

# 한국형 전술차량 후차축 고정볼트 축력 손실 개선 방안에 대한 연구

박진원<sup>1\*</sup>, 김강균<sup>2</sup>, 김선진<sup>1</sup>, 박영찬<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원, <sup>2</sup>기아 주식회사

## A study on the way to improve the loss of Bolt tension for the rear axle of KLTV

Jin-Won Park<sup>1\*</sup>, Gang-Gyun Kim<sup>2</sup>, Seon-Jin Kim<sup>1</sup>, Young-Chan Park<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Land Systems Center, Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ)  
<sup>2</sup>Package Team-Special Vehicle, Kia Corporation

**요약** 본 연구는 한국형 전술차량 후차축 고정볼트 축력 손실과 그로 인한 볼트 풀림의 원인분석을 통해 그 해결방안을 모색하는데 있다. 이를 위해 QC 7대 도구 중 “특성요인도”를 활용한 명확한 원인 분석과 초음파 볼트 축력계, 실차 가속도 및 레이저 변위 센서, CAE 해석 등을 통해 정확한 검증 및 개선 방안을 제시하고자 하였다. 분석 결과, 후차축 고정브라켓 길이 증대로 인한 외력 증가, 후차축 하우징 볼팅부 인서트 조립 단차 및 볼팅 좌면 모따기 미적용 등으로 볼트 축력 저하에 의한 볼트 풀림 현상이 있었고, 이에 대한 개선방안으로 후차축 고정브라켓 모따기 추가, 징척홀경 축소 및 브라켓 형상 변경, 장착 볼트 재체결 공정을 추가하였으며 실차 도로 주행 검증 등을 통해 상기 개선안을 확정하였다. 이러한 개선 활동을 통해 주요 무기체계의 안정적인 운용 및 사용군 운용간 인명과 연관된 안전사고를 사전 예방할 수 있었다.

**Abstract** The main goal of this research is to seek solutions, through a cause analysis, to the loosening of bolts in the rear axle of KLTV due to bolt tension decrease. This paper suggests a precise analysis using the Characteristics Diagram and a clear verification and improvement proposal through appropriate test devices (such as the ultrasonic bolt tension measurement system and various types of sensors) and CAE analysis. As a result of the in-depth analysis, the bolts loosening phenomenon caused by the external force increase, the gap between the bracket and insert surface, and the absence of bolting hole chamfering was dramatically reduced. This reduction is achieved by a bracket design optimization, the addition of a re-tightening process, etc., by carrying out an actual road test and evaluation. Through these improvement activities, the main weapon system can be operated stably, and the accidents in KLTV related to passenger's life are prevented in advance.

**Keywords** : Bolt Tension(=clamping force), Rear Axle, Re-Tightening, KLTV(Korean Light Tactical Vehicle)

---

\*Corresponding Author : Jin-Won Park(Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ)  
email: jwpark@dtaq.re.kr

Received August 20, 2021

Accepted September 3, 2021

Revised August 31, 2021

Published September 30, 2021

## 1. 서론

'15년 체계개발이 완료되어 '16년말에 사용군으로 전력화되어 운용중인 한국형 전술차량(Korean Light Tactical Vehicle, 이하 KLTV)은 기존의 우리나라에 운용중인 1/4톤급 K131과 1 1/4톤급 K311A1 차량이 기동성, 생존성 및 야전운용성 등이 미흡하여 작전지역이 확대된 미래 전장 환경하 효과적인 전투지휘와 기갑수색정찰, 근접정비지원 등을 위해 국내 독자모델로 개발되었다[1].

이러한 KLTV는 미군 HMMWV, JLTV 등 대부분의 고기동 전술차량이 그러하듯이 험지주행 능력 향상 및 지상고 증대를 목적으로 중치형 엔진을 장착한 4륜 독립 현가 및 아래 Fig. 1과 같이 인보드 타입의 포털 액슬(Portal Axle)을 기반으로 한 후륜구동방식을 채택하고 있다. 통상적인 민수 상용트럭과 달리 이러한 포털액슬의 적용은 타이어 인근에 감속기능을 가진 허브를 장착하여 액슬의 중심과 타이어의 중심차이만큼 지상고를 높일 수 있다.

