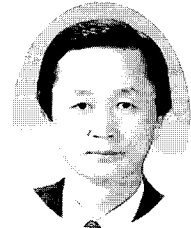


특집 II

환경친화 콘크리트

흡음 콘크리트

- Concrete for Sound Absorption -



박승범*

1. 서론

전 세계적으로 지구의 온난화 및 환경 악화 등의 환경 문제에 대한 관심이 고조됨에 따라 자연 환경과 콘크리트 구조물과의 조화가 요구되고 있다. 종래의 재료 개발은 대량 생산 및 대량 소비라는 생산성 중심의 개발로 친환경적인 측면에 대한 고려가 미비하여 앞으로는 환경친화적인 재료의 개발과 사용이 요구되고 있는 실정이다. 환경친화형 콘크리트의 정의는 광범위하고, 이후에도 새로운 종류의 재료가 제안될 가능성이 있다.

현재 사회 문제들 중에 신체의 주변에 존재하는 소음은 항상 일상 생활과 사회 활동에 많은 장애를 가지고 있다. 소음 공해를 일으키는 많은 소음원들 중에서 피해 범위가 가장 넓고 피해 정도가 큰 소음원은 교통수단에 의한 소음이다. 이와 같은 현대 소음의 대부분이 산업의 발달에 의해서 불가피하게 발생하고 있기

때문에 우리는 근대화의 은혜를 받아들이고 있는 반면, 소음 등의 피해를 받아들이게 되었다. 따라서, 이러한 소음을 제거하거나 또는 저감시키는 대책이 조급히 요구되고 있으며, 교통 소음이 환경 소음에서 차지하는 비중이 큰 만큼 교통 소음에 대한 대책은 체계적이고 장기적이어야 한다.

2. 소음 방지 대책 및 소음 처리 평가

소음의 방지 대책은 다음과 같이 4가지로 크게 대별된다.

- ① 음원에서의 대책
- ② 전달 경로 대책
- ③ 차음 대책
- ④ 흡음 대책

이 중 대표적인 소음 방지 대책으로는 방음벽등에 의한 차음이나, 재료의 내부로 흡수시켜 음을 차단시키는 방법이 일반적이다. 차음 성능은 차음 층에 있어

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

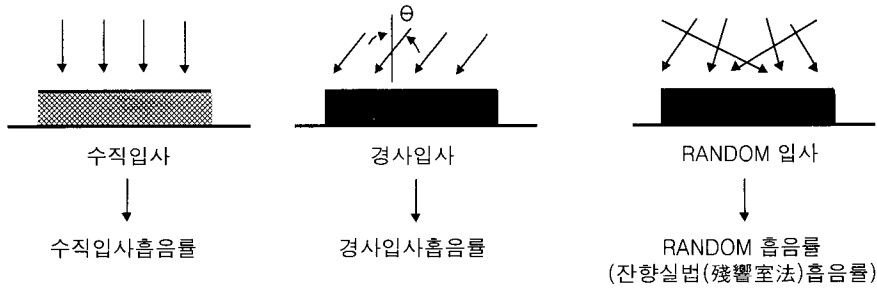


그림 1. 음의 입사 조건과 흡음률

로 평가되지만, 도로 소음과 같은 노면에서의 일정 방향성을 가진 입사의 경우에는 재료 면에 대하여 입사 각 θ 로 평면파가 도달하는 것으로 경사 입사 흡음률이 적절

하다. 일본도로공단에서도 경사 입사 흡음률이 제안되고 있으며, 이후 도로 교통 소음등의 평가법으로서의 일반화가 기대되고 있다.

서 입사한 음의 음압 수준이 어느 정도 저하하는가를 dB치로 투과 손실로 표시한다. 예를 들면 차음 층이 콘크리트 벽과 같이 치밀하고 일체의 구조를 갖고 있는 경우, 주파수와 증량에 관한 질량에 의해 벽의 면밀도가 클수록, 주파수가 높아질수록 투과 손실은 증가한다. 사용 재료에 따라서도 어느 정도 변동은 있지만, 단층 평면 벽과 같은 경우 코인 시스템 효과라 불리는 특정 주파수에서 투과 손실 저하가 일어나기 때문에 일반적으로 이중 벽을 사용한다.

