

# 소음전달경로 분석 : 켈스트럼(Cepstrum) 적용방안에 관한 연구

## Application of the Cepstrum Signal Processing Technique for the Noise Reflection Path Analysis in Community Noise

홍 윤 혁\* · 김 정 태†

Yun H. Hong and Jeung T. Kim

(2008년 10월 6일 접수 ; 2009년 4월 8일 심사완료)

**Key Words :** Community Noise(생활환경소음), Signal Processing Technique(신호처리 기법), Cepstrum Analysis(켈스트럼 분석)

### ABSTRACT

Community noise has been great concerned in public. A traffic noise from a road or a railway has affected too much damage on quiet living environment. In this paper, a measured noise signal on a street has been applied to extract a noise source and a path by using a complex cepstrum. An example shows that the waveform of the source and the path could be separated if a temporal windowing is properly applied.

### 1. 서 론

최근 그 관심이 증대되고 있는 생활환경소음(community noise) 문제는 과거에 비해 생활수준이 높아지고, 사람들의 의식 수준이 향상되면서 생겨난 사회적인 관심사로 국내에서도 많은 관심과 논의가 이루어지고 있다. 특히 주거지와 인접한 도로에서 발생하는 교통소음은 그 소음의 발생량과 더불어 심각한 피해를 끼치고 있는 실정이다<sup>(1)</sup>. 이러한 소음은 발생원이 차량과 도로이고 차량의 종류 또한 매우 다양하기 때문에 특수한 환경에서의 측정을 제외하고는 실제 소음원에 대한 측정이 이루어지기 어려워, 발생된 소음을 수음하는 수음점에서의 측정으로 발생 소음을 파악하고 소음 방지 대책을 수립하는 실정이다. 이러한 점을 보완하고자 이 논문에서는 수음점에서 측정된 소음에 대하여 신호처리 기법을 적용하여 그 소음의 발생 음원과 함께 소음

이 수음점까지 도달하는 경로를 파악하기 위해 측정된 데이터에 대하여 음향분리 신호처리 기법인 콤플렉스 켈스트럼 분석(complex cepstrum analysis)을 적용하는 방법에 대하여 연구하였다.

### 2. 신호처리 기법의 적용 개요

#### 2.1 콤플렉스 켈스트럼(Complex Cepstrum) 신호처리 기법 제안

이 논문에서는 실제 교통소음이 발생하여 피해가 있는 지점에서 측정된 데이터에서 얻은 고가도로의 상판 이음매 충격음을 바탕으로 하여 획득한 신호에 대한 신호처리 기법을 적용하여 환경소음의 전달 경로를 분석하는 방법을 제시하고자 한다.

주파수 분석기에서 얻을 수 있는 소음의 데이터는 도로의 신축 이음장치에서 발생하는 피크와 그 외의 여러 가지 소음들로 구성되어 있다. 즉 얻어낸 데이터는 소리를 발생시키는 입력(input) 신호와 측정지점으로 들어오는 과정에서 함께 들어온 여러 가지 신호들의 합으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 따라서 측정된 신호는 출력(output) 신호로 가정할

† 교신저자; 정회원, 홍익대학교 기계시스템디자인공학과  
E-mail : jeungk11@yahoo.co.kr

Tel : (02)32011467, Fax : (02)322-7003

\* 정회원, 홍익대학교 공과대학 음향진동실협실

수 있으며 이 신호에서 입력 신호인 도로의 신축이음장치 발생 소음을 분리해 낸다면 소음의 원인이 되는 신호와 함께 출력 신호를 생성하는 전달함수를 얻어낼 수 있을 것이다. 여기서 얻어지는 전달함수의 신호는 그 파형을 각각의 경우를 비교하여 방음시설의 설치 여부에 따른 소음의 전달 경로에 대한 예측을 할 수 있을 것이다. 따라서 이를 구현하기 위하여 신호 분리 방법인 콤플렉스 켈스트럼(complex cepstrum)의 원리를 이용하는 것을 제안한다.

