

Active Noise Control Barrier for Acoustic Hardware System Design

차 상 곤[†] · 안드레이 트로쉬^{*} · 김 동 환^{*}
 (Sang-Gon Cha · Andrey G. Troshin · Dong-Hwan Kim)

Abstract - Traffic noise annoyance in dwelling area like private houses and apartment is becoming very important issue nowadays in South Korea. In this paper frequency analysis of the traffic noise was performed. Based on sound pressure levels analyses and its frequency content specific requirements for component of active noise control systems are formulated. Active compensational loudspeaker, microphone front end and DSP design were analysed, considered and proposed. Components specifications and design solutions are verified using modelling and experimental technique.

Key Words : Road traffic noise, Noise barrier, Active noise control, Compensational loudspeaker

1. 서 론

좁은 국토상황에서 도로에서 발생하는 소음을 충분히 저감시킬 수 있는 거리 이상으로 도로와 거주 지역을 이격하는 것은 불가능하다. 도심지에서는 24시간 동안 항상 도로소음의 영향을 받는다고 하여도 과장된 말이 아니기 때문에 교통소음 저감에 대한 대책이 필요하다. 도로에서 발생하는 소음을 줄이기 위해서는 다양한 대책을 적용할 수 있다. 소음원 대책으로 차량 자체의 소음발생 크기를 줄이는 것이 가장 효과적인 방법이며, 소음의 전달 경로를 길게 하여 소음 전달을 줄이는 경로대책이 두 번째라 할 수 있다. 마지막으로 소음원의 영향을 직접 받는 주택의 차음성능을 높여 소음이 실내로 유입되지 못하도록 차단하는 것이다. 소음원 대책은 자동차 자체에 대한 연구개발이 진행되어야 하기 때문에 자동차 제조사들이 취할 수 있는 대책으로 한계가 있으며, 이동경로 대책인 소음의 전달경로를 길게 하는 방음벽 등의 설치가 일반적인 방법이 될 수 있다. 방음벽은 소음을 물리적인 장애물을 통하여 저감하는 방식으로 충분한 저주파 대역의 소음 저감에는 한계가 있다. 최근에는 ANC(Active Noise Control) 기술을 이용하여 다양한 분야에 적용이 검토되고 있으며, 방음벽에도 적용될 수 있을 것이다. ANC 기술은 신호처리부분과 신호발생부분으로 구분되어 기존 수동방음벽의 한계부분을 보완하여 보다 소음을 저감하고자 하는 방법이다. 공동주택을 도로교통소음으로부터 보호하기 위하여 저주파 소음을 경감시키는 데 있어 능동소음제어 기술의 적용이 매력적일 수 있

다. 능동소음제어에 대한 이론적 바탕은 Nelson과 Elliot에 의하여 제안되었다[1]. 반면, 많은 실용적 이행은 C. Hansen과 S. Snyder에 의하여 개발되었다[2]. 능동소음제어에 대한 구체적인 알고리즘 실행은 S. Kuo와 D. Morgan에 의하여 기술되었다. 아파트 단지에서 국지적 불감지대를 제공하기 위하여 능동소음제어를 활용하는 아이디어는 Sen Kuo에 의하여 제안되고 보고되었다. 50Hz~400Hz의 범위에서 10dB~20dB의 효율성을 지닌 수동, 능동소음제어 결합 기술이 덕트 팬(ducted fan)의 능동소음장치로 이용될 수 있다. 또한, 독일 아파트 창문의 전송손실을 증가시키기 위하여 능동소음제어 기술이 연구되고 실행되었다[3]. 피드포워드(Feed forward)와 피드백(feedback) 능동소음제어 알고리즘도 연구되었다. 능동소음제어 기술은 소위 감성세대로 불리는 세대를 위하여 사용될 수 있는데, 방음벽에 적용하여 저주파 전송손실을 증가시킬 수 있다. 이 기술의 한계점은 주파수 범위, 다시 말해 파장 크기와 음장(sound field)의 복잡성과 연관되어 있다. 능동소음저감과 수동소음저감 기술을 분리시키는 일반적인 교차주파수는 500~1000Hz 정도이다. 제어시스템의 성능에 결정적인 역할을 하는 것은 라우드 스피커의 성능이다. 일반적으로 도로소음의 저감 방지를 위한 주 대책인 방음벽은 도로에서 발생하는 저주파음의 회절현상으로 인해 그 성능의 한계를 나타내게 된다. 따라서 제어시스템에 사용되는 라우드 스피커는 50Hz 이하의 저주파수 대역에서 그 성능이 유지되어야 하며, 비와 강한 바람 등 외부환경 요소에 강한 특성을 가지고 있어야 한다. 이와 더불어 능동소음제어 시스템에 사용될 스피커는 몇 가지 특별한 요건이 충족되어야 한다. 그 중 한 가지 요건은 국내의 기후를 고려하여 스피커가 물과 눈으로부터의 방수성을 갖춰야 한다는 점이다. 또한, 장기간 동안 민을 만든 제어음(anti noise)를 발생시키기 위하여 능동 스피커는 여유 전력(electrical power)과 음력(acoustic power)을 가지고 있어야 한다. 이러한 사항등을 고려하여 30cm, 50cm의 지향성이 개선된 돌출형 라우드 스피커 시스템이 요구된다. 또한 라우드 스피커와 인접하게 설치되는 오차센서는 그 위