흡음률은 입사한 음에 대해 반사하지 않는 음 에너지의 비율을 나타내기 때문에, 흡음 재료의 특성을 나타낼 때 일반적으로 사용되는 양이다. 흡음률은 재료 자체의 성질 외에, 재료 이면의 공기 층, 시공 조건, 입사음의 주파수와 입사 각도 등의 조건에도 관계가 있다.

흡음률은 입사한 음에 대해 반사하지 않는 음 에너지의 비율을 나타내기 때문에, 흡음 재료의 특성을 나타낼 때 일반적으로 사용되는 양이다. 흡음률은 재료 자체의 성질 외에, 재료 이면의 공기 층, 시공 조건, 입사음의 주파수와 입사 각도 등의 조건에도 관계가 있다.

그 중 수직 입사 흡음률은 평면 음파가 흡음 재료에 수직으로 도달할 때의 흡음률로, 측정 장치가 소규모이고 시료도 소량이지만, 일반적으로 고정도(高精度)의 측정이 기대되기 때문에 실용면에서는 주로 다공질 흡음 재료등의 품질 관리와 흡음 기구의 연구에 응용되고 있다.

또한, 랜덤(random) 입사 흡음률은 재료면에 대하여 모든 방향에서 동일한 확률로 음이 입사할 때의 흡음률로 측정에는 확산 음향을 통제하기 쉬운 잔향실을 사용하는 것이 일반적이며, 이 잔향실법으로 측정값을 일반적으로 랜덤 입사 흡음률로 하고 있다. 측정에는 잔향실의 바닥 면에 시료를 부착한 경우와 공실(空室)일 때의 잔향 시간의 변화에서 시료의 흡음률을 구한다. 현재에는 흡음 소재등의 평가 지표로서 이 방법이 사용되고 있다. 이 잔향실법은 실내 공간과 같은 모든 방향에서 전달하는 조건 하에서는 적절한 방법으

로 평가되지만, 도로 소음과 같은 노면에서의 일정 방향성을 가진 입사의 경우에는 재료 면에 대하여 입사 각 θ 로 평면파가 도달하는 것으로 경사 입사 흡음률이 적절

3. 포러스 콘크리트에 의한 소음 부하 저감

포러스 콘크리트는 밀실한 콘크리트와는 반대로 연속된 공극을 가지고, 내부 표면적도 크기 때문에 여러 가지의 기능을 가진 콘크리트로서 친환경적인 환경 부하 저감형의 재료로서 실용화가 가능하며, 용도의 전개가 주목되고 있다.

다공질이고 투수성이 좋은 포러스 콘크리트는 통상의 구조용 콘크리트와는 다른 용도·분야에 이용되고 있다. 환경친화형 콘크리트의 다양한 기능 중에서 흡음 기능을 가진 포러스 콘크리트는 표면 파복이 불필요하며, 외부에 직접 노출하여 사용하는 것이 가능하기 때문에 소음 저감 재료로서의 이용이 기대되고 있다.

3.1 흡음 콘크리트의 원리

콘크리트 벽과 같이 밀실하고 일체의 구조를 가진 경우는 주파수와 증량에 관계하는 증량 법칙에 의해 벽의 면밀도가 클수록 음은 투과되기 어려우며, 차음 효과가 크게 된다.

차음은 음파를 반사하는 기구이며 흡음은 음파를 흡수하는 기구이다. 음파를 흡수한다는 것은 음파의 파동 에너지를 감소시키는 것으로서 매질 입자의 운동 에너지가 재료에 진동 등을 유발시켜 열 에너지로 전환되는 것을 말한다. 포러스 콘크리트는 표면, 내부에도 연속된 공극을 가지도록 제작되기 때문에, 입사음은 일부는 반사 에너지로 되고, 또한 연속 공극을 통

하여 내부로 침투한 음은 공극 내의 주위 벽과의 마찰이나 점성 저항 및 소섬유의 진동 등에 의해 음 에너지가 열 에너지로 소비된다. 또한 포러스 콘크리트 표면에서 반사된 음과 한번 내부로 침투하여 역투과한 음 사이에 판 두께에 의한 위상차(位相差)가 발생하여, 그 효과에 의해 발생하는 간접 효과에 의해 음이 감소한다.

