

원자로 내부 금속파편 질량 추정 기술

Mass Estimation of an Internal Loose Part of Nuclear Reactor

신성환† · 박진호* · 윤두병* · 최영철*

Sung-Hwan Shin, Jin-Ho Park, Doo-Byung Yoon, and Young-Chul Choi

1. 서 론

원전 1 차계통의 구조건전성을 감시하는 시스템 (NIMS: NSSS Integrity Monitoring System)을 구성하는 금속파편감시시스템 (LPMS) 에서 금속파편의 위치 추정은 쌍곡선법/원형법/삼각법 등을 기반으로 한 알고리즘 개발로 우수한 성능을 갖는다^{1,2)}. 하지만 금속파편의 종류를 예측할 수 있는 질량 추정의 경우, 기존 헤르츠충격이론을 이용한 분석적 방법이나 FR (frequency-ratio) 법³⁾ 등을 이용할 경우 50% 이상의 오차가 발생하는 문제점이 발생한다.

본 연구에서는 LPMS 기능 중 하나인 질량 추정 성능을 향상시키기 위하여 이산코사인변환 (DCT: Discrete Cosine Transform) 및 인공신경망 (ANN: Artificial Neural Network)을 이용한 질량 추정 알고리즘을 제안한다. 이를 위하여 유동이 없는 원자로 1/8 축소 모델을 활용하여 구형 금속의 질량에 따른 충격 응답 신호 특성을 파악하고, 이러한 특성을 반영할 수 있는 ANN 입력변수를 추출하였다.

2. ANN을 이용한 질량 추정

2.1 질량에 따른 충격신호 특성

원자로 내부의 금속파편이 표면과 충돌할 때 발생하는 충격신호의 APSD (Auto-power Spectrum Density)는 파편의 질량에 의해서 그 특성이 변화한다⁴⁾. 이러한 특성을 파악하기 위하여 원자로 1/8 축소 모델을 대상으로 8개의 가속도계를 설치하고, 11개의 구형 금속을 이용하여 질량, 충돌 에너지

(속도), 충돌 위치를 변화시키면서 충돌 시험을 수행하였다.

충돌 신호의 APSD를 분석한 결과, 이미 잘 알려진 것과 같이 질량의 변화에 따라 APSD 모양의 변화가 가장 확연하게 크게 나타났다 (그림 1). 충돌 에너지의 경우, 에너지가 50% 변화할 때 APSD에서 나타나는 Peak의 주파수가 약 6% 변화하는 경향을 보였다. 그 이외의 다른 인자들은 큰 영향이 없음을 파악할 수 있었다.

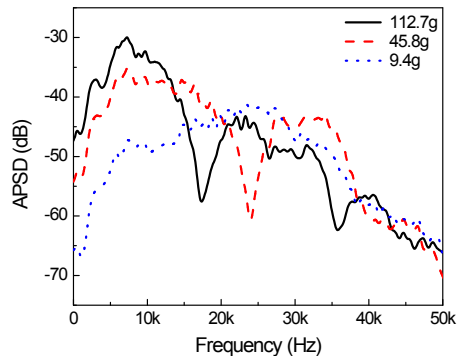


그림 1. 구형 금속 질량에 따른 충격신호 APSD의 변화

2.2 ANN 모델 디자인

본 연구에서는 금속파편의 질량을 추정하기 위하여 ANN 모델을 이용하였다. 2.1절에서 언급한 것처럼 APSD는 충돌 질량의 변화에 민감하게 변화하기 때문에 이 변화를 정확히 표현할 수 있는 인자를 ANN 모델의 입력변수 사용하는 것이 질량 추정 성능 향상에 기여한다. 충돌신호의 APSD에 대한 DCT에 의해서 얻어지는 계수의 일부를 역변환 (Inverse transform)할 경우, APSD의 원래 모양을 근사할 수 있기 때문에 그림 2와 같은 방법으로 입력변수를 추출하였다.

