

능동형 전자방음벽 기술 개발 동향 분석

차 상 곤*

(SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템기술개발연구단)

1. 머리말

최근 생활수준의 향상과 경제발전으로 주거환경의 질에 대한 거주자의 요구수준이 점점 높아지고 있는 가운데 중요한 이슈로 떠오르는 문제가 주거용 건축물 내부소음이다. 공동주택 내부소음을 발생시키고 있는 대표적인 외부소음은 도로교통소음이며, 일반적으로 다른 소음들은 제한적·순간적이며 또한 소음의 강도 자체가 그리 심하지 않은 경우가 많은 반면에 도로교통소음은 도로의 주변에서 지속적으로 소음이 발생하고 있어 도로인근에 거주하고 있는 주민들의 민원이 끊이지 않고 있는 실정이다. 능동소음제어는 소음파를 평면파(plane wave)로 취급할 수 있는 1차원 음향 공간에서의 문제와 평면파로 취급할 수 없는 3차원 음향 공간에서의 문제로 나눌 수 있는데, 지금까지는 실시간 제어의 어려움 때문에 덕트, 엔진의 배기관(exhaust) 등 1차원 음향 공간에서의 소음제어가 주로 연구되어 왔다. 그러나 최근에는 DSP 기술의 발달로 자동차와 비행기의 내부에서와 같이 3차원 음향공간에서의 능동소음제어 문제와 소음 신호파의 특성 및 온도, 습도 등 주변 환경이 변할 때도 잘 적용하는 1차원 및 3차원 음향 공간에서의 적응 능동소음제어 기법에 대한

연구가 활발히 이루어지고 있다(K.Fujiwara, D. C. Hothersall, and C-H KIM, 1997). 도로교통소음 저감을 위해 방음벽을 이용한 수동소음제어 기술 개발은 꾸준한 연구와 관련제도의 마련으로 회절음의 저감에 한계가 있음에도 불구하고 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 반면에, 능동소음제어 기술 개발은 신호처리 기술의 부족으로 인한 특정한 저주파수에서는 효과적인 결과를 얻었지만 고주파수의 음압상승 및 관련제도 마련의 미흡으로 인해 적극적인 연구가 이루어지지 않고 있었다. 이 연구는 도로교통소음 저감을 위한 능동소음제어 방음벽 개발을 위한 기초연구로서, 최근 국내외에서 연구되고 있는 능동 및 수동소음제어의 기술 및 특히 동향을 분석하였으며, 이를 바탕으로 능동 및 수동소음제어 기술을 동시에 활용한 능동형 방음벽 기술 개발의 실현 가능성에 대해 살펴보았다.

2. 국내외 기술 동향

2.1 국내

최근 국내에서는 ANC Technology사에서 덕트 소음 제어기를 발표하였고 자동차 회사와 가전회사에서 실용화 연구를 진행하고 있다. 한 예로, 현대자동차의 능동소음제어 기술 개

* E-mail : humic@hanmail.net / (02) 2043-3355

말은 자동차 실내에서 발생하는 도로부밍 소음을 저감하기 위한 센서와 가진기들의 위치 선정 방법, 시변 신호를 빠르게 제어하는 효과적인 Delayed Filtered-X LMS, Constrained Filtered-X LMS 알고리즘을 개발하였다(그림 1). 이는 기존의 알고리즘보다 수렴의 안정성을 보장하는 수렴 계수의 범위가 매우 넓어 빠른 제어 속도를 가져 전이상태에서의 제어 성능이 우수한 것이다. 삼성종합기술원에서는 능동소음제어 기술 실현을 위한 중요한 기능 중의 하나인 마이크로폰을 이용한 국부음장 재현 기술은 가상 마이크로폰을 설치하여 멀티채널을 형상화, 소음원의 위치에 따른 간섭으로 인한 소음 영향을 비교, 비주얼 스피커의 각도 변화에 따른 간섭으로 인한 영향을

