

# 타이어 패턴의 종그루브 인자에 따른 그루브 원더링 및 소음 특성 연구

한진혁<sup>#</sup>, 황성욱\*, 강용구\*, 한민현\*

## The Study on the Characteristics of Groove Wandering and Noise Caused by the Design Parameter of Longitudinal Groove on the Tire's Pattern

Jin-Hyuk Han<sup>#</sup>, Sung-Wook Hwang\*, Yong-Gu Kang\*, Min-Hyeon Han\*

(Received 10 August 2011; received in revised form 29 August 2011; accepted 6 October 2011)

### ABSTRACT

Water on a road surface can lower the coefficient of friction of vehicle tires and it involves lots of risks. One way to prevent water from staying is to cut many "rain grooves" into the edges of the pavement parallel. Such grooves, however, can exert unwanted side forces, particularly on passenger tires, which cause "Groove Wander" making the drivers uncomfortable. The "Groove Wander" is somewhat related to vehicle geometry, but is more strongly related to interaction between road grooves and tire tread's longitudinal grooves. This thesis tries to examine principles to estimate "Groove Wandering" effect focusing on the design of longitudinal groove. Additionally, it studied how to reduce pipe resonance longitudinal grooves form in the contact patch.

**Key Words** : Passenger Tire(승용차용 타이어), Groove Wandering(그루브 원더링), Pavement Grooving(노면 홈), Tread Design(트레드 디자인), Longitudinal Groove(종 그루브), Rubber Fence(고무펜스)

### 1. 서 론

타이어는 노면에 접하게 되는 최초의 부품으로서 차량의 승차감, 안전성, 조향성 등 다양한 성능 분야에 영향을 주고 있다. 특히, 타이어 표면에 원주 방향으로 반복적이고 일정한 형상으로 배치되어 설계되

는 트레드 패턴은 정숙성과 관련된 패턴 노이즈(Pattern Noise), 승차감과 관련된 그루브 원더링(Groove Wandering), 안전성과 관련된 하이드로플래닝(Hydroplaning)과 마모(Wear), 차량 쏠림에 관련된 PRAT(Plyster Residual Aligning Torque) 그리고 노면과의 접지 성능(Traction) 등과 밀접하게 관련되어 있다. 현재까지 이런 성능들을 예측하고 강화시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나<sup>[1,2]</sup>, 그 연구 범위가 광대하며, 각 성능 간 트레드 오프(Trade-Off)의 특징을 이루거나 한 종류의 성능이라 할지라도 매우 복

\* 넥센타이어 연구개발본부

<sup>#</sup> 교신저자 : 넥센타이어 연구개발본부

E-mail : prince8012@nexentire.co.kr

잡한 메커니즘을 형성하고 있다. 더구나 타이어의 비선형적인 거동 특성에 의하여 전 성능을 모두 고려한 동시 다발적인 연구 수행이 어렵다는 한계를 갖는다.

본 논문에서는 패턴을 구성하는 설계 인자 중 원주 방향으로 이어진 홈인 종그루브(Longitudinal Groove)의 설계 변경을 통한 그루브 원더링의 성능 변화 특성과 이를 예측하는 2가지 방법에 대한 비교 분석을 수행하고, 종그루브에 기인하여 발생하는 700Hz~1200Hz 사이의 불쾌한 소음인 기주공명음을 종그루브 내에 고무로 제작된 얇은 펜스(Fence)를 삽입하는 방법을 통하여 저감 시키는 기법을 소개하고자 한다.

## 2. 종그루브 인자에 따른 패턴 성능

노면과 직접적으로 접촉하는 타이어 패턴은 여러 가지 설계 인자를 갖으며 각각의 설계인자는 서로에 언급된 성능과 밀접하게 관련되어 있다. 이 중에서 종그루브가 주요 인자로 작용하는 타이어 패턴의 성능은 그루브 원더링, 패턴 노이즈 중에 하나인 기주공명음 그리고 하이드로플레닝이 있다. 제품 개발 초기에 노면과 접촉하는 부분인 트레드를 디자인할 때 통상적으로 종그루브의 설계가 제일 먼저 선행되기 때문에 상기에 언급된 3가지의 성능들을 고려한 종그루브 최적화 설계가 매우 중요하다.

