

고속도로 영업소 광장의 횡방향 럼블스트립으로 발생하는 소음 조사

A Noise Investigation of Transverse Rumble Strip at Toll Plaza of Highway

안 덕 순 An, Deok-Soon
서 영 찬 Suh, Young-Chan
권 수 안 Kwon, Soo-Ahn
이 재 준 Lee, JaeJun
엄 병 식 Eom, Byeong-Sik

정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 (E-mail: dsan@kict.re.kr)
정회원 · 한양대학교 교통 · 물류학과 교수 (E-mail: suhyc@hanu.ac.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail: sakwon@kict.re.kr)
정회원 · 전북대학교 토목공학과 조교수 · 교신저자 (E-mail: lee2012@jbnu.ac.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 (E-mail: bseom@jbnu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to investigate a generated traffic noise when vehicle pass over a transverse rumble strip at toll plaza of highway.

METHODS : To investigate traffic noise at toll plaza of highway, Pass-by method which is the most common used for measuring traffic noise was adopted and the traffic noise at toll plaza was measured for 10 min per hour for 1 hours(13:00~24:00).

RESULTS : The measured traffic noise by pass-by method was changed as function of the transverse rumble strip configuration. Generally, the maximum difference among three noise measurement sections was 7 dB(A). It might be related with traffic speed. Also, the measured traffic noise was strongly generated from a passenger car which was 2 axle. It means that the most of traffic noise on the road is generated at tire/pavement interface of the passenger car.

CONCLUSIONS : The traffic noise was strongly related with vehicle speed and transverse rumble strip configuration on the road. For driver safety, the transverse rumble strip is definitely necessary. However, the complaints from residents near highway was increased by traffic noise from transverse rumble strip. Therefore, To satisfy both safety and reduction of traffic noise, the development of configuration of transverse rumble strip is necessary in the further study.

Keywords

transverse rumble strip, traffic noise, pass-by method, traffic volume, traffic distribution

Corresponding Author : Lee, Jaejun, Assistant Professor
Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, 567,
Backje-doero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Korea
Tel : +82.63.270.2427 Fax : +82.63.270.2421
E-mail : lee2012@jbnu.ac.kr

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

1. 서론

도로교통소음은 교통조건과 도로조건 등에 따라 다르게 발생하며, 고속도로와 일반국도의 교통량은 매우 다르기 때문에 도로변에서의 소음 또한 다르게 발생한다. 도시화 등으로 인해 아파트 등의 주거지역이 도로변에 인접한 경우가 많아 도로 교통소음으로 인한 민원이 많이 발생하고 있다(Cho, 2010). 최근 수도권에서는 기존

고속도로 주변에 새로운 주택단지들이 개발, 공급되면서 거주민들의 교통소음관련 민원 갈등이 지속적으로 발생하고 있다. 이러한 문제가 발생되고 있는 이유로는 도로의 계획/설계 단계에서는 주변 주택지가 없기 때문에 방음관련 장치를 포함하지 않았으나, 도시로 인구가 집중되면서 도시부 간선도로(도시부 고속도로) 인접한 지역에 주거지역이 개발되면서 도로와 인접한 주거지역

주민들은 교통소음으로 인한 불쾌감, 수면방해 등으로 인하여 많은 불편을 경험하면서 지역 주민의 정상생활에 제약을 받게 된다(Kim, 2012).

도로의 개념이 변화하고 환경속에서 도로 설계 시 도로이용자의 안전과 편의를 고려한 설계 시공 관리가 진행되고 있다. 특히 도로 안전시설물 중에 졸음운전 및 부주의로 인해 발생하는 사고를 예방하기 위하여 소음이나 진동으로 운전자에게 알려주는 시설물들인 림블스트립이 설치되고 있다. 이러한 림블스트립 시공에 따른 교통사고 감소에 관한 조사도 시행되었다(Oh, 2010, Ruy 2009).

림블스트립의 설치 전후의 교통사고 통계 비교와 림블스트립의 설치 지점의 선형조건 등에 관하여 발생하는 교통사고 통계를 비교 분석한 결과, 중단선형이 하향(-)인 구간에서 림블스트립 설치효과가 우수하였으며, 평면선형상에서는 우곡선구간에 설치하는 것이 효과적임을 발견하였다. 설치길이가 작아도 교통사고 감소의 유의성이 높은 결과를 도출하였다(Oh, 2010). 이와 같이 림블스트립은 운전자의 안전과 교통사고 감소를 위해서 중요한 교통안전시설물임은 명백한 증거로 알 수 있었다. 하지만 림블스트립을 주행할 때 발생하는 교통소음의 증가가 도로주변에 거주하는 거주민들에게는 많은 불쾌감을 야기시키는 문제점이 있다.

