

건설 장비 메인프레임의 용접부 강도 설계에 관한 연구

A Study on the welding design for the main frame of the construction equipment

박윤기*, 김현수*, 신상범**

* 현대중공업(주), 산업기술연구소

** 현대중공업 (주), 산업기술연구소/울산대학교

ABSTRACT The purpose of this study is to optimize the plate thickness of the main frame of a construction equipment. For this, the load history at the joints of the main frame was evaluated using mechanism and finite element analysis. With the load data, the stress and the stiffness at the main frame was evaluated and the fatigue life at each weld joint of the main frame was assessed with the change of the plate thickness. Based on the results of this study, the proper plate thicknesses of the frame of the construction equipment were proposed.

1. 서 론

건설 장비는 크게 작업장치, 메인프레임 등으로 구성되며 최근 강재 및 유가 급등에 따라 장비의 경량화가 주요 설계인자로 대두되고 있다.

본 연구에서는 당사에서 생산하는 휠로더의 특정 모델을 대상으로 메인프레임에 대한 적정 판두께를 선정하고자 하였다. 이를 위해서 기구 해석 및 구조해석을 통해 휠로더 메인프레임의 연결 조인트에 작용하는 설계하중을 정의하였으며 이를 바탕으로 메인프레임 각 부재의 판두께 변화에 따른 용접부 작용응력 및 피로수명을 평가하였다.

2. 설계하중 평가

Fig. 1은 휠로더의 메인프레임 연결 조인트에서의 설계하중을 평가하기 위한 기구해석 모델을 나타낸다. Fig. 1에서와 같이 프레임 및 작업장치는 실제 형상과 동일하며 캐빈, 엔진, 트랜스미션, 카운터웨이트 등의 기능품은 해당 위치에 동일 중량의 dummy part로 고려하였다.

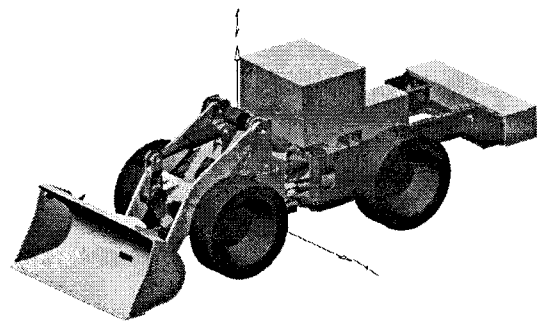


Fig. 1 Mechanism analysis model of a wheel-loader

휠로더 메인프레임은 Fig. 2와 같이 프론트프레임과 리어프레임으로 나누어지며 본 연구에서는 주하중이 작용하는 프론트프레임에 대한 적정 판두께를 선정하고자 하였다. 휠로더의 작업 자세는 크게 digging, roll-back, lifting, dumping으로 나눌 수 있으며 각 작업별 설계 소요시간과 실린더 길이, 버킷하중을 기준으로 기구해석 조건을 정의하였다.

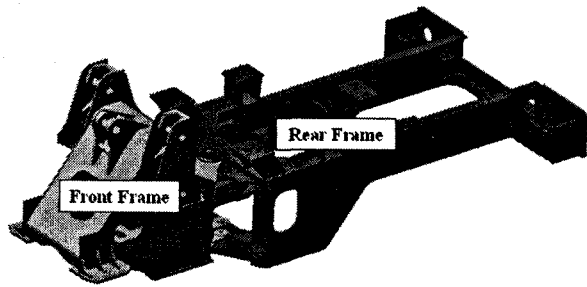


Fig. 2 Configuration of the main frame of the wheel loader

Fig. 3은 기구해석을 통해 평가한 메인프레임 연결 조인트에서의 작업 시간에 따른 반력변화를 나타내는데 붐과 연결되는 J3 조인트에서 가장 큰 반력이 작용하고 있다. 기구해석 결과의 타당성을 평가하기 위해서 digging 자세에서 메인 프레임의 각 조인트에 작용하는 반력을 유한요소 해석으로 평가하였다. Fig. 4는 반력 평가를 위한 구조해석 모델을 나타내며 Table 1은 digging 자세에서 기구해석 및 구조해석으로 평가한 메인프레임 조인트에서의 반력비를 나타내는데 기구해석 결과와 유한요소 해석 결과가 잘 일치한다. 여기서 반력비는 기구해석으로 평가한 메인프레임 조인트에서의 반력과 구조해석으로 평가한 반력의 비를 나타낸다.

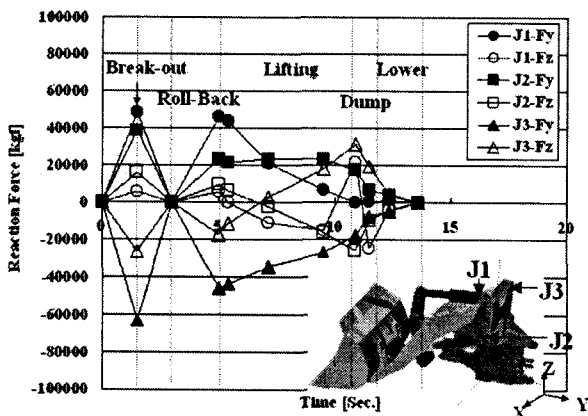


Fig. 3 Reaction force history at the joints of front frame during the working steps

