

도로 종단선형에 따른 도로교통 소음 특성 분석

Characteristic of Road Traffic Noise According to Road Vertical Alignment

| | | |
|-------|------------------|--|
| 문 학 룡 | Moon, Hak Ryong | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구위원 · 교신저자 (E-mail : hymoon@kict.re.kr) |
| 한 대 철 | Han, Dae Cheol | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 (E-mail : dchan@kict.re.kr) |
| 강 원 평 | Kang, Won Pyoung | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구원 (E-mail : kwpdmb@kict.re.kr) |

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to research the influence of road traffic noise by road slope through the analysis of the field road traffic noise and determine consideration of road slope in the case of applying active noise cancellation.

METHODS : This study measures vehicle's noise by the NCPX method at the three field sections such as uphill, downhill, and flatland. Total sound pressure and sound pressure level by the 1/3 octave band frequency are calculated through the raw field data. Total sound pressure level is compared by ANOVA test and T test statistically. The results obtained are compared in accordance with the road slope and the progress of the uphill section.

RESULTS : The noise characteristic of early, medium, and last parts of uphill was found to be consistent when the vehicle was travelling uphill section. The result of statistical test, it was shown that total sound pressures are not different each other. According to the comparison by the geometry, sound pressure of the uphill section was higher than those of the flatland and downhill section in high frequency band. By the result of statistical test, total sound pressure are different according to geometry in the case of high vehicle speed. In the comparison result by road slope, each sound pressure level was found to be consistent in total frequency. However, total sound pressure proportionally increased according to road slope.

CONCLUSIONS : It is found that the effect of road slope on noise generation was little in this experimental sites.

Keywords

road traffic noise, NCPX, sound pressure level, 1/3 octave band, uphill section, downhill section, T test, ANOVA test

Corresponding Author : Moon, Hak Ryoung, Research Fellow
Highway & Transportation Research Division, Korea Institute of
Construction Technology, (Daehwa-Dong)283, Goyangdae-Ro,
Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.9100.476 Fax : +82.31.9100.205
E-mail : hymoon@kict.co.kr

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

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

경제성장으로 인하여 가구당 차량 보유수는 급격하게 증가하게 되었고, 이로 인하여 발생하는 도로교통 소음은 국민의 삶의 질을 저해시키는 요소로 작용하고

있다. 환경부(2011)에 의하면 전 국민의 52.7%가 도로 교통 소음에 노출되어 있으며, 환경분쟁조정위원회에 접수되어 처리된 민원 중 86%가 소음과 진동에 관련된 민원으로써 소음 공해에 상당히 열악한 상황인 것을 알 수 있다.

일반적으로 도로교통 소음은 주행하는 자동차에서 발생하여 도로면으로 전달되는 환경소음의 하나로 소음 발생원은 주행 자동차의 엔진음, 타이어 마찰음, 배기음 등으로 구성되어 있다(Kim, 2008).

이러한 요소에 의해 발생하는 도로교통 소음을 예측하고자 다양한 도로교통 소음 모델링 연구가 진행되어 오고 있다. 일반적인 도로교통 소음의 예측모델은 소음원의 음향파위를 산정하고, 이 소음원이 전파되는 경로를 수식화하여 거리별 소음도를 예측하는 것이다. 도로교통 소음의 음향파위를 예측하는 모델의 인자들은 자동차 소음도, 도로의 표면상태, 도로경사, 교통량, 차량의 평균속도 등이 있다. 이들 인자 중 도로 경사에 관한 연구는 다른 인자에 비해 연구가 다소 적은 편이다. 또한, 도로교통 소음의 ANC 적용에 있어서는 주파수별 비교와 ANC 성능을 극대화할 수 있는 인자를 소음 모델식을 통해 판단하고 적용하는 것이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 도로교통 현장소음 측정·분석을 통해 도로의 경사에 따른 소음발생의 특성을 주파수별 분석, 총 음압레벨 통계적 비교를 수행하여 알아보 고자 한다.

1.2. 연구 범위

본 연구에서는 도로의 현장 소음을 측정하기 위해 오르막 구간, 내리막 구간, 평지로 구분하여 일반국도의 3 지점을 대상으로 소음을 측정하였다. 측정된 소음 측정 결과는 1/3 옥타브 밴드 주파수별 분석을 통해 해당 구간의 주파수 대역을 비교하였다. 주파수 별 분석을 위해 사용되는 옥타브 밴드의 범위는 1/1, 1/3 등 다양한 분석범위가 있지만 본 연구에서는 국제적으로 통용되어 사용되는 1/3 분석을 수행하였다. 또한 주파수 별 음압레벨을 통해 산출된 총 음압레벨을 ANOVA test와 T test를 통해 통계적 비교를 수행하였다.

본 연구는 3구간의 오르막 구간을 3등분하여 세부 분석을 통해 오르막 주행 중의 소음 특성을 파악하고, 오르막, 내리막, 평지의 주행 소음 분석을 통해 중단선형 별 소음 특성을 파악하였다.

또한, 오르막 경사 증가에 따른 소음 특성을 파악하고 자 경사별 비교를 수행하여 그 차이를 분석하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 소음예측 모델링

경사를 고려한 대표적인 소음예측 모델은 영국의 CRTN 모델이 있다. 영국에서는 주로 1975년 Department of Transport Welsh Office(HMSO)에서 처음으로 발표한 연구보고서인 CRTN에 근거하여 도로 교통 소음을 예측하고 있다.

도로에서 기본소음도 계산은 도로 가장자리에서 10m의 거리에서 교통량, 차량속도, 차량구성, 도로경사, 도로포장상태로부터 얻어진다. 도로교통 소음은 교통량, 평균속도, 차량 구성과 밀접한 관련이 있다. 신설예정인 도로의 소음도를 예측할 경우에는 적절한 교통인자를 선정해야 한다. 기존도로 예측에는 이러한 교통인자의 측정이 선행되어야 한다. CRTN 모델에서 경사보정은 Fig. 1과 같이 경사에 따라서 보정값을 결정한다.

CRTN의 모델은 경사 증가에 따른 보정계수를 나타낸 것으로 ANC 적용을 위한 주파수별 분포에 대해서는 고려하지 않은 것으로 판단된다. 도로교통 소음에 ANC 적용에 있어서 경사 적용에 대한 고려를 검토할 필요가 있다고 판단되며, 본 연구는 경사에 따른 소음 발생 영향을 총 음압레벨과 주파수별 음압레벨을 통해 알아보았다.

