〈연구논문〉 한국동력기계공학회지 제2권 제3호 pp. 55~59 1998년 12월

타이어 상하 힘변동과 모드 시험에 관한 연구

A Study on Tire Radial Force Variation and Modal Testing

박상규 · 김종관 · 송상기

S. K. Park, J. K. Kim and S. K. Song

Key Words : Tire Uniformity(타이어 균일성), Force Variation(힘 변동), Modal Parameters(모드 파라미터), Transfer Fuctions(전달함수)

Abstract : This paper probes into the influence of tire uniformity on tire's modal parameters with the method of experimetnal modal analysis. Two radial tires of the same kind with different uniformity level are taken to be tested at different exciting points and real modal parameters are abstracted. The differences of their modal parameters are presented. Then tire transfer functions are constructed with experimental modal parameters and ideal modal parameters respectively. It is found that the measured transfer functions of tire of good uniformity are closer to ideal trasfer fucntion than that of tire of bad uniformity. The study shows evident interrelation of experimental modal parameters and tire uniformity, and further study should be of great value.

1. 서 론

타이어의 균일성(uniformity)은 자동차 주행시 진동과 소음에 영향을 주며 타이어 질의 좋고 나쁨의 중요 척도이기 때문에 균일성을 검사하는 것은 타이어 생산공장에서 타이어 품질을 관리하는 수단이 된다. 자동차 기술의 발전에 따라 차량의 고속화, 경량화와 소비자의 자동차에 대한 안정성 요구가 부단히 요구됨에 따라 타이어의 균일성을 개선하는 것은 타이어의 설계와 생산부문의 하나의 중요한 과제로 되었다. 그러나 타이어의 구조와 생산공정이 복잡하고 타이어 제품의 제작정밀도를 높이는 것이 쉽지 않기 때문에 균일성은 타이어 품질의 중요한 기술지표이며 타이어의 구조적인 결함으로 인하여 차량의 진동 · 소음에 전체적으로 영향을 주고 타이어의 균일성에 대한 연구는 타이어의 품질을 개선하는데 도움이 된다[1-2]. 타이어의 실험 모드분석에 의한 타이어 모드 파라미터는 타이어 자체의 본질 특성을 반영하고 타이어의 역학적인 원리와 타이어의 이론적인 모델을 만드는데 매우 큰 이론적 의의와 실용가치가 있다고 판단된다. 균일성이 차이가 있는 같은 종류의 타이어에 대하여 모드분석을 비교하고 분석한 결과 균일성의 실험결과와 아주 좋은 상관성이 있으며 실험 모드 파라미터는 타이어의 균일성 분석에 아주 큰 참고가치가 있는 것으로 생각된다.

접수일 : 1998년 9월 7일
박상규 : 여수대학교 기계공학과
김종관 : 조선대학교 기계공학과
송상기 : 순천제일대학 차량기계과

2. 타이어의 실험 및 방법

자동차는 주행중 타이어가 회전함에 따라 주행에 불필요한 힘과 주기적으로 변동하는 힘을 받으며 제작공정에 의해 타이어와 노면의 접촉면에서 힘 변동을 발생시킨다. 타이어 균일성의 정도에 차이가 있는 2개의 타이어를 고속도 균일성 시험기로 균일성 시험과 자유상태에서 모드 시험을 각각 행하였다. 본 연구는 기초적인 연구로서 상하방향으로 나타나는 힘의 변화량만 분석하고 이에 대한 실험 모드분석에 대해서도 반경방향 가진실험만 행하였다.