### 2.2 콤플렉스 켈스트럼(Complex Cepstrum) 신호처리 기법<sup>(2)</sup>

켈스트럼(cepstrum)은 어떤 신호의 푸리에 변환의 결과를 데시벨 스펙트럼으로 나타낸 것이며, DFT나 FFT처럼 신호를 분석하는 알고리즘이다. DFT와 FFT가 신호의 주파수 성분을 알아내는 알고리즘이라면 켈스트럼은 DFT나 FFT결과가 크기 값에 대해 명확하지 않는 것을 보완한 알고리즘이라고 할 수 있다. 켈스트럼은 콤플렉스 켈스트럼(complex cepstrum)과 리얼 켈스트럼(real cepstrum) 두 가지가 있으며, 푸리에 변환된 신호의 로그 스케일을 푸리에 변환한 것으로 설명할 수 있다. 켈스트럼의 특별함은 로그함수의 역할에 있다. 즉 로그함수는 두 개의 곱으로 형성된 함수를 합으로 분리하여 낼 수 있고, 따라서 주파수 영역으로 변환된 신호의 크기와 위상을 분리하여 낼 수 있는 특성이 있다.

Fig. 1은 콤플렉스 켈스트럼을 이용하여 신호를 분리하는 원리를 간단하게 나타내고 있으며, 앞서 선별된 특정 소음에 대한 신호처리 방법의 기본을

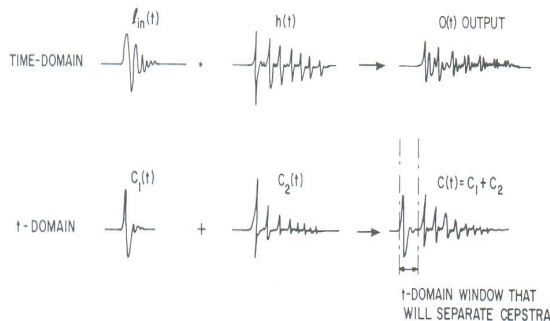


Fig. 1 Decomposition of complex cepstrum by time windowing if the transfer function has temporal periodicity

제시하고 있다<sup>(3)</sup>. 그림에서 보는 바와 같이 시간 축 상에서 일반적인 충격음의 신호에 대한 응답은 입력되는 신호와 전달함수가 컨벌루션 되어 복잡한 형태의 신호로 나타나게 되나, 이 응답 신호에 대하여 콤플렉스 켈스트럼을 적용하게 되면 입력된 신호의 파형과 함께 응답을 구현하는 전달함수를 분리할 수 있다. 따라서 측정된 신호에 대하여 이 신호처리 기법을 도입하면 도로의 신축이음장치에서 오는 특정 신호와 함께 측정된 소음이 측정지점에 도달하게 되는 경로에 대한 신호를 전달함수에서 알 수 있을 것이다. 각각 측정 지점에서의 파형을 비교한다면 신호처리 기법을 이용하여 입력된 신호에 대한 방음시설의 효과 분석과 함께 소음의 전달 경로를 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 콤플렉스 켈스트럼(Complex Cepstrum) 신호처리 기법의 적용 시뮬레이션

