

타이어 패턴/ 구조 설계에 대한 콘크리트 소음 기여도 연구 A Study on Tire Pattern & Structural Design to reduce Tire/ Concrete Noise

김건호† · 강영규* · 오약전**
Kunho Kim, YoungKyu Kang, YagJeon Oh

Key Words : Concrete Noise(콘크리트 소음), Pattern Design(패턴 설계), Structural Design(구조 설계)

ABSTRACT

Nowadays concrete pavement is increasing, since it is more durable than asphalt pavement. And the concrete pavement with lateral rain groove may induce high level of concrete whine noise as pure tone. In this paper, the design factor for good concrete whine noise is considered in view of tire pattern and structure design. In respect of tire pattern design, the tire having a cap tread with high center part stiffness and low shoulder part stiffness shows best concrete whine noise performance. And in respect of tire structural design, the tire with a thick center part of cap tread and low tread part stiffness show best concrete whine noise performance.

1. 서 론

콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 내구성이 좋아 수명이 길고, 시공이 간편하며 유지관리가 쉬운 장점이 있어 비용이 비싸다는 단점에도 불구하고 최근 고속화 도로 포장에 많이 사용되고 있다. 콘크리트 노면에는 수막 현상을 방지하기 위한 배수 홈이 동일한 깊이와 폭을 가지고 횡 방향(주행 수직 방향)으로 일정하게 형성되어 있으며, 이로 인해 타이어의 회전 수에 따라 첨예한 Peak성 소음을 유발시킨다. 따라서, 이러한 콘크리트 소음은 주로 공기로 전달되는 Air-borne Noise로, 운전자 및 탑승자가 가장 잘 인지할 수 있는 소음 중 하나이며, 고속 주행 정숙성 향상을 위해 저감시켜야 할 주요 소음이다. 본 연구에서는 타이어를 패턴과 구조 설계에 대한 측면으로 나누어 콘크리트 소음에 대한 기여도를 분석하였다.

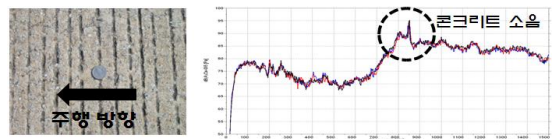


Fig. 1 콘크리트 노면과 소음(타이어 근접음)

2. 패턴 설계 기여도 분석

2.1 시험 개요

콘크리트 소음의 패턴에 대한 기여도를 분석하기 위해 패턴이 없는 무지 타이어(이하 SMT)에 패턴 형상을 핸드카빙(hand carving)한 타이어를 준비하였다. 또한 차량의 영향을 최소화하기 위해 내부 소음이 아닌 외부 소음인 타이어 근접음 결과를 사용하였으며, 콘크리트 소음 대역의 RMS와 Peak의 dB(A) 값을 모두 비교하였다. 평가 속도는 국내 고속 도로 일반 주행 속도인 100km/h 이며, 차량은 국내 3000cc급 차량이다.

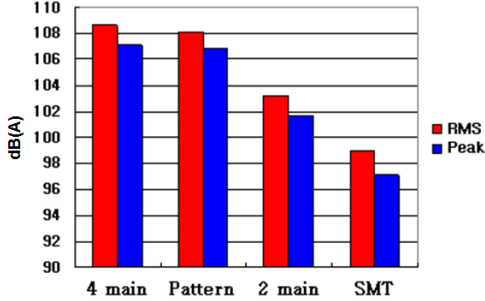
2.2 타이어 주요 그루브(Main groove) 영향

타이어에는 배수 성능을 위해 노면과 접촉하는 캡 트레드(Cap Tread)부에 그루브(groove)가 존재한다. 타이어 그루브에는 주행 방향과 동일한 방향에

† 금호타이어 연구본부
E-mail : gunho@kumhotire.com
Tel : (061)360-3192 , Fax : (061)360-3190
* 금호타이어 연구본부
** 금호타이어 연구본부

Table 1 Main 그루브 영향도 분석

SMT	2 main	4 main	Pattern
주행방향 ↑			



직선으로 되어있는 중 그루브가 있으며, 주행 방향과 반대인 횡 그루브가 있다. 이러한 그루브의 조합으로 타이어 패턴이 형성된다.

