

# 소음 편익 비용을 고려한 복층 저소음 아스팔트 포장의 경제성 분석

강햇빛\* · 박기선\*\* · 김낙석\*\*\*

Kang, Haet Vit\*, Park, Ki Sun\*\*, Kim, Nak Seok\*\*\*

## Economic Analysis of Two-Layer Quiet Asphalt Pavement Considering Noise Cost Benefits

### ABSTRACT

Two-layered quiet asphalt pavements are well known for their noise reduction capabilities compared to the conventional ones. This study was conducted to analyze the economic effects on two-layered quiet asphalt pavement rather than on one-layered. Noise prediction was performed on the data surveyed from the two-layered quiet asphalt pavement. In addition, the economic analysis was executed considering cost benefits using the noise prediction result. The permeability test was also investigated to evaluate the clogging recovery of two-layered quiet asphalt pavement. Analysis results revealed that the construction cost of two-layered quiet asphalt pavements was cheaper than that of the conventional soundproof walls. The two-layered quiet asphalt pavement with simulated clogging conditions was satisfied the permeability requirements of the permeable asphalt pavements. The permeability test results showed that the permeable time was recorded as 6.77 seconds for one cycle of cleaning job with 400 mL of water.

**Key words :** Noise, Quiet pavement, Two layer, Noise benefit cost, Economic analysis

### 초록

저소음 아스팔트 포장은 일반 아스팔트 포장 보다 소음 저감 효과가 우수한 것으로 알려져 있다. 본 연구는 단층 저소음 아스팔트 포장이 아닌 복층 저소음 아스팔트 포장에 대한 소음 분석 연구로 경제적인 관점에서 분석하고자 하였다. 복층 저소음 아스팔트 포장의 소음 측정 자료를 바탕으로 소음 예측을 수행하고 예측 결과를 이용하여 소음 편익 비용을 고려한 경제성 분석과 복층 저소음 아스팔트 포장의 공극 막힘 회복을 평가하기 위해 청소 전·후의 현장투수계수 시험을 실시하였다. 복층 저소음 아스팔트 포장의 경제성 분석결과 방음벽을 설치하는 것보다 복층 저소음 아스팔트 포장을 시공하는 것이 20년간 약 1.2억 원의 비용절감 기대할 수 있는 것으로 확인되었다. 또한 공극 막힘 상태를 인위적으로 모사한 복층 저소음 아스팔트 포장은 1회 청소만으로 물 400 mL 투과시키는 시간이 6.77초로 배수성 아스팔트 투수성능 기준을 만족시켜 청소 효율이 높은 것으로 평가되었다.

**검색어 :** 소음, 저소음 포장, 복층, 소음 편익 비용, 경제성 분석

## 1. 서론

교통의 발달은 경제 성장에 큰 기틀을 마련하는 계기가 되었으나 근래에 들어 교통량 증대에 따른 소음 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 소음 진동 관리법의 도로소음한도기준은 주거지역 주간 68dB(A)이하, 야간 58dB(A)이하로 규정하고 있으며 분쟁조정위원회(2014)에

\* 정희원 · 경기대학교 토목공학과 석사과정 (Kyonggi University · kanghatbit@nate.com)

\*\* 경기대학교 토목공학과 석사과정 (Kyonggi University · kei.sun.p@gmail.com)

\*\*\* 정희원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Kyonggi University · nskim1@kyonggi.ac.kr)

Received August 6, 2014/ revised August 20, 2014/ accepted August 27, 2014

따르면 환경문제로 발생하는 분쟁·신고 사건의 약 85%는 소음·진동과 관련된 사건으로 소음의 심각성 및 관심을 알 수 있다. 도로분야에서는 이러한 소음 문제를 해소하고자 방음벽, 방음터널, 저소음 아스팔트 포장과 같은 소음 대책을 실시하고 있다. 소음원의 전파를 막는 용도로 소음 저감 효과가 우수한 방음벽과 방음터널이 사용되고 있으나, 대부분이 철재 구조물로 이루어져 있어 고액의 재료비와 시공비용 부담과 고층부 및 소음 암영지역에 속하는 경우 소음 반사 및 흡음의 효과를 기대하기 힘든 문제점을 가지고 있다.

