

자동차 충돌해석을 위한 구조용 접착제 파단 특성에 관한 연구

Study on the fracture characteristics of adhesive bonding for vehicle crash analysis

최영수*, 이세현**, 이희범***, 장인성***, 문용규***, 조용준***, 김재홍***, 김인준***

* 한양대 대학원/기계공학과

** 한양대/기계공학부

*** 현대자동차/생산기술개발팀

1. 서 론

차체 접합에 검증된 기술 축적으로 가장 널리 사용되는 방법은 용접 공법이다. 이 중에서 스폿 용접은 자동화가 용이하고 대량생산공정에 적합하여 자동차뿐만 아니라 철도차량, 항공기 구조 등 높은 내구성과 신뢰성이 요구되는 판재의 접합에 가장 널리 사용되고 있다.

이러한 스폿 용접은 용접 직후 용접부 주위의 열 변형, 스폿 용접부의 응력집중, 용접불량에 의한 균열요인 제공 및 부식 등으로 인해 내구성에 문제점을 야기하고 있으며 차체에서 발생하는 내구 문제점 중 70% 이상이 스폿 용접부에서 발생한다는 보고는 이에 대한 보완책의 필요성을 역설하고 있다. 또한, 스폿 용접이 불가능한 복잡한 차체부의 용접, 차체 경량화를 위한 신 경량 소재의 불건전 용접성 등은 스폿 용접을 대체할 새로운 접합 공법의 필요성에 힘을 실어주고 있는 실정이다. 이러한 스폿 용접의 문제점을 해결할 수 있는 가장 현실적인 대안으로 접착제에 의한 접합 공법이 부각되고 있다.

접착제에 의한 접합 공법의 여러 장점에도 불구하고 신차개발 적용의 현실화가 늦어지는 이유는 접착제의 접합 및 파단 특성에 대한 기초 연구의 부족과 접합 및 파단특성의 예측에 대한 신뢰성이 결여되기 때문이다. 본 연구에서는 인장, 전단 실험을 통해 접착제의 접합 및 파단 특성을 고찰하고 이를 토대로 차량 충돌 해석의 접착부 해석의 기초 자료로 삼고자 한다.

2. 파단특성 분석을 위한 기초실험

일반적으로 비중이 작으면서도 강성이 높은 도금 강판의 개발에도 불구하고 스폿 용접의 경우 도금층의 영향으로 인해 기준강도 이하의 불건전한 용접성을 보이는 경우가 발생한다. 그러나 접착제의 경우 상대적으로 도금층에 영향을 적게 받는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 도금강판에 대한 접착 특성 분석 및 충돌해석을 위한 기초실험으로 다음과 같이 인장/전단 실험을 수행하였다.

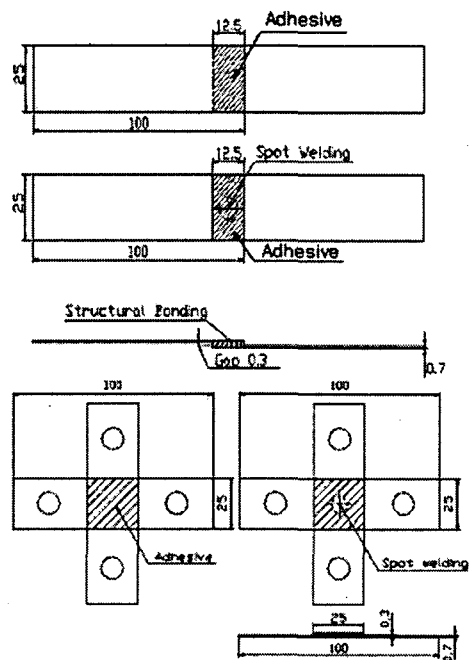
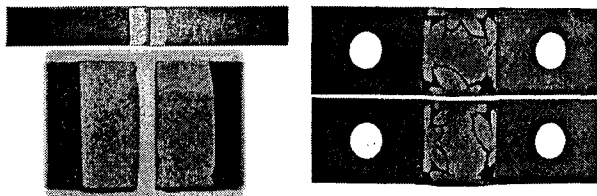


그림 1. 인장/전단 실험 시편

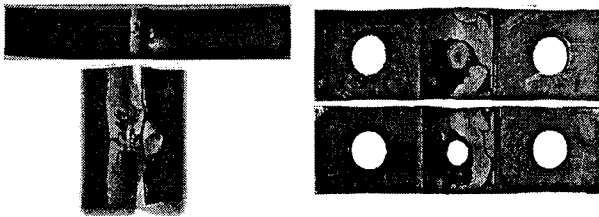
실험시편 형상 및 실험조건은 각각 그림 1, 표 1의 내용과 같다.

