

환경영향을 고려한 WELD BONDING
시험편의 강도평가(인장전단의 경우)
Evaluation of Strength of Weld Bonding Specimen
Considering Effects of Environments.(In Case of Tensile Shear)

임 기 창* 신 근 하** 임 석 현***
Ki Chang, Lim Kuen Ha, Shin S.H, Lim

ABSTRACT

Weld bonding can be applied as a combined method of spot welding and adhesive to have more advantages than those.

Weld bonding has many merits that enlarge the fatigue strength of spot Welding and also improve the creep of adhesive.

But it has not been proved well in the various environmental conditions.

In this study, weld bonding test for fatigue properties and tensile strength is presented under such various conditions as temperatures, humidity, and etc.

I. 序 論

Weld Bonding이란 그림1에 나타난 것과 같이 접착과 스폿용접을 병용한 공법으로서, 표1에 스폿용접, 접착, Weld Bonding(이하 WB로 호칭)의 장단점에 대해 나타냈다.

WB를 사용하는 목적은 크게 2가지가 있다.

첫째, 접합특성의 개선으로서, 박리와 충격강도가 낮고 또 내크리프성이 좋지않은 접착접합의 결점을

스폿용접으로 개선하고, 피로특성이 떨어지는 스폿용접의 결점을 응력집중이 작은 접착접합으로 개선하는 것이다.

둘째, 접착공정의 합리화를 목적으로한 임시고정이다. 즉 접착시의 고정 지그대신 스폿용접을하면 열경화형 접착제의 경우 접착조립후 도장의 건조열을 이용하여 접착제를 건조시킨다. 이외에도 접착접합부가 있기 때문에 스폿용접부의 부식이 방지되며 밀폐성도 좋아진다. 또 스폿용접 부근의 국부적 변형이 억제되어 구조물의 강성이 높아진다. 이러한 이유때문에 WB는 항공우주분야, 자동차분야에 일부채용되고 있다. Fig 2는 스폿용접한 자체와 WB차체와의 강성시험결과를 나타낸다. 그 결과 비틀림 강성은 41

* 정회원 : 경원전문대학 소방안전관리과

** 정회원 : 아주대학교 생산공학과

*** : 기아산업

%, 휨강성은 18% 증가되고 있다. 따라서 각 자동차 메이커에서는 이와같은 좋은 특성을 갖는 WB의 채용을 검토하고 있으나 아직 해결되지 못한 문제가 존재하는 까닭에 적극 채용되지 못하고 있다.

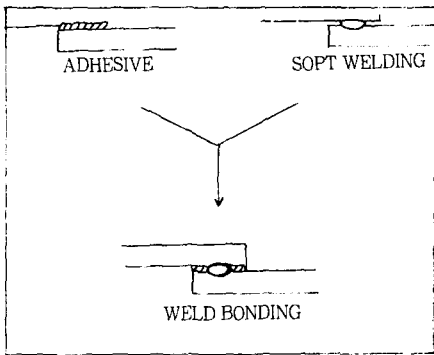


Fig 1. Weld Bonding

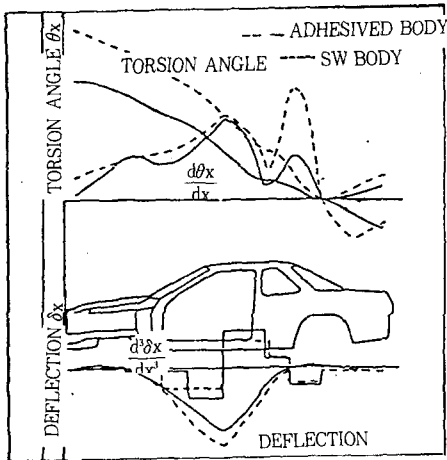


Fig. 2 Body stiffness curve

본논문은 아직 해결되지 못한 문제점중 자동차에 가장 중요한 환경내구강동에 대한 것으로, WB가 온도, THERMAL SHOCK, 열에 의한 열화, 습도, 염분등에 어떠한 영향을 받는가를 가장 단순한 시험편인 인장전단시험편을 이용하여 실험한 결과에 관한 것이다. 본 논문에서는 실온상태의 실험결과와 각종 환경영양 아래서의 실험결과를 비교하고 그 원인을 분석하였다.

