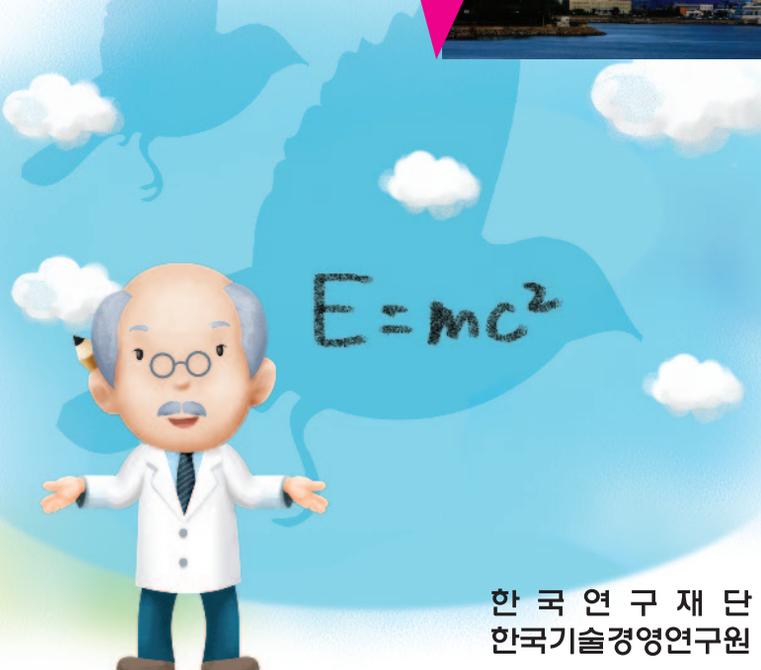


Nuclear Success Story in Korea

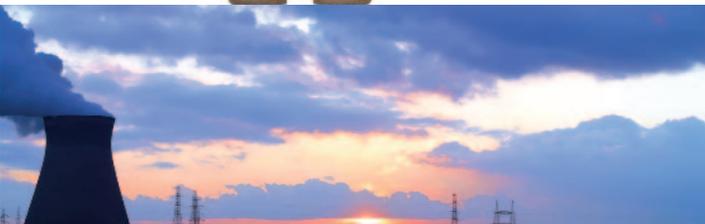
원자력 선진국으로 발돋움한

# 대한민국 원자력 성공사례

고경력원자력전문가 편저



한국연구재단  
한국기술경영연구원



**제1장**

**역사적 주요 이벤트**

- 1-1. 원자력법 제정 ..... 13
- 1-2. 문교부내 원자력과 설치 ..... 15
- 1-3. 대학에 원자력공학과 설치 ..... 19
- 1-4. 원자력원과 한국원자력연구소 설치 ..... 23
- 1-5. 연구용원자로 도입 ..... 30
- 1-6. 원전 고리1호기 상업 가동 ..... 35
- 1-7. 한국표준형 원전 성공적 가동 ..... 44

**제2장**

**정책 및 전략적 의사결정 성공사례**

- 2-1. 원자력도입 결정 (이승만/박정희 대통령) ..... 55
- 2-2. PWR노형 결정 및 웨스팅하우스원전 터키도입 ..... 60
- 2-3. 핵연료국산화 결정 방침 ..... 66
- 2-4. 핵연료 국산화 국가적인 방침 결정 ..... 72
- 2-5. 원자력발전 기술자립 방침 결정 ..... 79
- 2-6. 한국형표준원전 관련 주요 결정: 용량, 발주방식 ..... 84
- 2-7. 원자력안전정책 성명, 안전의 날 제정 ..... 87
- 2-8. 방사성폐기물처분장 경주 설치 ..... 94

**제3장**

**기술개발 및 상업화 성공사례**

- 3-1. 원자로계통(NSSS) 설계 기술 자립 ..... 105
- 3-2. 원전 종합설계 기술자립 ..... 111
- 3-3. 중수로용 핵연료 국산화 성공 ..... 114
- 3-4. 경수로용 핵연료 국산화 성공 ..... 121
- 3-5. 원자력 안전기술 개발 성공사례 ..... 127
- 3-6. 하나로 연구용 원자로 자력설계 건조 및 운영 ..... 135
- 3-7. 원자로 주요기기 장치 국산화 성공 사례 ..... 140
- 3-8. 차세대원자로 APR1400 개발 성공 ..... 145
- 3-9. 방사성폐기물 유리화 기술개발 및 실용화 성공 ..... 151

## 제4장

### 원전 건설 운영 성공 사례

- 4-1. 표준원전 핵연료 개발 성공사례 ..... 157
- 4-2. 핵연료 피복관 제조기술 개발 성공사례 ..... 162
- 4-3. 원전 건설기간 단축 ..... 167
- 4-4. 원전이용률 세계최고 달성 ..... 172
- 4-5. 방사선 및 방사성동위원소 이용분야의 신산업 창출 176

## 제5장

### 해외 수출 성공 사례

- 5-1. UAE에 상업용 원전 수출 ..... 185
- 5-2. 요르단 연구용 원자로 수출 ..... 190
- 5-3. 원전 핵연료 부품수출 성공사례 ..... 196
- 5-4. 비파괴검사수출 성공사례 ..... 199

## 제6장

### 타 산업부문 파급 효과 등

- 6-1. 전력산업 기술기준 제정 ..... 205
- 6-2. 품질보증계획 파급사례 ..... 212

## 제7장

### 교훈사례

- 7-1. 굴업도 방사성폐기물관리사업 추진 ..... 219

## 제8장

### 원자력 안전 주요 이벤트 및 의사 결정 사례 ..... 231

## 제9장

### 역대 대통령들의 원자력 진흥 사례 ..... 249

# 한국의 원자력 성공, 희망을 갖고 미래를 내다본 결과다



세계는 우리나라의 원자력 성공 사례에 크게 놀라고 있습니다.

50년 남짓한 짧은 기간에 과학과 기술을 접목시켜 최고 수준의 엔지니어링 사업인 원자력 발전의 자립을 이루고 더 나아가 수출에까지 성공했기 때문입니다.

그러나 이것이 우연의 산물은 아닙니다. 오늘에 오기까지 남보다 더 많은 땀을 흘리고 희망을 갖고 미래를 내다보았기에 가능하였습니다.

성공 사례 그 하나하나를 보면 아찔한 생각이 듭니다. 만일 원자력 성공이 없었다면 오늘의 대한민국이 가능했겠는가 하는 것입니다.

원자력 발전 기술을 해외에 수출하는 것은 눈으로 드러나는 성과의 하나일 뿐입니다. 인력 배출과 기술의 확산, 사회발전의 기본 인프라인 전기에너지 공급, 엄청난 고용 효과 등 원자력 성공의 이면을 우리는 주시해야 합니다.

이런 경험을 국내외적으로 알려 국가발전에 활용토록 한권의 책으로 정리하였습니다. 원자력 성공 사례가 발간될 수 있었던 것은 20여명의 집필자와 자료 소지자의 협력 덕분입니다. 이들은 원자력 분야의 정책 수립·인력

양성·기술개발·산업화 등과 연계된 성공 과정을 9개 부문별로 나눠 집필 하였습니다.

필진은 직접 관련 사업에 참여했던 원자력 전문인력으로 핵심적이고 정확한 내용을 글에 담았습니다.

‘고경력 원자력 전문인력 활용을 통한 지식확산 방안 연구’의 한 부문을 이용하여 발간된 ‘대한민국 원자력 성공사례’는 한국의 경험을 세계와 나누기 위해 1차로 영문이 추가되었습니다. 원자력 분야의 발전을 추진하고 있는 개발도상국은 한국의 다양한 성공사례가 시행착오를 줄이는 지침이 될 수 있을 것입니다. 앞으로 다양한 언어로 번역하여 성공 사례를 세계로 확산할 것입니다.

최근 일본의 원자력 발전소 사고로 원자력에 대한 불안과 회의가 높아지고 있습니다. 이에 국민들이 원자력을 제대로 보고 이해하도록 지원하는 활동이 절실해졌습니다. 국민들에게 올바른 정보를 제공하는 고경력 전문인력의 역할이 어느 때보다 중요하게 된 것입니다.

이제 국민들의 지지를 발판으로 삼아 ‘제2의 원자력 도약’을 이끌어내야 합니다.

사업을 지원한 한국연구재단, 원고 제작에 참여해 주신 고경력 전문가들(첨부참조), 감수를 해 주신 이현규 교수(KAIST)·이익환 회장(한국원자력 기술(주))·남장수 사무총장(한국원자력학회)과 편집을 책임진 장재열 소장(과학문화콘텐츠센터)을 비롯, 한봉오(한국원자력연구원 홍보부장)·유범식 대표(과학문화사), 뒤에서 도움을 아끼지 않은 (사)과우회 사무국 여러분에게 다시한번 고마움을 전합니다. 감사합니다.

2011. 12.

한국기술경영연구원장 이 승 구



# 대한민국 원자력 성공 사례

**대**한민국이 공식적인 원자력의 시작을 알리는 첫 단추라 할 수 있는 '원자력법'이 발효된 것이 1958년 3월이었고, 원자력원과 원자력연구소의 직제가 공표된 것이 같은 해 10월이었다. 또한 최초의 연구용 원자로인 TRIGA MARK II가 1959년에 착공, 1962년 3월에 운전에 돌입하였으니 우리나라 원자력의 도입은 명실 공히 50년을 넘었다고 할 수 있다. 전쟁으로 인한 어려운 여건에서도 조기에 원자력기술을 도입한 이승만대통령의 혜안을 포함하여 원전을 국가 에너지공급의 주역으로 받아들이며 1970년대에 고리1호기를 가동하게 한 박정희 대통령의 올바른 판단 등, 그동안 우리 정부는 원자력개발에 적극적인 지원을 아끼지 않았다. 이에 부응하기 위한 원자력에 몸담은 과학기술자들의 국가관과 사명감을 앞세운 헌신적인 노력으로 이제 우리는 원전의 설계, 제조, 건설, 운전 및 보수 그리고 핵연료설계 제조까지 전 분야에 걸쳐 원전기술자리를 이룩하게 되었다.

**초**기단계는 외국전문회사에 의해 원전사업이 주도되었다. 그러나 상황은 빠르게 달라졌다. 정부의 적극적 개입과 국내 사업자들의 추진력에 힘입어 1980년대부터 점진적으로 국내 업체로 기술력이 이전

되기 시작했다. 1995년에는 95%의 기술자립을 달성했다. 이를 바탕으로 우리나라의 표준원전인 OPR1000 및 APR1400을 탄생시킬 수 있었다. 이 과정에서 관련 업체들은 해당부품을 수출해 왔으나 원전 패키지의 수출실적이 없어 애를 태워왔다. 그러다 2009년 말 UAE에 4기의 원전수출을 드디어 성공함에 따라 향후 수출동력산업으로서의 원전의 역할이 더욱 가시화 되고 기대를 갖게 하고 있다. 우리의 우수한 원전가동실적과 높은 가동률, 핵연료의 건전성 등은 국제적으로 충분히 한국 표준원전의 가치를 인정받는 계기가 되고 있다. 이러한 성과에 따라 원전의 건설을 희망하는 여러 국가에서 우리의 표준원전에 관심을 보임은 물론 도입에 적극적이다.

**한**편 원전건설을 희망하는 국가들은 물론이고 수출하고자 하는 국가도 전문 인력의 부족 등 인프라 구축에 적지 않은 문제를 안고 있다. 우리의 국내 사정도 예외일 수 없다. 이런 시점에 고경력 원자력분야의 과학기술자를 데이터베이스화하고 이를 활용할 수 있는 길을 열기 위한 ‘원자력의 지식확산과제’는 때맞는 연구주제가 되었다. 특히 원자력 50년의 역사 속에 원자력의 추진과정과 성공사례를 정리해 보는 것은 과거를 확인하면서 미래를 열어 나가는 작업이다. 성공사례는 우리의 현실에 바로 접목할 수 있어 매우 중요한 의미를 갖는다. 원자력의 발전과정과 분야별 성공사례, 그리고 교훈을 요약 정리해 본다.

