

접착제 접합과 점용접된 버스 폴딩도어 필러의 굽힘피로강도 평가에 관한 연구

윤 호 철*

*전북대학원 기계설계학과

A Study on Cyclic Bending Load of Bus Folding Door Pillar including Adhesive Bonding and Spot Welding

Ho-Chel Yoon*

*Dept. of Mechanical Design, Chonbuk Nat'l University, Jeonju 561-765, Korea

Abstract

This paper is concerned with a study on cyclic bending load of bus folding door pillar including adhesive bonding and spot welding. Three specimen types were used such as spot welding, I-type adhesive bonding and M-type adhesive bonding in this study. The tensile-shear tests were carried out to evaluate the tensile-shear strength of these three specimen types. Also four-point bending tests were carried out to evaluate the static and dynamic bending load. From the results, using adhesive bonding has a better effect on the static and dynamic bending load than using spot welding. Therefore, manufacturing better structural products can be expected by applying hybrid welding using adhesive and spot welding to those.

*Corresponding author : yoonhc@chonbuk.ac.kr

(Received May 18, 2006)

Key Words : Bus folding door pillar, Cyclic Bending load, Adhesive bonding, Spot welding

1. 서 론

접착제 접합은 용도에 따라 강도를 유지하게 해주는 목적으로 사용되는 구조적 접합과 방음이나 방습을 갖게 해주는 목적으로 사용되는 비구조적 접합으로 구분할 수 있다. 대부분의 경우에는 두 장점을 모두 갖게 하도록 고려하여 설계한다. 이것은 접착제 접합이 다른 용접법과는 달리 결합부 전체를 밀착시키는 특성을 이용한 것이며, 이러한 특성은 접착제 접합을 점용접(spot welding)과 비교하였을 때 결합모재를 손상시키지 않으며 잔류응력이 적기 때문에 경우에 따라서는 더 높은 강도를 얻을 수 있다¹⁾. 또한 점용접으로 가공한 제품은 별도의 후속처리가 없는 상태에서 직접 도장할 경우, 용접흔적이 드러나게 되어 외관에 악영향을 미친다. 이러한 문제점을 해결하고자 실제 생산에서는 점용

접의 용접 타점들을 연마하여 흔적을 제거하는 후처리 공정을 추가하고 있다. 접착제 접합의 단점으로는 접착제가 경화되기 위한 시간 및 접착과정이 점용접에 비해 비교적 복잡하고 경화되기 전에는 그 강도를 충분히 발휘할 수 없다. 따라서 실제로 일부 자동차메이커의 경우 자동차에 접착제 접합을 적용할 때 조립을 위하여 접착제 접합과 점용접을 혼용하여 적용한다²⁾. 이때 점용접은 접착제 접합이 박리강도에 취약하다는 단점을 보완하는 역할을 한다. 그리고 접착제의 경화조건은 차체를 도장할 때 가열하는 열에 의하여 최적으로 경화하도록 설계하고 이러한 접착제를 이용하여 접착제 접합을 한다.

본 연구에서는 버스 폴딩도어 구조물을 이용하여 점용접에 접착제 접합의 혼용 가능성을 평가하였다. 특히 도어의 몸체보다는 강도에 취약한 유리창이 들어가는 필러(pillar)부분을 선정하였다. 현재 제조되는 방식으

로는 점용접만을 적용하여 제품을 제작하고 있지만, 여기에 점용접 타점을 단지 초기에 구조물의 형상이 유지될 수 있도록 최소화하고 제품의 후처리를 용이하게 할 수 있도록 접착제 접합공정을 추가하였다. 그리고 이렇게 제조된 구조물을 4점 굽힘시험 및 굽힘 피로시험을 실시함으로써 굽힘피로 강도의 특성에 대하여 비교 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료 및 시험편제조

실제 사용되고 있는 자동차 폴딩도어는 1.2mm 두께의 자동차용 냉간압연강판(SPCC)을 기본으로 블랭킹(Blanking)으로 부품을 뽑아낸 후 50mm 간격으로 점용접으로 부품들을 접합하여 제조한다. 특히 도어의 몸체보다는 강도가 약하고 굽힘하중을 받기 쉬운 유리창이 들어가는 필러부분은 특별히 다른 부분보다 많은 점용접을 적용한다. 그러나 이 부분은 나중에 유리와 고무 등으로 마감하므로 외관에 악영향을 주지 않으며, 접착제 접합을 적용하는 것보다 점용접을 적용하는 쪽이 박리강도 면에서 우수하다고 판단된다.

