

## 교통환경 정온화를 위한 도로 소음의 측정 및 ANC시스템에의 적용 특성 고찰

### A Study on the Characteristics of Applicability in the Active Noise Cancellation System and Measurement of the Road Noise for Traffic Calming

문 학 룡\* · 손 진 근†  
(Hak-ryong Moon · Jin-geun Shon)

**Abstract** - Noise problem that occurs on the road is raising a lot of problems in the economic, social and environmental aspects. The objective of this paper is to propose ANC(active noise cancellation)-based road traffic noise reduction algorithm-model which can reduce noise by generating frequency opposed to noise sources to improve and complement the problem that existing physical form of a noise barrier. In this paper, we measured the noise characteristic from collection of two difference car noise also ANC simulation has been performed by using road traffic noises input. In order to compare the control performance, we performed noise reduction simulation of ANC by filtered-X LMS algorithm and delayed control signal injection. As a result of this simulation, we confirmed that convergence performance and noise decrease effect to the filtered-X LMS algorithm by inputting the road traffic noise.

**Key Words** : ANC(active noise cancellation), Convergence performance, Filtered-X LMS(least mean square) algorithm, Noise reduction, Road traffic noise

#### 1. 서 론

현재 도로를 주행하는 차량의 증가는 산업의 발달 및 경제의 발전과 함께 매우 증가하고 있는 추세에 있다. 이와 함께 수도권으로 사람들이 모이면서 신도시의 개발과 함께 신도시 아파트들이 고속도로 또는 도심형 고속화도로 주변에 많이 건설되고 있다. 이로 인하여 도로의 주행 차량에서 발생하는 소음은 많은 민원의 주 인자가 되고 있으며, 이에 따라 교통 정온화에 대한 대책의 필요성이 매우 증대되고 있는 실정이다[1].

이에 대한 대책의 일환으로 주로 도심 주변에 방음벽을 설치하고 있는 실정이나 이는 높은 방음벽의 설치로 인하여 경제적 손실 및 사회적 비용도 증가되고 있으며, 도시의 미관을 해치는 문제점 뿐만 아니라 방음벽의 높이로 인하여 겨울철 도로의 결빙현상에 따라 또 다른 교통사고를 야기 시키는 문제점이 아울러 발생되고 있는 실정이다[2].

이러한 교통 소음에 대한 정온화의 목표를 위하여 최고속도 및 차량통행의 제한, 주차금지 및 도로운영의 제한 등 법적·제도적 대책이 마련되어 시행되고 있으며, 기술적 대책으로서는 험프(hump), 시케인(chicane), 라운드어바웃(round about) 등의 방법을 마련하고 있으나 교통소음의 완화 및 해소 측면에서의 교통 정온화 기술에 대한 연구는 아직 없는 실정으로 국민 삶의 질을 향상시키는 측면에서 도로 교

통 소음 저감의 연구가 매우 시급한 실정이다[3,4].

본 논문에서는 도로변에서 발생하는 소음의 저감대책 마련에 대한 기초적인 연구 수행 및 전자식 능동형 소음 장치(Active Noise Cancellation :ANC)의 구현을 위한 기초 모델을 제시하였다. 본 논문에서는 우선적으로 도로교통 소음에 관한 관련제도에 따른 소음 규제기준 및 도로소음 지도의 지리정보시스템의 DB제공 사례를 고찰하여 보았으며 또한 도로 교통 소음원에 대한 기초적 검토와 저감 시설의 현황을 고찰하였다. 그리고 도로상에서 발생하는 소음에 대하여 차량이 주행하면서 발생 시키는 소음을 측정하여 그 특성을 분석하였다. 시속 100[km] 주행중인 승용차와 덤프트럭에 대하여 포장재별로 다르게 신호를 채집하였으며 이의 신호를 ANC시스템의 입력으로 사용하였다.

종래에 소음 저감을 위하여 주로 사용되고 있는 기존의 ANC 제어기법으로 주로 사용되었던 Filtered - X LMS(이하 FXLMS로 표기) 알고리즘[5,6]을 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 이의 결과를 분석하여 보았다. 실제의 도로에서 채집된 도로교통 노이즈를 ANC입력으로 사용하여 FXLMS 알고리즘에 대입하여 그 결과를 분석하면서 시간지연에 따른 디지털 샘플링의 지연성을 이용하여 실시간 처리에 대한 문제점을 도출하여 보았다.

