

# 원자력발전소 안전을 위한 연구 개발은 지금도 계속 된다

정재천 | 한국전력기술(주) 원자로설계개발단 기술분야책임자\*



제14회 한국원자력기술상 은상을 수상하게 되었다는 소식을 듣는 순간, 원자력의 원(原)자도 모르던 신입 사원을 교육시켜 주고, 발전시켜 주신 많은 선배님들이 생각났다. 먼저 이 지면을 빌어 필자가 한 사람의 원자력 전문 인력으로 양성될 수 있었던 토양을 제공하고, 물을 주고, 자양분을 제공해 주신 많은 분들에게 고개 숙여 감사드린다.

사회 초년병에게 주어진 발령장 하나가 원자력에 대한 지식이 전혀 없었던 한 사람을 원자력 전문가(?)로

육성시키는 계기로 작용했으니 시절 인연(時節因緣) 잘 만나고 못 만나고는 선불리 판단할 일이 아니다.

## 완전 초보 원자력 맨

학부에서 전기공학을 전공한 필자는 1984년 첫 직장인 한전에 입사할 때만 해도 송배전 등의 전기 분야에서 근무하는 것이 당연하다고 생각했었다. 하지만 백여명이 넘는 전기 전공자가 제 갈 길을 찾아갈 때, 원자력 발전 분야를 담당하라는 발령장을 받게 되었을 때의 황당함이란 지금도 잊을 수가 없다.

아무튼, 몇 차례 직군 변경을 요청하였지만 절대 불가하다는 높은 분의 최종 판정을 받고 쌍문동 연수원에서 보낸 맥 빠진 첫날이 기억에 생생하다.

하지만, 원자력 발전에 대한 연수원 강의를 본격적으로 시작되고, 전기 생산에 대한 원리와 안전한 운영을 위해 필요한 각종 기술 요소들에 대해 자세한 설명이 더해지면서, 연수원 10주 과정을 마치던 즈음에는 연무(烟霧)속을 헤매던 초보자에게도 어느

\* 한국과학기술원 원자력및 양자공학과 박사 / 한국전력공사, 한국원자력연구소 산업기술협력팀장, 한국전력기술(주) 기술관리분야책임자

덧 원자력의 원리가 희미한 윤곽을 드러내었다.

하지만 희미한 윤곽은 서론에 불과했다. 다음 과정의 교육을 통해 배우기 시작한 고리연수원의 원자력 계통 기초 교육은 대학의 기계, 원자력, 화학, 전기공학 등을 망라한 고강도 영양제와 같은 것이었다.

매주 토요일 오전에 치러지는 일주간 교육 내용에 대한 평가는 브레인스토밍이 아닌 브레인 Explosion과 같은 강도를 가지고 연수생들을 압박했다.

고등학교 시절 연수원 교육 과정과 같은 프로그램을 통해 공부를 했더라면 세계 최고의 대학에 입학할 수 있었겠다는 비명에 가까운 농담도 흘러나왔다.

드디어 신입사원 교육이 완료되었을 때, 우리는 원자력발전소에 근무하기 위한 최소한의 지식을 구비할 수 있었다. 하지만 이것 역시 서막에 불과했다.

필자가 OJT를 거쳐 발령받은 곳은 고리 3,4호기.

이제 막 시운전이 끝나고 어수선한 분위기 속에 발전 분야로 인계중인 고리 2발전소는 시장 바닥과 같았다. 도면을 들고 현장의 계기와 기기를 확인하는 탐방이 시작되었다.

발전소는 연수원에서 알려주고, 머릿속에서 상상했던 그러한 모습이 아니었다. 인간의 땀과 지혜가 그야말로 녹아있는 살아있는 유기체와 같았다.

모든 기기와 계측기가 차지한 자리는 유체역학적으로 완벽한 위치에 자리잡고 있었다. 다만 이 설비의 설계가 국내 기술이 아닌 외국 기술을 도입한 것이란 씁쓸함을 항상 머금고 있었지만....

### 미션 임파서블

고리 3,4호기는 국내 주도로 처음 지어진 원전이였다. 물론 수많은 외국 지원 인력이 상주하고 있었고, 시운전에도 참여하고 있었지만 계약 성능만은 우리 기술로 확인해야 했다.

기계를 전공한 두 친구와 전기를 전공한 나, 이렇게 세 명의 신입 사원에 미션 임파서블이 떨어졌다. 바로 외국사와 계약한 성능을 확인하라...

