

T형 이음 접합에 의한 경량구조물용 접착이음강도의 평가

Strength Evaluation of Adhesive Bonded Joint for Light Weight Structure by T-Peel Joint Test

이 강 용*, 공 병 석**, 우 형 표***
K. Y. Lee, B. S. Kong, H. P. Woo

ABSTRACT

The bonding strength evaluation of the light weight materials for an electrical vehicle has been performed through the T-peel joint test in which the design parameters such as joint style, adherend type, adherend thickness, adhesive thickness, and adhesive type are considered. It is experimentally observed that the peel strength of joint increases with the increase of the adherend thickness. With the increase of the adhesive thickness, however, the peel strength of joint increases a little. Aluminum-FRP adherend combination shows much higher peel strength than that of Aluminum-Aluminum adherend combination. For the adhesive bonded joint, the results of FEM analysis agree with those of experiment. The adhesive bonded joint reinforced with a rivet gives higher peel strength than that of the joint without a rivet.

주요기술용어 : T-Peel Joint(T형 이음), Peel Strength(박리 강도), Bonding(접착), Rivet(리벳)

1. 서 론

전기 자동차는 과다한 축전지 용량으로 인하여 차량의 경량화가 필수적인 요소이다. 차량의 경량화기술에는 경량재료를 기존 강재의 대체 재료로 적용하는 응용기술이 대표적이다. 대체 재료

중에서 알루미늄이나 복합재 등이 주된 재료이며 이들 재료는 기존의 강재 보다 성형성, 접합성, 표면 처리성이 열등하여, 강재에 널리 사용되고 있는 저항 점용접을 그대로 적용하기에는 현실적으로 어려움이 많다. 때문에 이들 소재의 접합에는 보울트나 리벳을 이용한 기계적인 접합과 접착에 의한 접합이 주목받고 있다. 접착의 형태는 대표적인 것으로 단순 겹치기 접착과 T형 접착이 있다. 인장-전단 변형을 받는 접착이음에 대한 접착재의 기계적 특성을 해석하는데는 주로 단

* 정회원, 연세대학교 기계공학과
** 연세대학교 기계공학과 대학원
*** 고등기술연구원 자동차기술실

순 겹치기 이음 시험이 주로 이용되는데 Chen과 Cheng¹⁾은 필렛(fillet)이 없는 시험편에 대해 2차원 탄성해석을 행하여 접착면의 응력분포를 구하였고, Delale과 Erdogan²⁾은 같은 시험편에 대해 점탄성 해석을 행하였다. Tsai와 Morton^{3,4)}은 실험과 수치해석을 통해 피접착제, 필렛 및 접착제의 변형을 자세히 측정하고 접착층의 변형률을 제시하였다. 또한 필렛을 포함하므로써 접착층 양 끝의 응력 집중을 상당히 감소시킬 수 있다고 주장하였다. Mori와 Shiratori⁵⁾는 접착 이음의 구조 설계를 행하는데 있어 필요한 여러 요인들을 선정하되, 이들이 응력 분포에 미치는 영향을 FEM에 의해 알아보았다. 이강용등^{6,7)}은 접착만으로 이루어진 단순겹치기 이음 시험편과 그것에 리벳으로 보강된 시험편을 대상으로 접착 이음의 강도에 대한 필렛, 피접착제의 종류, 접착 길이, 접착 두께, 환경 변수 등의 다양한 설계변수에 대해 정하중과 피로하중에 대하여 실험한 연구 결과를 제시하였다. 단순 겹치기 접착이음과 함께 대표적인 구조 접착이음으로서 T형 접착이음이 있다. 단순겹치기 이음이 인장-전단변형을 받는데 반해 T형 접착이음은 인장-굽힘 변형을 받는다. 이러한 접착이음에 대한 기계적인 특성을 해석하는데는 peel test가 주로 이용된다. 이러한 시험에 대해 Bigwood와 Crocombe⁸⁾는 FEM을 이용하여 탄성해석을 행하였고, Chen과 Falvin⁹⁾은 굽힘을 받는 피접착제의 소성변형을 고려하여 peel stress의 근사해를 구하였으며, Gent와 Hamed¹⁰⁾는 기초적인 보이론을 적용하여 피접착제의 소성변형에 의해 소산되는 에너지를 구하였다. Moidu 등¹¹⁾은 이러한 접합에 대해 에너지 보존식에 의거하여 다양한 피접착제 재료와 두께, 하중방향의 각도에 대해 접착면이 분리되는 에너지를 계산하였고 실험 결과와 비교하였다. 그런데 peel test는 주로 얇은 피접착제에 대한 시험방법이며, 실제로 자동차 차체에 적용하기 위해서는 두꺼운 피접착제에 대한 해석이 요구된다. Nardini와 Seeds¹²⁾는 알루미늄으로 된 T형 접착이음인 경우가 점접합에 의한 접합에 비해 정하중강도나 피로하중강도가 향상됨을 보여주었고, Clark와 McGregor¹³⁾는 FEM을 이용하여 필렛부위의 최대 주응력의

