

# 히스테리시스 손실에 의한 회전하는 타이어의 온도 상승 예측 Prediction Temperature Rise due to Hysteresis Loss of Rolling Tire

이한울\*. 조진래\*\*. 정의봉†. 정경문\*\*\*. 김기운\*\*\*

Han Wool Lee, Jin Rae Cho, Weui Bong Jeong, Kyong Moon Jeong and Kee Woon Kim

## 1. 서 론

주행하는 자동차의 타이어는 지면과의 지속적인 마찰에 의해 변형이 일어나게 된다. 변형 에너지의 일부는 히스테리시스 손실인 열에너지로 전환되어, 타이어 회전을 방해하는 회전저항(RR : Rolling Resistance)을 야기시킨다. 이러한 회전저항은 타이어 내부의 온도를 상승시키는데, 이는 타이어를 구성하는 물질의 물성치를 변화시키기 때문에 주행 중 타이어 내부의 회전 저항에 따른 온도 분포의 정확한 예측은 필수적이다.

타이어 내부의 온도 분포는 자동차 주행상태와 타이어 종류에 따라 차이가 있지만, 거의 대부분 지면과 직접 접촉하는 트레드부에 집중되어 있다.

하지만 아직까지 국내의 타이어 회전저항 및 온도분포 예측을 위한 수치연구는 트레드 패턴의 반영에 따른 타이어 변형률의 추출, 에너지 손실 분포 계산, 회전저항 계산 등의 어려움으로 인해 메인 그루브(main groove)만을 반영한 스무드 타이어(smooth tire) 모델에 국한되어 있다. 하지만 최근 회전저항에 대한 환경규제가 전세계적으로 강화됨에 따라 보다 정확한 회전저항 예측기술이 필요하게 되었다. 이를 위해 타이어 내부의 온도 상승 예측 기술이 필수적으로 되었다.

## 2. 주행 중에 있는 타이어의 온도분포 예측

† 교신저자; 정회원, 교신저자 소속  
E-mail : wbjjeong@pusan.ac.kr  
Tel : (051) 510-2337, Fax : (051) 510-3805

\* 부산대학교 대학원 기계공학부

\*\* 마이다스아이티

\*\*\* 금호타이어 기술연구소

## 2.1 해석 수행 방법

공기압이 가해진 타이어의 온도 상승을 예측하는 것은 비선형 열 점탄성 문제의 동적해석을 필요로 하는 매우 복잡한 과도현상이다.

본 연구는 이러한 문제를 순차적인 접근 방식으로 모델링하여 주행하는 타이어의 정상 상태에서의 온도분포를 예측하였다. 이 연구는 접촉문제의 단순한 응력해석을 통해 얻어진 변형에너지 중 일부 에너지가 열원으로 변환되는 연계된 열-기계적 거동을 순차적 해석을 통해 수행하였다. 이러한 과정에서 비선형 탄성 모델을 이용하여 구조해석을 실시하였으며, 점탄성적인 특징을 적용하였다. 이러한 순차적 접근방법은 변형해석 단계, 분산계산 단계, 그리고 열해석 단계 등의 세단계로 나누어 수행하였다.

## 2.2 해석 수행 순서

본 연구에 적용한 정적 접지 해석을 활용한 타이어 내부의 온도 상승 예측 과정은 앞서 언급한 3단계 과정으로 구성되어 있다. 그 중 변형해석 단계는 상용 소프트웨어 ABAQUS를 이용하여 타이어의 변형률 및 응력을 구하게 되고, 분산계산 단계에서는 자체 개발한 In-House 프로그램을 사용하여 변형해석 결과를 토대로 에너지 손실, 회전저항 그리고 열 발생률을 계산하게 되며, 열해석 단계는 ABAQUS를 이용하여 온도분포를 계산하게 된다. 이러한 계산과정에서 타이어의 변형률 연화를 반영하기 위하여 분산계산 단계와 열해석 단계를 원하는 수렴한도를 만족할 때까지 반복 계산하게 된다. 변형률 연화란 점탄성 소재의 저장 및 손실계수가 온도증가와 주파수 감소에 따라 감소하는 고유한 소재특성에 기인하는 현상을 말한다. 이를 위해 저장 및 손실계수에 대한 초기치 설정과 반복계산 과정이 필요하다.

