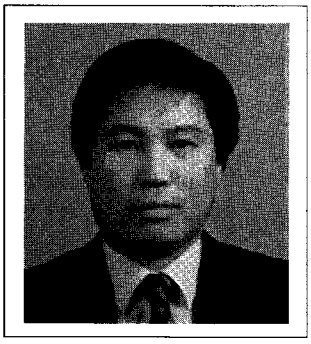
원전 주제어실 경보시스템
개발경위와 활용전망

이 용 호
한전 영광제1발전소 계측제어부장



영광원자력 제1발전소는 주제어실 경보시스템을 순수한 국내기술로 처음 개발하여 영광 1호기에 설치, 성공적인 시운전을 마치고 본격적인 운영에 들어갔다. 아울러 2호기에도 최근 설치, 시운전중에 있다.
이번에 개발·성공한 경보시스템은 디지털방식에 의한 분산제어시스템으로 기존의 외국 것보다 그 성능을 획기적으로 향상시킨, 계측제어설비 국산화개발의 쾌거로서, 원전에서 신뢰성을 확보한 후 그 영역을 수화력으로 확대하고, 나아가 일반 산업체에도 적용이 가능하여 그 응용이 무한할 것으로 보인다.
그 개발경위와 활용전망 등을 들어본다.

원자력발전소 설비중 계측제어설비는 핵심설비로서 중요한 역할을 담당하고 있다.

그러나 신규로 건설된 발전소를 제외한 대부분의 발전소는 20년 이전의 기술로 설계·제작된 설비를 운영함으로써, 이를 유지·보수하는데 많은 어려움을 겪고 있으며 고장시 파급영향에 대한 심리적 부담도 안고 있는 실정이다.

또한 산업기술의 급변화 및 컴퓨터 세대인 신세대 탄생으로 기존설비 운영은 더욱 어려울 전망이다.

이러한 문제점을 해결하고 급속한 주변환경 변화에 대응하기 위해서는 설비의 국산화를 기반으로 한 성능개선이 요구되는데, 영광 제1발전소에서는 계측설비 성능개선의 일환으로 경보설비를 순수한 국내기술로 시스템화하여 운영중에 있다.

개발배경 및 동기

대부분의 산업현장에서는 생산성 향상을 위하여 대량의 정보처리, 시스템의 신뢰성 향상, 추후 기능의 추가에 대처할 수 있는 확장능력 확보, 주기시험의 자동화 및 표준화된 기기의 사용으로 인한 유지·보수 능력향상 등의 장점을 얻기 위해 아날로그 계측제어설비를 디지털기술을 이용한 계측제어설비로 교체하여 왔다.

그러나 원자력발전소는 설비의 안전성과 신뢰성 확보면에서 산업현장의 디지털화 추세를 따르지 못하였다.

그 결과 국내 및 세계각국의 원자력발전소에 설치되어 운용중인 대부분의 계측제어설비는 70년대 이전의 기술로 설계·제작되어, 기기의 노후화로 인한 발전소의 불시정지와 교체부품의 확보 및 유지·보수에 심각한 문제가 발생하고 있다.

또한 이의 유지·보수비용도 증가하고 있는 실정이다.

TMI사고 이후 미국 원자력규제위원회(NRC)에서는 인적오류를 방지하고 운전원 중심의 주제어실 설계를 요구하는 NUREG-0737을 발표하여 새로운 기능추가를 요구하고 있지만, 기존설비로서는 수용의 한계가 있어 세계각국은 원자력발전소 계측제어설비들을 성능 및 신뢰도가 향상되고, 확장성이 용이한 디지털기술을 이용한 분산제어시스템(DCS : Distributed Control System)의 형태로 개발하여 설치하고 있는 추세이다.

현재 국내 산업체에서도 소용량의 분산제어시스템(DCS)을 개발하여 산업현장에 적용하고 있지만, 일부 기기는 신뢰성이 입증되지 않아 신뢰성이 입증된 외국산 제품에 의존하고 있다.

원자력발전소 경보시스템은 입출력이 대용량이고, 기록시간의 정밀성 및 설비의 신뢰성 확보 때문에 외국산 경보시스템을 도입하고 있는 실정이다.

운전원은 주제어실에 나타나는 정보로 발전소의 운전상태를 파악하고 그에 따른 조치를 취하게 되며, 이러한 운전원의 판단과정을 돕기 위해 경보등·상태등·지시계·기록계 등을 통한 각종 운전정보가 지원된다.

기존의 경보시스템은 미국의 Ronan사에서 70년대 이전의 기술로 설계·제작되어 설치한 설비들로서, 핵심부분이 Hard Wiring에 의해 구현되므로 단순한 시각 및 청각적인 경보기능만을 제공한다.

경보시스템 데이터베이스 구축 화면

따라서 경보발생시 발전소를 적정상태로 유지하고 상태변화에 적절히 대처하기 위해서, 운전원은 수집된 단순자료 또는 운전경험과 식견에 의존하여 왔다.

그러나 파악되어야 할 방대한 정보량과 숙지해야 할 상황 사례들, 상황발생시 그 상황에 이르게 된 다양한 경로추적 등을 통하여 정확한 원인파악과 신속한 조치를 해야 하므로 운전원들에게 있어서는 큰 부담이 되었던 게 사실이다.

더구나 동시다발적으로 경보가 발생하면 우선순위 판단이 불가능하고, 총괄적인 경보기록기능이 없어 체계적인 분석이 어려우며, 설비 노후화에 따른 운영상의 문제점이 많이 노출되고 있다.

이러한 제반 문제점들을 해결하고 경보시스템의 신뢰성 및 기능을 향상시키기 위하여 기존의 경보시스템을 국내기술에 의한 디지털설비로 대체하는 방안을 강구하게 되었다.

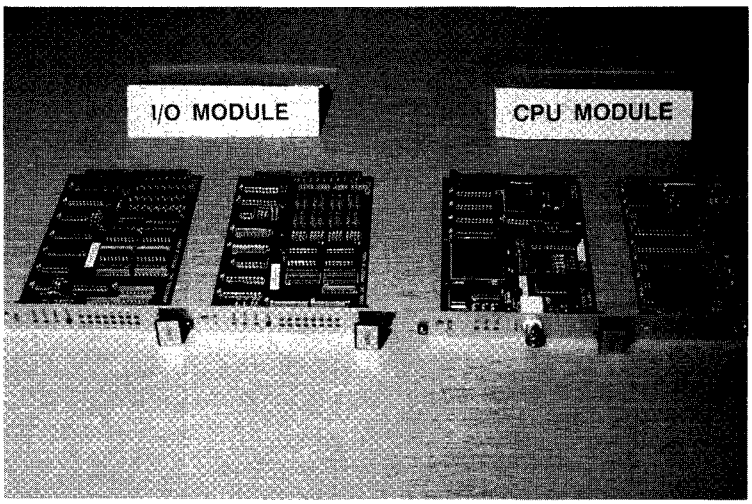
경보시스템 개발과정

1. 주요 개발일정

- ○ 경보시스템 개선 타당성 검토 : 90. 1~ 7
- ○ 경보시스템 개선범위 검토 : 90. 8~92. 12
- ○ 국산화 개발 타당성 검토 및 기술검토 : 93. 1~12
- ○ 국산화 개발결정 및 기본설계서 작성 : 94. 1~4
- ○ 개발업체 실사 및 승인 : 94. 1~5
- ○ 구매추진 및 계약 : 94. 5~7
- ○ 설비제작 및 공장시험: 94.

