

군용차량 휠 조립체 내구성 향상 방법론 연구

신철호^{1*}, 강태우¹, 김선진¹, 나철주²
¹국방기술품질원, ²기아자동차(주)

Design Technique for Durability Improvement of Military Vehicle Wheel

Cheolho Shin^{1*}, Tae Woo Kang¹, Seonjin Kim¹, Chul Ju Na²

¹Defense Agency for Technology and Quality

²KIA MOTORS CORP

요약 전투목적으로 개발된 군용차량은 타이어 압력이 손실되더라도 일정시간동안 일정거리를 달릴 수 있도록 런플랫시스템을 도입하였다. 런플랫을 적용하기 위하여 휠을 외측림과 내측림으로 구성된 2개의 부분으로 구성하고, 클램핑 볼트를 체결함으로써 외측림과 내측림을 조립한다. 이 클램핑 볼트는 휠의 내구성을 결정하는 중요 부품이다. 실제로 휠의 내측림과 외측림의 파손보다는 클램핑볼트의 파손이 발생되어 휠을 사용하지 못하는 빈도가 높다. 따라서, 클램핑 볼트의 내구성이 휠의 내구성과 연관이 크다고 할 수 있다. 본 연구는 휠의 내구성을 향상시키기 위하여 휠조립체를 시험하고 클램핑 볼트를 개발하는 과정을 다루었다. 기존에 정립된 내구시험 조건의 불충분성을 식별하였으며, 휠조립체의 내구성을 보다 정확히 확인할 수 있도록 통제해야 하는 시험조건을 제시하였다. 정립된 시험조건을 기반으로, 성능이 개선된 클램핑 볼트를 시험하였다. 시험조건을 확인한 결과 기존 제품보다 최소 168% 내구성이 향상됨을 확인할 수 있었다. 본 연구는 휠 조립체의 내구 시험 방법과 클램핑 볼트를 개발하는 과정에서 고려해야 할 요소를 제시한 것에 의미가 있다 할 수 있다.

Abstract Military vehicles use run-flat wheels for emergency situations. Run-flat wheels can run required distance in a defined duration with the pressure loss tire. For the application of a run-flat system, wheels are designed in 2 pieces, including an inner rim and outer rim. These rims are assembled using clamping bolts. Clamping bolts determine the durability of military vehicle wheels because fracture of clamping bolts account for most wheel failures. For improving wheel durability, clamping bolt durability must be improved. In this study, wheel test conditions and bolt design were investigated. Existing test standards are not sufficient to conduct endurance tests. Supplementary conditions were investigated. Using these modified test conditions, the durability of wheels including clamping bolts was tested and verified. Results found the durability of wheels improved more than 168%. This study also proposes improvements in the design process of clamping bolts.

Keywords : Military vehicles, Wheel assembly, Radial fatigue test, Clamping bolt, Bolt design

1. 서론

군에서 운용하는 대부분의 차량은 바퀴를 이용하여 구동하는 장륜차량(Wheeled Vehicle)의 형태를 지니고 있다. 군용차량의 휠 조립체(이하 휠)는 지면과 직접 접

촉하여, 동력을 지면에 전달하고 지면에서 전달되는 충격을 1차적으로 감쇠시키는 역할을 한다. 특히, 군용차량은 일반 차량과 달리 비포장도로(Unpaved road)의 운행 비율이 높기 때문에 일반 차량보다 더 높은 내구성이 요구되는 부품이다.

*Corresponding Author : Cheolho Shin(Defense agency for Technology and Quality.)

Tel: +82-62-940-8714 email: ch_shin@daq.re.kr

Received September 7, 2018

Accepted November 2, 2018

Revised (1st October 1, 2018, 2nd October 30, 2018)