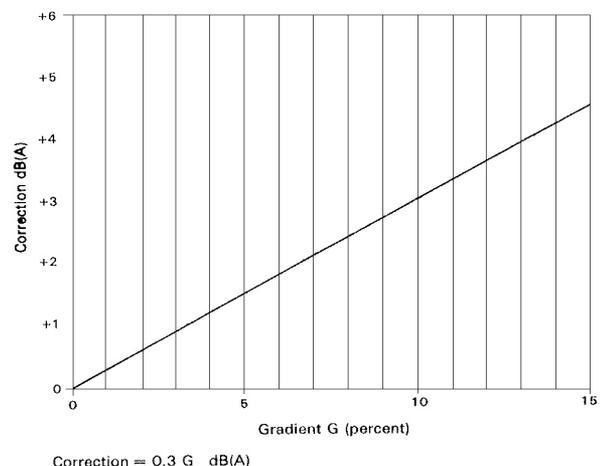


Fig. 1 Gradient Correction of CRTN Modeling

2.2. 경사구간의 소음 고찰

Virginia Department of Transportation(이하 VDOT, 2007)은 포장층의 재료와 오르막, 내리막 구간에 대한 소음 비교에 대하여 연구를 진행하였다. 포장층의 구성은 저소음 포장, 일반 아스팔트 포장, 저소음 포장과 일반 아스팔트 포장의 중간 포장, 콘크리트 포장, 총 4가지의 경우로 구성하였다.

VDOT(2007)는 소음측정기를 도로에서 20m 이격 시

킨 후 1.5m의 높이에서 지나가는 차량의 소리를 외부 마이크로폰을 통해 측정하는 Pass by 방법을 이용하여 진행하였다. 소음 측정 분석 결과 Fig. 2와 같이 속도가 25mph일 경우 오르막, 내리막 방향에 관계없이 45mph보다 낮은 결과를 나타냈다. 또한 오르막 구간이 내리막 구간에 비해 다소 높은 총 음압레벨을 나타냈으며, 저소음 포장과 일반 아스팔트의 중간 포장이 가장 적은 결과를 나타내었다.

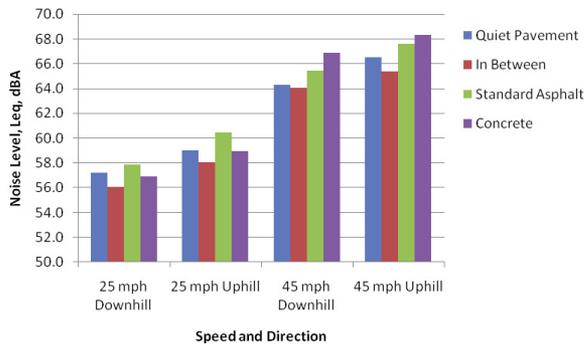


Fig. 2 Result of Noise Analysis (VDOT, 2007)

VDOT(2007)에서는 포장재 종류에 따른 오르막, 내리막 경사의 총 음압레벨을 비교하였고, 오르막, 내리막 경사의 총 음압레벨 차이를 알 수 있었다.

문헌조사 결과, 이전 소음 비교 사례는 단순히 도로와 차량의 소음발생에 중점을 두어, ANC 적용을 위한 주파수별 비교에 대한 연구는 부족하다는 것을 판단할 수 있었다.

2.3. 주파수대역 별 도로교통 소음 특성

일반적으로 도로교통 소음의 주원인이 되는 자동차 소음은 동력음, 흡·배기음, 주행음, 기타음으로 구분할 수 있다. 동력음은 엔진음, 냉각팬음, 흡기음, 배기음으로 구분되며, 냉각팬음의 주파수대역은 다음 식에 의해 결정된다.

$$f = \left(\frac{rpm}{60}\right) \times Fan \text{ 날개수} \quad (1)$$

주행음은 타이어의 오목한 부분으로 유입되는 공기가 포장면과 접지할 때 발생하는 패턴소음, 타이어에 충격이 가해지면 음이 발생하는 도로소음으로 이루어져 있다. 패턴소음은 주로 300~1,000Hz 영역의 주파수 범위에서 발생한다. 도로소음의 경우 타이어의 고유진동수는 Tread부분에서 100~150Hz, 사이드올 부분에서 20~50Hz이다(Kim, 2004).

3. 도로교통 현장소음 측정

3.1. 현장 조사방법

현장소음 측정방법은 Noble CPX-method(NCPX)로 타이어와 포장표면의 마찰음을 측정할 수 있는 방법을 사용하였다. Fig. 3과 같이 부착형 마이크로폰을 엔진부분과 가까운 앞 타이어 쪽과 엔진부분과 이격된 뒤 타이어 쪽에 설치하여 주행 중에 발생하는 지속적인 마찰음과 엔진 가속에 의해 유입되는 소음을 수집하였다.



Fig. 3 NCPX

실험차량은 Fig. 4와 같이 엔진음의 영향을 보기 위해 엔진소리가 큰 승합차량을 이용하였다.



Fig. 4 Test Vehicle

3.2. 현장 조사지점

현장소음 측정은 경사가 완만, 중간, 다소 급한 지형을 구분하여 3개의 지점을 선택하여 조사하였다. 완만한 경사지형으로 선정된 지점은 Fig. 5와 같이 경기도 이천시에 위치한 신둔면 부근의 신설도로이다. 본 구간은 평지, 오르막, 내리막 구간이 모두 포함되어 현장 조사에 적합한 구간으로 판단되었다. 신둔면 구간은 오르막 경사 3.7%, 내리막 경사 2.7%의 비교적 완만한 경사를 나타냈고, 측정 당시 온도 19.9°, 습도 32%의 기후 조건을 나타내었다.



Fig. 5 Noise Investigation Section of Sindoon-Myeon (Source : Google Map)

신둔면 구간에서의 측정은 차량 속도 40, 60, 80kph 로 하였고, 속도 당 5회씩 구간의 소음 Raw data를 수집하였다. 중간 경사의 구간으로 선정된 구간은 Fig. 6 과 같이 국도 3호선의 동원대학교 부근의 구간이다. 본 구간에서는 오르막, 내리막 구간의 Data를 수집하였으며, 4.5%의 오르막 경사와 5.6%의 내리막 경사를 나타내었다. 신둔면 구간과는 다르게 차량의 유입이 많아 저속주행이 불가하여 60, 80kph의 주행속도로 각각 5회씩 측정하였다.



