

Al합금 단순겹치기 접착이음의 인장-전단강도 평가

The Evaluation of Tensile-shear Strength on the Al-Alloy Single-lap Adhesive Joints

오승규*, 유영철, 정의섭(숭실대 대학원), 이 원(숭실대)

S. K. Oh*, Y. C. Yu, E. S. Jeong(Graduate School, Soongsil University), W. Yi(Soongsil University)

Abstract

Recently, automobile industry has led to increasing use of aluminum alloy for weight reduction. Automobile made of aluminum alloy can be given lighter, stronger and a harder surface by anodizing than one made of steel-alloy.

In this paper, we investigate the influence of lap length, adherend thickness and adhesive thickness on adhesive strength of single-lap adhesive joints by conducting tensile-shear tests. Single-lap adhesive joints of aluminum was calculated using joint factor by using adhesive length, adherend thickness of specimen.

Key Words : Aluminum Tensile-shear Strength(알루미늄 인장-전단강도), Single-lap Adhesive Joint(단순겹치기 접착이음), Lap Length(접착길이), Adherend Thickness(피착체 두께), Adhesive Thickness(접착층 두께), Joint Factor(이음계수)

1. 서 론

최근 자동차산업에서는 자동차의 출력향상과 대기 오염저감을 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 자동차의 배기가스를 줄이고, 연비를 높이며, 폐차시에 발생하는 폐기물을 줄이는데 유리한 수단으로서 자동차의 경량화는 자동차 제조업계의 공통적인 연구목표가 되고 있다.

그 중, 알루미늄 자동차는 철강제 차에 비하여 무게가 50%정도 가볍고, 하중에 견디는 강성과 내식성이 우수하며, 안전성이 높고 소음이 적을 뿐만 아니라 유지보수가 용이하다는 잇점이 있다.

따라서 최근 자동차 제조업계에서는 자동차 소재로서 알루미늄 재료를 사용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 알루미늄 소재를 양산차에 까지 적용하기 위해서는 제조원가를 낮추고 동시에 판재성형과 접합기술의 고도화가 이루어져야 한다. 그러나 알루미늄 합금의 스폿용접성은 근본적으로 강판에 비하여 취약하며 따라서 이의 대체접합법으로써 접착접합이 유망하게 거론되고 있으며, 그 적

용기술이 활발히 연구되고 있다.

이와 같이 자동차에 대한 접착접합은 보다 정확하고 신뢰성있는 강도 평가가 요구되지만, 구성재료, 계면구조, 접합공정, 잔류응력, 사용환경 등이 상호 복잡하게 작용하므로 재료의 강도 및 안전성에 대한 정량적인 평가법이 아직 확립되어 있지 않다¹⁾. 이러한 두 재료의 접합면에서 응력불균일로 인한 계면과 접합층에서의 접합강도를 고려하기 위해 응력특이성을 이용한 강도평가법이 도입되었다. Hattory²⁾는 단순겹치기 접착이음에 대한 응력특이성 강도를 평가한바 있으며, Groth^{3,4)} 등은 피착체두께와 접착길이를 함께 고려한 이음계수(joint factor)를 이용하여 접착이음강도를 평가하였다.

본 연구에서는 단순겹치기 접착이음의 강도평가를 확립하기 위한 기초적 실험데이터의 확보를 위하여, 알루미늄제 접착이음에 대하여 물성과라미터로서 알루미늄 피착체의 종류, 접착제의 종류를 변경하고, 형상파라미터로서 접착길이, 피착체두께, 접착층두께를 달리하여 인장-전단강도실험을 실시하고, 그 결과를 이음계수를 이용하여 정리하였다.

2. 시험편

2.1 피착체 및 접착제의 기계적성질

접착이음의 피착체로는 판재성형에 주로 이용되는 Al 5052와 자동차 차체용 판재에 적절한 재질특성과 성형성 및 내식성을 갖고 있는 Al 6061을 사용하였으며, 접착제로는 이액형 상온경화 에폭시수지와 Cemedine 1500을 사용하였다. 피착체 알루미늄과 접착제의 기계적성질을 조사하기 위하여 Fig. 1과 같은 시험편을 가공하여 인장시험을 실시하였으며 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

