

냉간압연강판 접착 및 기계적 프레스 접합부의 피로강도 평가

김 호 경

서울산업대학교 자동차공학과
(2009. 7. 24. 접수 / 2010. 2. 5. 채택)

Fatigue Strength Evaluation of Adhesive Bonded and Mechanical Pressed Joints of Cold Rolled Steel Sheet

Ho-Kyung Kim

Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Technology
(Received July 24, 2009 / Accepted February 5, 2010)

Abstract : The tensile and fatigue experiments were conducted with tensile-shear specimens for investigating the strength of adhesive bonded and mechanical press joints of SPCC steel sheet used in the field of the automobile industry. The optimal punch press force was evaluated 50kN for combining epoxy adhesive bonding and mechanical press joining with a diameter of 8.3mm using SPCC sheet with a thickness of 0.8mm. The combining epoxy adhesive bonding and mechanical press joining exhibits the maximum tensile force of 750N. The fatigue strengths of the combination of adhesive bond and mechanical press joint and pure adhesive joint were evaluated 370N and 320N at 106 cycles, respectively. These values correspond to 22% and 20% of their maximum tensile forces, respectively. However, the fatigue strength of the combination of adhesive bond and mechanical press joining was much lower than that of pure mechanical press joining.

Key Words : tensile-shear, adhesive bonding, mechanical press joining, fatigue strength

1. 서론

충돌 및 추돌로 인해 손상되어진 차체 패널을 보수하는 공정에서 주로 이루어지는 접합형태는 MIG 용접과 점용접이 주로 적용되고 있다. 보수 작업에서 점용접의 사용과 함께 차체 외판 패널에 적용되고 있는 냉간 압연강판의 접합 방식에 관심이 대두되고 있는 것이 접착 접합과 기계적 프레스 접합 방식이다. 또한 일부 고급 차종 및 스포츠 카 등에 제한적으로 적용되어지는 알루미늄 합금 소재의 양산 차량이 증가함에 따라 이들 두 접합법이 대체 접합법으로 유망하게 거론되어 그 적용기술이 활발히 연구되고 있다¹⁾.

1980년대에 개발된 기계적 프레스 접합은 점용접보다 에너지의 소모가 적어 생산비용이 절감되고 코팅된 판재나 접착제와 함께 사용이 가능하며, 이종 재료의 접합에도 사용이 가능하다. 또한 펀치와 다이가 전극에 비해 비싼 단점이 있지만, 별도의

고정용 부품 없이 작은 공기압과 전기적인 힘만을 사용하여 접합이 가능하고 수명이 길기 때문에 점용접에 비해 생산원가가 훨씬 적게 드는 장점을 가지고 있다²⁾. 기계적 프레스 접합 기술은 자동차 생산 산업 뿐 아니라 보수 작업에서도 잠재적으로 중요한 접합 방법이라고 할 수 있다. 현재 기계적 프레스 접합 방법은 국내 자동차에서는 적용 검토 단계에 있으나, 해외 자동차 업계에서는 BMW, Jaguar, Audi에서 적용하고 있다³⁾.

접착 접합은 매끈한 표면상태, 기타 기계적 체결을 위한 구멍이나 별도의 가공이 필요가 없어 구조 효율이 감소하고, 서로 상이한 재료간의 접착이 가능한 장점을 가지고 있다. 접착 접합은 차체 보수 작업에서 용접으로 인해 발생할 수 있는 누수 및 녹 발생을 방지하기 위해 연구개발된 것으로 현재 쿼터패널 및 루프패널의 접합에 적용되고 있다. 특히 박강판 구조에서는 접착층의 전단 변형보다 판의 외면 굽힘 변형측이 구조물 전체의 변형에 영향을 주기 때문에 접착 접합 구조물이 용접 구조물보다 고강성을 갖는다고 보고되어 있다⁴⁾. 단순 접

침 접착접합에 있어서 접착부의 인장강도에 미치는 영향인자는 랩의 길이, 피착재의 두께, 접착층의 두께, 피착재의 종류, 접착제의 종류 등이다. 또한 랩의 길이는 파단강도와 반비례하며, 피착재의 두께는 얇으면 파단강도가 저하하는 것으로 알려져 있다⁵⁾.

지금까지 기계적 프레스 접합 및 접착의 피로 강도에 대한 연구는 미비하다. Carboni 등⁶⁾은 기계적 접합부의 인장-전단 시험편에 대한 피로 거동을 연구하였다. 이들 결과에 따르면 피로한도는 최대 강도의 50%로 점용접부의 최대 강도대비 피로강도보다 높다고 발표하였다. Sawhill 등⁷⁾은 정적인 장강도는 기계적 접합부가 점용접부에 비해 낮은 반면, 장수명 피로구간에서는 두 접합부가 유사한 피로강도를 보인다고 보고하였다. 이는 점용접부에서 날카로운 균열 역할을 하는 너جت 부위가 기계적 접합부에서는 예리하지 않기 때문으로 분석하였다. Davies 등⁸⁾은 기계적 접합부의 전단강도는 사용된 재료의 물성치, 판재두께, 작용하중의 각도의 함수로 예측하는 방법을 제시하였다.

