

능동소음제어를 이용한 건설현장의 소음관리모델 개발 - 도심지 공사현장을 중심으로 -

권나현¹ · 박문서* · 이현수¹ · 안요섭¹ · 김선우²

¹서울대학교 건축공학과 · ²(주)파이브지티

The Development of Noise Management Model using Active Noise Control Technique on Construction Site

Kwon, Nahyun¹, Park, Moonseo*, Lee, Hyun-Soo¹, Ahn, Joseph¹, Kim, Sunwoo²,

¹Department of Architectural Engineering, Seoul National University

²FiveGT Co.,Ltd

Abstract : Recently, many people have been damaged seriously by construction noise. Accordingly, there have been increased the complaints and disputes. These complaints should be controlled strictly. Otherwise there could be delays or stops of project and losses of time and money. For this reasons, the Korean government is trying to convert from depending on the soundproof wall to noise control system focusing on noise sources. However, it is difficult to control the noise which is generated from construction site because construction equipment has very high noise level and construction noise generates temporarily and irregularly. Also, people do not know how much low frequency affect human body adversely because they cannot perceive low frequency noise easily. Hence, recently developed countries have conducted the research on the low frequency noise which damages on human physically and mentally. However, passive noise control is insufficient to reduce the low frequency noise, but only efficient to lower the high frequency noise. Thus, an approach which can complement limitations of passive noise control is needed. Therefore, the purpose of this research is to suggest the noise management model using active noise control on construction site. Also, ANC simulation has been conducted to examine its applicability on construction equipment. As a result, it is expected that there will be a reduction of construction noise and damages, as well as both mental and physical damages.

Keyword : ANC Simulation, Noise control, Construction noise, Low frequency noise

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 환경문제에 대한 관심과 환경의 중요성에 대한 인식이 점차 증대되고 있고, 정온한 환경에서 살고자 하는 사람들의 욕구가 증가하였다. 이러한 환경에 대한 인식의 변화로 환경문제와 관련된 민원과 분쟁이 증가하는 추세이다(Ch et al. 2010).

환경분쟁조정위원회(Environmental Dispute Committee, EDC)의 통계자료(2012)에 따르면, 최근 10년간 소음·진동과 관련된 분쟁이 전체 민원의 86%를 차지하였고, 그 중에서도 건설공사에서 제기된 민원이 소음·진동 분쟁의 89.2%를 차지할 정도로 건설공사에서 발생하는 소음으로 인한 피해는 심각한 수준이다. 이렇게 발생한 분쟁과 민원은 기업에

대한 부정적인 이미지, 사업의 지연 및 중단, 배상액 지불 등의 막대한 경제적 손실을 가져오므로 치밀하게 관리할 필요가 있다(Ko et al. 2004).

이러한 배경 하에 정부는 제2차 생활소음 줄이기 종합대책을 통하여 기존의 방음벽 중심의 소음정책을 탈피하고, 소음발생원에서 소음관리를 강화하는 방안을 마련하기 위해 노력하고 있다(Ministry of Environment 2010).

그러나 이러한 노력에도 불구하고 방음벽에 의존하는 수동적인 접근방식으로는 소음으로 인한 사람들의 정신적, 육체적 피해를 줄이는데 한계가 있다. 또한 다양한 소음원이 복합적으로 존재하는 건설현장에서 기존의 소음관리방식은 고주파 소음에 효과가 있을 뿐, 저주파 소음에 대한 충분한 대비를 하지 못하고 있다.

타 산업에서는 소음을 저감하는 새로운 방법으로 능동소음제어(Active Noise Control, ANC)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 능동소음제어는 소음을 그 신호와 역위상을

* Corresponding author: Park, Moonseo, Department of Architectural Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
E-mail: mspark@snu.ac.kr
Received August 12, 2013; revised October 4, 2013
accepted October 23, 2013

1) 공사현장에서 발생하는 소음을 저감하기 위하여 방음벽, 방음막, 차음벽 등을 이용하는 전통적인 소음관리방식

갖는 음을 발생시켜 소음을 감쇄시키는 방법으로서, 기존의 흡음과 차음을 통하여 소음을 저감하는 수동제어방법에 대한 보완책으로서 시도되고 있다(Kim 1994). 그러나 건설산업에서 능동소음제어를 이용하여 건설현장에서 발생하는 소음을 줄이기 위한 연구는 부족한 상황이다.

그러므로 본 연구는 건설현장에서 발생하는 소음을 줄이고, 기존의 수동적인 소음관리방식의 한계점을 극복하기 위한 방법으로 건설현장에서 발생하는 소음을 저감하기 위한 능동소음제어 관리모델을 제안하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 결과는 건설현장에서 발생하는 소음을 저감하고, 민원의 발생을 감소시킴은 물론 쾌적한 환경을 조성함으로써, 삶의 질을 향상시키는데 기여할 것이라 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공사장 소음으로 인한 민원이 많이 발생할 가능성이 있는 도심지의 건설현장에서 기계장비와 공사작업에 의해서 발생하는 소음을 대상으로 한다.

연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 수행된다.

- (1) 건설소음으로 인해 분쟁이 제기되는 사례에 대해서 조사하고, 문헌고찰과 전문가 면담을 통하여 민원이 많이 발생하는 공종 및 장비에 대하여 파악한다.
- (2) (1)의 결과를 바탕으로 기존 소음관리방식의 문제점과 개선방안에 대하여 조사하고, 저주파 소음이 인체에 미치는 영향과 그 해결책에 대하여 조사한다.
- (3) 능동소음제어에 대한 국내외 선행연구를 고찰하고, 타 산업에서 시도되는 능동소음제어 기술의 적용현황과 사례를 조사한다.
- (4) 능동소음제어의 이론을 파악하고, 이를 토대로 건설현장에서 능동소음제어를 적용하기 위한 이론을 도출한다.
- (5) (4)에서 제시된 이론을 바탕으로 건설현장에서 능동소음제어를 적용하기 위한 관리모델을 구축한다.
- (6) 능동소음제어 시뮬레이션을 수행하고, 능동소음제어를 적용하기 전과 후의 소음레벨을 비교한다.
- (7) 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 능동소음제어를 적용할 수 있는 건설장비와 공종을 파악하고, 능동소음제어의 건설현장 적용가능성과 타당성을 검증한다.

2. 예비적 고찰

2.1 소음피해 및 관리실태

환경공해 중에서도 소음공해는 사람들에게 가장 민감한 부분이고, 심각한 정신적 스트레스를 유발한다. Cho and Kim(1997)에 따르면 건설공사의 전체공정 중에서 토공사와 기초공사, 파괴 및 해체공사 시에 많은 소음이 발생하고 있다. 소음을 많이 발생하는 기계장비로는 항타기(68.5%), 착

암기(58.1%), 브레이커(51.1%)의 순으로 많은 불쾌감을 유발하고 있다(Choi et al. 1996).

EDC의 통계자료(2012)에 따르면, 최근 10년간 공사 중 발생한 소음으로 인하여 47%가 정신적인 피해, 28%가 정신적+건축물 피해를 입었다고 보고되었다(Table 1).