**아**래 내용은 우리나라 원자력계의 다양한 전문가들의 의견을 모아 발굴 정리한 내용을 언론 전문가의 도움을 받아 대 국민 교육 자료로 재가공한 것이다. 국문 자료에 이어 하단에 영문을 첨부하여 외국 홍보자료용으로 활용토록 한 것은 한국원전의 세계화를 고려한 배려이다.

## Executive Summary

Nuclear technology took its first step into Korea when the Korean government established the Atomic Energy Division within the Technology Education Bureau of the Ministry of Education in 1956 under the leadership of the President Syngman Rhee. Thereafter the Atomic Energy Act was promulgated in March 1958 and the Atomic Energy Board was set up within the government structure in October 1958.

Then the Korean government established Korea Atomic Energy Research Institute in March 1959 in accordance with the Atomic Energy Act and launched a project to construct a research reactor, TRIGA Mark II, in July 1959 for the first time in Korea. It went into operation in March 1962.

As the Ministry of Science and Technology(MOST) was established in March 1967, the Atomic Energy Board was re-organized into the Atomic Energy Agency under the Ministry.

Under the leadership of the President Chunghee Park, the Korean nuclear industry could launch the construction project for Kori unit 1 in 1971, the first commercial nuclear power plant in Korea. It went into commercial operation in March 1978.

In the early stage of nuclear power development, several nuclear power plants including Kori unit 1 were constructed by overseas companies on a

turn-key contract. However, starting in the mid 1980's Korea has actively pursued, making a lot of efforts on national level, the development of its own nuclear technologies to achieve technology self-reliance. As a result Korea was successful in developing the design of Korean Standard Nuclear Power Plant(KSNP) in 1989, and applied it to Ulchin units 3 and 4. Later KSNP was improved to become Optimized Power Reactor-1000 (OPR-1000). In 2002 Korea developed a more advanced nuclear power plant called Advanced Power Reactor-1400 (APR-1400) which has many enhanced safety and economic features over OPR-1000 and then applied it to Shin-Kori units 3 and 4. Recently the Korean consortium won the contract at the end of 2009 for the construction of 4 units of this APR-1400 in the UAE. Also at the end of 2009, Korea won the contract to construct a research reactor in Jordan. The experience accumulated through the design and construction of multi-purpose research reactor, HANARO, in 1995 by Korea's indigenous technologies led to the export to Jordan.

## 제1장 역사적 주요 이벤트

- 1-1. 원자력법 제정
- 1-2. 문교부내 원자력과 설치
- 1-3. 대학에 원자력공학과 설치
- 1-4. 원자력원과 한국원자력연구소 설치
- 1-5. 연구용원자로 도입
- 1-6. 원전 고리1호기 상업 가동
- 1-7. 한국표준형 원전 성공적 가동

제1장

“

# 역사적 주요 이벤트

Major Events of Historical Significance

“

## 1-1. 원자력법 제정



우리나라에서 원자력사업은 한 특징이 있다. 원자력사업이 정부정책에서가 아니라 민간인들 사이에서 자생적으로 시작되었다는 것이다. 거대사업의 대부분은 국가 정책에 의해 시작되는 것이 보통이지만 우리나라의 원자력사업은 민간인들의 자발적인 스터디 그룹(study group)에 의해 비롯된 것으로 세계적으로 그 유례를 찾아볼 수 없는 일이다.

그 주역은 서울대 물리학과와 윤세원 조교수를 중심으로 그의 동료인 김희규 조교수 등 10여명의 이공계출신의 젊은이 들이였다. 이들은 1955년부터 문교부 별관에 모여 스터디 그룹을 조직하여 미 공군의 동료에게서 얻은 「원자력공학 입문」교재를 갖고 원자력기초를 공부하기 시작했다. 윤 조교수는 김희규 조교수와 함께 미국 아르곤 원자력 연구소 부설 국제원자력학교에서 1년 과정을 수료한 바 있어 국제정세와 원자력 전반에 대한 식견을 갖고 있었다. 그는 선배로서 원자력법 제정의 필요성을 스터디 그룹 회원들에게 설명하고 있었다. 즉, 원자력관련 사업이 추진되려면 그

뼈대가 되는 해당 법부터 제정해야 한다고 주장했던 것이다.

그러나 우리 스스로 처음부터 원자력법을 만들어 내긴 어려웠다. 그래서 우선 외국의 법령을 얻어다가 참고해 보기로 하고 문교부를 통해 미국, 영국, 일본 대사관에 협조를 요청했다. 스터디 그룹 회원 중 비교적 선배에 해당하는 몇 분이 모여 외국 법령을 옆에 놓고 우리 나름의 원자력법 초안을 작성했고 다음에 그것을 회원들이 조목조목 검토했다. 그 후 그것을 법률전문가에게 감수 받은 다음 법제처에 넘겨 제대로 되었는지 평가를 받았다.

### 대학에서 시작된 한국의 원자력산업

그때 역점을 둔 것은 원자력발전 진흥과 방사선 및 방사성동위원소 이용확대를 두 축으로 삼아 원자력사업을 이끌어 가자는 것이었다. 그러자 주한 미국대사관에서 우리가 손질하고 있는 원자력법의 내용을 알고 싶다고 해 영문 원자력법도 작성하였다. 원자력법의 영문번역에는 미국대사관의 Peter 서 씨의 도움이 컸다. 우리나라 원자력법에 관한 미국 측의 주요 관심사는 원자력이 오로지 평화적 목적으로만 이용되어야 한다는 점이었다. 그런 면에서 이 법안의 뼈대는 제대로 된 셈이었다. 그렇지 않아도 1955년 7월에 한·미 원자력협력협정의 가조인 상태에 있어 미국 측은 우리 원자력법의 내용과 향방에 관심이 있었던 것이다. 그로부터 7개월 후인 1956년 2월 한·미 원자력협력협정이 정식으로 서명 발효된 것은 미국 측이 우리 원자력법 초안을 검토한 다음의 일이었다. 이 법안은 1956년 6월 26일 국무회의 의결을 거쳐 1958년 3월 11일 법률 제483호로 공포됐다.

## 1-1. Enactment of the Atomic Energy Act

In the year of 1955, a nuclear energy study group was formed by some ten scientists that included Sewon Yoon and Heekyu Kim, assistant professors of Physics at Seoul National University, and air force officers Kuengho Hyen and Junpyeong Kim. The study group asserted that the establishment of atomic energy laws was the first and the most important step for Korea to take to promote nuclear programs in a systematic way and they set out on drafting them. The main contents of the draft were drawn from the peaceful uses of nuclear energy reflecting the policy initiatives of the US.

In the process of drafting the Atomic Energy Act, the group referred to atomic energy laws of the US, the UK and Japan. The draft was approved by the cabinet on 26 June 1956 and then ratified by the National Assembly. The Atomic Energy Act was promulgated as legislation No. 485 on 11 March 1958. Meanwhile the Korea-US Civil Nuclear Cooperation Agreement was formally signed in February 1956, which was tentatively accorded in July 1955.

## 1-2. 문교부내 원자력과 설치

1953년 12월 8일 아이젠하워 미국대통령이 UN총회에서 원자력의 평화적 이용과 그 업무를 담당할 국제기구의 창설을 제안했다. 이에 따라 국제사회에서는 원자력 관련업무가 폭주했다. 그

러나 우리 정부 안에는 그 일을 맡는 부서가 없었다. 가령 미국원자력위원회 (USAEC, US Atomic Energy Commission)는 정기적으로 공문을 각국에 발송했고 특히 원자력의 평화적 이용에 관련된 논문을 마이크로피시(Microfiche)로 작성해 배포했는데 미국 정부는 그것을 전부 경무대 (지금의 청와대)로 보냈던 것이다. 그러면 경무대는 그것을 문교부 기술교육국장(박철재 박사)실에 내려 보내 그 내용이 뭔지 조사 보고하라고 지시하곤 했다.

문교부 안에는 수만 장의 마이크로피시에 소장된 수천 종의 학술논문 내용을 제대로 이해하는 공무원이 없었다. 박국장은 그 일을 스터디 그룹의 윤세원교수에게 부탁하곤 했다. 박국장은 윤교수의 일본 교토(京都)대학 물리학과 선배로 무리한 일이라도 부탁할만한 관계였다. 일이 있을 때마다 스터디 그룹 회원들이 비상 소집되어 밤새워 그 일을 하곤 했다. 한국이 국제원자력기구(IAEA)에 가입하기 전후(1956-57년)로 관련 모든 연락업무도 외무부와 더불어 스터디 그룹 회원들이 도맡아 하게 되었다.

조직적이지 못하고 지원도 없는 상태에서 이러한 일들을 몇 년 씩이나 도맡아하는 원자력 스터디 그룹 회원들은 지칠 대로 지쳤고 그것을 알면서도 일을 맡겨야하는 정부(박철재 국장)도 면목이 없었다. 회원들도, 문교부에서 해외로 발송되는 공문 작성도 근무시간 이외에는 원자력 관련 업무를 더 이상 도와줄 수 없다며 손을 들고만 상태였다.

그래서 문교부 안에 그 일을 맡을 전담부서를 만들자는 안이

제시되었다. 처음엔 ‘국’ 규모를 생각했으나 어차피 그 부서는 원자력전담기구를 탄생시키는 산파역만 하고 없어질 것이라 하여 원자력과로 설치된 것이 1956년 3월 9일(대통령령 제1140호)이었다.

### 대학교수가 과장급 공무원으로

윤세원 교수는 문교부 장관과 박철재 국장의 설득에 못 이겨 교수 봉급의 반밖에 안되는 과장직에 임명되었는데 그는 원자력 전담기구가 설립될 때까지의 징검다리 역할을 한다는 조건으로 그 자리를 수락했다. 다음은 과원모집이 문제였다. 스터디 그룹 회원들은 하나같이 유학을 꿈꾸고 있어 누구도 원자력과에 가려 하지 않았다. 하는 수 없이 아직 독신이고 가정 형편이 크게 어렵지 않은 전기공학과 출신의 현경호 씨와 화학과 출신의 이진택 씨가 계장자리에 떠올라 갔는데 그것도 유학 갈 때까지만 근무한다는 조건부였다. 조금 후 문교부에 근무하던 정균양 씨와 김태완 씨가 수평이동으로 옮겨와 행정적으로 과장을 보필했다. 그리고 김기수 씨 등 몇 사람의 이공계출신이 임시직 신분의 박봉으로 근무했다.

윤세원 원자력과장은 원자력에 지대한 관심을 가진 이승만 대통령의 직접 부름을 종종 받아 대통령을 독대하는 정부유일의 과장이라 하여 유명세를 타기도 했다. 그런데 원자로라고 설명드리면 대통령은 “혹 그것이 Atomic Machine을 말하는가?”라며 되물었고 특히 방사성폐기물이나 피폭 (Exposure)이란 낱말은 전

혀 이해하지 못해 애를 먹었다는 것이다. 그러자 업무보고를 마친 후 경무대를 나오는 윤과장에게 박찬일 비서가 뒤따라오며 “미안하지만 다음부터는 공문 뒤에 영어번역문을 첨부해 올려 주십시오”라고 권고하기도 하였다.

원자력과는 IAEA에의 정식가입, 원자력법 제정, 원자력원과 한국원자력연구소 설립 및 그 부지선정, 연구용 원자로 도입, 인력양성, 예산확보 등 많은 일을 떠맡아 원자력행정의 주춧돌 역할을 단단히 했다.

## 1-2. Establishment of the Atomic Energy Division in the Ministry of Education

On 8 December 1953, Dwight D. Eisenhower, the President of the US proposed the establishment of an international agency for the peaceful uses of nuclear energy in the speech at the UN General Assembly. Since then the US Atomic Energy Commission (USAEA) circulated papers on the peaceful uses of nuclear science and technology to selected countries.