기계적 접합의 문제인 모든 하중을 접합부 버튼에서 지지하는데 비틀림이나 굽힘에 대하여 취약함을 해결하기 위하여 접착 접합의 장점인 모든 접착면에서의 하중을 지지하는 장점과 이를 결합할 경우 우수한 접합 강도가 예상된다. 따라서 본 연구에서는 기계적 프레스 접합과 접착 접합을 혼용하여 접합부의 강도를 평가하고자 한다. 이를 위하여 자동차 차체 재료에 적용중인 냉간압연강 판재를 접착으로 접합한 후 기계적 프레스 접합으로 접합하여 인장-전단 시험편(tensile-shear)을 사용하여 강도를 측정하고자 한다. 시험편 제작을 위하여 시편 제작시 접착 후 최적의 펀치 작용하중을 결정하여 제작된 시험편을 제작하였으며 이에 대한 인장 및 피로강도를 평가하였다.

2. 실험

2.1. 시험편 제작

본 연구에서 접착 접합 및 기계적 프레스 접합으로 시험편 제작에 사용한 재료는 자동차 차체 외장재로 사용되고 있는 냉간압연강판의 일종인 SPCC

Table 1. Chemical compositions of the base metal (wt. %)

Material	C	Si	Mn	P	Ni	Al	Fe
SPCC	0.04	0.015	0.25	0.01	0.01	0.005	bal

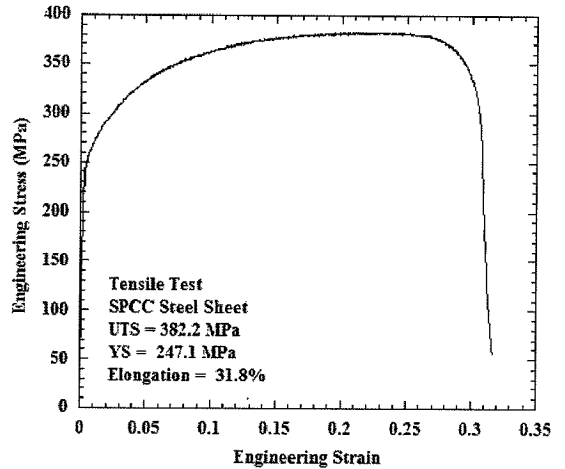


Fig. 1. Tensile stress-strain curve for SPCC steel sheet.

로서 화학적 성분은 Table 1과 같다. 한편 두께 0.8 mm 판재에 대한 인장실험 결과는 Fig. 1과 같다.

접착제는 미국 3M사의 주재와 경화제로 구성된 어진 2액형의 에폭시 구조용 접착제(ADHESIVE 8115)로 중량비 1:1의 비율로 믹싱노즐에 의해 방출 크기를 결정하였다. 일반적인 점용접 시험편은 KS규격에 의한 시험편을 제작하여 사용하나 본 연구에서는 기계적 프레스 접합에 관한 규격이 현재 정확히 정해진 바가 없으므로 점용접에 사용되는 KS B0851에 의거하여 인장-전단시험편과 동일한 규격으로 시험편을 제작하였다. 시험편 형상은 Fig. 2와 같으며 치수는 W=30mm, L=100mm, P=30mm로 하였다.

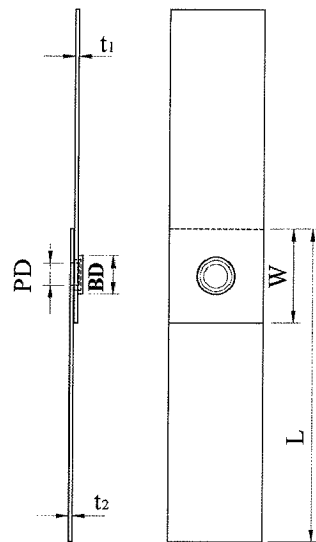


Fig. 2. Configuration of a tensile-shear specimen.

