



500MW 화력발전용 통합제어시스템 국산화 개발 및 적용



이 주 현

KEPCO 전력연구원 그린에너지연구소 책임연구원

1. 개 황

전력 수요의 증대와 첨단 IT 기술의 진보로 최근 발전 플랜트는 점점 대형화 및 고효율화를 도모하고 있다.

이에 따라 다양한 운전 조건인 발전소 기동 및 정지 시 복잡한 운전 조작을 안전하고 경제적으로 수행할 수 있도록 하기 위하여 발전플랜트 전체 운영 및 감시를 원활하게 하기 위한 통합 제어와 자동화가 요구되고 있다.

기존의 발전소 제어시스템은 보일러, 터빈 및 발전기 제어시스템이 각 설비별로 개별적으로 운영되어 유지보수의 어려움과 설비운영의 복잡성이 내재되어 있었다. 이에 동일한 하드웨어의 제어를 가진 통합된 제어시스템의 개발을 통해 운전의 효율성 향상 및 발전소 제어시스템의 국내 기술자립이 절실히 필요하게 되었다.

한전 전력연구원에서는 두산중공업, 한국서부발전과 공동으로 전력산업원천 기술개발 사업으로 화력발전용 통합제어시스템을 국산기술로 개발하고, 2012년 11월에 500MW 표준석탄화력 발전소인 태안화력 1호기에 성공적으로 실증, 적용하였다.

발전소의 핵심 설비인 발전소 제어시스템은 지금까지 외국기술에 의존하여 설비 운영에 어려움이 많았다.

이번에 국산화한 통합제어시스템은 첨단 IT 기술을 기반으로 발전소 보일러, 터빈 및 발전기 각 계통별 제어시스템을 단일 플랫폼으로 통합 제어와 감시가 가능한

시스템이다. 이러한 차별화된 기능으로 기존의 제어시스템에 비해 발전소 제어시스템의 운전, 관리 및 유지보수가 용이한 특징이 있다.

2. 현황

가. 국내외 연구개발 현황

발전소 제어시스템은 발전설비의 특성상 높은 신뢰성과 안정성을 보장해야 하는 까다로운 기술조건과 실적 중심의 진입장벽으로 인해 일부 외국 선진업체가 독과점 형태로 지배하고 있다. 또한 제어시스템 개발에 장기간 많은 연구인력 투입이 요구되고 있고 선진국에서도 원천기술의 이전을 회피하고 있어, 반드시 국내기술 확보가 필요한 실정이다.

국내 발전용량의 60% 이상을 점유하고 있는 기력 및 복합 화력발전소 제어시스템의 국산화 비율은 약 5%



[그림 1] 통합제어시스템 국산화 준공식

이하이다. 대용량 터빈 및 발전기 제어시스템의 경우 일부 제어기 하드웨어는 외산을 도입하고, 제어 프로그램을 자체 개발하여 적용한 사례가 있다. 특히 500MW 이상의 기력 발전소용 제어시스템에는 거의 모두 외국산 제어 시스템에 의존하고 있는 실정이다.

국의 기술개발 동향은 미국, 유럽, 일본 등 해외 선진 회사들은 차별화된 기술을 접목한 독자모델의 디지털 제어시스템을 보유하고 있다. 발전소의 보일러, 터빈 및 발전기의 개별 제어시스템 또는 일부 통합하여 제어할 수 있는 기술도 보유하고 있으며, 이를 상품화하여 공급하고 있다. 또한 발전소의 예측제어와 최적정비 및 효율 향상을 위하여 독자적인 소프트웨어 패키지를 제어시스템에 접목하여 보급하고 있다.

국내 발전 제어시스템의 연구개발 현황은 전력연구원을 중심으로 보일러, 터빈 및 발전기 제어시스템을 개별적으로 국산 개발하여 발전소에 적용하였다. 보일러 제어시스템은 전력연구원과 LS산전이 공동으로 개발하여 호남, 평택화력 등 총 7기에 적용, 운전 중에 있다.