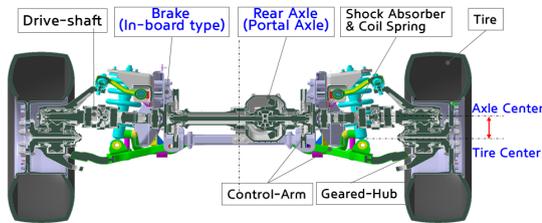


Fig. 1. Rear axle configuration & Lay-out of KLTV

특히 그러한 파워트레인 계통 중에서 후차축(Rear Axle)은 엔진으로부터 발생한 동력을 변속기와 프로펠러 샤프트를 통해 전달받아 구동력을 차체에 전달함과 동시에 동력발생 코너링시 좌·우 바퀴의 속도차를 보상하는 디퍼렌셜 기능과 사지 탈출을 위한 차동잠금장치(No Spin Differential, 이하 NSD) 능력을 보유하고 있으며 궁극적으로는 차량 하중을 지지하는 역할을 수행한다.

위에서도 언급하였듯이 후차축(Rear Axle)은 구동력 전달, 선회력 배분, 험지 탈출 및 하중지지 등 차량의 기본적인 성능을 제공하는 중요한 구성 요소로 부품의 변형 및 손상이 차량의 성능에 지대한 영향을 미치게 된다. 이러한 부품 자체의 강건 설계뿐만 아니라 각 부품을 연결하는 체결부 설계도 매우 중요한 설계 고려 요소이다. 특히 연결부의 체결력이 부족할 경우에는 부품 상호간의 고정 기능 저하로 서로 상이한 상대운동을 하게 되며, 그

로 인해 승무원을 자극하는 소음이 발생할 수 있으며 심하면 부품의 손상으로 인한 탑승자의 안전과 생명에 치명적인 손상을 줄 수도 있다[2].

'19년 4월경 KLTV를 체계업체에 납품하여 차량 점검 간 총 24대중 7대에서 후차축 고정볼트 풀림 현상을 아래 Fig. 2와 같이 확인하였으며, 브라켓 절손시 후차축 처짐과 그로 인한 동력전달 불가로 안전사고의 위험이 있어 신속히 개선을 추진하게 되었다.

금번 연구는 KLTV 양산간 발생한 후차축(Rear Axle) 장착용 브라켓 고정볼트 풀림과 이를 해소하기 위한 방법론에 관한 것으로 이를 통해 유사 사례 연구 또는 안전을 고려한 신차 설계 시 시사점에 대해 기술하였다.

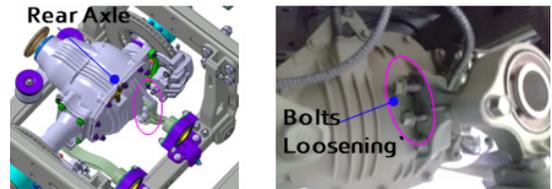


Fig. 2. Bolts loosening phenomenon of Rear Axle at KLTV

## 2. 본론

금번 한국형 전술차량(KLTV) 후차축 고정볼트 풀림 현상 해소를 위하여 다음과 같은 순서로 추진하였다. 우선 QC 7대 도구 중에 하나인 특성요인도를 활용한 원인 분석을 실시하여 3가지의 주요 원인을 식별하였다. 아울러 식별된 원인뿐만 아니라 고정브라켓 접촉면적 증대 및 재조임이 축력 손실 저감에 효과가 있어 재체결(Re-tightening) 항목을 추가하여[3], CAE 해석, 단품 및 실차주행 시험을 통해 현상 검증 및 최종 개선을 마무리하였다.

### 2.1 원인분석

통상적인 정부투자 업체주도 연구개발사업의 무기체계 개발은 소요가 확정된 이후 일반 민수차량의 자기인증에 해당하는 시험평가 절차를 거치게 된다. 이에 대해 조금 더 상세히 설명하면 개발기관 주관의 개발시험평가(Development Test, 이하 DT)와 사용자(육·해·공군) 주관의 운용시험평가(Operational Test, 이하 OT)를 실시하게 된다[4].

일반적으로 군용 장륜형 차량(Wheeled Vehicle)의

DT는 차량 내구주행시험을 포함하고 있는데 이는 미군 협비규격서와 미군 TOP(Test Operations Procedure) 2-2-506(Endurance Testing) 기준으로 약 20,000 mile(약 32,000km)을 약 40%(12,800km), 비포장 및 포장도로를 각 30%(각 9,600km)를 주행하는 것을 주요 골자로 하고 있다[5][6].

금번 연구 대상인 KLTV는 차량 내구수명에 상당하는 내구주행시험을 '12년말 개발 착수한 이래 총 5회 실시하여 작전요구성능(Required Operational Capability, 이하 ROC) 및 국방규격을 충족하였다. 다시 말해 후차축 고정브라켓의 볼트 풀림 등과 같은 축력 저하 현상이 발생하지 않았다는 것을 의미한다.

