

군용차량 허브리덕션 고장 메커니즘 분석을 통한 품질개선 연구

김성곤*, 김선진, 윤성호
국방기술품질원

A Study on Quality Improvement through Analysis of Hub-reduction Failure Occurrence Mechanism for Military Vehicles

Sung-Gon Kim*, Seon-Jin Kim, Seong-Ho Yun
Land-system Center, Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ)

요약 우리 군에서 운용되는 전술차량은 한국의 지형적 특성을 고려하여 허브리덕션 포탈차축이 적용되었다. 허브리덕션은 전술차량의 차체를 높여 차량의 지상고를 확보하고 토크 증대를 통해 비포장, 야지 등 험로에서의 운용능력 향상을 목적으로 개발되었다. 전술차량은 내구도 주행을 포함한 다양한 성능시험을 거쳐 전력화 되었으나 일부 전방부대 운용차량에서 바퀴 파손 문제가 발생되었다. 바퀴 이탈은 운전자의 안전과 생명에 관련된 품질문제로 명확한 원인분석이 수행되어야 한다. 현장방문을 통한 고품분석 결과 허브를 포함한 손상 부품이 많아 조속한 원인규명이 곤란하였다. 이에 손상 부품별 고장발생 메커니즘 분석을 수행하여 문제발생이 허브에서 시작되었음을 규명하였다. 또한 파손의 근본원인이 허브 내부 이물 및 기공에 의한 균열임을 최종 확인하였다. 이를 바탕으로 특성요인도 분석기법을 활용하여 설계 및 제조, 출하단계에 걸친 품질개선안을 도출하였다. 제안된 개선안은 내구해석을 포함한 단품 성능시험 및 실차 내구도 주행시험을 통해 효과성을 검증하고 이를 반영함으로써 한국형 전술차량의 주행 안전성을 확보하였다. 끝으로 본 논문에서 제시한 고장발생 메커니즘 분석기법이 향후 군용차량을 포함한 유사 장비 품질문제 분석에 활용되기를 기대한다.

Abstract For the tactical vehicles operated by the Korean army, the hub-reduction portal axle was applied considering Korea's topographical characteristics. Hub-reduction was applied to a Korean military vehicle to increase the vehicle body to secure ground clearance and improve the driving capability on rough roads, such as unpaved and field land by increasing the torque. The Korean military is operating tactical vehicles after various performance tests, including durability driving, but wheel damage occurred in one of the vehicles operating in the front units. Failure analysis revealed many damaged parts, including the hub, making it difficult to determine the cause. Therefore, an analysis of the failure occurrence mechanism for each damaged part was conducted, which confirmed that the cause of wheel breakage was a hub. Furthermore, the root cause of the hub breakage was a crack due to internal pores and foreign matters. In addition, a realistic improvement plan that can be applied throughout the design, manufacture, and shipping stages was presented using the fishbone diagram analysis. The derived improvement plan was verified through unit performance tests, including CAE and actual vehicle tests, and by reflecting this, the driving safety of Korean tactical vehicles was improved. Finally, it is expected that the proposed method for analyzing the failure occurrence mechanism will be used as reference material when analyzing the quality problems of similar military vehicles in the future.

Keywords : Quality Improvement, Hub-Reduction, Failure Occurrence Mechanism Analysis, Fish-Bone Diagram, Military Vehicle

*Corresponding Author : Sung-Gon Kim(DTaQ)

email: sg94.kim@dtaq.re.kr

Received April 26, 2021

Accepted June 4, 2021

Revised May 14, 2021

Published June 30, 2021

1. 서론

한국형 전술차량은 우리 군에서 주력으로 운용되던 ¼톤 및 1¼톤 표준차량을 대체하고 미래 전술환경에 적합한 고기동성, 생존성 및 편의성 확보를 목적으로 개발되어 실전에 운용되고 있다. 특히 야지가 많고 산악지형인 한국의 환경적 특성을 고려하여 비포장도로에서 기동력을 증대시키고 높은 차체 지상고를 확보함으로써 험로 주파 능력 향상을 위해 독립현가장치 및 허브 리덕션(Hub-Reduction, 이하 허브) 포탈차축이 적용되었다. 일반적으로 허브는 기어비 감속을 통해 토크를 증대시켜 구동력을 향상시키므로 화물차 등 상용차량에 적용된다 [1,2]. 민수차량의 경우 경량화 된 허브 개발을 위해 다양한 해석적 연구가 이루어지고 있으며 [3-5], 최적화된 형상 연구 역시 활발히 이루어지고 있다 [6,7].

군용차량에 적용된 허브는 Fig. 1과 같이 토크 증대뿐 아니라 동력이 전달되는 드라이브 샤프트 구동축과 타이어 중심인 출력축의 높이를 달리하여 지상고를 최대한 증대시키도록 설계되었다. 형상이 복잡하고, 고강도의 기계적 특성이 요구됨에 따라 민수차량에 적용되는 알루미늄 단조 방식이 아닌 ASTM 계열의 주강 재질을 사용한 주조 공법이 적용되었다 [8]. 주조공법은 제조과정에서 이물 유입 및 수축공 발생 우려가 높아 엄격한 공정 품질관리가 요구된다.