분포와 방향을 이용하여 파괴강도를 예상하였다. Gilchrist 와 Smith¹⁴⁾는 접착면내의 응력분포를 구하여 최대수직응력이 정하중강도에 미치는 영향을 밝히고, 필렛이 정하중강도와 피로하중강도에 미치는 영향을 나타내었다. Pearson¹⁵⁾은 T형으로 된 다양한 접착형태에 대해 접착강도를 실험적으로 구하였다. 그러나 다양한 설계변수에 대해 체계적인 실험을 보인 연구 결과는 조사된 바에 의하면 없는 것 같다. 따라서 본 연구에서는 전기자동차의 경량 소재 접합에 있어서 필수적인 접착형태인 T형 이음의 설계 근거를 마련하기 위한 기초 연구로서 T형 접착 시험편을 대상으로 응력해석과 정하중실험을 수행하고자 한다. 접착의 시험편재료는 알루미늄-알루미늄, 알루미늄-복합재 2가지 종류이다. 그리고 접합방법은 접착에 의한 접합과 리벳으로 보강된 접착에 의한 접합으로 2종류로 한다. 고려되는 설계변수는 피접착제 두께, 접착두께, 접착제 종류 등이다.

2. 응력 해석과 실험

2.1 설계 변수

해석과 실험에서 대상이 되는 설계 변수는 접합의 종류, 피접착제의 종류, 피접착제 두께, 접착 두께, 접착제의 종류로 설정하였다. 접합의 종류는 2가지(접착에 의한 접합, 리벳으로 보강된 접착에 의한 접합)로 하였고, 피접착제의 종류도 2가지(알루미늄-알루미늄, 알루미늄-복합재)로 하였으며 피접착제 두께, 접착 두께는 각각 3가지로 변화시켜서 접착 강도에 미치는 영향을 살펴 보았다.

2.2 접착에 의한 접합

2.2.1 실험

1) 재료물성치

피접착재로 사용된 알루미늄은 Al 5052-H32 이고, 복합재는 epoxy resin에 glass를 fiber로 사용한 FRP(Fiber Reinforced Plastic) DMS 2288(type 3, class 4, grade E)을 사용하였고, 접착제는 이액형, 상온경화 에폭시계열의 DP460, Araldite 2012, Araldite 2015를 각각 사용하였

다. 이들 재료에 대한 특성을 Table 1~3에 나타내었다.

2) 시편제작

(1) 표면처리

알루미늄 시편의 표면처리는 산(acid)에 침과 연마법을 혼용하였으며 절차는 다음과 같다.

① 물, 황산, 중크롬산 나트륨의 무게비가 0.71

: 0.24 : 0.05이고 부피비가 0.84 : 0.16 : 0 (극히 미소부피)인 용액에 65°C±5°C에서 10분간 담궈둔다.

② 흐르는 물에 깨끗하게 행군후 65°C±5°C에서 10분간 말린다.

③ 320번 사포로 연마한 후 깨끗한 물에 행군고 상온에서 4시간이상 말린다.

(2) 시편형태

대체적인 형상은 SAE J1863²²⁾에 근거하였으나 피접착재의 종류(Al-Al, Al-FRP)에 따른 강도에 미치는 영향을 비교하기 위하여 시편형상은 약간 변형된 형태(Fig.1)를 취하였다.

(3) 경화조건

모두 상온 경화용 접착제이므로 상온(23±2°C)에서 24시간 이상 경화시켰다. Fig.2에 시편을 일정한 압력을 가해주면서 경화시키기 위한 장치를 나타내고 있다. 토크렌치를 사용해서 볼트에 일정한 토크(15kgf/cm)가 걸리도록 하였다.

Table 1 Chemical composition and material properties of Al 5052-H32^{16,17)}

Chemical composition(unit : weight percent)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
~0.25	~0.4	~0.10	~0.10	2.2 ~2.8	0.15 ~0.35	~0.10	Base
Material property							
Young's modulus					69.3 GPa		
Poisson's ratio					0.33		

Table 2 Material specifications of DMS 2288 (type 3, class 4, grade E)^{18,19)}

Material reinforcement	Woven glass cloth reinforced
Nominal resin content	45% by weight
Standard thickness per ply	0.1143mm
Tensile modulus	19.3GPa(at 25°C)
Tensile strength	303.4MPa(at 25°C)
Compressive strength	413.7MPa(at 25°C)
Poisson's ratio	0.25(at 25°C)

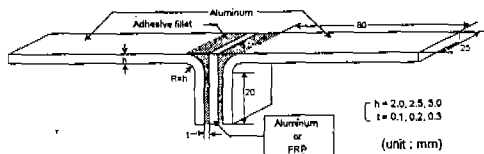


Fig.1 Configuration of T-peel joint with fillet

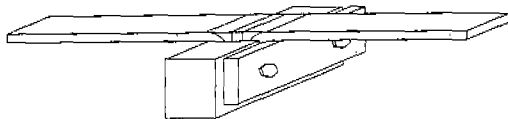


Fig.2 Configuration of clamping tool

Table 3 Material specifications of adhesives^{20,21)}

Adhesive	Epoxy : Curative (volume ratio)	Curing temp. (°C)	Usable life at 23°C (minute)	Lap shear strength (N/mm ²)		
				-55°C	24°C	82°C
DP 460	1 : 2	23°C	60	30.87	30.87	4.8
Araldite 2012	1 : 1	23°C	4	12	20	4
Araldite 2015	1 : 1	23°C	40	22	20	7

(4) 두께조절

접착두께는 접착면에 두께가 각기 다른 Nylon wire 조각을 삽입하여 조절하였다. 접착면에 삽입한 wire 조각의 부피는 강도에 영향을 미치지 않도록 접착제가 차지하는 부피의 1%가 넘지 않게 하였다.

