

실 주행조건을 고려한 트랙롤러 평가기술에 대한 고찰 Investigation into Evaluation Technology of Track Roller Considering Actual Driving

강보식 · 이충성

Bo Sik Kang and Choong Sung Lee

1. 서 론

트랙롤러는 건설기계의 하부주행 무한궤도 메카니즘에 장착되어 차량무게를 포함한 주행 장치에 가해지는 하중을 지지하는 역할을 수행하는 핵심부품이다.

트랙롤러는 건설기계의 작업환경특성상 굴곡이나 노면접촉 상황의 가변으로 인한 주행 충격을 지속적으로 받게 되며, 건설기계의 하중이 가해진 상태에서 이러한 주행 반복 충격은 누유 및 크랙, 파손 등의 고장을 유발하게 된다.

이러한 고장이 발생하면 건설기계 차량의 주행에 큰 영향을 미치게 되므로 각 제조사에서는 자체시험을 수행하여 제품의 성능을 확인하고 있다.

하지만 현재 트랙롤러 대부분의 시험은 수직하중을 가한 상태의 시험만을 수행하고 있다. 이는 트랙롤러가 장착된 건설기계의 선회주행시 발생되고 있는 수평방향에서 가해지는 하중을 고려하지 않은 시험평가로 실제 주행조건을 재현하지 못하는 문제점이 있다.

트랙롤러의 수명을 향상 또는 연장시키기 위해서는 주요 구조부의 형상 및 열처리, 윤활 특성분석 등을 통한 개선 기술 확보도 중요하지만, 사용환경을 고려한 시험평가 기술 확보도 이와 수반하여 진행되어야 할 주요 사항이다.

따라서 본 해설에서는 건설기계 차량의 실제 주행조건에서 받는 수평 및 수직하중을 고려하였을 때 트랙롤러의 수명에 미칠 수 있는 영향과 원인에 대한 해석 및 시험 결과를 소개하고자 한다.

2. 트랙롤러 구조 및 고장모드

2.1 트랙롤러 구조

무한궤도용 트랙롤러는 Fig.1과 같이 크게 샤프트 및 플로팅 씰, 바디, 부싱 등으로 구성되어 있으며, 장착 부위 및 작업특성상 샤프트와 바디내 구성품의 마찰에 의한 고장을 방지하기 위해 트랙롤러 내

부에 윤활유를 주입하는 구조로 이루어져 있다. 이들 구성품중 윤활유 누유를 방지하기 위해 설치된 플로팅 씰 메카니즘부가 열화로 인한 고장이 빈번하게 발생하며, 트랙롤러 전체 수명에 큰 영향을 미치고 있다.

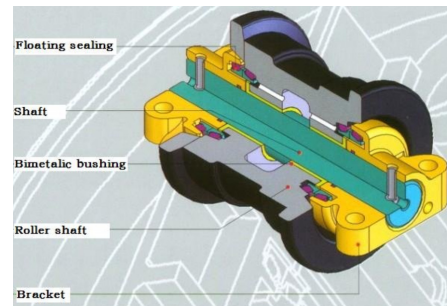


Fig. 1 Structure of track roller

2.2 트랙롤러 고장 모드

트랙롤러의 구동 특성 및 고장 원인을 파악하기 위하여 실사용 조건에서의 고장 모드에 대해 조사한 결과, 아래 Table 1과 같이 정립되었으며, 이 중 주요 고장 모드는 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 플로팅 씰 파손으로 인한 누유로 확인되었다.

Table 1 Track roller failure status

primary components	function	failure modes	failure mechanisms
몸체	외관 형성 및 내부 구성품 보호	파손	충격 하중
		크랙	피로
		부식	외관 처리 불량
샤프트	트랙롤러 축	파손	외력 작용
부싱	샤프트 마모 및 마찰방지	마모	반복 작동
플로팅 씰	윤활유 누유방지 및 마찰방지	누유	파손
			마모
핀	샤프트 이탈 방지	파손	외력 작용
		부식	외관 처리 불량
오링	윤활유 누유 방지	누유	파손
			마모