이의 연구결과는 도로의 정온화 대책의 일환으로 제시되고 있는 전자식 능동형 소음 장치의 개발에 대한 기초모델의 제시 측면에서 유용하다 할 수 있으며, 특히 실제의 도로 환경에서의 활용성을 높이기 위하여 도로환경에 적합한 2차 패스 모델링 기법화 또는 Delayless와 같은 개선된 알고리즘의 도입 필요성과 구현기법을 제기하는데 유용한 기초 자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

\* 정 회 원 : 한국건설기술연구원 연구위원 · 공박  
† 교신저자, 정회원 : 가천대학교 전기공학과 교수 · 공박  
E-mail : shon@gachon.ac.kr

접수일자 : 2013년 6월 21일

수정일자 : 2013년 8월 3일

최종완료 : 2013년 8월 19일

## 2. 도로교통 소음의 규제현황과 측정결과

### 2.1 도로소음의 관련제도

최근 우리나라에서는 국민 소득 수준의 증가로 인하여 삶의 질에 대한 요구가 한층 증가되고 있는 실정이며 주택 층간 소음문제의 대두가 대표적인 사례이기도 하다. 우리나라 환경부에서는 「환경정책기본법」을 표 1과 같이 규정하여 시행하고 있다. 이는 국내에서의 소음환경에 대한 기준을 국제표준화기구의 주거환경과 작업능률 및 기타 사회활동에서 적합하다고 제시된 소음 권고기준을 기초하여 제정된 것으로 적용대상지역을 간략화 한 것이다[1,2].

표 1 국내의 소음 규제기준

Table 1 The domestic standard of noise restriction.

지역구분	적용대상지역	기준(단위 : Leq dB(A))	
		낮 (06:00-22:00)	밤 (22:00-06:00)
일반지역	"가"지역 (전용주거지역 등)	50	40
	"나"지역 (일반주거지역 등)	55	45
	"다"지역 (상업지역 등)	65	55
	"라"지역 (일반공업지역 등)	70	65
도로변지역	"가" 및 "나" 지역	65	55
	"다"지역	70	60
	"라"지역	75	70

또한 환경부에서는 국가 소음도의 체계적인 관리와 정확한 통계 및 현황자료의 확보를 목적으로 국가소음정보시스템을 구축하여 운영하고 있다. 국가소음정보시스템은 소음 정보를 수집하기 위해 도심지역에 상시 자동측정기 62개 지점, 수동측정 총 1,721개 지점(분기 1회 측정)을 운영하고 있으며, 그 자료는 파일형태(엑셀)로 그 위치는 지리정보시스템(GIS)으로 제공하고 있다. 그림 1은 충청북도 청주시 일대에서의 도로주변과 관계된 소음지도와 DB 구축 데이터를 제공하는 화면을 캡처한 과정의 일례를 나타내고 있다[4,7].

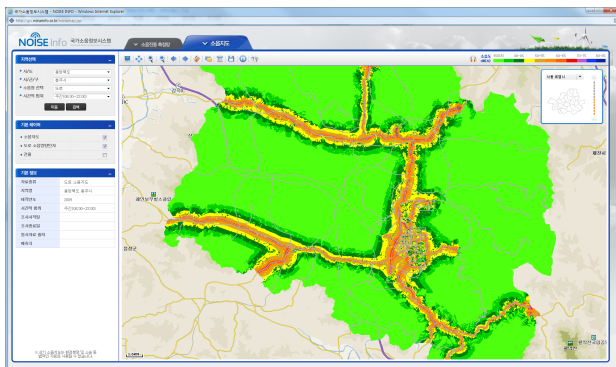


그림 1 국가소음정보시스템의 소음지도 일례(청주시)  
Fig. 1 Noise map of national noise information system.

### 2.2 도로소음의 저감시설

도로교통의 소음 저감 대부분은 방음벽 설치를 통해 이뤄지고 있다. 국내의 방음벽은 1980년대 말부터 본격적으로 설치가 시작되었다. 특히 최근에는 주거지역의 소음환경에 대한 관심 고조 및 국가의 정책적 지원 등으로 방음벽 설치지역이 증가하여 1988년도에는 방음벽 설치 연장이 약 2[km]에 불과했지만 현재는 전국으로 확산되어 수 천[km]에 설치되어 있는 실정이다. 환경부의 보도자료(2000.4.4)에 따르면 2009년까지 총 4,699개소에 1,220[km]에 방음벽을 설치를 완료했고 2009년 한 해에만 208개소에 총 66[km]에 방음벽을 설치하였다고 보고하였다[1,2].

그러나 국민의 쾌적한 생활환경을 위해 대표적인 소음저감 시설인 방음벽은 그 설치·보급량이 상당하지만 일반적으로 방음벽은 몇 가지 한계를 드러내고 있어 이에 대한 개선이 필요한 상황이다. 즉 방음벽 설치로 인한 소음의 차폐 효과는 고층 빌딩의 경우 1~4층의 경우 상당한 효과(10dB(A) 정도)를 얻을 수 있으나 그 이상의 층(5층 이상)에서는 효과를 얻지 못하고 있다. 또한, 방음벽의 차음 효과는 500[Hz] 이상의 고주파 대역에서 높은 차음효과를 보이는 반면 500[Hz] 이하의 저주파 소음에 대해서는 흡음재의 크기가 커져야 하므로 비용이 증가하는 단점이 있다[7].