### 2.1 종그루브에 의한 그루브원더링 특성

Fig. 1은 기본적인 그루브 원더링의 발생 메커니즘을 설명하고 있다. 배수성 확보를 위해 일정한 간격으로 홈을 파놓은 노면을 주행하면 타이어의 종그루브가 노면의 홈에 미끌리거나 부딪치면서 승차감을 현저하게 저하 시키며, 순간적인 횡가속력에 의해서 차량이 일시적으로 한쪽으로 쏠리는 현상이 발생한다. 종래에는 미주 지역만을 고려하는 성능이었으나 최근 국내에서도 선회안전 및 트랙션 효과를 위한 그루빙(Grooving) 노면이 증가되면서 관심도가 높아지는 추세이다. 본 논문에서는 종그루브의 설계 변수 중 위치, 폭, 형상에 따른 그루브 원더링 발생 경향성을 파악하고 종그루브와 노면 홈과의 거리를 적용한 거리관별법과 종그루브가 노면 홈에 미끌리거나 맞은편 벽에 부딪치면서 발생하는 횡력을 적용한

횡력분포예측법을 비교 분석하였다.

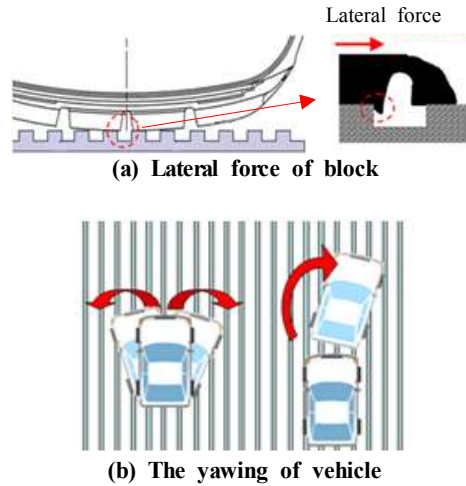


Fig. 1 The mechanism of wandering

### 2.2 종그루브에 의한 패턴 노이즈 특성

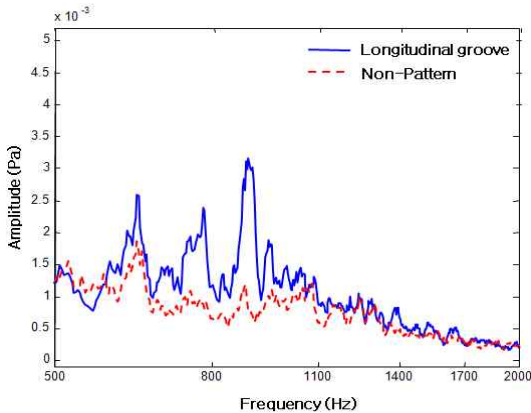
일반적으로 타이어에 의해 발생하는 대표적인 소음으로는 로드 노이즈(Road Noise)와 패턴 노이즈가 있다. 특히, 패턴 노이즈의 주된 발생 요인으로는 패턴의 블록(Block)이 노면과 접지하거나 이탈하면서 발생하는 충격 및 진동, 스틱-슬립, 에어-펌핑, 종그루브의 노면 접지에 의한 기주공명음 등이 있으며 상호 복잡한 메커니즘 관계를 형성한다. 이들 중 종그루브가 편평한 노면과 접지하면서 타이어의 주행 방향으로 접지된 길이 만큼의 공동(Cavity)이 형성되면서 기주공명음의 특성을 갖게 된다. 이런 현상을 개선하기 위한 여러 연구들이 수행되어 왔고<sup>[3-8]</sup>, 타이어에도 실제적으로 적용되어 출시되기도 하였다<sup>[9]</sup>. 본 논문에서는 종그루브 내 공진 모드 형성을 방해하고 공명 주파수를 분산 시키기 위하여 얇은 고무 펜스를 삽입하는 방법에 대한 비교 검토를 수행하였다.