Published November 30, 2018

전투 목적용 전술차량에는 적의 공격에 타이어가 파손되어 압력이 손실되더라도 일정시간 내에 일정거리를 갈 수 있도록 하는 요구사항을 규정하고 있다. 이를 가능하게 하는 것이 런플랫 시스템이다. 일반 승용차는 타이어의 사이드 월(Sidewall)을 두껍게 만든 런플랫 시스템을 구현하는 것이 일반적이나, 차량의 중량이 비교적 무거운 군용차량의 경우에는 타이어와 휠 사이에 플라스틱으로 만든 링을 삽입한 런플랫 시스템을 이용하는 것이 일반적이다. 이 플라스틱 링을 삽입하기 위해서는 휠을 분리할 수 있도록 설계를 한다. Fig. 1과 같이 내측림과 외측림으로 나뉠 수 있도록 하며, 내측림과 외측림을 결합할 수 있도록 클램핑 볼트와 잠금너트를 체결한다. 내측림과 외측림을 볼트와 너트만을 이용하면 철관간 접촉만으로 기밀성을 유지하기 힘들기 때문에, 내측림과 외측림 결합부 사이에 고무재질로 된 오링(O-ring)을 삽입한다.

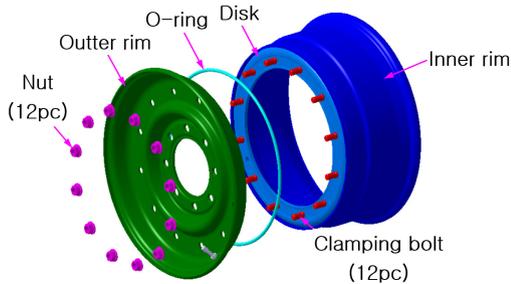


Fig. 1. Wheel asseblly(without tire)

엔진-변속기-차축을 거쳐 동력이 휠에 전달되고, 축과 연결된 외측림에 전달된 힘은 클램핑 볼트의 전단응력과 림과 림 사이의 마찰력을 이용하여 내측림으로 힘이 전달된다. 동력전달 과정에서 클램핑 볼트에 전단응력이 가해지고, 타이어 압력에 의한 인장력이 작용한다. 클램핑 볼트는 다양한 방향의 외력에 노출되기 때문에 충분한 안전계수를 갖도록 설계하는 부품이다. 충분히 안전하도록 설계를 하여도 볼트가 파손되는 이유는 전방산악 지역의 도로사정이 좋지 않아 휠에 전달되는 상하방향 가속도가 크기 때문이다. 차량을 개발하기 위해서는 국방과학연구소 창원기동시험장의 험로를 기준으로 차량 내구도시험을 수행하지만, 일부 전방지역 산악도로는 국방과학연구소 창원기동시험장의 험로보다 훨씬 가혹한

것으로 연구되었다[1].

Fig. 2는 군에서 운용하다 파손된 볼트분 분석한 결과이다. 파면(Fracture surface)을 관찰한 결과, 파손이 시작된 부분에서는 딥플(Dimple)이 관찰되지 않는 취성과 피의 형태를 띠고 파손이 끝나는 부분에서는 딥플이 관찰되는 연성과피의 형태를 띤다. 이를 근거로 클램핑 볼트가 피로에 의한 파괴가 되었다고 판단할 수 있었다. 휠의 내구수명규격을 만족하는 휠이지만, 가혹한 조건에 의하여 피로에 의한 파손이 발생하는 것이다.

본 연구는 클램핑 볼트가 절손되는 현상을 최소화하기 위한 클램핑 볼트의 설계 방법론과 이에 대한 성능시험 결과에 대하여 다루도록 하겠다. 휠의 내구수명을 향상시키기 위하여 클램핑 볼트를 개선한 이유는 클램핑볼트의 파손이 휠에서 나타나는 파손현상의 대부분을 차지하기 때문이다. 비용적인 면을 고려하지 않고, 기술적인 면을 고려한 경우에는 클램핑 볼트의 개수를 늘려 내구수명을 연장하는 것이 일반적인 방법이라고 생각할 수 있으나, 2003년 이후 생산된 기존 휠에도 호환성이 있으면서 내구성 향상을 할 수 있도록 제품을 개선하였다. 제품 개선 전/후 성능 비교를 위하여 휠의 정확한 시험조건을 설정에 대하여 연구하였으며, 결정된 연구 방법을 이용하여 개선된 제품의 성능을 입증하는 과정을 기술하였다. 이를 통하여, 휠 조립체의 시험 방법과 내구성이 뛰어난 클램핑 볼트를 설계할 수 있는 방법론, 개선된 내구시험 결과를 제시하였다.

