

도로 환경오염 저감 기술에 관한 고찰

A Study on the Road Environmental Pollution Decrease Technology



문학룡



한대철

I. 서론

도로상에서 발생하는 환경 공해는 소음 및 부유 먼지와 하이드로 카본과 같은 대기오염 등이 있다. 특히, 소음은 차량 자체에서 발생하는 기계적 소음, 포장과 타이어에 의한 마찰소음 및 공기에 의한 소음 등이 있다. 도로상의 환경공해는 인적·물적 피해를 가중시키고 있는 실정이다.

소음, 대기오염 및 사고 등에 의한 교통환경오염은 '10년 년 간 약 57조원 발생하였으며, 이 중 98%는 도로교통 분야에서 발생하였다. 특히, 도로소음 부분의 사회적 비용은 2000년 약 1조 9천억 대비 2010년에는 약 3조 4천억으로 44% 증가하였다[1]. 대기 오염의 경우에도 2007년 기준으로 도로이동오염원(31.4%) 또는 비도로오염원(11.3%) 합쳐 전체 대기오염의 42.7%가 교통분야에서 발생되고 있는 실정이다[2].

도로분야의 문제는 소음 저감 측면에서는 다양한 연구들이 이루어져 왔으나, 대기 오염 저감의

경우에는 오픈 공간과 폐쇄 공간이 공존하는 특성에 따라 적용에 한계가 있는 실정이다.

본고에서는 도로상에서 발생하는 소음저감 기술 현황 고찰을 통하여 친환경 도로 구현을 위한 연구 방향성을 서술하고자 하였다.

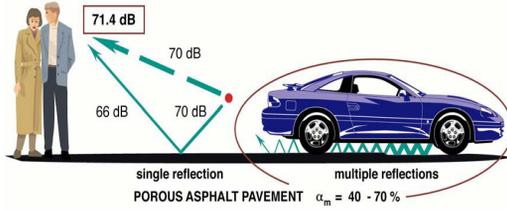
II. 기존 기술의 현황

도로상에서 발생하는 소음 저감을 위한 기법으로는 차량과 포장에서 발생하는 원천 소음 및 발생하는 소음이 주변으로 확산되는 확산 소음으로 구분할 수 있다. 이러한 원천 소음을 줄이기 위한 기법으로는 포장체의 물성 및 구조에 따른 기술과 확산소음을 줄이기 위한 방법으로 방음벽의 형태로 대별될 수 있다.

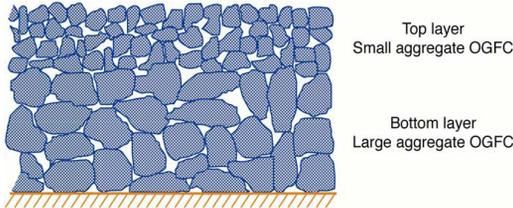
1. 저소음 포장 기술

도로 포장체는 일반적으로 아스팔트와 콘크리트

문학룡 : 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 도로연구실, hymoon@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0476, 직장팩스:031-910-0205
한대철 : 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 도로연구실, dchan@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0333, 직장팩스:031-910-0205



〈그림 1〉 포러스 포장에서의 소음 저감 효과



〈그림 2〉 2층 단면 구조 포장 기법

포장으로 구분되며, 이러한 포장체를 대상으로 최근에 온실가스 저감, 연료효율 향상, 저소음 포장 공법 등의 친환경 측면의 연구들이 추진되고 있다. 특히, 저소음 포장공법은 국외에서는 다양한 연구를 기반으로 사용되고 있다.

일반적으로 포장체에서의 소음 저감은 포장체의 두께 및 공극 그리고 공극간의 연결 정도에 따라 변화된다. 〈그림 1, 2〉와 같이 포러스 포장은 일반 아스팔트 포장에 비해 약 3~4dB 정도 감소하지만, 포장의 두께를 변화시키는 2층 구조의 단면을 이용하면 훨씬 많은 소음저감효과를 얻을 수 있으며, 건설 재료의 지속 가능성을 위하여 재활용 재료를 선택하여 경제적 효과를 극대화할 수 있다.

국의 기술측면에서의 연구현황을 살펴보면 다음과 같다.

1) CRCP(Continuous Reinforced Concrete Pavement) 포장 위에 저소음 아스팔트 덧씌우기 방식(유럽)

CRCP 포장은 연속철근을 배근한 콘크리트 포장으로 자연스러운 실크랙을 유지하고, 일반적인 콘크리트 포장의 줄눈이 필요가 없어 저소음 아스팔트 포장을 덧씌우기 했을 경우 반사균열의 문제가 발생하지 않아 유럽에서 많이 이용되는 포장공법이다.