Table 1. Damage type by construction noise (EDC 2012)

Damage Year	Mental	Building	Mental & Building	Livestock product	Acoustic product	Farm product
2012. 6	23	5	31	21	1	10
2011	66	6	51	18	3	10
2010	63	6	33	22	8	13
2009	127	9	55	20	4	16
2008	71	4	57	19	5	18
2007	45	3	54	17	1	18
2006	74	3	40	20	2	6
2005	72	1	40	22	4	10
2004	107	1	49	33	1	9
2003	149	12	58	18	5	9
Total of 10 years(%)	797 cases (47.4%)	50 cases (3.0%)	468 cases (27.8%)	210 cases (12.5%)	34 cases (2.0%)	119 cases (7.1%)

EDC의 통계자료(2012)에 따르면, 최근 10년간 공사 중 발생한 소음으로 인하여 47%가 정신적인 피해, 28%가 정신적+건축물 피해를 입었다고 보고되었다(Table 1). 이처럼 건설현장에서 발생하는 소음은 물리적 피해뿐 아니라, 스트레스와 우울증과 같은 정신적 스트레스를 유발하기 때문에 많은 민원의 대상이 되고 있다. 또한 많은 건설장비들에 포함된 저주파 소음(은 방음벽을 이용하여 쉽게 제어되지 않는 특성을 가지며, 이에 따라 선진국을 중심으로 저주파 소음에 대한 관리와 연구의 필요성을 인식하게 되었고, 저주파 소음의 인체영향에 관한 연구를 진행하고 있다 (Ministry of Environment 2009).

한편, 소음관련 민원은 인구가 집중적으로 분포하고 있는 대도시 지역에서 많이 발생한다. 민원의 발생비율을 지역별로 살펴보면, 서울과 수도권 지역에 민원의 49%정도가 집중되어 있다(EDC 2012). 이는 수도권을 비롯한 대도시를 중심으로 고층아파트 공사와 재건축, 리모델링과 같은 공사가 증가하였기 때문으로 판단된다. 대도시의 주거밀집지역에서 수행되는 공사의 경우, 인접빌딩과의 간격이 협소하기 때문에 방음벽을 설치하더라도 공사 중에 발생하는 소음과 진동은 주변 지역에 영향을 미칠 수밖에 없다.

건설회사는 자체의 매뉴얼을 통하여 기획초기단계에 사전 조사 및 기초평가를 통하여 소음을 줄이기 위한 적정공법을 선정하고, 피해가 발생할 수 있는 인근지역의 주민들과 협의를 하는 방식으로 소음관리계획을 수립한다(Fig 1). 그러나 건설회사들은 실제로 인근 지역주민과 협상을 통해

2) 저주파 소음은 귀에 잘 들리지 않기 때문에 시끄러움을 느끼기 힘들지만, 스트레스, 우울증과 같은 정신적, 신체적 피해를 유발한다.

일정금액을 지불하는 식의 임시방편적인 대응으로 소음에 대한 민원을 해결하고 있기 때문에 소음문제를 해결하기 위한 근본적인 대책이 존재하지 않고 있다.

EDC의 통계자료(2012)에 따르면, 2012년 공사현장에서 발생한 민원으로 총 110억 정도의 막대한 금액을 지불하였다. 그럼에도 불구하고, 배상율은 10%정도에 불과하기 때문에 계속해서 분쟁이 진행되고, 그에 따라 공사가 지연되는 등 불가피한 상황이 지속된다. 또한 분쟁절차를 거치지 않고 피해주민과의 합의를 통해 문제를 해결하는 경우를 포함하면 민원으로 인하여 건설회사가 지급하는 보상액은 더욱 증가한다.

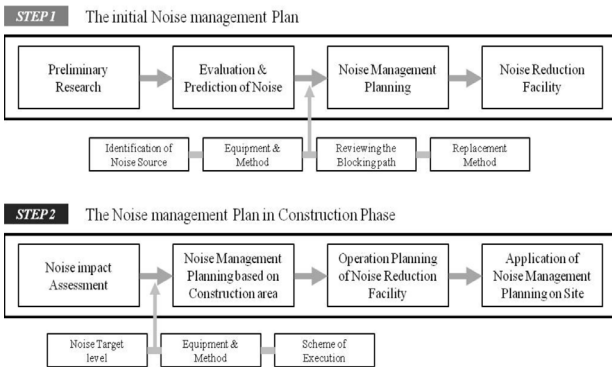


Fig. 1. Noise management process of construction company

2.2 문헌고찰

Table 2는 소음실태 및 관리방안에 관한 선행연구이다. 대부분의 연구는 일반적인 대책이나 관리방안을 제시하거나, 건설장비의 소음을 측정, 각 장비의 주파수 특성을 파악하는 등 표면적인 연구에 그치고 있다. 또한 수동소음제어에 중점을 두어 연구를 진행하고 있기 때문에 기존의 소음문제를 해결하는데 한계가 있다.

Table 2. Preliminary study on noise measures

Field	Author	Contents of study
Noise measures	Koo et al. (2009)	Investigation on limitations and cases of noise measure on construction site
	Oh et al. (2009)	Development of noise prediction program for calculating the height and the position of sound proof wall
	Gilchrist et al. (2003)	Development of the system for optimizing the location of noise barrier
	Thalheimer et al. (2000)	Proposal of noise management plan at source, path, receptor point
	Kim et al. (1998)	Analysis on the characteristics of attenuation and propagation of noise

Table 3은 능동소음제어와 관련된 선행연구를 나타낸다. 능동소음제어는 수동소음제어가 힘든 환경이나, 상황에 대한 보완으로써 많은 연구가 진행되었고, 최근 건축분야에서도 능동소음제어를 덕트나 방음벽, 창문에 적용하기 위한 연구를 진행하고 있다(Kim 1994).

능동소음제어와 관련된 연구는 제어음원과 에러센서의 배치를 통해서 소음을 상쇄시키는 시스템의 최적위치에 관한 연구, 상쇄효과를 향상시키기 위한 알고리즘 개발에 관한 연구로 크게 분류된다. 그러나 능동소음제어를 건설현장에 적용하여 공사 중에 발생하는 소음을 저감하기 위한 대책이나 혹은 관리방안에 관한 연구는 부족한 상황이다.

Table 3. Preliminary study on active noise control

Field	Author	Contents of study
Active noise control	Ryo et al. (2011)	Performance comparison based on the number of speakers and noise sources, the position of the control source
	J. Guo et al. (2007)	Analysis of applicability and effect of active noise control depending on the placement of system, moving source
	Nam and Lee (2004)	Study on the determining the optimum position of microphones and control speakers in active noise control
	Baek (2004)	Research on the optimum position of control source and the comparison of the performance
	Scott D, Snyder (2000)	Theoretical study on the principle and application of active noise control
	Omoto, A, Fujiwara (1993)	Research on the position of the control source and deployment of the system to reduce the diffusion

이는 건설소음은 타 산업에서 발생하는 소음과 달리 불규칙하고, 일시적으로 발생하는 특성을 갖고 있고, 공사가 열린 공간에서 이루어지기 때문에 능동소음제어를 현장에 적용함에 있어서 제약이 있기 때문이다(Ko et al. 2004).

2.3 제도적 현황

Table 4는 ISO에서 제시한 소음권장치를 나타낸다. 1971년 국제표준화기구(ISO)는 소음기준의 표준화를 위하여 사람들의 개인차를 고려한 소음권장기준 R1996을 마련하였고, 이는 각 나라의 소음기준을 결정하기 위한 기초자료로서 활용되고 있다.

