

다목적전술차량의 로드휠 강도평가에 관한연구

감문갑* (국방품질관리소), 김현수, 김용조, 김원일 (경남대 기계자동차공학부)

A Study on Strength Evaluation of a Road Wheel of Multipurpose Tracked Vehicles

M. K. Kam(D. Q. A. A.), H. S. Kim, Y. J. Kim, W. I. Kim(Mech. Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

Mobility of tracked vehicles is dependent on performance of its power equipment and suspension systems. Especially, its road wheels, components of its suspension systems, play an important role in distributing the vehicle weight on the ground and preventing from misguiding tracks.

In this study, the maximum force acted on multipurpose tracked vehicles driven on the worst condition was calculated. And then FE analyses were carried out to evaluate the strength of the road wheels under the maximum force condition. For quality evaluation of the road wheels, FE simulations and experimental works were carried out under specific slant loads. Residual deformation for the slant loads was investigated and commented upon.

Key Words : tracked vehicles (전술차량), Road wheel (로드휠), Residual deformation (잔류변형), Strength evaluation (강도평가)

1. 서론

다목적전술차량은 작전 수행시 뒤통에는 특수 전술 장비를 탑재하여 운행하고 수상운행이 가능한 전술차량이다[Fig. 1(a)]. 로드휠은 전술차량 현수장치의 핵심 구성품으로서 차량 하중을 분산지지, 케도이탈 방지 등의 역할을 한다. 이러한 로드휠은 차량의 중량뿐만 아니라 견인적재 중량까지 지지할 수 있어야 한다. 지금까지 로드휠의 강도평가와 설계 방법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔고⁽¹⁻³⁾, 복합소재를 사용하여 로드휠을 제작하는 연구⁽⁴⁾등도 찾아볼 수 있다. 그러나 전술차량이 경사면 수직 등판과 측면 주행이 동시에 이루어진 경우에 대한 로드휠의 작용 응력을 분석한 연구나, 항복하중 이상의 경사 하중에 대해 잔류 변형의 연관성을 규명한 연구는 찾아 볼 수 없다.

본 연구에서는 다목적 전술차량이 경사면 수직 등판과 동시에 측면 주행을 할 경우의 최악의 조건으로 운행될 때 로드휠에 작용될 수 있는 최대 하중을 고려하여 응력해석을 수행하고 강도를 평가하였다. 또한 로드휠의 품질 평가 기준에 의해 30° 경사면에 항복하중 이상의 부하가 작용될 때 발생하는 축선 방향 변형량과 하중 제거시 잔류 변형량을 시뮬레이션과 실험을 통해 비교 분석함으로써 작용하중과 잔류변형의 관계를 규명하였다.

2. 로드휠의 운행 특성

2.1 로드휠의 형상 및 기능

전술차량의 로드휠은 차량의 탑재 장비와 승무원에게 충격, 진동 등을 완화 시켜 주면서 차량에 가해지는 하중을 충분히 지지할 수 있어야 한다. 로드휠의 형상은 중량을 줄이고 강도를 높이기 위해 Fig. 1(b)에 나타낸바와 같이 디스크의 중간부분이 볼록한 아치 형태를 띄고 있으며, 바깥쪽 림부가 두껍게 설계되어 있다. 제조 공정으로는 A356-T6합금 소재(또는 AC4CH-T6)를 중력주조에 의해 외형을 성형하고, 바퀴 외륜의 형상가공으로서 외형을 마무리한다. 표면은 아노다이징 피막처리하고, 외륜표면에 고무를 성형하여 최종 제품을 생산하게 된다.

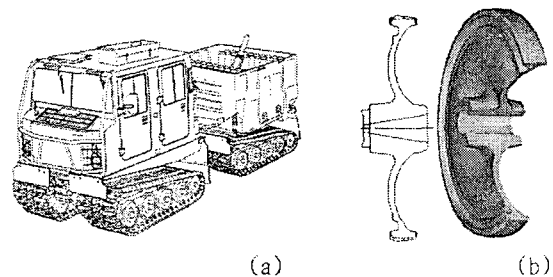


Fig. 1 Road wheel shape(b) of a multipurpose tactical car(a)

2.2 운행 특성 및 최대 부하하중 분석

다목적전술차량이 경사면을 등판할 때 최대 통과 경사각은 31°이며, 일반적으로 전체의 로드휠이 케도트랙에 의해 지면과 접촉하여 운행되나, 최악의 조건하에서 운행될 경우에는 Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 앞차의 로드휠 바퀴 한 축이 앞 차량 전체의 중량뿐만 아니라 견인차량의 중량까지 지지할 수 있어야 한다.

