

FEM을 이용한 셀프-피이싱 리벳접합 형태에 따른 피로특성 평가

Assessment of Fatigue Properties of SPR Jointed Various Specimens Using Finite Element Method

임복규*, 김재철**, 이기열**, 신수현**, 최영우**, 김대일**, 김덕환***, 김명찬****

* 자동차부품혁신센터

** 자동차부품혁신센터

*** 부산대학교 정밀기계공학과

**** 강원대학교 기계메카트로닉스공학과

Self-piercing riveting (SPR) is becoming an important joining technique for automotive application of various material sheets and shapes. Fatigue behavior of SPR connections needs to be investigated experimentally and numerically to predict SPR fatigue lives. The simulations of various SPR specimens (Coach-Peel specimen, Cross-Tension specimen, Tensile-Shear specimen, Pure-Shear specimen) are performed to predict the fatigue life of SPR connections under different material combinations. Finite element models of various SPR specimens are developed using a FEMFAT SPOT SPR pre-processor. The fatigue lives of SPR specimens are predicted using a FEMFAT 4.4e based on the linear finite element analysis.

1. 서 론

현대 산업사회에서는 산업 전반에 걸쳐서 경량화 측면이 강조되고 있다. 특히 자동차, 철도 등의 차량 및 그 구조물 설계의 3가지 주 분야에서 경량화가 추구하고 있으며, 자동차의 경량화는 자동차 성능과 연관되는 가속성, 주행성능 및 연비 절감등과 직결되므로 효율적으로 차체의 중량을 감소시키는 것이 자동차 구조 설계에 있어서 중요한 과제이다.

지금까지 자동차의 차체구조물 결합에 있어서 저항점용접과 아크점용접이 주로 사용되어 왔다. 이러한 기존의 접합법은 하나의 결합을 이루기 위해 20kW가 넘는 전력을 필요로 한다. 그리고 작업환경의 안전성을 해치는 유해가스 및 아크의 발생이 필연적이며, 다공성으로 인해 강도적 측면에서 문제가 될 수 있다.⁽¹⁻³⁾ SPR접합은 높은 에너지 효율, 이종 재질간의 용이한 결합, 결합부위의 열적 손상 방지, 그리고 친환경적 결합방법 등의 장점을 지니고 있으며 일반 리벳공정에서의 리벳구멍을 뚫는 선공정이 필요 없다. 리벳은 벨트로 자동 공급되어 공정의 자동화가 용이하고, 접합시간이 단시간에 이루어진다. 이러한

공정상의 특징으로 인해, 점용접이 어렵거나 불가능한 재료의 접합에 매우 요긴하게 사용할 수 있다.⁽⁴⁻⁶⁾

따라서 본 연구에서는 선행연구에서 보여진 단일 형상 시편에서의 구조강성 및 피로특성 평가를 다양한 형상 시편에 확대 적용하며 이를 전산 해석을 통하여 규명하고자 한다.

2. SPR접합 시편들의 유한요소모델링

SPR 접합공정의 특성을 반영하기 위하여 피로 해석 전용 프로그램인 FEMFAT⁽⁷⁾에서 제안하는 모델링 가이드 라인에 따라 유한요소모델을 생성한 후 FEMFAT SPOT SPR 전처리 과정을 수행하여 최종적으로 해석에 이용되는 SPR접합 시편의 유한요소모델을 생성하였다. FEMFAT으로 해석모델을 생성하게 되면 Fig. 1과 같이 SPR접합부에서 국부적으로 조밀한 요소의 절점들이 새롭게 생성된다. 또한, MAT_1영역의 탄성계수는 모재 탄성계수의 40배, MAT_2 영역은 6배가 적용되며, beam 요소의 탄성계수는 모재의 탄성계수와 판재의 두께에 따른 보간법에 의해 구해진다. 실제 자동차 차체 결합부에 작용되는 하중은