* 정 회 원 : SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템 기술개발 연구단 선임연구원

† 교신저자, 정회원 : SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템 기술개발 연구단 책임연구원

E-mail : humic@hanmail.net

접수일자 : 2011년 7월 13일

최종완료 : 2011년 10월 25일

체에 따른 제어시스템의 소음저감의 정도가 달라진다. 제어시스템에서 가장 중요한 요소인 기준센서는 음원과의 이격거리, 방음벽에서의 적절한 높이 산정이 중요하다. 기하학적으로 달라지는 음 전달 경로의 음향적 정보를 기준센서와 오차센서를 통하여 교정하는 절차를 거쳐야 한다. 따라서 본 연구에서는 능동형 방음벽 개발을 위하여 소음 주파수 특성에 관한 연구, 능동소음제어 하드웨어 플랫폼에 대한 일반적인 요건, 라우드 스피커(compensational loudspeaker) 설계 및 제작, 에러 마이크로폰(error microphone)과 기준 마이크로폰(reference microphone)의 front-end 설계에 관하여 살펴보았다.

2. 능동소음제어 시스템 구성을 위한 고려사항

2.1 고려사항

방음벽과 능동소음제어의 실행과 관련하여, 덕트 팬(ducted fan), 헤드셋(headset), 운전자 머리 주변의 quiet zone(quiet zone around car driver head)과 같은 매우 단순한 경우와 달리, 일반적으로 3차원 음장(3-D sound field)을 다루고 있다는 점에 주목할 필요가 있다. 능동소음제어 기술의 산업적 실행 과정에서 해결해야 할 몇 가지 설계 문제들이 있다. 이를 간단히 요약하면 아래와 같다.

- ① 라우드 스피커(compensational loudspeaker)의 최적 위치는 어디인가?
- ② 에러 마이크로폰(error microphone)의 최적 위치는 어디인가?
- ③ 피드포워드(Feed forward) 제어가 실행되어야 할 경우, 기준 마이크로폰의 최적 위치는 어디인가?
- ④ 피드백(feedback), 피드포워드(Feedforward), 하이브리드(hybrid) 중 어떤 종류의 제어가 실행되어야 하는가?
- ⑤ 원위치에 어떤 종류의 알고리즘이 가장 효율적인가?
- ⑥ 어떤 종류의 DSP 플랫폼(digital signal processor platform) 방식이 사용되어야 하는가?

2.2 일반적 요소

샘플링 비율(sampling rate), 필터탭(filter taps)의 개수, 전기음향학 하드웨어의 지연(delays)과 같은 능동소음제어 시스템의 지표에 대한 일반적인 요건의 고려가 필요하다. 먼저, 표본추출비율(sampling rate)은 관심 대상에 속하는 가장 높은 주파수보다 최소 2배이어야 한다. 그러나 P. 비타리우스 등(P. vitarius et al.)는 음향 측정에 있어 더 높은 정확성을 위해서 표본 주파수는 4배이어야 한다고 보고하였다. 그러나 주경로 P(z)를 더욱 정교하게 모델링하기 위해서는 아래의 등식이 성립해야 한다.

