

유한요소법을 이용한 SPR접합의 피로수명에 관한 연구 A Study on the Fatigue life of SPR joining by Finite Element Method

*김태현¹, 서정², #강희신², 이영신¹

*T. H. Kim¹, J. Suh², #H. S. Kang(khs@kimm.re.kr)², Y. S. Lee¹

¹충남대학교 기계설계공학과, ²한국기계연구원 광응용생산기계연구실

Key words : Self piercing rivet, Fatigue life

1. 서론

최근의 자동차 관련 기술개발 동향은 무공해자동차, 전기자동차에 대한 연구와 함께 기존 자동차의 연비향상, 안전성, 편의성, 수명, 성능 등 폭넓은 연구가 진행되고 있으며, 이를 위해 엔진성능향상, 차체재설계, 자동차 재료 경량화를 필요로 한다. 특히 소재의 경량화는 엔진효율을 높여 자동차의 성능향상을 극대화시키고, 이로 인해 연비향상을 도모할 수 있으므로, 환경오염방지와 연료절감에 효과적인 방법이다. 차량 중량은 연비에 직접적으로 영향을 주며, 100 kg 중량 절감으로 1 km / l 의 연비향상을 도모할 수 있다.

따라서 자동차 무게의 20 ~ 30 %를 차지하는 차체부분을 알루미늄으로 대체하면 가장 큰 경량화를 기대 할 수 있다.

그러나 기존 스틸 차체 결합방법으로 이용되고 있는 점용접은 알루미늄 합금 및 이종재료의 경우에는 접합이 어렵다. 자동차 차체는 장기간 이종재료와 접합될 경우 용접부의 전위차 부식과 자동차 진동에 의한 피로강도에 의해 쉽게 용접부가 파괴된다. 따라서 접합강도를 개선하기 위해 기계적인 리벳공정을 활용한다. SPR(self-piercing rivet) 접합은 일반 리벳공정과는 달리 별도의 리벳용 홀(HOLE)이 필요 없기 때문에 쉽게 사용이 가능하다. 그러나 차체 결합에 사용 시 재질 제한이 없고, 부식이 없으며 결합성이 뛰어난 SPR을 이용하면 접합이 용이하다.

기계적인 결합방법의 하나인 SPR 접합은 일반 리벳공정과는 달리 별도의 리벳용 hole이 필요 없기 때문에 자동화에 용이하며 작업 시간이 빠르다. 또한 리벳의 압입 방식으로 판재의 열 변형이 거의 없고 친환경적인 공법으로 사용되고 있다.

현재 국외에서는 알루미늄 차체에 SPR접합이

적용된 승용차가 출시되고 있으며, SPR접합에 대한 실험적 연구 및 전산해석을 이용한 다양한 연구가 이루어지고 있다¹⁾.

따라서 본 연구에서는 FEM 해석을 통하여 SPR 판재 접합에 대한 피로수명 예측에 관하여 연구하였다.

2. 셀프 피어싱 리벳 (Self Piercing Rivet)

Fig.1은 SPR의 접합공정을 단계별로 나타내었다. 첫 번째 공정은 피딩 장치에 의해 리벳이 자동공급이 되며 두 번째 공정은 유압 혹은 서보 모터의 힘으로 리벳을 판재에 압입을 시키며, 세 번째 공정은 상부 판재를 관통하고, 하부 판재는 관통하지 않으며 마지막 공정은 하부 앤빌(Anvil)의 형상에 의해 성형되어 리벳팅이 완료된다.

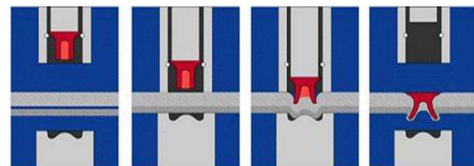


Fig. 1 Process of self-piercing riveting joining

3. 유한요소 해석방법 및 결과

본 연구에서는 SPR접합 공정상의 특징을 반영하고, 차체 모델에 많은 접합부를 해석하기 위해서 Helmut Dannbauser가 제안하는 모델링 가이드라인에 따라 SPR 접합 유한요소 모델링을 수행하였다²⁾.

SPR 접합부 해석 모델을 생성하게 되면 Fig. 2와 같이 MAT_1, MAT_2, BEAM요소로 구분되며, 국부적으로 조밀한 요소와 질점이 생긴다. 각 부분의 탄성계수는 다음과 같이 모재탄성계수와 판재 두께에 따라 계산된다.