II. 實驗篇과 實驗方法

2.1 실험편

Fig 3에 나타난 단순 실험편을 이용하여 WB, 접착접합, Spot Welding(이하 SW로 호칭)의 3가지를 제작하였다.

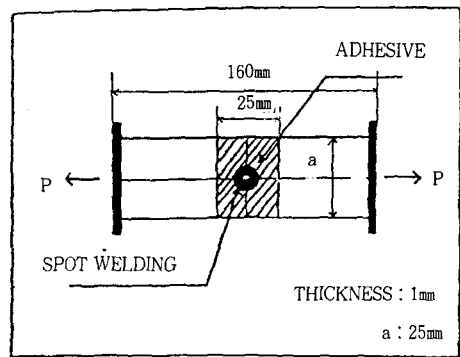


Fig. 3 Specimen

접착접합과 스폿용접을 병용한 WB의 경우는 접착제를 접착부에 도포한 후 접착부중앙에 6의 1점 스폿용접을 하였다. 사용한 접착제는 사용의 간편성도 장공정에서의 건조, 스폿용접가능 등을 고려한 알미늄 가루를 포함한 1액형가열경화에폭시이다. 그의 강판재질, 경화조건, 스폿용접 조건 등은 Table 2에 나타냈다.

Table 2. Manufacturing condition for specimen

material of steel	SPC, $Y_s=18.5\text{kgf/mm}^2$, $T_s=34.1\text{kgf/mm}^2$
SW condition	5 Φ , 7HZ, 7800A
applied pressure	190kgf
hardening condition	180 $^{\circ}\text{C} \times 20\text{min}$

2.2 실험방법

2.2.1 실온에서의 인장실험

인장실험기로 10mm/min의 인장속도로 측정하였다.

Table 1. Characteristics of sopt welding, bonding, and weld bonding

	Merits	Defects
SOPT WELDING	<ul style="list-style-type: none"> * high efficiency * easy to be applied automation * high strength and strength stability * high durability * low cost for operation 	<ul style="list-style-type: none"> * stress concentration * degeneration of bonding material by heat * generation of thermal stress * weakened by vibration and fatigue * poor sealing performance * leaves scratches on surface * difficult to weld with other materials * corrosion
BONDING	<ul style="list-style-type: none"> * stress distribution * suitable for bonding with thin plate * no remaining stress * sealing performance and vibration islation performane * asvailsable to bond with other materials * high fatigue properties * no degeneration of boundin material * clean surface * electric insulation 	<ul style="list-style-type: none"> * weakened by separation and impact * needs time for bonding * poor strength stability * difficult to manage the manufactu-ring process * insufficiency of heat resistance * needs jig for support * poor durability under some environ-ments
WELD BONDING	<ul style="list-style-type: none"> * has both characteristics of bonding and SW * imporve fatigue performance (compared with SW) * improve separation resistance * needs no jig for support * good sealing performance 	<ul style="list-style-type: none"> * electrode contamination by bonding * need study of material surface treatment(the method of surface treatment welding and bonding is opposite each other)

2.2.2 피로실험

피로실험에는 편심추의 회전에 의해 발생하는 원심력을 실험편에 부하하는 방식의 실험기를 사용했다. 실험중 실험편의 신축때문에 실험편에 작용하는 평균하중의 변화를 보상하여 항상 실험편에는 일정하중이 작용하도록 신축보상장치가 붙어있다. 반복하중은 완전 편진(R=0) 정현파이다. 정확한 파단시간을 검토하기 위하여 SW는 내표면에서 발생한 크랙이 진전

하여 외표면까지와서 용접점주변에 붙인 에나멜선을 절단했을때의 반복회수를 N으로 잡았다. 에나멜선이 절단되면 실험기가 멈추게 되어있다.

접착 접합과 WB시험편도 크랙발생이 예상되는 접착부 끝단에 역시 에나멜선을 부착하여 측정하였다.

2.2.3 온도영향 평가 인장실험

-30°C, -10°C, 20°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100

℃, 120℃의 온도상태에서 실온과 같은 인장속도로 실험하였다.

