내에서 7수준의 다른 속도를 선택하였다. 필 시험은 일반적으로 필 각도 90도의 각도에서 시험을 수행하고 있으나, 본 연구에서는 필 각도에 따른 강도의 영향을 같이 고찰 하였다. 이를 위하여 30, 60, 90 그리고 180도의 필 각도를 변화시켰다.



(a) Schematic diagram of the testing system



(b) photograph of the testing system

Fig. 1 Peel testing system developed in this study.

3. 접착 강도 측정

3.1 접착 강도

Fig. 2는 세라믹 박판이 기판(substrate) PET 필름에서 분리되는 동안 측정되는 필 하중의 전형적인 예를 나타낸다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 변위와 접착 하중과의 곡선에서는 초기의 최대 하중이 나타나고 이에 따르는 하중은 필 파괴의 발생과 전과를 나타내는 불규칙의 하중이 나타난다. 일반적으로 접착력과 밀착력의 조합이 없다면 접착하중은 평균 하중으로 결정하게 된다. [1] 본 논문에서도 필 하중 P는 Fig. 2에 나타낸바와 같이 초기 최대하중이후의 불규칙 하중의 평균으로 결정하였고, 이론 필 강도 P/B는 평균 하중을 시험편 너비로 나눈 값으로 정의하였다.

필 각도 θ 와 필 하중 P의 필 시험에서 필 과정에 나타나는 에너지는 변형 에너지, 탄성, 소성 그리고 접착 파괴 에너지로 변환될 수 있다.[2,3] 그러나 인장 탄소성 변형을 본 시험에서 무시할 수 있다면 필 시험에 가해진 에너지 G는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \frac{P}{B} (1 - \cos\theta) = G_A + G_P \quad (1)$$

여기서 G_A 와 G_P 는 각각 필 시험체의 굽힘에서의 접착 파괴 인성(adhesive fracture toughness)과 소성 에너지를 나타낸다. 따라서 접착 파괴인성은 시험에서 결정한 필 강도, P/B, 에서 얻을 수 있다.

3.2 시험 조건의 영향

본 연구에서는 시험 조건 즉, 시험편의 크기와 시험 속도에 따른 접착강도의 변화를 고찰 하였다. 시험편의 크기는 시험편의 너비를 5, 10, 20 mm로 변화시켜 각각에서의 접착 강도를 측정하였다. ESIS 초안[1]에 따르면 접착 강도 시험을 20 mm 너비 시험편을 사용하는 것을 추천하고 있다. 그러나 본 연구에서 사용하고 있는 세라믹 박판에서는 이러한 규정을 적용하기에는 시험 재료의 접착 강도가 작고 시험편이 상대적으로 유연성(flexibility)이 작다. 이에 따라 본 연구에서는 이에 대한 영향을 실험적으로 고찰하였다.

