

개선된 럼블스트립의 현장적용에 따른 사후 소음특성 평가

Evaluation on Noise Characteristics by Field Application of Improved Rumble Strip

안 덕 순 An, Deok-Soon
서 영 찬 Suh, Young-Chan
손 현 장 Son, Hyeon-Jang
이 재 준 Lee, Jae-Jun
엄 병 식 Eom, Byeong-Sik

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

ABSTRACT

PURPOSES : This research investigates traffic noise characteristics as change the transverse rumble strips shape from rectangular to cylinder at toll plaza of highway.

METHODS : The traffic noise was investigated at two different places at toll plaza of highway. One is modified grooving, another is employed cylinder shape of TRS instead of rectangular shape of TRS. A measurement of traffic noise was conducted at same location and time period. The traffic volume information was gotten from office of highway office and vehicle speed was measured by speed measuring device. The traffic noise measurement was conducted from 13:00 to 23:00 and by pass-by method. Also, the traffic noise was measured behind noise barrier. Various distance from noise barrier(7.5m, 30m, 50m) and different heights(1.2m, 3m, and 5m) were parameter for measurement of traffic noise in this study.

RESULTS : The class 1 vehicle was contributed from traffic volume which was increased 1,500. However, the distribution of traffic speed didn't change compare to previous investigated period. From this study, It was found that the external traffic noise was changed as function of geometric shape of TRS. The external noise from modified grooving was less than 1.2dB(A) of the current TRS. A difference of traffic noise was 20dB(A) before and after barrier. It came from a noise barrier effect as reduction of traffic noise. According to investigate a traffic noise distribution near barrier, there is similar noise characteristic as function of height at 7.5m distance from noise barrier. Also, There is no different traffic noise between 30m and 50m from source of the noise of sound barrier.

CONCLUSIONS : Based on this traffic noise investigation result, there is a clear characteristic difference as changed TRS shape. The traffic noise was reduced by changed TRS shape. Specially, traffic noise was decreased although the traffic volume was increase for same investigation time and period. It is implied that cylinder type of TRS significantly reduces the traffic noise. The specification of various TRS will be studied in the future.

Keywords

transverse rumble strip(TRS), rectangle rumble strip, cylinder rumble strip, traffic noise, pass-by method

Corresponding Author : Lee, JaeJun, Assistant Professor
Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, 567
Baekje-daero, 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

도로를 주행하는 운전자들은 장시간의 운전으로 인한 졸음운전, 동승인과의 대화로 인한 주의력 결핍 등으로 주행 시 사고의 위험을 느낄 수 있다. 이러한 것들로 인한 사고의 예방 및 방지를 위해 도로에 다양한 형태의 럼블스트립을 활용하고 있다. 럼블스트립은 주의가 필요한 구간에서 운전자에게 경고를 주는 장치라 할 수 있으며, 운전자에게 자동차가 안전상 매우 중요한 곳에 접근할 때 소리와 진동을 이용하여 경고를 제공할 수 있다 (Carlson et al., 2003). 미국 미네소타주에서는 럼블스트립을 전체 주행차로의 중앙, 길어깨, 주행차로(1차로)의 중앙, 차로의 모서리 등에 설치하여 운영하고 있다(Corkie et al., 2001).

