

# 임피던스 튜브를 이용한 배수성 포장의 흡음률 특성

## Sound Absorbption Study of the Porous Asphalt Concretes Based on Material Properties

문성호\* · 진정훈\*\* · 이경배\*\*\* · 김태수\*\*\*\*

Mun, Sungho · Jin, Jung-Hoon · Lee, Kyung-Bae · Kim, Tae-Su

### 1. 서 론

최근 배수성 혹은 저소음 포장에 대해 국내에서 관심을 많이 보이고 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 고속 도로 주변의 도심지에서 소음에 대한 피해사례가 늘고 있고 주민들도 적극적인 대응으로 민원을 제기하고 있다. 이러한 문제점들을 해소하고자 소음저감이 우수한 배수성 포장에 기술자 및 연구진들이 많은 관심을 보이고 있다. 따라서 본 논문에서는 임피던스 튜브를 이용하여 배수성 포장의 소음흡음의 특성을 파악하고자 한다. 즉 다양한 변수인 공극률, 골재의 입도 및 시편의 두께에 따른 흡음의 특성을 임피던스 튜브를 이용하여 알고자 하는 것이다.

표 1. 연도별 민원처리 현황 (2004년 자료)

구 분	계	수 용	이 해 설 득	분 쟁
계	426	156	258	12
2000년	55	21	34	0
2001년	64	18	45	1
2002년	83	26	54	3
2003년	224	91	125	8

※2004년 소송중인 구간의 방음시설 설치비용 3,520억

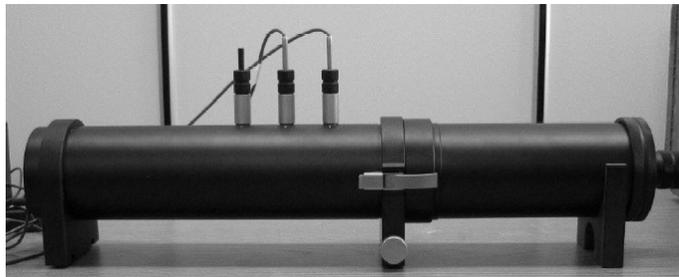


그림 1. 임피던스 튜브 (B&K Type 4206)

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : smun@ex.co.kr) -발표자  
 \*\* 정회원 · 도화기술공사 수석연구원 · 공학박사(E-mail : jinrino@paran.com)  
 \*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사(E-mail : forever6078@nate.com)  
 \*\*\*\* 비회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학석사(E-mail : tskim@ex.co.kr)

본 연구에서는 그림 1의 임피던스 튜브 실험을 통해 변수인 공극률, 골재의 입도 및 시편의 두께에 따른 흡음률을 측정하였고 이를 근거로 새로운 접근방법을 이용하여 골재 흡음률의 대표값을 구하였고, 비교 및 분석을 통해 타당성을 검증하였다.

## 2. 소음레벨의 물리적 평가

사람들은 음압에 대해 선형적으로 반응하지 않고 로그함수로 반응함에 따라 dB를 이용하여 음압 및 음향 파워를 측정한다. 또한 건설 및 교통관련 소음은 A-가중치라는 특성을 이용한 dBA를 사용한다. A-가중치 음압은 다음과 같이 정의된다.

$$L_{AT} = 10 \log_{10} \left\{ \left[ (1/T) \int_0^T p_A^2(t) dt \right] / p_{ref}^2 \right\}, \quad (1)$$

여기서,  $p_A(t)$ 는 A-가중치 음압으로 Pa 단위를 사용하며,  $p_{ref}$ 는 기준음압( $=20 \times 10^{-6}$ )이다. 그리고  $T$ 는 특정대역시간의 간격으로 초 단위를 사용한다. A-가중치 음향파워는 다음과 같이 정의된다.

$$L_{WA} = 10 \log_{10} \left( \frac{W_A}{W_{ref}} \right), \quad (2)$$

여기서,  $W_A$ 는 A-가중치 음향파워 그리고  $W_{ref}$ 는 기준 음향파워로서  $10^{-12}$  watt를 국제적으로 사용한다.

음의 신호처리 기법으로 옥타브 밴드를 사용하는데 주로 사용되는 밴드는 1/1 옥타브 밴드 및 1/3 옥타브 밴드이다. 총체적인 음향의 물리값을 표현하기 위해 Overall값을 사용하고 다음과 같이 정의 된다.

$$L_{AO} = \log_{10} \left( \sum_{i=1}^n 10^{L_{ATs}/10} \right), \quad (3)$$

여기서,  $n$ 은 중심주파수의 총 개수이고, 아래첨자  $i$ 는 개개의 중심주파수를 나타낸다.