-30℃를 만들기 위해서는 질소가스를 사용했으며 그의 20℃ 이상은 전기로를 이용하였다. 실험편은 로내에서 각각 10분씩 유지한 후 같은 온도하에서 인장실험을 하였다.

2.2.4 열에 의한 열화인장실험 및 피로실험

90℃의 오븐에 5, 10, 15, 20, 25, 30일간 유지시킨 후 실온에 꺼내 1일 방치 후 인장 실험을 실시하였다. 피로강도 실험은 30일간 오븐에 넣어둔 3가지 실험편을 1일간 실온방치후 2.2.2 피로 실험과 같은 방법으로 실시하였다.

2.2.5 열충격

-20℃에서 1시간 유지후 80℃에서 다시 1시간 유지하는 과정을 1사이클로 잡아 5사이클까지 실시한 후 인장 실험 하였다.

2.2.6 습도영향평가 인장실험

60℃ 98%RH 상태에서 5, 10, 15, 20, 25, 30 일 유지후 인장실험을 실시하였다. 피로 실험은 30 일간 유지한 3가지(WB, SW, 접착)실험편을 2.2.2의 피로실험과 같은 방법으로 실시하였다.

2.2.8 염분영향평가 인장실험

40℃의 5%NaCl 수용액에 5, 10, 15, 30일 유지 후 인장실험을 실시하였다.

2.2.9 내수성 평가 인장 실험

40℃순수한 물에 5, 10, 15, 30일 유지후 인장 실험을 실시하였다.

III. 實驗結果 및 評價

3.1 실온에서의 인장 및 피로실험

Fig 4에 3종류 실험편을 인장했을때의 하중 - 스트레인곡선을 나타냈다.

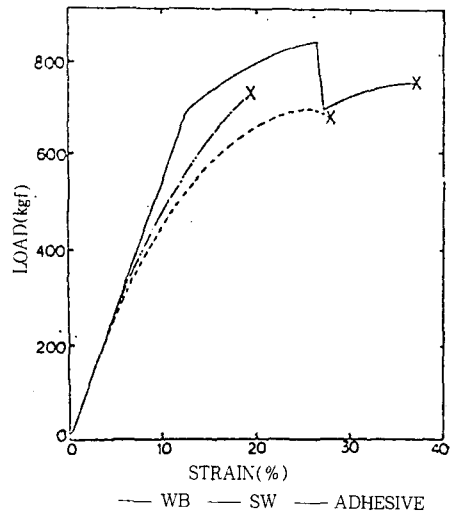


Fig. 4 Load-Strain Curve

그림으로부터 접착접합 및 SW의 파단점은 1개이나 WB경우는 2개의 파단점을 갖고있다.

첫번째 파단점은 접착부끝단에서의 접착부 파단에 의한것이고 두번째 파단점은 스폿용접의 파단에 의한 것이다. 그림에서 WB는 SW 및 접착접합보다 최대 인장 하중이 증가하고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 시험편의 강성이 증가했고, 또 스폿 용접만으로 받던 하중이 접착면에 의해 분산되었기 때문이다. 실험편의 강성이 올라 갔다는 것은 그림5로 설명할 수 있다.

스폿용접의 경우 인장 하중을 받으면 실험편이 Fig5 SW와 같이 변화하여 용접점에 큰 모멘트가 걸린다. 그러나 WB의 경우에는 접착에 의해 강성이 증가되어 Fig5의 아래그림과 같이 변화하기 때문에 시험편의 접합면은 주로 전단하중을 받게 된다. 잘 알려진 바와 같이 접착제는 전단하중이 박리하중보다 몇배나 높기 때문에 WB가 SW보다 인장전단 하중이 높아지게 된다.

여기서 일반전인 응력-스트레인 곡선을 이용치

않고 하중-스트레인 곡선을 이용한 이유는 환봉재와 같은 단면이 일정한 일반시험편에는 인장하중만 작용하므로 하중을 단면적으로 나누어 응력을 구할 수 있으나 스폿용접 시험편은 Fig5와 같은 편심하중에 의해 접합부에 전단과 인장이 작용하여 그림과 같이 복잡하게 변형하여 응력을 정확히 구할 수 없기 때문이다. 응력이 분산된것에 대해서는 후술의 피로 강도에서 논하기로 하겠다.

