

로봇스캐너를 이용한 수냉벽 튜브 검사용 원격 센서

길 두 송 책임연구원 / 한전전력연구원 발전기술연구소
doosong.gil@kepcoco.kr

보일러를 구성하는 요소 중 하나인 수냉벽 튜브는 외부의 고온 연소 가스로 물을 증기로 가열하는 튜브군의 하나로써, 보일러 발전에 중요한 역할을 한다. 이 수냉벽 튜브는 외부의 고온 연소 가스로 인해 부식 및 마모가 쉽게 일어나며, 특히 유동층 보일러 수냉벽 튜브의 경우, 고온 가스 및 유동매체로 인해 그 정도가 더욱 심하게 일어난다.

수냉벽 튜브에 마모 및 부식이 일어나면 누수가 발생하

고, 누수로 인한 2차 피해도 발생될 수 있으며, 발전 효율이 현저히 떨어지게 되기 때문에 수냉벽 튜브의 유지 보수는 매우 중요하다. 이미 해외에서는 비파괴 평가(Non-Destructive Evaluation, NDE)를 이용한 수냉벽 튜브에 대한 검사 및 평가와 관련된 연구들이 활발히 진행 중이다.

그중 초음파 탐상(Ultrasonic Testing, UT)과 와전류 탐상(Eddy Current Testing, ECT)이 주로 사용되고

표 1. 유동층 보일러 고장 통계

구분	1호기	2호기
고장 건수	10	2

표 2. 유동층 보일러 정비 이력

정비 내용	1호기	2호기
RH 1 Outlet header stub 교체	2011년 09월	2011년 11월
수냉벽 튜브 예방정비	2013년 01월	
수냉벽 튜브 예방정비	2013년 04월	
Front 수냉벽 튜브 교체	2013년 10월(전량)	2014년 10월(39열)

로봇스캐너를 이용한 수냉벽 튜브 검사용 원격 센서

표 3. 유동층 보일러 고장 이력

호 기	고장 위치	내 용	고장 건수
1	RH 1 Out HDR	Stub 용접부 균열	2
1	W/W 튜브	Tube 마모 파열	5
1	Cyclone Tube	내화물 손상으로 튜브 마모	3
2	Eco Junc. HDR	Stub 용접부 균열	1
2	SH3 Tube	Lug 용접부 균열	1

있으며, 아직까지 국내에서 제대로 된 수냉벽 튜브의 유지보수가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 현재 국내에서 수냉벽 튜브를 검사하기 위해 사용되는 것은 육안검사와 튜브 두께 측정 검사가 있다. 하지만 이러한 검사방법은 접촉식으로서 접촉 압력에 따라 검사 결과가 달라지기 때문에 자동화가 곤란하고, 특성상 표면치리를 해야 하는 번거로움이 있다. 그렇기에 자동화가 가능하며, 빠른 검사 속도를 가지고, 정확한 평가를 내릴 수 있는 검사 기법의 개발이 시급한 상황으로 대두되었다.

1. 서론

유동층을 이용한 연소방식은 비교적 미세한 입자층의 아래쪽에서 고속의 공기를 불어넣으면 입자가 위로 뜨게 되어 입자층 전체가 비등 상태와 비슷한 운동을 하게 되

