

용접 잔류응력을 고려한 샤시 브라켓의 피로수명평가 Estimation of Fatigue Life of Bracket of Chassis Considering Weld Residual Stress

*장용원¹, #박준협¹, 이학주², 최병익², 김주성³, 이용현³

*Y. W. Jang¹, #J.-H. Park(jhyubpark@tu.ac.kr)¹, H.-J. Lee², B.-I. Choi², J.-S. Kim³, Y.-H. Lee³
¹동명대학교 메카트로닉스공학과, ²한국기계연구원 나노역학연구실, ³쌍용자동차 기술연구소

Key words : Weld Residual Stress, Fatigue Life, Proving Ground, Time History

1. 서론

자동차의 부품에는 복잡한 형상의 구조물이 굉장히 많다. 이러한 구조물들은 주조의 공정을 이용해서 얻는데에는 상당히 많은 시간과 비용이 소모된다. 따라서 이러한 구조물들은 대부분 용접을 이용하여 기계의 형상을 제작한다. 그러나 이러한 용접으로 인하여 생기는 기계적인 결함이나 열응력은 안전을 최우선으로 하여 다루어질 자동차 부품의 안전수명 설계에 중요한 요소로 작용하여 현재까지 용접에 대한 많은 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 자동차 부품 용접 구조물들의 피로수명을 평가하는데 있어서는 일반적으로 시뮬레이션 결과를 통해 실차의 내구 평가 시험으로 이어진다.

따라서 본 연구에서는 자동차 샤시 부품 중 스테빌라이저 바(stabilizer bar)를 연결하기 위하여 댐퍼에 부착된 브라켓(bracket)의 용접부를 유한요소 해석(FEM)을 이용하여 용접해석을 수행하여 잔류응력을 계산하고 실차하중이력을 고려하여 피로수명을 예측하였다. 이때 필요한 하중이력(time history)은 표준도로(proving ground: PG)에서 획득하였다.

2. 용접해석 및 구조해석

내구 해석을 하기 위해서는 일련의 과정들을 거쳐야 한다. 크게는 4단계로 구분되며 먼저 대상 부품의 사양을 파악하는 단계부터 시작된다. 형상(geometry)과 재료에 대한 물성치(material property) 또한 표준도로(proving ground: PG)에서 획득한 데이터를 기반으로 하여 내구해석을 시행하였다. 본 연구에서는 용접 잔류응력을 고려하기 위하여 그림1과 같이 용접해석을 수행하여 용접부의 잔류응력을 계산한 후 이 조건에 하중이력을 따른 응력

을 고려하는 내구해석을 하였다.

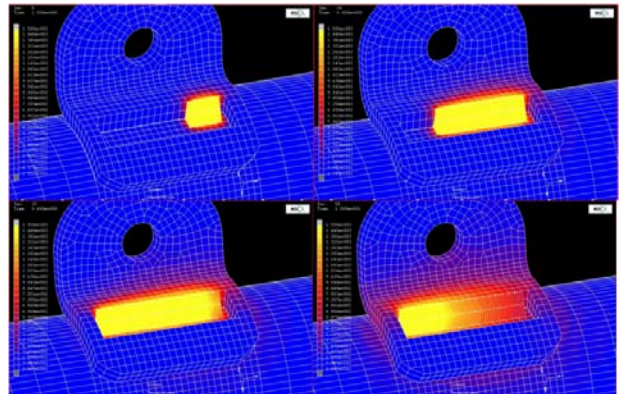


Fig. 1 Moving heat source on welding job

용접해석후의 평균잔류응력은 97 MPa이었고 최대 응력은 640 MPa 이었으며 다. 용접후의 잔류응력은 용접비드의 온도가 상온이 되었을 때를 기준으로 하였다. 구조해석에서의 최대값은 node 20400에서 최대 주응력(maximum principal stress)이 539 MPa을 보였으며 구조해석 후에 얻은 최대 주응력을 이용하여 내구해석을 실행하였다.

