연 구 논 문

이종재료 접착제 접합부의 환경 피로강도 평가

임재규* · 이중삼** · 윤호철** · 유성철**

*전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소
**전북대학교 대학원

Evaluation of Environmental Fatigue Strength in Adhesive Bonding of Different Materials

Jae-Kyoo Lim*, Zhongsen Li**, Ho-Cheol Yoon** and Sung-Chul Yoo**

*Faculty of Mech. & Aero. Sys. Eng., Automobil Hi-technology Research Center, Chonbuk Nat'l Univ., Chonju 561-190, Korea
**School of Mechanical Design, Chonbuk Nat'l Univ., Chonju 561-190, Korea

Abstract

One of the important advantage of adhesive bonded joint can combine the different materials. The joint that bonded by structural adhesive bond must keep a large force and its strength is affected by some environmental factors such as temperature and submergence time in water. In order to advance the fatigue strength of adhesive bonded joint, mostly put a surface treatment on the surface.

This study was researched the effect of air temperature, submergence time, submergence temperature and surface treatment on the fatigue strength. We found that submergence temperature has the most effect and low plasma treatment specimens have the most fatigue strength.

(Received April 2, 2002)

Key Words : Adhesive bonded joint, Environmental fatigue strength, Surface treatment method, Submergence time, Submergence temperature

1. 서 론

접착제 접합부는 사용기간 또는 장시간 방치과정에서 열, 산소, 물 산성물질 등 요인의 작용 하에 기계적 성능이 저하되는 열화현상을 나타낸다. 따라서 사용요구에 따라 저온, 고온, 습도, 열 충격 및 부식환경 등에 견딜 수 있는 각종 내구성을 요구하고 있다. 자동차, 항공기 등에 많이 이용되는 강, 알루미늄 또는 플라스틱과 같은 이종재료는 흔히 접착제 접합으로 결합된다. 그런데 이들 접합부위는 실내외, 계절, 주야 등 온도차이에 의해 주기적인 저온과 고온의 교체를 겪게 되며, 두 피착모재의 열팽창계수의 차이로 인해 접착제 층에서 반복응력을 받아 접합부의 강도 및 내구성을 저하시킨다.

고온환경에서 접합부의 열화는 물리적인 변화와 화학적인 변화를 일으킨다. 물리적 변화의 경우 접착이음부 및 접착제의 상태변화를 일으키며, 열 가소성 접착제는 온도가 Tm 이상을 초과하면 신속히 연화, 용융된다. 또한 열 경화성 접착제는 온도가 Tg 온도를 초과하면 점탄성 상태로 전환되며, 이러한 접착제 상태변화는 접착강도에 큰 영향을 미친다. 화학적 변화의 경우 고온분해 또는 열 산화분해 되며, 특히 고온환경에서 피착모재의 금속계면은 폴리머 재료의 열분해에 촉진작용을 한다.

접합부는 비교적 높은 온도와 습도(또는 침수환경)의 작용 하에서 수분에 의한 열화속도가 훨씬 증가하여 열대의 고온, 고습도 환경에서 접합부의 강도손실은 현저하게 증가한다는 각종 연구보고가 나오고 있다[1]. Bascom은 물의 영향으로 접합강도와 모재의 강도가 감소하여 접착제 층에 흡수된 물의 영향에 의해 접착제의 접합에너지가 감소하고 접착제는 취화됨을 보고한바 있다[2]. Hughes, Boutilier와 Runtherford는 비틀림 전단 Creep 시험을 통해 에폭시 / 티타늄 접합부의 안

정성에 미치는 습기의 영향을 연구하였다[3]. 또한 Dodiuk 등은 습기가 에폭시 필름 접착제 접합 결합부의 T-peel 강도와 전단강도에 미치는 부정적 영향을 보고하였다[4]. 최근엔 Brewe 등이 에폭시 / 알루미늄 결합의 강도를 측정하여 습기와 온도의 영향을 보고하였는데 접착제 층에 물이 침투되어 접착제가 소성화 되고 이로 인하여 접착제 접합 결합부의 강도가 약화된다고 보고하였다[5]. 그러나 이들 보고의 대부분은 접착제 접합부의 환경강도에 대한 연구이며, 환경인자와 내구성의 관계에 대한 규명은 미흡한 실정이다.

접착제 접합에서 모재표면에 대한 처리는 접합강도 및 내구성에 큰 영향을 미친다. 플라스틱 모재의 경우 각종 물리적인 혹은 화학적인 처리를 통해 접착제와의 결합력을 증가시키고 있으며, 저압플라즈마 처리법, Corona 방전에 의한 표면 충격, 화염(Flamming) 처리방법 등이 있다. 금속 모재에 대해서도 산 세척 등 화학처리 방법과 연마, 분사(Blasting)등 물리적인 방법 등이 이용되고 있으며, 적당한 표면처리 방법의 선택 및 적용은 접합부의 강도 및 내구성 증가에 현저한 효과를 가진다[6,7].