## 2.3 해석 결과



(a) Smooth tire (b) Pattern tire

Fig.1 One sector Tire Model

205/65/R15 타이어에 대한 온도 분포 해석을 스무드 타이어로 모델링하였을 경우와 패턴 타이어로 모델링하였을 경우에 대하여 실시하였다.

본 연구에서는 변형 해석한 결과로부터 에너지 손실과 온도 상승 예측을 위한 이론 및 방법을 정립하였다. 변형해석 단계에서 타이어 내압의 크기는 30.0 psi, 타이어를 지면에 누르는 힘의 크기는 495.0 KGF를 주었다. 열해석을 수행 시 경계 조건을 주기 위해 타이어를 구성하는 요소들 중 공기와 직접 접하는 요소들만으로 구성된 그룹을 따로 지정해 주어야 한다. 이러한 그룹은 Inner, Rim, Side, Tread, 그리고 Pattern이 있는데, Rim을 통한 열전달은 대류만을 고려하였고, 그 밖의 Tread, Side, Inner, Pattern에 대해서는 대류와 복사에 의한 열전달을 고려하였다. 또한 타이어 접지에 의한 마찰열과 타이어 원주 방향으로의 열전달은 무시하였다.

타이어의 변형률 연화를 반영하기 위한 반복계산 횟수는 두 모델 모두 4회 반복 시 수렴하였다. Fig. 3은 4회 반복 해석을 통해 수렴된 스무드 타이어와 패턴 타이어의 온도분포를 비교한 것이다.

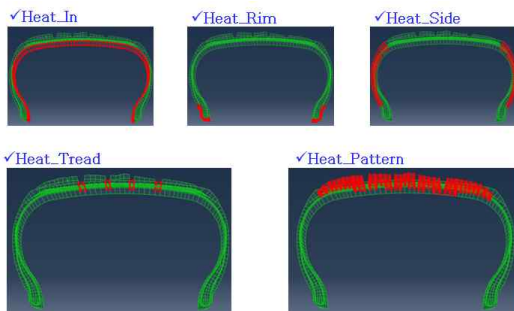
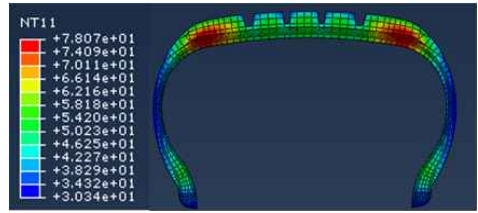
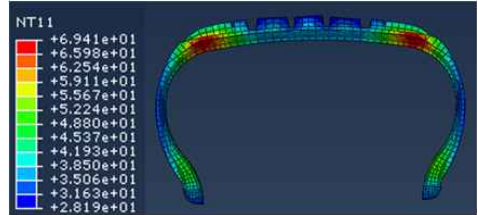


Fig.2 Heat group for Boundary condition



(a) Smooth Tire



(b) Pattern Tire

Fig.3 Comparison results of temperature rise

해석 결과 두 가지 타입의 타이어 모두 패턴 부분에서 온도 분포가 높은 것을 확인할 수 있었고, 스무드 타이어에 비해 패턴 타이어의 온도 상승이 보다 적은 것으로 예측되었다. 또한 패턴 타이어의 경우, 패턴의 영향에 의해 트레드부의 중간 부분의 온도의 상승이 상대적으로 적은 것으로 예측되었다.

## 3. 결 론

본 연구는 타이어의 변형에 의한 에너지 손실로부터 온도 상승을 예측하는 체계적인 이론 및 방법을 정립하였다. 이에 따라 회전저항 예측 시 변화되는 온도 분포를 적용하여 패턴 타이어의 회전저항 예측 결과의 정확성을 높이는 데에 기여할 것으로 예상되며, 나아가 에너지 효율이 높은 형상의 패턴 개발에 기여할 것으로 예상된다.

## 후 기

본 연구는 금호타이어와 위탁과제사업으로 수행된 연구결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.