研究論文

자동차용 강판의 접착특성

— 접착부의 접합강도와 영향인자 —

윤 병 현* · 권 영 각**

Characteristics of Adhesive Bonded Joints of Steels for Automobile(I)

B. H. Yoon and Y. G. Kweon

Key Words : Adhesives(접착제), Adhesive Joint(접착접합부), Cold Roll Steel Sheet(냉연강판), Shear and Tear Test(전단 및 박리시험), Spot Welding(점용접).

Abstract

The characteristics of adhesive bonded joint of steels for automobile were investigated. Shear and tear strength were tested and analyzed for the joints of cold rolled steel sheets bonded with three kinds of epoxy and urethane based adhesive. The results showed that the tensile shear strength and the tear strength of adhesive joint were affected by the shape of adhesive joint such as the length and width of adhesive joint. The thickness of adhesive layer was very important factor affecting the bonding strength. The shear strength increased with decrease of the thickness of adhesive layer, while the tear strength decreased as the thickness of adhesive layer decreased. In comparison with the strength of spot welded joint, the shear strength of adhesive joint was higher than that of spot welded joint, but the tear strength of adhesive joint was lower than that of spot welded joint.

1. 서 론

자동차 경량화를 목적으로 고장력강재, 알루미늄, 복합재료 등의 새로운 소재의 사용이 증가하면서 부품이나 차체의 제조에 있어서 접착에 의한 접합 방식이 기존의 여러가지 접합방법을 대체하는 수단으로 점점 그 응용범위가 넓어져 가고 있다. 접착제의 사용은 강판과 각종 라이닝, 패드, 화이버 등의 부착은 물론 구조부위에서 강판과 강판의 접착에서도 실용화가 시도되어 지고 있는 실정이다[1~3]. 접착제는 고분자화학과 계면화학을 기반기술로 하

* 정회원, 산업과학기술연구소 철강제품연구본부 설비공정팀
** 정회원, 산업과학기술연구소 철강제품연구본부 설비공정팀

는 기능제품으로 지금까지 거의 모든 고분자물질이 응용되어 각종 접착제가 개발되어 왔다. 금속, 플라스틱, 고무, 목재, 섬유, 세라믹 등의 접합은 물론 생체나 치과분야에 까지 널리 사용되고 있으며 특히 조립산업에 있어서 접착제는 큰 역할을 담당하고 있다. 금속재료의 접합에 있어서 종래에 사용되어 온 용접이나 리벳, 볼트 등에 의한 기계적 접합이 점 또는 선접합인데 비하여 접착법은 면접합이 가능하기 때문에 조립산업의 유력한 수단이 된다. 이러한 사회적, 경제적 요구에 따라서 금후 기능성 접착제에 대한 기술개발이 활발히 진행될 것이며 그 수요도 크게 신장될 전망이다[4~6].

자동차의 차체는 요구강성을 가져야 하며 외부로 부터 가해지는 충격과 진동에 대한 분산과 흡수능력이 있어야 한다. 또한 저렴하고 신속하게 생산할 수 있어야 하며 수리성, 재활용성, 내부식성 등을 갖추어야 한다. 자동차 전체 중량의 70% 이상이 철강재료이고 그 중의 50% 이상이 박강판재료이다. 1960년대까지는 열연 혹은 냉연 저탄소강판이 주로 사용되었으나, 두번의 국제 석유위기를 겪은후 자동차 경량화 추세와 충돌 안전 규제 강화로 고장력 강판의 사용이 증가되어 왔다. 또한 내환경 부식 규제 강화와 고장력 강판의 사용시 강판 두께 감소에 따른 부식대책으로서 도금강판의 사용도 증가하여 왔다. 따라서 일반 용접법으로는 접합이 곤란한 경우도 발생하고 있어 모재에 손상을 주지 않고 필요한 강도를 얻을 수 있는 접착에 의한 접합방식의 적용이 필수적이며, 이는 접착제의 발달과 함께 계속 응용범위가 확대될 전망이다. 그러나 접착접합법은 점 용접(spot welding)이나 볼트(bolt) 체결에 비해 내구성 및 신뢰성에 대한 자료가 부족하여 그 활용성이 아직은 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 자동차용 냉연박판인 일반냉연박판, 냉간압연 고장력강판 및 Zn-Ni 도금강판에 대한 접착특성을 평가하기 위하여 에폭시(Epoxy) 및 우레탄(Urethane)계의 접착제를 이용하여 접착강도시험을 행하고 그 결과를 분석, 고찰하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 접착소재 및 접착제의 선정