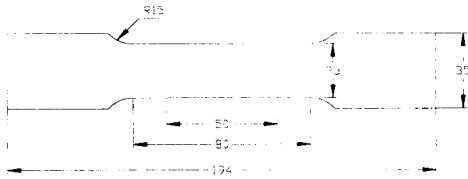


Fig. 1 Dimension of Tensile specimen

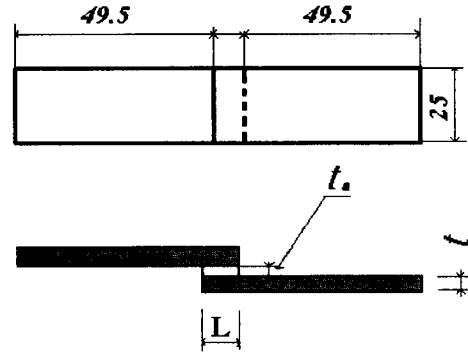
Table 1. Mechanical properties of adherends and adhesive

Properties Materials	Young's modules (GPa)	Poisson's ratio	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
Al 5052	65.47	0.34	168.9	224.8
Al 6061	67.29	0.37	238.2	288.0
Cemedine 1500	1.16	0.39	18.5	37.6
Epoxy	2.07	0.37	29.0	46.3

2.2 접착시험편 제작순서 및 실험방법

Fig. 2에 실험에 사용한 접착이음 시험편의 형상 및 치수를 나타내었다. 그 제작순서는 먼저 알루미늄 판재를 적당한 크기로 가공한 후 에머리페이퍼 #600으로 표면을 연마한 뒤, 아세톤으로 세정하고, 불이고자 하는 부위에 접착제를 고르게 도포하고, 테프론테이프를 이용하여 접착층두께를 조절하였으며, 플레이트를 사용하여 시험편 전면에 고르게 압력을 가하도록 하였다. 그리고, 전기로 내에서 110℃로 1시간정도 유지한 후에 상온까지 냉각하였다.

인장-전단시험에는 용량 150kN의 인스트롱형 인장시험기를 사용하였으며, 인장속도는 0.1mm/min.으로 일정하게 설정하였다. 또한, 시험편의 최대하중 및



t = Adherend thickness (mm)
 t_a = Adhesive thickness (mm)
 L = Adhesive length (mm)

Fig. 2 Dimension of single-lap adhesive specimen

파단하중을 접착단면적(접착길이×시험편의 폭)으로 나누었을 강도값으로 취하였으며, 각 조건에 대하여 3회 반복 실시하여 그 평균값을 최종결과치로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

시험편은 접착제의 종류에 따라서 응집력에 차이가 있음을 감안하여 Epoxy와 Cemedine 1500의 두종류를 사용하였고, 피착체 종류의 차이에 따른 접착강도를 비교·분석하기 위해 피착체를 Al 6061과 Al 5052로 하였으며, 접착길이, 접착층두께, 피착체두께를 각각 달리하여 실험을 실시하였다. 실험으로부터 구한 각 조건에서의 강도값 및 이음계수를 Table 2,3,4에 정리하여 나타내었다.

Table. 2 Experimental results for parameter of adherends and adhesive(Al 6061/Epoxy)

Adhesive	Adhesive thickness (mm)	Adhesive length (mm)	Adherend thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	Joint factor ($\sqrt{t/L}$)
Epoxy	0.1	12.5	3	10.58	0.139
			5	16.77	0.179
			10	19.10	0.253
		25.0	3	6.10	0.069
			5	8.20	0.089
			10	10.39	0.126
		50.0	3	4.10	0.035
			5	4.23	0.045
			10	6.10	0.063

Table. 3 Experimental results for parameter of adherends and adhesive(Al 5052/Cemedine 1500)

Adhesive	Adhesive length (mm)	Adhesive thickness (mm)	Adherend thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	Breaking strength (MPa)	Joint factor ($\sqrt{t/L}$)
Cemedine 1500	12.5	0.1	1	9.31	7.65	0.080
			2	9.60	9.09	0.113
			3	13.54	12.26	0.139
		0.2	1	11.15	10.14	0.080
			2	13.58	12.20	0.113
			3	17.34	15.46	0.139
		0.5	1	9.09	5.95	0.080
			2	12.13	8.16	0.113
			3	15.42	11.99	0.139
	25.0	0.1	1	6.16	5.30	0.040
			2	7.86	5.98	0.057
			3	8.09	6.38	0.069
		0.2	1	8.58	6.22	0.040
			2	11.76	7.44	0.057
			3	12.68	8.59	0.069
		0.5	1	8.35	5.63	0.040
			2	9.17	6.91	0.057
			3	10.33	7.71	0.069
	50.0	0.1	1	4.13	3.34	0.020
			2	5.78	3.64	0.028
			3	6.42	4.76	0.035
		0.2	1	4.35	3.49	0.020
			2	6.58	5.06	0.028
			3	7.68	7.43	0.035
0.5		1	4.35	3.46	0.020	
		2	7.27	4.98	0.028	
		3	8.43	6.98	0.035	