시험편은 접착제와의 부착력을 향상시키기 위해 아세톤으로 패널 전체를 깨끗이 세척하고 대기 중에서 건조시킨 후 접착제가 도포될 부위에 최종적으로 아세톤으로 세척을 하였다. 접착제의 도포는 세척된 시험편의 접합부위(30mm×30mm)에 1차로 소량의 접착제를 도포한 후 플라스틱 주걱을 이용하여 패널 표면이 보이지 않도록 얇게 바른 후 2차로 약 0.5mm 두께로 접합부의 중앙에 접착제를 도포하였다. 접착제가 도포된 시험편의 두께를 일정하게 하기 위해서 C형 클램프로 고정하였다. 접착 접합이 완료된 시험편은 전기오븐을 이용해서 최적의 경화조건인 93℃에서 20분간 경화하였다. 한편 기계적 프레스 접합 및 접착 접합이 혼용된 시험편 제작을 위하여 시험편에 접착제를 도포한 이후 독일 TOX[®]사의 버튼 형상의 라운드 크린치 기계적 프레스 접합을 하였다. 접합시 필요한 하중을 가하는 장치로 서보유압제어 만능인장시험기(Instron 8516)를 사용하였다. 기계적 프레스 접합에 사용된 펀치는 직경과 버튼 형태에 따라 다양하게 선택할 수 있으나, 본 연구에서는 직경 5.4mm의 라운드형 펀치와 직경이 8.3mm인 다이를 사용하였다. 접착 접합된 시험편에 기계적 프레스 접합시 최적의 접합하중을 구하기 위한 조건으로 여러 접합 하중으로 시험편을 제작하여 인장 실험을 실시하였다. Fig. 3은 강도에 영향을 미치는 접합부 단면의 주요 형상이며 Table 2는 제작된 시험편 접합부 단면

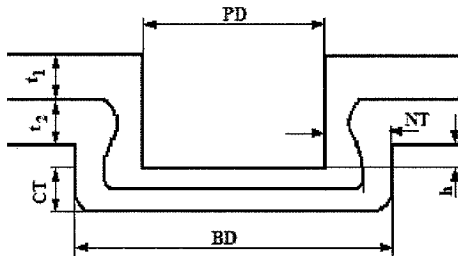


Fig. 3. The dimensions of cross-section of the joint.

Table 2. The size of cross-section of the mechanical press joint with punching force of 70kN

Items	Definition	Size(mm)
BD	Button diameter	8.3
CT	Cap thickness	0.43
h	Height	1.9
NT	Neck thickness	0.8
PD	Punch diameter	5.4
t ₁	Punch side thickness	0.8
t ₂	Die side thickness	0.8

의 치수이다. 본 연구에서는 기계적 프레스 접합 전에 실시하는 접착제 접합의 경화 여부에 의한 강도 영향을 평가하기 위하여 70kN의 프레스 하중을 이용하여 제작한 시험편에 관하여 인장 시험을 수행하였다. 또한 접착제 도포 후 경화된 시험편에 기계적 프레스 접합 시 최적의 펀치 작용 하중을 찾기 위하여 25~60kN까지 5kN단위로 펀치 작용 하중을 증가시키면서 시험편을 제작하였다.

2.2. 인장 및 피로방법

접착 접합 및 기계적 프레스 접합부의 정적강도를 측정하기 위한 인장 실험과 피로 강도를 평가하기 위한 실험에는 유압식 만능 재료 시험기(Instron 8516)를 사용하였고, 인장실험은 변위 제어 방식으로 2mm/min의 속도로 수행하였다. 각각의 접합하중 시험편 중에서 인장 실험을 한 결과 50kN의 접합 하중을 가한 시험편이 최대 인장 강도 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났기 때문에 50kN의 접합 하중을 적용하여 제작한 시험편으로 피로 시험을 수행하였다. 피로 시험은 응력비($R = P_{min}/P_{max}$)가 0.1인 15Hz의 정현파형의 반복하중을 일정하게 가하여 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 접착 접합부의 정적강도

접착제를 사용할 경우 필요이상의 두께로 표면이 도포되면 결합력이 상대적으로 감소하기 때문에 시험편 30mm×30mm의 면적에 0.2mm 정도의 두께로 접착제를 도포하였다. Fig. 4는 도포한 상태에서 상온 93℃에서 20분의 최적 경화(curing) 조건으로 제

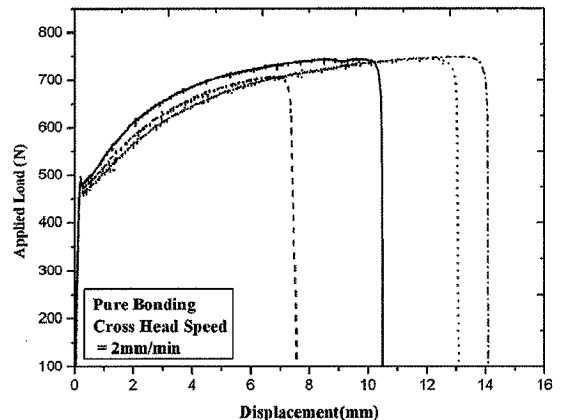


Fig. 4. Applied load against displacement curves of the pure bonded tensile-shear specimens.