본 실험에 사용된 소재는 자동차용 강판으로서 고성형성 자동차용 냉간압연강판(DDQ), 고장력 냉간압연강판(HT) 및 Zn-Ni 도금강판(EG) 이며 그 성분 및 기계적 성질은 Table 1 에 나타낸 바와 같다. 자동차에 사용되는 접착제는 강도에 따라 구조용접착제, 준구조용접착제 및 비구조용접착제로 구분된다. 구조 및 준구조용접착제는 하중을 받는 부위에 적용되며 비구조용접착제는 주로 내·외장품 등의 큰 하중을 받지않는 부위에 적용되는데 본 연구에서는 준구조용이상의 용도로 사용되는 에폭시 및 우레탄계의 접착제 3가지를 선정하였다. 그 기본특성은 Table 2에 나타낸 바와 같으며 탄성계수가 높은 접착제를 H(이하 접착제 H라 칭함), 탄성계수가 낮은 접착제를 S(이하 접착제 S라 칭함) 및 중간정도의 탄성계수을 갖는 접착제를 M(이하 접착제 M이라 칭함) 이라 하였다.

Table 2. Mechanical properties of adhesives

Adhesives	YS (kgf/mm²)	TS (kgf/mm²)	Young's modulus (kgf/mm²)	Remarks
H	4.12	5.52	475.1	Epoxy
M	0.57	3.34	135	Epoxy
S	0.36	2.25	53.4	Urethane

2.2 시편 형상 및 제작방법

시편의 형상은 실제 자동차의 구조부재의 접합과 동일한 형상으로 하기 위하여 인장전단 접착강도시편(JIS K 6850)과 박리 접착강도 시편(JIS K 6854)으로 선정하였으며 Fig. 1 에 나타낸 바와 같다. 인장전단시편의 폭을 25 mm, 접착부 길이를

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of steels

Specimen	C	Si	Mn	P	S	YS (kg/mm²)	TS (kg/mm²)	Eℓ (%)	Remarks
DDQ	0.006	0.006	0.146	0.009	0.008	13.3	28.4	44.4	
HT	0.005	0.006	0.216	0.009	0.008	16.2	35.6	38.7	
EG	0.009	0.011	0.168	0.011	0.008	15.5	29.5	46.5	Zn-Ni ; 30g/m²

12.5 mm로 하였으며 인장시험기 장착시 시편접착부의 변형을 방지하기 위하여 시편의 양 끝부분에 폭 25 mm, 길이 38 mm의 보조강판을 함께 접착시켰다. 박리시편은 시편의 형상이 T 자형으로 되어 있으며, 시험기에 장착시 접착부가 중앙에 위치하지 않기 때문에 별도의 보조강판을 접착시키지는 않았다. 접착부 길이는 50 mm, 접착부 폭은 인장전단시편과 동일하게 25 mm로 하였다. 본 실험에서는 편의상 인장전단시편을 TS, 박리시편을 TT로 명명하였다.

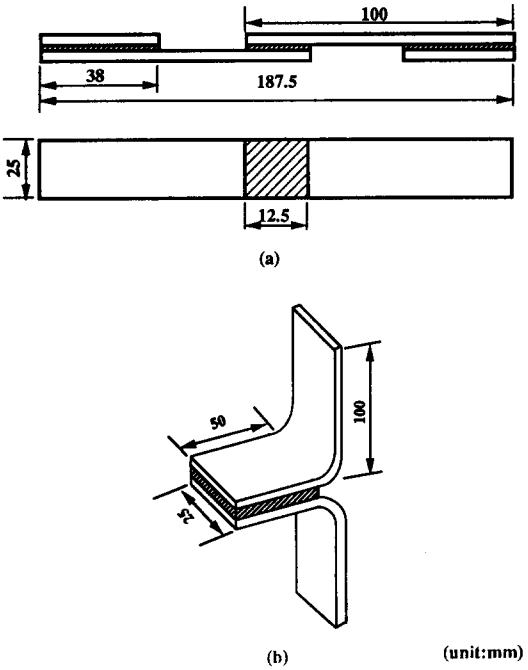

Fig. 1 Schematic diagram of specimen for bonding strength test.
(a) Lap shear test (b) T-peel test

접착시편의 제작시 가장 중요한 것은 표면의 청정상태로써 오염되지 않은 표면을 유지시킨 상태에서 접착을 해야한다. 따라서 본 실험에서는 오염층의 제거와 동시에 강판과 접착제간의 양호한 접착계면을 유지시키기 위하여 인산표면처리를 하였다. 그 조건은 다음과 같다.

