Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng., 27(1) : 57~64, 2017
https://doi.org/10.5050/KSNVE.2017.27.1.057

한국소음진동공학회논문집 제 27 권 제 1 호, pp. 57~64, 2017
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

실측자료를 통한 구간단속카메라의 소음저감효과 분석

Effect of Noise Reduction by Installation of a Point to Point Speed Camera

손 진 희* · 전 형 준* · 정 태 량* · 박 영 민** · 김 득 성†

Jin Hee Son, Hyung-Joon Chun, Tae Ryaug Choung,
Young Min Park and Deuk Sung Kim

(Received October 19, 2016 ; Revised November 30, 2016 ; Accepted December 8, 2016)

Key Words : Point to Point Speed Camera(구간단속카메라), Multiple Regression Analysis(다중회귀분석)

ABSTRACT

This study was reviewed the noise reduction effects with installation of ‘point to point speed camera’ for controlling the speed of the car. The multiple regression analysis was performed to know how the relationship between the noise level and these parameters, such as measured traffic volume and rate of heavy vehicle and weighted average speed was changed with and without the ‘point to point speed camera’. In the analysis results shows that the less traffic volume, the more noise reduction effect has been increased and the more traffic volume, the more noise reduction effect has been reduced. And noise reduction effects by the ‘point to point speed camera’ was different from each measured point. The cause of the difference was determined that inadequate ‘point to point speed camera’ position to see the effect of noise reduction. It is determined to require a more study to improve the noise reduction effects of the ‘point to point speed camera’ such as the camera position adjustment.

1. 서 론

국내의 교통 인프라 확장과 교통시스템 발전 그리고 여가활동 증가로 교통시설을 사용하는 빈도수가 증가하고 있다. 반면 삶의 질적 향상을 위한 정온한 생활환경을 요구하는 빈도도 증가하고 있으며, 이러한 요구는 민원으로 발생된다.

환경부 자료(Fig. 1)[1]를 살펴보면, 교통소음 민원 중 도로소음에 대한 민원이 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 민원을 해결하기 위해, 주로 소음원 대책과 전파경로 대책을 사용한다. 소음원 대책에는 도로포장 종류의 교체와 자동차 속도제한 등이 있고, 전파경로 대책에는 방음벽, 방음터널 등이 있다.

자동차 속도제한과 관련된 국내의 연구는 대부분 교통사고 예방효과에 관한 연구이고, 소음저감효과와 관련된 연구는 미미하다. 국내의 연구결과[2]는 단일 단속카메라의 소음저감효과를 검토한 것으로, 단속카메라 통과 전과 후의 차이는 평균속도의 경우, 10.3 km/h, 5분 평균소음도는 1 dB미만으로 평가되어 주된 소음대책 방안으로는 부족한 것으로 판단했다.

이 연구는 소음도와 교통량 실측자료를 토대로, 자동차의 속도제어를 위한 구간단속카메라 설치 전

† Corresponding Author; Member, NVT Corporation
E-mail : kdsworlds@hanmail.net
* Member, NVT Corporation
** Member, Korea Environment Institute

A part of this paper was presented at the KSNVE 2016 Annual Autumn Conference
‡ Recommended by Editor Jae Hung Han

ⓒ The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

과 후의 소음저감효과를 통계방법(다중회귀분석)으로 검토하였다.

2. 측정 및 분석

2.1 대상지점

대상도로는 콘크리트 포장, 왕복 6차선의 국도이며, 성토와 절토 구간이 혼합된 지점에 위치해 있다. 측정지점은 두 지점(MP1, MP2)이며, 도로단으로부터 약 75 m와 약 176 m 이격된 15층 아파트의 옥상이다. 대상지점의 방음대책은 방음터널(L = 280 m), 반방음터널(L = 38 m) 및 다양한 높이의 방음벽(H = 2 m / L = 600 m, H = 3 m / L = 96 m, H = 4 m / L = 714 m, H = 5 m / L = 12 m) 등이 설치되어 있는 상태이다.

현재 해당지역은 도로소음으로 발생된 다수의 민원을 해결하기 위해서 선행대책으로 약 2 km 구간에 자동차 속도를 제한하는 구간 단속카메라를 설치하였으며, 향후 추가적인 방음대책을 검토 중이다.

