

# 에폭시 접착제 접합구조물의 강도향상을 위한 접착부 형상설계

서도원\* · 김효진\* · 임재규†

(2003년 10월 24일 접수, 2004년 4월 3일 심사완료)

## Shape Design of Adhesive Joints for Strength Improvement of Epoxy Adhesive Structures

Do Won Seo, Hyo Jin Kim and Jae Kyo Lim

**Key Words:** Adhesive Joint(접착제 접합재), Adhesive Strength(접착강도), Adhesive Shape(접착 형상), Loading Speed(하중속도), Surface Treatment(표면처리), Lap Joint(겹침결합)

### Abstract

Adhesive-bonded joints are widely used in the industry. Recently, applications of adhesive bonding joints have been increased extensively in automobile and aircraft industry. The strength of adhesive joints is influenced by the surface roughness, adhesive shape, stress distribution, and etc. However, the magnitude of the influence has not yet been clarified because of the complexity of the phenomena. In this study, as the fundamental research of adhesive bonding joints, the effects of adhesive shape and loading speed on bonding strength properties and durability of aluminum to polycarbonate single-lap joints were studied. To evaluate the effect of adhesive shape, several modified shapes were used, and loading speeds were varied from 0.05 to 5 mm/min. As a result, the load-displacement distribution was shown a brittle fracture tendency. The trigonal edged single lap and bevelled lap joints showed the higher strength than the plain single lap, trigonal single lap, joggle lap and double lap joints in same adhesive area. The fractures of trigonal single lap and trigonal edged single lap joints that had the higher strength level were shown as the mixture type of the cohesive and interfacial-failure, mostly joggle lap joints that had the lower strength level were shown as the adhesive-failure.

### 1. 서 론

접착제 접합방법(adhesive bonding method)은 항공산업과 자동차 산업 및 기술 집약형 산업에 널리 적용되고 있으며, 제조업의 다른 분야에서도 성장가능성이 높은 기술로 적용 범위가 확대되고 있는 기술이다.<sup>(1-5)</sup> 접착제의 접합은 표면의 부착에 의해 물질간의 상호결합을 유지할 수 있는 방법으로서 용도에 따라 크게 구조접합과 비구조

접합으로 분류된다.<sup>(6)</sup> 구조접합에서 접착제는 결합 소재의 항복점까지 부하되는 충분한 강도를 가지며, 구조물의 주요한 하중을 감당해야 한다.<sup>(6)</sup> 최근에는 복합 폴리머 및 열가소성 강화 폴리머, 전기적 및 구조적 세라믹, 반도체, 유리, 박형 금속, 다양한 복합재 등의 분야에서 접착제 방법이 독특하고 진보된 결합 방법으로 각광받고 있다.<sup>(7)</sup> 최근에는 접착제 접합이 구조적 용도에 자주 적용되고 있으며, 실링(sealing), 절연(insulation), 진동 감쇄(damping) 등과 같은 특정화된 비구조적 응용에서도 널리 사용되고 있다.<sup>(8)</sup> 그러나 구조용 접착제 접합 방식의 본격적인 사용은 용접이나 기계적 결합방법에 비해 역사가 짧고, 강도 및 내구성에 대한 평가가 완전히 정

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계항공시스템공학부, 공학연구원 공업기술연구센터

E-mail : jklim@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2321 FAX : (063)270-2460

\* 전북대학교 공과대학 기계설계학과

립되지 못한 상태이며, 환경강도 및 내구성에 관한 연구도 많지 않은 실정이다. 접착제 접합은 다른 기계적인 결합이나 용접 방식에 비교하여 응력을 보다 균일하게 분포시키는 결합 방식이다.<sup>(4)</sup> 이는 접착제가 결합부의 어느 한 집중부위가 아닌 결합부의 전 부위에 접착력을 생성시키기 때문이다. 또한 이것은 가벼운 구조물의 생산을 가능하게 한다. 즉, 접착제 접합법은 접착면의 응력을 분산시켜 복잡한 접합 형상을 가지고 있거나 서로 성질이 다른 이종재료, 경량화가 요구되는 구조물 등에서 기존의 용접결합 방식을 대체하는 기술로 채택되고 있다.<sup>(5)</sup>