따라서 본 논문에서는 공기 노출온도, 수중 침수시간 및 침수온도 등 인자들을 변화시킨 환경에서 여러 가지 표면처리방법에 의해 접합부 모재를 처리한 접착제 접합부의 강도 및 내구성에 대하여 고찰하였다. 또한 환경인자 및 접합부 모재의 표면처리 방법의 영향을 평가하여 접합부의 환경피로 강도를 향상시키는 기초적 자료로 활용코자 한다.

2. 시편 및 실험방법

2.1 시편

시편은 ASTMD1002-94에 근거한 단일겹침 형식이며, 겹침부 길이는 10mm이다. 접착모재는 플라스틱 재료인 폴리카본네이트(PC)와 금속재료인 알루미늄 합금이며, 접착강도를 증가시키고자 접합 이음부에서 표면처리를 행하였다. 시편 표면처리방법으로 코로나(Corona) 방전에 의한 처리, 화염(Flamming)처리 및 저압 플라즈마 처리 등 3가지 방법이었고 비교 재로서 무처리(Non treatment) 모재도 이용하였다. 알루미늄시편의 모재 표면을 아세톤 세척(Degreasing)처리, 모재 표면을 연마한 연마(Grinding) 처리, 시편표면에 고속으로 모래를 분사한 모래분사(Sandblasting) 처리 등 3가지 방법을 택하였다. 표면처리방법 및 그에 따른 12가지 종류의 시험편의 호칭방법을 Table 1에 나타내었고 시편의 설계형상은 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Surface treatment methods and naming method for specimen

		Aluminium plate		
		Degreasing	Grinding	Sandblasting
Plastic (PC)	Non treatment	NOD	NOG	NOS
	Corona spark	COD	COG	COS
	Flaming treat.	FLD	FLG	FLS
	Low Plasma	LPD	LPG	LPS

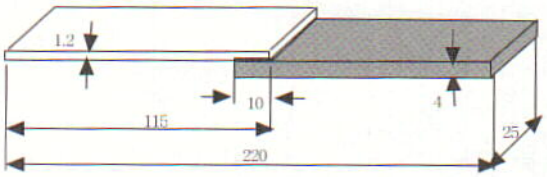

Fig. 1 The adhesive bonded specimen by materials of plastic and aluminum

2.2 시험방법

환경온도 및 침수시간, 침수온도가 접합강도 및 내구성에 미치는 영향을 고찰하고자, 앞에서 언급한 시편들을 서로 다른 공기온도, 침수 시간 및 침수온도의 환경에 노출시켰다. Table 2는 이들 환경조건을 나타내었다. 본 연구에 사용된 인장-전단 시험장비는 Instron사의 만능시험기이며, 하중속도는 시편의 인장-전단특성에 따라 0.2mm/min으로 하였다. 인장-전단 피로시험에서는 싸인파 형태의 반복하중을 부하 하였고, 하중비(R)는 0.04로 하였다. 피로하중은 인장-전단 시험에서 얻은 최대하중을 기준으로 설정하였다. Fig. 2는 인장-전단 및 피로시험에 이용한 시험기의 사진을 보여준다.

Table 2 Environmental condition for test and to manufacture specimens

Air temperature(℃)	20	50	100	200
Submergence time(hours)	25	50	100	300
Submergence temperature(℃)	20	50	75	90

3. 실험결과 및 고찰

3.1 침수 시편 접합부의 무부하 파단

침수시간 및 수온이 시편의 접합강도 및 피로강도에 미치는 영향을 고찰하고자 시편들을 수온이 각각 20℃, 50℃, 75℃ 및 90℃인 수중에 일정시간 침지시켰다.