Fig. 2 External leak of track roller

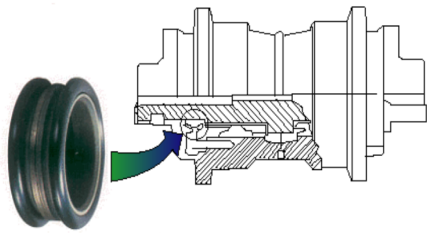


Fig. 3 Floating seal of track roller

3. 트랙롤러 주행특성 및 분석

3.1 트랙롤러 주행조건

트랙롤러의 주요 고장모드인 플로팅 씰의 누유 원인과 재현 시험을 위해서는 우선 트랙롤러가 장착된 건설기계의 실 주행조건 분석을 통해 기존 시험조건을 문제점을 확인하는 것이 중요하다. 트랙롤러의 실 주행조건은 도로의 상태에 따라 직선 및 선회 구간 등에서 복합적으로 주행되고 있으며, Fig. 4와 같이 수직 방향하중과 선회시 발생하는 수평방향 하중을 동시에 받고 있음을 알 수 있다. 문헌 및 논문 등에 따르면, 선회주행시 가해지는 수평하중은 수직하중 대비 50% 정도 가해지고 있는 것으로 제시되고 있다. 하지만 기존 시험의 대부분은 수직하중을 인가한 상태에서의 성능을 평가하고 있다.

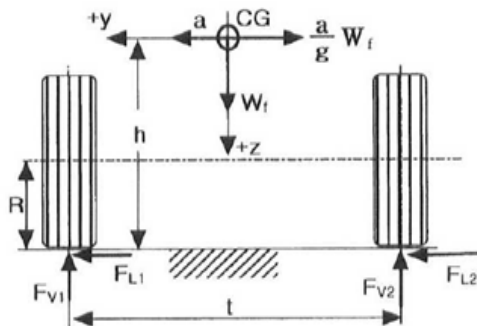


Fig. 4 Direction of loads while rotary driving

3.2 트랙롤러 시뮬레이션

트랙롤러 주행시 받는 하중 방향 및 크기에 따른

롤러 내부 씰의 영향을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행에 앞서 아래 위에서 언급된 자료와 차량의 사양 등을 참고하여 수직 방향 및 수평 방향에 가해지는 최대 하중을 검토하였고, 그 결과, 수직 방향의 하중은 1,300 kg이 가해지는 것으로 산출되었다. 하지만, 수평 방향에 가해지는 하중의 경우 아래 Table 2와 같이 주행 속도에 따라 변동됨을 알 수 있다.

Table 2 Lateral load of track roller

Speed	Lateral acceleration	Lateral load
0 km/h	0	0
30 km/h	0.34 g	592 kg
40 km/h	0.43 g	799 kg

트랙롤러의 해석모델은 Fig. 5와 같이 테트라 격자로 구성하였고, 구성된 격자의 노드수는 8,592,085 개 및 요소수는 5,544,560로 하였다.

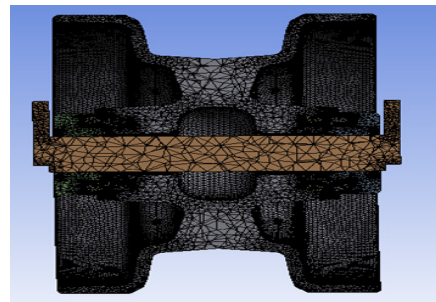


Fig. 5 Analysis model for track roller

수평방향의 해석 하중 조건은 무한궤도 차량의 실사용 구간인 30 km/h에 해당하는 약 600 kg을 기준으로 하여 ± 300 kg의 하중을 수직 및 수평 방향에 동일하게 인가하는 것으로 하였다.

3.2.1 하중방향에 따른 응력 해석 결과

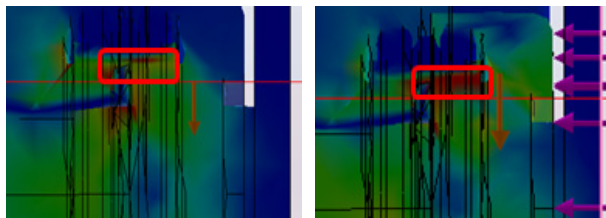
하중방향에 따른 트랙롤러 내부 씰의 응력을 확인하기 위하여, 트랙롤러에 수직 및 수평하중을 가하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 이때 하중에 따른 오링 및 플로팅 씰 등 각 부에 대한 분포된 응력을 확인하였다. 트랙롤러의 하중조건은 Table 3과 같이 정립하였다. 수직하중은 필드 조건에서 롤러에 가해지는 최대 하중으로 하였으며, 수평하중은 선회주행시 롤러에 가해지는 하중을 고려하였다.

