



우리 나라의 원전 I&C 기술 개발 현황과 전망

김 국 헌

원전계측제어시스템개발사업단(KNICS) 단장



들어가는 글

우리 나라가 원자력 발전 설비와 발전량 등에서 세계 6위권의 강자 대열에 있으며, 원전 1차 및 2차 계통의 대부분을 직접 생산하는 나라는 몇이 되지 않으니 가히 원자력의 선진국 아니면 준선진국의 대열에 합류하였다고 당당히 얘기할 수 있을 것이다.

또한 신고리 1,2 및 신월성 1,2 호기의 건설이 진행중이며 신고리 3,4의 주계약이 진행중이므로 원자

력 기술뿐만 아니라 원자력 발전 사업이 가장 활발하게 진행되는 두 세 나라의 하나인 것이다.

그렇지만 RCP(Reactor Coolant Pump), CPC(Core Protection Calculator)와 I&C(Instrumentation & Control)의 세 item에 대해서는 기술 자립이 안 되어 있고, 그래서 항상 특정 외국 기업에 끌려가는 형국을 면할 수가 없었던 것도 사실이다.

그러나 다행스럽게도 3년 전부터 원전 I&C 기술과 제품 개발을 위한 체계적인 연구 개발 사업이 시작되었고, CPC와 RCP의 국산화 개발을 위한 연구도 막 시작되어 조만간에 진정한 원전 강국으로의 변모를 기대해 본다.

대한민국이 진정한 원자력 발전 설비의 강국이 되기 위해 풀어야 할 문제 중의 하나인 국내의 원전 I&C 개발 현황과 전망에 대하여 기술한다.

원전 I&C 기술 개발 현황과 Vision

1. 원전에서의 I&C 역할

원자력발전소의 두뇌 및 신경망의 역할로서 제어, 보호 및 정보 시스템 등으로 구성된다 <그림 1>.