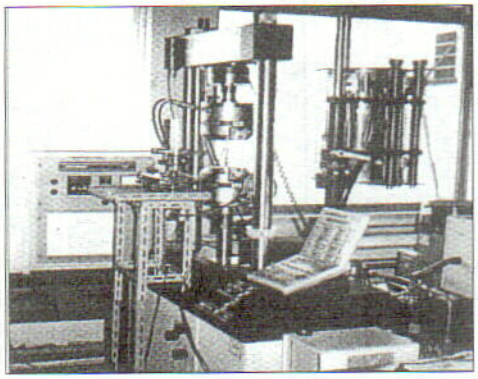

Fig. 2 The photograph of testing equipments

관찰 결과 상온의 수중에서는 300시간 내에 파단 시편이 없었으나 50℃의 이상의 수중에서 부분적인 시편들은 일정기간이 지난 후 무부하 상태에서 접착부가 파단되는 양상을 보였다. 알루미늄 모재의 표면처리 방법 및 플라스틱 모재의 표면처리 방법에 따른 시편들의 무부하 파단 상태는 Table 2의 음영으로 표시된 시편들을 통해 고찰하였다. 시험에 이용된 침지재는 각각 5개로서 250-300시간이 경과한 후 알루미늄 모재를 표면처리한 NOD, NOG 및 NOS는 각각 5개, 4개 및 4개 시편이 무부하 파단되었다. 이 시편들이 50℃, 75℃ 및 90℃의 수중에서 파단 되기까지의 수명은 Fig. 3에 나타내었다. 본 그림에서 상대적인 비교를 위해 300시간이 경과한 후 파단되지 않은 모든 시편의 수명은 500시간으로 가정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 온도가 75℃ 이상일 경우 수명이 현저히 감소함을 알 수 있으며, 이는 저자 등이 진행한 침수 온도가 강판/강판 시편의 강도에 미치는 경향과 유사하였다[8]. 50℃ 수중에서 분사(Sandblasting)처리 된 시편은 세척 처리된 시편보다 비교적 큰 수명을 보이나 온도가 증가함에 따라 수명의 차이는 적었다. 물이 접착제 접합의 강도에 미치는 작용은 크게 접착제 내부의 가수분해와 접합부 계면의 결합력 약화 등이 있으며, 일반적으로 수온의 증가는 이러한 가수분해를 촉진하는 중요한 인자이다.

알루미늄 표면처리 시편의 처리방법에 따른 무부하 파단 수명에 대한 고찰을 통해 분사처리된 시편의 수명이 가장 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 알루미늄 시편은 분사처리되고, 플라스틱 표면을 각각 무처리(Non treatment), 코로나 방전(Corona spark), 화염(Flaming) 및 저압플라즈마(Low plasma)등 4가지 방법으로 처리한 시편에 대하여 상기 3가지 온도의 수중에서 무부하 파단수명을 고찰하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 정리하였다. 플라스틱에 대한 접합부 표면처리 방법에 있어서 시편의 무부하 파단수명은 저압플라즈마 처리법(LPS), 화염처리법(FLS) 및 코로나 방전

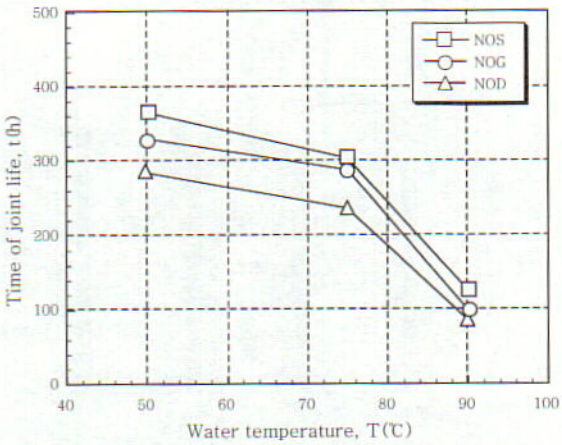

Fig. 3 Life of adhesive bonded joint for plastic specimens of non treatment in water at 3 kinds of temperature

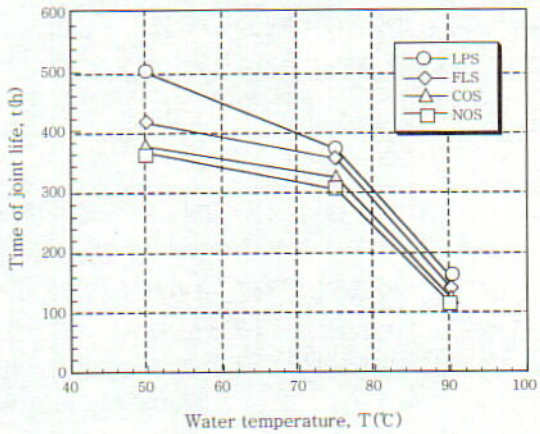

Fig. 4 Life of adhesive bonded joint for aluminum specimens of non treatment in water at 3 kinds of temperature

처리(COS) 순으로 나타났으며, 세가지 경우 모두 무처리 시편(NOS) 보다 수명이 길다는 것을 알 수 있다. 이들 시편에 대한 온도의 영향은 상기의 알루미늄 모재 처리의 경우와 동일하게 온도가 상승할수록 표면처리의 영향력은 작았다.

