

## 압연강판 접착제 접합부의 환경 접합강도에 미치는 온도 및 침수시간의 영향

송준희\* · 이희제\* · 임재규†

(2002년 5월 30일 접수, 2002년 10월 7일 심사완료)

### Effect of Temperature and Immersion Time on the Environmental Adhesive Strength of Adhesively Bonded Joints of Rolled Steel Sheet

Jun-Hee Song, Hee-Jae Lee and Jae-Kyoo Lim

**Key Words:** Adhesive Bonding(접착제 접합), Adhesive Strength(접합강도), Spot Welding(점용접), Adhesive-Failure(접착성 파괴), Cohesive-Failure(응집성 파괴)

#### Abstract

Recently structural applications of adhesive bonding method have been increased extensively in automobile industry. Adhesively-bonded joints which are used in automobile field are exposed to various environmental conditions. In this study, several environmental factors were concerned to evaluate their effects on the adhesive strength such as air temperature, water temperature, exposed time in water. The specimens are exposed for 1, 10 and 100 hours at various air temperatures to evaluate the effects of the air and water temperature on the adhesive strength. It is proved that the adhesive strength decrease with rising the air and water temperature, and the adhesive strength decrease steeply at the higher temperature with increasing the exposure time in water.

#### 1. 서 론

접착제 접합방법은 현재 항공산업과 자동차 산업 및 고기능성 산업에 널리 사용되고 있으며, 제조업을 비롯하여 다른 분야에서도 파급효과가 큰 고부가가치 기술이다.<sup>(1)</sup> 접착제 접합방법은 다른 결합기구로 결합하기에 힘든 복잡한 형상이나 서로 성질이 다른 이종재료의 결합을 가능하게 하므로, 자동차 산업에서는 차량의 경량화 요구에 따라 많은 부분에 적용이 확대되고 있다. 또한 접착제 접합방식은 접착면에 균등한 응력을 분배함으로써 결합부에서 발생하는 응력집중 현상을 완화시키고 강도, 강성 및 내구력이 우수하여 기존의 용접결합 방식을 대체하는 기술로 채

택되고 있다.<sup>(2-5)</sup> 현재 대형버스의 루프부분과 상부 골조부재의 결합에 접착제 접합과 스폿용접을 겸용하고 있다. 자동차나 항공기 등에 사용되는 접착제 접합 결합부는 사용 용도에 따라 각기 다른 조건에 노출되게 된다. 특히, 자동차나 항공기의 외판과 골조의 경우는 대기환경이나 기후에 따라 혹한이나 혹서에 따른 온도의 영향, 장마나 우기 기후같은 습도의 영향을 받게 된다.<sup>(6,7)</sup> 이와 같이 가혹한 사용환경이 접착제 결합부에 각기 다른 영향을 미치게 되므로, 국내 자동차 제작 공정에 도입·사용되고 있는 구조용 에폭시 접착제 접합 결합부의 접합강도에 미치는 영향을 구체적으로 이해하고 평가함이 필요하다.<sup>(8-10)</sup>

Bascom<sup>(11)</sup>은 물의 영향으로 접합강도와 모재의 강도가 감소하며 접착제 층에 흡수된 물의 영향으로 접착제의 접합에너지는 감소하고 접착제는 취화됨을 보고하였다. Dodiuk<sup>(12)</sup>은 습기가 에폭시 필름 접착제 접합 결합부의 티필(T-peel) 강도와 전단강도에 미치는 부정적 영향을 보고하였다.

\* 회원, 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구소

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

E-mail : jklim@moak.chonbuk.ac.kr

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

또한, Kinloch<sup>(13)</sup>는 여러 가지 환경에 노출된 접착제 접합 결함부의 내구성을 평가하고 온도가 상승하면 접합강도가 감소한다고 보고하였다. Lewis<sup>(14)</sup>도 고온의 금속 표면이 접합력의 감소의 원인이라 보고하였다. Jurt<sup>(15)</sup>는 고온의 물과 공기에 노출된 시안아미드(Cyanamid) 접착제 접합 결함부의 파면을 관찰하고 온도가 상승하면 접착부 파괴가 증가함을 보고하였다.