최근 전방부대에서 운용중인 전술차량에서 허브 파손에 의한 바퀴 이탈 문제가 발생되었다. 타이어 휠 내부에 위치한 허브의 파손은 차량의 바퀴 이탈을 유발시켜 운전자의 안전과 생명에 영향을 끼칠 수 있다. 이와 같은 동력전달계통의 품질문제와 관련한 문헌검토 결과 민간차량에서는 비틀림 하중을 받는 드라이브 샤프트 피로강도 개선 및 수명평가에 대한 연구나 액슬 소음 저감에 관한 연구는 다수 존재하나 허브 파손 및 이에 따른 개선 연구는 존재하지 않으며, 군수차량 역시 동력전달계통에 대한 문제 발생 이력이 없어 품질문제 원인분석 및 개선에 관한 연구가 이루어지지 않았다 [9-11]. 이에 본 논문에서는 고장발생 메커니즘 분석을 통해 군용차량 바퀴 이탈의 근본원인을 명확히 규명하고, 설계·생산·출하 전 단계에 걸쳐 개선방안을 도출하였다. 또한 제시된 개선안에 대해서는 단품 강도해석 및 시험, 실차시험 등 다양한 품질입증시험을 통해 개선효과를 검증하고 반영함으로써 전술차량에 대한 주행 안전성을 확보하였다.

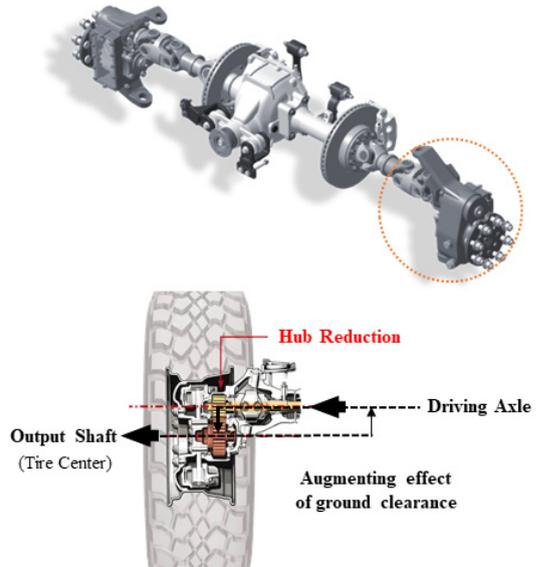


Fig. 1. Hub-Reduction on military vehicle

2. 본론

2.1 허브 구조

전술차량에 적용된 허브는 Fig. 2와 같이 타이어 내부에 위치하고 있으며, 위시본(Wishbone) 타입의 어퍼 암과 로어 암 및 레디어스 로드와 연결되어 있다. 어퍼 암과 로어 암은 차체 프레임과 허브 사이를 연결하여 기구학적 구조를 유지하는 독립현가장치로 상하 회전운동만을 하게 된다. 레디어스 로드는 프레임과는 부싱으로, 허브와는 볼 조인트로 연결되어 타이어의 직진상태 정렬을 유지시킨다. 허브는 구조적으로 타이어 노면의 하중을 지지하는 역할을 담당한다.

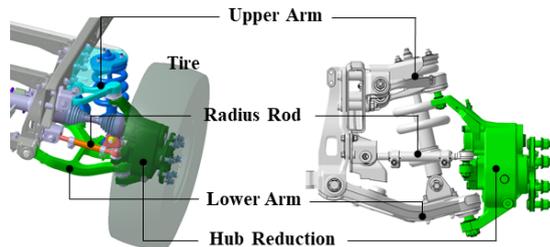


Fig. 2. Hub connection structure

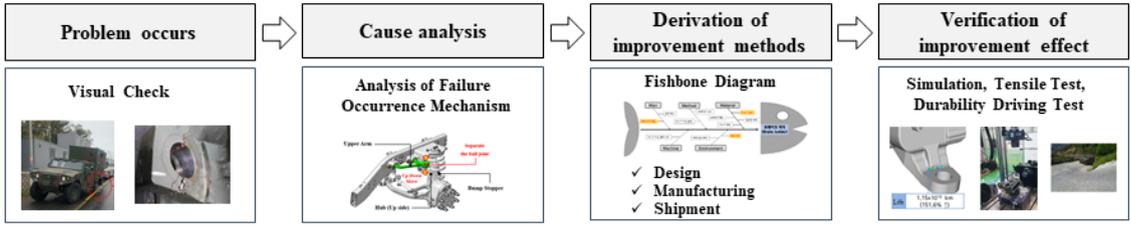


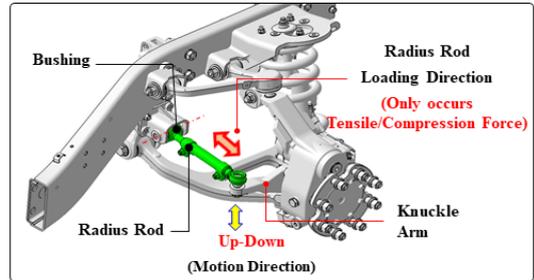
Fig. 3. Procedure on hub failure analysis

