

# FEM에 의한 일반냉연강판 및 고장력강판의 점용접 피로수명해석

유효선\*, 양성모<sup>+</sup>, 강희용<sup>+</sup>, 김홍건<sup>++</sup>, 김규상<sup>+</sup>

(논문접수일 2008. 3. 27, 심사완료일 2008. 8. 4)

## Fatigue Life Analysis of Spot Weldment of Cold Rolled and High Strength Steel Using FEM

Hyosun Yu\*, Sungmo Yang<sup>+</sup>, Heeyong Kang<sup>+</sup>, Honggun Kim<sup>++</sup>, Kyusang Kim<sup>+</sup>

### Abstract

Cold rolled and high strength steel were used for vehicle bodys to satisfy environmental regulation and improve fuel ratio. This paper presented a method for determining the fatigue life of cold rolled steel sheet EZNCEN and high strength steel sheet HS40R spot weldment used in vehicles. We can estimate the fatigue life of the spot weldments from the MSC/FATIGUE using the finite element method. The maximum load is found in the nugget part of both surfaces. The cold rolled steel and the high strength steel showed the maximum stress 746MPa and 730MPa in the effective nugget part when the weld current was 8KA and 7KA, respectively. Also the some weld current of the cold rolled steel and high strength steel is applied, the fatigue life of high strength steel is obtained about four times longer than the cold rolled steel.

**Key Words** : Cold rolled steel (일반냉연강판), Fatigue life (피로수명), FEM(유한요소해석), Spot weldment(점용접), High strength steel(고장력강), Effective nugget(유효너깃)

## 1. 서론

자동차 관련 환경규제의 강화 및 연비향상을 위한 대안으로 차체의 경량화가 요구되고 자동차 차체의 방청규제를 만족하기 위한 아연도금강판 사용이 확대되고 있다<sup>(1)</sup>. 이에 따라 차체의 강판은 점차 박판화, 고장력화, 기능화하고 있

으나 아연도금강판 및 고장력 박판의 점용접부에 대한 설계 표준은 아직 미비한 실정이며, 또한 자동차의 개발기간 사이클이 단축되면서, 보다 빠르고 정량적인 신뢰성 평가기법이 요구되고 있다<sup>(2)</sup>.

일반적으로 용접부의 품질은 용융부의 크기(너짓지름, 열영향부)와 형상에 큰 영향을 받는다. 이러한 용융부의 형성은

\* 전북대학교 기계항공시스템공학부

+ 전북대학교 공업기술연구센터 (yangsm@chonbuk.ac.kr)

주소: 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동1가 664-1

++ 전주대학교 기계자동차공학과

용접전류, 용접전압, 전극가압력, 용접재료의 표면상태 및 전극의 마모상태, 용접재료의 두께, 용접시간 등의 다양한 용접변수들에 의해 좌우된다. 또한 실제 구조물에 작용하는 하중 및 구조물의 단면이 복잡 다양하여 스트레인게이지를 직접 부착할 수 없거나 시험편만으로는 하중을 재현하기 곤란한 경우가 발생하게 되므로, 시험과 해석에 의한 통합설계가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 현재 자동차용 재료로 많이 사용되고 있는 일반냉연강판 EZNCEN<sup>(4)</sup>과 향후 미래형 자동차에 많이 사용될 것으로 전망되는 고장력강 HS40R에 대하여 용융부 크기에 따른 점용접 FE모델을 생성한 후 FEM해석에 의한 유효니트 및 열영향부의 응력과 변형률 분포를 해석하고, 이를 MSC/FATIGUE<sup>(3)</sup> 프로그램을 이용하여 점용접부의 피로 특성을 해석하였다.

