

### 안정한 능동소음제어를 위한 2차경로 추정기법

서성대\*, 안동준\*\*, 남현도\*

\*단국대학교 전자전기공학부, \*\*아주자동차대학

### Secondary Path Estimation for Stable Active Noise Control

Sung Dae Seo\*, Dong Jun Ahn\*\*, Hyun Do Nam\*

\*Dankook University, \*\*Ajou Motor College

**ABSTRACT** - 본 논문에서는 2차 경로의 추정을 통하여 안정성이 강화된 능동소음 제어 시스템을 제안한다. LMS 알고리즘은 구조가 단순하고 계산량이 적은 장점이 있지만, 광대역 소음원에 적용할 경우 수렴 성능이 좋지 않은 단점이 있으며, 2차 경로 및 소음원 입력의 파워가 시변 할 경우 적응 알고리즘의 안정성이 약화되는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 지속적으로 누적 오차를 추적하여 일정 값이상으로 증가하면 자동적으로 2차 경로 전달함수를 새로 추정하는 자동 오프라인 추정 기법을 제안하였다. 공조용 덕트에 광대역 소음을 적용하여 제안된 능동소음제어 시스템을 실험을 수행한 결과 우수한 특성을 얻었다.

#### 1. 서 론

능동소음제어 방법의 기본적인 개념은 음의 간섭현상을 이용한 것으로서, 소음원의 위상과 180° 위상차이가 나고 크기가 같은 2차 음원을 발생시켜서 원하는 위치의 소음을 감쇄하는 방법이다[1].

능동소음제어를 위한 제어 필터의 구조는 필터의 계수추정 알고리즘이 간단하고 안정한 LMS 알고리즘을 이용한 FIR 필터가 가장 많이 사용되고 있으나 FIR 필터는 IIR 필터에 비해 비슷한 성능을 얻기 위해 필터의 차수가 커져 계산량이 많아지는 단점이 있으며 [17], IIR 필터의 경우는 극점이 존재하므로 적응 알고리즘에 적용시 안정성에 문제가 제기 되고 있다.

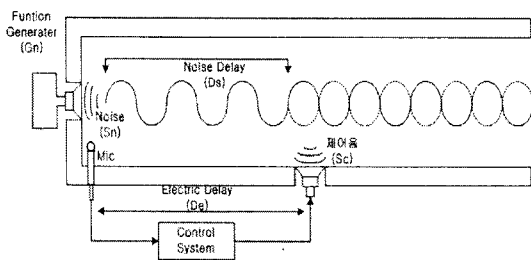
LMS 알고리즘은 구조가 단순하고 계산량이 적은 장점이 있지만, 광대역 소음원에 적용 할 경우 수렴 성능이 좋지 않은 단점이 있으며, 2차 경로의 추정이 정확하지 않은 경우에는 안정성이 떨어지게 된다. 제어가 성능에 증대한 영향을 주는 2차 경로의 전달 함수를 알아내는 방법으로 오프라인 추정방법을 개선하였는데, 추정의 정확도를 높이기 위하여 충분한 추정시간을 확보하는 것이 일반적이나, 장기간 전달함수를 추정할 경우 적응 알고리즘의 특성상 추정 목적에 부합하지 않는 결과가 나올 수 있다.

본 논문에서는 추정하는 동안 지속적으로 누적오차를 관측하여 최적 수렴 특성과 안정도가 보장되는 추정계수 최적치를 자동 설정되게 하는 자동 오프라인 추정기법을 제안하였다.

공조덕트에 광대역 소음을 적용하여 제안된 능동소음제어 시스템을 제작된 실험장비를 이용하여 실험을 수행한 결과 우수한 특성을 얻었다.

