

원전 금속파편감시설비 신호검출 알고리즘 최적화

정창규\*, 최용구\*, 이재기\*  
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원\*

Optimization of the Signal Detection Algorithm for LPMS

Chang-Gyu Jung\*, Yong-goo Choi\*, Jae-Ki Lee\*  
Korea Hydro & Nuclear Power Co., LTD, Nuclear Engineering & Technology Institute\*

**Abstract** - 원자력발전소의 금속파편감시설비는 원자로냉각재계통에서 발생하는 충격신호에 대한 정보를 운영자에게 제공하여, 금속이물질로 인한 관련 구조물 파손을 미연에 방지하기 위한 설비이다. 운전 중에 발생하는 충격신호 중 대부분을 차지하는 거짓경보는 열팽창이나 구조물마찰에 의한 신호이나, 국내외에 설치되어 운전 중인 금속파편감시설비에는 열팽창과 구조물마찰에 의한 충격신호를 판단할 수 있는 알고리즘이 탑재되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 대부분의 거짓 경보를 발생시키는 열팽창 및 구조물마찰에 의한 충격신호를 신호 검출단계에서 배제할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다.

1. 서 론

원자력발전소 원자로냉각재계통은 열팽창과 구조물마찰에 의한 거짓 충격신호가 지속적으로 발생되고 있다. 설비 운영자는 충격신호를 분석하여 금속이물질에 의한 충격신호인지 거짓신호인지를 확인하여야 하나, 거짓 충격신호의 형태가 금속이물질에 의해 발생하는 충격신호와 유사하여 구분하기가 어렵다.

따라서, 거짓 충격신호를 신호 검출과정에서 제거할 수 있다면 설비운영 신뢰성이 향상될 것이다.

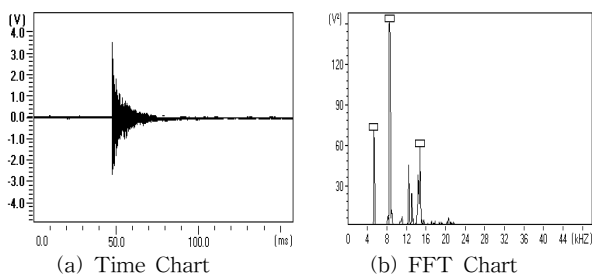
2. 본 론

2.1 충격신호 특성 비교

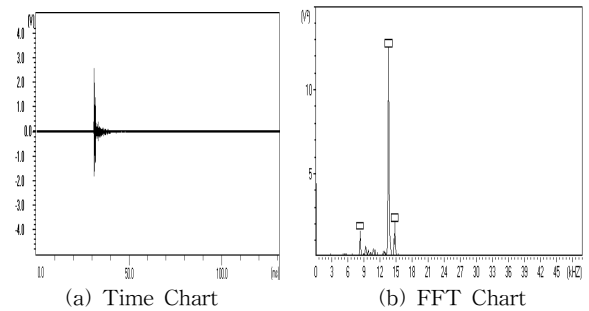
충격신호 특성 비교에서는 금속체에 의한 충격신호, 열팽창에 의한 충격신호 및 구조물 마찰에 의한 충격신호를 상호 비교하여 그 특성을 알아보고자 한다.

2.1.1 금속체에 의한 충격신호 특성

원자력발전소 원자로냉각재계통에서 유동할 수 있는 금속체(금속이물질)는 내부 구조물의 체결력 상실이나, 외부에서 유입되어 생성된다. 생성된 금속체는 냉각재를 따라 유동하면서 구조물에 충격을 가한다. <그림1>은 원자력발전소가 100% 출력 운전 중에 증기발생기 1차측에 존재한 76gram의 금속이물질에 의해 발생된 충격신호이다. 신호의 형태는 삼각형이며 지속시간은 30msec 이내로 특이주파수는 5.4kHz, 8.6kHz 및 14.6kHz에서 발생되었다. <그림2>는 175gram의 강구를 이용하여 증기발생기 외벽에 충격을 가하여 취득한 신호로 8.2kHz, 13.5kHz 및 14.7kHz에서 특이 주파수가 발생되었다.