전술차량의 앞차(W_1)와 뒤차(W_2)의 중량을 합친 차량 총 중량은 70kN(자체중량 52kN, 최대 적재중량 18kN)으로서 뒤차에 하중 적재시 앞차와 뒤차의 하중은 각각 35kN으로 볼 수 있다. 이때 앞차의 중량 W_1 은 로드휠에 그대로 전달되고, 견인 차량의 경우 로드휠에 직접 전달되는 경사면 하중은 $W_2 \sin 31^\circ = 18.025 \text{ kN}$ 이 된다. 두 힘의 교차각 $\alpha = 59^\circ$ 이므로, 두 힘을 합성한 최대 하중은 다음과 같이 계산되어진다.

$$F = \sqrt{35^2 + 18.025^2 + 2 \cdot 35 \cdot 18.025 \cdot \cos 59^\circ} \quad (1)$$

$$= 46.9 \text{ kN}$$

여기서, 로드휠 한 축은 4개로 구성되어 있으므로, 경사면(31°) 수직 등판시 로드휠 하나에 전달되는 최대 하중은 11.73 kN이 된다.

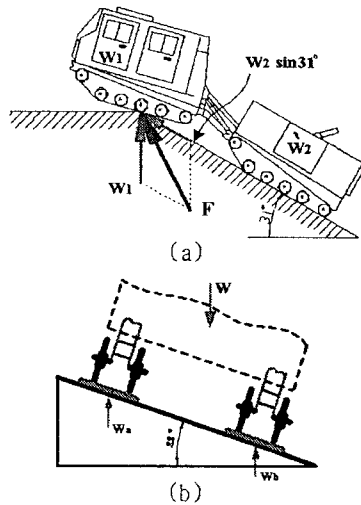


Fig. 2. Reactive forces of the road wheel on a slant-road, (a) normal climb and (b) parallel drive

다목적전술차량이 경사면을 측면으로 통과할 때 설계 기준상 최대 통과 경사각은 22°이다. 본 연구에서는 최악의 조건을 설정하기 위해 31°경사면 수직 등판과 22° 경사면 측면 주행이 동시에 이루어지는 경우를 고려하였다. 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 경사면에 놓여있는 전술차량에 있어서 차량의 무게 중심점이 적재물의 형상에 따라 다르므로 경사면 위쪽 로드휠과 아래쪽 로드휠에서 받는 수반하중은 계산하기에 어려움이 따른다. 따라서 유사형상의 적재물을 실제 차량

에 탑재한 상태에서 측면 경사 22° 및 등판 31°에 고정하고 뒷차의 제동 장치를 켜 다음 양쪽 가장자리의 로드휠 아암을 기준으로 측정된 결과 아래쪽에 58.6%, 위쪽에 41.4%의 부하가 걸린다는 것을 확인하였다. 이를 근거로 식(1)에서 구한 하중에 58.6%의 부하를 계산하면, 27.48 kN이 되며, 아래쪽 로드휠이 2개이므로 로드휠 하나에 걸리는 최대 하중은 13.7 kN이 된다.

3. 로드휠의 강도 해석

3.1 해석 조건

로드휠은 부상, 슬리브, 볼베어링 등과 결합되어 하부 프레임에 부착되어 회전운동에 의해 케도트랙에 하중을 전달하여 차량이 움직일 수 있도록 한다. 따라서 중앙부 홀은 부상과 완전 결합되어 고정되어 지므로, 로드휠의 홀부에 대해 x, y, z 방향 자유도를 구속하여 주었다. 로드휠은 축대칭 형상이지만 지면과 접촉되는 면에만 하중이 작용되므로, 3차원으로 형상을 구현하고 케도트랙에 접촉되는 표면에 하중을 작용시켜 주었다.

