

ISO 노면의 Pass-by-Noise Level 편차에 관한 연구

The Study on the Variation of Pass-by-Noise Level due to ISO Road

김기진* · 배철용** · 노국희***

Gi-Jeon Kim, Chul-Yong Bae, Guck-Hee, Rho

Key Words : Pass-by-Noise(타행소음), Tire(타이어), Coast by Method(타행시험법), Sound Level Meter(소음계), Correlation Coefficient(상관계수)

ABSTRACT

The objective of this paper is to compare the site-to-site variability of ISO 10844 pass-by-noise test sites. In order to investigate the site-to-site variance of test surfaces, European commercial tires are tested at seven different test sites. Three Korea test sites and four Europe test sites are selected. The pass by noise test is executed according to a 2001/43/EC regulation. Although the ISO surface has a very specific track composition, it does not reduce the variation of pass-by-noise measurements over the surface of test sites. This paper shows that the test results of pass-by-noise level are different depending on the test sites. The correlation obtained in this work is able to predict the pass by noise level for certain test site using the data measured from another test site. The prediction value is range with an error within 1dB(A).

기호설명

- \bar{L} : 측정된 소음레벨의 평균(dB(A))
- \bar{v} : 측정된 차량속도의 로그 평균
- a : 회귀선의 기울기
- $L_R(\theta_{ref})$: 노면온도 20°C에서 온도 보정 된 소음레벨

1. 서 론

환경 소음 문제중 도로 교통소음 문제는 인구의 90% 이상에 노출되어있고, 특히 그중 20~25%가 심각하게 방해를 받고있는 것으로 나타나 시급히 해결해야 할 환경 문제로 대두되고 있다[1]. 차량소음은 시내 주행 모드를 모사한 ISO 362 시험방법에 의하여 규제를 해오고 있으며, 이러한 시험방법으로 인하여 엔진 및 흡배기 등 기계적 소음이 많이 개선됨으로써 타이어 소음은 상대적으로 중요한 소음원으로 남게 되었다.

이러한 배경으로 교통 소음을 추가로 저감시키기 위하여 타이어/노면 소음에 대한 저감 필요성이 강조되고 있다. 또한 이러한 저감의 필요성에 대한 배경에는 자동차 주행 속도가 증가하고, 고속화 도로의 도심 주변 통과로 인해 교통 소음이 저속 저단에서 기여도가 큰 기계적 소음보다는, 고속 고단 기어 주행상태에서 주된 소음원인 타이어/노면 소음에 기인한다는 원인에 있기도 하다.

이에 따라 유럽에서는 1992년부터 타이어/노면 타행소음(pass-by-noise)을 규제하는 법안이 논의되어 왔으며, 2005년부터는 유럽으로 수출되는 타이어에 대하여 새로운 환경소음 법규를 적용 받게 될 것으로 예상된다.

타이어 타행소음은 차량가속 소음 시험인 ISO 362와는 달리 타행주행 조건에서 소음을 측정하고 있으므로 타이어와 노면의 조건에 따라 소음측정값이 많은 영향을 받는다. Richard F. Schumacher 등은[2] 미국 내 SAE Sealed Road 와 Unsealed Road 및 ISO 10844 노면간의 소음편차에 대해 실험적 연구를 수행하였으며, 타행조건에서 노면간 최대 소음편차는 9.2dB(A)로 나타났으며, 3곳의 ISO 노면간 소음편차는 최대 5.7dB(A)임을 보였다. M.M. Osman 등은[3] 각기 다른 노면조건에서 다른 종류의 타이어에 대한 소음 차이에 대한 실험적 연구를 수행하였으며, 노면의 입자가 거칠수록 소음차이가 줄어드는 경향을 입증하였다.

본 연구는 타이어 타행소음 규제에 대비하여 국내 및 유럽 ISO 10844 인증노면간의 타이어 타행소음 편차에 대

* 금호타이어 기술연구소 NVH팀
E-mail : gjkim@tire.kumho.co.kr
Tel : (052) 940-2800, Fax : (052) 940-2850

** 금호타이어 기술연구소 NVH팀

*** 금호타이어 기술연구소 NVH팀

한 연구를 수행하였다. 이를 위해 3곳의 국내 ISO노면과, 4곳의 유럽 ISO노면을 선정하여 타행소음을 측정하였으며, 노면간 편차를 조사하였다.