Fig. 6 Noise Investigation Section of Dongwon Univ. (Source : Google Map)

비교적 경사가 급한 측정지점으로 조사된 구간은 Fig. 7과 같이 경기도 가평군 상석리에 위치한 국도 46 호선이다. 본 구간은 양방향 4차로에 일평균 31,816대의 교통량이 지나가는 구간이다. 본 구간은 빗고개라는 언덕에 위치하고 있어 오르막 경사는 6.8%, 내리막 경사는 8.1%로 다소 급한 경사를 가지고 있다.



Fig. 7 Investigation Section of Sangsaek-ri (Source : Google Map)

4. 도로교통 현장소음 분석 결과

4.1. 분석 개요

현장소음의 분석은 측정된 소음원의 1/3 옥타브밴드 주파수 영역에서의 소음레벨을 비교하였으며, Eq. (2)에 근거하여 총 음압레벨을 산출하여 비교 분석하였다.

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

여기서, $L_{overall}$ 은 총 음압레벨을 나타낸 것이며, $L_{i(1,2,3,\dots,n)}$ 는 각각 주파수별 음압레벨을 나타내는 것이다(Lee et al., 2012.).

현장조사를 통해 얻어진 Raw data에서 외부 소음이 유입되지 않은 5초를 추출하여, 1/3 옥타브 밴드 분석과 더불어 총 음압레벨을 산정하였고, 총 5회의 측정 후 분석된 값을 산술평균하여 비교하였다.

분석방법은 각 구간에서 조사한 오르막 구간을 초반, 중반, 후반 3등분으로 하여 오르막 진행에 따른 소음 특성 변화를 파악하기 위하여 진행 중에 발생하는 소음의 변화를 분석하였다.

또한, 오르막 구간, 평지, 내리막 구간의 비교를 통해 중단 경사에 따른 소음특성을 확인하였고, 최종적으로, 경사 증가에 따른 특성변화를 확인하고자 경사 3.7%, 4.5%, 6.8%의 소음특성 비교를 통해 소음발생에 경사의 영향을 확인하고자 하였다.

4.2. 오르막 구간 세부 분석

4.2.1. 신둔면 구간(언덕 경사 : 3.7%)

본 연구에서 현장조사를 진행한 신둔면 구간은 오르막 경사 3.7%로 다소 완만한 경사를 가진 구간이다. 본 구간에서는 40, 60, 80kph의 주행속도로 현장조사를 수행하였다. Fig. 8은 주행속도 40kph의 경우의 1/3 옥타브 밴드 주파수 별 분석 결과를 나타낸 것이다. 오르막 중반의 경우 2kHz 이상의 고주파수 대역에서 다른 주파수에 비해 근소하게 높은 음압레벨을 나타내었지만 그 차이는 크지 않았다.

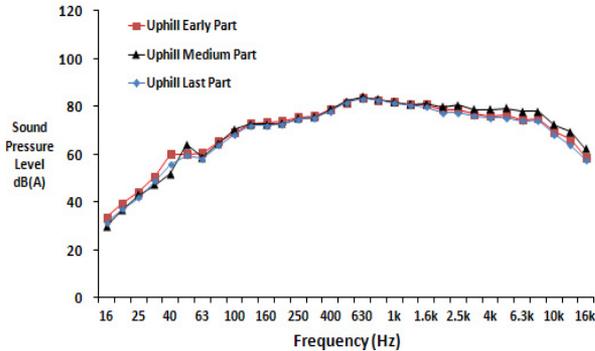


Fig. 8 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 40kph)

Fig. 9는 주행속도 60kph의 주파수 별 음압레벨을 나타낸 것이다. 주행속도 40kph와 마찬가지로 오르막 후반부에서 초, 중반에 비해 근소한 차이를 보였으며 오르막 진행에 따른 주파수별 음압레벨의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

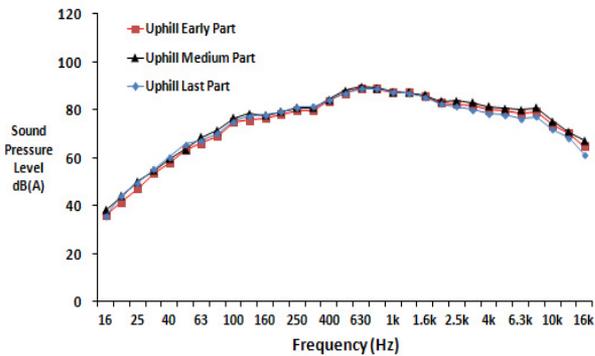


Fig. 9 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

Fig. 10은 주행속도 90kph의 경우 주파수 별 음압레벨을 나타낸 것이다. 오르막 구간 진행 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 경사가 낮은 신둔면 구간에서는 오르막 초반, 중반, 후반에 따른 주파수 별 음압레벨의 차이는 근소하였다.

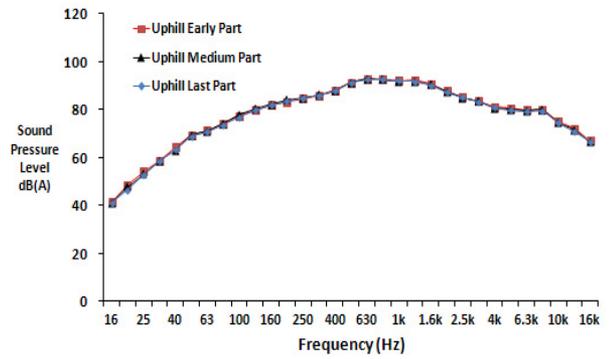


Fig. 10 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

위에서 나타낸 주파수 별 음압레벨 결과를 Eq. (2)에 대입하여 총 음압레벨을 산출하였고, SPSS를 이용한 ANOVA test를 통해 오르막 진행에 따른 총 음압레벨의 통계적 차이를 알아본 결과는 Table 1, 2와 같다.

