

저소음 타이어 설계에 대한 시변주파수 분석 적용 The Reduction of Tire Pattern Noise Using Time-Frequency Transform

황성욱† · 방명제* · 김선주** · 조춘택***
S. W. Hwang, M. J. Bang, S. J. Kim and C. T. Cho

Key Words : Time-Frequency Transform(시변 주파수 분석), Pattern Noise(패턴노이즈), Pitch Sequence(피치배열)

ABSTRACT

The tire is considered as one of the important noise sources having an influence on vehicle's performance. The Pattern noise of a tire is the transmission sound of airborne noise. On smooth asphalt road, Pattern noise is amplified with the velocity. In recent, the study on the reduction of Pattern noise is energetically processed. Pattern noise is strongly related with pitch sequence. To reduce the pattern noise, tire's designer has to randomize the sequence of pitch. The FFT is a traditional method to evaluate the level of the randomization of the pitch sequence, but gives no information on time-varying, instantaneous frequency. In the study, we found that Time-Frequency transform is a useful method to non-stationary signal such as tire noise.

1. 서론

타이어는 우리 생활에서 없어서는 안되는 존재로 보다 안전하고 편안한 운송을 위해 110 여년 동안 개발되어 왔다. 오늘날 타이어라 하면 공기 주입식 래디얼 타이어로 널리 이용되고 있다.

타이어의 주요 기능은 노면에서 오는 충격을 완화하는 '완충 작용', 차량의 무게 및 적재하중을 지탱하는 '내구성', 차량의 가속 및 선회, 제동을 위한 '조종안정성' 등 차량의 운행에 있어 중요한 성능을 발휘하며 필수적인 역할을 담당한다.

이러한 기본적인 성능 외에도 요즈음 많이 부각되고 있는 소음에 중점을 두어 연구가 진행되고 있다. 특히 차량의 경량화와 엔진, 흡배기계, 기어 등 부품의 소음이 저감됨에 따라, 특히 고속도로 주행시 속도가 높아짐에 따라 타이어 소음이 차지하는 비율은 더욱 더 커진다.

본 논문의 연구 분야인 패턴 노이즈는 타이어 패턴 형상에 기인하는 고주파음으로 피치배열과 관련이 있고 이에 대한 효과적인 분석으로 시변주파수 분석 기법을 적용하였다.

2. 타이어 패턴 설계

2.1 타이어 패턴

타이어 패턴 형상은 타이어 제조 회사의 트레이드 마크로써 회사 고유의 문양과 같은 의미를 지닌다. 하지만 미적인 관점보다도 물리적인 역학, 즉 특성에 많은 영향을 미친다. 트레드 원주 상으로 형성된 그루브들은 배수, 마찰, 제동, 샅림 등에 커다란 영향을 미친다. 그러므로 차량의 용도 및 도로 주행 조건에 따라 패턴 형상은 당연히 다르다.

(1) 패턴의 종류 및 특성

패턴의 종류는 여러 가지가 있지만 리브, 리그, 블락형으로 크게 나뉘어진다. 리브형은 낮은 구름저항과 저발열성, 코너링, 안정성이 좋은 장점이 있다. 리그 형은 제동력이 높고 견인력이 좋아서 비포장도로에서 유리하지만 높은 구름저항과 소음이 큰 단점이 있다. 블락 형은 마찰력이 높아 눈길이나 건조한 도로에서 탁월한 제동력을 발휘하지만 마모가 빠른 단점이 있다.

2.2 타이어 피치 배열

타이어 소음은 크게 Structure-borne noise, Air-borne noise 으로 나뉜다. Structure-borne noise 은 고체 전달음으로 노면, 타이어, 현가계를 타고 들어오는 중저주파의 소음에 해당된다. Air-borne noise 는 공기 투과음으로 타이어 패턴 형상이 노면과 접촉하면서 생기는 음이 공기를 타고 들어온다. 주로 500Hz 이상의 고주파에 해당되며 패턴 형상에 많이 관여된다⁽¹⁾.

† 책임저자; 넥센타이어(주)
E-mail : ukhwang@nexentire.com
Tel : (055) 370-5309, Fax : (055) 383-2313

* 넥센타이어(주)

** 넥센타이어(주)

*** 넥센타이어(주)

(1) 피치 비율

타이어 원주상으로 형성이 되어 있는 패턴은 각 소단위를 피치라고 부른다. 각각의 피치들은 서로 길이가 다르다. 주로 3,5 종류로 구성되며 각각의 피치 비율의 차가 크면 일반적으로 마모가 잘되는 단점이 있지만 소음에 유리한 패턴을 만들기 위해서는 적절한 비율이 필요하다.

(2) 피치 배열

피치 크기 종류가 3 개 있는 경우 가장 작은 피치를 1, 중간 크기의 피치를 2, 가장 큰 피치를 3 으로 하고 타이어 원주 상으로 배열을 한다.