본 연구에서는 고속도로 영업소 진입 시 차량의 속도를 저감하고, 운전자의 졸음운전을 예방하기 위하여 고속도로 영업소 진입부에 설치되어 있는 횡방향 림블스트립으로 인하여 발생하는 소음 특성을 알아보고자 한다. 현재 사용되고 있는 횡방향 림블스트립의 형상과 간격에 따른 교통소음의 특성을 찾아내는 것을 목적으로 하였다.

2. 현장조사 및 실험방법

2.1. 도로구조 및 횡방향 림블스트립 위치

대부분의 고속도로 영업소 진입로에는 운전자에게 주의를 주며, 졸음운전자들에게 소음이나 진동을 줌으로써 부주의로 발생하는 사고의 예방 목적으로 횡방향 림블스트립이 설치되어 있다. 본 연구를 수행한 서울외곽순환도로의 불암산 영업소에도 다른 영업소와 마찬가지로 횡방향 림블스트립이 설치되어 있다. 불암산 영업소 인근에는 최근 새롭게 택지개발(별내지구)이 진행되고 있다. 불암산 영업소 진입을 위한 고속도로의 본선은 4개 차로로 되어 있으며, 영업소 광장은 12개 차로(의정

부 방향 10개 차로, 별내지구 방향 2개 차로)로 구성되어 있다. Fig. 1은 불암산 영업소의 도로구조 및 차선형식, 횡방향 림블스트립(Transverse rumble strip, TRS)에 대해 자세히 설명하고 있다.

Fig. 1에서 설명하고 있는 것과 같이 양 방향(의정부 방향, 구리 방향)으로 세 종류의 횡방향 림블스트립이 설치되어 있다. A와 B구간은 3.4m 구간에 12개의 횡방향 림블스트립을 시공하였으며, C구간에서는 넓은 구간에 횡방향 림블스트립을 다양한 간격으로 설치하였다. C구간의 목적은 일차적으로 톨게이트 광장에 진입하는 운전자에게 주의와 경고를 주는 목적으로 설치되었다.

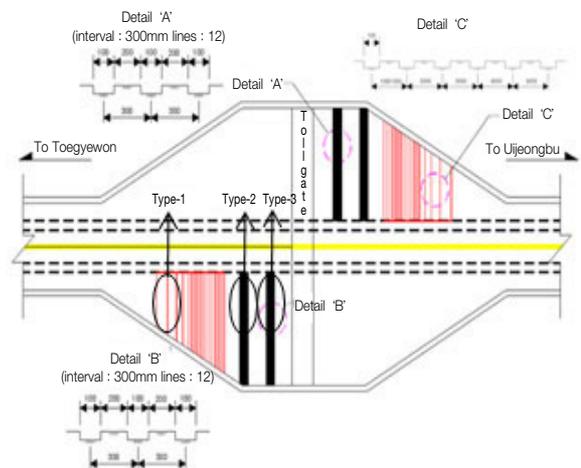


Fig. 1 Schematic Diagram of Toll Plaza

Fig. 1의 불암산 영업소 진입로에 설치된 각 횡방향 림블스트립의 현장 사진 및 형상은 Fig. 2와 같다.

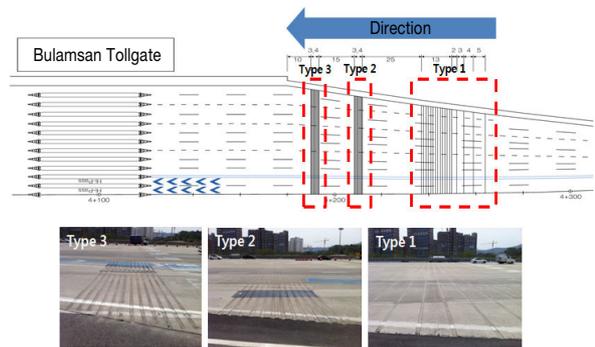


Fig. 2 Photos of TRS at Toll Plaza

2.2. 교통량 자료수집

도로교통소음은 교통량, 차종, 평균차량속도, 도로구조 등 많은 변수에 의하여 영향을 받으며, 그 중 교통량 및 차량속도가 가장 큰 변수라고 알려져 있다

(Park 2008). 본 연구에서는 조사대상지역에 대한 교통특성 분석을 위해 교통량 자료를 차종별, 시간대별로 영업소에서 수집하였다. 교통량 자료는 현장조사 일자를 고려하여 7월 총교통량, 7월 2일 일교통량 자료를 요금징수 체계에 따라 5차종으로 구분하여 수집하였다.

