

럼블 소음 저감을 위한 타이어 강성 설계 방안 연구

A Study on Tire Stiffness Design to reduce Tire Rumble Noise

김건호† · 강영규 · 김기운 *

Kun-Ho Kin, Young-Kyu Kang, Kee-Woon Kim

Key Words : Rumble noise(럼블 소음), Tire Stiffness effect(타이어 강성 영향), Vehicle effect(차량 영향)

ABSTRACT

The development of low rolling resistance tire with weight reduction in tire and vehicle may induce high level of tire/road noise, especially the rumble road noise on rough road. In this paper, the design factor for good rumble noise is considered in view of tire and vehicle. For the 3 mid-sized sedans, the rumble noise is very sensitive to the test vehicle. And it is concluded that the tire with high tread part stiffness and low sidewall part stiffness shows best rumble noise performance, and the rumble noise is in trade-off relation with cavity resonance noise. So, it is desirable to select and change proper construction design factors to have good tire/vehicle rumble noise.

1. 서 론

최근 산업의 주 관심사는 환경 문제로, 환경과 밀접한 관계가 있는 자동차와 타이어 산업도 피해갈 수 없는 사항이다. 연비를 향상시키기 위해 최우선으로 중량을 낮추고 있으며, 이로 인해 실내로 유입되는 소음은 증가되고 있다. 두드러지게 증가한 소음은 럼블 소음으로 최근 신차용 타이어 개발 시 이슈화되고 있으며, 럼블 소음 저감을 위해 여러 개선책을 수립하고 있다.

럼블 소음은 공명음 바로 다음 주파수에서 형성되며, 주로 250~500Hz 주파수 범위에 걸쳐 있다. 또한, 노면에 따라 다양한 소음 형태로 유입된다. 매우 거친 노면에서는 ‘우르릉’ 소음으로 유입되며, 약 거친 노면에서는 ‘와글와글’ 소음으로, 매끄러운 노면에서는 차량에 따라 Peak성 단일음으로 유입되어 고주파 소음과 유사한 음으로 유입되기도 한다. 이처럼 럼블 소음은 차량 정숙성의 저해 요인이다.

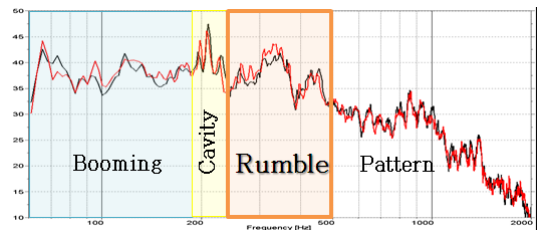


Fig. 1 Rumble noise

본 논문에서는 럼블 소음에 대해 크게 차량 영향과 타이어 영향으로 나누어 시험/ 분석하였다. 차량 영향을 알아보기 위해 제조사 및 동일 제조사에서 출시 년도가 다른 중형급 3차종을 선택하였으며, 타이어 영향을 알아보기 위해서는 타이어를 크게 Tread부와 Side부로 나누어 강성 변화를 준 시험 타이어를 설계하여, 각 3차종으로 시험하였다. 또한, LRR(저 회전저항) 시험타이어를 설계하여 LRR 타이어에 대한 럼블 소음 영향을 분석하였다.

2. 럼블 소음 영향 분석

2.1 시험 개요

(1) 시험타이어 설계 및 평가 개요

† 금호타이어 연구본부 특성연구팀

E-mail : gunho@kumhotire.com

Tel : (061)360-3192, Fax : (061)360-3190



* 금호타이어 연구본부 특성연구팀

Table 1 강성 특성에 대한 시험 타이어 설계

타이어 버전	Tread부 강성	Side부 강성
A	큼	큼
B	큼	작음
C	작음	큼
D	작음	작음

Table 2 시험 차량 및 노면

시험 차량	구분	㉠ (중형)	㉡ (중형)	㉢ (중형)
	제조사	A 사	A 사	B 사
출시	2004년	2009년	2010년	
배기량	1998cc	1998cc	1998cc	
중량	1434kg	1390kg	1510kg	

시험 노면		
	Rough Asphalt	Smooth Asphalt

시험타이어는 중형차 규격인 215/55R17로 선정하였으며, Table 1 과 같이 타이어 강성을 Tread부와 Side부로 나누어 설계하였다. 교호 작용이 없도록 각 부 별 단일 인자를 사용하였고, Tread부 강성은 벨트 각도 변경으로, Side부 강성은 APEX높이 차이로 설계하였다.