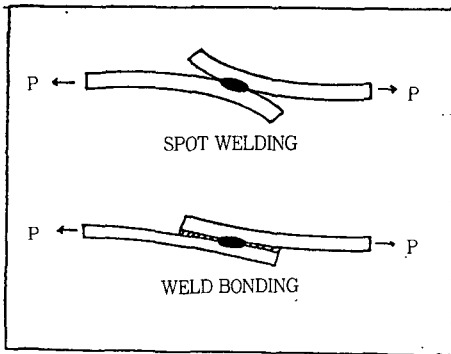


Fig. 5 Deformation of specimen under tension

Fig6에 3가지 시험편의 피로성능을 나타냈다. 그림에서 스폿용접에 비해 WB의 피로강도가 크게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 즉 접착과 스폿용접의 복합효과가 나타나고 있는것을 알 수 있다. 이 복합효과는 스폿용접만으로는 복합효과가 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이 복합효과는 스폿용접만으로는 용접점끝단에 응력이 집중하지만 접착제를 병용함으로써 응력이 접착면적 전체에 걸쳐 분산되기 때문이다. Fig7은 스폿용접과 WB의 탄성론에 입각한 이론 해석 결과로서 이론해석 내용을 간단히 요약하면 다음과 같다.

Fig3과 같은 시험편에 인장력이 작용하면 접합부에는 전단력S가 작용한다. 이 전단력을 각판의 중앙면에 옮겨서 생각하면 면내력S와 굽힘모멘트 S.t/2 (t는 판두께)가 작용하는것을 알 수 있다. Fig5에서 판이 벌어지는 현상이 일어나는 것은 바로 이 굽힘모멘트 S.t/2 때문이다.

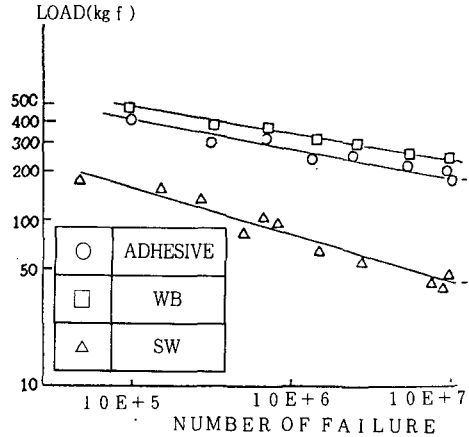


Fig 6. The result of fatigue test under room temperature

이론해석은 면내력S가 작용할때를 평면응력 문제로 계산하고, 굽힘모멘트 S.t/2가 작용할때를 판의 굽힘문제로 계산하여 최종적으로 두 경우의 응력을 합하여 인장시험편의 응력을 구한것이다.

Fig7의 응력은 접합면 내면의 시험편 길이 방향응력을 평균응력으로 나눈것으로(=P/at, Fig3참조) 평균응력의 15.6배이던 스폿용접.

용접점끝단의 응력이 접착에 의해 소멸되고 그대신 평균응력의 4배 정도의 응력이 접착면 끝단에 발생

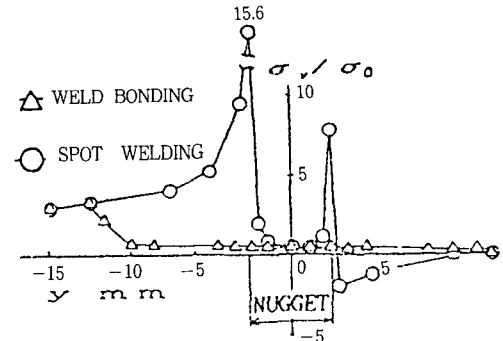


Fig. 7 Stress of welded surface

하고 있다.

즉, 접착에의해 최대응력이 약 1/4로 감소하기 때문에 WB의 피로강도가 스폿용접보다 높아짐을 알 수 있다. 또 접착에 비해서 WB의 피로강도가 높은

것은 접착의 경우 인장반복 하중에 의하여 크리프변형이 크지만 스폿용접을 병행함에 따라 그 변형량이 작아졌기 때문이다. Fig8에 WB의 크리프변형을 고려한 탄성해석의 결과를 나타냈다. 접착부의 끝단에서 큰 값을 갖는 접합면의 전단응력은 시간이 지남에 따라 감소하는 한편, 스폿용접의 전단응력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 스폿용접부의 하중분담률이 시간이 지남에 따라 높아지는 것으로 이러한 이유 때문에 접착접합보다 WB의 피로수명이 높아진 것이다.