Fig. 1 은 피치 크기의 종류가 5 개인 경우 73 개의 피치들을 나열한 경우의 한 예이다.

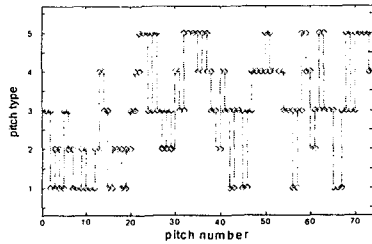


Fig. 1 Pitch Sequence

3. 피치 배열 상관성

3.1 피치 배열 검증

공기투과음인 500Hz 이상 Air-borne Noise 의 차실 투과음을 패턴노이즈라고 한다. 패턴노이즈의 발생 메커니즘은 상당히 복잡하다. 블락이 노면을 가격할 때 충격음, 그루브가 압축되면서 에어-펌핑음, 블락의 이탈되면서 진동음이 발생된다. 이러한 일련의 과정들이 트레드 원주상으로 배열된 각 피치들의 주기성에 밀접히 관련되어 있다. 그러므로 이러한 피치들을 무규칙하게 즉, 한 주기에 밀집하지 않게 배열함으로써 소음의 집중화를 막을 수 있다⁽²⁾. 서로 길이가 다른 피치들을 어떻게 배열하느냐가 소음에 많은 영향을 미친다. 본 논문에서는 소음 저감을 위한 피치배열법을 소개하고자 한다.

(1) 피치배열 소음 시뮬레이션

각 피치의 블락의 선단부를 델타함수로 가정하고 매트랩으로 Fig. 2 와 같이 간략하게 프로그램하였다.

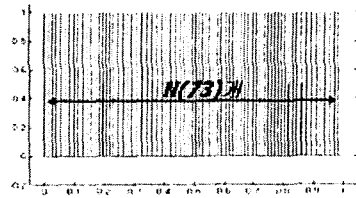


Fig. 2 Pitch sequence's simulation

배열된 피치배열 시뮬레이션을 주파수 변환하면 Fig. 3 과 같이 1 회전당 주기를 알 수 있는 오더로 변환된다.

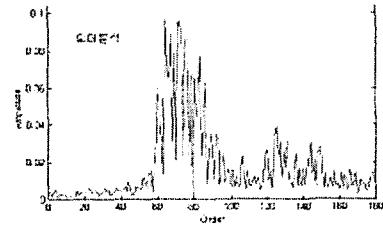
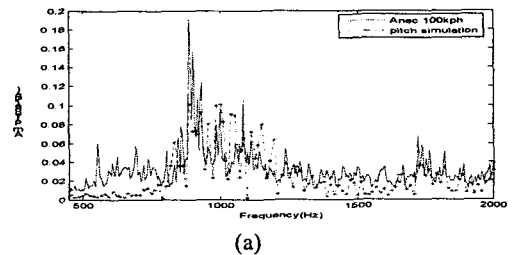


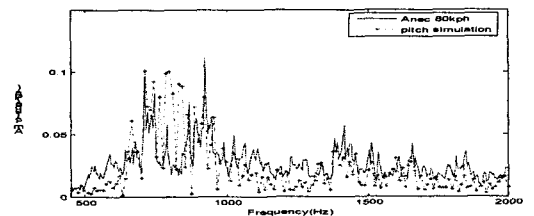
Fig. 3 The FFT of Pitch sequence

(2) 실제 측정 소음과 시뮬레이션 비교

타이어 소음은 도로 조건, 온도, 차량 중량과 같은 외부요인이 많다. 이러한 외부요인을 최소화하여 무향실 소음 측정한 결과와 상관도를 분석하였다. 패턴 노이즈는 500Hz 이상의 고주파 성분이기 때문에 High Pass Filtering 후 정속 소음 테스트 결과를 비교하였다.



(a)



(b)

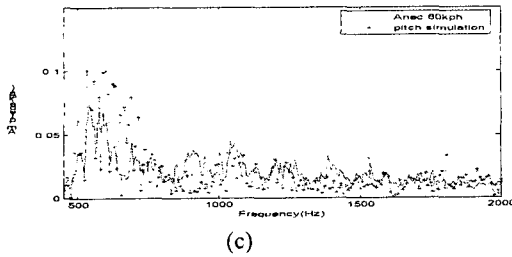


Fig. 4 FFT of Anechoic noise test & simulation. 100kph(a), 80kph(b), 60kph(c)

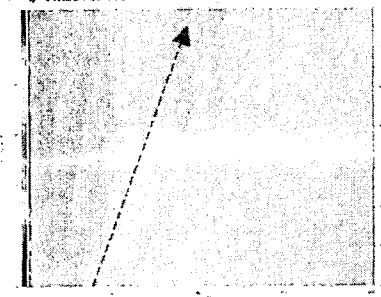


Fig. 5 Order Tracking noise test of 110-40kph coast-down

위의 Fig. 4(a) ~ (c)는 정속주행 100, 80, 60kph 에서의 무향실 실의 소음 측정 결과와 피치 배열 소음 시뮬레이션과의 비교이다. 속도가 감소함에 따라 주요 가진 성분이 감소함을 알 수 있고 상당히 일치하고 있다. 그리고 Fig. 5 에서 110kph 에서 40kph 까지 속도를 감속하면서 측정된 결과 화살표와 같이 1 차 가진음을 명확히 알 수 있다.