터빈 제어시스템은 제어기 하드웨어는 신뢰성 있는 외국산을 사용하고, 소프트웨어를 개발하여 서천, 영동, 고리, 영광 원자력발전소 등 11기에 확대 적용하였다. 발전기 제어시스템은 전력연구원이 독자적인 기술로 중소용량에서 대용량까지 다양한 모델을 개발, 실용화하여 울산, 서천, 고리, 영광 원자력 디젤발전기 등 총 90여기에서 정상적으로 운전되고 있다. 또한 두산중공업은 전기연구원 및 전력연구원과 공동으로 개발한 발전기 제어시스템을 삼천포화력과 원자력발전소에 20여기 이상 적용하여 정상 운전 중에 있다.

지금까지는 보일러, 터빈 및 발전기 제어시스템을 개별 시스템으로 국내기술로 개발하여 적용하였으나,

현재 기술개발의 동향은 발전소 보일러, 터빈 및 발전기 제어시스템을 통합하여 제어하고 감시하는 기술 추세이다. 이를 통해 다양한 운전정보를 실시간으로 공유 및 활용하여 발전설비의 효과적인 제어와 운전효율 향상을 도모하고 있다.

나. 통합제어시스템 개요 및 특징

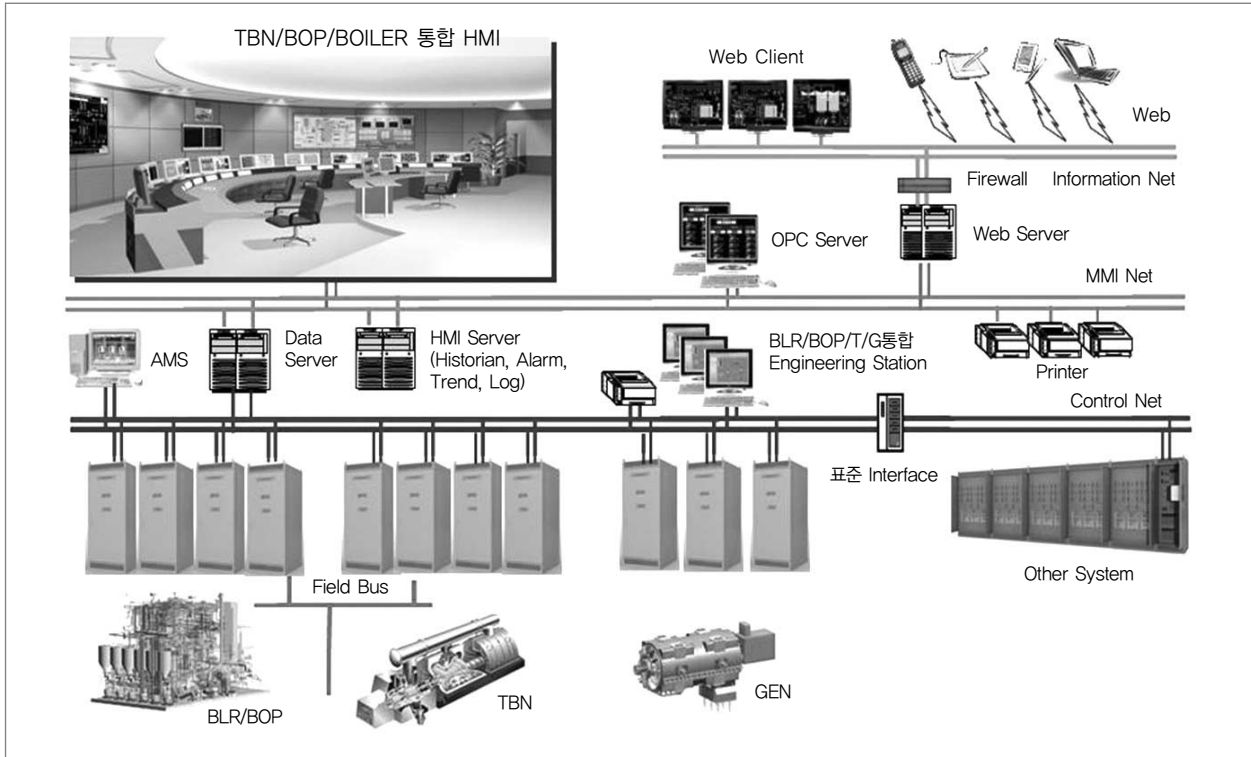
발전 설비가 안정적으로 연속 운전되기 위해서는 발전 운전원들이 보일러, 터빈, 발전기 등 주요 기기들의 운전 상태를 쉽게 인지하고 조작할 수 있는 제어설비가 필요하다.