장강도가 급격이 떨어진다. 그러나 WB의 경우 제1인장강도(접착제파괴)는 접착접합과 마찬가지로 저하하지만 제2인장강도(스폿용접제파괴)는 SW와 같은 인장강도를 유지하기 때문에 접합의 단점을 스폿용접이 보완하여 고온에서의 성능이 월등히 향상되어 있음을 알 수 있다.

또 SW보다 WB의 제2인장강도가 고온으로가면 비슷해지지만 거의 전온도 영역에 있어서 높다. 이것은 접착이 SW를 보완하고 있기 때문이다.

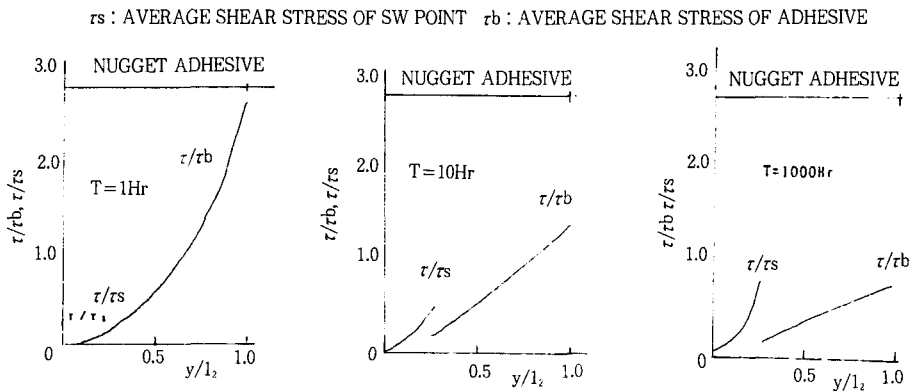


Fig. 8 Shear stress of WB welded surface

3.2 온도영향평가 인장 시험

Fig9에 -30°C -120°C 까지의 온도상태에서 인장시험을 한 결과를 나타냈다.

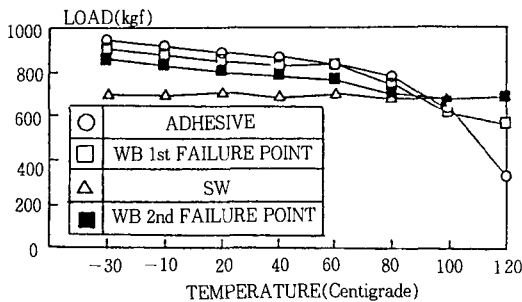


Fig. 9 The result of tension test under variation of temperature

온도가 일정온도이상 올라가면 접착접합의 경우 인

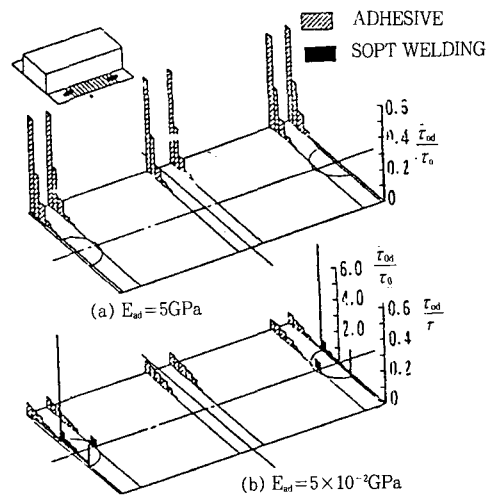


Fig. 10 Shear stress under variation of temperature

Fig10은 그림 좌상단과 같이 WB를 한 폐단면재가 가열되어 접착제의 탄성률이 5GPa에서 5E-2GPa로 변화했을때의 접착부분과 스폿용접 부분의 전단응력을 나타낸 것이다. 접착제의 연질화에 의해 스폿용접의 용접점부분이 대부분의 힘을받아 응력이 높아짐을 알 수 있다.