따라서 도심 주변에서의 방음벽을 설치하는 것은 경제적 손실 및 사회적 비용도 증가되고 있으며, 도시의 미관을 해치는 문제점 뿐만 아니라 방음벽의 높이로 인한 겨울철 도로의 결빙현상, 생태교란 등의 또 다른 문제점을 야기할 수 있으므로 새로운 형태의 저감 수단의 도입 필요성이 제기되며 그 일환으로 전자식 능동소음저감 시스템의 도입 필요성이 점차 증가하고 있는 실정이다.

### 2.3 도로소음의 측정실험

본 논문에서는 도로상에서 발생하는 소음의 주 원인인 차량이 주행하면서 발생 시키는 소음을 측정 분석하였다. 표 2는 도로소음의 정밀 측정을 위하여 타이어와 포장 노면과의 마찰음을 측정하여 dBA 평균화를 나타낸 결과이다.

표 2 앞 타이어의 총 음압레벨 결과(단위 : dB(A))

Table 2 Results of the tire sound pressure level.

속도 [kph]	앞 타이어			뒷 타이어		
	평지	오르막	내리막	평지	오르막	내리막
40	90.9	92.5	90.6	88.6	88.2	88.6
60	96.9	97.7	96.8	94.7	94.5	94.2
80	101.4	101.2	100.8	99.1	98.7	98.1

NCPX(Noble Close Proximity) 방법[4]을 이용하여 다양한 교면포장형식에 대해 소음측정을 실시하였다. 내리막 구배는 2.7[%]의 경사를 나타내었다. 시험 당시 19.9[°C]와 습도 32[%]의 기후조건을 나타내었고, 차량의 주행속도에 따른 소음 발생을 비교하기 위해 주행속도를 40, 60, 80[kph]로 나누어 속도 당 5회씩 소음 측정을 진행하였다. 속도가 40[kph], 60[kph]일 경우 앞 타이어는 엔진부의 영향에 의해 오르막 구간에서 평지나 내리막 구간에 비해 약 1~2dB(A) 정도가 증가하였음을 나타내었다. 반면, 속도가 80[kph]의 경우는 구간별 별다른 소음 변화 차이가 발생하지 않았는데

이는 고속 주행으로 가속이 충분이 된 차량이 별도의 추가 엔진동력 없이 오르막 차로를 올라가기 때문에 판단된다. 시험대상 차량의 타이어 근접위치에 직접 마이크론을 설치하여 시험대상 차량의 A-가중치 등가 소음도를 측정하였다. 이때, 표면마이크론(Surface Microphone)으로 측정된 신호는 Audio Data Spectrum으로 분석하였으며 그 결과를 그림 2에서부터 그림 5까지로 별도로 나타내었다.

이의 측정 실험에서는 승용차 및 덤프트럭의 2종의 차량이 100[kph]의 시속으로 각각 주행하고 있으며, 아스팔트 포장체로서는 쇠석매스틱아스팔트(Stone Mastic Asphalt; SMA)와 밀입도아스팔트(Dense Grade Asphalt : DGA)의 2개 포장체를 대상으로 선정하여 신호의 크기 및 주파수분석을 수행하였다.

그림 2와 그림 3에서는 승용차의 주행에 대하여, 그리고 그림 4와 그림 5에서는 덤프트럭의 주행에 대하여 SMA 및 DGA의 포장재 각각에 대하여 노이즈신호(a)와 이의 FFT에 대한 결과파형(b)을 Matlab Tool을 이용하여 각각 나타낸 것이다.

위의 각각의 그림 (a)에서 볼 수 있듯이 전체파형의 순시적인 최대치와 최소치와의 폭 차이에서는 그림 4와 그림 5에서와 같이 덤프트럭에서 소음 신호가 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 두 종류의 차량과 두 종류의 포장재에 따른 노이즈 신호의 FFT결과인 그림 (b)의 파형에서는 차이점이 크게 나타나지는 않았다. 다만 포장재에 따른 [dB]레벨의 크기 차이는 찾을 수 없었으나 2[kHz] 이하의 저주파 영역에서 덤프트럭에서의 크기가 아주 약간 크게 나타남을 알 수

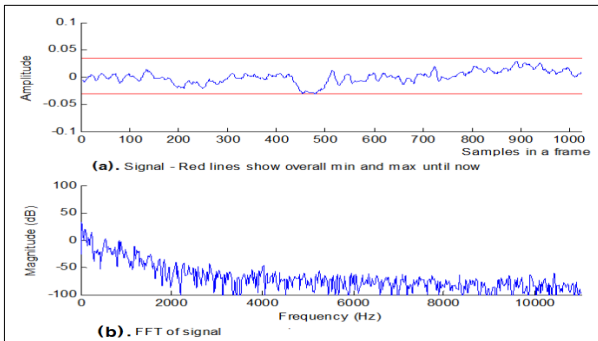


그림 2 승용차의 SMA포장재의 소음신호와 FFT결과  
Fig. 2 Noise signal and FFT result of car by the SMA.