원자력발전소 설계와 자재를 납품한 미국의 웨스

팅하우스와 영국의 GEC는 한전과의 계약을 통해 원자로 계통과 전기 출력에 대한 성능 보증을 계약하고 있었고, 그 성능을 수치로 확인하고 100시간 연속 시험을 통해 입증하는 미션이 떨어진 것이다.

새로운 일에 대한 두려움이 없던 것은 젊은 날의 치기라고 하더라도, 너무도 무모했던 도전은 온갖 우여곡절을 겪고서야 성공적으로 끝났다.

그리고 우리가 개발한 기술과 절차는 영광 원전, 울진 원전 등의 성능을 확인하는 바이블이 되었다.

지금도 어려운 문제로 인해 장벽에 갇힌 기분이 들 때면 이십 여년 전 겁 없던 그 때를 생각한다.

지금에 와서야 하는 한 마디.

필자가 고리 원전 성능 시험을 담당하는 도중에 약혼식을 갖게 되었다. 온갖 눈치를 뒤로 하고 이틀간의 휴가를 간신히 얻어 약혼식을 치른 것까지는 좋았는데, 현직에 돌아와서는 그만 일이 바빠 나의 피양세에게 연락하는 것조차 까먹어 버렸다. 그것도 장장 두 주일 이상이나...

약혼자가 자초지종 설명도 없이 일절 연락도 끊었으니 상대방의 노심조사는 당연지사...

지금도 와이프에게 가끔씩 바가지 굽히는 한 대목이다(일에 미친 젊은이여, 조심하시업).

### 연구용 원자로를 완성하라

7년여를 몸담은 한전을 떠나 원자력연구소에 새 살림을 차린 나는 한창 터파기가 시작되고 있었던 하나로(연구용 원자로) 사업의 전기, 계측제어 분야 기술 관리를 맡게 되었다.

덩치가 산(山)만 했던 원자로와 비교할 때 빌라 몇동 정도의 규모를 지닌 연구용 원자로는 그러나 크기만 가지고 알볼 수 있는 만만한 상대가 아니었다.

발전용 원자로 건설이 자동차를 조립하는 일이라면 연구용 원자로 건설은 가히 스위스 시계 조립 수준의 일이었다.

작은 녀석의 몸 속에는 발전용 원자로에 필요한 대부분의 부품이 들어가야 했지만 설치할 공간은 매

우 빠팍했다.

이러한 악조건에서도 대부분의 안전 계통 설비를 국내에서 제작하자는 연구원들의 결의는 새로운 연구 개발 프로젝트를 탄생시키는 원동력이 되었고, 그 팀의 일원이었던 필자도 하나로 사업을 통해 연구 개발의 중요성을 처음으로 체득할 수 있었으니, 바로 원자력기술상을 수여받는 계기가 되지 않았나 하는 생각이 든다.

아무튼 국내 최초로 안전 계통 인버터 설비를 비롯한 중요 설비를 국산화하느라 죽을 고생을 같이 했던 당시 국내 제작사의 담당 직원들이 이제는 각 회사의 핵심 임원으로 연구 개발을 지휘하고 있으니 가슴이 뿌듯해 옴을 느낀다.

하나로의 준공 카운트다운이 시작되고, 북한의 영변 원자로가 연일 중요 뉴스로 보도되면서 준공식에는 대통령이 참석할 거라는 소문이 들리는 가운데도 아직 원자로는 조립되지 못하고 있었다.

세계 최초로 제작되는 원자로는 너무나 작은 부품들이 사용되고 있었고, 막상 부품은 제작했지만 조립 및 설치에 대한 절차는 준비되지 않은 상태였다.

하여, 역전의 용사들이 다시 뭉쳤다. 다행히 연구 인력 대부분의 전공이 기계공학이고 핵연료 생산 공장 건설에 참여한 막강한 경험이 있어 설계도를 분석하고 설치 조건과 조립 공정을 마련하는 데는 어려움이 없었다.

그러나 완벽한 수평이 요구되면서 전동 공구를 활용할 수 없는 원자로 조립 조건은 큰 문제로 다가왔다.

이 때의 경험을 정리한 것이 「동축 검측용 원격 자동 조심 및 광원 설정 장치」 특허다.

