

타이어 공명 소음 (Tire Cavity Resonance Noise)저감에 관한 연구 The Study of Reduction Technologies of Tire Cavity Resonance Noise

방명제† · 최승일* · 추권철** · 이흥진*** · 손창익****
M.J. Bang, S.I. Choi and K.C. Choo and H.J. Lee and C.E. Son

Key Words : Cavity Noise(공명음), Road Noise(노면가진음), Resonance Noise (공진음), Structure Borne Noise (고체 전달음)
Low Series Tire (저 편평비 타이어), 댐핑 (Damping), Tread(트레드), Sidewall(사이드 월)

ABSTRACT

Traditionally, tire made a role of function, which is supporting vehicle load, making brake, transferring traction, etc. But tire is a part of vehicle design, nowadays. In accordance with this market trend, customers need a wide tread design tire (i.e. low series tire). Generally low Series Tire means stiffer than general tire. That brings out increasing road noise. (Especially tire cavity resonance noise) Tire noise is divided in structure borne noise and air borne noise. Tire cavity resonance noise (structure borne noise) come from vibration between tire and vehicle. In the study, we investigated that tire cavity resonance noise is affected by stiffness of tread and sidewall.

1. 서 론

자동차가 단지 운송 수단으로 여겨지는 과거와 달리 자동차의 디자인에 대한 일반인들의 관심이 날로 높아지고 있다. 이에 자동차 외관 디자인에 대한 관심과 더불어, 자동차에서 핵심부품이자 외형 디자인의 일부를 담당하는 타이어 디자인의 중요성이 대두 되고 있다.

이에 타이어의 개발 방향 또한 UHP(Ultra High Performance)타이어라 불리어지는 광폭 타이어가 주력 제품으로 시장에서 각광을 받고 있는 추세다. 광폭 타이어는 저 편평비 타이어로 설계되며, 이로 인해서 타이어 구조상 사이드 월(Sidewall)의 강성이 상승되는 결과를 초래한다. 타이어의 사이드 월 강성이 상승됨에 따라서 타이어의 구조 진동 소음이 취약하게 되고 이는 타이어가 댐핑(damping)역할을 원활히 하지 못해, 구조 기인 소음(Structure Borne Noise)이라고 하는 Road Noise의 음압 상승을 가져 온다.

특히 타이어는 노면으로부터 입력되는 충격으로 인해 타이어 캐비티(Cavity)내에 공기가 울려서 발생하는 공명소음(Cavity Noise)의 발생량이 증대되어, Road Noise의 상승으로 이어져, 일반

인들로 하여금 불쾌감을 초래하게 된다.

이에 본 논문에서는 타이어 공명 소음(Cavity Noise)메커니즘을 고찰하기 위해, 노면에서의 진동 입력부인 트레드(Tread) 부와 차량으로 입력된 진동을 전달하는 사이드 월(Sidewall)에 관한 연구를 진행하였다.

2. 타이어 공명 소음 발생 메커니즘

2.1 타이어 공명 주파수

캐비티 공진은 외부의 공간과는 독립적으로 닫혀져 있는 공간 내에서 특정한 음압이 발생하는 것을 의미한다. 타이어에 있어서는 타이어와 휠이 조립된 상태를 가정할 때, 타이어의 내부 공간이 원고리 형태의 캐비티를 형성시키게 되고, 타이어가 주행할 때, 지면으로부터 가진을 받아, 타이어 캐비티 내 특정한 음압이 발생하게 된다.

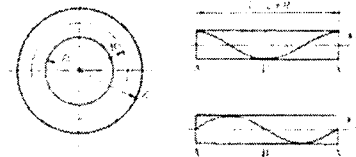


Fig1. Tire Cavity Resonance waveform

이러한 타이어 공명 주파수는 식(1)로 표시될 수 있다.

$$f = c / L \tag{1}$$

f : Tire cavity resonance frequency (Hz)

c : Speed of sound

L : Circumference at centroid

† 책임저자; 넥센타이어㈜
E-mail : chemy93@nexentire.co.kr
Tel : (055) 370-5219, Fax : (055) 383-2313

* 넥센타이어㈜

** 넥센타이어㈜

*** 넥센타이어 ㈜

**** 넥센타이어 ㈜

식(1)에서 알 수 있듯이 타이어의 규격에 따라 공명 주파수가 변화하게 된다는 사실을 알 수 있다. 본 논문에서는 215/60 R16 규격으로 실시하였으며, Rough Asphalt 에서 100km/h 정속의 실차 주행을 실시하여 Cavity Resonance 구간의 RMS 평균으로 비교 평가 하였다. Fig2 는 시험 타이어를 트레드 부분을 가진하여 사이드월에서 가속도계로 응답을 받는 FRF 시험 데이터이다. 여기서 220Hz 에서 Cavity Resonance Peak 이 발생하는 것을 알 수 있다.