현재 국내에서도 길어깨 럼블스트립, 고속도로 돌출형 럼블스트립, 고속도로 영업소 진입부 횡방향 럼블스트립 등을 사용하고 있다. 이 중 고속도로 영업소 진입부의 횡방향 럼블스트립 설치기준은 국토해양부와 한국도로공사에서 제시하고 있다(MLTM, 1999/KEC, 2012). 이 기준에 따르면 고속도로 영업소 진입부의 횡방향 럼블스트립은 대부분 직사각형 형상으로 설치하도록 되어 있다. 그러나 럼블스트립은 그 형상이나 규격에 따라 차량주행 시 발생하는 소음, 진동의 정도가 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. Walton and Meyer(2002)는 소음과 진동레벨을 바탕으로 럼블스트립 형상의 변화에 대한 연구를 실시하였고, Higgins and Barbel(1985)은 고속도로에서의 럼블스트립 간격, 럼블스트립 형상(철삭형, 돌출형) 등에 대한 소음특성 연구를 수행하였다. 또한, 덴마크의 DRI(Danish Road Institute)의 럼블스트립 형상에 따른 소음특성을 보면, 직사각형(rectangle), 원형(cylinder), sinus형에 따라 소음의 크기가 다르게 나타나는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 이러한 기존 연구의 결과를 바탕으로 고속도로 영업소 진입부에 설치되어 있는 횡방향 럼블스트립의 개선에 따른 소음특성 변화에 대한 연구를 수행하였다. 서울외곽순환고속도로 불암산 영업소 진입부에 설치된 횡방향 럼블스트립으로 인해 인근 주거지역의 주민들은 차량주행 시 발생하는 소음으로 어려움을 겪고 있으며, 기존 설치된 횡방향 럼블스트립의 개선을 요구하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 기존 직사각형 형상의 럼블스트립을 원형 형상의 럼블스트립으로 개선하여 현장에 적용하였다. 럼블스트립의 개선으로 인한 효과를 분석하기 위해 사후 모니터링을 실시하여 개선 전·후의 소음특성 변화를 찾는 것을 목적으로 하였다.

2. 럼블스트립의 개선

2.1. 횡방향 럼블스트립의 개선

서울외곽순환고속도로 불암산 영업소 진입부의 횡방향 럼블스트립을 Fig. 1과 같이 직사각형 형상에서 원형 형상으로 개선하였다. 원형 형상의 횡방향 럼블스트립 규격은 폭 100mm, 깊이 10mm, 럼블스트립 간격 300mm로 적용하였다.

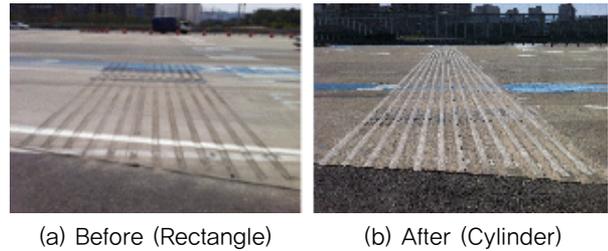


Fig. 1 Transverse Rumble Strip Field Application

2.2. 그루빙의 개선

불암산 영업소의 원형 럼블스트립 진입 전 운전자에게 약간의 경고를 주기 위하여 폭 25mm, 깊이 6mm, 간격 140mm의 그루빙을 Fig. 2와 같이 현장에 적용하였다.

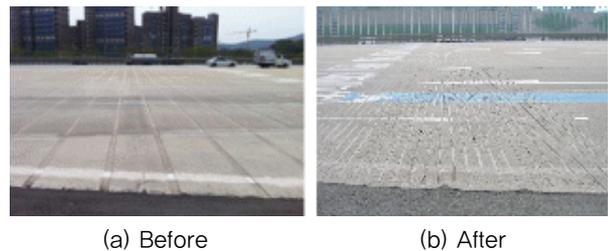


Fig. 2 Groove Field Application

Fig. 3은 서울외곽순환고속도로 불암산 영업소 진입부의 횡방향 럼블스트립을 개선한 부분을 보여주고 있다. 진입부 첫 번째는 그루빙으로 개선하고, 두 번째의 횡방향 럼블스트립은 직사각형에서 원형으로 개선하였다.