표 1. 인장/전단 실험 조건

스폿용접 조건	전류	9 kA
	가압력	300 kgf
	통전시간	13 Cycle
접착 조건	접착제폭	12.5 mm
	접착제두께	0.3 mm
인장/전단실험 조건	시편두께	0.7 mm
	시편종류	SGACEN
	Test speed	20mm/min



(a) Adhesive



(b) Adhesive+Spot

그림 2. 인장/전단 실험 파단 형상

접착제에 의한 접합 및 접착제와 스폿용접 혼용접합 모두 스폿용접에 비해 높은 파단강도를 가지고 있으나 접착제에 의한 접합의 경우 항복강도를 지난 후 급격한 강도 저하로 인해 스폿용접에 비해 상대적으로 낮은 변형에너지를 내재하고 있다.

접착제와 스폿용접 혼용접합의 경우 스폿용접 강도보다 높은 지점에서 접착제의 1차 파단이 발생과 동시에 급격한 강도저하가 발생한 뒤, 스폿용접부에서 강도가 증가하다가 항복강도에 다다르면 2차 파단이 일어나게 된다. 위와 같은 파단 형상으로 미루어보아 승객안전 및 내구성 측면에서 접착제와 스폿 혼용 접합이 가장 우수한 성능을 보일 것으로 사료된다.

3. 접합부 파단특성 및 해석

자동차 충돌 해석시 접합부의 파단특성을 해석모델에 포함했는지의 여부가 해석결과에 많은 영향을 미치고 있다. 스폿용접의 경우, 스폿용접점이

두 판재 사이의 기하학적 특이점이 되고, 응력집중을 수반하게 되어 외부 균열 형태의 결함으로 간주될 수 있기 때문에 파괴 역학적 접근이 필요하며 접착제에 의한 접합 역시 고온 경화시 발생하는 도금층과 접착제의 화학반응 및 항복강도 이후의 급격한 강도저하에 대한 파괴 역학적 접근이 필요하다.

3.1 스폿 용접 파단조건식

스폿용접의 경우, 용접점을 유한요소모델의 절점(node)에 위치시킨다. 두 판재의 양 절점을 강체요소로 구속하고 있다가, 그 양 절점에서 하중이 변화하다가 파단조건식의 영역을 벗어나게 되면 이 구속 상태를 풀어서 용접점의 파단을 묘사하게 된다. 이에 대한 파단 조건식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{f_n}{F_n}\right)^n + \left(\frac{f_s}{F_s}\right)^m \geq 1$$

f_n : normal interface force

f_s : shear interface force

F_n : normal failure force

F_s : shear failure force

n : exponent for normal force

m : exponent for shear force

F_n, F_s 은 최대 인장력과 전단력, f_n, f_s 은 매 순간 용접점에 발생하는 실제 인장 및 전단력을 의미한다. n, m 은 접합조건에 영향을 받는 상수로써 실험을 통해 결정되어지는 상수이다.

3.2 접착제에 의한 접합부 파단조건식

유한요소해석에서 접착제에 의한 접합부 모델링하는 경우, 유한요소의 면(surface)에 접촉시킨 후, 두 판재를 구속하고 있다가, 그 면에 걸리는 하중이 정해진 파단 조건식을 벗어나게 되면 이 구속상태를 풀어서 접합부의 파단을 묘사하게 된다.