Table. 4 Experimental results for parameter of adherends and adhesive(Al 5052/Epoxy)

Adhesive	Adhesive length (mm)	Adhesive thickness (mm)	Adherend thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	Breaking strength (MPa)	Joint factor ($\sqrt{t/L}$)
Epoxy	12.5	0.1	1	4.36	4.16	0.080
			2	4.97	4.80	0.113
			3	5.79	5.76	0.139
		0.2	1	5.22	4.80	0.080
			2	5.60	5.60	0.113
			3	6.37	6.24	0.139
		0.5	1	4.16	4.10	0.080
			2	5.50	4.74	0.113
			3	5.82	5.50	0.139
	25.0	0.1	1	3.52	3.23	0.040
			2	3.79	3.44	0.057
			3	3.84	3.84	0.069
		0.2	1	5.44	4.51	0.040
			2	6.37	4.82	0.057
			3	7.06	5.74	0.069
		0.5	1	4.50	3.47	0.040
			2	5.62	4.64	0.057
			3	5.84	5.12	0.069
	50.0	0.1	1	3.18	2.46	0.020
			2	3.38	2.98	0.028
			3	3.58	3.17	0.035
		0.2	1	4.05	3.21	0.020
			2	4.18	3.74	0.028
			3	4.94	4.37	0.035
0.5		1	3.10	2.63	0.020	
		2	3.38	3.13	0.028	
		3	3.74	3.56	0.035	

3.1 접착길이에 따른 고찰

Fig. 3과 Fig. 4의 그래프는 각각 접착제로는 Cemedine 1500과 Epoxy를 사용하고 피착체가 알루미늄 5052일 때 파단강도 실험결과를 접착길이에 따라서 나타낸 것이다. 각각의 기호는 피착체두께 1mm, 2mm, 3mm를 나타내며 접착층두께는 0.1mm이다. 그림에서와 같이 접착길이의 증가에 따라 파단강도는 지속적으로 감소하고 있다. 파단면의 관찰을 통하여 이음의 접착길이가 짧은 경우에는 접착면의 응집파괴를 확인할 수 있었으며 접착길이가 긴 경우에는 계면파괴가 지배적이라는 사실을 알 수 있었다. 여기서 계면파괴는 알루미늄 피착체와 접착제의 계면단에서 발생한 박리가 접착층을 따라 빠르게 진전하므로써 파괴가 일어나는 것으로 생각된다. 접착길이에 대한 이와 같은 실험결과는 접착길이의 증가가 강도적인 관점에서는 오히려 저해요인으로 작용함을 의미한다.

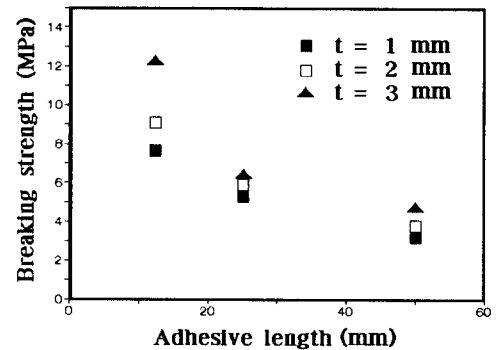


Fig. 3 Effect of lap length on the breaking strength of Al 5052/Cemedine 1500 adhesive lap-joint

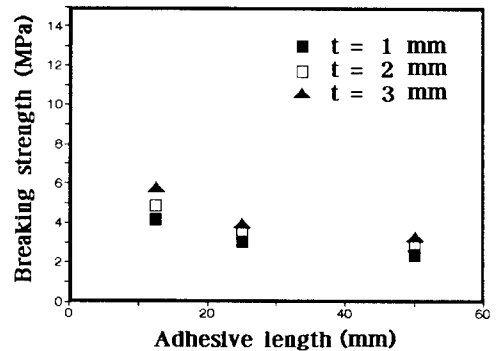


Fig. 4 Effect of lap length on the breaking strength of Al 5052/Epoxy adhesive lap-joint

3.2 피착체두께에 따른 고찰

Fig. 5, Fig. 6은 피착체두께가 파단강도에 미치는 영향을 나타낸 그래프이다. 피착체두께가 얇아지면 파단강도는 저하한다. 이것은 피착체두께가 두꺼워지면 피착체의 종탄성계수가 크게 되기 때문에 이음의 파단강도도 커지지만, 박판일 경우에는 피착체의 변형이 크기 때문에 파단강도가 저하하기 때문이라고 생각된다. 또한 시험편의 파면을 보면 시험편이 두꺼워지면 전단력에 의한 계면파괴의 양상을 나타내고, 시험편이 얇아지면 시험편전체의 변형에 따른 응집파괴면을 보인다. 따라서 경량화를 목적으로 박판화 되어가는 차체부에 알루미늄 접착이음을 적용하기 위해서는 이와 같은 특성을 고려해야만 할 것으로 생각된다.