## 2. 점용접 FEM해석

본 논문의 피로특성 평가를 위한 자동차용 일반냉연강판 EZNCEN과 고장력 강판 HS40R의 인장-전단시험편은 Fig. 1과 같은 형상으로 100mm×30mm×1.4mm를 30mm 겹치도록 하여 MSC/NASTRAN을 이용하여 유한요소 해석하였다. Table 1과 Table 2는 해석에 사용된 재료의 화학적

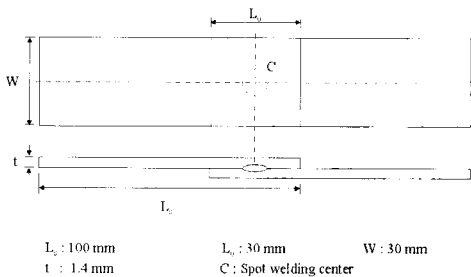


Fig. 1 Tensile-shear specimen by spot welding

Table 1 The chemical compositions of base metals(wt %)

Steels	C	Si	Mn	P	S	Ni	Al	Fe
EZNCEN	.12	.	.11	.14	.05	.	.3	Bal.
HS40R	.0876	.0065	.7407	.1241	.0036	.0091	.3577	Bal.

Table 2 The mechanical properties of base metals

Material	Tensile Stress (MPa)	Yield Stress (MPa)	Elongation (%)
Steels			
EZNCEN	296	169.5	45
HS40R	416.5	286.1	39

조성과 기계적 성질을 나타낸다.

### 2.1 점용접 FEM 모델링

유한요소모델을 Fig. 2와 같이 3D로 모델링 하였으며, EZNCEN은 용접전류 8kA, 9kA, 10kA일 때, HS40R은 용접전류 7kA, 8kA, 9kA 일때, Table 3과 같이 용접전류별 유효니트지름으로 점용접 너깃부를 모델링하여 유한요소 해석하였다. 모델링에 사용된 너깃크기는 점용접물의 중앙단면을 절단하여 관찰한 조직사진 측정결과를 이용하였다<sup>(5)</sup>.

니트는 강제요소로 가정하였고 해석의 정확도를 높이기 위하여 너깃주위는 모재보다 더 작게 요소를 분할하였다. 유한요소해석 조건은 Table 4와 같으며, 하중조건은 점용접부의 양끝단에 100MPa이 작용하는 것으로 가정하였다.

### 2.2 점용접 FEM 해석결과

Fig. 3은 용접전류 9kA EZNCEN의 점용접부 너깃선단 주위의 축방향 응력분포 상태를 나타낸 그림이다. 점용접부에 인장-전단하중이 가해지면 피로균열은 부하축 내표면

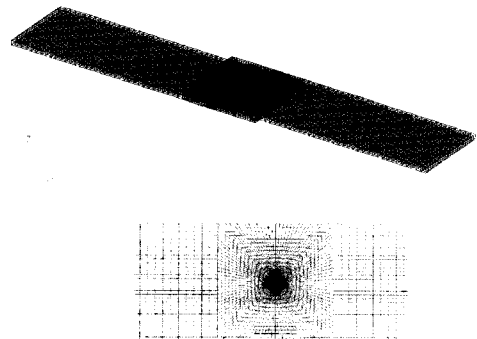


Fig. 2 FE model of tensile-shear specimen

Table 3 Nugget size by spot weldment according to welding current

Steels	Welding current(kA)	Nugget size(mm)	Electrode force(kg)	Welding time(cycle)
EZNCEN	8	4.81	250	15
	9	5.07	250	15
	10	5.70	250	15
HS40R	7	4.94	250	15
	8	5.83	250	15
	9	6.59	250	15

깃단에서 발생 및 성장한 후 외표면으로 계속 전파되는 양상을 보이므로 내표면 너깃선단 주위의 응력분포를 살펴보았다. Fig. 4를 보면 부하측 양 내표면의 너깃 선단에서 최대응력이 발생, 분포하고 있음을 알 수 있다.

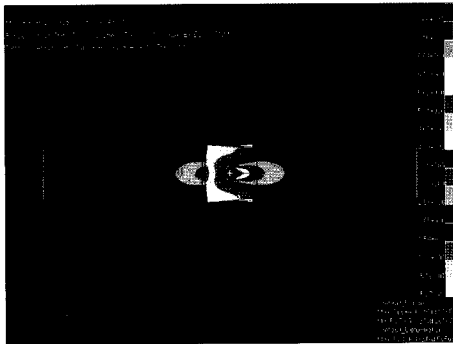
Fig. 5는 용접전류 9kA HS40R의 점용접부 너깃선단 주위의 축방향 응력분포 그림이고, Fig. 6은 부하측 양 내표면의 너깃 선단에서의 응력이 발생 분포이다. HS40R의 경우도 너깃선단에서 최대응력이 발생하였다. Table 5는 EZNCEN과 HS40R의 용접전류별 최대응력과 너깃중심부를 기준으로 최대응력 작용 지점을 나타낸다.

