

원전 환경모니터링 로봇용 누설탐지기술에 대한 기초연구

Preliminary Study on Leak Detection Method for Nuclear Environment Monitoring Robot

정승호† · 윤두병* · 박진호*

S.-H. Jung, D.-B. Yoon, and J.-H. Park

1. 서 론

후쿠시마 사고 이후, 원자력발전소의 안전성 향상 및 사고대처를 위하여 격납건물 내의 작업환경을 모니터링하는 로봇에 대한 관심이 높아지고 있으며, 한국원자력연구원에서는 발전소의 비상사고 시를 포함하여, 정상운전 중인 경우에도, 발전소 원자로 격납건물 내부를 이동하며, 계통의 이상상태를 모니터링하는 로봇에 대한 연구를 수행하고 있다.

원전 환경모니터링 로봇의 주요 임무 중 하나는 원전 내부에 분포되어 있는 기기 및 구조물에서 발생하는 누설(leakage)을 감시하는 것이며, 이러한 누설을 감시하는 기술로써 영상센서(카메라)를 이용하여 누설위치를 탐지하는 기술과, 음향센서(마이크로폰)을 이용하여 누설방향을 탐지하는 기술을 고려할 수 있다. 본 연구는 원전 환경모니터링 로봇용 누설 탐지기술에 대한 기초연구로써, 영상센서와 음향센서를 이용한 누설탐지 기술을 이동형 로봇에 적용할 경우 발생하는 문제점 및 이를 해결하기 위한 방법에 대한 기초연구를 수행하였다.

2. 환경모니터링 로봇용 누설탐지 기술

2.1 영상센서를 이용한 누설탐지기술 연구

영상센서를 이용하여 누설을 감시하기 위해서는 영상을 연속적으로 촬영한 후, 현재 영상과 이전 영상을 비교·분석하여, 누설발생 여부를 판단하는 방법을 사용할 수 있다. 즉, 현재 영상과 이전 영상의 차

영상정보로부터 누설여부를 판별할 있으나, 로봇의 움직임 등에 의해 진동이 발생하는 경우에는 이러한 진동에 의해 누설탐지용 영상에 잡음이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 영상센서(카메라)의 이동 및 진동에 의한 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 배경신호/누설영상 신호분리 알고리즘을 Fig. 1과 같이 개발하였다. Fig. 2는 개발된 알고리즘의 타당성 검증 실험결과를 나타내고 있다. 누설을 모의하기 위하여 분무기를 이용하여 인위적으로 누설을 발생시켰으며, 영상센서는 가진기를 이용하여 상하로 3Hz로 진동하도록 설치한 상태에서, 실험을 통하여 개발된 알고리즘을 적용함으로써, 잡음을 제거하고 누설을 정확하게 판별할 수 있음을 확인하였다.

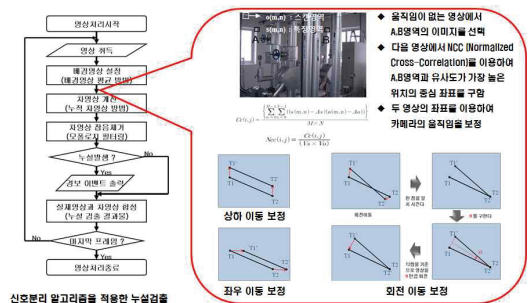
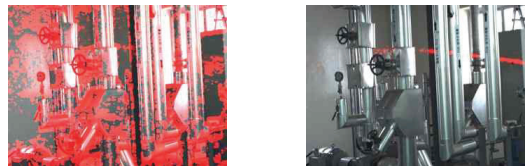


Fig. 1 Algorithm for removing vision noise due to vibration of the moving robot



(a) before applying algorithm (b) after applying algorithm

Fig. 2 Experiment for verifying the validity of the developed algorithm

† 교신저자; 한국원자력연구원
E-mail: shjung2@kaeri.re.kr
Tel: 042-868-8837, Fax : 042-868-8833
* 한국원자력연구원

2.2 음향센서를 이용한 누설탐지기술 연구

음향센서 어레이를 이용하면 비교적 정확하게 누설방향을 추정할 수 있으나, 센서 어레이의 크기로 인하여, 로봇 탑재가 용이하지 않다. 따라서 적은 수의 음향센서를 이용한 누설 위치 추정기법을 개발할 필요가 있으며, 로봇에 탑재가 가능하도록 적은 수의 마이크로폰을 사용하고, 작은 크기로 구현할 수 있는 누설탐지기법을 고안하고, 시뮬레이션을 통하여 제안방법의 타당성을 검증하였다.

