

타이어의 動特性 分析에 관한 研究

○ 張 牧 淳 , 朴 鍾 演

강원대학교 전기공학과

A Study on Dynamic Characteristics of Tire

○ Mog-Soon Jang , Chong-Yeun Park

Dept. of Electrical eng., Kangwon Nat'l Univ.

Abstract

To analyze dynamic characteristics for a motorcar, the creation and the hammering test methods are introduced. This paper has studied the method of computing the natural frequency of the impulse wave on a tire, the decay constant which determines the absorption capability for the impulsive force. Moreover we have examined the reliability for the decay constant calculated, in this paper theoretical results are agreed with the simulated ones.

I. 서론

타이어는 차량을 이동시키고 차체의 진동을 완화시켜 주는 역할을 한다. 그러므로 타이어의 動特性은 차체 진동에 큰 영향을 미치며 또한 타이어의 動特性 메카니즘의 이해는 타이어의 회전속도 및 외력에 따라 반응하는 특성을 이해하는데 필수불가결하지만 명확한 이론이 정립되어 있지 않은 상태이다.

본 연구에서 밝힌 타이어의 動特性 分析에 관한 사항은 타이어 및 차체의 진동 상태 分析과 소음 分析에 중요한 자료로서 활용될 수 있다. 또한 본 연구에서 밝힌 타이어 품질의 종합평가 결과를 타이어제조 공정에 반영하여 타이어 품질향상을 위하여 활용될 수 있다.

II. 타이어 動特性 分析 이론

타이어의 動特性은 회전상태에서 시험이 수행되므로 속도에 따라 변동한다.^[1] 돌기시험은 트림의 주상 1개소에 설치된 돌기에 의해 타이어는 강제 회전하게 되고 이때 돌기 통과후 자유 진동하게 된다. 이때 타이어가 받는 힘을 타이어 축의 전후, 좌우방향에서 신호를 축출하고, Hammering 시험은 정지시의 타이어에 Hammer로 Impulse충격을 가한 후 그 때 타이어축이 받은 힘과 타이어로부터 반력이 Hammer에 주는 힘을 규준화하여 Hammer가 받은 신호와 타이어축이 받은 신호를 축출한다. 이렇게 해서 얻은 신호에 의해 타이어의 성능평가를 위한 기본자료인 고유진동수,

감쇠율, 최대 Peak값, 동탄성계수등을 개인용 컴퓨터의 화면에 표시하였다.

II-1. 고유진동수

고유진동수는 시간축에서 얻은 신호로부터 주파수 분포를 구하여 얻을 수 있다. 타이어가 충격을 받은 직후의 반응은 타이어의 자체의 고유진동수와 충격을 가한 신호와 공진이 일어날 때 가장 큰 에너지를 가지며, 타이어의 감쇠특성에 의해 시간이 지남에 따라 타이어가 에너지를 흡수하여 소멸하게 된다. 이때 얻은 시간축의 신호를 주파수 分析하여 최대 에너지를 갖는 주파수를 선택하면 그때의 주파수가 타이어의 고유진동수가 된다. 이때 주파수 分析을 위해 Fast Fourier Transform(FFT)의 알고리즘을 사용한다.^[2] 그런데 FFT는 자체가 가지는 오차로 인해 최대에너지를 가지는 특정 주파수를 선택하기란 매우 어렵다. 그러므로 1/3 Octave Band개념을 도입하였다.^[3] 1/3 Octave란 기준 주파수를 중심으로하여 기준주파수의 $\pm 11.5\%$ 내에 있는 신호의 합을 기준 주파수에서의 1/3 Octave 값이라하며 기준주파수의 $\pm 11.5\%$ 의 구간을 1/3 Octave Band라 한다. $X(f)$ 를 FFT한 신호, m 을 ± 11.5 , k 를 기준주파수, k 에서의 1/3 Octave 값을 FOCT(k)라하면

$$FOCT(k) = \sum_{f=k-m}^{k+m} [X(f)] \dots\dots\dots(1)$$

식(1)로 표시되며 1/3 Octave 계산으로 신호의 주파수에 대한 에너지 분포를 알 수 있으며 이렇게 구한 에너지 분포에서 최대 에너지를 갖는 구간을 선택하고 그 구간 내에서의 최대 에너지를 갖는 주파수를 선택하므로 고유진동수를 구할 수 있다.