2.3. 소음측정

도로에서 발생하는 소음의 측정방법에는 도로포장과 타이어의 인접거리에서 발생하는 소음을 측정하는 근접 소음 측정법(Closed Proximity Method, CPX), 일정 떨어진 거리에서 발생하는 소음을 측정하는 길어깨 소음 측정법(Pass-by Method)이 있다(Kim, 2007).

현장 소음측정은 일반적인 도로소음 측정에 많이 사용하는 길어깨 소음 측정법(Pass-By Method)을 사용하여 실시하였다. 소음측정 장비는 B&K 사의 소음측정 장비(소음측정 소프트웨어 및 마이크로폰)를 사용하였으며, 소음측정을 위해 설치된 소음측정 장비의 전경은 Fig. 3과 같다.



Fig. 3 Traffic Noise Measurement System

Fig. 4는 현장조사 구간에서의 소음측정을 위한 센서 설치 및 현장조사 사진을 보여주고 있다. 소음측정 센서는 최외곽차선의 끝단으로부터 수평거리 3m 이격지점, 수직높이 표면으로부터 1.2m 지점에 설치하였다. 각 럼블스트립 형상별(Type 1, Type 2, Type 3)로 마이크로폰을 Fig. 5와 같이 설치하여 측정하였다. 측정시간은 각 럼블스트립 형상별로 측정지점에서 1시간을 주기로 10분씩 11시간(13시~24시) 동안 측정하였다.



Fig. 4 Toll Plaza Configuration

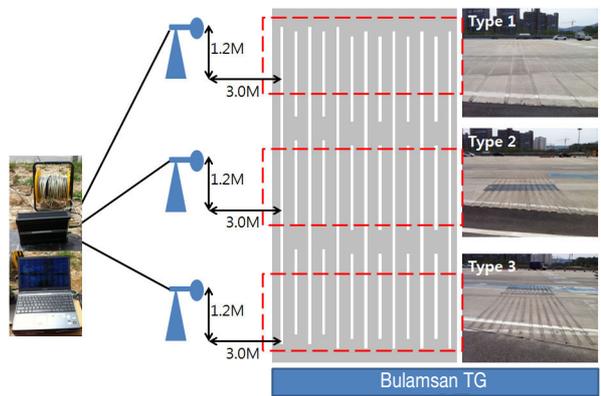


Fig. 5 Configuration of Microphone Location

2.4. 교통류 조사

고속도로 본선에서 영업소 광장으로 진입하는 교통류의 분석을 위해 이동식 교통류 검지기인 NC 97을의 정부 방향으로 설치하여 현장조사를 실시하였다. NC 97은 이동식 교통류 검지기로 컴퓨터를 이용하여 조사 시간 등을 설정한 후, 도로노면에 부착하였다가 조사시간이 종료되면 회수하는 방식으로 교통류를 조사하는 장비이다. Fig. 6은 NC 97 장비의 사진을 보여주고 있다. 본 연구에서의 조사대상 구간은 본선의 제한속도는 100km/h로 일반 고속도로의 제한속도와 비슷하다.

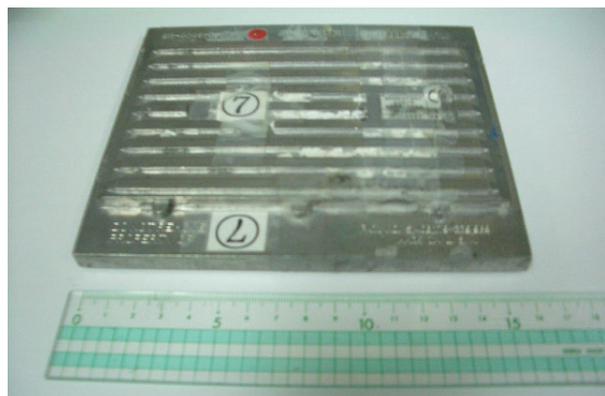


Fig. 6 Traffic Detector(NC 97)

