4차 산업혁명 기술을 적용한 원자력발전소 감시 및 진단 기술 개발 현황

김대웅
한국수력원자력 중앙연구원 책임연구원

· 충남대 기계공학(열유체 및 제어) 박사

· 한전 한울원자력본부 발전부
· 한전 전력연구원 원자력연구소
· 한수원 설비기술연구소

• 수행 업무
· APR1400 유체계통설계기술 개발
· 원전 온라인 모니터링센터 및 조기경보시스템 구축
· 한수원 4차 산업혁명 기술 적용(감시 및 진단 분야)
· 설비 자동예측진단기술 개발(예측진단기술그룹장)

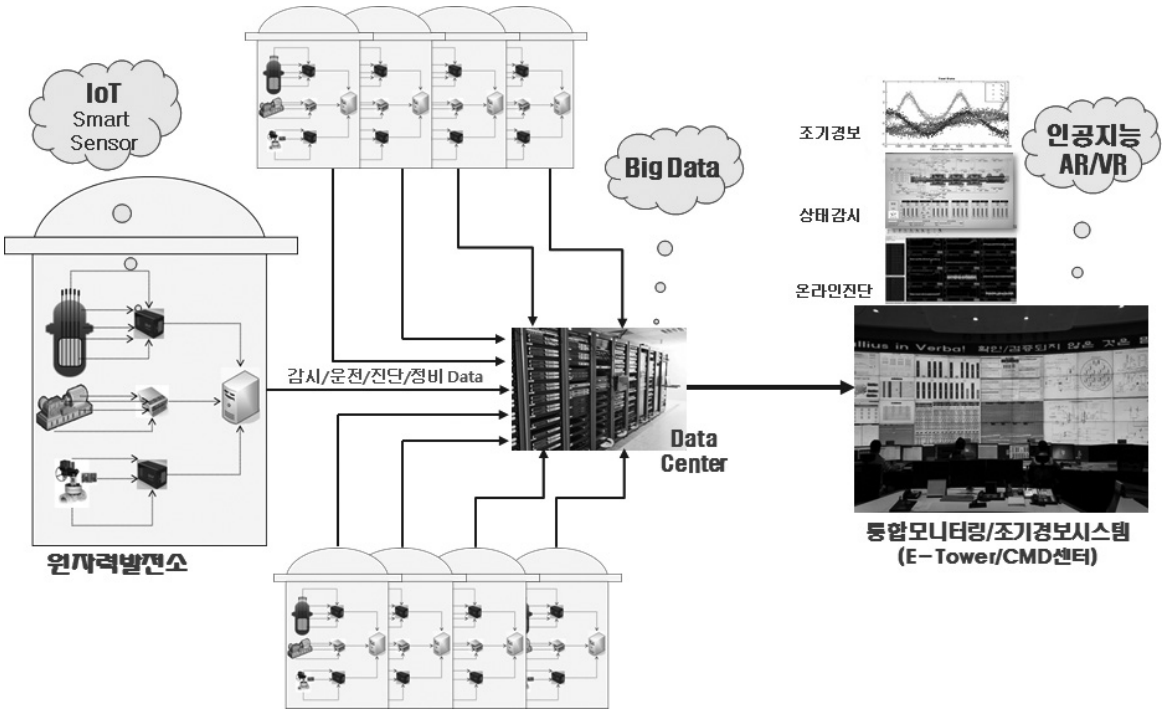
4차 산업혁명 기술이 전 세계적으로 확산되고 있는 가운데 발전산업 분야에도 IoT, 인공지능, 빅데이터 등 4차 산업 기술을 적용한 신기술 개발이 활발하게 추진되고 있으며, 특히 원격지에서 설비를 감시하고 진단하는 분야의 기술 선점 경쟁이 치열한 상황이다.

미국의 GE는 빅데이터 Cloud System인 Predix를 개발하고 전 세계 플랜트 산업체를 대상으로 활발하게 마케팅을 펼치고 있으며, 지멘스(마인드스피어)와 에머슨(디지털 에코시스템)에서도 스마트 플랜트, 디지털 인텔리전스 개념의 기술을 출시하고 있다.

