

유기압 현수장치 체결나사 손상원인 연구

손민구*, 김록한*, 강승주*, 장정호**

*국방기술품질원, 기동화력센터

**현대로템

e-mail:smg1492@dtqa.re.kr

A Study on the cause of Hydropneumatic Suspension Unit Bolt's Damage

Min-Gu Son*, Rok-Han Kim*, Seung-Ju Kang*, Jung-Ho Jang**

*Defence Technology Agency Quality, Land Systems Center

**Hyundai Rotem Inc.

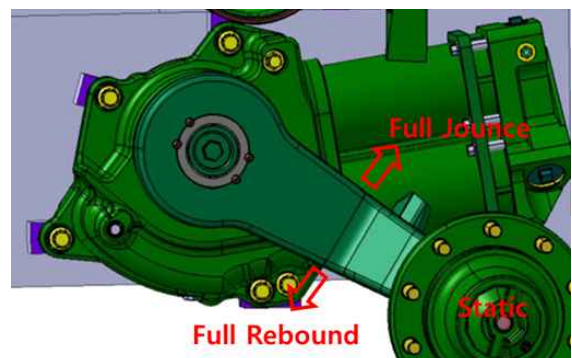
요약

본 논문은 다목적 개척용 궤도차량에 적용중인 유기압 현수장치 체결나사의 손상원인을 분석하여 궤도차량 현수장치의 신뢰성을 향상하는 것이 그 목적이다. 궤도차량 현수장치 체결나사는 진동충격이 발생할 때 차체와 유기압 현수장치를 고정하는 역할로 높은 신뢰성이 요구된다. 하지만 체계 내구도 주행시험 중 현수장치 4번 체결나사에 반복적으로 피로파손이 발생하여 개선이 필요하였고, 파단면, 응력해석 등의 원인분석을 통해 피로파괴 흔적, 응력집중을 확인하였다. 개선 방안으로 가이드 핀 자리에 체결나사를 추가하여 응력을 분산하였다. 개선품 입증시험 결과 추가 내구도 주행시험을 체결나사의 파손 없이 완료하여 체결나사의 내구도가 향상된 것을 확인하였다. 본 연구는 체결나사 내구성 향상을 통해 유사한 현수장치 개발 시 고중량 완성차에서 발생 가능한 주행특성에 대한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

군용 궤도차량의 기동력과 안정성 확보 시 고려해야할 사항 중 하나는 Bottom out 현상이다. 이 현상은 전차 바닥면이 노면에 닿는 현상으로 야지 등 차체변위가 크게 변하는 조건에서 많이 발생한다. 현수장치 파손 등으로 Bottom out 현상이 발생하면 차체 내구도와 조종수의 생존확률을 낮추기 때문에 현수장치로 거친 노면의 변위를 적절히 보상하는 것이 필수적이다[1~2]. 최근에 연구·개발된 다목적 개척용 궤도차량(이하 궤도차량)은 작전수행 환경을 고려하여 생산비용을 줄이면서 성능을 확보하기 위해 토션바와 HSU를 모두 사용하는 것으로 설계되었다[3]. 하지만 내구도 주행시험 중 2번 HSU 4번 체결나사가 파손되는 현상이 발생하였으며, 체결나사 교체 후 시험을 지속하였으나 1번 HSU 4번 체결나사에 추가 파손이 발생하여 궤도차량 현수장치의 신뢰도를 향상할 필요성이 있었다. 파손의 방지를 위해 유사사례를 조사하였으나 고중량 차량에서의 HSU 파손 영향성에 대한 연구가 미비하여 추가적인 연구가 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 파단면, 응력해석 등 다양한 측면에서 영향성을 분석하여 궤도차량 현수장치의 안정성을 향상하고자하였다.

HSU의 구동상태는 회전 각도에 따라 분류하는데 그림 1과 같이 Full Jounce, Static, Full Rebound 상태로 구분할 수 있다. 첫째로 Full Jounce 상태는 궤도바퀴에서 발생하는 외력이 암을 상단으로 밀어 올려 질소와 유압유가 압축되어 HSU가 최대하중을 받는 상태이다. 둘째로 Static 상태는 자중을 제외한 무부하 중립 상태이다. 마지막으로 Full Rebound 상태는 순간적으로 부하가 제거되거나 자세제어를 위해 유압유가 최대로 팽창한 상태이다. 파손영향성 분석 시 3가지 상태 중 최대하중을 받는 Full Jounce 상태를 관찰할 필요성이 있다.



[그림 1] HSU 위치별 상태

2. 원인검토

2.1 파단면 검토

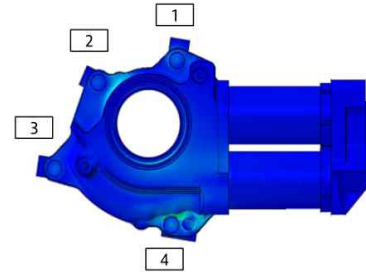
파손의 유형을 관찰하기 위해 체결나사의 파단면을 분석하였다. 그 결과 그림 2와 같이 피로파괴의 반복하중 흔적인 Beach Mark를 확인할 수 있었다. Beach Mark의 특징은 응력발생부에서 물결 파처럼 퍼져나가는 형상인데 이를 통해 파손유형을 간접적으로 유추할 수 있다[4]. 체결나사 파단면의 Beach Mark는 간격이 세밀하고 균열 시작점이 12시 방향이며 줄무늬 파단면의 면적이 비교적 좁다. 이는 12시 방향에서 비교적 큰 응력이 발생하여 균열이 진전되다가 좁아진 단면적으로 인해 상대적으로 커진 응력을 체결나사가 견디지 못하고 파손된 것으로 보인다. 이는 체결나사의 여유강도가 부족하여 반복하중을 견디지 못하고 파손된 것으로 판단된다.