Since there were few government officials who had in depth knowledge and experience with large volumes of academic and professional papers on the uses of nuclear science and technology, Chuljae Park, then Director General of the Technology Education Bureau, the Ministry of Education requested the study group to make a well-built executive summary in reasonable size. Also the

study group supported the Ministry of Foreign Affairs in making high level administrative preparations in such a way for Korea to successfully join the IAEA as its regular member in 1957.

As the proposal to establish a dedicated division for nuclear energy was gaining momentum, a division was formed in March 1956 and named Atomic Energy Division. It was headed by Sewon Yoon. At the beginning the Division carried out such milestone tasks as entry into the IAEA, enactment of the Atomic Energy Act, establishment of the Atomic Energy Board and Korea Atomic Energy Research Institute, and introduction of a research reactor, paving the way for nuclear energy development in Korea.

### 1-3. 대학에 원자력공학과 설치

한국전쟁의 휴전협정이 체결 후 우리사회 밑바닥엔 온통 가난과 절망이 깔려 있었다. 백성들에게 당장 필요한 것은 끼니를 때우는 일과 따뜻한 잠자리를 마련하는 일이었다. 1970년까지만 해도 우리나라의 1인당 GNP는 북한인의 30%밖에 되지 않은 처지인데도 우리는 소련과 중공을 뒤에 얹은 북한정권의 군사 위협에 대처하느라 예산의 많은 부분을 국방비에 배정하고 있었다.

그런 역경 속에서도 우리 국민은 지평선 너머에서 손짓하는 희망의 빛을 보았다. 그것은 땅에서 캐내는 행운의 금광이 아니라 머리와 땀과 손으로 창출해내는 원자력이었다. 같은 무게의 화석

연료보다 300만 배의 에너지를 낼 수 있다는 원자력에 대한 매력은 아무것도 가진 것 없는 우리에게 그것은 안성맞춤의 분야로 여겨졌다. 사회는 서서히 원자력의 매력에 빠져들었고 특히 교육계는 원자력의 인재양성에 힘을 쏟기 시작했다.

### 본격적인 인력양성에 나서

교수진을 확보하고 기자재를 마련한 다음에 과를 설치한다면 언제가 될지 모르지 않는가. 그래서 우선 일을 저질러 놓고 보자며 인천의 인하대학은 1957년 원자력공학과 설치를 발표한 것이다. 인하대학은 조선조가 망한 후 인천의 감리교 교인 103명으로 시작된 학교다. 그들은 하와이의 사탕수수 농장의 싸구려 일꾼으로 팔려가 고생하면서도 그곳에서 독립운동을 벌이던 이승만 박사를 도운 일이 있다. 이박사가 대통령에 당선되자 인천의 인과 하와이의 하자를 한자씩 떼어 내 이름 붙인 대학이 인하대학이다. 그래서 그들은 이 대통령의 후원을 기대하며 원자력공학과를 설립했으나 교수확보도 어렵고 여건이 성숙되지 못해 얼마 후 그 과를 무기공학과로 개명했다가 다시 다른 과에 흡수 통합시켰다. 어쨌든 미완성이긴 해도 원자력공학과 설립을 최초로 시도한 대학은 인하대학이었다.

두 번째로 원자력공학과를 설치한 대학은 1958년의 한양대학교였다. 그때 대부분의 사립대학과 마찬가지로 한양대도 경영합리화 차원에서 시간강사채용과 야간대학 개설로 운영해 나갔다.

서울대학교는 한양대보다 1년 늦은 1959년에 원자핵공학과를 만

들었다. 한해 앞선 한양대의 경우도 그랬지만 서울대 핵공학과에는 국내 이공계 최우수 학생들이 구름 떴처럼 몰려들었다. 정원이 20명밖에 안되어 그 우수한 학생들을 더 많이 받아들이지 못한 것이 지금에서 와서 보면 원자력계로선 큰 손실이었다. 서울대 역시 시간강사를 많이 위촉해 과를 운영했고 다행히 한국원자력연구소 바로 옆에 학교가 있어 연구용원자로와 그 실험은 물론 기타 관련 실험에 연구소시설을 이용하는 이점이 있었다. 한국원자력연구소 연구원들이 전공분야의 시간을 맡아 강의하는 편리함도 있었다.

그 다음으로 원자력공학과를 설립한 경희대는 준 임계원자로 시설을 도입할 만큼 적극적이었다. 그리고 광주의 조선대, 여섯 번째인 제주대가 있다. 제주대는 나중에 과명을 에너지공학과로 개명했지만 그래도 교과목에서 차지하는 원자력공학의 비중은 컸다. 연구중심 대학원인 KAIST에선 학사과정과 대학원 과정을 공동으로 운영하고 있는데 대덕연구단지의 원자력관련 기관들과 긴밀히 협력하는 좋은 조건을 갖추고 있다. 예를 들면 KINS(한국 원자력안전기술원)와 협력해 원자력안전 위주의 국제과정을 운영하고 있으며 한전원자력연료와의 핵연료안전성 공동연구도 그 이점 중의 하나다.

외국에선 원자력공학과가 다른 학과에 흡수 통합되는 불운을 겪은 예가 많고 원자력학과의 줄어지고 아예 없어지는 경우가 많았지만 우리나라에선 최초의 인하대의 경우를 제외하곤 폐과(廢科)된 일이 없다. 그 동안 많이 배출된 국내대학의 원자력공학과

출신들이 우리의 원자력산업의 성장 발전에 크게 기여하였다. 앞으로 국내 원자력산업의 발전과 해외 원전수출을 위해서는 우수한 인력양성이 최우선 정책과제로 떠오르고 있다.

### 1-3. Establishment of Nuclear Engineering Department Universities

After the Korean War(25 June 1950 -17 July 1953) up to the 1970's the GDP per capita of South Korea was no more than 250 US dollars which is just about 30 percent of the North Korea's GDP. What made situations more difficult was the South had to allocate a large portion of its national budget to defence sector in order to stand against the North Korean military threats backed by communist China and Soviet Union.

Even under such circumstances, there was a wide spread belief among early intellectuals that nuclear energy, then considered as high-tech to produce energy, could be best suited to South Korea for the production of electricity providing a solution to energy scarcity problem of the nation.

Inha University was the first to open a nuclear engineering department in 1957. However, the venture ended without success because of the difficulty in recruiting enough faculty members.

A year later, Hanyang University established a nuclear engineering department in 1958, followed by Seoul National University in 1959. Many

talented high school graduates applied to study nuclear science and technology at both universities. Seoul National University had a comparative advantage due mainly to its proximity to the research reactor TRIGA Mark II for experiments and other facilities of Korea Atomic Energy Research Institute.

Then KyungHee University came along to establish a nuclear engineering department and was enthusiastic enough to introduce a zero power critical assembly for educational purposes. Then followed by Chosun University and Jeju National University later on. Far later in 1971 Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST), the first research oriented postgraduate institute, established a department of nuclear engineering.

After the TMI(Three Mile Island) nuclear accident in 1979, many nuclear engineering departments around the world were closed or merged into other departments. In contrast to this worldwide trend, universities in Korea maintained the level of student enrollment in nuclear engineering departments. It was very fortunate for Korea to have a steady supply of high quality manpower from the universities as it developed and expanded its nuclear industry.

#### 1-4. 원자력원과 한국원자력연구소 설치

문교부의 원자력과는 원자력원의 위상이 일반 부처 (Ministry) 보다 한 단계 높은 부처(Super-Ministry)의 기능을 가지게 하려는 안이었다. 명칭도 원자력부라고 하지 않고 원자력원이라 이름 지



〈1-1〉 이승만 대통령이  
트리가마크 II  
원자로 기공식에서  
첫 삽을 뜨고 있다.

은 것은 지난날의 경제기획원처럼 그 수장(首長)을 부총리 급으로 임명하여 관련부처와 장관들을 통괄 조정하는 권한을 갖게 하려는 생각에서였다.

즉, 과학기술부나 정보통신부가 없던 시절이라 원자력원이 과학기술문제의 전체를 통괄 조정하는 업무를 담당케 하려는 뜻이 담겨 있었다. 그런 거창한 안이 예산을 배정하는 재무부, 인사문제를 다루는 총무처, 법률문제를 자문하는 법제처 등에서 검토 받은 후 국회에 회부되고 심사받는 과정에서 초(超)부서가 준(準) 내지 아(亞) 부서로 전락하고 만 것이다.

이렇게 해서 원자력원 직제는 1958년 10월 1일 대통령령 제 1394호로 공포되었고 이듬해 1월 21일 초대 원자력원장에 전문

교부 장관이고 국회에서 여당의 원내총무를 맡아 이승만 대통령의 신임이 두터운 김법린(金法麟)씨가 임명되었다.

한편 원자력연구소를 설립하는 선결과제는 연구소 부지를 확보하는 일이었다. 윤세원 교수는 문교부 원자력과장 시절부터 부지 선정을 위해 백방으로 노력했고, 상부의 지시에 따라 관련부처에서도 후보지를 문교부에 추천했다. 박철재 기술교육국장은 강원도 산골의 군부대 안에 자리 잡아야 한다고 주장했고 경무대 예선 진해의 해군기지 안이 어떻겠느냐고도 했다. 국방부에선 경기도(지금의 성남-광주)에 있는 육군행정학교를 더 넓은 곳에 옮겨주면 내놓겠노라고 했다.

관계자들이 눈독들인 곳은 제2차 세계대전 때부터 경기지역의 탄약저장고로 사용되던 안양의 박달리였다. 비교적 넓은 이곳은 사면이 언덕으로 둘러싸여 있는 분지형태의 땅이고 수도권의 큰 도로에서 가깝고 전기와 수도도 갖춰져 있어 기반시설 건설비가 적게 들것이라는 유리함이 있었다. 그러나 국방부의 강력한 반대에 부딪혀 물러나고 말았다.

### 서울공대 터에 자리잡은 원자력연구소

당시 서울대 총장은 의사출신의 윤일선 박사였다. 그는 윤세원 교수의 원자 물리학 강의시간에 들어와 청강하는 등 원자력에의 관심이 많은 학자여서 연구소 부지선정에 적극 협조해 주었다.

윤과장은 경기도 양주군 노해면의 서울공대 땅이 탐난다고 하자 윤총장은 자기가 밀어 줄 테니 공대교수들을 설득해 보라고



(1-2) 서울 노원구 공릉동에  
 시설된 국내 최초의 원  
 자로인 트리가 마크-II

귀땀해 줬다. 윤 과장은 강력히 반발하는 공대교수들에게 최고의 실험 기구와 원자로까지 갖추게 될 연구소가 이웃에 들어오면 교수들의 연구에 큰 도움이 되어 서로 도움이 되는 윈윈(Win-Win) 결과를 얻게 된다고 설득하여 13만평 중 5만평을 공문 한 장으로 할애 받았다.

그때 서울공대가 불편해 하고 있던 수도와 전기문제 해결에도 크게 도움이 되었다. 한국원자력연구소는 주변의 개인 땅의 일부를 매수해 꽤 넓은 부지를 확보하는데 성공했다.

### 1959년 7월 14일 원자력연구소 첫 삽

초대 연구소 소장엔 박철재 문교부 기술교육국장이 취임하였고 이승만대통령이 참석한 가운데 100 kW의 TRIGA Mark-II 연구용 원자로의 건설기공식이 1959년 7월 14일 거행되었다. 이 원자로는 2년 후인 1962년 3월에 가동을 시작하였다.



〈1-3〉 1959년 3월 1일 한국원자력연구소를 개원한 날 기념촬영을 하였다.

연구소엔 원자로공학, 전자공학, 물리, 화학, 생물, 보건물리학 등 6개 분야의 연구실을 두었다. 연구소는 공무원신분의 연구원들을 우대하기 위해 본봉 이외에 100%의 연구수당과 위험수당 100%를 합한 300%의 봉급을 지급했다.

그러자 IAEA와 USAEC가 위험수당 지급은 방사선 위험을 강조하는 역기능을 유발할 가능성이 크니 철폐해야 한다고 거듭 권고하자 그 후 위험수당 항목을 빼고 말았다.