8~10

- ○ 현장 임시설치 및 성능시험 : 94. 11~95. 3
- ○ 영광 1호기 주설비와 교체설치 및 성능시험 : 95. 3. 27~4. 30
- ○ 영광 2호기 주설비와 교체설치 및 성능시험 : 95. 9. 10~10. 10
- ○ 현재 개발 경보시스템으로 영광 1 · 2호기 운영중



경보시스템의 핵심 모듈

2. 경보시스템 개발타당성 검토

기존 경보시스템의 설비 노후화 및 유지 · 보수의 어려움 등을 포함하여, NUREG-0737에서 제시한 내용과 같이 다양한 경보기능의 필요성이 대두되고 있는 실정에 비춰볼 때, 운전원들에게 신속하고 다양한 발전소 각 계통의 운전정보를 제공함으로써 발전소 안전운전 및 계측제어 신기술 도입, 기술축적 기회제공 등 파급효과가 매우 크기 때문에 경보설비 개발의 필요성을 느끼게 되었다.

가. 경보설비의 노후화 ·

기존의 경보설비는 70년대 이전의 기술로 설계 · 제작되어 80년대 초 현장에 설치되었는데, 설비의 노후화로 인한 핵심부분인 Patch Board의 Hard Wiring Pin의 접촉불량 및 각종 카드들의 잦은 고장으로 인하여 경보설비의 신뢰도 저하가 가속화되고 있다.

나. 유지 · 보수의 어려움

Patch Board의 작업은 정상운전중에는 작업이 불가능하며, 1개소의 작업이라도 설비의 구조상 전체 경보기능이 상실된다.

또한 작업후에도 전체 경보의 건전성시험(입력: 2,250point, 출력 : 1,250point)에 많은 시간과 인력이 소요되고, 예비품 확보에 어려움이 발생하고 있다.

다. 다양한 경보기능의 필요성

경보시스템에서도 정상운전중 상시 점등경보 제거(Dark 개념), 최초 경보반 설치 · 운영(1 · 2차 계통 분리설치), 최초경보 식별기능, 경보들의 계통별 · 기능별 중요도에 따른 경보창 재배열, 다중입력경보들의 발생원 식별기능, 경보계통 고장인지기능, 기록기능 등 다양한 기능을 확보하여 운전지원능력을 향상시키려고 하지만, 기존 경보시스템으로서는 수용의 한계가 있다.

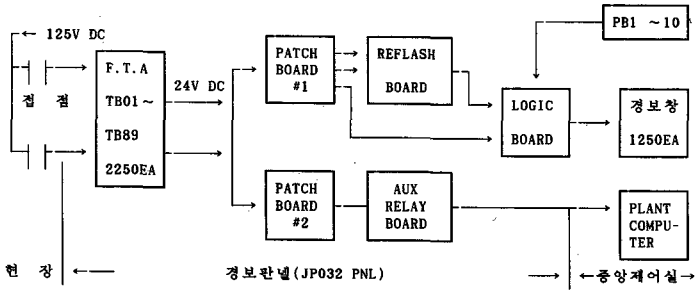
특히 전체 경보에 대한 기록기능이 없어 경보의 시간대별 상호비교가 불가능하여 발전소 사고분석시 체계적인 원인분석이 어려우며, 또한 경보데이터의 저장기능이 없으므로 다양한 경보이력관리가 곤란하다.

라. 신기술도입과 기술축적기회 제공

최근에는 계측제어설비의 새로운 신기술이 비약적으로 발전하고 있다.

따라서 70년대에 개발된 설비를 가지고 유지 · 보수만 한다는 것은 계측제어설비의 신기술에 대한 대응능력이 저하되며, 설비의 노후화를 가속화시킬 뿐이다.

최근 계측제어설비의 구축형태가 디지털제어방식에 의한 추세로 가고 있는 현실에서 분산제어시스템(DCS)을 기반으로 한 경보시스템의 개발을 추진함으로써 계측제어설비의 신기술



〈그림 1〉 기존 경보시스템 구성도

〈표 1〉 기존 경보시스템 구성기기

항 목	수 량	개선범위
Terminal Block Assembly	89set(2,250point)	사 용
Aux Relay Rack	5set(125장)	사 용
Logic Board Rack	50set(1,250장)	개 발
Reflash Board Rack	7set(175장)	개 발
Patch Board Rack	2set	개 발
Power Supply	11set	개 선

도입과 기술축적효과가 기대되었다.

3. 국산화 개발의 필요성

경보시스템의 개발의 타당성 검토에서도 제시하였듯이 경보시스템 개선의 필연성에 의해 어떠한 방법으로 개선을 추진할 것인가를 두가지 측면에서 검토하여 최종 국내개발로 결정하였다.

가. 외국산 설비를 설치할 경우

기개발된 외국산 설비를 구매하여 설치할 경우 설비의 설계 · 제작 · 운영 · 유지 · 보수측면에서 기존 설비와 같이 기술종속이 예상되며, 외국산 설비의 유지 · 보수를 위한 예비품 확보에 어려움이 예상되고 경비절감효과가 매우 적을 것으로 보인다.

나. 국내 개발의 경우

원자력발전소 운영에서 축적된 기술 및 국내기술력을 바탕으로 설비의 설계 · 제작 · 설치 · 운영 등 전 과정에 걸쳐 직접 참여함으로써 기술종속이 아닌 기술주도가 예상되며, 설비가 국산인 관계로 유지 · 보수에 필요한 예비품 확보가 쉽게 이루어지므로 유지 · 보수시 경비절감효과가 매우 클 것으로 기대된다.

또한 본 경보설비를 국산화함으로써 기타 계측제어설비의 국산화에 축적된 기술을 쉽게 응용할 수도 있으며, 국산화 개발에 국내업체를 참여시켜 중소기업의 육성정책에도 동참할 수 있다.

4. 개발범위 확정

기본 경보시스템 구성은 〈그림 1〉과 같으며, 구성기기중 노후화 및 문제점이 발생되고 있는 Logic Board, Reflash Board, Patch Board 부분을 디지털설비로 개발 · 대체하며, Power Supply는 유지 · 보수에 편리한 최신모델로 대체하고, 나머지 구성기기는 기존설비를 그대로 사용하는 것으로 〈표 1〉과 같이 개발범위를 확정하였다.

