

고속도로 영업소 광장의 럼블스트립 관련 소음평가

Noise Evaluation of the Rumble Strips Constructed at Tall Gate of Highway

이재준 Lee, JaeJun
 문성호 Mun, Sungho
 안덕순 An, Deok-Soon
 권수안 Kwon, Soo-Ahn

정회원 · 전북대학교 토목공학과 조교수 (E-mail: lee2012@jbnu.ac.kr)
 정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학부 조교수 · 교신저자 (E-mail: smun@seoultech.ac.kr)
 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학석사 (E-mail: dsan@kict.re.kr)
 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 · 공학박사 (E-mail: sakwon@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study evaluated a measuring technique for tire-pavement interaction noise that uses a noble close proximity (NCPX) method as well as for noise level measured inside of a car (e.g., Inside Noise Level) in term of rumble strips constructed at a tall gate.

METHODS : According to the measurements of NCPX and inside noise level (INL), 1/3 octave band frequency analysis and overall noise level calculation were conducted in order to evaluate noise levels of NCPX and INL, depending on types of rumble strips.

RESULTS : The tested sections of general concrete pavement surface and two different types of rumble strips were evaluated, using 1/3 octave band frequency analysis and overall noise level. From the analyzed results, it can be concluded that rumble strips generate a relatively huge noise levels when compared to the concrete pavement surface.

CONCLUSIONS : Noting that above 3 dBA different noise levels can let drivers know that they are getting close to toll gate; therefore, they should apply their brakes. Thus, the noise levels of rumble strips are required to be reduced, based on considering the neighbors living near toll gates.

Keywords

noble close proximity, tire-pavement noise, inside noise level, rumble strip

Corresponding Author : Mun, Sungho, Assistant Professor
 Department of Civil Engineering, Seoul National University of
 Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea
 Tel : +82.2.970.9014 Fax : +82.2.948.0043
 email : smun@seoultech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
 ISSN 1738-7159 (Print)
 ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

고속도로 영업소 진입구간에 속도를 줄이도록 유도하기 위하여 횡방향 럼블스트립(Rumble Strip)이 설치되어 있다. 이는 횡방향 럼블스트립 구간을 통과할 때 일반적인 포장보다 외부에서 유입되는 소음레벨을 크게 함으로써 차량이 영업소에 근접하고 있음을 운전자에게 알려주는 기능적 역할을 한다. 그러나 이러한

큰 소음레벨은 인근주민들에게는 원하지 않는 소음으로서 정신적으로 피해를 주는 주된 원인으로서 작용한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 불암산 톨게이트를 대상으로 두 가지 형태의 럼블스트립에 대해 차량의 타이어와 포장면의 상호작용에 의해 발생하는 소음과 더불어 차량내부에서 측정된 소음을 분석하고자 한다.

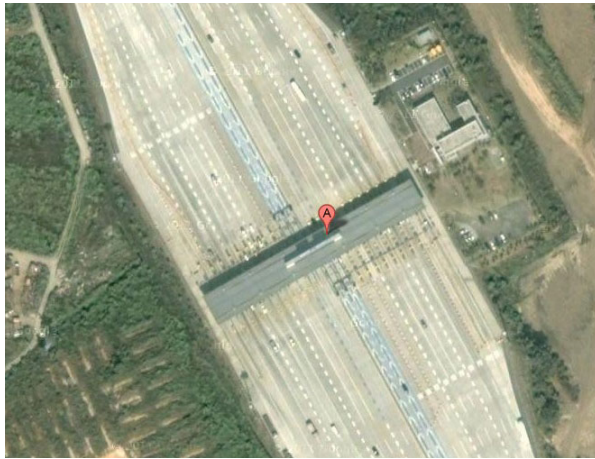


Fig. 1 Toll Gate of Bullam Mountain
(Source : Google Map)

Fig. 2는 퇴계원(Direction 1) 및 의정부 방향(Direction 2)에 대해 림블스트립 종류에 따른 상세도를 보여 주고 있다. 상세도 형식에 있어서는 A 및 B의 형식(Detail A and Detail B)은 같은 형식으로서 횡방향 홈의 폭이 100mm이고 깊이는 10mm이다. 형식 C(Detail C)의 경우는 형식 A 및 B와 같이 홈의 폭 및 깊이는 같지만 간격이 Fig. 2에서 보이는 것처럼 처음