2) 이층 저소음 아스팔트 포장(유럽, 일본)

이층 구조 저소음 포장을 포설하는 방법으로 하단층에는 상대적으로 최대골재입경이 상단층보다 크게 설계하여 시공하는 공법으로 저소음 포장보다 소음 저감 효과가 상대적으로 뛰어나다.

3) 콘크리트 포장 저소음시공(네덜란드)

특히 도심지에서 포장을 시공할 때 소음 민원을 해결할 수 있는 방안이며 또한 공장에서 콘크리트 블록을 타설함에 따라 온실가스 배출을 어느 정도 조절 및 처리할 수 있는 공법이다.

4) 국내 현황

국내에서는 2006년도에 소음 진동 방지 및 저감 기술 연구의 일환으로 장수명 저소음 포장노면 개발 연구(2006, 중앙대학교)가 추진되었다. 이 연구는 콘크리트 포장 표면처리, 타이닝 간격 최적 간격 도출 등을 통한 소음 발생 저감 기술 연구이다.[3] 또한, 포장체의 물성적 배합 방식의 연구로는 FRA 복합포장 혼합물 및 구조해석 기술개발연구(2009~2011, 한국건설기술연구원) 등이 수행되었고, 산업계와 학계에서도 많은 연구가 수행되었다.

2. 방음벽 소음저감 시스템 기술

확산소음 저감을 위해서는 주로 방음벽 형태 기술만 적용되고 있다. 이 경우는 방음벽의 높이를 억제하면서 차음성능을 높일 수 있는 기술로 방음벽 상단의 소음저감 장치 등이 연구되고 있다. 현재 연구와 개발이 활발하게 진행 중인 방음벽 상단 소음저감 장치는 실용화 된지 벌써 20여년 세월이 지났고, 개발이 활발해 짐에 따라 최근에는 복잡한 구조의 저감장치까지 등장하고 있다.

1) 흡음형

흡음에 의한 가상음원의 포텐셜을 낮추는 원리이고 가장 단순한 원리의 방음벽 상단에 대한 가상



〈그림 3〉 흡음형 방음체

음원 대책이다. 일본에는 1990년대부터 적용 시공되고 있으며, 현재 그 활용도가 높은 제품이다.

2) 간섭형

소리의 간섭 현상을 이용하여 방음벽 상단 회절엣지 부근의 음향 포텐셜을 줄이는 원리로 반사성의 재료로 구성된 것이 특징이다. 1/4 파장 길이의 음향판에 의한 대상 주파수의 튜닝이 가능한 제품도 있다.



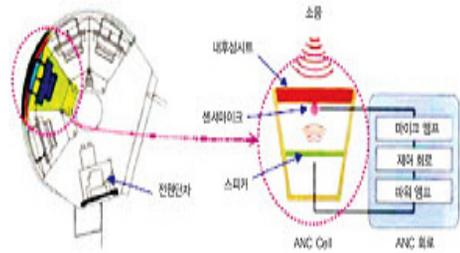
〈그림 4〉 간섭형 방음체

3) 공명형

헬름홀츠 공명기의 원리를 이용해 음향 포텐셜을 저감하는 구조로 대상 주파수 영역을 넓히는 것이 이 장치의 특징이다. 음원의 주파수 특징에 따른 공명기의 설계가 가능하기 때문에 대상 주파수의 범위가 광대역 주파수의 소음을 대상으로 하는 연구가 필요하다.

4) 능동 제어형

1차 소음원에 대해 계산된 역위상의 2차 음원을



〈그림 5〉 능동형 소음저감 기술

부가함으로써 소음을 저감시키는 원리이다. 능동 소음제거 기술은 덕트의 소음대책과 자동차 실내의 엔진음 소음대책, 청력보호용 헤드폰 등에서 이미 실용화 되고 있다. 이 기술을 방음벽의 회절음에 적용하는 방법은 이미 오래전부터 연구되었으며, 일본에서는 2005년 최초 실용화되었다.

3. 방음재료 및 방음벽 기술

방음벽의 성능요소로 환경부 고시 제2009-21호 방음벽의 성능 및 설치기준에 의하면 흡음율(입사음의 강도에 대한 흡수율 강도의 백분율), 투과손실(소음에너지가 방음판을 투과하기 전 후의 음압의 레벨 차이), 가시광선 투과율(방음판에 입사하는 주광의 광속에 대하여 투과 광속의 입사 광속에 대한 백분율) 등이 있다.