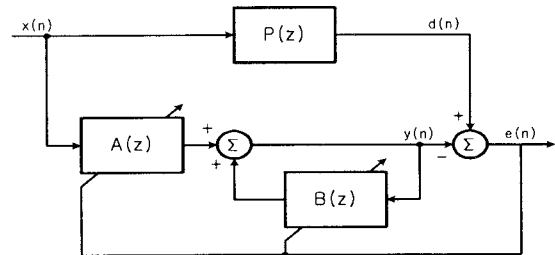
#### 2. 능동 소음제어

능동소음제어는 중첩의 원리를 이용한 것으로 소음제어의 기본 원리는 덕트내에서 간단히 설명되어질 수 있다. 제어용 음원을 이용하여 제어 신호를 발생시킴으로써 발생된 소음을 상쇄시키는 것으로 이를 구성하면 그림 1과 같다.



<그림 1> 능동 소음 제어의 기본 원리

소음원 G에서 발생한  $S_n$ 은 덕트를 따라서 전파되어 마이크로폰에 의해서 감지된다. 이 신호를 전기 신호로 변화하여 제어 시스템을 통해 위상과 음향의 크기를 가변하고 출력 스피커를 통해 제어음  $S_c$ 가 방출된다. 음파의 전달 속도가 전기적 신호의 전달 속도에 비해 느리기 때문에 신호의 지연  $D_s$ 는 전기적 지연  $D_e$ 보다 작다. 그러므로 소음원에 대한 제어음  $S_c$ 의 180° 위상전환은 제어 시스템의 적절한 크기 보상과 위상 변화로 얻을 수 있다. IIR LMS 알고리즘을 사용한 능동소음제어 시스템의 블록선도는 그림 2와 같다.



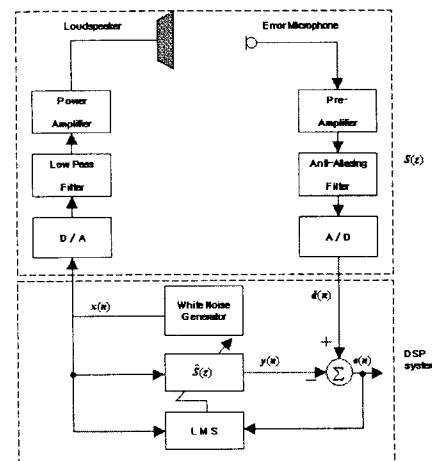
<그림 2> IIR LMS 알고리즘 블록 다이어그램

#### 3. 2차 경로 전달함수의 오프라인 추정

3차원 공간에서 2차 경로를 실시간 추정하는 적응 능동소음제어 기법을 적용하려면 계산량이 방대해져서 실시간 구현이 어렵고 2차 경로의 전달함수를 순 지연시간으로만 간주하면 제어계가 불안정해지는 문제점이 있었다[2]. 따라서 2차 경로의 전달함수를 오프라인으로 추정하고 추정된 2차 경로 전달함수의 계수를 안정도와 수렴 성능에 최적이 되도록 자동 설정되는 알고리즘을 구현한다[3].

##### 3.1 오프라인 모델링 기법

FXLMS 알고리즘에서는 2차 경로 전달함수를 알아야만 한다. 2차 경로 전달함수가 시변적이거나 알 수 없을 때 오프라인 모델링을 행한다. 일반적으로 오프라인 추정에 사용되는 신호는 이상적으로 모든 주파수 영역을 균등하게 갖고 있는 백색잡음을 이용한다[4]. 그림 3은 오프라인 모델링 절차도이다.



<그림 3> 오프라인 모델링 절차도

### 3.2 자동 오프라인 추정

본 논문에서는 1차원 음향 공간인 덕트와 3차원 음향 공간에서 같이 사용이 가능한 자동 오프라인 추정 기법을 제안하였다.

1. 제어 대상 신호  $x(n)$ 을 발생시킨다.
2. 오차 센서로부터 목표신호  $d(n)$ 을 얻는다.
3. 다음과 같은 적응 알고리즘에 적용한다.