작은 원형 접시에 수은을 채워 완벽한 수평면을 만든 후 원격으로 컨트롤 되는 광원과 거리와 위치를 나타내는 타깃을 설치하여 텔레스코프로 보면서 원자료를 설치하는 전무후무한 연구용 원자로 조립 기술에 관한 것이었다.

### 국내 기업 발전을 위해 노력하다

원자력연구소 산업기술협력실에 근무하면서 중요한 두 건의 연구 개발을 하게 되었다. 바로 초음파를 이용한 핵연료 검사 장비를 개발한 일과 방사선 감시 시스템의 국산화 토대를 마련한 것이다.

당시 핵연료 검사 장비는 원자력연구소에서 국산화 제품을 개발하였으나 기본 원리와 작동 방법이 국내에 등록된 외국 제조사의 특허를 침해하는 것이었기에 원자력발전소 납품은 불가능하였다.

이러한 근본적인 문제점을 해결하고자, 종래의 아날로그 기술을 디지털 제어 기술로 바꾸는 발상의 전환을 통한 설계 변경과 연구 개발을 수행하여 원천 기술에 대한 특허를 등록시킬 수 있었으며, 국내 기업에 특허를 허여, 원전에 적용할 수 있게 되었다.

방사선 감시 시스템 또한 국외 업체에 의해 완전 장악된 시장이었다. 필자는 국외 제작사와 국내 제조 가능회사를 동시에 연결하는 삼자간 기술 협력을 통해 조기에 관련 제품이 국산화 될 수 있도록 하였다. 이 과정에서 여러 파생 제품이 국내에서 독자적으로 생산되고, 원자력발전소에서 이용된 것 또한 큰 성과라고 하겠다.

### 주경 아독의 시대

절대자에 대한 기원을 통해 인간은 안정을 얻고 성취에 대한 새로운 다짐을 하게 된다. 그리고 그 기원은 반드시 성취된다. 필자의 경우가 그렇다.

고리연수원 시절 구입한 「원자력 기술의 기초 (Introduction to Nuclear Engineering)」는 Lamash 교수가 저술한 명저다. 이 책을 보는 순간 그간 생각조차 하지 않았던 학문에 대한 갈증이 생겨 학위 과정을 시작하게 해 달라는 기원을 그 책의 첫 장에 적어 넣은 적이 있다.

“내게 능력 주시는 자 가운데 능치 못할 일이 없느니라” 라는 성경 구절이 특히 마음에 와 닿아 기원문으로 삼았는데, 드디어 십년이 지난 후 위탁 교육 기

회가 제공되었다.

감사한 마음으로 시작한 공부는 마음과 같지 않았다. 특히 전기공학 전공자가 원자력공학을 석사 과정으로 하자니 입학 시험, 자격 시험 등 매 시험의 고비마다 고생이 말이지 아니었다.

하지만 공부를 통해 얻게 되는 깊은 지식과 책의 매 장마다 녹아 있는 얼굴도 모르는 저자의 땀방울이 전해 질 때면 아편이라도 맞은 듯 희열에 찬 귀한 경험을 하곤 했다. 10년의 공부 끝에 석사와 박사학위를 취득할 수 있었던 늦깎이 학생이었지만, 넉넉한 마음으로 지도해 주신 성품형 교수님과 가족의 격려는 큰 힘이였다.

### 본격적인 원자력 연구 개발과 실용화의 길을 가다

자동차도 속도를 높이다 보면 가속도가 생기게 된다. 가속도가 붙은 자동차는 거침없이 주행한다. 연구 개발도 이와 같다. 어느 시점에서 가속도가 생기게 되면 혼자라도 백 명의 연구진이 낼 수 있는 성과를 발휘할 수 있다.

필자 역시 본격적인 연구에 돌입한 지 십여년이 지나자 연구에 탄력과 가속도가 붙는 것을 느낄 수 있었다. 이러한 시점에 정부 주도 연구 개발 과제를 통해 다음과 같은 기술을 개발하고 다수의 특허를 등록하였다.

또한 특허의 실용화 과정을 통해 국내 원전에 적용시켜 원전 운영과 성능 향상에 기여하는 성과 역시 낼 수 있었다.

대표적인 기술 개발 성과를 요약하면 다음과 같다.