5. 개발방향과 전략

가. 개발방향

① 경보시스템의 신뢰성 확보

경보시스템의 중요성을 감안하여 고신뢰성을 갖도록 표준화되어 있는 디지털기술을 사용한 분산제어시스템(DCS)을 기반으로, 입력단에서부터 출력단까지 전체설비를 다중화로 구축하여 단일고장 또는 다중고장이 발생하여도 경보 고유의 기능에는 지장이 없도록 한다.

② 운전지원능력의 제고

기존 경보시스템에서는 가공되지 않은 정보를 경보창을 통해 운전원에게 제공되고 있는 현실에서 탈피, 이상상태 발생시 가공된 정보, 즉 데이터베이스를 기반으로 한 상황에 신속히 대응할 수 있는 상세조치내용을 CRT를 통하여 제공하는 첨단경보기능을 갖추어야 한다.

③ 사용 및 유지 · 보수의 편리성

경보시스템은 새로운 입력의 추가 및 출력 Window의 변경이 빈번히 일어나는 시스템으로, 기존에는 이러한 변경작업시 시스템의 동작에 지장을

주었으며, 그 작업에 많은 시간을 소모하였다.

개발될 새로운 경보시스템에서는 입출력 내용의 변경 등을 전부 소프트웨어적으로 처리하여 쉽고 빠르게 작업이 완료되며, 변경을 온라인으로 수행하여 즉시 그 결과가 나타날 수 있어야 한다.

또한 시스템을 점검하는데 있어서도 다양한 자체진단기능을 갖추어 시스템의 점검시간을 단축할 수 있게 하여 유지 · 보수의 편리성을 구축하여야 한다.

④ 설계 및 제작의 100% 국산화

경보시스템은 S/W부터 H/W까지 100% 순수 국내기술로 설계 · 제작하여야 하며, 향후에 유지 · 보수에 필요한 예비품 확보가 용이하여야 한다.

나. 개발전략

① 이중화 통신망 구축

경보시스템은 발전소에 이상이 발생한 경우에 이를 운전원들에게 제일 먼저 정보를 전달하는 설비이다.

그렇기 때문에 경보시스템은 시스템 자체에서 발생 가능한 고장에 대한 충분한 대책이 준비되어 있어야 한다.

대부분의 분산처리시스템에서 가장 큰 문제는 분산되어 있는 각각의 시스템을 엮어주는 통신망의 고장이다.

통신망의 고장은 대부분 고장의 영향이 전체 시스템에 파급되어 급격한 기능의 하락을 초래한다.

따라서 다음과 같은 원칙이 지켜져야 한다.

- ○ Main/Sub 통신망은 독립된 케이블을 가질 것
- ○ Main/Sub 통신망에 연결된 통신모듈은 서로 독립일 것
- ○ Main/Sub 통신모듈은 독립된 전원을 가질 것

② Bus형 네트워크 구조로 설계

일반적으로 Field에서 널리 쓰이는 통신구조는 Bus형, Ring형, Star형으로 나누어질 수 있다.

㉠ Star형 통신망 : 통신망의 효율성 측면에서는 유리할 수도 있으나 중앙노드가 이상을 일으키는 경우에 전체 통신망이 고장을 일으키게 되므로 신뢰도가 높아야 하는 통신망에는 적합하지 못하다.

최근 Ronan사에서 개발 · 공급되는 경보시스템의 통신구조가 이와 같이 Star형으로 되어 있어 잠재적인 문제점을 내포하고 있다.

㉡ Ring형 통신망 : Star형 통신망에 비하여 신뢰도가 많이 좋아지긴 했으나, 이 또한 노드가 고장을 일으키는 경우에는 전체 통신망에 영향을 주어 부분적인 통신망이 가능하게 되므로 잠재적인 문제점을 내포하고 있다.

Beta사 Window Driving Module의 통신구조가 이와 비슷하게 되어 있어 유지 · 보수가 매우 어렵다.

㉢ Bus형 통신망 : 네트워크상에 임의의 노드가 고장을 일으키더라도 전체 시스템에는 전혀 영향이 가지 않으므로 산업용 통신망과 같은 고신뢰도 통신망에 많이 사용된다.

따라서 개발할 경보시스템의 통신구조는 IEEE 802.3 10Mbps의 국제표준규격으로 개발한다.

③ 분산된 입출력 처리구조

경보시스템은 앞서 언급한 것처럼 고신뢰성을 요구한다.

따라서 입력이나 출력을 하나의 모듈에서 대규모로 처리하는 경우에 해당 모듈의 고장이 발생하면 심각한 문제가 발생하게 된다.

즉 해당 모듈의 유지 · 보수나 고장시에 그 모듈에 할당된 입출력의 수가 많아질수록 고장이나 유지 · 보수시 시스템에 미치는 영향이 크게 된다.

따라서 개발할 경보시스템의 입출력 처리는 125point/Unit 및 16 point/Module의 단위로 최대한 분산처리한다.

④ 시간지연이 적은 입력모듈구조

경보시스템은 전체 경보를 1ms 단위의 간격으로 출력처리하여야 한다.

따라서 입력회로의 Delay 오차가 0.5ms 이상이면 Event Logging시에 순서가 바뀌어질 수도 있다.

일반적으로 Photo-coupler를 사용하고 저항 및 Capacitor로 구성된 회로에서 이들 값을 주의깊게 설계하지 않으면 입력 Delay가 문제를 일으킬 수 있다.

이를 위하여 입력 모듈의 설계시에 Delay를 최소화하고 일정하게 유지할 수 있도록 회로를 구성하고 부품을 선정하도록 한다.

⑤ 고속통신 위한 통신 S/W 구조

일반적으로 Field에서 직접 데이터를 수집하는 통신은 간략화된 S/W를 가지는 고속통신을 사용하며, 상위 계층으로 올라갈수록 저속의 복잡한 통신 S/W 구조를 가지게 된다.

일반적으로 하위계층의 통신은 데이터의 수집이 반복적이고 고속으로 이루어져야 하며, 비슷한 특성을 지니는 노드가 많기 때문에 간략화된 S/W 구조를 가지게 된다.

그러나 상위계층의 통신은 대부분 특성이 다른 노드 사이의 통신이고 이미 한차례 가공된 데이터의 처리가 목적이므로 데이터의 수집이 저속으로 이루어지는 것이 보통이다.

따라서 하위계층의 통신 프로토콜은 대부분이 공급자마다 특화된 것이 많고, 상위계층의 통신 프로토콜(예를 들어 TCP/IP와 같은 통신)은 S/W의 오버헤드가 너무 커서 프레임의 전달시간 예측이 불가능하여 데이터의 고속처리에는 적합하지 않다.

개발할 경보시스템은 고속처리가 가능한 10Mbps 이상의 고속통신 S/W의 구조를 가지며 또한 시간동기에 적합한 통신구조여야 한다.

6. 제작업체 선정

원자력발전소에서 사용하는 설비는 고도의 신뢰도가 우선적으로 확보되어야 하는데, 이를 입증하는 과정이 복잡하고 시험요건이 엄격하다.