교통류 현장조사를 위해 NC 97을 Fig. 7과 같이 본선 1개 지점과 영업소 광장 2개 지점을 선정하여 설치하였다. 본선 sta.4+700에서 영업소 광장 sta.4+200지점까지 약 500m 구간에 12개의 NC 97을 설치하여 1시간(15시~16시) 동안 현장조사를 실시하였다. 본선(sta.4+700)은 고속도로의 차로별 교통류를 파악하기 위해 각 차도에 검지기를 설치하였다. 영업소 광장은 본선에서 진입하는 교통류의 분배되는 정도를 파악하기 위하여 본선 교통류의 흐름이 영업소 광장으로 이어지는 차도를 선정하여 검지기를 설치하였으며, 보유하고

있는 검지기 및 현장 설치의 어려움으로 4개 차로를 선정하여 설치하였다. 특히, 소음의 원인으로 지목된 횡방향 럼블스트립 진입 전에 검지기를 설치하여 럼블스트립을 통과하는 교통류의 교통량 및 속도 자료를 수집하였다. 검지기로부터 수집된 자료를 분석하기 위하여 각 검지지점을 다음과 같이 정의하였다.

- ① 본선(1차로의 검지기부터 정의) : B1, B2, B3, B4
- ② 영업소 광장(1차로의 검지기부터 정의)
 - 첫 번째 검지지점(Type 1) : S1, S2, S3, S4
 - 두 번째 검지지점(Type 2) : M1, M2, M3, M4

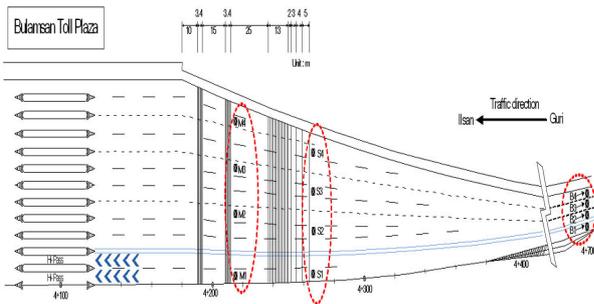


Fig. 7 Schematic Diagram of Installed NC 97

3. 자료분석 및 실험결과

3.1. 교통량 분석

현장조사를 실시한 일자를 기준으로 수집된 교통량 자료를 이용하여 차종별(5종), 시간대별로 7월의 총교통량에 대해 분석하였다. Fig. 8에서 보는 것처럼 출근 시간부터 퇴근시간까지의 시간대인 6~20시의 교통량이 각 차종별로 크게 나타났다. 야간 및 새벽시간대인 22~5시에는 4, 5종의 교통량은 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 전체 교통량 중 1종의 교통량이 90% 이상 차지하는 것을 알 수 있다.

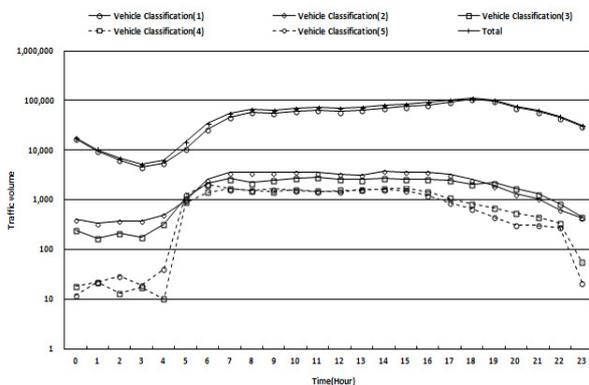


Fig. 8 Monthly Traffic Volume by Time

3.2. 교통류 분석

Table 1은 12개의 NC 97에서 각 주행차선별로 1시간동안 검지된 교통량을 나타내고 있다. 본선의 총 교통량은 2,947대로 기존 7월의 영업소에서 측정된 동시간대의 교통량인 2,934대와 거의 유사하게 나타났다. 각 조사 지점별로 1차로인 No. 1의 교통량이 크게 나타났으며, S와 M지점에서 1차로의 교통량이 매우 크게 나타났다. 이는 1차로가 하이패스 구역으로 이를 통과하는 차량이 상당히 많은 것을 알 수 있다. S와 M지점은 영업소 광장이 넓어 전 차선에 NC 97을 설치할 수 없었기 때문에 본선에서 검지된 모든 차량을 영업소 광장에서 검지할 수 없었다. 전체 지점에서 S2와 M2 지점의 교통량이 상대적으로 매우 적게 나타났으며, 이는 영업소의 운영과 연계된 것으로 판단된다.