Table 3 Load condition for simulation

Case	수직 하중 [kg]	수평 하중 [kg]	수평하중비율 [%]
1	1300	0	0
2	1300	300	23
3	1300	600	46
4	1300	900	69

수직하중을 가하였을 때 씰 접촉 응력 특성과 수평하중을 가하였을 때 씰 접촉응력 특성에 대한 해석 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

해석결과, 씰의 접촉응력은 수직하중보다 수평 하중을 가하였을 때 롤러의 씰 메카니즘에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



(a) vertical load (1300kg/0kg) (b) vertical/horizontal load (1300kg/900kg)

Fig. 6 Analysis result by load direction

각 하중방향에 따른 씰 접촉부의 응력을 확인한 결과 아래 Table 4와 같다. 동일하중을 가하였을 때 수직보다 수평방향으로 하중이 가하여졌을 때, 접촉부의 응력이 크게 작용함을 알 수 있다.

Table 4 Analysis result of stress according to load

Load	Stress (MPa)	
	vertical	horizontal
300 kg	6.1	11.1
600 kg	12.1	22.2
900 kg	18.1	33.4

Fig. 7에서 알 수 있는바와 같이 플로팅 씰부를 구성하고 있는 O-ring과 Seal-ring이 하중방향에 따라 접촉 변형이 일어날 수 있으며, 하중 방향에 따른 씰부의 접촉 변형을 확인하기 위하여 수직하중과 수평하중에 대한 변형 해석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 8에 나타 내었다.

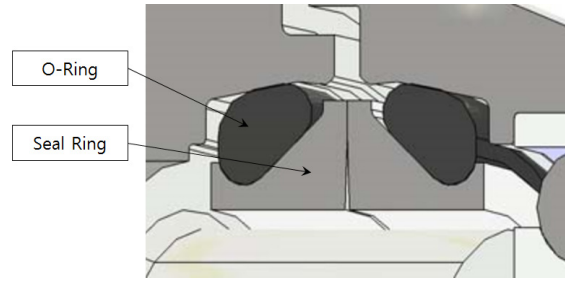
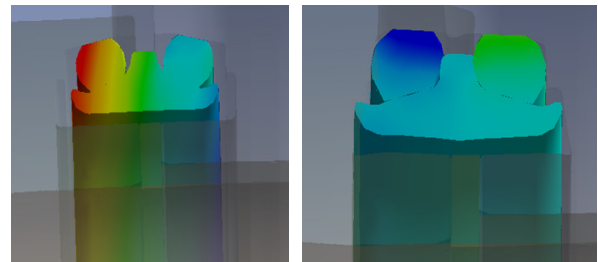


Fig. 7 Structure of floating seal for Track roller

하중 방향에 따른 내부 씰 변화를 확인하기 위하여 수직하중과 수평하중을 가한 결과, 수직 하중을 받고 있는 씰부는 한쪽 부분의 O-ring에 응력 집중이 일어나고 있으나 O-ring과 Seal-ring과 접촉하고 있는 2개의 O-ring이 일정한 간격을 유지하고 부분적인 접촉을 하고 있는 반면, 수평하중을 받는 씰부는 2개의 O-ring 모든 면이 Seal-ring과 접촉되어 트랙롤러 주행시 마찰증가에 의한 온도 상승과 이로 인한 씰 열화와 누유, 파손이 일어 날 수 있음을 확인 할 수 있다.



(a) vertical load (b) horizontal load

Fig. 8 Analysis result of seal contact part

3.2.2 트랙롤러 발열 확인 결과

시뮬레이션 결과 트랙롤러에 하중을 인가하면 구동 특성상 씰링부에 접촉응력이 집중됨을 알 수 있으며, 이로 인하여 접촉력 증가로 인한 씰링부에 열이 발생할 수 있음을 확인하였다. 실제 트랙롤러 구동상에서 하중 인가방향에 따른 온도 상승을 확인하고자 열화상 카메라를 이용하여 수직하중 및 수평하중 인가시에 트랙롤러 씰링 메카니즘에 발생하는 온도 발생의 차이를 확인하였다.

Fig. 9에서 알 수 있는바와 같이 트랙롤러 전체 구성품중 플로팅 씰부가 위치한 부위의 온도가 시간이 경과함에 따라 급격히 상승하고 있음을 알 수 있으며, 해석결과에서 추론된 플로팅 씰부의 접촉 마찰에 의한 온도 상승을 확인 할 수 있었다.