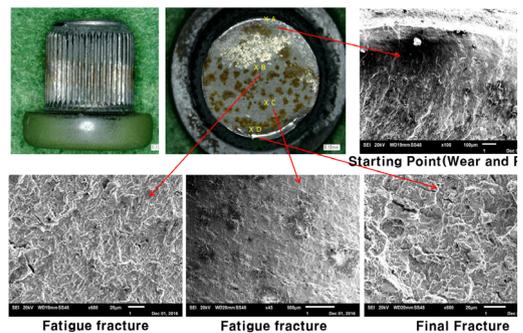


Fig. 2. Fracture surface of bolt

2. 본 론

2.1 휠 내구시험조건 설정

연구에 사용된 휠은 1.25톤을 적재중량으로 설정한 K311A1 군용차량의 휠이다. 해당 휠은 ‘KS R 4055 : 1996, 자동차용 디스크 휠’을 시험방법 기준으로 설정하였다[2]. 휠의 내구수명 판단기준으로 ‘반지름 방향 부하 내구 시험’을 규정하였다. 반지름 방향 부하 내구시험(이하 내구시험)은 Fig. 3과 같이 휠 1개를 구동축에 고정시켜 구동드럼(Driving drum)을 회전시키고, 반지름 방향 부하(Load)를 가하여 휠의 회전수를 측정한다. 일반적인 휠의 내구수명은 차량의 내구수명보다 길어 내구시험에 상당한 시간이 소요되기 때문에, 시험기간을 단축하기 위한 시험가속계수(Acceleration Factor)를 도입하여 시험한다[2,3]. 이때, 반지름 방향 부하는 eq. 1과 같이 계산할 수 있다.

$$F_r = F \cdot K \tag{1}$$

- F_r : 반지름 방향 부하
- F : 휠의 정격(최대) 하중 또는 휠 제조사가 규정한 최대 하중
- K : 시험가속계수

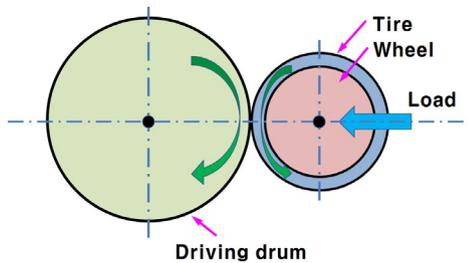


Fig. 3. Schematic of dynamic radial fatigue test

Table 1과 같이 시험가속계수는 1.8~2.2사이로 설정할 수 있으며, 시험가속계수가 커지면 규정회전수는 줄어드는 경향을 보인다.

Table 1. Acceleration Factor(K) and Cycles

K (Acceleration Factor)	Cycles (unit : 10,000)
2.2	50
2.0	70
1.8	100

KS R 4055의 방법을 기준으로 시험을 수행하기 전 규격을 검토과정에서, 해당 규격의 시험방법이 충분하지

않음을 인지할 수 있었다. 휠의 회전속도와 휠의 냉각방식 등을 규정하지 않은 것이다. 휠의 회전속도는 타이어의 회전에 따라 휠에서 발생하는 진동특성을 결정할 수 있는 변수이며, 휠의 냉각방식은 휠의 온도를 결정하는 변수이다. 휠의 내구시험을 규정한 유사규격인 ‘KS R ISO 3894: 2014, 도로 차량-상용차의 휠/립-시험방법’, ‘KS R ISO 3006: 2013, 도로 차량-승용차용 휠-시험방법’을 검토한 결과 휠의 회전속도와 냉각방식에 대해서는 규정하지 않음을 알 수 있었다[4,5]. 이에 따라, 정확한 내구성 향상 정도를 확인하기 위하여 기존에 규정된 시험방법들이 불충분함을 인식하였으며, 보다 균일한 조건의 시험을 수행하기 위하여 휠의 내구시험 조건에 대해서 연구하였다.