2. 원전계측제어사업단(KNICS) 소개

가. 사업 목표

○ 원전용 디지털 계측 제어 시스템 개발 및 실용화

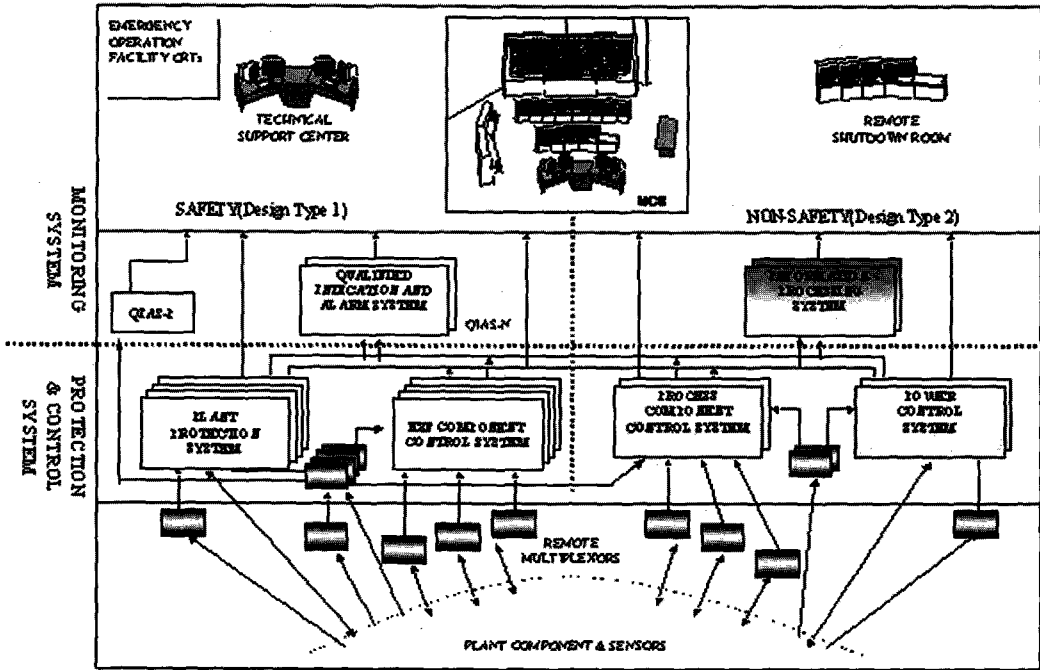
- 가동중 원전 및 신규 원전에 계측 제어 시스템의 부분적 공급

- APR-1400(차세대 원전) 후속기의 통합 계측 제어 시스템 개발 및 실용화

○ 감시 및 운전 지원 기술 개발로 미래 기술 기반 확보

○ 사업 종료 시점에 세계 3강 진입
나. 총사업 기간 : 7년(2001. 07. ~ 2008. 06.)

○ 1단계 : 3년(2001. 07. ~ 2004.



〈그림 1〉 원전의 I&C

06.)

○ 2단계 : 4년(2004. 07. ~ 2008. 06.)

〈표 1〉 KNICS의 1단계 사업 목표

다. 1단계 목표 〈표 1〉

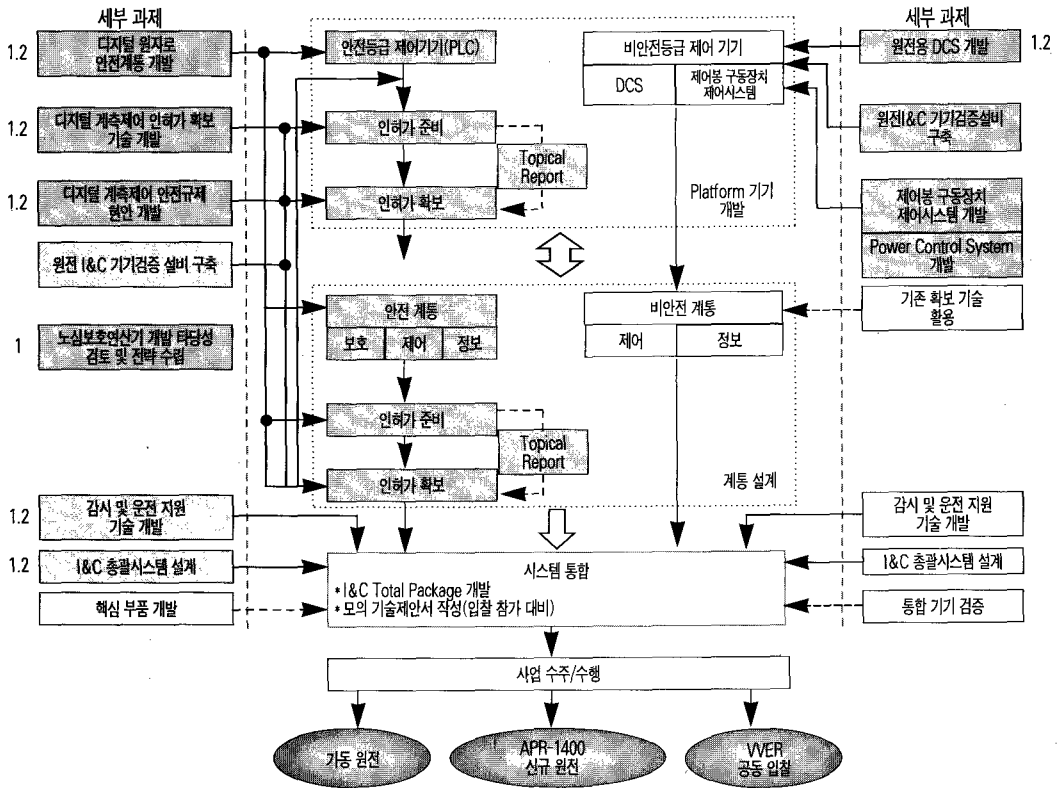
3. 사업과 과제와의 관계

〈그림 2〉는 원전 계측 제어 시스템의 실용화를 위한 과정과 세부 과제의 연관 관계를 나타내고 있다.