II-2. Hammering 시험과 전달관수

Hammering 시험은 정지시의 타이어에 Hammer로 임펄스 충격을 주어 Hammer로 타이어를 때릴 때의 힘 즉 타이어로부터 반력을 측정하고 그것을 입력으로했을 때 타이어 축에 전달되는 힘을 출력이라고 하고 이 출력과 입력을 Fourier 변환하여 주파수 영역에서 입력과 출력의 전달관수를 구한다.^[4]

전달관수는 두 신호에 대한 선형 의존도(Linear dependent Degree)로 표시하며 주파수의 함수로 표시되며 다음과 같이 정의된다.[4]

$$\text{전달관수함수 } \gamma^2(f) = \frac{|G_{AB}(f)|}{G_{AA}(f) \cdot G_{BB}(f)} \dots\dots\dots(2)$$

전달관수 함수 $\gamma^2(f)$ 을 구하는 원인은 잡음에 대한 고유진동수의 보존상태를 파악하는데 목적이 있으며, 잡음이 가해지면 $G_{AB}(f)$ 의 Image부분이 변하게 되어 $G_{AB}(f)$ 는 오차를 발생하게 된다.[4]

II-3. 감쇠상수

타이어의 동특성은 충격에 대한 빠른 흡수가 이루어져야만 사고 발생시 차체에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 따라서 충격에 대한 충격흡수의 지표로서 감쇠율의 대소에 의하여 판별할 수 있다.[5] 이를 위하여 입력신호의 극치를 구하고 이 값들에 의하여 감쇠율을 구하고 여기서 구한 감쇠상수를 가지는 곡선과 입력신호에서 극치와의 상관계수를 구하고 상관계수로 부터 결정계수를 구하여 신뢰도를 구하였다.

II-3-1. 최소자승법에 의한 회귀분석

회귀분석이란 변수들간의 관련성을 규명하기 위하여 어떤 수학적 모형을 가정하고, 이 모형을 특정된 변수들의 데이터로부터 추정하는 통계적 분석 방법을 말하며 추정된 회귀곡선의 함수는 최소자승법에 의하여 구하였다.[6]

Y는 신호의 크기라고 하고 X는 시간이라할 때 식(3)에 회귀시킨다.

$$Y = k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot X} \dots\dots\dots(3)$$

$$\ln Y = \ln k_1 - k_2 \cdot X \dots\dots\dots(4)$$

여기서 $Z = \ln Y$, $C_1 = \ln k_1$, $C_2 = k_2 \cdot X$ 라 할때 최소자승법에 의한 C_1 , C_2 를 (X_i, Y_i) 로 부터 참고문헌[6]에 의하여 결과는 다음과 같다.

$$\left| \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right| \cdot C_1 + \left| \sum_{i=1}^n (Y_i^2 \cdot X_i) \right| \cdot C_2 = \sum_{i=1}^n (Y_i^2 \cdot \ln Y_i) \quad (5)$$

$$\left| \sum_{i=1}^n (Y_i^2 \cdot X_i) \right| \cdot C_1 + \left| \sum_{i=1}^n (Y_i^2 \cdot X_i^2) \right| \cdot C_2 = \sum_{i=1}^n (Y_i^2 \cdot X_i \cdot \ln Y_i) \quad (6)$$

식(5), 식(6)로부터 C_1 과 C_2 를 구할 수 있으며 C_1 과 C_2 로부터 k_1 과 k_2 를 구할 수 있으며 이것으로부터 감쇠율을 구할 수 있다.

II-3-3. 상관계수 및 신뢰도

상관계수는 두 신호 사이에 어떠한 관련성이 있는가를 보여주는 요소이다.[7] 또한 상관계수는 두 신호의 공분산(Covariance)과 표준편차의 곱의 비율로 정의 된다.[7]

돌기시험에서 얻은 신호를 X_i 라하고 회귀분석에 의해 구한

$Y = k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot X}$ 를 Y_i 라 할때 X_i 와 Y_i 사이의 상관계수를 ρ 라 할때 상관계수는 식(7)과 같다.[7]

$$\rho = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX} \cdot S_{YY}}} \dots\dots\dots(7)$$

여기서 상관계수 ρ 의 제곱을 결정계수(Coefficient of determination)이라하며 ρ^2 로 표시할 때 $\rho^2 * 100\%$ 는 회귀에 의하여 설명되는 변동이므로 $\rho^2 * 100\%$ 의 신뢰도를 가진다고 할 수 있다.

III. 重力特性에 대한 결과 및 검토

III-1. 속도별 고유진동수

속도별 고유진동수는 그림 1.와 같다.

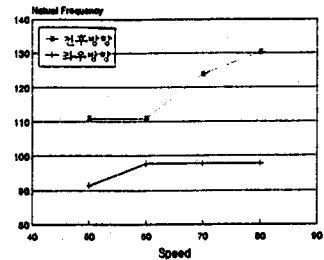


그림 1. 전후, 좌우방향의 고유진동수

고유진동수는 전후방향에서는 110Hz - 130Hz, 좌우방향에서는 90Hz - 100Hz로 나타났다.