3.2 흡음재의 요구 성능

일반적으로 흡음 재료는 외부에 노출하여 사용하는 경우가 많다. 따라서, 흡음성 콘크리트로서는 저음역에서 중·고음역까지의 주파수대 전역까지 폭넓게 흡수하는 흡음 성능과 재료의 내구성, 시공성, 내화성, 외장성 등이 요구된다.

환경부의 방음 시설 성능 기준에 따르면 흡음형 방음판의 경우, 흡음형은 시공 직전 완제품 상태에서 250, 500, 1,000 및 2,000 Hz의 음에 대한 흡음률의 평균이 70% 이상인 것을 표준으로 하고 있다. 이와는 별도로 도로공사 특별시방서는 흡음형 방음판의 경우 흡음률을 400 Hz 음에 대하여 70% 이상, 1,000 Hz 음에 대하여 80% 이상을 표준으로 하고 있다.

또한, 흡음재의 요구 성능은 다음과 같다.

- ① 발암 물질, 방사능 물질, 연소시 치명적인 유독 가스 발생 물질 등 인체에 유해한 물질을 함유하지 않아야 한다.
- ② 20년 이상 내구성이 보장되는 재료이어야 한다.
- ③ 불연성 또는 준불연성이어야 하고 연소시 화염이 발생하지 않아야 한다.
- ④ 비산 또는 노화에 의하여 인체에 유해한 분진을 발생할 수 있는 재료는 내용물이 비산되지 않도록 충분한 내구성 및 강도를 가진 피복재로 싸서 사용해야 한다.
- ⑤ 수분 함유에 의하여 부패되지 않아야 하고 발수 처리하거나 발수 처리된 피복재로 싸서 수분을 함유하지 않게 하여야 한다.

3.3 흡음 콘크리트의 재료 및 제조 방법

포러스 콘크리트는 발포제 등에 의해 제조된 연속

기포 콘크리트와 조골재에 소량의 시멘트 페이스트를 피복하여 경화시킨 2종류의 콘크리트로 나뉘어진다. 연속 기포 콘크리트는 강도 및 흡음 특성 등의 연구가 발표되고 있으며, 후자의 콘크리트는 흡음 특성뿐만 아니라 최근에는 수중 생물의 보존 및 수질 정화 등에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.

(1) 흡음 콘크리트의 재료

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 조강 포틀랜드 시멘트가 많이 사용된다. 사용 골재로는 흡음판의 강도가 지속 가능하며 비교적 시공성이 좋은 경량 재료를 주로 사용하고 있지만, 천연 경량 골재와 인공 경량 골재도 큰 가능성을 가진 재료이다. 또한, 초경량(비중 0.27~0.35) 발포 콘크리트와 플라이 애쉬에서 합성하여 입상화한 인공 제올라이트를 골재로 한 것도 있다. 골재의 입경은 일반적으로 세립의 2~10 mm 정도가 많이 사용되고 있다.

또한, 흡음성 콘크리트에 있어서는 결합재가 차지하는 역할이 크며, 사용하는 결합재(시멘트 페이스트)의 양과 혼화제의 공용으로 흡음 특성의 향상을 기대할 수 있다. 각종 첨가제의 혼입에 의한 효과는 실리카 폼 첨가에 의한 강도 향상과 폴리머 첨가에 의한 박리의 방지, 탄소 섬유와 알루미늄 미분말 첨가에 의한 흡음성의 향상, 고성능 감수제 사용에 의한 콘크리트의 확보가 용이하게 되는 것 등이 알려져 있다.

(2) 흡음 콘크리트의 연속 공극 형성

늘개 점조 흡음 콘크리트는 골재의 결합을 통해 골재 사이에 연속 공극이 발생하게 되며 <그림 2>는 골재 점조 콘크리트의 연속 공극을 나타내고 있다.