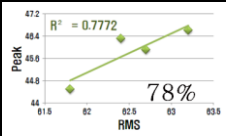
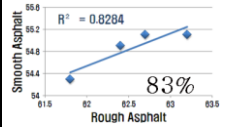

시험 차량은 중형급 총 3차종으로 A사의 2004년과 2009년 모델, B사의 2010년 모델로 선정하였으며, 시험 노면 및 주행 속도는 소음 평가 주 항목인 Rough Asphalt - 60KPH 와 Smooth Asphalt - 80KPH 로 하였다. 소음은 운전석 오른쪽 귀와 후석 중앙 귀 높이에서 계측하였고, 계측에 사용한 장비는 LMS사의 PIMENTO를 사용하였다.

(2) 결과 분석 대표 인자 선정

소음 계측에는 다수의 결과 값이 얻어진다. 거친 노면에서의 소음과 매끄러운 노면에서의 소음이 있으며, 전석 소음과 후석 소음도 있다. 또한, 결과 분석 시, RMS(Root Mean Square)나 Peak 값으로 소음의 우열을 결정할 수 있다.

본 연구에서는 효과적인 결과 분석을 위해 대표 분석 인자를 선정하였다. 방법은 시험타이어 4버전 간 립블 소음 우열을 이용, 상관성을 분석하여 선정할 대표 인자로 결과 분석 및 연구를 진행하는데

Table 3 대표 분석 인자

조건	인자	상관성	대표 인자
결과 값	① RMS ② Peak		① RMS
노면	① Rough ② Smooth		① Rough
센서 위치	① 전석 ② 후석		① 전석

큰 영향이 없는지 확인하였다. 대표 분석 인자는 Table 3과 같으며, Rough Asphalt-60KPH 시험 조건에서 전석 소음의 RMS 결과 값으로 선정하였다.

2.2 차량 별 지배 타이어 강성 인자 도출

(1) 차량 별 립블 소음 수준 분석

동일 시험타이어 4버전, 동일 조건으로 각 3차량에 대해 실차 소음 시험을 하였으며, 차량 별 립블 소음 수준은 Fig. 2와 같다. 차량에 따른 립블 소음 우세 순은 ㉠→㉡→㉢이며, 이는 실 측정된 공차 중량이 큰 순서와 같다.

평균 립블 소음이 가장 우세한 ㉠차량과 가장 열세한 ㉢차량은 6.7dB(A)의 차이를 보이며, 두 차량의 립블 소음 차이 정도는 Fig. 3의 (a) 그래프에 나타나 있다. ㉠와 ㉡차량을 비교하면 제조사가 상이한 점도 있으나, 가장 큰 차이는 중량이다. 실 측정된 공차 중량이 ㉠는 1390kg이고 ㉡는 1510kg으로 120kg의 차이를 보이고 있다. 이로써 중량 저

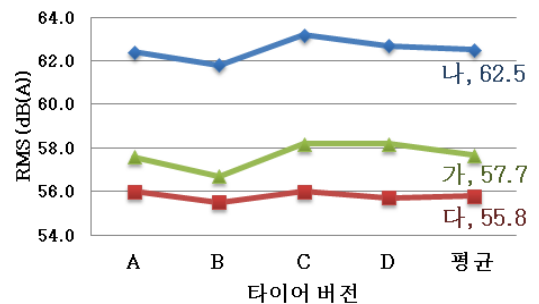
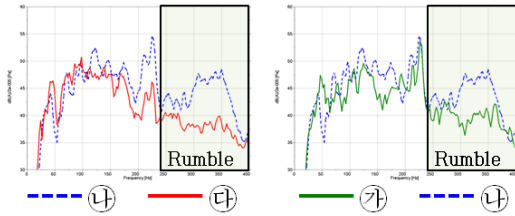