표면처리액 : Ethyl alcohole : H_3PO_4 = 2 : 1
온 도 : 50−60℃
시 간 : 약 10분

전술한 바와 같은 표면처리를 행한후 접착을 행하였으며 이때 접착두께의 조절을 위하여 강판사이에 접착두께만큼의 직경을 갖는 STS304(KS 규격) 강선을 약 5 mm 정도의 길이로 삽입하였다. 삽입강선을 접착부에 고정시키고 접착제를 도포하여 경화시킨후 상온에서 약 7일간 방치한후 시험을 행하였다.

인장전단 접착강도와 박리 접착강도는 냉간압연강판과 고장력냉간압연강판을 사용하여 접착두께를 0.05, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 mm로 달리하여 측정하였으며, 접착제의 종류 H, M, S에 따른 접착특성을 평가하였다. 이때 시험속도는 시편형상에 따라 달리 하였으며 인장전단시편의 경우 5 mm/min, 박리시편의 경우 50 mm/min로 실험을 행하였다. 접착강도 시험시 실내온도는 약 25℃, 습도는 약 50RH%이였다. 또한 접착강도와 점 용접부의 강도 비교를 위하여 접착강도의 측정에 사용된 시편과 동일한 형상(길이 100 mm, 폭 25 mm)의 시편을 사용하여 Table 3과 같은 조건으로 점 용접을 행한 후 전단강도 및 박리강도를 비교하였다.

Table 3. Spot welding condition

Steel	Specimen type	Applied force (kgf)	Current (kA)	Welding time (cycle)
DDQ	TS	250	7.8	15
	TT	250	7.9	15
HT	TS	250	8.0	15
	TT	.250	7.7	15

3. 실험결과 및 고찰

인장전단 및 박리강도 시험결과를 접착소재의 강도, 접착두께, 접착부 길이 및 접착부 폭 등의 관계로 정리하였다. 또한 접착부 파단하중을 1점 점용접과 비교하였다. 접착부 시험규격에 따라 접착시편의 인장전단강도는 kgf/㎠, 박리강도는 kgf/25 mm로 나타내었다.

3.1 접착두께의 영향

인장전단접착부의 접착두께와 접착강도와의 관계를 Fig. 2와 3에 나타내었다. Fig. 2는 두께가 0.7 mm인 냉간압연강판을 대상으로 실험한 결과로 접착제의 두께가 감소할수록 접착강도가 증가하는

것으로 나타났으며, 접착두께 0.2 mm 이상에서는 접착제 H, M, S가 모두 유사한 증가추세를 보이나 접착두께 0.2 mm 이하인 경우 특히 접착제 H즉, 영률이 큰 접착제에서 급격한 증가추세를 보였다. Fig. 3은 두께가 0.7 mm인 고장력냉간압연강판을 대상으로 실험한 결과이다. Fig. 2에서와 같은 유사한 경향을 보여 접착제층의 두께가 감소할수록 접착강도는 증가하였으며, 접착제 H에서는 접착두께가 0.2 mm 이하일때 급격하게 접착강도가 증가하는 것을 알 수 있다.

한편, 박리접착부에서는 Fig. 4와 5에 나타낸 바와 같이 인장전단접착부와는 다른 경향을 보이고 있다. Fig. 4는 냉간압연강판을 대상으로 접착두께와 접착강도와의 관계를 나타낸 그림으로, 오히려 접착제의 두께가 증가할수록 박리접착강도는 증가하였다. 또한, 인장전단접착부에서는 접착제 H가 비교적 높은 강도를 나타내나 박리접착부에서는

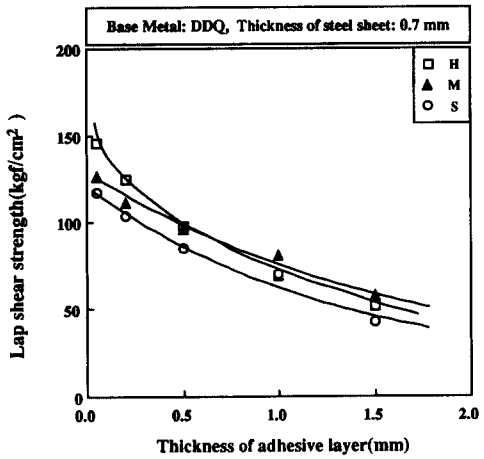

Fig. 2 Relation between lap shear strength and thickness of adhesive layer for adhsives H, M and S.