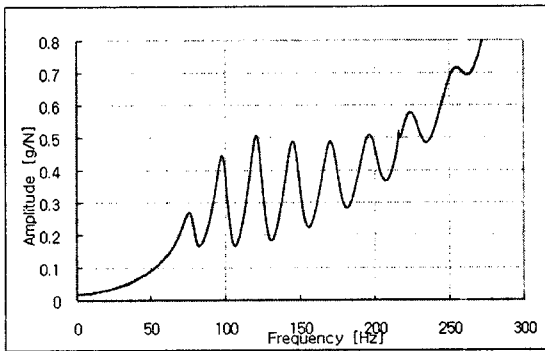


Fig2. 215/60 R16 FRF Test Data

2.2 타이어 구조

타이어는 크게 두 부분으로 분류가 된다. 노면과 직접 접촉을 하는 트레드 부와 측면의 사이드 월 부로 구성되어 있다. 트레드 부는 스틸 벨트가 삽입되어 있으며, 사이드 월 부는 비드 필러와 바디 플라이 재질로 보강되어 있다.

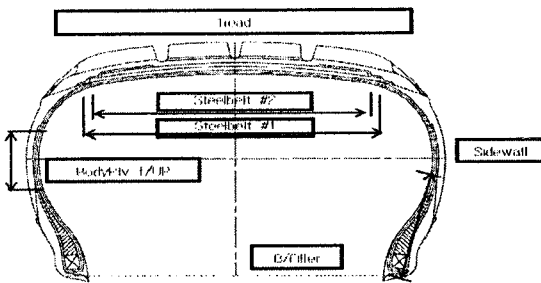


Fig3. The Structure of Radial Tire

본 논문에서는 노면으로부터 진동이 가장 먼저 입력되는 트레드 부와 이 진동이 전달되는 사이드 월 부의 구조에 의한 공명음 저감 기술을 규명하고자 한다.

2.3 타이어 공명 소음의 Mechanism

타이어 공명 소음은 앞에서 고찰해본 타이어 구조에 의해 발생하는 타이어 구조 진동 소음이다. 타이어 구조에 의해 발생하는 소음은 타이어 cavity 내에 공기와 Coupling 되어 발생하는 순음(Pure Tone)을 발생시킨다. 이 타이어 공명소음의 크기는 타이어의 구조와 타이어 캐비티(cavity)내의 구조 진동 정도에 의해 결정된다.

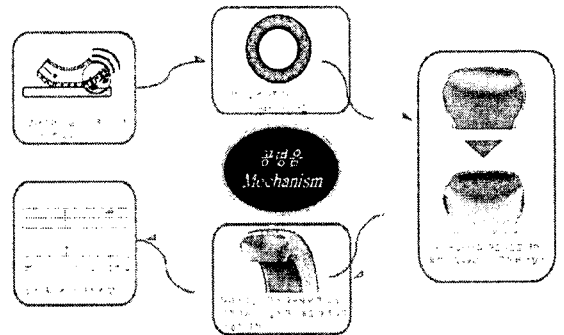


Fig4. The mechanism of Tire Cavity Resonance Noise

이에 트레드와 사이드 월 부분의 구조 강성 조정을 통해 타이어 공명 소음 저감을 확인하고자 하였다.

2.4 트레드부 구조와 타이어 공명음 관계

타이어가 지면과 접촉해서 가진을 받는 부위, 즉 타이어 트레드가 진동의 시발점이다. 본 논문에서는 트레드 부위의 강성 조절을 통해 공명음의 영향도를 실험하였다. 데이터 값은 Cavity Resonance Peak 가 발생하는 구간 즉 200~250Hz RMS 평균값을 비교 분석 하였다. 그 결과 노면으로부터 가진된 진동을 감쇄시키는 사양, 즉 트레드 두께가 큰 사양(8.0t)이 얇은 사양(7.0t) 대비 1.6dB(A)공명음 음압이 낮게 나타났으며, 이는 타이어의 진동을 전달하는 스틸벨트 까지의 진동 전달량을 감쇄 시키는 요인으로 사료된다. 또한 트레드 표면의 고무 경도가 낮은 사양이 적은 공명음(1.2dB)을 발생시키는 것으로 나타났으며, 이는 노면을 가격하는 힘을 낮추어 진동 발생량이 줄어든 것에 기인한다. 이 밖에 스틸벨트 각도(25° 제품, 27° 제품)를 높여 트레드 부위의 강성을 낮게 하는 것 또한 공명음 저감에 효과(27° 적용품, -0.9 dB(A)저감)가 있는 것으로 나타났다.