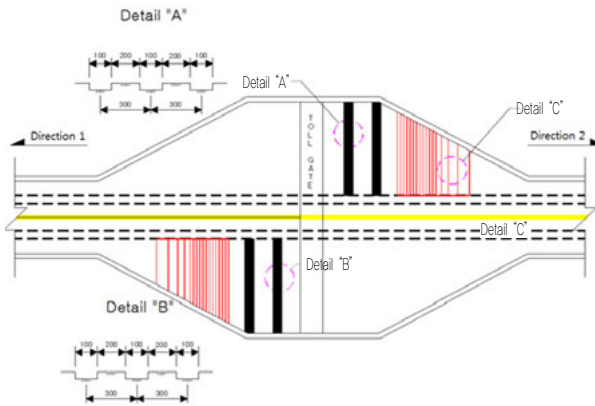


Fig. 2 Types of Rumble Strips

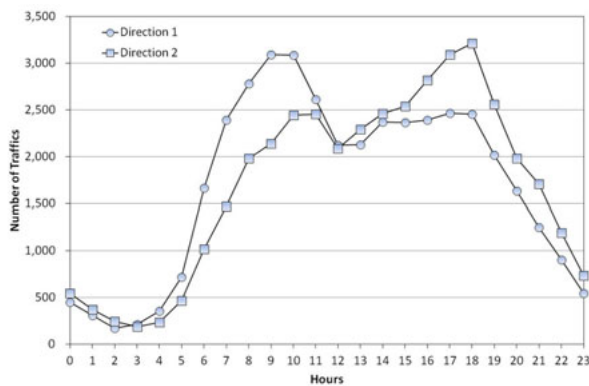


Fig. 3 Number of Traffic at Different Hours
(Toll Gate Report of Bulam Mountain, 2012)

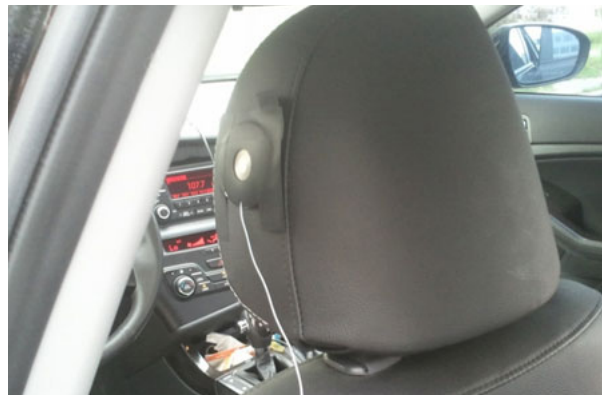
진입부에는 간격이 넓고 톨게이트 쪽으로 접근하면서 폭이 좁아져 일정한 폭으로 설치된 림블스트립 형태이다. 불암산 톨게이트의 시간대별 교통량은 Fig. 3과 같고 각각의 방향에서 연평균 일교통량은 40,000대 이다 (불암산 톨게이트 영업소, 2012). Fig. 3에서 보는 바와 같이 오전시간대인 06시에서 12시까지는 퇴계원 방향의 교통량이 많고 오후시간대인 16시에서 20시까지는 의정부 방향의 교통량이 많음을 알 수 있다.

2. 측정방법 및 절차

소음측정에 사용된 측정방법은 두 가지로 구분될 수 있는데 첫 번째로는 Noble CPX-method (NCPX)으로 차량의 타이어와 포장표면에서 발생하는 소음으로서 타이어 마찰음을 측정하는 것이고, 두 번째로는 차량의 내부소음을 측정하기 위하여 표면마이크로폰을 운전석 의자에서 창가 쪽으로 부착하여 측정하였다. 측정위치는 Fig. 4와 같다. NCPX 방법은 여러 논문게제를 통해 검증받은 방법(Mun et al., 2007; Cho and Mun, 2008a, 2008b, 2008c; Mun and Cho, 2009; 이상염 외, 2012)으로 자세한 내용은 참고문헌에서 알 수 있다.