작한 4개의 인장-전단 시험편에 대한 인장 시험의 결과로 인장 하중과 변위량을 나타내고 있다.

Fig. 4에서 나타나듯이 하중이 증가하면서 변위가 선형으로 증가하면서 작용하중이 470N 근처에서 약간의 하중이 저하함을 알 수 있다. 접합면은 비록 인장하중에서 연결부에 초기에는 전단하중이 작용하나 상하 시험편의 두께 차이만큼 시험편 접합부에 편심이 발생하여 굽힘 모멘트가 작용하며 이로 인하여 접착면에 수직하중이 일부 작용한다. 하중이 증가하면서 연결부가 회전하면서 추가적인 굽힘모멘트가 발생하여 이로 인한 수직 하중 추가로 작용하게 된다. 이로 인하여 통상적으로 접합부에 균열이 발생하여 변위가 증가하여 하중이 약간 저하되는 현상이 발생한다고 판단된다. 그 이후에 하중이 증가시 변위와 하중이 비선형으로 거동하는 일반적인 접착제 접합의 인장 거동을 나타내고 있다. 최종적으로 정점에 도달한 후 급격히 하중이 감소함을 알 수 있다. 본 실험의 접착 접합의 경우 정점에 도달한 직후 SPCC 판재 상판과 하판의 접착면이 급격히 분리되며 결과적으로 예리한 균열이 전파되어 중간에 균열을 억제하는 기계적 접합과 같은 장애물이 없이 판재의 분리가 급속적으로 발생하기 때문으로 판단된다. 즉 균열이 전파된 후 접합부의 인장저항력인 약 723N에 도달하며 접합부로서의 기능이 끝나는 판단에 이른다. 4개의 시험편의 평균 최대접합강도는 720N으로 나타났으며 최대 정점 하중을 나타내는 변위량은 14.1mm로 측정되었다.

3.2. 접착 및 기계적 접합부의 정적 강도 평가

접착제를 도포한 후에 기계적 프레스 접합을 하기 전에 인장강도에 대한 경화 공정의 효과를 파악하기 위하여 접착제를 도포 후 경화 전과 경화 후에 기계적 프레스 접합을 실시한 시험편의 인장 실험을 실시하였다. 동일한 판재에 대한 동일한 기계적 프레스 다이 및 펀치를 사용한 최적의 펀치 하중은 70kN으로 보고된 바 있다⁹⁾. 따라서 본 연구에서는 접착제를 도포 후 경화 전과 경화 후에 펀치 하중 70kN을 사용하여 기계적 프레스 접합을 실시한 시험편의 인장 실험을 실시하였다.

Fig. 5(a)는 접착제를 도포한 후에 펀치 하중을 70kN으로 작용시켜 제작한 인장-전단 시험편에 대한 인장 시험의 결과이며, Fig. 5(b)는 접착제를 도포한 후에 펀치 하중을 70kN으로 작용시켜 제작한 후 93°C에서 20분간 최적의 경화조건으로 완전 경

화시켜 제작한 인장-전단 시험편에 대한 인장 시험의 결과로 인장 하중과 변위량을 나타내고 있다. 경화 전과 경화 후의 시험편의 최대 인장하중이 각각 약 674N과 706N을 나타내었으며 모두 약 8~9 mm의 변위가 발생한 후에 최대 작용 하중점을 지나 하중이 급격히 저하하였다. 이는 접합부에서 상판이 하판과 부분적으로 분리되기 때문이다. 경화 전보다 경화 후 최대 인장하중이 약 5% 정도 증가하여 경화 후 기계적 접합을 하여 시험편을 제작하는 것이 바람직하다고 판단된다.

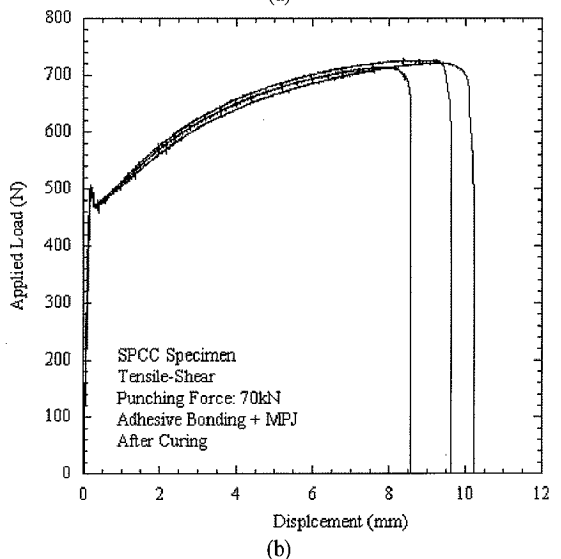
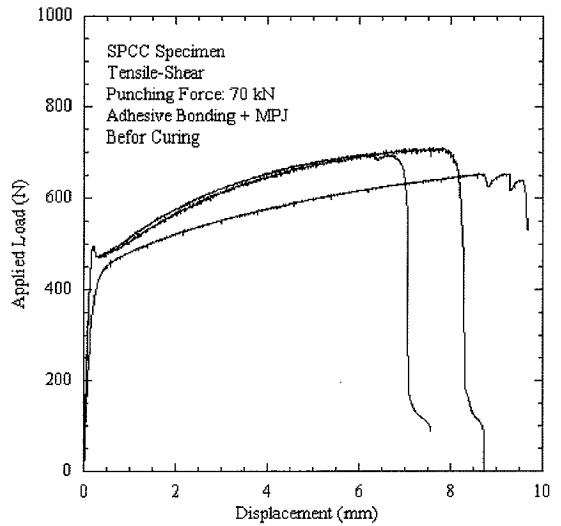


