

유한요소해석을 이용한 마모된 타이어의 젖은 노면 제동력 예측

고성준* · 정현철 · 정경문 · 조성래 · 김기운

금호타이어 중앙연구소

Numerical Evaluation of Wet Grip on Worn Tyres (WGWT) Using Finite Element Analysis

Seongjun Ko* · Hyun Chul Jung · Kyoung Moon Jeong · Sung Rae Cho · Kee Woon Kim

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

Abstract : Recently, the Europe labeling Wet Grip on Worn Tyres(WGWT) regulation has been established to ensure stability performance up to the wear limit of tyres. However, for C1 tyres, no direct correlation is identified between the Wet Grip Index (WGI) of new and worn tyres, necessitating independent testing. In this study, finite element analysis was used to predict the wet grip performance of worn tyres. The numerical modeling process accounted for variations in the tread depth, as well as the remaining groove and sipe ratios, throughout the buffing process. To validate the simulations experimentally, the trailer method was utilized for wet grip testing of tyre models, and the results were compared with numerical predictions. The findings revealed that the WGWT WGI demonstrated a correlation exceeding 80%, and the wet grip performance of worn tyres declined by approximately 30% compared with that of new tyres.

Key words : Labeling(라벨링), Worn Tyre(마모 타이어), Buffing(버핑), Wet Grip(젖은 노면 제동력), Wet Grip Index(WGI, 젖은 노면 제동력 지수), Tyre(타이어)

1. 서 론

최근 유럽 라벨링(Labeling) 규정 중 UN ECE Regulation No.117이 개정되어 마모 타이어(Worn Tyre)에 대해서 젖은 노면 제동력(Wet Grip) 규정이 신설되었다. 이는 타이어의 마모 한계점까지 안정성을 보장하는 목적으로 최소 성능을 규제하기 위함이다.¹⁾ C2(Light truck tyres) 및 C3(Heavy truck tyres)의 경우, New Tyre와 Worn Tyre 사이에 젖은 노면 제동력 지수(Wet Grip Index, WGI)는 상관성이 확보되어, 기존 New Tyre WGI에 가중치를 반영하여 산출한다. 반면에 C1(Passenger car tyres)의 경우, New Tyre와 Worn Tyre 사이에 WGI 상관성이 존재하지 않아 별도의 시험이 필요하며, 이는 개발 비용 및 시간에 영향을 미치는 문제를 발생시킨다. 본 연구

에서는 유한요소해석을 이용한 마모된 타이어의 젖은 노면 제동력 예측 연구를 진행하였다. Worn Tyre의 패턴 분석 및 모델링 진행 후 해석 결과를 실차 테스트와 비교하였다.

2. 본 론

Wet Grip 시험은 Fig. 1과 같이 트레일러 방법(Trailer Method)을 사용하여 진행하였다. 온도와 같은 주변 환경 조건으로 인하여 시험 타이어의 평가 전후로 SRTT(Standard Reference Test Tyre)를 이용하여 WGI 산출에 이용된다.²⁾ WGWT (Wet Grip on Worn Tyres) 시험은 New Tyre의 Wet Grip과 동일한 조건 및 방식으로 진행되며, Worn SRTT를 사용하여 WGI를 산출하는 차이점이 있다.

Worn Tyre는 New Tyre의 표면을 깎는 버핑(Buffing)

* 고성준, E-mail: seongjun_ko@kumhotire.com

과정을 통해 제작되며, Fig. 2와 같이 영역에 따른 그루브 깊이 및 표면 조도 등과 같은 규정을 만족해야한다. UN Regulation No. 30에 명시된 기준 트레드 너비(Reference Tread Width)에 따라 Center 부(3/4)와 Shoulder 부(1/4)로 나누어지며, Center 부는 트레드 깊이에 최대 & 최소 규정이 존재한다. 반면에 75% 이상 영역인 Shoulder 부의 경우, 트레드 최소 깊이 규정이 없으므로 버핑 정도에 따라 큰 성능 편차를 보인다. 버핑 과정 중 그루브와 사이프 잔존율에 따른 NG 변화가 발생하며, 각 리브에 따른 전체 변화는 Fig. 3에 나타내었다. NG 증가율은 Center 부 보다 Shoulder 부 영역에 보다 큰 차이를 보였으며, 전체 NG%는 평균 10% 이상 증가하였다.