타이어에는 보통 3~4개의 중 그루브가 있으며, 배수 성능의 주된 역할을 한다. 이에 타이어 패턴의 소음에 대한 기여도를 보기 위해 먼저 중 그루브에 대한 영향도를 분석하였다. (여기서는 중 그루브를 Main 그루브라 칭하겠다)

Main 그루브의 소음 영향도를 위해 Table1 과 같이 SMT와 2개, 4개의 Main 그루브만 핸드카빙한 타이어, 그리고 패턴까지 모두 핸드카빙한 타이어를 준비하였다. 콘크리트 소음이 우세한 순서는 SMT → 2 main → Pattern → 4 main 이다. 콘크리트 노면 배수 홈의 존재로 콘크리트 소음이 Peak성 소음을 보이는 것과 같이 타이어의 패턴 형상과 배열도 소음에 지대한 영향을 끼친다. 이에, 패턴이 없는 SMT의 콘크리트 소음 수준이 가장 낮으며, 패턴이 있는 타이어와 약 5 dB(A)의 큰 차이를 보인다. 그리고 Main 그루브가 증가하면 콘크리트 소음도 증가함을 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 현상을 캡 트레드 강성(또는 장력)에 대한 영향으로 분석하였다. 즉, Main 그루브의 증가는 캡 트레드 강성의 감소로 해석할 수 있으며, 캡 트레드 강성의 감소는 콘크리트 소음의 증가로 분석된다.

또한 이 결과에서 주목할 점은 4 main이 패턴 타이어 보다 열세하다는 점이다. 패턴 타이어는 4 main 그루브 타이어에 횡 그루브가 추가된 타이어



Fig. 2 Middle 및 Shoulder 리브 패턴 핸드카빙

으로 볼 수 있으며, 따라서 캡 트레드 강성은 더욱 감소 된다. 4 main 그루브 타이어가 패턴 타이어 보다 열세하다는 것은 캡 트레드 강성의 감소가 무조건적으로 소음의 증가로 나타나는 것은 아니라는 것을 말하고 있다. 이에, 캡 트레드 강성에 대한 세밀한 분석을 위해 Center, Middle, Shoulder부로 나누어 콘크리트 소음 영향도를 보았다.

2.3 캡 트레드 강성 영향도 분석

(1) Center/ Middle/ Shoulder부 강성 영향도
노면과 접촉하는 타이어 캡 트레드는 4개의 중 그루브에 의해 Center/ Middle/ Shoulder 리브(Rib)로 나누어진다. 본 연구에서는 각 3개의 리브 강성에 대한 콘크리트 소음 영향을 분석하기 위해 4 main 타이어에서 각 리브에 해당되는 패턴을 핸드카빙하였다. 즉, Fig.2와 같이 Middle부에 대한 영향을 알기 위해서는 Middle부 리브만 패턴을 핸드카빙하고, Shoulder부 영향을 위해서는 Shoulder부 리브만 핸드카빙하였다. 평가 결과, 4 main 타이어를 기준으로 Shoulder는 소음이 감소하고, Center/ Middle은 소음이 증가한다. 즉, 캡 트레드의 Shoulder부는 강성을 감소시키고, Center 및 Middle부는 강성을 증가시키는 것이 콘크리트 소음을 저감하는 방향임을 알 수 있다.

Table 2 Center/ Middle/ Shoulder부 강성 영향도

4 main (기준)	Center	Middle	Shoulder

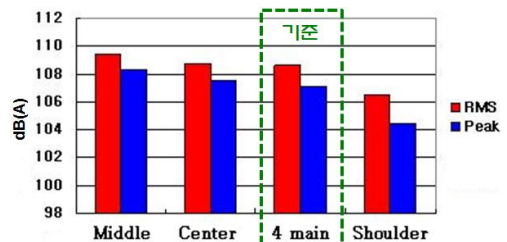
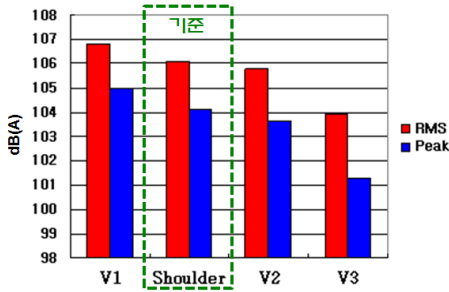
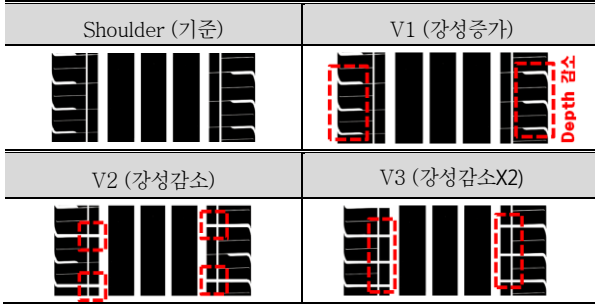


Table 3 Shoulder부 강성 영향도 검증



(2) Shoulder부 강성 영향도 검증

캡 트레드의 Shoulder부 강성 감소로 콘크리트 소음이 저감되었으며, 여기서는 이를 검증하려 한다. 검증을 위해 Shoulder부의 강성 변화를 다음과 같이 다양화하였다. 기존 Shoulder 리브만 패턴을 핸드카빙한 타이어를 기준으로 강성 증가를 위해 횡 그루브 depth를 3mm 감소시킨 V1을 준비하고, 강성 감소를 위해 V2, V3 와 같이 횡 그루브를 연장하여 순차적으로 패턴 블록화 하였다. 즉, V3의 나누어진 패턴 블록의 수는 V2의 2배이다.