Table 4. ISO's noise standard (ISO 1996)

Target areas	Noise Level		
	Day	Evening	Night
Residential area Hospital, Care facilities	45	40	35
Suburban residential area Small road area	50	45	40
Urban residential area	55	50	45
Workplace, a mixed residential area with artery	60	55	50
Trade and Administrative district	65	60	55
Industrial area	70	65	60

국외의 많은 국가들은 건설현장의 소음기준을 정책적인 목표로 설정하고 있고, 같은 소음이라도 개인에 따라 느끼는 정도가 다르기 때문에, 자국의 상황에 적합한 범위 내에서 소음규제기준을 적용하기 위해 노력하고 있다(ETRIK 2006). 스위스는 일정기간 동안 초과하지 않아야 할 기준을

설정해놓음으로써, 장기간 높은 소음이 발생하는 것을 막고 있고, 일본은 건설장비 및 작업을 세분화하여 규제기준을 달리하여 적용하고 있으며 1일 작업시간, 최대작업기간을 지정하여 건설장비에서 발생하는 소음을 규제하고 있다.

한편, 국내 건설현장의 소음기준은 생활소음 규제기준을 따른다(Table 5). 소음을 발생하는 장비를 이용하여 일정규모 이상의 건설공사를 하는 경우에는 사전에 신고를 하도록 규정하고 있다(Kim 2001). 국내의 소음규제는 대상지역을 포괄적으로 구분하여 지역에 따른 차이없이 일관적으로 규제기준을 적용하고 있기 때문에 소음이 발생하는 다양한 상황에 적용되기 어렵고, 주민들이 느끼는 수인한도³⁾를 충분히 반영하고 있지 못하다(Park 2006).

Table 5. Living noise control standard of Korea

Target area	Source	Dawn	Day	Night
Residential area, green area Settlement area, exercise and recreation area, natural conservation area of quasi-city area School area, hospital, public library in the other areas	Noise generated from site	below 60dB	below 65dB	below 50dB
Other areas		below 70dB	below 75dB	below 55dB

또한 기존의 소음규제는 데시벨 값과 고주파 소음에 의존하여 평가하고 있다. 그 결과, 소음에 의한 스트레스를 받을 때 소음레벨을 측정해 보면 예상했던 것 보다 작은 소음이 나타나는 경우가 많다. 이러한 현상은 소음에 의한 스트레스를 받을 때, 단순히 귀에 들리는 소음의 영향만이 측정되었고, 저주파 소음과 같이 잘 들리지 않는 소음에 의한 영향은 무시되었기 때문이다(Kim 2002). 그러므로 고주파 소음과 더불어 저주파 소음에 의한 피해를 줄이기 위한 실질적인 규제기준과 소음관리방안이 필요하다.

3. 소음관리방식

3.1 수동적인 소음관리방식

건설현장에서는 대부분 수동적인 소음관리방식을 이용하여 소음을 제어하고 있고, 소음의 영향을 최소화하기 위한 소음대책은 크게 발생원 대책, 전파경로 대책, 수음점 대책으로 분류할 수 있다(Thalheimer, E. S. 2000).

- (1) 발생원 대책은 소음이 발생한 지점에서 소음을 관리하는 방법이다. 저소음장비를 사용하거나, 장비의 사용스케줄을 조정하여 특정시간대에 소음이 발생하는 것을 방지하여 소음을 저감하기 위한 대책이다(Gilchrist. A 2000).
- (2) 전파경로 대책은 소음의 전파경로에 방음대책을 하는

것이다. 소음점과 수음점의 경로를 멀게 하여 소음이 수음점에 도달하는 과정에서 감쇄되도록 하거나, 소음원과 수음점 사이에 방음벽과 같은 시설을 설치하여 소음을 차단하는 방법이다(Gilchrist. A 2000).

- (3) 수음점 대책은 수음점에서 청력보호를 위한 장비를 착용하거나, 음향장치를 설치하여 수음점에서의 소음을 저감하는 방법으로써 앞서 언급한 소음대책과 비교하여 가장 어렵고 비용이 많이 드는 방식이다(Gilchrist. A 2000).

위의 세 가지 방법 중에서 발생원에서 소음을 저감하는 것이 가장 효과적이다(Webb 1976). 그러나 발생원에서 공사일정을 조정하는 방법은 공사기간과 비용, 현장의 상황에 따라 제약을 받을 수 있기 때문에 실제 적용함에 있어 어려움이 있다. 이러한 이유로 실제 공사현장에서는 대부분 소음의 전파경로를 차단함으로써 소음을 저감하려는 대책을 많이 사용하고 있다. 그러나 건설장비의 소음은 저주파 에너지를 많이 포함하고 있기 때문에 방음벽을 이용하는 경우, 회절현상으로 인하여 방음벽을 타고 외부로 퍼져나가게 되기 때문에 충분한 감쇄효과를 얻기 힘들다(Lee 2007).

그러나 대부분의 현장에서는 주로 방음벽을 이용한 수동적인 관리방식⁴⁾을 이용하고 있다. Koo et al.(2009)에 따르면, 고정식 방음벽이 소음대책으로 가장 보편적인 시설이고, 이에 가설방음벽을 추가하여 소음을 관리하고 있다.

3.2 능동소음제어

최근 선진국을 중심으로 수동적인 소음관리방식의 한계를 인식함에 따라 능동소음제어에 대한 연구를 진행하고 있다. 능동소음제어는 소음을 저감하기 위하여 참조 마이크로폰을 이용하여 소음을 측정하고, 컨트롤러 또는 제어시스템을 통하여 같은 진폭과 역위상을 갖는 주파수의 음을 방출하여 소음을 상쇄하는 기술이다. 이러한 능동소음제어에 대한 개념은 1930년대 미국의 Paul Leug에 의해서 계획되었다(Scott D 2000).

초기에 능동소음제어의 개념은 기술적인 문제로 적용에 어려움을 겪었지만, 1980년대에 들어 디지털 신호처리기술 및 전자산업의 발전과 함께 실용화가 급속히 진행되어 왔다. 미국과 일본을 비롯한 선진국에서는 능동소음제어 기술을 항공기, 열차, 자동차 산업을 비롯한 이어폰과 같은 전자기기에도 적용하고 있다(Kim 1994).

또한 능동소음제어는 수동소음제어와 달리 저주파 소음에 대한 감쇄효과가 뛰어나기 때문에 타 산업에서 많이 적용되고 있다. Fig. 2는 능동소음제어의 원리를 나타낸다.

3) 환경공해나 소음의 발생으로 인하여 타인에게 부정적인 영향을 끼칠 때, 인내할 수 있는 한도를 의미한다.

4) 수동적인 소음관리방식 : 기존에 건설현장에서 방음벽, 방음부스, 차음막과 같은 시설을 이용하여 소음을 저감하기 위한 방법으로, 저주파 소음보다 고주파 소음을 저감하는데 효과가 뛰어나다.

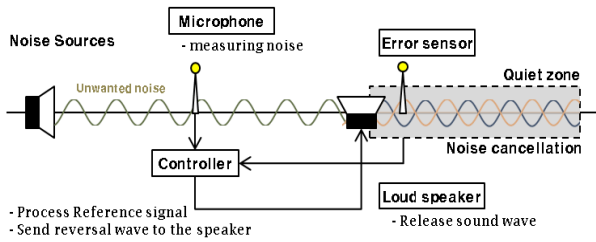


Fig. 2. Principle of active noise control (Silentium 2008)

능동소음제어 시스템은 다음의 네 가지 구성요소로 이루어져 있다(Scott D 2000).

- (1) Reference microphone : 발생된 소음을 기록하고, 컨트롤러에 측정된 소음을 전달한다.
- (2) Controller : 마이크로폰과 에러센서에서 보내진 소음에 관한 정보를 처리하여 역위상의 신호를 생성, 제어스피커로 신호를 전달한다.
- (3) Loud speaker : 컨트롤러에서 처리된 신호를 받아 소음을 상쇄하기 위한 음파를 발생시키는 역할을 한다.
- (4) Error sensor : 소음이 효과적으로 상쇄되었는지를 판단하기 위한 센서이다. 소음의 상쇄가 잘 되지 않은 경우, 측정된 오차신호를 컨트롤러로 보내어 오차를 수정한다. 이론적으로 에러센서의 뒤에 quiet zone⁵⁾이 생성되고, 이때의 소음레벨은 0이다.