각각의 세부 과제들은 기술과 제품의 실용화를 위한 각 단계별로 기여를 하고 있으며, 전체적으로는 Total I&C Package의 개발과 실용화가 가능하도록 전략적으로 구성되어 있다.

연구 개발의 결과는 국내에서는

구분	목표
1단계 (2001. 07~2004. 06)	○ 보호 계통(RPS, Reactor Protection System) 시제품 개발
	○ 공학적 안전 설비 기기 제어 계통(ESF-CCS, Engineered Safety Features-Component Control System) 시제품 개발
	○ 보호 계통용 디지털 제어 기기(PLC, Programmable Logic Controller) 시제품 개발
	○ 안전 등급 제어 기기 인허가 기술 개발
	○ 원전 안전 소프트웨어 검증 체계 구축
	○ 원전용 DCS(Distributed Control System) 개발
	○ 제어봉 구동 장치 제어 시스템 개발
	○ 발전기 제어 기기 원전 적용 기술 개발
	○ 원전 공정 감시/상태 진단 및 운전 성능 평가
	○ 원전 I&C 기기 검증 체계 구축
	○ KNICS 통합 계측 제어 시스템 구조 개발(1단계 중 추가)
	○ 노외 계측기 출력 영역 신호 처리 장치 개발(1단계 중 추가)



〈그림 2〉 KNICS의 기술/제품 상용화 Flow

가동 원전의 I&C upgrade 사업에 활용하며, 전체 Package로는 APR-1400 신규 사업에 국산 기기와 기술로 독자적으로 공급할 수 있는 능력을 확보하는 것이며, 러시아 주도의 원전 건설에 I&C를 공급하기 위한 노력을 병행하고 있다.

4. 세부 분야별 성과

가. 안전 계통 분야

안전 등급 제어 기기(PLC)의 시제품을 제작하였다. 제작된 안전 등급 PLC는 기능 시험 후 원자로 보호 계통 및 공학적 안전 설비 기기 제어 계통 시제품 제작에 적용되었

으며, 현재 시험 기관에서 EQ 시험을 수행하여 2단계 완제품에 대한 보완 사항을 도출하였다.

본 과제를 통하여 개발되는 안전 등급 PLC는 RPS 및 ESF-CCS뿐만 아니라 노심 보호 연산기 계통(CPCS) 및 안전 등급 표시 계통(QIAS)과 같이 안전 계통의 공통 플랫폼으로 활용 가능하다.

또한 원자로 보호 계통 및 공학적 안전 설비-기기 제어 계통 시제품을 제작하여 기능 및 성능을 검증하였다.

제작된 원자로 보호 계통 시제품에 대해 시험 기관에서 EQ 시험을

수행하여 2단계 완제품에 대한 보완 설계 사항을 도출하였다.

주목할 사항은 해외의 기존 제품들이 산업용 제품을 COTS Dedication을 통해 원자력에 적용하는 반면에 KNICS 개발 사업에서는 설계부터 구현, 통합, 검증의 모든 과정을 안전 등급 기기 개발 절차를 준수하여 개발함으로써 명실상부한 안전 등급 제어 기기라는 점이며, 이런 과정에서 축적되는 기술들은 향후 다른 용도의 안전 등급 제어 기기를 개발하거나 설계 변경하는 과정에서 훨씬 유연하게 대처할 수 있다는 것이다.