2.2 측정결과

도로소음과 교통량 측정은 구간단속카메라 설치 전(before)과 후(after)로 나누어 동일한 지점에서 2일 동안 측정하였다. 측정시간은 구간단속카메라 설치 전과 후, 각각 8시간과 5시간 동안 측정하였다.

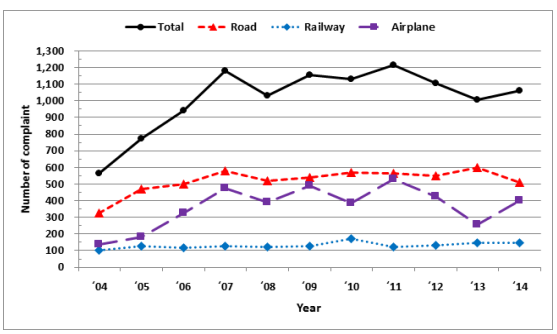


Fig. 1 Number of complaint by transportation noise

도로소음은 5분 간격으로 A-보정 등가소음레벨(L_{Aeq})로 분석하였고, 교통량과 속도는 동영상 자료를 이용하여 분석하였다. 차종은 독일의 RLS-90 분류방법에 따라 소형과 대형(2.8 ton 이상)으로 구분하였고, 5분 간격으로 측정하였고, 평균속도는 차종별, 방향별로 1분당 1대씩 5분 간격으로 측정한 후, 산술평균하였다. 다중회귀분석에는 차종별 차량대수를 고려한 가중평균속도를 사용하였다. 단, 교통량은 본선으로 진·출입하는 차량을 제외한 본선 자체의 차량만을 고려하였다.

대상지점에서 측정한 소음도, 교통량, 대형차 혼입률 및 가중평균속도에 대한 결과는 시간이력과 측정소음도에 대한 변수들의 분산그래프로 Table 1과 Table 2에 제시해 놓았다. 두 지점의 결과는 소음도와 교통량 및 가중평균속도에서 차이를 나타낸다. 소음도는 두 지점의 이격거리 차이에 의한 결과로, 선음원 기준, 약 3.6 dB 차이가 발생한다. 교통량은 동시간대 계측시간의 차이(약 1분)와 진·출입 차량의 차이 때문인 것으로 판단된다. 가중평균속도는 MP1보다 MP2에서 높게 분석되었고, RLS-90[3](소형차량 기준)을 이용하여, 110 km/h와 100 km/h 평균속도의 소음도 차이를 계산하면, 약 0.8 dB 차이가 발생한다.

두 지점에에서 MP2가 MP1보다 교통량이 많고, 가중 평균속도가 높아 MP1의 소음도가 높을 것으로 판단되나, MP2의 이격거리와 지점 주변으로 건물 및 방음터널 등이 위치하고 있어 소음도는 MP1보다 낮게 조사되었다.

