

음향방출 센서를 이용한 히트맵기반 순환유동층 보일러 튜브 누설

위치 추정 알고리즘

김재영[○], 김종면(교신저자)^{**}

[○]울산대학교 전기전자컴퓨터공학과

^{**}울산대학교 IT융합학부

e-mail: jmkim07@ulsan.ac.kr^{**}

A Heatmap-based Leakage Location Estimation Algorithm for Circulating Fluidized Bed Boiler Tube Using Acoustic Emission Sensors

Jaeyoung Kim[○], Jong-Myon Kim^{**}

[○]Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Ulsan

^{**}School of IT Convergence, University of Ulsan

● 요약 ●

화력발전용 순환유동층 보일러는 환경오염의 주요인인 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)의 배출량이 적은 친환경 화력발전용 보일러로 화력발전 업계에서 각광받고 있는 추세이다. 그러나 순환유동층 보일러의 연료인 유동매체는 미분탄과 같이 작지만 단단한 고체이므로 유동매체의 타격으로 인해 워터월(waterwall) 튜브의 마모는 물론 누설까지 야기할 수 있다. 순환유동층 보일러 튜브에서 누설된 증기는 보일러 내부에 클링커(Clinker)를 발생시키고 이는 순환유동층 보일러 튜브 표면에 응고되어 열전도율을 감소시킬 뿐만 아니라 보일러 운전정지의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 음향방출 센서를 이용하여 화력발전용 순환유동층 보일러 튜브의 누설 위치를 추정하는 방법을 제안한다. 제안 방법에서는 매질의 분자단위 이동에 의해 발생하는 탄성파를 감지할 수 있는 음향방출 센서를 이용하고, 보일러 워터월 튜브의 멤브레인 용접부와 비용접부(seamless)의 감쇠율을 고려한 위치별 센서 감도 추정 알고리즘을 통해 워터월 튜브의 위치별 진폭 크기를 히트맵으로 표현할 수 있다.

키워드: 보일러 튜브 누설 감지, 음향방출, 누설 위치 추정, 히트맵

I. 서 론

최근 고유가 상황이 지속되고 환경오염 문제가 대두되면서 화력발전 전에 필요한 석탄을 대체할 수 있는 신재생에너지원으로 폐기물 및 바이오매스 등의 효율적 에너지전환의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 순환유동층 보일러를 이용한 화력발전은 환경오염의 주요인인 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)의 배출량을 감소시킬 뿐만 아니라 석탄이외의 폐기물 및 바이오매스와 같은 다양한 연료를 직접 연소할 수 있어 전 세계적으로 각광받고 있는 화력발전 방식이다[1]. 그러나 순환유동층 보일러의 주 연소 대상인 유동매체는 작지만 단단한 미분탄과 같은 고체이며 노(furnace) 내의 워터월 튜브를 타격하여 마모시킨다. 이는 튜브 내의 증기 누설을 발생시켜 순환유동층 보일러의 열전도율을 감소시킬 뿐만 아니라 운전 정지로 이어져 막대한 경제적 손실을 야기한다[2].

본 논문에서는 음향방출 센서를 이용하여 화력발전용 순환유동층 보일러의 누설 위치와 누설의 정도를 히트맵으로 표현할 수 있는

음향방출 센서를 이용한 히트맵기반 순환유동층 보일러 튜브 누설 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 순환유동층 보일러 튜브 테스트베드에 4채널 음향방출 센서를 부착한 후 인위적 누설의 음향방출 신호를 수집하여 누설 위치를 추정하였다[3].

II. 제안 방법

1. 센서 좌표 추정 알고리즘

센서의 좌표를 추정하기 위해 4채널의 각 센서간 거리를 실측한다. 실측된 센서간거리는 $dist_{ij}$ 로 정의하며 이는 i 채널 센서와 j 채널 센서 사이의 거리를 의미한다. 실측된 센서간 거리를 통해 각 센서의 좌표를 계산한다. 1채널 센서와 2채널 센서의 좌표는 식 (1)과 같이

정의된다.

$$S_1 = (0,0), S_2 = (dist_{12}, 0) \quad (1)$$

1채널 센서와 3채널 센서 사이의 거리는 식 (2), 2채널 센서와 3채널 센서 사이의 거리는 식 (3)으로 계산된다.