저소음 아스팔트 포장의 경우 일반 아스팔트에 비해 공극률이 약 4~5배 정도 큰 19~21%로 시공한다(Lee et al., 2012). 저소음 아스팔트 포장은 공극을 통해 아스팔트 포장 노면과 타이어 사이에서 발생하는 소음을 저감하는 원리이다. Fig. 1은 주행 중인 차량에서 발생하는 소음은 타이어 소음(Tire Noise), 엔진 소음(Powertrain Noise), 공력 소음(Aerodynamic Noise)을 말하며 일정 속도가 지난 이후에는 타이어와 노면 사이에서 발생하는 타이어 소음이 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다. 타이어 소음은 노면과 타이어가 접촉하면서 발생하는 소음으로 저소음 아스팔트 포장은 타이어가 노면과 접촉할 때 공기의 흐름을 외부가 아닌 내부로 순환시켜 소음을 저감하게 된다. 저소음 아스팔트 포장은 과거 연구를 통해 공극 막힘으로 인한 소음 저감 효과의 저하가 있다고 알려져 있다. 따라서 저소음 포장공법은 포장 시공 후 유지관리가 포장의 성능 및 장기공용성에 미치는 영향이 크므로 기능 유지를 위한 관리 방안이 필요하다(Korea Expressway Corporation, 2011).

본 연구에서는 Ministry of Environment (2013)에서 도로교통 소음 측정방법으로 제시한 5분 등가소음도( $L_{Aeq}$ ) 측정을 복층 저소음 아스팔트 시공 전·후로 실시하여 소음 저감 효과를 평가하고 측정 결과를 소음 예측 데이터로 활용하고자하였다. 예측된 결과를 바탕으로 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)에서 제시한 소음가치 평균원단위로 소음의 가치를 산정하여 소음

저감 효과를 고려한 일반 아스팔트 포장과 저소음 아스팔트 포장 간의 경제성 분석을 실시하고자하였다. 저소음 아스팔트의 문제점으로 지적되어왔던 공극 막힘으로 인한 소음 저감 기능의 저하를 개선하고자 청소차를 도입하였으며 청소 전·후의 현장 투수계수 시험을 수행하여 공극 막힘의 회복 여부를 확인하고자 하였다.

## 2. 복층 저소음 아스팔트 포장

일반적인 아스팔트 포장의 공극률은 약 4%인 반면 저소음 아스팔트 포장은 공극률이 19~21% 확보되어있다. 이렇게 확보된 저소음 아스팔트 포장의 공극은 도로교통 소음 매커니즘에서 소음원의 음압레벨을 저감하는 중요한 역할을 한다. 저소음 아스팔트 포장은 다공성 포장체로 공극을 통해 공기 투과성을 높여 타이어와 노면 사이에서 발생하는 에어 펌핑 음(Air Pumping Noise)을 억제하고, 타이어 패던 흡 공명음과 같은 도로 포장과 타이어 사이에서 발생하는 소음을 공극 사이로 흡수하여 저감시킨다(Lee, 2004).

복층 저소음 아스팔트 포장은 상부층과 하부층이 나뉘어 하나의 층을 구성하는 포장으로 본 연구에서 적용한 포장 구성은 상부층 최대입경 8 mm의 골재, 하부층 최대입경 13 mm의 골재를 사용하였다. 상부층은 작은 최대입경의 골재를 사용하여 노면의 거칠기를 개선하고, 이물질로 인한 공극 막힘 현상을 막기 위한 필터층 역할을 한다. 상부층에 구성된 필터층은 공용년수 증가에 따른 공극 막힘을 저감시켜 소음 저감 효과를 장기간 유지할 수 있게 해준다. 하부층에는 상대적으로 큰 최대입경의 골재를 사용하는데 이는 급격한 단면의 확대로 불연속부 음에너지 반사에 의해 소음이 감소되도록 하는 원리로 추가적인 소음 저감 효과를 거둘 수 있다.

