

사용환경온도에 따른 접착이음의 인장전단강도 변화

김재영¹· 이찬주¹· 이상곤¹· 박근환²· 정병훈²· H. Schäfer³ 김병민[#]

Variation of fracture strength of adhesive joint according to the operating temperature

J. Y. Kim, C. J. Lee, S. K. Lee, G. W. Park, B.H. Jung, H. Schäfer, B.M. Kim

Abstract

Recently, use of adhesive bonding technology is increased to achieve the multi-material design for lightweight structure in automobile industry. In this paper, the fracture strength of adhesive has been studied with the single lap shear test conducted at different temperatures. The joint specimens are made from Al 5052 and SPRC 440 bonded with structural epoxy adhesive. The operating temperature has been considered up to 150[°C] and the single lap shear test has been conducted with 5mm/min tensile rate. Fracture strength of adhesive bonded joint has been decreased with increase of operating temperature. The fracture strength at the 100[°C] was shown about half of that at room temperature.

Key Words : Operating temperature, Adhesive bonding, Fracture strength, Single lap shear test

1. 서론

최근 연비향상을 위한 차량구조물의 경량화 추세에 의해 알루미늄, 마그네슘 합금과 같은 경량화 재료의 사용이 증가하고 있다. 그러나 경량화 소재들은 낮은 전기 저항성에 의해 기존의 스폿 용접이 불가능하거나 용접성이 일반 강재에 비해 낮다. 또한 용접시 발생하는 열에 의한 용접부의 변형 및 강도저하 등이 발생한다. 이에 기존 스폿 용접을 대체할 수 있는 방법이 요구되고 있으며, 재료의 종류에 관계없이 적용이 가능하며, 기존의 기계적 접합기술을 보완할 수 있는 구조용 접착 기술에 대한 많은 연구가 진행 중이다.[1~3]

기존의 구조용 접착기술에 대한 연구는 피접착 소재의 재질, 기계적 물성, 표면처리 방법, 두께 및 접착 길이 등과 관련하여 접착구조물의 강도의 평가 및 향상방안에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다.[4] 그러나 기존 연구는 상온에서 수행된 결과로 사용환경온도에 대한 연구는 전무

한 실정이다. S.A.Hashim에 의하면 구조용으로 사용되는 접착제의 경우 온도가 증가함에 따라 접착제의 강도가 감소한다고 하였다[5].

실제 운행 차량의 엔진 주위의 경우 상온이상의 온도분포를 나타낸다. 이에 차량 구조물에 구조용 접착제를 적용하기 위해서는 사용환경온도에 대한 접착구조물의 강도평가가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 접착제의 사용환경온도의 변화에 대한 접착부의 파괴강도의 변화를 평가하기 위해 ASTM D1002 규격을 바탕으로 단일접치기 이음시험(Single lap shear test)을 실시하였다. 이때 시험온도의 범위는 50 ~ 150 [°C]로 설정하였다. 피접착제의 소재는 일반적으로 차량 구조물에 사용되는 SPRC 440 강판과 Al 5052 알루미늄 판을 사용하였으며, 파괴강도는 단일접치기 이음의 인장전단강도로 평가하였다. 본 연구에서 평가된 온도에 따른 파괴강도는 구조용 접착제의 적용한계온도를 결정할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있다.

1. 부산대 기계공학부

2. (주) 성우하이텍 기술연구소

3. Fraunhofer, IFAM

교신저자: 부산대 기계공학부, E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

2. 실험방법

2.1 시험편

본 연구에서는 일반적으로 차량 구조물에 사용되는 SPRC 440 강판과 Al 5052 알루미늄판을 피접착제로 사용하였으며, Table 1에 사용재료의 기계적 물성을 나타내었다. 에폭시계열 구조용 접착제를 사용하여 ASTM D 1002 규격에 의해 Fig. 1과 같은 단일접치기 이음시험편을 제작하였다. 이때 접착층의 두께를 일정하게 유지하기 위해 직경 0.1 [mm]의 와이어를 삽입하였으며, 일정한 힘을 가하여 경화시켰다.