이를 위해 순수 국내기술로 개발된 통합제어시스템은 500MW급 화력발전소의 보일러, 터빈 및 발전기를 통합하여 제어 및 감시하기 위한 시스템이다.

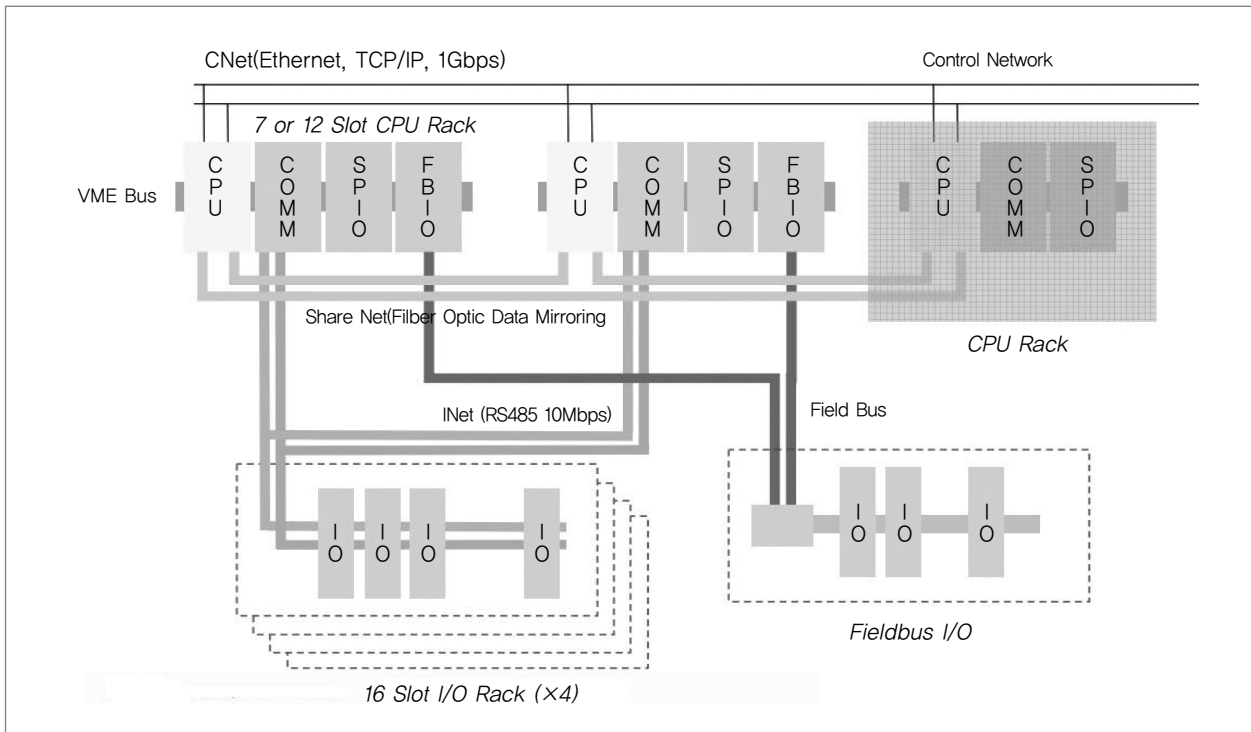
순수 국내기술로 개발된 통합제어시스템의 주요 특징은 보일러, 터빈 및 발전기 제어시스템을 동일한 하드웨어 플랫폼 기반으로 통합하고, 각 계통이 요구하는 입출력 신호와 제어기는 이중화 또는 삼중화 요건을 충족시킬 수 있도록 다중화로 구성하였다.

또한 고속의 입·출력 신호 처리, 타 시스템과의 통신 인터페이스 기능, 데이터베이스 관리 기능과 같은 시스템 구현 기능과 인간 공학적 운영환경에 따른 그래픽 감시/조작 기능, 각종 정보 처리 기능, 고속 대용량의 이력 데이터 저장 및 가공 기능과 같은 사용자 인터페이스 기능을 제공한다.

제어시스템의 구성은 크게 주제어기(CPU)와 입출력 모듈을 포함하는 제어 케비넷, 통신 네트워크, 데이터 서버 및 운전원 연계시스템(OIS), 엔지니어링 워크스테이션(EWS) 등으로 구성되었다.



