

## 금속 파편 탐지를 위한 적응 잡음 제거

부인 형, 윤원영, 신원기  
한국 원자력 안전 기술원

### 요 약

본 연구에서는 원자력 발전소내 금속 파편 탐지 시스템의 성능 향상을 위한 적응 잡음제거에 관하여 서술한다. 현재 사용중인 원전내 금속 파편 탐지 시스템은 배경잡음의 영향으로 그 이용 효율이 매우 낮은 현실이다. 이런 문제점을 해결하는 한 방법으로써 적응 잡음 제거 방식을 이용하여 배경잡음의 영향을 최소화하였다. 컴퓨터 모의 실험을 통하여 그 성능을 입증하였으며, 특히 배경잡음속에 충격신호가 묻혀있는 경우에도 뛰어난 탐지 효과를 보였다.

### 1. 서 론

원자력 발전소 냉각재 계통내의 금속 파편은 유체유동, 응력부식, 피로, 구조요소간 비정상적 마찰등의 원인에 의해 구조물로부터 분리되면서 생성될 수 있고, 원전 건설기간 또는 핵연료 재장전, 기타 보수활동시 외부로부터 금속 이물질이 계통내에 유입됨으로써 발생될 수도 있다. 이러한 금속파편들은 계통내 냉각재 유동상태에 따라 이동하면서 내부 구조물들에 충돌하여 제 2의 금속 파편을 생성할 수 있고, 원자로 압력용기 내부에 존재하는 금속파편은 노심유로차단, 핵연료 집합체 손상 또는 제어봉 구동방해등의 안전성 저해 요인이 될 수도 있다. 이로 인해 내부 구조물들이 손상되면 그에 따른 보수 활동량 및 종사자 방사선 피폭량 증가등의 손실도 피할 수 없다. 이런 이유로 금속 파편의 조기 탐지는 원전 안전성 및 경제성 재고에 기여 할 수 있는 것이다 [1].

미국 원자력 위원회는 1975년 부터 금속 파편 발생을 주요 규제 관점으로 취급하기 시작하였고 1977년 말 규제지침인 Reg. Guide 1.133 "Loose Part Detection Program for the Primary System of LWRs" 을 발표하면서 LPMS (Loose Part Monitoring System) 라는 계측계통이 도입되기 시작하였다. 우리나라에서도 고리 1, 2 호기를 제외한 전 호기에 이런 금속파편 금속 파편 탐지 시스템이 설치되어 있지만 실제 금속 파편 감지 효율이 좋지않은 요인으로서는 배경잡음의 영향을 들 수 있다. 즉, 배경잡음을 고려해 경보가 울리는 기준 충격치를 높게 설정하므로써 웬만한 크기, 무게를 갖고 일정량 이상의 충격력을 갖지 않는 이상 파편의 존재를 알 수 없는 현실이다.. 이런 이유로 금속 파편으로 인한 내부 구조물의 손상을 핵연료 교체시 다른 시험을 행하다 발견되곤 하였다. 이러한 잡음의 영향을 제거하는 방법으로 일정 주파수 대역 통과 혹은 차단 필터를 쓰기도 하지만 금속 파편에 의한 충격신호 또한 필터링되어 질 수 있다. 원자력 발전소 운전 환경이 변하고 이로 인한 배경잡음의 변화로 기존의 배경잡음 자료를 이용한 금속 파편 탐지 방식은 어려움이 있었다. 이에대해 주위 환경변화에 적응하여 배경잡음을 제거하여 충격파를 정확히 탐지하는 적응 잡음 제거 방식에 대해 기술한다.

## 2. 적응 잡음 제거

### 2-1. 다채널 적응 잡음 제거

그림 1 에 개략도를 보였다. 출력  $\epsilon$  는

$$\epsilon = s + n_0 - y \quad (1)$$

여기서,  $s$ ,  $n_0$ ,  $y$  는 통계적으로 안정하고 평균이 0 이다. 양변을 제곱하면,

$$\epsilon^2 = s^2 + (n_0 - y)^2 + 2s(n_0 - y) \quad (2)$$

기대치를 취하면,

$$\begin{aligned} E[\epsilon^2] &= E[s^2] + E[(n_0 - y)^2] + 2E[s(n_0 - y)] \\ &= E[s^2] + E[(n_0 - y)^2]. \end{aligned} \quad (3)$$

최소 출력 power 는

$$E_{\min}[\epsilon^2] = E[s^2] + E_{\min}[(n_0 - y)^2] \quad (4)$$

$\epsilon$  가 최소가 될때는 필터출력  $y$  가 잡음  $n_0$  와 같은 때이다.

### 2-2. 단채널 적응 잡음 제거

광대역 신호가 주기적 간섭신호로 왜곡되고 외부 참조 입력 신호가 없을 경우 그림 2 에서 보듯이 시간지연을 두어 주 입력단에서 바로 참조 입력단으로 연결하면 주 입력단 광대역 신호는 참조 입력단 신호에 대해 비상관 관계가 되어 주기적인 성분만이 서로 상관관계를 가지게되어 제거되는 구조이다 [2-4].

