한국소음진동공학회 2011년 춘계학술대회논문집, pp.742~743

유한요소 해석을 활용한 타이어 히스테리시스 손실에 의한 회전저항 예측

Predicting Rolling Resistance due to Hysteresis Loss of Tire using Finite Element Analysis

이한울*·조진래**·정의봉†·정경문***·김기운***

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

1. 서 론

주행 중에 있는 자동차의 타이어는 지면과 지속적인 마찰 접촉을 하게 되며, 이 때 발생되는 마찰력에 의해 타이어의 변형이 일어나게 된다. 이러한 변형 에너지의 일부는 히스테리시스 손실인 열로 전환되는데, 이는 타이어를 구성하는 물질의 물성치를 변화시킬 뿐만 아니라, 타이어 회전을 방해하는 회전저항(RR : Rolling Resistance)을 야기시킨다.

주행 중에 타이어 내부의 회전저항 기여도는 자동차 주행상태와 타이어 종류에 따라 차이가 있지만, 거의 대부분 지면과 직접 접촉하는 트레드부에 집중되어 있다. 따라서 주행 중 타이어 내부의 회전저항 분포의 정확한 예측이 필수적이다.

하지만, 아직까지 국내의 타이어 회전저항 예측을 위한 수치해석 연구는 원주방향으로의 메인 그루브(main groove)만을 반영한 스무드 타이어(smooth tire) 모델에 국한되어 왔다. 그 원인으로 트레드 패턴의 반영에 따른 타이어 변형률의 추출, 에너지 손실 분포 계산, 회전저항 계산 등의 난해성과 복잡성 그리고 해석시간의 장기화 등의 문제를 들 수가 있다. 하지만 최근 EU Labeling 을 비롯한 회전저항에 대한 전세계적인 환경규제와 그로인한 기술경쟁력 강화에 따라 친환경 저연비 타이어 개발이 필수적으로 되었다.

† 교신저자; 부산대학교 대학원 기계설계공학과
E-mail : wbjeong@pusan.ac.kr
Tel : (051) 510-2337, Fax : (051) 517-3805
* 부산대학교 대학원 기계공학부
** 마이다스아이티
*** 금호타이어 기술연구소

2. 주행 중에 있는 타이어의 회전저항 예측

2.1 해석 수행 방법

공기압이 가해진 타이어의 연계된 열-기계적 거동은 비선형 열 점탄성 문제의 동적해석을 필요로 하는 매우 복잡한 과도현상으로, 이러한 계는 물질재원, 마찰계수 ,분산 매커니즘,대류 열전달계수등과 그 외의 타이어 디자인에 관계되는 여러 요인들에 대한 정보를 필요로 한다.

본 연구는 이러한 복잡한 계를 순차적인 접근 방식으로 모델링하여 회전하는 타이어의 정상 상태에서의 회전저항을 예측하였다. 이 연구는 접촉문제의 단순한 응력해석을 통해 얻은 변형에너지 중 일부가 열원으로 변환되는 열해석을 실시하는 순차적 해석 방법을 기본으로 두고 있다. 이러한 과정에서 비선형 탄성 모델을 이용하여 응력해석을 실시하였으며, 점탄성 특징을 적용하였다. 이러한 순차적 접근방법은 변형해석 단계, 분산계산 단계, 그리고 열해석 단계 등의 세단계로 나누어 수행하였다.