접착제 접합부의 설계에는 크게 접착제의 선택, 모재의 표면처리 방법, 접합부 형상, 접착제의 경화 등이 고려된다. 접착제는 용도 및 구조물의 제작공정 등에 따라 선택되며, 경화방법은 접착제에 의해 결정된다.<sup>(9)</sup> 따라서 접착제가 선택된 후 접합부의 설계는 주로 접합부의 형상, 치수 및 표면처리에 귀결된다. 흔히 보는 결합형식을 살펴보면 단일 겹침 결합(single-lap joint), 양면 겹침 접합(double-lap joint), 맞대기 접합(butt joint) 등이 있으며, 그 중 단일 겹침 접합 형식이 가장 보편적으로 사용되고 있다. 단일 겹침 접합부의 설계에서는 겹침 길이, 접착제의 두께, 피착재(adherend)의 표면처리방법 등이 결정되어야 하며, 이러한 요소들과 강도 및 내구성과의 관계를 규명하는 것은 접착제 접합부의 설계에 있어서 중요한 부분이다.<sup>(10)</sup> 접합부의 접착기구는 주로 기계적, 화학적 요인이 작용하며, 표면처리를 거친 후, 피착재에서 발생하는 어떠한 구조상의 변화, 형태의 변화 및 화학적 변화는 모두 접합성에 영향을 미칠 수 있다.<sup>(10,11)</sup> 그러므로 피착재의 접합형상과 접합부의 강도와의 관계를 규명하

**Table 1** Mechanical properties of adherends

Description	PC	AA6061
Ultimate tensile strength (MPa)	54-72	241
Elongation to break (%)	8-135	25
Modulus of Elasticity (GPa)	1.6-2.4	68.9
Poisson's ratio	-	0.33
Shear strength (MPa)	-	165
CTE, linear ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ )	65	25.2

는 것은 접착제 접합연구의 중요한 요소이다.

따라서, 본 연구에서는 2액형 에폭시(epoxy) 접착제로 알루미늄(aluminum) 판재와 폴리카보네이트(polycarbonate) 판재를 접합한 피착재의 접착부를 몇 가지 형상으로 달리 설계하여 피착제 접합형상과 접합부의 강도와의 관계를 규명하고자 하였다. 또한 강도 측정시 하중속도를 변화시켜 접합강도에 미치는 하중속도의 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

본 연구에 사용된 실험재료는 100×25×4 mm의 폴리카보네이트(Polycarbonate; PC)와 100×25×1 mm의 알루미늄(Aluminum; Al) 6061을 사용하였다. 접착제는 열경화성 에폭시(thermosetting epoxy) 계열인 Technicoll 8266/8267(H.B Fuller, Germany)을 사용하였다. Technicoll 8266 component A는 Epoxy resin이며, Technicoll 8267 component B는 Amine setting agent(thixotropic, pasty)이다. 8266과 8267의 혼합 비율은 제조사에 의해 규정된 비율인 100:100(vol/vol)으로 하였으며, 125℃에서 30분간 대기압 분위기에서 접합을 행하였다. 접합 후 실온(20℃)에서 5일(120hr)간 보관 후 시험을 시행하였다. Table 1과 2는 접합에 사용된 모재와 접합제의 기계적 특성을 보여 주고 있다.

**Table 2** Properties of adhesive bond

Product data		
Description	Technicoll 8266 A	Technicoll 8267 B
Density	1.30±0.05 g/cm <sup>3</sup>	1.10±0.05 g/cm <sup>3</sup>
Viscosity	496±160 Pas(25℃)	400±96 Pas(25℃)
Properties of the reaction product		
Hardness	70±5 Shore D (set 30min at 120℃)	
Weight/Volume	1.20±0.05 g/cm <sup>3</sup>	
Peeling strength	4.5 N/mm <sup>2</sup> (setting 1d/RT and 2h/100℃)	
Bonding strength	20-22 N/mm <sup>2</sup> after 7d/22℃ 30-32 N/mm <sup>2</sup> after 30min/125℃	

2.2 시험편 제작

본 연구에서는 ASTM D3163을 기초로 접착제 접합 시험편을 설계·제작하였다.<sup>(12)</sup> 접합형태는 single lap joint 형상을 기준으로 하여, 총 6가지로 접합형상을 달리하여 제작하였다. Fig. 1은 시험편의 접합형상을 도식화한 그림으로서, Plain Single Lap(PSL), Trigonal Single Lap(TSL), Trigonal Edged Single Lap(TESL), Bevelled Lap(BL), Joggled Lap(JL), Double Lap(DL)을 각각 보여주고 있다. 접착제 접합길이(overlap-length)는 예비실험을 통하여 얻은 사용재료의 강도와 시험편의 두께 등을 고려하여 10 mm로 설정하였다.<sup>(6)</sup> 접합부의 형상에 굴곡이 있는 경우에는 폴리카보네이트의 접합길이를 10 mm로 일정하게 하였다.