## 3. 실내 및 현장실험

배수성 포장의 공극률은 12%, 15%, 18% 그리고 20%를 목표값으로 하여 시편을 제작하였고 입도는 13mm 최대골재치수에 맞게 제작하였다. 배수성 포장과 비교하기 위한 목적으로 제작된 일반밀입도의 시편은 19mm 최대골재치수로 제작하였다. 주어진 공극률을 얻기 위해 Superpave Gyrotory Compactor(SGC)를 이용하여 다짐하여 150mm 지름의 시편을 제작하고 코어기를 이용하여 최종적으로 100mm 지름의 시편을 제작하여 흡음률을 측정하였다. 현장실험은 2개소의 고속도로 현장에서 음향파워를 측정하였다. 본 실험에서 얻어진 데이터는 일반밀입도 포장 및 배수성포장 구간이다.

## 4. 음향특성의 결정

흡음률을 측정하기 위해 사용된 방법은 ASTM (American Society for Testing and Materials) E1050-98 그리고 ASTM C384-04에 의거해서 수행하였다. 본 실험을 위해서는 B&K 4206A 장비를 사용하였고 그림 2에서 보는 바와 같이 발생음압  $P_i$ 과 반사음압  $P_r$ 을 이용하여 흡음률을 구하였으며, 다음의 식에 근거하여 결정하였다.

$$\Gamma = \left( \frac{H_1 - H_i}{H_r - H_1} \right) \exp[j2k(l+s)], \quad (4)$$

여기서,  $H_1$ 는 주파수 응답함수 (Frequency Response Function)이고  $H_i$ 는 발생된 주파수 응답함수이고  $H_r$ 는 반사된 주파수 응답함수이고  $j$ 는  $\sqrt{-1}$ 을 의미하고  $k$ 는 파수이고  $l$ 는 마이크로폰과 시편표면 사이의 간격이고  $s$ 는 마이크로폰 사이의 간격을 의미한다.

위의 식을 이용하여 기준 임피던스비 (e.g.,  $z/\rho c$ ) 와 흡음률 계수 (e.g.,  $\alpha$ )를 구할 수 있다.

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad \text{그리고,} \quad (5)$$

$$\alpha = 1 - |\Gamma|^2. \quad (6)$$

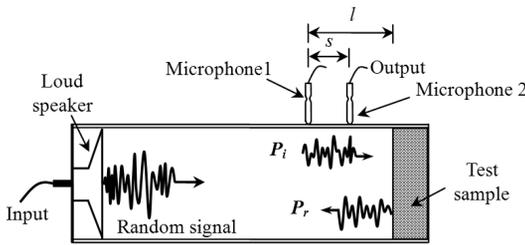


그림 2. 임피던스 튜브의 내부 및 측정방법

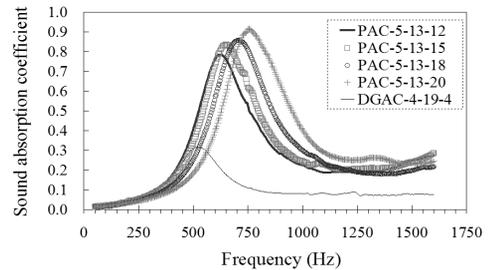


그림 3. 공극률에 따른 흡음률의 효과

## 5. 결과 및 토의

다양한 배수성 포장의 흡음률 특성을 공극률에 따른 효과, 입도에 따른 효과, 두께에 따른 효과, 그리고 현장 소음측정에 대해 검토하였다.

### 5.1 공극률에 따른 효과

그림 3은 실험한 시편 (e.g., PAC-5-13-12, PAC-5-13-15, PAC-5-13-18, 그리고 PAC-5-13-20)에 대해 공극률에 따른 주파수별 흡음률 특성을 보여 주고 있다. 여기서, PAC-5-13-12는 5cm 두께, 13mm 골재, 그리고 12% 공극률을 표현한 것이다. 본 표기 방법은 다른 것에도 똑같이 적용된다. 그림 3에서 보는 바와 같이 공극률이 크면 750-1250Hz 사이의 주파수 영역에서 흡음률이 커짐을 알 수 있다. 반면에 저주파수 영역인 300-600Hz 사이에서는 공극률이 낮으면 흡음률이 좋아짐을 알 수 있다. 만약 A-가중치를 본 측정에 적용한다면 높은 주파수 영역에서 흡음률이 높게 나타난 20% 공극률의 경우 양호한 소음의 저감효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

### 5.2 입도에 따른 효과 (그림 4)

입도에 따른 흡음률 특성을 알기 위해 PAC-5-13-18과 PAC-5-19-18을 비교해 보았다. 그 결과 650Hz 이상의 주파수 영역에서 입도가 상대적으로 적은 13mm 골재입도가 19mm 골재입도보다 흡음률 측면에서 좋은 특성을 보여 주고 있다. 또한 여기서, A-가중치를 고려해 볼 때 650Hz 이하의 주파수 영역에서는 상대적으로 큰 값의 음가중치를 적용함에 따라 13mm 골재의 경우 효과가 좋음을 알 수 있다.