(a) NCPX



(b) Inside Noise Measurement

Fig. 4 Noise Measurements

타이어 마찰음 및 실내 소음측정에 있어서는 주파수별 A-가중치에 근거한 소음레벨이 측정되었으며 1/3 옥타브밴드 주파수 영역에서의 소음레벨을 비교하였으며 또한 다음의 Eq. (1)에 근거한 총 음합레벨값을 계산하여 비교분석하였다.

$$L_{overall} = 10 \log_{10} (10^{L_{i(1)}/10} + 10^{L_{i(2)}/10} + 10^{L_{i(3)}/10} + \dots + 10^{L_{i(n)}/10}) \quad (1)$$

여기서, $L_{overall}$ 은 총 음합레벨을 나타내며, $L_{i(1,2,3,\dots,n)}$ 는 각각의 주파수별 음합레벨을 표현한 것이다(Mun et al., 2007).

측정에 있어서 절차는 Fig. 5와 같이 승용차(차종: Kia K5)를 60km/h의 일정한 속도로 퇴계원 방향(Direction 1) 및 의정부 방향(Direction 2)에 대해 각각 2회씩 통행하여 타이어 마찰음을 측정하였다. Fig. 5에서 1 구간부터 5 구간에 대한 위치는 Fig. 2에서의 각각의 방향에 있어 1 구간은 림블스트립 구간이 아닌 일반콘크리트 포장구간이며, 2 구간은 Fig. 2

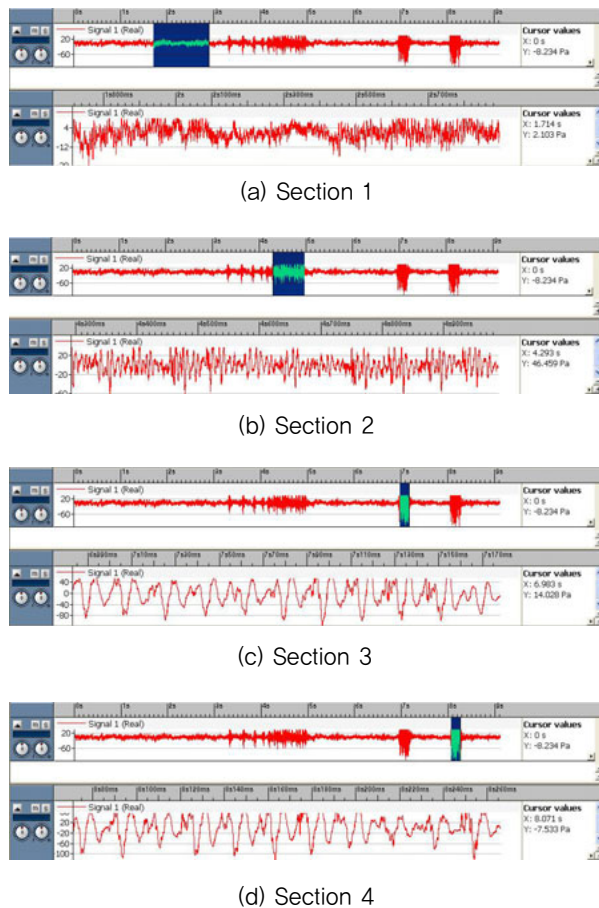


Fig. 5 Law Data of NCPX

에서의 Detail C에 해당되는 구간이며, 구간 3 및 4는 Detail A 및 B 형태의 림블스트립 구간으로 구간 2는 각각의 진행방향에서 첫 번째로 충격이 가해지는 림블스트립 구간이고 구간 3 및 4는 같은 형식으로서 진행해오는 차량에 충격이 가해지는 림블스트립 구간을 말한다.

따라서 이들 원시데이터를 이용하여 1/3 옥타브밴드 주파수 분석과 더불어 총 음합레벨을 산정하였다. 내부 소음측정에 있어서도 이와 같은 방법으로 원시데이터를 이용한 소음분석의 후처리를 수행하였다.