Table 1. Descriptive Statistics

| Descriptive Statistics | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------------|---------|
| Speed (kph) | Location | N | Mean (dB(A)) | SD |
| 40 | Early Part | 5 | 91.94 | 0.51284 |
| | Medium Part | 5 | 92.60 | 0.77782 |
| | Last Part | 5 | 91.34 | 0.95289 |
| 60 | Early Part | 5 | 96.98 | 0.30332 |
| | Medium Part | 5 | 97.64 | 0.52726 |
| | Last Part | 5 | 96.92 | 0.32711 |
| 80 | Early Part | 5 | 100.80 | 0.44721 |
| | Medium Part | 5 | 101.20 | 0.44721 |
| | Last Part | 5 | 101.00 | 0.70711 |

Table 2. ANOVA-test Result

| ANOVA-test | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------|---------|
| Speed (kph) | | Sum of Square | The Degree of Freedom | Mean Square | P-value |
| 40 | Within Group | 3.972 | 2 | 1.986 | 0.070 |
| | Between Group | 7.104 | 12 | 0.592 | |
| | Sum | 11.076 | 14 | | |
| 60 | Within Group | 1.596 | 2 | 0.798 | 0.026 |
| | Between Group | 1.908 | 12 | 0.159 | |
| | Sum | 3.504 | 14 | | |
| 80 | Within Group | 0.400 | 2 | 0.200 | 0.531 |
| | Between Group | 3.600 | 12 | 0.300 | |
| | Sum | | 14 | | |

주행속도 40kph, 80kph의 경우 유의확률이 0.070 을 나타내었고 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각 하지 않아 통계적으로 오르막 초반부, 중반부, 후반부의 총 음압레벨의 차이가 없는 것으로 나타났다. 주행속도 60kph의 경우 유의확률은 0.026을 나타내었고, 0.05 보다 작기 때문에 귀무가설을 기각해 오르막 진행에 따른 총 음압레벨은 차이가 있다고 판단되었다.

4.2.2. 동원대 구간(언덕 경사 : 4.5%)

동원대 구간은 4.5%의 언덕 경사를 가진 구간으로 신둔면 구간에 비해 다소 높은 경사를 나타내는 구간이다. 동원대 구간은 차량의 유입이 많아 저속주행이 불가하여, 주행속도 60, 80kph에서 측정을 진행하였다. Fig. 11은 주행속도 60kph의 주파수 별 분석 결과이다. 주행 속도 60kph의 주파 수별 음압레벨은 오르막 진행 별 별다른 차이가 나타나지 않았다. Fig. 12는 주행속도 80kph의 주파수 별 음압레벨 결과를 나타낸 것으로, 오르막 진행 별 별다른 차이가 없었다.

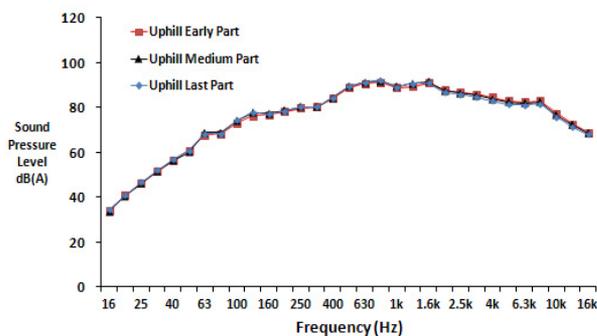


Fig. 11 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

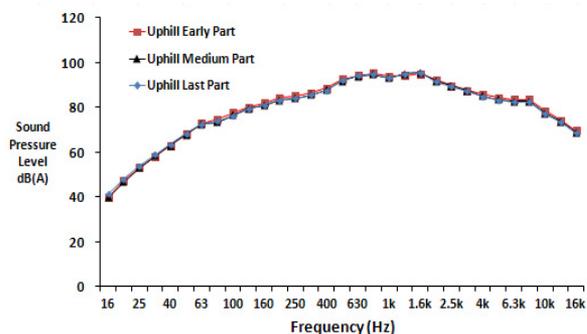


Fig. 12 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

Table 3은 동원대 구간의 총 음압레벨을 ANOVA test를 통해 통계적 차이를 나타낸 결과이다. 주행속도

60, 80kph 모두 유의확률이 0.05보다 높게 나타내어 귀무가설을 기각하지 않아 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 3. Descriptive Statistics and ANOVA-test Result

| Descriptive Statistics | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------------|---------|
| Speed (kph) | Location | N | Mean (dB(A)) | SD |
| 60 | Early Part | 5 | 99.66 | 0.11402 |
| | Medium Part | 5 | 100.08 | 0.52631 |
| | Last Part | 5 | 99.74 | 0.23022 |
| 80 | Early Part | 5 | 103.20 | 0.83666 |
| | Medium Part | 5 | 103.60 | 0.89443 |
| | Last Part | 5 | 103.40 | 0.54772 |

| ANOVA-test | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------|---------|
| Speed (kph) | | Sum of Square | The Degree of Freedom | Mean Square | P-value |
| 60 | Within Group | 0.497 | 2 | 0.249 | 0.156 |
| | Between Group | 1.372 | 12 | 0.114 | |
| | Sum | 1.869 | 14 | | |
| 80 | Within Group | 0.400 | 2 | 0.200 | 0.723 |
| | Between Group | 7.200 | 12 | 0.600 | |
| | Sum | 7.600 | 14 | | |

4.2.3. 상색리 구간(언덕 경사 : 6.8%)

경사가 6.8%로 가장 급한 경사 구간인 상색리 구간의 주파수 별 음압레벨 분포는 Fig. 13, 14, 15와 같다. 주행속도 40, 60, 80kph 모두 오르막 진행에 따른 주파수 별 분포는 차이가 없는 것으로 나타났다.