접합부의 표면처리는 아세톤으로 깨끗이 세척한 후, #42 입자로 sand blasting 처리하였다. 이로 인해 폴리카보네이트의 평균 조도는  $R_y=16.18 \mu\text{m}$  (12.3-28.6  $\mu\text{m}$ )이고, 알루미늄의 평균조도는  $R_y=21.90 \mu\text{m}$  (16.6-25.6  $\mu\text{m}$ )이었다. Table 3은 시험편의 형태에 따른 평균조도를 보여주고 있다. 접합부의 겹침 길이와 접착층의 두께를 일정하게 제작하기 위해 고정기구(curing jig)를 사용하여 접합하였다. 접착제 큐어링 과정에서 시험편의 접착

제 접합에 가해지는 가압력에 따라 접착층의 두께가 변하게 된다. 접착층의 두께는 시험편에 작용하는 응력의 형태와 접합강도에 영향을 주기 때문에 각 시험편의 접착제 접합부에 일정 가압력을 작용시켜 접착층의 두께가 일정하도록 제작하였다. 접착층이 너무 얇거나 두꺼우면 접합강도를 감소시키므로 기존에 수행한 실험 결과를 참고하여 적절한 가압력을 택하였다.<sup>(4)</sup> 접착층에 작용하는 가압력은 23.52 kPa(0.24 kgf/cm<sup>2</sup>)로 일정하게 하였다. 이는 6.37 N(0.65 kgf)의 추를 접착제 접합부(10×25 mm)에 올려놓음으로써 얻어

Table 3 Average values of surface roughness

Adhesive shape type	Aluminum	Polycarbonate
	Ry ( $\mu\text{m}$ )	Ry ( $\mu\text{m}$ )
Plain Single Lap(PSL)	21.56	17.21
Trigonal Single Lap(TSL)	21.33	16.79
Trigonal Edged Single Lap(TESL)	21.00	16.80
Bevelled Lap(BL)	19.74	16.11
Joggle Lap(JL)	19.70	15.29
Double Lap(DL)	22.21	14.88

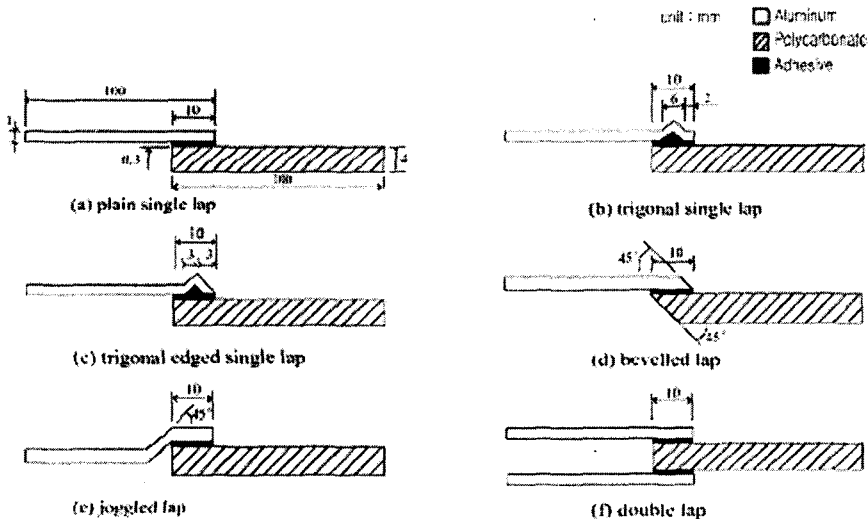


Fig. 1 Schematic diagram of various lap joint specimens

진 가압력이다. 또한 접착층의 두께를 0.3 mm로 일정하게 하기 위하여 접착부에 지름 0.3 mm의 동(Cu)선을 두 가닥씩 삽입하여 접합하였다.