$$\delta T_{pp} = N \cdot f_s \tag{1}$$

여기서

N : number of filter taps

δT_{pp} : length of the primary path

f_s : sampling frequency

긴 주경로를 위해서는 적응적 필터 탭(filter taps)의 수를 감소시키기 위하여 더욱 높은 표본 주파수가 선택되어야 하는데, 이는 계산비용을 줄이기 위함이다. 적응적 필터 탭을 처리하는 데 필요한 시간은 아래와 같이 추산할 수 있다.

$$\delta T_{dsp} = \frac{N-1}{2f_s} \tag{2}$$

여기서 인과관계의 문제를 언급할 필요가 있는데, 이는 전자 및 전기음향학적 경로(electro-acoustic path)에서의 총 지연(delay) 시간이 주경로 P(z)에서의 전파시간보다 짧아야 한다는 것이다. 이는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta T_{adc} + \delta T_{dsp} + \delta T_{dac} + \delta T_{speaker} + \delta T_{power_amp} < \delta T_{pp} \tag{3}$$

음향 하드웨어로 인한 지연 문제는 이른바 FxLMS 알고리즘이라 불리는 알고리즘을 활용하여 완화할 수 있는데, 오프라인 모델링 시 지연이 보상될 수 있다. 따라서 식 (3)은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta T_{adc} + \delta T_{dsp} + \delta T_{dac} < \delta T_{pp} \tag{4}$$

끝항 $\delta T_{adc} + \delta T_{dac}$ 를 최소화하기 위해서 낮은 그룹 지연 코덱이 선택되어야 한다. 또한, 이른바 인과관계의 문제 역시 고려되어야 한다. 이는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{l}{f_s} < \frac{L}{c} \tag{5}$$

여기서,

f_s : sampling frequency

L : propagating distance(distance between error and reference mikes)

c : speed of sound

마지막 부등호는 표본추출시간 $t_s = \frac{1}{f_s}$ 이 기준 마이크로폰(reference microphone)에서 에러 마이크로폰(error microphone)까지의 소리 전송시간보다 짧아야 함을 나타낸다.

3. 능동소음제어 음향시스템 요소의 설계

3.1 도로교통소음 분석

소음 스펙트럼에서 두드러진 저주파 요소의 존재를 확인하기 위하여 주파수 특성 분석을 하는 것이 매우 중요하다. 그렇지 않으면 능동소음제어에 대한 주관적 효율성이 낮을 것이다. 다시 말해, 능동소음제어의 효과가 매우 큼에도 불구하고

고 효과가 들리지 않을 것이다. 협대역 스펙트럼(narrow band spectrum)기술을 이용한 주파수 특성 분석이 수행되었다. 교통소음에 대한 협대역 밴드 스펙트럼 (narrow band spectrum) 예비분석을 통해 저주파 범위에서는 중요한 저주파 요소가 있다고 결론 내릴 수 있다. 중요한 밴드는 각각 50~100Hz, 250~300Hz, 그리고 50~100Hz, 250Hz, 400Hz에서 볼 수 있다. 교통소음에 대한 음압수준 데이터(SPL Data)를 활용하면 감쇠 라우드스피커는 1m의 거리에서 전력 1와트 당 적어도 80~90dB의 음향 민감도를 지니고 있어야 하는 것으로 분석되었다. 또한, 장기간 동안 민을 만한 반대음(anti noise)를 발생시키기 위하여 능동 스피커는 여유 전력(electrical power)과 음력(acoustic power)을 가지고 있어야 한다.

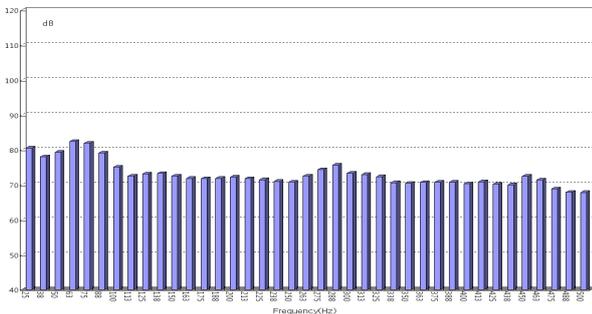


그림 1 아스팔트 고속도로소음, 지면에서 1m 높이
Fig. 1 High way, asphalt floor, 1m elevation from the ground (1/24th oct. spectrum for traffic noise)