로드휠 응력해석을 위한 하중의 적용에 있어서 전술차량이 경사면 수직 등판시의 경우에는 축선 방향으로 직각으로 하중조건을 부여하였고, 경사면 측면 주행과 수직 등판이 동시에 이루어지는 경우에 대하여 하중의 각도를 22° 기울어지게 적용하였다.

응력이 집중되어 작용될 것으로 예측되는 부분에 메시(mesh)를 보다 조밀하게 분할하여 응력해석을 수행하였다. 로드휠 소재의 기계적 물성치^(6,7)를 table 1에 나타내었다.

Table 1. Mechanical properties of the road wheel

Material	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Y.S. (MPa)	T.S. (MPa)	elongation (%)
A356-T6	37	0.33	187	267	9.2

3.2 강도해석 결과 분석

로드휠의 경사면 등판시에 및 경사면 측면 통과시에 대한 강도해석 결과를 Fig. 3에 변형 형태와 응력 분포로서 나타내었다. Fig. 3(a)는 경사면 수직 이동시 최대 하중이 작용되는 경우에 대한 해석 결과이다. 최대 응력은 하중 작용 위치 부근의 디스크 안쪽 면에서 나타났으며, 최대 변위는 하중이 작용되는 림 위치에서 축선방향으로 발생하는 것을 할 수 있다. Fig. 3(b)는 경사면 측면 주행과 수직 등판이 동시에 이루어지는 경우에 대한 해석 결과이며, 최대 응력과 최대 변위의 발생 위치는 수직 이동시의 경우보다 중심 축에 가깝게 발생하는 것을 알 수 있다.

해석 결과에서 최대 응력은, 31° 경사면 수직 등판시 72.65 MPa이고, 31° 수직 등판과 22°의 경사면 측면 주행이 동시에 이루어지는 경우 139.88 MPa로 나타났다.

두 경우 모두 항복응력인 187MPa의 범위 내에 있으므로 강도적으로 안전한 것으로 예측되었으나, 22° 측면 경사 하중이 축선에 수직한 하중에 비해 95% 정도 더 응력이 더 증가한다는 것을 알 수 있다.

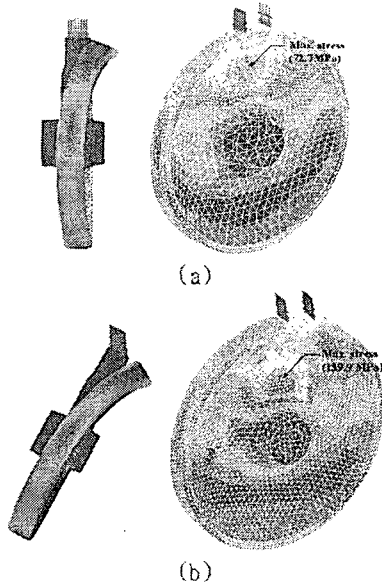


Fig. 3 FE simulation results for the rod wheel on slant road, (a) normal climb and (b) parallel drive

4. 로드휠의 잔류 변형 평가

4.1 평가 기준

다목적전술차량이 최대 적재중량 이상의 하중을 받고 최대 경사각 22°의 경사면을 통과할 경우, 로드휠은 탄성 범위를 벗어나 소성변형이 발생하게 되고 하중이 제거되면 일정한 량의 잔류 변형이 남게된다. 항복응력 이상의 하중이 작용될 때에 대한 로드휠의 품질 관리 기준에 의한 시험 방법을 Fig. 4(a)에 나타내었다.

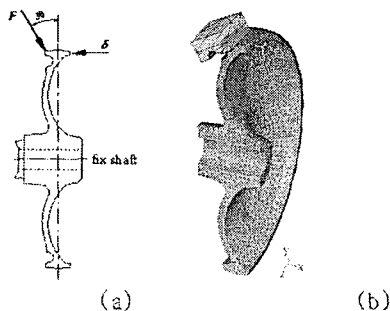


Fig. 4 Evaluation method for residual deformation of the road wheel

시험은 최대 경사각 보다 큰 30° 경사진 하중을 로드휠 림부에 가한 후 제거하였을 때 축선방향의 잔류 변형을 측정하여 일정 기준치 이하를 만족하도록 규정되어 있다. 이때 작용하중과 잔류변형은 25kN의 하중을

가한 후 제거하였을 때 잔류 변형량 1.5mm 이하, 40kN에서는 파손이 되지 않는 조건이 규정되어 있다.