### 2.3 실험장치 및 방법

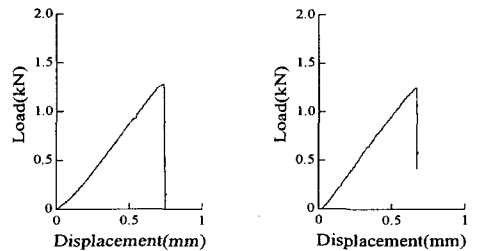
접합강도 평가를 위해 시험에 사용된 장치는 유압식 만능시험기(Instron 8516, USA)를 사용하였으며, 10 kN의 로드셀(load cell)로 인장전단시험하였다. 시험중 시험편에 작용하는 모멘트로 인한 회전을 방지하기 위해, PC 그림부에는 두께 1 mm의 PC를, AI 그림부에는 두께 4 mm의 AI 보강판을 부착하여 시험하였다. 접합부의 형상변화에 따른 접합강도의 변화와 더불어, 접합강도에 미치는 하중속도의 영향을 평가하기 위하여, CHS(crosshead speed)를 각각 0.05, 0.5, 5 mm/min 조건으로 나누어 시험하였다. 동일 접합형상 및 하중속도 조건에 대해 각각 10개의 시험편을 평균하여 결과치로 하였으며, 하중값은 CHS 조건에 맞춰 5~40 Hz로 데이터를 획득하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

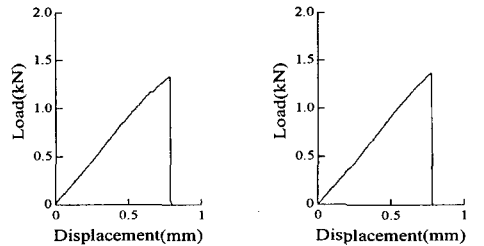
### 3.1 접합부 형상변화에 따른 하중-변위 경향

Fig. 2는 CHS=0.5 mm/min인 경우의 하중-변위 경향을 접합형상에 따라 분류한 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 모든 접합형상 조건에서 취성적인 경향을 보이고 있으며, (a) PSL, (b) TSL, (c) TESL, (d) BL 시험편의 경우에는 최고 하중값이 1.2-1.4 kN 범위에 분포하고 있다. (e) JL 시험편의 경우에는 약 0.5 kN, (f) DL 시험편의 경우에는 1.7-2.5 kN의 하중값을 나타냈다. DL 시험편의 파괴 하중값이 최고값을 보여주는 것은 PC의 양면에 AI이 접착된 형태, 즉 접착면적이 다른 시험편에 비해 넓기 때문이다. 그러나 하중을 접착면적으로 나눠준 응력값은 PSL과 유사한 분포를 보여주었다(Fig. 3 참조). 시험편의 연신을 나타내주는 변위값의 분포는 모든 시험편에서 대개 0.6-1.0 mm 이내였으나, JL 시험편의 경우에는 약 0.4 mm였다. 이와 같이 JL 시험편의 최고 하중값과 연신이 다른 시험편에 비해 낮게 나타난 이유는 주 파단 지배인자인 전단력과 면의 굽힘 모멘트에 의한 응력집중으로 판단된다.<sup>(6)</sup> 이러한 하중-변위의 경향은 모든 하중속도 조건에서 유사한 경향을 보여주었다. 단지 하중속도가 0.05,

0.5, 5 mm/min으로 증가하면서 전체적으로 약 0.3 kN의 하중이 증가하였다. 이처럼 하중속도가 증가함에 따라 파괴하중값이 증가하는 것은 구조재료에서 쉽게 관찰될 수 있는 일반적인 경향이다.<sup>(13)</sup> 하중속도가 5 mm/min인 경우에서는 TSL과 TESL시험편에서 두 단계의 최고 하중값이 관찰되었는데, 이는 접착부에 삼각형 굴곡부의 본드층 내부로 2차 균열이 진전되었기 때문인 것으로 판단된다. 대부분의 시험편에서는 PC와 접착제 계면사이에서 파단되었으나, TESL과 BL 시험편의 경우에는 접착제 내부 균열이 다수 발견되었다. 이로 인해 높은 접착강도가 측정되었으며, 연

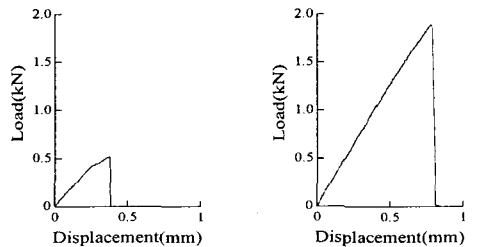


(a) Plain single lap (b) Trigonal single lap



(c) Trigonal edged single lap

(d) Bevelled lap



(e) Joggle lap

(f) Double lap

Fig. 2 Load-displacement diagrams at CHS= 0.5 mm /min

신도 다른 조건의 시험편에 비해 약 0.2 mm정도 더 신장되었다.