3) 실험

실험은 SAE J1863²²⁾에 준하여 실행하였다. 인장 시험기는 INSTRON Co.의 EUTM-10 ton(Model No. 1350)을 사용하였으며 실험은 상온에서 하중속도 1.3mm/min로 하였다. 접착강도는 [최대하중(N)/시편의 폭(mm)]으로 나타내었다.

2.2.2 유한 요소 해석

접착 이음으로 된 T-peel joint에 대한 유한 요소 모델에 대한 경계 조건을 Fig.3에 나타내었다. 해석에 사용된 S/W는 범용 유한 요소 해석 프로그램(pre-post processor 겸용)인 NISA II이며, element는 4절점 isoparametric element를 사용하였고, 평면 변형을 상태로 가정하여 2차원 탄성 해석을 하였다.

1) 필렛 부분의 응력분포

피접착재 두께 2.0mm 접착두께 0.1mm인 Al-

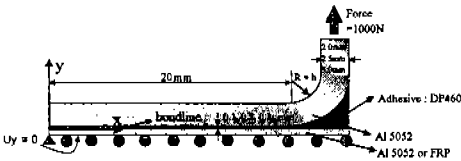


Fig.3 Boundary condition of T-peel joint

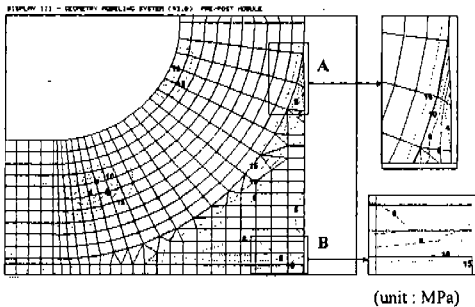


Fig.4 Von-Mises stress distribution at fillet region

Al시편에 대하여 필렛 부위의 Von-Mises stress 분포를 Fig.4에 나타내었다. 알루미늄으로 된 피접착재의 곡선 부위에 큰 응력이 집중되지만 알루미늄의 항복응력보다 낮은 범위이며 실제로 파괴는 접착제 부위에서 일어날 것이므로 접착제 부위만 살펴본다. 주로 A부위와 B부위에 응력이 집중되는데 B부위가 응력이 좀더 높으므로 그 부위에서 파괴가 일어날 것으로 예상된다. 앞으로 B부위를 포함한 접착면에서의 응력분포를 자세히 살펴보겠다.

2) 접착면에서의 응력분포

피접착재 두께 2.0mm 접착두께 0.1mm인 Al-Al시편에 대하여 접착제와 피접착재가 만나는 접착면에서의 응력 분포를 유한 요소 해석으로 구하였다. 사용된 접착제는 DP460이고 피접착재는 Al 5052-H32이다. 접착면(x=0)내에 발생한 전단응력(τ_{xy})와 수직응력(σ_y)를 Fig.5에 나타내었다. A점에서 응력이 높아짐을 알 수 있고 전단응력 보다 수직응력이 주된 영향을 끼침을 알 수 있다. 또한 Gilchrist 와 Smith¹⁴⁾에 의하면 파괴강도는 접착부에서의 최대 수직응력과 반비례하는 관계에 있다고 보고하고 있다. 따라서 다음절부터는 접착면에서 수직응력의 분포를 주로 살펴 보겠다.

(1) 피접착재 두께에 따른 응력 분포

접착 강도에 대한 피접착재 두께의 영향을 평

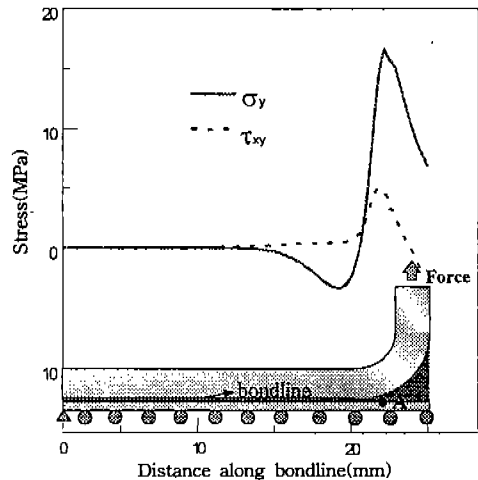


Fig.5 Stress variations along the bondline

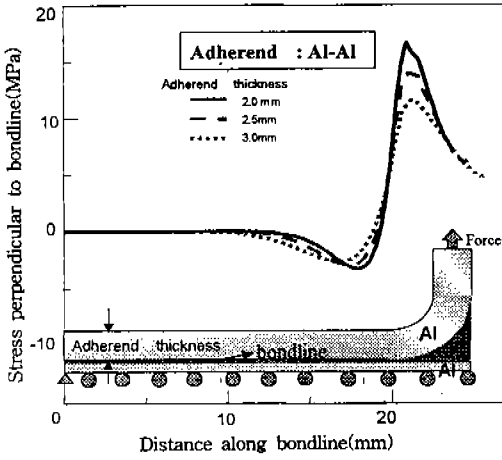


Fig.6 FEM results on the effect of adherend thickness(Al-Al)

