

피치배열을 이용한 타이어 패턴노이즈 저감

황성욱*(넥센타이어 기술연구소), 방명제(넥센타이어 기술연구소),
김선주(넥센타이어 기술연구소), 조춘택(넥센타이어 기술연구소)

The reduction of Tire pattern noise by using pitch sequence

S. W. Hwang(R&D Center, Nexen Tire), M. J. Bang(R&D Center, Nexen Tire),
S. J. Kim(R&D Center, Nexen Tire), C. T. Cho(R&D Center, Nexen Tire)

ABSTRACT

It is well known that tire tread pattern has much influence on the tire pattern noise. The paper describes the method of pattern noise reduction by using the pitch sequence, both on the smooth asphalt roads and on the trenched concrete roads. The noise of tire is classified as either airborne or structure borne noise. Pattern noise through the airborne is considered as a major noise source at high speeds. As block impacting and air pumping by tread patterns are major noise source, tire pattern noise can be greatly influenced by optimal pitch sequence. The goal of this paper is to provide tire engineers with pitch sequence to reduce pattern noise effectively.

Key Words : Pitch sequence (피치배열), Block Impact (블락 충돌), Air-pumping (공기 펌핑), Pattern noise (패턴 소음), FFT (주파수 분석), Concrete Trench (콘크리트 트렌치)

1. 서론

우리가 흔히 부르는 타이어는 110여년의 역사를 지녔으며 여러 진화 단계를 거치면서 오늘날 공기주입식, 래디얼 타이어로 보다 안전하고 편안한 운송을 위해 발전을 거쳤다.

타이어의 주요 기능으로는 노면으로부터 전달되는 충격을 흡수하여 안락감을 제공하는 '원충력', 차량의 무게 및 적재하중을 지탱하는 '내구성', 차량의 가속과 제동을 위한 '조종안정성' 기능 등 차량에 있어 필수적인 역할을 담당해오고 있다.

이러한 기본적인 역할뿐만 아니라 최근에 차량의 경량화와 엔진, 흡배기계, 기어 등 부품의 저소음화로 인해 타이어 소음 문제가 부각되고 있다. 더구나 소비자의 안락한 실내승차감과 국제 소음규제 요구가 높아지고 있으며 특히 고속도로 주행시 주된 소음원 중에 하나이기 때문에 각국의 타이어 메이커에서 소음저감을 위한 활발한 연구가 진행되고 있다.

타이어 소음은 크게 발생경로에 따라 Structure-borne noise와 Air-borne noise로 구분된다.

일반적으로 Structure-borne noise는 노면의 불규칙한 굴곡에 의해 발생하는 진동이 타이어, 림 그리고 차량의 서스펜션계에 전달되어 최종 실내 공기를 가진시켜 부밍, 럽블링 등 로드 노이즈를 유발한다.¹ 이와 달리 Air-borne noise는 고주파 대역으로 그 소음발생 메커니즘이 상당히 복잡하여 원인 규명이 힘들다.

하지만 많은 연구 결과에 의하면 원주 방향으로 나열된 각 블락들이 노면을 가진하는 충격음, 그루브에 의해서 발생하는 공기 펌핑음, 미끄러지면서 발생하는 Stick-Slip음, 접지면 이탈시 발생하는 헬름홀츠 소음, 블락 진동 등의 복잡한 메커니즘을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다.²

이와 같은 Air-borne noise의 차량 투과음을 일반적으로 타이어 패턴노이즈로 부르며 가장 주된 영향을 미치는 요소는 블락 충격음, 공기 펌핑음을 들 수 있으며 이는 피치 배열과 관련된다. 그러므로 타이어 원주방향으로 배열되어 있는 피치를 효과적으로 배열하여, 특정 주기에 집중되지 않도록 조정하면 소음 저감의 효과를 얻을 수 있다.³

이에 본 연구에서는 패턴 소음을 저감하고자 피치배열을 이용하였다. 이 방법은 가장 기본이 되는 패턴소음 저감기법으로 오랜 기간동안 연구가 진행되어 왔으며 비교적 smooth한 노면에서 큰 소음저감효과를 낼 수 있다. 그리고 콘크리트의 경우 노면의 트렌치가 타이어를 가격하여 소음을 발생시키는데 콘크리트 노면의 트렌치 효과도 적용시켰다.

2. 타이어 패턴 설계

2.1 패턴 형상

패턴 형상은 흔히 타이어의 트레드에 새겨진 모양으로 회사의 트레이드 마크로도 여겨진다. 하지만 모양이 가지고 있는 역학적 의미가 더 크다. 왜냐하면 그루브들의 형상들이 처음에는 미끄럼 방지에 적용되어 오다가 점차 수막현상, 제동력, 코너링 등 주요 타이어 특성에 많이 관여하기 때문이다. 그러므로 차량의 용도, 크기, 도로 주행 여건에 따라 적용되는 패턴 형상이 다른 것은 당연한 이치이다.