Table 1 Mechanical properties of adherends

Parameter	SPRC 440	Al 5052
Elastic modulus	206 [GPa]	70 [GPa]
0.2% yield stress	235 [MPa]	193 [MPa]
Tensile stress	440 [MPa]	228 [MPa]
Thickness	1.4 [mm]	2.0 [mm]

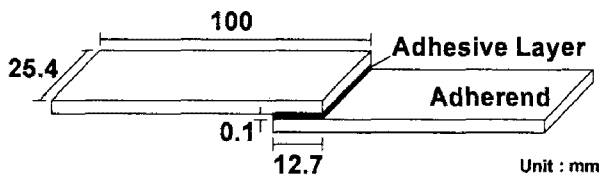


Fig. 1 Dimensions of single lap shear test specimen

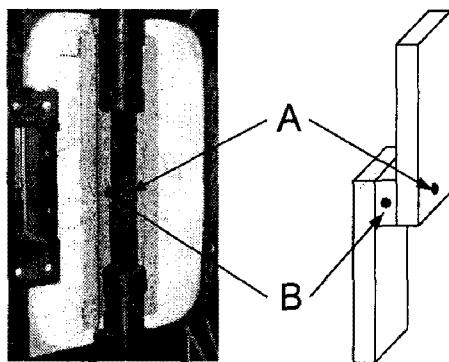


Fig. 2 Location of temperature measurement

2.2 시험방법

본 연구에서는 MTS사의 고온 인장시험기를 사용하여 열간 단일접치기 이음시험을 실시하였다. 이 때 시험온도는 50, 75, 100, 125, 150 [°C]로 설정하였으며, Fig. 3에 나타난 것과 같이 열전대를 이

용하여 시험편의 A와 B부위에서 온도를 측정하였다. 열전대를 통해 측정된 온도가 설정온도에 도달할 때까지 가열하였다. 이 시험편의 온도가 설정온도에 도달하면 5 [mm/min]의 인장속도를 일정하게 유지하여 단일접치기 이음시험을 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 온도변화에 따른 파괴하중의 변화

본 연구에서는 사용환경온도에 따른 파단 하중의 변화를 열간 단일접치기 이음시험을 통하여 평가하였다. Fig. 3에 온도별 파단하중의 변화를 나타내었다. 단일접치기 이음의 파단하중은 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 사용환경온도 50 [°C]에서는 상온에서의 접착부 파단하중의 약 85 [%] 수준으로 나타났으며, 사용환경온도 75~100 [°C]에서 약 50 [%] 수준으로 나타났다. 120[°C] 이상에는 약 15 [%]이하의 파단하중을 나타내었다. 이러한 파단하중의 감소는 고분자 물질인 접착제가 온도가 증가함에 따라 연화되어 접착제의 탄성계수가 감소하기 되기 때문이다.

단일접치기 이음은 하중이 증가함에 힘의 평형상태를 이루기 위해 모재의 중립축 사이의 거리를 모멘트 팔로 하는 모멘트가 접착제 적용부의 양끝단에서 발생한다. 이 모멘트에 의해 모재의 굽힘이 발생하고, 접착부 양끝단에서 가장 높은 응력이 발생한다. 이 때 발생하는 박리응력(Peel stress)에 의해 파단이 발생한다. 여기서, 사용환경

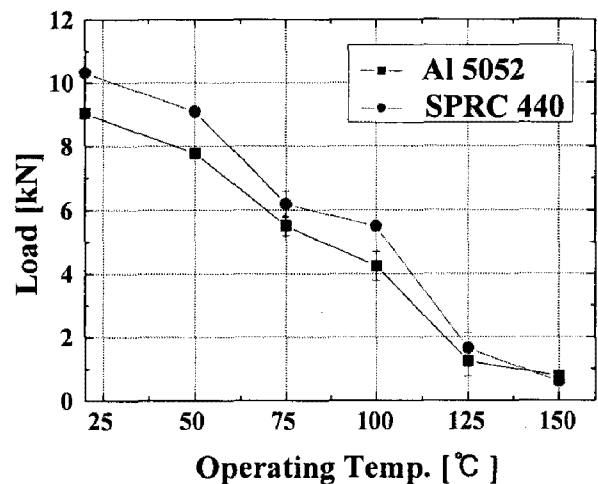


Fig. 3 Variation of fracture load with the increase of operating temperature

온도가 상승하여 접착제의 탄성계수가 떨어지면 접착제의 변형저항(Deformation resistance)이 감소하기 때문에 단일접치기 시험 중 낮은 하중에서 접착부의 파괴가 발생한다.

또한, Al 5052 소재의 접착이음효율이 SPRC 440 소재보다 높게 나타났다. 접착제의 경우 소재와 상관없이 접착이 가능하기 때문에 피접착재의 재질이 바뀌어도 접착제의 고유한 기계적 성질은 변하지 않는다. 다만 접착부의 변형이 한계변형에 이르기 위해서는 접착제에 의해 접착되어 있는 모재가 변형되어야 하며, 이 때 모재의 변형에 필요한 에너지 또는 힘이 모재의 재질에 따라 변하게 된다. 즉, 동일한 변형량을 얻기 위해서는 모재의 강도가 강할수록 필요한 힘이 증가한다. Al 5052 소재의 경우, SPRC 440 소재보다 강도가 약하기 때문에 파괴하중이 낮게 나타난다.