콤플렉스 켈스트럼을 이용한 신호처리 기법의 최종 목표는 앞서 선별된 고가도로 상판 이음매의 충격소음<sup>(4)</sup>에 대한 데이터를 분리하여 input으로 판단할 수 있는 충격소음과 함께 그에 따른 전달함수를 파악하는 것이다. 그러나 측정된 신호의 파형은 주파수 분석기에서 보는 것 혹은 아스키 코드(ASCII code)를 얻어내어 확인하는 것 어느 것을 이용하여도 대단히 복잡한 형태로 이루어져 있는 것을 알 수 있으며, 수많은 변수들이 있기 때문에 신호를 콤플렉스 켈스트럼을 이용하여 처리하여도 어느 구간을 입력의 구간으로 정하여 분리하여야 하는가에 대한 정확한 판단을 내리기가 어렵다. 따라서 최종적인 데이터에 대한 분리 방법을 판단하기 위하여 간단한 입력 모델과 함께 전달함수를 시간 축 상에서 컨벌루션 하여 출력 신호를 생성하고, 이것에 콤플렉스 켈스트럼을 적용하여 신호를 분리한 후에 이를 다시 콤플렉스 켈스트럼의 역변환(inverse complex cepstrum)을 적용하여 시간 축 상에서 구현하였던 입력과 전달함수의 콤플렉스 켈스트럼을 비교 분석하였다. 또한 제시된 입력과 전달함수 그리고 출력에 대한 스펙트럼과 콤플렉스 켈스트럼을 통하여 구현된 입력과 전달함수, output파형의 스펙트럼을 구하여 주파수 대역에서의 파형을 비교 분석하였다. 이러한 시도를 통하여 출력 신호에서 얻

은 캡스트럼 파형에서 입력 지점의 선별에 대한 기준을 얻을 수 있을 것이고 이는 복잡하게 구성된 측정 데이터의 신호처리에 대한 적절한 판단 요건이 될 것으로 판단된다.

복플렉스 캡스트럼을 적용한 신호처리는 상용프로그램인 매트랩(MATLAB)의 “Signal processing toolbox”에 제시된 복플렉스 캡스트럼 함수와 스펙트럼 함수를 이용하였다. 다음은 이러한 기법을 적용하기 위해 구현한 간단한 시뮬레이션이다.

### 3.1 충격신호 입력(Input)과 임펄스(Impulse) 전달함수를 이용한 신호처리 예<sup>(5)</sup>

다음은 제안하는 신호처리 기법을 적용하기 위하여 간단한 전달함수와 입력 신호를 지정하고, 두 신호의 컨벌루션을 통하여 생성된 출력 신호를 사용하여 간단한 복플렉스 캡스트럼 신호처리 기법을 이용한 예이다. 생성된 출력 신호를 복플렉스 캡스트럼을 적용하여 다시 입력 신호와 전달함수 신호를 분리해냄과 동시에 입력과 전달함수에도 동시에 복플렉스 캡스트럼을 적용하여, 생성된 파형을 복플렉스 캡스트럼의 역변환을 이용하여 본래의 신호로 복원한 후 각각을 비교하는 형식을 취하였다. 입력 신호는 고가도로 상판에서 발생하는 이음매의 충격소음과 비슷하게 구현하기 위하여 임팩트 해머(impact hammer)로 생성된 충격신호의 아스키 코드를 이용하였고 전달함수는 앞서 제시된 복플렉스 캡스트럼의 예와 같이 매트랩 상에서 4개의 피크를 가진 임펄스(impulse) 신호를 간단히 구현하여 사용하였다. 시뮬레이션 방법을 간단히 정리하면 다음과 같다.

- 입력 신호를 생성하고 전달함수의 아스키 코드(ASCII code)를 매트랩 상에 입력하고 그래프를 생성한다.
- 두 신호의 컨벌루션을 취하여 출력 파일을 생성하여 그래프를 그린다.
- 주어진 입력 신호와 전달함수 신호의 파형을 복플렉스 캡스트럼 기법을 적용하여 변환한 후 다시 복플렉스 캡스트럼의 역변환을 취하여 신호의 복원 여부를 확인한다.
- 생성된 출력 신호에 대한 복플렉스 캡스트럼을 시행한 후 그래프를 그려 입력 신호의 성분이

존재 여부를 판단하고 입력신호로 사료되는 지점의 아스키 코드 라인을 분리한다. (입력의 복플렉스 캡스트럼 그래프로 분리해낸 입력 라인을 판단한다)

- 출력의 복플렉스 캡스트럼 신호에서 분리된 입력 신호를 복플렉스 캡스트럼의 역변환을 사용하여 신호를 복원하고 본래 입력 신호와의 파형을 비교한다.
- 입력 라인이 제외된 출력의 복플렉스 캡스트럼 신호에 대하여 복플렉스 캡스트럼의 역변환을 수행하고 본래 전달함수 신호와의 파형을 비교한다.