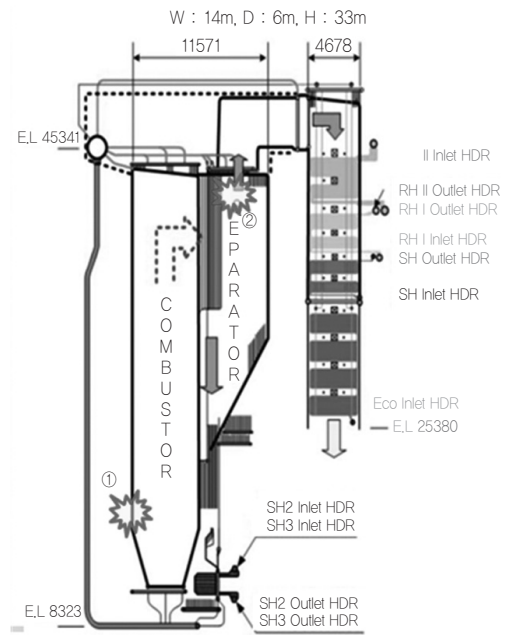


그림 1. 유동층 보일러 도면

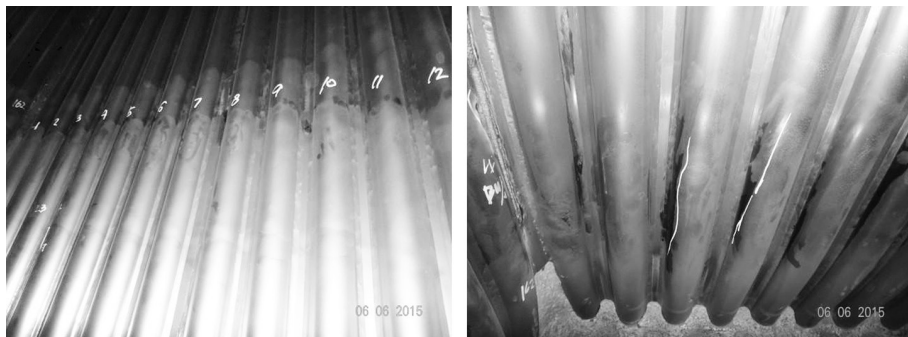


그림 2. 유동층 보일러 수냉벽 튜브 감육

다양하게 응용되는 산업용 센서 기술 ①

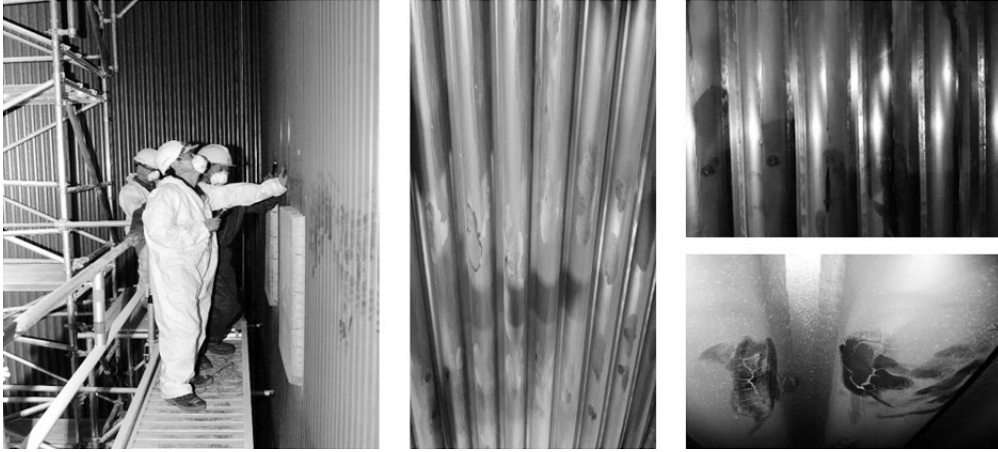


그림 3. 유동층 보일러 현장 적용을 위한 자료 조사



그림 4. 유동층 보일러 수냉벽 튜브 원격 육안검사 사전 시험

는데 이것을 유동층이라 하며, 고체연료의 연소에 응용한 것이다.

노하부에 설치된 공기분배판 위에 유동물질인 모래, 석회석, 석탄회 등을 충전 후 밑에서 공기를 보내줌으로 유동물질과 석탄이 혼합되어 뜨게 하여 형성되며, 기체와 고체의 혼합층으로 구성 후 연소가 진행되나, 유동물질인 모래로 인하여 노 내의 수냉벽 튜브가 타 발전소에

비해 빨리 마모되는 단점을 가지고 있지만, 우리나라의 경우에는 도입 초기여서 육안점검을 제외하고는 아직까지 이에 대한 대처방안이 없는 상태이며, 표 3에서 보는 바와 같이 2011년부터 2014년까지 약 3년간 국내 유동층 발전소 보일러 고장 통계를 보면 총 12건의 고장 사례 중 수냉벽 튜브의 마모와 파열로 인해 5건의 고장이 발생되었다.

