



금 상

원전 계측 제어 설비 개발

이 용 호

한전 영광원자력본부 제1발전소 계전부장



명확한 운영 목표 설정

로 보수 측면에 관리 주안점을 둔 시기로, 설비의 고장을 즉시 해결하고 동일 고장이 재발하지 않도록 하는 사후 보완적 정비를 주로 수행한 데 반하여, 상당한 정비 경험을 축적하게 된 90년대 초는 설비 고장 발생 전의 예방·예측 정비를 고장 발생을 사전에 제거하는 진일보된 정비 기술을 갖게 된 시기로서 산업계 전반의 계측 제어 기술이 급속도로 발전하기 시작한 때이기도 한다.

설비 신뢰성 제고를 위해서는 설비 운영 주체인 구성원 모두가 인식하는 포괄적 정비 행위에 대한 명확한 비전이 요구된다. 설비의 정비와 개발 등은 이러한 비전을 구체화하는 쪽으로 계획되고 수행되어야 하며, 구성원의 정비 행위와 제반 업무 활동은 공동 추구의 방향성에 반하지 않도록 하는 것이 중요하다.

필자는 94년 영광 1발전소 계측 제어부장으로 부임한 후 운영 목표를 '설비 제어성, 안전성 확보'와 '운전 지원 능력 제고'로 정하고 운영 목표 달성을 위한 장기 정비 전략을 수립하였다.

계측 제어 설비에 대한 장기 전략의 정의는 발전소 전수명 기간과 폐지 후까지 전기간 동안 설비 설계 기능이 정상적으로 발휘될 수 있도록 장·단기 정비 계획이 효과적으로 조합되어 운영하는 것이며, 이를 위해 장기 전략 실천 계획을 크게 단기·중기 그리고 장기로 구분하였다.

이러한 과정을 거치면서 숙련된 정비 기술을 바탕으로 설비의 신뢰성을 보다 높이는 관점에서 반복적 고장 정비보다는 근본적인 설비의 개선과 개발의 필요성을 느끼게 되었고, 이는 결국 원전 계측 제어 분야의 기술 자립이라는 현재의 열매를 맺게 하는 기술 발전의 씨앗이 되었다.

영광 1발전소의 경우 93년 고질적인 문제를 안고 있던 발전소 경보 시스템의 국산 개발을 국내 최초로 과감히 추진함으로써 국내 원전 설비 국산 개발의 이정표가 되었다.

원자력발전소의 신경망이라 할 수 있는 계측 제어 설비는 원전의 안전성 확보와 최적의 제어를 위해 고도의 신뢰성이 요구되는 설비들로 대부분 구성되어 있어, 설비의 운영도 이러한 계측 제어 설비의 신뢰성 제고를 위한 방향으로 정비의 목표를 두는 게 일반적이다.

78년 고리 원전 1호기 준공 이후 정비 기법이나 적용 기술 등은 계측 제어 기술의 발달에 따라 많은 기술적 변화를 보이고 있다.

80년대 계측 제어 설비 운영은 주

단기 계획은 설비 정비를 위한 정비 기술들을 보다 과학화하기 위한 정비 프로그램으로, 정비 지원 설비 개발과 취약 설비에 대한 집중 정비 수행 등이 이 범주에 속하며, 설비의 신뢰성 확보에 큰 기여를 한 시의 적절한 정비 전략으로 평가되고 있다.

중기 계획은 5년 단위로 수행되는 단위 설비 성능 향상을 위한 기술 개선에 주안점을 둔 것으로, 설계 개념 상 취약성을 갖고 있어 단일 구성품 고장에 의해 발전소 불시 정지 또는 과도 상태를 유발하는 설비의 제어성을 확보하기 위한 전략으로 주로 내 고장기술 개발에 주안점을 두었다.

장기 계획은 발전소 수명과 연동되어 고려되는 12년~15년 단위의 대규모 설비 교체를 위한 것으로, 발전소 감시 설비, 제어 설비, 그리고 보호 설비 등의 교체 등이 이 범주에 속하며, 발전소 폐지 후까지 정상 동작이 요구되는 방사선 감시 설비와 같은 일부 설비에 대한 교체 계획도 포함된다.

영광 1발전소의 경우 93년부터 각종 감시 설비 및 데이터 취득 설비 개발을 지속적으로 추진하여 98년 말 기준 90%, 99년 말에는 대부분의 감시 설비가 국산 개발될 예정이어서 감시 설비 국산 개발은 사실상 완료될 전망이다.