선택된 입력과 전달함수의 복플렉스 캡스트럼 그래프를 이용하여 출력의 복플렉스 캡스트럼 그래프에서 입력신호와 전달함수를 분리하는 방법을 사용하였으나, 기법 적용을 위해 비교적 정확한 파형의

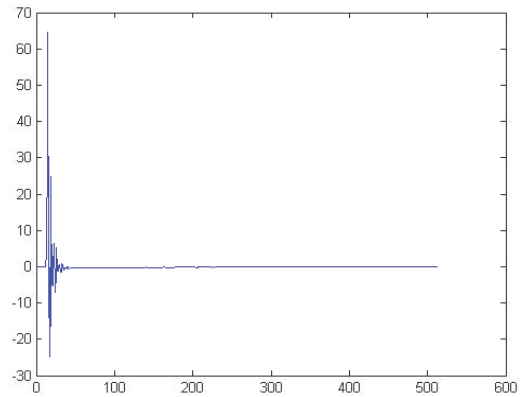


Fig. 2 Generated input signal

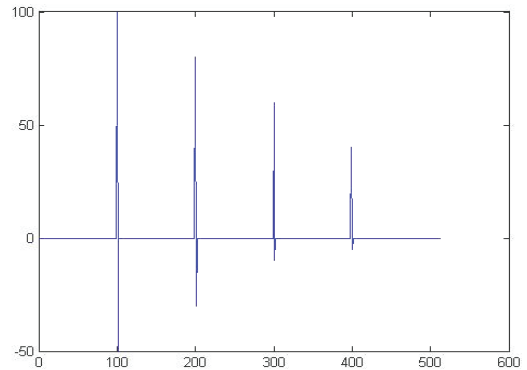


Fig. 3 Generated transfer function signal

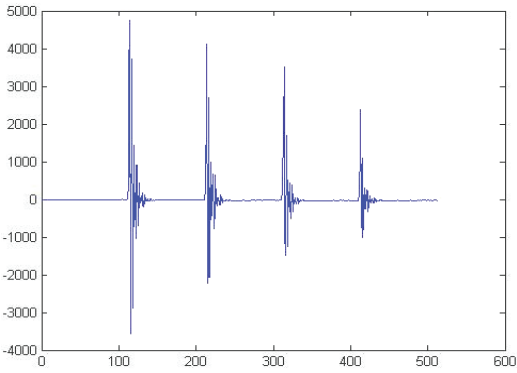


Fig. 4 Generated output signal

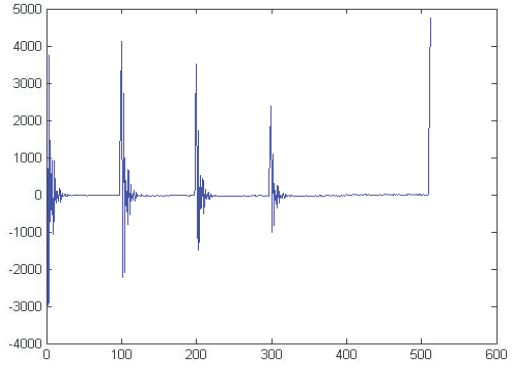


Fig. 7 Output complex cepstrum signal of inverse

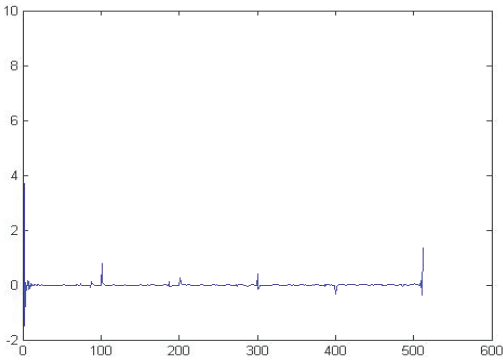


Fig. 5 Complex cepstrum signal about output signal

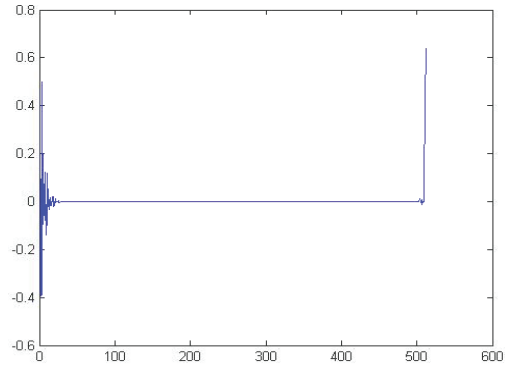


Fig. 8 The discrete input complex cepstrum signal from the output complex cepstrum signal of inverse

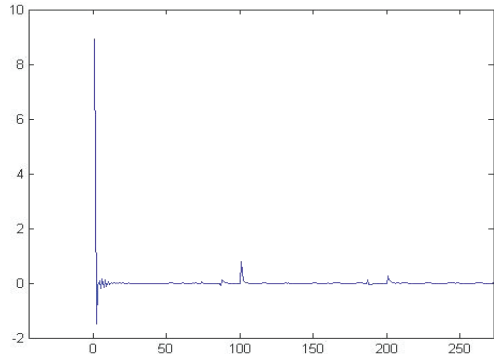


Fig. 6 Expending complex cepstrum signal about output signal