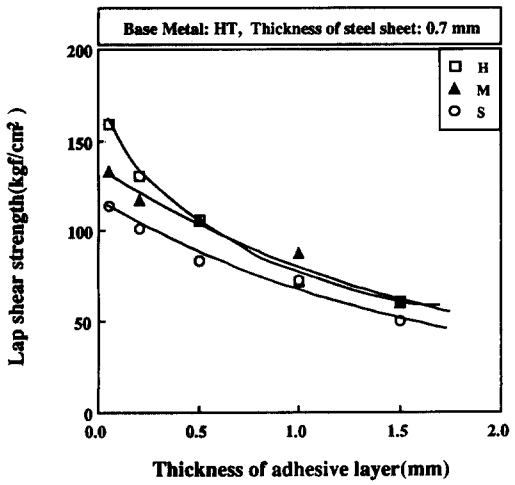

Fig. 3 Relation between lap shear strength and thickness of adhesive layer for adhesives H, M and S.

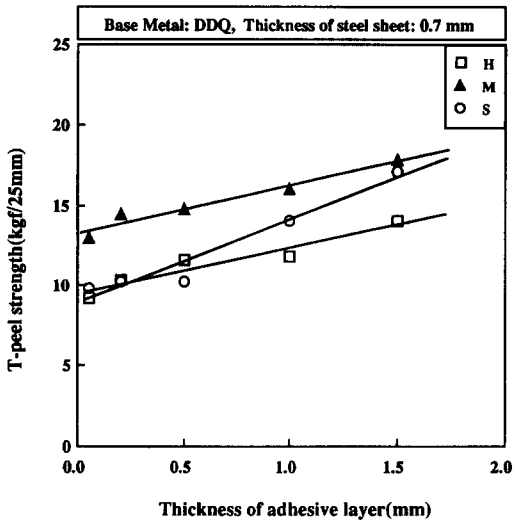

Fig. 4 Relation between T-peel strength and thickness of adhesive layer for adhesives H, M and S.

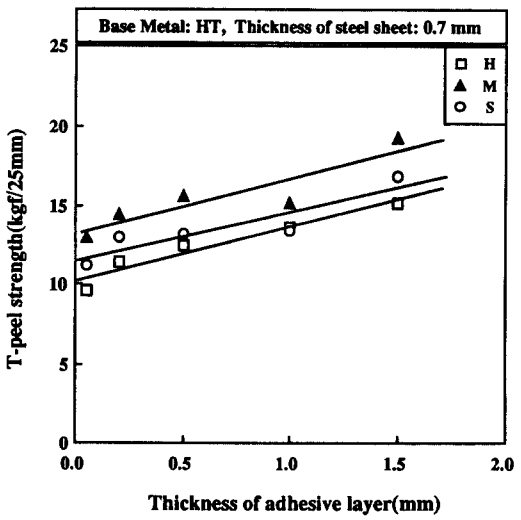

Fig. 5 Relation between T-peel strength and thickness of adhesive layer for adhesives H, M and S.

접착제 M의 경우가 가장 높은 접착강도를 나타내었고 접착제 H에서 가장 낮은 접착강도를 나타내었다. 이러한 경향은 고장력냉간압연강판에서도 유사하게 나타나 Fig. 5에서 처럼 접착제의 두께가 증가할수록 접착강도는 증가하였으며 접착제 M의 경우가 가장 높은 접착강도를 나타내었다.

Goland와 Reissner[7] 등은 접착부가 탄성거동을 한다고 가정하고 전단응력과 수직응력(또는 인장응력)을 고려하여 인장전단접착부에서의 응력분포를 검토한 결과, 접착부의 양 끝부분에 응력집중이 발생하여 파괴가 발생하고 전단응력(τ_{12})보다는 수직응력(σ_{11}, σ_{22})이 더 크게 작용한다고 주장하였다(Fig. 6). 또한 인장전단접착강도가 접착두께(ta)의 제곱근에 비례한다고 주장하였다. 전자의 주장에 대해서는 여러 연구자들에 의하여 입증되고 있으나[8, 9], 후자의 주장은 본 실험결과와 일치하지 않으며 Adams[10]등도 접착제층의 두께가 감소할수록 접착강도가 증가한다고 하여 인장전단접착강도와 접착두께(ta)는 반비례관계임을 주장하였다. 이러한 결과로 부터 접착강도에 영향을 미치는 접착부에서의 주요 응력원은 수직응력만이 아니며 접착제층의 두께가 변함에 따라 접착부에서의 전단응력과 수직응력분포가 변하여 주요 응력원이 달라질 수도 있는 것으로 사료된다.