Fig11은 탄성률이 변함에따른 접착층의 하중 분담율을 나타내는데 상온(E=5GPa)에서는 접착층의 하중분담율이 거의 100%에 가깝지만 온도 상승에 의해 탄성률이 떨어지면 반대로 거의 0에 가깝게 떨어진다.

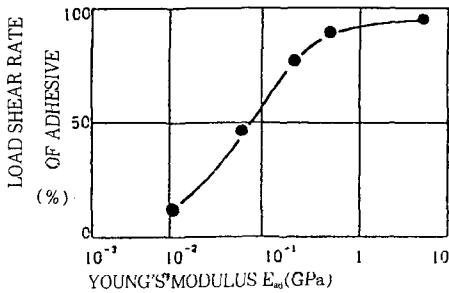


Fig. 11 Load shear rate by change

Fig12는 90°C로 5~30일간 유지시킨 후 인장시험한 결과로 시간이 지나도 3가지 시험편 어느것도 열화하지 않는다. 이 시험은 로에서 꺼낸후 실온에서 1일 방치후 시험하였기 때문에 접착제의 탄성률이 다시 높아졌기 때문이고 또 접착제 자신도 열에 그다지 열화하지 않기 때문으로 보인다.

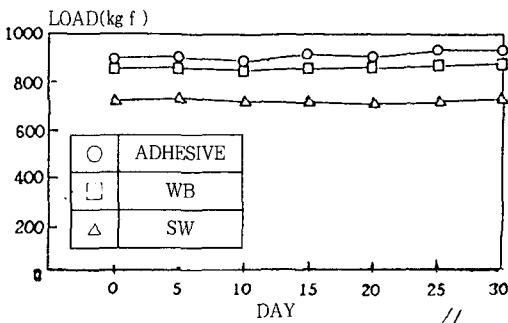


Fig. 12 The result of heat aging tensile strength test

3.3 열에 의한 열화인장 시험 및 피로 시험

Fig13에 30일간 유지시킨 시험편의 피로시험 결과를 나타내고 있으나 인장시험과 마찬가지로 실온에서의 시험결과(Fig6)와 거의 동일한 값을 보이고 있다.

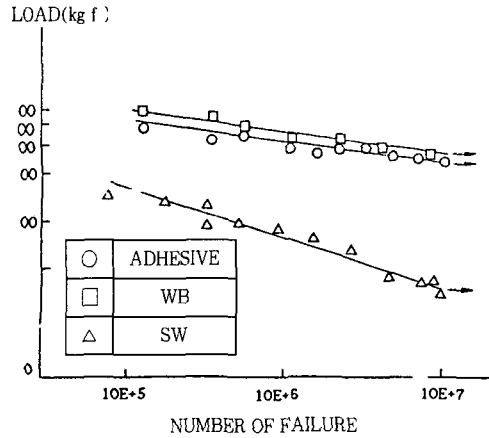


Fig. 13 The result of heat aging fatigue test

3.4 열충격 시험

Fig14에 열충격 시험 결과를 나타냈다. 사이클수가 많아짐에 따라 인장강도가 저하하기는 하나 그다지 큰 변화는 없었다. 3.3절의 열화시험때와 마찬가지로 접착제가 그다지 열에 의해 충격을 받지않는것 같다.

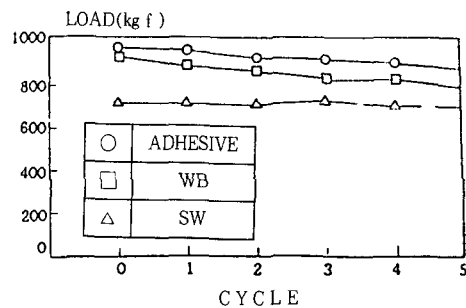


Fig. 14 The result of thermal shock test

3.5 습도영향평가 인장 및 내구 시험

Fig15에 습도에 의한 영향을 보기위한 인장시험 결과를 나타냈다. 지금까지 다른 시험에서는 모든면에서 WB가 접착보다 성능이 우수했으나 이 경우에는 반대의 결과로 나타났다. 그러나 SW가 비교하면 거의 모든 시간대에서 WB의 강도가 떨어지지 않음을 알 수 있다.