Fig. 5는 Table 1에 나타낸 12종류의 시편이 50℃ 수중에서 무부하 파단까지의 수명을 나타낸 것으로 그림에서 횡축은 플라스틱에 대한 4가지 처리방법을 나타내고 심볼마크는 알루미늄 모재에 대한 3가지 표면처리 방법을 나타낸다. 플라스틱 모재의 경우, 저압플라즈마 표면처리 방법이 가장 양호한 수명을 보여주며, 알루미늄 모재의 경우, 분사처리된 시편이 가장 양호한 수명을 갖고 있으며, 이들 두 가지 표면처리법에 의해 제작된 LPS 시편이 전체시편 중 가장 큰 수명을 갖고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 저압프라즈마에 의한 플라스틱의

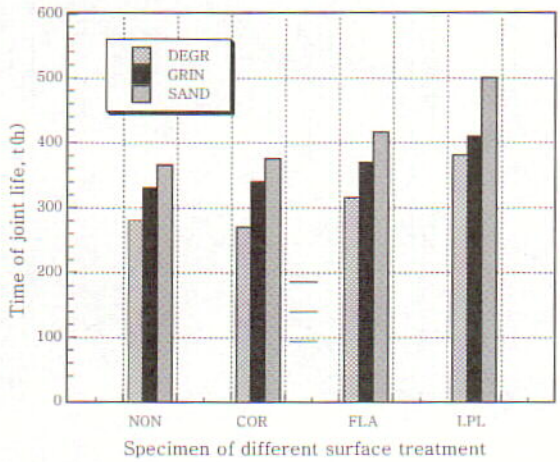

Fig. 5 Life of adhesive bonded joint for different surface treatment in water at 50℃

처리가 내수성에 강하다는 것을 보여주고 있으며 알루미늄의 표면처리에 의해 표면조도가 높은 Sandblasting 처리된 시편이 내구성이 가장 길다는 것을 알 수 있다.

3.2 인장-전단 강도

고온, 고습도 환경은 접착제 접합부 강도를 저하시키는 주요한 인자이다. 일정온도(20℃) 및 일정기간(100시간)동안 수중에 담그고 각종 표면처리방법(Table 1의 음영부분 시편들)으로 처리된 침지재의 접합강도는 Fig. 6의 하중-변위 곡선에 나타내었으며, 플라스틱 및 알루미늄 모재의 접합부에 대한 처리방법에 따라 접합강도에 현저한 차이가 있음을 알 수 있다. 동일한 방법으로 처리된 알루미늄 모재와 플라스틱 모재를 서로 다른 방법으로 처리한 LPS, FLS, COS 및 NOS 시편의 경우, LPS가 가장 높은 인장강도를 갖고 있으며, 표면처리를 하지 않은 NOS가 가장 낮은 인장강도를 가졌다. 2가지 시편의 강도차이는 약 15%로 표면처리의 효과가 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 최대강도를 비교하면 플라스틱의 표면처리 방법에 따라 LPS, FLS, COS 및 NOS순으로 크기가 감소하였으며, COS는 NOS보다 강도가 약 5% 높아 큰 차이는 없었다. Fig. 6에서는 또한 플라스틱 모재는 공시재 자체로 특별한 처리는 없고 알루미늄 모재를 각각 세척(Degreasing), 연마(Grinding) 및 분사(Sandblasting)처리한 시편의 인장강도도 하중-변위곡선을 통하여 나타내었으며, 최대강도의 크기는 NOS(분사), NOG(연마) 및 NOD(세척) 순으로 나타났다. NOS시편과 NOD시편의 최대강도 차이는 약 33%로 상당히 크게 나타났다. 가장 양호한 표면처리 효과를 가지는 LPS시편과 가장 낮은 강도를 보인 NOD시편의 강도차이는 약 53%로 표면처리의 효과를 충분히 알 수 있다. 상기의 결과는 저자 등이 강/플라스틱 시편의 강도에 미치는 표면처리 및 하중속도의 영향에 대한 고찰에서 얻은 결론과도 일치하였다[6].

침수시간이 접착제 접합부 강도에 미치는 영향은 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 침수상태(50℃)에서 약 200시간까지 LPS, LPG 및 COS는 거의 일정한 비율로 강도가 저하되나 200시간 후, 강도 저하비율이 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 COG는 기타 시편에 비해 강도 저하비율이 크고, 거의 일정하게 강도가 저하됨을 확인할 수 있다. 이는 코로나 방전 및 표면 연마한 시편의 계면으로부터 수분이 침투되어 계면의 분리되는 속도가 기타 시편에 비해 빠르기 때문이며, 무부하 상태의 파단도 동일한 원인으로 여타 시편에 비해 시간이 짧게 나타나는 것으로 사료된다.