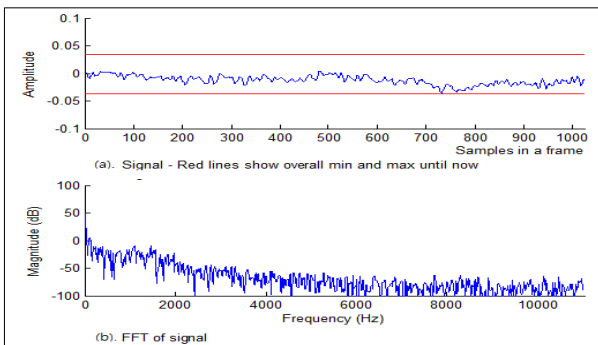


그림 3 승용차의 DGA포장재의 소음신호와 FFT결과  
Fig. 3 Noise signal and FFT result of car by the DGA.

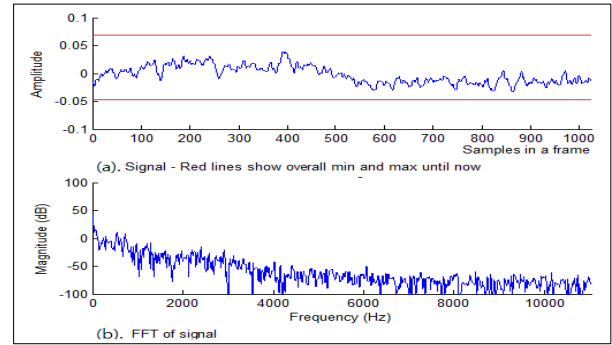


그림 4 덤프트럭의 SMA포장재의 소음신호와 FFT결과  
Fig. 4 Noise signal and FFT result of dump truck by the SMA.

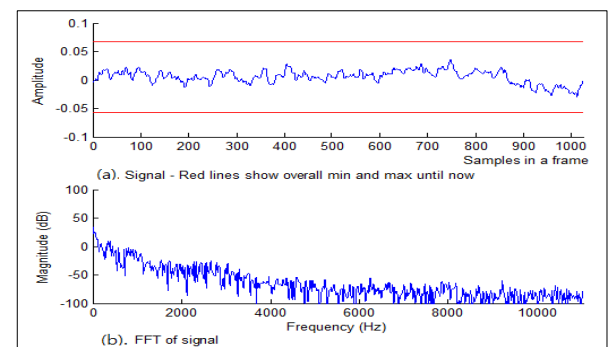


그림 5 덤프트럭의 DGA포장재의 소음신호와 FFT결과  
Fig. 5 Noise signal and FFT result of dump truck by the DGA.

있으나 지배적이지는 않다고 할 수 있다. 따라서 도로소음을 ANC에 적용하기 위해서는 특별한 주파수 영역의 협대역 ANC시스템의 도입보다는 광대역으로 소음을 제거하기에 유리한 피드포워드 ANC시스템이 적당할 것으로 판단되며, 피드포워드 제어기법에 일반적으로 사용되는 FXLMS기법의 도입이 타당할 것으로 사료된다.

### 3. ANC 제어알고리즘의 도입과 모의실험

#### 3.1 Filterd-X LMS 알고리즘의 도입

도로의 교통소음 뿐 만 아니라 엔진이나 전동기와 같은 소음원은 소음주파수와 진폭이 연속적으로 변화하게 되며 또한 온/습도, 공기의 흐름은 소음원의 속도와 형태를 변경시키게 된다. 이러한 가변 음향 잡음원과 전송경로들은 시변이므로 소음제거를 위해서는 필터 특성을 연속적으로 가변시켜야만 한다. 따라서 이러한 소음 저감을 위해서 신호처리 기법의 최적필터를 도입하고자 할 때는 시스템의 정보가 불충분하거나 또는 시스템 계수 주변여건이 시변인 경우 시스템의 계수를 추정하면서 필터링하는 그림 6과 같은 LMS(least mean square)적응필터링 기법의 도입이 필수적이다[3,5].