질량 추정을 위해 본 연구에서 사용된 ANN 모델은 하나의 hidden layer를 갖는 feed-forward

† 교신저자: 정회원, 한국원자력연구원
E-mail : soulshin@kaeri.re.kr
Tel : 042-868-4851, Fax : 042-868-8313
* 한국원자력연구원

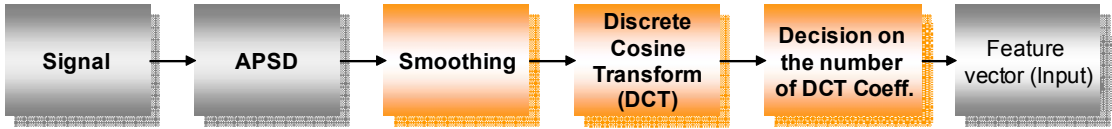


그림 2. ANN 입력변수 추출 방법

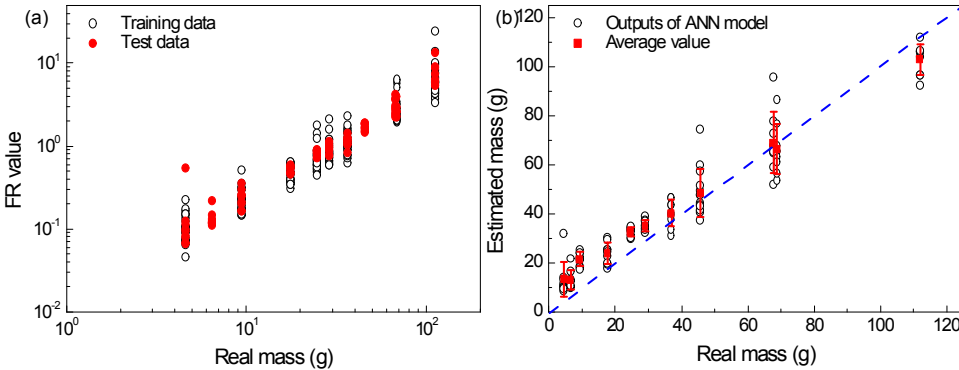


그림 3. (a) 기존방법인 FR 법과 (b) ANN 모델을 적용한 구형 금속의 질량 추정 결과 비교

network 구조로 error back-propagation training 방법으로 최적화 되었다. 입력은 그림2의 방법으로 선택된 유한개의 DCT 계수 벡터이고, 출력은 해당 구형 금속의 질량이다. ANN 모델 훈련을 위해서 200개의 충격신호, 검증을 위해서 99개의 충격신호가 원자로 1/8 축소모델을 이용한 실험을 통해서 얻어졌다.

본 연구를 통하여 제안된 LPMS의 주요 기능인 금속 파편의 질량 추정을 위하여 충돌신호의 APSD로부터 얻은 DCT 계수를 입력신호로 이용한 ANN 모델은 기존 FR법에 비하여 향상된 성능을 가지고 있음을 파악하였다. 향후 충돌신호의 APSD에 영향을 주는 충돌 에너지를 고려할 경우, 보다 향상된 예측 성능을 기대할 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제 기술혁신사업 (원자력융합원천기술개발사업)의 지원으로 수행되었습니다.

2.3 ANN 모델 성능 평가

본 연구에서 제안된 ANN 모델을 이용한 질량 추정법의 성능을 평가하기 위하여 기존 방법인 FR 방법과 비교하였다. 그림 3(a)에서 보는 것과 같이 FR법을 이용한 경우, 그 결과가 직접 질량으로 나오지 않고 FR값과 질량 사이의 변환을 한번 더 수행해야 하는 단계가 필요하다. 또한 각 질량에 대한 FR값의 분포가 상호 겹치는 부분이 넓게 나타남을 알 수 있다.

이와 비교하여 그림 3(b)의 ANN 모델을 이용한 경우, 실제 질량과 추정된 질량을 직접적으로 비교할 수 있고, 10g 이상의 질량에 대해서는 질량 추정 성능이 각 질량에 대해서 30% 이하의 오차를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이는 기존 FR법이 이용할 경우 50% 이상의 오차를 나타내는 것과 비교할 때 질량 추정 성능이 향상되었음을 의미한다.

3. 결 론

참고 문헌

- [1] B. J. Olma, "Source Location and Mass Estimation in Loose Parts Monitoring of LWR's," *Progress in Nuclear Energy*, **15**, 583 (1985).
- [2] J.-H. Park and Y.-H. Kim, "Impact Source Localization on an elastic plate in a noisy environment," *Meas. Sci. Technol.*, **17**, 2757 (2006).
- [3] T. Tsunoda, T. Kato, et al., "Studies on the Loose Part Evaluation Technique," *Progress in Nuclear Energy*, **15**, 569 (1985).
- [4] T. Tsunoda et al., "Acceleration Signal Characteristics for Loose Part Impact," *Journal of Nuclear Science and Technology*, **23**, 968 (1986).