4. 시변주파수 분석

4.1 STFT(Short Time Fourier Transform)

(1) STFT 변환

신호에 대한 주파수 분석 기법으로 가장 많이 사용되는 기술은 푸리에 변환이다. 그러나 푸리에 변환은 정상적인 신호(stationary signal)에 대한 주파수 분석에 주로 사용되며, 비정상적인 신호(non-stationary signal)에 대한 주파수분석기법에는 오차를 수반한다. 특히 타이어 소음과 같이 피치들의 가진에 의한 소음은 비정상적인 신호로써 발생시기 및 순간 주파수 성분을 알기 위해서는 고차원적인 분석이 필요하다.

이를 위하여 1946 년에 Gabor 는 시간-주파수 표현 방법을 처음으로 도입하였다. 유사한 시기에 스펙트로그램(spectrogram)이 Koenig 에 의해서

미국 음향학회에 소개되었다⁽³⁾.

Gabor 의 방법을 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_i(f) = \int_{t-\Delta t/2}^{t+\Delta t/2} s(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (1)$$

이 식에서 Δt 는 푸리에 변환을 유도하는 짧은 구간이며 일반적으로 푸리에 변환을 위해서 사용되는 창문(Window)의 크기이다. Garbor 의 방법은 Koenig 가 발견한 STFT(Short Time Fourier Transform)의 기초가 되었다. STFT 의 수학적 표현은 다음과 같다.

$$S(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h^*(\tau - t) s(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2)$$

여기서 함수 $h(t)$ 는 창문함수이다.

Fig. 6 은 STFT 적용의 한 예이다. 신호 윈도우창을 시간에 따라 움직이면서 그 시간 대역의 주파수 분포를 알 수 있다.

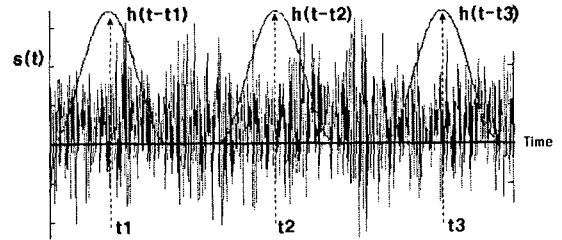


Fig. 6 Short Time Fourier Trans.

5. 시변 주파수 적용

5.1 타이어 소음 분석

(1) 타이어 소음 적용

타이어가 노면에 접지될 때 차량 하중에 의해서 접지면이 생긴다. 타이어 사이즈와 차량의 하중에 따라 다르지만 대략 손바닥 정도의 크기이며 패턴 블락과 그루브들이 이 면을 지나갈 때 소음을 발생시킨다. 그러므로 각 접지면에 해당하는 주파수 분석이 필요하고 각 피치의 발생시기 및 순간 주파수대역의 소음 밀집도를 알기 위해서는 시변 주파수 분석의 적용이 적절하다.

피치 배열 랜덤화의 한 예로써 Landers 는 1 2 3 2 1 1 2 2 3 3 2 2 1 과 같이 대,중,소 피치를 천천히 바꾸거나 빨리 바꿈으로써 무규칙화를 꾀하였다. Fig. 7(a)와 같이 순차적으로 배열하여 마모도 고려하고 소음도 랜덤화를 할 수 있다.