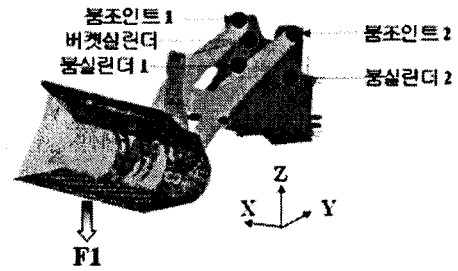


Fig. 4 F.E.A model of the wheel loader to evaluate the reaction force at the joints

Table 1 The reaction force ratio

	버킷실린더	붐실린더	붐조인트
반력비*	1.03	1.0006	1.008

*반력비 : 기구해석결과/구조해석결과

3. 적정 판두께 선정

이상의 결과를 바탕으로 휠로더 프론트프레임 각 부재의 적정 판두께를 선정하였다. 기존 휠로더 프론트프레임 각 부재별 두께는 Fig. 5와 같으며, 용접부 피로수명이 가장 낮은 부재의 피로수명을 기준으로 나머지 부재에서 동일 수준의 피로수명을 갖도록 판두께를 선정하였다. 용접부 피로수명은 IIW quadratic extrapolation method[1]를 적용한 HSS(Hot Spot Stress)와 FAT 100선도를 기준으로 평가하였으며 전체 shell 모델에 대한 1차 해석결과를 바탕으로 용접부에 대한 상세 solid 모델에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 6은 휠로더 프론트프레임의 최대 응력 작용부에서의 HSS 평가 결과를 나타낸다.

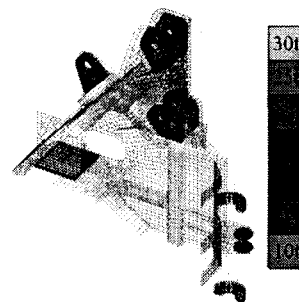


Fig. 5 Plate thickness distribution of the front frame of the wheel loader

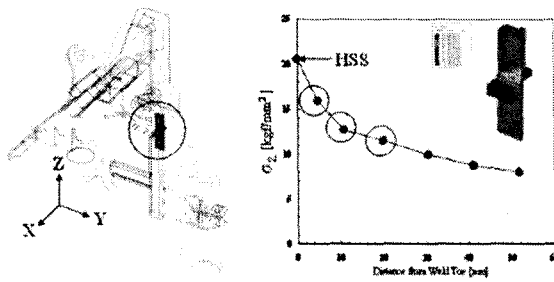


Fig. 6 Max. HSS at the front frame of the wheel loader

기구해석으로 평가한 하중이력에 따른 용접부에서의 HSS 이력을 기준으로, 부재별 용접부에서의 피로수명을 Miner rule을 이용하여 평가하였으며 부재별 두께 변경에 따른 휠로더 프론트프레임에서의 피로수명은 Fig. 7과 같다.

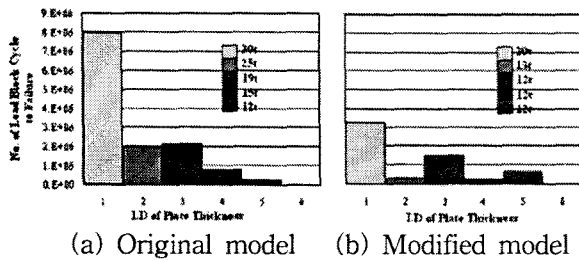


Fig. 7 Fatigue life distribution at the weldment of the front frame with the change of the plate thicknesses

Fig. 7에서 기존 모델의 프론트프레임의 각 부재별 피로수명에는 큰 차이가 존재하나 판두께를 적정화한 개선 모델의 경우 전체적으로 유사한 수준의 피로수명을 가짐을 알 수 있다.

휠로더 프론트프레임의 두께 감소에 따른 강성변화를 평가하기 위해서 고유진동수 및 최대 하중이 휠로더 버킷에 7:3의 좌우 비대칭 하중으로 작용할 때의 변형량을 유한요소해석으로 평가하였다. 해석 결과 고유진동수는 기존 모델과 두께 감소 모델에서 각각 1.2E-4Hz, 1.1E-4Hz로 엔진 고유 진동수 37Hz와 큰 차이를 가지며 최대 변형량은 두께 변경 전후에 각각 3.03mm, 3.20mm로 두께 변경 후에 최대 변형량이 약간 증가하나 전반적인 강성에는 문제가 없는 것으로 판단된다. Fig. 8은 두께 변경 모델의 최대 하중 작용시의 변형량 분포를 나타낸다.

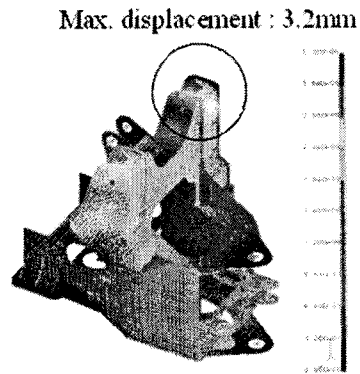


Fig. 8 Displacement distribution of the front frame for the modified model

4. 결 론

휠로더 프론트프레임의 적정 판두께를 선정하기 위해서 기구해석을 통해 하중 이력을 정의하고 판두께 변화에 따른 용접부에서의 피로수명 유한요소 해석으로 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기구해석으로 평가한 반력은 유한요소 해석 결과와 잘 일치한다.
- 2) 기존 모델의 프론트프레임의 피로수명은 각 부재별로 큰 차이가 존재하나 판두께를 적정화한 개선 모델의 경우 전체적으로 유사한 수준의 피로수명을 가진다.

참고문헌

1. Erkki Niemi, "Recommendations concerning stress determination for fatigue analysis of welded components", IIW Doc. XIII-1458-92