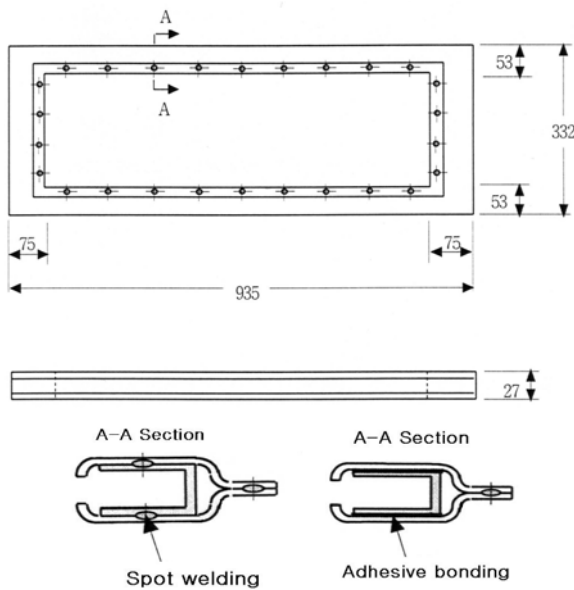


Fig. 1 Geometry of Bus Folding Door Pillar specimen (dimensions in mm)

Table. 1 Spot welding condition of specimen

Button Dia. (mm)	Weld time (Cycle)	Force (N)	Current (A)	Nugget Dia. (mm)
5.5	12	270	9,500	6.2

점용접은 실제 산업현장에서 제품생산에 적용하여 사용하고 있는 일반적인 조건으로 시험편을 제작하였다.

접착제 접합으로 본 실험에 사용된 접착제는 에폭시 성분으로 2가지를 준비하였다. 하나는 차체도장 온도조건에서 최적으로 경화되는 단일 액상 접착제인 I-type 이고, 다른 하나는 상온 경화할 수 있는 2액상 혼합형 접착제인 M-type이다. 이 2가지의 접착제로 구조물을 제작하였다. 제작의 용이함을 고려하여 접착부위는 특별한 화학적 처리를 하지 않았으며 그라인더로 연마한 후 접착을 하였다. 이때 촉침식 전자 표면 조도계로 표면 거칠기(roughness)를 측정된 결과 $Ra = 2.0\mu m$ 을 얻었다. 실구조물 실험에 들어가기에 앞서 Fig. 2와 같이 ASTM D 1002를 참조하여³⁾ 같은 접합조건을 적용한 단일겹침 시험편을 제작하여 인장-전단시험을 실시하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 점용접 구조물과 접착제 접합 구조물에 대하여 정적하중에 의한 4점 굽힘시험과 반복하중에 의한 4점 굽힘 피로시험을 진행하여 각각 정적 굽힘강도 및 동적 반복 굽힘강도를 측정하여 점용접과 접착제 접합방법으로 제작된 구조물의 기계적 특성을 분석하였다.

Fig. 3은 본 실험에 사용된 정적 굽힘시험 및 동적 굽힘피로 시험장치를 나타낸 것이다. Instron-1332의 20톤 만능피로시험기에 4점 굽힘지그 및 구조물을 설치하여 정적 굽힘하중 및 동적 반복 굽힘하중을 가하였다.

정적 굽힘시험은 로드셀의 속도(Cross head speed)를 1mm/min으로 하였고 최대굽힘강도를 나타낼 때까지 충분한 하중을 가하여 하중변위선도를 구하였다. 결과 값은 점용접으로만 이루어진 구조물에서 얻어진 결과와 어느 정도 향상되었는지 비교하여 보았다.

