

## 접착제의 기계적 물성을 고려한 비선형 해석

### Nonlinear Analysis of Adhesive considering Mechanical Property of Adhesive

\*염성호<sup>1</sup>, 박현진<sup>1</sup>, 장승용<sup>1</sup>, #우호길<sup>2</sup>

\*S. H. Yeom<sup>1</sup>, H.Y.Park<sup>1</sup>, S.Y.Jang<sup>1</sup>, H.K.Woo(hkwoo@cnu.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup>충남대학교 기계공학과 BK21 메카트로닉스 사업단

Key words : Adhesive, Adherend, Hyperelastic, Mooney Livlin

#### 1. 서론

접착제는 가정에서 첨단산업분야까지 그 적용범위가 매우 넓으며 또한 피착제도 유기재료, 금속재료, 무기재료 등 광범위하다. 항공기, 자동차 등의 금속 및 섬유강화 복합재료의 접착에 이용되는 구조용 접착제는 높은 하중에서도 장시간 사용할 수 있는 접착제로 고강도의 단단한 피착제와의 접착, 피착제와 동일한 응력전달 및 실제 환경 하에서 장시간 접착강도의 유지를 필요로 한다. 이러한 구조용 접착제는 주로 항공기, 자동차조립공정에서 이용되는데 항공기 조립 공정에서는 각종 날개 등 기체의 안전과 관련이 있는 부위의 접착, 내벽, 패널 등의 구조부위의 접착 등을 예로 들 수 있다. 접착제는 반도체 산업에도 많이 사용되고 있고, 이외에도 접착의 응용은 전자산업에서 경량화, 소형화를 위해 전자부품의 인쇄 회로기판상의 표면실장, 액정표시소자의 접착, 비디오/오디오 필름에 자성물질 접착 등 여러 분야에 응용되고 있다. 또한 의료분야에서는 치아의 접착에 이용되고 있는데 치아 접착의 경우 높은 습도와 온도 그리고 부식에 의한 저항성 유지되어야 하는 부분으로 고도의 기술이 요구되고 있다.

이러한 접착제를 장기간 사용하는 대형 구조물에서 접착제의 안정성 평가를 위해서는 강성평가가 기본적으로 이루어져야만 한다. 특히 접착구조물은 접착부의 파단에 있어서 3가지의 특징에 의해 파단이 이루어진다. 접착제의 파단이 이루어지는 경우는 접착제의 강성이 피접착제와 접착강도의 강성보다 작을 경우에 발생하며, 피접착제의 파단은 접착제, 접착강도의 강성보다 작을 경우 파단 된다. 그리고 대부분의 접착제 파단은 접착제와 피접착제의 접착면에서 발생하며 피접착제와 접착제의 강성보다 접착강도의 강성이 작기 때문에 발생한다. 이러한 접착강도는 접착제의 작업환경에 많은 영향을 받으며 균일한 접착강도를 유지시키는 것 또한 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 접착구조물의 안정성 평가를 위해 접착제 부분에서 발생하는 파괴기구를 해석<sup>1-3</sup>으로 구현하는 것을 목적으로 하고 있다. 평가 대상 접착제는 경화 후 고무와 같은 특성을 갖는 접착제로서 구조물에 밀폐효과와 접착효과를 동시에 갖게 하기위해 사용되고 있다. 접착제의 기본적인 기계적 물성 시험을 수행한 후 접착시편을 제작하여 접착강도를 측정하였다. 유한요소 해석을 수행하기 위해 필요한 3가지의 기계적 강도를 측정하였으며 이를 이용하여 소재의 기계적 물성으로 입력하였다. 유한요소 해석결과와 시험결과를 비교하였다.

#### 2. 시험

접착제의 기계적 물성을 얻기 위해 재료시험을 수행하였다. 고무의 특징을 나타내는 접착제의 물성 시험을 위해 Fig. 1과 같이 접착제를 압축시험편과 인장 시험편으로 경화시켰다. 시험장비는 2.5KN 만능재료 시험기를 사용하였으며, 측정하중을 고려하여 5000N load 셀을 사용하여 시험을 수행하였다. 압축시험시 마찰의 영향을 줄이기 위해 윤활제를 사용하였다. 시험속도는 0.5, 1, 10mm/min으로 시험을 수행하여 변형률 속도변화에 따른 접착제의 응력-변형률의 변화를 확인하였다. Fig.2은 접착제의 하중-변위 시험결과를 응력-변형률 곡선으로 변환한 것이다. 응력-변형률 선도에서 변형률 속도의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