비교하여 실용화를 하였다(그림 2). 능동소음제어를 이용한 방음벽 시스템 기술 개발을 위해 단국대학교는 능동소음 분야의 세계적인 권위자인 영국 ISVR의 Dr. Elliott와 공동으로 다중채널 다중모델 적응 제어(MMAC) 기법 개발을 통해 3차원 공간의 소음제어시 계산량을 획기적으로 줄일 수 있는 알고리즘 개발하였으며, 창문을 통해 들어오는 소음을 능동방음벽을 구성하여 10 dB(A) 이상 감쇄시켰다(남현도 등, 2003). 물론 이 연구는 능동형 소음제어 방음벽 구현을 위한 기초연구이지만, 연구에 사용된 Fuzzy LMS 알고리즘, 하이브리드 능동소음제어(HANC) 시스템, Adjoint LMS 알고리즘 등은 능동소음제어 방음벽 개발을 위한 중요한 기초 근거로 활용할 수 있다(그림 3, 임형진, 2005). 국내의 능동소음제어(ANC) 동향 분석결과, ANC에서 핵심기술

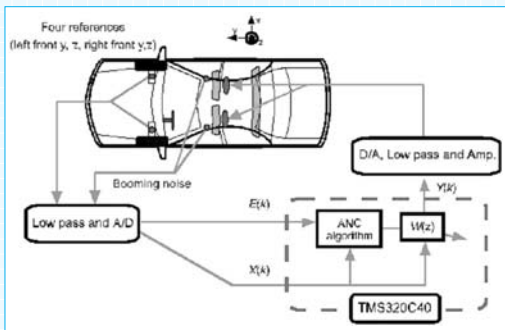


그림 1 도로부밍 소음과 공력소음저감을 위한 능동소음제어 기술 개발

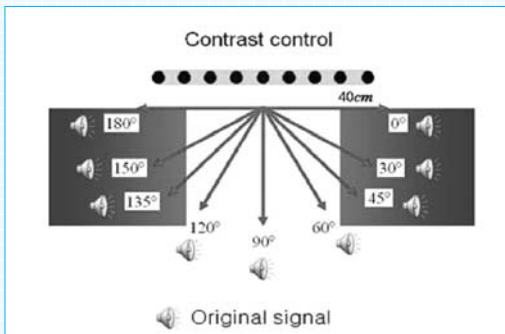


그림 2 음향집중형 개인용 음향시스템

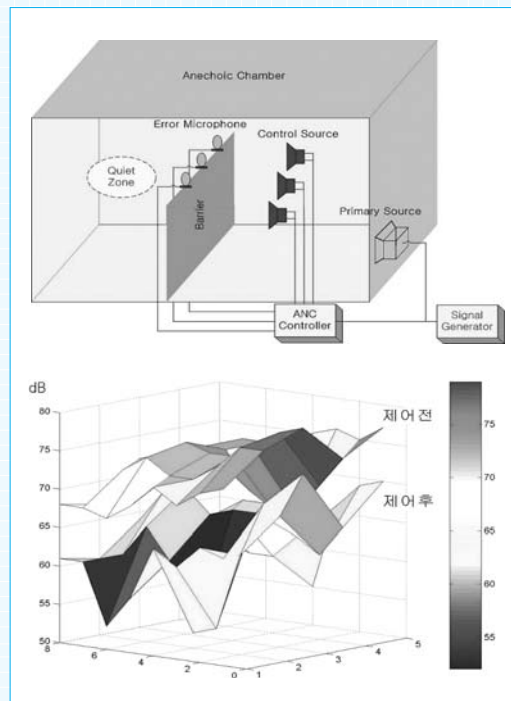


그림 3 능동소음제어 시스템 및 제어결과 의 예

이라 할 수 있는 능동소음제어 기법은 크게 LMS기반 Filtered-X LMS, Filtered-X RLS, IIR Filter 등의 알고리즘을 주로 이용하고 있으며, 최근 웨이블렛 적용 및 인공지능 알고리즘과의 하이브리드식의 ANC 알고리즘 개발로 성능 및 그 효과를 극대화 되고 있는 것으로 분석되었다.

2.2 국외

국외는 국내의 경우보다 더 소음원 개선을 위하여 기존의 수동적 방법보다는 능동적 제어를 중심으로 연구가 진행되고 있는데, 한 예로 미국은 디젤 기관차의 배기가스관의 소음을 줄이는 전자 머플러 시스템 개발을 착수하고 있으며, 프랑스에서는 철도 수송에 있어서 철도차량내부 및 운전실에서의 소음감쇄를 위해 지속적인 연구 개발을 수행하고 있다 (1993). 일본은 고속철도인 신간선 N700의 내부 소음감쇄를 위해 수동 내장재(패널, 좌석, 출입문 및 유리창의 재질)와 차량외형을 유체역학적으로 설계를 하는 동시에 차량 내부에 세라믹 스피커를 ANC 시스템과 결합하여 실내 내장재에 삽입하는 연구를 활발히 진행하고 있다. 또한 일본의 도요타는 세계 최초의 능동소음 제어시스템으로 3개의 마이크로