동적 굽힘시험에서는 Table. 2와 같이 정적 굽힘시험에서 얻은 각 구조물의 항복하중과 최대하중을 참조

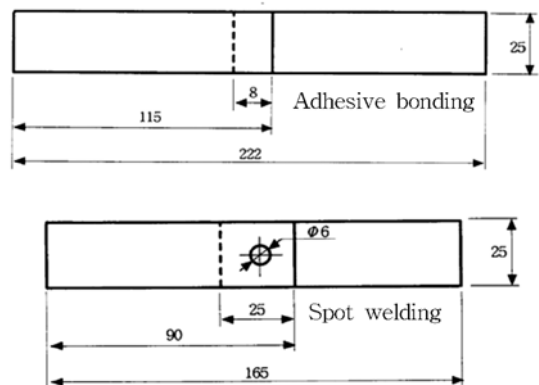


Fig. 2 Geometry of single-lap specimen

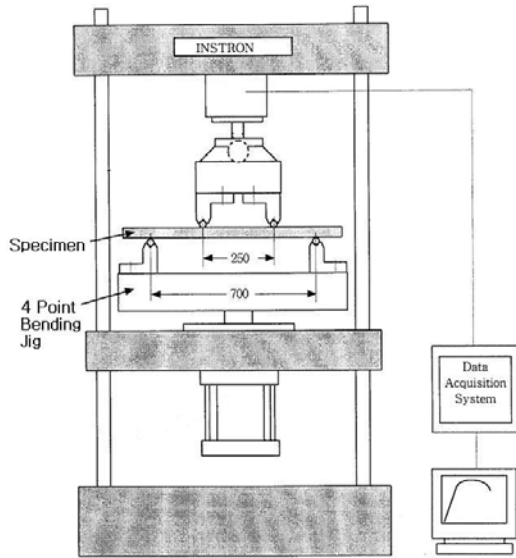


Fig. 3 Schematic diagram of the testing machine

Table. 2 Testing condition of specimens

specimen	Maximum load Pmax (N)			Load ratio, R	Wave form	Cycle (Hz)
	2500	3000	3500			
spot	2500	3000	3500	0.04	Sin	5
I-type	2500	3000	3500			
M-type	2500	3000	3500			

하여 각각 3가지 하중을 설정하였고, 여기서 시험용 구조물의 하중반복수와 그것에 대응하는 변위의 관계를 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단일 겹침 시험편의 인장전단시험

단일 겹침 점용접 시험편은 접착제 접합 시험편보다

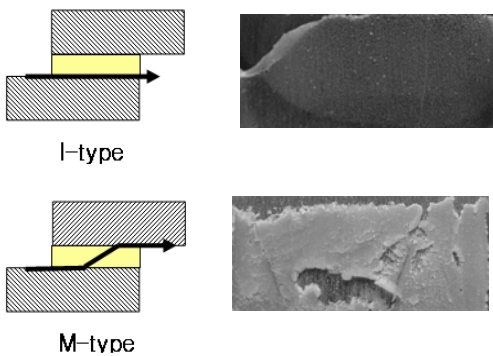


Fig. 4 Photograph of failure surface in bonded area

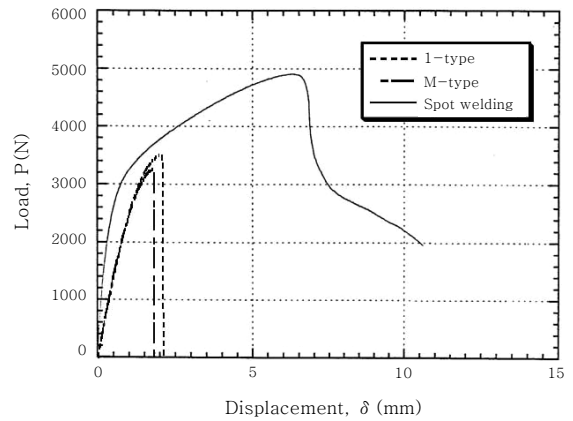


Fig. 5 The result of tensile-shear test of single-lap specimen

높은 강도를 나타내었다(Fig. 5). 그러나 접착강도는 접착부의 겹침길이가 폭이 커짐에 따라 증가할 수 있다⁴⁾. 접착부의 파괴형태를 보면 I-type은 접착제와 모재 사이가 분리되는 계면파괴를 나타내었고, M-type은 접착층 중간으로 균열이 전파하는 층간파괴를 나타내었다. 일반적으로 층간파괴가 계면파괴보다 접착강도가 높은 경향을 나타내는 것으로 알려져 있지만⁵⁻⁶⁾, 이 경우에는 I-type이 접착제 자체의 강도가 크고 모재와 반응성이 크기 때문이라고 판단된다. 접착제 시험편에서 I-type이 M-type보다 약간 큰 접착강도를 가지고 있으며, 이것은 버스 폴딩도어 필러 구조물의 굽힘강도 및 굽힘피로강도에 영향을 준다고 판단된다.