결과는 예상한 바와 같이 Shoulder 패턴을 기준으로 V1은 소음이 증가하였으며, V2와 V3는 감소하였다. 특히, V2와 V3는 2dB(A) 차이를 보였다

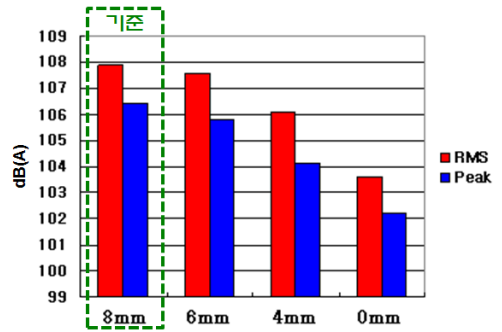
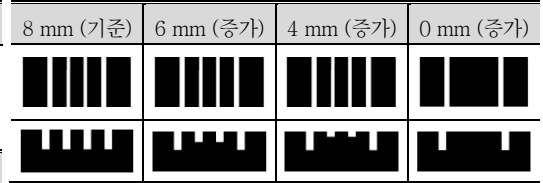
(3) Center부 강성 영향도 검증 - i

캡 트레드 Center부 강성 증가의 콘크리트 소음 감소에 대한 검증이다. (Middle부와 Center부를 통칭하여 Center부라 하겠다) Center부 강성 변화를



Fig. 3 중앙 2개 Main 그루브 depth 다양화

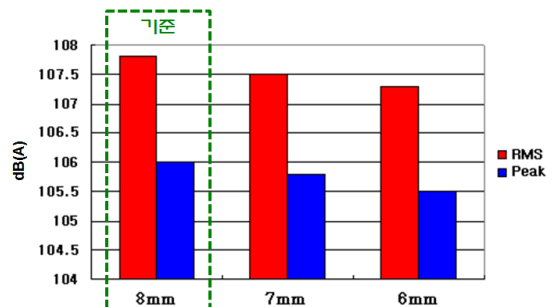
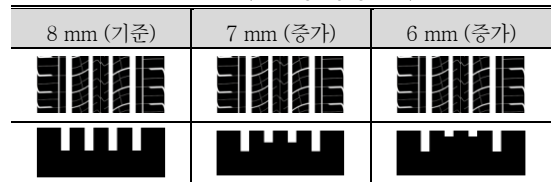
Table 4 Center부 강성 영향도 검증 - i



위해 4개의 Main 그루브에서 중앙 2개 그루브 depth를 다양화하여, 기존의 8mm depth를 기준으로 6, 4, 0 mm 타이어를 준비하였다. 즉, depth가 증가하면 강성이 감소하고 depth가 감소하면 강성이 증가한다. 0mm는 그루브가 없는 것을 의미한다. 결과는 8mm depth를 기준으로 depth가 작아질수록, 즉, Center부 강성이 커질수록 콘크리트 소음이 감소됨을 알 수 있다.

(4) Center부 강성 영향도 검증 - ii

Table 5 Center부 강성 영향도 검증 - ii



앞에서 캡 트레드 Center부 강성 증가의 콘크리트 소음 감소에 대한 검증은 하였으나, 타이어 성능 상 현실적으로 그루브 depth를 4mm 적용하는 것은 힘들다. 따라서 적용이 가능하도록 실질 패턴 타이어에 그루브 depth를 1mm 차이로 제작하여 검증하였다. 따라서 중앙 2개의 그루브 depth는 각 8, 7, 6mm 이다. 결과는 앞서와 같이 Center부 강성이 상대적으로 큰 6mm의 소음 발생이 가장 작았다.