2.3 분석방법

이 연구에서 사용한 통계방법은 소음도와 다양한 인자들 간의 상관관계를 고려할 수 있는 다중회귀분

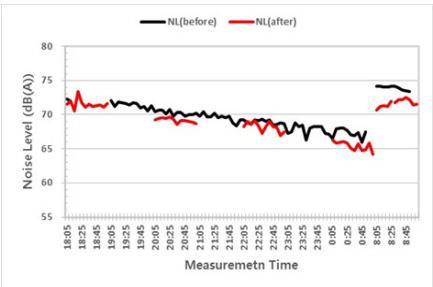
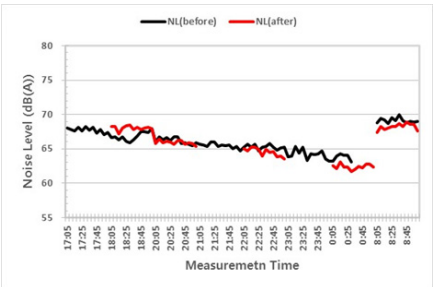
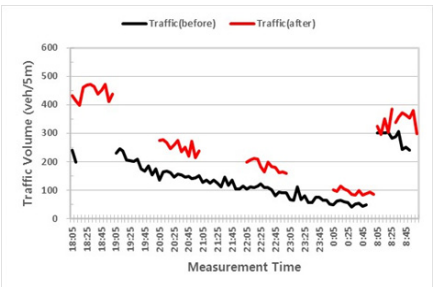
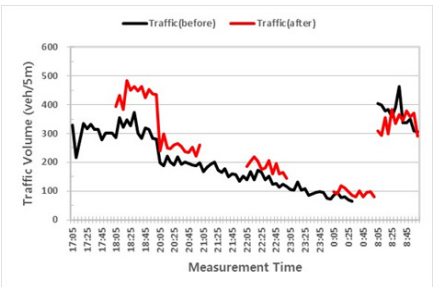
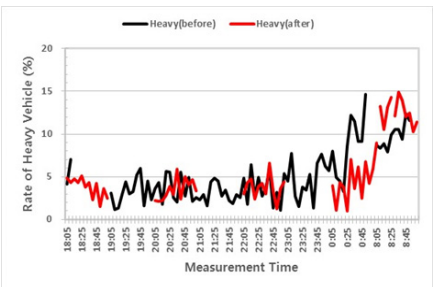
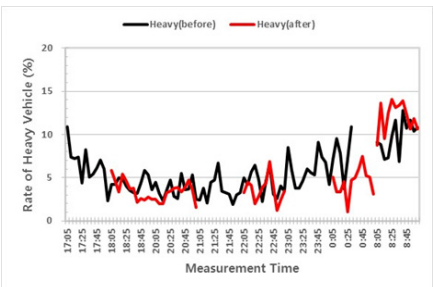
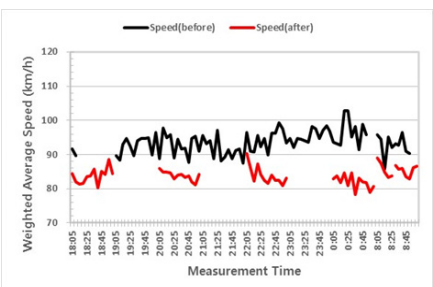
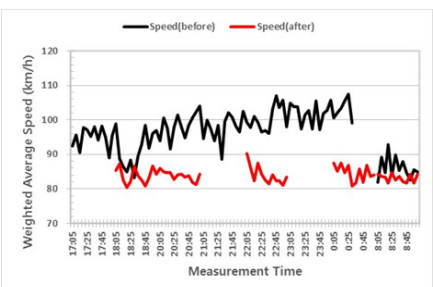
Fig. 2 Noise reduction measures and measurement points of a target place

석방법이며, 검토인자들은 도로의 소음도, 교통량, 대형차 혼입률 및 가중평균속도 등이다. 여기서, 다중회귀분석의 종속변수는 소음도이고, 독립변수들은 교통량, 대형차 혼입률 및 가중평균속도 등이다. 종속변수와 독립변수간의 다중회귀모델은 다음 수식을 사용하였다.

$$NL_{Road} = \alpha + \beta \log(Q(1+\gamma p)) + \delta \log(v_{Avg}) \quad (1)$$

여기서, Q는 총 교통량(veh/5 m), p는 대형차 혼입률(%), v_{Avg}는 가중평균속도(km/h)를 나타내며, α, β,

Table 1 Time history on varied factors of measurement data

Factor	Measurement point 1	Measurement point 2
Noise level (dB(A))		
Traffic volume (veh/5 m)		
Rate of heavy vehicle (%)		
Weighted average speed (km/h)		

γ, δ는 상수를 나타낸다. 교통량과 관련된 항은 독일 RLS-90의 평균레벨(Lm[25])식[4]에서 차용한 것으로, 수식에서 γ는 대형차량을 소형차량의 대수로 환산시켜주는 상수이다. 속도 항은 가중평균속도를 로그화시켜 사용하였다. 다만, 속도 항의 경우, 다양한 도로 소음예측모델[5]에서 교통량 항의 수식보다 복잡한 형태를 보이고 있어, 향후 속도 항의 통계모델 사용 시, 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이 연구에서는 위 수식을 사용하여 구간단속카메라 설치 전과 후의 상수 항(α, β, γ, δ)을 구한 후 교통량의 변화에 따른 구간단속카메라 설치 효과를 검토하였다. 이 연구에서 사용한 분석과정은 5단계로 정리된다. 여기서, 3단계의 상수 항(α)은 교통량 항과 속도 항의 변화를 쉽게 확인할 수 있도록 구간단속카메라 설치 전의 값으로 고정시켰다.