초기의 연구소가 내세운 업적으로 기초연구, 원전의 기술 안전 및 경제성 조사, 원전 부지 확보, 유관기관원들에 대한 인력양성과 방사성동위원소(RI) 및 방사선의 이용확대였다. 1960년대엔 한국원자력연구소에서 방사선의학연구소와 방사선농학연구소가 분리 설립되었다가 70년대에 다시 재통합되었다.

## 1-4. Establishment of the Atomic Energy Board and Korea Atomic Energy Research Institute

The Ministry of Education envisioned a nuclear authority which has a step higher stature than other ministries in the governmental hierarchy. However in the process of consultation with the Ministry of General Affairs which has the responsibility of governmental structure, the Ministry of Finance the responsibility of budget and the Ministry of Legislation the responsibility of government initiated laws, the authority ended up as the Atomic Energy Board having actually one step lower status than other ministries.

Organizational structure of the Board was formalized on 1 October 1958 and BupRin Kim who earned sound credit from the President Syngman Rhee was appointed head of the Board. He also once served as the Minister of Education and floor leader of the ruling party, the Freedom Party.

Meanwhile, acquisition of adequate land had become one of the high priority agendas for the establishment of Korea Atomic Energy Research Institute. SeWon Yoon, then Director of the Atomic Energy Division of the Ministry of Education made a request to Seoul National University to concede 160,000 ㎡ out of its College of Engineering site of 430,000 ㎡ which is located in Noheon-myeon, Yangju-gun, Kyunggi Province. In addition to the land secured from the University, the Ministry purchased adjoining private land to complete the boundary of the Institute.

ChulJea Park, Director General of Technology Education Bureau, the Ministry of Education at that time was appointed as the first president of the Institute on 3 February 1959. Then on 1 March 1959, Korea Atomic Energy Research Institute was officially opened.

At the beginning the Institute had six research cells to cover the areas such as reactor engineering, electronics, physics, chemistry, biology and health physics. Researchers had a status of government official but were given special benefits including the salary three times higher than that of other general government officials.

At that time the Institute carried out basic researches on nuclear energy such as development of technologies related to construction of nuclear power plants, nuclear safety analysis, nuclear economics study, and development of radioisotope application technologies.

In the 1960's the Nuclear Medicine Research Institute and the Radio-agriculture Research Institute were operated separately from Korea Atomic Energy Research Institute as spin-off organizations. However, those two Units were merged again into KAERI in the 1970's.

## 1-5. 연구용원자로 도입

정부는 1957년 연구용원자로 도입을 계획했다. 이보다 2년 앞서 체결한 한 미간의 원자력협력협정에 따라 미국정부는 우리나라에 원자로 대금조로 35만 달러를 무상으로 원조했는데 정부가 거기에 38.2만 달러를 보태 72.2만 달러로 원자로와 부속기자재를 도입키로 한 것이다.

그런데 어떤 노형의 원자로를 어디에서 도입할 것이냐가 문제였다. 그래서 문교부의 박철재 기술교육국장, 윤세원 원자력과장 및 서울대 물리학과 김희규 교수가 현장조사에 나서 General Electric, American Machine & Foundry, Lockheed사 등을 둘러보고 서로의 장단점을 조사 비교 검토했다.

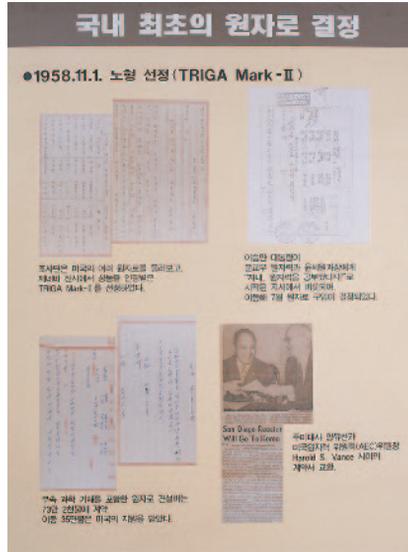
마지막으로 California 주 La Jolla 소재의 General Atomic (GA)사에서 설계 제작한 TRIGA 연구용 원자로를 시찰하고는 “바로 이거다”라며 무릎을 쳤다. 우선 Uranium-Zirconium-Hydride 핵연료는 온도가 올라갈수록 부(負)의 온도계수가 올라가 안전성이 뛰어나고 또 가격과 활용 면이 우수하여 조사단의 마음을 사로잡았다. TRIGA 원자로는 미국은 물론 남미, 유럽, 아시아, 아프리카 등 여러 나라에 가장 많이 팔린 노형이어서 GA사는 박리다매 식의 정책으로 다른 경쟁사들을 따돌리고 있었다.

꽃밭처럼 꾸며놓은 회사의 주변의 조경, 이상적인 건물배치, 노벨 수상자가 연구원으로 일하는 학문적인 분위기에다 거기에

멋진 브리핑과 정성어린 대접은 그들의 마음을 사로잡기에 충분했다는 후문이다.

마음을 정한 조사단은 10kW급 TRIGA면 충분할 것이라 생각했으나 윤세원 과장이 욕심을 부려 100kW로 올리기로 했다. 이렇게 해서 100kW의 TRIGA Mark-II는 59년 7월 14일에 착공해 1962년 3월 19일 첫 가동에 들어갔다. 그러나 원자로의 중성자속(Neutron Flux)이 너무 낮아 연구원들의 불만이 일자 원자로 공학실(실장 이창건박사)은 1967년 출력을 증강하기로 결정하고 자력으로 2.5배의 출력인 250kW 출력증강에 성공하였다. 그러나 몇 년 후엔 그것도 모자라 2MW급인 TRIGA Mark-III를 건설하기에 이르렀다.

이런 일련의 발전과정은 우리 고유의 원자로인 하나로의 설계 및 건설의 발판이 되었고 그것이 오늘 날 요르단에 연구로를 수출하게 길을 연 셈이다. 원자로 감속재인 흑연덩어리를 인천 부두에서 건설현장까지 운반해 올 땐 선도차가 사이렌을 울리고 경



(1-4) 국내 최초 원자로 도입을 결정하게 된 경위를 알려주는 문서들



〈1-5〉 2MW의 출력을 갖는 트리가마크 III의 기공식(1968.12)

찰차들이 앞뒤를 호위하며 교통을 통제할 정도였으니 당시 원자로는 별천지에서 온 신비한 물건처럼 여겨졌다.

원자로의 설치와 실험은 GA사가 맡았고 기타의 토목부분은 GA사의 하청업자로 핵탄두 발사대 건설을 전문으로 하는 Holmes & Narver, Inc.가 중앙산업을 하청업자로 하여 건설했다. 그때 가장 어려웠던 일은 방사선 차폐재로 비중 2.5이상의 특수 콘크리트(Heavy Concrete)를 만드는 일과 우리나라에서 처음 시도한 대형 알루미늄 용기의 용접작업이었다.

## 1-5. Introduction of the First Research Reactor

The government made a plan to introduce a research reactor in 1957. Because the joint statement on the “Korea and US Civil Nuclear Cooperation Agreement”, which was signed two years before, included a provision of 350 thousand US dollars as a grant. The Korean government decided to introduce a research reactor and related facilities worth 722 thousand US dollars by adding a government fund of 382 thousand US dollars to this grant.

The Ministry of Education sent a survey team comprised of ChulJea Park, Director General of Technology Education Bureau, SeWon Yoon, Director of Atomic Energy Division under the Technology Education Bureau and HeeKyu Kim, a professor of Physics at Seoul National University to the US to assess and compare the research reactors proposed by such companies as General Electric, American Machine & Foundry and Lockheed.

Later on the survey team decided to purchase a TRIGA research reactor of General Atomic(GA) located in La Jolla, California because of the excellent safety performance of its uranium-zirconium-hydride reactor fuel which has negative temperature reactivity coefficient. It also had other merits such as relatively low price compared to others and its diverse applications. Also this type of reactor was widely used in many countries in South America, Europe, Asia and Africa.

At the beginning the survey team considered a TRIGA reactor with the thermal output of 10 kWt. However, SeWon Yoon, insisted that it should be at

least 100 kWt, 10 times bigger than the initial candidate, and the final decision went for a 100 kW TRIGA Mark-II.

Korea Atomic Energy Research Institute celebrated on 14 July 1959 a ground breaking for the 100 kWt TRIGA Mark-II research reactor inviting the President Syngman Rhee, and the reactor went into operation in March 1962 after two years of construction.

In the construction of the TRIGA Mark-II, reactor installation and tests were commissioned by GA and civil works by Holmes & Narver, Inc. a sub-contractor of GA, that has specialty in building launchers of nuclear warhead. The most difficult work in the construction of the TRIGA Mark-II was formation of heavy concrete for radiation shield and aluminum vessel welding which was applied the first time in Korea.

After a few years' operation, however, researchers found out that they couldn't carry out advanced research projects because of its low neutron flux. To solve the problem Kwan Lee, head of nuclear engineering department together with senior researcher Changkun Lee, made a plan to upgrade the reactor power from 100 kWt to 250 kWt in their own efforts and the mission was successfully completed in 1967. However, a few years later, they realized that the reactor with 250 kWt was still not big enough to perform important advanced researches. So the Institute launched again another construction project. This time they decided to build a 2 MWt TRIGA Mark-III.

## 1-6. 원전 고리1호기 상업 가동

원자력발전소의 첫 번째 부지는 1964년 국내 22개 지점을 조사, 도상평가를 거쳐 9개 지점으로 1차 압축됐다. 이 중 IAEA의 권고를 따라 장안면 월내리와 함께 새로이 추가된 장안면 길천리 2개 지구로 다시 압축됐다. 그런데 1967년 ‘장기 전원개발계획’이 변경되면서 애초 계획된 원전용량 30만kW급이 50만kW급 2기로 확대 조정된 것이다. 이에 따라 월내와 길천리 인근 지역인 고리에 대한 부지 재조사에 들어갔고 여러 가지 형태의 지질조사 및 기상조건을 감안하여 월내·길천·고리를 묶는 이곳을 우리나라 첫 원전건설지로 최종 선정되었다.

이 원전사업은 새로운 분야를 개척하는 첫 사업이었지만 우리나라의 인프라가 적절하지 않았다. 따라서 고리1호기건설은 주계약자인 외국의 공급자에게 설계, 제작, 건설, 시운전에 이르기까지 모든 권한과 책임을 맡기는 일괄도급(Turnkey)계약으로 추진되었다. 고리1호기의 건설소요 자금은 약 344억원(외화 약 9500만 달러, 내자 약 83억 원)으로 추정되었다. 한전은 미국의 GE사, 웨스팅하우스, CE사 그리고 영국의 British Nuclear Export Executive 등 4개사를 대상으로 약 3개월의 평가를 거친 결과 1969년 1월, 저렴한 가격과 건설실적 등을 평가, 미국의 웨스팅하우스를 계약대상자로 선정하였다.

한전은 기술사양서 확정 등 웨스팅하우스와의 계약체결을 위

해 1969년 2월 미국의 번스앤로우(Burns & Roe)와 3개월간 기술 용역계약을 맺고, 보다 완벽한 계약을 위한 준비를 갖추어갔다. 1969년 6월 정부는 원전차관추진을 위해 미국수출입은행과 교섭할 것을 주미대사관에 훈령했다. 사업자인 한전은 미국, 영국, 캐나다 3국을 다니며 차관조건에 대한 개선 교섭을 매듭지었다. 1969년 10월 웨스팅하우스는 영국 EEW를 계약당사자로 제시해와 장차 3차 계약에 따른 부작용으로 건설 과정이 복잡하게 전개될 것이 예상되었다. 웨스팅하우스는 한국전력이 요구하는 가격 내역서 제출을 턴키방식이라는 이유로 끝내 자료를 제출하지 않았다.