2.1.1 휠의 회전속도

휠의 내구성을 평가하는 시험은 Fig. 3와 같이 구동드럼에 휠을 정해진 힘을 가한상태로 휠을 회전시킨다. 앞서 언급하였듯이 관련 규격은 회전속도에 대해서 결정하지 않았다. 휠의 회전속도는 휠의 진동특성과 타이어의 발열량과 밀접한 관련이 있다. 실제로 휠의 회전속도를 30~60km/h로 변동시킨 결과 60km 부근에서 진동과 소음이 심해짐을 확인할 수 있었다. KS 규격 등 관련 규격에서는 회전속도를 명시하지 않았으나 휠을 전문적으로 제작하는 업체에 확인한 결과, 국내 자동차 제조사의 일반적인 회전속도 요구사항은 60km/h라 확인할 수 있었다. 군용차량의 최고속도가 90~100km 수준으로 요구되는 것과 민수차량에 비해서 지속적으로 운행됨을 감안하여, 군용차량 휠의 회전속도는 40km/h으로 하는 것으로 결정하였다. 가속계수(K)를 1.8로 설정하여 100만회를 회전시킬 경우, 직경이 약 900mm인 군용차량 휠은 약 70시간 정도(시험 중 확인 및 정비시간 제외)가 소요되었다.

2.1.2 휠의 냉각

군용차량은 모래, 자갈, 진흙 등의 험로를 주행하기 위해서 러그(Lug) 패턴 또는 블록(Block) 패턴의 타이어를 사용한다. 이러한 러그와 블록형 패턴을 만들기 위해서는 트레드의 깊이가 크도록 제작한다. Fig. 4에 표시한 타이어는 실제 차량에 사용된 타이어로, 블록형 타이어로써 블록의 높이가 일반 민수차량과 비교하여 큼을 알 수 있다. 차량 주행 중 타이어에서 발생하는 열의 대부분은

타이어 고무가 수축과 팽창을 반복하며 일어나는 고무 분자 간 마찰로 발생되며, 트레드의 깊이가 깊은 군용차량 타이어는 마찰열이 크게 발생한다고 할 수 있다[6].



Fig. 4. Tire tread surface swelling caused by heat

시험조건을 설정하기 위해서 휠을 냉각시키지 않고 시험을 해본결과, 시간이 지남에 따라 휠 접촉면에서 발생하는 소음이 증가되었다. 또한, Fig. 4와 같이 구동드럼과 접촉하는 타이어 트레드 고무의 부풀음과 트레드 표면 1~2mm 깊이 고무의 색이 짙어지는 변성 현상을 확인할 수 있었다. 휠의 내구시험을 하는 동안 트레드에 마킹된 글자가 희미해지는 수준 정도로 트레드 마모가 거의 일어나지 않기 때문에, 트레드 고무 변성은 시험에 영향을 주는 인자라고 할 수 있다. 또한, 일반 차량 타이어의 경우 타이어 고무가 변성되기 전에 고무가 마모되기 때문에 타이어 고무의 변성은 일반적이지 않는 상태라 할 수 있다.

따라서, 휠 고무의 변성을 방지하기 위하여 냉각용 팬(Fan)을 설치하여 휠의 비정상적인 온도 상승을 예방하였으며, 타이어 트레드 온도를 주기적(2시간)으로 측정하여 40℃ 이하로 관리하도록 설정하였다. 시험과정에서 트레드 온도가 40℃를 초과할 경우에는 타이어를 냉각한 후에 시험을 진행하도록 하였다.

2.1.3 잠금너트 조임토크

100만회 이상 휠이 회전하는 동안 클램핑볼트와 잠금볼트 간 조임토크의 저하현상이 발생한다. 잠금토크를 적절하게 유지하지 않는 경우, 내측림과 외측사이의 유격이 커지거나 각 부품이 받는 힘이 변할 수 있다. 군용차 기술교범(군용차량 운용지침. 승용차의 매뉴얼에 해당)에는 조임토크가 낮아진 경우에는 재조임을 하도록

명시 하고 있기 때문에, 조임토크를 정상토크 범위로 조정하는 것은 일상적 관리범위에 속한다 할 수 있다. 또한, KS R ISO 3894에서 ‘너트의 토크값을 점검하고 정기적으로 조정해 준다’라고 규격에 명시하였다. 100만회전을 하면 어느 정도의 조임토크 감소가 있는지 시험한 결과, 평균적으로 36%의 조임토크 감소현상을 보였다. 추가적으로, 조임토크가 클램핑볼트 수명에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 시험초기부터 12개의 너트중, 7개의 너트 조임토크를 낮게 설정하여(군부대에서 운용중인 실제 휠 조임토크 재현) 시험한 결과, 클램핑 볼트의 내구수명이 60% 감소함을 확인할 수 있었다. 즉, 잠금너트의 조임토크가 클램핑 볼트 내구수명에 영향을 끼친다고 볼수 있다. 이에 따라, 시험조건을 일정하게 유지시키기 위하여 시험도중 볼트의 토크를 주기적(2시간마다)으로 확인하고, 토크를 정상범위로 설정하는 과정을 거쳤다.