2. 타행소음 측정장치 및 방법

2.1 ISO 노면(ISO 10844)

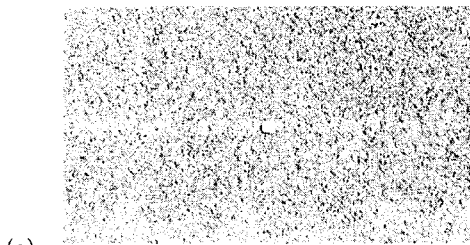
Table 1은 본 연구에서 타행소음 측정 시 사용된 노면으로써, 국내 3종류 및 유럽 4종류 노면을 보여준다. 여기에서 국내노면은 Fig.1과 같으며, 각 노면별 입자의 크기가 상이함을 알 수 있다.

Table 2는 ISO 10844에서 규정하고 있는 노면의 조건을 나타낸 것이다. ISO 10844 규정에서는 각각의 시험항목별 제한치를 Table 2와 같이 상한, 하한치로 관리하고 있기 때문에 ISO 10844에 의한 노면이라 하더라도 노면간 차이를 보일 수 있으며, 이러한 차이로 인하여 노면간 소음 편차가 발생할 수 있다.

본 연구는 국내와 유럽 인증기관이 보유하고 있는 ISO 인증노면간의 타행소음에 대한 편차를 알아보고, 이로부터 노면변화에 따른 타행소음을 예측하기 위하여 수행되었다.

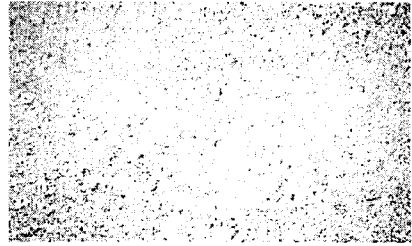
Table 1 Test Road

Road Surface	Area	Remarks
Europe 'A'	Germany	ISO
Europe 'B'	U.K.	ISO
Europe 'C'	Northern Germany	ISO
Europe 'D'	Spain	ISO
Domestic 'A'	In-cheon	ISO
Domestic 'B'	Dae-gu	ISO
Domestic 'C'	Gok-sung	ISO

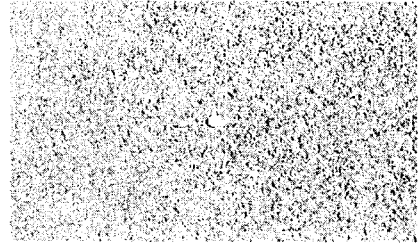


(a)

Domestic 'A'



(b) Domestic 'B'



(c) Domestic 'C'

Fig. 1 Test road surface

Table 2 ISO 10844 limits for test items

Items	ISO 10844 Limit
Air void contents	< Max. 10% < Average 8%
Sound absorption	< 10%
Texture depth	≥ 0.4mm
Proportion of aggregate	Mass of stone(S≥2mm):50.5%±5 Mass of sand(0.083<S<2mm):40.2%±5 Mass of filler(S>0.083mm):9.3%±2

2.2 측정장치 및 타이어

본 연구에서 타행소음은 2001/43/EC 규정[4]에 의하여 측정하였다. Table 3은 측정에 사용된 타이어 종류 및 규격을 나타냈다. 시험타이어는 5종류의 유럽형 패턴 타이어 및 1종류의 패턴이 없는 타이어를 사용하였다.

Table 4는 측정 시 사용된 측정장비의 종류를 나타냈다. 소음계는 피스톤폰(piston phone)을 이용하여 보정하였고, 2개의 소음계는 차량이 주행하는 중심선으로부터 7.5m 떨어진 위치에서 높이 1.2m인 곳에 설치하였다.(Fig. 2) 대기온도 및 풍속은 노면으로부터 1.2m 높이에서 측정하였으며, 노면온도는 햇빛이 직접적으로 받지 않는 노면상에서 측정하였다. 시험결과의 신뢰성을 위해 대기온도는 5°C~50°C, 풍속은 5m/s 이하, 압소음은 측정치대비 10dB(A) 이하의 시험결과를 유효한 결과로 기록하였다.