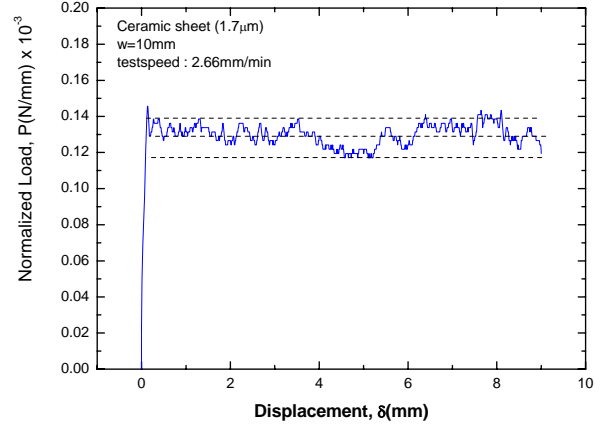


Fig. 2 Typical adhesion-force curve obtained from peel test

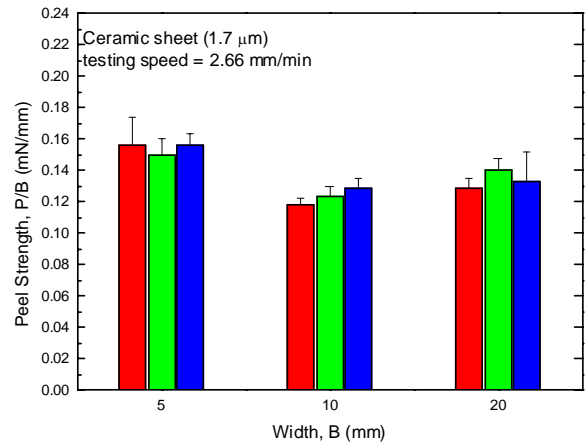


Fig. 3 Variation of the adhesive strength with specimen width

Fig. 3은 각 너비의 시험편을 2.66 mm/min의 속도와 90도 필 각도에서 측정된 필 강도를 나타낸다. Fig. 3에서 보여준 바와 같이 필 강도는 다소 큰 분산된 데이터 군을 보여주고, 시험편의 너비가 작은 시험편의 강도가 다소 크게 보이고 있다. 그러나 이는 전체적인 실험적 오차에 비하여 상대적으로 크지 않아서 시험편의 너비에 대한 효과를 정성적으로 논하기는 다소 어렵다. 따라서 본 실험에서 사용한 세가지 너비의 시험편 범위에서는 시험편 크기 영향이 크게 나타난다고 하기는 어렵다.

접착 강도에 의한 접착 파괴 에너지는 파괴 전파 속도에 따라 변하는 것으로 알려져 있다.[4] ESIS 초안[1]에서는 실험에서 이러한 영향을 줄이고자 시험 속도를 10 mm/min로 표준 속도를 제안한바 있다. 이에 따라 본 연구에서도 본 마이크로 박막 강도의 시험체에서도 이러한 속도의 영향을 고찰하였으며, Fig. 4는 본 시험에서 얻어진 결과를 도시한 것이다. 본 시험에서는 90도의 필 각도에서 0.256 mm/min에서 26 mm/min의 속도 범위내에서 7 수준의 다른 속도를 사용하여 속도에 따른 강도의 차이를 측정하였다. Fig. 4에서 보여준 바와 같이 시험 속도가 작은 영역에서의 강도는 속도가 상대적으로 큰 영역에서 얻어진 강도에 비하여 작게 측정되고 있다. Gent와 Kinloch[4]의 결과에 따르면 접착 강도는 접착 파괴 전파 속도의 대수에 선형적으로 비례한다고 보고하고 있다. 이에 반하여 본 시험에서는 접착 강도는 5 mm/min의 속도 이하에서 측정된 강도는 5 mm/min 이상에서 측정되는 강도와는 비교되고 있음을 알 수 있다. 또한 5 mm/min이상의 속도에서의 강도는 속도가 증가함에 따라 완만히 증가하고 있음을 보여주고 있다. 따라서 본 시험 결과로부터 마이크로 접착강도는 5 mm/min 이상에서 시험하는 것이 상대적으로 큰 오차를 가지지 않는 강도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3.3 필 각도에 따른 접착 강도의 측정

접착강도, P/B ,는 식(1)에 나타난 바와 같이 필 각도에 의존적이라고 할 수 있다. 본 연구에서도 본 시험에 측정하는 마이크로 접착 강도의 필 각도 의존성을 조사하였다. 본 시험에서는 접착 강도를 30, 60, 90 그리고 180도에 대해 측정하였다. Fig. 5는 이에 대한 결과를 나타낸다. Fig. 5에 나타난바와 같이 접착 강도는 필 각도의 증가에 따라 강도가 작아지고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 Kendall[5]에 의하여 얻어진 실험 경향과 잘 일치하고 있다. 그러나 본 시험에서의 필 각도 180도에서는 이러한 선형적인 관계에서 벗어나고 있다. 필 각도 180도에서는 세라믹 박판의 접착이 분리되는 부분에서의 박판의 탄소성 변형에 대한 에너지가 고려되어야 할 것이다. 그

러나 본 해석에서는 이러한 소성 변형에 대한 고려가 포함되지 않아 다소의 오차를 가져올 수 있다. 박판의 변형에 대한 고려는 박판의 인장 특성식을 고려하여 해석적으로 평가할 수 있다. [1] 식(1)에 나타난 바와 같이 접착 파괴 에너지 G 는 $P/B(1-\cos\theta)$ 로 나타낼 수 있으며, 본 시험 관계로부터 Fig. 5와 같이 표시할 수 있다. 본 실험에서는 $P/B(1-\cos\theta)$ 는 거의 일정하며 이는 접착 파괴인성은 소성 굽힘 에너지를 무시할 수 있으면 필 각도에 무관하게 거의 일정하다는 것을 의미한다.