단계 :

1. 구간단속카메라 설치 전의 상수 항 계산
2. 측정자료와 다중회귀모델 검증
3. 구간단속카메라 설치 후의 상수 항 계산
   단, 상수 항 중 α는 설치 전의 값 사용
4. 측정자료와 다중회귀모델 검증
5. 교통량 변화에 따른 구간단속카메라 효과 분석

2.4 다중회귀분석 결과

앞서 언급한 다중회귀모델에 독립변수들을 적용하여 구한, 구간단속카메라 설치 전의 상수 항 결과는 Table 3에 제시하였다. 다중회귀모델의 결정계수가 두 지점 모두 0.88이상으로, 높은 상관성을 나타내었고, 상수들의 유의수준(p)는 $p < 0.05$로, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Table 2 Dispersion graphs of varied factors about noise level

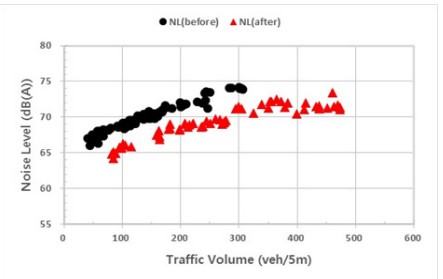
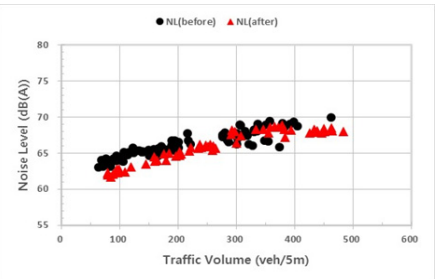
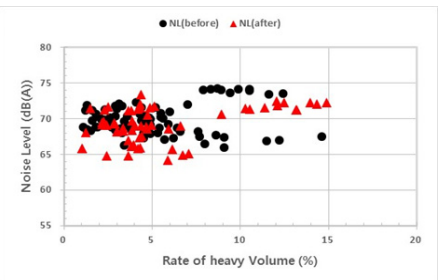
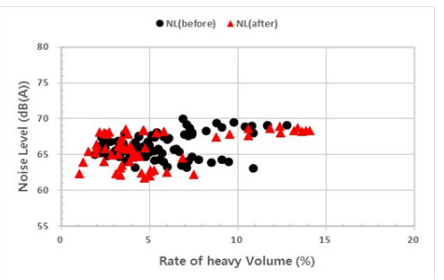
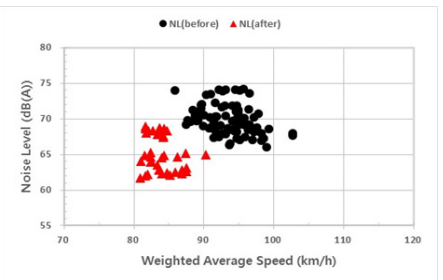
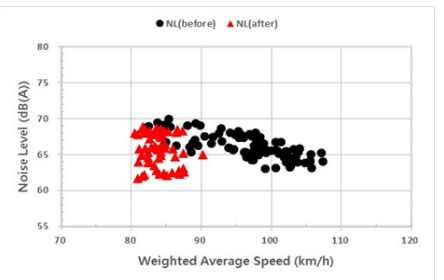
Factor	Measurement point 1	Measurement point 2
Noise level vs traffic volume		
Noise level vs rate of heavy vehicle		
Noise level vs weighted average speed		

Table 3 Result of regression analysis(before installation of speed camera)

Position	α	β	γ	δ	R^2
MP1	32.10	8.87	0.039	9.44	0.96
MP2	37.65	7.12	0.072	5.70	0.88

Table 4 Average of error data(before point to point speed camera)

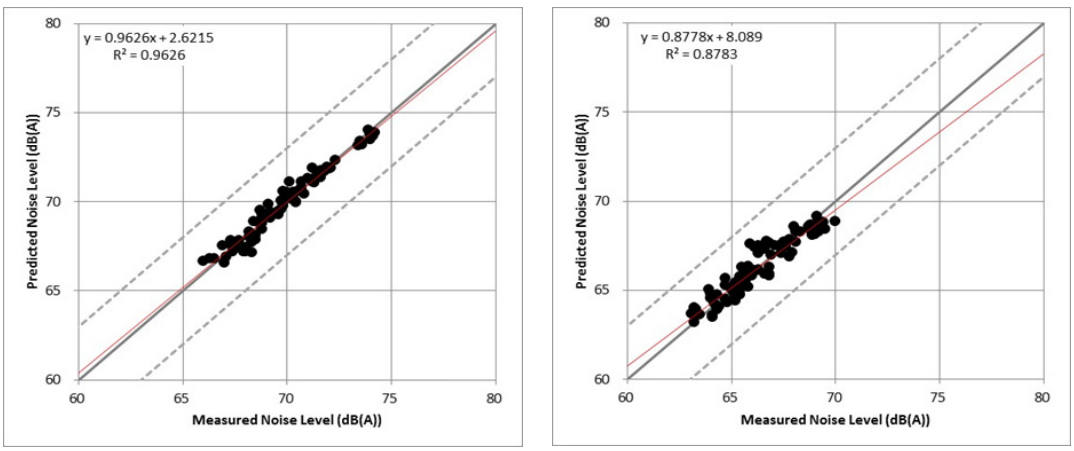
Position	Average	S.D.	Range
MP1	0.0	0.40	-1.1 - 1.0
MP2	0.0	0.58	-1.1 - 1.7