Table 3 Test tire

Size	Pattern type	
175/70R13	Europe 'A'	Europe 'B'
195/65R15	Europe 'C'	Europe 'D'
205/55R15	Europe 'E'	
205/60R15	Plained	

Table 4 Measurement Instruments

Instruments	Model	Usage
Sound level meter & microphone	B&K 2236	- Noise measurement - Time: F-character - Frequency: A-character.
Pistone phone	B&K 4220	- Calibration of SLM' - 94dB(A) at 1kHz
Speedmeter	-	- Measurement of vehicle speed
Temperature sensor & wind measurement device	-	- Measurement of meteorological conditions

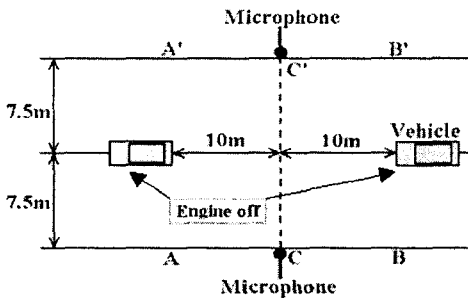


Fig. 2 Schematic diagram of pass-by-noise test

2.3 측정방법 및 조건

Fig. 2에 나타난 바와 같이 차량의 중심이 도로의 중심선을 따라 직진주행을 하고, 차량의 앞부분이 AA'에 닿았을 때 기어를 중립으로 하고, 엔진을 끈 상태로 타행주행을 한다. 차량이 AA'~BB' 구간을 주행할 때의 속도, 온도, 소음계의 피크레벨을 기록한다.

승용차 타이어의 경우는 AA'~BB' 구간에서의 속도가 70~90km/h 사이에 있도록 하며, 80km/h 이하 속도에서 최소 4회, 80km/h 이상의 속도에서 최소 4회 이상 측정하였다. 각 규격에 대한 공기압 및 하중조건은 ECE 규정에 준하여 적용하였으며, Table 5는 시험타이어에 대한 ECE 조건을 나타낸다.

Table 6은 시험에 사용된 차량으로 각 시험노면의 지역에서 13"와 15"를 취부할 수 있으며, 시험하

중에 근접한 중량의 차량을 선정하였다.

Table 5 Pass-by-noise test condition in ECE regulations

Size	Load (kg)	Pressure (kg/cm ²)
175/70R13	333~380	1.6~2.1
195/65R15	431~492	
205/65R15	543~620	

Table 6 Test vehicles

Test road	Test vehicle	
	13"	15"
Europe 'A'	VW Golf	BMW 3181
Europe 'B'	Vauxhall Corsa	VW Golf
Europe 'C'	VW Polo	VW Golf
Europe 'D'	VW Polo	VW Golf
Domestic 'A'	VERNA	EF-SONATA
Domestic 'B'	VERNA	EF-SONATA
Domestic 'C'	VERNA	EF-SONATA

3. 측정결과 및 분석

3.1 측정결과

본 연구에서는 타이어 타행소음을 산출하기 위해 2001/43/ECE에 정의된 바와 같이 80km/h 속도에서의 회귀분석을 수행하였고, 온도보정식을 이용하여 보정하였다.