3. 소음측정 결과 분석

위에서 언급한 방법의 절차에 따라 Fig. 6에서 Fig. 9까지의 1/3 옥타브밴드 주파수에 대한 소음레벨을 측정하였다. 소음측정은 2012년 5월 22일 및 7월 3일에 실시하였다. Fig. 6에서 Fig. 9까지의 측정위치는 각각 1 구간에서 4 구간까지의 결과이다. Figure에서 표기된 Direction 1은 퇴계원 방향을 의미하고 Direction 2는 의정부 방향을 의미한다. 그리고 각각의 진행방향에 대한 2회 측정에 따른 결과를 분석하고자 평균값을 이용하였다.

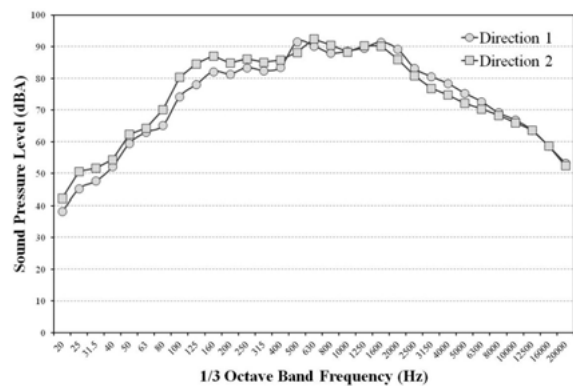


Fig. 6 NCPX Result of Section 1

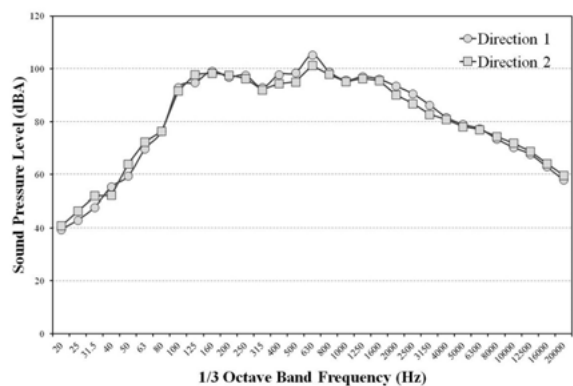


Fig. 7 NCPX Result of Section 2

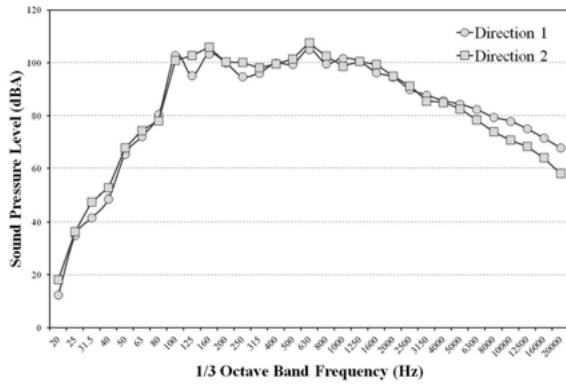


Fig. 8 NCPX Result of Section 3

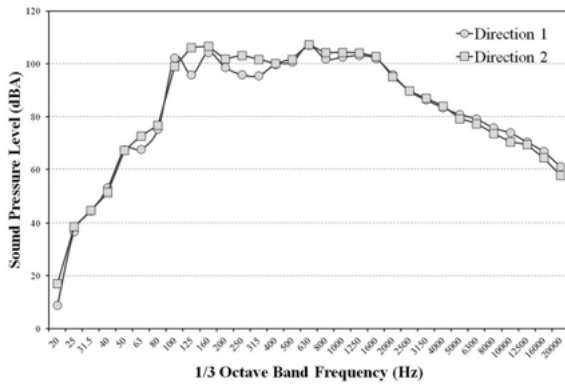


Fig. 9 NCPX Result of Section 4

구간별 비교를 위해서 Fig. 10과 같이 구간별 1/3옥타브 주파수에 대한 소음레벨을 분석하였다. 여기서는 두개의 진행방향에 대해 평균값을 이용하여 분석하였으며 Fig. 10에서 보는 바와 같이 럼블스트립 구간인 2, 3, 4는 일반포장 구간인 1과 비교 시 50Hz 이상에서 큰 값들을 보여 주고 있다. 그리고 럼블스트립 구간 3, 4는 다른 구간에 비해 50Hz 이하에서는 비교적 적은 값을 보여주고 있음을 알 수 있다.