〈그림 1〉은 발전소에 4차 산업혁명 기술이 적용되는 개념도를 보여주고 있는데, 결국 이런 기술들을 이용하여 발전소의 설비를 원격지에서 통합 감시하고 진단함으로써 발전소의 운영 효율성과 안전성을 확보하는 데 그 목적이 있으며, 각 기술들을 실제로 유용하게 구현하고, 해당 발전소의 특성을 잘 반영하여 최적화 시키는 것이 성공의 관건이라고 할 수 있을 것이다.

온라인 통합 모니터링 및 진단 시스템

한국수력원자력(주)에서는 원자력발전소의 안전성과 효율성을 향상시키기 위해 IoT, 인공지능, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술을 적용한 원전 주요 설비의 온라인 통합 모니터링 및 진단 시스템(Centralized Monitoring

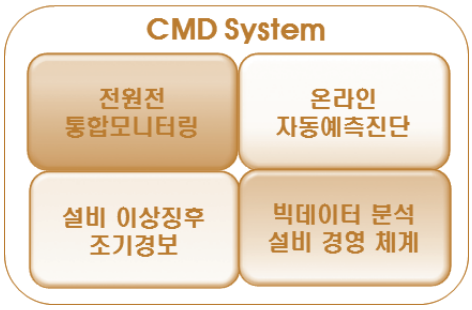


〈그림 1〉 온라인 통합 모니터링 시스템 개략도

and Diagnosis System) 구축을 추진하고 있다.

CMD시스템은 전국에 산재해 있는 원자력발전소의 운전 상황을 실시간 감시하는 통합 모니터링 기능, 발전소 주요 계통 및 설비의 이상 징후를 조기에 감지하는 조기 경보 기능, 온라인으로 설비를 실시간 진단하고 상태를 예측하는 자동 예측 진단 기능, 그리고 감시/진단/정비 데이터를 통합하여 설비의 단기 및 중장기 추세를 분석하는 통합 빅데이터 분석 기능 등 크게 4가지 기능을 수행하도록 설계되었다.(〈그림 2〉 참조)

통합 모니터링 기술은 여러 곳에 산재해 있는 발전소의 운전 상황을 원거리에 있는 중앙감시센터에서 온



〈그림 2〉 CMD 시스템의 기능

〈그림 3〉 원격지 통합모니터링센터

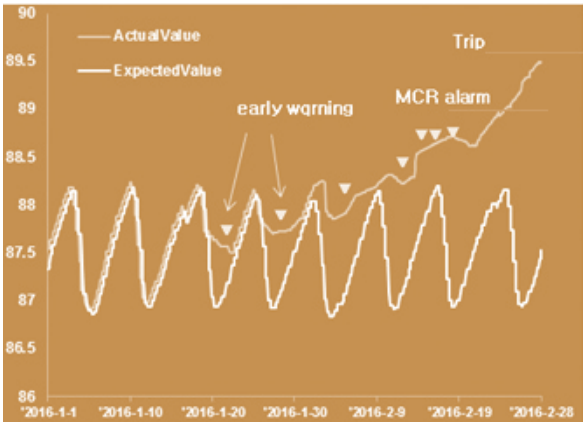
라인으로 실시간 감시하고 통제하는 기술로서, 시스템을 구축하기 위해서는 발전소 계통 및 설비로부터 데이터를 취득, 저장 및 전송하는 기술과 다수 호기에서 전송된 대량의 데이터를 효율적으로 관리하고 처리하기 위한 빅데이터 기술, 다수 호기 상황을 효과적으로 감시하기 위한 다양한 감시 화면과 컨텐츠의 개발이 필요하다.(〈그림 3〉)

특히 원자력발전소의 경우 데이터를 취득하고 발전소 외부로 전송하는 과정에 설비에 영향을 주지 않고, 외부의 침입이나 해킹으로부터 방어하기 위한 사이버 보안 대책이 완벽하게 수립되어야 한다. 이를 위해서 설비로부터 데이터를 취득 및 전송 시 물리적 단방향 데이터 전송이 가능한 장치가 필수적이다.