따라서, 본 연구에서는 현재 국내 자동차에 적용된 구조용 에폭시 접착제 결함부가 수분이나 고온 등의 환경에 노출되었을 때 발생하는 접착제 접합 결함부의 접합강도의 변화를 온도와 노출시간의 영향을 비교 평가·분석함이 목적이다. 또한, 각 조건의 파면을 분석하여 물과 온도 등의 환경인자가 접착제 접합 결함부에 미치는 영향을 평가함으로써 노출환경에 대한 접착제 접합 결함부의 접합강도의 변화를 예측하고 사용상의 설계기준을 제공하고자 한다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

접합 모재는 현재 대형버스의 외판에 사용되고 있는 냉간 압연강판(SPCC)으로서 두께는 1.2mm이다. Table 1에 화학적 조성과 기계적 성질을 나타냈다. 적용한 접착제는 구조용 열경화성 에폭시 수지이며 Table 2에 성분을 표시하였다.

시험편은 ASTM D1002-94<sup>(16)</sup>와 ASTM D2295-96<sup>(17)</sup>에 근거하여 제작하였다. 접합형식은 Fig. 1과 같이 단일겹침 이음(single-lap joint) 형상으로 제작하였으며, 겹침부 길이는 사용재료의 두께와 강도를 고려하여 8mm로 설정하였고 시험편의 폭은 25mm로 제작하였다. 시험편의 표면은 불순물 제거를 위하여 아세톤을 이용하여 표면처리를 하였다. 또한 시험편 제작시 접착제층 측면에 발생하는 스푼 필릿(spew-fillet)의 영향을 받지 않도록 제거하였다. 접합공정의 조건은 Fig. 2에 나타내었다.

### 2.2 실험방법

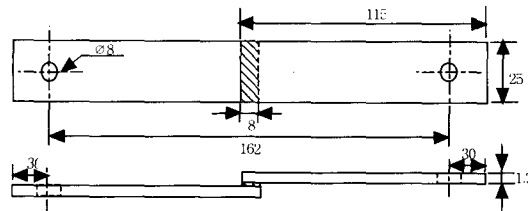
본 연구에 사용한 실험장치는 저변형률시험기(SSRT, Slow Strain Rate Tester)를 이용하였다. 부하 용량은 2톤이고 하중속도(crosshead speed)는 0.3mm/min이다. 실험 조건은 Table 3과 같이 적용하였다.

**Table 1** Chemical composition and Mechanical properties of SPCC

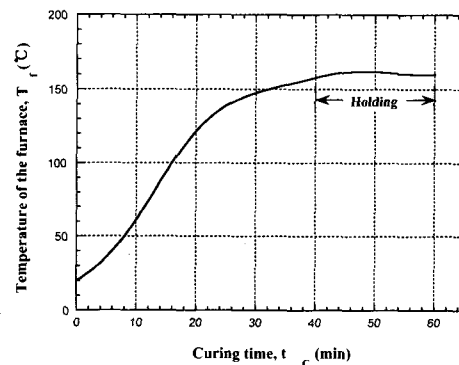
Chemical compositions (%)	C	0.120
	Mn	0.500
	P	0.040
	S	0.045
Mechanical properties	Tensile strength (MPa)	270
	Elongation (%)	37
	Hardness (Hv)	115

**Table 2** Composition of adhesive bond(%)

Epoxy resin	45
Epoxy hardener	12
Catalyst	2
Filler	22
Color mixer	12
Additive	5
Diluent	2



**Fig. 1** Schematic of Specimen



**Fig. 2** Curing condition for adhesive

공기의 온도가 접착제 접합강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 고온(300°C)에서 저온(-30°C)까지의 온도에서 1~100시간 노출시킨 후 인장-전단 실험을 수행하여 접합강도를 측정하였다. 고온 분위기에서 시험편을 일정시간 노출시키기 위하여 고온로를 사용하였고, 드라이아이스는 저온

Table 3 Conditions of the test

Environmental element		Condition
Air	Temperature(°C)	-30/20/50/80/100 /200/300
	Exposure time(hr)	1/10/100
Water	Temperature(°C)	20/40/60/75/90
	Exposure time(hr)	10/100/300/500 /1000/2000