Fig. 5. Applied load against displacement curves of the joint with adhesive bonding and mechanical press joining with a punch force of 70kN (a) before curing and (b) after curing at 93°C for 20min.

접착 접합 및 기계적 프레스 접합부의 인장-전단 시험편을 이용한 접합 강도는 기계적 접합부의 강도와 접착 접합부의 강도를 좌우하는 두 가지 요인으로 나눌 수 있다. 기계적 접합부의 강도를 좌우하는 인자에는 판의 두께, 펀치 직경 등과 같은 치수와 실제 시험편 제작시 펀치 작용하중이다. 또한 접착 접합부의 강도를 좌우하는 인자로는 접착제의 접착면의 두께이다. 일반적으로 인장-전단 시험편에서 접착제의 두께는 얇을수록 강도가 증가하는 것으로 알려져 있다. 접착 접합과 기계적 프레스 접합 방식을 혼합한 인장-전단 시험편 제작시 기계적 프레스 접합에 접착제를 추가할 경우 접착제 두께로 인하여 최적의 펀치 작용하중을 결정하는 것이 요구된다. 본 연구에서는 마이크로미터를 사용해서 각 시험편의 접착제 두께를 일정하도록 제작하였다. 전기오븐을 이용하여 접착제의 최적 경화조건인 93℃에서 20분 동안 완전 경화시킨 후 펀치 작용 하중을 25~60kN까지 변화시키면서 제작한 각각의 시험편을 이용하여 인장실험을 하였다.

Fig. 6은 접착 접합 후 경화된 상태에서 펀치 작용 하중을 25~60kN까지 가한 시편에 대하여 2mm/min의 속도로 인장시험을 실시하여 인장 하중을 평가한 결과의 예를 나타내고 있다. 변위가 증가하면서 하중이 증가하여 정점에 이른 후 하중이 급속히 저하함을 알 수 있다. 이는 SPCC 판재의 상, 하판이 분리되며 예리한 노치 내지는 균열이 발생하여 응력이 급속하게 집중되어 SPCC 판재가 급속적으로 분리되어 파단됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 기계적 접합부가 적절히 하중을 저항하는 역할을 못함을 암시하고 있다. 펀치 작용 하중이 45~

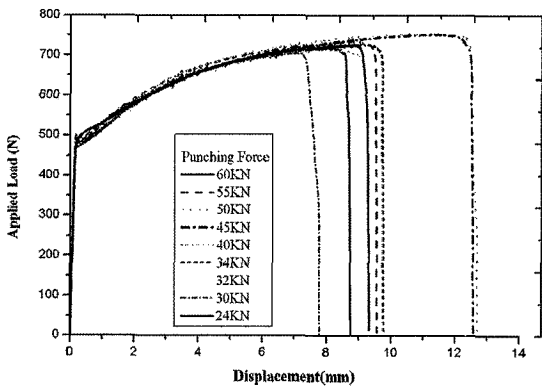


Fig. 6. Applied load against displacement curves of the tensile-shear specimens produced by adhesive bonding and mechanical press joining with different punching force.

50kN으로 제작한 시편에서 최고 인장 하중이 나타났으나 변위가 약간 더 증가한 50kN이 최적의 펀치 하중으로 평가되어 모든 피로 시험편은 접착제를 도포한 후에 경화처리를 거쳐 펀치하중 50kN으로 제작하였다.

Fig. 7은 접착 접합과 기계적 프레스 접합을 실시하여 각 하중 조건에 대한 접합부의 최대 인장 하중을 나타내고 있다. 접착 접합과 기계적 프레스 접합을 혼합한 경우 펀치 작용 하중이 50kN에서 가장 높은 인장 저항력을 나타내었으며 이후 다소 편차는 있으나 전반적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 정해진 판 두께(0.8mm)와 펀치 직경(5.4mm)을 이용한 SPCC 판재의 접착 접합 및 기계적 프레스 접합을 결합한 본 연구의 경우 최적의 펀치 작용 하중은 50kN으로 결정하였으며 이때 변위량은 12.7mm로 확인되었다. 그러므로 피로 실험을 위한 SPCC 시험편은 모두 50kN의 펀치 작용 하중을 적용하여 제작하기로 했으며 이 때 접착제의 두께는 약 0.2mm로 측정되었다.