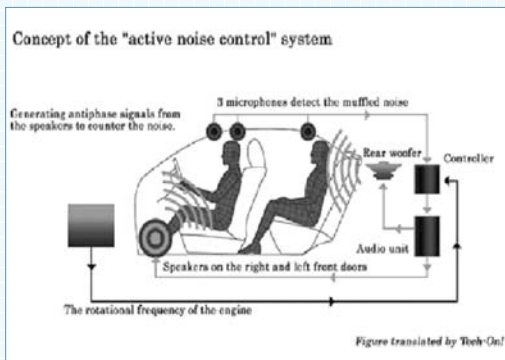


그림 4 도요타사의 엔진진동 소음 전달 방지용 ANC 시스템

표 1 국내외의 ANC 관련 R&D 조사 및 비교

구분	기술명	기관 및 업체명	적용분야
국내	선박소음의 능동제어연구	현대중공업	선박
	헬리콥터 로터 능동소음 제어 기술	스마트 무인기 기술개발 사업단	현대중공업
	가상 마이크로 폰을 이용한 국부음장 재현	삼성종합기술원	마이크 시스템
	다중채널 다중 모델 적응 제어 기법 개발, 하이브리드 능동소음 제어 시스템, Adjoint LMS 알고리즘을 이용한 HANC 시스템, Stabilized IIR Filter 개발	단국대학교 전자전기공학부 신호처리 Lab.	ANC 알고리즘, 공조덕트 등 3차원 폐공간 (공장, 발전소, 사무실, 방송국 스튜디오 등), 자동차 소음기, 능동방음벽 등
국외	NCT & ACTA System	TechnoFirst	자동차 머플러, 선박 엔진, 발전기 등에 적용
	Digisonic dX-30 System	Nelson	공조덕트
	차량 엔진 저속 시 내부로 진동 전달방지용 ANC 개발	일본 도요타 자동차	자동차 내부
	ProActive System	Noise Cancellation Technologies (NCT) Inc.	헤드셋 내부
NoiseMaster System	Technofirst	헤드셋 내부	

폰으로 차량 실내의 억제된 소음을 감지하고, 스피커로부터 역위상 신호(anti-phase signal)을 발생시켜 소음을 제거함으로써, 자동으로 작동하며, 내부소음만 약 5~8 dB가량의 소음 저감 효과를 얻었다(그림 4).

기술 동향 분석 결과, 미국은 NCT 및 Nelson Industry의 Eriksson을 중심으로 엔진배기, HVAC(central Heating, Ventilation and Air Conditioning) 덕트 및 공장의 굴뚝 등 1차원 공간에서 음속이나 시스템의 특성 등이 변하는 경우에도 잘 적응하는 적응 능동제어에 관한 연구가 이루어지고 있다. 영국은 ISVR을 중심으로 3차원 공간에 대한 소음제어에 관한 연구를 하고 있으며, 특히 능동소음제어 기술 개발에 많은 노력을 하고 있는 일본은 도요타, 닛산, 도시바 등을 중심으로 제품의 실용화와 더불어 능동방음벽(active noise barrier)을 이용하여 실내소음을 원천적으로 제어하는 연구도 활발히 이루어지고 있다.

3. 국내외 특허 동향 분석

3.1 개요

도로교통소음 저감용 능동 및 수동소음제어를 이용한 방음벽 개발을 위하여 도로소음저감 기술 관련분야에 대한 한국, 미국, 일본, 유럽에 출원된 특허 동향을 분석하였다. 이 연구에서는 정확한 특허 대상 분석대상을 선별하기 위해서 각 소분류에 핵심 키워드를 선별하여 특허 전문 및 서지사항을 검색하여 대상건을 추출하였으며, 전체 검색건수 4,400건을 대상으로 노이즈 제거 및 공개/등록 특허 중복제거와 각 기술별 중복제거를 수행하여 최종 2,318건을 유효특허건수로 분석을 수행하였다.