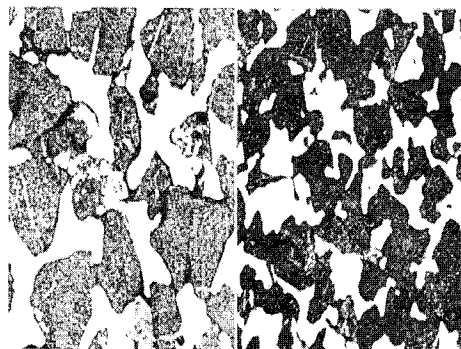


그림 2. 골재 점조 콘크리트의 연속 공극

(3) 흡음 콘크리트의 제조 방법

골재에 시멘트 페이스트를 묻혀 제조하는 방법은 결합재가 묽으면 타설 중에 유하(流下) 분리하고, 또한 뒹비빔이 되면 골재와의 부착이 불량해 페이스트를 골재에 바르는 것이 불가능하게 된다. 따라서 공시체가 형성된 상태에서의 균등한 페이스트 두께와 공극량의 확보 때문에 콘시멘트의 관리가 중요하며, 일반적으로 고성능 감수제와 공용하여 물시멘트비(25~30%), 결합재/공극(25~30%)으로 되도록 한 배합이 적절하다.

또한, 재료 슬럼프 배합의 콘크리트로 적당한 압력과 진동을 가하여 성형하는 방법과 발포 콘크리트와 같은 ALC판과 오토클레이브 방식으로 제조하는 방법 등이 실용화되고 있다.

4. 포러스 콘크리트의 물성

일반적인 포러스 콘크리트의 물성은 <표 1>에 나타난 바와 같다.

표 1. 포러스 콘크리트의 물성

물성 항목	물성값의 범위
압축 강도	50~200 kgf/cm ²
휨 강도	10~40 kgf/cm ²
인장 강도	5~25 kgf/cm ²
탄성계수	4~20×10 ⁴ kgf/cm ²
비중	1.6~2.0
공극률	5~30 %
투수계수	1×10 ⁻³ ~2×10 ⁻⁶ cm/s
건조 수축률	100~200×10 ⁻⁶
열 전도율	0.6 Kcal/mh℃
선 팽창률	5×10 ⁻⁶ /℃
비열	0.26 Kcal/kg℃

포러스 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에 비해 물시멘트비의 영향을 적게 받으며, 모르타르 양과 공극률과의 관계에 의해서 결정되며 공극률의 증대에 따라 강도는 직접적으로 저하된다. 골재를 덮고 있는 시멘트 페이스트의 두께와 점도는 물시멘트비의 작은 변동에 의해 크게 변화하기 때문에 소정의 강도를 확보하는 데에는 골재 표면수의 관리가 중요하다. 또한 건조에 의해서 시멘트 페이스트의 수분이 감소되기 쉽기 때문에 운반 방법에 주의함과 동시에 통상의 콘크리트

보다 운반 시간을 짧게 하여 타설할 필요가 있다. 또한, 동결 융해 저항성에 대해서는 일반적으로 물 시멘트 비가 작기 때문에 적설량이 많은 한랭지에서의 옥외 폭로 시험에 있어서도 양호한 결과를 나타낸 연구 결과가 있으며, 통상의 사용 조건에 있어서 양호한 내구성을 가지는 것으로 알려지고 있다.

5. 포러스 콘크리트의 흡음 특성

5.1 물리적 성상과 흡음 특성

흡음 콘크리트의 조건은 소음으로 간주되는 특정 주파수대를 흡수하는 흡음성과 강도 및 자연 환경 등에 대한 내구성을 갖는 것이 중요하다. 골재를 단위체로 하여 측정할 수직 입사 흡음률에서는 골재의 공극률, 입자의 지름 형상, 단위당 표면적, 표면 요철 등의 물리적 상태나 재료의 두께 같은 인자에 영향을 받는다. 또한 골재를 점성이 강한 시멘트 페이스트로 바른 경우에는 골재에 의한 물성 외에 골재 공극을 충전하는 결합재 양에 의존하는 연속 공극률과 내부 공극의 표면 형상이 흡음 특성에 큰 영향을 미친다.

5.2 의장성과 흡음

포러스 콘크리트로 만든 흡음판은 층의 두께, 표면 조도가 변화함에 따라 흡음하는 주파수대가 <그림 3>과 같이 이동한다. 또한 최대 흡음률은 연속 공극률이 증가할수록 비례적으로 증가함 <그림 4>에 나타내었다. 따라서, 흡음판은 필요 주파수대 영역(400~2,000 Hz)을 만족하도록 의장을 고려하여 판 두께를 변화시키고, 요철을 직교하게 배치하거나, 배후에 공기 층을 설치하는 등의 고려가 필요하다.