로봇스캐너를 이용한 수냉벽 튜브 검사용 원격 센서

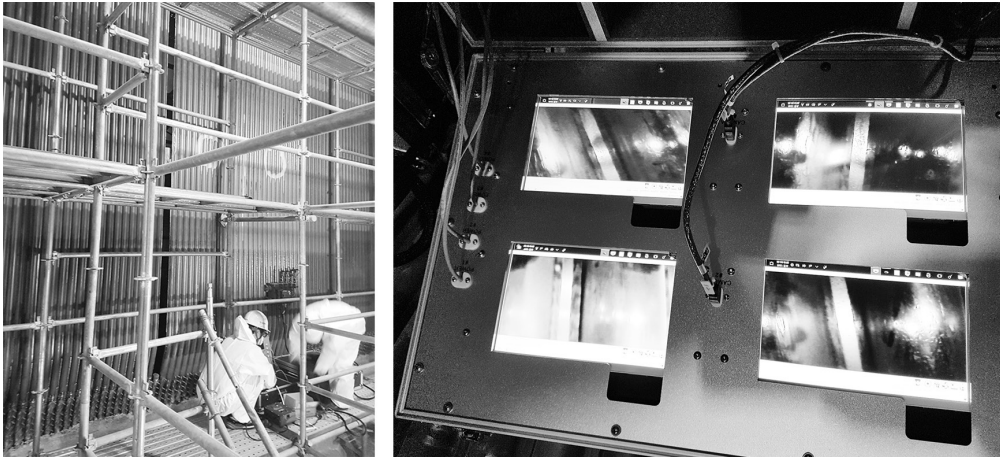


그림 5. 유동층 보일러 수냉벽 튜브 원격 육안검사 사전 시험 결과

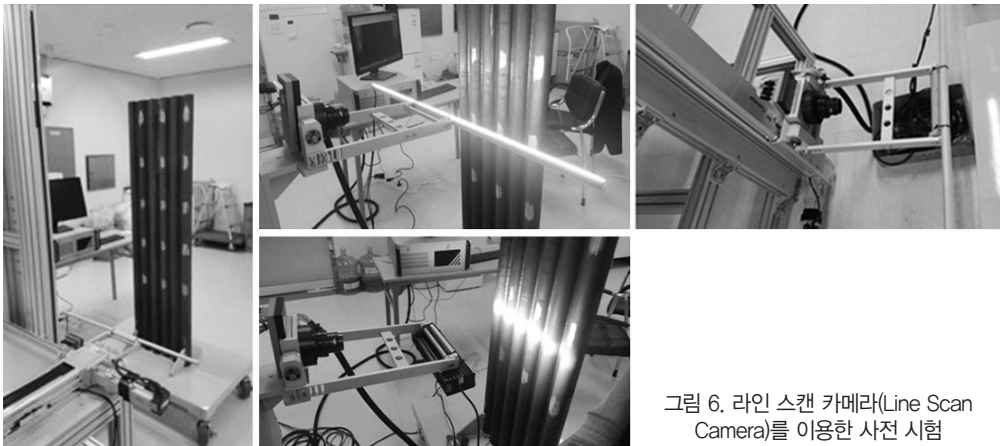


그림 6. 라인 스캔 카메라(Line Scan Camera)를 이용한 사전 시험

그림 1은 유동층 보일러의 도면을 나타낸 것으로서, 내화물 상단 약 2m 지점까지 전반적으로 마모가 심하게 발생되고 있는 상황이며, 튜브 및 튜브 사이의 용접부에서 국부적으로 깊게 파인 형상으로 감육이 발생하고 있다. 또한, 그림 2는 수냉벽 튜브 코팅부 상단(내화물 상부 약 2m)에서 발생된 마모 상태를 나타내고 있으며, 마모 부위를 그라인딩으로 갈아낸 다음 육성용접을 하고, 코팅처리를 하여 보수를 시행하고 있다.