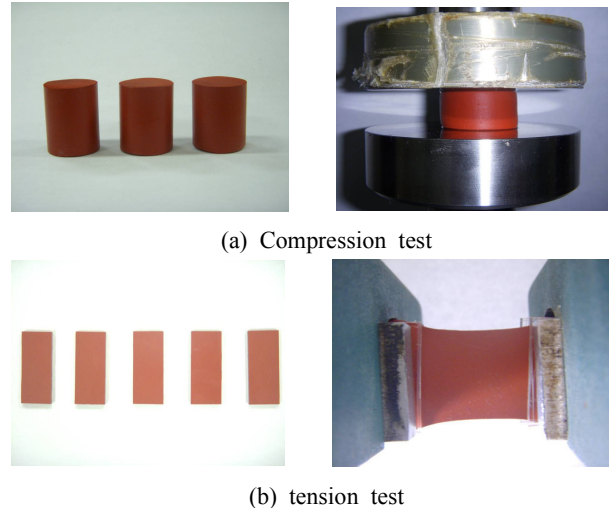


Fig. 1 Adhesive mechanical property test

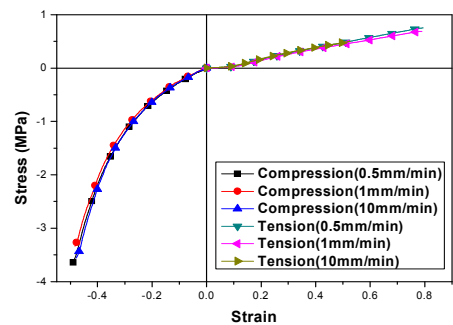


Fig. 2 Stress-Strain curve of adhesive

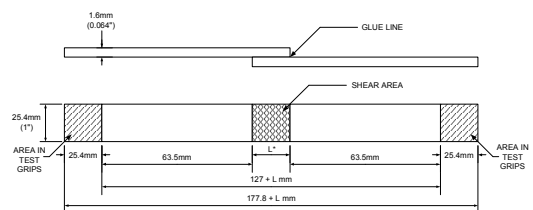


Fig. 3 Adhesive specimen for adhesive strength experiment

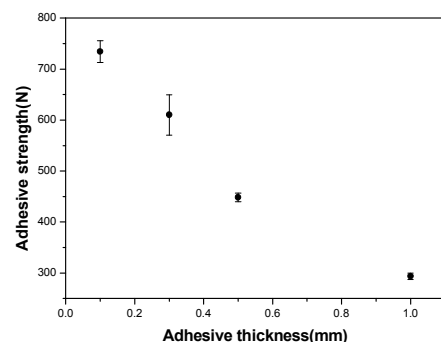


Fig. 4 Experiment results of adhesive strength

Fig. 3은 ASTM 규격에 접착강도 시험편의 크기이다. 피접착체는 steel-steel을 사용하였다. Fig. 4는 접착제의 두께 변화에 따른 접착강도의 변화에 대한 시험결과를 나타낸다. 두께 변화에 따른 접착강도가 선형적으로 나타나지는 않고 있으며, 0.1mm에서 734N의 강도를 나타내고 있다.

해석에서 시험에 의해 얻어진 접착제의 응력-변형률데이터와 접착강도를 고려하기 위해 접착제는 hyperelastic model인 Mooney-Rivlin model을 이용고, 접착강도는 선형화 모델로 결정하여 해석프로그램에 입력하여 해석을 수행한다.

### 3. 유한요소 해석

고무의 거동과 유사한 Mooney-Rivlin model은 다음과 같은 식(1)의 에너지 밀도함수로 주어진다.

$$W = \sum_{k+l=1}^N a_{kl}(I_1 - 3)^k (I_2 - 3)^l + \frac{1}{2k}(I_3 - 1)^2 \quad (1)$$

$$k = \frac{2(a_{10} + a_{01})}{(1 - 2\nu)} \quad (2)$$

여기서,  $I_1, I_2, I_3$ 는 변형률 불변량이며,  $a_{kl}$ 은 Mooney-Rivlin 상수이다. 시험결과인 응력-변형률데이터를 이용하여  $a_{kl}$ 의 상수를 계산한다.

유한요소 해석은 시험에 의해 얻어진 접착제의 기계적 물성을 이용하여 해석을 수행하였다. 접착시편의 접착강도 시험 시편과 동일한 해석모델을 이용하여 유한요소해석을 수행하고 해석결과와 시험결과를 비교하였다. 접착제 모델은 hyperelastic Mooney-Rivlin model을 사용하였다. 그리고 접착강도를 적용하기 위해 피접착제와 접착된 접착제 부분을 접착강도 시험에 의한 결과 값을 탄성강도로 환산하여 기계적 물성 값을 입력하여 해석을 수행하였다. 해석에서 하중 속도는 접착제의 시험과 동일한 0.3mm/sec의 속도로 하고, 접착두께는 0.1,0.3,0.5,1mm로 모델링하여 해석하였다. 시험에서는 시편에 작용하는 하중 방향을 고려하여 접착제와 시편의 두께를 고려한 물림시편을 추가적으로 제작하여 시험에 적용하였다. 해석에서는 물림시편의 영향을 경계조건으로 설정하여 해석을 수행하였다. 물림길이 또한 접착강도 시험에 영향을 주기 때문에 물림길이 또한 고려하여야 한다. 해석결과 접착제 시편에 인장하중이 가해지면 피접착제에서 전형적으로 발생하는 필응력이 생기고, 접착시편 또한 휘어지는 현상이 나타났다. 접착제가 고무의 특성을 가지고 있기 때문에 접착제 부분에서 많은 변형이 생기며, 접착시편에서 발생하는 응력은 20MPa 정도로 접착두께 별로 큰 차이를 보이지는 않았다. 접착강도시험에서 변위가 큰 경우 접착제의 기계적 강도보다는 접착강도가 작기 때문에 접착시험에서 접착시편이 파단 되기 전까지의 시험결과만을 비교대상으로 하며, 접착제의 두께 변화에 따른 해석결과와 시험결과를 비교하였다.