Table 5 Result of regression analysis after installation of speed camera

Position	α	β	γ	δ	R^2
MP1	32.10	9.08	0.035	7.78	0.96
MP2	37.65	8.65	0.048	3.60	0.98

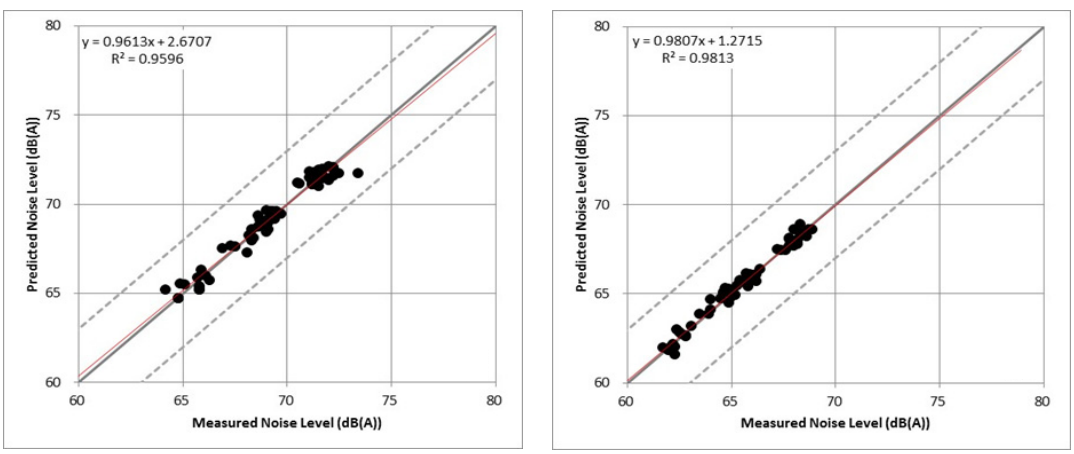
Table 6 Average of error data(after installation of speed camera)

Position	Average	S.D.	Range
MP1	0.0	0.48	-1.7 - 1.0
MP2	0.0	0.30	-0.7 - 0.7



(a) MP1 (b) MP2

Fig. 3 Comparison of measurement data and regression model (before installation of speed camera)



(a) MP1 (b) MP2

Fig. 4 Comparison of measurement data and regression model (after installation of speed camera)

Fig. 3은 측정소음도와 다중회귀모델로 예측한 소음도를 검증한 결과이다. 그림 상의 회색 실선은 예측소음도와 실측소음도가 같은 값을 나타내며, 점선은 예측과 실측이 같은 소음도에서 ±3 dB를 나타낸 경계선이다. Table 4는 예측소음도에서 측정소음도를 뺀 오차 결과를 나타낸 것으로, 두 값의 오차가 ±1.7 dB 내로, 다중회귀모델이 구간단속카메라 설치 전의 상태를 표현하는데 적절한 것으로 판단하였다.

Table 5는 구간단속카메라 설치 후의 다중회귀모델 결과를 나타낸 것이며, 결정계수가 두 지점 모두 0.96이상으로, 매우 높은 상관성을 나타냈다. 또한, 상수들의 유의수준(p)는 $p < 0.01$로, 통계적으로 유의하였다.

Fig. 4는 구간단속카메라 설치 후의 다중회귀모델로 예측한 소음도를 검증한 결과이고, Table 6은 오차(예측소음도 - 측정소음도) 결과를 나타낸 것이다. 두 값의 오차는 ±1.7 dB 내로, 다중회귀모델이 구간단속카메라 설치 후의 상태를 표현하는데 적절한 것으로 판단하였다.