그러함에도 불구하고 최초 전력화 이후 약 3년이 지난 시점에서 고정볼트 축력 저하에 의한 풀림 현상이 발생하였다. 일반적으로 이러한 품질문제를 해소하기 위해 파레토법, 산점도, 히스토그램, 특성요인도 등 QC 7대 도구를 활용한다. 그 중에서 특정 품질특성이 어느 품질인자에 영향을 받고 있는지를 하나의 계통도로 확인 가능한 "특성요인도"를 적용하였다.

그로인해 품질 문제점에 영향을 미치는 인자를 명확히 분석하여 위험요인을 아래 Fig. 3과 같이 식별하였다.

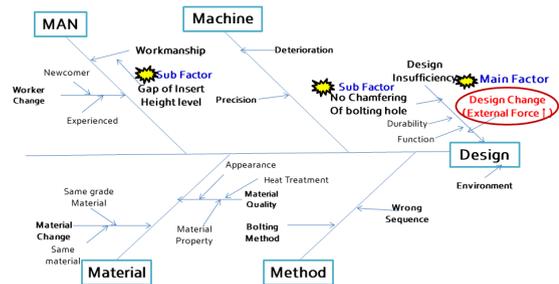


Fig. 3. Characteristics diagram for Rear Axle problem

일반적으로 축력 손실에 의한 볼트 이완(풀림)은 아래 Fig. 4와 같이 볼트 결합력보다 외부에 작용하는 외력이 크면 발생하게 된다.

$$[\text{외력(급출발/제동/힘로)}] \geq \text{볼트결합력(축력} \times \text{마찰계수)}$$

(1)

위 Fig. 3의 특성요인도를 활용하여 4M1D(4M : Man, Method, Machine, Material, 1D : Design) 관점에서 외력 작용 요인에 대해 검토한 결과, 그 중 설계(Design) 측면에서 '18년도 8월에 실시한 후차축 차동잠금장치(NSD) "팅" 노이즈 저감을 위해 설계 변경(품질개선)이

주요인으로 확인되었다.

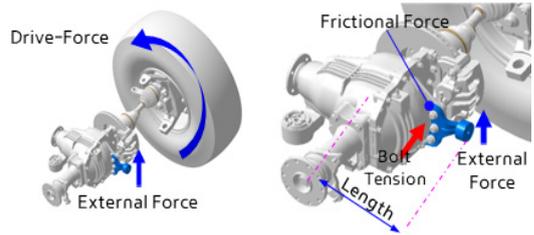


Fig. 4. The mechanism of bolt loosening of Rear Axle

당시 NSD 소음 개선을 위해 인슐레이터 사양 및 차축 고정방법을 변경하면서 아래 Table 1과 같이 프레임 크로스멤버와 차축을 고정하는 브라켓 길이를 약 56.8mm 증가시켰는데 이로 인해 볼트 장착부 외력 증가에 의한 풀림 현상이 발생하였던 것이다.

Table 1. Main factor of bolt loosening phenomenon

First Production Type	After Design Change
The increase of bracket length(56.8mm ↑)	

또한 후차축 하우징은 알루미늄합금 주물(KS D 6008 AC4A-T6 또는 AC4C-T6)이어서 고장력볼트(KS D 1042 M14X1.5X45-6g 10.9T)의 토크를 견디기 위해 장착홀에 인서트를 장착하도록 되어 있는데 아래 Fig. 5와 같이 작업자 조립 미흡에 의한 하우징 표면과 인서트 상부와 단차 발생으로 볼트 축력이 불균일하게 발생한 것이 추가적인 원인으로 작용하였다.

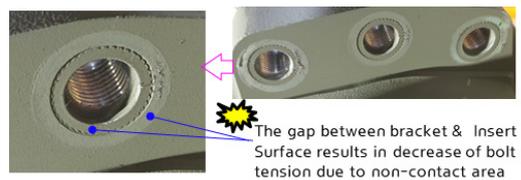


Fig. 5. The gap between bracket & insert surface

이에 대한 영향성을 확인하기 위하여 아래 Table 2의 초음파 볼트 축력계를 활용하여 양산 라인에 있는 후차

축 하우징(커버)을 무작위로 3대 샘플링하여 단품 축력을 측정하였다.

Table 2. The device lay-out & configuration

Load Cell	Sensor position
	
Device Maker : Micro Control Inc(US), MC900 etc.	

볼트 축력 평균값 46.5kN 기준(표준편차 5.53)으로 최소값과 최대값의 산포가 약 22% 수준으로 inserts 조립 미흡에 의한 볼트 축력 품질 수준이 상당히 불안정함을 아래 Fig.6에서 확인할 수 있었다. 이러한 하한치에 해당하는 축력이 주 인자인 브라켓 길이 증대에 의한 외력 증가와 상호 작용이 이루어질 경우 볼트 풀림 현상을 가속화 시킬 수 있을 것으로 판단하였다.