2.1.1 패턴 종류

트레드 패턴은 여러 종류가 있지만 크게 리브, 러그, 블락 형으로 나뉘어진다. 리브 형은 낮은 구름저항과 저발열성, 코너링, 안정성이 좋으며 진동이 적은 장점이 있다. 러그 형은 높은 제동력과 견인력 그리고 비포장도로에 유리하지만 높은 구름저항과 소음이 큰 단점이 있다. 블락 형은 마찰력이 높아 눈길이나 건조한 도로에서 탁월한 제동력을 발휘하지만 마모가 빠른 단점이 있다.

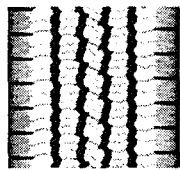


Fig. 1(a) Rib pattern



Fig. 1(b) Lug pattern

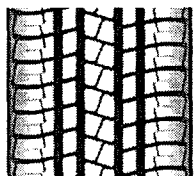


Fig. 1(c) Block pattern

2.2 피치 배열

위와 같은 패턴 형상들을 타이어 트레드 원주상으로 배열하는 것을 피치배열이라고 한다. 서론에서도 나왔듯이 각 피치들의 길이를 랜덤하게 배열할수록 소음에 유리하다. 그러므로 크기가 다른 피치의 수를 결정하고 각 크기의 비율을 정한 다음 적절하게 순서대로 배열하는 것이 소음저감에 관건이다.

2.2.1 기본 피치 크기 수

기본 피치 크기의 수는 피치배열의 랜덤화에 결정적인 영향을 미친다. 적개는 2개에서 7개로 다양하게 정할 수 있지만 너무 작게 정할 경우 랜덤화가 어려워지고 많을 경우 설계가 복잡하고 몰드 제작시 비용이 많이 든다. 그러므로 적절한 피치 크기 수가 필요하고 주로 3, 5피치가 많이 쓰이고 있다.

2.2.2 피치 비율

피치 비율은 각 기본 피치들의 길이 비율을 무차원 비율화한 것이다. 주로 중간 길이의 피치를 1.0으로 할 때 대피치는 1.3 소피치는 0.8 과 같은 식으로 3피치 비율을 정할 수 있다. 대략 가장 큰 피치를 가장 작은 피치로 나누었을 때 1.4-1.6가 되도록 설계한다. 미적인 영향도 있지만 너무 작으면 랜덤화하기 힘들고 너무 클 경우 마모에 악영향을 미친다.

3. 피치 배열 검증

3.1 시뮬레이션

서론에서도 소개하였듯이 복잡한 패턴 소음 메커니즘 중에 가장 영향을 많이 미치는 요소는 회전시 블락 충격과 공기 펌프음이므로 본 연구에서는 블락의 선단부를 임펄스로 가정하여 같은 크기로 피치배열 임펄스를 제작하였다.

3.1.1 타이어 피치 배열

피치 크기 수가 3일 경우, 가장 작은 피치를 1로 하고 중피치를 2, 대피치를 3으로 하여 1,2,3,2,3,2와 같은 순서로 배열을 할 수 있다. 한 예로 그림 2(a)와 같이 총 73개의 피치들을 5피치로 배열한다. 이렇게 제작된 피치배열을 주파수 분석한 것이 그림 2(b)이다.

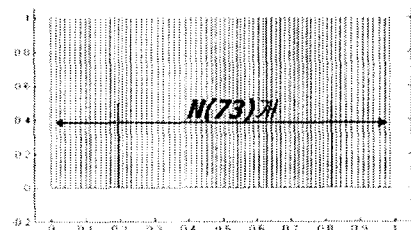


Fig. 2(a) Impulse Sequence

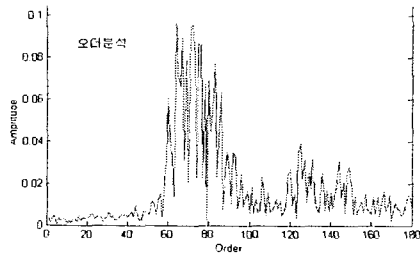


Fig. 2(b) FFT Analysis

3.1.2 콘크리트 노면의 트랜치 배열

현재 고속도로에서 콘크리트 노면이 많이 깔려있다. 콘크리트 노면은 일정 간격으로 트랜치들이 배열이 되어 있어 트랜치가 타이어를 가격하면서 소음을 발생시킨다(그림 3a참조).⁴ 불규칙한 트랜치들을 31.5mm의 평균을 가진 정규분포로 제작하였다(그림 3b참조). 그림 3(c)처럼 트랜치 효과를 적용하였다.

