

## 순환유동층 보일러 튜브 결함 진단을 위한 진단장치 개발

김유현<sup>○</sup>, 정인규<sup>\*</sup>, 반재교<sup>\*\*</sup>, 김재영<sup>\*</sup>, 김종면(교신저자)<sup>\*\*\*</sup>

<sup>○</sup>울산대학교 전기전자컴퓨터공학과

<sup>\*\*</sup>울산대학교 안전센터

<sup>\*\*\*</sup>울산대학교 IT융합학부

e-mail: jmkim07@ulsan.ac.kr<sup>\*\*\*</sup>

## Development of a Fault Diagnosis System for Circulating Fluidized Bed Boiler Tube

Yu-Hyun Kim<sup>○</sup>, In-Kyu Jeong<sup>\*</sup>, Jae-Kyo Ban<sup>\*\*</sup>, JaeYoung Kim<sup>\*</sup>, Jong-Myon Kim<sup>\*\*\*</sup>

<sup>○</sup>Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Ulsan

<sup>\*\*</sup>Safety Center, University of Ulsan

<sup>\*\*\*</sup>School of IT Convergence, University of Ulsan

### ● 요약 ●

최근 화력 발전소 보일러 튜브의 노후화로 인해서 불시정지 빈도수 및 재가동 시간이 늦춰지고 있다. 이는 막대한 경제적, 사회적 손실로 이어지며, 이를 예방하기 위해서는 상태기반 정비(Condition Based Monitoring)가 필요하다. 현재의 상태기반 정비는 센서, 신호 수집장치, 신호 분석단계를 거쳐 전문가가 진단하기 때문에 즉각적으로 대응하기 어려운 문제점이 있어서 설비의 재가동 시간이 늦춰지고 있다. 따라서 본 논문에서는 전문가의 도움 없이 자동으로 상태를 진단하기 위해서 머신러닝 기법 중 하나인 서포트 벡터 머신(SVM)을 이용한 진단 알고리즘을 구현하고, 이를 탑재한 진단장치를 개발하여 비전문가들도 즉각적으로 대응할 수 있게 하여 불시정지 시간과 빈도수를 줄이고자 한다.

**키워드:** 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine), 상태기반 정비(Condition Based Monitoring), 보일러 튜브(Boiler Tube), 결함진단(Defects Diagnosis), 음향방출(Acoustic Emission)

## I. 서론

화력발전소의 중요설비인 순환유동층 보일러는 약 3만개소의 튜브가 배치되어 연소열을 고온고압의 스팀으로 변환한다. 최근 설비들의 노후화로 인해서 불시정지 빈도수가 증가하고 있으며, 이는 막대한 경제적, 사회적 손실로 이어지고 있다[1] 따라서 보일러 튜브의 예측 불가능한 누설사고를 예방하기 위해 상태기반 정비(CBM, Condition-Based Maintenance)를 적용할 필요성이 있다.[2-6]

기존의 상태기반 정비는 센서, 신호 수집장치, 신호분석단계를 거쳐 최종적으로 전문가의 판단에 의해 설비의 상태가 결정된다. 이와 같은 시스템은 비전문가인 작업자가 즉각적으로 대응하기 어려운 문제점이 있어서 설비의 재가동 시간이 늦춰지고 있다.

순환유동층 보일러 튜브 결함진단을 위한 여러 센서들 중 음향방출 센서는 배관, 파이프, 저장 탱크 등의 조기 결함 검출에 사용된다. 신호 분석단계에서는 시간영역, 주파수 영역 분석 등을 사용한다. 하지만 이런 단계에서도 전문가가 필요하다는 단점이 존재하기 때문에 전문가의 도움 없이 상태를 진단하기 위해서는 진단 알고리즘이 필요하다. 특히, 진단 알고리즘 중 하나인 SVM은 계산량이 적기

때문에 소형 진단 장치에 적용하기에 적합하다.

본 논문에서는 SVM을 이용한 음향방출 기반의 보일러 튜브 진단장치를 개발하여 비전문가들도 즉각적으로 대응할 수 있게 하고자 한다. 또한, 성능 검증을 위해 실제 순환유동층 보일러 튜브의 모사 테스트베드를 제작 및 이를 이용하여 실험하였다. 테스트 결과 개발된 진단장치는 높은 정확도로 순환유동층 보일러 튜브에 대한 결함상태를 찾아 낼 수 있었다.

## II. 보일러 튜브 진단 시스템

### 1. 진단장치

#### 1.1 진단 알고리즘

본 논문에서는 그림 1과 같이 머신러닝 기법 중 하나인 SVM을 이용하여 진단 알고리즘을 구현하였다.