III-2. Hammering 시험에 의한 전달관수

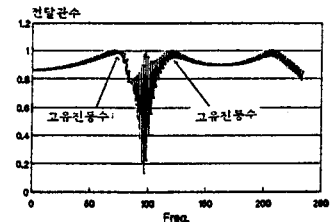
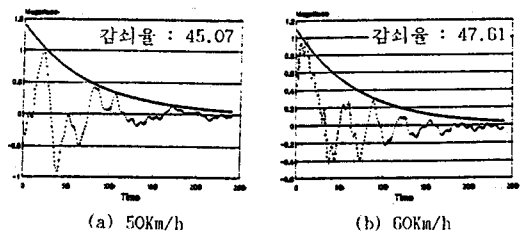


그림 2. 전달관수 함수

전달관수함수의 그림 2.에서 고유진동수에서는 잡음(Noise)에 의한 변화가 거의 없음을 볼 수 있다. 따라서 잡음이 가해지더라도 고유진동수에서는 신호가 보존됨을 볼 수 있다.

III-3. 회귀분석에 의해 구한 속도별 곡선



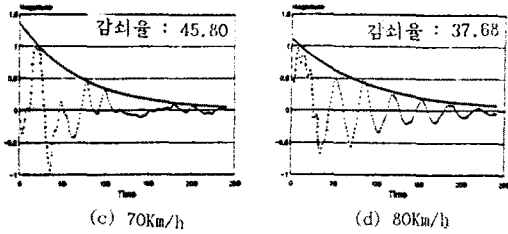
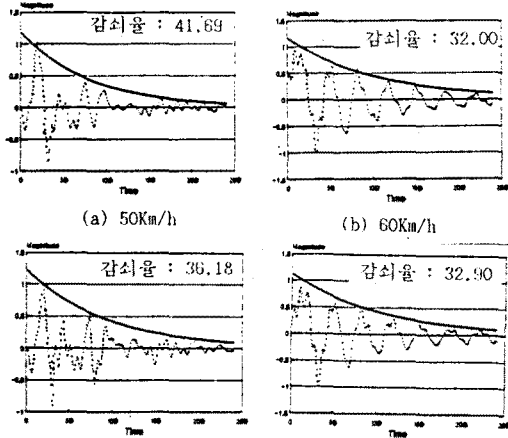


그림 3. 전후방향의 속도별 회귀곡선



— 입력신호, — 회귀곡선

그림 4. 좌우방향의 속도별 회귀곡선

III-4. 상관계수

회귀분석에 의해 구한 속도별 곡선과 시험장지로 부터 얻은 신호와의 상관계수

표 1. 상관계수 (ρ)

Km/h 방향	전후 방향	좌우 방향
50	0.989774	0.915094
60	0.975621	0.966655
70	0.958378	0.967928
80	0.980421	0.948107

III-5. 결정계수

회귀분석에 의해 구한 속도별 곡선과 시험장지로 부터 얻은 신호와의 결정계수는 그림 5.와 같다.

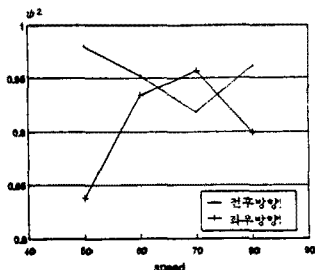


그림 5. 전후, 좌우방향 결정계수 R^2

위의 결과에서와 같이 본 연구에서 얻은 감쇠상수는 84%

이상의 신뢰도를 가진다고 볼 수 있다.

IV. 결론

승용차용 타이어의 동특성을 파악하기 위해서 돌기에 의한 충격시험과 Hammer에 의한 충격시험 방법을 도입하여 분석하는 방법을 도입하였다. 돌기시험에서는 타이어의 고유진동수를 파악하기 위한 방법, 타이어의 충격흡수능력을 표시하는 충격파의 감쇠상수 및 감쇠상수의 신뢰도를 구하여 타이어의 성능을 분석하였다. 또한 Hammer에 의한 충격시험에서는 전달관수를 구하여 타이어의 동특성을 비교할 수 있으므로 향후 타이어의 품질평가 및 제조공정에 반영함으로써 타이어의 품질향상을 시킬 수 있으며 또한 본 연구결과에 의하여 신호의 고유진동수와 감쇠율을 구해야하는 모든 신호에 대해 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] "Tire 돌기승원 試驗機 立會檢査 要領書", 大化製衡 株式會社 産機製造課.
- [2] E. Oran Brigham, "The Fast Fourier Transform", p.163-169, Prentice-Hall, 1971.
- [3] Bruel and kjar, "Frequency Analysis", p.81,115-119, Prentice-Hall Company, 1988.
- [4] Bruel and kjar, "Frequency Analysis", p.228-238, Prentice-Hall Company, 1988.
- [5] A. A. Girgis and Brown. "Application of Kalman Filtering in Computer Relating", IEEE Trans. Power App. and Syst. vol. PAS-100, No.7, pp.3387-3391, July 1981.
- [6] M. L. James and G. M. Smith and J. C. Wolford, "Applied numerical methods for Digital computation", p.315-327, Harper & Row, 1984.
- [7] 朴聖炫, "現代實驗計劃法", p.269-297, 民英社, 1982.