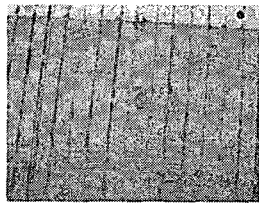


Fig.3(a) Concrete

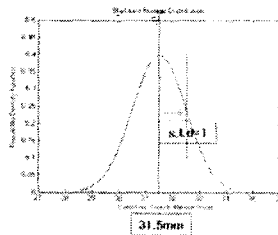


Fig.3(b) Trench Distribution

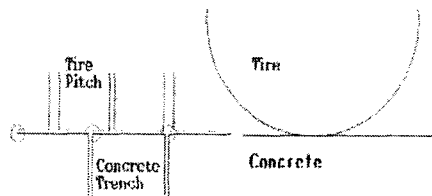


Fig. 3(c) Trench Excitation

3.2 실험 검증

타이어 소음은 차량종류, 온도, 노면 등의 영향에 아주 많은 영향을 받는다. 그러므로 온도와 노면, 반사파의 영향을 최소화하기 위하여 잡음인자를 피할 수 있는 무향실 실험 그리고 smooth한 아스팔트 노면, 콘크리트 트랜치 효과를 분석하기 위하여 콘크리트 노면에서 실험을 실시하였다.

3.2.1 무향실 실험

무향실, 사시 다이내모 실험은 노면, 차량 엔진 등의 잡음을 제거하여 타이어만의 소음을 알 수 있는 유용한 측정이다. 먼저 정속 100,80,60km/h 에서 측정된 소음 데이터를 500Hz High-Pass Filtering후 FFT하고 피치시물레이션과 비교하였다. 파란색 선은 실측 결과이고 빨간색 선은 피치 시물레이션이다.

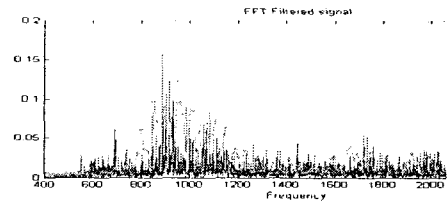


Fig. 4(a) FFT at speed = 100km/h

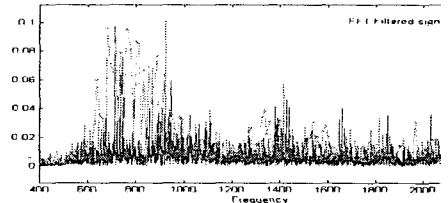


Fig. 4(b) FFT at speed = 80km/h

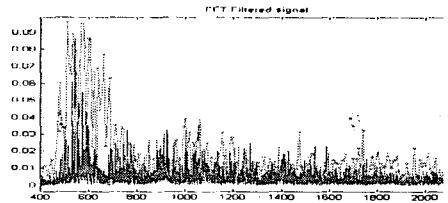


Fig. 4(c) FFT at speed = 60km/h

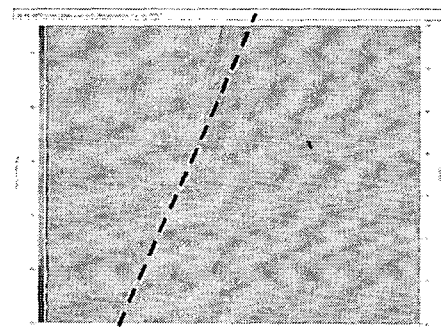


Fig. 5 Order Tracking at speed=110~40km/h

그림 4에서 보면 속도가 낮을수록 최대 주파수 성분이 낮아지고 있다. 이를 면밀히 분석하기 위해 속도를 coast down시키면서 Order Tracking 한 결과 속도에 따라 변하는 1차 성분이 확연히 드러나고 있다(그림 5의 점선 참조). 이는 피치 개수, 속도에 비례, 원주와 반비례 관계에 있다.

3.2.2 실차 실험

smooth한 아스팔트 노면을 선별하여 속도 80km/h 에서 실차 실험하였다. 마찬가지로 실측데이터를 500Hz 이상 High Pass Filtering한 후 주파수 분석(FFT)을 하였다. 그림 6에서 비교적 많이 일치함을 알 수 있고 그림 6(c)의 경우 분산이 잘 안되어 에너지가 집중하였음을 확인할 수 있다.