2. 이론

(1) 현장 적용 사전 시험

현장 적용에 앞서 국내 화력발전소 유동층 보일러 계획예방정비 기간 중 수냉벽 튜브에 대한 현황 조사를 우선적으로 수행하여 튜브의 외면 및 내면 상태 검사를 위한 현장 사전 점검을 수행하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

다양하게 응용되는 산업용 센서 기술 ①

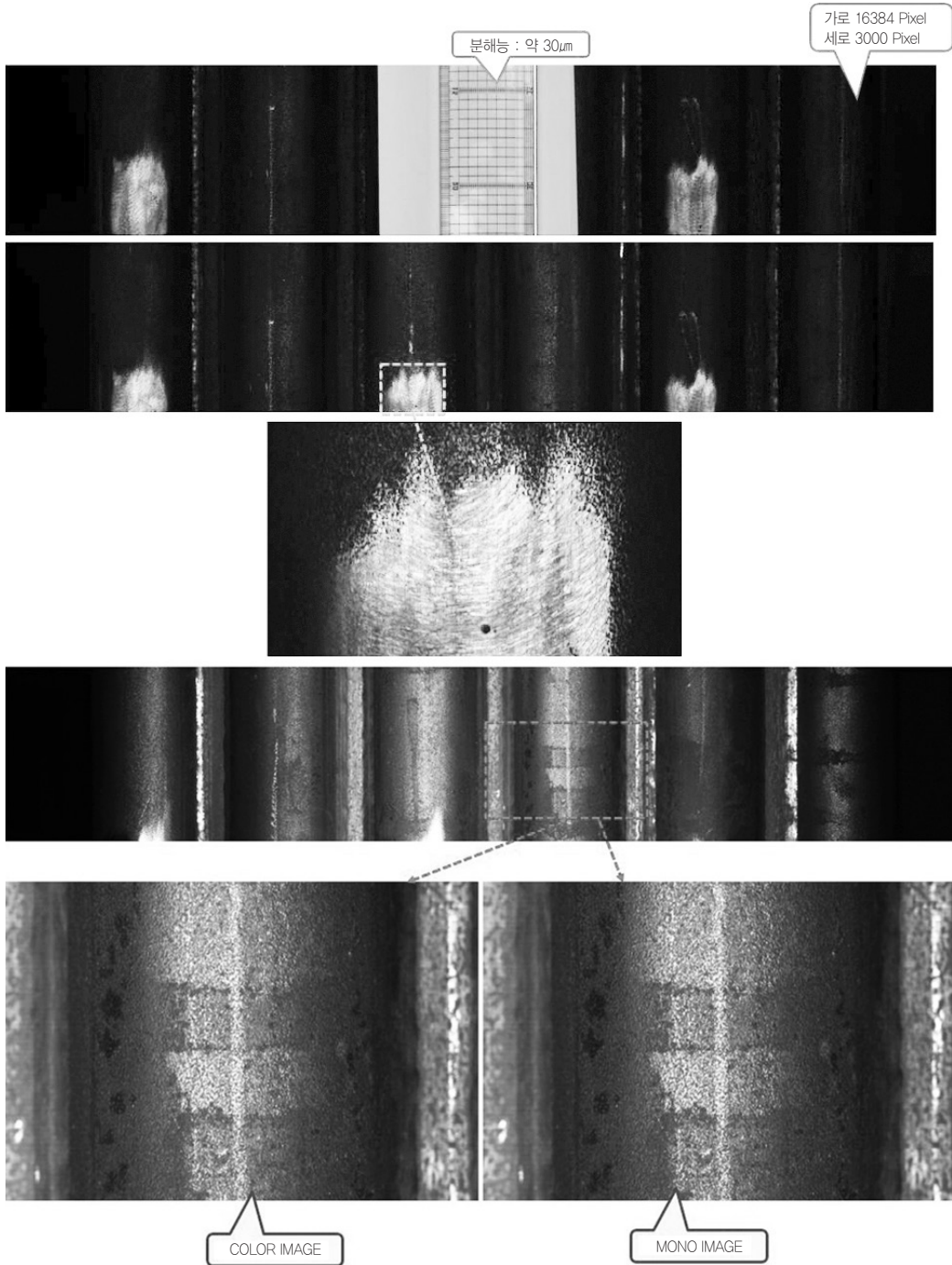


그림 7. 라인 스캔 카메라(Line Scan Camera)를 이용한 시험 결과

로봇스캐너를 이용한 수냉벽 튜브 검사용 원격 센서

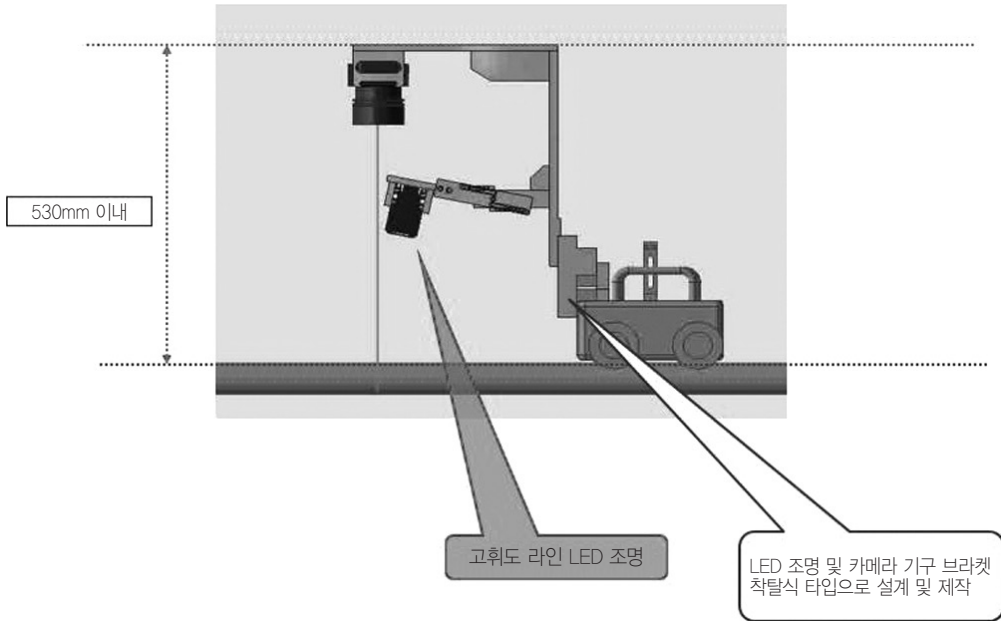


그림 8. 육안검사장치를 이용한 수냉벽 튜브 검사 원리

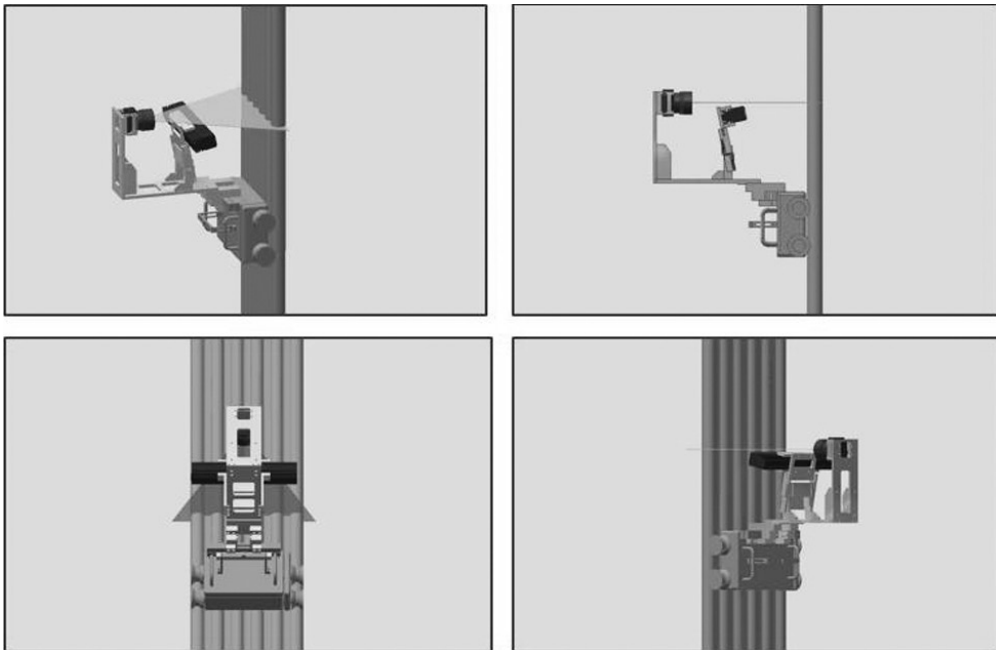


그림 9. 수냉벽 튜브 육안검사장치 기구설계 3D 개념도

다양하게 응용되는 산업용 센서 기술 ①