Fig. 8은 LPS, LPG, COS 및 COG등 시편에 미치는 침수온도(50시간 담금)의 영향을 나타내는 그래프이다. 전체적으로 50℃까지 온도의 변화에 따른 강도의 저하가 크지 않으나 온도의 상승과 더불어 강도저하 비

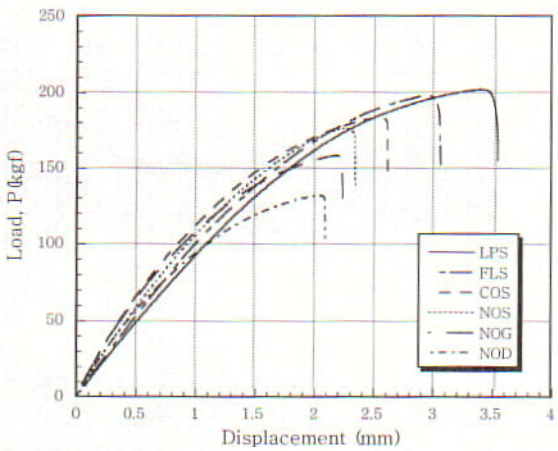

Fig. 6 Effect of surface treatment upon tensile-shear strength(20℃)

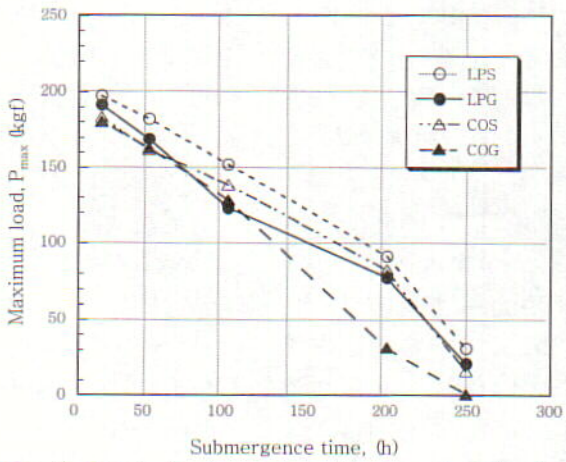

Fig. 7 Effect of submergence time upon tensile-shear strength(50℃)

율이 커짐을 알 수 있으며, 특히 75℃이상의 수온에서 강도 저하의 비율이 뚜렷이 증가함을 알 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 LPS와 LPG의 강도 저하는 COS나 COG보다 적으며, 플라스틱에 대한 동일한 처리방법의 시편은 분사 처리된 알루미늄 시편의 경우가 연마시편보다 강도저하가 낮음을 알 수 있다.

침수 시간과 침수 온도를 각각 변화시킨 동일한 시편의 강도저하를 고찰한 결과, 온도와 시간사이에 일정한 상호 의존관계가 있음을 알 수 있다. 예컨대, LPS의 경우, 50℃의 수중에 20시간 침지시킨 시편과 20℃에서 50시간 침지 시킨 시편의 강도의 차이는 약 5%로 비슷하였다. 그러나 일정한 온도하에서 시간의 증가에 따른 강도의 저하보다 일정한 시간에서 온도의 증가에 따른 강도저하의 효과가 보다 큰 것을 알 수 있다. Fig. 9는 LPS시편의 강도에 대한 시간-온도의 복합영향을 나타내고 있다. 그림에서 일정온도-시간변화는 C-time으로, 일정시간-온도변화는 C-Temp로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 강도저하에 미치는 영향은 시간보다는 온도의 변화가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 접착제 접합의 환경영향 평가에 있어서, 온도의 강도저하 영향은 시험기간을 단축할 수 있는 중요한 방법으로 활용될 수 있다.