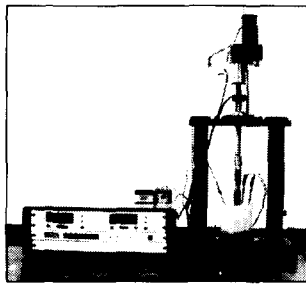


Fig. 3 Testing system for evaluation of bonding strength

분위기를 만들기 위해 사용하였다. 물의 온도가 접착제 접합강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 물의 온도를 상온(20°C)에서 고온(90°C)까지 변화시켰다. 또한, 물에 노출된 시간이 접합강도에 영향을 주는지 알아보기 위해, 시험편의 노출 시간을 10~2000시간 단계적으로 증가시켜 접합강도를 측정하였다. 또한, 각기 다른 환경에 노출된 시험편의 파면을 현미경 관찰을 실시하고, 각 조건에서의 접착제 접합부의 파단양상을 평가하였다. 시험장치도가 Fig. 3에 있다.

2.3 파괴 기구

접착제의 접착력은 하나 또는 복합적인 기구(mechanism)에 의해서 생성되고 접합부를 파단시키는 기구도 역시 다양하다. 접착제 접합 결합부의 파괴기구는 접착성 파괴(adhesive-failure)와 응집성 파괴(cohesive-failure)이다.<sup>(18,19)</sup> 접착성 파괴는 접착제와 모재 사이에서 발생하는 파괴로 이는 접합 경계층이 취약하여 발생한다. 이러한 접착성 파괴는 표면처리를 적절히 하지 않았거나 사전준비를 소홀히 하여 발생하기도 한다.<sup>(18)</sup> 반면 응집성 파괴는 파괴시 접착제 층이 모재의 면에 남아 있는 경우나 접착제 접합부 선단 모재에서 결함이 발생하여 모재 내부에서 파괴가 발생

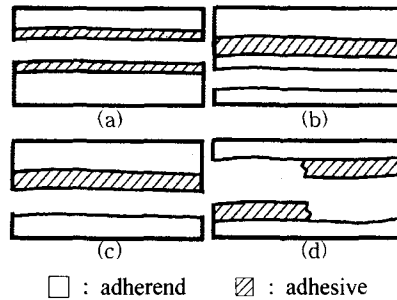


Fig. 4 Fracture type of the adhesively bonded joints ; (a) cohesive-failure in adhesive, (b) cohesive-failure in adherend, (c) adhesive-failure at interface, (d) partial cohesive-failure

하는 경우를 포함한다. Fig. 4는 이상과 같은 여러 종류의 파괴 형태를 나타낸다.

접착제 접합의 이상적인 파괴 형태는 응집성 파괴가 접착제층 사이에서 발생하거나 한쪽 모재에서 발생하는 형태이다. 이러한 형태의 응집성 파괴는 접착성 파괴보다 접합강도가 우수하다. 그러나, 실험에서 나타나는 파괴 형태는 접착성 파괴와 응집성 파괴가 혼합된 형태로 발생한다.<sup>(20)</sup> 따라서 접착성 파괴와 응집성 파괴의 비율로 파괴의 형식을 표시하기도 한다.<sup>(15)</sup> 접착제의 파괴모드가 접착제 접합의 완성도를 나타내는 절대적인 기준은 아니다. 실제로 사용된 접착제 자체의 특성으로 인하여 응집성 파괴를 보인 접합강도가 혼합된 파괴를 보인 접합강도보다 더 낮을 수도 있다. 따라서 접착제 접합부의 완성도를 평가하는데 더욱 중요한 것은 접착제 접합 결합부의 극한강도이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기온도에 따른 접합강도 영향

접합부 주위의 공기 온도에 따라 접합강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험편을 -30, 20, 50, 80, 100, 200, 300°C의 분위기에서 각각 1, 10, 100 시간 동안 저장한 후 실험한 결과가 Fig. 5이다. 실온과 환경조건에서의 접합강도를 각각  $\tau_0$ ,  $\tau$ 라 할 때, 접합강도는 서로의 비( $\tau/\tau_0$ )로 무차원화하여 나타내었다. 여기서,  $\tau_0$ 는 17.5MPa이었다. 공기의 온도가 상승함에 따라

접착제 접합 시험편의 접합강도는 점차적으로 감소하여 100℃의 공기에 노출된 시험편의 접합강도는 20% 감소하였다. 100℃이상으로 온도가 상승함에 따라 접합강도는 큰 폭으로 감소하여 200℃의 공기에 노출된 시험편의 접합강도는 90%정도 감소하였다. 즉, 200℃와 300℃의 온도에 노출된 시험편은 접착력을 거의 상실하였다. 따라서, 고온 환경은 접착제의 접착력을 열화시키는 인자임을 확인할 수 있었다. 그러나, 온도가 저온인 -30℃까지 하강한 경우 접합강도는 오히려 15% 상승하여 저온 분위기가 접착력을 강화시키는 효과가 있음을 확인하였다. 이는 고온에서는 접합제가 연화되어 접착력이 낮아지지만, 반대로 저온에서는 접합제가 응집되어 다소 접착력의 상승을 가져온다고 판단된다.