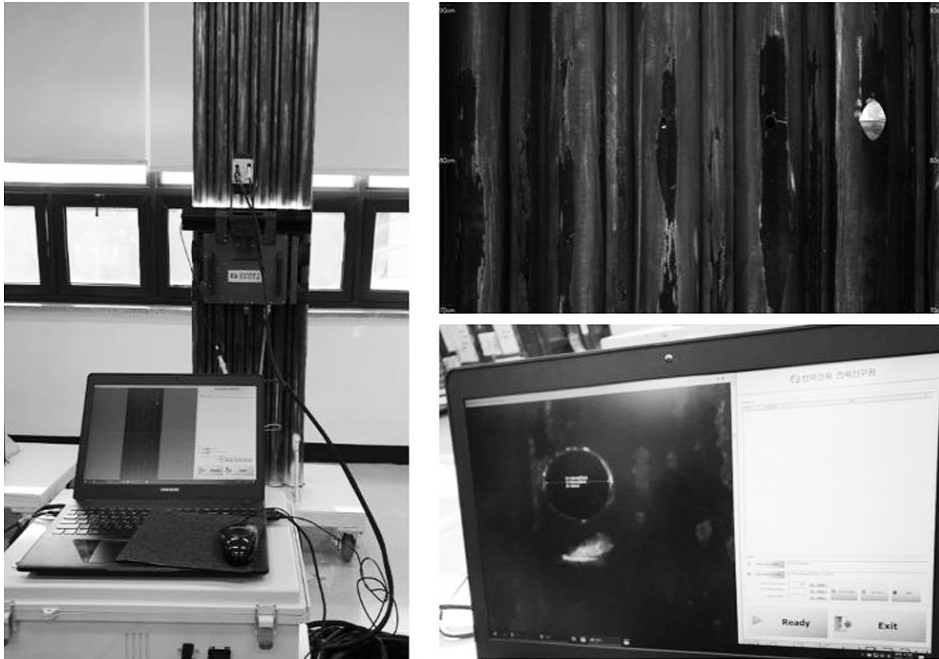


그림 10. 수냉벽 튜브 사용재를 이용한 사전 시험

총 2회에 걸쳐 현장 적용을 위한 사전 시험을 진행하였으며, 1회차에는 튜브의 외면 상태 검사를 위한 로봇 스캐너를 자체 제작하여 고해상도의 카메라를 장착 후 한 번에 4열의 튜브까지 검사를 수행할 수 있도록 구성하였으며, 그 결과 및 현장 적용 대상 튜브에 대한 사양을 그림 4에 나타내었다.

또한, 그림 5에서는 원격 육안검사장치를 이용한 수냉벽 튜브의 검사 결과를 나타내었으며, 연구원 내 시험실에서 현장 상태와 유사한 인공 결합 튜브에 대한 신호 취득 시험을 선행 후, 이를 기반으로 발전소 현장에 대한 사전 시험을 수행하였다. 현장에서는 수냉벽 튜브 일체를 신재 튜브로 교체하는 작업을 진행하고 있어 신호 결과 또한 매우 양호한 상태임을 알 수 있었다.

(2) 검사장치 보완

국내 화력발전소 유동층 보일러 수냉벽 튜브에 대한 원

격 육안검사장치를 이용한 현장 적용 사전 시험 결과로 로봇스캐너의 구동상태는 이상이 없었으나, 보일러 내의 환경이 연구원 실험실의 환경과는 달리 어두워서 당초에 기대할 만한 해상도를 얻지 못하여 이를 보완하기 위한 방법을 구상하였으며, 그 결과 라인 스캔 카메라(Line Scan Camera)를 이용한 검사 방법을 채택하여 이와 연관된 프로그램을 개발하고, 한 화면에 최대 5개의 튜브를 볼 수 있도록 구성하여 해상도와 검사 결과 판독에 있어 편의성을 제공할 수 있는 기회를 마련하기 위한 제작에 착수하였다. 사전 시험 및 그 결과를 그림 6과 그림 7에 나타내었으며, 라인 스캔 카메라(Line Scan Camera)의 검사 원리와 개념설계도를 각각 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 또한, 수냉벽 튜브 사용재를 이용한 실험실 내 사전 시험 및 현장 적용 결과를 그림 10과 그림 11에 나타내었다.