능동소음제어를 이용한 소음관리에 있어서 시스템 구성요소의 배치는 성능에 중요한 영향을 끼친다. 즉, 각 시스템의 원활한 정보교환을 바탕으로 신호의 일관성이 유지되도록 시스템을 배치할 필요가 있다. 그러므로 소음의 상쇄효과를 극대화하기 위해서는 소음원과 마이크로폰, 제어스피커, 에러센서의 배치를 조정하여 가장 적절한 배치조합을 찾는 것이 중요하다(Guo et al. 2007).

3.3 능동소음제어 이론

(1) 소음원과 스피커신호의 일관성

건설현장에서 발생하는 소음을 효과적으로 상쇄하기 위해서는 컨트롤러로부터 만들어져 스피커에서 방출되는 제어음원과 소음원이 일관성을 띄어야 한다(Scott D 2000). 제어음원과 소음원의 신호가 일관성을 갖지 않는다면 자칫 보강간섭⁶⁾이 일어나 음압레벨이 높아질 수 있다.

(2) 소음원과 제어음원의 크기

능동소음제어를 이용하여 공사 중에 발생하는 소음을 저감하기 위해서는 소음원의 크기와 제어음원의 크기가 균형

5) quiet zone : 능동소음제어를 적용하였을 때, 소음레벨이 10dB(A) 이상 감쇄되어지는 지역을 의미한다. 이론적으로 quiet zone이 생성된 텃 공간에서의 소음레벨은 0이다.

6) 보강간섭이란 같은 위상의 두 파동이 충돌될 때의 간섭으로써, 마루와 마루 또는 골과 골이 만나서 합성파의 진폭이 2배로 커지는 현상

을 이루어야 한다(Scott D 2000). 제어음원의 크기에 비하여 소음원의 크기가 훨씬 크다고 가정한다면 제어음원이 미치는 범위 내에서만 효과가 있고, 넓은 지역에서 음압을 저감하는데 한계가 있을 것이다. 이와 반대로 제어음원의 크기가 소음원에 비하여 너무 크다면 다른 지역에서 발생한 소음과 합쳐져 보강간섭이 일어날 위험이 존재한다.

(3) 제어음원의 위치

대기의 압력변화로 인하여 파동이 발생하면 이 파동은 발생점을 중심으로 구의 형태로 퍼져나간다. 그러므로 소음을 상쇄하기 위해서는 소음원과 가까운 장소에 제어음원을 설치하여 거리가 증가함에 따라, 소음이 확산되는 표면적을 줄일 수 있도록 소음원과 제어음원의 거리를 최소화하여 시스템을 배치하는 것이 효과적이다(Scott D 2000).

(4) 제어스피커의 수

소음을 제어할 때 스피커의 수가 증가할수록 소음을 상쇄하는 성능이 향상되는 것이 일반적이다. 그러나 스피커의 수를 계속 증가시켜도, 어느 시점에 이르면 소음을 상쇄시키는 성능이 둔화된다(Ryo et al. 2011). 즉 소음을 제어하는 성능의 한계가 존재하기 때문에 비용과 성능을 고려하여 최적의 스피커 수를 결정해야 한다.

(5) 시스템의 배치

능동소음제어를 이용하여 소음을 상쇄하는 것은 quiet zone를 만들어내기 위한 것이다(Guo et al. 2007).

quiet zone을 생성하기 위해서는 소음발생원과 제어음원, 에러센서 등의 시스템 배치가 일정범위 내에 있어야 된다. 이는 건설현장과 같은 열린공간이나 이동소음원의 경우에도 있어서도 마찬가지로 적용된다(Guo et al. 2002).

4. 능동소음제어 관리모델 개발

능동소음제어의 이론을 토대로 시스템을 적절히 배치하고, 일련의 프로세스를 구축하여 건설현장에 능동소음제어를 적용한다면 만족할만한 수준의 소음상쇄의 효과를 얻을 수 있을 것이라 기대한다.

4.1 사전계획단계

(1) 주변의 음환경과 건설장비의 소음특성 파악

우선, 건설공사에서 발생한 소음에 대한 정확한 예측을 위하여 인근지역의 배경소음과 건설공사에 사용되는 장비의 소음레벨, 주파수 특성, 소음피해를 입을 가능성이 있는 주변의 환경에 대한 정보를 파악할 필요가 있다.

(2) 건설장비의 운영계획 데이터 수집

공정계획이나 도면, BIM정보로부터 건설장비의 사용일정과, 장비의 사용위치, 작업에 필요한 장비의 대수에 관한 데이터를 수집한다. 이러한 데이터는 소음예측을 위한 기초가 되는 자료로서 시간대별, 공종별로 실제 수행될 공사일