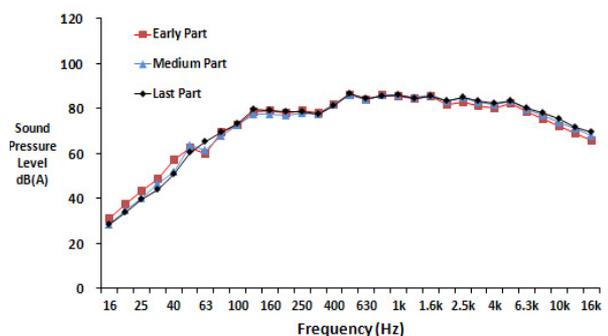


Fig. 13 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 40kph)

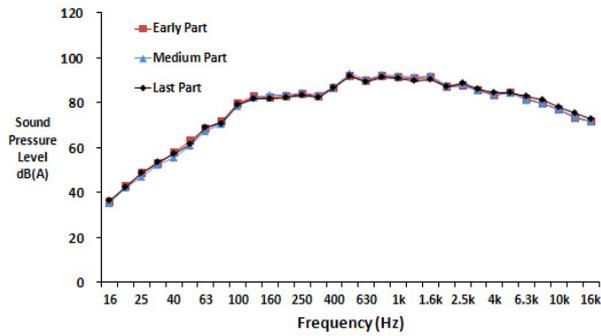


Fig. 14 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

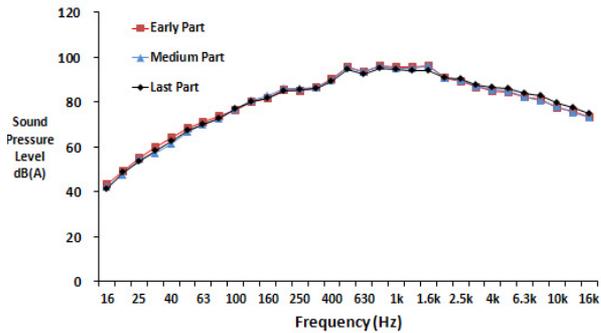


Fig. 15 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

Table 4는 상색리 구간의 주파수 별 음압레벨을 Eq. (2)를 통해 총 음압레벨을 산출하고, ANOVA test로 통계적 분석을 수행한 결과이다. 주행속도 40, 60, 80kph 모두 유의확률이 0.05보다 높아 귀무가설을 기각하지 않아 통계적으로 차이가 없음을 나타내었다.

Table 4. Descriptive Statistics and ANOVA-test Result

| Descriptive Statistics | | | | |
|------------------------|-------------|---|--------------|---------|
| Speed (kph) | Location | N | Mean (dB(A)) | SD |
| 40 | Early Part | 5 | 95.44 | 0.68775 |
| | Medium Part | 5 | 95.96 | 0.67676 |
| | Last Part | 5 | 96.08 | 0.20494 |
| 60 | Early Part | 5 | 100.62 | 0.84971 |
| | Medium Part | 5 | 101.20 | 0.83666 |
| | Last Part | 5 | 100.50 | 0.70711 |
| 80 | Early Part | 5 | 104.40 | 0.89443 |
| | Medium Part | 5 | 104.40 | 1.51658 |
| | Last Part | 5 | 103.60 | 0.54772 |

| ANOVA-test | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------|---------|
| Speed (kph) | | Sum of Square | The Degree of Freedom | Mean Square | P-value |
| 40 | Within Group | 1,157 | 2 | 1,784 | 0.210 |
| | Between Group | 3,892 | 12 | | |
| | Sum | 5,049 | 14 | | |
| 60 | Within Group | 1,401 | 2 | 0,701 | 0.366 |
| | Between Group | 7,688 | 12 | 0,641 | |
| | Sum | 9,089 | 14 | | |
| 80 | Within Group | 2,133 | 2 | 1,067 | 0.417 |
| | Between Group | 13,600 | 12 | 1,133 | |
| | Sum | 15,733 | 14 | | |

4.3. 종단선형 별 비교

4.3.1. 신둔면 구간

종단선형 별 비교는 오르막 세부비교와 마찬가지로, 주파수 별 음압레벨을 확인 후, Eq. (2)를 통해 총 음압레벨을 산출하여 비교하였다.

Fig. 16은 주행속도 40kph의 주파수 별 음압레벨을 나타낸 것이다. 오르막 구간의 경우 주파수 1.6kHz 이상의 고주파수 대역에서 내리막 구간과 평지구간에 비해 높은 음압레벨을 나타내었다. 이는 오르막 구간 주행 시 차량의 가속소음이 영향을 준 것으로 판단된다.

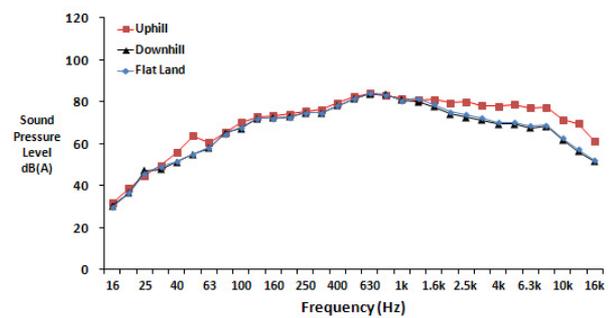


Fig. 16 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 40kph)

Fig. 17은 주행속도 60kph의 주파수 별 음압레벨을 나타낸 결과이다. 40kph와 마찬가지로 1.6kHz 이상의 고주파수에서 오르막 구간이 내리막, 평지구간에 비해 높은 음압레벨을 나타내었고, 이는 엔진 가속소음의 원인으로 판단되었다.

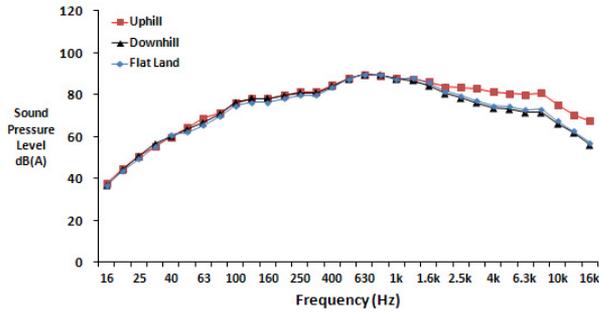


Fig. 17 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

주행속도 80kph의 주파수 별 음압레벨 결과 Fig. 18 과 같이 고주파수 대역에서 세 개의 구간이 모두 비슷한 결과를 나타내었다. 이는 고속주행 시 충분한 가속으로 인한 엔진의 추가 동력 작용이 없었기 때문으로 판단된다.