Fig. 2는 타이어의 종그루브에 의한 기주공명음의 발생 현상을 검증하기 위해 시험한 결과를 보여준다. 타이어 표면에 홈이 설계되지 않은 민무늬 패턴(Non-Pattern)과 종그루브만 조각된 동일 규격 215/60R16 및 컴파운드(Compound)인 타이어를 사용하였다. (b)의 결과와 같이 실선으로 표시되어진 종

그루브만 조각된 타이어가 약 800~1000Hz에서 민무늬 패턴보다 음압이 상당히 높아짐을 알 수 있다. 피크(Peak)가 2개인 이유는 패턴의 숄더부(Shoulder Area)와 센터부(Center Area)의 접지 길이가 다르기 때문에 각각의 위치에 조각된 종그루브에 의해서 발생하는 주파수 대역도 달라지기 때문이다. 통상적으로 타이어의 규격은 어느 정도 한정된 범위가기 때문에 기주공명음은 약 700~1200Hz 사이에서 발생한다.



(a) Test tire



(b) The result of noise test

Fig. 2 Effect of pipe resonance on the noise

### 3. 종그루브 설계 인자별 성능 영향도

#### 3.1 종그루브 설계 수준에 따른 그루브 원더링

종그루브와 노면 홈의 상호 거리와 종그루브가 노면 홈에 미끌리면서 발생하는 횡력 수준을 주요 결과 값으로 설정하고 종그루브의 설계 위치, 폭, 원주 방향으로의 형상, 모서리 형상 인자를 고려하여

Table 1 Experimental conditions and the result

Version	Explanation
1	위치 인자(횡력 증폭 위치)
2	위치 인자(부분 횡력 위치)
3	위치 인자(횡력 상쇄 위치)
4	위치 인자(횡력 상쇄 위치)
5	폭 인자(Version 1. 대비 종그루브 폭 2mm 감소)
6	폭 인자(Version 1. 대비 종그루브 폭 2mm 증가)
7	모서리 형상 인자(Version 1.의 모서리 부분 1.5mm 모따기)
8	원주방향 종그루브 형상 인자(지그-재그 형상)

Table 2 The result of feeling test and prediction

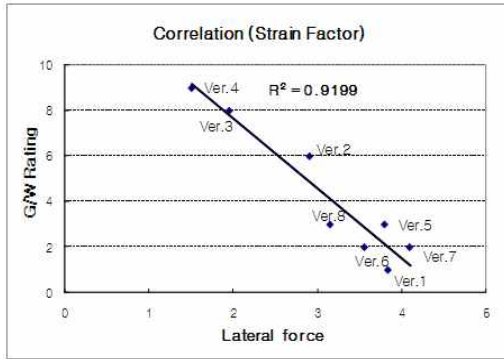
Version	Prediction		Feeling test	
	거리판정	횡력분포	Rating	순위
1	1.50	3.84	5.5	6
2	1.50	2.91	6.5-	3
3	3.80	1.95	6.5+	2
4	11.00	1.50	7.0-	1
5	1.00	3.84	6.0-	4
6	0.50	3.60	5.5+	5
7	0.90	4.10	5.5+	5
8	0.00	3.16	6.0-	4

상기에 언급된 2가지 방식에서의 그루브 원더링 예측을 수행한 후 실차 시험 검증하였다. 타이어 규격은 215/60R16으로 동일하며 시험은 국내 도로에서 2000cc급 중형 세단으로 수행되었다. 시험 구간의 노면은 이웃하는 홈 간격이 26mm, 홈의 폭이 4mm로 설계되어 있다.

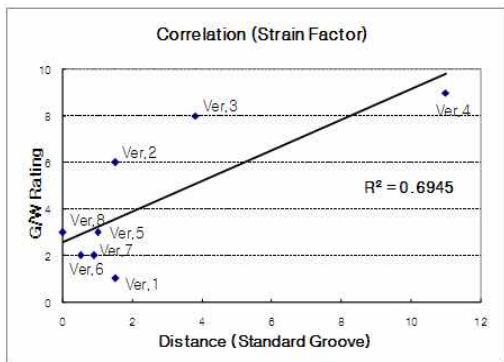
Table 1은 시험 버전에 대한 설명이고 Table 2는 그루브 원더링 예측 결과와 실차 시험 결과를 보여준다. 거리판별법의 경우 수치가 높고, 횡력분포법의 경우 수치가 낮으면 우수한 그루브 원더링 성능을 갖을 것이라고 예측한다. 그리고 Table 2의 우편에 표기된 실차 감성 평가는 수치가 높을수록 그루브 원더링 성능이 우수함을 뜻하고 6.5 이상을 개발 타당한 수준으로 판단한다. 시험 결과를 분석해 보면 종그루브와 노면 홈과의 거리가 멀고 노면 홈에 미끌리는 경우가 적게 설계되었을 때, 그루브 원더링 성능이 좋아지는 경향성을 나타냈고 Version 1. ~ Version 4.와