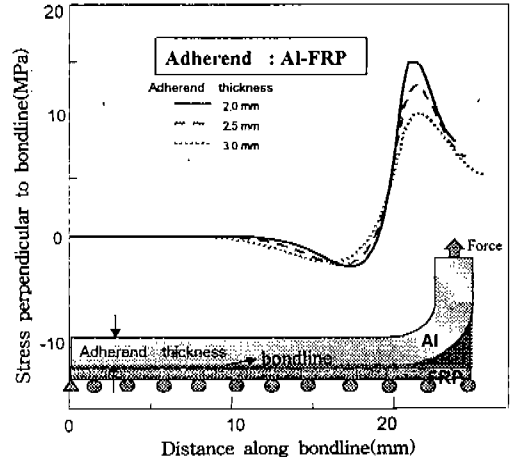


Fig.7 FEM results on the effect of adherend thickness(Al-FRP)

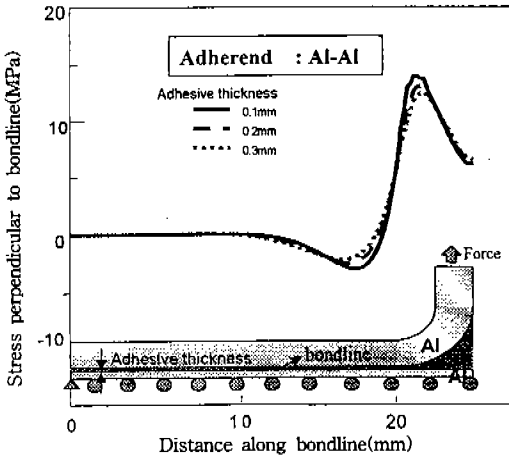


Fig.8 FEM results on the effect of adhesive thickness(Al-Al)

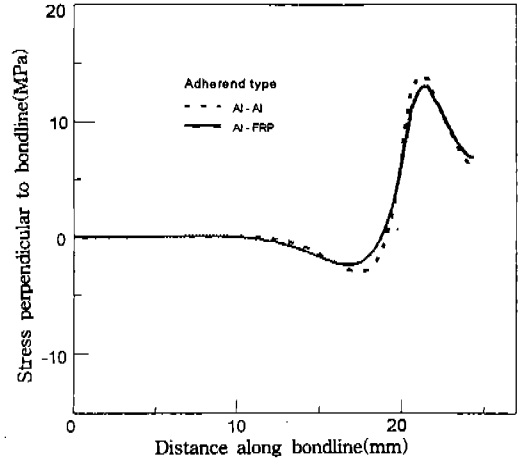


Fig.9 FEM results on the effect of adherend type(Al-Al, Al-FRP)

가하기 위하여, 접착면에서의 수직 응력분포를 유한 요소 해석으로 구하였다. 접착두께는 0.1mm, 접착제는 DP460인 시편에 대해 피접착재 두께를 2.0, 2.5, 3.0mm로 각각 변화시켜가며 알아보았다. 알루미늄-알루미늄 시편과 알루미늄-복합체 시편의 해석결과를 각각 Fig.6과 Fig.7에 나타내었다. 피접착재 두께가 증가함에 따라 최대수직응력은 감소하였고, 접착 강도가 증가할 것으로 예상되었다.

(2) 접착 두께에 따른 응력 분포

접착 강도에 대한 접착 두께의 영향을 평가하

기 위하여, 접착면에서의 수직 응력분포를 유한 요소 해석으로 구하였다. 피접착재 두께는 2.5mm, 접착제는 DP460인 시편에 대해 접착 두께를 0.1, 0.2, 0.3mm로 각각 변화시켜가며 알아보았다. 알루미늄-알루미늄 시편의 해석결과를 Fig.8에 나타내었다. 접착 두께가 증가함에 따라 최대응력은 약간 감소하는 경향이 있으나 큰 차이가 없으며 접착 강도는 약간 증가할 것으로 예상된다.