그림 6은 적응필터의 기본원리도이며 신호d(n)을 목표신호로 하여 이를 추정한 예이다. 이때 적응필터의 역할은 필터계수를 변화시키면서 출력신호y(n)을 목표신호d(n)에 근

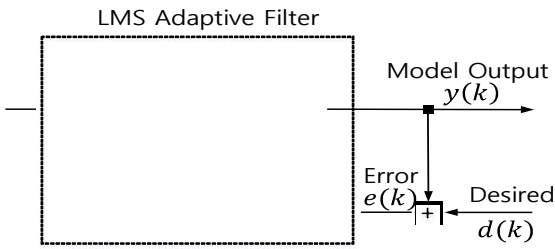


그림 6 LMS 적응필터의 기본원리  
Fig. 6 Principle of LMS adaptive filter.

접시키는 것이다. 즉 추정오차 신호  $e(n)$ 을 최소화하는 것이 적응필터의 역할이다. 따라서 오차신호  $e(n)$ 은 목표신호  $d(n)$ 과 모델의 출력  $y(n)$ 의 차이므로 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$e(n) = d(n) - y(n) = d(n) - W^T X(n) \quad (1)$$

여기서, 필터 또는 모델의 출력  $y(n)$ 은 임펄스 응답벡터  $W$ 와 입력벡터  $X(n)$ 의 내적이며 식 (2)와 같이 다시 쓸 수 있다.

$$y(n) = W^T X(n) \quad (2)$$

여기서,  $W^T = [w_0 \ w_1 \ \dots \ w_{N-1}]$   
 $X(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T$  이다.

추정치와 추정치와의 오차신호에 제곱의 값이 최소가 되도록 하는 최적값  $W$ 를 구하기 위하여 오차신호의 제곱에 기대값을 취한 것을 평가함수로 취하여 그 값이 제로가 되도록 편미분을 취하여 간략화 시키면 최종의 식 (3)으로 표현할 수 있다[3,5,6].

$$W(n+1) = W(n) + \mu e(n)X(n) \quad (3)$$

따라서 가중치벡터  $W$ 의 업데이트( $W(n+1)$ )는 이전의 값  $W(n)$ 에다 스텝사이즈  $\mu$ 와 오차와 입력 값의 곱으로써 갱신함으로써 수행되며 이로써 FXLMS 알고리즘이 완성된다. 그림 7에서는 이러한 절차에 따라 FXLMS 알고리즘을

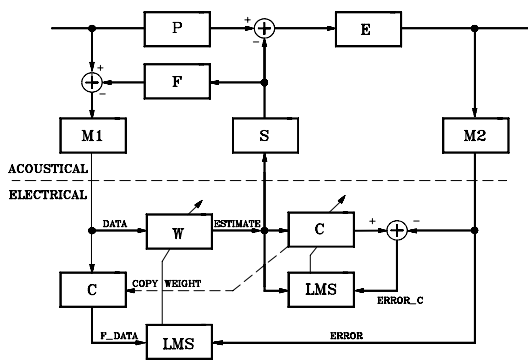


그림 7 FXLMS 알고리즘의 소음제어 블럭선도  
Fig. 7 Block diagram of active noise control using FXLMS algorithm.

도입한 능동소음제어기의 일반적인 절차를 나타내었다[10]. 여기서  $P$ 는 입력마이크로폰으로부터 제어스피커까지의 소음경로의 전달함수이고,  $M1$ 과  $M2$ 는 마이크로폰과 전치증폭기, 저역통과필터의 전체전달함수이다.  $S$ 는 저역통과필터, 전력증폭기, 제어스피커의 전체전달함수를,  $E$ 는 제어스피커에서 오차마이크로폰까지의 소음의 전달경로에 대한 전달함수를 나타낸다. 그리고  $F$ 는 음향교환을 나타낸다.

또한, LMS필터  $C$ 는 보조경로와 오차경로내의 전달함수  $S$ ,  $E$ ,  $M2$ 를 역모델링 하는 역필터이다. 오차경로의 적응지연 역모델의 계수는 LMS필터  $W$ 로 가는 입력 경로내에 복제되며 입력마이크로폰에서 받은 입력 데이터를 필터링하여 주 적응제어기의 계수( $W$ )를 갱신토록 하는 오차상관기로 동작하게 된다.

#### 4. 도로소음 입력에 대한 ANC 모의실험 및 결과특성의 분석

본 모의실험에서는 ANC 제어를 위해서 도로교통의 소음을 입력으로 하여 FXLMS 알고리즘을 사용하였다. 그림 2와 같은 Audio Data의 소음입력을 기반으로 하여 시속 100[km]의 승용차 소음을 실험모델로 하였으며 이의 제어흐름도를 그림 8에 나타내었다.