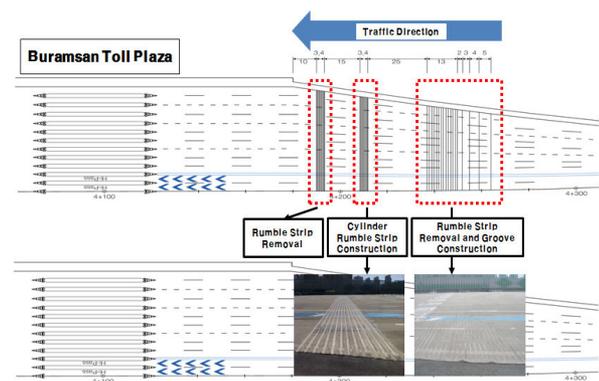


Fig. 3 Configuration of Improved Toll Plaza

3. 현장조사 및 실험

3.1. 현장조사 방법

불암산 영업소의 럼블스트립 개선으로 인한 사후평가 및 효과를 분석하기 위하여 방음벽 앞쪽 도로변 및 방음벽 뒤쪽과 아파트 옆에서 현장조사를 실시하였다. 주행 차량 속도측정을 위해서는 NC97 장비를 이용할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 현장여건의 어려움으로 본선 및 영업소 진입부에서 NC97을 설치하지 못했다. 주행 차량 속도측정은 도로변에서 현장소음 측정 시 스피드건을 이용하여 랜덤하게 조사하였다. 현장조사 시간은 개선 전과 동일한 시간대에 맞춰 수행하였다.

3.2. 교통량 자료수집

기존 문헌에 따르면, 도로변에서 발생하는 교통소음은 교통량, 차종, 평균차량속도, 도로구조 등 많은 변수에 의하여 영향을 받으며, 그 중 교통량 및 차량속도가 가장 큰 변수라고 알려져 있다(Park, 2008). 조사대상 지역에 대한 교통특성 분석을 위해 교통량 자료를 차종별(5종 구분), 시간대별로 영업소를 통해 수집하였다.

3.3. 현장 소음측정

도로에서 발생하는 소음의 측정방법에는 소음원으로 부터의 측정위치 등에 따라 다양한 방법이 있다. 소음측정 위치에 따라 도로포장면과 타이어의 인접거리에서 발생하는 소음을 측정하는 근접소음측정법(Closed Proximity Method, CPX)과 일정 거리 떨어진 지점에서 발생하는 소음을 측정하는 길어깨 소음측정법(Pass-by Method)이 있다(Kim, 2007).

현장 소음측정은 일반적인 도로 소음측정에 많이 사용하는 길어깨 소음측정법(Pass-by Method)을 사용하여 실시하였다. 소음측정 장비는 B&K사의 소음측정 장비(소음측정 소프트웨어 및 마이크로폰)를 사용하였다. Fig. 4~Fig. 7은 소음측정을 위한 마이크로폰의 설치 전경을 보여주고 있다. Fig. 4는 방음벽 앞쪽의 설치 사진으로 도로 끝단으로부터 3m 지점에서 높이 1.2m에 설치한 것이다. 방음벽 앞쪽에서의 소음측정은 두 개의 구간(개선된 횡방향 럼블스트립구간, 그루빙 구간)에서 실시하였다. Fig. 5는 방음벽 바로 뒤쪽으로 7.5m 지점에서 1.2m, 3.0m, 5.0m 높이에 설치한 것이다. Fig. 6은 방음벽 뒤쪽 30m 지점으로 높이 0.3m(방음벽 앞쪽 높이 1.2m와 동일)에 설치한 것이며, Fig. 7은 주거지 옆으로 50m 지점에 높이 5m에 설치한 것을 보여주고 있다. 현장소음측정은 각 지점별로 1시간을 주기로 10

분씩 11시간(13시~24시) 동안 측정하였다. 이는 개선 전에 측정한 시간과 동일하다.



Fig. 4 Noise Measurement (3m)



Fig. 5 Noise Measurement (7.5m)



Fig. 6 Noise Measurement (30m)



Fig. 7 Noise Measurement (50m)

3.4. 주행속도 조사

도로에서의 교통류 분석을 위해서는 차로에 NC97 장비를 설치하는 것이 좋다. 그러나, 본 연구에서는 현장여건으로 인해 NC97의 설치가 어려웠다. 따라서 개선된 횡방향 럼블스트립 구간에서 스피드건을 이용하여 랜덤하게 차량의 속도를 측정하였다. 영업소 광장은 전체 12차선으로 주행속도의 조사는 10~12차선을 주행하는 차량을 대상으로 하였다. 각 측정시간대별로 20대의 차량을 랜덤하게 선택하였다.