Version 1., Version 5. ~ Version 8.을 비교하였을 때 종그루브의 설계인자 중 위치가 가장 민감하게 작용함을 알 수 있다. 그리고 Version 1.,과 Version 5. ~ Version 8.의 결과를 통해 그루브 원더링 성능 개선을 위해 종그루브의 위치를 변화시키는 어려운 설계 변경 방법이 아닌 비교적 간단한 방법과 절차로 설계 변경되는 종그루브의 폭, 원주 방향으로의 형상, 모서리 형상을 변형시키는 방법이 그루브 원더링 성능 개선에 유용하게 작용한다는 사실을 알 수 있다.

Table 2의 2가지 방식의 예측 결과와 실차 시험 결과를 비교하면 Fig. 3과 같이 거리판별법보다 횡력분포 예측법이 더 높은 상관도를 나타내었다. 그러나 종그루브를 제외한 타이어 패턴의 설계인자인 횡그루브(Lateral Groove), 사이프(Sipe), 단면 각도 등이 모두 제외된 상태로 검증되었기 때문에 이를 포함한다면 상관도 결과는 다소 낮아질 수 있다.



(a) Lateral force variation

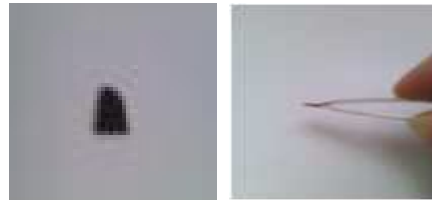


(b) Distance variation

Fig. 3 Correlation of groove wandering

### 3.2 고무펜스 삽입을 통한 기주공명 저감

종그루브 내 Fig. 4와 같이 고무펜스를 삽입하는 방법의 적용을 통해 기주공명을 저감 효과를 검증하였다. 고무펜스는 하이드로플래닝 및 스노우 성능 유지를 위해 타이어의 주행방향을 기준으로 하여 종그루브의 투영 단면적의 80%, 두께는 0.05mm로 제작되었으며 타이어와 동일한 컴파운드를 사용하였다.



(a) Design of rubber fence



(b) Sample

Fig. 4 Design of rubber fence

그리고 최적화된 고무펜스의 삽입 방법을 도출하기 위해 Fig. 5와 같이 총 4 가지의 방식으로 종그루브 내에 삽입하여 검증하였다.

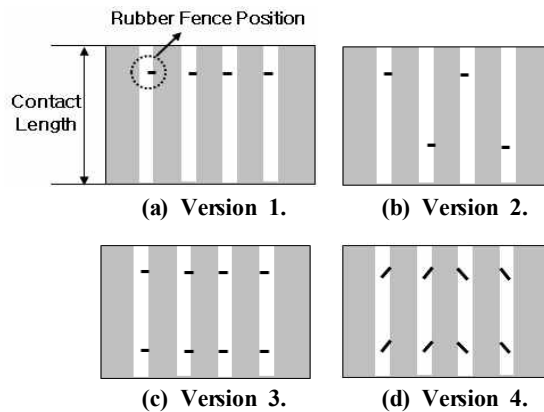


Fig. 5 Test version

솔더부와 센터부에 각각 2개씩 총 4개의 종그루브가 설계되어 있고 접지 길이(Contact length) 내에 고무 펜스가 일자형 또는 지그-재그 형으로 삽입된다. Version 1.은 각각의 종그루브에 고무펜스가 수평 형으로 삽입 되어 있으며 삽입되는 간격은 접지 길이의 1.8배이고 각도는 노면과 수직으로 되어 있다. Version 2.는 종그루브 간 지그-재그 형으로 삽입되어 있으며 삽입되는 간격은 접지 길이의 0.8배이고 각도는 Version 1.과 같다. 삽입 간격이 접지 길이 보다 작으면 고무 펜스가 연속적으로 노면에 접지됨을 의미한다. Version 3.의 삽입 위치는 Version 1.과 같고 삽입 간격 및 각도는 Version 2.와 같다. Version 4.의 삽입 간격 및 위치는 Version 3.과 같고 Fig. 6과 같이 각도가 노면과 기울어져 삽입 되어 있다.