$$(dist_{13})^2 = x_3^2 + y_3^2 \quad (2)$$

$$(dist_{23})^2 = x_2^2 - 2x_2x_3 + x_3^2 + y_3^2 \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)의 연립방정식을 통해 3채널 센서의 x 좌표와 y 좌표는 각각 식 (4), (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$x_3 = (x_2^2 + (dist_{13})^2 - (dist_{23})^2) / 2x_2 \quad (4)$$

$$y_3 = \sqrt{(dist_{13})^2 - x_3^2} \quad (5)$$

2. 히트맵을 이용한 누설 위치 추정 알고리즘

보일러 위터월 튜브는 멤브레인파 튜브 사이가 용접되어 있으므로 용접부와 비용접부의 신호 감쇠율이 다르다. 실험을 통해 신호 감쇠율을 측정된 후, 식 (6)의 타원방정식을 통해 음향방출 신호의 위치별 진폭 가중치를 계산할 수 있다.

$$E_i(x,y) = \frac{(x-x_i)^2}{r_1} + \frac{(y-y_i)^2}{r_2}, i = 1,2,3,4 \quad (6)$$

히트맵은 각 센서 가중치와 해당 센서로부터 수집된 신호의 진폭레벨의 곱의 합으로 계산할 수 있다.

$$HW = \sum_{i=1}^4 E_i \cdot A_i \quad (7)$$

III. 실험 결과

Fig. 1은 정상과 보일러 튜브의 왼쪽 상단에 위치한 0.6mm 핀홀의 누설에 의한 음향방출 신호의 진폭크기에 따른 히트맵을 보인 것이다. 파란색에 가까운 부분은 진폭이 낮고 빨간색에 가까운 부분은 진폭이 크다. 검정색 점은 각 채널별 센서 위치를 의미한다. 파란색 원은 최대 진폭의 99% 부근의 위치를 표시한 것이다. 그림 1에서 보듯이 정상에서는 모든 부분이 파란색에 가깝고 0.6mm 핀홀에서는 핀홀 부근에서 빨간색에 가까운 색으로 표시된 것을 알 수 있다.

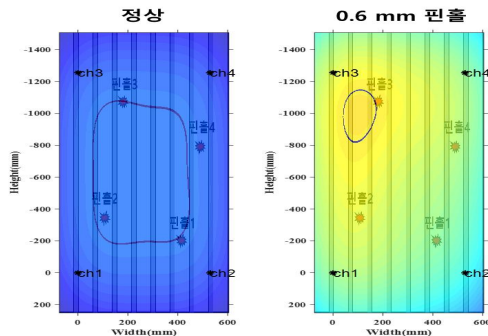


Fig. 1. 제안 알고리즘의 실험 결과

IV. 결 론

본 논문에서는 음향방출 센서를 이용하여 히트맵 기반 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 센서간 거리를 기반으로 센서 좌표를 추정하는 알고리즘과 보일러 위터월 튜브의 멤브레인 용접부 감쇠율을 고려한 누설 위치 추정 알고리즘으로 구성된다. 순환유동층 보일러 테스트베드를 이용한 인공 누설 실험을 통해 알고리즘의 효용성을 검증하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (Nos. 20161120100350, 20172510102130).

REFERENCES

- [1] J.-M. Lee, D.-W. Kim, J.-S. Kim "Characteristics of Co-combustion of Biomass/Wastes with Coal in a Circulating Fluidized Bed Boiler," The Conference on The Korea Society for Energy, p. 58, October 2011.
- [2] T. W. Kim, J. H. Choi, D. W. Seon, J. I. Son, B. J. Jeong, S. S. Kim, S. D. Kim, "Tube Erosion Rate of Water Wall in a Commercial Circulating Fluidized Bed Combustor," Korean Chemical Engineering Research, Vol. 43, No. 4, pp. 525-530, August, 2005.
- [3] 김종면, 김재영, 이정보, 김영태, 조기형, 손현호, "삼각 센싱 기법을 이용한 결함 위치 추정방법", 특허등록 제 10-1809666호, 2017년 12월 11일.