Table 1. Status of Traffic Volume

Location		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Main Lane	Section B	B1	B2	B3	B4
	Traffic Volume	972	794	601	580
Toll Plaza	Section S	S1	S2	S3	S4
	Traffic Volume	655	16	114	102
	Section M	M1	M2	M3	M4
	Traffic Volume	657	6	196	153

Fig. 9는 조사지점별 검지된 차량의 평균 주행속도 변화를 보여주고 있다. 본선(B지점)의 통행속도가 가장 높고, 영업소 광장(S, M)에서의 속도는 점차 감소하는 것으로 나타났다. B1-S1-M1의 경우에는 하이패스 차로로 다른 지점보다 속도가 높게 나타났다. B에서의 평균속도는 약 80km/h, S 지점에서는 약 73km/h, M 지점에서는 약 56km/h를 나타냈다. 영업소로 접근할수록 속도가 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 소음발생에도 영향을 준 것으로 판단된다.

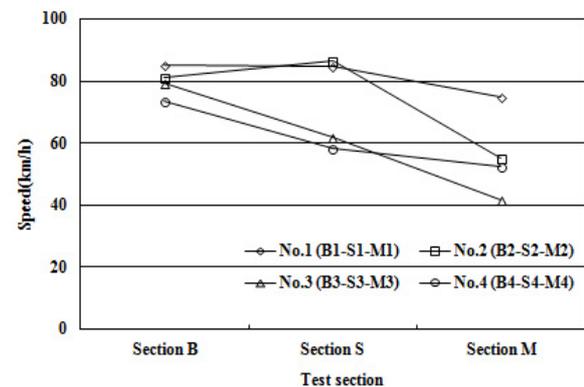


Fig. 9 Speed Change

3.3. 교통소음 분석

고속도로 영업소를 진입하면서 운전자에게 경고를 주기 위하여 3곳에 설치한 횡방향 림블스트립 구간을 차량이 주행할 때 발생하는 소음을 구간별로 시간대별 소음측정을 실시하여 Fig. 10과 같이 정리하였다.

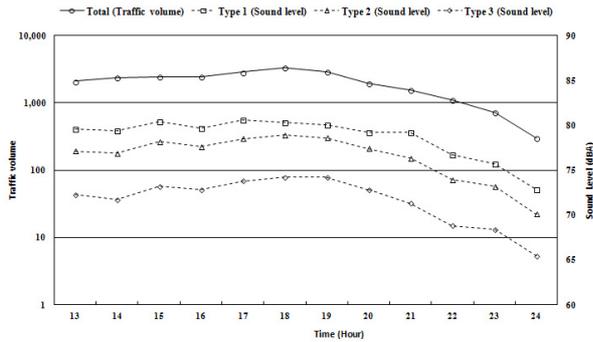


Fig. 10 Noise Characteristics as Changed Transverse Rumble Strip Configuration

Fig. 10에서 교통량과 소음 음압의 변화가 동일한 경향으로 변화함을 알 수 있었다. 구간별 교통량 변화율과 소음 음압 변화율의 기울기가 다소 차이가 있는 경향을 나타내었으나, 일반적으로 널리 알려져 있는 것과 같이 교통소음은 교통량과 밀접하다는 것을 알 수 있었다. 측정시간대인 13시에서 24시 시간대별 포장의 구간별 소음특성은 Table 2와 같은 경향을 보였다.