3.3 온도변화에 따른 파괴강도의 변화

사용환경온도 변화에 따른 파괴하중을 이용하여 접착부의 파괴강도를 평가하였다. 파괴강도는 다음과 같은 식(1)로 계산하였다.

$$S = \frac{\text{Fracture Load}}{\text{Bonded Area}} = \frac{F}{W \times L} \quad (1)$$

여기서 W 는 단일접치기 이음시험편의 폭, L 은 시험편의 접침부분의 길이이다. Fig. 4에 사용환경온도변화에 따른 단일 접치기이음의 파괴강도를 나타내었다. 파괴하중과 같이 파괴강도는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다.

평가된 접착이음의 파괴강도를 이용하여 온도 변화에 따른 접착이음효율을 평가하였다. 접착이음효율은 모재의 인장강도 대비 접착이음의 파괴강도로 정의된다. Fig. 5에 사용환경온도변화에 대한 모재별 접착이음효율을 나타내었다. 접착이음효율은 Al 5052 소재가 SPRC 440 소재와 비교하여 50% 이상의 접착이음효율을 나타내었다. Al 5052 소재의 인장강도는 SPRC 440 소재보다 절반정도로 낮지만 접착이음의 파괴강도는 비슷하기 때문에 접착이음효율이 높게 평가되었다. 또한 사용환경온도가 증가함에 따라 접착이음효율이 감소하지만, Al 5052 소재는 SPRC 440 소재와 비교하여 약 50 [%]의 접착효율을 유지하는 것으로 평가되었다.

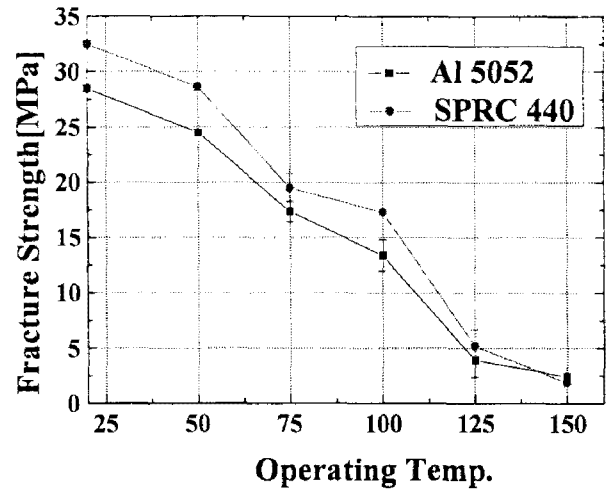


Fig. 4 Variation of fracture strength with increase of operating temperature

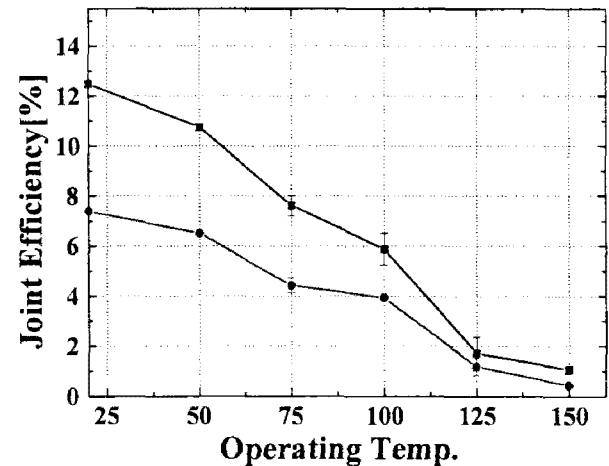


Fig. 5 Variation of joint efficiency with increase of operating temperature

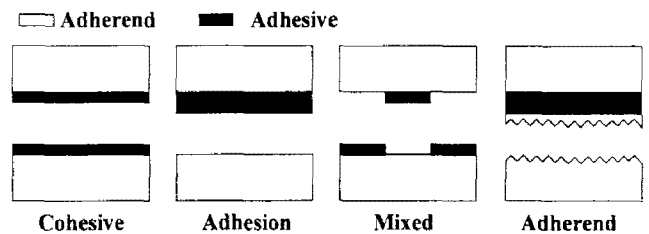


Fig. 6 Typical failure mode of adhesive joint

4. 파단모드 평가

접착이음의 파단모드에 대한 평가를 통해 피접착재와 접착제가 잘 접착이 되었는지를 판단할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 대표적인 접착제 파단모드를 이용하여 온도 변화에 따른 접착제의 파단모드를 평가하였다. 피접