2.1 타이어 균일성 실험

타이어는 금속제품에 비해 여러 가지 복합재료로 만들어져 부분적인 치수변화와 강성변화, 비대칭성 등이 금속제품보다 나쁘다. 이러한 특성에 의해 차량의 고속주행시 타이어는 주행에 불필요한 힘과 주기적으로 변동하는 반력을 받아 차량의 진동 · 소음의 원인이 된다[3-4]. 타이어 균일성은 중량의 균일

성, 강성의 균일성, 치수의 균일성등이 있으며 타이어 강성의 불균일로 인한 힘의 발생은 Fig. 1과 같이 고속 균일성 시험기[HISUM : HOFFMANN RGM-LT3, 타이어 구동방식]로 타이어에 일정한 하중을 가하면서 회전을 시켜 힘 변동성분을 구할 수 있는데 상하방향으로 나타나는 힘의 변화량(RFV), 좌우방향으로 나타나는 힘의 변화량(LFV), 그리고 전후방향으로 나타나는 힘의 변화량(TFV) 등 3가지가 있다.

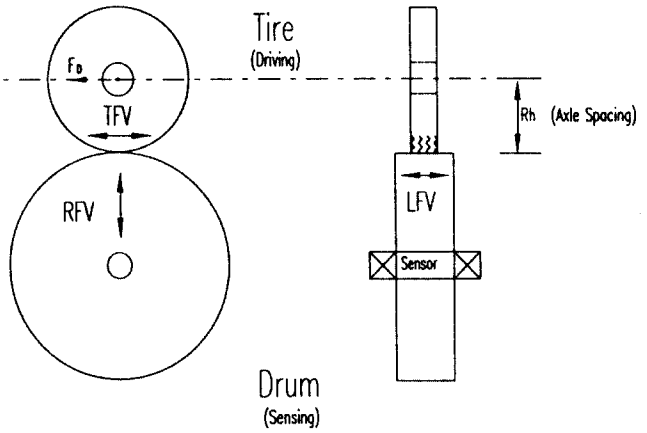


Fig. 1 High speed uniformity test machine and force variations

사용하지 않은 두 개의 165/70R13 타이어에 대하여 고속 균일성 시험기로 균일성을 측정하였는데 3가지 힘 변동성분 중 RFV의 양진폭(peak- peak) 변동량과 1차 하모닉 성분을 Fig. 2에 도시하였다.

G.U.(Good uniformity) 타이어의 경우 반경 방향의 힘 변동의 양진폭 값은 100.07N이고 1차 하모닉 값은 17.63N이다. B.U.(Bad uniformity) 타이어의 반경 방향의 힘 변동치는 144.09N이며 1차 하모닉 값은 63.68N이었다. 타이어 균일성의 크기에 따라 양진폭 힘 변동값과 1차 하모닉 값이 현저하게 차이가 있음을 알 수 있다. 또한 타이어의 RFV는 다음 식(F_z)으로 구할 수 있다.

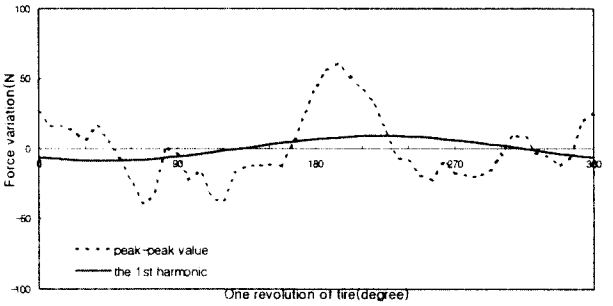
$$F_z = K_z \cdot \Delta r_t \cdot \sin(n \cdot \omega t) + \frac{C_z \cdot \Delta r_t \cdot V}{r_{ta}} \cdot \cos(n \cdot \omega t) \qquad (1)$$