이제 적어도 감시 설비 만큼은 외국 기술에 의존하지 않은 순수 자체 기술로 개발된 뛰어난 성능의 설비들

로 거듭나게 된 것이다.

발전소 주요 핵심 제어 설비들은 그간의 설비 국산 개발 과정에서 확보된 기술력을 바탕으로 지속적으로 개발 추진되어 2002년 기준으로 설비 교체가 시작될 예정이다.

기술 개발 성과

발전소 계측 제어 설비는 크게 감시 설비, 제어 설비, 그리고 보호 설비로 구분되며, 과학적 정비를 위한 정비 지원 설비들이 여기에 추가된다.

계측 제어 설비는 발전소 안전 중요도에 따라 설비 개발을 포함한 제반 정비 활동의 범위가 결정되며, 안전에 중요한 설비일수록 고도의 신뢰성과 엄격한 품질 절차를 요구받게 된다.

따라서 설비의 내재된 문제점 -에를 들어 기능 나후나 부품 생산 중단 등-의 해결 방안으로서 설비 대체 개발과 같은 근본적인 변화가 요구될 때 적극적으로 자체 개발 등의 해결 방안을 모색하게 되는 설비는 주로 안전에 직접적인 영향을 주지 않는 정비 지원 설비나 감시 설비들이 대상이 된다.

계측 제어 설비 신뢰성 제고를 위한 기술 개발 등의 광의의 정비 활동은 통상 정비 지원 설비, 감시 설비, 제어 설비, 그리고 마지막으로 보호 설비 순으로 개선이 진행되는 것이 타당하다.

지원 설비나 감시 설비의 기술 개발 과정에서 축적된 자체 기술력이 풍부해야 그간의 설비 운영 경험을 바탕으로 최적의 제어 설비 개선이 가능하기 때문이다.

영광 1발전소의 경우 계측 제어 설비의 신뢰성 향상을 위한 장기 전략에 따라 정비 과학화를 위한 정비 지원 설비와 감시 설비의 국산 개발을 성공적으로 추진함으로써 발전소 운영 신뢰성 향상에 크게 기여하고 있다.

단기 정비 전략을 위해 자체 개발된 주요 정비 지원 설비에는 주요 계통의 전자 회로 기판의 성능 진단을 위한 자동 진단 장치들과 터빈 제어용 컴퓨터 및 제어 루프 성능 진단을 위한 시험 장치, 주요 전원 공급기 성능 진단 장치, 그리고 실시간 운전 정보 제공을 위한 발전소 운전 상태 원격 감시 시스템 등을 들 수 있다.

중기 정비 전략 추진은 단일 구성품 고장에 의한 발전소 불시 정지를 예방하기 위한 설비 제어성 향상 기술 개발에 집중되었으며, 주중기 및 주급수 격리 밸브 제어 모듈 이중화, 주급수 제어 밸브 제어 루프 고장 극복 기술, 그리고 불필요한 제어봉 낙하 방지 기술 등을 들 수 있으며, 이러한 제어성 향상 기술 개발로 발전소 운영 신뢰성의 획기적인 개선이 가능할 수 있었다.

일반 감시 설비들은 발전소 안전 설비나 제어 설비에 비해 발전소 운영 초기엔 핵심 정비 영역권 밖에 있



었으나, 가동 연수가 증가함에 따라 설비 신뢰성 확보를 위한 기능 향상의 필요성이 점차 제기되고, 또한 장기 정비 전략 추진과 맞물려 감시 설비 국산 개발을 적극적으로 착수하게 되었다.

설비 개발의 첫 시작은 93년 발전소 경보 시스템이었는데, 기능 낙후의 유지 정비 어려움을 자체적으로 해결하고자 착수된 설비 개발은 주변의 우려감을 불식시키고 3년여만에 국내 최초의 지능형 발전소 경보 시스템 개발로 기록되는 원전 설비 국산 개발의 이정표를 세우는 것으로 완료되었다.

이 때 축적된 디지털 시스템 구축 기술과 자신감을 바탕으로 음향 누설 감시 시스템, 금속 이물질 감시 시스템, 소내 방사선 감시 설비 전산 시스템 등이 연이어 자체 개발 되었으며, 99년 5월 현재 원자로 냉각재 건전성 감시 시스템과 요즘 현안이 되고 있는 지진 감시 설비 개발이 금년 말 완료를 목표로 진행되고 있다.