Fig. 6 The rubber fence of version 4.

시험은 Fig. 7과 같은 1/4 카 모델(Car model)을 이용하여 고속 120kph에서 30kph까지 코스트-다운(coast-down) 방식으로 측정하였으며 공기압 및 하중 조건은 T.R.A. 국제 표준으로 모두 동일하다.



Fig. 7 1/4 car model

고무 펜스를 삽입하지 않은 타이어를 포함한 총 5 Version에 대한 시험 결과는 Fig. 8과 같고 분석의 용이성을 위해서 컬러맵(colormap) 기법으로 표현하였다. 가로축은 주파수이고 세로축은 RPM이다. 발생 음압의 크기는 명도로 구분하며 낮을수록 음압의 수준이 낮아짐을 의미한다.

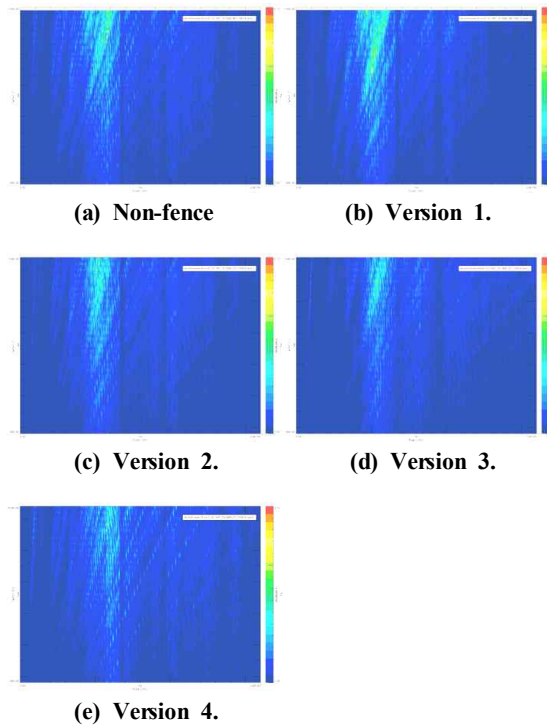
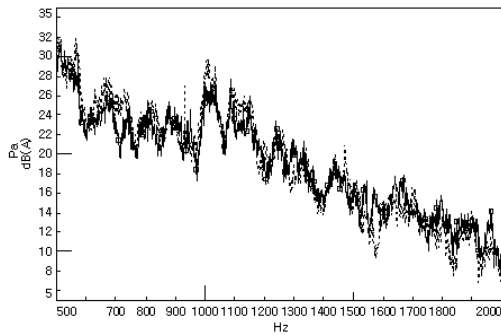


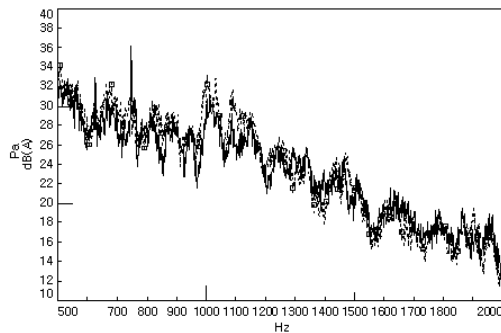
Fig. 8 The result of indoor test

고무펜스가 삽입되지 않은 타이어 (a)의 결과를 보면 약 1000~1100Hz 사이에서 속도 수준에 상관없이 기주공명이 발생됨을 알 수 있다. 이를 기준으로 하여 각 Version에 따른 기주 공명음 저감 효과를 판단하면 Version 4.>Version 3.=Version 2. 순이며 Version 1.은 개선 효과가 없다고 할 수 있다. 즉, 고무펜스를 접지 길이보다 짧은 간격으로 삽입하여 고무 펜스가 주행 중에 연속적으로 접지 길이 내에서 작용하게 하면 종그루브 내에서의 공명 모드의 형성도 연속적으로 방해하게 된다고 판단되며, 노면에 대하여 기울어진 상태로의 삽입을 통한 터블런스 효과에 의해 기주공명음 저감 효과가 더욱 증가되었다고 판단된다.