Fig. 8은 펀치하중 50kN으로 제작한 접착 접합 및 기계적 접합부의 인장시험 결과이다. 두 접합 방식이 결합된 경우 최대 인장 하중이 750N으로 이는 접착 접합의 720N과 비교하여 인장강도 측면에서는 4%정도 증가하여 기계적 접합부의 강화효과가 거의 없음을 알 수 있다. 동일 소재 및 동일 버튼 크기로 펀치 하중 45kN 이상에서 접합한 순수 기계적 접합부의 인장강도는 1500N 이상으로 보고

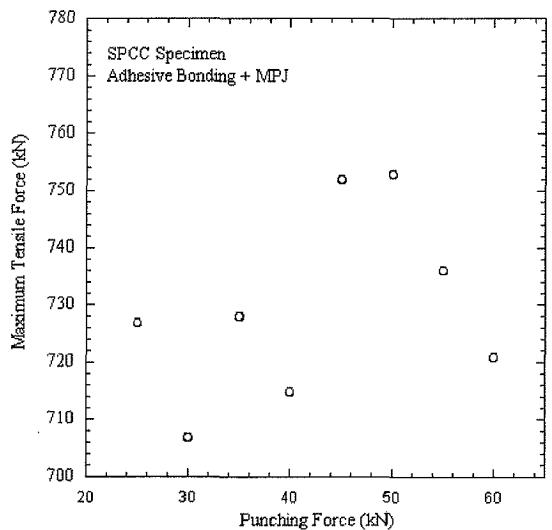


Fig. 7. Maximum tensile force against punching force for the adhesively bonded and mechanical press joint.

된 바 있다⁹⁾. 두 종류의 접합방법이 혼용된 접합부의 강도를 고려시 상호 보완작용을 제외하더라도 약 2200N 이상의 인장강도가 예상되고 있으나 매우 낮은 수치이다. 즉 기계적 프레스 접합이 전혀 인장 강도향상에 기여를 못하거나 두 접합의 강도 기여가 서로 상쇄됨을 의미한다. 이와 같은 이유는 다음과 같이 판단된다. 접착 접합 후 경화처리 한 상태에서 기계적 접합시 접착부가 손상을 받았을 가능성이 있다. 이와 같은 가능성을 확인하기 위하여 기계적 접합 후에 접합부 단면을 절개하여 광학현미경으로 확인결과 뚜렷한 손상을 발견하기 어려웠다. 추후 정확한 손상 파악여부를 결정하기 위한 적절한 시험법에 의한 판정이 요구된다. 이와 같은 가정은 앞서 서술하였듯이 하중에 정점에 이른 후에 급격히 파단되는 거동을 통하여 암시하고 있다. 통상적으로 리벳과 같은 기계적 접합법과 접착제 접합이 혼용된 경우 인장-전단 시험시 하중 변위의 선도의 경우 뚜렷하게 두 개의 구간으로 구분된다¹⁰⁾. 일차로 본 연구에서와 같은 하중-변위 선도를 나타낸다. 그 이후에 급격히 하중이 감소한 상태에서 꼬리형태의 또 다른 곡선이 나타난다. 이는 접착제 접합이 파단 후에 최종적으로 남은 리벳과 같은 기계적 접합이 작용하중에 저항하는 선도로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서의 인장-전단 시험 선도의 경우 기계적 접합부의 저항에 해당하는 꼬리부분의 선도가 존재하지 않음을 보여주고 있다.

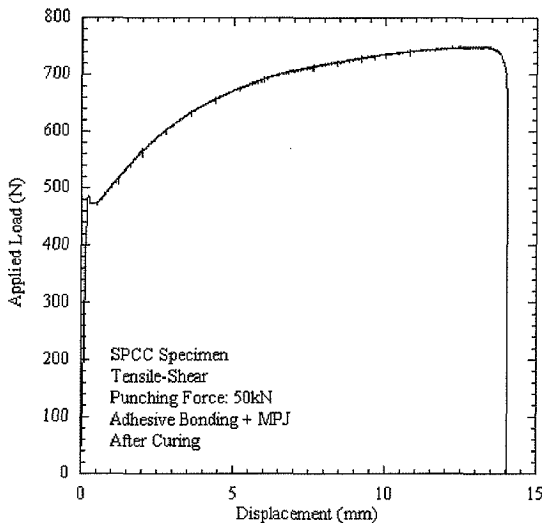


Fig. 8. Applied load against displacement curve of the tensile-shear specimens produced by adhesive bonding and mechanical press joining under punching force of 50kN.