(a) Time Chart (b) FFT Chart  
<그림 1> 금속이물질에 의한 충격신호(76gram)

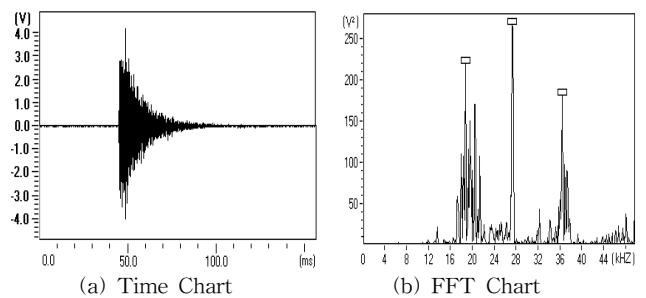


(a) Time Chart (b) FFT Chart  
<그림 2> 강구에 의한 모의충격신호(170gram)

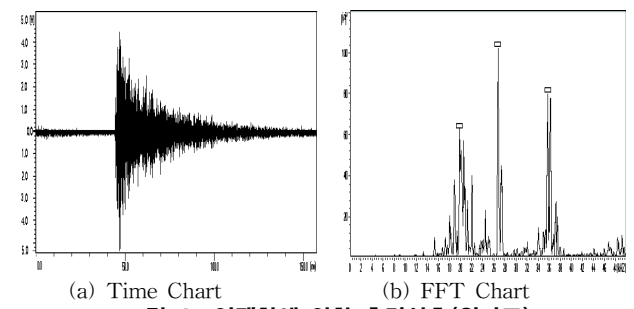
2.1.2 열팽창에 의한 충격신호 특성

원자로냉각재 구조물은 계획예방정비 기간 동안 상온으로 냉각되었다가 계획예방정비 말기에 원자로 냉각재가 가열되면서 관련 구조물로 열전달이 이루어진다. 열전달에 의해 가열되는 구조물은 팽창되면서 금속이물질에 의해 발생하는 충격신호와 유사한 형태의 충격신호를 발생시킨다. 열팽창에 의한 충격신호는 구조물로 열전달이 완전히 이루어져 열적 평형에 도달되어야 종료된다.

<그림3>과 <그림4>는 증기발생기와 원자로에서 발생된 열팽창에 의한 충격신호로 신호의 형태는 금속이물질에 의한 충격신호와 동일하게 삼각형을 이루나, 신호 크기가 배경잡음 준위로 복귀되는데 50msec 이상이 걸리기도 한다. 특이주파수는 18.2kHz, 27.6kHz, 36.7kHz에서 관측 되었다.



(a) Time Chart (b) FFT Chart  
<그림 3> 열팽창에 의한 충격신호(증기발생기)



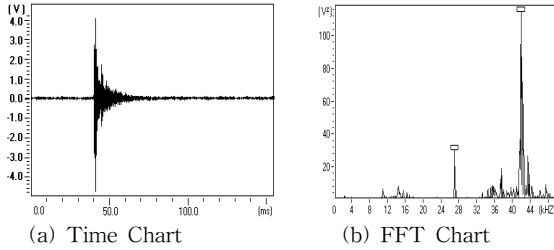
(a) Time Chart (b) FFT Chart  
<그림 4> 열팽창에 의한 충격신호(원자로)

### 2.1.3 구조물마찰에 의한 충격신호 특성

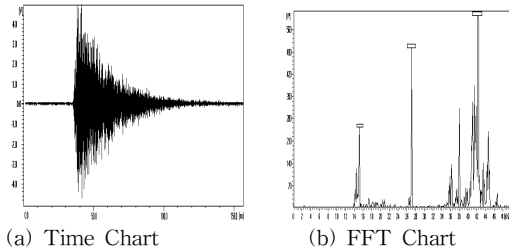
원자로 냉각재계통 구조물과 구조물을 지지하는 지지대 사이의 마찰로 발생하는 구조물마찰에 의한 충격신호는 노심 초기에만 발생하는 열팽창에 의한 충격신호와 달리 100% 출력 운전 중에도 발생된다.

<그림5>는 증기발생기 1차측에서 발생한 구조물마찰에 의한 충격신호이며, 신호가 발생한 증기발생기에서만 검출되었다. <그림6>은 원자로 노즐 부위에서 검출된 신호로 원자로 냉각재계통에 설치된 전 채널에서 충격신호가 검출되었다.

구조물마찰에 의한 충격신호의 특이 주파수는 26.9kHz와 42.1kHz에 있으며, 주파수의 대부분이 25kHz 이상의 대역에 존재한다. 구조물마찰에 의한 충격신호는 금속이물질에 의한 충격신호나, 열팽창에 의한 충격신호 보다 고주파 성분이 많이 포함되어 있다.



(a) Time Chart (b) FFT Chart  
**<그림 5> 구조물마찰에 의한 충격신호(증기발생기)**



(a) Time Chart (b) FFT Chart  
**<그림 6> 구조물마찰에 의한 충격신호(원자로)**

### 2.1.4. 충격신호 주파수 특성

각 충격신호의 특이 주파수는 충격신호의 상승시간, 크기 및 감쇄시간과 같은 신호의 형태나, 충격신호의 발생위치에 관계없이 일정한 주파수 대역에 존재하는 것을 알 수 있었다.