환경온도에 대한 노출시간이 1시간, 10시간, 100시간으로 증가시킨 Fig. 5의 결과에서는 온도 변화에도 불구하고 접합강도가 모두 유사하게 나타났다. 동일한 온도에서는 노출 시간의 증가와 관계없이 접착제 접합 결합부의 접합강도가 일정함을 알 수 있다. 접착제 결합부의 길이방향 양단에서 전단응력이 최대이며 중앙부에서는 평균값을 갖는다는 Volkerson<sup>(21)</sup>의 제안을 고려하면, 양단에서 고온으로 인한 접합력 상실이 가중되어 100℃ 이상에서는 강도저하가 심하다. 노출시간도 1시간 이전에 정상상태에 도달하여 접합력을 결정짓기 때문에 접합강도가 거의 동일하다고 여겨진다. 따라서, 동일한 온도의 공기 중에 노출된 접착제 접합 결합부의 노출시간은 접합강도에 아무런 영향을 주지 않음을 확인하였다.

이와 같이 본 연구에 사용된 에폭시 접착제를 제품에 적용할 경우 주위 온도가 약 100℃ 이상으로 상승하면 접합강도 감소율이 커지고 열화도가 증가하므로 구조적 접합강도를 유지하기 위해서는 그 이하인 환경에 적용함이 바람직하다고 판단된다.

### 3.2 수온에 따른 접합강도 영향

접합부가 물에 노출되었을 경우 수온이 접합강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험편을 20, 40, 60, 75, 90℃의 물에 10시간 동안 침지시킨 후 시험을 행한 결과가 Fig. 6이다. 수온이 상승함에 따라 시험편의 접합강도는 전체적으로 감소하였다. 40℃의 물에 10시간 동안 노출된 시험

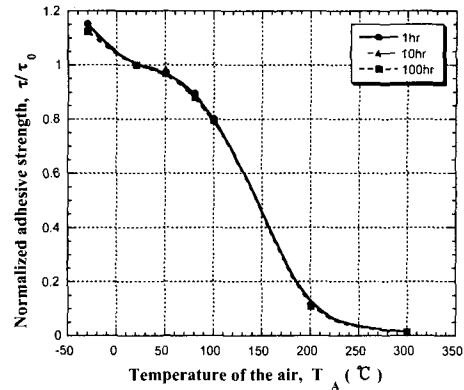


Fig. 5 Normalized adhesive strength with temperatures at various storage time(  $\tau_0 = 17.5\text{MPa}$  )

편은 약 12% 감소하였다. 60℃에서는 20%, 75℃와 90℃에서는 각각 26%와 40%까지 감소하였다. 동일한 온도 조건의 물과 공기에 대한 접합강도의 비교에서, 물에 노출된 시험편의 접합강도가 공기에 노출된 시험편의 접합강도 보다 낮게 분포하였다. 온도가 상승함에 따라 공기와 물에 노출된 시험편의 접합강도의 차가 점차 증가하였다. 따라서, 물은 온도와 더불어 접착제의 접합강도에 대한 감소를 가속화하는 인자임을 확인하였다.

물의 온도가 75℃ 이상으로 상승하면 온도상승에 따른 접착제 접합강도의 감소율이 급격히 커지고, 간격이 70mm인 점 용접 결합부의 결합강도(약 11.54MPa) 보다 낮은 접합강도를 갖게된다. 따라서, 75℃ 이상의 물에 노출되는 부위에 본 연구에 사용된 접착제 접합 결합부의 적용은 부적합하다고 판단된다.