3.2 접착제의 탄성계수 및 강판 항복강도의 영향

접착강도는 전술한 바와 같이 접착제의 탄성계수에 따라 달라지는데, Fig. 7은 접착제층의 두께가 0.2 mm일때 인장전단접착부에서의 접착제의 탄성계수 및 강판의 항복강도와 접착강도와의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 탄성계수가 큰 접착제 H가 가장 높은 접착강도를 나타내고 있으며 탄성계수가 낮은 접착제 S가 가장 낮은 접착강도를 보이고 있다. 또한, 접착강도는 강판의 항복강도에 따라 달라지는데 항복강도가 큰 강판에서 더 높은 접착강도를 나타내었다. 이러한 변화경향은 비교적 영률이 낮은 접착제 M과 S에서는 작으나 영률이 큰 접착제 H에서는 다소 크게 나타난다. Photo. 1은 냉간압연강판과 고장력냉간압연강판의 인장전단시험후의 접착시편의 사진으로 항복강도가 13kgf/mm²인 냉간압연강판이 항복강도가 16kgf/mm²인 고장력냉간압연강판보다 더 많이 변형되어 있어 접착부에서의 응력집중이 강판의 항복강도이상으로 되는 것을 알 수 있다.

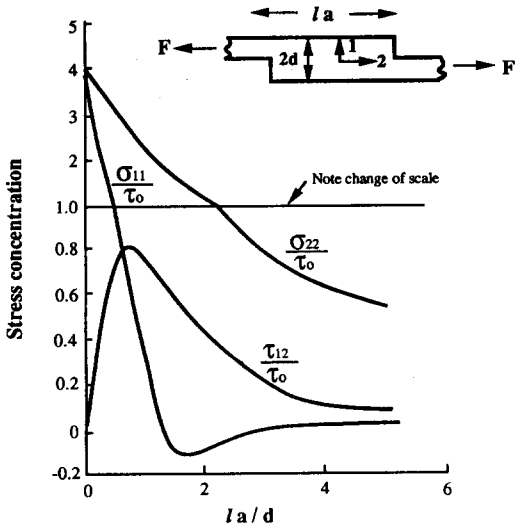

Fig. 6 Stress distribution along the shear plane as a function of distance from the edge of the overlap[7].

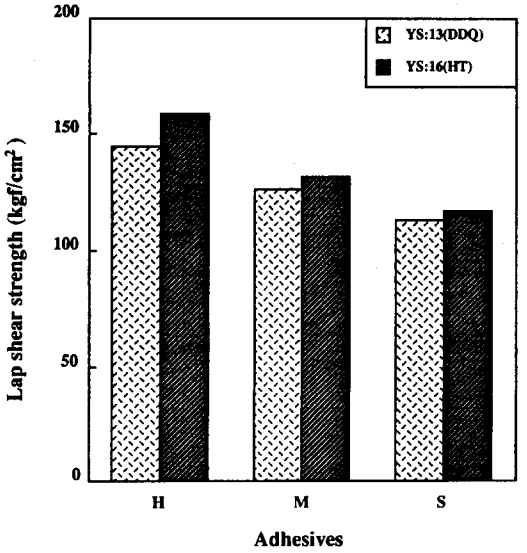

Fig. 7 Lap shear strength of steel sheets for adhesives H, M and S. (YS : Yield strength of steel sheets(kg/mm²))

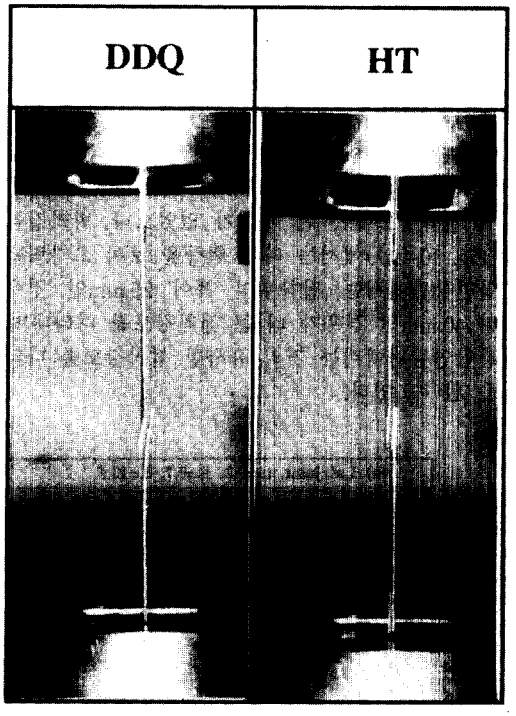

Photo. 1 Appearance of lap joints after lap shear test. (Adhesive M, ta=0.2mm, ts=0.7mm)