또 습도에 의해서는 SW는 거의 영향을 받지 않으나 접착제는 수분에 의해 강도가 떨어짐을 알 수 있다.

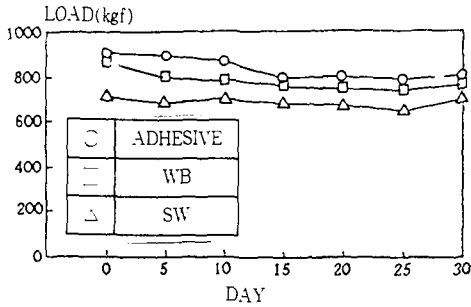


Fig. 15 The result of tensile strength test by humidity

Fig16에 60°C에서 습도를 변화시켰을때의 접착제 접합의 전단강도의 변화를 나타내는데 60°C 90% 경우 처음 90kg/cm 이던것이 10kg/cm으로 떨어지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 시험은 최고 30일까지 실시하였지만 그 기간을 늘이면 더욱 접착제의 성능은 저하될것으로 판단되나 WB의 경우 강도가 저하되지 않는 스폿용접의 도움으로 SW이하로는 저하되지 않을것으로 기대된다.

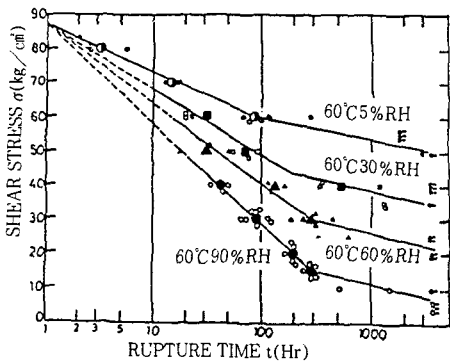


Fig. 16 Decline of welding strength by change of humidity

그러나 여기서 주목해야 할 점은 접착제에 의한 밀폐성이다. SW시험편도 30일 밖에 시험하지 않았지만 시간을 증가시키면 녹이 크게 증가되어 SW도 강도가 떨어진다. 그러나 WB는 밀폐성이 있는 접착부분이 스폿용접을 보호하고 있기 때문에 녹슬기 어렵다. 실제로 시험후 3종류 시험편을 관찰해보면 SW는 시험편 접착면내에 녹이 발생했지만 WB나 접착 접합의 경우 접합면에 전혀 녹이 발생하지 않았다. 이러한 이유로 WB는 수분에 의한 접착제의 열화를 스폿용접으로 방지하고 또 스폿용접부가 녹스는 것을 접착제가 보호하는 상호보완 작용으로 내구성이 크게 증가할것으로 판단된다.

Fig17은 30일 경과후에 실시한 피로 시험결과를 나타냈다. 30일간이라는 짧은 시간때문에 녹이 SW 시험편에는 별영향을 끼치지 못하여 SW의 경우는 실온에서의 결과(Fig6)과 거의 동일하다. 그러나 WB와 접착의 경우는 인장시험결과와 마찬가지로 수분에 의해 열화되어 강도가 크게 떨어졌음을 알 수 있다.

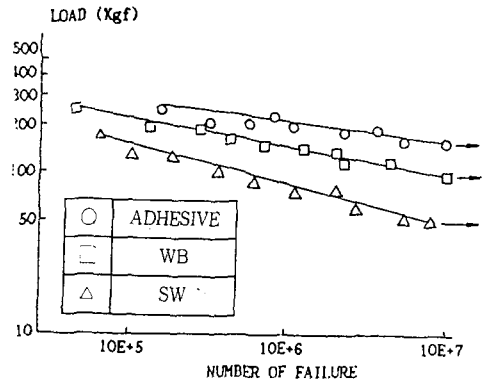


Fig. 17 The result of fatigue test by humidity

시간이 더욱 경과되면 WB 접착접합과 SW의 간격이 더욱 좁아지리라는 것은 Fig16로서 알 수 있다. 또 접착제의 밀폐 특성이 WB에 나타나려면 더욱 오랜 기간이 소요될 것이다.

3.6 염분 및 내수성 영향

Fig18과 Fig19에 염분 및 내수성 영향평가를 위한 인장 시험결과를 나타냈다. 두 결과를 보면 습도영향

시험과 거의 같은 결과를 보이고 있다.