### 3. 점용접 피로해석

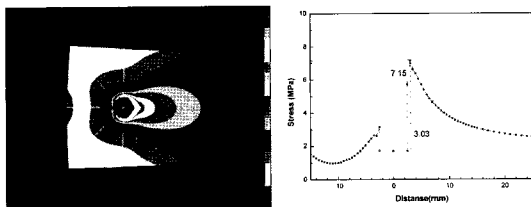
피로해석은 각 응력의 피로손상율의 합이 1이 될 때 피로

**Table 4 Element division for FEM analysis and mechanical properties**

Element model	No. of element	No. of node	Young's modulus(GPa)	Poissons' ratio(V)
8-node hex ele.	61198	95395	206	0.3



**Fig. 3 Stress distribution for EZNCEN spot weldment with welding current 9kA**

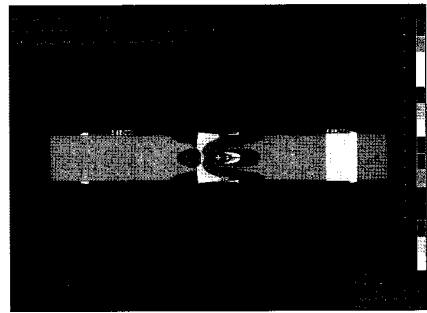


**Fig. 4 Stress distribution of inner nugget line for EZNCEN spot weldment with welding current 9kA**

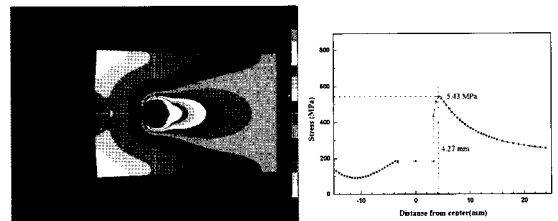
파괴가 발생하는 Miner's rule<sup>(6)</sup>을 적용하였으며, 피로수명 해석을 위하여 MSC/FATIGUE 프로그램을 사용하였다.

#### 3.1 피로수명 해석과정

유한요소프로그램 MSC/Nastran을 이용하여 점용접의 정적하중에 의한 응력분포를 구하였고, 피로해석을 수행하기 위하여 동하중이력은 Fig. 7과 같이 적용하였다. Table 6과 같이 EZNCEN과 HS40R 시험편의 물성치는 FATIGUE 피



**Fig. 5 Stress distribution for HS40R spot weldment with welding current 9kA**



**Fig. 6 Stress distribution of inner nugget line for HS40R spot weldment with welding current 9kA**

**Table 5 Maximum stress by spot weldment according to welding current**

Steels	Welding current (kA)	Maximum stress (MPa)	Nugget radius (mm)	Distance of Max.Stress (mm)
EZNCEN	8	746	2.405	2.88
	9	715	2.535	3.03
	10	597	2.85	3.86
HS40R	7	730	2.47	2.97
	8	588	2.915	3.92
	9	543	3.295	4.27

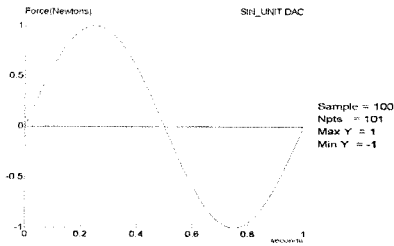


Fig. 7 Dynamic load time history

Table 6 Element division for FEM analysis and mechanical properties

Material	Yield strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)
EZNCEN (FATIGUE ref.)	296 (303)	2E5 (2E5)
HS40R (FATIGUE ref.)	416.5 (445)	2E5 (2E5)

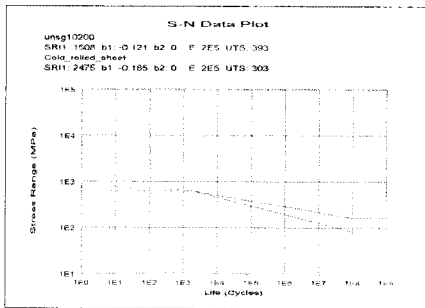


Fig. 8 S-N curve for EZNCEN and HS40R

로 물성치를 참고하여 사용하였다. 하지만 HS40R 시험편은 인장강도 416.5Mpa, 항복강도 286.1Mpa, 연신율 39%와 비슷한 피로 물성치를 사용하였다. 재료에 대한 S-N Curve를 Fig. 8에 나타낸다.