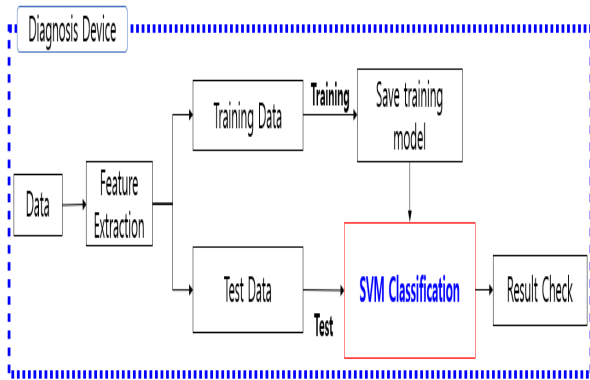


Fig. 1. A diagnosis algorithm using SVM

### 1.2 진단장치 프로그램 흐름도

SVM을 이용한 진단장치의 진단 프로그램 흐름도는 그림 2와 같다.

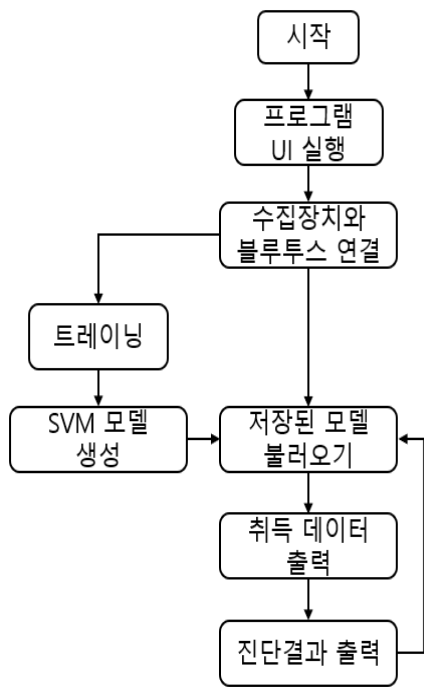


Fig. 2. A flow diagram of the diagnosis process

### 2. 실험 방법

음향방출 센서를 그림 3과 같이 웨이브 가이드 끝단에 부착한 후 정상상태와 0.6mm 핀홀 상태에 대해서 각각 30회 취득 실험을 수행하였고, 이는 SVM 모델을 생성하기 위한 학습용 데이터로 사용되었다. 그 후 생성된 모델의 성능 검증을 위해 동일한 운전조건에서 정상상태로 0.6mm 핀홀 상태에 대해서 각각 10회 취득하여 진단결과를 확인하였다. 10회의 정상상태와 0.6mm 핀홀 상태에 대해서 데이터 취득 후 진단한 결과, 100%의 진단 정확도를 보였다.

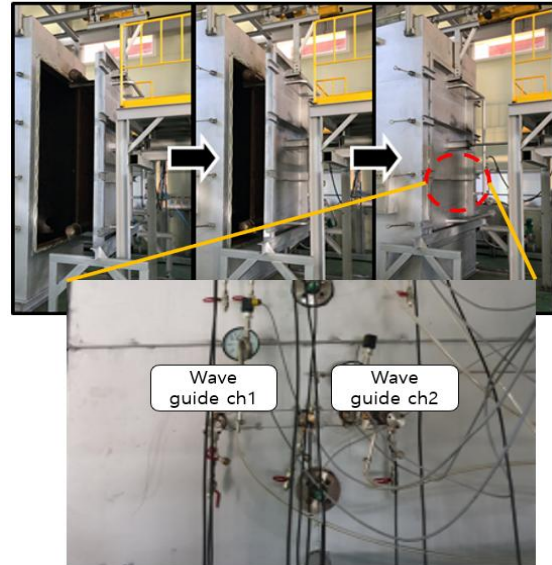


Fig. 3. A boiler tube testbed

### III. 결론

본 논문에서는 순환유동층 보일러 튜브 결함 진단을 위한 진단장치를 개발하였고, 모사 테스트 베드를 활용하여 실험을 수행하였다. 실험결과 100%의 진단 정확도를 보였다.

### ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161120100350).

### REFERENCES

- [1] S.-B. Lee, and S.-M. Roh, "Developing an early leakage detection system for thermal power plant boiler tubes by using acoustic emission technology," Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 36, No. 3, pp. 181-187, 2016.
- [2] 김종면, 김재영, "설비 상태 진단 방법 및 장치", 특허등록 제 10-1818394호, 2018년 1월 8일.
- [3] 김종면, 김재영, "기계 결함 진단 방법 및 장치", 특허등록 제 10-1797402호, 2017년 11월 7일.
- [4] 김종면, 김재영, "확률밀도 기반의 고장 진단 방법 및 장치", 특허등록 제10-1797400호, 2017년 11월 7일.
- [5] 김종면, 김재영, "기계 고장 진단 방법", 특허등록 제 10-1808390호, 2017년 12월 6일.
- [6] 김종면, 김재영, "기계 상태 모니터링 장치 및 방법", 특허등록 제10-1745805호, 2017년 6월 2일.