2.4 패턴 설계 기여도 종합 결과

본 장에서는 콘크리트 소음 저감의 패턴 설계 기여도를 그루브 조합으로 패턴이 형성되는 부분인 캡 트레드의 강성(또는 장력)에 대한 관점으로 분석하였다. Main 그루브로 인한 캡 트레드의 전반적인 강성 감소는 콘크리트 소음을 증가시키지만 캡 트레드를 크게 Center부와 Shoulder부로 나누었을 시 강성 설계는 서로 반대의 방향을 보인다. 즉, Center부는 강성을 증가시키고, Shoulder부는 감소시키는 것이 콘크리트 소음을 저감하는 방향이다.

3. 구조 설계 기여도 분석

3.1 시험 타이어 설계

타이어 구조 설계에 대한 소음 영향을 보기 위해 타이어를 보통 Tread부와 Side부로 구분하여 분석하지만 이번 연구에서는 한 가지를 추가로 고려하였다. 앞에서 패턴 기여도 연구 시 캡 트레드(Cap Tread)부의 강성 영향도 분석을 하였기에 이를 추가하여 캡 트레드부, Tread부, Side부로 나누었다. (Tread부와 구별을 하기 위해 캡 트레드는 한글로

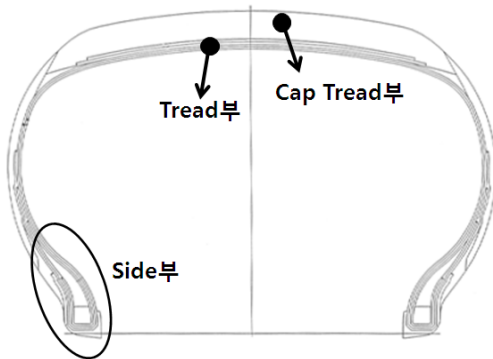


Fig. 4 Cap Tread부, Tread부, Side부 구분

Table 6 시험 타이어 설계

	캡 트레드		Tread부	Side부
	Center부 Gauge	강성 지수	강성 지수	강성 지수
A		+2	+3	
B		+2	+3	+2
C			+3	+2
D			+3	동일
E				
F	+2			
G	+3			

명기하였다) 캡 트레드는 Center부 Gauge와 재질 강성의 영향을 보았고, Tread부와 Side부는 강성 영향을 보기 위해 Belt 각도와 Apex 높이로 강성 변화를 주었다. 시험타이어 설계 내역은 Table6 과 같고, 강성 변경에 대한 사항은 지수로 표현하였다. 즉, (+)이면 상대적 강성이 높다는 것을 말한다. 캡 트레드 Center부 Gauge는 실제로 증가한 mm 단위 수치이다.

3.2 평가 결과 분석

구조 설계에 대한 시험 타이어 평가 결과를 Fig.5 와 같이 우열 순서에 따라 정리하였다. 콘크리트 소음에 가장 우세한 타이어는 G 버전이며, G→F→E→B→C→A→D 순으로 우세함을 보인다. Best와 Worst 버전 인 G 와 D 버전은 4.4 dB(A)의 차이를 보이며, 비교 그래프는 Fig.6 과 같다. 참고로 차량 영향을 보기 위해 동일 타이어를 소음

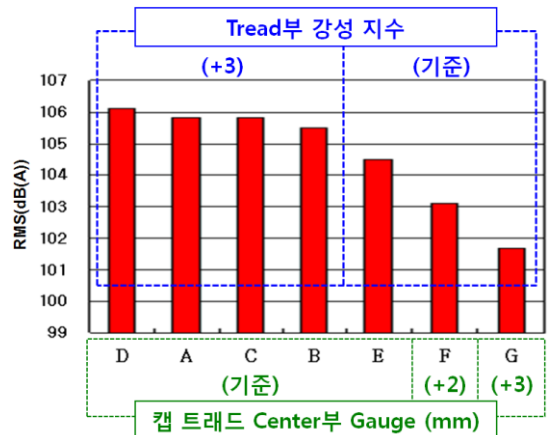


Fig. 5 시험 타이어 평가 결과 분석



Fig. 6 타이어 Best/ Worst 버전 근접음 비교

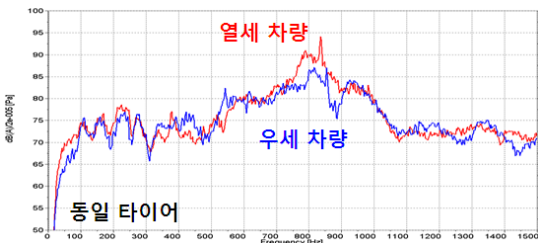


Fig. 7 동일 타이어 소음 우세/열세 차량 근접음 비교

우세 차량과 열세 차량으로 평가하였으며, 차량 간 근접음의 차이도 타이어 비교 시와 유사한 결과를 보인다. 비교 그래프는 Fig.7 과 같다.