## 3. 복층 저소음 아스팔트 포장 소음 예측

본 연구에서는 환경부에서 제시한 5분 등가소음도( $L_{Aeq}$ )를 복층 저소음 아스팔트 포장의 시공 전·후로 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 한국도로공사에서 개발한 KHTN (Korea Highway Traffic Noise Prediction Program)의 입력 변수를 설정하였다. 경제성 분석시 기초 자료로 활용하기 위해 아파트 모든 층에 대한 소음을 예측하였으며 방음벽을 추가적으로 설치할 경우를 가정하여 비교 분석을 하였다.

### 3.1 도로 소음 측정

소음 측정지역은 Fig. 2와 같으며 아파트 전면에는 4 m의 방음벽이 시공되어있는 상태이다. 일반 아스팔트 포장과 복층 저소음 아스팔트 포장의 소음 비교를 위해 Ministry of Environment (2013) 소음·진동 공정시험기준에 규정되어있는 5분 등가소음도

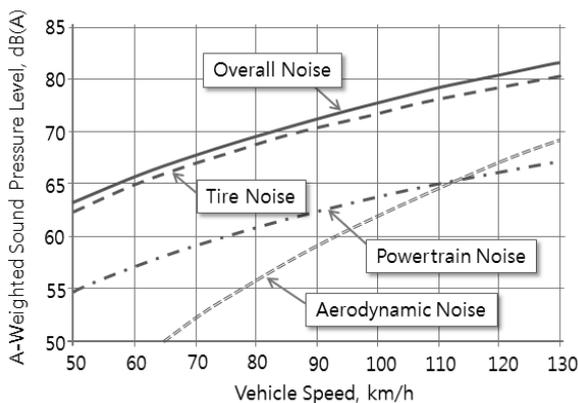


Fig. 1. Noise Contribution by Speed (Ponniiah et al., (2010))

측정 방법으로 복층 저소음 아스팔트 시공 전·후의 소음을 측정하였다. 등가소음도 측정은 임의의 측정시간 동안 발생한 변동 소음의 총 에너지를 같은 시간 내 정상소음 에너지로 등가하여 얻어진 소음도를 말한다. 5분 등가소음도 측정은 도로교통 소음뿐만 아니라 생활환경 전반의 소음까지 기록되어지는 소음 측정방법으로 도로 이용자 및 도로 주변 거주자의 소음영향 판단을 위해 사용되고 있는 측정 방법이다.

소음 측정 방법은 Ministry of Environment (2013)에서 제시한 도로교통 소음한도 측정 방법을 적용하였으며 건물 내부에서 측정할 경우 Fig. 3과 같이 건물 외벽에서 소음원 방향으로 약 1.0



Fig. 2. Noise Measurement Area



Fig. 3. Noise Measurement Scene

Table 1. Results of Before and After Quiet Asphalt Pavement Construction (dB(A))

| Floor | Before construction | After construction |
|-------|---------------------|--------------------|
| 15    | 69.92               | 65.50              |
| 12    | 71.00               | 66.65              |
| 9     | 70.50               | 66.90              |
| 7     | 70.80               | 66.95              |

m 떨어진 지점에 마이크 설치를 하도록 권고하고 있다. 측정 횟수는 소음 피해가 가장 많을 것으로 예상되는 시간대에 4시간 이상의 간격으로 2회 이상 측정하는 것을 원칙으로 하며 측정 결과를 산출평균하여 계산한 것이 측정소음도이다. Table 1은 환경부에서 제시한 도로교통 소음한도 측정 방법을 통해 측정된 복층 저소음 아스팔트 포장 시공 전·후 소음 측정 결과이다.

### 3.2 실측자료를 활용한 도로 소음 예측

복층 저소음 아스팔트 포장 시공 전·후 현장에서 측정된 5분 등가소음도를 토대로 15층 아파트의 각 층별 소음을 예측하였다. KHTN의 경우 저소음 포장에 대한 별도의 설정이 없지만 저소음 포장은 타이어와 노면 사이에서 발생하는 소음을 저감하기 때문에 도로에서 발생하는 소음원의 음압레벨 조정을 통해 실측 값과 유사한 결과가 나오도록 설정하여 아파트 모든 층의 소음 예측을 수행하였다. 소음 영역의 도로의 길이는 600 m로 설정하였으며 실제 시공길이와 동일하게 300 m 구간만 저소음 아스팔트 포장으로 가정하였다. 방음벽은 현장과 동일한 알루미늄 재질의 흡음형 방음벽으로 가정하여 예측을 실시하였으며, 높이 10 m 이상의 방음벽의 시공은 기초 공사 및 지주의 단가가 급격히 상승하기 때문에 방음벽 높이는 9 m로 설정하였다.