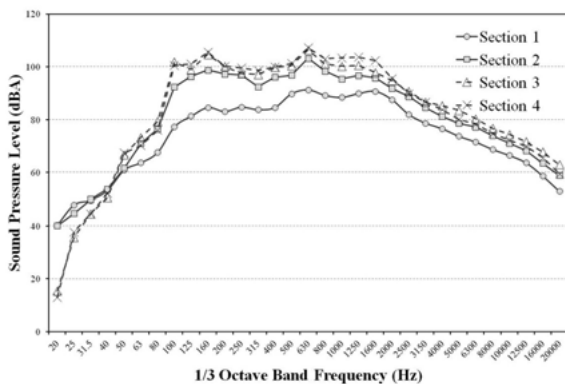


Fig. 10 Comparison Plot of NCPX Results

Fig. 10의 1/3 옥타브밴드 주파수에서 총 음합레벨

을 Eq. (1)에 근거하여 다음의 Table 1과 같이 계산하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 각각의 진행방향에 대한 값 및 평균값을 보여주고 있다. 3 및 4구간의 경우는 같은 형태의 럼블스트립임으로서 차이가 거의 없으며 사람이 구별할 수 있는 차이의 값인 3dBA보다 적음을 알 수 있다. 일반 콘크리트포장인 1 구간과 최대의 값을 가지는 4구간의 럼블스트립과의 차이는 14.8dBA로 큰 값의 차이를 보여주고 있다. 2구간의 경우 럼블스트립의 홈 깊이와 폭은 3 및 4구간의 경우와 같으나 간격이 넓은 형태에 따른 소음저감을 보여주고 있으며 그 차이는 5.3dBA로 충분히 사람이 감지할 수 있는 차이이다.

Table 1. Overall Noise Levels of NCPX Depending on Directions and Sections

Direction	Direction 1	Direction 2	Average	Noise Level Difference against Maximum Level
Section 1	99.2dBA	99.7dBA	99.5dBA	14.8dBA
Section 2	109.9dBA	108.1dBA	109.0dBA	5.3dBA
Section 3	112.0dBA	113.6dBA	112.8dBA	1.5dBA
Section 4	113.3dBA	115.2dBA	114.3dBA	0dBA

차량 내부의 소음측정에 있어서도 각각의 구간에 있어 2회에 걸쳐 측정된 후 산술평균을 이용하여 주파수별로 해당되는 크기를 구하였고, 측정된 데이터에 대한 결과로서는 Fig. 11에서 Fig. 14까지 각각의 구간에 대해 퇴계원 방향(Direction 1) 및 의정부 방향(Direction 2)에 따른 내부소음 측정결과를 1/3옥타브밴드 주파수에 해당되는 음압레벨로 구하였다.

Fig. 11의 경우는 구간 1에 해당되며 방향에 따른 측정값의 차이가 1.6kHz 이후에서 발생함을 볼 수 있다. 이를 제외하고는 비슷한 형태의 소음레벨을 보여 주고 있다. 다른 구간인 2, 3 및 4에 있어서는 방향에 따른 측정값의 차이가 거의 없음을 Fig. 12, 13 및 14에서 각각 보여주고 있다. 차량 내부의 소음측정에서 구간별 비교를 위하여 두 방향에 대한 결과값에 대한 평균을 구하여 Fig. 15와 같이 비교하였다. 크기의 순서로서는 구간 3 및 4가 가장 크게 소음이 내부에 전달되었고 다음으로 구간 2이며 가장 적은 내부소음 구간은 1이다. 특히 구간 3 및 4에서는 1kHz 이후에 내부소음의 값이 크게 나타남으로서 고주파수 영역의 전역에서 소음레벨이 큼을 알 수 있다.