3.2 정적 굽힘시험

버스 폴딩도어 필러부에 굽힘하중을 주는 경우 구조물이 굽어지기 위해서는 구조물을 구성하는 재료가 구부러지는 힘이 필요하고 이때 위판과 아래판의 변형의 차이가 발생하여야 한다. 물론 점용접 부위나 접착제 접합 부위는 이러한 변형의 차이를 막아주므로 구조물이 휘어지려면 접합부의 국부적인 파괴가 수반되어야 한다. 점용접 구조물 및 접착제 접합된 구조물에 대해 진행한 굽힘시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 최대굽힘하중은 모두 접착제 접합 구조물이 점용접 구조물보다 크게 나타났으며 이것을 점용접 구조물의 강도와 비교할 때, 각각 15%, 13.5%정도 더 우수함을 알 수 있다. I-type의 경우 최대굽힘하중에 도달한 이후에 굽힘변형이 일어나기 위하여 M-type보다 상대적으로 높은 하중이 필요하였다. 이것은 앞에서 실험한 단일 겹침 시험편의 결과에서 I-type의 접착강도가 M-type보다 더 크기 때문에 굽힘하중이 가해지는 부재의 변형을 방지하는데 더 큰 역할을 했음을 알 수 있다.

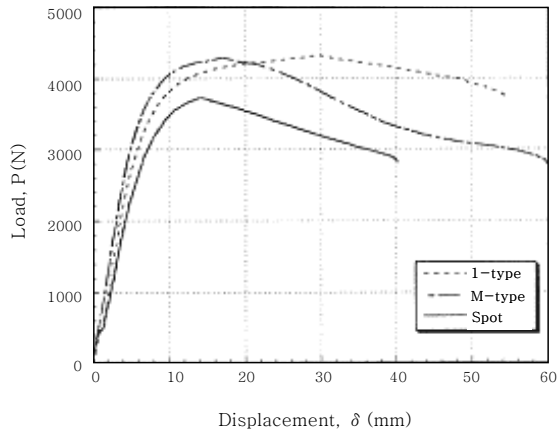


Fig. 6 The result of bending test of door pillar specimen

3.2 동적 굽힘시험

3가지 시험용 구조물에 대하여 정적 굽힘시험에서 얻은 각 구조물의 항복하중과 최대하중을 참조하여 각각 2500, 3000, 3500N의 3가지 하중을 기준으로 하였다. 이 하중에 도달하는 각각의 하중반복회수를 측정하였고 시험용 구조물의 하중반복회수와 그것에 대응하는 변위의 관계를 고찰하였다. 이것을 점용접으로만 이루어진 구조물에서 얻어진 결과와 어느 정도 향상되었는지 비교하여 보았다. 각 하중조건에서 파단에 이르기까지의 반복회수는 Table. 3과 Fig. 7에 나타내었다.

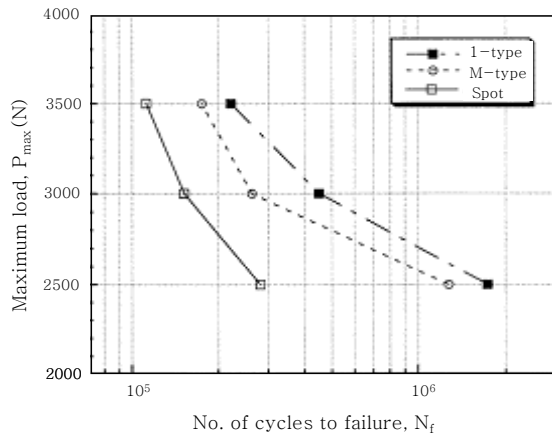


Fig. 7 The relationship between bending cycle and defined bending load

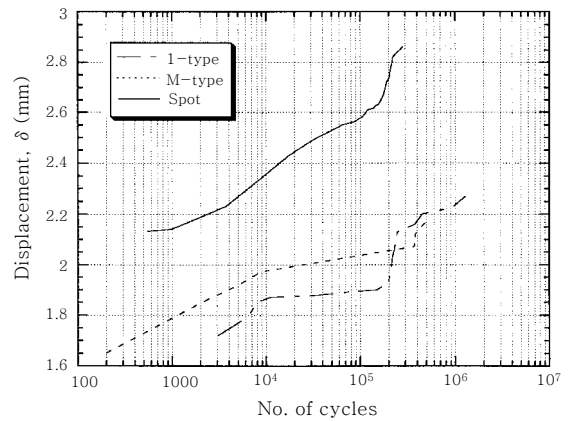
Table. 3 bending cycle at defined bending load