Table 2는 소음 예측 결과로 기존 아스팔트 포장, 기존 아스팔트 포장+방음벽 4 m, 기존 아스팔트 포장+방음벽 9 m 및 복층 저소음

Table 2. Result of Noise Prediction (dB(A))

| Floor | prior asphalt pavement | prior asphalt pavement + Soundproof 4m | prior asphalt pavement + Soundproof 9m | Two-layer quiet pavement + Soundproof 4m |
|-------|------------------------|--|--|--|
| 15    | 69.55                  | 69.55                                  | 69.55                                  | 65.84                                    |
| 14    | 69.73                  | 69.73                                  | 69.73                                  | 65.96                                    |
| 13    | 69.91                  | 69.91                                  | 69.91                                  | 66.09                                    |
| 12    | 70.08                  | 70.08                                  | 61.09                                  | 66.20                                    |
| 11    | 70.25                  | 70.25                                  | 59.68                                  | 66.30                                    |
| 10    | 70.41                  | 70.41                                  | 58.23                                  | 66.38                                    |
| 9     | 70.55                  | 70.55                                  | 56.85                                  | 66.44                                    |
| 8     | 70.68                  | 70.68                                  | 55.58                                  | 66.47                                    |
| 7     | 70.80                  | 70.80                                  | 54.41                                  | 66.45                                    |
| 6     | 70.89                  | 62.74                                  | 53.34                                  | 58.78                                    |
| 5     | 70.94                  | 61.18                                  | 52.36                                  | 57.78                                    |
| 4     | 70.93                  | 59.46                                  | 51.48                                  | 56.66                                    |
| 3     | 70.83                  | 57.88                                  | 50.70                                  | 55.54                                    |
| 2     | 70.48                  | 56.45                                  | 50.00                                  | 54.44                                    |
| 1     | 68.98                  | 55.15                                  | 49.42                                  | 53.37                                    |

아스팔트 포장+방음벽 4 m의 소음 예측 결과이다. 3.1절의 실측 자료를 바탕으로 아파트 각 층에 대한 소음을 예측하였다. 경제성 분석시 자료로 활용하기 위하여 방음벽을 9 m로 제시공하였을 때의 소음과 기존 아스팔트 포장에 방음벽이 없을 때를 추가적으로 예측하였다. 일반적인 방음벽은 저층부의 소음 민원을 해결하는데 탁월한 효과가 있지만 고층부로 갈수록 방음벽의 소음 저감 영역을 벗어나 고층부 거주자는 방음벽을 설치하기 전과 유사한 소음을 느끼는 것으로 분석되었다. 하지만 복층 저소음 아스팔트 포장의 경우 소음원 자체의 소음을 감소시키기 때문에 모든 층에서 소음 저감 효과를 얻을 수 있었다.

#### 4. 고압 살수·진공 흡입 청소차 검토

저소음 아스팔트 포장은 높은 공극률로 배수투수 성능을 확보해 소음 저감을 하는 포장 기술이다. 하지만 공용기간이 증가할수록 공극 막힘이 발생하여 소음 저감을 위한 공극 확보가 용이하지 않아 소음 저감 효율이 낮아지게 된다. 복층 저소음 아스팔트 포장은 공극 막힘에 대한 문제를 해결하고자 도로에서 발생하는 이물질을 걸러내는 필터 역할로 최대입경 8 mm 골재를 상부층에 사용하였다. 상부층이 필터 역할을 함으로써 복층 저소음 아스팔트 포장은 청소 효율 증가와 공극 막힘 방지를 이루고자 하였다. 본 연구에서는 공극 막힘 모사를 실시한 후 고압 살수진공 흡입 청소를 수행하여 복층 저소음 아스팔트 포장의 공극 막힘 회복 정도를 평가하였다. 공극 막힘 모사 전·후, 고압 살수진공 흡입 청소 전·후의 현장 투수시험을 실시하여 공극 막힘을 평가하였다.