바퀴 이탈이 발생된 전술차량에 대한 고품 확인 결과 허브 파손뿐만 아니라 허브에 연결된 현가장치 및 각종 링크가 손상되어 있어 명확한 원인규명이 곤란하였다. 이에 파손이 확인된 부품에 대한 고장발생 메커니즘 분석을 수행하여 바퀴이탈의 근본 발생 원인을 규명하고자 하였다. 또한 특성요인도 분석 기법을 활용하여 파손을 유발할 수 있는 인자들에 대한 분석을 통해 개선방안을 도출하고, 다양한 품질 입증시험을 거쳐 효과성을 검증하고자 하였다. 이를 정리하면 Fig. 3과 같다.

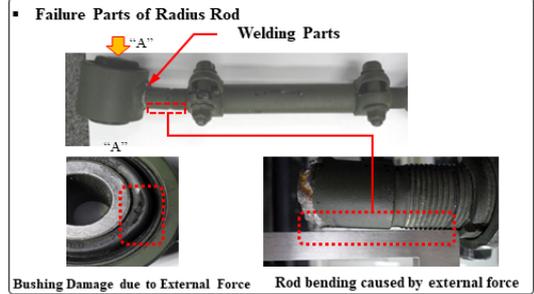
2.2 고장 메커니즘 분석

바퀴 이탈이 발생된 차량의 손상 부품을 살펴보면 Fig. 4와 같다. 먼저 레이어스 로드 로드 끝단 용접부가 파손되었고, 어퍼 암의 볼 조인트가 이탈되었으며 마지막으로 허브의 하단부가 파손되었다. 이에 각 파손 부품별 작동 메커니즘을 분석하고 파손 유형을 검토하여 바퀴 이탈의 근본원인을 파악하고자 한다.

먼저 레디우스 로드 로드 끝단의 작동 메커니즘을 살펴보면 Fig. 5와 같다. 차량 주행 중 발생하는 타이어 및 허브의 움직임으로 인해 상·하 운동만이 발생되며 이로 인해 부싱으로 연결된 레디우스 로드 끝단 용접부는 인장력과 압축력만을 받게 된다. 하지만 고품 분석 결과 용접부위 파손 전 눌림에 의한 고무 부싱 손상 및 로드 변형을 확인할 수 있었다. 이를 분석하면 레디우스 로드는 차량



(a)



(b)

Fig. 5. Analysis results on radius rod (a) Operating mechanism (b) Failure analysis

진행 반대방향에서의 비정상적 외력으로 인해 과도한 눌림이 발생되어 고무재질의 부싱이 손상 되고 로드 변형이 발생된 후 용접부위가 파손된 것으로 추정할 수 있다. 이를 정리하면 Fig. 6과 같다. 또한 동일로트로 생산된



Fig. 4. Parts related to wheel separation issue

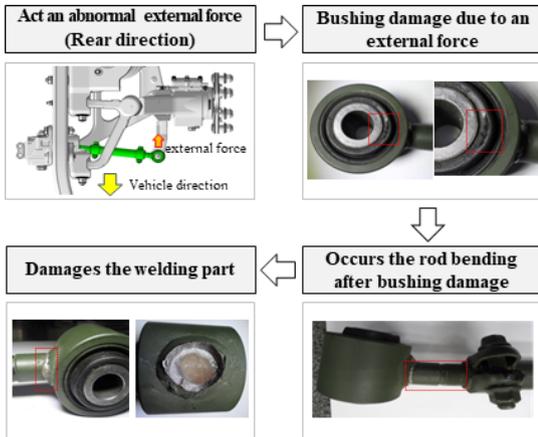


Fig. 6. Sequence of damage to the radius rod

레이더스 로드 에 대한 파괴시험 결과 파손응력은 설계기준을 만족하며, 파손 단면 역시 유사함을 확인할 수 있었다. 즉 레이더스 로드에서 발생될 수 있는 용접미흡에 의한 손상은 바퀴이탈의 1차 원인이 아님을 알 수 있다.

두 번째로 어퍼 암의 작동 메커니즘을 도식화하면 Fig. 7과 같다. 차량 주행 시 허브 상단에 소켓으로 연결된 어퍼 암의 움직임은 상하 방향으로만 존재하며 최대 이동거리는 로어 암에 위치한 범프 스토퍼에 의해 제어된다. 하지만 고품 분석 결과 연결부 소켓의 찍힘 및 캠 아웃 현상이 확인되었다. 이는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 허브 하부에서 발생된 요동각 증가로 소켓의 찍힘 및