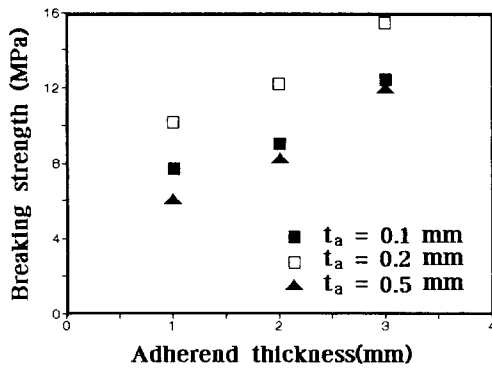


Fig. 5 Effect of adherend thickness on the breaking strength (adhesive length : 12.5mm, Cemedine 1500)

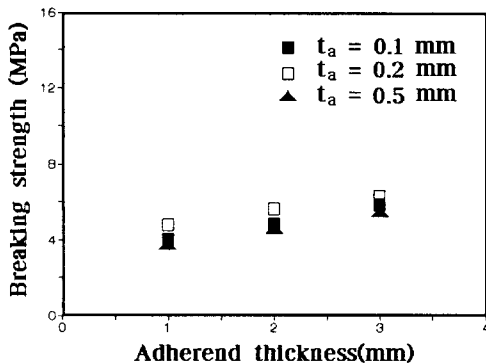


Fig. 6 Effect of adherend thickness on the breaking strength (adhesive length : 12.5mm, Epoxy)

3.3 접착층두께에 따른 고찰

Fig. 7과 Fig. 8의 그래프는 각각 접착제로서 Cemedine 1500과 Epoxy를 사용한 경우의 파단강도를 접착층두께에 따라서 나타낸 것이다. 그림에서 ■, □, ▲기호는 각각 접착길이 12.5, 25, 50mm를 나타낸다. 그래프로부터 접착층두께가 0.1mm에서 0.2mm로 증가하면 파단강도 값도 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 그 이상 접착층두께가 증가하면 파단강도 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 실험결과와는 丹羽¹⁾, 山田⁵⁾ 등의 강판에 대한 실험 및 해석결과와도 유사한 경향을 보이고 있다. 즉, 접착층두께 0.2mm이상 1mm이하의 범위에서는 접착층두께에 따라 파단강도가 감소하는 것이 틀림없으나 실용상으로는 0.2mm미만의 결과가 더욱 중요하므로 이 부분에 대한 정밀한 실험 및 평가가 추후 이루어져야 할 것으로 보인다.

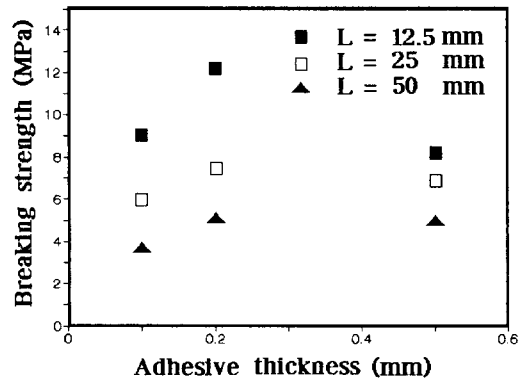


Fig. 7 Effect of adhesive thickness on the breaking strength (adherend thickness : 2mm, Cemedine 1500)

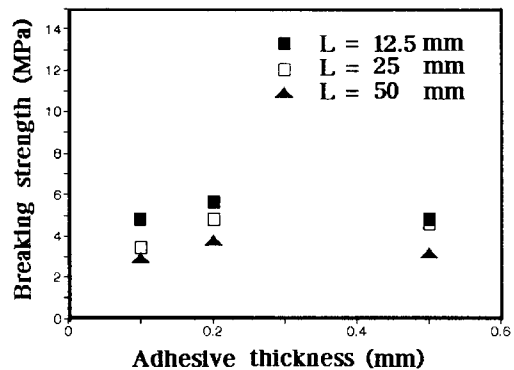


Fig. 8 Effect of adhesive thickness on the breaking strength (adherend thickness : 2mm, Epoxy)