##### 4.1 시험 방법

도로 인근의 토사를 이용하여 인위적으로 공극 막힘을 재현하고 고압 살수진공 흡입 청소차를 동원하여 청소를 실시하였다(Fig.



Fig. 4. Watering and Vacuum Clean Vehicle

4). 현장투수시험기를 이용하여 공극 막힘 재현 전·후 및 청소 진행 후에 대하여 400 mL의 물이 통과 되는데 걸리는 시간을 측정하였다.

##### 4.2 시험 결과

Table 3은 공극 막힘 전, 공극이 막혀있는 상태와 청소 후의 현장투수시험 결과이다. Seoul (2010)에서는 저소음 아스팔트 포장의 현장 투수시험 기준을 400 mL/10초 로 제시하고 있다. 복층 저소음 아스팔트 포장은 공극 막힘 상태에서 1회 청소 후 서울시에서 제시하고 있는 기준을 만족하였으며 3회 청소 후에는 초기와 유사한 상태로 회복되는 것을 확인하였다.

Table 3. Water Permeability Test (sec)

| Type         | Measured value |      | Average | Pass criterion   |
|--------------|----------------|------|---------|------------------|
| Before clean | 5.88           | 5.31 | 5.60    | 400 ml/<br>10sec |
| Clogging     | X              | X    | X       |                  |
| First clean  | 7.44           | 6.09 | 6.77    |                  |
| Second clean | 6.00           | 5.68 | 5.84    |                  |
| Third clean  | 5.91           | 4.96 | 5.44    |                  |

#### 5. 경제성 분석

본 연구에서는 소음 예측 자료를 토대로 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)에서 제시한 소음 가치 평균원 단위를 적용하여 소음의 가치를 포함한 복층 저소음 아스팔트 포장과 방음벽이 추가로 설치된 일반 아스팔트 포장의 생애주기 비용(Life Cycle Cost)을 수행하였다. 한국물가정보 자료를 활용하여 복층 저소음 아스팔트 포장과 일반 아스팔트 포장의 초기 공사비용을 산정하였으며 생애주기 분석 기간은 Seoul (2010)에서 적용한 20년을 사용하였다. Table 4는 일반 아스팔트 포장과 복층 저소음 아스팔트 포장의 초기 공사비용을 나타낸 것으로 한국물가정보를 바탕으로 m<sup>2</sup>당 필요한 단가를 산출한 것이다.

Seoul (2010)에서 제시한 기준에 따라 복층 저소음 아스팔트

Table 4. Early Stage Costs of Asphalt Pavement (KRW)

| Construction type             | Unit           | Dense graded pavement | Two-layer quiet pavement |
|-------------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| Asphalt laying and compaction | m <sup>2</sup> | 604                   | 3,280                    |
| Tack coating                  | m <sup>2</sup> | 245                   | 689                      |
| Material                      | m <sup>2</sup> | 9,228                 | 40,800                   |
| Early stage cost              | m <sup>2</sup> | 10,077                | 44,769                   |

Table 5. Maintenance Costs

| Construction type             | First maintenance period (year) | Maintenance period (year) | First cost (won/m <sup>2</sup> ) | Maintenance cost(won/m <sup>2</sup> ) |             |        |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------|--------|
|                               |                                 |                           |                                  | Remove pavement                       | Resurfacing | Total  |
| Dense graded asphalt pavement | 5                               | 5                         | 10,077                           | 1,131                                 | 10,077      | 11,208 |
| Two-layer quiet pavement      | 4                               | 4                         | 44,769                           | 1,131                                 | 44,769      | 45,900 |

Table 6. Periodical Maintenance Costs of Dense Graded Asphalt Pavement by Applying Current Value Conversion Factor

| Period(year) | Current value conversion factor (PWF) | Maintenance cost (won/m <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------------------------------|--|
| 5            | 0.765                                 | 8,576                                  |
| 10           | 0.585                                 | 6,561                                  |
| 15           | 0.448                                 | 5,020                                  |
| 20           | 0.343                                 | 3,841                                  |
| Total        |                                       | 23,999                                 |