구간단속카메라 설치 전과 후의 다중회귀모델을 살펴보면, 교통량 상수인 β는 증가하고, 대형차 혼입률 상수인 γ와 가중평균속도 상수인 δ는 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 구간단속카메라 설치에 따라 교통량의 영향은 증가하지만, 대형차 혼입률과 가중평균속도의 영향은 감소한다는 것을 나타낸다.

2.5 구간단속카메라 효과 분석

구간단속카메라 설치 전과 후의 기초자료(Tables 1, 2)를 살펴보면, 교통량과 대형차 혼입률 그리고 평균속도 등 모든 변수가 변하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 서로 다른 두 시점의 결과를 직접 비교하는 것은 매우 어렵다. 이 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해서, 다중회귀모델을 이용하여 구간단속카메라 설치에 따른 소음저감효과를 통계적으로 검토하였다. 구간단속카메라 설치 전과 후의 다중회귀모델 적용에 있어 다음과 같은 비교조건 하에서 검토하였다.

비교조건 :

1. 차량의 가중평균속도는 80 km/h로 제한 (구간단속의 제한속도 상한치)
2. 대형차 혼입률은 각 지점의 평균값 사용
3. 교통량은 5분당 50대에서 1500대까지 검토
4. 온도/습도/풍속의 영향은 고려하지 않음

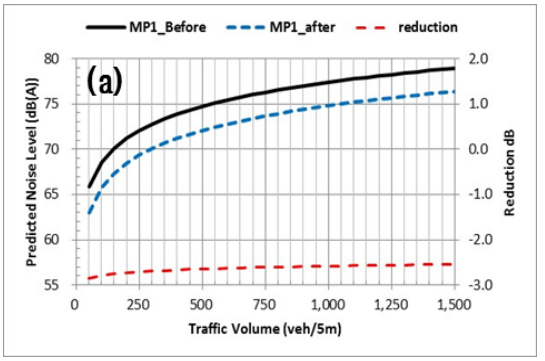
대형차 혼입률의 범위는 MP1의 경우, 1.0 %에서 14.9 %이고, 평균은 5.2 %였다. MP2의 경우, 1.0 %에서 14.1 %의 범위를 가지며, 평균 5.5 %였다. 비교조건과 대형차 혼입률의 평균값을 적용한 두 지점의 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 그림의 오른쪽 축의 저감효과는 설치 후에서 설치 전의 소음도를 뺀 값이다.

Fig. 5는 구간단속카메라 설치 전과 후의 결과를 제시한 것으로, 두 지점 모두 교통량이 증가할수록 소음저감효과는 감소하였다. 하지만, MP1의 경우, 교통량 변화에 따라 소음저감효과가 명확하게 나타난 반면, MP2의 경우, 일정한 교통량(5분당 515대) 이상에서는 구간단속카메라 설치 전보다 소음도가 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Table 2에서 제시한 구간단속카메라 설치 전과 후의 교통량과 가중평균속도에 대한 측정소음도에서 관찰할 수 있다. MP1의 측정소음도는 구간단속카메라 설치 전과 후의 차이가 명확하게 나타난 반면, MP2의 소음도 차이는 매우 작았다. 위의 결과는 제한속도를 다른 조건(70 km/h 또는 90 km/h)으로 변경함에도 불구하고, 결과의 경향은 유사하였다.

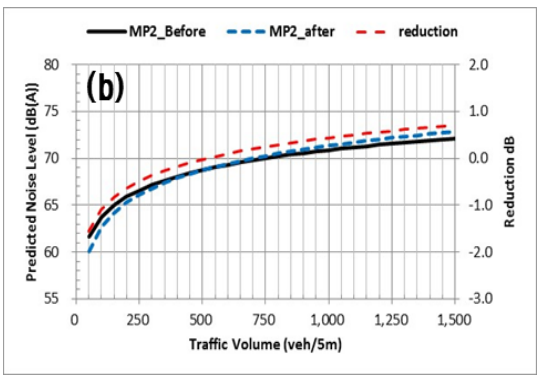
두 지점 도로의 특성을 자세히 살펴보면, MP1의 경우, 상행선(MP1에서 MP2 방향, 중앙분리대 상부도로)은 구간단속카메라 구간이고, 본선으로 들어오는 진입로가 있다. 또한, 하행선(MP2에서 MP1 방향, 중앙분리대 하부 도로)은 구간단속구간에서 제외되어 있고, 외부로 나가는 진출로가 있다. 한편, MP2의 경우, 상행선은 구간단속카메라 구간에서 제외되어 있고, 본선에서 IC로 나가는 진출로가 있다. 아울러, 하행선은 구간단속구간이고, IC에서 본선으로 들어오는 진입로가 있다.