2.2 클램핑 볼트 내구수명 향상

본 연구는 기존에 생산된 클램핑 볼트와 호환성이 있으나, 향상된 내구수명을 가지는 개선된 클램핑 볼트를 개발하는 것을 목표로 하였다. 개선 전 클램핑 볼트는 약 105만회의 내구수명을 갖는 것으로 확인되었다. 내구수명 개선을 위하여 초기연구 단계에서는 재질과 치수변경을 통한 연구를 수행하였고, 연구 최종단계에서는 재질, 치수, 생산방법, 상대부품변경 4가지 항목에 대해서 다각적인 고려를 하였다.

2.2.1 Bolt Model 1

볼트 내구수명 향상을 위하여, 볼트의 재질과 형상을 변경한 Model 1을 설계하였다. 기존 클램핑 볼트는 KS D 3867 SCM440 재질로 만들어졌으며, QT(Quenching and Tempering)처리를 통해 HRC(경도) 39~45로 설정되어 있었다. 일반적인 기계가공용 강재의 강도보강은 SM(탄소강), SCM(크롬-몰리브덴강), SNCM(니켈-크롬-몰리브덴강)계열 재질 순으로 하는 것이 일반적이다. SCM440을 주재질로 사용하고 있기 때문에, SNCM 계열 재질중 SNCM439를 선정하여 12T(인장강도 1,200MPa) 급이며, 기존볼트와 호환성 있는 볼트를 설계하였다.

SNCM439를 재질로 선정한 이유는 SCM440과 유사한 기계적 강도를 보이나, Ni을 보다 많이 함유하여 높은 인성(Toughness)을 가지기 때문이다.



Fig. 5. Shapes of SNCM439 and SCM440 bolts

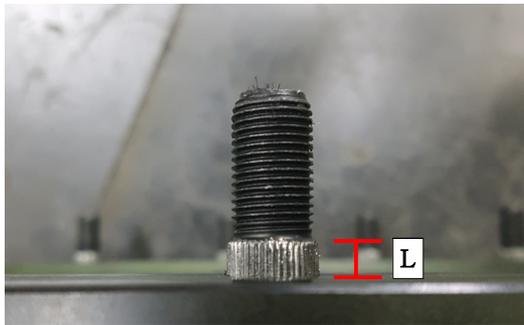


Fig. 6. Serration length contacting outer rim

내구성을 향상시키기 위하여 Fig. 5와 같이 형상을 변경하였다. 세레이션 길이를 기존 11mm에서 12mm으로 변경하고 볼트 머리부의 직경을 20mm에서 21mm으로 확대하였다. 세레이션 길이를 1mm 연장함으로써 얻는 효과는 외측립과 클램핑 볼트의 접촉길이를 23.5% 증가시킨 것이다. Fig. 6에 표시한 'L' 부위의 길이가 기존 4.25mm에서 5.25mm으로 증가한 것으로 확인되었다.

Table 2. Chemical components of bolt materials

-		Chemical components (unit : %)									
		C (carbon)	Si (silicon)	Mn (manganese)	p (Phosphorus)	S (Sulfur)	Ni (Nickel)	Cr (Cromium)	Mo (Molybdenum)	Cu (Copper)	V (Vanadium)
SCM440	Max	0.43	0.35	0.90	0.030	0.030	0.25	1.20	0.30	0.30	-
	Min	0.38	0.15	0.60	-	-	-	0.9	0.15	-	-
SNCM439	Max	0.43	0.35	0.90	0.030	0.030	2.00	1.00	0.30	0.30	-
	Min	0.36	0.15	0.60	-	-	1.50	0.60	0.15	-	-
MB14	Max	0.42	0.15	0.55	0.015	0.015	0.25	1.3	0.80	0.30	0.4
	Min	0.38	-	0.35		-	-	1.10	0.60	-	0.3

볼트 머리부의 직경을 증가시킨 이유는 내측립과 외측립의 속도 차이 때문에 볼트에 전단응력이 가해지는 경우 모멘트가 발생되고 이를 보다 효율적으로 대응하기 위함이다.