### 3.3 침수시간에 따른 접합강도 영향

Fig. 7은 접합부가 수중에 장시간 노출될 경우 접합강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 시험편을 20, 40, 60, 75, 90℃의 물에 각각 일정시간(10, 100, 300, 500, 1000, 2000 시간)을 경과시킨 후에 실험을 실시한 결과이다. 실온(20℃)의 물에 500시간 이상 노출된 시험편은 접합강도가 약 20% 감소된 후 안정된 거동을 보였다. 그러나, 40, 60, 75, 90℃의 조건에서는 노출시간 증가에 따라 접합강도가 감소하여 2000시간 이내에

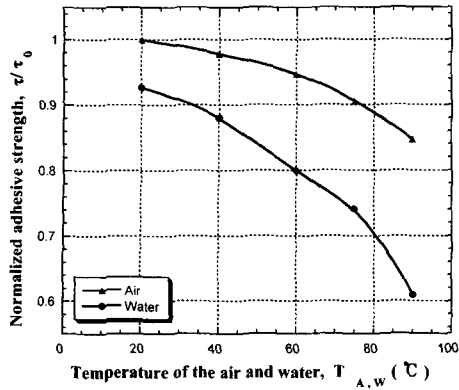


Fig. 6 Normalized adhesive strength with temperatures of the air and water ( $\tau_0 = 17.5\text{MPa}$ )

서도 안정된 거동을 나타내지 않았다. 더구나 60°C에서 1000시간, 75°C에서 300시간, 90°C에서 100시간 이상 노출된 조건에서는 접합력을 완전히 상실하여 실험이 불가능하였다. 또한, 70mm 간격의 점 용접재의 결합강도를 표시하여 접착제 접합강도와 비교하였다. 20°C 수온에 노출된 시험편의 접합강도는 노출시간과 관계없이 점 용접재의 결합강도보다 우수하였다. 40°C와 60°C 수온에 각각 약 500시간, 100시간 노출된 시험편의 접합강도가 점 용접재의 결합강도와 근사한 값을 나타내었다.

이와 같이 본 연구의 에폭시 접착제는 실온의 물이나 수분에 장시간 노출될 경우 접합강도는 크게 감소하지 않으며 점 용접재의 결합강도보다 우수하지만, 수온이 상승하면 강도가 급격히 낮아지므로 실제 적용이 어렵다. 즉, 높지 않은 온도의 수분과 접촉하는 부위 및 환경에 본 연구에 사용된 접착제 접합 결합부의 적용이 가능하다. 따라서, 수분에 노출되는 부위에 본 연구에 사용된 접착제 접합을 적용하는 경우는 온도와 노출시간에 따른 접합강도의 감소 정도를 고려하여 설계·적용함이 필요하다고 생각된다.

3.4 온도와 침수시간

전술한 바와 같이 접합강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 온도와 침수시간을 변화시켰다. 본 절에서는 온도와 침수시간 중에서 어느 인자가 접합강도에 많은 영향을 미치는지 조사하였다.

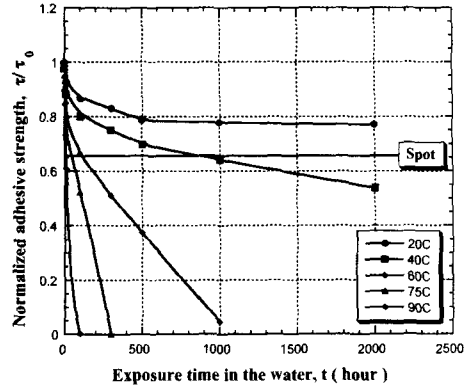


Fig. 7 Normalized adhesive strength and exposure time with water temperature ( $\tau_0 = 17.5\text{MPa}$ )

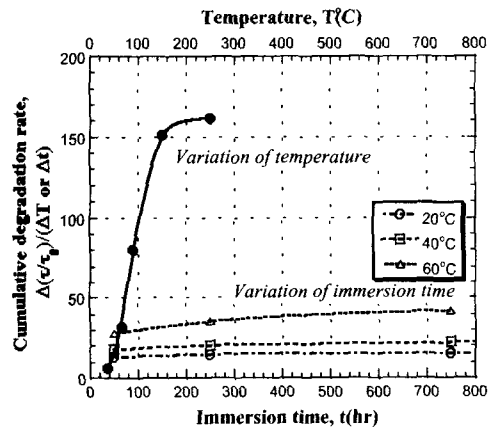


Fig. 8 Normalized degradation rate of strength with temperature or immersion time