로봇스캐너를 이용한 수냉벽 튜브 검사용 원격 센터

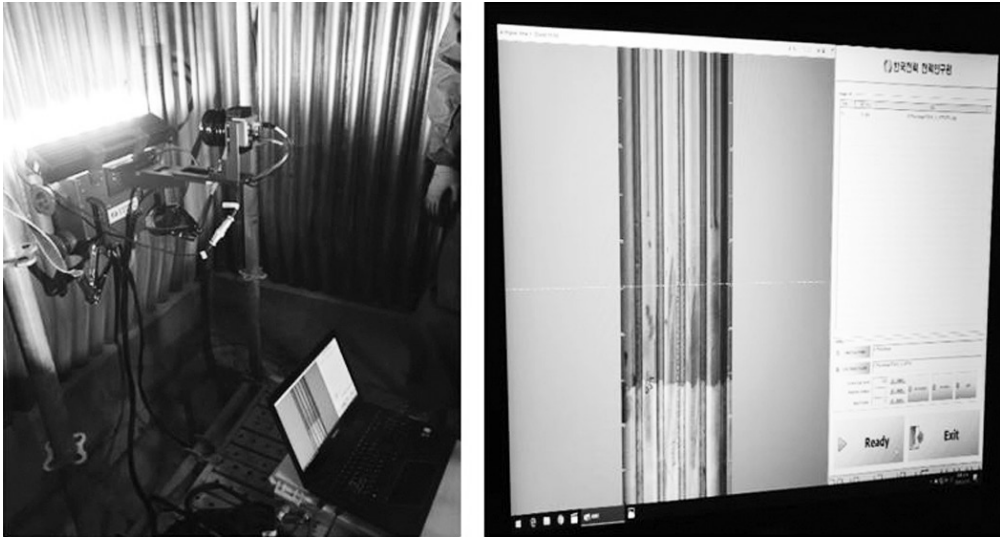


그림 11. 수냉벽 튜브 현장 적용 및 시험 결과

5. 결론

유동층 보일러 수냉벽 튜브의 외벽 검사용 원격 센터 제작을 위해 원격장 와전류 탐상(RFECT)을 위한 발신자(Exciter) 센서 설계/제작과 시스템 구성에 관한 연구를 진행하였으며, 그 결과 통상적인 원격장 와전류 탐상(RFECT)과는 약간 다르지만 거의 유사한 형태의 원격장 와전류 탐상(RFECT) 신호를 얻을 수 있었다.

또 튜브와 센서 간 간격(Lift-Off), 발신자(Exciter) 센서 형상, 전류의 세기, 권선수 및 발신자(Exciter) 센서의 크기 등 원격장 와전류 탐상(RFECT) 신호에 영향을 줄 수 있는 주요 인자들에 대해 비교를 하여 유동층 보일러 수냉벽 튜브 외벽을 검사할 수 있는 최적의 발신자(Exciter) 센서를 선별하였다.

이렇게 선별된 발신자(Exciter) 센서를 직접 제작하였으며, 이 센서와 연동되는 휴대용 형태의 스캐너를 직접 제작하였다. 또한, 제작된 스캐너와 연결되어 원격장 와전류 탐상을 진행할 수 있는 시스템을 구성하였으며, 국내 발전소 계획예방정비 기간 중 유동층 보일러 수냉벽 튜브의 외벽에서 현장 적용 시험을 진행하였다.

추후에 반지름(Radial), 원주(Circumferential) 방향의 자이언트 마그네틱(GMR) 센서와 코일 센서를 사용하여 원격장 와전류 탐상 신호를 수집하거나, 발신자(Exciter) 센서의 향상을 통해 좀 더 작은 결함까지 검출할 수 있을 것이라 판단되며, 실제 유동층 보일러 수냉벽 튜브 검사에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.