④ 출력을 계산한다.

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} \hat{s}_l(n)x(n-l) \quad (1)$$

⑤ 오차를 계산한다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2)$$

⑥  $e(n)$ 의 평균 값이  $e_{ref}$ (오차 기준값)보다 작으면 추정을 중단한다. 이 때가 자동설정 상태이다. 여기서  $e_{ref}$ 의 결정은 반복 실험에서 얻은 좋은 특성을 보이는 실험치를 이용한다.

⑦ LMS 알고리즘을 이용하여 계수를 갱신한다.

$$\hat{s}_l(n+1) = \hat{s}_l(n) + \mu x(n-l)e(n), \quad l = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3)$$

⑧ 적응 필터  $\hat{S}(z)$ 가 최적해에 수렴할 때까지 위의 과정을 반복한다.

⑨ 반복추정 횟수가 미리 설정된 최대추정 횟수보다 크면 추정을 중단하여 시스템의 발산을 방지한다. 이때 최대추정 횟수는 실험에서 얻어진 시스템이 발산하지 않는 최대추정 횟수이다.

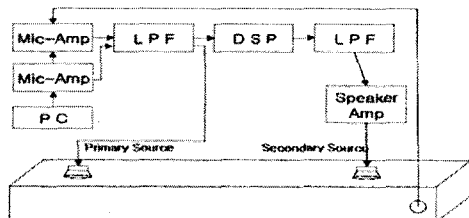
그림 3과 같이 시스템을 구성하고 기준입력  $x(n)$ 을 백색잡음 대신 제어할 해당 소음 신호를 사용했다. 백색잡음을 사용하는 것이 비교적 완벽하게 2차 경로의 전달함수를 추정할 수 있으나 다양한 실험 과정에서 능동소음제어 시스템이 좋은 성능을 보일 때 입력 신호에 따라서 추정시간이 다르게 나타났다. 즉, 협대역의 경우 추정 시간의 단축효과가 있으며 백색잡음의 경우는 추정시간이 지나치게 느리다는 문제가 있었다.

최종 실험 결과 추정 기준신호로서 백색잡음을 이용한 경우와 비교하여 차이를 발견하지 못하고 동일 성능임을 확인하였다. ANC 시스템의 컴퓨터 프로그램의 구성은 추정 목표인 누적 오차 값이 일정 값이 되도록 추정된 전달함수  $\hat{S}(z)$ 의 계수 벡터의 계수들을 조금씩 증가시킨다. 매번 샘플링 주기마다 관측하여 오차 값이 목적치에 도달하면 추정을 중단하고 ANC 시스템을 가동시켜 소음제어를 진행한다. 이때 오차 값이 원하는 값에 도달하지 않으면 설정한 최대 추정 시간을 기준으로 추정을 중단해야 한다. 왜냐하면 무리하게 더 진행하면 계수벡터 값이 지나치게 커져서 시스템이 발산하게 된다. 따라서 목표 오차 값과 최대 추정시간 두 요소가 능동소음제어시스템의 성능을 결정하는데 중요하게 작용한다.

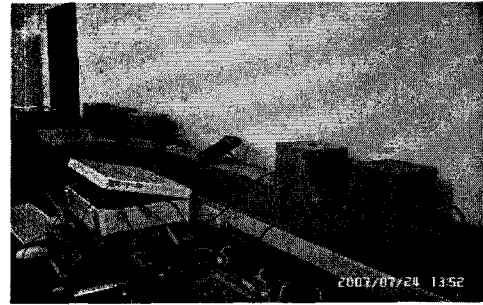
또한 추정된 전달함수  $\hat{S}(z)$  값은 능동소음제어 시스템이 좋은 성능일 때 입력의 조건에 관계없이 평균적으로 일정 값이 된다는 것을 관측할 수 있었다. 즉 협대역, 광대역 소음 등 입력 소음의 파워에 관계없이 일정 값이 된다는 것을 확인 할 수 있었다. 소음입력이 시변하는 경우를 대비하여 주기적으로 오프라인 추정을 하도록 구성하였다[5].