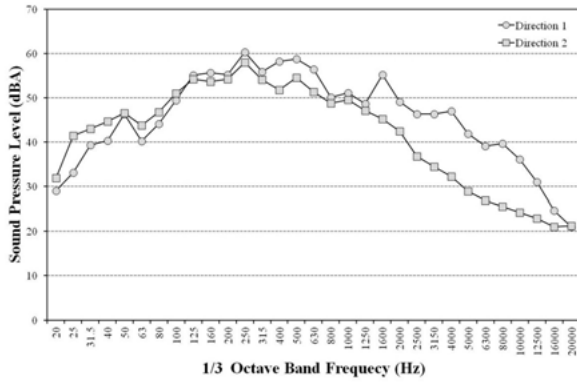


Fig. 11 Inside Noise Level of Section 1

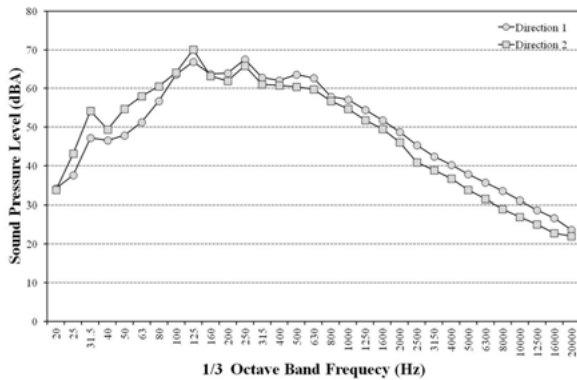


Fig. 12 Inside Noise Level of Section 2

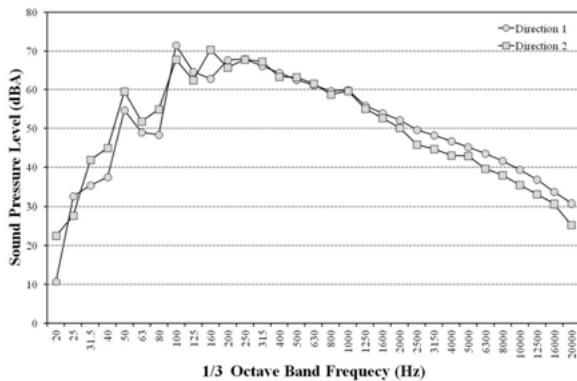


Fig. 13 Inside Noise Level of Section 3

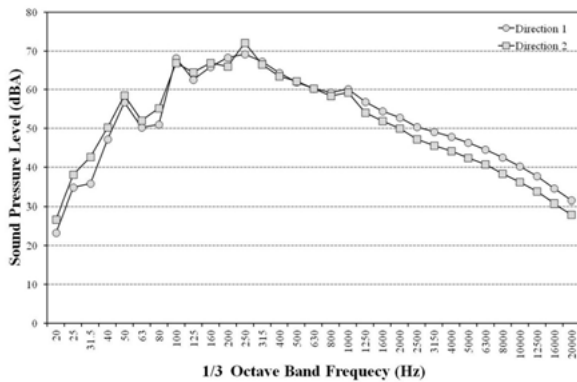


Fig. 14 Inside Noise Level of Section 4

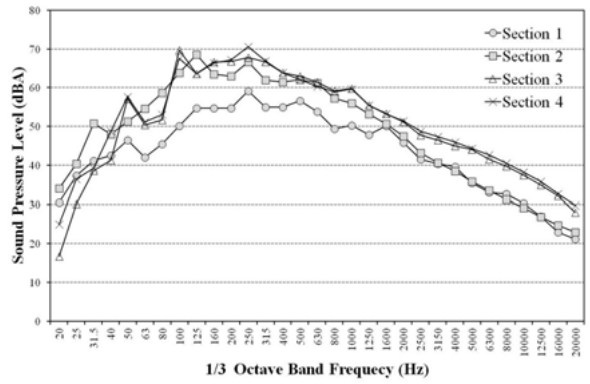


Fig. 15 Comparison Plot of Inside Noise Levels

내부소음 역시 NCPX 방법과 마찬가지로 Eq. (1)에 근거한 총 음압레벨을 Table 2와 같이 구하였다. 위에서 언급한 것처럼 도로 운전자가 고속도로 영업소에 진입할 때 속도를 줄이게 하기 위해 경고의 기능적 역할을 하는 럼블스트립으로서 그 구간에서 사람이 차이를 인지할 수 있는 3dBA 보다 크게 들려야 한다. Table 2의 근거에 따르면 일반 콘크리트포장의 타이어 마찰음을 통해 내부에 전달되는 소음은 65.9dBA이다. 그러나 구간 2, 3 및 4를 통과할 때는 74.5dBA 이상 소음이 내부로 전달됨에 따라 충분히 경고의 역할을 하고 있다. 그러나 전달되는 소음이 70dBA 이상임에 따라 내부에도 상당히 소음에 따른 충격이 귀에 가해짐을 알 수 있다. 따라서 구간 3 및 4의 경우 NCPX 및 내부소음 관점에서 다른 형식보다 큰 소음원이 발생하여 차량내부로 전달되고 또한 인근 지역에도 소음이 전달됨을 알 수 있다.

Table 2. Overall Noise Levels Inside the Car, Depending on Directions and Sections

Direction \ Section	Direction 1	Direction 2	Average	Noise Level Difference against Maximum Level
Section 1	67,3dBA	64,5dBA	65,9dBA	10,6dBA
Section 2	74,5dBA	74,5dBA	74,5dBA	2dBA
Section 3	76,5dBA	76,4dBA	76,5dBA	0dBA
Section 4	76,3dBA	76,6dBA	76,5dBA	0dBA

4. 결론

고속도로 영업소로 진입함에 따라 속도를 줄이도록 유도하기 위해 설치되는 럼블스트립에 있어 소음관점에서 발생하는 소음레벨을 NCPX 및 내부소음측정 방법