Fig. 8은 박리접착부에 대한 접착제의 탄성계수 및 강판의 항복강도와의 관계를 나타낸 그림으로

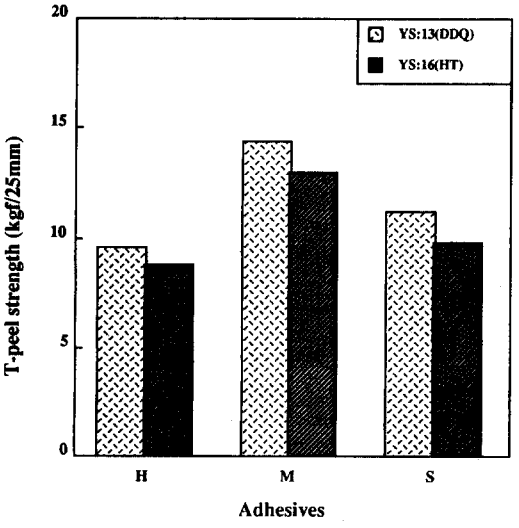

Fig. 8 T-peel strength of steel sheets for adhesives H, M and S. (YS : Yield strength of steel sheets (kg/mm²))

이때 접착제층의 두께는 0.2 mm이었다. 그림에서 알 수 있듯이 탄성계수가 중간정도인 접착제 M에서 가장 높은 박리접착강도를 나타내며 인장전단접착부와는 반대로 항복강도가 낮은 냉간압연강판에서 더 높은 접착강도를 나타내고 있다. Photo. 2는 박리시험후 접착시편의 사진으로 항복강도가 낮은 냉간압연강판이 항복강도가 큰 고장력냉간압연강판보다 더 많이 변형되어 있는 것을 알 수 있다.

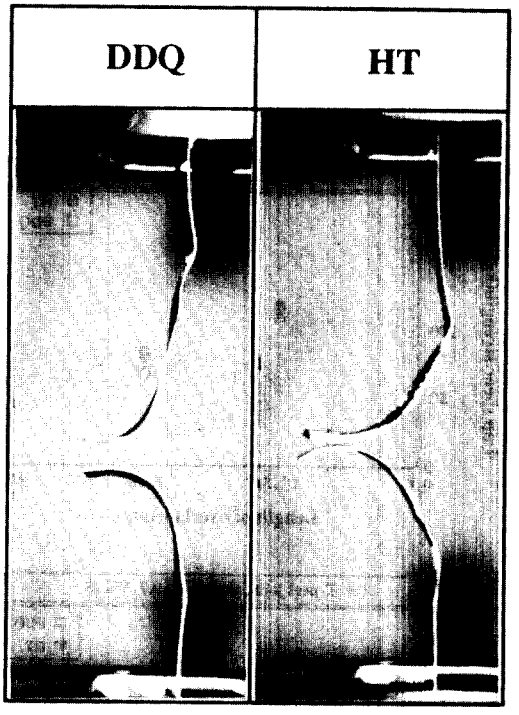

Photo. 2 Appearance of T-peel joints after T-peel test. (Adhesive M, ta=0.2mm, ts=0.7mm)

3.3 접착부 형상의 영향

3.3.1 접착부 길이의 영향

인장전단접착부의 시편 접착부 길이와 접착강도와의 관계를 Fig. 9 (a)에 나타내었다. 이때 사용한 접착제는 접착제 M, 접착두께(ta)는 0.2 mm, 강판의 두께(ts)는 0.7 mm이었으며 접착부의 폭(W)은 25 mm로 일정하게 하였다. 강판의 종류에 관계없이 냉간압연강판과 고장력냉간압연강판 모두에

서 접착부 길이가 25 mm로 증가되면 접착강도는 접착부 길이 12.5 mm의 경우에 비해 감소되는 것으로 나타났다. Fig. 9(b)는 박리접착부에서의 접착부 길이와 접착강도와의 관계를 나타낸 그림으로 이때 사용한 접착제는 접착제 M, 접착두께(ta)는 0.2 mm, 강판의 두께(ts)는 0.7 mm 이었으며 접착부의 폭(W)은 25 mm로 일정하게 하였다. 박리접착부에서 접착부 길이의 영향은 인장전단접착부와는 다른 현상을 보이고 있는데 박리부의 접착부 길이가 25 mm에서 50 mm로 변화됨에 따라 접착강도의 변화는 미약하여 거의 동일한 수준을 유지하고 있음을 알 수 있다. 강판의 종류에 관계없이 이러한 현상은 동일하게 나타났다.