여기서,

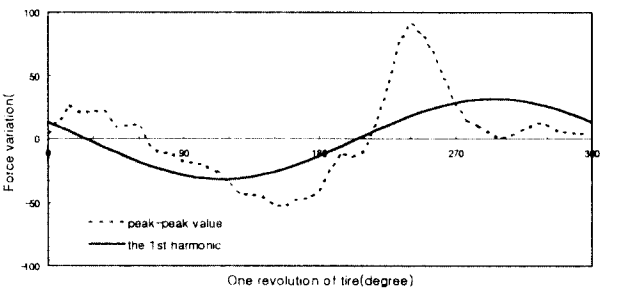
K_z : 타이어 상하 방향 강성계수

C_z : 타이어 감쇠계수

r_{ta} : 타이어의 평균 회전반경



(a) RFV and the 1st harmonic of good uniformity tire



(b) RFV and the 1st harmonic of bad uniformity tire

Fig. 2 RFV and the 1st harmonic for different uniformity tire

Δr_t : 타이어 런아웃의 1차 하모닉 값

n : 하모닉 차수

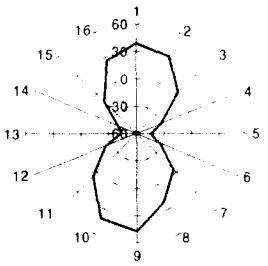
ω : 타이어의 각속도

V : 타이어의 선속도

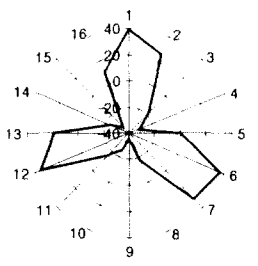
2.2 타이어 모드시험

균일성 성분이 각각 다른 두 타이어를 같은 압력하에서 반경 방향의 1점 가진의 모드시험을 진행하여 가진점과 응답점 모두 타이어를 중심으로 두고 응답점은 모두 16개로 하였다[5-8]. 각 타이어의 모드시험에서 두 곳의 가진점 위치를 선택하고 하나는 균일성 곡선의 기점 즉 0의 위치에 있고 다른 하나는 0도로부터 시계방향으로 90도 회전한 위치에 있게 하였다. 가진시 가진 주파수는 사인 함수로 가진하였으며 가진 주파수 범위는 80에서 320(Hz)까지 실험하였다. 매번 실험에서 모두 6개의 실제 모드를 구하였다. Fig. 3은 균일성이 좋은 타이어의 반경방향 모드와 고유진동수이며, 그림에서 1부터 16은 타

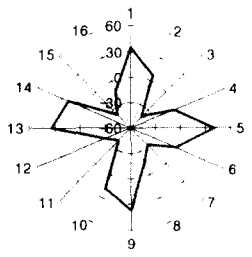
이어의 응답점이고 y축은 모드의 정규화된 크기를 나타내고 있다.



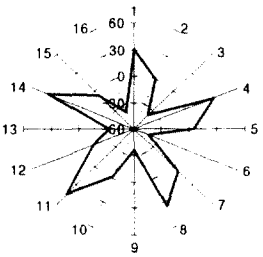
(a) The 1st mode shape (113.53 Hz)



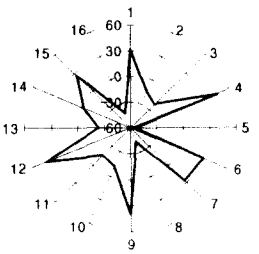
(b) The 2nd mode shape (132.57 Hz)



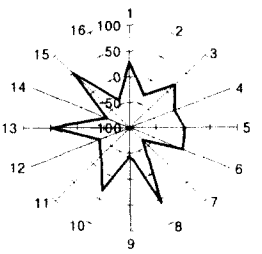
(c) The 3rd mode shape (155.76 Hz)



(d) The 4th mode shape (180.27 Hz)



(e) The 5th mode shape (204.57 Hz)



(f) The 6th mode shape (229.81 Hz)

Fig. 3 Radial mode shapes and natural frequencies of good uniformity tire

Table 1은 균일성이 좋은 타이어의 모드 파라미터 값들이다.