[그림 2] 통합제어시스템 구성도



[그림 3] 통신네트워크 구성 및 통신 방식

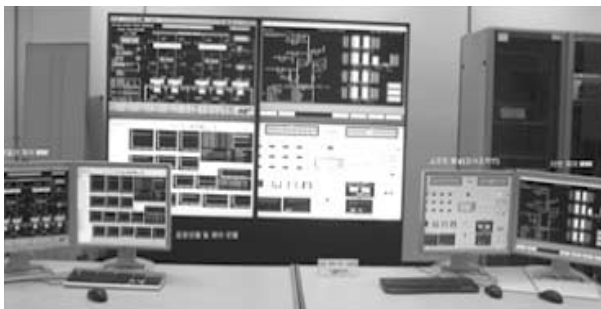
주제어기의 주요기능은 제어연산, 자체 진단, 다중화 관리 및 고장 처리, 운전명령 및 전송데이터 처리, 모듈 간 데이터 전송 및 통신 기능을 수행한다. 제어시스템을 구성하는 입·출력 모듈에는 아날로그, 디지털 입력 및 출력 모듈과 특수 모듈로 구성된다. 입출력 모듈은 리드백(Readback) 회로를 구성하여 현재 출력되고 있는 값을 다시 읽어 건전성을 주기적으로 점검 할 수 있도록 설계되었다. 또한 마이크로프로세서를 탑재하여 고속의 신호처리용 연산이 가능하며, 여러 종류의 고장진단 기능을 지원한다.

통신 네트워크의 구성은 제어기와 상위 시스템 서버와의 통신은 1Gbps Ethernet 기반의 TCP/IP 통신을 수행하는

C-Net으로 구성되어 있으며, 통신보드와 입·출력 보드와의 통신은 10Mbps 기반의 Serial 통신을 수행하는 I-Net 으로 구성되어 있다.

다. 개발시스템 성능 검증 및 발전소 적용

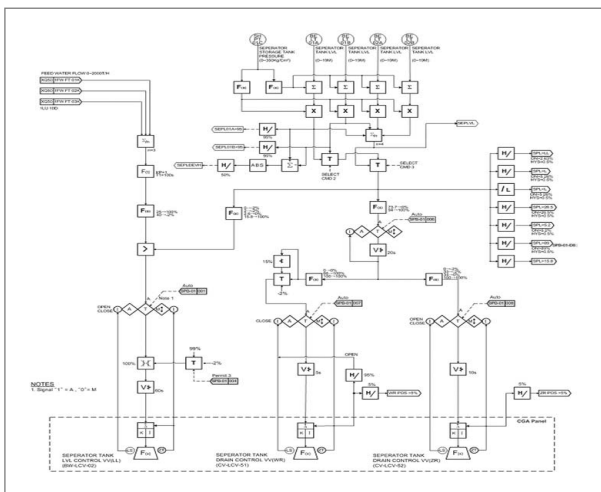
전력연구원은 지난 10여 년 동안 선행 연구와 개발품의 발전소 실용화 과정에서 축적된 제어시스템 개발 기술과 발전소 현장적용 경험기술을 바탕으로 개발품의 성능 검증을 위해, 발전소 실 계통의 공정모델과 개발한 제어 모델을 연계하여 실험실에서 발전소 운전상황을 모의할 수 있는 시뮬레이터를 개발하고, 이를 활용하여 개발한 제어시스템의 성능검증을 위한 종합시험을 수행하였다.



[그림 4] 제어시스템 검증용 시뮬레이터



[그림 5] 개발품 전력연구원 종합 시험



[그림 6] 제어프로그램 설계(예)



[그림 7] 발전기 제어시스템 종합 시험

제어시스템 검증용 시뮬레이터와 약 7,000여 포인트의 입·출력 신호를 연계하여 개발품의 다중화 동작시험, 고장진단 기능 및 통신부하 시험 등 모든 기능과 구현된 제어프로그램을 종합적으로 검증하고, 오류부분을 수정 보완하였다.