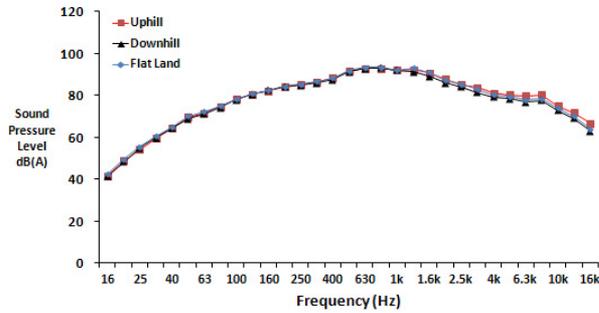


Fig. 18 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

앞의 오르막, 내리막, 평지구간 각각의 주파수 별 음압레벨 결과를 Eq. (2)에 대입하여 산출된 총 음압레벨을 SPSS를 통해 ANOVA test를 수행한 결과는 Table 5와

Table 5. Descriptive Statistics and ANOVA-test Result

| Descriptive Statistics | | | | |
|------------------------|----------|---|--------------|---------|
| Speed (kph) | Location | N | Mean (dB(A)) | SD |
| 40 | Flatland | 5 | 90.92 | 0.60992 |
| | Uphill | 5 | 92.54 | 0.70922 |
| | Downhill | 5 | 90.60 | 0.93541 |
| 60 | Flatland | 5 | 96.88 | 0.33466 |
| | Uphill | 5 | 97.72 | 0.33466 |
| | Downhill | 5 | 96.84 | 0.16733 |
| 80 | Flatland | 5 | 101.40 | 0.89443 |
| | Uphill | 5 | 101.20 | 0.44721 |
| | Downhill | 5 | 100.80 | 0.83666 |

| ANOVA-test | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------|---------|
| Speed (kph) | | Sum of Square | The Degree of Freedom | Mean Square | P-value |
| 40 | Within Group | 10.817 | 2 | 5.409 | 0.004 |
| | Between Group | 7.000 | 12 | 0.583 | |
| | Sum | 17.817 | 14 | | |
| 60 | Within Group | 2.469 | 2 | 1.235 | 0.001 |
| | Between Group | 1.008 | 12 | 0.084 | |
| | Sum | 3.477 | 14 | | |
| 80 | Within Group | 0.933 | 2 | 0.467 | 0.462 |
| | Between Group | 6.800 | 12 | 0.567 | |
| | Sum | 7.733 | 14 | | |

같다. 주행속도 40, 60kph의 경우 유의확률이 0.05보다 작은 결과를 나타내었고, 귀무가설을 기각하였다. 이를 통해 신둔면 구간의 평지, 오르막, 내리막 구간이 통계적으로 총 음압레벨의 차이가 있다고 판단하였다. 주행속도 80kph의 경우 유의확률이 0.462를 나타내어 통계적으로 지형 별 총 음압레벨이 차이가 없었다.

4.3.2. 동원대 구간

동원대 구간의 분석은 오르막, 내리막 지형에서 주행속도 60, 80kph를 구분하여 진행하였다. Fig. 19는 주행속도 60kph의 주파수 별 음압레벨을 나타낸 것이다. 신둔면 구간의 저속일 경우와 마찬가지로 고주파수 대역에서 오르막 구간이 내리막 구간에 비해 높은 음압레벨을 나타내었다. 주행속도 80kph의 경우 Fig. 20과 같이 주행속도 60kph와 비슷한 결과를 나타내었다.

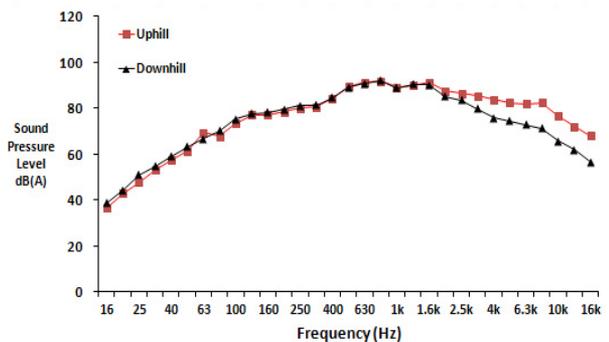


Fig. 19 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

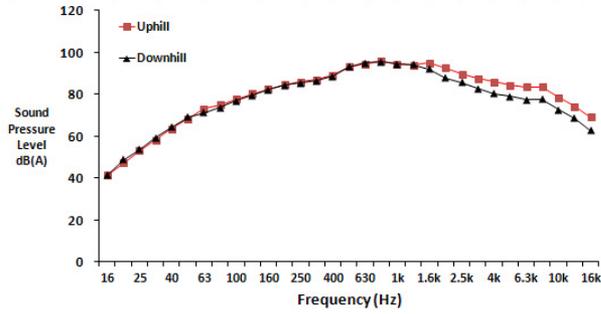


Fig. 20 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

동원대 구간의 주파수 별 음압레벨을 Eq. (2)에 대입하여 산출된 총 음압레벨을 T test를 이용해 통계적 차이를 알아본 결과는 Table 6과 같다. 동원대 구간에서는 평지구간없이 오르막, 내리막 지형에서만 소음을 측정하였기 때문에 T-test를 이용하여 비교하였다. 비교 결과 주행속도 60kph의 경우 유의확률이 0.047을 나타내어 0.05보다 작기 때문에 통계적으로 오르막, 내리막 지형의 총 음압레벨의 차이가 있다고 판단되었다. 주행속도 80kph의 경우 0.141을 나타내어 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각하지 않아 통계적으로 차이가 없음을 나타내었다.

Table 6. Descriptive Statistics and T-test Result

| Descriptive Statistics | | | | | |
|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|--------------------|----------------|
| Speed (kph) | Microphone Location | N | Mean (dB(A)) | SD | |
| 60 | Uphill | 5 | 99.90 | 0.65192 | |
| | Downhill | 5 | 98.92 | 0.67231 | |
| 80 | Uphill | 5 | 103.80 | 0.44721 | |
| | Downhill | 5 | 103.00 | 1.00000 | |
| T-test | | | | | |
| Speed (kph) | t | The Degree of Freedom | P-value | Difference in mean | Standard Error |
| 60 | 2.340 | 8 | 0.047 | 0.98 | 0.41881 |
| 80 | 1.633 | 8 | 0.141 | 0.80 | 0.48990 |

4.3.3. 상색리 구간

경사가 급한 구간으로 선정된 상색리 구간은 오르막, 내리막 지형에서, 차량속도를 40, 60, 80kph로 구분하여 진행하였다. Fig. 21은 주행속도 40kph의 경우 주파수 별 음압레벨 분포를 나타낸 것이다. 다른 구간과 마찬가지로 1.6kHz 이상의 고주파수 대역에서 오르막 구간이 높은 결과를 보였다. 주행속도 60kph의 경우도

Fig. 22와 같이 고주파수 대역에서 오르막 구간이 높은 결과를 나타내었다.