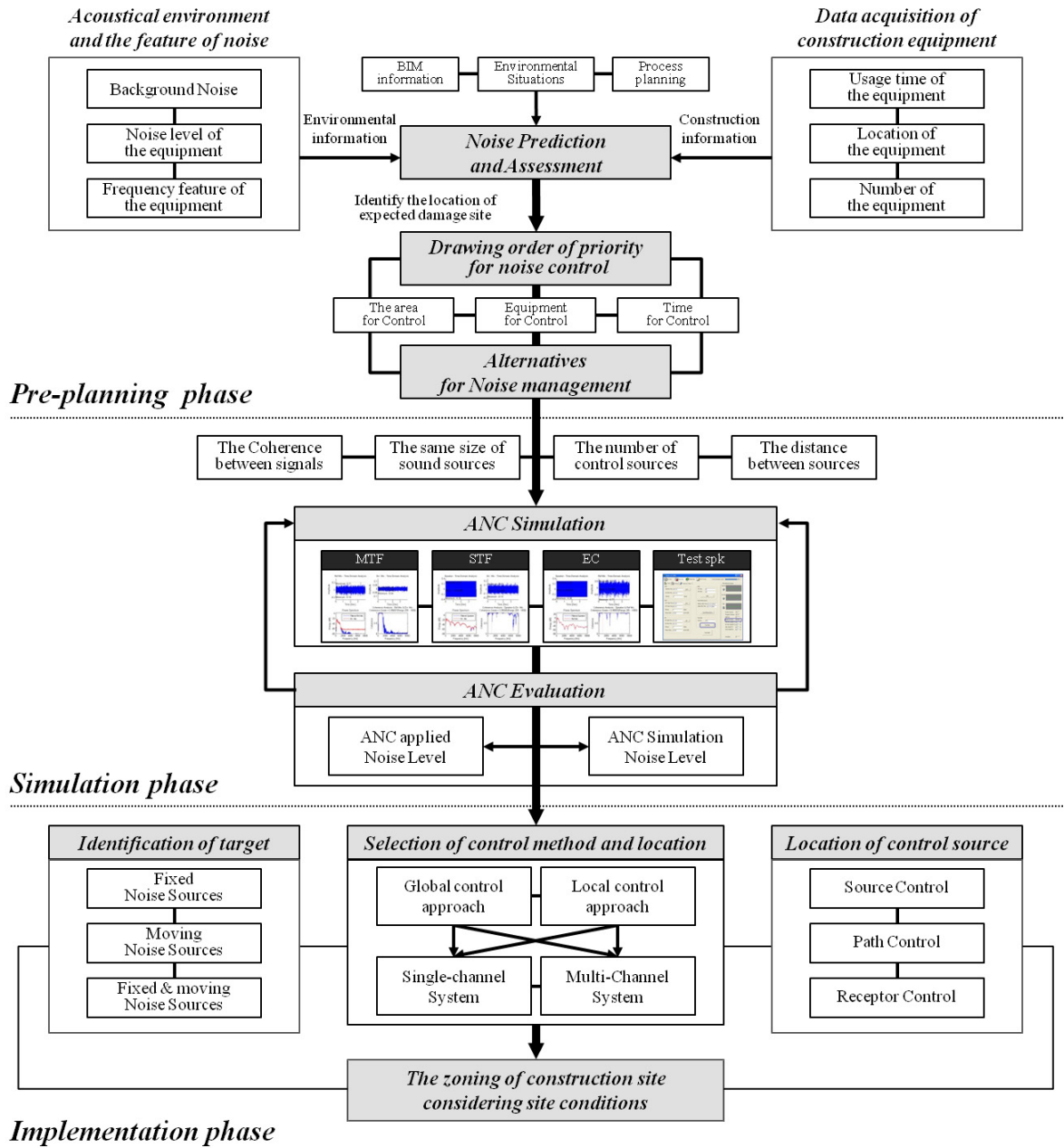


Fig. 3. ANC management model on construction site

정에 부합하는 데이터여야 한다.

(3) 소음예측평가

앞서, 수집된 데이터를 바탕으로 건설공사 중에 발생하는 소음레벨을 예측한다. 그에 따라 소음에 의한 피해를 입을 확률이 큰 피해예상지역과 그 때의 소음레벨을 확인한다. 그리고 이 지역을 중점적으로 관리해야 할 대상으로 지정하고, 공사가 진행되는 도중에도 계속해서 관련정보를 업데이트하고, 공정계획에 반영한다.

(4) 관리우선순위 도출

공사현장은 항상 리스크와 불확실성을 내포하고 있기 때문에 소음에 대한 충분한 대비를 할지라도, 뜻밖의 문제가

발생할 가능성이 있다. 그러므로 소음에 대한 계획을 수립할 때, 건설장비와 피해예상지역, 작업시간 등을 포함하여 어떤 요소들이 소음에 의한 피해를 줄이기 위하여 가장 중점적으로 고려되어야 하는지에 대한 우선순위를 도출한다.

(5) 소음계획수립 및 대안검토

전 단계에서 도출된 우선순위에 따라 발생원, 수음점, 전파경로 대책을 종합하여 다각적인 검토를 통하여 소음계획을 수립한다. 또한 소음에 대한 전반적인 계획은 실현가능성과 저감효과, 비용을 고려하여 가장 적절한 방법을 선택하는 것이 바람직하다.

4.2 시뮬레이션 단계

(1) 능동소음제어 시뮬레이션 수행

능동소음제어 시뮬레이션을 통하여 각 장비마다 어느 정도의 소음상쇄효과가 있는지를 확인한다. 우선, 시스템을 조정하여 참조마이크로폰과 제어음원, 에러마이크로폰 사이의 신호의 일관성을 확보한 후, 시뮬레이션을 진행한다.

(2) 각 시스템 간에 전달되는 신호의 일관성을 확보하기 위해서 ANC Calibration⁷⁾과정을 수행하고, 시뮬레이션의 결과값과 능동소음제어를 적용한 장비의 실제 측정값을 비교하고, 두 결과값이 최대한 유사하도록 계속해서 능동소음제어 시뮬레이션을 수행한다.

(3) 시뮬레이션의 결과 검토

규제기준이나 설정된 목표치에 부합할 때까지 스피커의 수와 제어위치 등의 시스템 배치를 변경해가면서 능동소음제어 시뮬레이션을 반복하여 수행하고, 시스템을 조정하여 가장 효과적인 성능을 발휘하는 값을 파악한다. 이때, 실제의 건설현장과 최대한 유사한 환경을 조성하여 실험을 진행하는 것이 중요하다.

(4) 현장적용을 위한 준비

시뮬레이션 수행을 통하여 능동소음제어의 상쇄효과가 적절하다고 판단되면, 건설현장 또는 기계장비에 실제로 능동소음제어를 적용할 수 있다. 그러나 현장과 실험환경에는 분명한 차이가 존재하기 때문에 충분한 저감효과를 얻기 힘든 경우가 발생할 수 있다. 이 경우, 외부의 배경소음, 작업환경과 같은 환경적 요소들을 현장의 상황과 유사하게 재구성하여 시뮬레이션을 다시 수행한다.

4.3 능동소음제어 적용단계

(1) 능동소음제어의 대상 파악

소음원이 고정되어 있는지, 이동하는지에 따라 능동소음제어의 방법이나 시스템 배치가 달라질 수 있다. 고정소음원의 경우 발생점, 전파경로, 수음점 등의 다양한 위치에서 능동소음제어를 실행할 수 있다. 그러나 덤프트럭과 같이 이동하는 소음원의 경우, 이동경로를 따라 시스템을 배치하거나, 소음원에 직접 시스템을 설치해야하기 때문에 고정소음원에 비해 상대적으로 제약이 있다. 그러므로 능동소음제어에 있어서 소음원의 종류를 파악하는 것이 중요하다.

(2) 제어위치와 범위의 결정

제어대상의 종류를 파악한 후, 소음에 의한 피해를 줄이기 위하여 발생원, 전파경로, 수음점 등의 어떠한 위치에서 능동소음제어를 실행하는 것이 적절한가에 대하여 판단한 후, 제어위치를 결정한다. 또한 어느 범위까지 소음이 미치는 영향을 줄일 것인가를 결정한 후, 그에 따라 적합한 능동소음제어의 방식을 결정한다.

(3) 능동소음제어 방식의 선정

능동소음제어에는 글로벌 방식과 로컬방식의 두 가지 방식이 있다. 글로벌 방식은 일정지역 내에서의 소음을 전반적으로 상쇄하기 위한 것이고, 로컬방식은 일부지역에서의 소음을 부분적으로 저감하기 위한 방식으로서, 소음을 상쇄하는데 한계가 있다. 또한 글로벌 방식은 넓은 지역의 소음을 저감하기 위해서 소음발생원에 근접하여 제어음원을 설치해야 한다는 제약조건이 존재한다. 그러므로 능동소음제어를 적용할 때, 현장의 조건, 주변상황 등을 고려하여 적절히 구역을 세분화하여 조닝을 하고, 각 구역에서 적절한 방식을 선택하여 소음을 상쇄한다.

5. 능동소음제어 시뮬레이션 실험

능동소음제어의 건설현장 적용타당성을 검토하고, 구체적으로 어떤 장비와 공중에 능동소음제어와 관리모델이 효과적으로 적용할 수 있는지를 확인하기 위하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

5.1 실험의 절차 및 방법

능동소음제어 실험은 Silentium사의 S-cube development kit, S-fan90덕트, 소음측정기(TE51350A), 스피커 1대, 노트북 1대를 이용하였다.

본 연구에서는 소음이 확산되는 것을 막고, 능동소음제어의 성능을 극대화하기 위하여 소음이 발생한 위치에 최대한 근접한 지점에서 단일채널방식으로 능동소음제어를 적용한다는 가정을 바탕으로 실험을 수행하였다.

실험의 방법과 절차는 다음과 같다(Silentium 2008).

(1) 장비소음레벨 : 장비의 소음레벨을 측정한다.

