

유한요소해석을 이용한 눈길 횡방향 접지 성능 예측

박 중 문* · 정 현 철 · 정 경 문 · 김 기 운

금호타이어 연구개발본부

Prediction of Lateral Grip Performance on Snow Using Finite Element Analysis

Jong Moon Park* · Hyun Chul Jung · Kyoung Moon Jeong · Kee Woon Kim

R&D Center, Kumho Tire Co.Inc. 215-21, Saeun-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

Abstract : Accurate prediction of snow tire performance has traditionally focused on acceleration and braking conditions. However, lateral grip characteristics under slip conditions are critical for maintaining vehicle stability on snow-covered roads, where understeer or oversteer may occur. This study presents a finite element analysis-based approach to predict tire lateral grip performance under snow handling conditions. A numerical model replicating real vehicle test scenarios was developed to estimate the lateral force generated perpendicular to the steering direction. The proposed model was validated against snow handling test data obtained in Gangwon Province, South Korea. The results show a correlation exceeding 80% between numerical predictions and experimental measurements. These findings demonstrate that the proposed approach provides a reliable and effective framework of predicting tire handling performance on snow-covered surfaces.

Key words : Lateral Grip(횡 그립), Lateral Force(횡력), Slip Angle(슬립각), Finite Element Analysis(유한요소해석)

1. 서 론

최근 겨울철 차량 안전성 확보를 위해 눈길에서의 타이어 성능 평가의 중요성이 증가하고 있다. 특히 눈길에서의 차량 거동은 가속 및 제동뿐만 아니라 조향 시 발생하는 횡방향 거동에 크게 영향을 받는다. 그러나 타이어 개발시에 주로 가속 및 제동 성능 중심의 평가가 이루어지고 있으며, 조향 시 발생하는 횡방향 안정성에 대한 정량적 예측 기술은 부족한 실정이다¹⁾.

눈길에서는 낮은 마찰 계수로 인해 Slip이 쉽게 발생하며, 이는 차량의 언더스티어링 또는 오버스티어링 거동으로 이어질 수 있다. 따라서 스노우 타이어 성능은 블록 강성과 컴파운드의 저온 유연성뿐만 아니라, 접지력 회복 속도에 의해 좌우된다.²⁾

본 연구에서는 실제 Snow Handling 시험을 기반으로 눈길에서의 타이어 횡방향 그립 성능(Snow Lateral Grip)을 예측하기 위한 해석법을 연구하였다.

유한요소해석을 활용하여 시험 환경을 모사한 해석 모델을 구축하고, 조향 시에 발생하는 Lateral Force를 통해 성능을 예측하였다. 또한 강원도에서 수행된 Snow Handling 시험 결과와 비교하여 해석 모델 및 해석법의 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

본 연구에서는 눈길 주행시에 타이어 횡방향 성능을 예측하기 위해 Snow Handling 시험 조건을 기반으로 해석 모델을 구축하였다. 시험은 강원도 지역에서 수행되었으며, 215/55 R17 규격의 타이어를 대상으로 총 14개의 패턴 설계 버전에 대해 Snow Handling 평가를 진행하였다.

이 중, 실차 시험에서는 총 11개의 감성 평가 항목의 종합평가결과를 통해 Snow Handling 성능을 평가하지만, 타이어의 실제 접지 성능을 정량적으로 비교하기 위해 해석 모델의 지표로 Grip Level 항목을 활용하였다.

* 박중문, E-mail: jm_park@kumhotire.com

Table 1. Real test conditions

항목	실제 시험 조건	항목	실제 시험 조건
공기압	35 psi	Snow Hardness	Soft hard packed snow (CTI Gauge : 86~92,)
하중	공차 중량 + 2 person	속도	40 ~ 50 km/h
시험 온도	-4.4 ~ -5 °C	평가 요소	Under/Over steering, Grip level, Balance 등 총 11가지의 감성 평가

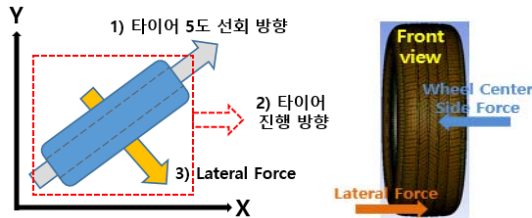


Fig.1 3D schematic of the evaluation model

해석 모델은 실제 차량 시험 상황(Table 1)을 모사하기 위해 타이어를 약 5° 선회한 상태에서 강제로 타이어의 전체 거동은 직진 주행을 수행하는 조건을 적용하여 차량의 Cornering을 모사하는 조건을 Fig. 1에 나타내었다. 그 결과, 해석 시 Free Rolling과 Cornering 주행시의 접지 형상을 Fig. 2와 같이 확인할 수 있었으며, 이후 타이어 접지 영역에서 발생하는 반력 데이터를 이용하여 횡방향 힘 (Lateral Force)을 계산하였다.

해석 결과의 Lateral Force를 추출할 때, 기존 글로벌 좌표계에서 계산된 힘 성분을 회전 행렬을 이용하여 선회된 로컬 좌표계로 변환하고, 이를 통해 타이어 진행 방향에 수직한 횡력 성분을 도출하여 Snow Lateral Grip를 산출하였다.

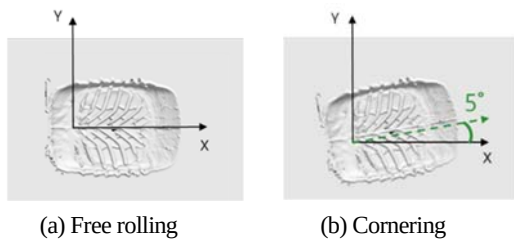


Fig. 2 Contact patch geometry under snow driving conditions



Fig. 3 Correlation between FEA and test results

계산된 횡력 값은 시간에 따라 일정한 진동형태를 나타내는데 이는 타이어 트레드 패턴의 Groove와 Sipe 구조에 의해 눈 노면의전단이 반복적으로 발생하기 때문이다.³⁾ 따라서 해석 결과 중 접촉 상태가 안정화되는 구간에서 Peak Lateral Force 값을 추출하여 Snow Lateral Grip 성능 지표로 활용하였다.

Snow 해석과 시험결과의 상관성을 Fig. 3에서 보여주듯이 본 해석방법에 대한 타당성을 검증하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 눈길에서의 타이어 횡방향 성능을 예측하기 위한 Snow Lateral Grip 해석법을 연구하였다. 실제 Snow Handling 시험 조건을 기반으로 유한 요소해석 모델을 구축하였으며, 타이어 선회 상태에서 발생하는 횡력 값을 이용하여 Snow Lateral Grip 성능을 정량적으로 예측하였다.

해석 결과를 실제 시험 결과와 비교한 결과 약 80.5%의 상관도를 확보하였다. 또한, 패턴 설계의 영향도 분석을 통해 Void Area, Groove, Sipe Density 등이 Snow Lateral Grip 성능에 중요한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

References

- 1) S. L., Tan, H. S. and Tomizuka, M., "Nonlinear Tire Lateral Force versus Slip Angle Curve Identification", Proceedings of the American Control Conference, Boston, MA, USA, pp. 2128~2133, 2004.
- 2) Jo, H., Sung, K. D. and Choo, K. C., "A Study on the Change of Snow Performance by Tire Block Stiffness", Proceedings of the KSAE Annual Conference, 2021.
- 3) Baliga, N. and Hiregoudar, G. G., "An Analytical Model of a Tire's Interaction on Snow", Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2018.