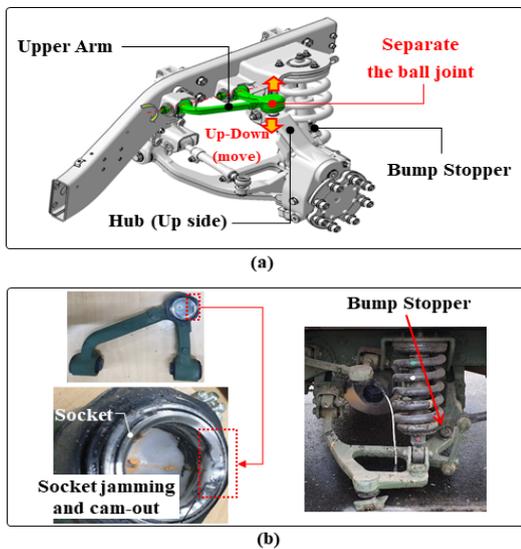


Fig. 7. Analysis results on upper arm
(a) Operating mechanism (b) Failure analysis

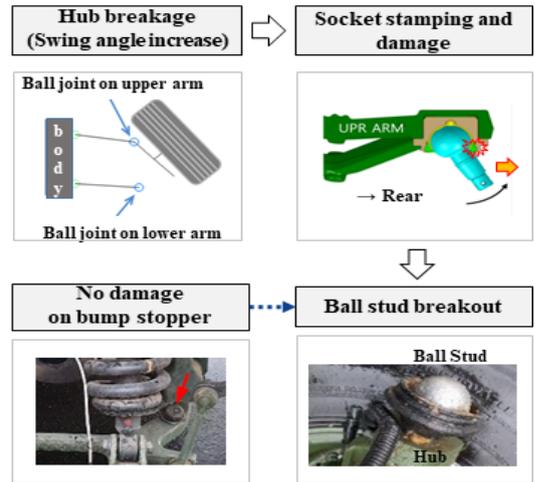


Fig. 8. Sequence of damage to the upper arm

손상이 발생되고, 이로 인해 볼 스투드가 임계점을 넘어 이탈될 것으로 판단된다. 또한 어퍼 암 소켓이 먼저 이탈될 경우 허브 하중에 의해 범프 스토퍼에 눌림 또는 손상이 발생되어야 하나 어떠한 흔적도 확인되지 않으므로 어퍼 암 볼 조인트이탈이 먼저 발생되지 않았음을 추가적으로 검증할 수 있다.

마지막으로 허브 하단부의 작동 메커니즘을 살펴보면 Fig. 9와 같다. 허브는 차량 주행 시 상하 방향으로 하중을 받게 된다. 이 때 허브 케이스는 볼 조인트의 원활한 조립을 위해 테이퍼 가공 처리되어 있어 표면에서 사선 방향으로 힘을 받게 된다. 즉 허브 연결부는 불량 또는 설계하중 이상의 외력 발생시 테이퍼 상단에서 균열이 발생할 수 있는 구조이다. 허브에 대한 고품분석을 위해 Fig. 10과 같이 육안검사, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM) 분석 및 방사선투과검사(Radiographic Testing, 이하 RT)를 진행하였다. 파단면에 대한 육안검사 결과 허브 상단에서 시작된 균열이 하부로 진전되었음이 확인되었고, 허브와 로어 암

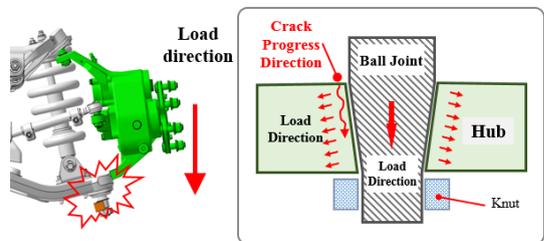


Fig. 9. Analysis results on Hub operating mechanism

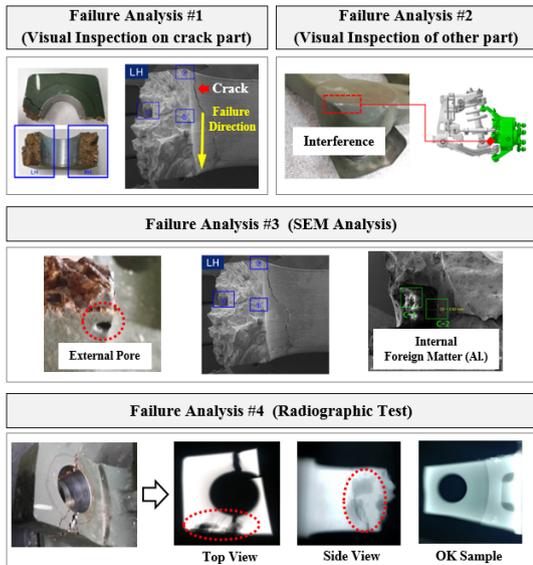


Fig. 10. Failure analysis results of hub

상단간 금속마찰에 의한 도장 손상 역시 확인되었다. 로어 암 표면에서의 도장 손상은 허브에서 파손이 시작되어야만 발생 가능하다. 이에 명확한 원인분석을 위한 SEM 분석 및 RT 검사를 추가로 진행하였고, 그 결과 허브 내부 이물 및 기공을 확인할 수 있었다. 즉, 허브 파손은 허브 케이스 내부에 발생된 기공(수축공)과 이물에 의해 주물의 강도가 저하되고, 이로 인해 차량주행 간 발생할 수 있는 설계 강도 이하의 충격에서 파손이 발생한 것

으로 판단된다.