(3) 피접착재의 종류에 따른 응력분포

접착 강도에 대한 피접착재의 종류의 영향을 평가하기 위하여, 알루미늄-알루미늄 시편, 알루

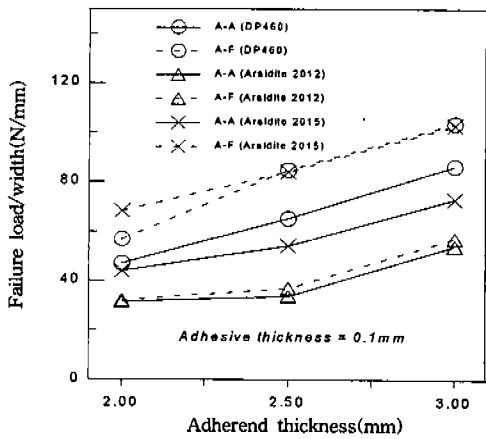


Fig.10 Effect of adherend thickness on peel strength for various adherend types and adhesives

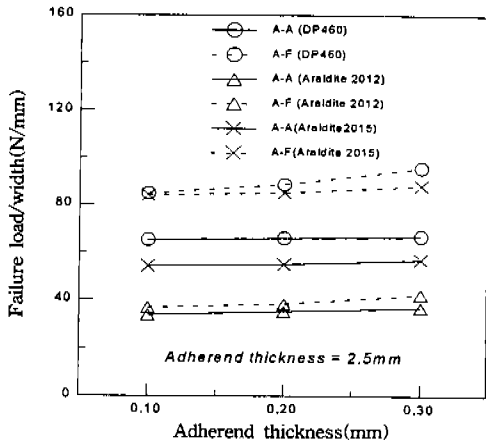


Fig.11 Effect of adhesive thickness on peel strength for various adherend types and adhesives

미늄-복합재 시편에 대하여 접착두께 0.1mm 피접착재 두께 2.5mm의 시편에 대해 응력 분포를 구하여 비교한 것을 Fig.9에 나타내었다. Fig.9에서 보면 전반적으로 알루미늄-복합재시편이 알루미늄-알루미늄시편보다 낮은응력분포를 나타내었으며 높은 강도를 나타낼 것이 예상된다.

2.2.3 실험 결과

(1) 피접착재 두께

각 시편($h=0.1\text{mm}$)의 접착 강도에 대한 피접착재 두께의 영향을 평가하기 위한 실험을 하였

다. 실험의 결과를 Fig.10에 나타내었다. 피접착재 두께가 증가함에 따라 강도는 증가하였다. 이는 FEM 해석결과 Fig.6 및 Fig.7과 같은 경향임을 알 수 있다.

(2) 접착 두께

각 시편($h=2.5\text{mm}$)의 접착강도에 대한 접착두께의 영향을 평가하기 위한 실험을 하였다. 실험의 결과를 Fig.11에 나타내었다. 접착 두께가 증가함에 따라 강도는 약간 증가하거나 크게 변화가 없음을 알 수 있다. 이 또한 FEM 해석결과 Fig.8과 비슷한 경향임을 알 수 있다.

(3) 피접착재의 종류

접착 강도에 대한 피접착재의 종류의 영향을 평가하기 위하여, 알루미늄-알루미늄 시편, 알루미늄-복합재 시편에 대하여 피접착재 두께가 다른 시편($t=0.1\text{mm}$)과 접착 두께가 다른 시편($h=2.5\text{mm}$)을 대상으로 실험을 하였다. 피접착재 두께에 따른 실험의 결과는 Fig.10에 있고, 접착 두께에 따른 실험의 결과는 Fig.11에 있다. Fig.10과 Fig.11에서 보면 전반적으로 알루미늄-복합재 시편이 알루미늄-알루미늄 시편보다 강도면에서 우수하여 접착성이 더 뛰어난 것을 알 수 있었지만 접착제 Araldite 2012의 경우에는 별로 강도의 향상이 없었다.

(4) 접착제 종류

접착 강도에 대한 접착제 종류의 영향을 평가하기 위하여, 알루미늄-알루미늄 시편, 알루미늄-복합재 시편에 대하여 피접착재 길이가 다른 시편($t=2\text{mm}$)과 접착 두께가 다른 시편($h=2.5\text{mm}$)을 대상으로 실험을 하였다. 피접착재 두께에 따른 실험의 결과는 Fig.10에 있고, 접착 두께에 따른 실험의 결과는 Fig.11에 있다. Fig.10과 Fig.11에서보면 전반적으로 AI-AI접착에서는 경화 시간(usable life)이 긴 접착제일수록 강도가 높은 경향을 보였다. 그러므로 작업의 효율성을 위해 짧은 경화시간을 갖는 접착제를 선택하는 것은 강도의 저하를 어느 정도 각오해야 한다. AI-FRP 접착에서는 Araldite 2015가 DP460보다 경화시간이 짧음에도 불구하고 강도가 비슷하게 높거나 AI-FRP접착에서는 작업효율성과 접착강도면에서 좋은 접착제임을 알 수 있다.

2.3 리벳으로 보강된 접착에 의한 접합

2.3.1 실험 방법

시편의 피접착재와 접착제는 2.2절과 동일하다. 단지 시편형상에서 차이는 접착면의 중앙에 리벳으로 보강한 것이다. 리벳은 JIS B 4627²³⁾ 규격에 준한 1D B-40048 리벳(직경 4.8mm)으로 알루미늄 합금 JIS A5154²⁴⁾로 되어 있다. Table 4에 JIS A5154에 대하여 나타내었다. 그 외 실험 방법은 2.2절과 동일하다.