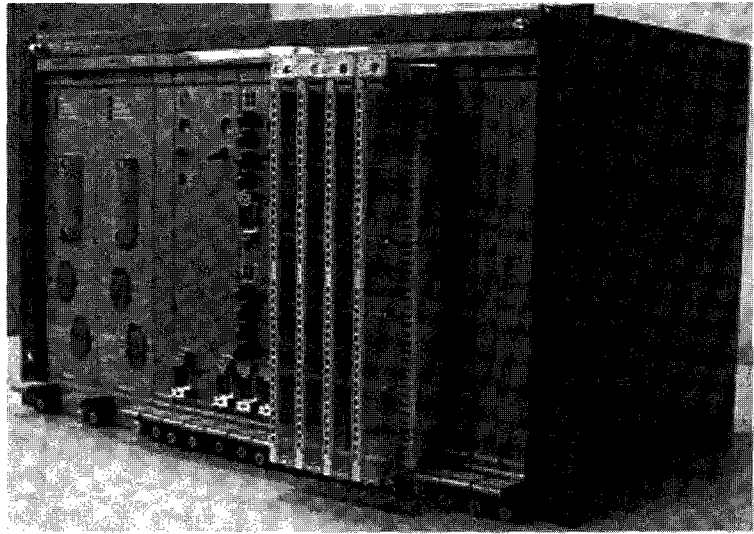
의산인 Teleperm XS의 세트 당 가격이 1억 5천만원 정도임을 감안할 때, KNICS 개발 안전 등급 제어 기기의 뛰어난 경제성과 함께 신뢰성과 기능성을 보장한다고 할 수 있다.

원자력발전소 한 호기 당 RPS의 경우 안전 등급 PLC가 약 20세트, ESF-CCS의 경우에는 약 70~100 세트가 소요된다고 볼 때, 원전의 원가 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

아울러 안전 계통을 개발하면서 축적된 안전 등급 PLC 및 RPS/ESF-CCS 소프트웨어 요구 사항 명세 및 설계 사양서 개발 방법과 절차, 제작 기술 등은 고신뢰성 및 안전성이 요구되는 우주 항공이나 군사 기기 개발 등 타산업 분야에 적용이 가능하다.

나. 디지털 계측 제어 인허가 확보 기술 개발 분야

KNICS 안전 등급 제어 기기인 PLC, 디지털 원자로 보호 계통(RPS) 및 디지털 공학적 안전 설비-기기 제어 계통(ESF-CCS) 개발을 위한 품질 보증 체제 구축, 인허가 관련 정보 및 자료의 실시간 공유 데이터 베이스 구축 및 지속적인 보완, 안전 소프트웨어 요구 사항 단계 검증 절차서, 설계 단계 구현 단계 및 통합 단계 검증 절차서를 작성하여 디지털 안전 계통의 인허가 확보를 위한 환경을 구축하였다.



〈그림 3〉 안전 등급 PLC 시제품

다.

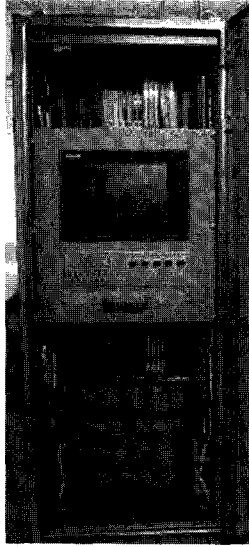
안전 등급 제어 기기인의 실시간 운영 체제 및 통신망, RPS 및 ESF-CCS의 요구 사항 단계, 설계 단계, 구현 단계, 통합 단계의 소프트웨어 검증과 테스트 등의 업무를 수행하여 개발되는 디지털 안전 계통의 신뢰도와 안전성을 확보하였다.

다. 원전용 DCS 개발 분야

국내 최초로 원자력발전소의 분산 제어 시스템(DCS)을 국산화 개발하였다. 이 DCS는 공인 기관으로부터 하드웨어에 대한 내환경·내지진·전자파 시험을 받았으며, 전력연구원에서 개발한 시뮬레이터와 연결하여 시스템의 성능에 대한 검증을 수행하였다.

개발된 DCS는 가동 원전, 한국 표준형 원전의 계측 제어 계통에 사용할 수 있도록 원전의 설계 개발 절차를 준수하고, DCS 기능 수행에 필수적인 구성품들을 이중화(전원 공급 모듈, 제어기 및 통신 모듈)하여 하나의 구성품 고장에 의해 전체 시스템의 기능이 상실되지 않도록 설계하는 등 제품의 신뢰도 확보에 노력하였다.