(2) Microphone Transfer Function analysis(MTF) : 참조마이크로폰과 에러마이크로폰의 전송기능을 평가하고, 조정하는 과정이다.

(3) Speaker Transfer Function analysis(STF) : 스피커와 에러마이크로폰의 전송기능을 평가하고, 조정하는 과정이다.

(4) Echo Canceller analysis(EC) : 스피커와 참조마이크로폰의 전송기능을 평가하고, 조정하는 과정이다.

(5) Test spk : 서로 다른 사인과 신호를 출력하고, 참조마이크로폰으로 측정하여 저주파수 범위에서 스피커의 한계를 테스트하는 과정이다.

(6) ANC Simulation : 전 단계의 ANC Calibration과정을 바탕으로 실제 시뮬레이션을 진행하고, 어느 정도의 소음감쇄효과를 거둘 수 있는지를 파악한다.

(7) Gain 조정 : 상쇄효과가 떨어지거나, 보강간섭이 일어나는 부분을 체크하여 조정하는 과정으로써, 원하는 소음감쇄효과가 나타날 때까지 반복해서 진행한다.

(8) ANC Evaluation : 실제 ANC를 적용하였을 때의 S-fan90

7) ANC Calibration : 참조마이크로폰, 스피커, 에러마이크로폰 사이의 신호교환이 원활히 이루어지도록 조정하는 과정이다.

을 통하여 나오는 장비의 소음레벨을 측정하고, 시뮬레이션 값과 비교한다.

ANC 시뮬레이션에 있어서, 소음신호를 정확히 전송하는 능력은 소음을 상쇄하는데 중요한 역할을 한다. 그러므로 각 시스템이 일관된 신호를 전송하지 못한다면, 능동소음제어의 성능이 저하되거나, 보강간섭으로 인하여 소음레벨이 증가하게 된다. 이를 위해서 ANC Calibration과정을 수행하고, 시스템 간의 일관성을 나타내는 지표인 Coherence grade가 9.2 이상이 되도록 MTF, STF, EC analysis의 각 단계마다 Coherence grade⁸⁾가 9.2 이상이 될 때까지 ANC Calibration을 반복하여 진행한다. Fig. 4는 MTF, STF, EC analysis와 ANC 시뮬레이션의 절차를 나타낸다.

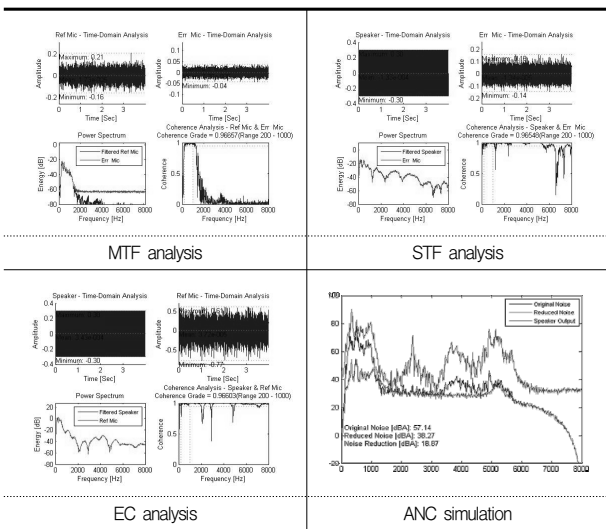


Fig. 4. ANC simulation procedures

5.2 실험의 결과

다른 건설장비들도 Fig 4와 같은 과정을 거쳐 실험을 진행하였다. MTF, STF, EC analysis의 Coherence grade가 모두 9.2 이상으로 각 시스템 간의 연결이 일관성이 있다는 결과를 도출한 뒤, ANC 시뮬레이션을 진행하였다.

실험의 결과, 1000Hz이하의 중-저주파 대역에서는 효과적인 소음상쇄효과를 확인할 수 있었다. 그러나 주파수 대역이 증가할수록 상쇄효과가 둔화되었고, 8000Hz이상의 고주파 대역에서는 소음의 상쇄가 거의 나타나지 않음을 확인하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 얻은 최적값과 실제로 ANC과정을 거쳐 반대주파수의 소음을 내보낸 뒤, S-fan덕트를 통하여 나오는 건설장비의 소음을 측정하였을 때의 결과가 0.4dBA에서 많게는 10.5dBA 정도의 차이가 있었다. 이처럼 ANC 실제측정값이 ANC 시뮬레이션 값에 비해 저하되는 결과를 보인 것은 컴퓨터상에서 이루어지는 시뮬레

이션은 주변환경과 배경소음과 같은 요소들을 배제하고, 단지 건설장비의 소음과 반대소음 간의 관계만을 고려하여 도출된 이상적인 값이기 때문이다.

일반적으로 ANC 실제측정값이 ANC 시뮬레이션 값의 70~80%에 도달하면 능동소음제어를 통한 소음상쇄효과가 적절한 수준인 것으로 판단한다.

건설장비별로 ANC의 효과를 보면, 대부분의 건설장비에서 7dBA이상의 저감효과가 있는 것으로 분석되었고, 이는 평균적으로 10dBA 정도의 소음감소효과를 갖는 방음벽과 비교하여도 비슷한 수치이다. 특히 어스오거, 진동다짐기, 진동롤러, 공기압축기, 덤프트럭, 굴삭기와 같은 장비에 있어서 능동소음제어의 효과가 비교적 높은 것으로 파악되었다. 이러한 결과는 위의 건설장비들이 발생하는 소음이 저주파 에너지를 다수 포함하고 있기 때문이다. 앞으로 건설현장에 능동소음제어를 도입함에 있어서 다수의 건설장비에 적용가능성이 높을 것으로 판단된다.

Fig 5는 어스오거를 대상으로 한 ANC 시뮬레이션의 결과를 나타낸다. 다른 건설장비와 마찬가지로 1000Hz이하의 대역에서 능동소음제어의 성능이 뛰어나고, 주파수 대역이 증가할수록 상쇄효과가 감소하는 것을 확인할 수 있다. ANC를 적용한 후, 어스오거의 소음을 측정한 결과 소음레벨은 68dBA~71.6dBA로 ANC를 적용하기 전의 소음레벨인 78dBA~79.4dBA와 비교하였을 때, 약 8~10dBA 정도의 소음상쇄효과가 있는 것을 파악되었다.

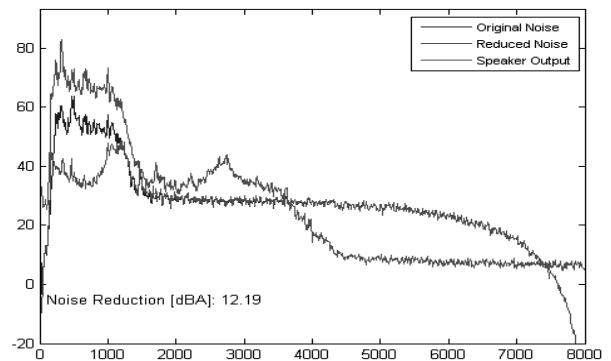


Fig. 5. Simulation result (Earth auger)

이에 반해서 록브레이커, 잭해머, 펌프카, 찬공기와 같이 충격음을 발생하는 장비에 있어서는 21dBA~5.9dBA 정도의 감소효과가 있었고, 다른 장비에 비해 다소 떨어지는 결과를 얻었다. 또한 실험 중에 보강간섭이 일어나 오히려 소음레벨이 증가하는 경우도 종종 발생하였다. Fig. 6은 잭해머를 대상으로 한 ANC 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

8) 참조마이크로폰과 스피커, 에러센서 간의 신호의 일관성을 나타내는 값으로써, 9.2이상 되어야 한다.