방음벽체의 재료로는 목재 또는 아연판 등을 사용하며 목재의 경우는 소음 투과손실이 크며, 흡음율이 매우 낮은 반면에 가시광선 투과율은 불가능하다. 반면, 아연판 등은 표면에 프레스로 돌출부위를 자유자재로 만들기 어렵다. 흡음율이 높으나 차음효과가 낮고, 가시광선 투과율은 거의 없다.

결과적으로 기존 방음벽의 문제점을 극복하기 위해서는 주변지역의 소음 방지를 위한 차음, 도로 노면 및 차량의 소음의 상쇄를 위한 흡음 그리고 주변 경관을 볼 수 있도록 가시광선 투과율이 높은 방음판 개발이 필요하다.

또한, 상기와 같은 문제점은 일본 및 구미 등의 도로 방음판도 유사한 문제점을 갖고 있으며, 이에 대한 개발수준은 우리나라와 유사한 상황이다.

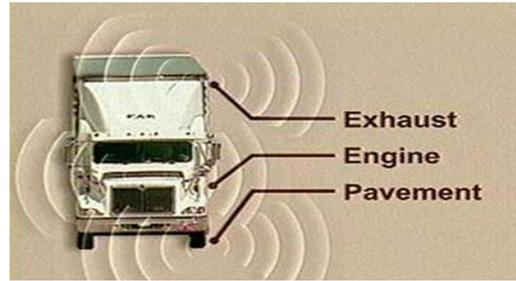
Ⅲ. 도로 환경오염 저감 기술 개발 방향

1. 저소음 포장 기술 개발 방향

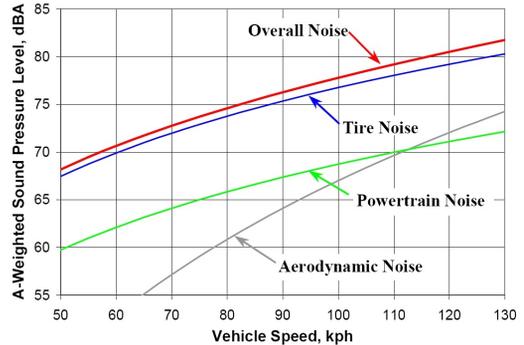
차량 등록대수 1,500만대 시대에 도심지내 도로의 교통 소음은 주거 환경의 질을 저하시키는 주요한 요인이 되고 있으나, 도로 인접부의 방음벽 등을 이용한 소극적인 저감 대책만을 적용하고 있어 차량 타이어와 포장면 사이에 발생하는 소음을 저감시키는 데에는 한계가 되고 있다. 이에 교통 소음의 대부분을 차지하는 포장면과 차량 타이어 사이의 음원을 능동적으로 제거시키는 포장 구조 시스템에 대한 연구가 필요하다.

최근 유럽을 중심으로 기존의 다공성 포장재를 사용한 단기간의 수동적인 소음 저감 기술을 탈피하여 장기적이고 능동적인 소음 저감을 위한 포장 구조체에 대한 연구가 많이 추진되고 있다. 소음 저감 포장 구조체는 다층의 흡음 기능을 향상시킨 포장층을 설치하여 타이어와 포장면 사이의 발생 소음을 제거 또는 흡수할 수 있는 기능을 가지고 있다.

〈그림 6〉에서와 같이 차량 소음의 대부분은 타이어 소음으로서 속도 증가에 따라 증가하는 특징을 가지고 있다. 즉 교통 소음이 가장 문제가 되는 고속 차량 중심의 간선도로망의 차량 소음을 저감시키기 위해서는 좀 더 적극적으로 주요 발생원에 대한 저감 기술의 개발이 요구된다. 따라서 상부층의 포장재료에 의한 흡음 기능뿐만 아니라, 하부층에서 유입되는 소음을 흡음 제거하는 설계 시스템



(a) 차량 소음 발생원



(b) 속도별 차량 소음

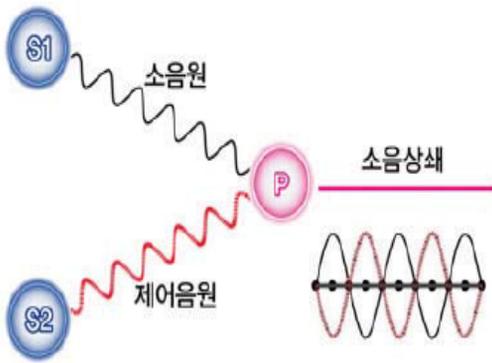
〈그림 6〉 차량 소음 원인

및 고성능 포장재료 기술 등의 개발이 필요하다. 이러한 차량 소음의 발생원인을 기반으로 최적의 능동형 교통 소음을 저감하기 위한 다층 흡음 포장 구조 시스템 및 장기 기능성 유지 포장재료 기술을 개발할 필요가 있다.