개발된 감시 설비 중 기술적 성과가 크고 나름대로 개발의 의미를 두고 싶은 소내 방사선 감시 설비 전산 시스템 개발과 금속 이물질 감시 시스템의 주요 개발 내용들을 소개하고자 한다.

1. 소내 방사선 감시 설비 전산 시스템 개발

영광 1·2발전소 소내 방사선 감

시 설비용 전산 시스템은 미국 빅토린사로부터 도입된 설비로, 전체 방사선 감시 설비를 감시·제어하여 실시간으로 방사선 관련 정보를 제공하는 신뢰성이 요구되는 설비이다.

그러나 70년대 후반에 설계·제작되었기 때문에 노후화에 따른 잦은 설비 고장, 예비품 확보 어려움 등 안정적 운영에 어려움이 있어 설비 개선의 필요성이 제기되었으나, 현장 감시기(Local Control Unit)와의 독특한 통신 기법과 같은 핵심 기술이 공개되지 않아 설비 개선시 막대한 외화가 소요되고 기술 종속이 더욱 심화될 처지였다.

이러한 설비 운영과 기술적 어려움을 해결하는 길은 국내 기술로 표준화 가능 모델을 자체 개발 할 수밖에 없다는 결론을 내리고 94년 3월 개발에 착수하였다.

방사선 감시 계통에서 가장 핵심적인 기술 중의 하나인 전산 시스템과 현장 감시기간 통신 프로토콜 분석에 착수, 80% 정도를 자체 분석해냄으로써 자체 개발 가능성을 확신하고 설비 개발에 더욱 박차를 가하여, 개발 착수 후 4년만인 98년 2월 최신 컴퓨터 및 전산 기술이 결합된 신기술의 방사선 감시 설비용 전산 시스템을 국내 최초로 개발하는 데 성공하였다(그림 1).

최신 기술 기법으로 개발된 전산 시스템은 근거리 통신망, 서버/클라이언트 및 고신뢰도의 데이터 베이스

구축 기술 등이 결합되어 안정적인 실시간 소내 방사선 감시가 가능하고, 기존 전산 시스템의 정보 제공 한계를 극복한 다양한 현장 상황과 이상 상태 발생시의 중요 정보를 신속하게 운전원에게 제공될 수 있도록 개발되었다.

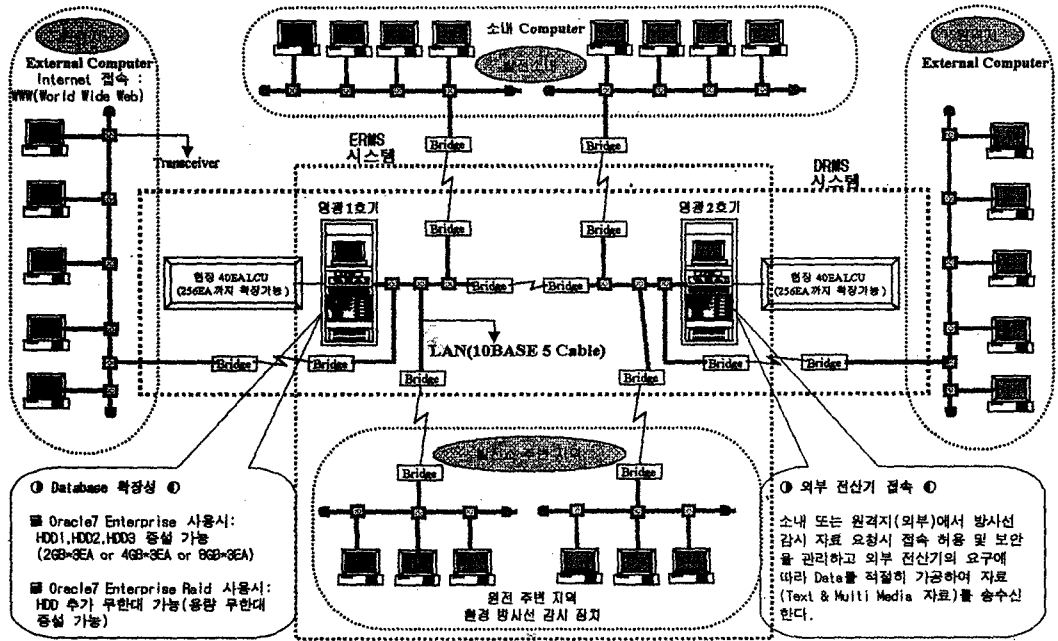
개발 설비의 기술적 특징을 살펴보면, 매초 전감시 대상 현장 감시기(LCU) 운영 변수를 실시간으로 제공하며, 현장 이상 상황 발생시 운전원 긴급 조치가 가능하도록 경보 내역을 시간대별로 제공한다.