- 초음파 유량계를 이용한 원전 주급수 측정 기술 개발 및 적용
- 원전 계측제어 시스템용 소프트웨어 확인 및 검증 신기술 개발 및 적용
- 전력 설비의 온라인 센서리스 상태 감시 및 진단 신기술 개발 및 적용
- 전력 설비와 정보 기술(IT)의 접목을 통한 설비 생산성 및 신뢰성 향상 신기술 개발 및 적용

### 초음파 유량계를 통한 원전 주급수 측정 기술 개발 및 적용

과학기술부 원자력 중장기 과제로 수행한 「초음파 유량계를 이용한 원전 주급수/주증기 유량 측정 기술 개발」은 원전의 효율을 결정하는 가장 중요한 변수인 주급수/주증기량을 정밀하게 측정하는 방법론을 개발하는 과제이다.

국내의 원전은 2%에 이르는 유량 측정 오차로 인해 전기 출력 손실을 경험하고 있었으므로 유량을 0.6% 이내로 정밀하게 측정하여 1.4% 정도의 전기 출력 상승을 기하는 필수적인 연구 분야였다.

정부 연구 과제 수행을 통해 오차를 0.6% 이내로 줄이는 이론적 연구와 초음파 유량계용 소프트웨어를 개발하였고 실제 유량 시험을 거쳐 기술적 타당성을 입증하였다.

본 연구 성과는 월성 1발전소를 시작으로 국내 전 원전에 확산중에 있다.

발전소 계측제어 시스템용 안전-필수 소프트웨어에 대한 확인 및 검증 신기술 개발 및 적용을 통한 설계 생산성 및 신뢰성 증대

산업자원부 전력산업연구개발사업으로 「발전소 계측제어 시스템용 소프트웨어 통합 검증 환경 구축 연구」를 수행하여 그간 사람이 직접 개발하고 검증하던 소프트웨어를 컴퓨터를 이용하여 개발, 검증하는 독창적인 통합 체제를 개발하였다.

울진 5,6호기 이후 국내 원자력발전소의 안전 필수 계통(디지털 발전소 보호 계통, 디지털 공학적 안전 설비 작동 계통, 및 노심 보호 연산기 계통 등) 설비에 대한 디지털화가 진행됨에 따라 안전-필수 계측제어 설비 소프트웨어의 확인 및 검증 업무는 인허가 현안 중 가장 첨예한 사항 중 하나였다.

필자는 종래의 구조적 방법론이 복잡한 절차와 많은 문서 생산을 필요로 하여 다수의 설계 인원이 참여해야 하는 단점을 개선하기 위해, 3년간에 걸친 연구 개발의 결과로 소프트웨어 개발 및 검증을 3단계로 축약할 수 있었으며 또한 안전성 분석 작업 역시

3단계로 줄일 수 있다.

연구 개발 결과 원전 핵심 설비의 소프트웨어 개발 과정이 대폭 간소화 되고 원자력발전소의 안전성이 더욱 높아지는 효과를 거둘 수 있었고, 관련 비용과 인력은 줄이는 효과도 동시에 얻을 수 있었다.

**전력 설비의 온라인 센서리스 상태 감시 및 진단  
신기술 개발 및 적용을 통한 설비 수명 연장 및  
불시 정지 방지**

원자력발전소를 비롯한 산업 현장에는 다양한 종류의 회전 기기가 설치되어 기기의 동력원으로 사용된다. 이러한 회전 기기의 가동 여부와 고장 여부를 조기에 탐지하는 것은 공정 계통의 신뢰도와 안전성을 확보하는 데 매우 중요하다.

일반적인 감시 방법으로는 진동을 센서를 사용하여 감시하고 진단하는 방법이 상용화되어 있다. 그러나 진동 감시를 위한 기기는 대부분 외산 제품으로서 많은 투자가 필요로 할 뿐만 아니라 운영과 진단에 전문적인 지식이 요구되어 원전의 냉각재 펌프와 같은 핵심 기기에만 국부적으로 적용하고 있다.

이에 착안하여 필자는 회전 기기 비정상 상태 감시를 온라인으로 센서없이, 원격에서 수행하는 방법을 개발하고 특허 등록하였다.

전원의 고조파 신호 성분을 분석하여, 회전 기기의 고장 유형과 고장 부분을 판단하는 본 기술은 센서의 설치가 필요치 않으므로 설치 공간이 협소하여 센서 취부가 곤란하거나 경제적 여건으로 인해 상태 감시를 하지 않고 있는 회전 기기 감시를 감시할 수 있도록 하여 경제적 효과와 함께 국내 산업의 안전성을 확보할 수 있는 토대를 마련하였다.