Fig. 2 차량 별 립블 소음 수준 비교- i



(a) 차량 중량 120kg 차이 (b) 출시 년도 차이

Fig. 3 차량 별 림블 소음 수준 비교-ii

감으로 인해 림블 소음 유입의 증가를 초래할 수 있으며, 림블 소음은 차량 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 3의 (b)는 ㉗와 ㉘를 비교한 그래프로, ㉗와 ㉘는 제조사는 동일하나 출시 년도가 다르다. 즉, ㉘는 ㉗의 후속 차량으로 ㉘의 중량이 ㉗대비 44kg 작다. ㉗와 ㉘의 평균 림블 소음을 비교하면, ㉗는 57.7dB(A), ㉘는 62.5dB(A)로 동일 타이어에서 4.8dB(A) 차이를 보인다. 이도 중량 및 연비 저감을 적용한 후속 차량이 개발되며 소음 유입이 증가되었음을 보여준다.

Fig. 4는 시험타이어 4버전 중 림블 소음 Best와 Worst의 소음 차이를 차량 별로 나타내고 있으며, 타이어에 대한 차량의 민감도로 표현할 수 있다. 림블이 가장 우세한 ㉘ 차량의 타이어에 대한 민감도는 불과 0.5dB(A)로 자체 소음이 우세한 차량이 타

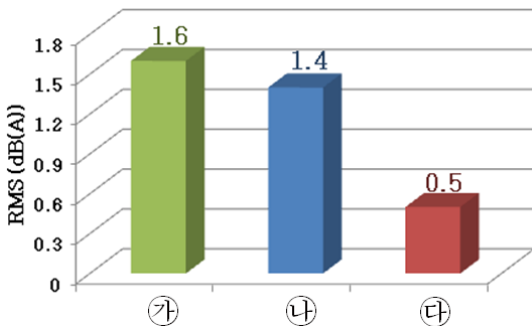


Fig. 4-1 차량 별 시험타이어 림블 최대 차이- i

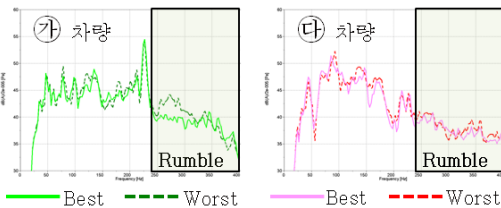


Fig. 4-2 차량 별 시험타이어 림블 최대 차이-ii

이어에 대한 소음 변화도 크지 않음을 알 수 있다.

(2) 차량 별 지배 타이어 강성인자 도출

차량에 따른 시험타이어 4버전의 림블 소음 결과는 Fig. 5와 같으며, dB(A) 값이 작을수록 림블 소음이 우세한 버전이다. 시험타이어 중 림블 Best 타이어는 차량에 관계없이 모두 B 버전이고, Worst 타이어는 C 버전이다. (단, ㉘ 차량에서는 D 버전이 Worst 이나, C와 D 버전이 오차범위(0.1dB(A)) 내에 있어 C 버전도 Worst라 할 수 있음) 이는 본 연구의 시험타이어와 같이 강성에 대한 설계 변화가 크면 차량에 상관없이 타이어 설계에 의