## 4. 적응 필터

적응 신호 처리에서 가장 널리 쓰이고 구현이 간편한 TDL (Tapped-Delay-Line) 적응 필터를 그림 3 에 보였다. 필터 램수가  $M$  일때  $n$  번째 반복실행에서 입력신호 벡터  $X(n)$  과 가중치 벡터  $W(n)$  은 다음과 같이 정의된다.

$$X(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-M+1)]^T \quad (5)$$

$$W(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{M-1}(n)]^T \quad (6)$$

필터 출력은

$$y(n) = X^T(n)W(n) \quad (7)$$

오차 신호는

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (8)$$

(7) 식에 의해

$$e(n) = d(n) - X^T(n)W(n) \quad (9)$$

이때, 가중치를 매 실행시마다 조절하여 오차  $\epsilon(n)$  을 줄이게 되는데, 이런 일련의 과정을 조절하는 가장 널리 쓰이고 간편한 것이 LMS (Least Mean Squares) 알고리즘이다. 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W(n+1) &= W(n) - \mu \nabla(n) \\ &= W(n) + 2\mu e(n)X(n) \end{aligned} \quad (10)$$

## 5. 모의 실험 및 검토

주기적 잡음과 백색 잡음이 혼합된 잡음을 발생시킨후 어느 순간에 충격파가 섞이는 경우의 잡음 제거 및 충격파 발생 여부를 경보할 수 있는지 실험하였다. 이때, 백색 잡음은 uniform 분포를 갖는 평균이 0 인 0 과 1 사이의 값이다. 주기적 잡음은 각각 0.05f, 0.1f, 0.15f, 0.2f, 0.25f 의 정규화 주파수를, 평균크기 1/15, 2/15, 1/5, 4/15, 1/3 를 각각 갖는다. 충격 신호는 배경 잡음에 대해 -2.5 dB 의 크기를 갖으며, 1500 반복 실행부터 비 주기적으로 나타나도록 하였다. 이때 사용한 적응 필터의 차수는 127 차이며, 수렴인자  $\mu$  는 0.003 이다.

실험 결과 그림 4 에서 보듯이 적응 필터를 이용하여 주기적인 성분을 제거할 수 있으며 1500 반복 실행 이후의 갑작스런 충격파를 그 크기가 잡음보다 작은 경우에도 매우 뛰어나게 감지함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 금속 파편 탐지를 위한 적응 잡음 제거 방식에 대하여 논하였다. 주위 환경의 변화에 적응하여 배경 잡음을 제거함으로써 냉각재 계통 내부의 금속 파편에 의한 작은 충격파라도 기존의 시스템에 비해 월등한 탐지 능력이 있음을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 입증하였다. 실제 hardware 구현을 통한 현장 사용이 가능하리라 기대한다.

## 7. 참 고 문 헌

- [1] 신원기 외, "원자로냉각재 금속파편 감시계통 신호평가 기술에 관한 연구," 한국 원자력 안전 기술원 기본 연구과제 보고서, 1989.
- [2] B. Widrow and S. Stearn, Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- [3] P. M. Embree and B. Kimble, C Language Algorithms for Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
- [4] B. Widrow et al., "Stationary and nonstationary learning characteristics of the LMS adaptive filter," Processings of the IEEE, vol.64, pp. 1151-1162, Aug, 1976.