위치를 알아내는 과정이므로 출력의 콤플렉스 켈스트럼 그래프에서 입력신호를 분리하는 방법을 알아내는데 효과적인 방법이라고 판단된다.

Fig. 2는 매트랩 상에서 구현된 입력 신호이다. Fig. 3은 앞서 제시된 간단한 전달함수의 파형을 구현한 것이다. 입력 신호와 전달함수 신호의 컨볼

루션을 취한 출력 파일은 Fig. 3에 제시되어 있다. 생성된 출력 신호의 콤플렉스 켈스트럼 기법을 적용한 결과는 Fig. 5에 제시되어 있다. 여기서 입력 신호를 선별하는 작업이 필요하며 제시된 Fig. 5에서 입력으로 판단되는 지점을 확대하여 보면 Fig. 6에서 제시된 바와 같이 콤플렉스 켈스트럼의 앞부분에 입력의 영역으로 판단되는 신호가 구현되고 있다. 이는 입력신호의 콤플렉스 켈스트럼의 파형과 비교하였을 때에도 일치하는 파형이다. 이 파형을 입력 신호로 판단하여 분리해 낸 후 다시 콤플렉스 켈스트럼의 역변환을 취하게 되면 본래 주어진 입력 신호를 얻어낼 수 있으며, 분리되고 남은 출력 신호의 콤플렉스 켈스트럼 신호에 콤플렉스 켈스트럼의 역변환을 취하게 되면 전달함수를 복원할 수 있다.

제시된 Fig. 7은 전체 출력의 콤플렉스 켈스트럼을 역변환하여 다시 구현한 출력 파일이고, Fig. 8에

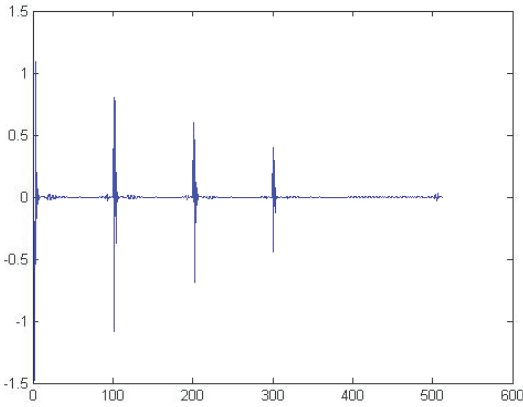


Fig. 9 The discrete transfer function complex cepstrum signal from the output complex cepstrum signal of inverse