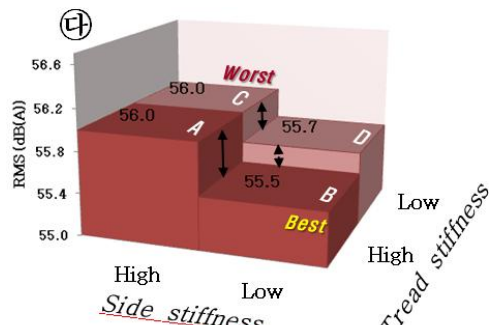
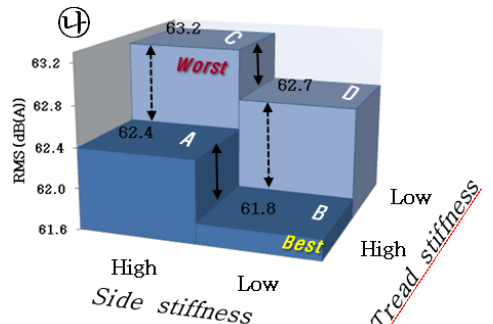
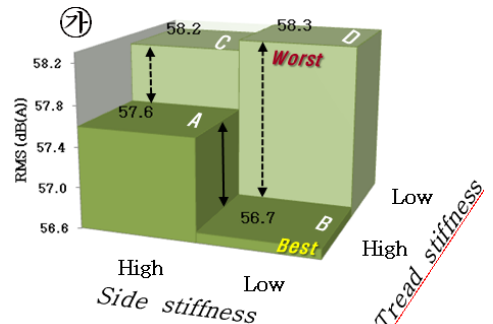


Fig. 5 차량 별 림블 소음 시험 결과

한 소음의 개선 및 우열 방향도 유사하게 변화함을 알 수 있다.

Fig. 5에서 시험타이어 버전 별 소음을 나타내는 막대 그래프 간의 양방향 화살표(↔)는 타이어 버전 간 소음 차이를 나타내고 있다. 실선 양방향 화살표는 Side부 강성 변경에 대한 소음 차이 정도를, 점선은 Tread부 강성 변경에 대한 소음 차이 정도를 보여준다. 양방향 화살표 점선과 실선의 길이 비교로 타이어 각 부의 강성 변경에 대한 립블 소음 개선 정도를 비교할 수 있으며, 차량 별 립블 소음 개선에 지배적인 타이어 강성 인자를 도출할 수 있다. ㉞와 ㉟차량은 Tread부 강성 변경에 대한 립블 소음의 개선 정도가 크며, ㉠차량은 Side부 강성 변경에 대한 립블 소음의 개선 폭이 크다. 심지어 ㉡차량의 경우, Tread부 강성이 작을 시, Side부 강성 변경에 대한 립블 소음의 변화는 오차범위 내에 있으며, ㉢차량의 경우, Side부 강성이 클 시, Tread부 강성 변경에 대한 립블 소음의 변화는 없다. 이에, 립블 소음 저감을 위한 지배적인 타이어 강성 인자는 차량에 따라 다르며, 효과적인 립블 저감을 위해서는 차량에 따라 적절한 설계 변경 인자 선정이 중요함을 알 수 있다.

2.3 립블 저감을 위한 타이어 강성 설계 방향

(1) Tread부 강성에 대한 립블 소음

Tread부 강성에 대한 립블 소음 영향을 분석하기 위해 시험타이어 중 조건 #1 인 A와 C, 조건 #2 인 B와 D를 비교하였다. 조건 #1은 Side부 강성이 큰 경우 Tread부 강성에 대한 립블 소음의 영향을 비교한 것이고, 조건 #2는 Side부 강성이 작은 경우 Tread부 강성에 대한 립블 소음의 영향을 비교한 것이며, 결과는 Table 4와 같다. 조건 #1의 기준 타이어는 C 버전이고, 조건 #2의 기준 타이어는 D 버전이며, 기준 타이어 대비 -dB(A) 값은 소음 유

입이 감소되는 정도를, +dB(A) 값은 소음 유입이 증가되는 정도를 나타낸다. 즉, Tread부 강성이 큰 타이어가 립블 소음에 우세하며, 이는 차량 및 Side부 강성에 관계없이 동일하다.

조건 #1과 #2의 비교를 통해서는 Side부 강성 조건에 따른 Tread부 강성 변경 효과를 비교할 수 있다. 비교 결과, Side부 강성이 작은 경우가 큰 경우 대비 Tread부 강성 변경에 대한 립블 소음 개선 효과가 더 크다. Side부 강성이 작은 경우는 립블 소음에 우세한 설계로, Side부 강성이 립블 소음에 우세한 설계 방향이면 Tread부 강성 변경에 대한 립블 개선 효과는 더 커짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 다음의 “Side부 강성에 대한 립블 소음”에서도 동일하게 나타난다.