본 논문에서는 비선형 FEM 상용소프트웨어인 NASTRAN을 사용하여, 유체-구조 연성해석(Fluid-Structure Interaction, FSI)을 진행했다. 검증을 위해 New Tyre 및 Worn Tyre의 11개 규격을 사용했으며, Wet Grip 시험 및 해석 간 WGI 결과를 비교하였다.

시험-해석 WGI상관성(R^2)은 New Tyre에서 82.8%를 보였고, Worn Tyre에서는 80.8%로 타이어 트레드 설계 단계에서 본 해석 방법을 적용 할 수 있을 정도로 신뢰성을 확보하였다. Worn Tyre의 WGI는 New Tyre 대비 성능 저하가 발생하였으며, 시험과 해석에서 각각 27.5%와 30.1%의 Wet Grip 성능 저하가 발생하였다. 이는 IWG WGWT의 연구 결과에서 보여주는 약 30% 성능 저하와 유사한 경향을 보여준다.³⁾ 버핑은 패턴 깊이와 형상을 변화시켜 젖은 노면에서 접촉면(Contact Patch)을 감소시킨다. 이로 인해 낮은 속도에서도 수막현상을 유발하여 타이어의 접지력을 감소시킨다.⁴⁾ 이와 같이 시험-해석 결과의 WGI 상관성과 성능 저하 경향의 신뢰성을 바탕으로 유한요소해석을 이용한 마모된 타이어의 젖은 노면 제동력에 대한 예측이 타당함을 알 수 있다.



Fig. 1 Wet grip evaluation trailer

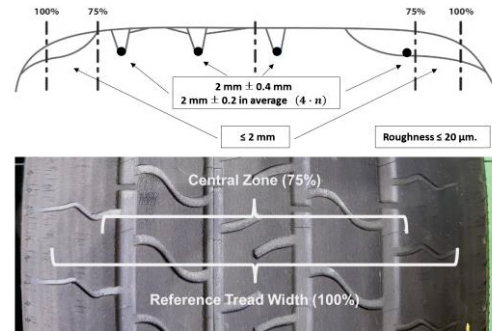


Fig. 2 Pattern profile regulation of worn tyres

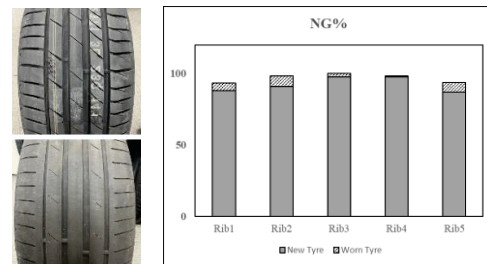


Fig. 3 NG of new and worn tyres

3. 결론

본 논문에서는 유한요소해석을 이용한 마모된 타이어의 젖은 노면 제동력 예측을 진행하였다. 버핑된 Worn Tyre의 패턴 분석을 통해 변화된 경향성을 모델링에 적용하였고, 해석 결과를 시험 결과와 비교 분석을 하였다. 타이어 11규격에 대한 WGWT 시험과 해석에서 WGI는 80.8%의 상관성과 30.1%의 성능 저하를 보여주며 신뢰성을 검증하였다.

References

- 1) J. I. Baek, K. K. Jeon and K. J. Kim, "Comparison of performance on Tire Labeling(RR, WG, PBN) by tread wear for Passenger Cars Tires," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.439-440, 2023.
- 2) G. P. Lee, S. T. Kim and Y. J. Noh, "Wear- Induced Condition Changes in C3(TBR) Wet Grip Reference Tires," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.662, 2024.
- 3) IWG WGWT (Informal Working Group for Wet Grip on Worn Tyres), Report of Session 75 GRBP-75-26, 2022. [GAR \(globalautoregs.com\)](http://GAR.globalautoregs.com)
- 4) IDIADA, "Wet Grip Worn Tyre Interim Report," 2021.