본 제품의 국산화 개발로 고가의 외국산 디지털 제어 시스템 도입 비용을 절감(수입 대체 : 93억원/호기(울진 5호기 기준), APR-1400은 500억원 이상)하고, 관련 기술이 국내 축적됨에 따라 기기에 대한 유지 보수 비용을 절감할 수 있어 보다 경제적으로 원전의 경제성과 안



〈그림 4〉 원자로 보호 계통 시제품

전성을 확보할 수 있다.

라. 제어봉 구동 장치 제어 시스템 개발 분야

세계 최고의 성능 및 신뢰성을 가진 가동 원전용 제어봉 구동 장치 제어 시스템을 국산화 개발하였다. 이 제어 시스템은 국내에서 우선적으로 수요가 예상되는 3 Coil 형식의 제어봉 구동 장치(CRDM)를 가지는 가동 원전을 대상으로 하여 고신뢰 디지털 제어 시스템 형식으로 고유 모델을 개발하였다.

이를 위한 개발 방법으로는 3차에 걸친 시제품 제작을 반복하며 지속적으로 보완 및 Upgrade를 행하였으며, 이중화 구조 및 감시 진단 기능 부가, 유지 보수성 향상 등을 통하여 그 품질 및 성능면에서 세계

최고 수준의 최종 시제품을 제작하였다.

이 제품은 국내의 가동 원전인 고리 원전을 비롯한 8개 원전에 바로 적용 가능한 실제품 수준으로 앞으로 실적용을 통하여 호기당 수십억 원(수입 대체: 50억원/호기(표준원전 기준))의 수입 대체 효과와 수출을 통한 외화 획득이 기대된다.

마. 감시 및 운전 지원 기술 개발

NUREG-0700 Rev.2를 비롯한 항공·군수·전산 등의 최신 인간공학 지침을 정리하여 원전 제어실 설계에 적용할 수 있는 인간공학 일반 지침을 개발하여 설계 및 설계 검토시 수많은 인간 공학 관련 지침을 찾아 적용할 수 있도록 하였다.

이 일반 지침을 기반으로 발전소 감시 경보 계통 화면 설계 지침, 디지털 원자로 보호 계통 캐비닛 운전 원 화면 스타일 가이드 등 인간공학 상세 설계 지침을 개발하였다.

개발된 지침들을 토대로 기존 사업자 인간 공학 지침 HF-010을 개정하여 신고리 1, 2호기 및 신월성 1, 2호기 사업에 적용하도록 하였다.

발전소 성능 평가를 위한 원전 2차 계통 성능 분석 시스템이 개발되어 영광 1, 2 발전소 및 고리 2 발전소에 적용하여 사용중에 있다.

또한 원전 주제어실에서 경보가 발생하면 경보의 원인을 논리 추적을 통해 밝혀내 알려주고 해당되는

경보 절차를 연계하여 표시해주는 경보 원인 추적 시스템을 개발하였다.

바. I&C 총괄 시스템 설계

최근 국내에서 설계가 인증된 신고리 3&4호기를 통해 적용되고 있는 APR1400 설계 요건을 만족하고 필요한 부분에서 설계 개선된 국산 기기 기반의 원전 계측 제어 계통 패키지인 KNICS를 개념 설계하였고, 계통별 구조를 설계하였다.

또한 사용되는 기기의 사양 및 특성을 파악하고 이를 기기 및 계통 개발의 입력으로 제공하였다.

본 과제를 통해 개발된 구조 및 각종 설계 문서를 근거로 KNICS 사업의 각 수행 과제에 대한 체계적인 연계 관리로부터 통합 계측 제어 시스템의 신뢰성과 품질을 확보하여 국내의 가동 원전 계측 제어 계통의 Upgrade뿐만 아니라 신규 원전에도 국산 I&C Total System의 공급이 가능하도록 계측 제어 계통 기기 설계 기술 및 기기 개발이 이루어질 것이다.