보다 정확한 검증을 위해 저감 효과가 제일 좋은 Version 4.와 고무 펜스를 삽입하지 않은 타이어를 사용하여 실차 검증을 실시하였다. 시험 차량은 국내 2000cc 중형급 세단이며 평가 방법은 마이크로폰을 사용한 계측으로 하였다.



(a) 60kph spectrum(inside)



(b) 80Kph spectrum(inside)

Fig. 9 The result of spectrum

Table 3 The result of outdoor test

Velocity	Non-fence	Version 4.
60Kph	45.9dB(A)	44.9dB(A)
80Kph	50.1dB(A)	48.3dB(A)

Fig. 9는 속도 60, 80kph의 정속에서 차량 내부 운전석의 계측 결과를 나타내며 가로축은 주파수 세로축은 발생 음압 수준을 나타낸다. 그리고 점선은 고무펜스가 삽입되지 않은 타이어이고 실선은 Version 4.의 결과이다. 1000Hz 내외의 대역에서의 결과 값에서 보듯이 실제 차량 적용에서도 기주공명 저감 효과가 분명하게 나타나는 것을 확인할 수가 있다. Table 3은 Fig. 9에서 900~1100Hz 구간에서의 RMS 값을 나타낸다. 60kph의 경우 1.0dB, 80kph의 경우 1.8dB의 저감 효과가 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 타이어 종그루브 설계에 따른 그루브 원더링 성능 영향도 및 패턴 노이즈의 기주공명 관련 영향도에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 종그루브의 설계 수준 변경을 통해 그루브 원더링의 발생 경향성을 확인하였고, 횡력분포예측 기법이 거리관별법보다 더 높은 신뢰도를 나타냈다.
2. 종그루브 내 고무펜스 삽입을 통해 기주공명음 저감 효과를 검증하였다.
3. 향후, 패턴 성능 육성 과정에서 초기 디자인 변경으로 인한 시간, 비용 손실을 줄이기 위해 종그루브 설계 변수에 따른 하이드로플레닝 성능 특성에 대한 검증 추가 및 상용 패턴을 통한 최종 검증으로 종그루브 최적화 설계기법을 구축할 예정이다.

#### 참고문헌

1. Peters J. M., "Application of the Lateral Stress Theory for groove Wander Prediction Using Finite Element Analysis", Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 29, No. 4, October-December 2001, pp. 244-257.
2. T. Doi and K. Ikeda, "Effect of Tire Tread Pattern on Groove Wander of Motorcycles", Tire Science and Technology, TSTCA, Vol. 13, No. 3, July-September 1985, pp. 147-153.
3. Lee, D. H. and Song, H. Y., "A Study on the Sound Absorption Performance of a Helmholtz Resonator Combined with Porous Materials", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, pp. 628-633, 2009.
4. Haa, S.T. and Kim, Y.H., "The Limitation and Applicability of Helmholtz Resonator, Regarding as Equivalent Single-Degree of Vibration System", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 4, pp. 209-219, 1994.
5. Zinn, B. T., "A Theoretical Study of Non-Linear Damping by Helmholtz Resonators", Journal of Sound and Vibration 13(3), pp. 347-356, 1970.
6. Kim, S. R. and Kim, Y. H., "Absorptive

- Characteristics of a Helmholtz Resonator Damper by a Flexible Porous Screen", Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 865-868, 2005.
7. Tang, S.K., "On the Helmholtz Resonators with Tapered Necks", Journal of Sound and Vibration, Vol. 279, pp. 1085-1096, 2005.
  8. Song, H.Y. and Lee, Y.C., "A Study on the Design Parameter of a Resonance type Absorber", Proceeding of KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 964-968, 2007.
  9. Shu, F., "Reduction of Tire Groove Noise Using Slot Resonators", Tire Society Conference, 2008.