Table 7. Periodical Maintenance Costs of Two-Layer Quiet Pavement by Applying Current Value Conversion Factor

| Period(year) | Current value conversion factor (PWF) | Maintenance cost (won/m <sup>2</sup> ) |
|--------------|---------------------------------------|--|
| 4            | 0.807                                 | 37,051                                 |
| 8            | 0.652                                 | 29,908                                 |
| 12           | 0.526                                 | 24,143                                 |
| 16           | 0.425                                 | 19,488                                 |
| 20           | 0.343                                 | 15,731                                 |
| Total        |                                       | 126,322                                |

포장과 일반 아스팔트 포장의 재포장 기간은 각각 4, 5년을 적용하였다. Table 5는 유지보수비용을 나타낸 것으로 공용수명에 의해 기존 포장 절삭 비용과 재포장 비용이 포함되어있다. Table 6과 Table 7은 20년 동안의 m<sup>2</sup>당 유지보수비용을 현재가치환산법을 통해 계산한 것이다. 또한, 본 연구에서 사용된 할인율은 한국개발연구원에서 발표한 실질할인율 5.5%를 적용하였다.

Table 8은 경제성 분석에서 사용된 방음벽의 설치비용을 나타낸 것이다. 높이 9 m, 길이 300 m의 방음벽 설치를 가정하였다. 방음벽의 설치비용은 방음벽 업체에 의뢰를 하였으며 물가정보와 실시설계의 자료로 설치비용을 산정하였다.

Table 9는 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)의 내용에 따라 2011년의 소음가치 평균원단위를 소비자물가지수 보정을 통해 2013년 기준 소음가치 평균원단위로 나타낸 것이다. 소음가치 평균원단위는 1 dB이 감소할 때마다 발생하는 소음의 가치를 방음벽 단가와 비교하여 환산한 것으로 Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013)에 제시되어있다.

Table 8. Soundproof Installation Cost (KRW)

| Construction type              | Unit           | Unit cost | Total       |
|--------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| Insulation board material cost | m <sup>2</sup> | 184,000   | 496,800,000 |
| Construction cost              | 2 m            | 11,008    | 1,651,200   |
| Pillar installation cost       | 2 m            | 2,097,394 | 314,609,100 |
| Bolt                           | ea             | 182,833   | 27,424,950  |
| Soundproof installation cost   |                |           | 840,485,250 |

Table 9. Average Value of Noise (won/dB)

| Year | City  | Country | Average |
|------|-------|---------|---------|
| 2013 | 4,460 | 1,926   | 2,270   |

Table 10은 일반 아스팔트 포장+방음벽 9 m를 시공하였을 때 얻을 수 있는 소음 편익을 계산한 결과이며 Table 11은 복층 저소음 아스팔트의 소음 편익을 계산한 결과이다. Korea Land & Housing Corporation (2011)에서는 공극을 청소한 후에도 100% 기능 회복이 불가능 하다고 판단하여 공용기간 6개월이 경과한 복층 저소음 아스팔트 포장의 청소 후 소음 저감 기능 회복범위를 90%로 제시함에 따라 본 연구에서는 보수적인 관점으로 접근하고자 6개월 경과할 때마다 청소를 실시하고 소음 저감 능력이 90% 씩 저하되는 것으로 가정하였다. 따라서 청소할 때마다 소음 저감 기능 회복률을 90%로 적용하여 현재가치환산법으로 소음 편익을 계산하였다. 복층 저소음 아스팔트 포장의 재포장 주기가 4년임을 감안하여 4년마다 초기 소음 저감량과 동일하게 적용하였으며 방음벽의 공용기간에 따른 소음 저감 효율의 감소는 고려하지 않았다.