사. 노외 계측기 출력 영역 신호 처리 장치 개발

국내의 Westinghouse type의 가동중인 발전소(고리 #1, 2, 3, 4호기 및 영광 #1, 2호기) 원전에 바로 적용 가능한 노외 계측기 출력 영역 신호 처리 장치를 국산화 개발하였다.



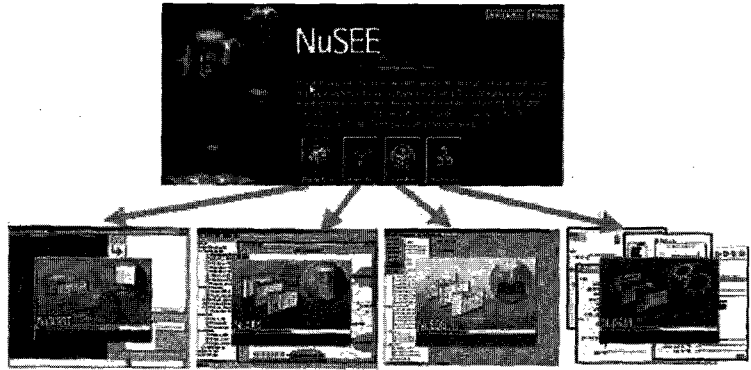
호기당 6~7억원의 수입 대체 효과가 있을 것으로 예상되며, 가동 원전의 유지 보수 및 설비 교체 비용 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

아. 디지털 계측 제어 안전 규제 현안 개발

원자로 보호 계통 설계 분야, 소프트웨어 품질 검증 분야 및 인간 연계 분야의 설계 결과물 중 총 37개 주요 문서에 대해서 규제 요건의 적용성 검토를 수행한 결과, 8개 현안 사항을 1차로 도출하였다.

또한 총 17번의 실무 협의회 개최를 통하여 주요 설계 방식에 대한 다양한 기술 토론을 상호 교환하였으며, 세부 설계 내용 중 개선이 필요한 사항들에 대해서는 질의서 형식의 검토 의견을 설계자에게 제공함으로써 설계 내용 중 규제 현안 사항에 대한 예측 기회를 제공하였으며, 또한 다양한 분야에서의 설계 보완이 이루어질 수 있도록 하였다.

제기된 안전 현안 사항이 반영되어 핵심 계통 설계 내용에 대한 2건의 설계 변경(원자로 보호 계통 자동 및 수동시험 방법 변경, 원자로 정지 계통 및 공학적 안전 설비 작동계통 자동 트립 논리 구조 개선)이 이루어졌으며, 전체 KNICS 설계에 대한 고품질의 설계 공정이 수행될 수 있도록 함으로써 설계 방향의 건전성 향상을 이루는 데 기여하였다.



〈그림 5〉 고신뢰도 소프트웨어를 위한 설계 지원 및 확인 검증 통합 도구 NuSEE



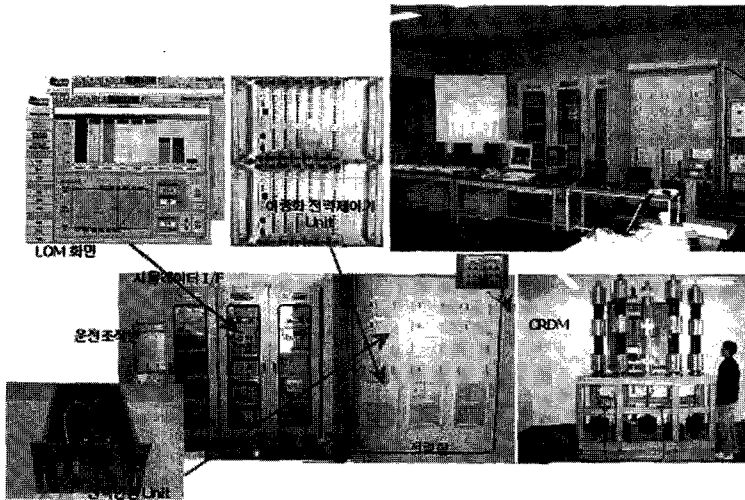
〈그림 6〉 DCS 시제품

본 연구 결과들은 원자력법령, 규제 지침의 제·개정시 근거 자료 또는 제정(안)으로 활용하며, 또한 신규 원전 또는 가동 원전의 인허가 심사 및 검사시 안전성 검증 및 평가 근거 자료 또는 지침으로서 활용

될 것이다.