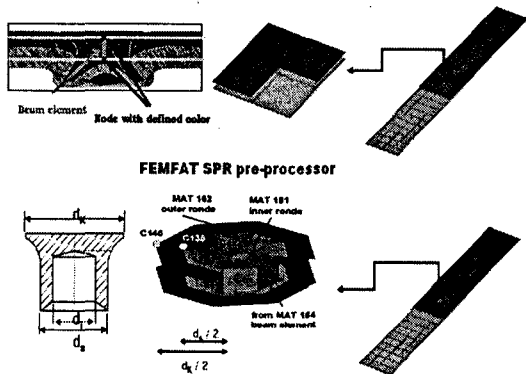


Fig. 1 Schematic of the FEMFAT modeling guideline

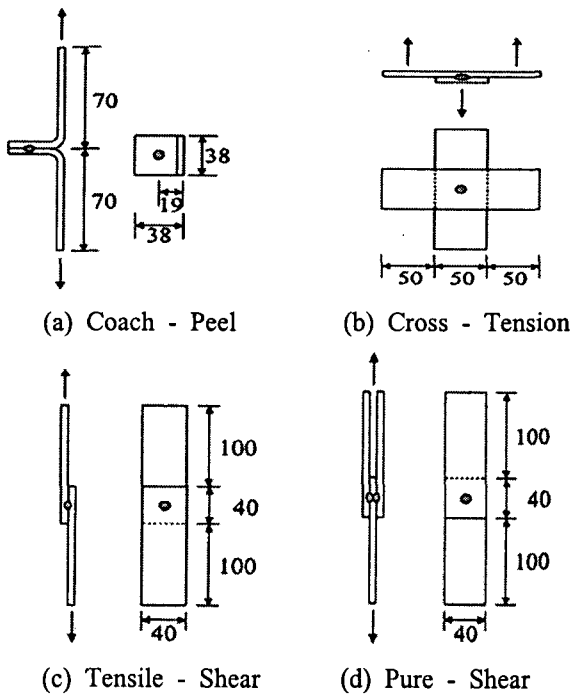


Fig. 2 Geometries and loading modes of four types of SPR specimens(unit:mm)

접합부의 형태에 따라 다양하다. 본 연구에서는 4가지 형태의 보편화된 접합 시험편을 대상으로 해석을 수행하고자 한다. 각 시험편은 Fig. 2에서 보는바와 같다. 이것은 접합형태에 따른 거동을 보기 위한 것으로 판재의 두께만을 1.0t와 1.4t로 구분하였고 접합모재는 A5032 T4를 사용하여 동종재료의 접합만을 고려하였다.

3. SPR접합 시험편들의 강성평가 및 내구해석

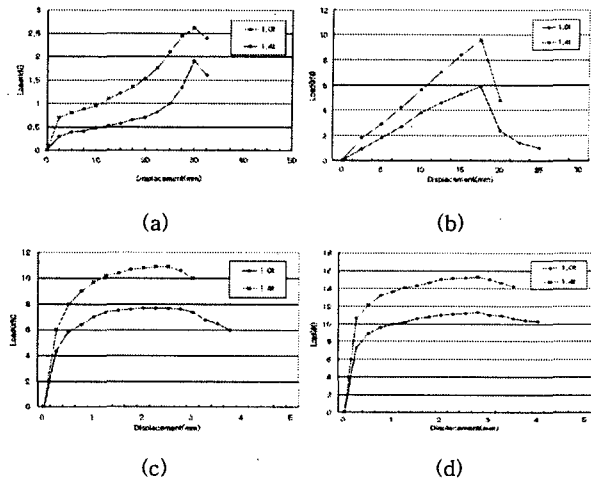


Fig. 3 Load vs. displacement plot for a CAE results of (a) Coach-Peel Specimen. (b) Cross-Tension Specimen. (c) Tensile-Shear Specimen. (d) Pure-Shear Specimen.

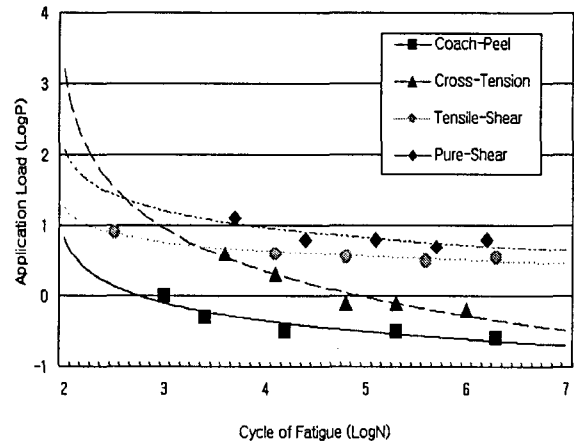


Fig. 4 FEMFAT fatigue life for various models

본 해석에 사용된 시험편들은 판재의 하중 작용점 편심에 의해 접합면을 회전중심으로 하는 모멘트가 작용하게 되고 판재의 접합면과 하중 작용면 내에서 일치하려는 현상이 발생한다. 따라서 SPR접합부가 회전하게 되고 전단 하중이외에 인장하중도 받게 된다. 이러한 복잡한 응력 분포가 발생하게 되고 응력집중이 초래되며 결국 응력집중부에서 파단이 일어난다⁽⁸⁾. 강성해석은 상용유한요소 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 판재에 고정단을 만들고 다른 판재를 각각의 형태에 맞게 인장시킴으로써 고정단에서 발생하는 반력을 측정하여 시험편의 강성을 평가하였다. 각 시험별 해석결과는 Fig. 3에서 보는바와 같다. 내구해석에 사용되는 FEMFAT은 구조물에 대한 FEM해석에서 산출되는 Stress, Strain, Force 등을 기