4. 효과분석

4.1. 차량 주행속도 분석

차량 주행속도는 각 측정시간대별로 조사된 차량의 평균속도에 대해 분석하였다. Table 1은 랜덤하게 측정한 20개의 차량 속도 및 각 시간대별 평균속도를 보여주고 있다.

Fig. 8은 시간대별로 차량의 주행속도 변화를 보여주고 있다. 13시에서 19시까지의 약 60km/h로 주행속도

가 거의 변화가 없고, 19시 이후에는 속도가 점차적으로 증가하는 것을 볼 수 있으나 영업소 진입부로 속도의 변화가 크지는 않았다. 13~16시까지의 평균 주행속도는 57.8km/h로 개선 전 NC97에서 측정된 속도와 유사하게 나타났다.

Table 1. Vehicle Speed

Sample No. Time (hour)											Average (Km/h)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
13	53	49	74	61	56	66	46	30	20	52	55.8
	36	53	59	33	61	68	71	59	71	98	
14	45	40	33	62	91	62	49	56	55	46	58.8
	74	43	81	58	48	69	82	69	58	55	
15	40	71	52	42	62	92	49	58	52	62	58.7
	66	65	49	68	58	53	71	52	53	58	
16	52	62	61	62	65	49	61	84	55	61	58.0
	56	49	68	62	65	48	39	61	46	53	
17	62	58	74	58	66	45	69	69	61	40	61.2
	68	55	75	84	72	49	68	59	46	45	
18	52	45	56	55	62	62	42	48	46	32	54.6
	52	46	62	43	56	55	58	61	71	88	
19	72	65	69	59	43	81	53	66	48	55	61.5
	49	46	48	56	58	82	71	74	53	81	
20	56	58	55	56	69	56	71	61	62	56	62.4
	69	78	59	69	71	68	48	53	68	65	
21	59	65	88	78	78	52	82	62	79	82	70.7
	71	61	71	65	58	71	81	69	75	66	
22	61	65	45	65	81	71	61	84	66	68	65.2
	84	52	48	78	88	56	68	49	45	68	
23	84	79	74	58	58	81	84	43	58	84	64.4
	72	66	61	32	46	78	72	58	52	48	
24	84	65	58	81	72	68	55	62	61	49	66.5
	61	61	59	75	79	62	66	59	69	84	

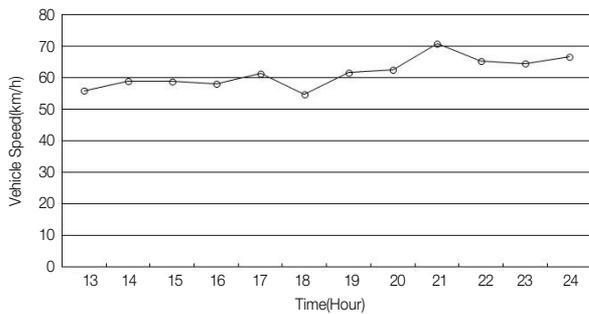


Fig. 8 Speed Change by Time

4.2. 교통량 분석

현장조사를 실시한 일자에 수집된 교통량 자료를 이용하여 차종별(5종), 시간대별로 개선 전·후의 교통량 변화에 대해 분석하였다. Table 2는 개선 전·후의 총교

통량으로 개선 후의 교통량이 개선 전보다 모든 차종에서 증가한 것을 볼 수 있으며, 총 1,515대 더 많은 것으로 나타났다.

Table 2. Total Traffic Volume

Class	1	2	3	4	5	Total
Before	21,301	1,034	694	435	403	23,867
After	22,658	1,044	795	464	421	25,382
After-Before	1,357	10	101	29	18	1,515

Fig. 9는 개선 전·후의 총 교통량의 시간대별 변화를 보여주고 있다. 15시까지는 개선 전의 교통량이 많았으나, 이후에는 개선 후의 교통량이 많은 것으로 나타났다.