접착제에 의한 접합부 파단기구는 다음과 같다.

$$\left(\frac{\sigma_n}{S_n}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{S_s}\right)^2 \geq 1$$

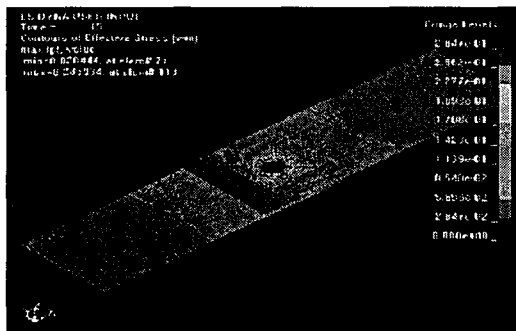
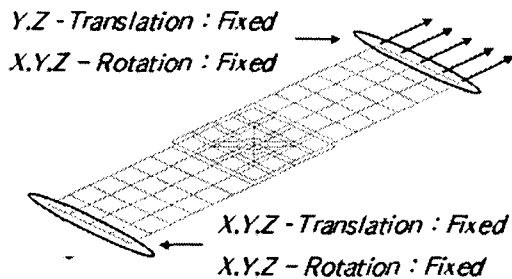
σ_n : normal interface stress

σ_s : shear interface stress
 S_n : normal failure stress
 S_s : shear failure stress

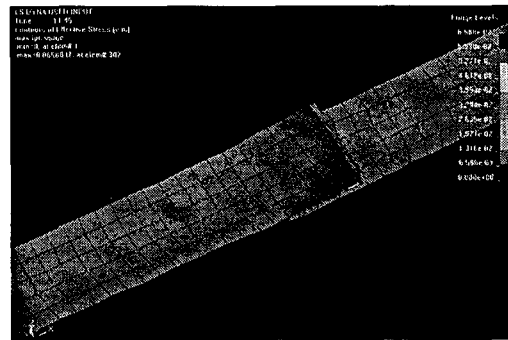
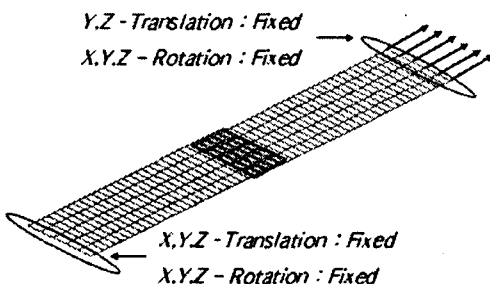
S_n, S_s 은 최대 인장응력과 전단응력, σ_n, σ_s 은 매 순간 용접점에 발생하는 실제 인장 및 전단응력을 의미한다. n, m 은 접합조건, 시편형상 등에 영향을 받는 상수로써 실험을 통해 결정되어지는 상수이다.

3. 3 유한요소해석 결과

파괴특성을 유한요소 모델에 적용하여 전단실험을 수행하였다. 한쪽 끝단을 동일하게 모든 방향에 대해 구속하였으며 다른 끝단은 x축 방향에 대한 구속조건을 해제한 상태에서 20mm/min의 속력(x축 방향)으로 전단실험을 수행하였다.



(a) 스폿용접



(b) Adhesive

그림 3. 유한요소 해석 결과

그림 3. (a) 스폿용접의 경우, 용접점에서 응력집중이 집중적으로 발생하고 있으며 이는 버튼파단의 주요인이 되고 있으며, 그림 3. (b) 접착제에 의한 접합부의 경우, 두 판재의 겹쳐진 부분 끝단에서 대칭적으로 응력 집중이 발생하고 있다. 이러한 응력집중 현상은 접착제의 박리현상의 원인으로 작용하여 접착부의 급격한 강도저하를 야기하게 된다.

4. 결 론

- 1) 접착제의 파단강도는 스폿용접에 비해 높은 강도를 보였으나 변형에너지의 경우 스폿용접에 비해 낮은 에너지 특성을 나타내었다.
- 2) 파단특성을 고려한 유한요소 해석을 수행하여 스폿용접 및 접착제에 의한 접합부의 파단특성을 예측할 수 있었다.
- 3) 스폿 용접의 경우, 용접점에서 응력집중이 발생하고 있으며, 이는 버튼 파단의 원인이 되고 있으며, 접착제에 의한 접합부의 경우 끝단에서 응력집중이 발생하여 박리현상의 원인이 되고 있다.

참고문헌

1. H. A. Nied., : The finite element modeling of the resistance spot welding process, *Welding Journal*, 63-40 (1984) 123-132
2. R. D. Adams, J. Comyn, W. C. Wake : *Structural Adhesive Joints in Engineering*, 32-76
3. D. W. S, H. J. Kim, J. K. Lim : Effect of Joint Reformation on Adhesive Strength of 6061 Aluminum Alloy to Polycarbonate Lap Structures, *International Journal of KWS Vol 4. NO 1. (2004)*, 53-60