2.3.2 시편의 파손 양상

접착이음에 리벳으로 보강한 T-peel joint의 강도는 리벳의 편심거리에 큰 영향을 받는다. 하중을 받기 시작할 때 초기의 용력은 접착면에 균일하게 분포되지 않고 접착면 끝단에 집중되므로 리벳의 위치가 하중선에 가까울수록 강도가 향상된다고 Pearson¹⁵⁾은 보고하고 있다. 따라서 리벳의 위치를 폭 방향으로의 중앙에 접착길이 방향으로의 접착면 끝단으로부터 결합이 가능한 범위에서 최단거리에 위치시켰다.(Fig.12)

파손될 때까지의 하중-변위 선도(Fig.13)를 살펴보면 초기에는 필렛부의 접착면이 파손될 때까지 하중이 급격히 증가한 후 리벳부위까지 균열이 진전되면서 하중이 감소하고 균열이 리벳에 이르렀을 때 다시 서서히 하중이 증가하면서 그때부터 변형은 리벳의 거동에 의해 영향을 받는 형태를 보인다. 여기서 초기에 나타나는 최대하중이 리벳이 파손될 때의 최대하중보다 높게 나오는 것을 알 수 있다.

Table 4 Chemical composition of JIS A5154²⁴⁾
(unit : weight percent)

Si + Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.45	0.10	0.10	3.1	0.15	0.20	0.20	Base
below	below	below	~3.9	~0.35	below	below	

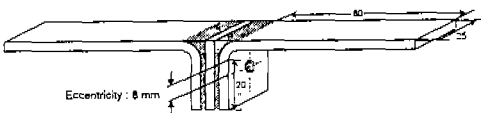


Fig.12 Rivet eccentricity

2.3.3 리벳으로 보강된 접착 이음의 강도 평가

(1) 피접착재의 두께

알루미늄-알루미늄 시편과 알루미늄-복합재 시편에 대하여, 피접착재두께가 다른 시편(t=0.1mm)을 대상으로 실험을 하여 접합강도를 구하였다. 각각 다른 접착제 종류에 대해 리벳 보강이 없는 시편에 대한 실험 결과와 비교하였다. DP 460에 대한 결과를 Fig.14에 나타내었고, Araldite 2012에 대한 결과를 Fig.15에 나타내었으며 Araldite 2015에 대한 결과를 Fig.16에 나타내었다. 리벳으로 보강한 시편이 전반적으로 강도가 높게 나타남을 알 수 있다.

피접착재 두께가 증가함에 따라 강도가 증가

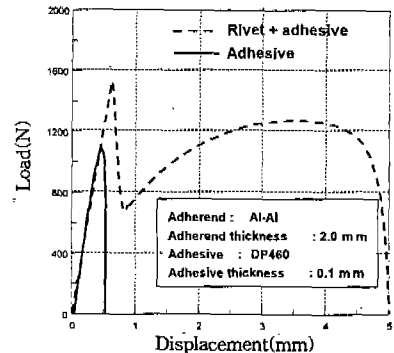


Fig.13 Load-displacement curves of T-peel joint

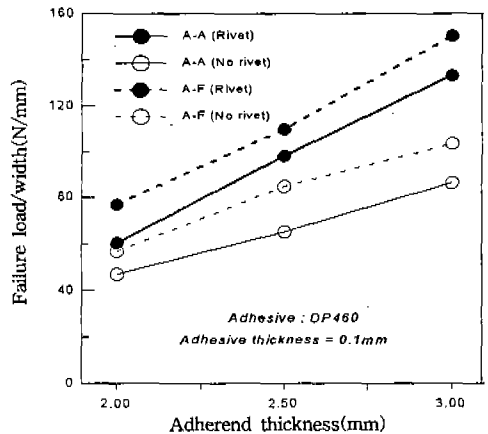


Fig.14 Effect of the rivet on T-peel joint strength for various adherend thicknesses(Adhesive : DP460)

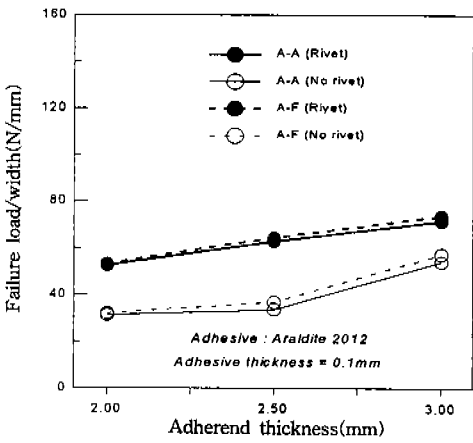


Fig.15 Effect of the rivet on T-peel joint strength for various adherend thicknesses(Adhesive : Araldite 2012)

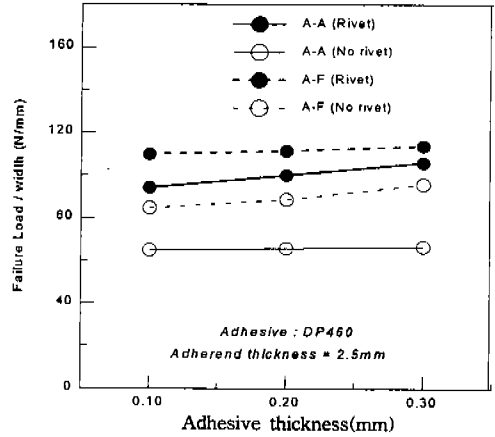


Fig.17 Effect of the rivet on T-peel joint strength for various adhesive thicknesses(Adhesive : DP460)