금속체에 의한 충격신호는 4kHz에서 15kHz 사이에 대부분의 주파수 성분이 존재하며, 거짓 충격신호는 17kHz에서 45kHz 사이에 대부분의 주파수 성분이 존재한다.

### 2.2 신호검출 알고리즘

금속이물질에 의한 충격신호는 16kHz 이하의 저주파 성분을 잘 여기 시키고, 거짓 충격신호는 17kHz 이상의 고주파 성분을 잘 여기 시키는 것을 충격신호 특성에서 알 수 있었다.

이러한 충격신호의 주파수 특성을 이용하여 주파수 대역을 저주파 대역(금속이물질에 의해 발생하는 주파수 대역)과 고주파 대역(거짓 충격신호에 의해 발생하는 주파수 대역)으로 분리한 후 두 대역의 주파수 스펙트럼 밀도에 대한 비율(FR)을 구하면, 금속이물질에 의한 충격신호의 FR 값은 거짓 충격신호의 FR 값에 비해 상대적으로 크게 나타나게 될 것이다.

따라서, 적정 FR 값을 신호검출 설정치로 정하면, 금속이물질에 의한 충격신호와 거짓 충격신호를 분리할 수 있을 것이다.

식(1)은 금속이물질에 의해 발생하는 충격신호와 거짓 충격신호의 비율을 구하기 위한 것으로 주파수 대역은 실험에 의해 구했다. APSD를 계산하기 위한 창은 범위는 계산 시간을 최소화하면서 계산 결과의 신뢰성을 확보할 수 있는 126개의 최소 데이터만 사용하였으며, 시작 위치는 쉽게 검출할 수 있는 충격신호의 최대치를 사용하였다.

$$FR = \frac{\int_{4kHz}^{15kHz} APSD df}{\int_{17kHz}^{45kHz} APSD df} \quad (1)$$

APSD : Auto Power Spectral Density

### 2.3 검 증

본 연구에서 제시한 '원전 금속과편감시설비의 신호검출 알고리즘 최적화' 검증은 다양한 질량의 금속 강구를 이용하여 센서가 설치된 구조물의 외벽에 충격을 가하여 취득한 신호와 실제 원자로 냉각재 유로 내에 존재한 76gram의 금속이물질에 의한 충격신호의 FR 값을 발전소 운전 중에 발생한 열팽창과 구조물마찰에 의한 충격신호의 FR 값과 상대 비교하여 입증하였다.

표1.(a)와 (b)는 금속체에 의한 충격신호를 제시한 알고리즘에 적용한 결과 값이며 표1.(c)와 (d)는 거짓충격신호의 결과 값이다. 금속체에 의한 충격신호의 최소 FR 값은 2.10이며, 열팽창과 구조물마찰에 의한 최대 FR 값은 0.08이다.

따라서, 거짓신호를 판단하기 위한 FR 결과 값의 기준을 '1'로 선정하면, 열팽창에 의한 충격신호나 구조물마찰에 의한 충격신호를 배제할 수 있음을 알 수 있다.

### <표1> 다양한 충격신호에 대한 FR 값 비교

(a) 강구

강구질량 (gram)	FR 값			강구질량 (gram)	FR 값		
	1회	2회	3회		1회	2회	3회
13	2.1	2.83	43.89	202	15.29	20.18	23.51
25	3.4	4.34	5.23	288	8.1	8.83	12.14
52	11.12	12.01	14.01	361	8.07	31.93	41.73
175	13.95	23.44	37.58	443	8.14	11.38	14.38

(b) 금속이물질

FR 값		
1회	2회	3회
10.06	13.81	22.55

(c) 열 팽창

FR 값		
1회	2회	3회
0.01	0.01	0.02

(d) 구조물마찰

FR 값		
1회	2회	3회
0.04	0.08	0.03

### 3. 결 론

본 연구에서 제시한 알고리즘의 타당성을 원자력발전소의 금속과편감시설비에서 취득한 데이터를 이용하여 검증하였으며, 동 알고리즘을 금속과편감시 설비의 신호검출 알고리즘에 적용하면, 자동으로 열팽창과 구조물마찰에 의한 충격신호를 제거할 수 있을 것이다.

본 연구결과는 화력발전소, 화학플랜트 등 유체흐름이 있는 관로에 존재할 수 있는 금속이물질 탐지에 적용하면 유용할 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

[1] T. Tsunoda, T. Kato, "STUDIES ON THE LOOSE PART EVALUATION TECHNIQUE", Progress in Nuclear Energy, Vol. No. 15, pp. 569-576, 1985  
 [2] Mayo, C.W., "Loose Part Monitoring System Improvements". Final Report NP 5743, The Electric Power Research Institute, 1988  
 [3] Mayo, C.W., "LOOSE-PART SIGNAL PROPERTIES", Progress in Nuclear Energy, Vol. No. 28, pp. 347-357, 1994