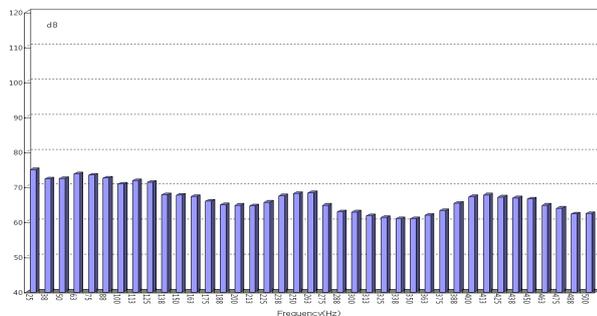


그림 2 콘크리트 고속도로소음, 지면에서 1m 높이
Fig. 2 High way, concrete floor, 1m elevation from the ground (1/24th oct. spectrum for traffic noise)

3.2 마이크론과 front-end

능동소음제어 시스템의 성과는 기준신호의 질(quality of the reference signal)에 크게 의존한다. 기준 마이크론(reference microphone)은 음원과 가능한 한 가까이 놓여야 한다. 그러나 방음벽의 경우 움직이는 소음원(the moving sound source)에서는 이 조건이 충족될 수 없다. 이 경우 기준 마이크론(reference microphone)을 교통량 쪽에서부터 방음벽 바깥에 위치하여 놓는 것이 유용할 수 있다. 아날로그

(Analog) front-end는 마이크론 출력(microphone output) 간에 임피던스 정합(impedance matching)과 같은 신호조정(signal conditioning)을 제공해야 한다. 그리하여 동축 비대칭 마이크론(co-axial non symmetrical microphone)을 평형선로로 전환하고 높은 수준의 아날로그(Analog) 신호를 기준 마이크론으로부터 DSP(digital signal processor)판으로 전송할 수 있는 적절한 접근을 제공한다. 이는 기준 마이크론이 방음벽 보다는 앞쪽에, 주요 전기 블록(electronic block)으로부터는 멀리 놓여야 하기 때문이다. 마이크론 설계의 또 다른 고려사항은 비용이다. 시스템이 다중채널(multi channel)이어야 하기 때문에 상대적으로 가격이 높은 스튜디오 녹음용 마이크론보다는 멀티미디어나 축소 모형 보정기 일렉트릿(electret)을 선택하는 것이 효과적이다. 최근 마이크론은 내장형 전치 증폭기를 제공하는데, 근접 및 분리 주파수를 맞춤식으로 조정할 수 있다. Electret 마이크론은 20Hz~1kHz까지의 저주파 범위에서 우수한 반응을 보이기 때문에 능동소음제어에 사용 가능하다. 또한, 능동소음제어 시스템 설계에 있어서 기온이나 습도 범위와 같은 환경 사양 역시 고려되어야 한다. 그림 3~5는 축소 모형 Electret의 표본과 방향성 패턴을 포함한 FRF에 대한 시험 결과이다. 3차에 걸친 마이크론의 성능 분석결과, 본 연구를 위한 실험용으로는 그 성능이 우수한 것으로 나타났다.

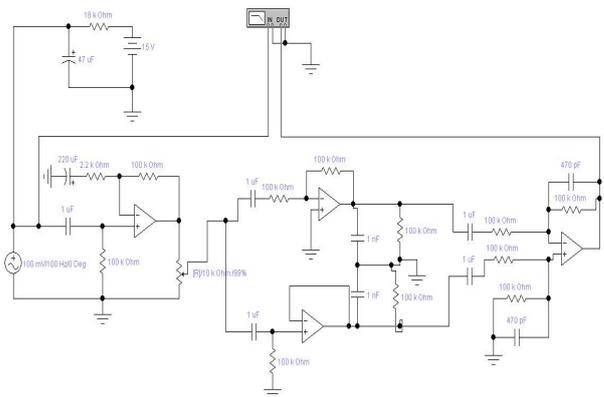


그림 3 밸런스드 출력 마이크 프리앰프 도해
Fig. 3 Schematic of balanced output microphone preamplifier