Model 1을 이용하여 내구시험(가속계수(K) 1.8, 규정횟수 100만회 이상)을 수행한 결과, 규정횟수 100만회를 만족하지 못했다. 이에 대한 원인을 분석한 결과, 볼트의 기계가공 미흡이 주요 원인이었다. 대량으로 볼트를 만드는 일반적인 과정은 선재(Wire rod)입고, 선재를 적합한 외경으로 인발(Drawing), 적합한 길이로 절단, 볼트 머리부 성형을 위한 단조(Forging), 나사산 및 세레이션부 전조(Form rolling) 순으로 이루어진다. Model 1을 소량(300개) 만드는 과정에서, 인발 작업을 하지 않고 선반을 이용한 기계가공을 하였다. 기계가공을 함으로써, 선재의 돌레방향으로 미세한 가공편차가 발생하였다[7]. 돌레방향으로 생성된 가공편차 때문에 표면거칠기가 좋지 않았으며, 이로 인한 응력집중(Stress concentration)이 발생되어 오히려 기존 제품보다 수명이 낮게 시험이 완료된 것이다.

따라서, 볼트를 제작하는 과정에서 선재의 내경을 조정하는 공정은 인발을 통해서 해야 함을 알 수 있었으며, Model 1은 적용시키지 않는 것으로 결정하였다.

2.2.2 Bolt Model 2

개선 전 볼트는 SCM440을 이용한 12T(인장강도 1,200MPa)급 볼트이다. 이를 개선하기 위하여 14T(인장강도 1,400Mpa)급 볼트인 Model 2를 설계하였다. 14T급 볼트를 제작하기 위하여 초고장력 선재 'MB14'를 사용하여 설계하였다.

MB14는 14T급 볼트 제작을 위하여 개발된 재질로서 화학성분은 Table 2와 같다. 화학성분은 기존 재질인 SCM440과 비교해 보면, Mo(Molybdenum) 함량이 높

고 일반 금속 재질에서는 사용하지 않는 V(Vanadium)이 함유되었음을 알 수 있다. 일반적인 합금강에서 사용되지 않는 원소 V는 인장강도가 크고 부식이 잘 되지 않는 합금을 제조하는데 쓰이는 재질이다.

볼트의 형상은 Model 1과 동일하게 세레이션 부의 길이를 1mm 키웠다. 볼트 머리부 직경을 1mm 키우려고 하였으나, 1mm 증가에 따른 성형성 저하가 발생될 수 있어 기존과 동일하게 20mm으로 설정하였다. 볼트의 장기적인 수명을 위하여 표면처리를 인산염 피막처리(내식성 기준 없음)에서 지오메트도금(내식성 : 중성염 수분무 600시간 이상)을 적용하였다.

2.2.3 Nut Model 1

2.1.3에서 언급한 바와 같이 잠금너트의 조임토크 감소가 클램핑 볼트 수명에 영향을 미치므로 잠금너트의 풀림현상을 해소하고자 잠금너트를 새롭게 설계하였다. 기존에 사용하던 잠금너트는 풀림방지를 위하여 너트의 한 대변을 Fig. 7의 (a)와 같이 좌우에서 압착하여 변형시킨 형태다. 풀림방지를 위하여 톱니모양 와셔를 삽입하거나, 스프링이 삽입된 풀림방지 너트를 사용할 수도 있으나 비용증가를 초래한다. 비용증가가 되지 않으며, 잠금기능을 강화할 수 있도록 제품을 설계할 필요가 있었다.