(2) Side부 강성에 대한 립블 소음

Side부 강성에 대한 립블 소음 영향을 분석하기 위해 시험타이어 중 조건 #3 인 A와 B, 조건 #4 인 C와 D를 비교하였다. 조건 #3은 Tread부 강성이 큰 경우 Side부 강성 변경에 대한 립블 소음의 영향을 비교한 것이고, 조건 #4는 Tread부 강성이 작은 경우 Side부 강성 변경에 대한 립블 소음의 영향을 비교한 것이다. 또한, 조건 #3의 기준 타이어는 A 버전이고, 조건 #4의 기준 타이어는 C 버전이다. 결과는 Table 5와 같으며, Side부 강성이 작은 타이어가 립블 소음에 우세함을 보인다. (단, ㉞차량 D 버전의 경우, +0.1dB(A)는 오차범위 내로 C와 D 버전 간 소음 차이는 없다고 할 수 있음) 이 결과 역시 차량 및 Side부 강성에 관계 없이 동일함을 보이며, 립블 소음이 우세한 설계 조건인 Tread부 강성이 큰 경우의 Side부 강성에 대한 립블 소음 개선 효과가 Tread부 강성이 작은 경우 대비 크다.

Table 4 Tread부 강성에 대한 립블 소음

타이어 버전	Side 강성	Tread 강성	차량 별 RMS 결과			
			㉞	㉟	㉠	
조건 #1	C	큼	작음	-	-	-
	A		큼	-0.6	-0.8	0
조건 #2	D	작음	작음	-	-	-
	B		큼	-1.6	-0.9	-0.2

Table 5 Side부 강성에 대한 립블 소음

타이어 버전	Tread 강성	Side 강성	차량 별 RMS 결과			
			㉞	㉟	㉠	
조건 #3	A	큼	큼	-	-	-
	B		작음	-0.9	-0.6	-0.5
조건 #4	C	작음	큼	-	-	-
	D		작음	+0.1	-0.5	-0.3

Table 6 실차 럼블 소음 종합 결과

평가 차량		㉠	㉡	㉢
차량 비교	자체 럼블 수준	중간	열세	우세
	타이어 민감도	큼	큼	작음
차량과 무관한 동일 열 결과	럼블 저감 주 타이어 인자	Tread부	Tread부	Side부
	럼블 저감 Tread부 강성	강성 증가		
	럼블 저감 Side부 강성	강성 감소		
	Best 타이어	Tread부 강성 큼 Side부 강성 작음		
Worst 타이어	Tread부 강성 작음 Side부 강성 큼			

2.4 실차 럼블 소음 종합 결과

Tread 및 Side부 강성 특성에 따라 설계한 시험 타이어를 이용, 3차량에 대해 럼블 소음 평가를 한 결과를 Table 6과 같이 정리하였다. 동일 타이어에서도 차량에 따라 럼블 소음 수준은 큰 차이를 보이며, 차량 자체의 럼블 소음이 양호하면 타이어에 대한 성능 차이도 크지 않음을 알 수 있다. 또한, 럼블 소음 저감을 위한 타이어 강성 설계 방향은 차량과 무관하게 동일함을 보이나, 효과적인 럼블 저감을 위해 타이어에서 변경해야 할 강성 설계 부분(Tread 및 Side부)은 다름을 보여준다.

3. LRR 타이어 럼블 소음 현상

3.1 LRR 적용 시험 타이어 설계

LRR(저 회전저항) 적용 시 럼블 소음의 영향을 분석하기 위해 럼블 소음 Best(B버전) 와 Worst(C 버전) 타이어에 LRR 설계를 적용한 시험 타이어를 설계하였다. LRR 시험타이어에는 LRR 고무를 적용하였으며, 중량 저감 효과를 위해 Cap Tread 게이지를 1mm 감소시켰다.