경보시스템은 품질등급이 안전성영향등급(T Class)인 관계로, 국내에서는 제작경험이 없는 상태에서 제작가능업체를 선정해야 한다.

이러한 업체선정을 위해 분산제어시스템(DCS)의 전문업체를 물색하여 계측제어부와 품질관리부 공동으로 해당업체를 방문하여, 계측제어부에서는 기술적 측면, 품질관리부에서는 안전성영향등급(T Class)에 해당하는 품질보증 및 품질관리 상태를 실사했다.

또한 업체선정을 위하여 50여개 항목에 이르는 선정기준을 작성하여 대상업체들을 평가했다.

이와 같은 절차를 거쳐 개발참여업체로 우리기술(주)외 1개 업체를 최종선정하였다.

7. 규격입찰시행 및 제작

경보시스템의 중요성에 따라 한국전력공사에서 제시한 기본설계서에 따라 개발 참여업체로 선정된 우리기술(주) 외 1개 업체를 대상으로 〈표 2〉와 같이 평가기준을 정하여 경보시스템 개발의 규격입찰을 시행하였다.

위와 같은 절차를 거쳐 경보시스템 개발참여업체로 최종 우리기술(주)를 선정하였다.

계측제어부 및 우리기술(주)의 기술진들은 기본설계에서 제시한 내용을 기준으로 하여 세부설계를 공동으로 수행했고, 제작 및 시험을 성공적으로 수행하여 94년 10월말에 1호기 경보시스템을 납품했다.

설계 · 제작 · 시험과정중 문제점이 몇가지 표출되어 난관에 부딪친 때도 몇번 있었지만, 그때마다 양사의 기술진은 숱한 기술토의와 협의과정에서 도출된 아이디어로 해결해내곤 했다.

8. 각종 성능시험으로 신뢰성확보

원자력발전소 경보시스템 개발의 기술검토단계에서부터 설계 · 제작 · 설치 · 운영까지의 전과정을 국산화 개발하는데 있어서 경보시스템의 신뢰성 확보가 큰 과제로 대두되었다.

경보시스템의 중요성에 비추어 신뢰성 확보가 미비한 상태에서 현장에 설치한 후 미처 발견하지 못한 문제점들이 발생되었을 때 발전소 안전운전에 큰 영향을 미치게 된다.

이러한 사항들을 고려하여 단계별 성능시험을 통하여 발생할 수 있는 문제점들을 미리 도출하고 해결하여 설비의 신뢰성을 확보한 후 현장에 설치하는 것을 원칙으로 했다.

이에 따라 모든 성능시험은 별도의 절차서를 작성하여 최종공장시험, 현장성능시험, 기존 시스템과의 병렬시험, 최종성능시험(교체설치후 수행) 등을 단계별로 반복수행하여 경보시스템의 신뢰성을 확보하였다.

경보시스템 개발

이번에 개발된 원자력발전소 경보시스템은 입출력 용량이 대형 분산제어시스템(DCS) 수준이고, 기록시간의 정밀성 및 신뢰도 때문에 일반 DCS 메이커들도 쉽게 개발하지 못했

〈표 2〉 규격입찰 평가기준

평가항목	배점기준	점검항목
제작업체 신뢰도 평가	50(5%)	5항목
기술규격 평가	500(50%)	41항목
시스템 설계 및 제작평가	100(10%)	4항목
국산화 점유율 평가	100(10%)	1항목
시스템 시험 및 설치 평가	150(15%)	4항목
특기사항 평가	50(5%)	2항목
공급자 제출서류 및 유지·보수 평가	50(5%)	3항목
총 계	1,000점(100%)	60항목

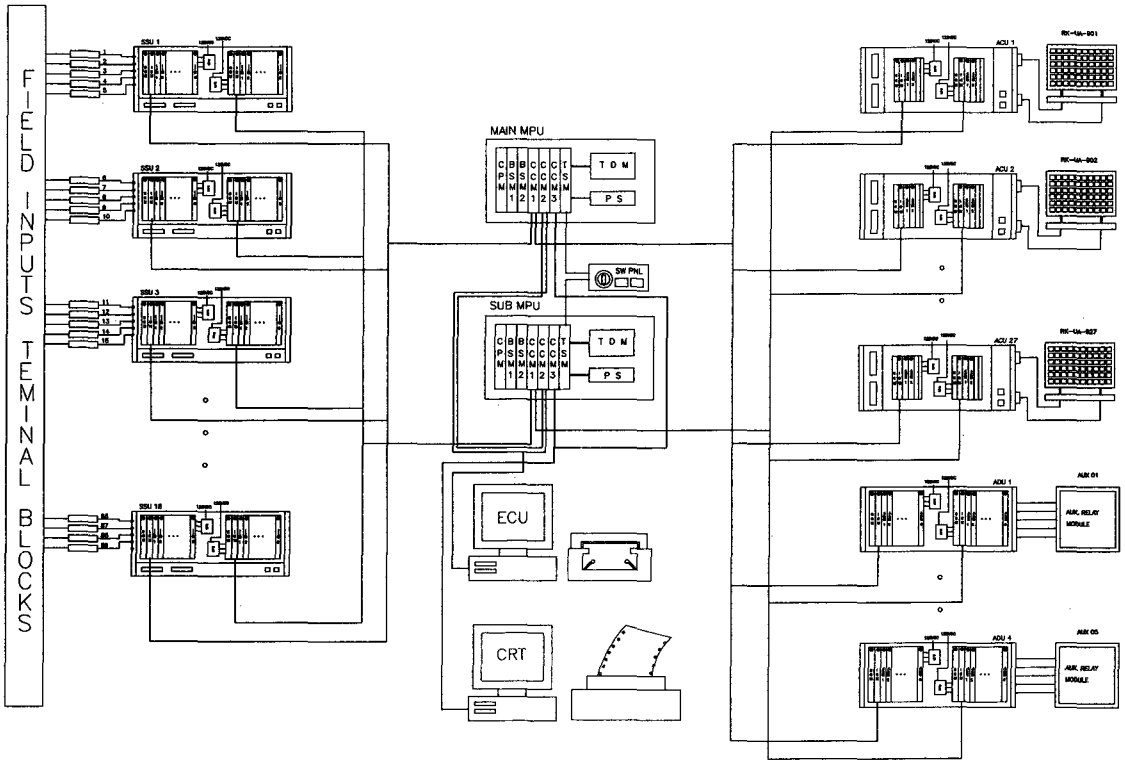
던 설비로서, 기존 외국 경보시스템보다 기능을 획기적으로 향상시킨 최초의 국내기술로 개발한 경보시스템이다. 전체 구성도는 〈그림 2〉와 같다.

개발된 경보시스템은 최대 4,096채널의 Dual 입력 및 2,048채널의 Dual 출력을 처리할 수 있으며, 동시에 발생하는 입력신호(Event)를 10,000까지 처리하고 총 240,000개의 Event를 저장할 수 있다.