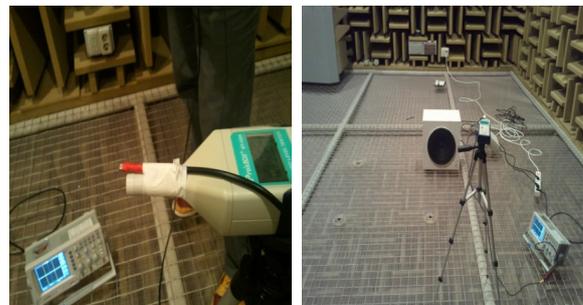


그림 4 라우드스피커와 SMD 마이크론 실험
Fig. 4 SMD microphone with Active Loudspeaker

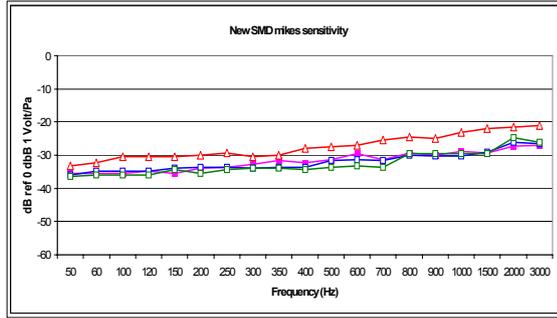


그림 5 제작된 SMD 마이크로폰의 성능
Fig. 5 Performance of designed SMD microphone

3.3 능동형 라우드 스피커

DSP(digital signal processor) 알고리즘에 의해 발생된 역 위상 보상 음향 신호는 라우드 스피커에 의해 확장(boosted) 되고 방사되어(radiated) 퍼져야 한다. 최근 시장에서 여러 가지 다양한 능동 라우드스피커 디자인과 모델을 찾아볼 수 있음에도 불구하고 능동소음제어 시스템에 바로 적용시킬 수 있을지는 의문이다. 실외 능동소음제어 시스템을 위해서는 몇몇 특별 조건이 충족되어야 한다. 한 가지 조건은 기후를 고려하여 스피커가 물과 눈으로부터의 방수성을 갖춰야 한다는 점이다. 또 하나의 조건은 스피커가 THD≤1%와 함께 20 μPa에서 최소 85dB의 음압수준을 발생시켜야 한다는 점이다. 또한, 주파수 범위는 40~50Hz에서 시작해야 한다. 대부분의 저가 멀티미디어 서브우퍼(sub woofer)는 이러한 사양을 제공하지 못하는 반면, 고성능의 제품은 훨씬 고가이다. 더욱이 멀티미디어 라우드 스피커 제조업자는 주파수 범위, 스피커 민감도, THD(total harmonic distortion)과 같은 스피커 사양을 명시하지 않는다. 이것이 바로 스피커 디자인에 특별한 관심을 집중해야 하는 이유이다. Thiele과 Small 지표 (T/S parameter)들을 활용하여 적절한 스피커 캐비닛 부피를 계산하는 것이 가능하다. 임피던스 곡선을 활용하여 이중채널 FFT분석기를 수단으로 스피커의 Thiele과 Small(T/S) 드라이버 지표들을 측정하는 기술은 여기서 찾아볼 수 있다. 측정된 등가의 부피 V_{as} , 공명진동수 f_s , 스피커 드라이버의 종합 성능 계수 Q_s 가 확보되면 저 분리 주파수와 스피커 칸 부피, 저주파 FRF 접촉을 결정할 수 있다. 또한, 고효율 전력증폭기(power amplifier)가 설계되고 시험되었으며, 그림 6은 전력증폭기의 도해를 나타낸 것이다. 스피커 드라이버와 전력증폭기에 대한 시험결과가 표 1에 나타나 있다. 저출력의 나눠진 전압(±15V)가 마이크로폰 front-end의 라인드라이브(line drive) 전압(voltage)을 제공하는 데 사용될 수 있다. 그림 7은 이를 바탕으로 제작된 최종 능동형 라우드 스피커이다. 증폭기는 이득계수(gain factor) 31dB과 THD=0.07% 수준에서 8 옴(Ohm)에서 30와트의 출력을 20Hz~20kHz의 범위에서 주파수 반응이 나타났다. 최대한의 입력 전압은 0.5 V RMS이며, 설계된 능동소음제어 라우드 스피커의 주파수 반응은 0.16 V의 두 가지 입력 전압으로 그림 8에 나타나 있다. 교통소음 수준이 80dB을 초과하지 않지만, 능동 마이크로폰의 신뢰도와 내구성을 증가시키는 운영 여유를 두는 것이 효과적인 것

으로 분석되었다. C. Hansen은 최대 용량의 10% 수준에서 마이크로폰을 사용하라고 권장하고 있다. 설계된 스피커는 소음 방지를 발생시키기 위해 충분한 높은 민감도를 지녔다는 것을 그림 8에서 알 수 있다.