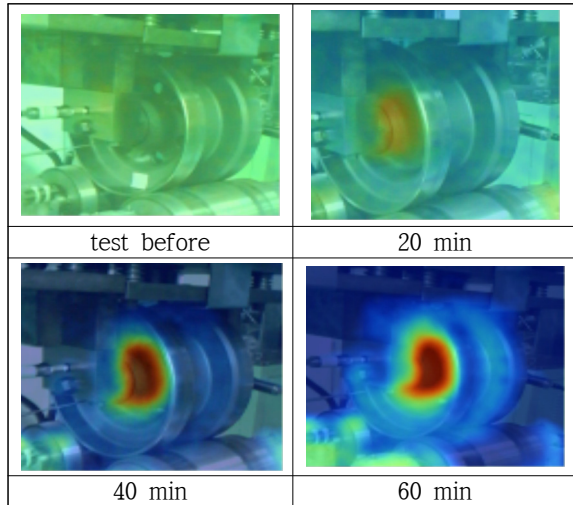


Fig. 9 Temperature distribution of track roller according to operating time

이를 바탕으로 수평하중 없이 수직하중 1300kg을 가하였을때와 수평하중 300kg을 가하였을 때의 동일 시간대에서의 온도차이를 Fig. 10에 나타내었다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이 수직하중보다 수평방향의 하중이 인가되었을 때 온도상승이 높게 나타남을 알 수 있다.

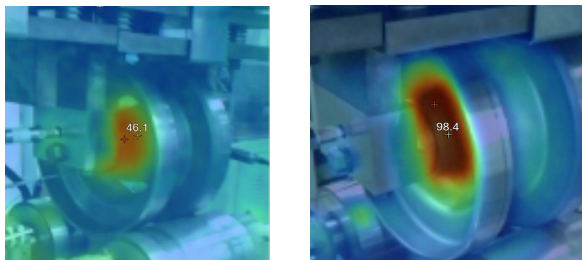


Fig. 10 Temperature characteristic according to load direction

트랙롤러의 발열은 응력이 집중되는 쉘부에서 발생되며, 이러한 온도 상승은 트랙롤러 내부의 윤활유와 바디 전체로 전달되는 것으로 확인되었다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 트랙롤러 시험 장비

수평하중에 대한 영향을 확인하기 위하여 Fig. 11과 같이 시험 장비를 구성하였고, 시험 장비의 사양은 수직 하중 Max. 2200 kg, 수평 하중 Max. 1000 kg을 가할 수 있도록 하였다.

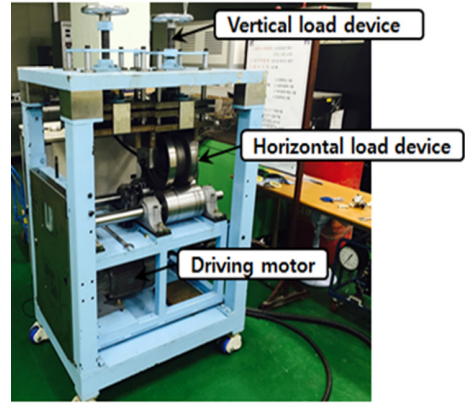


Fig. 11 Experimental apparatus for track roller

시험 장비의 구성은 트랙롤러에 온도 및 압력 센서를 부착하여 시험간 변동되는 롤러 내부의 윤활유 온도 및 압력을 확인할 수 있도록 하였다.

4.2 시험결과

수직방향으로의 하중 인가에 따른 온도상승을 확인하기 위하여, 수평방향 하중을 인가하지 않은 상태에서 트랙롤러 정격하중인 1,300 kg을 기준으로 하여, 수직 하중을 300 kg씩 증가시켜, 트랙롤러 내부의 온도를 측정하였다.

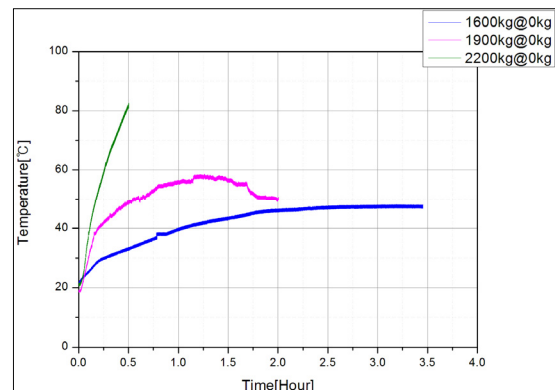


Fig. 12 Measurement result according to vertical load

측정 결과 수직 하중이 1,600 kg을 인가하였을 때의 온도 상승은 최대 47.63 °C, 2200kg 인가시 82.29 °C가 됨을 알 수 있으며, 이는 트랙롤러에 사용되는 플로팅 쉘의 허용 온도범위인 130 °C 이내로 수직하중은 온도 상승에 의한 쉘의 열화 및 롤러내 윤활유 온도상승에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 수평 하중에 대한 시험결과는 Fig. 13과 같으며, 수직하중을 1300kg로 고정하고 수평하중을 변화 시켜 시험한 결과, 수평하중이 없을 때의 42°C보다 수평하중 300kg을 가하였을 때의 온도는 100 °C 로 쉘

접촉부 오일온도가 급격히 상승하며, 수직 하중을 가하였을 때보다 약 50 °C 이상 상승 하는 것을 알 수 있다.