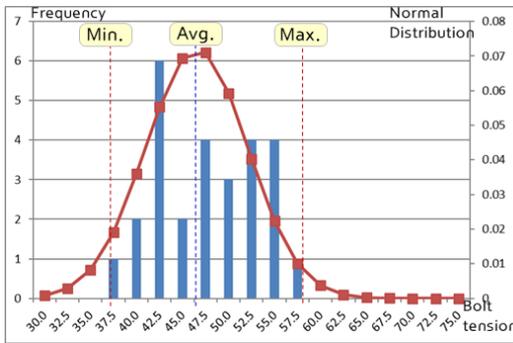


Fig. 6. The measurement results of bolts tension

마지막으로 Fig 7과 같이 브라켓 표면의 볼팅을 위한 구멍에 모따기(Chamfering)가 미적용되어 볼트 모서리 R부와 볼트 좌면의 간섭현상에 의해 Gap이 발생함에 따라 축력 저하가 발생한 것이 3번째 부수적인 인자로 작용하였다. 아래 Fig. 7에서 볼트 R부 간섭에 의한 굽힘과 고정브라켓 볼팅 좌면의 불균일 접촉을 육안으로 확인할 수 있다.

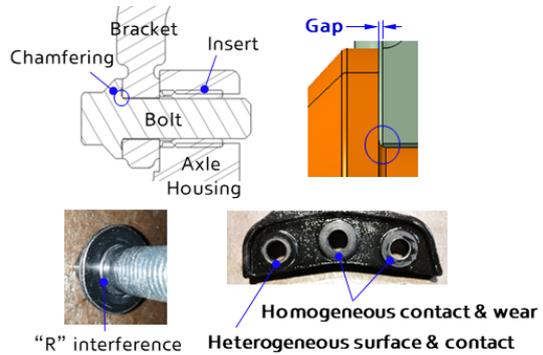


Fig. 7. The decrease of bolt tension due to non-chamfering in bracket surface area for bolting

상기 KLTV의 후차축 고정볼트 축력 감소에 의한 볼트 풀림 현상 원인을 최종 정리하면 아래 Fig. 8의 플로우 차트와 같다. 최초 양산부터 후차축 고정브라켓 볼팅 표면과 insert 좌면과의 단차(Gap) 및 고정브라켓 볼팅 홀의 모따기(Chamfer) 미적용은 존재하였지만 다수의 내구주행시험 및 최초 2년 양산간 상기 현상이 단 1건도 발생하지 않은 것으로 미루어 판단컨대 '18년 8월에 실시한 NSD 관련 설계변경으로 인한 후차축 고정부 외력 증가가 주 요인(Main factor)이고 나머지 2가지 요인은 이를 가속화 시키는 부수 인자(Sub factor)로 판단된다.

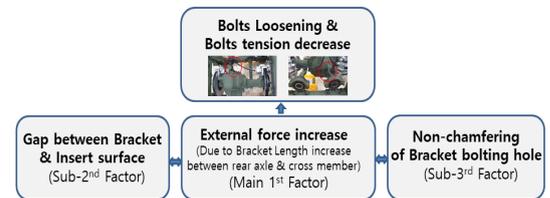


Fig. 8. The flow-chart to explain how problem becomes

## 2.2 검증 결과

우선 후차축 브라켓 길이 증대에 따른 볼팅부 외력 증가에 의한 볼트 풀림 현상을 확인하기 위하여 볼트 장착부에 가속도 센서를 부착하여 3개 종류의 도로(K社 주행장, 고속도로 및 H社 벨지안로)에서 실무하 계측한 결과, 아래 Table 3과 같이 양산 초기 대비 3축(x, y, z) 모든 방향에서 가속도값이 증가한 것을 확인할 수 있었다.

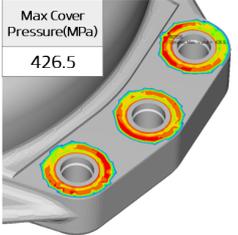
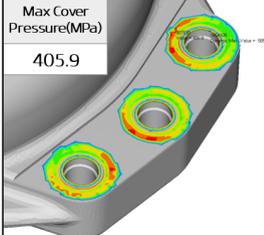
Table 3. The measurement results of Triaxial accelerometer

Contents	First Production Type			After Design Change		
	x(TL)	y(BL)	z(WL)	x(TL)	y(BL)	z(WL)
K00 ltd. PG	1.24	1.38	2.14	1.33	2.16	3.53
Express Highway	0.62	1.51	2.17	1.02	1.57	3.81
H00 ltd. Belgian	2.10	2.48	1.92	2.81	4.39	3.12
Sensor application position & lay-out						
sensor specification	PCB PIEZOTRONICS Series 3713 Triaxial Accelerometer					