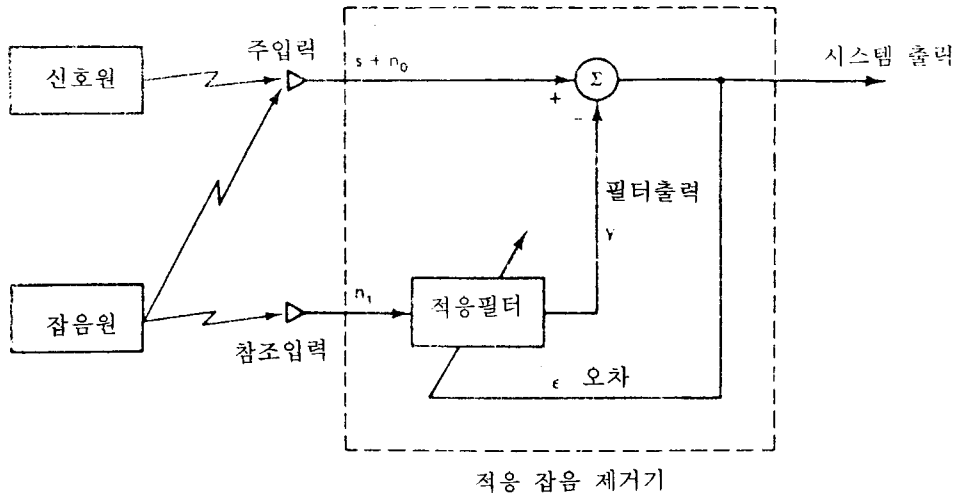


그림 1. 다채널 적응 잡음 제거 블록도

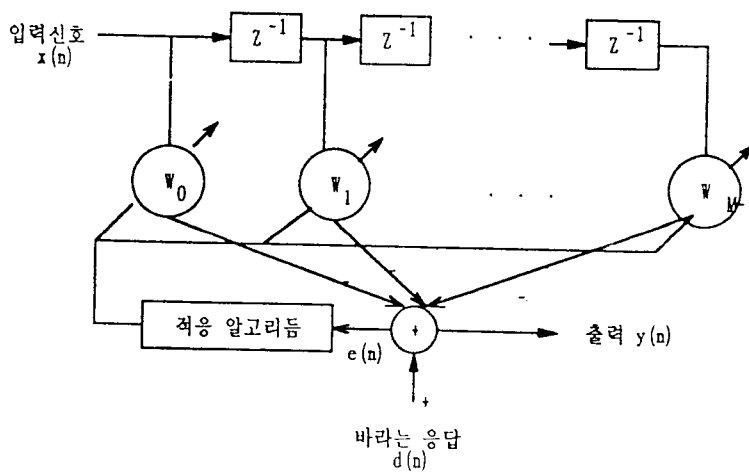


그림 2. TDL 구조

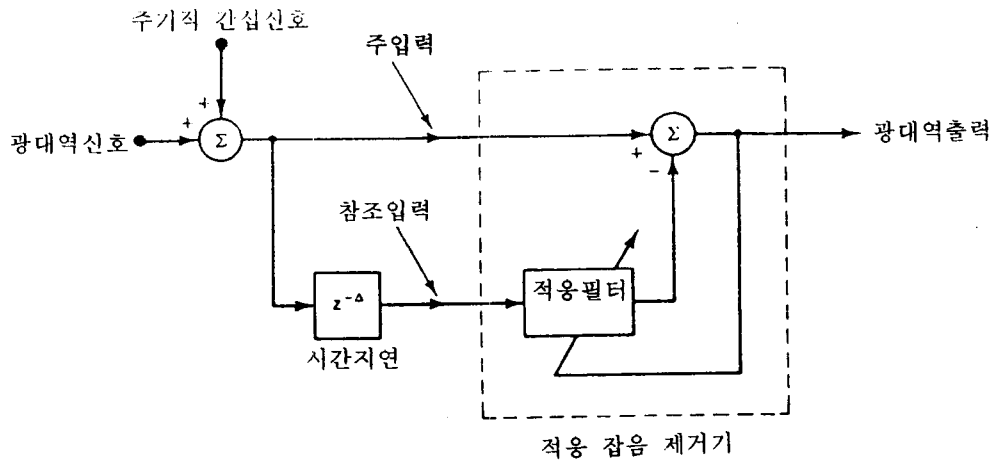


그림 3. 단채널 적응 잡음 제거 블록도

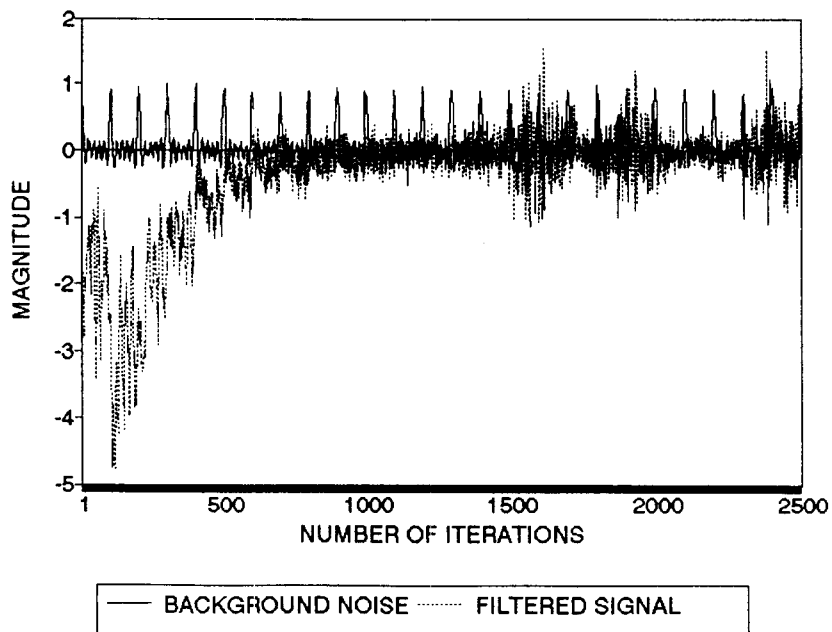


그림 4. 충격파 대 배경잡음 비가 -2.5 dB 경우의 적응 잡음 제거 실험 결과