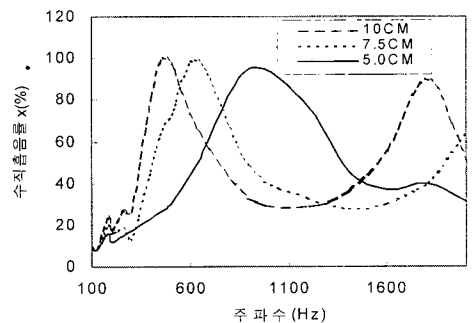


그림 3. 수직 입사 흡수율과 주파수의 관계

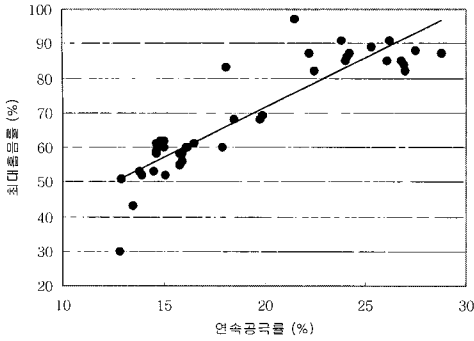


그림 4. 연속 공극률과 흡수율과의 관계

5.3 포러스 콘크리트 흡음판의 적용 및 활용 방안

포러스 콘크리트 흡음판의 적용 대상으로서는 차량 운행에 따른 차도변의 방음 시설 및 공항, 철도, 지하철 등 공공 운송기관의 항구적(恒久的)인 소음 대책과 그것에 부속하여 발생하는 연도(沿道)의 방음 대책으로의 적용(〈그림 5, 6〉)이 사료된다.

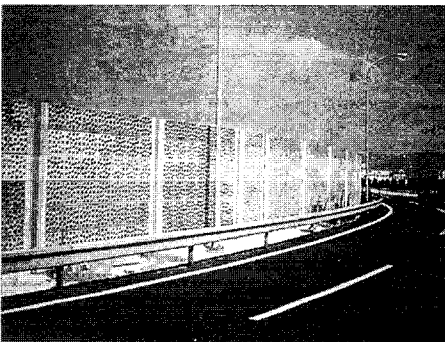


그림 5. 흡음판의 고속도로 설치 예



그림 6. 흡음판의 터널 내부의 설치 예

또한 흡음용 내·외장 패널, 칸막이 벽, 대형 블록, 천장판 등의 개발로 아파트 내·외부 및 주변의 소음 감소를 통한 건축 자재로서의 활용이 기대된다.

6. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 포러스 콘크리트를 적용한 흡음의 기능을 가진 흡음성 콘크리트를 중심으로 그 흡음 메카니즘, 흡음 콘크리트의 재료, 제조 방법, 흡음 특성 및 적용 사례를 살펴보았다.

점차 인간 생활의 질적 향상을 도모하기 위한 방편 중의 하나로, 소음 공해에 대한 관심이 날로 증가하고 있는 추세에서 도로 및 철도의 고속화 및 도시내 자동차 교통 증가에 대한 소음 대책 등과 같은 공공 교통 기관에 대한 대책과 쾌적한 주거 환경을 유지하기 위한 흡음 기술 개발 등의 많은 연구가 절실히 요구되고 있다. □

참고문헌

1. 환경부, 환경부 고시 제1998-150호 방음벽의 성능 및 설치기준, 1999.
2. 坂田則參, "騒音を吸音するコンクリート板, セメントコンクリート、", No.607, pp.42-47, 1994.
3. 玉井元治, 田中光徳, " シラス軽石を用いた多孔質コンクリートの 吸音特性", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No.1, 1994, pp.711-716.
4. 松尾 伸二, "透水コンクリートの透水・透濕・吸音特性", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.525-530, 1993.
5. 城健, "ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.259-264, 1999.
6. 湯淺幸久, "ポーラスコンクリートの製造方法に関する基礎的研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.235-240, 1999.
7. 박승범, "건재용 경량 고성능 CF 보강 플라이애쉬, 실리카폼 시멘트복합체의 제조방법", 발명특허 058695호, 1993.
8. Park, Seung Bum, "Manufacture Skill Development of High Toughness and Performance Porous Concrete", Report of RIIT CNU, 2000.
9. M. Tamai, M. Tanaka "Sound Absorbing Porperities of Porous Concrete Using Shirasu Pumice", Transaction of JCI, Vol.16, pp.81-88, 1994.