

능동소음제어 시스템의 고장 판별에 관한 연구

° 이철기* 구준근** 오학준*** 정찬수*

* : 송실대학교 전기공학과 ** : 성남기능대학 *** : 대우자동차(주) 기술연구소

Fault Detection of Active Noise Control System

°Cheol-Ki Lee* Choon-Keun Koo** Hak-Jun Oh*** Chan-Soo Chung*

* : Dept. of Elec. Engineering, Soongsil University

** : SeangNam College *** : Deawoo Motor Co.,LTD

Abstract - When a fault is generated somewhere in ANC system, it makes undesirable effects on the system's stability and performance. So, reliability of the system should be considered before we set up the system in a field.

In this paper, to improve the reliability of the ANC system, we proposed a fault detection algorithm. To show the detectability of fault, computer simulation was performed. As a result, the algorithm could detect 3 types of fault and where they happened and make the system stay stable.

1. 서 론

능동 소음제어는 중첩의 원리를 이용하여 소음과 180° 위상 차를 갖는 제어신호로 소음을 상쇄시킨다. 이러한 방법은 오차경로의 영향을 고려한 Filtered-X LMS 알고리즘으로 발전되었다. 최근에는 이 Filtered-X LMS 알고리즘에서 적응필터의 고장을 대비하여 적응필터와 병렬로 반고정 필터를 설치하여, 적응필터가 고장이 났을 경우에도 좋은 성능을 유지할 수 있도록 강인성을 개선한 방법이 제안되었다[1,2]. 만약 능동소음제어기에서 적응필터가 정상일 때와 고장일 때를 판별할 수 있다면, 보다 효율적으로 소음제어 시스템을 보완, 유지할 수 있을 것이다.

본 논문에서는, 강인성을 개선한 적응 능동소음제어 시스템에서 적응필터들의 고장 형태를 알아보고, 이를 판별하여 적절한 조치를 취함으로써 시스템의 신뢰도를 향상시켰다.

2. 본 론

2.1 적응 능동소음제어 알고리즘

2.1.1 Filtered-X LMS 알고리즘

공조덕트 시스템에서 능동소음제어를 위하여 일반적으로 Filtered-X LMS 알고리즘을 많이 사용한다. 이 알고리즘은 일반적인 LMS 알고리즘에서 오차경로의 영향을 고려한 알고리즘이다. 하지만 오차 경로의 추정 값을 Off-line 으로 측정하여야 하는 번거로움 때문에, Eriksson은 오차경로의 추정 값을 On-line 으로 처리해 주는 알고리즘을 제안하였다[3]. 그림 2-1 은 Eriksson 이 소개한 알고리즘의 블록선도이다.

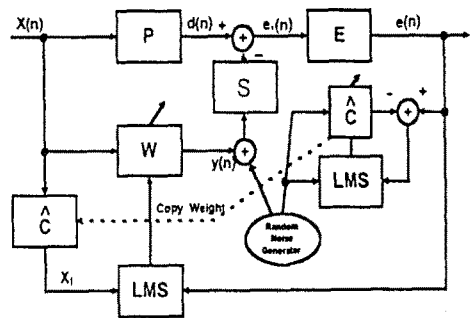


그림2-1 Eriksson이 제안한 능동소음제어시스템

P 는 공조덕트의 전달함수이고, W 는 소음제어를 위한 적응필터이다. 필터 W 의 LMS 알고리즘의 입력단에 위치하는 \hat{C} 는 오차경로 E 의 영향을 고려하기 위해 구성된다. 이 필터의 계수는 식 (2-1)로서 갱신된다.

$$w(n+1) = w(n) + \mu \cdot x_1(n) \cdot e(n) \quad (2-1)$$

오차경로 E를 On-line 으로 추정하기 위하여 또 다른 LMS 알고리즘이 사용되고, 추정된 \hat{C} 의 계수를 제어용 LMS 구조 앞단에 복사하게 된다. 입력신호와 오차신호에 독립적인 무상관인 난수 발생기는 P.E (Persistently Excitation) 조건을 만족시켜준다.