또한 상용화된 DCS는 입력신호가 많아질 경우 입력에서 출력까지의 지연시간이 5초 이상 걸리던 것에 비해 개발된 설비는 0.1초 밖에 걸리지 않으며, 기존 DCS들도 전체적인 구조가 이중화되어 1개의 시스템이 고장 나는 경우 다른 하나가 대체되어 동작할 수 있지만, 개발된 경보시스템은 2개의 시스템이 모두 고장나더라도 경보의 고유기능만 수행할 수 있도록 하는 3중 Backup 구조로 되어 있다.

전체 시스템의 시간동기를 국내 표준시각장치에 연결하였으며, 표준화된 IEEE 802.3 10Mbps 국제표준 통신 프로토콜을 사용하여 시스템의 확장 및 기능의 추가도 용이하도록 하였다.

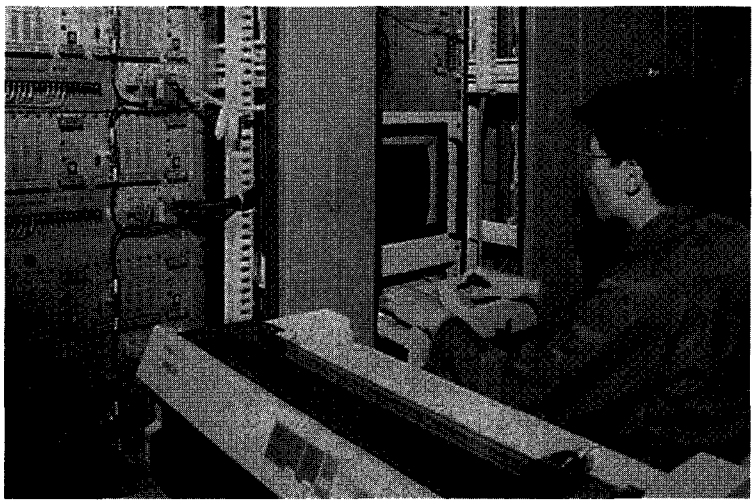
또한 기존 경보시스템의 청각 및 시



〈그림 2〉 개발 경보시스템 전체구성도

각적 기능에 최초 경보식별기능, 다양한 표시방법, 기록기능,데이터 처리 및 이력관리기능, 자체시험기능, 고장감지기능 등을 구현함으로써 설비의 유지 · 보수는 물론이고 상황발생시 운전원이 정확한 판단을 할 수 있도록 다양하고 정확한 운전지원능력을 확보하였다.

그리고 운전원이 정확한 원인파악과 신속한 조치를 취할 수 있도록 각 경보별로 발생원인 · 자동동작 · 긴급조치사항 · 후속조치사항 · 참고자료 · 설정치 등 경보의 모든 정보가 함축되어 있는 경보절차서를 운전원이 간단한 기능키 조작으로 제공할 수 있게 터치스크린 CRT를 설치하였으며, 또한 전체 경보발생내용을 화면을 통하여 볼 수 있도록 하였다.



경보시스템의 자체시험 수행모습

1. 개발설비 주요기능

가. 최초 경보식별기능

주제어실의 경보가 동시다발적으로 발생하였을 때 운전원이 가장 먼저 동작한 경보를 즉시 인지하여 조치를 할 수 있도록 경보반의 경보사항중 가장 먼저 발생한 경보를 램프의 점멸속도로 다르게 하였으며, 또한 각 입력별 또는 각 경보반(27EA)별로 Enable/Disable을 할 수 있도록 하였다.

나. 경보전용 CRT 설치운영

경보가 발생하면 운전원은 그 상황에 이르는 다양한 경로추적 등을 통하여 정확한 원인파악과 신속한 조치를 취해야 하므로 운전원들에게는 큰 부담이 되었다.

이러한 문제점들을 해결하고 운전원이 정확한 원인파악과 신속한 조치를 취할 수 있도록 각 경보별로 발생원인 · 자동동작 · 긴급조치사항 · 후속조치사항 · 참고자료 · 설정치 등 경보의 모든 정보가 함축되어 있는 방대한 양(약 2,000페이지)의 경보절차서를 데이터베이스로 구축하여, 경보발생시 운전원이 간단한 기능키 조작으로 정보를 취득할 수 있도록 터치스크린 CRT를 설치하여 운전지원능력을 향상시켰다.

다. 다양한 데이터 저장관리기능

정전시에도 기록된 Event가 유실되지 않도록 Battery Backup SRAM 모듈을 사용해서 240,000개의 가장 최근의 Event를 저장할 수 있다.

보조기억장치로서 24시간 연속동작 및 진동에 문제가 많은 하드 디스크를 사용하지 않고 SRAM 모듈을 사용하여 데이타저장의 신뢰성을 확보하였다.

또한 저장된 모든 데이터는 온라인 상태로 ECU서 전체 경보의 시간대별 · 경보창별 · 계통별 등의 다양한 형태로 출력이 가능하다.

라. 다양한 출력처리기능

① Alarm Report

경보계통의 운전중에는 경보발생 상황별로 1msec 간격으로 분류하여 Logging Print에 출력한다.

② Daily Report

전날부터 현재 시간까지 발생한 경보를, 경보반 순서로 그 발생횟수와 함께 하루에 1번 지정된 시간에 정리해서 프린트하게 함으로써 1일 발생빈도 등을 쉽게 알 수 있도록 하였다.

이 기능은 사용자가 원하는 경우 Disable시킬 수 있도록 하였다.

③ System Report

Daily Report처럼 하루중에 발생한 시스템의 동작상황 및 에러발생 상황을 시간별로 정리해서 보여주고 현재의 동작모드 및 상황을 함께 프린트 출력물로 보여준다.

이 기능을 이용하면 운전원들이 알기 어려운 시스템의 사소한 Fail 상황을 조기에 발견하여 신뢰성 있는 경보시스템을 구축할 수 있게 된다.

마. 자가진단기능

전체 기기들에 대한 고장유무 및 동작상황을 확인해서 그 결과를 ECU 및 상태표시등(LED), System Report에 출력한다.

또한 고장유무에 따라 MPU의 동작우선순위가 결정되며 자동으로 절전하여 운전한다.

〈표 3〉은 본 시스템이 자가진단(Self Diagnotics)을 수행하면서 나타내는 상태표시등이다.

〈표 3〉 자가진단 상태표시등

상태 표시등	점등시 상태
Run LED	Main, Sub중 운전중일 때 점등
Back-up LED	Main, Sub중 대기상태일 때 점등
Time Out LED	Main, Sub 모두 비정상일 때 점등
ECU LED	ECU와 통신할 때 점등
Test LED	시스템을 테스트할 때 점등
Lamp LED	ACU, ADU의 에러신호가 있을 때 점등
Input LED	SSU의 에러신호가 있을 때 점등
Repair LED	카드제거시 점등

바. 3중 Back-up 운전구조

① Auto 운전 : 이 모드에서는 현재 동작중인 Main/Sub에서 에러가 발생할 경우 자동으로 절체가 이루어지는 모드이다.