서 제시된 그래프는 분리된 입력 신호의 콤플렉스 캡스트럼의 역변환 이다. 입력의 신호가 완벽히 복원되지는 않았으나, 파형이 대체로 유사하게 복원되었다고 판단된다. 또한 분리된 전달함수의 콤플렉스 캡스트럼의 역변환은 Fig. 9에 제시되어 있다. 전달함수에 대한 분리는 비교적 처음에 제시된 전달함수의 파형과 유사함을 알 수 있다. 그러나 입력과 전달함수의 파형 크기에 대한 단위가 신호처리 과정에서 분리되지 않고, 전달함수 신호에 모두 적용되는 현상이 발생하였으며, 향후 보완해야 할 문제로 판단된다. 전체적인 시뮬레이션 결과에 대하여는 입력 신호와 전달함수 신호의 분리가 비교적 잘 진행되었다고 사료된다.

### 3.2 제시된 신호와 복원된 신호의 스펙트럼 (Spectrum) 비교 분석의 예<sup>(6)</sup>

다음은 앞서 제시된 입력과 전달함수 그리고 생성된 출력파형의 스펙트럼 파형과 함께, 콤플렉스 캡스트럼을 이용하여 복원한 각각의 파형에 대한 스펙트럼 파형을 비교한 예이다. 주어진 신호에 대한 주파수 영역의 파형을 얻은 후 신호처리 기법을 적용하여 복원된 각각의 파형에 대한 스펙트럼 파형의 유사성을 관찰하여, 보다 정확한 입력과 전달함수의 분리 방법을 모색하였다. 주어진 각 신호들의 스펙트럼 파형과 복원된 신호들의 스펙트럼 파형이 유사하다면 복원된 신호들에 대한 입력과 전달함수의 선별작업이 보다 확실한 검증은 받게 됨을 이 예시의 아이디어로 삼았다. 스펙트럼 기법은

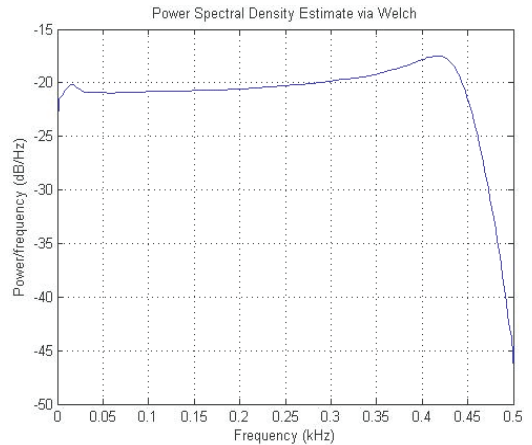


Fig. 10 Spectrum about input signal

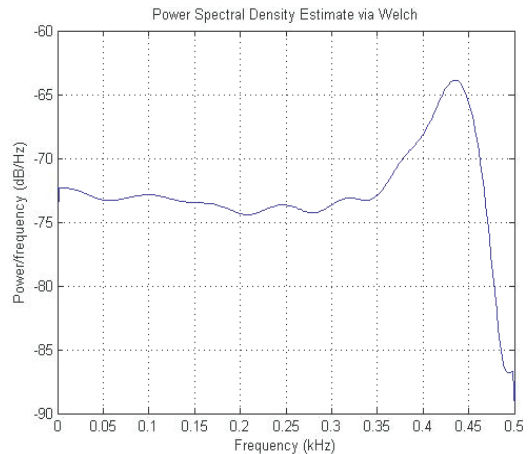


Fig. 11 Spectrum about restored input signal

메트랩에서 제시된 “Power Spectrum Density” 함수를 사용하였고 모두 주어진 신호의 아스키 코드 (ASCII code)를 이용하였다.