### 3.2 피로수명 해석결과

점용접 시험편에 대한 동하중 이력, 재료물성치, 피로물성치 등을 입력하여 피로해석을 수행하였다. 해석방법은 응력-수명법을 사용하였으며, 생존확률 99%로 설정하여 피로수명을 구하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 용접전류 9kA EZNCEN과 HS40R의 피로해석 결과를 나타낸 것이다.

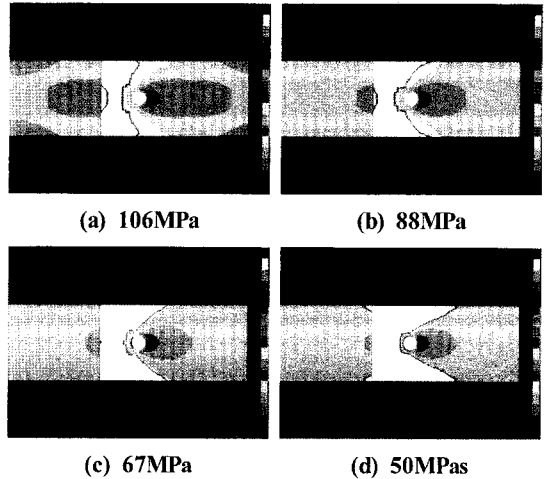


Fig. 9 Fatigue analysis life by alternating stress for EZNCEN spot weldment with welding current 9kA

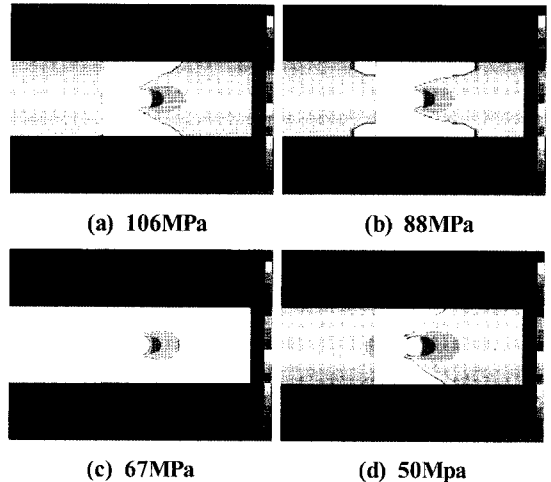


Fig. 10 Fatigue analysis life by alternating stress for HS40R spot weldment with welding current 9kA

Fig. 9와 Fig. 10을 보면 HS40R 강이 EZNCEN보다 피로수명이 우수하며, 각 재료에 작용하는 동하중의 변화에 따라 피로수명이 변화함을 알 수 있다.

해석 피로수명의 검증을 위하여 Fig. 11과 Fig. 12와 같이 해석결과와 실제 실험을 통한 측정결과<sup>(7)</sup>와 비교해 보았다. EZNCEN의 경우 전체적으로 근소한 오차범위를 가졌지만, HS40R의 경우는 커다란 오차범위를 보였다. 이는 고장력강

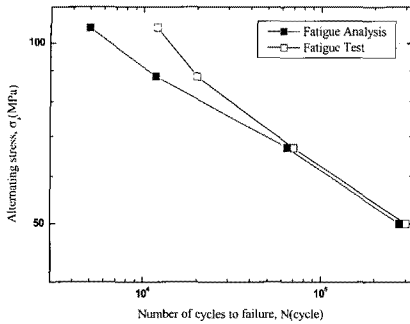


Fig. 11 Analysis fatigue life and experiment fatigue life for EZNCEN spot weldment with welding current 9kA

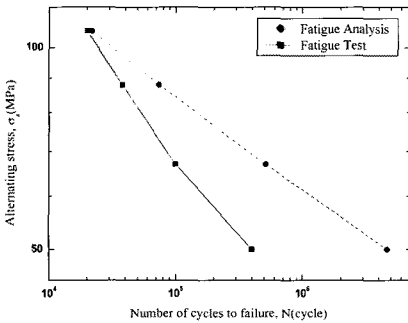


Fig. 12 Analysis fatigue life and experiment fatigue life for HS40R spot weldment with welding current 9kA

에서 저하중 피로특성에 대한 추가검토가 필요하다.