Load Specimen	2500 N	ratio	3000 N	ratio	3500 N	ratio
Spot weld	2.81×10^5	1.00	1.52×10^5	1.00	1.12×10^5	1.00
I-type	1.73×10^6	6.16	3.5×10^5	2.30	2.22×10^5	1.98
M-type	1.27×10^6	4.53	2.62×10^5	1.72	1.75×10^5	1.54

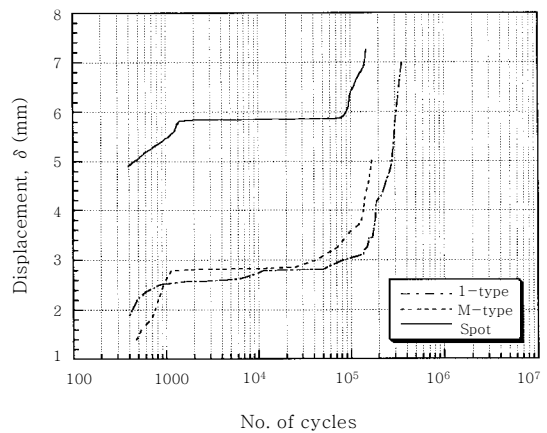
I-type의 접착제 접합에 의한 구조물이 가장 우수한 피로강도를 갖고 있으며, 어느 굽힘하중 조건에 도달하기 위한 굽힘 반복회수는 굽힘하중이 작을수록 차이가 컸다.

동적 반복 굽힘하중을 일정하게 하여 변형량과 굽힘하중의 반복회수에 대한 관계를 측정하였고 이것을 변형량-반복회수 그래프로 나타내었다. Fig. 8의 (a)는 굽힘하중을 2500N으로 고정하여 실험한 결과를 나타내며, (b)는 굽힘하중을 3500N으로 고정하여 실험한 결과를 나타내었다.

초기 변형량은 접합되는 면이 불연속인 점용접으로만 된 구조물의 경우에서 크게 나타났다. 특히 점용접 구조물의 경우 굽힘하중에 대한 변형량이 일정한 구간은 3500N하중에서 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 2500N인 경우 굽힘하중에 의한 변형량이 적어서 변형을 억제하는데 작용하는 점용접의 용접타점의 개수가 적게 관여하기 때문이다. 그러나 3500N의 경우 변형량이 커서 변형을 억제하는데 작용하는 점용접의 타점수도 상대적으로 많고, 굽힘하중에 대한 변형을 억제하는 하중도 많은 점용접부에 굽힘하중이 작용하는 부위



(a) bending load 2500N



(b) bending load 3500 N

Fig. 8 The relationship between displacement and bending cycle at regular bending load

의 거리에 따라 상대적으로 골고루 분포하기 때문에 일정한 굽힘하중에 대한 변형량을 나타낸 원인으로 판단된다. 접착제 접합 구조물의 경우 2500N의 일정한 반복 굽힘하중(Fig. 8(a))에서 I-type이 M-type보다 굽힘하중에 대한 변형량이 일정한 구간이 비교적 낮은 변형량에서 나타난 이유는 I-type이 M-type보다 접착제 자체의 강도가 비교적 높기 때문에 구조물 전체에서 변형이 적게 일어나도록 하는데 도움이 되었던 것으로 판단된다. 그러나 3500N의 일정한 반복 굽힘하중에서는 2가지 접착제 모두 비슷한 경향을 나타내었다. 점용접 구조물이나 접착제 접합 구조물 모두 10^5 이상의 굽힘 반복회수를 넘으면 급격하게 변형이 시작됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 각각 점용접 구조물, M-type 접착제 접합 구조물의 피로시험 후 변형상태를 보여주는 사진이다. 3500N의 일정한 굽힘 반복하중을 1백만 번(1.0×10^6) 가했을 때 최종 변형량은 점용접 구조물의 경우 58mm, 접착제 접합 구조물의 경우 M-type은 41mm I-type은 37mm를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서 점용접과 접착제 접합을 적용하여 제작한 구조물에 대한 정적 굽힘하중 및 동적 굽힘하중을 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 단일 겹침 접착제 시험편에 인장전단하중을 가하