② Manual 운전

㉠ Main Mode : 메인시스템만 동작하는 모드로서 메인시스템에 에러가 발생하더라도 서브로 절체되지 않는다.

㉡ Sub Mode : 서브시스템만 동작하는 모드로서 서브시스템에 에러가 발생하더라도 메인으로 절체되지 않는다.

③ 비상운전 : 2대의 MPU가 동시에 Fail이 되면 SSU의 입력 네트워크와 ACU 및 ADU의 출력 네트워크를 직접 연결하여 동작을 함으로써 MPU 없이 기존의 I/O Mapping 기능만을 수행하도록 한다.

이를 위해서 각각 모듈내에 Watch-dog 타이머를 두어 일정 시간동안 MPU의 CPU 모듈이 동작하지 않으면 자동으로 절체되도록 한다.

사. 경보시스템 운전상태

① 정상동작시

Main SSU와 Sub SSU의 양측으로부터 수신되는 정보는 Main MPU와 Sub MPU로부터 각각 처리되어 Main ACU와 Sub ACU 양쪽에 전달된다.

이때 Main은 Main MPU로부터의 정보를 사용하고, Sub는 Sub MPU로부터의 정보를 출력에 사용한다.

단 Sub는 이 경우 실제 Lamp 출력을 하지 않고 대기한다.

또한 각각의 MPU는 Main SSU와 Sub SSU의 양측으로부터 수신되는 정보를 비교하여, 차이가 발생할 경우에는 Input의 이상여부를 판단 · 보고한다.

② IIM(Input Isolation Module)의 고장 · 보수시

Main 또는 Sub의 Input 모듈에 고장이 발생하더라도 해당 모듈을 제외한 모듈의 Update는 계속된다.

따라서 동일 Input을 처리하는 Main, Sub의 Input 모듈이 동시에 고장나지 않는 한 Input 모듈의 고장이 발생하더라도 정상적인 경보시스템의 동작이 가능하다.

③ ACM(Annunciator Control Module)의 고장 · 보수시

Main 또는 Sub의 Output 모듈에 고장이 발생하더라도 고장 발생 모듈과 Dual인 모듈에서 Update는 계속된다.

따라서 동일 Output을 처리하는 Main, Sub의 모듈이 동시에 고장나지 않는 한 Output 모듈의 고장이 발생하더라도 정상적인 경보시스템의

동작이 가능하다.

④ ADM(Aux Driver Module)의 고장 · 보수시

Main 또는 Sub의 Output 모듈에 고장이 발생하더라도 고장 발생 모듈과 Dual인 모듈에서 Update는 계속된다.

따라서 동일 Output을 처리하는 Main, Sub의 모듈이 동시에 고장나지 않는 한 Output 모듈의 고장이 발생하더라도 정상적인 경보시스템의 동작이 가능하다.

⑤ Main MPU의 고장 · 보수시, Sub MPU 정상

Main MPU가 고장 · 보수 상태에 있게 되면 Main Input 모듈과 Main Output Module이 직접 연결되어 동작한다.

이 경우에 Sub MPU가 정상동작을 하고 있으면 Main ACM은 출력을 보류하고 있으며, Sub ACM이 출력을 대신하게 된다.

⑥ Sub MPU의 고장 · 보수시, Main MPU 정상

Sub MPU가 고장 · 보수 상태에 있게 되면 Sub IIM과 Sub ACM이 직접 연결되어 동작한다. 이 경우에 Main MPU가 정상동작을 하고 있으면 Sub ACM은 출력하고 있으며, Main ACM이 계속 출력을 하게 된다. 따라서 정상적인 경보시스템의 동작이 가능하다.

⑦ Main MPU, Sub MPU의 동시 고장

Main MPU/Sub MPU가 동시에 고장 · 보수 상태에 있게 되면 Main/Sub IIM과 Main/Sub ACM을 직접 연결한다.

Main/Sub ACM은 Input 정보를 직접 출력하며, 프린트 및 데이터 저장기능은 정지된다.

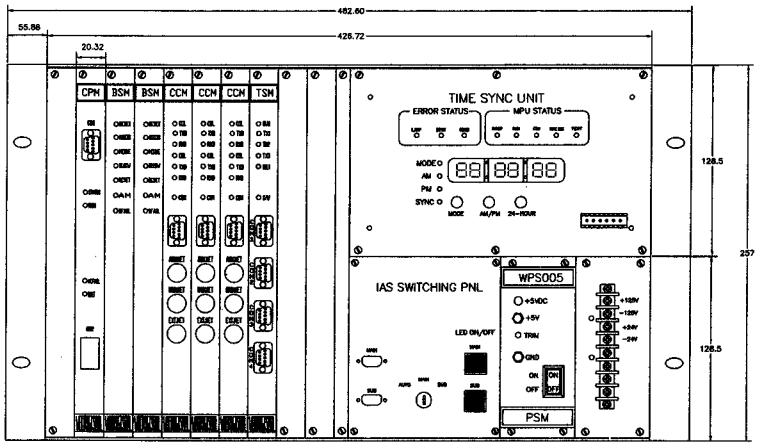
이 상태에서 Sub측의 ACM들은 그와 대응하는 Main ACM들의 동작이 정지되는대로 그의 기능을 떠맡게 된다.

따라서 경보시스템의 동작은 같은 입력이나 출력을 처리하는 모듈이 동시에 이상을 일으키지 않는 한 Print 및 데이터 저장기능이 정지해도 정상적인 경보시스템의 동작이 가능하다.

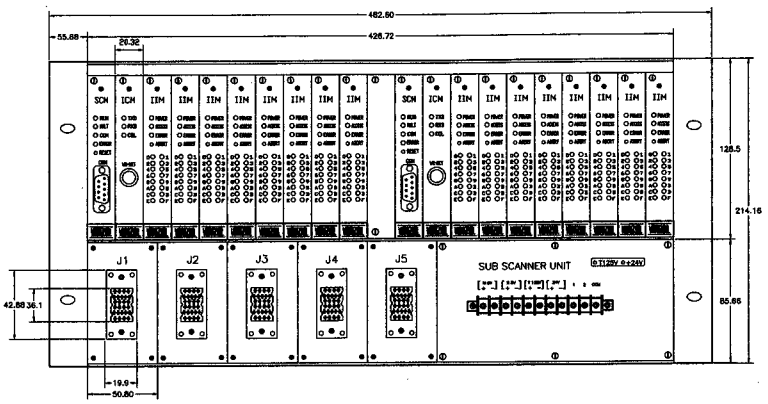
아. 온라인 상태에서 작업가능

모든 입출력 모듈은 온라인 상태에서 교체작업이 가능하며, 또한 설계변경 등에 의한 수정작업도 가능하며, 그 결과가 즉시 나타난다.