Fig. 13과 Fig. 14는 피로해석에 의한 EZNCEN과 HS40R의 용접전류별 수명곡선이다. 결과를 보면 용접전류가 증가할수록 피로수명이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 용접전류에 따른 유효너깃직경이 피로 수명에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 유한요소해석을 위한 점용접부의 모델링 방법을 제시하였으며, 해석프로그램을 이용한 피로수명 예측기술을 제시하였다. 또한 해석결과를 실제 실험을 통한 측정결과와 비교함으로써 모델의 신뢰성을 검증하였다. 본 문에 제시된 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 최대응력은 부하측 양 내표면의 유효 너깃선단에서 생

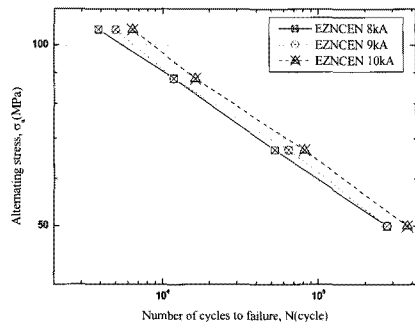


Fig. 13 Analysis fatigue life for EZNCEN spot weldment with welding current 8kA, 9kA, 10kA

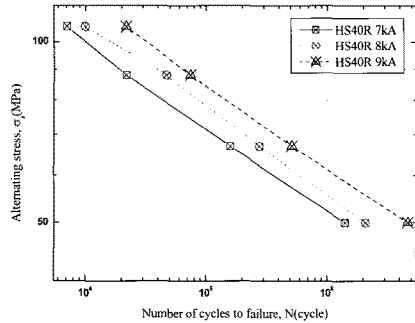


Fig. 14 Analysis fatigue life for HS40R spot weldment with welding current 7kA, 8kA, 9kA

기며, 일반냉연강판은 용접전류 8kA일때 유효너깃 선단에서 최대 응력 746MPa이 나타났고, 고장력강판은 용접전류 7kA일 때 유효너깃선단에서 최대응력 730 MPa이 나타났다.

(2) 일반냉연강판과 고장력강판의 사용된 용접전류가 같을 때, 피로수명은 고장력강판이 약 4배정도 크며, 이는 재료별 용접전류에 따른 유효너깃 직경이 피로 수명에 영향을 주었다.

#### 참고 문헌

- (1) Suzanne, Matie., 1985, "Zinc Coating Influence on Spot Weldability of Hot-Dip Galvanized Steel Sheet," *SAE*, Vol. 4, p. 273.
- (2) Shin, H. I, and Kang, S. S., 1994, "A Study on the Spot Weldability of High Strenth Steel Sheet and Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet," *Journal of KWS*, Vol. 12, No. 12, pp. 56~62.

- (3) MSC/FATIGUE., 1991, *User's Manual*, The MacNeal Schwedler Co., Germany.
- (4) Lee, Y. B., Chung, C. S., Kim, Y. H., and Kim, H. K., 1997, "Fatigue Life Prediction of Spot Welds in SPCC," *Journal of KSME.*, Vol. 4, pp. 137~142.
- (5) Yang, S. M., 2004, "A Paper about Optimal Master Welding Design of High Tensile Steel Sheet in Smart Automobile and New Technology Development of Weld ability Evaluation," *Ministry of Commerce, Industry and Energy*, Vol. 9, No. 5, pp. 103~108.
- (6) SAE(Graham), 1988, *Fatigue Design Handbook, AE-10*, SAE, Germany, pp. 232~249.
- (7) Suh, C. M. and Kang, S. S., 1988, "Fatigue Characteristic of Spot Welding between High Strength Steel and Galvanized Steel Sheet," *KSME International Journal.*, Vol. 13, No. 4, pp. 747~754.