4.2 유한요소 해석

로드휠에 항복 하중 이상의 과도 하중이 적용될 때 발생하는 축방향 변형량(δ)과 하중 제거시 잔류 변형량을 예측하기 위한 시뮬레이션은 상용해석 프로그램인 DEFORM-3D를 사용하였다. 로드휠은 축대칭 형상이지만 하중이 한쪽에서만 작용되므로 전체적으로 좌우 대칭으로 변형된다. 이를 감안하여 로드휠의 형상 모델을 1/2로 하였고, 좌우 대칭면을 z 방향으로 자유도를 구속하여 주고, 중심부 홈에 대해서는 x, y, z 방향 자유도를 구속하여 주었다.

실험조건과 동일한 하중을 부여하기 위해 로드휠의 림부에 편치가 접촉되도록 하였으며, 이때 로드휠은 탄소성체로 두고 편치는 강체로 가정하였다. 편치에 작용되는 하중은 방향 x, y에 대해 0.5, -0.886인 단위 벡터 방향을 지정하여 작용하였고, 편치와 로드휠의 마찰계수는 쿨롱 마찰계수 0.05로 가정하였다. 탄소성 문제를 해석하기 위한 로드휠 소재(A356-T6)의 탄성 범위의 물성치는 table 1에 나타내었고, 소성구간에 대한 유동응력(flow stress)식은 $\bar{\sigma} = 328 \epsilon^{0.114}$ 이다.

4.3 잔류변형 시험

로드휠의 하중에 대한 잔류 변형량을 측정하기 위한 실험은 Fig. 5에 나타낸바와 같이 시뮬레이션에서 적용한 동일한 형상의 편치를 제작하여 실험을 수행하였다.

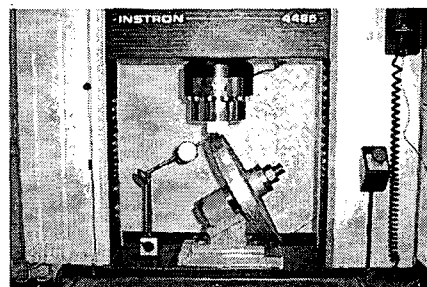


Fig. 5 Experimental equipment for residual deformation evaluation of the road wheel

실험은 로드셀 용량이 20ton인 INSTRON 기계식 만능인장 시험기에서 실시하였으며, 초기하중을 0.1 kN으로 설정하고 일정 속도로 하중을 가한 후 초기하중으로 복귀시켜 변형량을 측정하였다. 하중은 1kN에서부터 45kN까지 16단계로 나누어 3kN씩 점차적으로 하중을 증가시킨 후 하중을 제거하는 방식으로 반복하여 수행하였다. 축선방향 잔류 변형량을 측정하기 위해 축선 방향과 평행하게 다이얼 게이지를 설치하여 하중 작용시 변형량과 하중 제거시의 변형량을 측정하여 기록하였다.

4.4 결과분석

시뮬레이션 결과에서 최대하중인 45kN을 가하였을 때 로드휠의 변형과 펀치를 제거한 후의 변형 상태를 Fig. 6에 나타내었다. 로드휠의 축선방향 변형은 펀치와 직접 접촉되는 위치에서 가장 크게 나타나며, 하중시점으로부터 멀어질수록 감소되는 경향을 나타내고 있다.