3.2 LRR 타이어 럼블 소음 결과

LRR 적용 타이어의 럼블 소음 결과는 Table 7과 같고, +dB(A) 값은 기준 타이어 대비 성능이 하락된 정도를 나타내며, -dB(A)는 그 반대이다. 비교 #2 인 럼블 소음 Worst 타이어에 LRR 적용 시에는 럼블 소음 성능의 변화가 미미한 반면, 비교#1

Table 7 LRR 타이어 럼블 소음 결과

시험타이어		차량 별 RMS 결과		
		㉠	㉡	㉢
비교#1	럼블 Best	-	-	-
	LRR 적용	+1.2	-0.1	+0.7
비교#2	럼블 Worst	-	-	-
	LRR 적용	+0.1	+0.2	-0.1

인 럼블 Best 타이어에 LRR 적용 시에는 럼블 성능이 하락함을 알 수 있다. 비교 #1에서도 자체 럼블 소음이 열세한 ㉠차량은 LRR 적용 시에도 럼블 소음 성능이 하락하지 않는다. 즉, 럼블 소음 성능이 열세한 타이어는 LRR 적용 시에도 큰 성능 하락은 없으며, 자체 럼블 소음이 열세한 차량에서도 LRR 타이어 적용 시 성능 하락은 크지 않다.

㉡차량의 경우 자체 럼블 소음 성능이 우수하고 타이어에 대한 민감도가 작음에도 LRR 타이어 적용 시에는 비교적 럼블 성능이 크게 하락한다.

4. 럼블과 공명음, 부밍 상관 관계

4.1 상관 관계 분석 방법

Road noise의 주 소음은 부밍과 공명음, 럼블 소음이 있다. 럼블 소음만 저감하고 그 외 소음 유입이 증가된다면, 이 또한 올바른 개선 설계 방법이 될 수 없다. 이에, 럼블과 그 외 소음들 간의 관계를 분석하여, 럼블 소음 개선 설계 시 공명음 및 부밍 소음의 변화를 예상하는 것이 필요하다.

상관성 분석 방법은 강성 별 시험타이어 4버전의 차량에 따른 실차 평가 결과를 이용하여, 럼블 개선 시 그 외 소음의 변화(유입 증가 및 감소)를 비교하고, 시험타이어 4버전 간 럼블 소음 우열과 그 외 소음의 우열을 비교하는 방법으로 하였다.

4.2 럼블과 공명음 상관 관계

시험타이어 4버전의 차량에 따른 실차 평가 결과는 Table 8과 같다. 조건 #1의 기준 타이어는 C 버전이고, 조건 #2의 기준 타이어는 D 버전이며, 기준 타이어 대비 -dB(A)는 소음 유입이 감소되는 정도를 +dB(A)는 소음 유입이 증가되는 정도를 나타낸다. 럼블과 공명음 비교 결과, 차량에 관계없이

Table 8 차량 별 럼블과 공명음 평가 결과

시험 타이어	럼블			공명음		
	㉠	㉡	㉢	㉠	㉡	㉢
조건 #1	C	-	-	-	-	-
	A	-0.6	-0.8	0	+1.8	+0.5
조건 #2	D	-	-	-	-	-
	B	-1.6	-0.9	-0.2	+0.3	-0.1

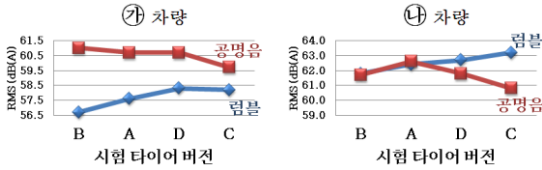


Fig. 6 시험타이어의 럼블과 공명음 우열 순

럼블 소음 유입이 감소하면, 공명음 유입은 증가되거나 변함이 없음을 알 수 있다. (단, 0.1dB(A)는 오차범위 내)