을 통해 측정하였다. 후처리에 있어서는 1/3옥타브 밴드 주파수에 대한 해석과 더불어 총 음합레벨을 계산하여 그 크기를 구하였다. 결과적으로 일반적인 포장에서 주행을 하다가 속도를 줄이도록 유도하기 위해 소음차이를 두는 점에 있어서는 크기는 10.6dBA 차이로 내부에 소음이 전달됨을 알 수 있었다. 따라서 외부로 전달되는 소음을 줄이기 위해서는 향후 림블스트립의 형식을 바꿀 필요가 있으며 림블스트립 형태의 설계에 있어서는 내부소음으로 5~6dBA 차이로 경고해주는 림블스트립이 적당하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업인 “도로소음모델링 및 도로환경별 소음저감 기술”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Cho, D-S., and Mun, S. (2008a) “Determination of the sound power levels emitted by various vehicles using a novel testing method”. *Applied Acoustics*, Vol. 69. pp. 185-195.

Cho, D-S., and Mun, S. (2008b) “Study to analyze the effects of vehicles and pavement surface types on noise”. *Applied Acoustics*, Vol. 69. pp.833-843.

Cho, D-S., and Mun, S. (2008c) “Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types”. *Applied Acoustics*, Vol. 69. pp. 1120-1128.

Lee, S., Jin, J., Mun, S., and Moon, H-R. (2012) “Study on the Noise Characteristics of Bridge Deck Pavements in Seoul inner Ring Road”, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 14(2). pp. 19-28.

(이상염, 진정훈, 문성호, 문학룡 (2012), “서울시 내부순환도로 교면포장 형식에 따른 소음특성 연구,” *한국도로학회 논문집*, 14(2), 19-28)

Mun, S., Cho, D-S., and Choi, T-M. (2007) “Influence of pavement surface noise: the Korea Highway Corporation test road”. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 34. pp. 809-816.

Mun, S., and Cho, D-S. (2009) “Noise measuring technique and field evaluation based on the effects of vehicles and pavement types”. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 36. pp. 1816-1824.

Toll Gate Report of Bulam Mountain. (2012) “*Toll Gate Report of Bulam Mountain*”. Private Investment Corporation of Highway. (접수일 : 2012. 9. 7 / 심사일 : 2012. 9. 9 / 심사완료일 : 2012. 9. 28)