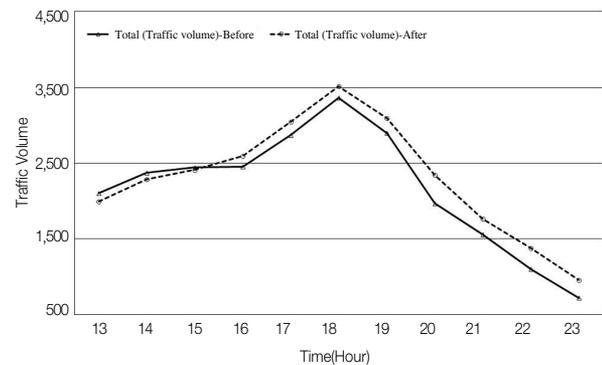


Fig. 9 Total Traffic Volume

Fig. 10은 1종의 시간대별 교통량 변화를 보여주고 있다. 1종은 전체 교통량의 90% 이상을 차지하고 있으며, 15시 이후로는 개선 후의 교통량이 증가한 것을 알 수 있다.

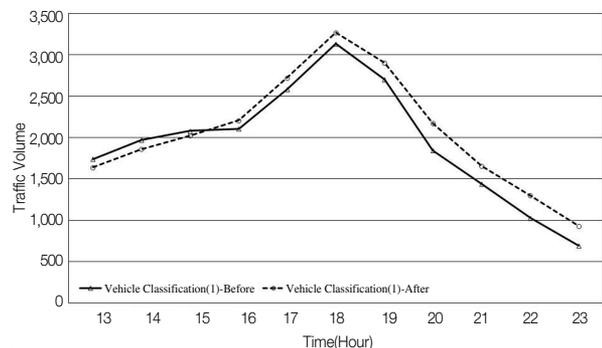


Fig. 10 Traffic Volume (Class 1)

Fig. 11~Fig. 14는 2~5종의 시간대별 교통량 변화를 보여주고 있다. 2~5종의 교통량은 14시 이후로 지속적으로 감소하고 있다. 모든 차종이 개선 후가 더 증가한

것을 볼 수 있으며, 3종, 4종, 5종, 2종의 순으로 교통량이 증가하였다.

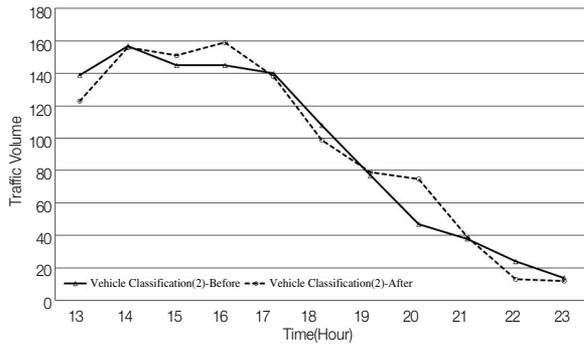


Fig. 11 Traffic Volume (Class 2)

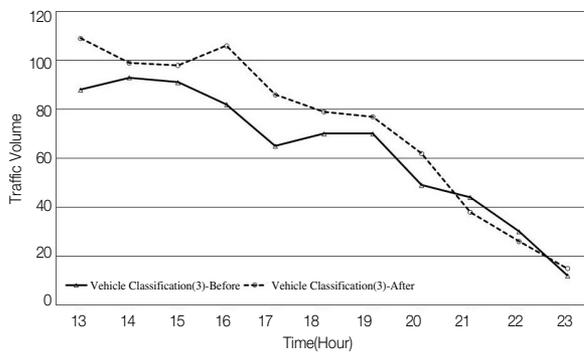


Fig. 12 Traffic Volume (Class 3)