3.2 접합강도에 미치는 접합형상의 영향

Fig. 2(e)의 하중-변위 선도에서 볼 수 있듯이, JL 시험편의 경우에는 약 0.5 kN의 하중과 0.4 mm정도의 연신을 보이고 있어 가장 낮은 하중값을 보여주고 있다. 이는 접합 굴곡부의 응력집중에 기인한 것으로 보인다. 다른 조건의 시험편인 (a) PSL, (b) TSL, (c) TESL, (d) BL 등의 파괴하중은 약 1.2-1.4 kN의 최고하중과 0.65-0.80 mm의 연신을 보여 서로 유사한 경향을 보여주었다. 그러나, (f) DL 시험편의 경우에는 1.8 kN의 최고하중값과 0.86 mm의 연신을 보여 여타 접합형상에 비해 가장 큰 하중값과 연신을 보였다. 이는 접촉면적의 증가로 인한 것으로 단위면적당 하중값으로 환산한 응력값은 접합형태가 동일한 (a) PSL의 수치와 거의 동일함을 알 수 있다.

Fig. 3은 CHS=0.5 mm/min인 하중속도 조건에 대해 평균 강도값을 접합형상에 따라 분류한 그래프이다. Fig. 2(e)의 그래프에서도 나타났듯이, 전단력과 면의 굽힘모멘트에 의한 응력집중을 유

도하는 접합부 형상을 가진 JL 시험편의 강도가 가장 낮은 값을 보여주고 있다. 가장 큰 강도값을 보인 접합형상은 TESL 시험편으로서 5.15 MPa의 값을 보여주고 있다. BL 시험편도 4.76 MPa값을 보여 TESL과 유사한 높은 강도값을 보여주고 있다. 이러한 이유는 BL 시험편의 자유단

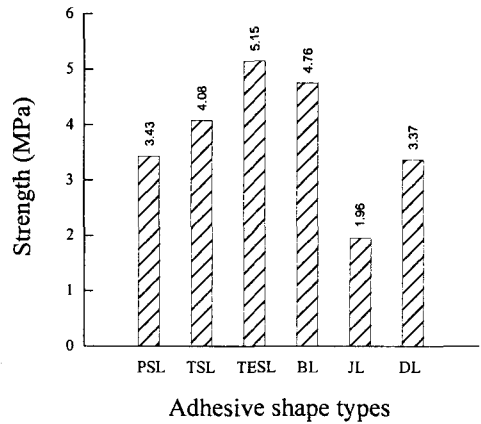


Fig. 3 Strength distributions according to adhesive shape types at CHS= 0.5 mm /min

