

# 소형 모바일 로봇의 충격흡수 휠구조

## Anti-shock Wheel Structure for Small Mobile Robot

\*김지철<sup>1</sup>, #김수현<sup>1</sup>, 박현수<sup>1</sup>, 홍윤식<sup>1</sup>, 강봉수<sup>2</sup>, 백주현<sup>3</sup>, 유재관<sup>3</sup>

\*J.C.Kim<sup>1</sup>, #S.H.Kim(soohyun@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>, H.S.Park<sup>1</sup>, Y.S.Hong<sup>1</sup>, B.S.Kang<sup>2</sup>, J.H.Baek<sup>3</sup>, J.K.Ryu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> KAIST, <sup>2</sup>한남대학교, <sup>3</sup>LIG Nex1(주)

Key words : Small UGV, Anti-shock, Wheel structure

### 1. 서론

현대 사회에서의 군사력은 해당 국가의 기술 수준에 비례한다. 국민의 생명과 국가의 안위를 보장하는 군사력은 과학기술에 의해 보강되어 왔고 전쟁을 통하여 과학기술이 발전하기도 하였다. 과학기술의 군사적 응용 또한 이런 흐름을 그대로 흡수하여 최소한의 인명 피해로 최대한의 타격을 입힐 수 있는 시스템으로 변모하고 있다. 이 과정에서 필수적인 소재로 꼽는 것이 로봇이다. 로봇의 군사적 활용은 20세기 말까지만 하여도 개념 단계에 머물러 있었으나 미국을 중심으로 실전 투입 경험이 축적되면서 차츰 유용한 존재로 인식되기 시작하였다. 군사용 로봇의 활용을 기능적인 측면에서 분류하면 크게 감시·정찰, 위험물 탐지, 사격 및 폭파 등으로 나눌 수 있다. 이 중에서도 감시·정찰 등의 임무를 수행하기 위한 무인주행로봇(UGV, Unmanned Ground Vehicle)은 병력을 대체한 임무수행으로 인명피해를 막고 아군을 보호하며 아군에 효과적인 이동 경로를 제시하는 등 미래 전장에서 중요한 역할을 차지하고 있다.



Fig.1 Small UGV (Packbot, i-Robot)

이러한 UGV는 지형지물을 극복하는 데 유리한 형태여야 하고 병사가 휴대하여 기능을 극대화할 정도의 소형, 경량이어야 한다. 특히 우리나라는 산악지형이 전국토의 절반 이상을 차지하고 있기 때문에 다양한 환경의 험지에서도 운용 가능한 내구성과 내충격성을 지녀야 한다. 트랙형 주행 플랫폼의 경우 험지 주행에 탁월하지만 바퀴형 플랫폼이 가지는 타이어 탄성효과가 없어 충격에 취약하다. 이를 해결하기 위해 현가장치의 장착이 가능하지만 장치의 추가로 인해 소형, 경량의 플랫폼이라는 목적에 위배된다. 따라서 본 연구에서는 추가의 현가장치 없이 트랙의 스프라켓 역할을 하는 휠의 재질과 형상의 변화로 플랫폼의 내충격 성능을 높이고자 한다.

### 2. 휠의 충격 흡수 모델

Fig.2 에 해당하는 휠의 구조를 가장 간단한 1자유도 모델로 근사하면 운동방정식은 다음과 같다.



Fig.2 Wheel model

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (1)$$

$F$ 는 시스템에 가해지는 충격으로 보통 half-sine wave로 정의된다. 충격흡수의 목적은 외력에 대한 반작용력을 최소화하는데 있으며  $\ddot{x}$ 를 최소화하는 것과 등가이다. 변위인  $x$ 의 허용범위내에  $\ddot{x}$ 를 최소화하는  $k$ 과  $c$ 값을 구할 수 있다.

보통 트랙을 구동하는 스프라켓의 재질과 구조는 탄성을 보유하고 있지 않아 외력이 그대로 반작용력에 반영되어 충격에 취약하다. 즉 외부의 충격에너지가 그대로 구동축에 전달되어 축에 걸리는 하중이 크다. 반면, 휠이 탄성을 가지면 외부의 충격에너지가 휠의 탄성에너지에 축적되고 남은 에너지가 구동축에 전달된다. 축적된 탄성에너지가 재발되더라도 초기 에너지 보다 작기 때문에 구동축에 전달되는 에너지는 작다. 따라서 재질과 구조의 변형을 통하여 휠에 탄성을 부여한다면 시스템의 충격에 대한 안정성을 보장할 수 있다. 이에 내충격 휠을 제안하고 모의실험과 실제실험을 통하여 검증하였다.