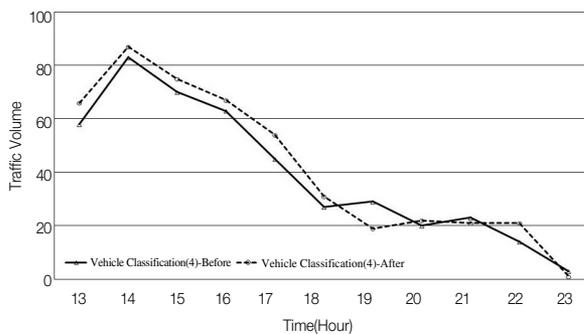


Fig. 13 Traffic Volume (Class 4)

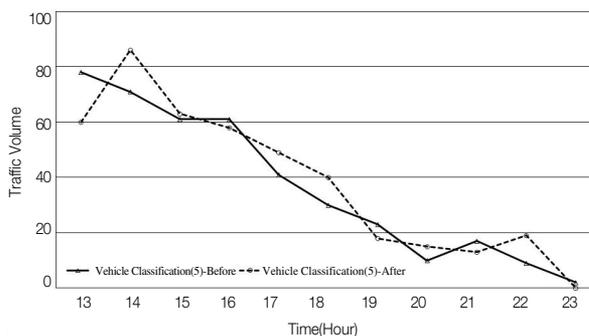


Fig. 14 Traffic Volume (Class 5)

4.3. 교통소음 분석

고속도로 영업소 진입부 횡방향 림블스트립의 개선으로 인한 소음특성 변화를 분석하였다. 그루빙 개선구간과 횡방향 림블스트립 개선구간에 대한 소음변화를 분석하였다. Fig. 15는 그루빙 구간의 시간별 교통량과 소음의 변화를 보여주고 있다. 교통량의 변화에 따라 소음도 동일한 경향으로 변화하는 것을 알 수 있다. 18시 이후에는 개선 후의 교통량이 증가했음에도 소음의 크기는 감소한 것을 알 수 있다.

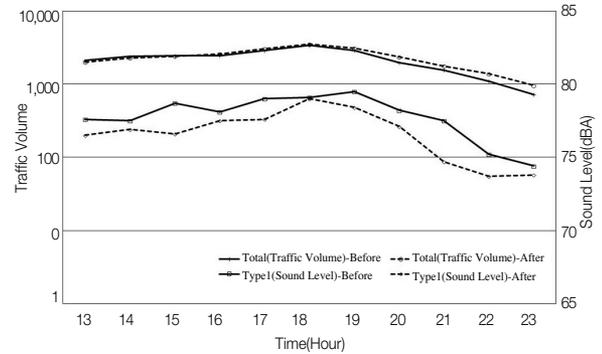


Fig. 15 Noise Characteristics of Groove Section

Table 3은 그루빙 개선 전·후의 소음변화에 대한 음압을 나타내고 있다. 개선 전·후의 평균 소음은 각각 77.7db(A), 76.5dB(A)로 평균 1.2dB(A)가 감소한 것으로 나타났다. 시간대별로는 18시의 소음이 0.1dB(A) 감소하였고, 21시의 소음이 2.8dB(A) 감소하여 가장 크게 감소한 것으로 나타났다. 모든 시간대별로 소음이 감소한 것으로 나타나 그루빙의 개선으로 인한 소음저감 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Table 3. 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	Average
Before	77.6	77.5	78.7	78.1	79	79.1	79.5	78.2	77.5	75.2	74.4	77.7
After	76.5	76.9	76.6	77.5	77.6	79	78.4	77.1	74.7	73.7	73.8	76.5
Before-After	1.1	0.6	2.1	0.6	1.4	0.1	1.1	1.1	2.8	1.5	0.6	1.2

Fig. 16은 횡방향 림블스트립의 개선 전·후에 대한 교통량과 소음변화를 보여주고 있다. 소음의 변화는 교통량의 변화와 동일한 경향을 보이고 있으며, 18시까지는 증가하고 이후에는 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 16에서 보듯이 교통량이 증가함에도 소음은 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 횡방향 림블스트립의 개선으로

인한 소음저감 효과가 있는 것을 알 수 있다.