Fig.5를 다시 보면, 캡 트레드 Center부 Gauge와 Tread부 강성에 대한 우열이 명확히 나타난다는 점을 알 수 있다.

캡 트레드 Center부 Gauge가 증가할수록 소음 저감의 폭이 1 dB(A) 이상으로, 다른 구조 설계를 변경했을 시 보다 큰 저감 효과를 보인다. 이는 캡 트레드 Center부 볼륨의 증가로 인해 타이어의 접지가 전반적으로 라운드한 형상으로 되는 것에 기인하여, 주행 방향과 직각으로 있는 콘크리트 노면 배수 홈을 지나갈 시, 상대적으로 배수 홈에 의한 충격을 완화시키는 역할을 한다. (Fig.8 참조)

또한, B와 E 버전 간을 경계로 Tread부 강성에 대한 우열이 명확히 나뉘며, 경계 상에 있는 B와 E 버전도 1 dB(A)의 비교적 큰 소음 차이를 보인다.

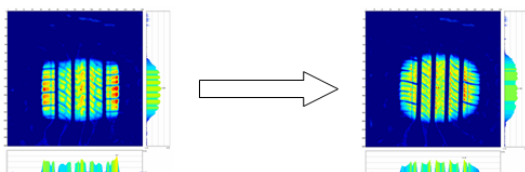


Fig. 8 캡 트레드 Center부 Gauge 증가에 따른 접지 형상 변화

콘크리트 소음에 우세한 설계 방향은 상대적으로 Tread부 강성을 낮게 하는 설계이다.

이와 같이 콘크리트 소음 저감에 기여가 큰 구조 설계 인자는 캡 트레드 Center부 Gauge와 Tread부 강성이라 말할 수 있다.

Side부 강성 영향을 위한 A와 B 버전, 캡 트레드 재질 강성 영향을 위한 B와 C 버전 비교 결과, 소음 차이는 0.5 dB(A) 이하로 영향도는 크진 않으나, Side부 강성과 캡 트레드 재질 강성을 증가시키는 것이 소음 저감 방향이다.

3.3 구조 설계 기여도 종합 결과

타이어 구조 설계의 콘크리트 소음에 대한 기여도는 다음과 같다. 콘크리트 소음에 기여도가 큰 설계 인자는 캡 트레드 Center부 Gauge와 Tread부 강성이며, 저감하는 설계 방향은 캡 트레드 Center부 Gauge 증가와 Tread부 강성 저감이다.

기여도는 크지 않으나, 캡 트레드 재질 강성 증가와 Side부 강성 증가도 저감 방향이라 할 수 있겠다.

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 소음 기여도를 크게 타이어의 패턴과 구조 설계에 대한 측면으로 나누어 알아보았다. 먼저 패턴 설계 기여도를 캡 트레드의 강성(또는 장력)에 대한 관점으로 분석하였으며, 캡 트레드 Center부는 강성을 증가시키고, Shoulder부는 강성을 감소시키는 패턴 설계가 콘크리트 소음을 저감하는 방향임을 알 수 있었다. 그리고 구조 설계 기여도 분석 결과, 캡 트레드 Gauge 증가와 Tread부 강성 저감을 반영한 설계가 콘크리트 소음 저감에 가장 기여가 큰 설계 방향이며, 기여도가 크진 않으나 캡 트레드 재질 강성 증가도 저감 방향이다. 또한, 패턴 설계 측면의 캡 트레드 Center부 강성(또는 장력) 증가와 구조 설계 측면의 캡 트레드 Center부 Gauge 증가 및 재질 강성 증가는 유사한 설계 방향으로 상관성이 있음을 알 수 있다.

본 연구는 콘크리트 소음만을 고려한 연구로, 향후 다른 소음과의 관계 및 주요 성능과의 상관성을 고려한 포괄적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) Keijiro Iwao, Ichiro Yamazaki, 1996, A Study on the mechanism of tire/ road noise, JSAE Review, pp.139~144
- (2) Kang, D. J., Chung, S. K., 2001, Tyre/ road Noise Status and Characteristics, 한국소음진동공학회 추계 학술대회논문집, pp. 711~718
- (3) Heo, S. J., Ko, K.H., Kook, H. S., 2003, Integrated Test and Evaluation for Improvement of Vehicle Road Noise, 한국소음진동공학회논문집 제 13권 제5호, pp. 327~333
- (4) Lee, T. K., Kim, G. J., 2003, The Study on the Difference of Road Noise due to change the Suspension and Tire by Feeling Test, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 357~362
- (5) Kim, K. H., Lee, S. K., 2012, An experimental study on transfer characteristics of concrete noise, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 307~308