FRF(frequency response function)에 대한 방수용 덮개의 영향은 무시해도 될 정도이다. 시험 데이터에 기초하여 제안된 능동형 라우드스피커와 마이크로폰 front-end 설계가 능동소음제어 방음벽 시스템에 적용할만한 가치가 있고 적용 가능한 것으로 분석되었다. 능동소음제어 시스템에 사용될 스피커는 몇 가지 특별한 조건이 충족되어야 한다. 그 중 한 가지 조건은 국내의 기후를 고려하여 스피커가 물과 눈으로부터의 방수성을 갖춰야 한다는 점이다. 또한, 장기간 동안 믿을 만한 제어음(anti noise)를 발생시키기 위하여 능동 스피커는 여유 전력(electrical power)과 음력(acoustic power)을 가지고 있어야 한다. 이러한 사항등을 고려하여 30cm, 50cm의 지향성이 개선된 돌출형 라우드 스피커 시스템을 개발하였으며, 이를 통하여 지향성 증가, 에러 센서간의 간섭작용 방지 등의 효과를 얻을 수 있었다.

표 1 스피커 드라이버 테스트 결과

Table 1 Speaker driver test results

	Total Harmonic Distortion THD = 0.3% (-50 dB) Speaker driver sensitivity = 96 dB / Watt m at 1kHz Driver resonance frequency $f_s=33$ Hz Calculated box volume $V = 46$ Liter
	Total Harmonic Distortion THD = 1% (-40 dB) Speaker driver sensitivity = 98 dB/ Watt m at 1kHz Driver resonance frequency $f_s = 45$ Hz Calculated box volume $V = 62$ Liter

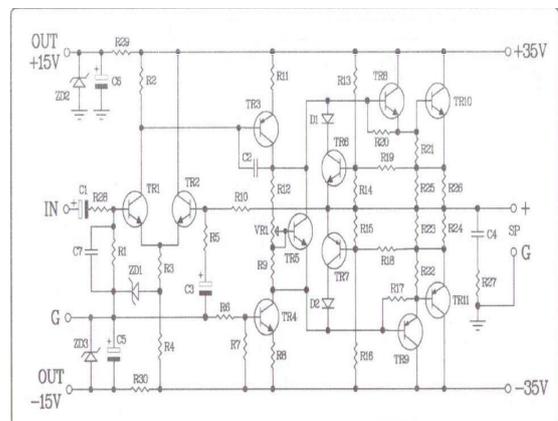


그림 6 파워앰프 도해
Fig. 6 Schematic of power preamplifier



그림 7 파워앰프 포함한 액티브 라우드스피커 디자인 예시
 Fig. 7 Active loudspeaker design example with power preamplifier

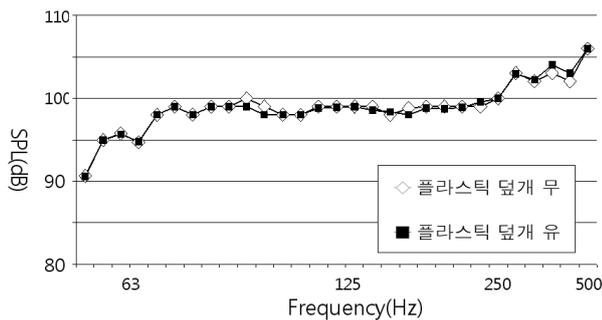


그림 8 디자인된 액티브스피커의 FRF
 Fig. 8 FRF of designed active speaker



(a) 제작된 스피커1 (b) 제작된 스피커2 (c) 제작된 스피커3

그림 9 제작된 스피커 설비
 Fig. 9 Speaker production facilities

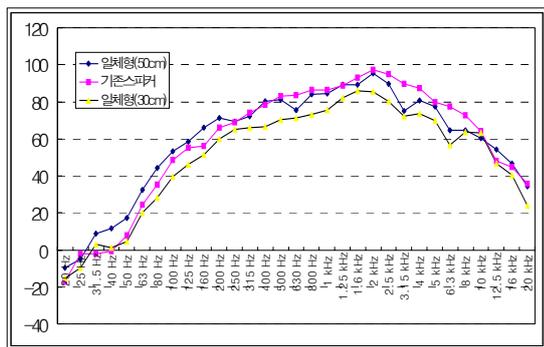


그림 10 제작된 스피커의 성능
 Fig. 10 Performance of designed active speaker

4. 결 론

본 연구는 도로교통소음 저감을 위한 능동형 방음벽 개발을 위한 시스템 설계의 기초연구로서 도로소음 측정결과를 기반

으로 주파수내용과 음압레벨을 분석하였으며, 이를 바탕으로 능동형 라우드 스피커(compensational loudspeaker) 설계, 에러 마이크로폰(error microphone)과 기준 마이크로폰(reference microphone)의 front-end 설계에 관하여 살펴보았다.