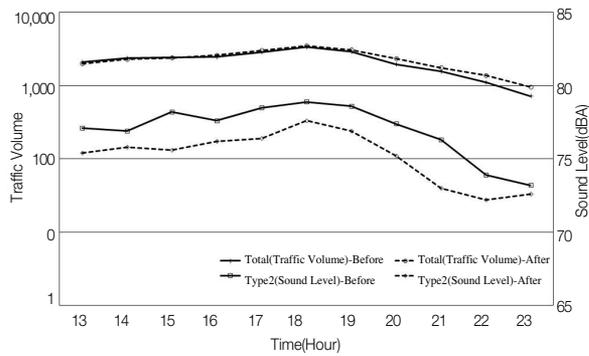


Fig. 16 Noise Characteristics of Transverse Rumble Strip Section

Table 4는 횡방향 림블스트립 개선 전·후의 소음변화에 대한 음압을 나타내고 있다. 개선 전·후의 평균 소음은 각각 77.0db(A), 75.2dB(A)로 평균 1.8dB(A)가 감소한 것으로 나타났다. 시간대별로는 23시의 소음이 0.6dB(A) 감소하였고, 21시의 소음이 3.3dB(A) 감소하여 가장 크게 감소한 것으로 나타났다. 모든 시간대별로 소음이 감소한 것으로 나타나 림블스트립의 개선으로 인한 소음 저감 효과가 있는 것을 알 수 있다. 시험시공 시에는 최대 6dB(A)까지 감소하였으나 현장 적용 후에는 이보다 적은 효과가 있는 것으로 나타났다(An et al., 2012). 이는 다양한 차종이 연속적으로 주행하면서 소음저감 효과가 감소된 것으로 판단된다.

Table 4. 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	Average
Before	77.1	76.9	78.2	77.6	78.5	78.9	78.6	77.4	76.3	73.9	73.2	77.0
After	75.4	75.8	75.6	76.2	76.4	77.6	76.9	75.2	73	72.2	72.6	75.2
Before-After	1.7	1.1	2.6	1.4	2.1	1.3	1.7	2.2	3.3	1.7	0.6	1.8

Fig. 17은 소음원으로부터 측정위치별 소음의 특성을 보여주고 있다. 차로 끝단으로부터 3m, 7.5m, 30m, 50m 지점에서 측정된 소음으로, 이 중 3m 지점은 방음벽 앞쪽이고 나머지는 방음벽 뒤쪽이다. 방음벽 뒤쪽은 현장여건으로 15시부터 소음을 측정하였다. 방음벽 앞과 바로 뒤(3m, 7.5m)의 소음편차는 약 20dB(A)로 나타났으며, 이는 방음벽의 효과로 판단된다. 방음벽 바로 뒤 7.5m의 높이별(1.2m, 3m, 5m) 소음은 유사하게 나타났다. 소음원으로부터 멀어질수록 소음저감이 나타났으나, 30m와 50m 지점의 소음도는 유사하게 나타난

것을 볼 수 있다.