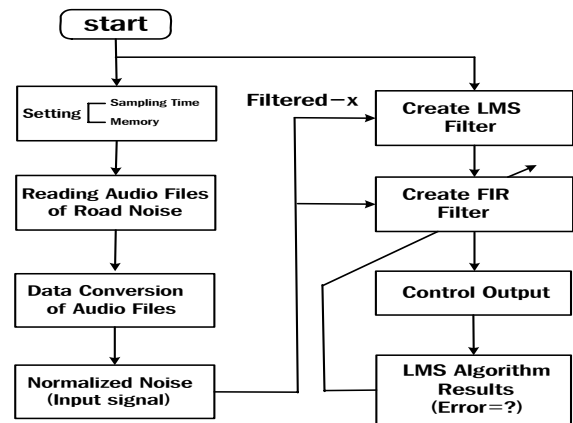


그림 8 도로소음에 대한 ANC 알고리즘의 적용  
Fig. 8 Application of ANC algorithm with the road noise input.

그림 8은 Matlab 2013 버전의 DSP 라이브러리에서 주어지는 LMS 및 FIR 등의 제어블럭을 이용하여 FXLMS를 구성한 ANC 모의실험의 구성도를 나타내었다. 그림 2와 같은 연속 및 불연속적인 승용차의 도로소음에 대하여, 데이터 샘플링을 가청주파수의 약 절반인 8[kHz]에 해당하게끔 1초당 8,000회×8초로 sample index를 설정하여 메모리 셋팅을 하였다. 이때의 1 샘플링 타임은 125[μs]이며, 도로소음을 데이터로 변환하여 정규화 입력신호로 하고 Matlab DSP 버전 S/W를 사용한 입력이 FXLMS 알고리즘을 수행하도록 하였으며, LMS 결과값에 대하여 오차신호가 최소화되도록 FIR 필터의 계수를 계속 조정하면서 잡음신호가 제어되도록 프로그램을 구성하였다.

그림 9와 그림 10에서는 도로소음의 입력에 대하여 소음

이 연속 및 불연속적인 입력에 대한 모의실험의 결과에 대하여 각각 ①.목표신호  $d(n)$ , ②.제어출력신호  $y(n)$ , ③.오차신호  $e(n)$  (소음제거의 결과)의 결과파형을 나타낸 것이다. 두 신호의 입력 각각에 대하여 본 알고리즘의 제어 목적에 맞도록 그 결과가 잘 추종되고 있음을 오차신호를 통하여 보여주고 있다.

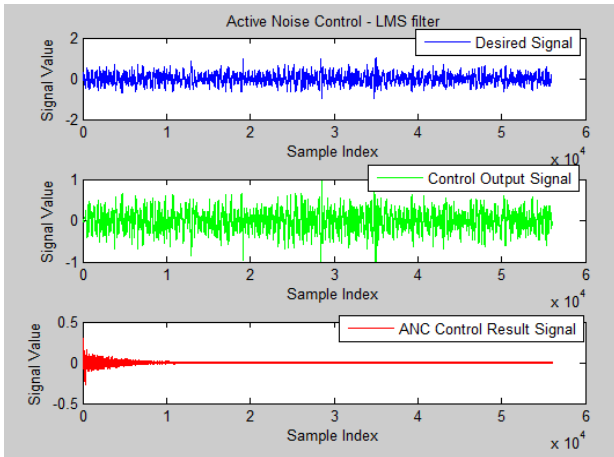


그림 9 도로소음 입력(연속)에 대한 ANC의 결과파형  
 Fig. 9 Results of ANC algorithm with the road noise input. (Continuous input signal - delayless control)

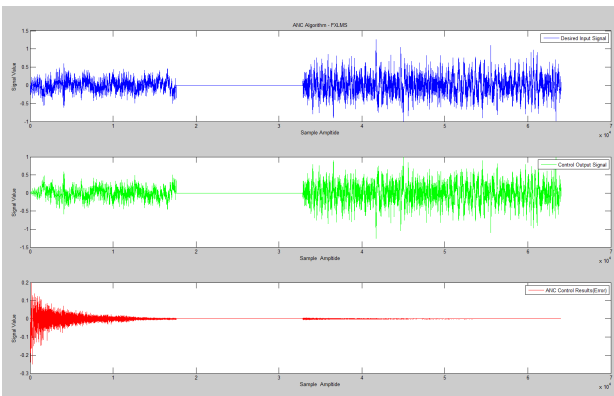


그림 10 도로소음 입력(불연속)에 대한 ANC의 결과파형  
 Fig. 10 Results of ANC algorithm with the road noise input. (Discontinuous input signal - delayless control)

그림 11은 그림 10과 동일조건에서 ①.목표신호  $d(n)$ , ②.제어출력신호  $y(n)$ , ③.지연된 제어출력신호  $y(n-k)$ , ④.오차신호  $e(n)$ (소음제거의 결과)를 각각 나타낸 결과파형이다. 이때의 지연은 2개의 샘플링이 지연된  $250[\mu s]$ 으로 하였으며 정상적 제어결과와 큰 차이는 없다. 그러나 그림 12는 그림 11과 마찬가지로의 조건에서 지연된 제어음원 신호를 4개의 샘플링이 지연된  $500[\mu s]$ 으로 할 때의 결과로 제어성이 현저히 떨어지는 결과를 초래하고 있음을 보여준다.