Fig. 10은 제시된 입력 신호에 대한 스펙트럼의 그래프이다. 충격 신호의 스펙트럼으로 파형의 변화가 적고 부드러운 형태를 보이고 있다. 그 아래 제시된 Fig. 11은 콤플렉스 캡스트럼을 통하여 출력신호에서 분리한 입력에 대한 스펙트럼 결과이다. 고주파수 대역에서의 피크가 눈에 띄긴 하지만 전체적으로 부드러운 모양의 스펙트럼을 보이고 있다. 따라서 입력 데이터에 대한 선별 작업이 스펙트럼 파형에서 나타난 결과와 같이 유사성을 가지고 있으므로 비교적 원활히 진행되었다고 판단된다. 그러나 고주파수 대역에서의 피크에 대한 해결 방법은

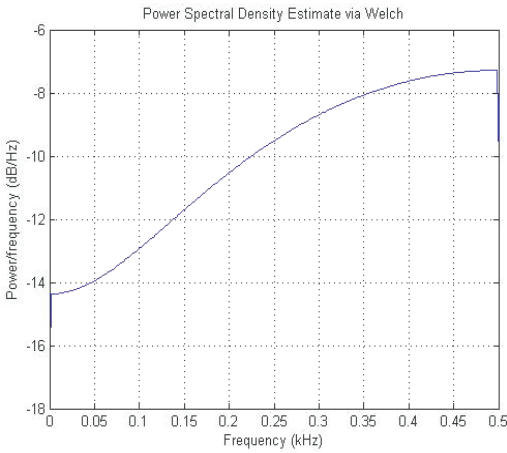


Fig. 12 Spectrum about transfer function signal

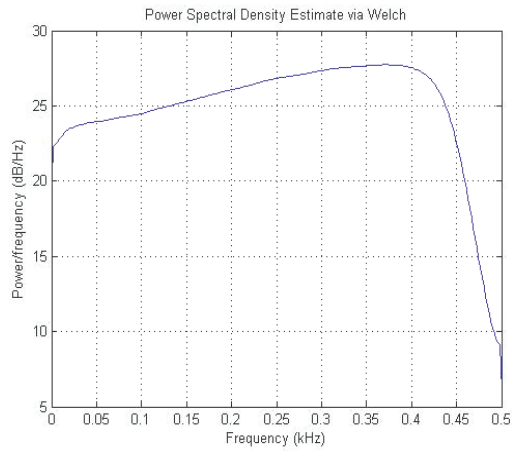


Fig. 15 Spectrum about restored output signal

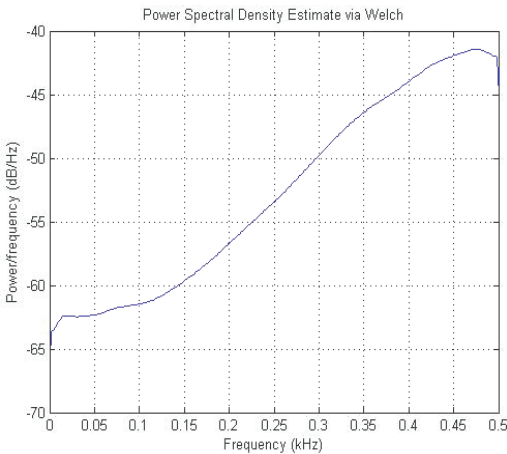


Fig. 13 Spectrum about restored transfer function signal

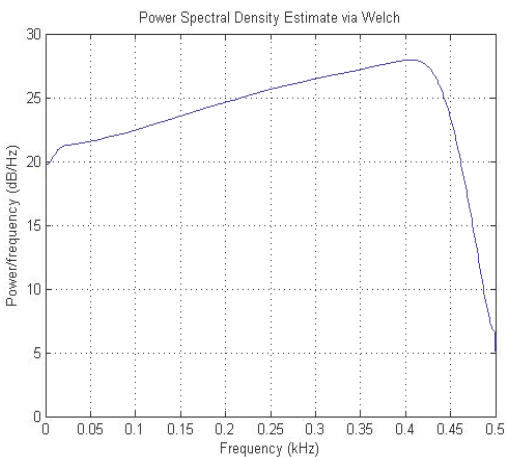


Fig. 14 Spectrum about output signal

모색해야 할 것으로 판단된다. Fig. 12와 Fig. 13은 제시된 전달함수와 복원된 전달함수의 스펙트럼에 대한 결과이다 두 그래프 역시 파형의 변화가 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 복원된 전달함수 신호에 대한 스펙트럼이 조금 더 급격한 경사를 가지고 고주파수 대역으로 갈수록 증가하고 있으나, 파형 분포의 경향이 유사하므로 전달함수의 선별이 오히려 이루어졌음을 판단할 수 있다. 마지막으로 Fig. 14와 Fig. 15는 출력 신호에 대한 스펙트럼 결과이다. 제시된 출력의 파형과 콤플렉스 쉘스트림을 거쳐 역변환으로 복원된 출력 파형 모두 유사한 형태를 보이고 있으며, 앞서 제시된 입력과 전달함수들의 파형의 합으로 판단할 수 있다.

이 시뮬레이션을 통하여 콤플렉스 쉘스트림을 통해 선별한 입력과 전달함수 신호와 제시된 입력과 전달함수 신호 사이의 주파수 특성을 비교하였다. 주파수 대역에서의 성분 분포를 통하여 보다 정확한 검증이 이루어지고 있으며, 콤플렉스 쉘스트림에서 신호를 관별하는 방법에 대한 또 다른 기준이 될 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

이 논문에서는 측정된 데이터를 이용하여 소음원과 전달경로를 분리하는 기법을 신호처리 기법 중 음향 분리에 다양하게 쓰이는 콤플렉스 쉘스트림 방법을 이용하여 제시하였다. 제시된 신호처리 기법을 이용하기 위해서는 문제점으로 드러난 몇 가지