2. 능동형 다중 스크린 기술 개발 방향

현재 도로상에서 발생하는 소음을 저감하기 위한 기술로는 대부분 방음벽체나 방음벽체 상단부에 공명 현상을 이용한 기술들이 주류가 되어 있으며, 이러한 방음 시설의 경우 고 중량에 따른 고 비용 및 미관 저해 등의 문제를 발생시키고 있다. 도로상의 소음 저감을 위한 능동적인 형태의 새로운 기술 연구가 필요한 실정이다.

최근에는 기존의 차음재, 흡음재를 이용하는 방음벽체나 소음저감 장치 등의 수동적인 소음저감 기술보다는 능동형 소음저감 기법에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다.



〈그림 7〉 소음 저감 원리 및 제어 블록도

능동형 소음저감 기법은 소음원에 반하는 역 위상 주파수를 발생시켜 소음을 저감시키는 기술이다.

도로변의 교통소음은 1KHz~2KHz 영역의 저 주파수 소음과 주파수의 변화도 일정하지 않은 특징이 있다. 또한, 교통소음은 전 주파수 영역의 소음이 제어대상이 되며, 포장체의 재질, 특성에 따른 다양한 형태를 가지는 특성이 있다. 따라서 이러한 도로 특성에 부합되는 능동형 소음 저감 원천 기술과 설계 기술 및 공법 등에 대한 연구가 필요하다.

3. 경량/투명형 방음 기술 개발 방향

현재 전국에 설치된 대부분의 방음판의 종류는 도로에서 발생하는 직접 소음과 반사 소음이 합쳐져서 소음이 증가되는 경향을 방지하기 위한 흡음형 방음판, 한쪽 구역에만 소음을 차단하기 위한 반사형 방음판 등 크게 두 가지로 나누어 설치하고 있다.

방음판의 재질은 목재, 부순목재의 압밀, 플라스틱, 알루미늄 등을 판형으로 제작하여, 지주벽에 조립하여 장벽형태로 설치한다. 그러나 지주벽은 수 백개의 판형 방음판을 서로 연결하여 상용함으로써 방음판의 하중을 견디기 위해 시멘트 콘크리트와 조합한 철 구조물로 설치하여야 하고, 장벽 형태의 판형 방음판은 무게가 무거울 뿐만 아니라 투명성이 없어서 주변 전망을 차단하여 근래 들어서

는 아크릴로 제작한 투명 방음판과 흡음형 방음판을 조합하여 복합형으로 사용하고 있다.

결과적으로 기존도로 방음벽을 개선하기 위해서는 우선적으로 경량화가 필요하며, 더불어 기능적인 요소인 흡음을, 음압의 투과율, 가시광선 투과율 등을 극대화할 수 있는 연구가 필요하다.

IV. 결론

도로환경에 있어서 소음, 분진 등과 같은 환경오염 문제 해결을 위해 소음 제거를 위한 방음벽, 분진제거 연구들이 수행되어 왔다. 이러한 기존 기술들은 저효율, 고비용 등의 문제점을 가지고 있어 이러한 문제점을 해결하기 위한 방향으로 저소음 포장 기술 개발, 능동형 다중 스크린 기술 개발, 경량/투명형 방음 기술 개발 방향에 대해서 기술하였다. 향후 상기 기술의 개발로 인해 시내외 도로, 교량, 터널(지하차도), 공사현장, 주거시설 주변 등 도로 환경오염을 저감 시키고, 경량형 방음벽에 따른 구축비 절감, 방음벽체의 세척, 교체 등 유지관리 용이성 확보, 투명형 방음벽에 따른 조망권 및 미관 개선을 보다 효율적이고 효과적으로 처리할 수 있으리라 판단된다.

또한, 상기 기술의 통합을 통해 도로 환경오염 대책에 보다 효율적이고 효과적인 성능을 발휘할 수 있는 여건을 조성할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 조윤희 · 손정곤(2011), 방음벽 및 저소음 포장에 대한 비용/편익 분석, 한국소음진동공학회 2011년 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp.502~507.
2. 국립환경과학원, 대기오염물질배출량 2007, 2009.12.
3. 문학룡, 도로의 교통정온화를 위한 능동형 소음 저감기술연구, 한국건설기술연구원, 2011.5~2011.12 완료예정.