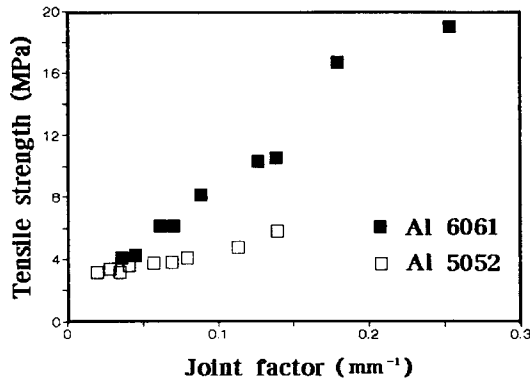


Fig. 9 Relationship between joint factor and tensile strength of adhesive joint according to the kind of Al adherend (adhesive thickness : 0.1mm, Epoxy)

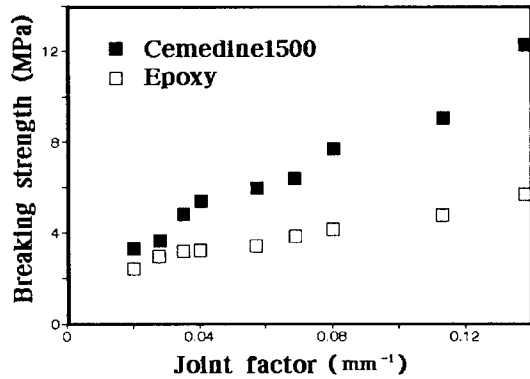


Fig. 10 Relationship between joint factor and breaking strength of adhesive joint according to the kind of adhesive (adhesive thickness : 0.1mm, Al 5052)

3.4 이음계수를 이용한 강도해석

이상과 같이 단순겹치기 접착이음의 이음강도는 접착 길이, 피착체두께, 접착층두께가 복합적으로 작용하여 결정된다. 본 논문에서는 알루미늄합금의 접착강도를 이음계수(Joint factor)에 의하여 정리하여 보았다. Fig. 9는 Al 6061과 Al 5052에 대한 인장강도를 이음계수로써 정리·비교하여 나타낸 그래프이며, Fig. 10은 Cemedine 1500과 Epoxy에 대하여 접착두께 0.1mm에 대한 파단강도와 이음계수의 관계를 나타낸 것이다. 인장-전단 실험결과는 이음계수에 의해 잘 정리되며, 따라서 단순겹치기 접착이음

에 있어서 강도는 접착길이와 피착체두께를 함께 고려할 수 있는 이음계수에 의해 정리하는 것이 타당한 것으로 보인다. 그러나 접착층두께를 증가시켜 이음계수를 평가해 본 결과 산포정도가 커짐을 알 수가 있었다. 이것은 접착층두께의 증가에 따른 또 다른 영향이 있음을 의미하는 것이다. 따라서 접착층두께의 영향을 함께 고려하여 정리하는 것이 앞으로의 연구과제라고 생각된다.

4. 결 론

알루미늄합금의 종류, 접착제의 종류, 접착 길이, 피착체두께, 접착층두께를 달리한 알루미늄재 단순겹치기 접착이음 시험편에 대하여 인장-전단실험을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1)알루미늄 단순겹치기 접착이음의 접착강도는 접착길이에 대해서는 반비례하고, 접착층두께가 증가할수록 접착강도는 감소하며, 특히 접착층두께가 0.2mm일때 접착강도가 가장 크고, 피착체두께에 대해서는 비례한다.
- (2)접착이음의 접착강도는 이음의 형상파라미터인 이음계수에 의해 잘 정리할 수 있었다.
- (3)이음부 파단면의 관찰로부터 접착층은 접착층두께가 두꺼울수록 계면파괴의 양상을 보이며, 이와 반대인 경우에는 응집파괴의 양상을 나타냄을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 丹羽, “鋼板接着継手の試験方法と靜的強度”, 自動車技術會 シンポジウム 新時代を擔う構造接着技術 '90, pp.12~19, 1991.
2. 服部, “應力特異場パラメータを用いた接着継手の強度評價”, 日本機械學會論文集 A, Vol.56, No.523, pp.246~251, 1990.
3. Groth, H. L., “A Method to Predict Fracture in an Adhesively Bonded Joint”, Int. J. Adhesion and Adhesives, Vol.5, No.1, pp.19~22, 1985.
4. 이원, 정의섭, 유영철, 오승규, 대한자동차공학회, “인장-전단하중을 받는 알루미늄 6061-T6재 접착이음의 강도특성”, 1996년 추계학술대회.
5. 山田, 松川, “實車による調査結果について(市場経年車接合部の殘存強度測定)”, 自動車技術會 シンポジウム 新時代を擔う構造接着技術 '90, pp.94~96, 1991.