Table 1 Modal parameters of G.U. tire

차수	1차	2차	3차	4차	5차	6차
진동형	타원	3잎	4잎	5잎	6잎	7잎
진동수 Hz	113.53	132.57	155.76	180.27	204.57	229.81
감쇠 %	2.62	3.20	3.05	3.15	3.29	3.20

3. 실험결과의 분석

균일성이 다른 타이어를 각각 0도와 90도로 가진 위치를 바꾸어 16곳의 응답점에서 모드시험을 행하여 얻은 모드 파라미터의 결과들을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Radial exciting characteristics of radial tire

차수			1	2	3	4	5	6
진동형			타원	3잎	4잎	5잎	6잎	7잎
진동수 Hz	G.U.	0도	113.53	132.57	155.76	180.27	204.57	229.81
		90도	113.58	133.11	156.07	179.89	205.03	230.41
	B.U.	0도	113.39	132.29	155.4	179.79	204.91	230.64
		90도	115.91	135.23	158.80	184.15	208.90	235.73
감쇠비 %	G.U.	0도	2.62	3.20	3.05	3.15	3.29	3.20
		90도	2.71	3.63	3.15	3.24	3.39	3.43
	B.U.	0도	2.49	3.55	3.34	3.43	3.71	3.61
		90도	2.60	4.12	3.62	3.63	3.71	3.96

Table 2에서 알 수 있듯이 균일성이 좋은 타이어는 가진위치의 변화에 고유진동수나 감쇠비의 영향이 적지만 균일성이 나쁜 타이어는 가진위치에 따라 다소 차이가 큼을 알 수 있다. 6개의 모드에서 균일성이 좋은 타이어의 고유진동수와 감쇠비는 모두 균일성이 나쁜 타이어보다 차이가 작음을 알 수 있다. Fig. 4에 균일성이 좋은 타이어의 이상적인 일차 모드를 실선으로 모드시험에 의한 실험 일차 모드를 점선으로 각각 도시하였으며 y축은 모드질량을 1로 정규화하였을 때 크기를 나타낸다.

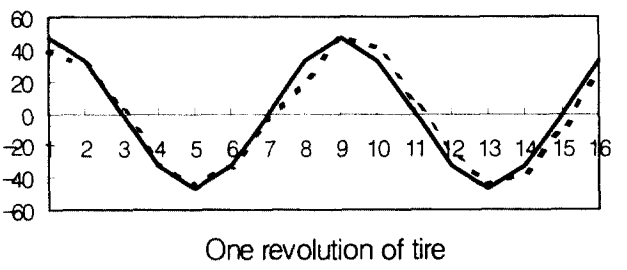


Fig. 4 The 1st mode shape of ideal and good uniformity tire

타이어는 대칭 특징을 가지고 있는 물체이므로 이론적으로 타이어의 진동형은 대칭되어야 하며 하모닉 특징을 가지고 있어야 한다. 즉 Fig. 4는 실제 측정한 값과 이상적인 타이어(함수로 얻어진 곡선의 수치)를 비교한 것이다. 이런 편차의 크고 작음은 실험오차를 반영할 뿐만아니라 타이어의 균일성이 좋고 나쁨에 원인이 있다고 할 수 있다. 전체 6개의 모드의 변위 값을 구하기 위하여 전달함수를 사용하는 것이 적합하며 타이어의 진동 모드에 대한 전달함수의 이론식[9]은 다음과 같다.

$$H_{lp} = \sum_{i=1}^{6} \frac{\phi_{li}\,\phi_{pi}}{k_i} \qquad (2)$$

여기서,

H_{lp} : 가진력 p에 대한 응답 l의 전달함수

$\sum_{i=1}^{6}$: 1차 모드부터 6차 모드까지 합

ϕ_{li} : i 번째 모드에서 모드질량을 1로 정규화 하였을 때 응답의 진폭 크기

ϕ_{pi} : i 번째 모드에서 모드질량을 1로 정규화 하였을 때 가진력의 진폭 크기

k_i : i 번째 모드에서 모드 강성 값이다

식(2)에 의하여 측정한 모드 파라미터를 이용하여 타이어의 실제 측정한 주파수 응답함수를 구할 수 있으며, 그에 의하여 얻은 모드 값으로 이상적인 주파수응답함수를 구할 수 있다. 두가지 전달함수의 모드 변위는 편차가 존재하며 Fig. 5에 균일성이 다른 두 타이어의 전달함수의 모드 변위차와의 편차를 비교한 것인데 균일성이 좋은 타이어 실험결과와 이상곡선 사이의 값의 차는 균일성이 나쁜 타이어의 상응한 수치보다 훨씬 작음을 알 수 있다. 그림에서 y축은 정규화된 전달함수의 모드변위의 차를 나타낸다. 이상의 연구결과에서 타이어의 실험적 모드 파라미터가 타이어의 균일성에 대하여 확실한 상관성을 가지는 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 기초로 더욱 진일보한 연구에 도움이 되리라 생각한다.