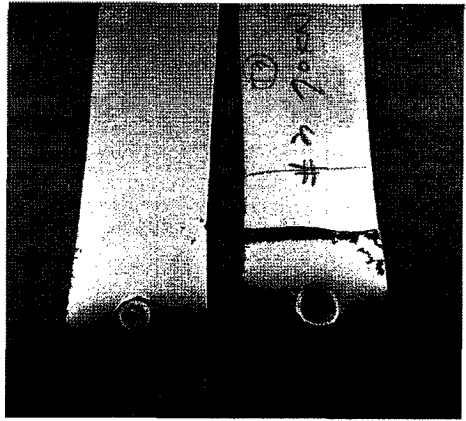


Fig. 9. Specimen with pull-out failure mode.

인장-전단 시험편의 경우 크게 두 가지 파단 모드로 나뉘게 되는데 첫째는 관통파단 형태(interface failure mode)로 목두께(NT) 부분에서 균열이 발생하고 그 면을 따라 균열이 전파되어 파단이 일어나는 경우이며, 둘째는 분리 파단 형태(pull-out failure mode)로서 버튼(BD) 위 상판 모재에서 균열이 발생하고 이후 취약한 목두께(NT) 주변을 따라 전파하면서 접합부 버튼이 상·하판이 분리되는 형태의 파단이다. 본 연구에서 시험편의 인장 시험 결과는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 모든 시험편이 분리 파단되었다.

3.3. 접착 및 기계적 접합부의 피로강도

자동차의 차체는 운행 중에 정적하중 뿐 아니라 지속적인 반복하중을 받게 된다. 이러한 접착 및 기계적 프레스 접합법을 자동차 차체 접합에 사용할 경우 자동차 차체가 받는 반복하중 상태의 피로 내구성 평가는 안전상 중요한 정보이다. 따라서 접착 접합 및 기계적 프레스 접합을 동시에 적용하여 제작한 시험편과 접착 접합한 시험편의 피로 강도를 비교 평가하여 접착 접합 및 기계적 프레스 접합의 피로 강도에 있어서 각 접합의 상호효과에 관하여 검토하였다.

Fig. 10은 정해진 판 두께(0.8mm)와 편치 직경(5.4mm), 접착제 두께 0.2mm의 SPCC를 이용한 시험편에 접착 접합 및 기계적 프레스 접합을 동시에 적용한 것과 접착 접합한 시험편의 하중진폭에 대한 피로수명을 나타낸 그래프이다. Table 3에 피로 실험 결과를 요약하였다.

Fig. 10을 통하여 피로수명 10^6 회를 기준으로 피로 강도가 접착 접합 및 기계적 프레스 접합이 혼

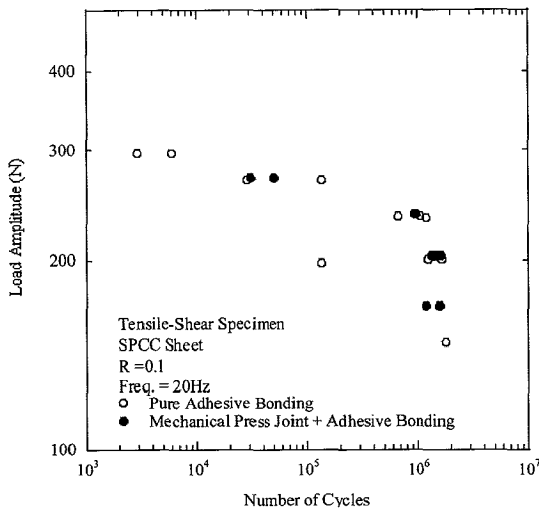


Fig. 10. Load amplitude load vs. number of cycle for the mechanical press and adhesively bonded joint and pure adhesively bonded joint.

Table 3. Summarized fatigue testing results

Max. Load(N)	Nf (cycle)	Bond Type
5903	49,881	MPJ+Adhesive
5903	30,523	MPJ+Adhesive
5168	960,263	MPJ+Adhesive
5168	921,921	MPJ+Adhesive
4432	1,367,500	MPJ+Adhesive
4432	1,455,200	MPJ+Adhesive
4432	1,459,505	MPJ+Adhesive
4432	1,626,689	MPJ+Adhesive
3697	1,211,577	MPJ+Adhesive
3697	1,604,123	MPJ+Adhesive
5844	28,391	Adhesive
5844	134,766	Adhesive
5119	666,858	Adhesive
5119	1,058,476	Adhesive
5099	1,212,091	Adhesive
4383	1,683,317	Adhesive
4383	1,259,068	Adhesive
4314	136,629	Adhesive
3236	1,811,825	Adhesive