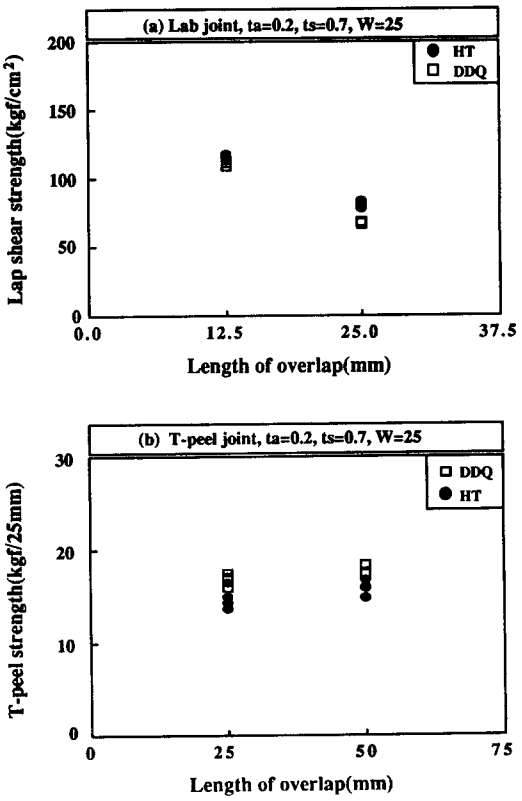

Fig. 9 The effect of joint length upon the lap shear strength and T-peel strength for epoxy(M) adhesive bonding steel sheets.

3.3.2 접착부 폭의 영향

Fig. 10 은 접착부의 폭과 접착강도와의 관계를 나타낸 그림으로 이때 사용한 접착제는 M 이었으며 접착두께(ta)는 0.2 mm, 강판의 두께(ts)는 0.7 mm 이었다. 또한 접착부의 길이(L)는 인장전단접착부는 12.5 mm, 박리접착부는 50 mm로 하였다. 인장전단접착부의 경우 Fig. 10 (a)에 나타낸 것처럼 접착부의 폭이 25 mm에서 40 mm로 증가하여도 접착강도에는 큰 차이가 없었으나, 박리접착부(Fig. 10 (b))에서는 다른 현상을 보여 고장력냉간압연강판에서는 접착부의 폭이 25 mm인 경우보다 40 mm인 경우가 더 큰 접착강도를 나타내며, 냉간압연강판에서는 거의 유사한 접착강도를 나타냄을 알 수 있다.

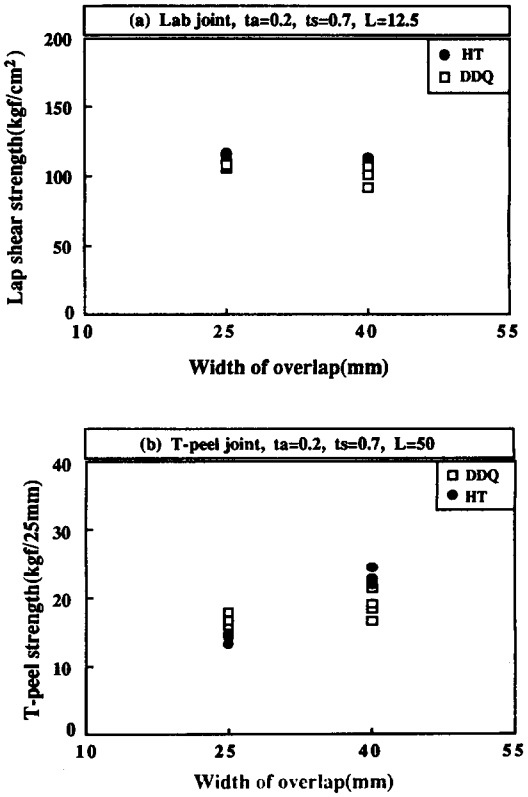

Fig. 10 The effect of joint length upon the lap shear strength and T-peel strength for epoxy(M) adhesive bonding steel sheets.

3.4 점 용접과의 비교

접착과 점 용접간의 비교를 위하여 접착강도의

측정에 사용된 동일한 강판으로 1점 점 용접을 하였으며 직접적인 강도비교는 곤란하여 x축을 접착면적으로, y축을 파단하중값으로 하여 비교하였다. 접착강도 측정시 접착두께(ta)는 0.2 mm 이었으며, 접착면적을 약 3㎠(이때 접착부 길이는 12.5 mm, 접착부 폭은 25 mm로 하였음.)와 10㎠(이때 접착부 길이는 12.5 mm, 접착부 폭은 40 mm로 하였음.) 로 달리하여 접착강도를 측정하였다. 그 결과를 나타낸 것이 Fig. 11 이다. Fig. 11 (a)는 인장전단부에서 점 용접강도와 접착강도와의 관계를 나타낸 것으로 접착면적이 약 3㎠일때 직경 약 3.3 mm의 용착부를 갖는 1점 점 용접과 거의 같은 하중값을 나타내고 있고 전반적으로 접착강도가 더 우수한 것으로 나타났다. 그러나 박리부에서는 Fig. 11 (b)와 같이 접착파단하중이 점 용접부에서의 파단하중에 미치지 못하여 박리접착특성은 점 용접특성에 비하여 저하됨을 알 수 있었다.