또한 주요 방사선 감시 장치를 원격으로 제어하기 위한 기능을 갖추고, 1년분의 일일 평균, 시간 평균, 분 평균 데이터를 저장하여 목적에 따라 재가공할 수 있도록 되어 있으며, 편리한 사용자 환경의 최적 화면을 제공한다.

방사선 감시용 전산 시스템 개발의 기술적 성과로는 국내 표준화가 가능한 고유 모델로 국산 개발함으로써 해외 기술 의존을 탈피했으며, 시스템의 확장성과 유연성 확보, 그리고 범용 구성품들로 시스템이 이루어져 설비 이용률 향상과 용이한 유지 보수성을 제공하고 있다.

또한 요즘 문제가 되고 있는 연도 인식 문제를 원천적으로 해결한 것들을 수가 있다.

전산 시스템을 국산 개발함에 따라 디지털 기반 기술 확보는 물론, 최소 150만달러(영광 1·2호기 적용 기



(그림 1) 신형 방사선 감시 전산 시스템 구성도

준)의 외화를 절감함으로써 국가 경제에 직접적으로 기여하는 효과를 거두었다.

2. 금속 이물질 감시 시스템 개발

금속 이물질 감시 시스템(Loose Part Monitoring System: LPMS)은 원자로 및 증기발생기 내부에 존재할 수 있는 금속 이물질의 존재를 탐지하여 원자로 구조물 손상을 미연에 방지하기 위한 설비이다.

발전소 가동 연수 증가에 따라 원자로 내부 구조물의 파손 가능성이 높아지는 것은 국내외적으로 일반적 추세이며, 영광 1발전소의 경우 수차례 금속 이물질에 의한 설비 손상 사례를 경험한 바 있다.

기존의 웨스팅하우스형 금속 이물질

감시 설비는 미 NRC 규제 지침 Reg. Guide 1.133을 만족시키는 범위에서 설계된 제한된 기능의 설비이다.

때문에 금속 충격과 신호 검출 신뢰성이 현저히 떨어지고 분석 기능이 제공되지 않아 신호 분석을 위해서는 고도의 분석 기술을 지닌 전문가와 분석 장비가 요구되고, 부정확한 분석 결과 도출의 문제가 대두되고 있었다.

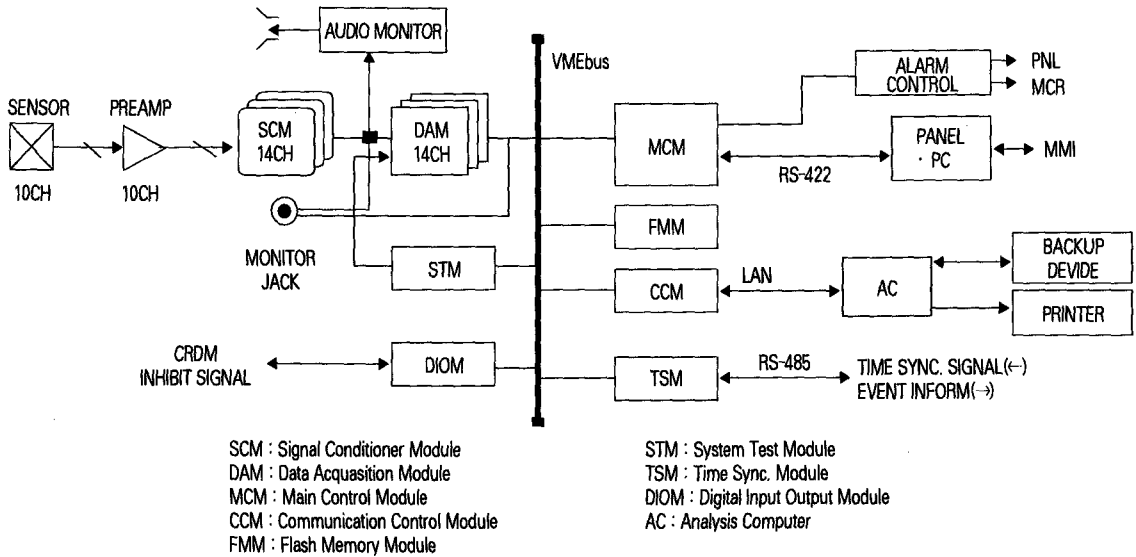
금속 이물질에 의한 직접적인 손상 경험을 갖지 못했던 94년 원자로 계통 내의 금속 이물질 위험성을 간파하고 최선의 디지털 신호 처리 기술을 근간으로 한 새로운 감시 설비의 자체 개발을 결정, 설비 개발팀을 구성하여 개발에 착수하였다.