Fig. 8은 온도 또는 침수시간의 변화에 따른 강도의 변화를 구간별 온도 혹은 시간의 향으로 나눈 누적 열화율로서 표시하였다. 각각의 구간에서 단위 온도당 또는 단위 시간당 강도의 감소/증가량을 계산하여 열화의 정도를 나타낸 것이다. 여기서 강도의 열화율이 증가한 양은 온도나 시간의 변화에 따라 강도의 변화량을 표시하는 것이다. 따라서 시간과 온도에 대한 환경인자 중에서 어느 인자가 강도의 열화에 더 큰 영향을 미치는지 알 수 있다. 그림에서 '○ □ △'의 표시는 각 온도조건에서 침수시간의 변화를 나타내고, '●' 표시는 온도의 변화를 가리킨다. 침수시간의 거동에서는 시간의 증가에 따라 약간 증가하지만 전체적으로 일정하여 강도의 변화가 없었다. 그

러나 온도의 거동에서는 온도가 증가하면 강도변화가 증가하여 열화도가 더욱 가속화하였고 약 150℃ 이상의 구간에서는 완만하였다. 그러므로 침수시간보다 온도의 변화가 강도의 열화에 큰 영향을 주었다. 이는 접착제가 고온으로 갈수록 쉽게 연화되어 접합력을 상실하므로 열화가 심해지는 것으로 판단된다. 그러나, 수중에 노출된 에폭시 접합제는 접합층에 물의 침투가 용이하지 않으므로 열화가 온도의 영향보다 적은 것으로 생각되었다.

3.5 파면 관찰

전술한 바와 같이 접착제 접합부의 파괴형태는 다양하지만, 접착성 파괴(adhesive-failure)와 응집성 파괴(cohesive-failure)로 크게 나눌 수 있다. 접착성 파괴는 접착제내의 파괴없이 접착제와 모재 계면에서만 발생하는 파괴로 접합 경계층이 취약하여 생긴다. 그러나, 응집성 파괴는 ① 접착제의 일부가 모재에 부착된 형태나 ② 결합이 강하여 모재 내에서 파괴, ③ 모재/접착제/모재의 계면을 순차적으로 파괴시키는 경우로 접합강도는 우수하다.

본 연구에서는 각 실험조건에 해당하는 시험편의 인장-전단실험으로 인하여 파괴된 시험편의 파면을 관찰하였다. Fig. 9는 본 연구에서 관찰된 접착제 접합부의 파괴 양상을 요약한 그림이다. 모드 A는 응집성과 접착성 파괴가 동시에 나타나는 양상을 말한다. 접착제 접합부의 한쪽 단에서 계면파괴가 발생하여 접착제 층을 통과하는 응집성 파괴과정을 거쳐서 다시 반대쪽 단에서 계면파괴 형태로 파괴가 진행되는 형태이다. 모드 A는 응집성 파괴면의 폭이 겹침 길이(overlap length)의 20% 이상일 경우로 정의하였다. 모드 B도 역시 응집성과 접착성 파괴가 동시에 나타나는 양상을 말한다. 파괴과정은 모드 A와 동일하지만, 모드 B가 A에 비해 응집성 파괴영역이 작다. 모드 B는 응집성 파괴면의 폭이 겹침 길이의 20% 미만일 경우로 하였다. 모드 C는 단지 접착성 파괴만을 보이는 양상이다. 접착제 접합 겹침부 전면에 걸쳐서 계면파괴가 나타나는 형태를 모드 C라 명명하였다.

Fig. 10은 Fig. 5의 공기온도에 따른 접합강도 평가에서 얻어진 파면사진을 대표적으로 보인다. 검은색은 접착제이고 흰색의 파면은 모재를 나타