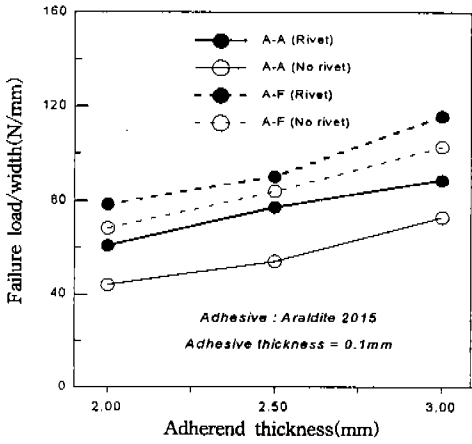


Fig.16 Effect of the rivet on T-peel joint strength for various adherend thicknesses(Adhesive : Araldite 2015)

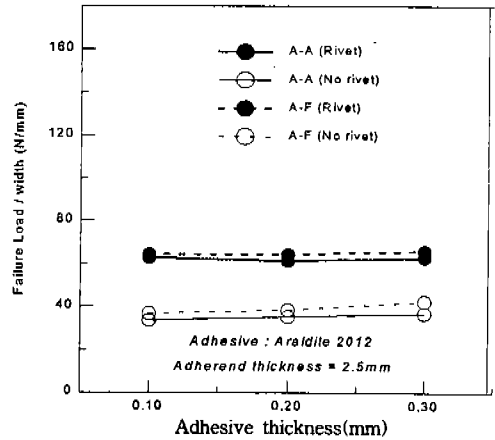


Fig.18 Effect of the rivet on T-peel joint strength for various adhesive thicknesses(Adhesive : Araldite 2012)

하였다. 따라서 강도에 대한 피접착재 두께에 따른 영향은 리벳으로 보강하지 않은 시편에 대한 실험 결과의 경향과 같게 나타났다.

(2) 접착 두께

알루미늄-알루미늄 시편과 알루미늄-복합재 시편에 대하여, 접착두께가 다른 시편(h=2.5mm)을 대상으로 실험을 하여 접합강도를 구하였다. 각각 다른 접착제 종류에 따라 리벳 보강이 없는 시편에 대한 실험 결과와 비교하였다. DP 460에 대한 결과를 Fig.17에 나타내었고, Araldite 2012

에 대한 결과를 Fig.18에 나타내었으며 Araldite 2015에 대한 결과를 Fig.19에 나타내었다. 리벳으로 보강한 시편이 전반적으로 강도가 높게 나타남을 알 수 있다.

접착 두께가 증가함에 따라 강도는 거의 변화가 없거나 약간 증가하였다. 따라서 강도에 대한 접착 두께에 따른 영향은 리벳으로 보강하지 않은 시편에 대한 실험 결과의 경향과 같게 나타났다.

(3) 피접착제의 종류

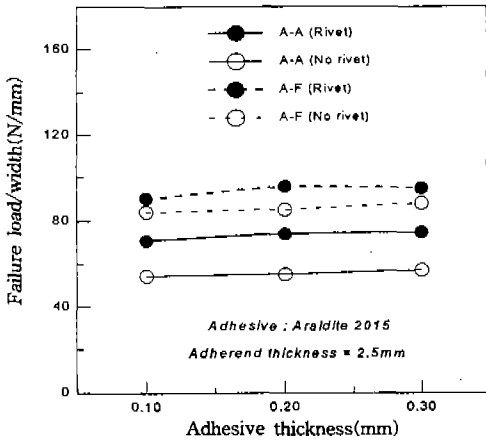


Fig.19 Effect of the rivet on T-peel joint strength for various adhesive thicknesses(Adhesive : Araldite 2015)

알루미늄-알루미늄 시편, 알루미늄-복합재 시편에 대하여 피접착재 두께가 다른 시편($t=0.1\text{mm}$)과 접착 두께가 다른 시편 ($h=2.5\text{mm}$)을 대상으로 실험을 하여 접합강도를 구하였다(Fig.14~Fig.19). 각각 다른 접착제 종류에 따라 리벳 보강이 없는 시편에 대한 실험 결과와 비교하였다. 전반적으로 알루미늄-복합재 시편이 알루미늄-알루미늄 시편보다 강도면에서 우수한 경향은 리벳으로 보강하지 않은 시편에 대한 실험 결과의 경향과 같게 나타났다.

(4) 접착제의 종류

Fig.14~Fig.19에서 보면 전반적으로 리벳으로 보강하지 않은 시편에 대한 실험 결과의 경향과 같게 나타났다. 단 리벳 보강시에는 리벳으로 보강하지 않았던 경우와 달리 알루미늄-복합재 시편에 대해 Araldite 2015가 DP460과 비슷한 접합강도를 유지하지 못하고 낮은 강도를 보인다.

3. 결 론

전기자동차 차체 경량화를 위해 알루미늄과 복합재료의 접착 설계조건을 제시하고자 T형 접착이음 시편으로 여러 가지 설계변수하에서 정하중 실험을 한 결과는 다음과 같다.