자. 원전 I&C 분야 기기 검증 체계 구축

내지진 시험 설비 구축 등으로 이미 기기 검증 업무에 활용중이며 국내에서 원전 I&C 분야 기기 및 설



<그림 7> CRCS 시제품

비의 종합적 검증이 가능한 체계를 완성하였다.

따라서 원전 I&C 기기 및 설비에 대한 기기 검증 업무를 국내에서 수행함에 따라 비용 절감 및 기기 개발 기간 단축을 기할 수 있으며, 아울러 국내에서 개발된 원전용 I&C 기기 및 설비 등에 대한 해외 인증 지원 및 상호 인증을 통하여 수출 지원 확대가 기대된다.

차. 노심 보호 연산기(CPC) 개발 타당성 검토 및 전략 수립

국내 가동 원전의 노심 보호 연산기(CPC) 운용 현황 및 개선 필요 항목을 도출하고 국내외 기술 현황을 분석하여 노심 보호 연산기 개발의 국산화 타당성 및 가능성을 확인하였다.

이에 대한 노심 보호 연산기 개발 방안으로 통합형 실시간 원자로 열

적 보호 계통(Integrated Thermal On-line Protection System, ITOPS)을 개발하여 국내 특히 출원하였다.

5. 2단계 사업의 핵심 방향

- APR-1400 후속기의 Total I&C 입찰 참여를 위한 기술적 준비
- 가동 원전의 I&C Upgrade 참여를 위한 기술적 준비
- 안전 계통(제어 기기 및 보호 계통 등)의 인허가 확보
- DCS의 성능 개선 및 시스템 규모 확장
- KNICS 기반 Total I&C Package 설계 및 구현
- 통합 기기 검증 설비 구축 및 성능 검증
- 러시아 주도형 원전 사업에 I&C 수출 준비

미리 보는 2008년의 Top News 보도 자료

1. 러시아 주도형 원전에 KNICS가 수출
2. 신규 원전 건설을 대한민국 독자 기술로 공급
3. 대한민국이 원전 I&C 3대 강국으로

꿈을 현실로 하는 노력 방향

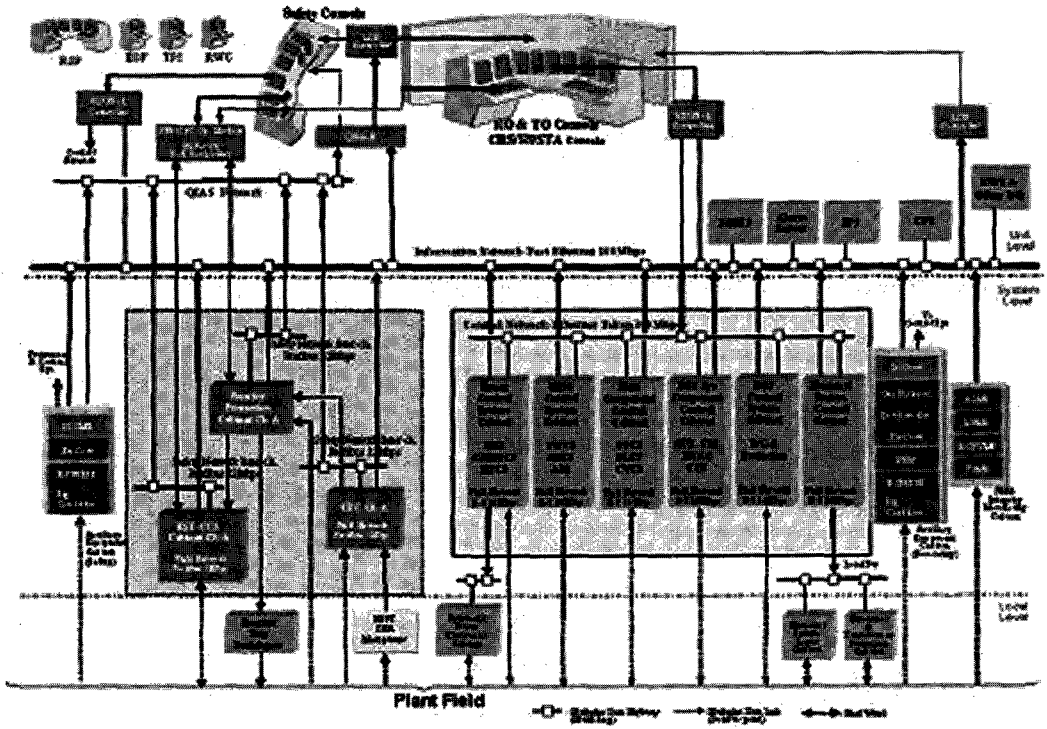
모든 사람과 기업은 꿈을 갖고 있다. 그러나 꿈을 갖고 있다고 하여, 또는 갖고 있던 모든 사람과 기업이 꿈을 이루는 것은 아니다.