또한 그림 13은 그림 12의 파형과 마찬가지로의 결과로 두 번째로 발생하는 소음신호에 대하여 시간확대 파형을 각각 나타낸 것으로 ANC 제어신호가 지연되면서 입력되고 있음을 보여주고 있다. 마찬가지로 그림 14에서는 5개의 샘플링

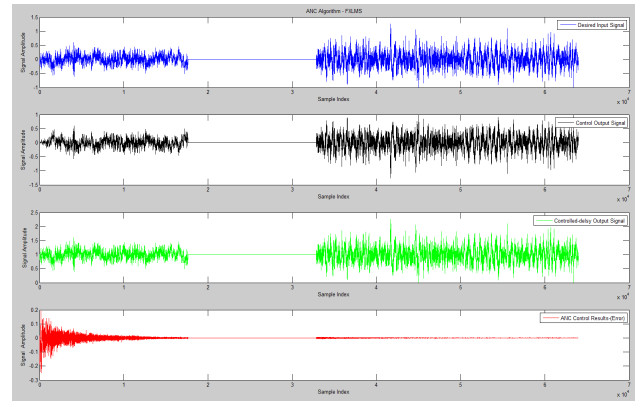


그림 11 도로소음 입력(불연속)에 대한 ANC의 결과파형-지연  
 Fig. 11 Results of ANC algorithm with the road noise input. (Discontinuous input signal -  $250[\mu s]$  delay control)

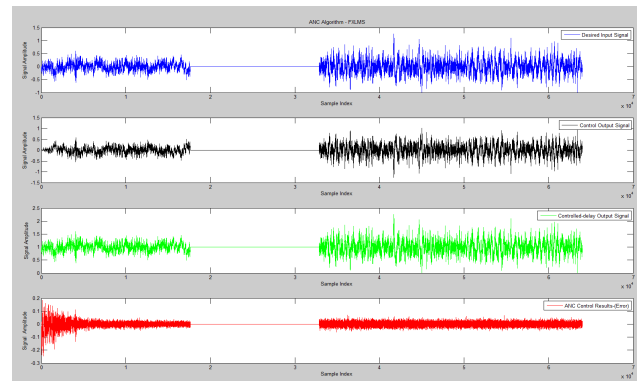


그림 12 도로소음 입력(불연속)에 대한 ANC의 결과파형-지연  
 Fig. 12 Results of ANC algorithm with the road noise input. (Discontinuous input signal -  $500[\mu s]$  delay control)

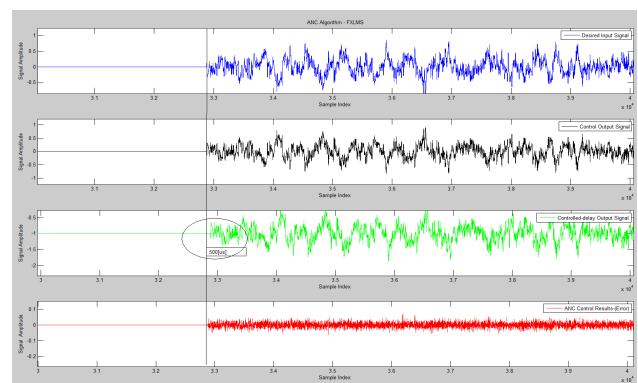


그림 13 도로소음 입력(불연속)에 대한 ANC의 결과파형-지연  
 Fig. 13 Results of ANC algorithm with the road noise input. (Time expansion of  $500[\mu s]$  delay control)

이 지연된  $625[\mu s]$ 으로 제어음원 신호를 주입한 경우 그 제어성이 매우 악화되어 오히려 더 안 좋은 결과를 초래하고 있음을 보여주고 있다. 이의 오차신호는 초기의 오차신호와 비교하여 감쇠특성이 없이 그대로 유지하면서 제어성을 상실하고 있음을 알 수 있다.