용된 접합부의 경우와 접착 접합의 경우 각각 167N, 144N으로 평가 되었다. 이 값은 접착 접합 및 기계적 프레스 혼용 접합의 경우 정적강도 750N의 22%에 해당하며, 접착 접합의 경우 정적강도 720N의 20%에 해당하는 값이다. 또한 기계적 접합부의 경우는 피로수명 10⁶회를 기준으로 피로 강도가

780N⁹⁾으로 거의 접착 접합 및 기계적 프레스 접합이 혼용된 접합부의 값에 비하여 대단히 높음을 알 수 있다. 이는 거의 기계적 접합부의 최대 인장강도(1750N)의 45%에 해당한다. 피로강도 측면에서는 접착 및 기계적 접합부 피로강도가 순수 접착 접합부의 피로강도에 비하여 상대적으로 16% 증가한 것으로 나타났다. 그러나 접착 접합의 정적 인장 강도가 두 접합 방식이 결합된 경우의 접착 접합 및 기계적 프레스 접합부의 경우 두 접합부를 혼합할 경우 인장-전단 하중하에서 피로강도는 인장강도가 저하되듯이 저하됨을 알 수 있다.

결론적으로 냉간압연강판재의 접착 접합 및 기계적 프레스 접합부의 경우 두 접합부를 혼합할 경우 인장-전단 하중하에서 인장강도 측면에서는 상호강화효과는 없으며 오히려 피로강도 측면에서는 순수 기계적 접합부의 피로한도에 비하여 21%에 해당하는 저하되는 효과를 보이는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 패널 접착용 에폭시 접착제를 이용한 접착 접합 및 기계적 프레스 접합에서의 최적의 펀치 작용 하중을 결정하고, 접합부의 피로 강도를 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 판 두께 0.8mm의 SPCC 판재에 펀치 직경 5.4mm를 이용하여 기계적 접합과 에폭시 접착제를 사용하여 접합할 경우 인장 강도 측면에서의 최적의 펀치 작용 하중은 50kN으로 나타났다.

2) 기계적 프레스 접합과 접착 접합 방식이 결합된 경우 최대 인장 저항력이 750N으로 접착 접합의 강도인 720N보다 약4% 증가한 것으로 나타났다.

3) 피로수명 10⁶회를 기준으로 접착 접합 및 기계적 프레스 접합을 동시에 적용한 시편과 접착 접합으로 제작한 시편에서 피로강도가 각각 370N 및 320N으로 나타났으며 이 값은 정적강도를 기준으로 접착 접합 및 기계적 프레스 접합의 경우와 접착 접합의 경우 각각 약 22%, 20%에 해당하는 값으로 나타났다.

4) 접착 접합에 기계적 프레스 접합을 혼합할 경우 기계적 프레스 접합에 의한 강도증가 효과가 거꾸로 감소함을 나타내었다. 이와 같은 이유는 접착 접합 후 경화처리 한 상태에서 기계적 접합시 접착부가 손상을 받았을 가능성으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 박우진, 박익민, 김낙준, “자동차용 경량금속재료의 개발동향”, 한국자동차공학회지, 제16권, 제4호, pp. 23~31, 1994.
- 2) S. Gao, and L. Budde, “Mechanism of mechanical press joining”, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34, No. 5, pp. 641~657, 1994.
- 3) J.K. Larsson, “Clinch joining A effective joining technique for body in white assembly”, Advanced Technique & Processes, IBEC'94, pp. 140~145, 1994.
- 4) 이원, 정의섭 “구조접착이음의 접합부 강도평가”, 자동차공학회지, 제18권, 제3호, pp. 23~33, 1996.
- 5) 정남용 “접착이음의 강도평가에 관한 연구,” 대한기계학회논문집, 제16권, 제4호, pp. 667~674, 1992.
- 6) M. Carboni, S. Beretta and M. Monno, “Fatigue behavior of tensile-shear loaded clinched joints”, Eng. Fracture Mech. Vol. 73, No. 2, pp. 178~190, 2006.
- 7) J.M. Sawhill and S.E Sawdon, “A new mechanical joining technique for steel compared with spot welding”, SAE 830128, SAE Technical Paper Series, 1983.
- 8) R. Davies, R. Pedreschi and B.P. Sinha., “The shear behavior of press-joining in cold-formed steel structures”, Thin-Walled Structures, Vol. 25, No. 3, pp. 153~170, 1996.
- 9) 최덕호, “냉간압연강판 기계적 프레스 접합부의 피로강도 평가”, 서울산업대학원 석사학위논문, 2006.
- 10) S. Gomez,, J. Onoro and J. Pecharroman, “A simple mechanical model of a structural hybrid adhesive/riveted single lap joint”, International Journal of Adhesion & Adhesives Vol. 27, No. 4, pp. 263~267, 2007.