3.2 능동소음제어 기술 출원동향

연도별 출원현황 및 공개/등록 특허의 출원

현황 분석 결과, 능동소음제어 기술은 1980년대 이후 꾸준히 출원이 되고 있으며, 91년 이후 출원건수가 기하급수적으로 증가하여 1992년 298건으로 가장 출원이 많았던 시기로 나타났다. 90년대 중반이후 까지 200건 내외의 출원이 증가 이후 감소 추세에 있으며, 최근 들어 100건 이내의 출원이 진행되고 있다. 능동소음제어 기술의 등록현황을 살펴보면 전체 2318건의 특허 중 등록특허가 272건으로 11.7%로서 등록률이 낮은 것으로 분석되었다(그림 5). 능동소음제어 기술의 국가별 출원현황을 살펴보면, 일본이 1520건으로 전체 65%의 점유율을 기록하여 가장 연구개발이 활발한 국가로 나타났으며, 다음으로 미국 347건(15%), 한국 250건(11%), 유럽 201건(9%)로 분석되었다. 일본의 경우, 자국내 출원된 능동소음제어 기술은 91년 이후 출원이 급증하여 92년에 전체 258건이 출원되어 가장 연구개발이 활발했던 시기로 나타났다(그림 6). 기술별로는 철도차량 소음제어 기술이 268건으로 가장 많은 것으로 조사되었고, 다음으로는 도로제어 기술이 154건, 자동차 소

표 2 특허동향 분석대상 범위

대상국가	한국/미국/일본/유럽
검색기간(20년기준)	1985.01.01 ~ 2009.1.31
정량분석 특허건수	2318건
사용 DB	WIPS DB

표 3 분석대상 특허건수

국가	검색건수	유효 특허건수
미국	788	347
일본	2640	1520
한국	541	250
유럽	431	201
총합계	4400	2318

음제어 기술이 52건 등의 순으로 출원이 많은 것으로 나타났다. 한국의 경우, 출원된 능동 소음제어 기술은 92년 이후 출원이 시작되어 97년에 42건으로 출원이 가장 많은 것으로 나타났으며, 이후 출원이 꾸준히 진행되고 있다(그림 7). 기술별로는 철도차량 소음제어 기술이 전체 57건으로 가장 많은 것으로 조사되었고, 다음으로는 도로제어 기술이 42건, 자동차 소음제어 기술이 11건 등의 순으로 많은 것으로 분석되었다. 미국의 경우 출원된 능동

소음제어 기술은 85년 이후 출원이 시작되어 01년에 출원이 급증하는 양상을 보이고 있는 것으로 나타났다(그림 8). 기술별로는 철도차량 소음제어 기술이 전체 86건으로 가장 많은 것으로 나타났고, 항공기 관련 소음제어 기술은 24건, 자동차 소음제어 기술은 22건 등의 순으로 출원이 많은 것으로 나타났다. 유럽의 경우, 85년 이후 출원이 시작되어 91년과 01년도에 출원이 가장 많은 시기로 나타났으며, 이후 출원이 꾸준히 진행되고 있다(그림 9). 기술별로는 철도차량 소음제어 기술이 전체 72건으로 가장 많은 것으로 조사되었고, 자동차 관련 제어기술은 18건, 항공기 관련 제어 기술은 11건 등의 순으로 분석되었다.