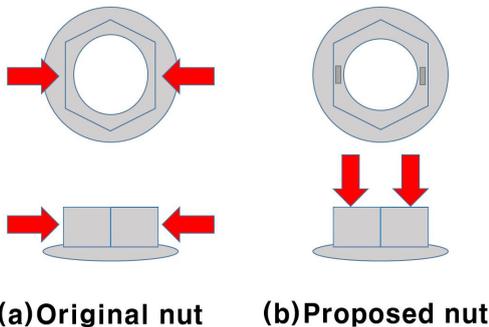


Fig. 7. Lock nut deformation method

새롭게 설계한 잠금너트는 너트를 변형하여 잠금기능을 하도록 하였으며, 기존 제품과 다른 점은 Fig. 7의 (b)와 같이 대변 위에서 압착하여 풀림방지 기능을 하도록 하였다. 강재의 경도를 HRC22~26에서 HRC26~32으로 높였다. 이를 통해, 기존 잠금너트의 풀림토크는 27kgf·cm이고, 개선된 잠금너트의 풀림토크는 40kgf·cm으로 약 48%의 개선효과를 나타내었다.

2.2.4 개선품 검증

개선품 검증은 두 가지 방법을 수행하였다. 볼트의 내구성 개선을 통한 휠 조립체의 내구성 향상을 이루는 것이 연구의 목적이었기 때문에, 볼트 단품에 대한 검증을 한 후에 휠의 내구수명을 시험하였다. 볼트의 내구성 개선을 확인하기 위하여 개선전 볼트와 개선 후 볼트(Bolt Model 2) 단품을 각각 2개씩 이용한 인장력 가진 내구 시험을 수행하였다.

볼트에 인장력을 가하는 것은 Fig. 8과 같이, 볼트 나사산 끝단을 너트로 고정시키고 볼트머리부에 인장력을 가했다. 인장력은 Fig. 9에 표시한 것과 같이 평균값을 73.8kN, 가진폭(Load amplitude)을 10.5kN으로 하는 외력을 가하였다. 그 결과, Table 3와 같이 기존볼트는 895,579회, 886,327회의 수명을 각각 가졌으며, 평균적으로 약 89만회의 내구수명을 보였다. Model 2 볼트는 1,101,346회, 1,216,548회의 수명을 각각 가졌으며 평균적으로 약 116만회의 내구수명을 보여 단품에서 30%의 내구수명 증가를 보였다.

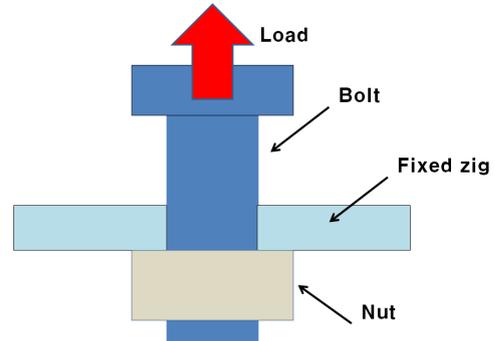


Fig. 8. Schematic of Bolt fatigue test

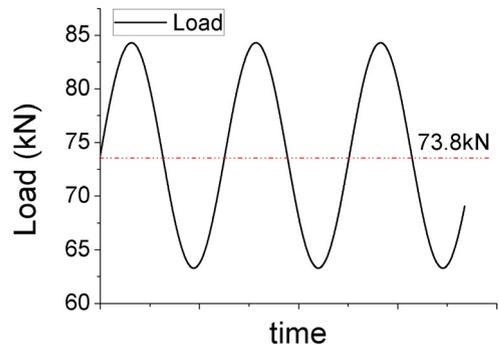


Fig. 9. Tensile load of bolt fatigue test

Table 3. Endurance test results(unit : cycle)

	Bolt Sample 1	Bolt Sample 2	Average
Original bolt	895,579	886,327	890,953
Model 2 Bolt	1,101,346	1,216,548	1,158,947(30% ↑)

Table 4. Radial fatigue test results of Model 2 bolt(unit : cycle)

	Wheel sample 1	Wheel Sample 2
Wheel with Model 2 Bolt	2,686,236	Over 3,785,379

볼트 단품에 대해서 검증을 한 후에, 휠 조립체에 대해서 내구시험을 수행하였다. 내구시험방법은 KS R 4055를 따랐으며, KS규격에서 명시하지 않은 내용은 본 논문의 2.1에서 언급한 바와 같이 시험을 수행하였다. 시험을 위하여 2개의 시편(휠조립체)을 제작하였다. 개선품을 검증하기 이전에 제품의 내구수명 100% 향상을 목표로 하였다. 즉, 기존 제품의 내구수명이 약 105만회이므로, 210만회 이상을 내구수명 개선 목표로 설정하였다.