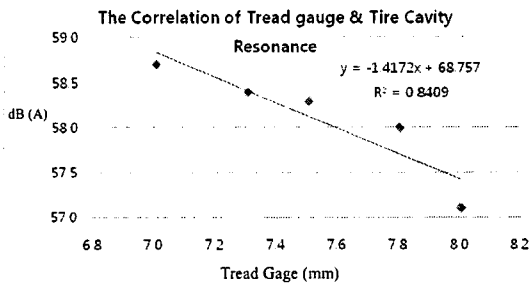


Fig5 (a). The Correlation Tread gauge & Cavity Resonance Noise (Rough Asphalt, 100 km/h)

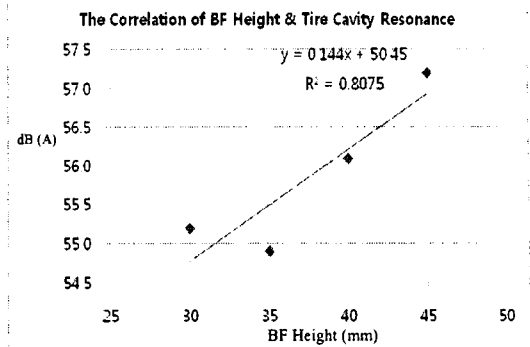


Fig6.(a). The Correlation BF Height & Cavity Resonance Noise (Rough Asphalt, 100 km/h)

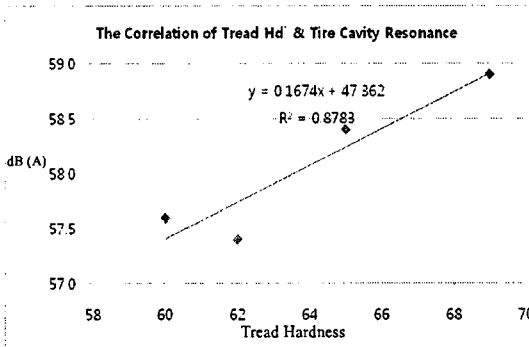


Fig5 (b). The Correlation Tread Hardness & Cavity Resonance Noise (Rough Asphalt, 100 km/h)

두 번째, 바디 플라이 턴업에 대한 영향도를 고찰하였다. 동일 비드 필러 높이에서 턴업 영향도를 검증하였는데, 바디 플라이 턴업은 사이드월 부분의 전체적인 강성에는 영향을 주지 않는 부위이기도 하다. 타이어가 회전 시, 이 바디 플라이 턴업 부위가 구조적으로 가장 취약한 부분으로, 굴신운동이 끊임없이 발생한다. 이로 말미암아, 캐비티 내 공기가 가진 되는 현상을 야기시킨다. 따라서 바디 플라이 턴업을 높여 굴신운동을 억제시키는 구조가 공명음 음압이 줄어드는 것을 관찰할 수 있다.

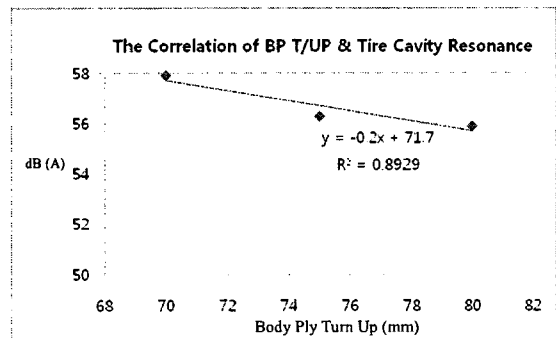


Fig6.(b). The Correlation BP T/Up & Cavity Resonance Noise (Rough Asphalt, 100 km/h)

2.5 사이드월과 타이어 공명음 관계

타이어의 사이드 월은 트레드로부터 전달받은 진동을 댐핑 또는 서스펜션으로 전달하는 역할을 수행한다. 따라서 노면으로의 진동을 사이드 월에서 어떻게 감쇄 시키느냐에 따라 타이어 로드 노이즈에 증감을 결정짓게 되는 것이다. 공명음의 경우도, 타이어와 휠 사이의 캐비티에서 발생하는 특정한 음압의 소리로, 캐비티를 결정짓는 주요한 부분이 또한 사이드 월 부분인 것이다. 시험조건과 분석은 앞선 방법과 동일하다. 제어인자로는 사이드월 강성에 영향을 주는 비드 필러, 바디 플라이 턴업 등이 있다. 첫 번째, 비드 필러 높이는 사이드 월 강성에 영향을 주는 가장 큰 인자로 알려져 있다. 비드 필러의 높이가 높을수록 공명음이 증가하는 경향성을 Fig.5(a)에서 알 수 있다. 이는 비드 필러 높이가 올라갈수록 사이드 월 강성이 커져, 타이어 캐비티 내의 소리 울림을 크게 하는 결과를 초래한다.