4. 결 론

타이어의 균일성 특성과 모드 파라미터와의 상관성을 알아보기 위하여 타이어 균일성이 좋고 나쁨에 따라 각각 모드 파라미터를 구하여 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

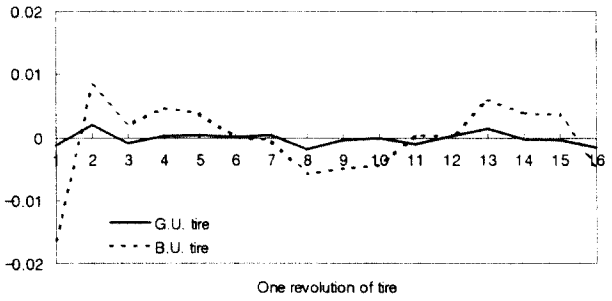


Fig. 5 Deviation of modal displacement for uniformity tires

1) 타이어의 제작공정에 의한 불균일성은 자동차의 진동·소음을 해석할 때 가진원으로 고려되어야 한다.
2) 타이어 균일성 성분중 RFV는 타이어 균일성이 좋을수록 힘 변동값의 양진폭 값은 작고 균일성이 나쁠수록 그 값은 커진다. 특히 균일성이 나쁠수록 1차 하모닉 값은 전체 힘변동 성분에 큰 영향을 미친다.
3) 두 타이어의 전달함수의 모드변위 편차의 비교에서 균일성이 좋은 타이어 시험결과와 이상곡선 사이의 값의 차는 균일성이 나쁜 타이어의 상응한 치수보다 훨씬 작음을 알 수 있다.
4) 균일성이 좋은 타이어는 가진위치의 변화에 고유진동수나 감쇠비의 영향이 적지만, 균일성이 나쁜 타이어는 가진위치에 따라 다소 차이가 큼을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 순천대학교 자동차부품 및 소재 연구·개발 센터의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. L. E. Kung and W. Soedel, "On the Dynamic Response at the Wheel Axle of a Pneumatic Tire", Journal of Sound and Vibration, 107, pp. 195~213, 1986
2. Pottinger M. G., Marshell K. D. and Lasfher J. M., "A Review of Tire/pavement Interaction Induced Noise and Vibration", The Tire Pavement Interface, ASTP STP American Society for Testing and Materials, Philadelphia,

pp. 183~287, 1986
3. Donald L. Nordeen, Richard E. Rasmussen, "Factors Influencing the Measuring of Tire Uniformity", SAE 650734, pp. 71~76, 1965
4. J. C. Walker and N. H. Reeves, "Uniformity of Tyres at Vehicle Operating Speeds", American Society for Testing and Materials F9 Committee Symposium on Tyre Uniformity and Vibrational Characteristics on November 14th, 1873
5. T. R. Richards, L. T. Charek and R. W. Scavuzzo, "The Effect of Spindle and Patch Boundary Conditions on Tire Vibration Modes", SAE 860243, pp. 19~30, 1986
6. D. J. Ewins, Modal Testing : Theory and Practice, Research Studies Press, 1984
7. R. B. Randall, B.Techj., B. A, Frequency Analysis, Bruel & Kjaer Korea Ltd, 1987
8. L. E. Kung and W. Soedel, "Natural Frequencies and Mode Shapes of an Automotive Tire with Interrelation and Classification Using 3-D Computer Graphics", Journal of Sound and Vibration, 102, pp. 329~346, 1985
9. 오재응, CAE(Computer Aided Engineering)를 위한 구조물 모우드 해석의 기초와 응용, 희성출판사, 1985