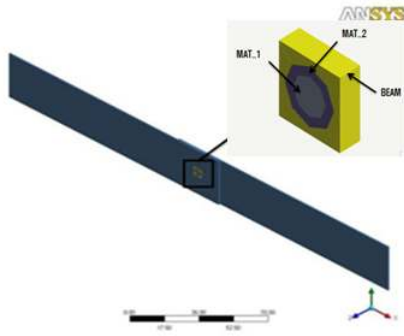


Fig. 2 Geometry of lapped joint specimen

$$MAT_1_{inner.row} = 40 \cdot E_{basic\ material} \quad (1)$$

$$MAT_2_{outer.row} = 6 \cdot E_{basic\ materia} \quad (2)$$

$$E_{Beam} = C \cdot t^{p1} \cdot \left(\frac{D_{rivet}}{5.3}\right)^{p2} \quad (3)$$

해석 모델은 판재 조합종류에 따라 Table 1과 같이 Class A의 알루미늄 동종재료와 Class B의 알루미늄과 스틸의 이종재료로 구분하였다.

구조해석은 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 하판을 고정하고 하고, 상판을 2mm 인장시키면서 고정단에서 반력을 측정하였다. SPR시편의 응력분포를 Fig. 3에 나타내었다. MAT_1과 MAT_2 사이에서 최대응력이 발생하였다.

Table 1 Analysis model of SPR joint specimens

Class	Material		Thickness(mm)	
	Upper	Lower	Upper	Lower
A	Al 5J32	Al 5J32	1.0	1.0
B	Steel SPRC440	Al 5J32	1.0	1.0

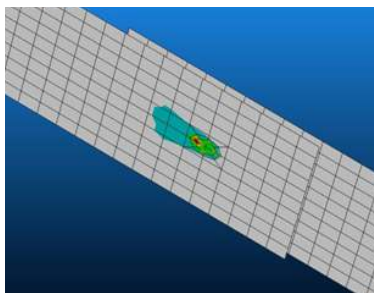


Fig. 3 Von-Mises stress of SPR specimen

피로해석은 R= 0.1 로 응력진폭(stress amplitude), 평균응력(mean stress)을 고려하여 해석을 수행하였다. Class A의 해석 및 실험결과는 Fig. 4와 같으며 정확하지는 않았지만, 비교적 비슷한 경향을 나타내었다. Class B의 해석결과와 실험결과는 Fig. 5와 같으며 유사한 값을 얻을 수 있었다.

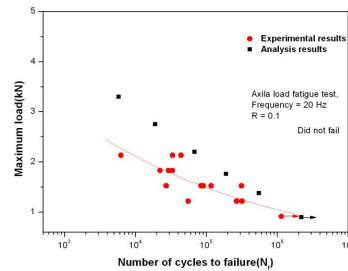


Fig. 4 Analysis curve of fatigue results (Class A)

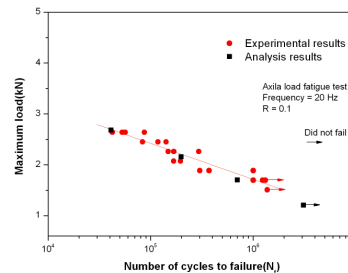


Fig. 5 Analysis curve of fatigue results (Class B)

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 접합 및 이종재료 접합에 사용되는 SPR접합 판재를 이용하여 피로해석을 수행하였다. 해석결과로부터 SPR접합 판재의 리벳부 주위에 최대응력이 작용하여 파손이 시작됨을 확인하였다. 피로해석결과로부터 Class A의 경우 실험값과 오차가 있었지만 비슷한 경향이었고, Class B의 경우 해석결과 실험값이 비교적 일치하는 경향을 확인하였다. 본 해석 및 실험결과를 통하여 향후 차체모델에 적용시 기초 자료로 사용될 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

1. Booth, G. S., Olivvier, C. A., Westgate, S. A., Liebrecht, F. and Braunling, S , "Self-Piercing Riveted Joints and Resistance Spot Welded Joints in Steel and Aluminium", SAE, 2000-01-2681.
2. Helmut dannbauer, Christian Gaier, Csaba Halasz "Development of a model for self-piercing rivets to predict stiffness and fatigue life of automotive structures", SAE, 2003-01-2857