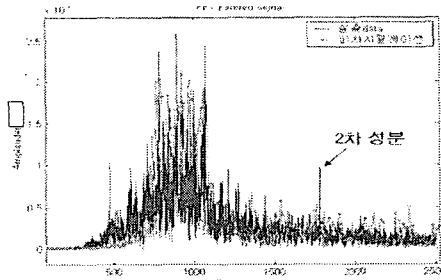


Fig. 6(a) FFT at speed=80km/h

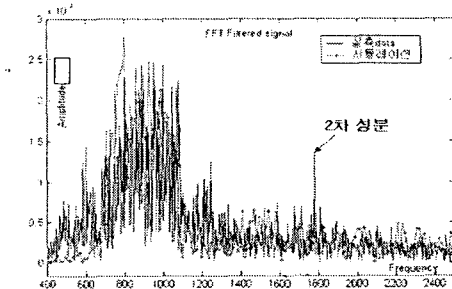


Fig. 6(b) FFT at speed=80km/h

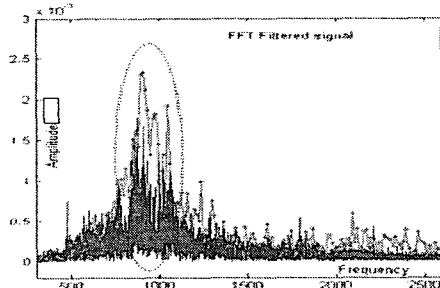


Fig. 6(c) FFT at speed=80km/h

콘크리트 노면 실차 실험은 속도 100km/h로 실험하였다. 그림 7(a)는 피치배열이 서로 다른 타이어에 대한 콘크리트 노면 실차 실험이다. 트렌치 간격에 의한 주파수 성분은 아래의 수식에 의해 결정된다.

$$Freq = \frac{Velocity}{Trench Length}$$

$$Freq = \frac{100kph}{0.0315m} \times \frac{1000m/km}{3600sec/hour} = 881 Hz$$

실차 실험에서도 알 수 있듯이 그림 7(a)에서 크기는 다르지만 880Hz에서 피크가 발생하고 있다. 이는 콘크리트 트렌치에 의한 소음 성분이다. 이 주파수에서 타이어상의 오더 성분은 아래와 같다.

$$Order = \frac{Freq. \times Circ.}{Velocity} = \frac{881 \times 1.86 \times 3600}{100 \times 1000} = 59$$

그러므로 시뮬레이션 상에서 59오더성분의 크기가 작을수록 콘크리트 노이즈 성분이 작다. 그림 7(b)에서 알 수 있듯이 59오더의 크기가 작을수록 실차실험에서의 트렌치 기인 소음성분이 낮다.

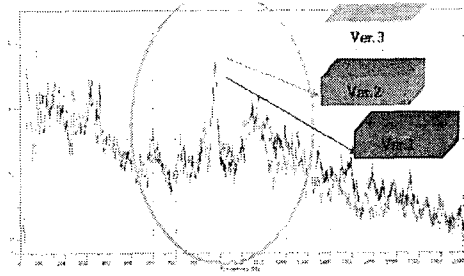


Fig. 7(a) FFT at speed=100km/h

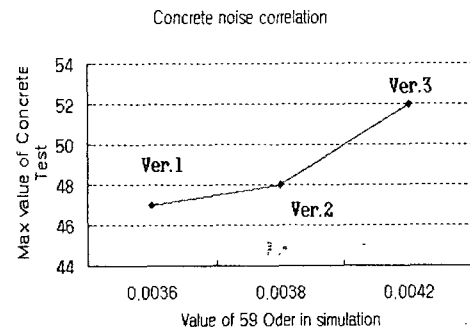


Fig. 7(b) Correlation of Trench Noise and Simulation

4. 결론

본 연구를 통하여 피치배열이 타이어 패턴 소음에 미치는 영향을 파악하였으며 임펄스로 제작된 시뮬레이션 주파수 분석과 무향실 실험의 비교분석 결과가 많이 유사하였다. smooth한 아스팔트 노면에서도 많은 상관성이 있었으며 콘크리트 노면의 경우 트렌치 효과를 고려하여 원인 분석하였으며 피치배열을 랜덤하게, 콘크리트 트렌치를 피하도록 설계하면 소음저감에 많은 효과가 있음을 확인 하였다.

참고문헌

1. 김기전, 배철용, 이동하, "Tire Fluid-Structure Interaction Noise에 관한 연구," 한국소음진동공학회2004 추계학술대회, pp. 204-209.
2. N.A.El-Sebai, M.Watany and Saad, "Tire/Road Interface Airborne Noise Characteristics Generation," SAE1999-01-1731
3. 김기전, "컴퓨터를 이용한 자동차 타이어의 저소음 트레드 패턴 설계," 전북대학교 석사논문, 1990.
4. Sang-ju Lee, Youngsik Kim, and Hyunseok Kang, "Factors for vehicle interior noise generated by concrete surface," Internoise2003, pp. 223-229.