회귀해석에 의한 소음레벨은 아래와 같이 표현된다.

$$L_R = \bar{L} - a \cdot \bar{v} \quad (1)$$

이고,
$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (2)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n v_i \quad (3)$$

$$a = \frac{\sum_{i=0}^n (v_i - \bar{v})(L_i - \bar{L})}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (4)$$

여기서, n 은 측정횟수

$$v_i \text{는 속도의 로그값(= } \log(v_i / v_{ref}))$$

$$v_{ref} = 80 \text{ km/h}$$

이다. 그리고 노면 온도에 따른 온도보정식은 다음과 같다.

$$L_R(\theta_{ref}) = L_R(\theta) + K(\theta_{ref} - \theta) \quad (5)$$

여기서 θ 는 노면온도, $\theta_{ref}=20^{\circ}\text{C}$ 이다. (5)식에서 승용차 타이어에 대한 K 값은 다음과 같다.

$$K = -0.03\text{dB(A)}/^{\circ}\text{C} \quad \text{for } \theta > \theta_{ref}$$

$$K = -0.06\text{dB(A)}/^{\circ}\text{C} \quad \text{for } \theta < \theta_{ref}$$

Table 6은 7종류의 노면에 대해 시험타이어의 시험결과 및 타이어의 소음레벨을 나타내었다.

Table 6-1 Pass by noise on Europe road surface (unit : dB(A))

Table 6-2 Pass-by-noise on domestic road

Tire	Road surface in europe			
	'A'	'B'	'C'	'D'
175/70R13 'A'	69.6	73.2	70.7	72.6
175/70R13 'B'	71.3	74.1	71.1	72.7
195/65R15 'C'	70.4	74.2	70.5	72.4
195/65R15 'D'	71.7	76.7	70.9	74.7
205/55R15 'E'	70.5	74.9	70.1	74.3
205/60R15 'F'	66.8	71.5	66.6	71.3

surfaces

(unit : dB(A))

3.2 결과분석

Tire	Road surface in domestic		
	'A'	'B'	'C'
175/70R13 'A'	73.0	71.2	-
175/70R13 'B'	-	-	-
195/65R15 'C'	73.1	70.9	69.9
195/65R15 'D'	-	-	-
205/55R15 'E'	75.2	71.4	69.2
205/60R15 'F'	71.7	68.2	66.5

(1) 규격별 소음변화

Fig. 3-1, 3-2에서 보는 바와 같이 각 노면에 따른 타행소음의 편차는 있으나, 규격변화에 따른 타행소음의 경향성은 동일한 것으로 나타났다.

또한, 타이어 단면폭이 증가할수록 타행소음은 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. (Fig. 3-3) 그리고 A, B 패턴은 소형차량에 일반적으로 적용되는 패턴(middle performance pattern), C, D 패턴은 중/대형급 차량에 적용중인 고성능 패턴(high performance pattern), E 패턴은 고속주행용 방향성 패턴(directional pattern), F 패턴은 무패턴(plain PTN)이다. 이중 무패턴인 F의 경우 가장 낮은 값을 보이고 있고 패턴별로 타행소음량이 편차를 보이고 있어 타행소음에 대해 타이어 인자 중 패턴의 영향이 가장 크게 작용하고 있음을 알 수

있다.