Fig. 6을 보면, ㉠차량에서 시험타이어 간 럼블 소음 우세 순은 B → A → D → C 이나, 공명음 우세 순은 반대로 C → D → A → B 이며, ㉡에서도 B를 제외하면 럼블과 공명음은 반대의 우세 순을 보인다. 이처럼 럼블과 공명음은 Trade-off 관계를 보이고 있다. 즉, Tread부 강성을 크게 하는 설계 방향이면 럼블 소음 유입은 감소하는 반면 공명음의 유입은 증가한다. 이 또한, 차량에 큰 차이를 보이지 않는다. 본 연구의 시험타이어는 강성 변화를 크게 한 타이어로 실 타이어 개발 시 럼블 소음 개선은 공명음 유입을 증가시키지 않는 범위에서의 설계 및 연구가 필요함을 말해주고 있다.

4.3 럼블과 부밍 상관 관계

시험타이어 4버전의 차량에 따른 실차 평가 결과는 Table 9와 같으며, 조건 #3의 기준 타이어는 A 버전이고, 조건 #4의 기준 타이어는 C 버전이다. 럼블과 부밍 소음 비교 결과, 차량에 관계없이 럼블 소음 유입이 감소하면, 부밍 소음 유입도 감소한다.

Fig. 7을 보면, ㉠차량에서 시험타이어 간 럼블과 부밍 소음 우세 순은 B → D → A → C 로 동일하며, ㉡에서도 D 버전을 제외하면 럼블과 부밍은 동일한 우세 순을 보인다. 이처럼 럼블과 부밍은 유사 관계를 보이고 있다. 즉, Side부 강성을 작게 하는 설계 방향은 럼블과 부밍 유입을 모두 감소시키며,

Table 9 차량 별 럼블과 부밍 평가 결과

시험 타이어	럼블			부밍		
	㉠	㉡	㉢	㉠	㉡	㉢
조건 #3	A	-	-	-	-	-
	B	-0.9	-0.6	-0.5	-1.3	-1.4
조건 #4	C	-	-	-	-	-
	D	+0.1	-0.5	-0.3	-0.8	-1.0

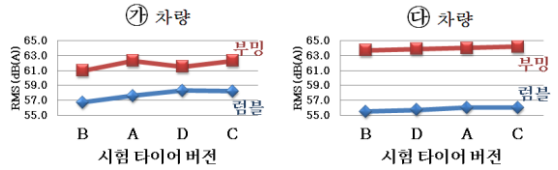


Fig. 7 시험타이어의 럼블과 부밍 우열 순

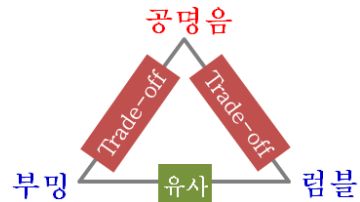


Fig. 8 럼블과 공명음, 부밍 상관 관계

차량에 관계없이 동일하다.

럼블과 부밍, 공명음의 관계를 종합하면, 럼블과 부밍은 유사관계이고, 럼블과 공명음은 Trade-off 관계이다. 따라서, 부밍과 공명음도 Trade-off 관계라 할 수 있겠다. 소음 간 관계는 Fig. 8과 같다.

5. 결 론

본 연구에서는 럼블 소음에 영향을 주는 인자를 크게 차량과 타이어 측면으로 나누어 알아보았다. 저연비, 저중량 차량 및 타이어가 개발되는 추세에서 럼블 소음의 유입은 증가하였고, 차량의 영향이 크게 작용함을 알 수 있다.

타이어 측면에서의 럼블 소음 개선 방향은 다음과 같다. 차량 별 럼블에 지배적인 타이어 강성 인자가 상이하여 효과적인 럼블 개선을 위해서는 차량에 따라 변경해야 할 타이어 강성 인자를 적절하게 선정하는 것이 중요하다. 또한, 럼블은 공명음과 Trade-off 관계로 공명음 유입이 증가되지 않는 범위에서의 럼블 개선 및 지속적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

(1) Kazuhiro Tsuge (Toyota Motor Corp.), “A Study of Noise in Vehicle Passenger Compartment during Acceleration”

(2) 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

(3) 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