3. 개선사례

3.1 시험타이어 및 시험 조건

앞에서 도출된 결과를 가지고 실제 개발 타이어에 공명음 저감 기술을 적용하여, 공명음이 크게 개선된 타이어를 개발하게 되었다. 시험에 사용된 타이어는 당사 중형 승용차용 신제품이며, 초기 제품 개발 당시 100km/h 속도대역에서 공명음

발생이 많아, 개선이 필요한 타이어였다. 시험조건은 실차 주행 시험을 실시하였으며, 속도 대역은 100km/h 정속 주행 및 110kph ~ 80kph Coast Down 시험을 실시하였다. 상기 계측 데이터를 정속 FFT 및 Color Map 분석을 실시하였다.

3.2 시험결과

(1) 개선 전 / 후 타이어 주요 구조 사양

개발 초기 당시 타이어 구조 사양 및 개선 후 구조 사양은 다음과 같다. 앞서 도출된 인자의 특성을 적용하여, 공명음을 개선시킨 사양이다.

		초기제품	개선제품
Tread	Hardness	66	62
	Center Gauge (mm)	7.3t	8.0t
Side Wall	Body Fly Turn Up Height (mm)	70	75
	Bead Filler Height (mm)	40	35

Fig7. The Structure Specification of initial & developed tire

(2) 실차 시험 결과

공명음 개선 전/후 사양에 대한 FFT 분석 및 Color Map 을 분석하였다. 분석결과 초기제품 대비 개선제품의 공명음이 크게 개선되었다. FFT 및 Color Map 결과는 아래와 같다.

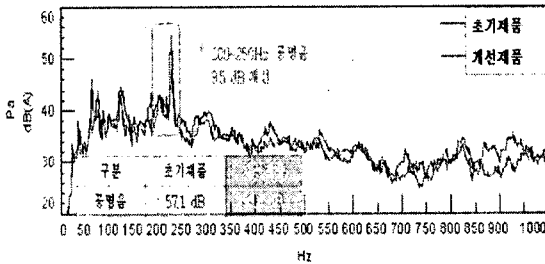


Fig8. FFT Analysis Data (Rough Asphalt, 100kph)

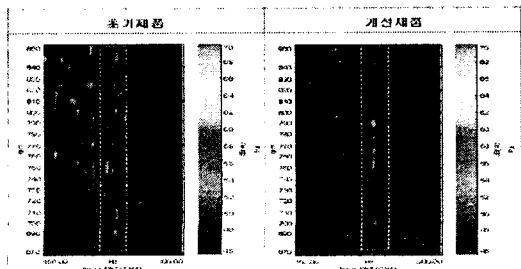


Fig9. Color Map Analysis Data(Rough Asphalt, 100kph)

FFT 분석 결과 초기제품과 개선제품의 공명음이 3.5dB 의 개선효과가 있는 것으로 나타났으며, 110kph ~ 90 kph Coast Down, Color Map 분석결과도, 200~250Hz 공명음 구간에서 개선제품의 공명음 음압이 낮은 음압과 분산도가 높게 나타나, 공명음이 크게 개선되었다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

이상의 실험적 분석에 의해서 타이어 구조와 공명음의 관계를 규명해 보았으며, 타이어 공명음 저감을 위해 트레드부와 사이드월 부의 설계 가이드를 도출하였다. 우선 지면과 직접적으로 접촉하고 있는 트레드부는 노면과 끊임없이 접촉 및 이탈을 통해 발생하는 진동력이 발생, 흡수되는 부위로 트레드 표면상에는 가진력을 억제시켜야 하며, 또한 트레드 표면에서 발생하는 진동이 스틸 벨트 층으로 전달되는 양을 감쇄시키는 설계로 공명음이 억제된다는 사실을 실험을 통해 알 수 있었다. 사이드월 부위는 트레드 부에서 생성된 진동이 전달되어지는 부위로, 전달된 진동을 감쇄시키는 설계 컨셉으로 설계되어야 공명음을 감소시킬 수 있다. 즉 전체강성을 낮게 하고, 바디 플라이 턴업 지점에서 굴신 운동을 억제 시켜야 공명음을 제어할 수 있을 것이다. 이러한 트레드부와 사이드월부의 저감 기법을 사용해 실질 타이어 개발시 공명음이 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Ulf Sandberg, Jerzy A. Ejsmont, 2002, "Tire/Road Noise Reference Book", pp. 113~114.
- (2) 이상주 등, 2005, "타이어 공동의 공명에 의한 차량 실내음 전달경로 연구", 한국소음진동학회 추계학술대회, pp. 129~130
- (3) 고강호, 2000, "타이어 공동의 공명이 차량 실내소음에 미치는 영향", 한국자동차공학회, 추계학술대회, pp 505~506.