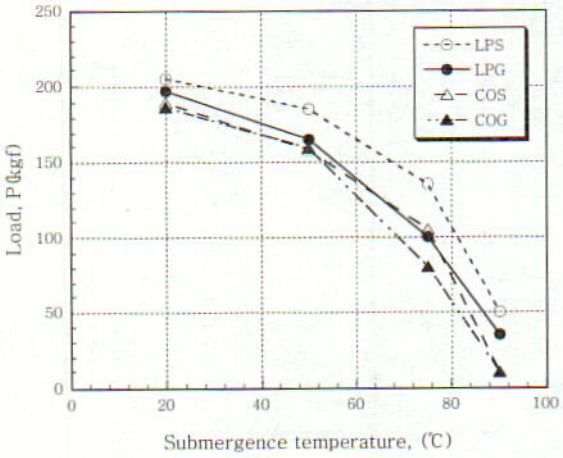

Fig. 8 Effect of submergence temperature upon tensile-shear strength

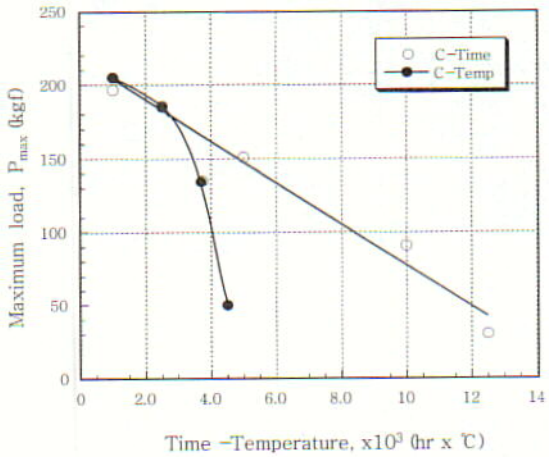

Fig. 9 Effect of time and temperature to strength of adhesive bonded joint

Fig. 10은 공기 온도가 강도에 미치는 영향을 보여준 그림이다. 온도가 증가함에 따라 4가지 시편 모두 강도가 감소하며, 온도가 증가하면 강도의 표면처리 방법에 따른 강도저하의 차이가 커짐을 확인 할 수 있다.

3.3 피로 강도

환경인자의 영향평가는 일정한 환경조건(공기온도, 침수 시간 및 침수 온도)에서 나타내는 피로강도로서 표시하였다. 이를 위해 LPG, LPS, COG 및 COS등 4가지 시편에 대하여 일정한 피로하중 하에서 각각 인장-전단 피로시험을 진행하였으며, 얻어진 하중-싸이클 곡선(P-N curve)에 의해 피로강도를 구하였다. 접착제 접합부가 받는 피로싸이클을 고려하여 피로한도를 10^6싸이클로 가정하면, 이 수명에 대응하는 피로하중(혹은 피로응력) 즉 피로강도를 얻을 수 있다.

Fig. 11은 공기온도 100℃에서 진행한 인장-전단 피로시험결과를 보여준 그림이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 플라스틱 및 알루미늄 모재의 접합부 표면처리 방법에 따라 피로 강도에 상당한 차이를 보였다. 10^6싸이클을 피로한도로 설정할 경우 LPS, LPG, COS 및 COG의 피로강도는 각각 44kgf, 38kgf, 37kgf 및 28kgf로 나타났으며, 가장 양호한 LPS시편의 피로강도는 4가지 시편 중 가장 작은 피로강도를 갖는 COG 시편 보다 약 57% 크게 나타났다. 기타 온도 조건 하에서도 시편의 표면처리와 피로한도의 관계는 유사한 경향을 보였다.