필자가 개발한 본 기술은 특허청 주최 직무발명 경진대회 동상 수상, 그리고 한국일보 주최 2004년도 100대 우수특허 최우수상을 수상하였다.

**전력 설비와 정보 기술(IT)의 접목을 통한 설비 생  
산성 및 신뢰성 향상 신기술 개발 및 적용**

산업자원부 전력산업연구개발사업을 통해 국가 전력 산업과 IT(정보 기술)를 융합하여 전력 에너지를 안전하고 편리하게 이용하도록 하고자 하는 기술 개발을 위해 모든 설비에 신경을 부여하여 언제든지 감시, 유지, 보수하는 체제를 구축하는 과제 책임을 맡게 되었고, 특히 추상적 개념을 바탕으로 한 기술의 현실화를 위해 신경망 소프트웨어를 설계, 개발, 검증하는 핵심적인 분야를 연구, 개발 하였다.

국내에서 설비의 유지 보수에 소요되는 비용은 2004년도 기준 약 100조원에 이를 것으로 추정되고 있으며, 이 중 약 50조원은 설비의 보전 방법 고도화를 통해 절감할 수 있다고 발표(전력 IT 워크숍 자료 인용)되고 있으므로 설비의 IT화와 관리 최적화 기법 도입을 통해 불시 정지와 보전 비용을 절감하는 새로운 기술은 산업 현장에서 꼭 필요한 요소 기술이다.

본 기술 개발의 성과를 이용하여 국내 원전의 예측 진단 체제 구축에 적용하여 설비 보전 비용을 절감하고 안전성을 높이는 효과를 얻었다.

**카탈로그 엔지니어**

자조적인 호칭인 ‘카탈로그 엔지니어’는 업자가 제출하는 카탈로그만 보고 설계, 구매, 감독 업무를 하는 타성에 젖은 사람을 일컫는다. 자기 분야와 관련한 기기규격에는 누구 못지않은 일가견을 갖게 되지만 정작 알아야 할 기기의 근본적 원리에 대해서는 관심이 없는 카탈로그 엔지니어는 자기도 모르는 사이 누구나 들어설 수 있는 길이다. 다만 전공 분야에 대해 지속적인 호기심을 갖고 평생을 노력하는 방법만이 유일한 탈출구일 뿐.

감히 이 지면을 빌어 후배들께 부탁한다. 제발 카탈로그 엔지니어의 길은 접어들지 말라고. 매 시간 공부의 끈을 늦추면 어쩔 수 없이 들어서게 되는 카탈로그 엔지니어의 길은 그러나 달콤한 퇴락의 길이다.



### 지식은 나눌수록 커진다.

필자는 2006년에는 산업자원부 원전기술발전방안(Nu-Tech 2015) 기획위원으로 위촉되어 향후 10년간 국가 원자력 연구 개발 사업을 기획하는 활동에 참여하였다. 그간 정부 과제 기획 과정에서 느낀 감회를 여러분과 공유하는 것으로 이 지면을 끝낼까 한다.

사랑과 지식의 공통점은 나눌수록 커진다는 것이다. 슬픈 외사랑은 가능하나 서로의 마음을 동조시키지 않고 완전한 사랑을 이룰 수 없듯이 서로 격려하고 이끌어 주는 마음 없이 지식은 교류되지 않는다.

농담 하나. 중앙정보부의 정문을 지키는 경비의

숫자가 점점 늘어났다. 하도 삼엄한 경비를 하기에 지나가던 농부가 경비에게 물었다. 하지만 국가 기밀을 물으려 한다는 죄명으로 붙들려 치도곤을 실컷 당한 후 평범한 농부라는 게 밝혀져 풀려 날 때, 책임자쯤 되는 사람이 말했다.

“지킬 비밀이 없다는 게 비밀인데 왜 비밀을 알려고 들어? 간첩 아냐?”

자기 분야의 최고가 되자. 그리곤 아는 지식을 마음껏 전파하자. 그래도 최고수를 단기간에 따라올 수 있는 사람은 없는 법이다. 일정한 시간 투자가 있어야 전문가가 육성되는 법이니까.

이기주의에 빠져 연구 성과를 교류하길 꺼려하는 인사들은 위 농담을 새겨들을 일이다.

지식은 나눌수록 커진다. 