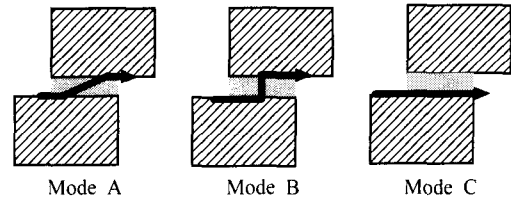


Fig. 9 Failure modes of adhesive joint

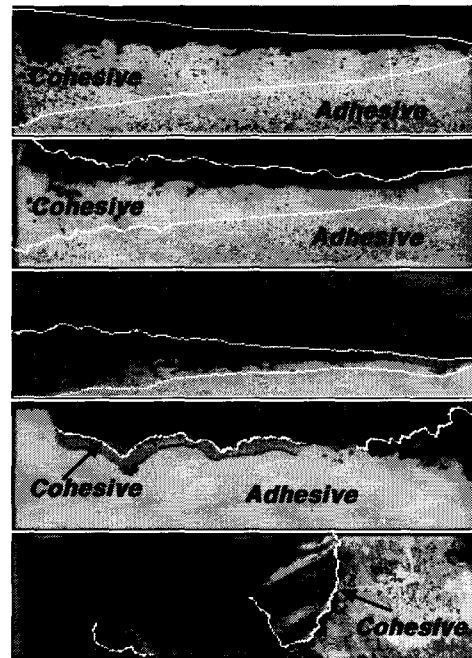


Fig. 10 Photographs of failure surface of specimens exposed at various air temperatures; (a) -30℃, (b) 20℃, (c) 50℃, (d) 80℃, (e) 300℃

낸다. Fig. 11은 접착제와 모재의 색깔로 사진상에서 파괴기구 식별이 명확하지 않으므로 이해를 돕기 위해 Fig. 10을 화상처리하여 도식화한 그림이다. Fig. 10(a)~(c)는 전술한 응집성 파괴 중 ③의 형태와 가장 가깝고, (d)~(e)는 계면을 따라 주로 파괴되는 접착성 파괴이다. 모재/접착제/모재의 계면을 따라 파괴되는 응집성 파괴는 육안으로 식별가능하지만 사진상으로는 구별이 불가능하여 흰 선으로 화상처리기를 이용하여 표시하였다. -30℃와 실온(20℃)의 공기에 노출된 시험편의 파면은 접착성과 응집성 파괴가 동시에 나타나며 응집성 파괴가 지배적이다. 공기의 온


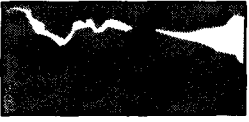
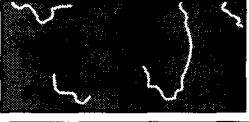
Condition	Failure mode	Failure shape
-30℃/20℃	A	
80℃/100℃	B	
200℃/300℃	C	
White : Cohesive-failure Black : Adhesive-failure		

Fig. 11 The failure mechanism of joint with temperature condition

도가 상승한 80℃와 100℃ 조건에서는 응집성 파괴는 점차 감소하고 접착성 파괴가 지배적이었다. 더욱이 200℃와 300℃의 고온에서는 거의 접착성 파괴만 나타났다. 전술한 바와 같이 응집성 파괴가 지배적인 조건에서는 강한 접합강도를 보인 반면 접착성 파괴를 보인 것에서는 약한 접합강도를 나타낸다는 사실을 잘 뒷받침하고 있다.

접합강도가 높았던 20℃와 40℃의 수온에서도 응집성 파괴가 지배적이지만, 접합강도가 낮아질수록 접착성 파괴를 보여 전절에서 논의한 결과와 잘 부합하고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 실험을 통하여 다음과 같이 결론을 얻었다.

(1) 접착제 접합부의 공기 온도가 실온 이상으로 상승하면 접합강도는 90%까지 감소하였으나, 공기 온도가 실온(20℃) 이하인 -30℃에서는 오히려 15% 상승하였다. 고온에서는 접합제가 연화되어 접착력이 낮아지지만, 반대로 저온에서는 접합제가 응집되어 다소 접착력의 상승을 가져오기 때문이라 생각된다. 그러나, 접합부가 장시간 노출될 경우 접합강도에는 영향이 없었다.

(2) 접합부가 물과 접촉할 경우 물의 온도가 실온 이상으로 상승하면 접합강도는 감소하는데 90℃에서는 40%까지 감소하였다. 즉, 물은 온도와 더불어 접착제의 접합강도에 대한 감소를 가속화하는 인자임을 확인하였다. 또한 75℃ 이상의 물에 노출되는 부위에 접착제 접합의 적용은 부적합하다고 판단되었다.