진출로로 나가는 차량은 속도를 줄이지만, 본선으로 들어오는 차량은 속도를 높인다. 이 구간의 문제점은 구간단속 구간의 중간에 들어오는 차량은 구간단속이 아닌 단일단속으로, 구간단속이 끝나는 부분에서만 속도를 줄이면 된다. Table 7에 제시한 결과를 살펴보면, 이러한 현상을 알 수 있다.

상행선에서 구간단속 구간인 MP1과 구간단속 구



(a) MP1



(b) MP2

Fig. 5 Result of noise redection according to installation of speed camera

Table 7 Comparsion of average speed after installation of speed camera)

Average speed (km/h)	MP1				MP2			
	UP		DN		UP		DN	
	L	H	L	H	L	H	L	H
Average	84.3	78.7	84.1	73.3	82.9	77.1	88.3	82.2
Max.	92.5	90.8	90.4	82.7	92.5	85.7	101.8	94.5
Min.	77.5	53.2	78.9	59.4	76.3	55.3	80.6	60.0

* L - Light vehicle, H - Heavy vehicle
* UP - Up-line(MP1→MP2), DN - Down-line(MP2→MP1)

간에서 제외된 MP2의 가중평균속도를 비교하면, 평균속도나 최대속도 그리고 최소속도의 차이는 그리 크지 않았으며, 구간단속 구간인 MP1에서 약 1.5 km/h 정도 더 빨랐다. 반면, 하행선은 MP2에서 속도가 약 4 km/h에서 9 km/h 더 빠르고, 최대속도에서 11 km/h 이상의 확연한 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 구간단속카메라 설치 위치 선정이 부적합하여, 설치 목적(차량속도제한)에 부합되지 않는다고 판단되며, MP2에서 MP1만큼의 구간단속카메라 설치 효과에 미치지 보지 못한 원인으로 유추할 수 있었다. 향후 구간단속카메라 위치 조정을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 결 론

이 연구는 구간단속카메라 설치 전과 후에, 동일한 지점에서 측정한 자료를, 통계방법으로 구간단속카메라 설치에 따른 효과를 분석하였고, 이 연구에서 제시한 비교조건[1~4] 하에서 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 구간단속카메라 설치 효과는 교통량이 적을수록 크며, 교통량이 많아질수록 감소했다.

(2) 구간단속카메라 설치구간에 위치한 두 지점 중 MP1에서는 2 dB 이상의 소음저감효과를 나타낸 반면, MP2에서는 소음저감효과가 크지 않았고, 일정 교통량 이상에서는 소음도가 더 증가하는 것으로 예측되었다.

(3) MP2의 상행선(구간단속 제외구간)과 하행선(구간단속 구간) 가중평균속도를 비교한 결과, 구간단속카메라 위치 선정이 부적합하여 구간단속카메라 설치 효과에 미치지 못한 것으로 판단하였다.

향후 구간단속카메라 위치 조정 등 구간단속카메라 설치 효과를 향상시키기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

(1) Ministry of Environment, 2005-2015, Annual Report on Regional Performance Review of Noise and Vibration Management Policy.

(2) Kim, C. H., Choi, Y. H., Chang, T. S. and Kim D. S., 2014, Consideration of Speed Camera for Controling Road Traffic Noise, Proceedings of the KSNVE Autumn Conference, pp. 868~869.

(3) Der Bundesminister Für Verkehr, Abteilung Straßenbau, 1990, Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90)

(4) Kim, D. S., Chun, H. J., Son, J. H., Choung, T. R. and Kim, Y. H., 2015, Correlation between Road Traffic Noise and Traffic Factors by Measured Data, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 724~725.

(5) Quartieri, J., Mastorakis, N. E., Iannone, G., Guarnaccia, C., D'Ambrosio, S., Troisi, A. and Lenza, T. L. L., 2009, A Review of Traffic Noise Predictive Models, Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics, pp. 72~80.

Deuk Sung Kim completed his Ph.D. studies in the Dept. of Environmental Engineering, the University of Seoul. His research interest has been the relations between environmental noise and annoyance, and the sound quality.