준으로, 정·동하중이력 및 재료의 피로특성을 입력하여 해석을 수행하며, 제작 공정상의 여러 가지 영향인자들을 적용하여 수치모델의 요소, 절점에 대한 피로수명을 예측한다. FEMFAT은 제품에 대한 안전의 판단 기준으로 마이너의 손상법칙(Miner's Rule)⁽⁹⁾을 이용하여 손상(damage) 값을 산출하고 내구성능을 평가한다. 피로파괴는 피로하중에 의한 일이 재료가 흡수할 수 있는 일의 총량에 도달했을 때 일어나며, 피로손상은 최대응력이 피로한도 응력보다 큰 경우만 일어난다는 가정아래 유도된 것으로 수식(1)을 만족할 때 피로파괴가 발생한다는 것이다.

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_n}{N_n} = 1 \quad (1)$$

FEMFAT에서는 피로수명 예측을 위해 선형해석을 수행한 결과 출력되는 요소에서의 응력을 사용하기 때문에 하중으로 변환하여 산출하였다. 하중과 피로수명과의 관계는 Fig. 4에 나타내었으며 모든 시편에서 최대 손상률은 SPR접합부에서 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는, 전산해석을 이용한 SPR 접합부의 구조강성 및 피로 수명에 대한 평가를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Fig. 3(a)-(d)에서와 같이 CP-Specimen과 CT-Specimen의 경우는 접합축과 하중의 방향이 동일한 시편으로 힘의 변화폭보다 변위의 변화폭이 확연히 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 TS-Specimen과 PS-Specimen의 경우는 변위의 변화폭은 작으나 하중의 변화폭이 앞선 두 가지 시편들보다 크다는 것을 알 수 있었다. 형태에 따라 변위, 또는 강성에 대하여 각각의 크기가 다를 수 있어, 차체 모델링 시에 그 조건에 맞는 적절한 접합시편모델을 선택할 수 있을 것으로 판단된다.

2) Fig. 3(a) - (d)에서와 같이 강성해석의 결과, 판재두께에 따라서 약간의 차이는 있었지만, 접합축과 하중과의 영향에 따라서 유사한 강성거동을 보였으며, 접합축과 하중방향이 수직관계에 있을 때 시편의 강성이 높았다.

3) Fig. 4에서와 같이 시편들의 내구해석 결과, 피로수명은 강성이 높은 시편에서 높았으며 이는 앞서 말한 것과 같이 접합축과 하중방향이 수직

관계에 있을 때 피로수명이 향상됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Il-Sun Son, Dong-Ho Bae, "Statistical Investigation of Fatigue Life Prediction of the Spot Welded Lap Joint(I)," Transactions of KSAE, 1999, Vol. 7, No. 7, pp.242-249
2. Kang Chung, Hoon Kim, "A Study on the Fatigue Life Evaluation of Spot Welded Joints under Tensile-Shear Loading," Transactions of KSPSE, 2001, Vol. 5, No. 1, pp.80-88
3. Kang-yong Lee, Joon-Bum Kim, Heung-Sub Choi, Hyoung-Pyo Woo, "Strength Evaluation of Adhesive Bonded Joint for Light Weight Structure by Single-Lab Joint Test," Transactions of KSAE, 1997, Vol. 5, No. 2, pp.87-93
4. Hari Agrawal, Wayne Li, Sreenivasa Bollimuta, Kesava Potty and Andrew Bloes, "Fatigue life of Self Pierced Rivets(SPR) in Car Body," SAE, Document Number 2003-01-0914
5. Hiroyuki Iguchi, Yasuaki Ohmi, "Joining Technologies for Aluminum Body-Improvement of Self-Piercing Riveting," JSAE, 2003,
6. G.S. Booth, C.A. Oliver, S.A. Westgate, F. Liebrecht and S. Braunling, "Self-Piercing Riveted Joints and Resistance Spot Welded Joints in Steel and Alumium," SAE, Document Number 2000-01-2681
7. Steyr-Daimler-Push, FEMFAT4.4 User's Manual, Magna-Steyr, FEMFAT SPOT, 2003
8. Radaj D, 1990, Design and Analysis of Fatigue Resistant Welded Structures, Abington publishing, pp.299-342
9. M.A. Miner, Cumulative Damage in Fatigue, ASME, 1945, Vol. 67, A159-A164