WB는 초기에 급격히 강도가 저하하다가 곧 그 이상의 급격한 저하는 하지 않고 있다.

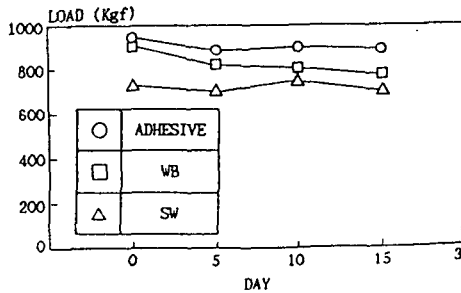


Fig. 18 The result of strength by salt

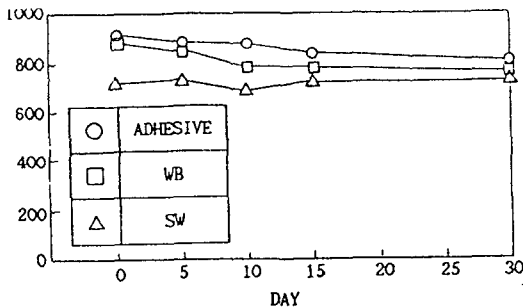


Fig. 19 The tensile strength test for water-resistance

습도, 내수, 염분의 모든 조건하에서 접착제는 시간이 경과함에 따라 서서히 강도가 저하하고 있으며 SW는 어떠한 조건에도 거의 변화가 없었다.

IV. 結 論

본실험은 최고 30일까지 실시하여 얻은 결과로, 아래와 같이 그결과를 나타내었으나 더욱 정확한 자료를 얻기 위해서는 더 많은 시간이 필요하다는 것을 느꼈다. 이점에 대해서는 향후 연구과제로 삼을 예정이다.

① 실온의 경우 WB는 SW보다 강성 및 응력분산 효과로 인장강도 및 피로강도가 높다.

② 실온의 경우 WB는 스폿용접이 접착의 크리프

변형을 줄이기 때문에 접착접합보다 피로강도가 높아진다.

③ 접착접합은 온도가 $-30^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$ 까지는 실온과 인장강도가 비슷하나 그이상에서는 급격히 떨어진다. 그러나 WB는 접착제 성능이 떨어져도 스폿용접이 하중을 받아주기 때문에 SW이하로 떨어지지 않는다.

④ 열에 의한 열화와 열충격의 영향은 크지 않다.

⑤ 습도에 의해 접착제 성능이 저하되나 SW는 저하되지 않는다.

⑥ WB는 수분에 의한 열화를 스폿용접으로 방지하고 스폿용접점이 녹스는 것을 접착제가 보호하는 상호보완 작용으로 내구성이 크게 증가된다.

⑦ 염분 및 내수성은 습도의 경우와 거의 같은 인장강도를 갖는다.

참고문헌

- 1) 임석현외 2명, 십자형 1점 점용접 이음의 응력분포에 대한 이론해석 대한기계학회, 추계학술대회 초록집, pp. 112, 1989
- 2) 배동호, 인장-전단하중을 받는 일점 SPOT용접재의 파괴역학적 피로강도 평가 자동차 공학회지, 제13권 제5호 pp. 35, 1991
- 3) 田野外2名, 構造用, 接着劑による 車體剛性向上の検討, 日本自動車技術會, 學術講演會前刷集 872, pp.675, 1987
- 4) 淺野外2名, 引張せん斷荷重を受けぬ WELD BOND 單純重ね継手の應力解析, 日本自動車技術會論文集 No.43, pp.154, 1990
- 5) 富岡昇外4名, 接着層のクリープ變形を考慮した WELD BOND 重ね 継手の 應力解析, 日本自動車技術會, 學術講演會前刷集 892, pp.369, 1989
- 6) 淺野外2名, ねじりを受けぬ WELD BOND 箱形斷面材の應力解析, 日本自動車技術會論文集 Vol. 22, No.2, pp.108, 1991
- 7) 原賀外2名, 鋼板接着接合物の耐久性に及ぼす 外部應力と温度の影響, 日本接着協會誌, Vol.19, No.8, pp.333, 1983