〈1-6〉 국내 최초의 발전용 원자로인 고리1호기 건설 장면

건설계약은 해를 넘겨 1970년 6월에 체결되었고, 원전연료성형가공계약은 웨스팅하우스와 별도로 이루어졌다. 준공은 계약 발효일로부터 6개월로 정해 1975년 12월말을 준공일로 정했다. 1971년 9월, 방대한 안전분석보고서를 포함, 건설허가 승인신청서를 제출하였고 안전심사 9개월만인 1972년 5월 31일 비로소 건설허가가 발급되었다. 이에 앞서 1971년 3월 박정희대통령의 참석 하에 고리현장에서 온 국민이 지켜보는 가운데 시설용량 58만7300kW의 가압경수로인 고리1호기의 기공식이 있었다.

한편 1975년 말을 준공 목표로 계약을 체결한 고리1호기건설 공사는 준공이 5개월이 채 남지 않은 1975년 7월까지도 공정을 83%에 그쳤다. 고리1호기는 공사과정에서 세 차례 공기변경을 거치는 동안 27개월이나 지연되었다. 건설기간 중 기자재공급의 지연이 주원인이었고 석유파동으로 영국의 공장 조업단축과 영국 내 노조에 의한 분쟁도 한 몫 하였다.

최초로 원전건설을 하면서 외국사의 사업관리방법을 옆에서 지켜볼 수 밖에 없었던 우리들은 공기만회 방안이 지지부진하고 획기적인 공기단축방안이 강구되지 않자 중대결심을 하게 되었다. PRM(Project Review Meeting)이라는 사업관리회의를 정기적으로 개최하고 우리가 주재하면서 공기지연항목을 집중적으로 검토하여 만회 가능성을 예측할 수 있었다. 이를 바탕으로 한전은 정부의 양해를 얻어 기필코 1977년 내 준공을 목표로 웨스팅하우스와 1976년 2월 19일, 다음과 같은 내용의 공사축진 협정을

체결하기에 이르렀다. 즉 ①영국의EEW가 관리감독하고 있는 모든 공사에 대한 책임을 웨스팅하우스가 인수하고 ②웨스팅하우스는 1977년 6월 30일까지 총 출력 59만5000kW의 10%를 발전가능하게 하되, 이를 실현하지 못할 때에는 250만 달러의 벌과금을 한전에 지불한다. 또한 59만5000kW의 발전소를 1977년 11월 30일까지 완공하고, 이를 이행치 못할 때에는 100만 달러의 벌과금을 한전에 지불한다. ③한전은 추가로 소요되는 건설관리비 810만 달러를 웨스팅하우스에 지불한다는 내용이였다. 추가금액은 당시 1973년에 있었던 석유파동이 크게 영향을 미쳤다.

어려움을 극복하고 고리1호기는 건설착수 7년여 만인 1977년 4월 23일 현장공사를 마치고 원전연료장전 단계에 이르렀다. 장전 작업은 중성자원을 가진 원전연료를 처음으로 원자로심에 넣는 일이었다. 작업개시 72시간 만에 고리1호기의 초기 핵연료 장전은 성공적으로 완료했다. 원전연료 장전이 완료된 후 1977년 6월 18일 오후2시에 운전을 시작하여 1977년 6월 19일 오후 5시40분 임계상태에 도달했다. 이후, 영출력(零出力) 하에서 원자로의 특성시험을 거쳐 연쇄반응으로 인한 핵분열에너지를 이용한 전기생산이 시작하였다. 단계별로 30%, 50%, 75%, 90%의 출력에서 원자로 특성시험 등을 거친 고리1호기는 1978년 3월 23일 100% 출력 성능에 도달했다. 4월5일 오후5시부터 계약에 의한 성능시험인 100시간 연속 운전시험과 24시간의 열효율 측정시험을 거친 고리1호기는 1978년 4월 29일 한전이 정식 인수함으로써 한국은 원자력발전소 보유국가로 세계의 역사에 기록되었다.



〈1-7〉 1978년 중공된 고리원자력발전소, 송전탑이 이채롭다.

고리1호기를 통해 우리는 원자력품질보증이란 활동을 처음으로 하게 되었다. 고리1호기는 계약상으로 1968년판 ASME 코드를 따르도록 되어 있어 품질보증제도를 반드시 적용할 필요는 없었다. 그러나 1973년, 한국정부의 요청으로 IAEA의 규제전문위원(로젠박사)이 파견되면서 상황이 달라졌다. 그는 품질보증의 중요성을 역설하고 무엇보다 한전이 품질보증제도를 수립하도록 권고했다. 이에 따라 1973년 5월 정부는 국내에서도 원자력 시설의 건설 및 운영 허가 취득 때 안전성분석보고서에 품질보증계획을 포함하도록 법령에 명시하였다.

고리원전 1호기의 건설이 국내 관련 산업에 끼친 영향도 크다. 고리 사업장을 거친 우리의 숙련된 용접, 배관 및 거대 장비들의

관리 능력이 향상되었다. 원전건설에서 기술이 축적된 기능공들은 울산 등 석유콤비나트의 건설현장에서 두각을 나타내었다. 품질보증과 압력용기를 포함한 ASME 코드를 따라야 하는 국내 조선 산업 등에도 많은 영향을 끼쳤다.

고리1호기는 계산된 30년의 설계 수명을 10년 연장, 운전할 수 있도록 규제기관으로부터 이미 승인 받아 계속 산업현장에 양질의 전력을 공급하고 있다.

## 1-6. Commercial Operation of the First Nuclear Power Plant, Kori unit 1

For the construction of the first nuclear power plant, 22 potential sites were examined and then out of them 9 were short listed as prospective sites in the first round of site selection process. In the second round three sites were chosen, in that Wolrea-ri, Gilchun-ri in Jangan-muen, Gizang-gun, Kyungnam province and Hangju-ri in the basin of the Han river emerged as more feasible sites. Meanwhile the government revised its “Long term Electric Power Development Plan” in 1967. So reflecting this revision, the nuclear power plant construction plan was expanded in such a way to build two units with 500 thousand kWe each instead of initially considered one unit with 300 thousand kWe. Taking into account of all this new development, more detailed site survey was conducted in the areas around Wolrea-ri, Gilchun-ri. Finally the area which covers Wolrea-ri, Gilchun-ri and Ko-ri was chosen as the site

for the first nuclear power plant in Korea taking into consideration the geological and meteorological survey results and recommendations by the IAEA.

Construction of Kori unit 1 was carried out on a turn-key contract in which foreign vendors had all the responsibilities for design, manufacturing, installation, test and operation. Construction cost of Kori unit 1 was 33.4 billion Won (Korean currency) . Korea Electric Power Corporation (KEPCO) appropriated local fund of 8.3 billion Won and oversea loan of 95 million US dollars to pay the cost. KEPCO selected Westinghouse, a US company as the main contractor in January 1969 after tender evaluation conducted for three months to assess and compare between GE, Westinghouse, CE of the US and British Nuclear Export Executive.

KEPCO signed a technical service contract with Burns & Roe, an American company for three months in February 1969 to prepare technical specifications for Kori unit 1 construction contract. In the negotiation of the contract with Westinghouse in October 1969 Westinghouse proposed EEW, a UK company, to supply the secondary system and balance of plant. It was a bit afraid if some unexpected side effects from this subcontractor arrangement might develop into big troubles regarding responsibilities during the construction. In June 1970 KEPCO signed a construction contract with Westinghouse and signed a fuel supply contract also with Westinghouse but separately. A construction ceremony was held at the Kori site, attended by President Junghee Park, in March 1971 and it was televised to the public.

The date of completion of the construction was scheduled for the end of

December 1975, 60 months from the point of the contract.

Meanwhile construction work for Kori unit 1 was plagued by frequent delays so only 83 percent of the whole construction work was progressed by July 1975, leaving six months for completion. 27 months delay in construction was mainly due to late delivery of facilities and equipment caused by reduced working hours at UK factories in the wake of oil crisis and also labor disputes contributed, to a certain degree, to this delay.

To recover the construction schedule, therefore, KEPCO regularly held a project review meeting(PRM) with contractors to intensely check issues and activities which are behind schedule and set up necessary measures.

Unable to complete the construction by the end of 1975 KEPCO signed an additional agreement to speed up the construction work with Westinghouse on 19 February 1976 with the completion goal set at the mid 1977's. It stated that ① Westinghouse takes over all the responsibilities for what EEW was managing in the construction; ② Westinghouse makes it possible to produce 10 percent of electricity out of the total generation capacity of 595,000 kWe by 30 June 1977, otherwise Westinghouse shall pay 2500 thousand US dollars to KEPCO as penalty. Also in case of failure in completing the plant to produce the power of 595,000 kW by 30 December 1977, Westinghouse shall pay 1,000 thousand US dollars to KEPCO; ③ KEPCO shall pay Westinghouse 8,100 thousand US dollars for additional construction management cost. The additional construction cost was incurred inevitably because of the oil crisis in 1973 which resulted in higher construction cost.

Despite many hurdles Kori unit 1 reached the point to load nuclear fuel on 23 April 1977, after 7 years of construction. With nuclear fuel loaded the plant went into operation at 2 pm on 18 June 1977 and reached the initial criticality for the first time at 5: 40 pm on 19 June. Starting from 5 pm on 5 April 1978 it went through one hundred hours of continuous test operation at full power and 24 hours of thermal efficiency test as specified in the contract. After finishing these test operations KEPCO took over Kori unit 1 from Westinghouse on 29 April 1978, which marked a special occasion for Korea to join the nuclear power countries in the world.

Korea practiced quality assurance activities for the first time through the construction and operation of Kori unit 1. According to the contract there was no need to apply quality assurance program because the contract mandated only to meet the requirements given in 1968 edition of the American Society of Mechanical Engineers(ASME) codes and standards for manufacturing important mechanical components. However Maurice Rosen who visited Korea by the request of the Korean government recommended that KEPCO need to set up a quality assurance system in view of its importance especially in nuclear industry. In response to his recommendation, the Korean government specified in its nuclear laws in May 1973 that applicant of nuclear power plant construction permit and/or operating license should submit a safety analysis report and a quality assurance program to the regulatory authority.

It should be acknowledged that the skills and capabilities in welding, plumbing and project management accumulated through the construction of

Kori unit 1 have greatly contributed to the advancement of various heavy industries and ship building industries in Korea. Kori unit 1 is still operating well producing high quality electricity even after the extension of design life of 30 years in 2007 when it was authorized to operate 10 more years.

## 1-7. 한국표준형 원전 성공적 가동

### ● 한국표준원전의 효시인 영광3·4호기 건설

영광3·4호기 원전의 사업추진은 한국원전기술자립의 기틀을 마련한 것으로 볼 수 있다. 이 사업계획은 정부의 지원 하에 계획 연도인 1995년까지 95%의 기술자립목표를 완성한다는 목표를 가지고 추진되었다. 즉 당시 추진되던 원전표준화사업과 연계하여 정부는 1985년 6월 기술자립을 통한 한국표준형원전기본모델을 정착시키기로 한 것이다. 국제입찰을 통한 계약과정에서 그동안 우리나라에 원전을 계속 공급해 왔던 웨스팅하우스는 기술전수에 소극적이어서 원자로공급자에서 탈락됐다. 대신에 미국의 CE(Combustion Engineering)사가, 그리고 발전소 종합설계는 Sargent & Lundy사가 선정되었다.

계약일정에 따라 1988년 말 예비안전성분석보고서 및 환경영향평가보고서가 완료되고 원자력위원회와 정부로부터 안전성과 원전건설에 따른 환경영향이 관련규정 및 기준에 적합하다는 확인과 함께 건설허가를 받았다. 1991년 12월 영광3호기의 원자로

설치와 560톤에 이르는 증기발생기가 성공리에 설치되었다. 1993년부터는 본격적인 시운전에 들어갔다. 1994년 10월에는 핵 연료가 장전되었으며 곧이어 최초임계에 도달하였다. 다음해인 1995년 2월 7일에 영광원전은 100%의 출력에 도달하게 되어 모든 계획은 정해진 공기에 따라 완공되었다.