(3) 20℃의 물에 500시간 이상 장시간 노출될 경우 접합강도가 약 20% 감소된 후 안정된 거동을 보였다. 그러나, 40℃ 이상의 조건에서는 노출시간 증가에 따라 접합강도가 감소하며 2000시간 이내에서도 안정된 거동을 나타내지 않았고, 수온이 높아질수록 접합력은 상실되었다. 접합강도에 영향을 미치는 온도와 침수시간의 환경인자 중에서 온도의 변화가 재료의 강도 열화에 많은 영향을 끼쳤다.

(4) 파면관찰에서 파괴형태는 접착성과 응집성 파괴로 대별되었다. 접합강도가 증가함에 따라 응집성 파괴가 증가하고 접착성 파괴는 감소하여 잘 일치하였다. 따라서 파면의 조사로도 접합성의 건전성 여부를 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) Eric Lawley, 1982, "A Review of Adhesives in the Automotive Industry Today," *Journal of Adhesion*, Vol. 15, pp. 237~246.
- (2) Bistac, S., 1998, "Durability of Steel/Polymer Adhesion in an Aqueous Environment," *Int. Journal of Adhesion & Adhesives*, Vol. 18, pp. 365~369.
- (3) Wilson, R. G., 1982, "Practical Applications of Structural Adhesives," *Journal of Adhesion*, Vol. 15, pp. 224~225.
- (4) Dorn, L. and Salem, N., 1999, "Plastic Adhesive Joints," *Kunststoffe German Plastics*, Vol. 83, pp. 19~21.
- (5) Dorn, L. and Weiping-Lin, 1994, "Stress and Deformation Analysis of Single Lap Plastic-Steel Adhesive-Bonded Joints," *Welding and Cutting*, Vol. 3, pp. 42~44.
- (6) Wylde, J. W., 1998, "Measurement of Adhesive Joint Fracture Properties as a Function of Environmental Degradation," *Int. Journal of*

- Adhesion & Adhesives*, Vol. 18, pp. 237~246.
- (7) Armstrong, K. B., 1997, "Long-Term Durability in Water of Aluminum Alloy Adhesive Joints Bonded with Epoxy Adhesives," *Int. Journal of Adhesion & Adhesives*, Vol. 17-2, pp. 89~105.
- (8) Li, J. S., Lim, J. K. and Kim, Y. J. 2001, "Stress Distribution and Strength Evaluation of Adhesive Bonded Single-lap Joints," *The Korean Welding Society*, Vol. 19, No 3, pp. 91~96.
- (9) Lim, J. K., Li, J. S. and Lee, H. J., 1999, "A Study on the Evaluation of the Environmental Adhesive-Strength for Adhesively Bonded Joints," *Proc. of the 1999 Autumn Annual Meeting of Korean Welding Society*, pp. 255~258.
- (10) Jun-Hee Song and Jae-Kyoo Lim, 2001, "Bonding Strength in Structural Adhesive Bonded Joint," *METALS AND MATERIALS International*, Vol. 7, No. 5, pp. 467~470.
- (11) Bascom, W. D., 1970, *Journal of Adhesion*, Vol. 2, p. 161.
- (12) Dodiuk, H., Drori, L. and Miller, J., 1985, "The Effect of Moisture Content in Epoxy Film Adhesives on Their Performance, II: T-peel and 105°C lap shear strength," *Journal of Adhesion*, Vol. 19.
- (13) Kinloch, A. J, 1979, "Adhesion 3," *Elsevier Applied Science*, London.
- (14) Lewis, A. F and Gounder, 1981, *Treatise on Adhesion and Adhesives*, Vol. 5, Marcel. Dekker, New York.
- (15) Jurt, R. A, 1988, ASTM STP 981, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA.
- (16) 1994, "ASTM Designation: D 1002-94," *Annual book of ASTM standards*, Vol. 15.06, pp. 45~48.
- (17) 1996, "ASTM Designation: D 2295-96," *Annual book of ASTM standards*, Vol. 15.06, pp. 144~146.
- (18) Fowkes, F. M, 1967, *Adhesion and Adhesives*, Vol. 1, Arnold, London.
- (19) Allen, K. W., 1990, "Adhesion, 15," *Elsevier Applied Science*, London, pp. 1~18/226~248.
- (20) Good, R. J., 1973, "Recent Advances in Adhesion," *Gordon and Breech*, New York.
- (21) Volkerson, O., 1983, "Die Nietkraftverteilung in Zug bean Spruchten mit Konstanten Laschenquerschriften," *Luftfahrtforschung*, Vol. 15, pp. 41~47.