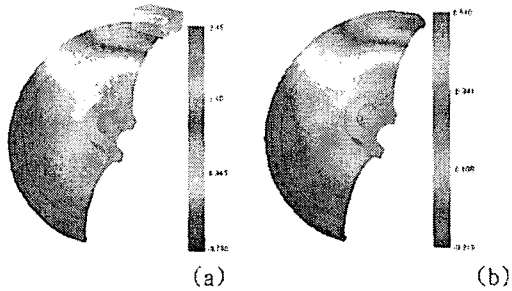


Fig. 6 Deformation in x-direction of the road wheel. (a) loading and (b) unloading state

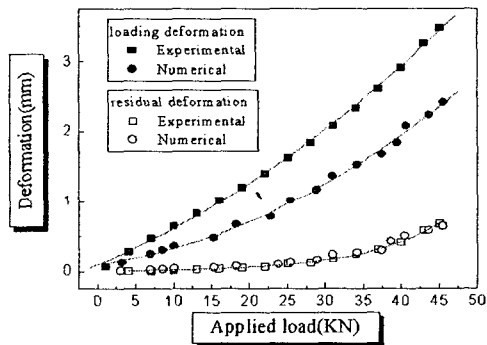


Fig. 7 Deformation-load graph for the road wheel

Fig. 7은 시뮬레이션 결과와 실험 결과에 의한 축선 방향 변형-작용하중 곡선을 나타낸 것이다. 작용하중에 대한 하중 작용점의 축선 방향 변형은 하중이 커짐에 따라 2차 곡선의 형태로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 재료의 가공경화 법칙에 따라 소성 변형시 하중이 증가할수록 변형 능력이 점점 커지는 성질과 일치하는 특성을 나타낸다. 하중작용시에 대한 그래프에서 실험에 의한 데이터 값이 시뮬레이션 결과보다 다소 크게 나타나는 것은 실험에서는 로드휠 자체의 변형뿐만 아니라 치구에서의 탄성변형도 함께 발생하기 때문으로 판단된다.

이상의 시뮬레이션과 실험 결과에서 25kN의 하중 작용시 잔류 변형 0.121mm(해석 결과 : 0.123mm)이고 45kN의 하중 작용시 0.7mm로 나타났다. 45kN의 최대 하중 작용 후 제거하였을 때 파손이나 크랙의 흔적은 PT방식의 침투액으로 확인해 보았으나 일어나지 않았

다. 이는 로드휠의 품질평가 기준인 25kN에서 잔류 변형량 1.5mm 이하, 40kN에서는 파손이 되지 않는 조건을 충분히 만족하고 있다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 다목적전술차량의 운행조건과 로드휠 품질 관리 규정에 의한 조건을 적용하여 응력해석과 실험을 수행하였다. 이를 토대로 로드휠의 강도 평가를 수행하고, 작용하중에 대한 잔류 변형량의 관계를 규명하였다. 이상의 결과에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전술차량의 경사면 수직 및 측면 주행 시 로드휠에 작용되는 최대하중을 차량 중량과 적재물의 무게 중심을 고려하여 실험과 이론을 접목하여 분석하였다.
- 2) 계산된 최대하중을 시뮬레이션에 적용하여 강도해석을 수행하였으며, 경사면 수직 등판과 경사면 측면 주행이 동시에 이루어질 경우 최대 작용응력은 139.88 MPa로 나타나 강도상 안전한 것으로 확인되었다.
- 3) 로드휠에 항복하중 이상의 30° 경사 하중을 가한 후 제거하였을 때 하중 작용점의 축선 방향 변형은 하중이 커짐에 따라 2차 곡선의 형태로 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 로드휠 관리 규정에 의한 잔류변형보다 훨씬 낮은 변형을 나타내 충분한 강성도를 가진 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Atrin, R. L. and Crown, P. L., "Trends in Roadwheel Design", American Ordnance Association Seminar, Jun., 1962.
2. Keith Burgess, John Pepin and Stephen Biddle, "Design and Analysis of Composite Roadwheel for LVTP7 and M113K1", AD-A151467, Aug., 1984, pp. 1-18
3. 김용수, "상륙돌격장갑차 로드휠 디스크의 응력특성 평가", 창원대학교 산업대학원 석사학위 논문, 2001
4. David P, Kihl Richard A, Swanek "Investigation of Small Road Wheel For Use on Tracked Vehicles" David W, Tayler Naval Ship Reserch and Development Center, AD-A-111513, 1982
5. 이승철, 강신유, "열린 단면 부재의 굽힘 붕괴 실험 및 해석에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제21권 제4호, 2004, pp. 132-139
6. "Aluminum Standards & Data", The Aluminum Association, New York, 1973
7. "Atlas of Stress-Strain Curves", 2nd Ed. ASM International, 2002