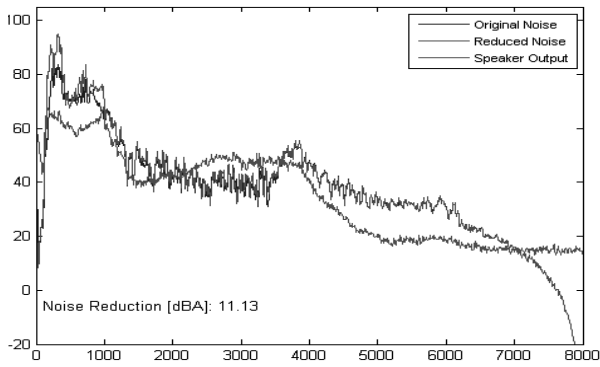


Fig. 6. Simulation result (Jack hammer)

ANC 과정을 거친 후, 잭해머의 소음을 측정하였을 때, 소음레벨은 78.3dBA~80.3dBA 정도로 ANC를 적용하기 전의 소음레벨인 83.6dBA~86.1dBA와 비교했을 때, 약 5dBA의 소음상쇄효과를 보였다. 이처럼 시뮬레이션 값에 비해서 실제 능동소음제어의 성능이 떨어지는 것은 주변의 배경소음을 포함한 환경적인 제약이 존재하고, 또한 향타기와 같은 충격성 소음을 발생하는 건설장비는 고주파 대역의 소음이 주를 차지하고 있기 때문이다.

공종별로 살펴보면, 소음관련 민원이 많이 발생한 지반정지공사, 기초공사, 콘크리트공사와 같은 공종에서 높은 소음상쇄성능을 확인할 수 있었다. 특히 지반정지공사의 경우, 장비에 따라 7.0dBA~10.1dBA 정도의 소음을 상쇄하는 것이 가능하다는 결과를 도출하였다.

본 실험의 결과는 능동소음제어 관리모형을 위한 기초자료로서, 능동소음제어를 건설현장에 적용할 때 적절한 건설장비의 선정에 대한 근거로 활용될 수 있을 것이다. 그러나 본 실험은 단일채널방식으로 진행되었기 때문에 다수의 스피커와 마이크로폰을 이용한 다채널방식에 비해서 능동소음제어의 성능에 한계가 있다. 그리고 장비소음을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 하였기 때문에 스피커 성능에 따라

측정값에 다소 차이가 있을 수 있다. 또한 배경소음과 주변 상황, 실험환경 등이 실제의 건설현장과 차이가 있으므로, 추후 실제와 비슷한 환경을 바탕으로 정밀한 주파수 분석과 다채널방식을 이용하여 실험을 진행한다면 건설장비의 능동소음제어 효과는 더욱 증가할 것이라 기대한다.

6. 결론

건설현장에는 다양한 소음원이 복합적으로 존재하고 있고, 공사 중 발생하는 소음으로 인하여 많은 민원과 분쟁이 발생하고 있다. 이에 따라 소음에 의한 피해를 최소화하고자 다양한 노력이 시도되고 있다. 그러나 기존의 소음관리 방식으로 현장에서 발생하는 소음을 효과적으로 제어하는데 한계가 있다. 그러므로 본 연구는 능동소음제어를 건설현장에 도입하여 기존의 수동적인 소음관리방식의 한계점을 보완하고, 건설현장에서 발생하는 소음을 저감하기 위한 능동소음제어 관리모형을 제안하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션 실험을 통하여 능동소음제어의 적용성을 검토하였고, 능동소음제어 시뮬레이션의 결과는 다음과 같다.

- 1) 능동소음제어의 성능은 대략 1000Hz이하의 주파수 대역에서 높은 효과를 확인할 수 있었고, 주파수 대역이 높아질수록 소음상쇄의 효과가 감소하는 것을 확인하였다.
- 2) 장비별로는 어스오거, 굴삭기, 진동롤러, 덤프트럭과 같이 엔진의 회전에 의한 소음이 지배적인 건설장비에서 약 10dBA 정도의 높은 소음상쇄효과를 보였다.
- 3) 브레이크, 향타기, 잭해머와 같이 충격음이 주를 이루는 건설장비에 있어서는 2.1dBA~5.9dBA 정도의 효과가 있었고, 다른 건설장비에 비해 낮은 소음상쇄효과를 보였다.
- 4) 공종별로 살펴보면, 소음관련 민원이 많이 발생한 지

Table 10. ANC simulation results

(Unit : dBA)

Work trade		Earth and grading work						Foundation work			Frame work		Demolition work			Other work		
Construction equipment		Excavator	Bulldozer	Wheel loader	Grader	Vibrating roller	Vibrating compaction	Earth auger	Boring machine	Pile hammer	Concrete mixer	Pump car	Rock braker	Jack hammer	Air compressor	Dump truck	Forklift	
A N C	Unapplied	Max	86.2	86.1	83.2	84.6	84.8	90	79.4	86.9	88.1	85.4	91	83.3	86.1	86.3	85.8	86.2
		Min	82.2	82.9	79.8	78.3	80.6	86.5	76.9	84.1	73	77.8	84.4	78.4	84	77.8	79.6	74.8
		Mean	83	84	81.5	79	82	83.2	78	85	76	81	86	81	83.6	81	82	82
	Applied	Max	77.8	78.4	76.3	78.5	77.7	81.4	71.6	77.8	82.2	78.4	86.6	81.2	80.3	79.7	75.2	80.8
		Min	75.2	76.5	73.2	71.3	74.5	78.5	66.8	74.9	68.6	71.9	78.5	76.4	79	69.4	68.7	68.2
		Mean	76	78	74.3	73	75	77.3	68	76	72	74	82	79	78.3	77	72	75
① Maximum Effect by Measuring		8.4dBA	7.7dBA	7.2dBA	7.0dBA	8.6dBA	10.1dBA	10dBA	5.9dBA	6.2dBA	7.0dBA	5.9dBA	2.1dBA	5.8dBA	8.4dBA	10.9dBA	7.0dBA	
② Optimal Effect by Simulation		11.8dBA	8.7dBA	9.3dBA	10.7dBA	11.3dBA	10.5dBA	12.2dBA	15.8dBA	12.6dBA	9.4dBA	8.9dBA	12.6dBA	11.1dBA	11.7dBA	13.7dBA	8.8dBA	
③ Variation(=②-①)		3.4dBA	1.1dBA	2.1dBA	3.7dBA	2.7dBA	0.4dBA	2.9dBA	9.9dBA	6.4dBA	2.4dBA	3.0dBA	10.5dBA	5.3dBA	3.3dBA	2.8dBA	1.8dBA	

반정지공사, 기초공사, 콘크리트공사와 같은 공중에서 높은 소음상쇄성능을 확인할 수 있었다. 특히 지반정지공사의 경우, 장비에 따라 7.0dBA~10.1dBA 정도의 소음을 상쇄하는 것이 가능하다는 결과를 도출하였다.