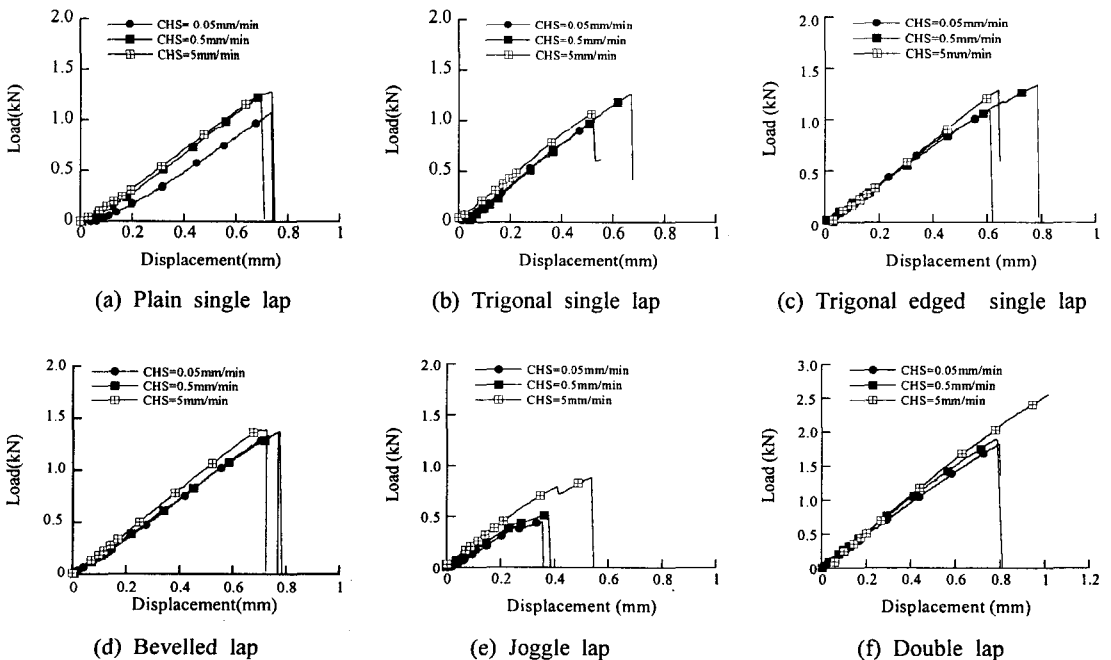


Fig. 4 Load-displacement distributions according to various loading speeds

을 경사지게 절단함으로써, 접촉 이음부 파단의 역학적 주 지배인자중 하나인 면의 굽힘모멘트 ( $M=Pt/2$ , 여기서 P는 작용하중, t는 판두께) 성분이 파단 개시점인 자유단에서 감소되기 때문에 판단된다. DL 시험편의 하중값은 크게 나왔으나 접촉면적이 2배이므로 강도값은 PSL과 유사한 3.37 MPa를 나타냈다. 시험편의 접합형상에 따른 강도의 분포는 JL, DL, PSL, TSL, BL, TESL 순으로 크게 나타났다.

3.3 접합강도에 미치는 하중속도의 영향

Fig. 4는 동일 접합형태에 따라 하중-변위 경향을 하중속도에 따라 분류한 그래프이다. 전체적으로 취성적인 파괴경향을 보여주고 있다. 하중속도가 증가함에 따라 강도값이 증가하는 것은 일반적인 경향이지만, (a) PSL, (b) TSL, (c) TESL, (d) BL 시험편의 경우에는 그 차이가 크지 않았다. 그러나, (e) JL, (f) DL 시험편의 경우, CHS=5 mm/min의 조건에서는 그 증가량이 두드러졌다. 하중과 연신량 모두에서 약 30% 이상의 증가를 보였다.

Fig. 5는 하중속도에 따른 강도변화를 접합형태에 따라 분류한 그래프이다. 일반적으로 하중속도가 증가함에 따라 강도값이 증가하는 경향을 보이는

주고 있으나, 취성과파괴 경향으로 인해 분포가 산만하고 확연한 정도를 보여주진 못하였다. 각각의 점들은 동일 조건으로 10개의 시험편의 결과를 평균한 값들이다. JL의 경우에는 2~3 MPa, 여타 접합조건인 경우에는 3~5 MPa의 강도분포를 보여주었다.

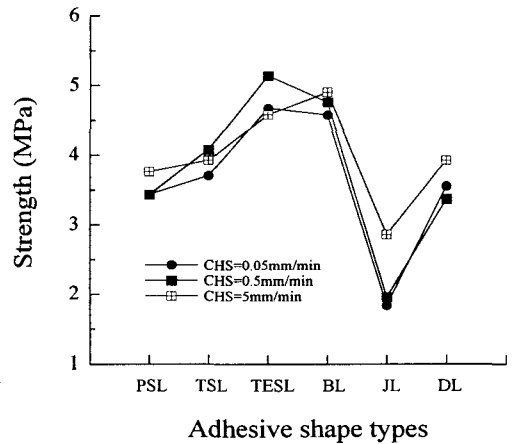


Fig. 5 Strength distributions according to adhesive shape types with various loading speeds