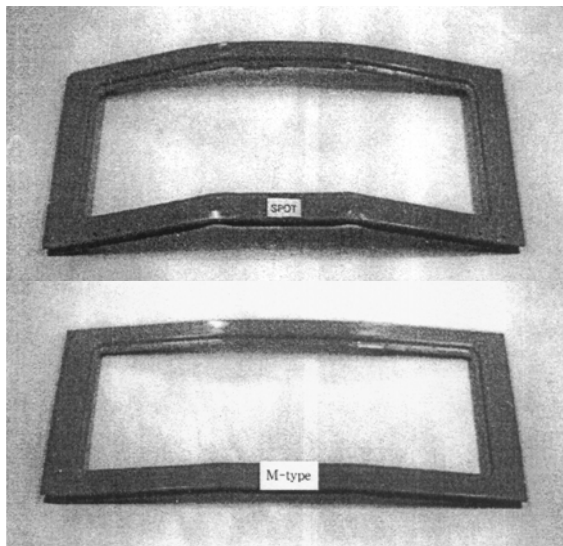


Fig. 9 The relationship between displacement and load cycle at regular bending load

였을 때 접착강도는 I-type이 약간 크게 나타났다. 특히 I-type은 계면과피를 갖지만 접착강도는 M-type의 층간과피 보다 우수하였으며 이것은 버스 폴딩도어 필러 구조물의 굽힘강도 및 굽힘피로강도에 영향을 주었다.

- 2) 구조물에 정적 굽힘하중을 가하였을 때 접착제 접합 구조물이 점용접을 적용한 구조물보다 더 큰 굽힘하중을 나타내었다. 이것을 점용접 구조물의 강도와 비교할 때, 각각 15%, 13.5%정도 더 우수함을 알 수 있다. 특히, I-type의 경우에는 M-type보다 큰 접착강도를 가지고 있으므로 굽힘하중이 가해지는 부재의 변형을 방지하는데 더 큰 역할을 했음을 알 수 있었다.

- 3) 구조물에 동적 반복 굽힘하중을 가하였을 때도 마찬가지로 접착제 접합 구조물이 점용접을 적용한 구조물보다 더 큰 굽힘하중을 나타내었다. 불연속적인 점용접에 비해 균일한 접합면을 가진 접착제 접합은 반복되는 일정한 굽힘하중에서 점용접보다 낮은 변형량을 나타내는 것을 알 수 있었다.

- 4) 이상의 결과로부터 구조물의 하중조건을 고려하여 점용접만으로 제작되는 부재에 접착제 접합기법을 혼용하여 제작하면 정적 굽힘하중과 동적 반복 굽힘하중에 대하여 보다 나은 제품을 제조하는데 도움이 될 것이다. 뿐만 아니라 접합부위가 연속이어서 방음 및 방습의 효과도 기대할 수 있으므로 자동차의 루프(roof) 구조물이나 사이드패널 등 그 적용부위를 확대하여 응용될 수 있는 것이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Eric Lawley : A review of adhesives in the automotive industry today", Adhesion. **15**, 237-249
2. 임재규 : 대형버스 외관류 접착방법에 관한 연구, 현대자동차 지원연구 최종보고서 (1998), 15 (in Korean)
3. ASTM Designation D 1002-94 : Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading(Metal-to-Metal), ASTM standard annual book **vol. 15.06** (1998), 46
4. Zhongsen Li, J. K. Lim, Y.J. Kim : Stress Distribution and Strength Evaluation of Adhesive Bonded Single-lap Joints, KWS **19-3** (2001). 91-96
5. Robert W. messler Jr : Joining of advanced materials, Butterworth Heinemann Ltd, (1993), 108-180
6. D. W. Seo, H. C. Yoon, S. C Yoo, J. K. Lim and Lutz Dorn : Effect of Surface treatment on Adhesive Strength Properties of Al/PC Adhesive Joints, KSME **27-5** (2003), 840-847