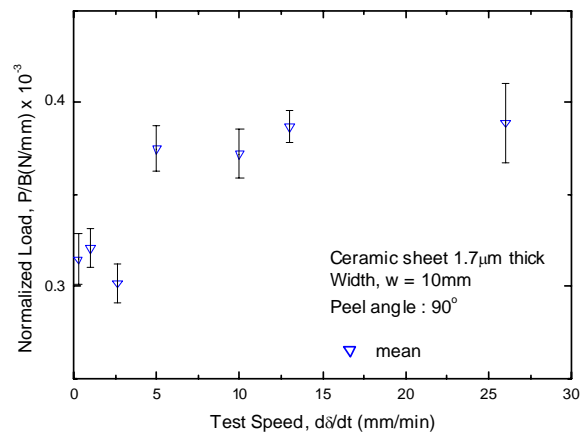


Fig. 4 Variation of the adhesive strength with testing speed

4. 결 론

단층 세라믹 캐패시터의 세라믹 박판의 접착 강도를 측정하기 위한 필 시험 시스템을 개발하였고 이를 사용하여 접착 강도 시험 조건에 대한 고찰을 하였다. PET 필름 기판위에 캐스팅된 세라믹 박판은 마찰 저항을 최소화하기 위하여 액체(물)위에 띄운 고정 치구에 고정하여 마이크로 액추에이터로 세라믹 박판을 끌어 당겨 박판의 접착 강도를 측정하였다. 접착 강도 시험의 표준화를 위하여 시험편 크기 영향과 시험 속도 영향을 조사하였으며, 실험 결과로부터 5에서 20 mm 범위내의 시험편 너비의 영향이 크지 않았고, 5

mm/min 이상의 시험 속도에서는 상대적으로 크지 않은 분산으로 거의 균일한 접착 강도를 얻을 수 있었다. 그러나 시험 속도의 증가에 따라 완만한 접착 강도의 증가가 있었다. 또한 필 각도에 따른 접착 강도의 영향이 고찰되었다. 접착 강도는 필 각도 90도까지는 선형적인 변화가 있었으나 필 각도 180도에서는 비선형적인 변화가 있었다.

Elastic Term," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 8, pp. 1449-1452

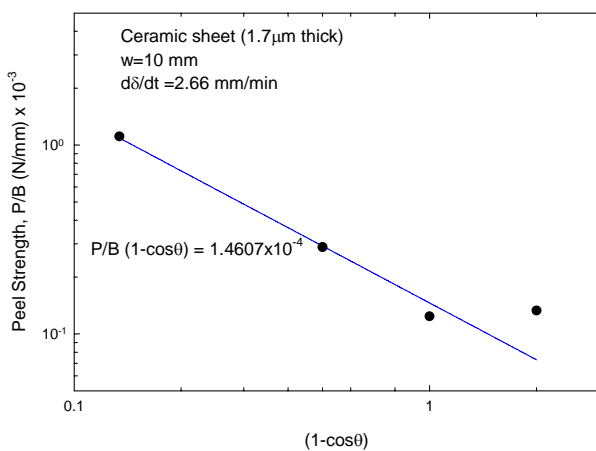


Fig. 5 Variation of peel strength, P/B, with peel angle.

참고문헌

- (1) D.R. Moore and J.G. Williams, 2000, "A Protocol for Determination of the Adhesive Fracture Toughness of Flexible Laminates by Peel Testing:: Fixed Arm and T-Peel Methods," A Draft ESIS Protocol, pp. 1 -15
- (2) A.J. Kinloch, C.C. Lau and J.G. Williams, 1994, "The Peeling of Flexible Laminates," Int. J. Fract., Vol. 66, pp. 45-70
- (3) D.R. Moore, and J.G. Williams, 2003, "The determination of adhesive fracture toughness for laminates by the use of different test geometry and consideration of plastic energy correction factors," Fracture of Polymers, Composites and Adhesives, vol. 32, pp. 341-354.
- (4) A.N. Gent and A.J. Kinloch, 1971, "Adhesion of Viscoelastic Materials to Rigid Substrates," J. Polym. Sci., A2 pp. 659
- (5) K. Kendall, 1975, " Thin-film Peeling-the