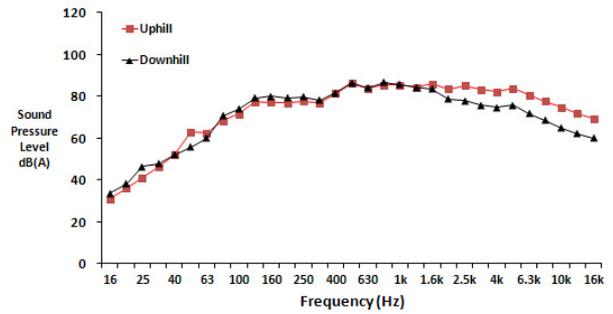


Fig. 21 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 40kph)

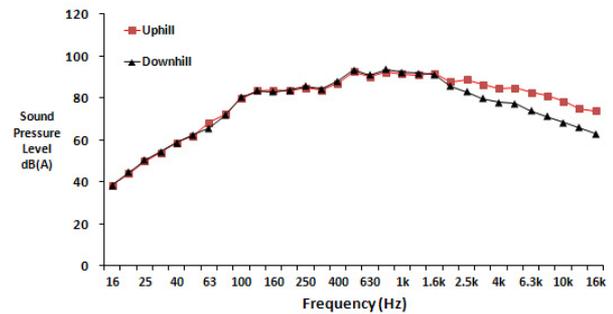


Fig. 22 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

Fig. 23은 주행속도 80kph의 경우 주파수 별 음압레벨 분포를 나타낸 것이다. 40, 60kph와 마찬가지로 고주파수 대역에서 높은 결과를 나타내었으나, 그 차이가 적게 나타났다.

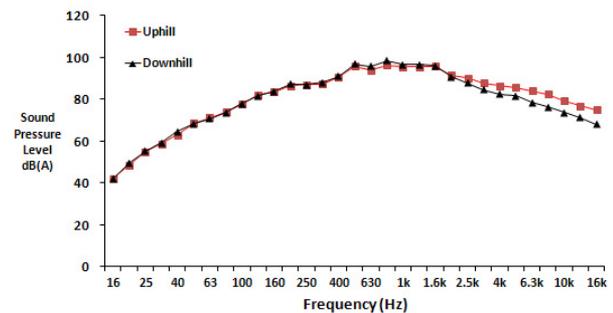


Fig. 23 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

각 구간의 주파수별 음압레벨을 Eq. (2)에 대입하여 산출된 총 음압레벨을 T test를 통해 통계적으로 비교한 결과는 Table 7과 같다. 주행속도 40kph의 경우 유의확률이 0.022를 나타내어 0.05보다 작기 때문에 통

계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 주행속도 60, 80kph의 경우 유의확률이 0.05보다 크기 때문에 통계적으로 차이가 없었다.

Table 7. Descriptive Statistics and T-test Result

| Descriptive Statistics | | | | | |
|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|--------------------|----------------|
| Speed (kph) | Microphone Location | N | Mean (dB(A)) | SD | |
| 40 | Uphill | 5 | 95.82 | 0.75299 | |
| | Downhill | 5 | 94.62 | 0.57184 | |
| 60 | Uphill | 5 | 101.20 | 0.44721 | |
| | Downhill | 5 | 101.40 | 0.54772 | |
| 80 | Uphill | 5 | 104.60 | 0.54772 | |
| | Downhill | 5 | 105.20 | 0.44721 | |
| T-test | | | | | |
| Speed (kph) | t | The Degree of Freedom | P-value | Difference in mean | Standard Error |
| 40 | 2.838 | 8 | 0.022 | 1.20 | 0.42285 |
| 60 | -0.632 | 8 | 0.545 | -0.20 | 0.31623 |
| 80 | -1.897 | 8 | 0.094 | -0.60 | 0.31623 |

4.4. 오르막 경사 별 비교

본 연구에서는 오르막 경사 3.7%, 4.5%, 6.8%에서 소음을 수집하여, 경사 증가에 따른 소음특성 변화를 알아보았다. Fig. 24는 주행속도 60kph일 경우 경사 증가에 따른 주파수 별 음압레벨 분포를 나타낸 것이다. 오르막 경사 3.7%와 4.5%는 비슷한 분포를 나타냈지만, 경사 6.8%의 경우 100~400Hz 범위에서 다른 경사에 비해 근소하게 높은 결과를 나타내었다.

전체적인 분포로 봤을 때, 3가지 경사의 분포차이는 미미한 것으로 판단된다.

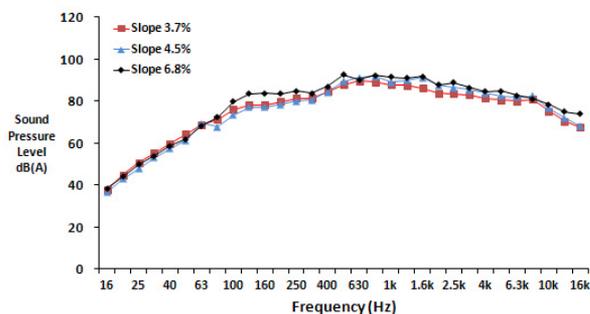


Fig. 24 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 60kph)

Fig. 25는 주행속도 80kph의 경사 별 비교를 나타낸 것이다. 경사 3.7%가 고주파수 대역에서 다른 경사에

비해 낮은 경향을 나타냈지만 그 차이는 크지 않았다.

총 음압레벨 비교결과는 Fig. 26과 같다. 경사가 높아질수록 발생하는 총 음압레벨은 증가하는 것으로 나타났다.

경사에 따른 비교결과, 주파수 별 음압레벨은 근소한 차이를 나타내었고, 총 음압레벨은 경사가 증가할수록 높아지는 결과를 보였다.