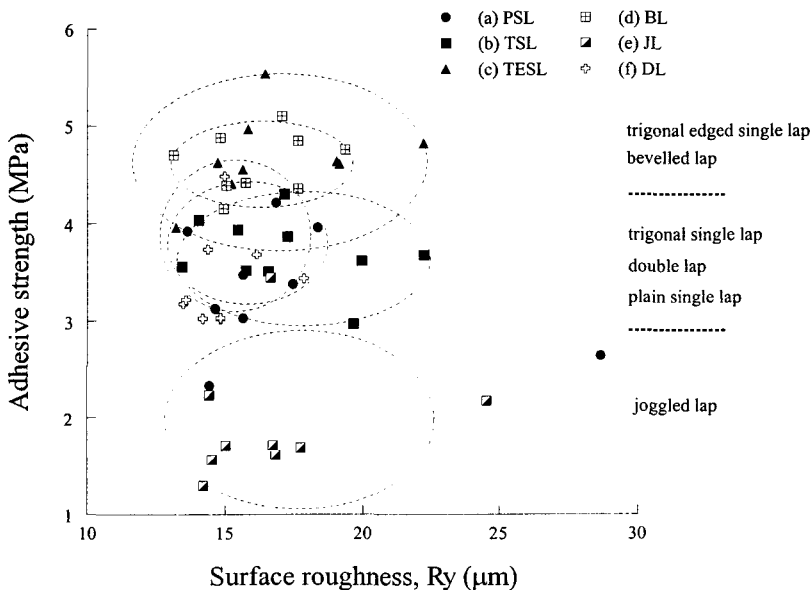


Fig. 6 Strength distributions according to surface roughness and joint shape types

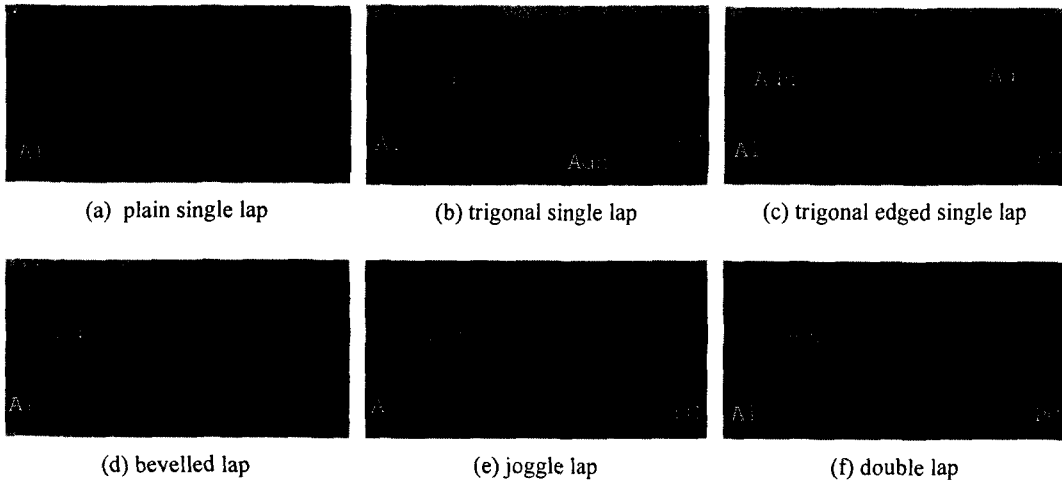


Fig. 7 Photographs of failure surfaces with various adhesive shape types

3.4 접합강도에 미치는 표면조도의 영향

Fig. 6은 접착면의 표면조도에 따른 강도의 분포를 접합형태에 따라 분류한 그래프이다. 표면조도값은 파괴가 이뤄진 계면에서의 조도로서, 대개 PC와 접착제 사이에서 파괴가 이뤄졌기 때문에 PC의 조도값이다. 그래프에서 보여지듯이 모든 시험편에 동일한 조건으로 sand blasting 처리 하였기에 표면조도는 13~23  $\mu\text{m}$ 이내에 분포하고 있으며, 강도에 대한 표면조도의 영향은 거의 나타나지 않았다. 표면조도에 대한 영향보다는 접착부위의 형상에 대한 조건이 강도에 더욱 큰 영향을 미치고 있었다. 강도분포에 따라 3가지 그룹으로 나눌 수 있는데, 강도가 큰 그룹은 (d) BL, (c) TESL 시험편이었으며, (a) PSL, (b) TSL, (f) DL 시험편이 중간 그룹, (e) JL 시험편이 강도가 가장 낮은 그룹으로 분류되었다.