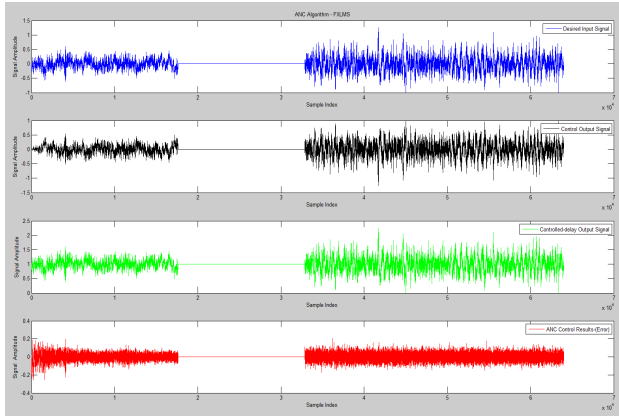


그림 14 도로소음 입력(불연속)에 대한 ANC의 결과파형-지연  
 Fig. 14 Results of ANC algorithm with the road noise input.  
 (Discontinuous input signal - 625[μs] delay control)

#### 4. 결 론

본 논문에서는 최근에 심각한 환경문제로 부각되고 있는 도심의 도로변에서 발생되고 있는 교통 소음을 저감시키기 위한 연구의 일환으로 타이어와 포장 노면과의 마찰음을 측정하여 dBA 평균화 및 승용차의 주행에 따른 도로의 포장 재별로 소음을 채집하여 신호분석을 수행하여 그 특성을 고찰하여 보았다. 도로 발생 소음에 대하여 전자식 소음저감 기법인 ANC 시스템을 적용하기 위한 기초 단계로 Matlab 시뮬레이션에 의한 ANC 제어기법을 수행하였다. 이는 기존에 주로 사용되었던 FXLMS 알고리즘을 적용하여 실제의 도로에서 채집된 승용차의 교통 노이즈를 ANC입력으로 사용하여 FIR 필터를 통한 LMS기법의 알고리즘에 적용하여 그 결과 특성을 분석하였다.

이의 결과 목표신호에 대한 제어음원에 대하여 시간지연이 없이 투입하거나 약 4 샘플링 시간(500[μs])이내에서의 적용에서는 커다란 문제없이 가동되었으나 5 샘플링 시간(625[μs]) 이상의 지연이 있을 경우에는 그 제어성이 매우 좋지 않은 결과를 초래함을 알 수 있었다. 따라서 ANC시스템의 실제 구현에 있어서는 이와 같은 지연성의 문제점 즉 실시간 구현에 매우 주의해야 함을 알 수 있었으며, 또한 도로환경에 적합한 별도의 모델링 기법화 및 딜레이레스(delayless)와 같은 개선된 알고리즘 등을 도입하여 실시간 구현이 되도록 많은 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업 ‘전자식 도로교통 소음저감기술 개발’의 연구의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

[1] 환경부, “도로교통 소음피해 집단민원 예방대책 수립(요약)”, 환경부 도시수자원민원과, 2011.11.  
 [2] 이한진, 김재수, “방음벽설치에 따른 도로교통소음의 저

감효과 및 문제점”, 대한환경공학회지, Vol. 26, No.10, pp.1166~1171, 2004.10.

[3] Sen M. Kuo and Dennis R. Morgan, *Active Noise Control System Algorithms and DSP Implementations*, John Wiley & Sons, New York, 1996.  
 [4] 한 대철, 문학룡, “도로의 소음저감을 위한 시뮬레이션”, 한국ITS학회 2012년 춘계학술대회 논문집, pp.263~266, 2012. 04.  
 [5] S. J. Elliott, C. C. Boucher and P.A Nelson, "The Behavior of a Multiple Channel Active Control System", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 40, pp. 1041-1051, 1992.  
 [6] S.J. Elliott, "A Review of Active Noise and Vibration Control in Road Vehicles", Institute of Sound and Vibration Research University of Southampton, 2008.  
 [7] 한국건설기술연구원, “도로의 교통 정온화를 위한 능동형 소음저감 기술 연구”, 2011.12.  
 [8] S. M. Kuo and D. Vijayan, "A Secondary Path Modeling Technique for Active Noise Control System", *IEEE*, Vol. 42, pp. 1335-1351, 1994.  
 [9] 손진근, 한대철, 문학룡, “도로교통 소음 입력에 대한 ANC의 지연특성 고찰”, 2013년 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2013.07.  
 [10] 구준근, 정양웅, 오학준, 정찬수, “능동 소음 제어기의 강인성 개선”, 대한전기학회 논문집 제 45권 11호, pp. 1588~1593, 11월 1996년.

### 저 자 소 개



#### 문 학 룡 (文鶴龍)

1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업.  
 1993/2001 동 대학원 전기공학과 졸업(석사/박사). 2005~현재 한국과학연합대학원 대학 ITS공학과 부교수, 1996~현재, 한국건설기술연구원 연구위원.  
 E-mail : hymoon@kict.re.kr



#### 손 진 근 (孫珍勳)

1990년 숭실대학교 전기공학과 졸업.  
 1992/1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사/박사). 2002. 2~2003. 2 (한국과학재단) 일본 가고시마대학 전기공학부 Post-doc. 2009. 1~2010. 2 Michigan State University 방문교수. 2013년 당학회 협력이사. 1997~현재, 가천대학교 전기공학과 교수.

Tel : 031-750-5711

Fax : 031-750-5354

E-mail : shon@gachon.ac.kr