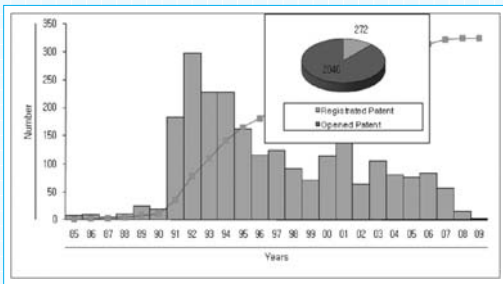


그림 5 ANC 기술의 연도별 출원현황

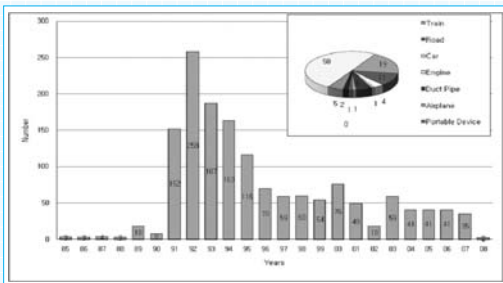


그림 6 일본의 연도별 출원현황

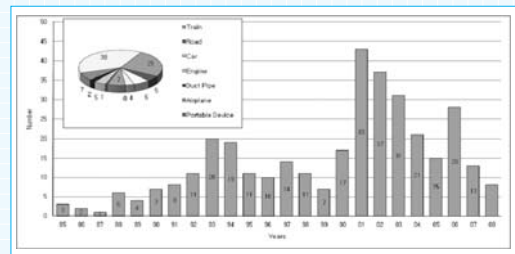


그림 8 미국의 연도별 출원현황

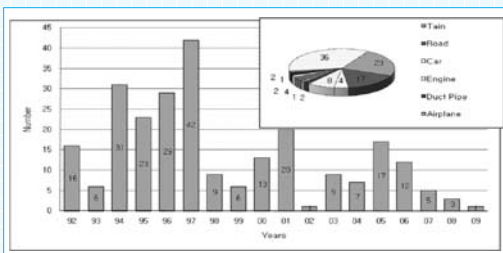


그림 7 한국의 연도별 출원현황

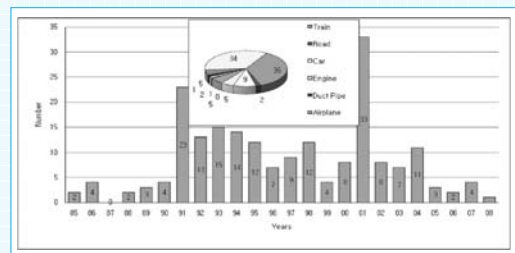


그림 9 유럽의 연도별 출원현황

3.3 도로변 능동 및 수동소음저감 기술

도로변 소음제어를 위한 능동 및 수동소음 제어 기술 분야를 구분하여 기술의 출원인 국적 및 국가별 출원현황을 분석하였다. 수동소

음제어 기술의 경우, 국가별 출원현황은 일본이 185건을 출원하여 가장 연구개발이 활발한 것으로 나타났으며, 다음으로 한국 128건, 미국 16건, 유럽 11건 순으로 나타났다. 주요 출원인 국적별로는 일본 국적의 출원인이 188건, 한국 126건, 미국 12건, 독일 7건 순으로 분석되었다. 도로변 수동소음제어 기술의 다출원인은 Nippon Steel로 나타나 전체 18건의 특허를 출원하였으며, 다음으로 Sekisui Jushi 11건, Mazda Motor 8건, Shin Etsu Chem 7건, 다산컨설턴트 6건, Tokyo Seiko 5건, Fujita 5건 등의 순으로 나타났다(표 4). 도로변 능동소음제어 기술의 경우, 국가별 출원현황은 일본이 154건을 출원하여 전체 71%의 점유율을 나타내고 있으며, 한국 42건(19%), 미국 18건(8%), 유럽 4건(2%)의 순으로 나타났다. 주요 출원인은 Honda Motor가 18건으로 가장 출원이 활발하며, 다음으로는 Hitachi 17건, Nissan Motor 16건 등을 출원한 것으로 분석되었다. 전체 출원 건수 중에서 자동차 내부 소음저감 기술의 경우, 일본이 52건을 출원하여 전체 51%의 점유율을 나타내고 있으며, 미국

22건(21%), 유럽 18건(17%), 한국 11건(11%)의 순으로 나타났고, 주요 출원인은 Honda Motor가 18건으로 가장 출원이 활발하며, Nissan Motor 12건 Siemens VDO Automotive 6건 등의 순으로 분석되었다(표 4). 분석결과, 도로변 소음저감을 위한 능동 및 수동소음제어 특허기술의 출원 동향은 그 증가 및 감소 추세가 유사성을 나타내고 있는데, 이는 고주파 소음저감에 취약한 능동소음제어 기술과 저주파소음(500 Hz 이하) 저감에 취약한 수동소음제어 중 한 분야의 기술만으로는 쾌적한 주거 환경을 조성을 위한 도로변 소음제어에 그 한계점으로 인해 능동 및 수동소음제어 기술 개발이 동시에 이루지고 있는 것이라고 판단된다.

4. 맺음말

이 연구는 현재 설치된 방음벽의 환경적 한계를 극복하기 위해 능동 및 수동소음제어를 이용한 능동형 방음벽 개발을 위한 기초 연구로써, 최근 국내외에서 연구되고 있는 능동 및 수동소음제어의 기술 및 특허동향을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

능동소음제어(ANC) 기술동향 분석결과, 국내의 능동소음제어 기법은 크게 LMS기반 Filterd-X LMS, Filterd-X RLS, IIR Filter 등의 알고리즘을 주로 이용하고 있으며, 최근 웨이블렛 적용 및 인공지능 알고리즘과의 하이브리드식의 ANC 알고리즘 개발로 성능 및 그 효과를 극대화 되고 있는 것으로 분석되었다. 국외의 경우, 미국은 NCT사 및 Nelson Industry사의 Eriksson을 중심으로 엔진배기, HVAC(central heating, ventilation and air conditioning) 덕트 및 공장의 굴뚝 등 1차원 공간에서 음속이나 시스템의 특성 등이 변하는 경우에도 잘 적응하는 적응 능동제어에 관한