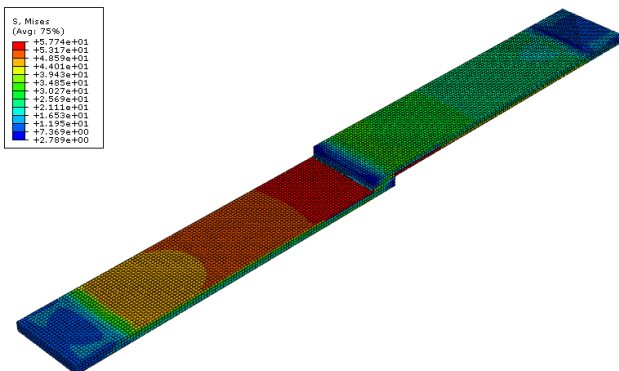


Fig. 5 Analysis result of adhesive specimen

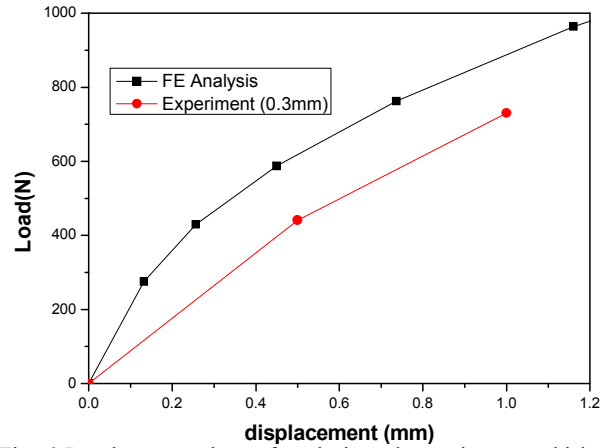


Fig. 6 Results comparison of analysis and experiment at thickness 0.3mm

Fig. 5는 접착두께 0.1mm에서의 유한요소 해석결과이다. 모든 접착두께 해석에서 응력의 분포 경향이 유사하게 나타나며 접착두께가 클수록 접착제의 변위가 크게 나타난다. Fig.6은 접착두께가 0.3mm일 때 하중의 값을 해석과 시험결과에 대하여 비교한 그림이다. 변위가 0.5mm일 때 실험에 의한 값은 450N, 해석에 의한 계산 결과는 700N으로 실험결과 보다 약 50% 정도 증가한 것으로 해석된다. 다른 접착두께에서도 유사한 경향을 보이며, 해석결과가 시험결과 보다 크게 나타나고 있다. 접착강도에 대한 물성계산 과정에서 접착강도 부분만 고려하지 못하여 발생하는 오류로 판단되며 접착강도 부분에 대한 기계적강도 계산에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 4. 결론

해석기법에 의한 접착구조물의 안정성 평가를 위해 접착제 물성시험과 해석에 대한 연구를 요약하면 다음과 같다.;

- 1) 구조물에 사용되는 접착제에 대하여 압축, 인장시험을 수행하여 응력-변형률 데이터를 계산하였다. 접착제의 물성 시험결과 고무의 변형 거동 특성과 유사한 결과를 나타내었다.
- 2) 두께 변화를 고려한 접착강도 시험시편을 제작하여 두께 변화에 따른 접착강도를 측정하였다.
- 3) 접착제의 기계적 물성과 접착강도 물성을 입력하여 유한요소 해석을 수행하였다. 두께 변화에 따른 접착시편의 하중측정값의 경향이 해석결과와 유사한 경향을 보였다.
- 4) 접착강도의 기계적 물성 입력시 접착두께의 영향을 고려하여 기계적 물성을 변환하여야 한다.

### 참고문헌

1. Min You, Zhan-Mou Yan, Xiao-Ling Zheng, Hai-Zhou Yu, Zhi Li, "A numerical and experimental study of adhesively bonded aluminium single lap joints with an inner chamfer on the adherends," International Journal of Adhesion and Adhesives, In Press, Corrected Proof, Available online 29 June 2007.
2. G. Carbone and L. Mangialardi, "Analysis of the adhesive contact of confined layers by using a Green's function approach," Journal of the Mechanics and Physics of Solids, In Press, Corrected Proof, Available online 12 June 2007.
3. Gang Li and Pearl Lee-Sullivan, "Finite element and experimental studies on single-lap balanced joints in tension," International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 21, Issue 3, 2001, Pages 211-220