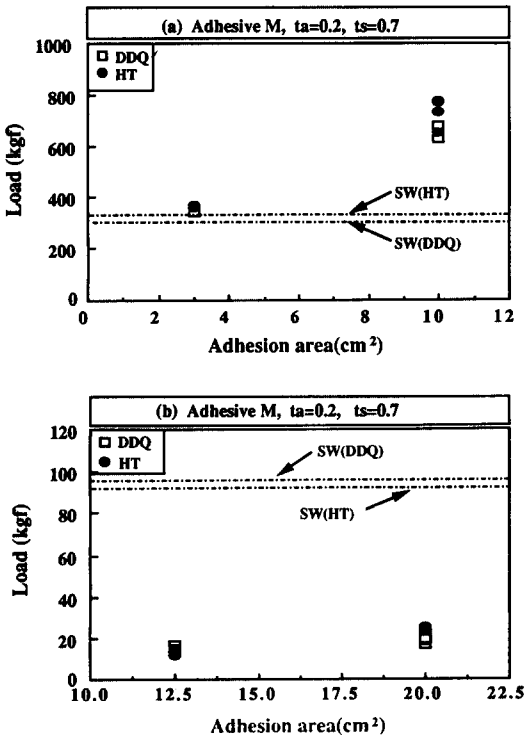

Fig. 11 Adhesion strength versus spot welding strength. (Nugget dia. for spot weld : 3.3mm)
(a) Lap joint (b) T-peel joint

4. 결 론

자동차용 강판의 접착제에 의한 접합특성을 분석, 고찰하여 접착기술개선을 목적으로 수행한 본 연구에서는 고성형성 냉간압연강판(DDQ), 고장력 냉간압연강판(HT), Zn-Ni 도금강판(EG)의 3가지 강재에 대하여 에폭시계 또는 우레탄계의 3가지 접착제를 이용하여 접착부의 인장전단시험, 박리강도시험 및 점 용접과의 비교시험 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 접착부의 인장전단강도는 접착제의 탄성계수가 클수록, 강판의 항복강도가 클수록 높은 것으로 나타났다.

2) 접착부의 박리강도는 전단강도와는 달리 접착제의 탄성계수와는 비례관계가 없고 강판의 항복 강도가 클수록 감소하였다.

3) 접착두께는 접착강도에 큰 영향을 미치는 주요한 인자이며, 전단강도는 접착두께가 얇을수록 높게 나타났으나 박리강도는 그 반대현상을 나타내었다.

4) 접착부의 형상에 있어서 접착부의 길이가 길수록 전단강도는 감소하였고 박리강도는 대등한 수준으로 나타났으며, 접착부의 폭은 전단강도에는 큰 영향을 미치지 않았으나 폭이 클수록 박리강도는 높게 나타났다.

5) 접착강도와 1점 점용접부 강도를 비교한 결과, 접착부의 면적이 약 3㎠일때 용착부 직경 3.3 mm의 점 용접부와 비슷한 전단강도를 갖는 것으로 나타났으나 박리강도는 점 용접쪽이 훨씬 우수하게 나타났다.

참 고 문 헌

1. K. Nakao : Inter. Pol. Sci. & Tech., Vol.14, No.6, 1987, p. 36
2. N. Tanoi : Inter. Pol. Sci. & Tech., Vol.14, No.6, 1987, p. 54
3. Masashi IDE : 日本溶接學會誌, Vol.60, No.3, 1991, p. 219
4. M. Mitoh : Inter. Pol. Sci. & Tech., Vol.14, No.6, 1987, p. 46
5. J. Shields : "Adhesives Handbook", 3rd Ed., Bu-

tterworths, 1984
6. I. Skeist : "Handbook of Adhesives", 2nd Ed., Van Nostrand Neinhold Company, 1977
7. M. Goland and E. Reissner : J. Appl. Mech. Vol. 2, 1944, p. A−17
8. E. Sancaktar and P.O. Lawry : J. Adhesion, Vol. 11, 1980, p. 233
9. R.L. Lubkin and E. Reissner : Trans. ASME 78, 1956, p. 1213
10. R. D. Adams and N.A. Peppiatt : J. Strain Anal., Vol.9, 1974, p. 185