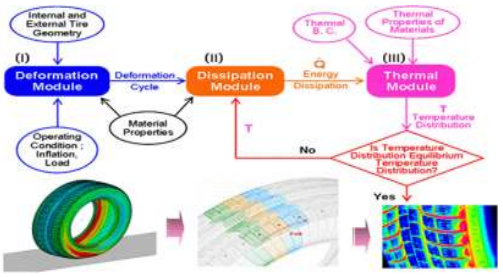

Fig.1 Process of numerical analysis for predicting Rolling Resistance

2.2 프로그램 개발

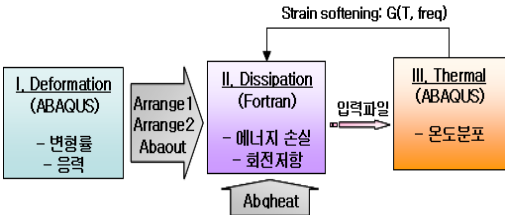

Fig.2 Process of In-house program

본 연구에 적용할 정적 접지해석을 활용한 패턴 타이어 에너지 손실 및 회전저항 예측에 대하여 기술하고자 한다. 회전저항 예측 과정은 앞서 언급한 3단계 과정으로 구성되어 있다. 그 중 변형해석과 열해석은 상용 소프트웨어 ABAQUS를 이용하여 변형률, 응력 그리고 온도분포를 구하게 되며, 분산계산은 전적으로 자체 개발한 In-house 프로그램을 사용하여 해석을 수행하였다. 이 프로그램은 총 4개의 단계로 수행되며, 변형해석 결과를 토대로 에너지 손실, 회전저항 그리고 열발생률(heat generation)을 계산하게 된다. 또한, 분산계산단계은 ABAQUS에서 비정상상태 열전달해석을 수행하기 위해 선행되어야 하는 경계조건, 물성치 등의 정보가 입력되어 있는 input 파일을 생성하도록 되어 있다.

분산 계산은 타이어의 "변형률 연화(strain softening)"를 반영하기 위하여 원하는 수렴한도를 만족할 때까지 반복된다. 변형률 연화란 점탄성 소재의 저장 및 손실계수 G'과 G''이 온도증가와 주파수 감소에 따라 감소하는 고유한 소재특성에 기인하는 현상으로, 결국 에너지 손실과 회전저항은 온도증가에 따라 감소하는 반면 주파수가 증가와 더불어 증가하게 된다. 다시 말해, 타이어 에너지 손실의 온도 및 주파수 비선형성을 반영하기 위해서는, 저장 및 손실계수에 대한 초기치 설정과 반복계산 과정이 필요하게 된다.

2.3 해석 결과

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

이용된 상용 유한요소 프로그램은 ABAQUS이며, 본 연구에서는 변형 해석한 결과로부터 에너지 손실 및 회전 저항 그리고 온도분포를 구하는 이론 및 방법을 정립하고, 이를 이용하여 실제 타이어의 온도분포와 회전 저항을 구한 후 실험결과와 비교하였다. 즉 변형 및 열 해석 단계에서는 사용프로그램인 ABAQUS가 이용되었고, 분산단계에서는 코딩한 변환프로그램을 이용하여 변형해석의 결과로부터 에너지 손실, 열발생율, 회전 저항 및 ABAQUS input file 등을 구하였다. 열해석을 수행하기 위하여 공기와 접하는 요소들만으로 구성된 열 해석을 위한 그룹을 따로 지정해 주어야 한다. 열 해석을 위한 몇 가지 가정을 하는데, 타이어 접지에 의한 마찰열은 무시하고, 타이어 원주방향으로의 열전달을 무시하며, rim을 통한 열 유출은 대류에 의한 열전달을 고려하고, 그 밖의 tread, side, inner에서는 대류와 복사에 의한 열전달을 고려한다.

	시험결과	스무드 타이어	패턴 타이어
타이어 모델링	30psi 495kgf 80km/h		
RR (N)	47.51	45.50	43.42

Fig.3 Comparison results of rolling resistance

Fig.3 은 해석 수행을 통해 얻은 스무드 타이어와 패턴 타이어의 회전저항을 실제 시험결과와 비교한 결과이다.

3. 결 론

본 연구는 회전하는 공기압이 가해진 타이어의 주기적 변형에 의한 에너지 손실을 구하는 체계적인 이론 및 방법을 확립하고, 이를 이용하여 실제 타이어의 회전저항을 해석한 후 실험 결과와 비교해 보았다. 이 연구를 통해 개발된 프로그램과 정립된 이론 및 방법을 통하여, 패턴의 형상에 따른 에너지 손실 및 회전저항, 온도분포의 비교를 통하여 에너지 효율이 높은 형상의 패턴 개발에 기여할 것으로 예상된다.