시험결과는 Table 4와 같다. 1번 시편(휠조립체)은 2,686,236회에서 외측립 미세 균열을 보여 시험을 중단하였고, 2번 시편은 3,785,379회전에서 지속적(3회) 타이어파손으로 인하여 시험을 중단하였다. 개선전 사양으로 내구시험을 하였을 때는 클램핑 볼트가 가장먼저 파손되었으나(타이어 제외), 개선된 사양에서는 100%이상 향상된 성능을 보이며 클램핑 볼트 이외의 부품이 파손되는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구는 군용 휠 조립체의 내구수명을 균일하게 시험할 수 있는 방법을 제시하였으며, 내구수명 개선을 위한 볼트 2개 모델을 설계하고 평가하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 군용 휠조립체를 규정한 관련 규격의 내용이 충분하지 않으며 휠의 회전속도와 냉각, 잠금너트의 토크 조정에 대하여 시험 전에 설정할 필요성이 있다.
2. Bolt Model 1을 제작하는 과정에서 선재의 내경을 조정하는 방법으로 선반을 이용한 기계가공을 이

용하였으며, 가공면의 조도가 좋지 않을 경우 볼트를 만드는 과정에 적합하지 않다.

3. Bolt Model 2의 단품 내구수명을 확인한 결과, 기존 볼트보다 30%의 수명 향상 효과를 나타내었다.
4. Bolt Model 2와 Nut Mode 1을 동시에 사용한 휠 조립체는 최소 168%의 내구성능 개선효과를 나타냈다.

해당 논문은 휠 조립체의 내구수명을 향상시키기 위하여 클램핑 볼트와 잠금너트 만을 변경하였다. 휠 조립체를 한 개의 시스템으로 본다면, 내측립과 외측립을 변경하여 개선하는 방법도 고려할 수 있었다. 그러나, 사용 중인 휠과 호환성을 가지고, 개선효과 대비 비용을 고려하였기 때문에 클램핑 볼트와 잠금너트 만을 설계변경하여 성능 개선하였다. 보다 큰 개선폭을 갖기 위해서는 내측립, 외측립을 변경하고 클램핑볼트의 체결 개수를 증가시키는 방향으로 연구활동이 수행되어야 할 것이다.

References

- [1] K. H. Suh, B. G. Song, H. S. Yoon, "Relative Road Damage Analysis with Driving Modes of a Military Vehicle", Transactions of KSAE, Vol.24, No.2, pp. 225-231, 2016.
- [2] KS R 4055 : Disk Wheels for Automobiles, 1996.
- [3] G. S. Yu, N. R. Lee, Y. H. Yeo, B. C. Lee, "Accelerated Life Prediction of the Rubber for Combat Boots", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.16, No.12 pp. 8637-8642, 2015.
- [4] KS R 3894 : Road vehicles-Wheels/rims for commercial vehicles-test methods, 2009.
- [5] KS R ISO 3006 : Road vehicles-Passenger car wheels for road use-test methods, 2013.
- [6] S. J. Hong, H. G. Lee, "An Experimental Study of Tire Safety & Economical Efficiency with Respect to Inflation Pressure", Transactions of KSAE, Vol.18, No.1, pp. 8-13, 2010.
- [7] M. I. Bae, "Observation of Chip Shape and Tool Damage with Interrupted Cutting of Carbon Steel for Machine Structures(SM20C)", Journal of Korean Society of Manufacturing process Engineers, Vol.17, No.2, pp. 103-108, 2018.

신 철 호(Cheol-Ho Shin)

[정회원]



- 2012년 2월 : 고려대학교 기계공학과 졸업
- 2014년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 및 전차 케드류 설계 및 품질관리

나 철 주(Chul Ju Na)

[정회원]



- 1991년 1월 : 기아자동차 입사
- 1991년 1월 ~ 현재 : 민수차량 및 군용차량 품질관리 담당

<관심분야>

차량 부품 품질관리 및 개발

강 태 우(Tae-Woo Kang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 졸업
- 2012년 12월 : LS산전 설계팀
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 및 전차 변속기 설계 및 품질관리

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한국항공대학교 기계공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리