1) 도로교통소음 분석결과, 능동소음제어를 위한 중요한 밴드는 각각 50~100Hz, 250~300Hz, 그리고 50~100Hz, 250Hz, 400Hz인 것으로 나타났다. 또한 교통소음에 대한 음압수준 데이터(SPL data)를 활용하면 능동형 라우드 스피커는 1m의 거리에서 전력 1와트 당 적어도 80~90dB의 음향 민감도를 지니고 있어야 하는 것으로 분석되었다.

2) 능동형 라우드 스피커는 저출력의 나뉜진 전원 ±15V가 마이크로폰 front-end의 라인드라이브(line drive) 전압(voltage)을 제공하는 데 사용될 수 있다. 또한 증폭기는 이득 계수(gain factor) 31dB과 THD=0.07% 수준에서 8 옴(Ohm)에서 30와트의 출력을 20Hz~20kHz의 범위에서 주파수 반응이 나타났다. 최대한의 입력 전압은 0.5 V RMS이며, 설계 및 제작된 능동소음제어 라우드 스피커의 주파수 반응은 0.16V의 두 가지 입력 전압이 있으며, FRF(frequency response function)에 대한 방수용 덮개의 영향은 무시해도 될 정도이다. 시험 데이터에 기초하여 제안된 능동형 라우드 스피커와 마이크로폰 front-end의 설계가 능동소음제어 방음벽 시스템에 적용할만한 가치가 있고 적용 가능한 것으로 분석되었다.

3) 능동소음제어 시스템에 사용될 스피커는 몇 가지 특별한 요건이 충족되어야 한다. 그 중 한 가지 요건은 국내의 기후를 고려하여 스피커가 물과 눈으로부터의 방수성을 갖춰야 한다는 점이다. 또한, 장기간 동안 믿을 만한 제어음(anti noise)를 발생시키기 위하여 능동 스피커는 여유 전력(electrical power)과 음력(acoustic power)을 가지고 있어야 한다. 이러한 사항등을 고려하여 30cm, 50cm의 지향성이 개선된 돌출형 라우드 스피커 시스템을 개발하였으며, 이를 통하여 지향성 증가, 에러 센서간의 간섭작용 방지 등의 효과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] Nelson P. A., Elliott S. J., Active control of sound. Academic press, 1992
 [2] ColinH. Hansen, Understanding active noise cancellation. Spon Press, London and New York, 2001
 [3] C. Hansen S. Snyder Active Noise Control, Primer, Sen M. Kuo, Dennis R.Morgan, : Active Noise Control System Algorithm/DSP implementations, John Wiley & Sons, 1996
 [4] K.Yamanoto, Y.Shono, H.Ochiai. and Y.Hirao,"measurements of noise reduction by

absorptive devices mounted at the top of highway noise barriers" inter-noise 95, pp.389-392, 1995

- [5] K.Fujiwara, D.C.Hothersall, and C-H KIM,"noise barriers with reactive surfaces" Applied Acoustics, Vol 53(4), pp.255-272, 1997
- [6] Sang-Gon Cha, Jang-Cheol Choi, Proceeding of the KSNVE Annual Spring Conference, Research Finding from Special Group's Opinion Survey on Noise Barrier Development, pp. 554-555., 2011

저 자 소 개



차 상 곤 (車 相 坤)

2005년 경기대학교 졸업(공학박사)
현재 SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시
스템 기술개발 연구단 근무
E-mail : humic@hanmail.net



안드레이 트로신

2002년 St Peterbutg University of
cinema and TV 졸업(Phd)
현재 SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시
스템 기술개발 연구단 근무
E-mail : atroshin@yahoo.com



김 동 환 (金 東 煥)

2004년 전북대학교 졸업(석사)
현재 SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시
스템 기술개발 연구단 근무
E-mail : lkest2@naver.com