Fig. 7(a)의 Landers 의 피치 배열을 주파수

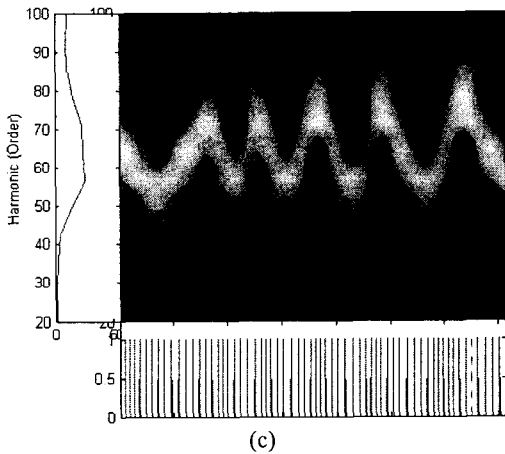
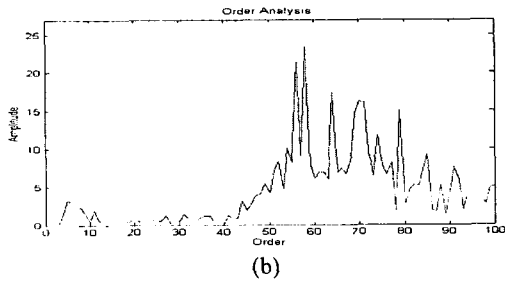
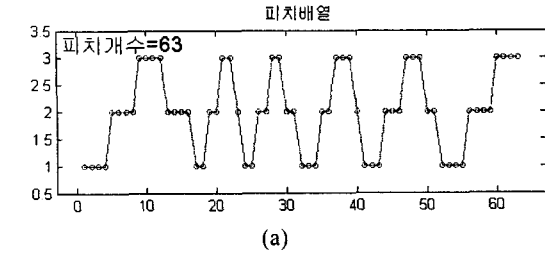


Fig. 7 Pitch sequence method of Landers pitch sequence(a),FFT(b),STFT(c)

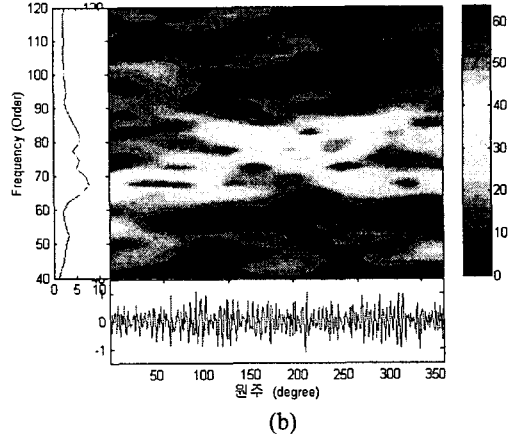
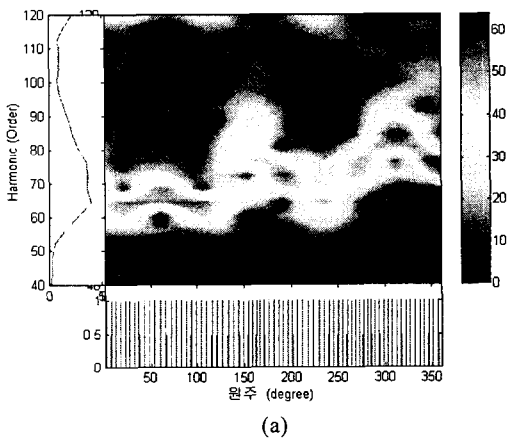


Fig. 8 The comparison of STFT of Test & Simulation Anechoic camber test(a), simulation(b)

분석하면 Fig. 7(b)로 나타낼 수 있다. 주파수 분석을 통해서 순간 피치의 주파수 분포를 알 수 없지만 Fig. 7(c)에서의 시변 주파수 분석은 피치 배열이 원주 상에서 어떻게 바뀌는지 눈으로 확인할 수 있다. 즉, 대 피치에서 소피치로 천천히 바뀌는 것과 빨리 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 순간 피치배열에 어느 주파수 대역에 밀집하였는지를 눈으로 쉽게 분석가능하다.

실제 피치 배열된 타이어를 무향실에서 타이어 측면에서 측정하였다. Fig. 8(a)는 시뮬레이션상에서 분석하였고 Fig. 8 (b)는 실제 측정된 데이터의 분석이다. 시뮬레이션 상의 STFT 분석에서 원주상의 50 도 부근에 65 오더 성분에 집중되었음을 알 수 있다. 실제 무향실 측정 실험에서도 Fig. 8(b)의 65 오더 근처에서 소음이 집중되고 있음을 알 수 있다. 그러므로 이 부분의 피치 배열에 대한 수정하여 패턴노이즈 저감을 꾀할 수 있다.

6. 결론

1. 타이어의 패턴 노이즈는 피치배열과 많은 상관성이 있다.
2. 피치배열의 주기성을 랜덤화함으로써 소음을 저감할수 있다.
3. 기존의 주파수 변환을 통한 랜덤화는 한계를 가지고 있다.
4. 시변 주파수 분석을 통하여 순간접지상태의 주기성을 랜덤화할 수 있다.

참고문헌

- (1) N.A.El-Sebai, M.Watany and Saad, "Tire/Road Interface Airborne Noise Characteristics Generation," SAE1999-0.1-1731
- (2) 김기전, 1990, "컴퓨터를 이용한 자동차 타이어의 저소음 트레드 패턴 설계", 전북대학교 석사논문.
- (3) Gabor, D., Theory of communication., 1946, Journal of IEE, Vol.93, p429-457.