Fig. 3-1 Pass-by-noise on the Europe road

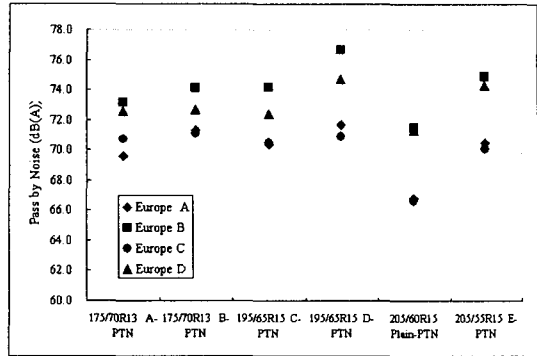


Fig. 3-2 Pass-by-Noise on

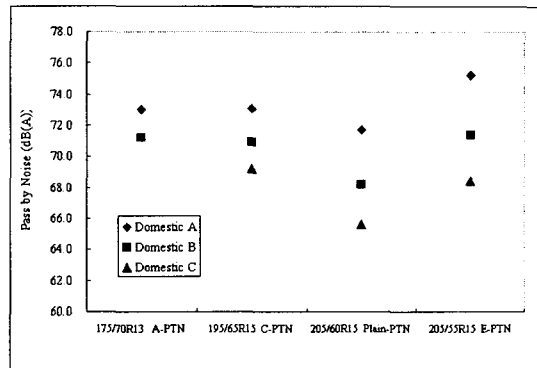
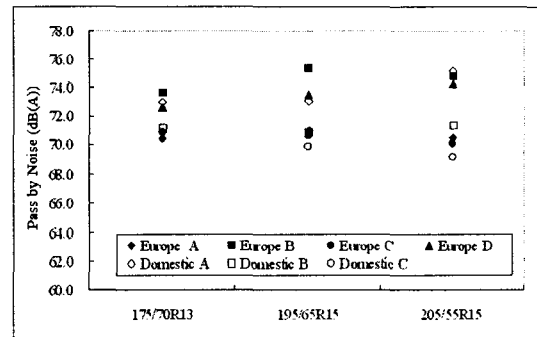


Fig. 3-3 Pass-by-noise according to tire size



(2) 노면간 소음변화

Table 7에서는 노면변화에 따른 타행소음의 편차를 보이고 있다. 평가노면 변화에 따라 최대 6.0dB(A)까지 편차가 나타나고 있는데, 이는 평가노면의 공극율, 흡음율 등 노면의 특성변화에 따른 요인이라 분석된다.

타이어 패턴과 노면의 변화에 따른 타행소음의

영향도를 고려하면 패턴 및 규격변화에 따라 각 노면별 0.5~3.5dB(A)의 편차를 가지고 있으며(Table 8), 노면변화에 따라서는 3.0~6.0dB(A)의 편차를 보이고 있다. 이로부터 타행소음에 대한 가장 큰 영향인자는 노면임을 알 수 있다.

Table 7 Data summary by tires and site type

Size	175/70R13		1795/65R15		205/55	205/60	
	A	B	C	D	R15	R15	
PTN					E	F	
All Site	Avg.	71.7	72.3	71.6	73.5	72.2	68.9
	Max.	73.2	74.1	74.2	76.7	75.2	71.7
	Min.	69.6	71.1	69.9	70.9	69.2	66.5
	Diff.	3.6	3.0	4.3	5.8	6.0	5.2
	S.D.	1.4	1.4	1.6	2.7	2.5	2.5

Table 8 Data summary by tire size and pattern

Test Tire	Test Road			
	Europe A	Europe B	Europe C	Europe D
175/70R13 A-ver.	69.6	73.2	70.7	72.6
175/70R13 B-ver.	71.3	74.1	71.1	72.7
195/65R15 C-ver.	70.4	74.2	70.5	72.4
195/65R15 D-ver.	71.7	76.7	70.9	74.7
205/55R15 E-ver.	70.5	74.9	70.1	74.3
AVG.	70.7	74.6	70.7	73.3
Max.	71.7	76.7	71.1	74.7
Min.	69.6	73.2	70.1	72.4
Diff.	2.1	3.5	1.0	2.3

Test Tire	Test Road		
	Domestic A	Domestic B	Domestic C
175/70R13 A-ver.	73.0	71.2	-
175/70R13 B-ver.	-	-	-
195/65R15 C-ver.	73.1	70.9	69.9
195/65R15 D-ver.	-	-	-
205/55R15 E-ver.	75.2	71.4	69.2
AVG.	73.8	71.2	69.6
Max.	75.2	71.4	69.9
Min.	73.0	70.9	69.2
Diff.	2.2	0.5	0.7

(3) 노면간 타행소음의 편차

Table 9는 Europe 'A' 시험노면을 기준으로 각 노면사이의 타행소음 편차를 나타낸다.

Europe 'A' 노면 대비 가장 높은 값을 보이는 노면은 Europe 'B' 노면이며, 가장 낮은 값은 Domestic 'C' 노면으로 파악된다. 따라서 Europe 'B' 노면과

Domestic 'C' 노면 사이의 타행소음은 평균 4.8dB(A)의 차이를 가질 수 있다. 현재 유럽연합의 소음규제 규정에서 타행소음량 결정 시, 최종 온도보정값으로부터 소수점 이하는 무시하고, 측정장비의 오차를 1dB(A) 고려하고 있음을 볼 때, 노면에 대한 영향은 무시할 수 없음을 알 수 있다.