결과적으로 전술차량에서 발생된 바퀴 이탈 관련 부품별 고장발생 메커니즘 분석 결과를 정리하면 Table 1과 같다. 또한 이를 바탕으로 바퀴 이탈 순서를 도식화하면 Fig. 11과 같다. 차량 주행 중 허브 하단 연결부 표면 균열에 의해 허브가 파손되고, 이로 인해 타이어 정렬이 흐트러져 차량 진행 반대방향으로 외력이 작용하게 된다. 이러한 외력으로 인해 레디어스 로드 휨 발생과 더불어 용접부위 파손이 발생된다. 이후 어퍼 암의 볼 조인트가 최종적으로 분리되면서 차량의 바퀴가 이탈되었음을 확인할 수 있다.

Table 1. The results on failure occurrence mechanism

Breakage Components	Possible cause of damage	Results
Radius Rod	Poor welding	Not 1st cause
Upper Arm	Departure of ball joint	Not 1st cause
Hub (down side)	Lack of manufacturing process management	Primary cause

2.3 특성요인도 분석

전술차량에서 발생된 바퀴 이탈의 1차 원인이 허브에 있음을 앞장의 고장발생 메커니즘 분석을 통해 확인할 수 있었다. 또한 허브 파손의 근본원인이 허브 케이스 내부에 발생된 기공 및 이물임을 추가 분석을 통해 확인하

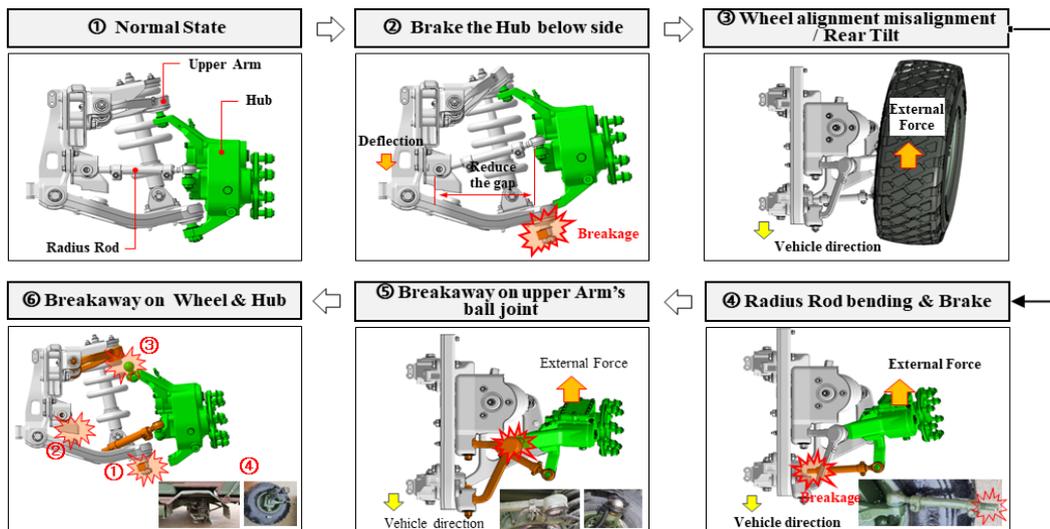


Fig. 11. Wheel separation sequence identified through a failure occurrence mechanism analysis

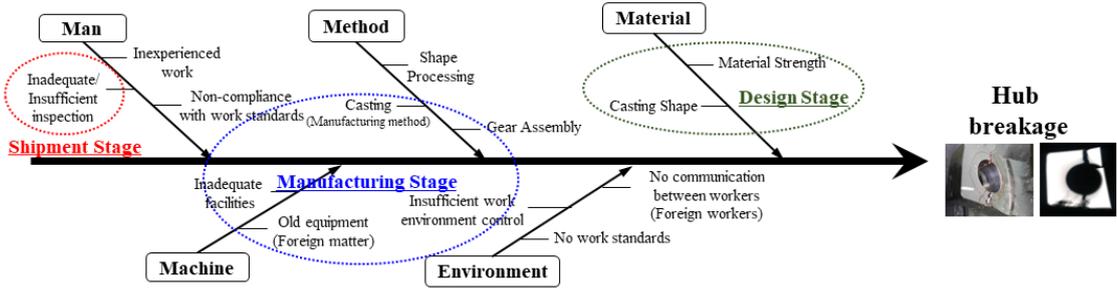


Fig. 12. Fishbone diagram analysis on hub breakage

였다. 전술차량용 허브 케이스는 형상, 강도, 운용환경 등을 고려하여 ASTM 재질의 주강품으로 설계되었다. 이는 제조 특성상 필연적으로 이물 및 기공이 발생될 수 있음을 의미한다. 이에 주강품에 대한 제조공정 관리강화 뿐만 아니라 보다 현실적인 개선안을 도출하고자 허브 파손 원인을 인자로 한 4M1E 기반의 특성요인도 분석을 실시하였다. 그 결과는 Fig. 12와 같이 생산, 설계 및 출하단계에 걸쳐 개선안 도출이 가능함을 확인하였다. 이를 정리하면 Table 2와 같다. 설계단계에서는 재질 및 형상 변경 등을 통한 강도개선을, 제조단계에서는 공정개선을, 마지막으로 출하단계에서는 검사강화를 통해 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Table 2. Improvement plan for each stage of production