또한 개발품을 발전소에 적용하기 전에 단위계통별 모의시험 및 정격출력 500MW까지 종합시험을 통해 개발한 통합제어시스템의 성능과 제어프로그램의 건전성을 사전에 확인하였다. 이를 통해 발전소 설치 후 시운전 과정에서 발생할 수 있는 고장의 요소들을 사전에 제거

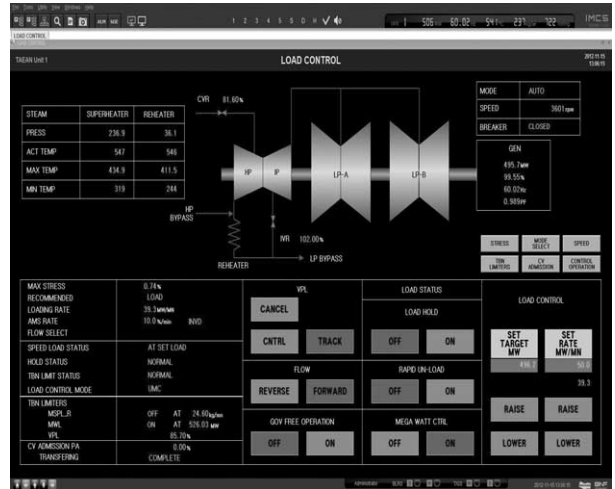
하고 미리 해결함으로써 시운전 시간의 단축 및 제어 시스템의 효율적 운영에 크게 기여하였다.

전력연구원에서 시뮬레이터와 연계하여 성능검증을 마친 통합제어시스템은 500MW 표준화력 발전소인 태안 1호기 실 계통에 적용하고 성공적으로 시운전을 완료하였다.

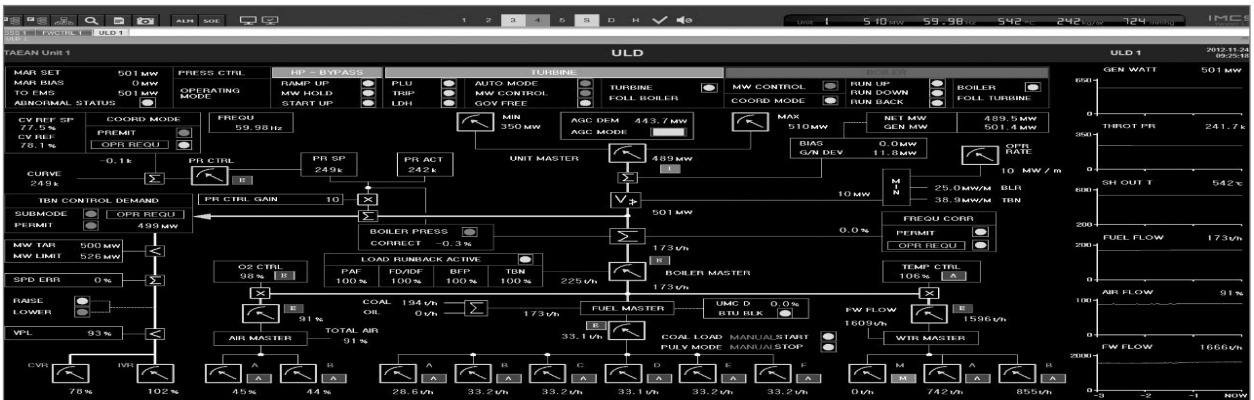
발전소 현장 설치 후 주요 단위기기들의 시운전과 정격 출력 운전 상태에서 발전소 계통의 주요 기기가 정상적인 운전과 제어가 수행되는지와 비정상적인 원인으로 정지



[그림 8] 개발시스템 중앙제어실 설치



[그림 9] 500MW 터빈 운전화면



[그림 10] 500MW 보일러 Unit Master Control 운전화면

되었을 때 발전소가 안정적으로 감발하여 출력을 유지되는가를 확인함으로써 구현된 제어 프로그램의 건전성을 현장 확인하였다. 또한 정상운전 중에 다중화로 구성된 제어시스템의 각 모듈에 대해 고장 모의시험을 실시하여 개발된 시스템의 건전성을 현장에서 재확인하였다.

부하변동 시험을 통해 출력, 주증기 온도 및 압력 등 요구하는 제어성능을 만족여부와 부하 런백 및 전 부하 차단 시험 등 과도상태에서도 개발된 제어시스템이 안정적으로 제어됨을 확인하였다. 또한 3~5%의 출력변동율의 발전소 동 특성 시험들을 수행하여 제어기의 정밀 조정 및 최적 튜닝을 통해 개발시스템의 안정성을 향상시켰다.