Table 12는 소음 편익을 포함한 생애주기비용 분석 결과이다. 복층 저소음 아스팔트 포장에서는 기존의 방음벽을 그대로 두어 추가적인 방음벽 설치비용은 발생하지 않았다. 경제성 분석결과 300 m의 포장 길이에 해당하는 20년 동안의 생애주기 비용은 일반 아스팔트 포장과 방음벽 9 m를 시공한 경우는 약 9.5억 원, 복층 저소음 아스팔트를 포장한 경우는 약 5.4억 원으로 산출되었다. 소음 편익비용을 적용하였을 때는 복층 저소음 아스팔트 포장이 약 1.2억 원의 비용 절감을 할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 10. Dense Graded Asphalt Pavement+Soundproof 9 m Noise Benefit Cost Applying Current Value Conversion

| Period (year) | Current value conversion factor (PWF) | Noise benefit cost (won/m <sup>2</sup> ) | Period (year) | Current value conversion factor (PWF) | Noise benefit cost (won/m <sup>2</sup> ) | Period (year) | Current value conversion factor (PWF) | Noise benefit cost (won/m <sup>2</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------------------------------|--|
| 1             | 1.000                                 | 257,807                                  | 8             | 0.687                                 | 177,226                                  | 15            | 0.473                                 | 121,832                                  |
| 2             | 0.948                                 | 244,367                                  | 9             | 0.652                                 | 167,987                                  | 16            | 0.448                                 | 115,480                                  |
| 3             | 0.898                                 | 231,627                                  | 10            | 0.618                                 | 159,229                                  | 17            | 0.425                                 | 109,460                                  |
| 4             | 0.852                                 | 219,552                                  | 11            | 0.585                                 | 150,928                                  | 18            | 0.402                                 | 103,754                                  |
| 5             | 0.807                                 | 208,106                                  | 12            | 0.555                                 | 143,060                                  | 19            | 0.381                                 | 98,345                                   |
| 6             | 0.765                                 | 197,257                                  | 13            | 0.526                                 | 135,602                                  | 20            | 0.362                                 | 93,218                                   |
| 7             | 0.725                                 | 186,974                                  | 14            | 0.499                                 | 128,533                                  | Total         |                                       | 3,250,343                                |

Table 11. Two-Layer Quiet Pavement+Soundproof 4 m Noise Benefit Cost Applying Current Value Conversion

| Period (year) | Current value conversion factor (PWF) | Noise benefit cost (won/m <sup>2</sup> ) | Period (year) | Current value conversion factor (PWF) | Noise benefit cost (won/m <sup>2</sup> ) | Period (year) | Current value conversion factor (PWF) | Noise benefit cost (won/m <sup>2</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------------------------------|--|
| 1             | 1.000                                 | 163,652                                  | 8             | 0.687                                 | 59,787                                   | 15            | 0.473                                 | 50,741                                   |
| 2             | 0.948                                 | 125,647                                  | 9             | 0.652                                 | 106,635                                  | 16            | 0.448                                 | 38,957                                   |
| 3             | 0.898                                 | 96,468                                   | 10            | 0.618                                 | 81,872                                   | 17            | 0.425                                 | 69,483                                   |
| 4             | 0.852                                 | 74,066                                   | 11            | 0.585                                 | 62,859                                   | 18            | 0.402                                 | 53,347                                   |
| 5             | 0.807                                 | 132,102                                  | 12            | 0.555                                 | 48,261                                   | 19            | 0.381                                 | 40,959                                   |
| 6             | 0.765                                 | 101,425                                  | 13            | 0.526                                 | 86,078                                   | 20            | 0.362                                 | 31,447                                   |
| 7             | 0.725                                 | 77,871                                   | 14            | 0.499                                 | 66,088                                   | Total         |                                       | 1,567,745                                |

Table 12. The Analysis of Life-Cycle Costs (KRW)

| Construction type            | Dense graded asphalt pavement + soundproof 9 m | Quiet pavement + soundproof 4 m |
|------------------------------|--|---------------------------------|
| Early stage cost of pavement | 31,742,550                                     | 141,022,350                     |
| Maintenance cost             | 75,596,108                                     | 397,912,984                     |
| Soundproof installation cost | 840,485,250                                    | -                               |
| Total                        | 947,823,908                                    | 538,935,334                     |
| Noise benefit cost           | - 544,997,695                                  | - 262,869,917                   |

## 6. 결론

본 연구는 복층 저소음 아스팔트 포장의 시공 전후의 등가소음도 측정 결과를 바탕으로 소음 예측을 실시하여 소음 편익 비용을 포함한 일반 아스팔트 포장과 복층 저소음 아스팔트 포장의 경제성 분석을 수행 하였다. 일반 아스팔트 포장에는 9 m의 방음벽을 설치한 것으로 가정하였으며 복층 저소음 아스팔트 포장은 기능 회복률을 두어 소음 저감 기능 저하를 함께 고려하였다. 일반 아스팔

트 포장과 복층 저소음 아스팔트 포장의 비교결과는 다음과 같다.