- 1) 접착에 의한 접합에서 피접착재 두께는 접착 강도를 크게 증가시킨다.

- 2) 접착 두께가 증가함에 따라 접착 강도는 약간 증가하거나 거의 영향이 없다.
- 3) 피접착재는 알루미늄-복합재가 알루미늄-알루미늄의 경우보다 접착 강도면에서 우수하다.
- 4) 접착에 의한 접합의 경우에 대해 수행된 유한 요소 해석에 의한 결과는 실험에 의한 결과와 잘 일치한다.
- 5) 접착에 의한 접합을 알루미늄 리벳으로 보강한 경우 접합 강도를 증가시켜 준다.
- 6) 접착에 의한 접합을 알루미늄 리벳으로 보강한 경우, 접착만으로 이루어진 경우와 비교시 피접착재 두께와 접착두께, 접착제의 종류에 따른 접합 강도의 변화경향이 유사하다.

후 기

본 연구의 내용 일부는 통산산업부 G7 과제(차세대 자동차 기술) 개발 사업으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Du Chen and Shun Cheng, "An Analysis of Adhesive-Bonded Single-Lap Joints", Journal of Applied Mechanics, Vol. 50, pp. 109~115, 1983.
2. F. Delale and F. Erdogan, "Viscoelastic Analysis of Adhesively Bonded Joints", Journal of Applied Mechanics, Vol. 48, pp. 331~338, 1981.
3. M.Y. Tsai and J. Morton, "Experimental and Numerical Studies of a Laminated Composite Single-lap Adhesive Joint", Journal of Composite Materials, Vol. 29, No. 9, pp. 1254~1275, 1995.
4. M.Y. Tsai and J. Morton, "Effect of a Spew Fillet on Adhesive Stress Distribution in Laminated Composite Single-Lap Joints", Composite Structures,

- Vol. 32, No.1~4, pp. 123~131, 1995.
5. Takao Mori and Masaki Shiratori, "Stress Analysis and Design of a Metal-FRP Bonded Joints(1st report, Single Lap Joints)", 日本機械學會論文集 (A), Vol. 54, No. 498, pp. 251~258, 1988.
 6. 이강용, 김준범, 최홍섭, 우형표, "단면 겹치기 이음 시험에 의한 경량 구조물용 접착이음 강도의 평가", 한국 자동차 공학회 논문집, 제5권, 제2호, pp. 87~93, 1997.
 7. 이강용, 김종성, 공병식, 우형표, "차체 접합과 관련한 접합 강도 평가", 한국 자동차 공학회 추계 학술 대회 논문집, 제1권, pp. 189~194, 1996.
 8. D. A. Bigwood and A. D. Crocombe, "Elastic Analysis and Engineering Design Formulae for Bonded Joints", International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 9, pp. 229~242, 1989.
 9. W. T. Chen and T. F. Falvin, "Mechanics of Film Adhesion: Elastic and Elastic-Plastic Behavior", IBM Journal of Research and Development, Vol. 16, pp. 203~213, 1972.
 10. A. N. Gent and G. R. Hamed, "Peel Mechanics for an Elastic-Plastic Adherend", Journal of Applied Polymer Science, pp. 2817~2831, 1977.
 11. A. K. Moidu, A. N. Sinclair and J. K. Spelt, "Analysis of The Peel Test : Prediction of Adherend Plastic Dissipation and Extraction of Fracture Energy in Metal-to-Metal Adhesive Joints", Journal of Testing and Evaluation, Vol. 23, No. 4, pp. 241~253, 1995.
 12. D. Nardini and A. Seeds, "Structural Design Considerations for Bonded Aluminum Structured Vehicles.", SAE paper 890716, 1989.
 13. J. D. Clark and I. J. McGregor, "Ultimate Tensile Stress over a Zone : A New Failure Criterion for Adhesive Joints", Journal of Adhesion, Vol. 42, pp. 227~245, 1993.
 14. M. D. Gilchrist and R. A. Smith, "Static Strength and Fatigue Performance of Aluminum-Adhesive T-Peel Joints", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 208, pp. 33~40, 1994.
 15. I. Pearson, "Adding Welded/Mechanical Fastening to Adhesive-Bonded Joints.", Automot. Eng.(London), Vol. 20, No. 4, pp. 24~25, 1995.
 16. ASTM B 209-95, Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate.
 17. Brandes, E.A., Smithells Metals Reference Book, sixth edition, Butterworth & Co. Ltd., 1983.
 18. Douglas Aircraft Co., Fiber Reinforced Epoxy Prepreg, 250°F Cure, DMS 2288, DAC, 1988.
 19. Hankuk Fiber Glass Co., Hankuk Fiber Process Control Specification, HPS-1222, HFG, 1990.
 20. 韓國 3M 株式會社 접착제품부, 3M 접착제 가이드, 1995.
 21. Ciba Polymers, Structural Adhesives, 1996.
 22. SAE J1863, Coach Joint Fracture Test.
 23. JIS B 4627, Hand Riveter, 1994.
 24. JIS H 4000, Aluminum and Aluminum Alloy Sheets and Plates, Strips and Coiled Sheets, 1988.