자. 테스트기능



〈그림 3〉 MPU 전체구성도



〈그림 4〉 SSU 전체구성도

전체 시스템에 시험기능을 두어 운전중 또는 매년 계획예방정비 기간중에 시험을 수행하여 설비의 건전성을 확인할 수 있으며, 시험기간도 매우 짧고(약 40분 소요), 시험중 에러 내용이 출력처리됨으로써 유지·보수에 편리하도록 하였다.

차. 전체 시스템 시간동기기능

국내 표준시각장치에서 발생되는 시간과 전체 시스템이 동기가 되도록 하여, 사고분석시 발전소 전체시간을 동일선상에서 분석이 가능하도록 하였다(매시 30분에 시간동기됨).

2. 각 Unit 주요기능

가. MPU(Main Processing Unit) 기능

① Event 데이터를 저장하는 주설비로 SSU로부터 수신된 신호를 다양한 형태로 출력처리

② 최대 입력 4,096point 및 출력 2,048point 신호의 처리기능

③ 입출력을 임의로 결정할 수 있는 Mapping 기능 수행

④ 정전시에도 데이터를 보존하는 Battery Backup SRAM 사용

⑤ Event Logging Print를 동작시킴

⑥ ECU와 온라인으로 직접 통신가능

⑦ Self Diagnotics 기능

⑧ 내진동 및 24시간 연속동작에 맞는 구조 VMEbus를 채택.

⑨ 국내 표준시각장치와 시간동기기능

⑩ Auto/Manual 비상운전기능

나. SSU(Sub Scanner Unit) 기능

① 입력신호 처리가 이중화되어 있으며 전체 경보입력(2,250 point)을 1ms 이내에 Scaning하여 데이터를 MPU에 전달한다.

② 각 Subrack별로 125point 처리가 가능함

③ 입력신호의 종류에 따라 NC/NO 처리가능

④ MPU 시스템 Fail시 ACU와 직접 통신하여 경보기능 수행

⑤ 전체 시스템 시간동기기능

⑥ 온라인 카드 교환시 Event 처리 및 Disable 표시기능

⑦ Self Diagnotics 기능

다. ACU(Annunciator Control Unit) 기능

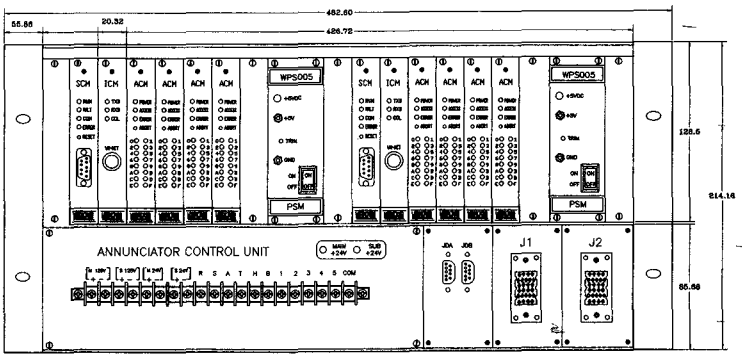
① MPU에서 수신된 데이터로 주제어실 경보창을 동작시킴

② 경보창 동작을 다양하게 동작시킴

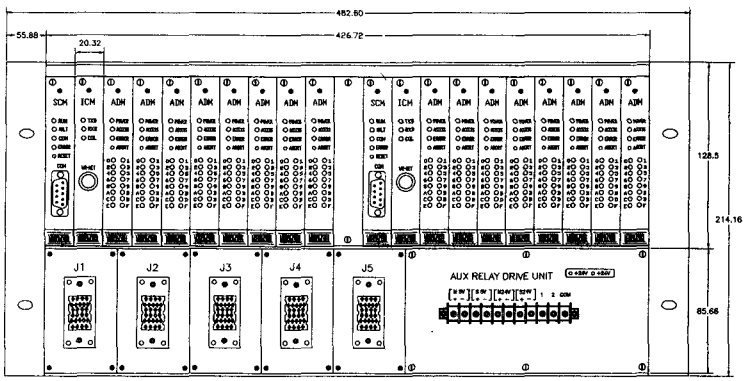
㉠ Fast Flash : 경보 발생

㉡ Slow Flash : 경보 소멸

㉢ Slow-Slow Flash : 최초 경



〈그림 5〉 ACU 전체구성도



〈그림 6〉 ADU 전체구성도

보식별

③ MPU 시스템 Fail시 SSU와 직접 통신하여 경보기능 수행

④ Subrack당 64 Output 처리가능(Dual 출력)

⑤ Self Diagnostic 기능

⑥ 다양한 출력기능

㉠ 최초 경보 식별기능

㉡ Reflash 기능 수행

⑦ 전체 시스템 시간동기기능

⑧ 온라인 카드 교환시 Event 처리 및 Disable 표시기능

라. ADU(Aux Driver Unit) 기능

① MPU와 통신하여 Aux Relay Board를 동작하도록 설계

② Subrack당 128 Output 처리가능(Dual 출력)

③ MPU 시스템이 모두 Fail시 SSU와 직접 통신 가능

④ Self Diagnostic 기능

⑤ 전체 시스템 시간동기기능

⑥ On-Line 카드 교환시 Event 처리 및 Disable 표시기능

마. ECU(Engineering Console Unit) 기능

① Event 데이터 이력관리 및 출력

② 데이터 Configuration Editing 기능

③ 전체 시스템에 대한 시험수행 기능

④ MPU(Main, Sub)와 온라인 통신

⑤ ECU 모든 동작은 Menu를 사용

〈표 4〉 개발 경보설비 구성가기

항목 / 기기명	SUBRACK 수량	구분 (TRN)	SUBRACK 입출력 용량	SUBRACK 입출력 카드수	SUBRACK 통신 카드수	SUBRACK Point/Card
SSU	18	MAIN	128	8	2	16
		SUB	128	8	2	16
ACU	27	MAIN	64	4	2	16
		SUB	64	4	2	16
ADU	4	MAIN	128	8	2	16
		SUB	128	8	2	16
MPU	2	MAIN	o 입력 : 4,096point o 출력 : 2,048point o 카드수 : 7ea/unit			
		SUB				
PSU	6	SSU 및 ADU 전원공급				
ECU	1	Engineering Station				
PRINT	2	ECU 전용 : 1ea Logging 전용 : 1ea				
총	o SUBRACK : 57set o POWER SUPPLY : 102set o 총 카드 : 778ea – 입력카드 : 288ea – 출력카드 : 280ea – 통신카드 : 210ea					

국산화 개발의의 및 활용전망

원자력발전소 계측제어설비의 안전성 및 신뢰성 확보, 또한 다양한 경보기능의 필요성이 대두되고 있는 시점에서 설비 일체의 설계 · 제작 · 성능시험 · 설치 · 운영까지의 전과정을 순수 국내기술에 의해 개발완료함으로써 여러가지 큰 의미를 갖는다.

① 기존 경보시스템의 청각 및 시각적인 단순 경보기능에 다양하고 정확한 운전지원능력을 확보함으로써 설비의 유지 · 보수는 물론이고, 원자력발전소의 안정적 전력공급에 기여하게 되었다.