2.1.2 신뢰성을 개선한 능동소음제어 시스템

신뢰성을 개선한 능동소음제어 시스템에서는 플랜트를 추정하는 적응필터가 고장이 났을 경우를 대비하여 적응필터와 병렬로 반고정 필터가 연결된다. 이 반고정 필터는 미리 정해진 일정간격의 스텝마다 갱신되며 적응필터가 고장났을 경우에도 그동안의 추정값을 이용하여 시스템의 성능을 유지시켜준다. 그림 2-2 는 신뢰성을 개선한 능동소음제어 시스템의 블록선도이다

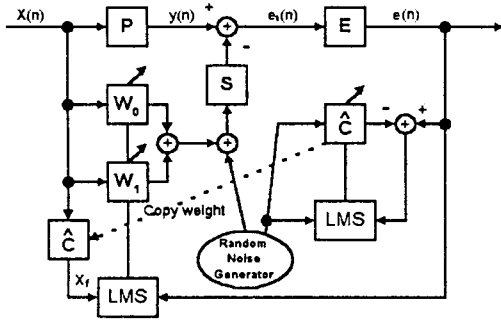


그림2-2 신뢰성을 개선한 능동소음제어 시스템

스피커 S 로 출력되는 제어신호는 반고정 필터 W_0 와 적응필터 W_1 의 출력의 합으로 이루어지며 W_0 는 식(2-2)을 이용하여 갱신시키고, W_1 은 zero 로 만들어 준다.

$$w_0(k) = w_0(k) + w_1(k) ,$$

$$k = \text{mode}(n/N) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2-2)$$

위의 식에 의해 어느정도의 시간이 흐르면 결국 대부분의 정보가 W_0 에 편중되므로, W_1 이 고장나도 제어 스피커의 출력에는 미세한 영향을 주게 된다.

2.2 능동소음제어 시스템의 고장

능동소음제어 시스템의 고장은 여러 가지 요인이 있다. 특히 적응필터의 고장은 시스템전체에 큰 영향을 주게 되는 요소중의 하나이다.

본 절에서는 신뢰성을 개선한 적응능동소음제어 시스템에서 적응필터의 고장을 판별하고자 한다.

2.2.1 적응필터의 고장

그림2-2 의 블록선도에서 표현된 필터 W_0, W_1, \hat{C} 의 고장원인은 하드웨어 노화나 발열 등으로 인한 파손이다. 이 경우, 그 필터는 동작불능 상태가 되고, 출력은 나오지 않게 된다. 이러한 필터 각각의 고장 상태를 판별해 낼 수 있다면, 각 부품의 교체를 적절한 때에 할 수가 있을 것이다. 플랜트가 시불변이고, $X(n)$ 과 $e_1(n)$ 에 다른 잡음신호가 섞여 있지 않다고 가정했을 경우에 정상적인 상태에서의 오차 값을 $e(n)$ 이라 하고, 현재 상태의 오차 값을 $\hat{e}(n)$ 이라 하자.

$$v = \hat{e}(n) - e(n) \quad (2-3)$$

만일 적응필터가 고장났을 경우에 고장난 적응필터의 종류에 따라 v 의 통계적특성이 유일하게 나타나므로 고장의 유무와 그 필터를 판별할수 있을 것이다. 각각의 필터가 고장일 경우에 v 의 평균과 분산을 구하여 표(2-1)에 나타내었다. e^{-4}

표 (2 -1) 각 경우에 대한 v의 평균과 분산 비교

고장난 필터	평균 $m (=E\{v\})$	분산 $\sigma^2 (=E\{(v-m)^2\})$
\hat{C}	$-0.7509 e^{-4}$	$0.5225 e^{-4}$
W_0	$-9.0276 e^{-4}$	$2.6462 e^{-4}$
W_1	$-67.012 e^{-4}$	$436.54 e^{-4}$

위의 표(2-1)을 보면, 각 필터가 고장 나는 성향을 알 수가 있다. \hat{C} 가 고장 났을 때에는 LMS 식(2-1)의 가중치가 변하지 않으므로 아주 작은 값을 출력하는 필터 W_1 은 고정되고, W_1 이 고장나서 0을 출력하는 것과 v 에 대한 σ^2 이 차이가 나는 것을 알수있다. 그리고 W_0 가 고장날 경우에는 일정 스텝마다 W_1 에 의해 갱신되는 동작으로 인하여 v 값은 스텝 사이지만큼 진동하는 성향을 나타낸다.

2.2.2 적응필터 W_1

다른 필터와는 달리 필터 W_1 은 시스템의 고장요인을 한가지 더 갖고있다. 그 요인은 바로 적응필터 W_1 의 발산이다. LMS 알고리즘의 계수의 갱신은 오차 값에 영향을 받게 되고, 외부의 갑작스러운 시스템의 변화나 잡음에 의해 필터가 발산을 할 수가 있는 것이다. LMS 알고리즘에 큰 영향을 끼치는 오차 값의 변화에 따른 시스템의 발산경향을 알아보면, 오차값의 크기가 크면 클수록, 지속 시

간이 길면 길수록 발산의 확률이 높아진다. 시뮬레이션을 통하여 오차 값의 크기, 지속시간의 발산과의 관계를 고려하여 실험하였고, 강인성을 개선한 능동소음제어 시스템에서 필터 W_1 이 발산하게 되는 경우를 에러값의 크기, 지속시간, v 값의 성향을 감시하여 판별할 수가 있을 것이다.