### 3. 재질과 구조에 따른 휠 특성

트랙을 구동하는 스프라켓은 치가 있는 원형의 휠로 모터 축으로 동력을 전달받아 치에 맞물려 무한궤도인 트랙을 구동하는 역할을 한다. 보통의 휠은 플랫폼과 동일한 알루미늄 재질로 디스크모양에 무게를 줄이는 절삭을 통해 특정 바퀴살 모양이 존재하는 형태이다. 본 연구에서는 휠의 시체를 Table 1 과 같이 세 가지 Type으로 나누었다. Type B는 Type A의 알루미늄 시체를 경량화하기 위해 가벼우면서도 내구성이 우수한 아세탈을 적용하였으며, Type C는 가볍고 내구성이 좋은 초고분자 폴리에틸렌으로 바퀴살을 벽돌형식으로 설계하여 응력의 분산과 탄성 효과를 나타내게 하였다.

Table 1 Comparison of different wheels

Wheel Structure	Material	Properties
	Aluminum	Young's Modulus : 68(GPa) Density : 2.69e-006 (g/mm <sup>2</sup> ) Poisson's Ratio : 0.334
	Acetal	Young's Modulus : 586(MPa) Density : 1.54e-006 (g/mm <sup>2</sup> ) Poisson's Ratio : 0.35
	UHMW.PE	Young's Modulus : 2.4(GPa) Density : 0.97e-007 (g/mm <sup>2</sup> ) Poisson's Ratio : 0.46

4. 유한요소 해석

모델링과 해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS와 다물체 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn에서 이루어졌으며, ANSYS에서 시체의 mesh를 나누어 RecurDyn에 importing한 다음 낙하 등의 동역학적 응력해석을 수행하였다.

0.2kg의 휠이 0.5m에서 낙하하는 충격량을 인가하였을 때 바퀴에 작용하는 응력의 분포 및 최대값을 시뮬레이션결과를 이용하여 나타내면 Fig. 3과 같다. 시체에 작용하는 최대응력은 TypeA(11.5MPa) > TypeB(11.5MPa) > TypeC(5.75MPa)으로 Type C의 시체가 가장 낮음을 확인할 수 있다. 또한 벽돌형식의 바퀴살 구조로 인해 응력이 한곳으로 집중되지 않고 휠의 전체로 골고루 전달되어 분산되었으며 이로 인해 구동축으로 전달되는 충격 에너지가 감소했음을 확인할 수 있다.

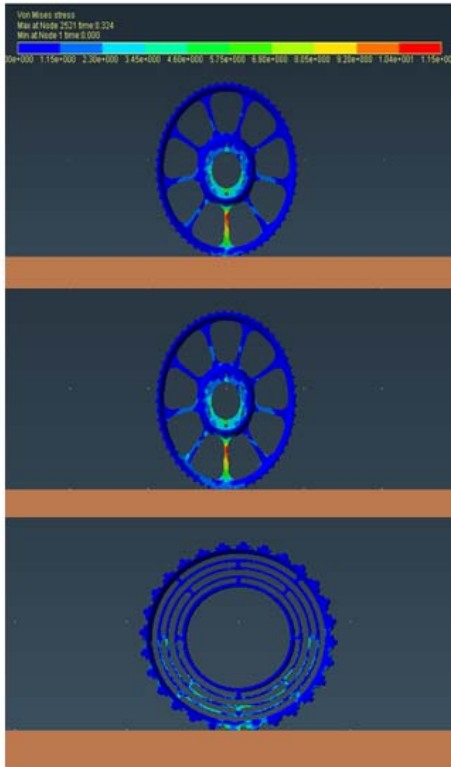


Fig.3 FEM simulation

5. 충격 실험

세 가지 시체에 대해 낙하실험을 수행하여 시간에 따른 가속도 변화를 측정하였다. 휠의 중심부에 가속도 센서를 지면에 수직한 방향으로 부착하고 충격을 통해 반응하는 가속도의 최대값을 측정하였다. 또한 SRS(Shock Response Spectrum)분석을 이용하여 휠이 내재한 요소가 가질 수 있는 최대 가속도 값을 비교하였다.