특히 일반적인 도로와 유사한 편인 통상적인 고속도로 및 K사 주행장 기준으로 z방향은 최대 75.6%, x방향 64.5%, y방향 56.5% 가속도값이 증가하여 3축으로의 전방위적인 외부 하중 증가가 축력 손실을 초래하였고 그로 인하여 최종적으로 볼트 풀림 현상이 발생한 것으로 판단된다. 참고로 일반 도로 대비 벨지안로 조건이 좀 더 가혹한 편이어서 전반적으로 높은 가속도값을 나타내었고 특히 y방향 측정값은 타 도로 조건보다 약 1.7~2.8 배 높게 나타났다.

또한 2번째 부수 인자인 고정브라켓 좌면과 인서트 표면과의 단차가 의한 영향을 확인하기 위하여 CAE 해석을 진행하였다.

Table 4. The results of CAE analysis in Rear Axle bracket

Gap (O)		Gap (X)	
Max Cover Pressure(MPa)		Max Cover Pressure(MPa)	
	426.5		405.9
CAE Analysis Program : Abaqus 2018 ver.			

위 Table 4의 해석 결과에서도 확인가능하듯이 인서트 삽입간 단차가 없는 경우는 볼트 조임 시 면압 분산이 가능하므로 단차가 존재하는 사양 대비하여 브라켓 볼트 조임을 위한 좌면의 최대면압이 약 4.8% 감소하여 축력 손실 측면에서 꽤 유리한 것으로 확인되었다.

마지막으로 3번째 부수 인자인 브라켓 표면의 불링을 위한 구멍에 모따기(Chamfering)가 미적용되어 볼트 모서리 R부와 볼트 좌면의 Gap이 발생함에 따른 출력 손실 여부 검증을 위하여 위 Table 2에서 기 언급한 초음파 볼트 축력계를 활용하여 모따기 적용 유·무와 볼트 축력과의 상관관계를 확인하기 위하여 체결 토크를 변화시키면서 축력을 측정하였다.

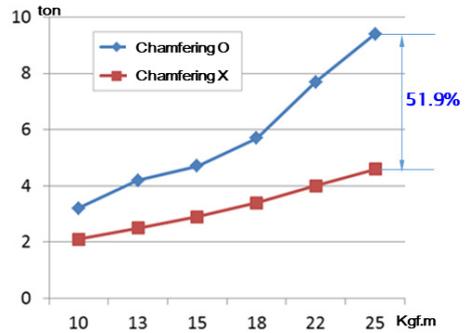


Fig. 9. The measurement results of bolts tension

장착 볼트 모서리 R부와 브라켓 가공면 간섭에 의한 Gap 발생으로 위 Fig. 9의 그래프에 해당하는 차이만큼 축력 손실이 발생함을 알 수 있다. 아울러 그러한 경향은 체결 토크가 증가함에 따라 축력 손실량 또한 증가함을 알 수 있었으며 특히 체결토크 25kgf·m에서는 최대 축력 저하가 약 51.9%까지 발생하였다.

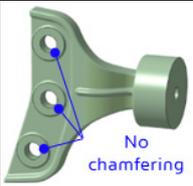
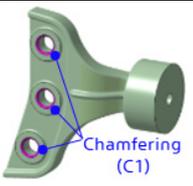
### 2.3 개선 결과

우선 후차축 고정브라켓 길이 증가에 따른 외력 증대로 인한 볼트 풀림 현상을 근본적으로 해소하기 위해서는 고정브라켓 길이를 최초양산품 수준으로 축소하는 것이 바람직하지만 후차축 NSD 소음 저감 등 차량 전반적인 NVH 특성 향상을 위해 설계 변경 실시하였기 때문에 원상 복구하는 것은 사실상 불가능하였다.

따라서 개선 가능한 모든 항목을 발췌하여 총 5가지 측면에서 다음과 같이 개선을 추진하였다.

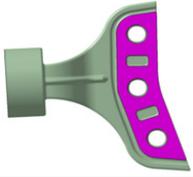
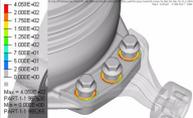
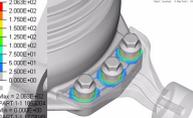
첫 번째는 Fig. 9 축력 측정 결과와 같이 고정브라켓 볼트 좌면에 모따기를 아래 Table 5와 같이 추가하여 볼트 축력을 감소를 예방하였다. 이를 통해 체결볼트 R부와 0.25~0.6mm 간섭 가능성을 완전히 배제하여 최대 51.9%의 축력 손실을 예방하였다.