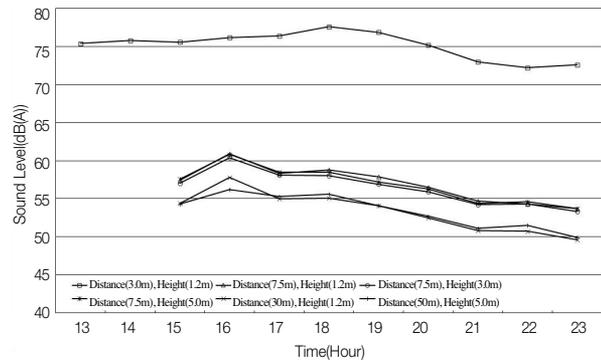


Fig. 17 Noise Characteristics by Measurement Point

5. 결론

본 연구는 고속도로 영업소 광장에 설치된 횡방향 림블스트립의 개선으로 인한 소음특성에 대한 연구로 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 소음측정과 동시에 교통량 및 주행속도를 조사하였다. 개선 후의 교통량은 개선 전보다 약 1,500대 증가하였다. 교통량은 1종 차량이 전체 교통량의 약 90% 이상을 차지하고 있다. 이는 1종 차량이 발생 소음의 상당한 부분은 차지하고 있는 것으로 판단된다. 주행속도는 약 60km/h로 개선 전과 유사하게 나타났다.
2. 그루빙 개선으로 인한 소음특성 변화를 분석하였다. 그루빙 개선에 따른 소음저감 효과는 모든 시간대별로 감소하였으며, 최대 2.8dB(A) 감소하였고, 평균 1.2dB(A) 감소하였다.
3. 횡방향 림블스트립 개선으로 인한 소음특성 변화를 분석하였다. 횡방향 림블스트립의 개선에 따른 소음저감 효과는 모든 시간대별로 감소하였으며, 최대 3.3dB(A) 감소하였고, 평균 1.8dB(A) 감소하였다.
4. 소음원으로부터의 거리 및 높이에 따른 소음특성을 분석하였다. 방음벽 앞과 바로 뒤의 소음 편차는 약 20dB(A)로 나타났으며, 이는 방음벽의 효과로 판단된다. 방음벽 뒤 소음원으로부터 7.5m 지점에서의 높이별 소음특성은 1.2m, 3m, 5m의 소음이 유사하게 나타났다. 또한, 소음원으로부터 30m, 50m 지점에서의 소음도 유사하게 나타났다. 이는 방음벽 뒤의 일정 거리를 지나면 소음저감이 수렴하는 것으로 판단된다.

5. 고속도로 영업소 광장에 설치된 횡방향 림블스트립의 개선으로 인한 소음저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 개선 전보다 개선 후의 교통량이 증가하였음에도 소음은 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 직사각형 림블스트립을 원형의 림블스트립으로 개선함으로써 소음저감 효과가 발생한 것을 알 수 있었다.
6. 본 연구에서 수행한 원형의 림블스트립 외에 다양한 규격 및 형상에 대한 연구가 진행된다면 더 큰 소음저감 효과가 있는 림블스트립을 개발할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 방음벽 위로 넘어가는 소음의 저감 효과 분석을 위해서 주거지의 고층에서 들리는 소음에 대한 조사 및 분석을 함께 고려할 필요성이 있다.

감사의 글

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

References

An, D. S., Lee, J. J., Kwon, S. A., Son, H. J., and Eo, M. S. (2013), *Noise Characteristics of Rumble Strip Types in Concrete Pavement*, Korean Society of Civil Engineers, KSCE Conference & Civil Expo 2012

Carlson, P. J. and Miles, J. D. (2003), *Effectiveness of rumble strips on Texas highways: First year report*, Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas.

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

Corkle, Jacqueline., Marti, Michael., Montebello, David. (2001), *Synthesis on the effectiveness of rumble strips*, Minnesota Local Road Research Board (LRRB) Minnesota Department of Transportation, Office of Research Services.

Danish Road Institute, DRI, “<http://www.adc40.org/presentations>

/summer2007/08%20Rumble_strip_presentation_23Jul07.pdf”.

Higgins, J., and W. Barbel. (1985), “*Rumble Strip Noise*”, Transportation Research Record 983, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp. 27-36.

Kang, D. J., 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.

KEC(Korea Expressway Corporation) (2012), *Expressway Construction Standard*.

(한국도로공사(2012), 고속도로건설공사 표준도)

Kim, Y. K., Lee, S. W., and Yoo, T. S. (2007), Development of Tire/Pavement Noise Simulator, Korean Society of Road Engineers, 2007. Vol. 9, No. 3. pp. 51~62

Lee, J. J., Mun, S. H., An, D. S., and 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

MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (1999), *Highway Design Manual*

(국토해양부(1999), 도로설계편람)

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

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

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

Walton, S., and E. Meyer (2002), “The Effect of Rumble Strip Configuration on Sound and Vibration Levels”, *ITE Journal*, pp. 28-32.

(Received : Oct. 22 2013, Revised : Oct. 26 2013, Accepted : Nov. 25 2013)