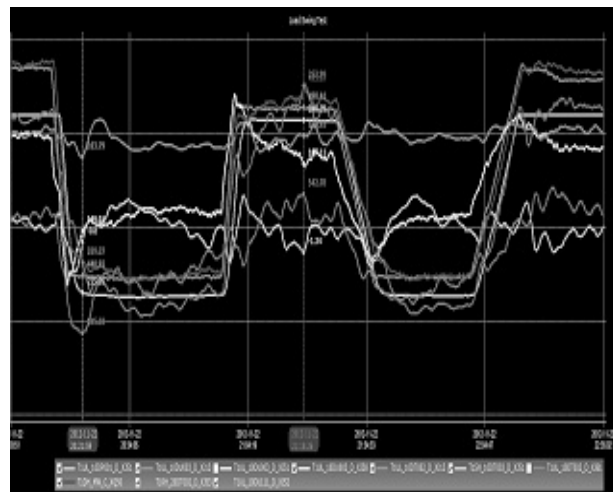
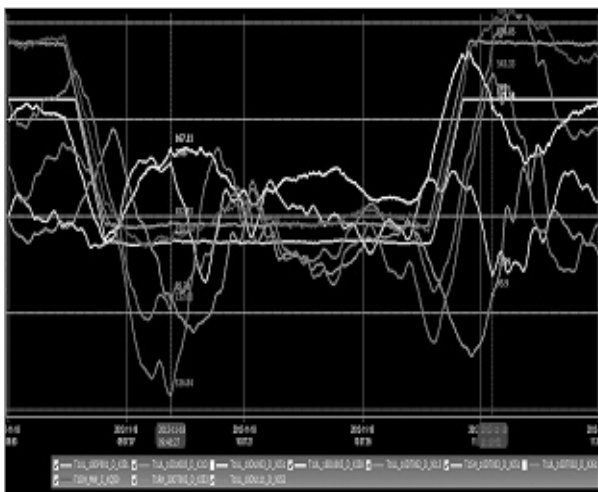
3. 전 망

전력 수요의 증대와 첨단 IT 기술의 진보로 발전플랜트 제어기술은 보일러, 터빈 및 발전기 제어시스템을 통합하여 제어 및 감시하는 기술적인 추세이다. 이를 통해 다양한 운전정보를 실시간으로 공유하여 발전설비의 효과적인 제어와 운전효율 향상을 도모하고 있다.

최근의 제어시스템 기술은 원격제어시스템, 표준화된 네트워크와 소프트웨어로 점차 표준화, 개방화된 기술을 적용하고 있으며, 향후 발전플랜트 설계와 제작기술의 향상에 따른 고효율 설비운전에 대응하기 위해 독자

[표 1] 개발시스템 제어기 정밀 조정(Tuning) 결과

상태	일시	주증기 온도	재열증기 온도	주증기 압력	발전기 출력
목표(계약서)	1995 준공	±8°C	±8°C	-	-
튜닝 전	2012.11.18	-3.1, +2.6°C	-12, +5°C	-7, +16k	-6, +6MW
튜닝 후	2012.11.22	-1.8, +2.0°C	-2, +4°C	-3.5, +2k	-5, +5MW
튜닝 효과	개선 후 효과	150%	283%	418%	120%
안정성 평가	-	양호	양호	양호	양호



[그림 11] 제어기 최적 튜닝시험 결과(좌 : 튜닝 전, 우 : 튜닝 후)

모델의 제어시스템 개발과 필드버스와 시뮬레이션, 최적제어 등과 같은 솔루션의 통합이 점차 확대될 것으로 전망된다.

선진외국 기술에 전적으로 의존하고 있던 발전소 핵심 제어시스템의 국산화를 통해 외화절감은 물론 최신 제어시스템의 설계 기술과 제어시스템의 신뢰도 향상으로 전력공급의 안정성 확보 및 첨단 디지털 제어 기술

개발로 관련분야의 국내 기술자립에 크게 기여하였다.

향후 제어시스템의 교체시기가 도래하는 500MW 화력 발전소 제어시스템의 교체와 1000MW 초초임계압 발전소의 제어시스템에 확대적용이 기대되며, 더 나아가 신규화력발전소, 신재생에너지 및 담수발전설비용 제어 시스템 분야에도 적용이 가능해짐으로써 국가 경쟁력 향상 및 수출증대 효과가 클 것으로 전망된다. KEA