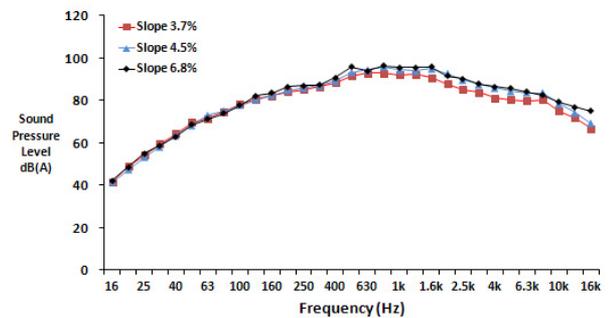


Fig. 25 Sound Pressure Level by 1/3 Octave Band Frequency (Vehicle Speed : 80kph)

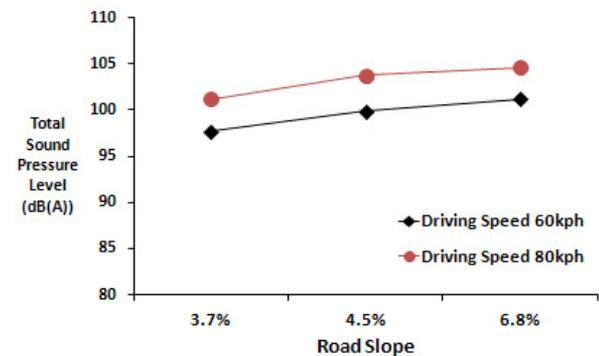


Fig. 26 Total Sound Pressure Level (unit : dB(A))

5. 결론

본 연구에서는 중단선형이 도로교통 소음발생에 영향을 주는 정도를 알아보고자 3구간에서 현장소음 측정 후, 분석을 하여 오르막 초반, 중반, 후반의 경우와 오르막, 내리막, 평지를 구분하여 비교한 후 오르막 경사 별 비교를 진행하였다. 비교는 1/3 옥타브 밴드 주파수 별 음압레벨의 비교와 이를 통해 산출된 총 음압레벨을 SPSS를 이용하여 ANOVA test, T test를 수행하고 통계적 비교를 하였다.

신둔면 구간과 동원대 구간, 상색리 구간의 오르막 구간을 초반, 중반, 후반으로 나누어 주파수 별 음압레벨 비교결과, 전체적으로 비슷한 결과를 나타내었다.

ANOVA test를 이용하여 총 음압레벨 비교결과 신둔면 구간의 주행속도 60kph를 제외하고 전체적으로 차이가 없음을 나타내었다.

또한, 본 연구에서 오르막, 평지, 내리막 구간의 소음 특성을 주파수 별 음압레벨에 따라 비교한 결과, 신둔면 구간에서는 주행속도 40, 60kph일 경우 1.6kHz 이상의 고주파수 대역에서 오르막 구간이 내리막, 평지구간에 비해 높은 음압레벨을 나타내었다. 이를 통해 오르막 주행 시 발생하는 차량의 엔진 소음이 영향을 주는 주파수 대역을 알 수 있었다. 반면, 주행속도 80kph의 경우 오르막, 내리막, 평지의 주파수별 음압레벨이 비슷한 결과를 나타내었는데 이는 고속주행 시 충분한 사전가속으로 인해 추가 엔진 동력이 작용하지 않았기 때문으로 판단된다.

동원대 구간의 비교에서는 주행속도 60, 80kph 모두 오르막 구간이 내리막 구간에 비해 고주파수 대역에서 높은 음압레벨을 나타내었다. 신둔면 구간하고 다르게 주행속도 80kph에서도 고주파수 대역이 높은 결과를 나타내었는데, 이는 소음측정 시 차량의 유입이 많아 사전가속이 여의치 않아 발생한 결과라고 판단된다.

비교적 경사가 높은 상색리 구간은 다른 구간과 마찬가지로 오르막 구간이 내리막 구간에 비해 고주파수 대역에서 높은 음압레벨 분포를 나타내었다. 종단선형 별 비교에서의 총 음압레벨 통계적 비교결과 차량의 고속주행 시 차이가 없었다. 경사 증가에 따른 비교결과 주파수 별 음압레벨은 근소한 차이를 나타내었고, 경사가 증가할수록 총 음압레벨도 비례하여 증가하는 결과를 보였다.

향후, Matlab를 이용하여 소음원에 LMS알고리즘을 적용하여 ANC를 통한 경사 별 소음 감쇠정도를 연구할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 한국건설기술연구원의 주요사업인 "전자식 도로 교통 소음 저감 기술 개발"의 연구지원으로 수행되었습니다.

References

- Cho, N. J., 2011, *A Study on Field Applications and Effect of Micro Surfacing Pavement on Noise Reductions*, Kyonggi University master's degree dissertation
- European Commission DG Environment, *Adaptation and Revision of the Interim Noise Computation Methods for the Purpose of Strategic Noise Mapping*
- Jung, W. H., 2007. "A Comparative Study of Noise Prediction Method of Road Traffic Map", *Journal of the National Conferences Spring Academic*, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering
- Kim, C. H., Jang, T. S., and Kim, D. S., 2012. "Characteristics Analysis of Highway Traffic Noise", *Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*
- Kim, J. S., 2008. *Noise and Vibration Engineering*, Sejinso 359-376.
- Kim, S. G., 2004. *A Study on the Attenuation of Noise through Noise Barrier based on the Frequency Analysis of the Road Traffic Noise*, Seonam University master's degree dissertation
- Kim, Y. K., Lee, S. W., and Yoo, T. S., 2007. "Development of Tire/Pavement Noise Simulator", *Journal of the Korean Society of Road Engineers*
- Korea Institute of Construction Technology, 2012. *Development of Traffic Noise Modeling and Noise Reduction Technology as Road Traffic Noise by Location*
- Lee, J. J., Mun, S. H., Ahn, 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*
- Ministry of Environment, 2011. *Establishment of measures to prevent road traffic noise pollution collective petition*
- Moon, H. R., Han, D. C., 2013. "The Noise Reduction Basic Experiment by Road Pavement Condition and Vehicle Speed", *Journal of the National Conferences Spring Academic*, Korean Society of Transportation
- National Institute of Environmental Research, *Study on the Improvement of Noise Environmental Impact Assessment(1)*
- Queens Government Department of Main Road, 2008. *Road Traffic Noise Assessment*, Road Traffic Noise Management : Code of Practice
- Virginia Department of Transportation, 2007. *Highway Noise Reduction Experiment*
- (접수일 : 2013. 6. 28 / 심사일 : 2013. 7. 2 / 심사완료일 : 2013. 7. 30)