Stage	Analysis result	Solution
Design	Are there any design improvements?	Strength improvement
Manufacturing	Is there a way to improve the process?	Change a casting method
Shipment	Is there any way to improve inspection?	Non-destructive testing

2.4 개선안 도출 및 검증

먼저 설계단계 강도개선을 위해 고려할 수 있는 인자는 재질과 형상변경이다. 현재 적용된 재질은 인장강도 895MPa 이상의 고장력 ASTM 재질로 32,000km 내구도 주행 등을 거쳐 안정성이 입증된 재질이다. 강도향상 방안으로 인장강도가 높은 재질 적용시 연신을 저하에 따른 가공성 저하, 주조불량 증가 및 신규 제조업체 발굴이 필요함에 따라 현실적으로 적용 불가능하다. 이에 허브 연결부위 리브 추가 등 형상 변경을 통해 응력집중 부위를 제거하고 주물 흐름을 개선시켜 무게 증가는 최소

화하는 동시에 강도를 개선하고자 하였다. 설계 개선 효과는 내구해석과 단품 상태 인장 파괴시험 및 실차 장착 내구도 주행시험을 통해 검증하였다. 그 결과를 정리하면 Table 3과 같다. 내구해석의 경우 먼저 운용조건이 매우 가혹한 A, B 부대의 도로조건에서 주행시험을 통해 전후(x)/좌우(y)/상하(z)에 발생하는 하중 데이터를 확보한다. 이를 해석모델에 허브 조임 축력과 더불어 입력 부

Table 3. Design improvement plan and verification results

Method	Verification Results																			
Strength Improvement																				
Durability Analysis (CAE)	114~151.6% strength improvement <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Military unit "A"</th> <th colspan="2">Military unit "B"</th> </tr> <tr> <th>Armored vehicle</th> <th>Non-armored vehicle</th> <th>Armored vehicle</th> <th>Non-armored vehicle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Before</td> <td>Life: 2,236,107 km</td> <td>Life: 3,476,107 km</td> <td>Life: 4,576,107 km</td> <td>Life: 1,024,107 km</td> </tr> <tr> <td>After</td> <td>Life: 5,576,107 km (118.8%)</td> <td>Life: 7,566,107 km (117.9%)</td> <td>Life: 1,716,107 km (117.9%)</td> <td>Life: 4,466,107 km (114.2%)</td> </tr> </tbody> </table>		Military unit "A"		Military unit "B"		Armored vehicle	Non-armored vehicle	Armored vehicle	Non-armored vehicle	Before	Life: 2,236,107 km	Life: 3,476,107 km	Life: 4,576,107 km	Life: 1,024,107 km	After	Life: 5,576,107 km (118.8%)	Life: 7,566,107 km (117.9%)	Life: 1,716,107 km (117.9%)	Life: 4,466,107 km (114.2%)
	Military unit "A"		Military unit "B"																	
	Armored vehicle	Non-armored vehicle	Armored vehicle	Non-armored vehicle																
Before	Life: 2,236,107 km	Life: 3,476,107 km	Life: 4,576,107 km	Life: 1,024,107 km																
After	Life: 5,576,107 km (118.8%)	Life: 7,566,107 km (117.9%)	Life: 1,716,107 km (117.9%)	Life: 4,466,107 km (114.2%)																
Tensile test (Single state)	No breakage at 56tons(tensile load). 																			
Durability driving test (Actual vehicle)	No damage when driving 4,800km. (Foremost road, 6 vehicles) 																			

하로 설정하여 해석을 진행한다. 내구해석은 CATIA를 활용하였으며, 자세한 내용은 지면 관계상 생략한다. 방탄(단축), 비방탄(장축) 차량을 대상으로 내구해석 수행 결과 114~151.6 %의 수명이 향상됨을 확인하였다. 또한 단품상태에서 인장시험기를 활용한 파단시험을 통해 56톤까지 파손 없이 견딜 수 있음을 추가 검증하였다. 시험은 허브를 차량 장착상태와 동일한 조건으로 시험기에 고정 후 하중을 인가하였다. 단 실제 차량에서 허브는 x, y, z 방향으로 하중을 받으나 단품상태 시험조건상 한 방향으로만 하중인가가 가능하므로 파손이 발생된 조건을 최대한 모사하여 시험을 진행하였다. 마지막으로 개선된 허브를 최전방에 위치한 A, B 부대 방탄, 비방탄 차량에 각각 장착 후 4,800km 내구도 주행시험을 실시하여 이상 유무를 검증하였다. 주행거리 선정은 전술차량의 국방규격상 확인시험 거리를 준용하였다[12]. 시험완료 후 허브에 대한 이상 유무 검증은 비파괴검사를 통해 수행하였고, 표면 및 내부균열 등의 결함이 발생되지 않았음을 확인하였다.