2.3 적응필터의 고장판별과 대응책

필터의 고장상황을 모의 실험을 통하여 알아보았다. 필터의 차수는 128, Step-size(μ)는 0.005, 샘플링 주파수는 20kHz, $N=500$ 이다. 필터의 고장 상황은 4500번째(t_1)에서 4510번째까지 강제로 오차값의 크기를 바꾸어 주어 만들었다. 다음은 각 경우의 상황이다.

- (경우-1) 필터 W_1 의 발산을 판별하지 못하는 경우.
- (경우-2) W_1 의 발산을 판별하여 W_1 을 강제로 출력 zero 로 해주는 경우.

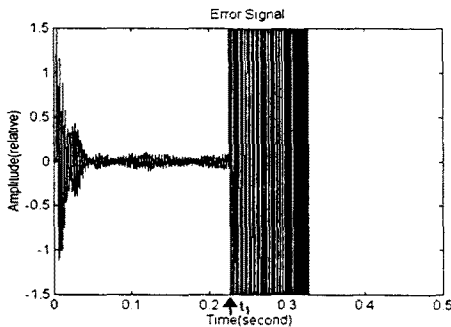


그림2-3 (경우-1)일때의 오차신호($e(n)$)

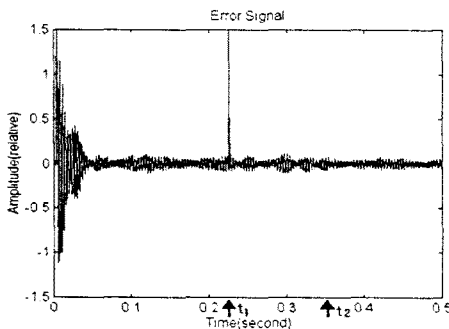


그림2-4 (경우-2)일때의 오차신호($e(n)$)

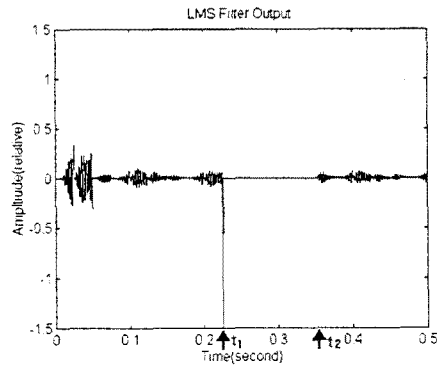


그림 2-5 (경우-2)일때의 필터 W_1 의 출력

(경우-2)에서는 고장의 시점에서 1000개의 데이터로 고장을 판별하여, 그림 2-5 에서처럼 강제로 4510번째(t_1+10)에서 끊은 후에 7000번째(t_2)에서 다시 필터를 리셋시켰다. 그림2-3는 고장판별을 못했을 경우 적응필터가 발산하여 시스템이 불안정해지는 경우를 보인것이고, 그림2-4는 4510번째(t_1+10)에서 고장임을 판별하고 그 고장에 대한 대응책을 취함으로써 시스템의 발산을 막고 성능을 유지시킨 경우의 오차이다.

3. 결 론

본 논문에서는 강인성을 개선한 능동소음제어 시스템에서 적응필터의 고장 판별을 위한방법을 제시하였다. 실험 결과, 각 필터들의 고장 성향을 뚜렷이 판별할 수 있었으며, 특히 적응 필터 W_1 이 발산할 경우 에러값의 변화를 감시함으로써 판별하고 적당한 대응책을 취함으로써 전체 시스템의 성능을 유지시킬수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 정양웅, "공조덕트시스템에서 강인성이 개선된 적응 능동소음제어기 설계", 박사학위 논문, 6.1996
- [2] 정찬수·신승식 외, "강인성을 개선한 적응능동 소음제어 시스템 구현", 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, pp.55-57, Feb.1996
- [3] L. J. Eriksson, "Active Sound Attenuation Using Adaptive Digital Signal Processing Techniques", Phd.Thesis, University of Wisconsin-Medison, December 1985.
- [4] Bernard Widrow, Samuel D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice Hall, 1985