### 5.3 두께에 따른 효과

두께에 따른 효과를 분석하기 위해 최대골재치수는 13mm 그리고 공극률은 18%인 4, 5 및 7cm 두께인 시편에 대해 살펴보았다. 여기서 이용된 새로운 평가방법으로는 다음의 식에 근거해서 효과를 분석했다.

$$100dB - \alpha(e.g., absorption coefficient) \times 100dB + A - weighted \text{ 음압} \quad (7)$$

식 7은 100 dB의 음압이 발생하고 포장면에 소음에너지가 전달되었을 때 얼마나 반사되는지를 알아 포장의 흡음률 성능을 평가할 수 있는 식이다. 그림 5에서 보는 것처럼 각 중심주파수별 발생음압을 보여 주고 있고 더불어 총합음압레벨을 보여 주고 있다. 총합음압레벨 (Overall Value)에 근거해서 볼 때 82.4, 81.4 그리고 77.8 dBA 값을 4, 5, 그리고 7cm에서 각각 발생됨을 알 수 있다. 따라서, 7cm 두께가 흡음률이 가장 좋음을 알 수 있다.

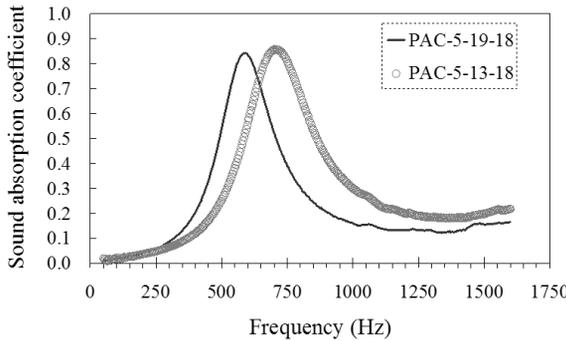


그림 4. 입도에 따른 흡음률 효과

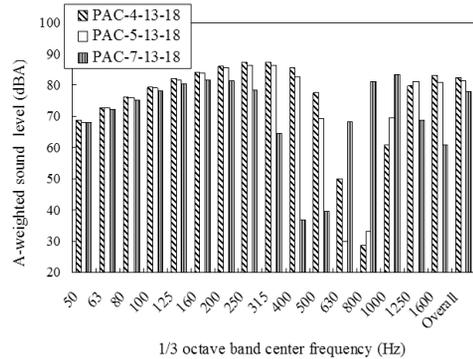


그림 5. 두께에 따른 흡음률 효과

#### 5.4 현장 소음측정 결과

현장 소음측정결과 분석은 ISO 9613-2에 근거해서 하였고 또한 도로공사에서 개발한 KRON 프로그램을 이용하여 배수성 포장 및 일반밀입도 포장에 대해 비교하였다. 그림 6은 주행차선 중앙으로부터 7.5m 떨어진 거리인 1.2m 높이에서 측정한 소음레벨값을 보여주고 있다. 결과적으로 500Hz 이상에서는 배수성이 소음저감효과가 확연히 큼을 알 수 있다.

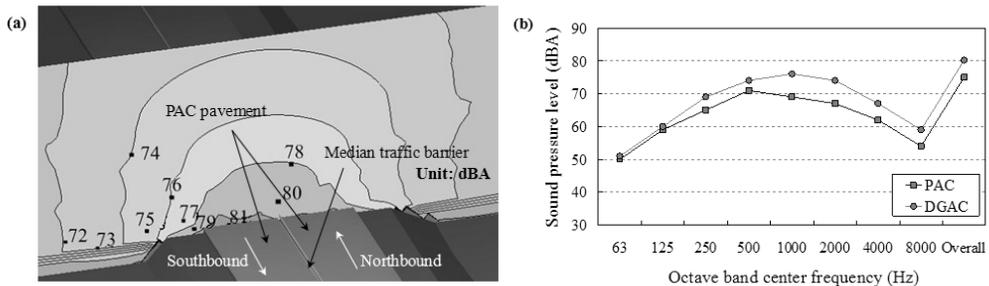


그림 6. 배수성 포장 및 밀입도 포장의 발생소음: (a) KRON 모델을 이용한 예측값; (b) 배수성 및 밀입도 비교값

### 6. 결론

본 연구를 통해 알 수 있듯이 공극률이 증가함에 따라 흡음률이 좋아짐을 알 수 있었고, 골재입도는 13mm 골재가 19mm 골재보다 좋은 흡음률을 보여 주었다. 두께에 대한 특성은 본 연구에서 제시한 식에 의해 밝혀진 것처럼 가장 두꺼운 7cm 두께가 77.8 dBA의 가장 적은 소음을 발생함을 알 수 있었다. 마지막으로 배수성 포장이 일반 밀입도에 비해 500Hz 이상의 주파수 영역에서 좋은 흡음률 특성을 가진다는 것을 개발된 프로그램을 통해 알 수 있었다.