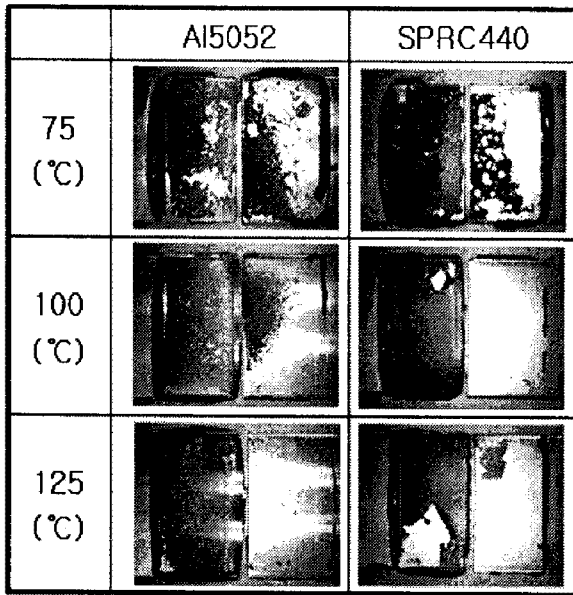


Fig. 7 Failure mode of adhesive bonded joint with increase of operating temperature

착재의 파괴가 발생하면 접착이음효율이 100[%]이므로 접착이음의 이상적인 경우이다. 그러나 접착제는 고분자 물질이므로 금속보다 인장강도 낮기 때문에 실제 금속간 접착이음에서는 접착제 층내에서 균열이 발생하는 파괴모드가 이상적인 경우이다.

본 연구에서는 온도변화에 따른 접착이음의 파단모드를 관찰하였다. 상온에는 접착제의 파괴(Cohesive failure)가 발생하였다. 이 후 온도가 증가함에 따라 접착제의 파괴는 줄어들고, 피접착제와 접착제의 계면파괴(adhesion failure)가 혼합되어 나타났으며, 사용환경온도 100 [°C] 이상에서는 대부분 계면파괴가 발생하였다. Fig. 7에 75 [°C] 이상에서의 파괴모드를 나타내었다.

파단모드 평가를 통해 온도가 증가함에 따라 금속모재와 접착제사이의 접착력이 감소함을 알 수 있었다. 온도가 증가하면 일반적으로 표면에너지가 감소하므로 계면에너지가 감소하게 되기 때문에 이를 계면에서의 접착력이 감소한 것으로 판단된다. 접착제 적용시 기계적 표면처리를 통해 접착면적을 증가시키고, 표면에너지를 향상시킬 경우 고온에서의 접착제 파괴강도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

열팽창계수 및 열전달계수가 높은 AI 5052소재의 경우 모재의 열변형에 의한 계면에서의 응력에 의해 접착력이 감소한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 구조용 접착제를 적용한 단일접착기 이음시험을 고온에서 실시하였다. 사용환경온도가 접착이음에 미치는 영향을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 온도가 증가함에 따라 접착이음의 파괴하중 및 파괴강도는 감소하였으며, 75~100 [°C]에서는 상온 파괴강도 대비 약 50 [%]가 감소하였다.
- (2) 접착효율을 비교하였을 때는 AI 5052 소재의 접착효율이 SPRC 440 강판과 비교하여 모든 사용환경온도에서 약 1.5배 이상 높게 평가되었다.
- (3) 온도가 증가함에 따라 접착제 파괴모드는 계면파괴가 증가하였으며, 75 [°C] 이상에서는 계면파괴가 지배적으로 나타났다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단(KICOS)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. K20601000004-07E0100-00410)

참 고 문 헌

- [1] 이찬주, 이상근, 박근환, 김병민, 2008, 대기압 Ar/O2 플라즈마 표면처리된 자동차용 냉연강판의 표면특성 및 접착특성평가, 대한기계학회 논문집 A권, 제 32권, 4호
- [2] A.DEB, I.Malvade, P.Biswas, J.schroeder, 2007, An experimental and analytical study of the mechanical behavior of adhesively bonded joints for variable extension rates and temperatures, International journal of adhesion & adhesives, Vol.28, pp.1~15
- [3] 오승규, 유영철, 정의섭, 이원, 1997, AI 합금 단순접착기 접착이음의 인장-전단강도 평가, 한국정밀공학회 97년도 춘계학술대회논문집, pp.567~571
- [4] 윤병현, 권영각, 1996, 자동차용 강판의 접착특성 접착부의 접합강도와 영향 인자, 대한용접학회지, 제 13권, 제 2호, pp. 106~114
- [5] S.A.Hashim, 1999, Adhesive bonding of thick steel adherends for marine structures, marine structures, vol.12, pp.405~423