영광3·4호기 건설의 의미는 한국 원전건설 기술자립의 역사라고 할 수 있다. 기술자립의 구체적인 역할분담을 살펴보면 한국전력이 종합사업관리를, 한국전력기술이 플랜트 종합설계를, 한국중공업(현 두산중공업)이 원자로 설비 및 터빈발전기제작공급을, 한국원자력연구소가 원자로계통과 원전연료 설계를 담당했으며, 핵연료 제작은 한국핵연료(주)가 맡아 각 분야별로 자립을 추진했다. 영광3·4호기의 완공으로 국내 원전기술의 자립률은 95%에 이르렀다. 또한 한국표준형원전으로서 울진3·4호기 건설에 그 첫발을 내딛을 수 있는 역량을 마련해 주기에 충분하였다. 영광3·4호기의 첫 국내 계약주도방식은 많은 긍정적 효과를 가져왔다. 관련기술도입계약에는 현재의 보유기술 뿐만 아니라 앞으로 10년간 개발되는 기술까지 제공받도록 했으며, 연구개발에도 국내의 연구진이 공동으로 참여하도록 했다.

### ● 우리의 기술로 이룬 한국표준원전 울진3·4호기의 성공적 건설

한국표준형원전인 울진3호기가 1992년 5월 27일에 착공해 1998년 8월 11일 준공, 가동됨으로써 우리나라 원전의 새 장을 열었다. ‘한국표준형원전’이란 우리의 자체기술로 개발한 원전



〈1-8〉 울진 3호기의 원자로가 격납용기 안에 설치되어 있다.

으로서 100만kW급 가압경수로형 (PWR)을 표준으로 한 것이다.

한국표준형원전은 안전성과 운영의 편의성을 높였을 뿐 아니라 같은 노형을 반복 건설함으로써 경제성을 높이고 국제경쟁력을 갖추어 해외수출을 겨냥한 한국의 독자적 원전을 일컫는다. 영광3·4호기를 근간으로 하여 추진해 온 연구과제의 결과가 신기술로서 울진3·4호기의 건설에 반영 접목되어 명실 공히 국내업체 주도의 한국표준 원전을 만들어 낸 것이다. 첫 한국표준형원전건설을 위한 사업계획은 1990년 7월 제225차 원자력위원회에서 의결 확정되었다.

첫 한국표준형원전인 울진3·4호기사업의 첫 번째 특성은 원전이 주체가 되어 국내 기술진 및 국내업체가 사업관리, 설계, 기기 제작, 시공 및 시운전 분야 등 원전건설의 전 분야를 책임지고 표준화를 추진했다는 점이다. 앞서 완성한 영광3·4호기의 공정을 철저히 분석, 그 경험을 울진3·4호기에 반영하여 추진한 것이다. 일부 기술자립이 안된 부분에 대해서는 외국의 전문업체가 기술지원 형태로 참여하는 수준이었다. 두 번째는 효율적인 사업관리로 공기 준수 및 공사비 절감에 기여했다는 것이다. 세 번째

는 세계 최고 수준의 안전성을 확보했다는 것이다.

한국표준형원전은 그때까지 세계에서 건설 중인 100만kW급 원전 중 가장 최신기술과 강화된 기술기준을 적용했다. 미국 TMI원전 사고 후속조치 요건을 모두 반영하고 기존의 인·허가 규제요건 외에 중대사고의 예방 및 사고완화개념을 모두 적용했다. 영광 3·4호기의 참조모델인 팔로버디원전에 비해 노심손상 확률을 감소시키는 등 안전성 관련 설비를 대폭 강화하는 한편 100여 종 이상 개선된 설계를 표준원전에 반영해 안전성과 신뢰성을 증진시켰다. 특히 건설과정에서 IAEA의 미국, 독일, 프랑스, 영국 등 원자력안전전문가팀의 평가단에 의뢰 해 안전성을 검증받았는데 국제적 수준임이 인정되었다.

한국표준형원전사업의 성과는 울진3·4호기의 운영실적과 경제성에서 엿볼 수 있다. 한국표준원전인 울진3·4호기는 가교역할을 한 영광3·4호기보다 운전 실적이 더욱 좋다. 이용률이 90%이상을 상회하고 있음이 이를 증명한다. 이러한 높은 이용률을 달성한 것은 세계적으로 드문 우수한 이용률이다. 경제성 측면의 경우 한국표준형원전의 건설비는 원전표준화의 대표적인 국가인 프랑스와 비슷한 수준이며, 미국이나 일본보다는 훨씬 저렴하다.

이는 같은 설계를 적용함으로써 설계비, 기자재비, 시공비의 절감이 가능했고, 반복건설로 기존보다 5~10개월 정도 건설기간을 줄일 수 있기 때문이다. 이처럼 우리나라는 울진3·4호기의

우수성을 바탕으로 한국표준형원전의 완성인 개선형 한국표준원전(OPR1000)을 개발하기에 이르렀다. 이것은 현재 건설 중인 신고리1·2호기와 신월성1·2호기의 설계로 이어졌다.

## 1-7. Successful Deployment of Korean Standard Nuclear Plant(KSNP)

### ● Development of the First KSNP, Yonggwang units 3 &4

It is recognised that the implementation of Yonggwang units 3 and 4 project laid a foundation for self-reliance of nuclear technology in Korea. In 1985, the Korean government set a target which called for an achievement of 95 percent self-reliance of nuclear technology by 1995 and then pushed the target through the nuclear related organizations by assigning the role for each organization.

In the project KEPCO took the overall project management and KEPCO Engineering & Construction Inc.(KEPCOE&C) was responsible for plant design, KAERI for nuclear steam supply system, Doosan Heavy Industries & Construction for nuclear equipment, turbines and generators, KEPCO Nuclear Fuel Inc. (KEPCONF) for nuclear fuel manufacturing. Each organization carried out its technology self-reliance plan building its technical capabilities through technology transfer from the counterpart foreign suppliers which participated as sub-contractors.

In the contract evaluation process in 1985 Westinghouse was eliminated

mainly because it showed a lukewarm attitude towards technology transfer. Instead Combustion Engineering Inc.(CE) which showed positive interest in technology transfer was chosen for the supply of core components such as reactor, steam generator, turbine and pressurizer, etc., and Sargent & Lundy for total design of the plant.

In line with the time schedule, a preliminary safety analysis report and an environmental report for Yonggwang units 3 and 4 were prepared and submitted to the government. Upon the review and conclusion by the Atomic Energy Commission and the responsible ministries that safety of the plant design and environmental impact due to their construction meet the requirements under applicable laws and standards, the construction permit was issued for both units at the end of 1989 by the then Ministry of Science and Technology. Then the reactor and steam generators were installed at Yonggwang unit 3 in December 1991 and it went into commissioning test in 1993. In October 1995 nuclear fuel was loaded and then the reactor reached the first criticality. Yonggwang unit 3 successfully reached the 100 percent power level on 7 February 1995. It went into commercial operation on 31 March 1995 declaring that the construction was now completed. In the meantime, the construction of Yonggwang unit 4 had made progress in parallel with Yonggwang unit 3 but with one year's gap. It went into commercial operation in January 1996.

It may be worth noting that the construction of Yonggwang units 3 and 4 brought an important historical milestone in achieving the self-reliance of nuclear technology in Korea. Through the construction of these Yonggwang

units, Korea had achieved 95 percent of its target which called for the completion of nuclear technology self-reliance by the end of 1995. Further, it laid a technical as well as project management foundation for taking the first step towards the construction of Korean Standard Nuclear Plant (KSNP). The first of these KSNPs are built at Ulchin site as Ulchin units 3 and 4.

### ● Ulchin units 3 and 4 as KSNP Achieved by Indigenous Technology

Ulchin units 3 and 4, for which the construction started 27 May 1992 for both units but unit 3 went into commercial operation in August 1998 and unit 4 in December 1999, are the first KSNP units. KSNP is a typical 1000 MWe pressurized water reactor system developed by Korea's own technology which has many enhanced safety features and high operational performance compared to the existing reactors with same power output. Further it has economic advantages coming from the standardization of plant design. So KSNP is believed to have the international competitiveness in the world market.

The construction project of Unchin units 3 and 4 was carried out with such noticeable features as follows: First, KEPCO took the overall responsibility for the project and managed in such a way that participating local suppliers and engineers could complete the standardization of major areas involved in nuclear power plant construction such as design, manufacturing, installation, test and commissioning. However, specialized overseas suppliers filled the gap which was small but could not yet covered by local technologies.

Second, construction was completed within the pre-scheduled time with

very effective project management and thus could save the construction cost significantly. Third, safety of the plant was assured to the internationally acceptable level. In that most updated safety technologies and upgraded safety standards, together with provisions for severe accident prevention and mitigation were applied to these units compared to other PWRs with a capacity of 1000 MWe which are under construction around the world these days.

Optimized Power Reactor-1000 (OPR-1000), which represents improved KSNP, shows more advanced features and merits in terms of construction cost and operational performance. Shin-Kori units 1 and 2 and Shin-Wolsung units 1 and 2 which are under construction are OPR-1000 (Note: Shin-Kori unit 1 went into commercial operation as of February 2011.) Construction cost of OPR-1000 is competitive with current French reactors with comparable power output and much lower than those of Japan or of the USA. The capacity factor of KSNP, which indicates operational performance of a reactor, has been maintained over 90 percent since 2000 compared 77 percent of world average.



## 제2장 정책 및 전략적 의사결정 성공사례

- 2-1. 원자력도입 결정 (이승만/박정희 대통령)
- 2-2. PWR노형 결정 및 웨스팅하우스원전 터키도입
- 2-3. 핵연료국산화 결정 방침
- 2-4. 핵연료 국산화 국가적인 방침 결정
- 2-5. 원자력발전 기술자립 방침 결정
- 2-6. 한국형표준원전 관련 주요 결정: 용량, 발주방식
- 2-7. 원자력안전정책 성명, 안전의 날 제정
- 2-8. 방사성폐기물처분장 경주 설치

제2장

“

정책 및 전략적  
의사결정 성공사례

Policy and Strategic Decision Making

“



## 2-1. 원자력도입 결정 (이승만/박정희 대통령)

후진국에서 원자력을 에너지원으로 도입하는 정책결정을 하는 것이 매우 어려운 사유는 세 가지 측면에서 생각할 수 있다.

첫째는 경제적 이유로 원자력 발전소 하나를 짓는데 몇 조원이 라는 천문학적 규모의 투자를 가난한 나라가 감당할 수 없기 때문이고, 둘째는 원자력은 기술에너지로 매우 수준 높은 전문 인력이 다수 필요하다는 것이고, 셋째는 안전성과 핵비확산정책을 지키는 일이다.

즉 안전을 확보할 수 있는 기술기반 구축과 초대형 프로젝트의 운영 능력 측면의 경험 축적이 있어야 한다. 동시에 원자력을 평화적 목적에만 활용하고 핵무기 개발에는 결코 사용하지 않을 것이라는 국제적 신뢰를 획득해야 원자력기술 도입이 가능하다.

이승만 대통령 시절 우리나라가 원자력 도입을 결정했을 때는 전술한 어떤 조건도 구비하지 않은 턱없는 상황이었다. 그러나 먼 훗날 언젠가는 원자력 에너지 이용의 꿈이 이루어지기를 소망

하는 한줄기 희망만을 갖고서 우선 시작할 수 있는 사업인 전문 인력양성 사업부터 착수되었다. 그렇게 시작된 원자력 사업이 10년이 지난 후 박정희 대통령이라는 지도자를 만나 기적을 이루면서 원자력발전소 건설이 현실화 하였다. 이러한 기적적 정책결정의 과정을 다음에서 간략히 살펴보자.

한국전쟁의 휴전협정 체결 후 우리나라의 전력사정은 지금의 북한보다 더 열악한 상태여서 주택가에는 물론 생산시설에도 전력공급을 제대로 못하고 있었다. 이에 정부와 민간 모두 전력개발을 최우선과제로 여기고 있었다. 특수시설에만 특선이라는 이름으로 전기를 밤낮 공급할 뿐 나머지는 시간제 배급이었다. 도전(盜電)이 심해 송배전 손실률이 30%에 이르기도 했다.