### 4. 실험 및 검토

제안한 2차경로 추정 알고리즘을 사용하여 그림 4와 같은 공조덕트의 능동소음제어 실험을 수행하였다. 그림 5는 실험에 사용된 덕트 능동소음제어 시스템의 사진이다.



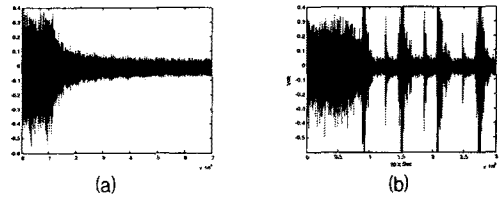
<그림 4> 덕트 능동소음제어 시스템 구성도



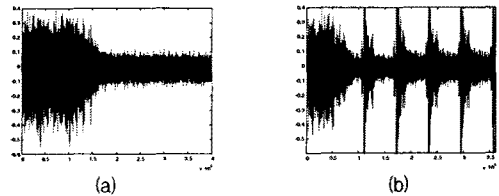
<그림 5> 덕트 능동소음제어 시스템 사진

그림 6(a)는 FXLMS 알고리즘의 적용시, 광대역 소음원을 사용하고 필터차수128, 수렴계수0.000005 일 때 소음제어 후 오차신호이고, 그림 6(b)는 FXLMS 알고리즘 적용시 2차 경로의 오프라인 추정을 본 논문에서 제안한 최적 자동 추정 기능을 사용하지 않고 추정 시간을 3분 설정하여 추정 후 ANC 시스템을 가동한 결과이다.

그림 7(a)는 IIR LMS 알고리즘 적용시 광대역 소음원을 사용하고 필터차수92, 수렴계수0.000005 일 때 제안한 기법을 사용하여 소음제어 후 오차 신호이고, 그림 7(b)는 기존의 2차경로 추정 알고리즘을 사용하여 수행한 결과이다.



<그림 6> FXLMS 알고리즘 적용(자동 오프라인 추정)



<그림 7> IIR LMS 알고리즘 적용(자동 오프라인 추정)

### 5. 결 론

본 논문에서는 기존의 오프라인 2차경로 추정 알고리즘을 개선한 자동 오프라인 추정 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘이 기존의 2차경로 추정 기법을 사용한 능동소음 제어시스템보다 안정한 성능을 보이는 것을 공조 덕트의 능동소음 제어시스템에 적용하여 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

향후 연구과제는 2차경로 전달함수의 입력신호의 파워가 시간에 따라 변할 경우 온라인 추정 기법의 연구가 필수적이며 2차경로 전달함수를 해석적으로 구하는 기법이나 음압에 대한 해석용 시뮬레이션 Tool 개발이 필요하다.

### [참고문헌]

- [1] R.R. Leitch and M.O. Tokhi, "Active Noise Control System", IEEE Proc., Vol. 134, Pt.A, No6, pp. 525-546, 1987.
- [2] T. A. Muhammad, A. Masahide, and K. Masayuki, "A new structure for feed forward active noise control systems with improved online secondary path modeling," IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, Vol. 13, pp. 1082-1088, 2005.
- [3] S. C. Douglas and T. H. Y. Meng, "Exact expectation analysis of the LMS adaptive filter without the independence assumption," in Proc. ICASSP, Vol. IV, pp. 61-64, 1992.
- [4] J. S. Hu, S. H. Yu, and C. S. Hsieh, "Application of model-matching techniques to feedforward active noise controller design," IEEE Trans. on Control Systems Technology, Vol. 6, pp. 33-42, 1998.
- [5] 서성대, "안정성이 강화된 적응필터를 이용한 능동소음제어," 박사학위논문, 단국대학교, 2008.