또한 Table 9에 나타난 노면 사이의 편차로부터 각 노면에서의 타행소음량을 예측할 수 있었다.

Table 10은 Europe 'A' 노면을 기준으로 결정한 노면편차로부터 예측된 타행소음량과 실제 측정된 타행소음량 사이의 오차를 나타내고 있다. 오차는 평균 0.9dB(A)로서 측정오차인 1dB(A) 이내에 속하므로 각 노면에서의 타행소음량을 오차범위 이내로 산출할 수 있었다.

Table 9 Differences between test roads

(unit : dB(A))

Test Tire	Differences between Test Road (for Europe A Road)						
	Europe A	Europe B	Europe C	Europe D	Domestic A	Domestic B	Domestic C
	175/70R13 A-ver.	0.0	3.6	1.1	3.0	3.4	1.6
175/70R13 B-ver.	0.0	2.8	-0.2	1.4	-	-	-
195/65R15 C-ver.	0.0	3.8	0.1	2.0	2.7	0.5	-0.5
195/65R15 D-ver.	0.0	5.0	-0.8	3.0	-	-	-
205/55R15 E-ver.	0.0	4.4	-0.4	3.8	4.7	0.9	-1.3
205/55R15 F-ver.	0.0	4.7	-0.2	4.5	4.9	1.4	-0.3
Average	0.0	4.1	-0.1	3.0	3.9	1.1	-0.7
S.D.	0.0	0.8	0.6	1.1	1.1	0.5	0.5

Table 10 The errors between experimental and estimated data

(unit : dB(A))

Test Tire	Test Road			
	Europe A	Europe B	Europe C	Europe D
175/70R13 A-ver.	0.0	0.5	1.2	0.0
175/70R13 B-ver.	0.0	1.3	0.1	1.6
195/65R15 C-ver.	0.0	0.3	0.2	1.0
195/65R15 D-ver.	0.0	0.9	0.7	0.0
205/55R15 E-ver.	0.0	0.3	0.3	0.8
205/55R15 F-ver.	0.0	0.6	0.1	1.5
AVG.	0.0	0.7	0.4	0.8

Test Tire	Test Road		
	Domestic A	Domestic B	Domestic C
175/70R13 A-ver.	0.5	0.5	-
175/70R13 B-ver.	-	-	-
195/65R15 C-ver.	1.2	0.6	0.2
195/65R15 D-ver.	-	-	-
205/55R15 E-ver.	0.8	0.2	0.6
205/55R15 F-ver.	1.0	0.3	0.4
AVG.	0.9	0.4	0.4

4. 결론

노면변화에 따른 타이어의 타행소음 변화에 대한 실험 결과 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 가. 타이어 단면폭이 증가하수록 타행소음은 증가함을 볼 수 있었으며, 패턴과 노면변화에 따라 차이를 보였다.
- 나. Pass-by-noise에 영향을 미치는 인자의 영향도는 노면, 패턴, 타이어 규격 순으로 나타났다.
- 다. 동일 타이어에 대해 여러 가지 노면에서의 타이어 타행소음 측정결과, ISO 인증노면일지라

도 노면변화에 따라 최대 6dB(A)의 편차를 보였으며, 이는 평가 노면의 공극율, 흡음율 등 노면의 특성변화에 기인된 결과이다.

- 라. 노면간의 타행소음 편차로부터 각 노면사이의 타행소음량을 산출할 수 있었으며, 이는 실험시 측정장비의 오차범위 이내로 산출되었다.

참 고 문 헌

- (1) Brussels, Nov. 1996, "Future Noise Policy by European Commission Green Paper"
- (2) Richard, F. S., 1995, "SAE and ISO Noise Test Site Variability", SAE Paper No. 951361.
- (3) Osman, M. M., May, D. N., "Relative Influence of Pavement Texture and Tire type on Pavement/Tire Noise", SAE Paper No. 800282.
- (4) European Community, Tyre/Road Noise Emission, Directive 2001/43/EC L211/33~L211/46.