Table 5. The bracket configuration related to bolting hole's chamfering application

Contents	Current Type	Improvement proposal
Applying Chamfering to bolting hole	 No chamfering	 Chamfering (C1)

두 번째는 아래 Table 6과 같이 고정브라켓의 형상변경을 통해 브라켓 뒷면과 후차축 하우징 접촉 면적을 증대하여 최대 면압을 감소에 의한 볼트 축력 저하를 예방하였다.

Table 6. The configuration change of Rear Axle surface

Contents	Current Type	Improvement proposal
Contact area increase of bracket's rear side		
CAE Analysis results		

이를 통해 접촉면적을 188%(9→26cm<sup>2</sup>) 증대시켜 최초 현 사양 대비 허용면압 안전율을 282.2%(1.4→4.0) 향상시켰다. 이에 대한 효과성 검증을 위해 위 Table 6 하부와 같이 고정브라켓에 작용되는 외력을 고려한 CAE 해석을 실시한 결과, 아래 Fig. 10과 같이 허용 축력 구간을 크게 확보할 수 있었다.

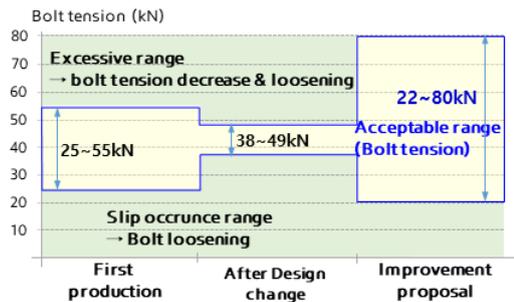
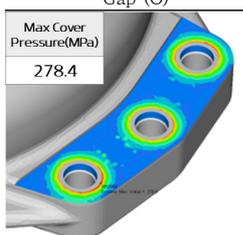
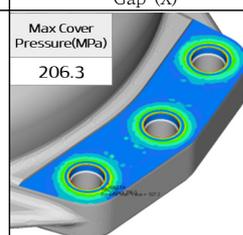


Fig. 10. The effect of bracket's configuration change in terms of bolt tension range

세 번째는 인서트 삽입 시 단차 예방을 위하여 해외로부터 전용 공구(독일 00社)를 도입하여 고정브라켓 볼팅 좌면과 인서트 상면을 정확히 일치시켜 단차 발생을 예방하였다. CAE 해석을 통해 검증하였으며 브라켓에 작용되는 최대 면압을 약 25.9% 저감하여 볼트 축력 감소 현상을 개선하였다.

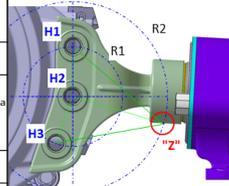
아래 Table 7의 해석 조건은 앞선 Table 4와는 달리 브라켓 형상변경(접촉면적 증대, 모따기 실시)을 적용한 상태에서 순수히 단차만의 영향을 확인하는 것이었다.

Table 7. The effect of gap decrease between bracket & insert surface

Gap (O)	Gap (X)
	
Max Cover Pressure(MPa) 278.4	Max Cover Pressure(MPa) 206.3

네 번째는 고정브라켓 볼팅 홀 크기 축소( $\varnothing 14.5 \rightarrow \varnothing 14.1$ )에 따른 유동량 제어로 볼트 축력 저하 예방을 통한 풀림 방지를 추진하였다. 후차축 고정볼트 풀림 관련하여 아래 Table 8과 같이 총 7가지 경우의 수에 해당하는 브라켓 변위량을 이론적으로 검토하였다.

Table 8. The case of bracket displacement

Case	Dimension					Configuration
	a	b	R1	R2	Z	
1	0.25	0	47	89.4	$\pm 0.48$	
	 [H2]	 [H1/H3]	-a	+a		
2	0.50	0	47	89.4	$\pm 1.03$	
	 [H2]	 [H1]	-a	+a		
3	0.25	0.25	47	89.4	$\pm 0.73$	
	 [H2]	 [H1]	-a	+a		

4	0.25	0	92.8	111.6	$\pm 0.30$	
			-a	+a		
5	0.50	0.25	92.8	111.6	$\pm 0.87$	
			-b	+b		
6	0.25	0	92.8	102.8	$\pm 0.28$	
			-a	+a		
7	0.5	0.25	92.8	102.8	$\pm 0.82$	
			-b	+a		

그 중 아래 Table 9와 같이 최대가 되는 조건은 볼팅 부 3곳 중 중간(H2)을 고정하고 나머지 2곳(상부(H1), 하부(H3))은 좌우 유동부로 가정한 Case 2 조건이다. 이 조건 기준으로 개선사양은 약 81.6%의 유동량 저감이 가능하여 주행간 볼트 축력 감소에 의한 풀림 방지 개선 효과를 얻을 수 있었다.