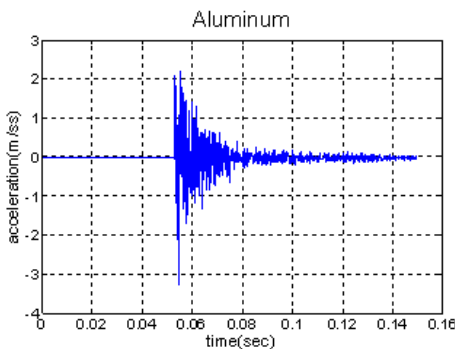


Fig.4 Experiment result of Wheel-drop test (Type A)

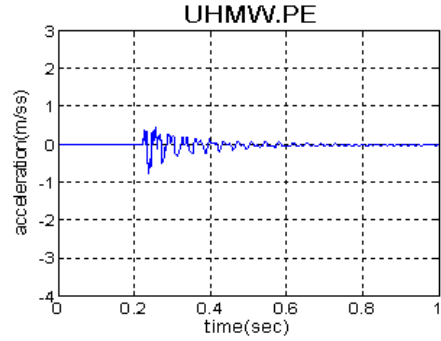


Fig.5 Experiment result of Wheel-drop test (Type C)

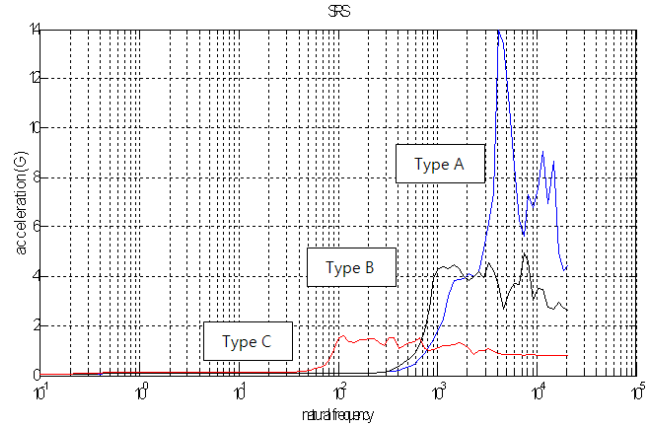


Fig.6 SRS analysis

Fig.4,5 은 각 시체의 시간에 따른 가속도의 값을 나타낸다. 최대 가속도 값은 TypeA(3.2G) > TypeB(3.1G) > TypeC(0.9G)으로 Type C의 시체가 가장 낮았으며 최대 반작용력(가속도)이 Type A에 비해 28% 감소하였음을 확인할 수 있다. SRS의 최대 가속도 값도 Type C에서 가장 낮기 때문에 반작용력이 줄어들어 결국 구동축에 전달되는 충격 절감효과가 크다고 해석가능하다.

6. 결론

본 논문에서는 트랙형 소형 이동로봇의 내충격 휠 설계를 위한 재질 및 구조를 제시하고 이를 모의실험과 실제실험으로 평가하였다.

유한 요소해석 결과 초고분자 폴리에틸렌 재질이 받는 최대응력은 50% 정도 줄어들었고 이것은 해당 재질의 허용응력보다 작은 값이다. 또한 벽돌모양의 휠 구조로 인해 응력이 집중되지 않고 휠 전반에 걸쳐 분산됨을 확인 하였다. 이것으로 휠의 중앙에 위치한 구동축의 반작용력 또한 절감되어 낙하로 인한 충격이 감소함을 확인할 수 있다. 실제 낙하를 통한 실험에서 가속도의 최대값은 28%가량 줄어들었으며 가속도 센서를 부착한 지점 외에도 휠이 가질 수 있는 최대 가속도 값을 SRS 분석을 이용하여 비교하였으며 대부분의 주파수영역에서 가속도의 최대값이 줄어들었음을 확인할 수 있다.

따라서 제시한 Type C의 휠은 경량의 내구성 있는 재질이며 구조 또한 응력의 분산과 탄성으로 충격에너지를 흡수 및 절감하는 효과를 가진다. 이것을 트랙형 소형 이동로봇에 적용한다면 부품 경량화, 내구성, 내충격성의 보장으로 휴대할 수 있고 극한의 환경에 구동하는 군사형 로봇에 부합하는 요소가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Tom Irvine, "An Introductio to