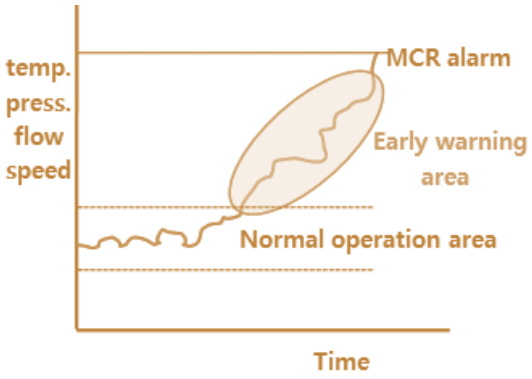
기존의 발전소 이상 상태 경보 기술이 감시 변수의 정상 운전값을 기준으로 정상 운전값에서 일정값 이상 벗어나면 경보를 발생시키는 설정치 기반 경보 기술인 것에 반해 조기 경보 기술은 인공지능과 패턴 학습 개념을 적용한 최신 경보 기술이다.

조기 경보는 각 감시 변수들의 정상 상태 운전 패턴을 사전 학습하고 유사 패턴 변수들을 그룹핑한 결과를 바탕으로 각 감시 변수들의 정상 상태 예측값을 계산하고 현장에서 측정되는 값과 실시간으로 신호 패턴을 비교하여 현장 측정값의 패턴이 예측값의 패턴을 벗어나면 경보를 발생하는 기술이다.(〈그림 4〉)

조기 경보 기술은 기존 설정치 기반 경보 기술에 비해 설비의 미세한 이상 징후를 수 개월 또는 수 일 전에 찾아낼 수 있는 기술로 기존의 설정치 기반 경보 기술의 제한점을 보완할 수 있으며(〈그림 5〉), 특히 원자력발전소의 경우 설비의 미세 이상 징후를 사전에 감지하여 설비의 고장을 방지하고 정비 계획을 사전에 수립할 수 있어 비계획 정비에 의한 경제적 손실을 절감할 수 있는 장점이 있다.



〈그림 4〉 인공지능 패턴 학습 기반 조기 경보



〈그림 5〉 조기 경보 시스템의 감시 범위

〈표 1〉 수동 진단과 자동 예측 진단 비교

수동 진단	자동 예측 진단
• 단일 기기 수동 진단/분석 • 진단 장비 설치/해체 • 신호 분석/판단 어려움 • 경험 많은 전문가 필요	• 다수기기 통합 비교 진단 • 온라인 원격 진단 • 인공지능 자동 분석/판단 • 경험 낮아도 진단 가능

기존의 진단은 설비의 이상 또는 고장이 발생한 후 원인 분석을 위한 진단이 대부분이었고, 진단 시마다 현장에 진단 장비를 설치해야 하는 번거로움이 있었다.

자동 예측 진단 기술은 IoT, 빅데이터, 인공지능이 융합된 진단 기술로서 원격지 중앙진단센터에서 온라인으로 실시간 진단이 가능하며, 인공지능 알고리즘을 적용하여 진단을 자동으로 수행하고 결과를 알려주게 된다.

진동 등 진단 신호를 분석하여 설비의 이상 유무를 판단하는 것은 상당한 전문 지식과 신호 분석 기술이 필요하며 기존 진단 시스템의 경우 10~20년 이상 경험이 있는 전문가가 직접 수동으로 진단 신호를 분석하고 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 설비의 고장 유무를 판단하도록 되어 있는 것에 비해 자동 예측 진단은 인공지능이 진단 신호를 분석하고 진단 결과를 도출하도록 개발되어 경험이 낮은 사람도 진단 결과를 알 수 있게 해주는 장점이 있다.

통합 빅데이터 분석 기술은 다수 호기, 다수 설비의 감시/진단/정비 데이터를 통합하여 설비에 대한 중장기 추세와 고장 시기 및 수명을 예측하는 기술이다.