금속 이물질과 원자로 구조물과의 충돌에 의해 발생하는 충격파를 검출

하여 금속 이물질의 존재 위치, 질량, 그리고 충격 에너지를 계산하기 위해서는, 지금까지의 감시 설비와는 다른 디지털 신호 처리 기술, 금속 충격 이론에 근거한 고도의 분석 기술, 그리고 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어 기술들이 복합적으로 요구된다.

다행히 발전소 경보 설비와 음향 누설 감시 설비의 국산 개발 과정에서 확보된 디지털 시스템 구축 기술을 적극 활용할 수 있어 개발 과정의 시행 착오를 최소화할 수 있었다.

금속 이물질 감시 기술과 관련한 국내 기술이 일천한 환경에서 고성능 감시 설비의 개발에는 많은 어려움이 있었으나, 4년여의 개발 기간을 거쳐 98년 고속 실시간 신호 처리 기술과 고도의 금속 충격파 분석 기술이 결



〈그림 2〉 신형 금속 파편 감시 설비 구성도

합된 기술 집약형 디지털 금속 이물질 감시 설비를 국산 개발하는 데 성공하였다.

개발된 신설비는 디지털 신호 처리 기술과 같은 해외 금속 이물질 감시 기술 분야의 신기술을 적극 수용하고 강화된 규제 요건과 설비 운영 요건을 만족하도록 설계되었다.

설비의 뛰어난 성능은 99년 영광 2호기 금속 이물질 조기 탐지와 정확한 분석을 통하여 여실히 증명되었으며, 부서 단위 기술 개발 수준을 한 단계 높은 기술 개발로 인정받고 있다.

14개의 감시 채널로 구성된 신형 감시 설비는 신호 필터링 기법을 적용하여 배경 잡음의 영향을 받지 않고 미소 충격파 신호를 검출함으로써 정상 유체 유동 조건에서 Reg. Guide 1.133에서 요구하는 탐지 가능 최소 질량인 110g보다 훨씬 적은

약 25g 정도의 질량에 의한 충격도 탐지가 가능하다.

또한 금속 충격파의 물리적 특성을 고려하여 설계된 신호 검증 알고리즘을 적용함으로써 거짓 경보 발생을 최소화하였으며, 영광 1·2호기 원자로 구조물 특성을 고려한 신호 분석 알고리즘 개발로 신호 분석 시간의 획기적 단축과 분석 결과에 대한 신뢰성 확보가 가능해져, 금속 이물질에 의한 충격파 신호 검출시 해외 전문 기관에 비싼 비용을 지불하지 않고도 신뢰성 있는 분석 결과를 얻을 수 있게 되었다.

금속 이물질 감시 설비의 국산 개발로 금속 이물질에 의한 원자로 설비 손상 방식을 통한 발전소 안전성 향상과 금속 충격파 분석 기술 실용화와 디지털 신호 처리 기술을 확보했 뿐만 아니라, 최소 100만달러

(영광 1·2호기 적용 기준)의 설비 대체를 위한 외화를 절감하는 효과를 거두었다.

향후 설비 개발 방향 및 목표

현재 운전되고 있는 원전 계측 제어 설비의 운영에 있어 현안으로 대두되고 있는 것이 바로 원활한 설비 유지 보수를 위한 예비품의 확보이다.

설비 유지 정비를 위한 예비품의 생산 중단은 설비 신뢰성 확보 측면에서 대단히 우려되는 문제가 아닐 수 없다.

이러한 문제들을 극복하기 위해 다각도의 노력으로 계측 제어 설비 중 감시 설비들은 거의 대부분 국산 개발이 완료됨으로써 이러한 문제로부터 벗어날 수 있었다.

그러나 계측 제어 설비 중 제어 설비나 보호 설비의 지속적인 신뢰성 확보

보를 위한 개발을 포함한 설비 교체는 지금까지 추진된 감시 설비 국산화보다 매우 어려운 과제임이 분명하다.