Table 2. Traffic Noise Result as Function of Transverse Rumble Strip Configuration(dB(A))

Time (hour)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Type 1	79.6	79.4	80.4	79.7	80.6	80.3	80.0	79.2	79.2	76.7	75.7	72.8
Type 2	77.1	76.9	78.2	77.6	78.5	78.9	78.6	77.4	76.3	73.9	73.2	70.1
Type 3	72.3	71.7	73.2	72.8	73.8	74.2	74.2	72.8	71.3	68.8	68.4	65.4

톨게이트에 가까워질수록 차량 속도가 저감되는 영향으로 인하여 Type 3 구간의 소음이 Type 2보다 낮은 소음 정도를 나타내었으며, 주행속도가 높은 구간인 Type 1이 가장 높은 음압 결과를 얻을 수 있었다. Type 2와 Type 3는 횡방향 림블스트립 형상이 동일하지만 소음의 차이는 평균 5dB(A) 변화함을 알 수 있었다. 오후 1시부터 오후 7시 이전까지는 등가소음도가 포장의 표면형상과 관계없이 일정한 등가소음도를 유지하였으며, 오후 7시 이후 부터는 등가소음도가 점

차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 보다 정확한 분석을 위해서 실제 교통량 자료를 사용하여 분석을 실시하였다. 교통량 자료는 7월 2일~3일에 불암산 영업소(구리방면)를 통과한 차량에 대해서 1종부터 5종까지 시간당 교통량을 Fig. 11과 같이 도식화하였다. Fig. 11에서 설명되고 있는 것처럼 조사구간에 대하여 주행하는 차량은 1종 차량이 지배적으로 많은 비중을 차지함을 설명해주고 있다. 또한, 교통량 자료 분석 결과 오후 1시부터 오후 7시 사이에는 교통량의 변화가 크게 나타나지 않았으며, 오후 8시 이후부터 점차 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 4종과 5종 차량의 교통량이 10시 이후에 급격히 감소하는 결과를 도출 할 수 있었다. 이는 고속도로 요금소에서 발생하는 교통소음은 1종에 영향을 가장 많이 받으며 2종과 3종의 영향이 그 다음으로 미치는 것으로 사료된다.

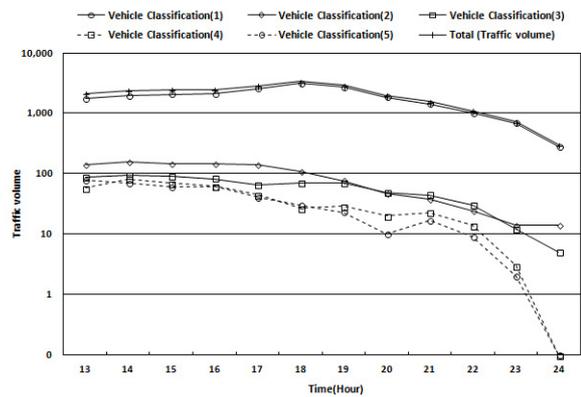


Fig. 11 Hourly Traffic Distribution

Fig. 12에서 Fig. 14는 각각의 횡방향 림블스트립 구간에 대하여 시간대별 1/3옥타브밴드 주파수 분석한 결과를 보여주고 있다. 주파수 분석결과를 통하여 Type 1 구간이 저주파수 대역의 음압레벨이 다른 두 Type(Type 2, Type 3)보다 다소 큰 영역대에 형성되어 있음을 알 수 있었다.

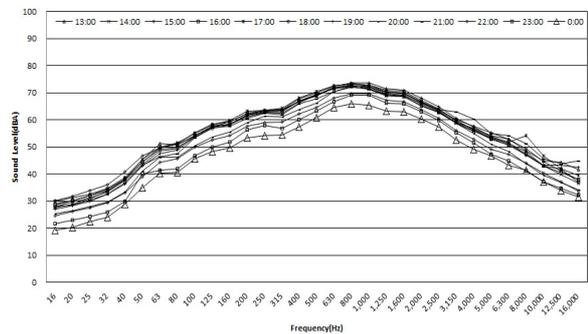


Fig. 12 Compaction of 1/3 Octave Band Frequency Characteristic Per Hour at Type 1

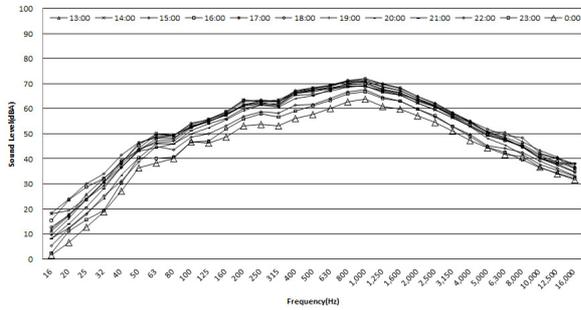


Fig. 13 Compaction of 1/3 Octave Band Frequency Characteristic Per Hour at Type 2