3. 내구해석

내구해석에서 피로수명 예측방법은 변형률-수명(Strain-life) 방법을 이용하였으며 평균응력(mean stress)을 고려 방법으로는 S-W-T(Smith watson topper) 식, Morrow 식, 고려하지 않는 방법을 이용하여 각각의 결과 값을 비교하였다.

해석결과 구조해석에서 가장 큰 상당응력을 보였던 node 20400에서 가장 큰 손상값을 보였다. 평균응력의 고려 방법에 따라서도 손상값을 차이를 보였다. 평균응력을 고려하는 관계식은 아래와 같다.

아래의 식은 Morrow 식이고,

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\sigma'_f - \sigma_0}{E} (2N_f)^b + \varepsilon'_f (2N_f)^c$$

아래의 식은 Smith-Watson-Topper 식이다.

$$\sigma_{\max} \varepsilon_a = \frac{\sigma'_f{}^2}{E} (2N_f)^{2b} + \sigma'_f \varepsilon'_f (2N_f)^{b+c}$$

피로손상(fatigue damage)은 하중이력의 반복수(number of cycle)와 관련이 있으며 누적손상 합계가 1이 되었을 때 피로 파손이 발생하는 것으로 판단하는 Miner's rule을 이용하여 피로 수명을 평가하였다.

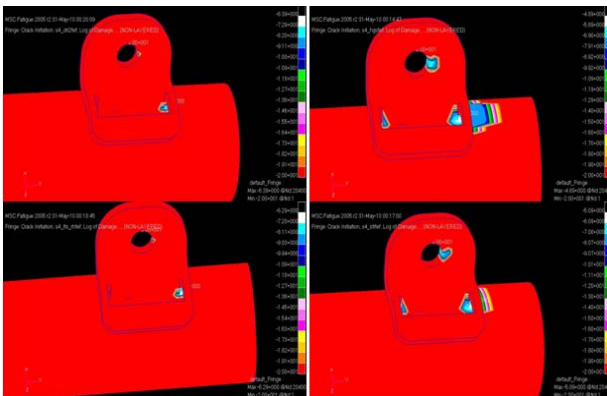


Fig. 4 Fatigue damage of each road

4. 결론

20만 km를 보증하는 설계 기준을 토대로 하여 해석결과 값으로 피로수명을 산출하였다. 평균응력 보정방법에 따른 각각 다른 결과를 보였으며 그 결과는 다음과 같다.

Table 1 Fatigue life from each mean stress equation

	S-W-T	None	Morrow
$\sum NiDi$	2.10e-2	8.81e-2	2.20e-2
$17\sum NiDi$	3.56e-1	1.50e0	3.75e-1
$(17\sum NiDi)^{-1}$	2.81e0	6.68e-1	2.67e0

피로 수명을 해석한 결과 S-W-T, Morrow식을 이용한 결과가 평균응력을 보정하지 않았을 경우보다 좀 더 나은 결과가 나왔다. 이것으로 볼 때 하중이력의 평균응력이 압축방향으로 작용하고 있다는 것을 알 수 있으며 설계 기준이 20만 km를 보증하기 위한 기준으로 볼 때 평균응력을 보정하

지 않았을 경우를 제외하고는 설계 기준의 2.5배 이상의 피로수명을 예측하였다. 또한 평균응력을 보정하는데 있어서 단지 탄성 변형률(elastic strain) 영역만 적용되는 Morrow 방법보다 탄-소성 변형률(elastic-plastic strain) 영역을 적용하는 있는 S-W-T 식을 이용하였을 때 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있었다.

후기

본 논문은 과학기술부 21C 프론티어 연구개발사업 차세대소재성형기술개발사업의 “초경량 고성능 자동차용 서브프레임 모듈 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. J. A. Bannantine, Ph.D. Jess J. Comer, Ph.D James L. Handrock, Ph.D., "Foundations of metal fatigue analysis", **8**, 193-199, 1990.
2. Eliahu Zahavi, and Vladimir Torblio, "Fatigue Design", **19**, 116-128, 1996.
3. Elsevier, "Fatigue Testing and Analysis", **16**, 62-65, 2005.
4. "MSC/MARC/FATIGUE V2005 User Manual" (2005), MSC Corporation, Los Angeles, CA.