Fig. 3은 음향센서간 누설음 도달 시간지연을 이용한 누설방향 추정 알고리즘을 나타내며, 3개의 마이크로폰을 이용한 누설 방향 추정기법을 고안하였다. 즉, 마이크로폰 간의 시간지연 정보로부터 소음원 방향에 대한 추정이 가능하므로, 3개의 마이크로폰에서 계측된 신호에 대한 상호상관함수를 구하고, 이로부터 시간지연정보(τ_1, τ_2)를 추출한 후, 누설음의 입사방향(θ, ϕ)을 구할 수 있다.

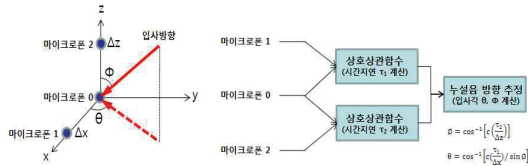


Fig. 3 Algorithm for estimating leakage location using cross-correlation function

개발된 누설방향 추정 알고리즘의 타당성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며, Fig. 4는 그 결과를 나타내고 있다. 누설신호는 랜덤신호의 특성을 가지므로, 모의 누설신호로는 랜덤신호를 이용하였으며, 시뮬레이션 결과 개발된 알고리즘이 정확하게 누설방향을 추정함을 확인할 수 있다.

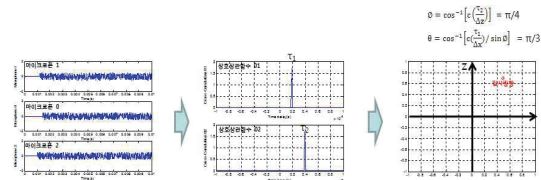


Fig. 4 Simulation result for estimating leakage location using proposed method

음향센서를 이용하여 누설방향을 추정하는 경우, 기계잡음이 존재하는 경우에는 누설방향 추정의 정

확도가 저하될 수 있으므로, 누설신호의 특성(랜덤신호)을 이용한 기계잡음 제거방법을 개발하였다. Fig. 5는 기계잡음 제거방법을 적용한 누설방향 탐지방법의 순서도를 나타내고 있으며, 누설신호는 주파수영역에서 평탄하게 나타나고, 기계잡음은 주파수영역에서 피크 성분으로 나타나므로, 주파수영역에서 주기적인 기계운전 잡음을 제거하는 방법을 사용하였다. Fig. 6은 기계잡음 제거방법의 타당성을 검증하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타내며, 측정신호에 누설신호 외에 기계잡음이 포함된 경우, 알고리즘 적용 전에는 상호상관함수에 기계잡음성분이 나타나지만, 알고리즘을 적용함으로써, 정확하게 음향센서간의 시간지연(τ_1, τ_2)을 구할 수 있음을 관찰할 수 있다.

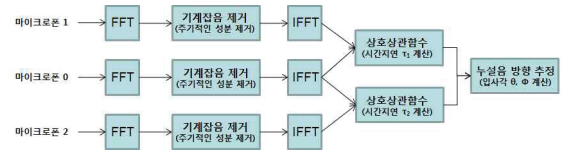


Fig. 5 Algorithm for estimating leakage location using cross-correlation function

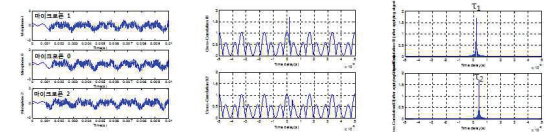


Fig. 6 Simulation result for estimating leakage location in a noisy environment

3. 결론

원전 환경모니터링 로봇용 누설탐지기술에 대한 연구를 수행하였으며, 로봇 움직임이 있는 경우 영상센서의 이동 및 진동에 의한 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 또한 환경모니터링 로봇에 탑재가 가능하도록 3개의 음향센서를 이용한 누설방향 추정기술을 고안하고, 발전소 환경에서 발생 가능한 주변 기계 잡음을 제거할 수 있는 방법을 개발하였으며, 시뮬레이션을 통하여 제안방법의 타당성을 확인하였다. 향후 개발된 기술을 로봇에 적용하고 실험을 통해 제안방법의 타당성을 검증할 계획이다.