공기온도를 20℃, 50℃, 100℃ 및 200℃으로 변화

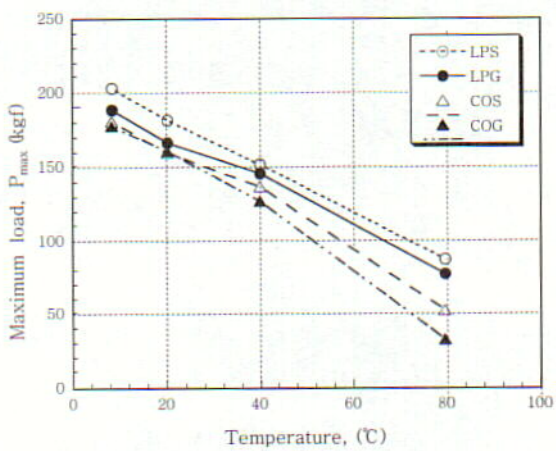

Fig. 10 Relationship between air temperature and tensile-shear strength

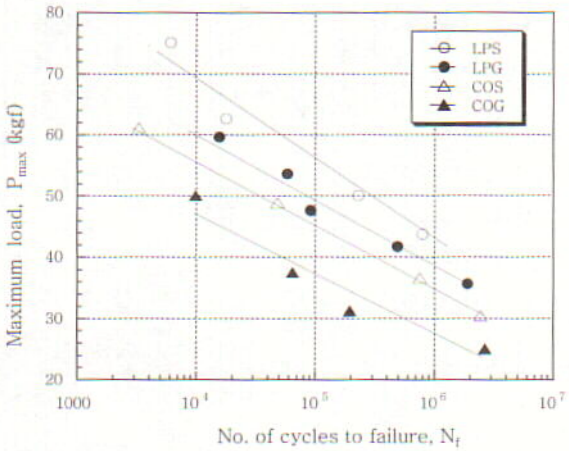

Fig. 11 P-N curves of specimens for different surface treatment in air at 100℃

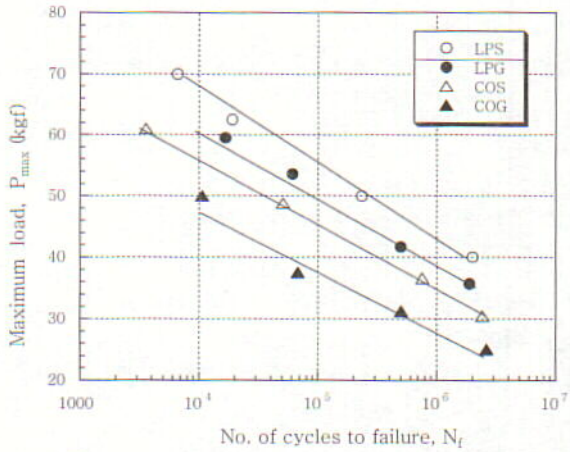

Fig. 13 P-N curves of specimens for different surface in water 100 hours at 20℃

시켜 LPS, COS 두 가지 시편에 대하여 진행한 인장-전단피로시험에서 얻은 피로강도는 Fig. 12에 표시하여 비교하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 온도가 높을수록 피로강도의 저하율은 크게 나타났다. 일반적으로 접착제 접합의 결합력은 화학적인 결합과 기계적인 결합으로 대별되며, 대부분의 경우 두 가지 결합력이 공동으로 작용한다. 온도가 일정한 한계를 초과하면 화학적인 활성의 증가에 의한 결합력의 약화보다 접착제가 모재의 요철사이에 들어가서 형성되는 "쐐기"의 강도가 약화되어 생기는 결합력의 감소 및 모재의 열팽창 계수에 기인하는 결합력의 약화에 기인하는 바가 크게 작용한다. 따라서 Fig. 12에서 나타내는 것처럼 기계적 결합력의 작용이 뚜렷한 LPS시편의 경우가 피로강도 감소율이 크게 나타났다.

Fig. 13은 상온(20℃)의 수조에 100시간 담근 4가지 표면처리의 시편에 대한 하중-싸이클 곡선을 나타낸다. 시편 표면처리의 영향은 공기 온도를 변화시켰을 경우와 동일하게 LPS, LPG, COS 및 COG의 순으로 나타났다. 각각의 피로강도는 42.4, 38, 35 및 27kg으로 나타났다. 따라서 표면처리의 효과는 상온 수조에 담근 시편에 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 14는 50℃의 수중에 담근 4가지 표면처리 시편의 하중-피로싸이클 곡선을 나타내며, 상기와 같은 방법으로 구한 각각의 피로강도는 34.5, 28, 23 및 9kgf으로 나타났다. 그림에서 볼 수 있듯이 상대적으로 높은 온도와 일정한 시간을 경과한 수중 침지시편의 피로강도는 신속히 저하됨을 알 수 있다.

Fig. 15는 20℃와 50℃의 수중에 각각 100시간 침수시킨 시편의 피로강도를 비교한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 50℃의 경우가 20℃의 경우 보다 피로강도의 저하가 크다는 것을 알 수 있다. 50℃인 경우 피로강도는 약 30%정도 저하되어 침수 온도가 피로강도에 미치는 영향은 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 물은 접착제의 소성을 증가시킴으로써 접합부의 강성을 약화시키며, 온도의 증가에 따른 접합부의 피로강도 저하를 야기 시킨다. 따라서 고에너지 표면을 가진 알루