3.5 접합부의 파단양상 및 파면사진

Fig. 7은 시험후의 파단양상을 접합형태 조건에 따라 분류한 것이다. (a) PSL의 경우에는 모든 시험편에서 접착제 층이 모재의 접착면에 잔존하거나 모재 내부에서 균열이 진전하는 부분 응집성 파괴(cohesive-failure) 양상을 보였으며, (b) TSL, (c) TESL, (d) BL의 경우에는 90%의 시험편에서 부분 응집성 파괴의 양상을 보였고, 일부에서 접착제와 모재의 계면에서 균열이 발생하는 접착성 파괴(adhesive-failure)가 관찰되었다. (e) JL

의 경우에는 50%씩 부분 응집성 파괴와 접착성 파괴가 혼재하여 관찰되었다. (f) DL의 경우에는 80%의 시험편에서 부분 응집성 파괴의 양상을 보였으며, 일부에서 접착성 파괴가 관찰되었다. 이상의 관찰로부터 강한 응집성 파괴를 보인 TESL과 BL에서 가장 높은 강도가 측정되었으며, 가장 많은 접착성 파괴가 관찰된 JL 시험편이 가장 낮은 강도분포를 나타내었다.

4. 결론

알루미늄과 폴리카보네이트간의 접착제 접합체의 강도를 향상시키고자 lap joint 접합부의 형상을 6가지로 달리하여 기계적 특성을 평가하였고, 하중속도에 대한 영향을 평가하고자 3가지 CHS에 대해 강도의 변화를 평가하였다. 이로 인해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모든 접합형상 조건에서 하중-변위선도는 취성적인 파괴경향을 보였으며, 동일 접합면적에서 trigonal edged single lap과 bevelled lap joint가 가장 큰 강도를 보였다.
- (2) 접합강도에 영향을 미치는 인자는 하중속도와 표면조도보다는 접착형상의 영향이 더 컸다.
- (3) 강도분포가 크게 나타난 trigonal edged single lap과 bevelled lap joint는 주로 접착제 내부에서 파괴가 발생하는 강한 응집성 파괴 양상을

보였으며, 낮은 강도를 보인 joggled lap joint는 계면간 파괴인 접착성 파괴가 주를 이루었다.

(4) trigonal edged single lap과 bevelled lap joint의 상대적으로 높은 접합강도는 접착부 자유단의 경사진 형상으로 인해 감소된 모멘트에 기인한 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R05-2002-000008310) 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- (1) Pirondi, A. and Nicoletto, G., 2002, "Mixed Mode I/II Fracture Toughness of Bonded Joints," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 22, pp. 109~117.
- (2) Higgins, A., 2000, "Adhesive Bonding of Aircraft Structures," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 20, pp. 367~376.
- (3) Lunder, O., Olsen, B. and Nisancioglu, K., 2002, "Pre-treatment of AA6060 Aluminum Alloy for Adhesive Bonding," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 22, pp. 143~150.
- (4) Roy, A., Mabru, C. and Gacougnolle, J. L., 1997, "Damage Mechanisms in Composite/Composite Bonded Joints under Static Tensile Loading," *Appl. Compos. Mater.*, Vol. 4, pp. 95~119.
- (5) Tong, L., Sheppard, A. and Kelly, D., 1995, "Relationship between Surface Displacement and Adhesive Peel Stress in Bonded Double Lap Joints," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 15, pp. 43~48.
- (6) Messler, R. W., 1993, *Joining of Advanced Materials*, Butterworth-Heinemann, Stoneham, MA, pp. 108~180.
- (7) Srivastava, V. K., 2003, "Characterization of Adhesive Bonded Lap Joint of C/C-SiC Composite and Ti-6Al-4V Alloy under Varying Condition," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 23, pp.59~67.
- (8) Bistac, S., 1998, "Durability of Steel/polymer Adhesion in an Aqueous Environment," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 18, pp. 365~369.
- (9) Wylde, J. W., 1998, "Measurement of Adhesive Joint Fracture Properties as a Function of Environmental Degradation", *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 18, pp. 237~246.
- (10) Belingardi, G., Goglio, L. and Tarditi, A., 2002, "Investigating the Effect of Spew and Camfer Size on the Stresses in Metal/Plastics Adhesive Joints," *Int. J. Adhes. Adhes.*, Vol. 22, pp. 273~282.
- (11) Seo, D. W., Yoon, H. C., Yoo, S. C., Lim, J. K. and Dorn, L., 2003, "Effect of Surface Treatment on Adhesive Strength Properties of Al/PC Adhesive Joints," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 27, No. 5, pp. 840~847.
- (12) ASTM standard D3163-96, 1998, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15.06, ASTM, West Conshohocken, PA, pp. 193~195.
- (13) Seo, D. W. and Lim, J. K., 2002, "Effect of Strain Rate and Temperature on fracture strength of Ceramic/Metal Joint Brazing with Ti-Ag-Cu Alloy," *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 9, pp. 1078~1083.