또한 기존에는 기록기능이 없어 발전소 사고분석시 체계적인 분석이 어려웠으나, 전체 경보를 1ms 간격으로 순차적으로 출력함으로써 보다 정확하고 체계적인 원인분석을 할 수 있게 되었다.

② 최근의 계측제어설비들은 성능 및 신뢰도가 향상되고, 추후 확장성이 용이한 디지털기술을 이용한 분산제어시스템(DCS)으로 대체되고 있어, 이번 경보시스템 개발을 통하여 축적

〈표 5〉 설비비교 검토

비교항목			기존설비	개발설비
설비용량		입력	○ 2,250point	○ 4,096pont
		출력	○ 1,250point	○ 2,048point
경보신호처리	신호전달		○ Hard Wiring 신호처리	○ 통신신호처리
	신호조합		○ Jumper 조합처리	○ S/W Mapping 조합처리
	다중입력처리		○ MO신호 : Reflash 있음 ○ CO신호 : Reflash 없음	○ MO신호 : Reflash 있음 ○ CO신호 : Reflash 있음
	다중입력식별		○ 발생원 확인 불가능	○ 발생원 확인 가능
	Disable 기능		○ 라인 제거 ○ 별도 이력관리	○ 라인 제거없이 가능 ○ ECU에서 관리
	Bouncing 기능		○ 없 음	○ 1~250ms 조정가능 ○ 각 입력별 가능
설계변경작업			○ 정상운전중 모든 경보기능 상실 ○ 작업중 모든 경보기능 상실 ○ 많은 시간 소요 ○ 도면에서 이력관리 ○ 수정작업 어려움	○ 정상운전중 가능 ○ 온라인 상태에서 가능 ○ 경보기능 상실없음 ○ 짧은 시간 소요 ○ ECU 및 도면 이력관리 ○ 수정작업 간단
설비구축			○ 단독 시스템	○ 전체 이중화됨 ○ Auto/Manual/비상운전
전원공급	현장점검		○ 단독공급	○ 단독공급
	램프전원		○ 단독공급	○ 이중공급(Main, Sub 분리)
	카드전원		○ 단독공급	○ 이중공급(Main, Sub 분리) ○ 별도전원 신설
확장성	입력용량		○ 2,250point	○ 4,096(2,250 사용)point
	출력용량		○ 1,250point	○ 2,048(1,250사용)point
	현장경보판넬연결		○ Common Trouble 경보발생 ○ 신호연결 : 전체 케이블 포설 ○ 다중입력 발생원 알 수 없음	○ Common Trouble 경보발생 ○ 1개 통신 라인만 필요 ○ 다중입력 발생원 식별가능 ○ 전용 Print 설치
	전용 CRT 설치		○ 불가능	○ 설치가능 ○ 경보절차서 지원
	LAN 구축		○ 불가능	○ 주전산기 · OACS 등과 구축가능
기록기능			○ 없 음 ○ 청각 및 시각기능 ○ Reset후 소멸	○ 전용 Print 설치(1ms) ○ 청각 및 시각기능 동일 ○ Reset후에도 데이터 저장됨
전원상실			○ 모든 정보 소멸 ○ 공급후 발생경보 인지	○ 모든 정보 저장 ○ 공급후 모든 정보 출력가능

(표 5) 계 속

비교항목		기존설비	개발설비
유지보수	동작상태확인	○ 램프로만 확인	○ 카드에서 LED로 확인
	램프 Fail 확인	○ 운전원 램프 육안점검	○ 운전원 램프 육안점검 ○ 출력카드의 LED 확인 ○ Fail 상황 Print됨
	시험기능	○ 없 음 ○ 전체 입력 Jumper 확인 ○ 많은 시간 소요 ○ 배전반 직접 확인	○ ECU에서 가능 ○ 온라인 상태에서 가능 ○ 짧은 시간 소요 ○ ECU 및 Print 확인 가능
최초경보식별		○ 운전원 시각에 의존	○ 각 경보반별로 확인가능 ○ 전체경보 Print 출력
사고분석시		○ 운전원 시각에 의존 ○ 다중경보 발생원 알 수 없음 ○ 시간대별 분석 불가능	○ 전체경보 Print 출력 ○ 다중경보 발생원 식별가능 ○ 전체경보 시간별 분석가능
전체시간동기		○ 없 음	○ 국내표준시각에 동기 ○ 주전산기 및 OACS와 비교분석 가능

된 기술을 기타 발전소 계측제어설비들의 개선에 활용함으로써 원전 계측제어설비의 안전성 및 신뢰성을 확보할 수 있는 기반을 구축하였다.

③ 디지털설비의 출력은 정보를 효과적이고 축약적인 정보형태로 운전원에게 제공할 수 있어야 하는데 데이터베이스 구축은 매우 어려워 국내에서도 개발한 경우가 전무한 상태인데, 이번 경보시스템 개발을 통하여 데이터베이스를 개발함으로써 그 활용가치가 무한하다.

④ 디지털기술을 이용한 분산제어시스템의 설비는 대부분 2중으로 구축하여 운용하는데, 상호간 제어알고리즘 구현이 설비의 신뢰성 향상에 매우 중요하여 연구를 활발히 수행하고 있다.

이러한 시점에서 경보시스템 개발을 통한 2중 · 3중 구조에서도 설비의 다양한 고장상황에 맞추어 상호간 절체가 이루어질 수 있도록 제어알고리즘을 개발하여 설비에 구현함으로써 발전소 계측제어설비의 국산화 개발이 진일보하게 되었다.

⑤ 현재 국내 원자력발전소에서 동일설비로 설치된 경보시스템은 70년대의 기술로 설계 · 제작되어 설치한 외국산 설비들이다.

이번 영광 1호기에 국내기술에 의해 성공리에 개발 및 설치 완료함으로써 1차적으로 동일설비인 고리 3 · 4호기에 확대적용이 가능하며, 앞으로 유지 · 보수시 예비품 확보가 용이하고, 예산절감을 할 수 있어 그 파급효과가 매우 크다.

⑥ 계측제어설비의 노후화 문제를 해결하고, 새로 건설되는 발전소에 디지털 계측제어설비를 적용하기 위하여, 국내외 등에서 계측제어설비의 성능개선 및 디지털화 연구가 활발히 수행되고 있는 시점에서, 분산제어시스템을 갖춘 경보설비가 개발됨으로써 후속호기 계측제어설비 개선, 차세대 계측제어설비 개발, 원자력발전소 계측제어설비 교체에 활용할 수 있을 것이다.

⑦ 분산제어시스템(DCS)의 형태로 개발한 경보설비가 원자력발전소에서 신뢰성이 입증됨으로써, 일반 산업체는 물론이고 화력발전소에서도 적용이 가능함에 따라 국내 DCS시장의 활성화로 인한 제어기기의 수입대체효과가 매우 클 것으로 생각된다.