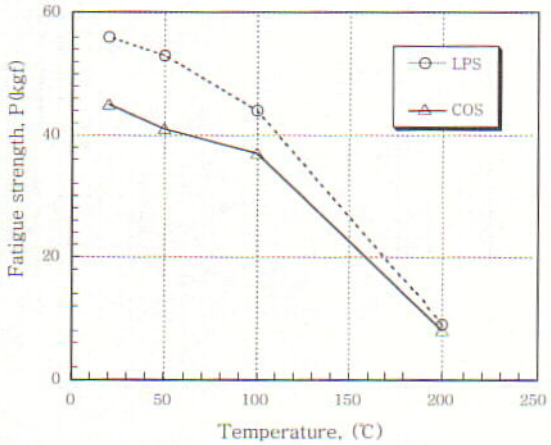

Fig. 12 Relationship between fatigue strength and temperature of air

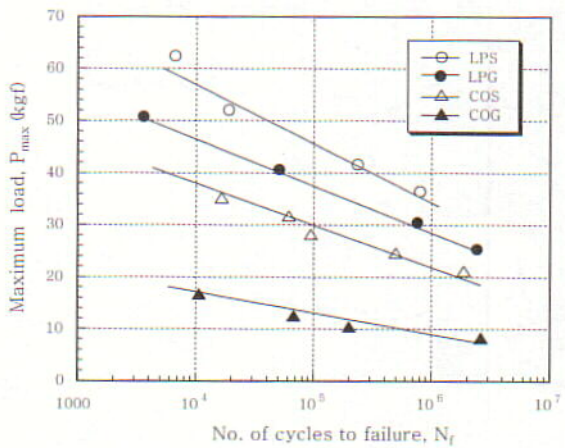

Fig. 14 P-N curves of specimens for different surface in water 100 hours at 50℃

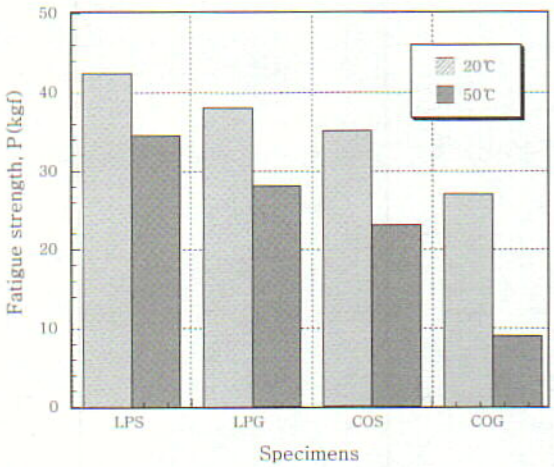

Fig. 15 Relationship between the fatigue strength and water temperature effects

미늄이 플라스틱과 결합하는 경우, 물의 계면침투가 증가할 뿐만 아니라 피로응력에 의해 모재 표면의 요철에 부착된 접착제들의 이탈을 가속시키며, 수온의 상승에 의한 열팽창 계수의 차이도 접착제 강성의 저하에 못지 않은 중요한 요인으로 작용하여 접합부의 피로강도를 약화시킨다.

4. 결 론

구조용 접착제 접합에 의한 이종재료 단일겹침 접합부에 대한 환경강도 및 환경피로강도를 평가하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 환경영향인자 중 침수온도의 영향이 상대적으로 공기온도 및 침수시간에 비해 피로강도 및 시편의 강도에 큰 영향을 미쳤다.

2) 고온 침수환경에서 인장전단 강도는 LPS, FLS, COS, NOS 재의 순서로 강도가 저하되었으며 LPS와 NOS 는 15%의 강도차를 보이고 있다. 또한 알루미늄 모재의 표면처리에 대한 강도는 NOS, NOG, NOD 재의 순서로 강도가 저하되어 sanding 처리가 가장 효과가 큰 것으로 나타났다.

3) 접착제 접합부의 피착모재 표면처리 방법 중, 저압플라즈마에 의한 플라스틱 표면처리재와 Sand blasting처리된 알루미늄 표면처리재를 결합한 방법이 corona 처리재와 grinding 처리재를 결합한 방법보다 53%의 피로강도 향상을 보였다.

4) 피로강도에 대한 정량적인 분석결과 물 온도의 영향은 기타 두 가지 영향인자에 비해 약 30%~50% 이상의 피로강도 저하를 초래할 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해 진행된 KRF-2000-선도연구-E00050 연구과제의 일부분이며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. Brewis D M, etal: Polym. Eng. Sci, 1981, 21 (12), 797
2. W.D. Bascom, J. Adhes. **2**, (1970), 161
3. E. J. Hughes, J. Boutilier, and J.L. Rugtherford: The effect of moisture on the dimensional stability of adhesively bonded joints, in Adhesive joints (L. Mittal, ed), 137, Plenum press, New York, 1984
4. H. Dodiuk, L. Dronri, and J. Miller : "The effect of moisture content in epoxy film adhesives on their performance, Ⅱ, T-peel and 105℃lap shear strength, J. Adhes. **19** (1985)
5. D. m. Brewis, J. Comyn, and S. J. Shalash: The effect of moisture and temperature on th properties of epoxide-polyamide adhesive in relation to it performance in single lap joints, Int. J. Adhes. Adhes. **2** (1982), 215
6. Zhongsen Li, Jung Ha Kuk and Jae Kyoo Lim: Effect of method of surface treatment and loading speed on bond strength for different materials. Autumn annual conference of KWS. **Vol. 36** (Oct. 20-21, 2000), 159
7. P. Molitor and T. Young : Adhesives bonding of a titanium alloy to a glass fibre reinforced composite material, International Journal of Adhesion and Adhesives, **Vol. 22-2** (2002), 101-107
8. Jae-Kyoo Lim, Zhongsen Li and Hue Jea Lee : A Study on the evaluation of environmental adhesive-strength for adhesively bonded joints. Autumn annual conference of KWS. **Vol 34** (Oct. 28-29, 1999), 255