두 번째 공정단계 개선을 위해 제조공법 변경을 검토하였다. 먼저 내부기공이나 이물 발생을 원천적으로 차단할 수 있는 단조공법 적용을 검토하였으나, 허브 케이스 내부 기어조립부는 형상이 복잡하여 적용이 불가능하다. 이에 외형부만 단조처리 후 내측에 대해 후가공 적용시 가공시간이 과다하게 소요됨에 따라 생산성이 저하되어 이 역시 적용이 불가능하다. 또한 용접구조물로 변경시 접합부의 용접 품질관리가 어려워 현 제조방법인 주조공법을 유지하는 것이 적절하다. 따라서 현 주조공법을 유지하면서 파손발생 원인인 내부기공 억제와 이물 유입 차단을 위해 기존 사형주조 방식에서 정밀주조 방식 중 하나인 셸 몰드(Shell mold) 공법으로 변경하였다. 금형을 사용하여 몰드를 성형함으로써 품질이 균일하고 표면 조도가 우수하며 기포 발생률 역시 현저히 저하되었다. 또한 몰드의 쇳물 주입구에 세라믹 필터를 적용하여 외부 이물 유입을 차단함으로써 소재 내·외부의 건전성을

Table 4. Improvement plan at the manufacturing stage

Method	Before	After
Suppression of internal pore generation	Sand casting 	Shell mold 
Suppression of inflow on foreign matter	No filter 	Apply a ceramic filter 

향상시켰다. 이를 정리하면 Table 4와 같다.

마지막으로 설계 및 공정개선과 더불어 출하단계 개선을 위해 비파괴검사를 적용하였다. 공정에서 발생한 불량품이 양산에 적용되지 않기 위한 최종단계 개선이라 할 수 있다. 기존에는 허브 케이스 제조 후 형광침투탐상법(Fluorescence Penetrant Testing, 이하 PT)을 이용해 표면결함을 검출하였다. 이를 보완하고자 Table 5와 같이 표면결함의 검출력 향상을 위해 자분탐상검사(Magnetic particle Testing, 이하 MT)를 적용하고, 내부결함까지 검출할 수 있도록 RT 검사를 적용하였다. 주조공법을 이용한 주강/주물품의 경우 제조특성상 필연적으로 수축공 등 결함이 발생될 수 있어 기포, 수축공 및 원형 개재물 등에 대해 크기를 규정하고 이를 허용되고 있다. 하지만 군용차량에서 허브의 기능을 고려할 때 엄격한 검사기준을 설정하는 것도 필요하다. 따라서 RT검사의 합부 판정기준은 제조특성과 차량 운용특성을 모두 고려하여 보다 현실적인 검사기준을 적용하였다. 즉 Fig. 13에서 보는바와 같이 파손이 발생된 또한 파손 가능성이 가장 높은 부분은 무결점 검사기준을 적용하고, 나머지 부위는 비파괴검사 판정기준인 SAE AMS 2175의 Grade B를 적용하여 미세결함을 일부 허용하였다[13].

Table 5. Improvement plan at the shipping stage through inspection reinforcement

Method	Before	After
	PT	MT
Detection of surface defect		
Detection of internal defect	N/A	RT
		

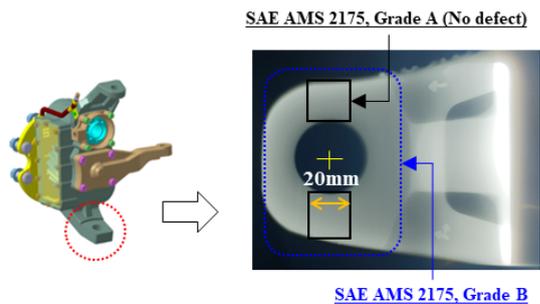


Fig. 13. Criteria of RT on Hub's below joint part

그 결과 검사비용의 상승은 발생되었으나 불량률을 현저히 감소시킴으로써 군용차량에 대한 주행안전성을 확보할 수 있었다.

즉 군용차량 바퀴 이탈의 근본 발생원인인 허브의 품질개선을 위해 설계 및 공정, 출하단계에 대해 품질개선을 진행하였고 이에 따른 개선효과를 정리하면 Table 6과 같다.

Table 6. Summary of improvement methods and effects for hub

Stage	Improvement method	Improvement effect
Design	Shape Change (Strength reinforcement)	114~151.6% strength improvement
Manufacturing	Process Change (Shell mold + Ceramic filter)	Suppression of porosity & internal foreign matter
Shipment	Inspection reinforcement (Non-destructive testing)	Near-zero defective rate

3. 결론

본 논문에서는 군용차량에서 발생된 허브 파손 관련 품질문제에 대한 원인분석 및 개선방안 도출 과정에 대해 기술하였다. 고장발생 메커니즘 분석을 통해 원인분석을 진행하였고, 특성요인도 분석 기법을 활용하여 개선방안을 도출하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 파손이 발생된 부품에 대해 고장발생 메커니즘 분석을 수행하여 군용차량 바퀴 이탈 원인이 허브이며, 허브의 파손은 케이스 내부에 발생된 기공(수축공) 및 이물에 의한 강도저하가 근본원인임을 확인할 수 있었다.