〈그림 6〉 한수원 CMD센터

앞에서 기술한 온라인 통합 모니터링, 조기 경보 및 자동 예측 진단 시스템을 구축하는 과정에 원자력발전소의 감시/진단/정비 관련 데이터들이 수집 및 축적되는데, 이러한 데이터들을 상호 융합하여 설비의 상태와 향후 추세를 정확하게 분석하기 위한 기술이다.

대량의 데이터를 분산 처리 및 저장하고 목적에 맞는 데이터를 추출하게 해 주는 빅데이터 기술과 설비 진단에 의미 있는 특징을 추출하고 분석하기 위한 인공지능 기술이 적용된다.

한수원의 시스템 구축 현황

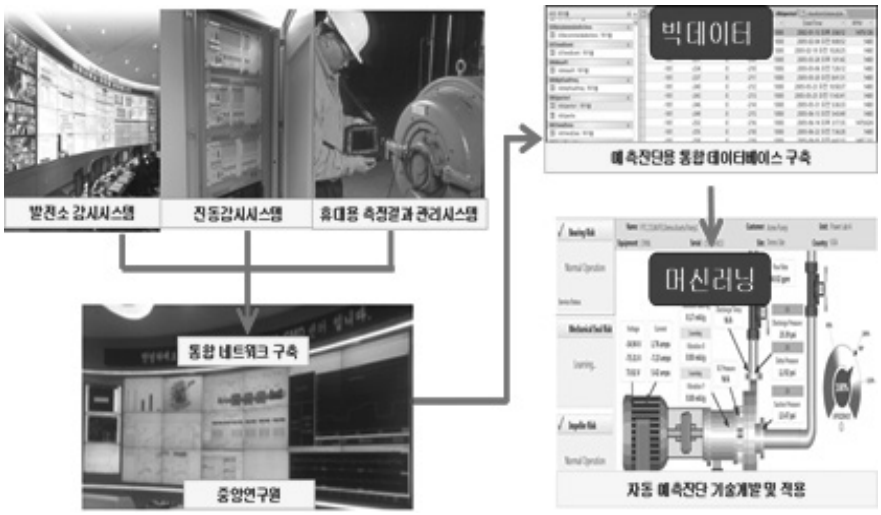
한국수력원자력에서는 전국에 산재해 있는 원자력발전소의 효율적인 관리와 설비의 고장 및 불시정지를 예방하기 위해 4차 산업혁명 기술을 적용한 온라인 통합 모니터링 및 예측 진단 시스템 구축을 착수하였다.

1단계 과제로 24개 원자력발전소의 주요 계통과 설비를 통합 감시하기 위한 온라인 통합 모니터링 및 조기 경보 시스템을 구축하였으며(2013.6~2016.5) 현재 경주 본사 원전종합상황실에서 24시간 운영을 통해 설비의 미세한 고장 징후를 사전에 예방하고 있다.

2단계 과제로 원자력발전소 주요 설비를 대상으로 온라인 자동 예측 진단 기술 개발을 2017년 8월에 착수하였으며, 2018년 2월 세계 최초로 원자력발전소 핵심 설비의 고장을 사전에 예측할 수 있는 예측 진단용 빅데이터 시스템을 구축하였다.

예측 진단용 빅데이터 시스템은 IoT(Internet of Thing) 기술을 활용 24개 발전소별로 분산 운영중인 감시/진단 시스템을 온라인으로 연계해 터빈, 냉각수 펌프 등 원전 핵심 설비를 통합 진단할 수 있는 인프라를 제공하게 된다.

한국수력원자력은 2018년 8월까지 핵심 설비 240



〈그림 7〉 인공지능/빅데이터 기반 자동 예측 진단 개념도

대에 대해 빅데이터와 인공지능 기술을 융합한 자동 예측 진단 시스템을 구축하고 대전에 위치한 중앙연구원에서 예측진단센터를 운영할 예정이다.(〈그림 6〉).

이후 2020년까지 전 원자력발전소에 설치된 약 300종류의 핵심 설비 16,000대에 대해 무선 센서 적용, 3D 가상 설비 구현을 통한 고장 분석 등이 추가된 자동 예측 진단 시스템 확대 구축이 수행될 예정이다.(〈그림 7〉).