- (1) 소음 측정 결과 복층 저소음 아스팔트를 시공할 경우 이격거리 50 m의 아파트에서 4 m 방음벽의 효과가 없는 7층부터 약 4.0 dB(A)의 소음 저감 효과가 있는 것으로 측정되었다. 산출 결과를 토대로 일반 아스팔트 포장에 9 m 방음벽 적용시 소음을 예측한 결과 방음벽의 효과로 인해 13층까지만 소음 저감 효과가 나타났으며 복층 저소음 아스팔트 포장 적용시에는 4 m 방음벽 효과가 닿지 않는 고층부까지 약 3 dB(A)이상의 소음 저감 효과가 있는 것으로 산출되었다. 따라서 14층 이상의 고층부 아파트가 있는 지역에서는 방음벽의 높이 제한으로 인해 복층 저소음 아스팔트를 포장하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.
- (2) 청소를 실시하기 전의 현장투수시험 결과 물 400 mL를 투수하는데 평균 5.60초가 소모되었다. 인위적으로 공극 막힘을 제한한 후 1회 청소 결과 6.77초로 서울시 배수성 아스팔트 포장의 기준을 만족시키는 투수성을 보였다. 3회 청소시 5.44초로 측정되어 초기 투수성과 유사한 상태를 보였다. 주기적인 고압 살수·진공 흡입 청소로 인해 복층 저소음 아스팔트 포장

공용기간 동안 공극 막힘 문제를 해결하여 소음 저감 효과를 지속적으로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

- (3) 소음 편익 비용을 고려한 생애주기 비용 분석을 통해 경제성 분석을 실시하였다. 보수적인 평가를 위해 소음 저감 기능 회복률을 90%로 설정하였으며, 정확성을 높이기 위해 현장 실측 소음 결과를 바탕으로 KHTN 소음 예측 프로그램을 사용하여 소음 편익 비용을 산정하였다. 분석 결과 일반 아스팔트 포장과 방음벽 9 m를 재시공한 것에 비해 기존 방음벽에 복층 저소음 아스팔트 포장을 사용하는 것이 소음 편익 비용, 초기 공사 비용 및 유지보수 비용을 포함하여 고려하였을 때 20년간 약 1.2억 원의 비용을 절감할 수 있는 것으로 확인되었다. 따라서 복층 저소음 아스팔트 포장 사용시 방음벽 및 방음터널에서 나타나는 조망권, 일조권 침해 및 고액의 설치비용에 대한 경제적, 사회적 문제를 해결하고 효율적인 도로교통 소음을 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 2014학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

### References

Committee of Environment Conflict Mediation (2014). *Statistic of environmental dispute case*, Ministry of Environment (in Korean).

Korea Expressway Corporation (2011). *A study on input parameter of traffic noise prediction program and maintenance method for porous pavement*, Report 2011, 2012-09-534.9607 (in Korean).

Korea Land & Housing Corporation (LH) (2011). *Study on pavement application of reducing noise level of road* (in Korean).

Lee, B. C. (2004). "Study on the improvement of noise level of road." Korea national university of transportation.

Lee, S. Y., Kim, I. T., Mun, S. H. and Kwon, S. A. (2012). "Study on the functional evaluation of permeable asphalt concrete pavement in seoul city." *Proceeding of the Korean society of road engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 33-39.

Ministry of Environment (2013). *Process noise-vibration test method* (in Korean).

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Investment evaluation guidelines of transportation*, pp. 198-201 (in Korean).

Ponniiah, J., Tabib, S., Lane, B. and Raymond, C. (2010). "Evaluation of the effectiveness of different mix type to reduce noise level at the tire/pavement interface." *Annual Conference of Transportation Association of Canada*.

Seoul (2010). *Preliminary feasibility report for expansion implementation of quiet porous asphalt pavement* (in Korean).