둘째, 제조공정 개선을 포함한 보다 효율적 개선안을 도출하고자 허브 파손을 유발할 수 있는 발생 가능 인자들에 대한 4M1E 기반 특성요인도 분석을 진행하였고 그 결과 설계 및 제조, 출하단계에 걸쳐 개선안 도출이 가능함을 확인하였다.

셋째, 설계개선을 통해 기존대비 약 1.5배 이상 강도를 향상시켰고 내구도 주행시험 등을 통해 검증하였다. 또한 제조공법 및 공정개선으로 불량 발생 근본원인인 기공 및 이물유입을 방지하였다. 출하단계에서의 불량 검출력 향상을 위해 제조 및 차량특성을 고려한 현실적인 비파괴검사 기준을 제시하고 적용함으로써 군용차량의 주행 안전성을 확보하였다.

끝으로 본 논문에서 제시된 품질문제 분석방법 및 개선안 도출 기법은 추후 유사장비에 대한 품질문제 원인 분석 시 참고자료로 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] B. S. Park, J. H. Park, Y. S. Pyoun, S. G. Lee, "Development of Hub Reduction for Heavy Duty Vehicle", *The Korean Society of Mechanical Engineers Annual Conference*, pp.1153-1153(1 page), Nov. 2009
- [2] E. H. Lee, Y. S. Lee, "A development of the integrated hub for weight-reduction", *The Korean Society of Mechanical Engineers Annual Spring Conference*, pp.973-979, May 2011
- [3] C. H. Nam, S. J. Choi, Y. W. Park, G. Y. Ham, S. H. Kim, "Prediction of Structural Performance for Lightweight Wheel Hub Module in Heavy duty Commercial Vehicle", *The Korean Society of Mechanical Engineers Annual Fall Conference*, pp.1127-1129, Nov. 2017
- [4] C. H. Nam, S. J. Choi, E. J. Park, G. Y. Ham, S. H. Kim, "Analysis of Deformation for Lightweight Wheel Hub Module in Heavy duty Commercial Vehicle During Braking", *The Korean Society of Mechanical Engineers Annual Fall Conference*, pp.908-908(1 page), Nov. 2018
- [5] Koduri, S. Mohapatra, D. Kangde, S, "Effect of Flange Radius and Width on the Fatigue Life of Wheel Hub under Cornering Loads", *SAE Technical Paper*, 2020-01-1232, Apr. 2020
DOI: <http://doi.org/10.4271/2020-01-1232>
- [6] J. S. Choi, "A Study on Shape Optimization of The Hub in a Driving System", *The Korean Society of Mechanical Engineers Annual Spring Conference*, pp.1108-1112, May 2003
- [7] M. S. Han, J. U. Cho, "A Study on Structural Safety Analysis of Hub Space", *Transactions of KSAE*, Vol. 23, No. 3, pp.352-359, May 2015
DOI: <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2015.23.3.352>
- [8] M. S. Moon, M. H. Yoo, J. I. Rho, J. H. Song, J. H. Oh, "Development of the lightweight commercial vehicle's wheel by the semisolid forging process with the multi-cavity forming", *The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Conference*, pp.27-27(1 page), Nov. 2019
- [9] H.J. Moon, K.J. Sim, N.J. Jeon, "A Study on the Structural Strength Fatigue Improvement of an Axle Shaft for a 3.5-Ton Commercial Vehicle", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 17, No. 3, pp.71-77, Jun. 2018
DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.3.071>
- [10] T. Y. Kim, T. A. Kim, S. H. Han, "Fatigue Life

Estimation of Induction-Hardened Drive Shaft Under Twisting Loads”, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A*, Vol. 41, No. 6, pp.567-573, Jun. 2017
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2017.41.6.567>

- [11] J. Y. Lee, S. K. Lee, Y. K. Jo, J. Y. Kim, "Identification of the Interior Noise Generated by SUV Axle and Modification of the Structural on Axle System for Noise Reduction", *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 16, No. 6, pp. 582-592, Jun. 2006
- [12] Defense Acquisition Program Administration, KDS 2320-4015, "Truck, Panel, 4×4, K151 Series", Mar. 2019
- [13] SAE International, AMS 2175, "Castings, Classification and Inspection of", Aug. 2018

윤 성 호(Seong-Ho Yun)

[정회원]



- 2016년 2월 : 한국해양대학교 기계공학부 (기계공학학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

김 성 곤(Sung-Gon Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한양대학교 기계공학부 (기계공학석사)
- 2003년 1월 ~ 2012년 7월 : 삼성전자 컴퓨터시스템사업부 책임연구원
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 선임연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국항공대학교 기계공학과 (기계공학학사)
- 2019년 2월 : 전남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 선임연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리