[그림 2] HSU 체결나사 피로 파단면

2.2 응력해석

응력해석을 실시하여 각 HSU 체결나사의 파손 위험성을 수치적으로 식별할 필요성이 있었다. 해석 시 수직하중은 Full Jounce 값을 사용하였고, 횡하중은 전단응력의 최대 지점인 45°에서 수직하중의 절반으로 계산하였다. 그림 3에서 1, 2번 HSU 체결나사에 작용하는 응력을 해석하였고, 체결나사 4개소가 공통적으로 인장응력이 발생함을 확인하였다. 1~3번 체결나사의 인장응력은 유사한 수준이고 공통적으로 4번 체결나사의 응력집중도가 가장 높았다. 응력 집중도를 수치적으로 확인하기 위해 표 1에 응력해석 결과 값을 정리하였다. 1번 HSU 4번 체결나사의 인장응력 값은 851 MPa로 가장 높고, 1~3번 체결나사의 인장응력 평균값인 621.3 MPa보다 229.7 MPa 높다. 2번 HSU 역시 4번 체결나사의 인장응력은 872 MPa로 가장 높고, 1~3번 체결나사의 평균 인장응력인 625 MPa보다 247 MPa 높았다. 응력해석 결과 1, 2번 HSU 4번 체결나사에 200 MPa 이상 응력이 집중되는 것을 확인하였다. 1번 보다 2번 HSU 4번 체결나사가 받는 인장응력이 21 MPa 더 높아 내구도 시험 파손현상과 일치함을 확인하였다.



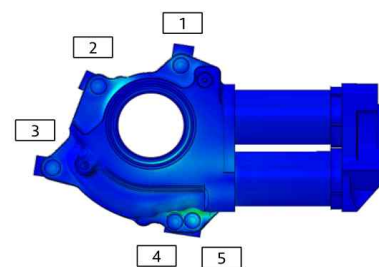
[그림 3] HSU 체결나사 응력해석 결과

[표 1] 개선 전 HSU 응력 해석 값

분류	1	2	3	4
HSU#1	662.5	583.6	617.7	851.0
HSU#2	643.9	599.0	632.1	872.0

3. 개선방안

앞선 원인분석을 통해 HSU 4번 체결나사에 집중된 응력을 분산할 필요성이 있었다. 그 방안으로 4번 나사 우측에 있는 이물질 유입 방지와 나사 미체결부 표시 역할을 하는 가이드 핀을 제거하고 5번 체결나사를 추가하였다. 그림 4는 개선 후 1, 2번 HSU 체결나사의 응력해석 결과이며 4, 5번 체결나사 부에 응력이 분산된 것을 볼 수 있다. 최대응력 발생 부위는 개선 전 4번 나사에서 개선 후 5번 나사로 교체되었으며 최대 응력의 크기도 줄어든 것을 확인하였다. 이를 표 2에서 수치적으로 확인할 수 있고 1, 2번 HSU 최대응력은 개선 전·후 각각 60.7, 62.2 MPa로 수치가 감소한 것을 확인하였다. 추가 내구도 주행시험을 완료한 것으로 보아 체결나사의 수명이 증가한 것으로 판단된다.



[그림 4] HSU 체결나사 개선 후 응력해석 결과

[표 2] 개선 전·후 HSU 응력 해석값

분류		1	2	3	4	5
HSU#1	개선전	662.5	583.6	617.7	851.0	—
	개선후	657.4	588.5	616.3	693.7	790.3
HSU#2	개선전	643.9	599.0	632.1	872.0	—
	개선후	669.7	616.5	660.8	681.5	809.8

3. 결론

본 논문에서는 개발시험평가 중 발생한 궤도차량의 HSU 체결나사 파손에 대해 품질개선을 수행하였다. 이를 위해 체결나사 파단면 분석을 실시하였고 피로파손의 흔적인 Beach Mark를 확인하여 여유강도 부족에 따른 피로파손으로 판단하였다. 체결나사에 최대하중이 발생할 때 최대응력을 확인한 결과 4개의 체결나사 중 4번 체결나사에 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있었다. 응력집중 해소 방안으로 4번 체결나사 옆에 추가로 5번 나사를 체결함으로써 응력을 분산하였다. 그 결과 최대응력이 60.7~62.2 MPa 감소하여 궤도차량 HSU 체결나사의 안정성을 확보하였다. HSU 체결나사를 5개소로 증대 후 0,000.0 km 추가주행을 완료하며 결함 해소를 확인하였다.

참고문헌

- [1] 손영일, 김승균, 이상문, 교영진, 이경돈, “6휠차량의 능동 현수장치개발을 위한 제어시뮬레이션”, 한국자동차공학회, 춘계학술대회, pp. 750-755, 4월, 2009년.
- [2] 교영진, 김승균, “지상전투차량의 능동 현수장치 개발방안”, 한국소음진동공학회, 제 19권 2호, pp. 18-25, 4월, 2009년.
- [3] 김형현, “궤도차량 ISU 작동유 누유 메카니즘 규명 연구”, 한국기계기술학회, 제 20권 2호, pp. 246-252, 4월, 2018년.
- [4] 이용복, “강 봉 맞대기 용접부의 피로 및 파단 특성”, 한국생산제조학회, 학술발표대회 논문집, pp. 185-190, 5월, 2009년.