Table 9. The effect of bolting hole decrease

Contents	Current Type	Improvement proposal
Bracket type	$\varnothing 14.5$	$\varnothing 14.1$
The maximum mode of Bracket swing		
bolt diameter	$\varnothing 14.0$	$\leftarrow$
a	0.5	0.1
b	0.25	0.05
R1	47.0	$\leftarrow$
R2	89.4	$\leftarrow$
Swing quantity (Z part)	$\pm 1.03$	$\pm 0.19$

그러한 브라켓 홀 축소 및 형상 변경의 효과를 확인하기 위하여 후차축 브라켓에 레이저 변위계 센서(E-Instruments group, 모델명 LT-SF)를 장착하여 광주-대구간 고속도로에서 주행간 실제 브라켓 상대 변위를 측정하였다. 시험결과, 아래 Fig.11과 같이 변위량이 약 95%(2.0→0.1mm) 개선되어 브라켓 상대 변위가 거의 발생하지 않아 볼트 축력 손실 방지 효과가 충분이 있을 것으로 판단하였다.

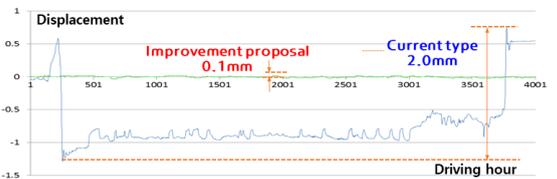


Fig. 11. The measurement results of relative displacement during the driving in High-way

마지막으로 다섯 번째는 체결부 재체결의 경우 볼트 또는 너트 체결에 상관없이 1회 체결 대비 축력 산포 감소 효과가 있는 것으로 연구된 바가 있다[3].

금번 연구에서도 또한 하루 이내(11시간 정도)에서 약 18.0~27.2% 정도의 축력 자연저하 현상이 아래 Fig.12와 같이 확인되어 이를 개선하고자 하였다.

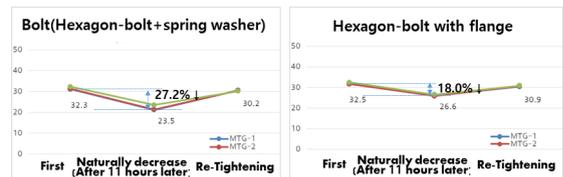


Fig. 12. The time delay effect of bolt tension decrease

초기에 20kgf·m로 체결한 다음 적절한 시간(12시간 내외)이 지난 시점에서 재조임을 실시하였다.

그 이후 K사 사내 주행장에서 『급선회 슬라럼(30kph)→범핑구간→직선 구간 슬라럼(60kph)→완제동 및 급출발/가속(0~110kph)→요철로→60% 중경사 등판』을 10cycle 반복한 다음, 광주-대구간 고속도로를 총 3회에 걸쳐 약 400km 주행하여 재체결(재조임)의 효과를 검증하였다.

Fig.13과 같이 전반적으로 초기 대비 일부 감소 또는 동등 수준으로 적절하게 축력이 유지되어 볼트 풀림 현상이 발생하지 않았다.

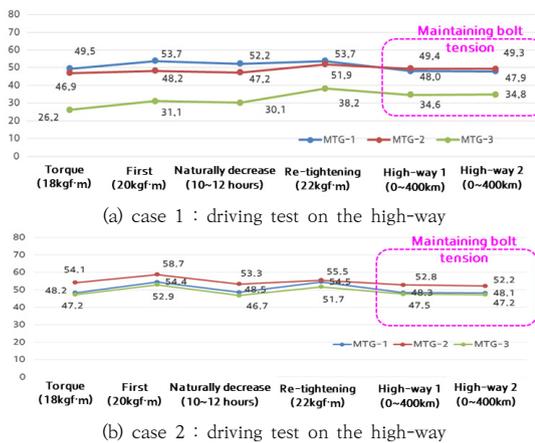


Fig. 13. The re-tightening effect related to bolt tension

아울러, 상기 시험은 후차축 고정볼트의 재체결을 적용하는 개선안뿐만 아니라 앞선 후차축 고정 브라켓 모따기 추가 및 형상변경, 인서트 단차 예방과 볼팅홀 크기 축소 등 모든 개선사항을 적용하여 시험한 것으로 상기 연구를 통해 도출한 개선안이 볼트 축력 손실 저감과 그로 인한 볼트 풀림 현상을 예방하는데 있어 충분한 효과를 나타낸 것으로 판단하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 한국형 전술차량 후차축 고정볼트 축력 손실과 그로 인한 볼트 풀림의 원인분석을 위하여 QC 7 도구 중 “특성요인도”를 작성하여 핵심사항을 구체화하였으며, 초음파 볼트 축력계, 실차 가속도 및 레이저 변위 센서, CAE 해석 등을 통해 다음과 같은 원인분석 및 개선방안을 제시하였다.