### 전력난을 해결할 획기적 방법은?

1958년 어느 날 미국 Detroit Edison 전력회사의 Walker Lee Cisler 회장이 한국을 방문했다. 그는 당시 유럽주둔 연합군 총사령관 아이젠하워장군의 요청으로 전쟁 때 파괴된 서유럽의 전력계통을 훌륭히 복구한 경력이 있어 전력산업계에선 가장 촉망받는 전문가로 알려져 있었다.

경무대를 예방한 그에게 이승만 대통령이 한국의 전력난을 해결할 획기적인 방안이 없겠느냐고 물었다.

“글쎄 방법이 있긴 한데, 그것이 그리 쉽지 않아서. . . .”라며 말끝을 흐리자 대통령이 바짝 다가서며 캐물었다. Cisler 씨는 나무상자를 열더니 그 안의 시커먼 금속 막대기를 가리키며 그것이



〈2-1〉 트리가마크 II 기공식 장면(1959.7.14)

핵연료봉이라며 말문을 열었다.

“이 안에 있는 우라늄 원자핵들이 완전 핵분열을 일으키면 화학 100량의 석탄이나 유조선에 가득 실린 석유가 연소할 때만큼의 에너지가 발생합니다. 재래식 화학반응이 아니라 핵반응에 의해서 생기니까요. ....”

그 얘기에 완전히 압도된 동연배의 대통령은 Cisler 씨에게 그 비결을 알려달라고 간청했다.

“이것은 땅에서 캐내는 화석연료와는 달리 머리에서 짜내는 기술에너지라 할 수 있어 핵반응을 다룰 줄 아는 과학 기술자가 있어야 합니다. 전문인력양성이 선결요건이죠. ....”

“전문 인력을 양성한다면 한국도 그 에너지로부터 혜택을 볼 수 있을까요?”

“물론이지요. ....”

“그렇다면 한국은 언제쯤 원자력전기 혜택을 국민에게 베풀 수 있을까요?”

“.....20년 후에 가능할 것입니다.”

며칠 후에 열린 국무회의에서 대통령은 Cisler 씨의 이야기를 하며 “우리가 전문인력 양성으로 핵반응 에너지 혜택을 볼 수 있을 것인가” 라고 물었다. 그러자 최규남 문교부 장관 (Michigan 대학 물리학 박사)이 나섰다.

“그렇지 않아도 3-4년 전부터 10여명의 젊은이들이 주말마다 문교부 별관에 모여 원자력 세미나를 자발적으로 해오고 있습니다. ....”

### 원자력인력 해외파견에 과감한 외화 사용

이 얘기를 들은 이 대통령은 이런 민족이라면 원자력개발도 능히 할 수 있을 것이라는 확신을 갖게 되었다고 한다. 당시 거리엔 상이군인, 고아, 과부, 거지, 실업자들이 들끓었고 전국엔 파괴된 채 남아있는 건물이 즐비해 있었으며 1인당 연간 GNP는 70달러 수준이었다.

외화가 모자라 변영태 외무장관은 국제회의 참석 후 귀국하면 남은 몇 달러까지 국고에 반납할 정도였다. 그런 형편인데 1인당 연간 비용이 미화 6000달러나 드는 해외 원자력 훈련생을 10년간 237명이나 미국 등 외국에 파견했던 것이다. 물론 그중 반은 미국 원조 자금에서 나왔다. 즉, 타 부처에 배정된 훈련비를 문교부로 이관시켜 그것으로 원자력훈련생을 파견했으므로 다른 부처의 불만이 컸으나 정부는 원자력 분야에의 과감한 정책을 꾸준히 밀고 나갔다.

## 전문가 예견 그대로 맞아 20년 후 원전 발전 성공

이러한 노력과 경제개발 5개년 및 전원개발계획을 근거로 고리 1호기의 원전이 발전을 시작한 것이 1978년이었으니 그것이 이승만대통령이 Cisler 선생을 만났을 때 예측한 바로 20년 후의 일이었다.

이 나라엔 황무지를 일구어 원자력이란 묘목을 심은 선각자 이승만의 시대가 있었고 다음은 이 묘목에 물과 거름을 주어 원자력발전이란 기적을 이루어 낸 산업혁명의 선도자 박정희 시대가 있었기에 오늘날 우리의 원전이 존재하게 된다.

우리가 UAE에 원전을 수출하고 요르단에 연구로를 수출하여 중동사막에 무궁화 꽃을 피울 수 있게 된 것은 원자력을 도입, 개발하여 원자력산업을 이룩한 선각자와 산업역군들의 땀과 고뇌, 희생과 불굴의 정신에 힘입은 결과라고 할 수 있다.

### 2-1. Introduction of Nuclear Energy(President Syngman Rhee)

When the Korean War ended and an armistice agreement was signed in 1953, Korea suffered from severe electricity shortage for households and industry as well.

Under the circumstance the chairman of Detroit Edison, a electric power

company, Walker Lee Cisler came to Korea and payed a visit to the President Syngman Rhee in 1958. At that time he gave an explanation about nuclear energy for electricity and other benefits, and advised that the first step to take for utilizing nuclear energy was foster nuclear manpower.

Recognizing the enormous potential benefits of nuclear energy the President Rhee decided to go for nuclear energy and sent 237 government supported trainees to the USA and the UK during the period of 10 years starting from 1959, which cost annually 6,000 US dollars per person. At that time the GDP per capita was meager 70 US dollars, and of course around half of the necessary fund came from oversea aids.

As a result of all these efforts made ever since the encounter between the President Rhee and Walker Lee Cisler, Kori unit 1 could go into operation in 1978 that marked the 20th year of their encounter.

## 2-2. PWR노형 결정 및 웨스팅하우스원전 터키도입

이승만 정권이 원자력 이용을 결정한 1958년 이후 꼭 10년이 되던 1968년에 우리나라는 초대형 사업인 원자력발전소건설 사업 추진을 구체화했다. 전술한 바와 같이 후진국에서 원자력발전소 건설에 도전한다는 것은 거의 불가능한 것인데 그 기적을 이루어낼 정책결정을 과감히 한 것이다.

후진국이 원자력 발전소 건설 결정에 있어 가장 어려운 문제는 천문학적 액수의 자금 조달 문제다. 1968년 당시 우리나라의 국민총생산은 52억 달러에 불과 했는데 이에 비해 고리 1·2호기 건설비는 약 30억 달러 규모였다. 이는 누가 보아도 그 당시 우리나라의 경제력으로는 그러한 초대형 사업에 필요한 자금을 마련할 능력이 없음은 물론이고 실패하면 나라 살림이 거덜난다는 것을 의미했던 것이다. 그런데도 박정희 대통령은 사업 추진을 하겠다는 용단을 내렸으며 그 후 천운이 따라서 기적을 이루게 된다.

용단이 내려진 시점은 박정희 대통령의 1차 경제개발5개년계획이 성공적으로 끝난 1966년 직후였다. 그 때문에 거대한 소요자금을 외국에서 빌려와서 사업을 추진하고 사업을 성공적으로 운영하여 돈을 벌어서 갚아 주겠다는 우리의 주장이 대외적으로 설득력과 신뢰성을 얻을 수 있게 되는 기적이 이루어진 것이다. 또한 1차 5개년계획 추진 과정에서 대형 프로젝트에 도전할 수 있는 유능한 리더십과 추진력도 형성되었던 것이다.

또한 원전 건설에 필수 요건인 핵심 원자력 전문인력 확보는 1958년 이후 미국의 원조에 힘입어 다수의 영재들을 미국의 명문 대학이나 국립연구소에 집중적으로 파견하여 비교적 단기간에 확보된 상태였다. 그 이외에 핵비확산에 관한 국제적 신뢰를 얻기 위해서는 한·미원자력협력협정을 체결하고(1958), 신설(1957)된 국제원자력기구(IAEA)의 핵비확산 협상에 적극 참여함과 동시에 한·IAEA 기술원조협정 체결(1967) 등이 완료 되어

한국은 핵무기 개발을 시도하지 않을 것이라는 국제적 신뢰를 확보함으로써 원전 건설 전제조건들이 충족되었다.

이러한 우리의 노력과 더불어 세계적 추세가 적극 뒷받침 되었다. 미국이 주도하는 세계적 원자력 평화이용 드라이브의 물결에 적시에 편승할 수 있는 절호의 기회가 그 시점에 도래했었다는 것도 원전건설 용단의 큰 배경이 되었다. 미국은 히로시마와 나가사키에 원폭을 떨어뜨린 이후 세계적 비난을 막기 위해 원자력을 전쟁보다는 평화적으로 이용한다는 것을 세계적으로 솔선수범하여 보여 줄 절박한 필요성을 안고 있었던 것이다.

### 1968년 원전건설추진위원회 가동

우리나라의 원자력사업은 1968년 3월 10일, 원자력발전소 건설추진위원회가 개최되면서 시작된다. 이 위원회는 경제기획원 장관(박충훈)이 위원장으로 동력자원부 장관, 원자력청장(성좌경), 한국전력공사 사장(박영준), 청와대 과학담당 수석비서 등 5명으로 구성되었으며 국내 원자력발전 추진에 관한 사항을 협의할 목적으로 설립된 정부의 임시 기구였다. 이날은 우리나라 원자력발전 사업 추진 주체에 관한 중요한 정책이 결정된 날이었다. 그 주요 내용은 국내의 원자력발전 사업은 한국전력이 사업의 주체를 맡고, 원자력청 산하의 한국원자력연구소는 발전소 운영에 필요한 요원의 교육과 훈련, 그리고 기술지원을 담당하도록 결정한 것이다.

원자력발전소 건설추진위원회의 결정에 따라 1968년 5월 초,

한국전력은 본사에 원자력사업을 수행할 전담기구인 원자력실을 설치하고 국내 최초의 원자력발전소인 고리 1호기에 대한 국제 입찰안내서(ITB, Invitation to Bid) 발급에 필요한 업무를 시작했다. 국제입찰대상자로 미국의 웨스팅하우스, CE, B&W, 영국의 BNEX를 선정하고 이들로부터 사업추진에 관한 가격조건 및 기술사양이 포함된 제의서를 1968년 말에 접수했다. 그 후 1970년 6월 24일 웨스팅하우스와 계약을 체결 할 때까지 18개월 동안 협상에 전념하게 되었다.

협상이 진행되고 있던 1969년 어느 날, 회사 경영층으로부터 영국의 BNEX가 제외한 개량형 가스냉각로(AGR)를 선정하면 어떻겠느냐는 모호한 언질을 받았다. 그 경영 간부가 하루 이틀 전에 청와대에 다녀온 사실을 알고 있었던 실무진은 혹시 정부의 희망사항이 AGR이 아닐까 의구심을 갖기도 했으나 실무진은 정치적 결정보다는 경쟁사간의 기술적 우위를 평가하는 것이 바람직하다고 판단하고 AGR의 기술적 문제점을 다음과 같이 설명하는 한편 PWR형 원자로의 선정을 강력히 주장했다. BNEX를 제외한 3사는 모두 PWR을 개발하고 있었다. AGR의 기술적 결함은 다음과 같은 것이었다.

가. AGR은 냉각재로 이산화탄소를 사용한다. 이 이산화탄소는 탄소와 산소가 결합된 가스이므로 원자로가 가동될 때에는 방사선에 의해 이 가스들이 분해되어 산소가 방출된다. 따라서 산소에 의한 각종 기기의 부식으로 원자력안전에 문제점이 될 수 있다.

나. AGR은 가스를 냉각재로 사용함으로 냉각재 순환에 펌프를 사용할

수 없고 blower를 사용해야 하는데, 가스의 열전달 능력이 물에 비해 극히 낮기 때문에 blower 용량의 커 발전소 내의 전력소비가 매우 높다. 발전소 내 전력소비율은 PWR이 4% 정도인데 AGR은 10% 정도가 된다. 이는 경제성에 있어서 AGR이 불리하다.

다. 원자로 개발에 대한 세계적 추세는 경수로이며 특히 PWR의 선호도가 가장 높다. 일본, 프랑스, 독일 등 많은 국가에서 PWR을 도입하고 있음을 주시해야 한다. 또한 우리나라의 경우에는 기술협력도 영국보다는 미국이 유리할 것이다.