부단히 노력하되 노력의 방향이 맞아야 하고, 또한 주위의 도움을 구하는 데 게으르지 말아야 하며, 능력을 갖추고 있어야 한다.

그중에 가장 쉬운 것이 능력을 갖추는 것이다. 능력은 나 혼자만의 능력이 아니라 꿈을 가진 사람들이 '우리' 라는 개념을 앞세우면 협력을 통해 이루어질 수가 있다.

특히 우리 나라는 18기의 원전 건설 및 운전 경험과 Computer, Control, Communication의 3C 기술, 원전의 A/E 및 S/D 기술, 모든 요소 기술을 확보하고 있으며, 그 수준 또한 대단히 높다.

이미 잠재 능력은 충분히 확보되어 있다고 보아도 무방하다. 구슬은 많고, 잘 꿰는 일만 남았다. 모두가 "꿈은 우리가 이루는 것이지 내가 혼자 이루는 것이 아니다"라고 외쳐 보자. 모든 일의 최대의 적은 내



<그림 8> KNICS 통합 구조

부에 있듯이 하나하나의 주체가 우리를 앞세우고 노력할 때 꿈은 이루어진다.

모든 일에는 어려움이 따른다. 100등이 50등을 하기 위해서도 많은 노력이 필요하지만, 원자력 6등이 3등, 2등, 1등을 하기 위해서는 훨씬 더 많은 노력이 필요하다. 진행되는 중간 중간에 어려움을 겪더라도 꺾이지 않는 투지와 옳은 방향으로의 전념이 필요하다.

그리고 크게는 우리 나라의 에너지 문제와 경제를 생각하는 모든 분들의 협력을 구하는 데 게을리 하지

않다면 2008년의 Top News는 '미리 보는 2008년 Top News'와 달라지지 않을 것이다.

맺는말

요즈음 우리 원자력계는 많은 어려움에 직면하고 있다. 잘 살게 해주는 원자력 발전을, 먹고 살기 위한 필수적인 것이 아니라 이제는 필요악보다도 못하다고 주장하는 일부 무책임한 사람들이 있다. 우리는 그런 사람들을 잘 이해시키고 협력을 구하기 위한 노력을 계속해야겠

지만 우리 자신부터 정확한 자세를 견지해야 한다.

원자력 발전은 필요악이 아니라 적어도 향후 100년간은 최선의 선택인 것이다. 원자력계에 종사하는 우리 모두가 최선의 방법으로 국가와 국민을 먹여 살린다는 자부심을 가지고 신나게 책임을 다 하자.

마지막으로 에너지 생산에 직접 참여하시는 분들께 존경과 감사로 표하며, 대한민국이 원전 설비 최대 강국으로 가는 길에 동참하는 원전 계측 제어 분야에 대한 많은 사랑과 지도 편달을 부탁 드린다.