표 4 도로변 능동·수동소음제어 기술의 주요출원인

순위	수동 도로변 소음제어	출원 건수	능동 도로변 소음제어	출원 건수
1	Nippon Steel	18	Honda Motor	18
2	Sekisui Jushi	11	Hitachi	17
3	Mazda Motor	8	Nissan Motor	16
4	Shin Etsu Chem	7	엘지전자	12
5	다산컨설턴트	6	Sango	8
6	Tokyo Seiko	5	Fuji Heavy	8
7	Fujita	5	현대자동차	8
8	태원코퍼레이션	5	Toshiba	7
9	디씨븐	5	Matsushita Electric	6
10	Sanko KK	4	Daikin Ind	5

연구가 이루어지고 있다. 영국은 ISVR을 중심으로 3차원 공간에 대한 소음제어에 관한 연구를 하고 있으며, 특히 능동소음제어 기술 개발에 많은 노력을 하고 있는 일본은 도요타, 닛산, 도시바 등을 중심으로 제품의 실용화와 더불어 능동방음벽(active noise barrier)을 이용하여 실내소음을 원천적으로 제어하는 연구도 활발히 이루어지고 있다.

수동소음제어 기술동향 분석결과, 국내의 경우는 최근 환경부(생활소음관리대책, 2005)에서 방음벽이 설치된 전국의 정온지역에서 밤 시간대 도시의 도로교통소음의 정도를 살펴본 결과, 29개 도시 중 22개 도시에서 소음기준을 초과하고 있는 것으로 나타나, 방음벽이 갖고 있는 한계성으로 인하여 도로교통소음의 피해를 근본적으로 저감시킬 수 있는 효과는 비교적 적은 것으로 평가되고 있다. 국외의 경우는 현재 방음벽에 대한 새로운 관심은 국제적으로 친환경산업의 추세에 맞추어 새로운 형태의 방음시설을 개발이 되고 있는 상황이다. 특히, 능동소음제어 방음벽 연구에서 일본은 이미 2005년 현재 실용화된 제품에 셀 하나에 마이크로폰과 스피커를 설치하고 마이크로폰에 감지된 소음을 스피커로부터 방사된 역위상의 2차 음원을 통해 제어하는 구조를 이용한 방음시설을 개발하였다. 또한, 2007년에는 중앙정부 지원으로 방음벽 하단에 능동소음제어 장치를 이용한 소음저감 장치를 설치하여 저주파 소음을 제어하는 연구가 활발하게 진행되고 있는 것으로 나타났다.

특히 동향 분석 결과, 일본이 1520건으로 전체 65%, 미국 347건(15%), 한국 250건(11%), 유럽 201건(9%) 순으로 점유율이 높은 것으로 분석되었다. 수동소음제어 기술의 경우, 국가별 출원현황은 일본이 185건, 한국 128건, 미국 16건, 유럽 11건 순으로 나타났고, 출원인 국적별로는 일본 국적의 출원인이 188건, 한국 126건, 미국 12건, 독일 7건 순으로 분석되었다. 능동소음제어 기술의 경우, 일본이 154건을 출원하여 전체 71%의 점유율을 나타내고 있으며, 한국 42건(19%), 미국 18건(8%), 유럽 4건(2%)의 순으로 나타났다. 주요 출원인은 Honda Motor가 18건으로 가장 출원이 활발하며, 다음으로는 Hitachi 17건, Nissan Motor 16건 등을 출원한 것으로 분석되었다.

도로변 소음저감을 위한 능동 및 수동소음제어 기술 및 특허 동향은 그 증가 및 감소추세가 유사성을 나타내고 있는데, 이는 고주파 소음저감에 취약한 능동소음제어 기술과 저주파소음(500 Hz 이하) 저감에 취약한 수동소음제어 중 한 분야의 기술만으로는 쾌적한 주거 환경을 조성할 수 없는 한계로 인해 능동 및 수동소음제어 기술 개발이 동시에 이루어지고 있기 때문인 것으로 판단된다. **KSNVE**

후 기

이 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 09기술혁신 E05)에 의해 수행되었습니다.