이는 소프트웨어 품질 관리를 보다 강화하기 위한 관련 도구가 확보되어야 하고, 통신망을 기반으로 한 새로운 개념의 디지털 제어 설비에 대한 접근이 요구되기 때문이다.

지금까지의 계측 제어 설비는 각각의 단위 설비가 물리적으로 독립된 형태로 고유 기능을 수행하는 형태였던 반면에, 향후 개선될 계측 제어 설비들은 표준화된 통신망에 상호 연결되어 유기적 정보 교환이 가능하도록 하는 형태가 될 것이다.

따라서 영광 1발전소에서는 감시 설비 단위의 통신망보다 향후 제어 설비의 중추적 기반이 되는 중위 통신망(Cabinet to Cabinet)을 우선 채택하기 위해 단기 계획을 수립하여 현장 설비에 적용하기 위한 다각도의 노력을 현재 기울이고 있다.

결과적으로 향후 원자력발전소의 제어 설비는 이러한 중위 통신망을 기반으로 한 DCS(Distributed Control System) 또는 PCS(Plant Control System)를 채택하게 될 가능성이 높다.

새로운 개념과 기술의 제어 설비가 성공적으로 현장에 적용되기 위해서는 관련 분야에 대한 조직 구성원의 기술 능력 향상과 유관 산업의 기술력 제고가 선행되어야 한다.

향후 제어 설비의 중추적 역할을

하게 될 통신망 기술 습득과 소프트웨어 품질 관리 기술 확보를 위해 부서 내에 별도의 개선 추진 팀을 구성하여 운영중에 있으며, 관련 연구 기관 및 전문 산업체와의 상호 기술 교류를 적극적으로 추진할 예정이다.

수상 소감

원자력 발전이 국가 경제 동맥으로서 출발하던 때인 77년 한전에 입사한 후 23년 동안 줄곧 원자력발전소 계측 제어 분야에 근무해온 것을 돌이켜볼 때 후회스러움보다는 만족감이 앞선다.

다른 분야도 그러하겠지만 계측 제어 분야는 발전소 모든 설비의 운전 제어와 감시를 수행하기 때문에 중요한 정보와 지식 습득의 기회, 그리고 기술 개발 여지가 많아 자기 발전의 무대가 탄탄하기 때문이다.

그간 애써 노력하여 개발된 우리의 기술들이 운영중인 원전 및 건설중인 후속기에 채택되고 있고, 우리의 자체 기술 개발 성과를 인식하여 전보다 현저하게 낮은 가격과 유리한 조건을 내거는 외국 제작사의 달라진 자세를 볼 때, 척박한 계측 제어 분야 기술 기반 조성에 조그마한 보탬이 된 것 같아 지나온 기술 인생에 큰 자긍심을 갖는다.

영광 1발전소의 경우 2000년대에는 장기 계획에 따른 주요 계측 제어 설비의 교체 시점이 도래한다.

그 동안의 많은 설비 개발 경험을 바탕으로 2002년까지 핵심 제어 설비 국산 개발이 완료될 수 있도록 현재 단계별 기술 개발이 추진되고 있다.

이러한 계획이 차질 없이 진행될 경우 우리는 제어 설비를 포함한 대부분의 계측 제어 설비를 순수한 국내 기술로 제작·운영하게 될 수 있을 것이다.

이를 위해 자체 기술력 배양은 물론, 유관 연구 기관과 산업체와의 기술 교류도 보다 적극적으로 시행할 예정이다.

새로운 설비 개발을 위한 연구에는 환경 조성, 적극적 지원, 그리고 분명한 연구 방향 설정 등이 중요하며 이를 위해선 단순한 관리자보다는 명확한 비전을 가진 리더의 역할이 요구된다.

앞으로 부족한 능력이지만 기꺼이 리더로서의 역할을 자임하고자 하며 이것이 계측 제어 분야 기술인으로서의 가치를 인정해준 원자력계에 대한 도리라 생각한다.

개인적으로 이렇게 큰 상을 받을 수 있었던 것은 부서 운영 전략을 신뢰하고 격려와 지원을 적극적으로 해주신 영광원자력본부장님, 소장님, 그리고 직간접적으로 많은 도움을 주신 원자력계의 소중한 분들의 도움이 참으로 컸다. 아울러 부서 운영 목표와 장기 전략을 이해하고 창조적인 개발에 적극 동참해준 부서 직원 모두에게 감사의 뜻을 전하고 싶다.

☺