우선 후차축 NSD 개선 등 차량 NVH 관련 감성품질 향상을 위한 양산 설계 변경으로 고정볼트 브라켓 길이 증대에 의한 외력이 증가한 것이 주요인이며, 아울러 후차축 하우징의 인서트 조립간 단차 및 볼팅 좌면 모따기 미적용 등이 이를 가속화하는 부수적인 인자로 작용하였다.

이를 해소하기 위해 다음과 같은 개선사항을 실차에 적용하였다.

첫째, 후차축 고정브라켓 볼팅 좌면에 모따기를 적용하여 최대 51.9%의 축력 손실을 예방하였으며,

둘째, 고정브라켓 형상변경(접촉면적 증대)으로 최대 허용면압 안전율을 282.2% 향상시켜 안정적인 허용 축

력 구간을 확보하여 일부 축력 산포가 발생하더라도 볼트 풀림이 발생하지 않도록 하였으며,

셋째, 인서트 조립간 단차 발생 가능성을 없애 브라켓에 작용되는 최대 면압을 약 51.6% 저감하여 볼트 축력 감소를 현상을 개선하였고,

넷째, 고정브라켓 홀경 축소하여 주행간 변위량을 약 95% 정도 감소시켜 축력 유지에 기여하였으며,

다섯째, 초기 조임 후 재체결 공정을 도입하여 시간의 흐름에 의한 축력 자연 감소를 18.0~27.2% 정도 예방하였다.

이 모든 개선사항을 적용하여 K사 주행장 및 고속도로 400km 주행시험 결과, 초기 토크값 대비 적절하게 축력이 유지되어 볼트 풀림 현상이 발생하지 않음을 확인하였으며, 금번 연구를 통해 도출한 개선안이 충분한 효과가 있음을 입증하였다.

이러한 한국형 전술차량(KLTV)의 후차축 고정볼트 풀림 현상 개선을 통해 주요 무기체계의 안정적인 운용을 가능하게 하였으며, 아울러 사용군 운용간 발생 가능한 안전사고를 사전 예방하였다.

후차축 고정볼트 풀림 현상을 확실하게 저감하는 방법은 고정브라켓 브라켓 길이 축소에 의한 외력을 저감하는 것이다. 그러나 앞서 본문에서 언급하였듯이 후차축 NSD 소음 저감을 위해 설계 변경이 한 차례 진행되어 이를 반영하지 못하고 다른 부분의 개선요소를 모두 발굴하여 추진한 측면이 있다. 따라서 차후에는 후차축 NSD 소음 저감과 볼트 축력 손실 저감이 동시에 고려된 추가 연구가 필요하겠다.

### References

- [1] The criteria of Required Operational Capability (Appendix), Republic of Korea Army Headquarters, 2014
- [2] D. G. Choi, S. G. Baek, J. H. Son, K. H. Lee, "A study on comparison of Clamping Force Loss due to Embedded by fastening Structure in Automotive Chassis Systems", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, pp.279-282, November, 2020
- [3] S. G. Baek, E. S. Lee, K. H. Lee, J. Jang, H. S. Park, "A study on Effect of Bolted Joint Clamp Force Scatter With Re-Tightening Method of Automotive Chassis Systems", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, pp.411-415, May, 2019
- [4] Ministry of National Defense, "The directive for defense force development task", pp.64-66, June, 2021
- [5] US Army Tank-Automotive Command(TACOM),

"System specification, High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle(HMMWV)", pp.10, 1983

- [6] US Army Test and Evaluation Command, "Test Operations Procedure 2-2-506, Endurance Testing of Tracked and Wheeled vehicles", pp.C1-C3, 1981

박 진 원(Jin-Won Park)

[정회원]



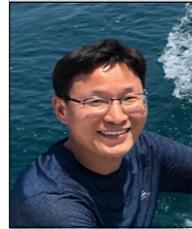
- 2009년 8월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 책임연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

박 영 찬(Young-Chan Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
- 1995년 5월 ~ 현재 : 기아 주식회사 책임연구원

<관심분야>

군용차량 및 상용 파생차량 패키지 설계

김 강 균(Gang-Gyun Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 조선대학교 기계공학과 졸업(공학학사)
- 1997년 1월 ~ 현재 : 기아 주식회사 책임연구원

<관심분야>

군용차량 구동 부품 및 패키지 설계

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[정회원]



- 2019년 2월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 선임연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리