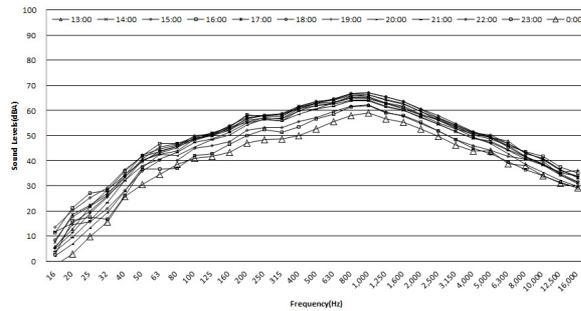


Fig. 14 Compaction of 1/3 Octave Band Frequency Characteristic Per Hour at Type 3

이와 같이 횡방향 림블스트립 형상에 따른 주파수대역의 차이는 주행차량의 속도와 횡방향 림블스트립 간격에 따른 자동차바퀴와 횡방향 림블스트립의 충격 시 발생하는 충격에 의한 영향으로 판단된다.

4. 결론

제한적인 시간과 공간에서 분석된 고속도로 영업소 광장에서의 교통량 조사 및 횡방향 림블스트립으로 발생하는 소음분석 연구에서 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 횡방향 림블스트립 구조에 따른 소음특성을 분석한 결과, Type 1, Type 2, Type 3에서 평균 등가소음도가 78.6 dB(A), 76.4dB(A), 71.6dB(A)로 변화함을 알 수 있었다.
2. 고속도로 영업소 광장에 설치된 횡방향 림블스트립은 차량주행 시 소음발생의 주요 요인으로 판단되며, 차량의 속도변화 또한 소음의 크기에 영향을 주는 것으로 사료된다.
3. 본 조사대상 구간의 교통량 조사 결과 오후 1시부터

7시까지의 교통량 변화가 크게 없었으며, 이 영향으로 인하여 교통소음 음압레벨도 큰 변화가 없는 결과를 얻었다.

4. 교통량 조사를 통하여 1종 차량이 가장 많이 조사대상 구간을 통과하였으며, 이는 1종 차종이 주행 시 발생하는 타이어와 포장면, 타이어와 횡방향 림블스트립 접촉 시 발생하는 소음이 조사대상 구간의 소음을 지배하는 것으로 판단된다.
5. 고속도로 영업소 광장에 설치된 횡방향 림블스트립으로 인하여 발생하는 소음을 줄이기 위하여 저소음형 횡방향 림블스트립 형상 개발연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업인 “도로소음 모델링 및 도로위치별 소음저감 기술 개발”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Kang, Daejoon, Kim, J. M., and Park, J. C. 2004, Road Traffic Noise Status and Prediction, *Transactions of the Korean society for noise and vibration engineering*, Vol. 14. 1015-1020.
- Kim, J.H., Kim, H.G., and Kim, J. S. 2012, Study on Traffic Noise in Residential Area Near Urban Expressways . *Journal of Korean Society of Transportation*. Vol. 30, No.2, pp.79-89
- Park, J. C., Kim, Y. S., and Kang, D. J. 2008, Propagation Characteristics and Effects of Road Traffic Noise, *Journal of Environmental Health Science*, Vol. 34. no. 4, pp 311-315
- Cho, C. G. 2010, Traffic Noise Characteristic of Urban Major Roads by the Traffic Flow Conditions, *Journal of Korean Society of Living Environmental System*, Vol.17, No. 5
- Oh, H. U. 2010, Accident Reduction Effect of Rumble Strips by Highway Geometric Characteristics, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.30 No.3D, pp.289-294
- Lee, J.J., Mun, S.H., An, D.S., Kwon, S.A. 2012, Noise Evaluation of the Rumble Strips Constructed at Tall Gate of Highway, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*. Vol.14 No.5, pp.201-206
- Ryu, S. W., Lim, K., Park, K. J., Cho, Y.H. 2009, A Study to Improve the Existing Rumble Strips, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*. Vol.11 No.1, pp.177-186
- Kim, Young Kyu, Lee, Seung Woo, Yoo, Tae Seok. 2007, Development of Tire/Pavement Noise Simulator, *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 9, No. 3. pp. 51~62

(접수일 : 2013. 4. 4 / 심사일 : 2013. 4. 4 / 심사완료일 : 2013. 5. 6)