건설장비에 따라 능동소음제어의 성능에 차이가 발생한 것은 각 장비가 발생하는 소음특성이 각기 다르기 때문이다. 특히, 충격성 소음을 발생하는 건설장비는 고주파 대역의 음이 지배적이기 때문에 다른 건설장비에 비해서 소음제어의 효과가 떨어지는 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점은 실제사례를 적용해보는 과정을 거치지 않았기 때문에 능동소음제어를 통해서 건설현장에서 어느 정도의 소음이 상쇄되는지와 그로 인하여 인근 지역주민의 스트레스를 줄이는데 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구가 부족하다. 또한 단일채널방식으로 실험을 진행하였기 때문에 다채널방식에 비해서 능동소음제어의 성능에 한계가 있었고, 또한 구형으로 방사되는 소음이 아니라, S-90fan덕트를 통하여 나오는 소음을 측정하였기 때문에 실제 환경과는 다소 차이가 있다. 보다 실질적인 결과를 얻기 위해서는 실제 환경과 유사한 조건에서의 추가적인 실험이 필요하고, 실험장비와 시뮬레이션에 있어서 좀 더 세밀한 과정이 요구된다. 추후 건설현장에서 능동소음제어의 적용성 향상을 위한 추가적인 연구가 필요하다. 이를 통하여 건설현장에서 발생하는 다양한 복합소음을 효과적으로 저감함과 동시에 민원발생으로 인한 공사지연 및 중단, 배상금 지급과 같은 현상을 줄임으로써 시간적, 경제적 낭비요소를 최소화하고, 공사가 일정에 맞게 진행될 수 있도록 한다. 더불어 사람들의 삶의 질을 향상시키고, 보다 풍요로운 생활을 영위할 수 있도록 하는데 큰 의의를 갖는다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 '도시건축연구사업(09첨단도시 A01) 결과의 일부이며, 서울대학교 건설환경종합연구소의 연구비 지원으로 수행되었음에 감사의 뜻을 포함한다.

References

- Baek, K. H. (2004) "Optimal Transducer Positions of an Active Noise Control System with an Opening in an Enclosure" *Journal of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 14(2), pp. 164-171.
- Choi, D. R., Yoon, Y. W., Kim, J. S., Yang, K. Y. (1996) "A Study on the Influence of Construction Machine Noise in Constructon Field" *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 16(2), pp. 331-333.
- Cho, C. G., Kim, H. G. (1997) "Noise and Vibration Current Status and Issues On Construction Site" *Journal of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 7(4), pp. 561-565
- Environmental Dispute Committee (EDC) "Status of Environmental Dispute Resolution" EDC Research Report, 2012-6
- Expressway and Transportation Research Institute of Korea (ETRIK) (2006) "A Study on the Efficiency of a Temporary Noise Barrier for Construction Noise" ETRIK Research Report, 2006-06.
- Gilchrist, A., Allouche, E. N., Cowan, D. (2003) "Prediction and mitigation of construction noise in an urban environment" *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(4), pp. 659-672.
- Guo, J., Pan, J. (2002) "Active control of a moving noise source-effect of off-axis source position" *Journal of Sound and Vibration*, 251(3), pp. 457-475.
- Guo, J., Pan, J., Hodgson, M. (2007) "A Brief Review of Active Noise Control of Environmental Noise and Its Applications" *14th International Congress on Sound and Vibration*, Cairns, Australia.
- Kim, D. W. (2002) "A study on the catecholamine change in human urine due to low frequency noise exposure" PhD thesis, Dept. of Environment Eng, Yonsei Univ., Seoul, Korea.
- Kim, H. S. (1994) "Current and Future Issues of Active Noise Control" *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 38(3), pp. 50-54.
- Kim, J. S. (2009) "A Case study of Dispute Resolution on Construction Noise and Vibration Damages for National Environmental Dispute Resolution - Focused on the 1993-2007 Years" *Journal of the Korean Society of Living Environment System*, 16(5), pp. 486-493.
- Kim, J. S., Han, M. H., Lee, B. Y., Park, J. Y., Yun, H. D., Kwak, K. S. (1998) "An Experimental Study on the Characteristics of Attenuation and Propagation of Construction Work Noise in Construction Field" *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 13(6), pp. 406-416.
- Kim, M. J. (2001) "A study on the Status of Construction Noise of Domestic Projects and Methods of Improvement" MS thesis, Hanyang Univ., Seoul, Korea.
- Ko, K. I., Kim, I. H., Seo, S. W., Lee, C. S. (2004) "A Study on the Environmental Friendly Noise and Vibration Management Method for the Construction Project" *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 5(6), pp. 110-117.

- Koo, J., Kang, M. Y., Seo, Y. C. (2009) "Comparative Study on the Control Technologies of Fugitive Dusts and Noise of Construction Project in Korea" *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment, KICEM*, 9(1), pp. 55-61.
- Nam, H. D., Lee, H. W. (2004) "Optimal Position Selection of Microphones and Speakers in Adaptive Noise Control System" *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 18(1), pp. 90-97.
- Oh, K. T., Ahn, J. M., Jeong, J. S., Jung, I. S., Lee, C. S. (2010) "Checklist of Design Phase for Reducing the Noise and Vibration occurring in Construction" *Korean journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 11(3), pp. 55-63.
- Oh, J. K., Park, H. N., Sohn, J. R. (2009) "Development of the Noise Prediction Program to apply in Construction Site" *Journal of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 19(4), pp. 409-417.
- Park, C. S. (2006) "A Study on Improvement of Domestic Noise Standards" MS thesis, Kwangwoon Univ., Seoul, Korea.
- Ryu, K. W., Hong, C. S., Shin, C. J., Jeong, W. B. (2011) "Active Noise Control of a Closed Rectangular Cavity Using FXLMS Algorithms" *Journal of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 21(11), pp. 983-990.
- Scott D, Snyder. (2000) "Active noise control primer" AIP Press.
- Silentium Ltd. (2008) "ANC Tools" ANC Workshop.
- Thalheimer, E. S. (2000) "Construction noise control program and mitigation strategy at the Central Artery/Tunnel Project" *Noise Control Engineering Journal*, 48(5).
- Webb, J. F. (1976) "Noise control in industry" *Sound Research laboratories Limited, Holbrook Hall Sudbury, Suffolk, U.K.*

요약: 건설현장에서 발생하는 소음으로 인하여 많은 사람들이 고통을 겪고 있고, 그로 인하여 민원과 분쟁이 증가하고 있다. 이러한 민원은 사업의 지연 및 중단, 배상액 지불과 같은 시간적, 경제적 손실을 초래하므로 엄격하게 관리되어야 한다. 이와 같은 추세에 따라 정부는 기존 방음벽 중심의 소음정책에서 탈피하여 발생원 중심으로 소음을 관리하기 위해 노력하고 있다. 그러나 건설 소음은 일시적이고, 불규칙적으로 발생하며, 건설장비 자체의 소음레벨이 높기 때문에 쉽게 제어되기 어렵다. 또한 최근 선진국을 중심으로 사람들에게 쉽게 인지되지 않는지만, 고주파 소음과 마찬가지로 인체에 정신적, 신체적 피해를 주는 저주파 소음에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 그러나 기존의 수동적인 소음관리방식으로는 고주파 소음을 저감하는데 효과가 있을 뿐, 저주파 소음을 저감하는데는 한계가 있다. 그러므로 본 연구는 건설현장에서 발생하는 소음을 저감하고, 기존의 수동적인 소음관리방식의 한계점을 보완하기 위한 방법으로 능동소음제어를 이용하여 건설현장에서 발생하는 소음을 저감하기 위한 관리모형을 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 시뮬레이션 실험을 수행하였고, 능동소음제어의 건설현장 적용성을 검토하였다. 본 논문은 능동소음제어를 통하여 건설현장에서 발생하는 소음을 저감하고, 소음피해로 인한 민원과 분쟁을 최소화하는데 일조할 수 있을 것이라 기대한다.

키워드 : 능동소음제어 시뮬레이션, 소음제어, 건설소음, 저주파 소음