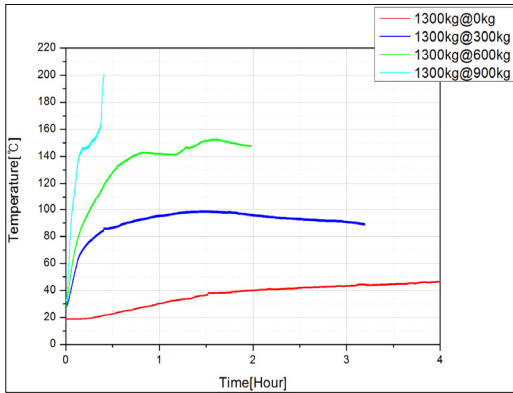


Fig. 13 Measurement result according to horizontal load

더불어 Table 2에서 제시한 주행속도를 고려한 수평 방향으로의 인가 하중인 600 kg 및 900 kg 가하였을 때의 상승되는 온도는 152.9 °C, 200 °C 이상으로 상승하였으며, 수평하중 증가에 따라 측정된 최고 온도인 201°C는 쉘의 온도허용 범위인 130°C를 넘어서고 있음을 확인 할 수 있다. 이는 쉘이 장시간 최고온도에 노출되면 쉘의 열화 및 파손으로 트랙롤러의 수명에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

따라서 트랙롤러의 수명은 수직 하중보다 수평 하중에 더 큰 영향을 받는 것을 명확히 확인할 수 있다.

5. 결 론

트랙롤러에 가해지는 수직 및 수평 하중이 트랙롤러 수명에 미치는 영향과 원인을 해석 및 시험을 통하여 고찰한 결과.

- 트랙롤러의 누유 및 파손 원인은 쉘링 메카니즘내의 O-ring과 Seal-ring의 마찰에 의해 발생되며, 하중인가 조건 및 방향에 따라 큰 영향을 받음을 확인하였다.

- 쉘의 마찰은 롤러 내부에 주입된 윤활유 온도상승을 유발시켜 트랙롤러의 파손 및 열화 고장에 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

트랙롤러 윤활유의 누유방지를 위해 설치된 쉘

수명은 가해지는 하중의 크기보다 방향에 영향을 받고, 수직방향 인가 하중에 의한 영향보다 수평 하중에 대한 영향이 더 큰 것으로 확인되었다.

현재 트랙롤러 산업현장에서 적용하고 있는 수직 하중에 의한 내구 및 성능시험은 롤러의 수명 예측을 정확히 할 수 없으므로, 수평하중을 복합 고려한 시험조건 정립이 필요함을 제시 하고자 한다

참고 문헌

- 1) C. S. Kim, K. S. Hong, and M. K. Kim, "Nonlinear robust control of a hydraulic elevator", Control Engineering Practice, 13 (6) (2005) 789-803.
- 2) R. S. Chandel and S. R. Bala, "Effect of welding parameters and groove angle on the soundness of root beads deposited by the SAW process", Proc. of Trends in Welding Research, Gatlinburg, Tennessee, USA (1986) 479-385.
- 3) S. Kalpakjian and S. R. Schmid, "Manufacturing Processes for Engineering Materials," Second Ed. Addison-Wesley Publishing Company, New York, USA, (1992).

[저자 소개]

강보식

E-mail : kbs668@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7156

2009년 한양대학교 정밀기계공학과 박사. 1990년~현재 한국기계연구원 신뢰성평가센터 책임연구원. 공기압 액추에이터 연구개발, 베어링 및 쉘링메카니즘



수명분석, 기계요소부품 신뢰성평가기법 도출 등의 연구에 종사. 대한기계학회, 유공압건설기계학회 등의 회원, 공학박사

이충성

E-mail : tsaar@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7042

2014년 충남대학교 기계공학과 석사 졸업. 2008년~현재 한국기계연구원 신뢰성평가센터 근무, 공기압액추에이터 연구개발 및, 신뢰성평가 기법 개발 연구



에 종사. 유공압건설기계학회, 대한기계학회, 등의 회원, 공학석사