사항들에 대하여 보완해야 할 것이며, 측정된 데이터의 신호는 교통소음 신호로써 매우 복잡한 파형을 보이고 있기 때문에 신호 분리에 필요한 자세한 연구 진행이 이루어져야 할 것이다.

그러나 이 기법을 적용하여 입력(input) 신호와 전달함수 신호를 출력(output) 신호에서 분리해 낼 수 있다는 점을 입증하였고, 입력 신호가 음원을 전달함수 신호가 측정지점에 도달하는 소음의 경로를 의미 하는 점을 바탕으로 향후 연구가 진행된다면, 도로변에서 발생하는 소음의 전달 경로 파악과 방음시설 효과 분석에 대한 효과적이고 심도 있는 연구가 될 수 있을 것으로 기대한다.

## 후 기

이 논문은 홍익대학교 2007년도 학술연구조성비의 지원으로 이루어졌습니다.

## 참 고 문 헌

(1) Kim, J. T. and Kim, J. S., 2007, "Analysis Institution Effect of Noise Reducers on Road Traffic

Noise," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.17, No. 3, pp. 207~212.

(2) Hong, Y. H., Kim, J. T. and Kim, J. S., 2007, "The Signal Processing Technique Application for the Delivery Path Analysis of Community Noise," Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp.109~111.

(3) Richard, H. L., 1987, "Machinery Noise and Diagnostics," Butterworths, pp. 196~198.

(4) Park, J. K. and Kim, K. J., 2006, "Investigation of the Acoustical Characteristics of the Expansion Joint," Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 434~437.

(5) Hong, Y. H. 2007, "Acoustic Propagation Analysis on Noise Barrier Effect for Road Traffic Reduction," Hongik Univ. Master Grade thesis pp. 33~41.

(6) Hong, Y. H., 2007, "Acoustic Propagation Analysis on Noise Barrier Effect for Road Traffic Reduction," Hongik Univ. Master Grade thesis pp. 42~47.