실무진의 설명이 유효했는지는 모르겠으나 결과적으로 AGR은 경쟁에서 낙오되었다.

### 기술·경험없어 미국업체에 모든 것 의존

일단 PWR로 노형이 선정됨에 따라 3사 가운데 웨스팅하우스가 가장 우수한 기술을 확보하고 있으며 다른 경쟁사보다 경험과 수출실적이 많아 쉽게 낙찰자가 되었다. 문제는 웨스팅하우스와의 기술도입 협상에서 한국전력이 원자력사업에 경험이 없다는 것이었다. 따라서 계약은 계약자 주도형의 일괄사업형태, 즉 턴키계약을 따르지 않을 수 없었다. 사업 일체의 책임을 웨스팅하우스에 위임하는 계약으로 원자로의 출력, 건설공기, 핵연료연소도, 총공사비 등 중요한 항목을 계약자가 보증하는 계약형식인 턴키계약이 이루어져 사업이 추진되었다. 그러나 1973년 말, 국제석유파동으로 발전소 기자재의 가격이 폭등함에 따라 웨스팅하우스는 계약금내에서 기자재 공급을 할 수 없는 처지가 되었다. 이를 타개할 목적으로 한국전력과 웨스팅하우스는 통합관리팀(IMT)을 구성하고 고리 2호기 계약을 웨스팅하우스와 체결하

는 조건과 함께 고리 1호기의 일부 공사비 증액 및 공기연장 등에 합의하고 사업이 추진되었다.

## 2-2. Decision on PWR Type and Turn-key Contract with Westinghouse

On March 10 1968 the Nuclear Power Plant Commissioning Committee(NPPCC) was convened and decided that Korea Electric Power Corporation(KEPCO) took the responsibility of overall management of the introduction of a nuclear power plant and Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI) the nuclear human resources development and technical supports. The committee was set up as a temporary ad hoc governmental authority comprised of the Minister of Economic Planning Board, the Minister of Ministry of Energy and Resources, the Head of Atomic Energy Agency, the president of KEPCO and the senior secretary to the President for science and technology for the development of nuclear energy.

In accordance with the decision made by the NPPCC, KEPCO started an international bidding process to invite tenders for the construction of the first nuclear power plant, Kori unit 1 in May 1968. Westinghouse(W), Combustion Engineering(CE) and Babcock & Wilcox(B&W) of the USA and BNEX of the UK were chosen as potential bidders and then invited a letter of intention at the end of 1968. Receiving a dossier of bidding documents from them, KEPCO reviewed the contract proposals on the basis of safety and economics for 18

months and then decided build a PWR. After that KEPCO finally selected W for the supplier of the nuclear steam supply system(NSSS) for Kori unit 1 on 24 June 1970 as it was acknowledged that W had excellent technological merits and teaming experience of export. The contract was a turn-key mode where the contractor assumes all the responsibility for the project.

At that time only BNEX proposed an improved advanced gas-cooled reactor(AGR) and the rest a pressurized water reactor(PWR).

At the end of 1973 W could not continue on the project within the cost of contract because of soaring prices of nuclear components caused by oil crisis. Under the situation KEPCO and W agreed on the KEPCO's commitment of Kori unit 2 contract with W, increase of contract cost of Kori unit 1 and extension of construction period for Kori unit 1. Then Kori unit 1 construction project could make progress.

### 2-3. 핵연료국산화 결정 방침

단순히 원자력발전소를 외국인에 의지해 건설하고 그에 의한 전력에너지를 이용 하겠다는 차원을 넘어서 기술자립이나 국산화에 도전하려 한다면 전혀 다른 차원의 문제에 봉착하게 된다. 원자력발전소 도입 후에 원자력발전 관련 기술의 자립이나 국산화는 필연적으로 제기되는 중요 정책결정 사항일 수밖에 없으나

후진국 입장에서는 두 가지 어려운 문제를 선행 해결해야 한다.

첫째는 이전된 기술이나 핵물질이 핵무기 개발에는 절대 사용되지 않을 것이라는 국제적 신뢰성 확보 즉 국제핵비확산체제와의 마찰이 일어나지 않을 여건을 선행 확보해야 한다는 것이다.

둘째는 자력으로 전부 개발하기에는 자금력, 기술력, 대규모 방사능사고 위험성 등의 측면에서 후진국의 능력 범위를 벗어나기 때문에 어떤 형태로든 기술도입에 의존할 수밖에 없으나 원전 공급측은 후진국의 경우 핵반응과 관련되는 민감 부분 기술이전을 꺼려한다는 문제를 극복해야 한다.

### 국제 신뢰성 확보로 원자력 기술 자립

원전 기술 중에서 핵반응과 직접적인 연관성이 있는 민감 기술 부분은 2개 분야로서 하나는 핵연료주기 관련 기술이고 다른 하나는 원자로 기술 분야이다. 이 두 부분에 대한 기술이전은 거의 불가능하거나 기술이전이 되더라도 국제기구의 철저한 감시 하에 오로지 평화이용에만 국한 된다는 것을 철저히 확인 시켜주는 방법으로 이루어져야 하는 매우 까다로운 조건이 붙게 된다. 특히 핵연료주기 기술과 관련해서는 이 기술이 핵폭탄에 사용하는 핵물질 생산에의 적용 가능성을 배제할 수 없다는 이유 때문에 이전이 어렵거나 아예 금지되기도 한다.

정부가 핵연료 국산화방침을 결정한 1976년 전후는 미국 카터 대통령의 핵우산 철거 발표와 박정희 대통령의 그에 대한 반박 성명으로 한·미간에는 매우 불편한 관계에 있었던 시기였다. 따

라서 미국의 신뢰성 확보 문제를 어떻게 풀어가야 할 것인가 라는 어려운 문제를 안고 있었다.

우리나라는 1970년대에서 90년대에 이르는 약 20년간의 끈질긴 노력으로 금지된 사용후핵연료재처리 기술만 제외 하고 그 외의 대부분 핵심 기술의 국산화에 성공하는 기적적 쾌거를 이루었다. 이 두 부분 중에 원자로(또는 핵증기공급시스템) 부분은 다음 항목에서 다루고 우선 핵연료 국산화에 관련된 정책결정 과정을 살펴보자.

우리정부가 핵연료국산화를 공식 결정한 1976년 전후의 시기는 국가안보 정세 측면에서 매우 어수선한 상황에 처해 있었다. 북한의 핵개발 착수(1960년대)와 청와대 습격사건 발생(1968), 인도의 핵실험 성공(1974), 미국의 지미 카터가 대통령 선거 유세에서 한국으로부터 미군을 철수하고 핵우산을 철거할 것을 공약으로 발표(1975), 박정희 대통령은 핵우산을 철거할 경우 핵무기를 포함하는 생존 수단 강구 의지 발표(1975), 카터는 대통령 당선 후 1978년부터 주한미군의 단계적 철수 착수 등등의 사건이 이어지고 있었다. 이러한 안보 상황에 추가하여 1973년의 석유 파동은 원자력 이용이 불가피하게 되는 결정적 계기가 되었다.

이러한 국제정세 하에서 1976년 우리 정부의 핵연료국산화 착수 결정은 단순한 원전용 연료 개발 착수라는 의미만이 아니고 여차 하면 핵무기 개발에 도전 할 수도 있다는 것을 암묵적으로 내포하고 있어 카터를 간접적으로 압박하려는 박대통령의 의지도 내포하고 있었다는 특징을 갖는다. 따라서 핵연료개발 연구

사업은 미국이 아닌 프랑스의 자금지원과 기술협력으로 추진되었고 민감한 기술로 의심될 수 있는 성격의 기술도 포함되어 있었다(조사후시험시설, 방사성폐기물처리시설).

그러기에 핵연료개발공단은 다른 출연연구소와는 달리 대덕연구단지 북쪽의 천혜의 요새 분지에 군용시설과 유사한 입지에 별도로 건설되었고 초창기에는 청와대 비서관, 과기처 장관, 원자력연구소장 등 몇몇 핵심인사만 전모를 알고 있는 베일 속에 가려진 사업이었다. 그러나 카터 대통령의 미군 철군이 지지부진하게 진행되고 1979년 박정희 대통령의 서거에 따라 한동안 핵연료 개발 사업은 사실상 허공에 뜬 상태에 들어갔었다.

하여간 카터 대통령의 재임기간인 1977-81년간은 원자력 연구 사업에 관한 한·미간의 불화가 지속된 시기였으며 아직도 그 당시의 상세한 내용은 베일에 가려져 있다. 전두환 대통령 취임 직후인 1981년 1월에는 급기야 한국원자력연구소의 간판을 내리고 한국에너지연구소로 개칭함과 동시에 서울의 원자력연구소는 폐쇄하고 대덕의 핵공단지리로 통폐합하여 원자력이란 명칭이 제외된 에너지연구소란 명칭으로 간판을 달도록 가닥을 잡는 해프닝을 거쳐 원자력에 관한 양국 간의 불편한 관계는 해소되기 시작했다.

이러한 수난을 거치는 동안 핵연료개발 사업은 빈사상태에 빠져 한동안 우왕좌왕하게 되었으며 특히 박정희 대통령의 리더십이 갑자기 사라진 상태에서 동 사업을 순수한 경제성 측면에서만

볼 것이냐 아니면 국가안보 측면의 여운을 남길 것이냐에 대한 명확한 방향성이 결여된 채 한동안 국가 정책결정이 갈팡질팡하는 모습을 보이기도 했다.

이러한 상황에서 구세주로 나타난 사람이 국방과학연구소에서 대덕공학센터 분소장(구 핵연료개발공단 소장)으로 1982년 스카우트 되어 임명된 한필순 박사였다. 한박사는 1983년 핵연료주식회사의 사장을 겸임하여 살신성인적 리더십을 발휘하고 전두환 대통령과 당시 한전의 박정기 사장의 전폭적인 지원을 얻어냄으로서 사업은 기적적으로 되살아나서 화려한 성공으로 이어졌다. 결과적으로 박정희 대통령이 원자력과 관련하여 이루려했던 목적 중 평화이용 부분은 전두환 대통령의 후광을 업고 한필순 박사가 이루어낸 것이다.

핵연료 기술의 자립은 민감한 부분의 원자력 관련 기술 중 절반을 국산화했음을 의미한다. 민감 부분 원자력 기술의 자립은 돈만으로는 해결할 수 없어 강력한 국가 리더십, 현명한 정책결정 능력, 유능한 전문인력, 세계적 정세 등 모든 조건이 맞아야 가능한 것이다. 그러한 의미에서 핵연료 국산화 달성은 큰 의미를 갖는다. 이러한 배경 하에서 핵연료국산화를 위한 정책결정과정을 살펴보면 다음과 같다.

## 2-3. Decision on Localization of Nuclear Fuels

The Korean government established Korea Nuclear Fuel Development Corporation(KNFDC) as an affiliated organization of KAERI for the localization of nuclear fuel on 1 December 1976 at Deaduk Research Complex. Later KNFDC was merged into KAERI and renamed as Deaduk Engineering Centre in 1981. KAERI set up a test facility for nuclear fuel manufacturing in October 1978, a test facility for uranium refining and conversion facility in 1982 and later a test facility for irradiation and a radioactive waste treatment facility, all of which were essential for the development of nuclear fuel.

The 26th Economic Ministerial Meeting on 24 September 1979 decided to localize PWR nuclear fuel which was believed to have economic viability over CANDU(CANada Deuterium Uranium) reactor fuel. At that time CANDU reactor fuel was recognised as non-economical. However, KAERI launched a project to develop CANDU reactor fuel from January 1981 and successfully completed the development. So the localization of CANDU fuel was achieved earlier than PWR fuel.

Regarding the localization project for PWR fuel, the 31st Economic Ministerial Meeting on 30 July 1981 followed by a Concerned Ministries' Working Group Meeting in August decided that KEPCO was to play a leading role but to carry out the project by establishing a joint company with foreign supplier and supply all the necessary PWR fuel from 1988 to meet domestic demands.

In line with the decision KAERI signed a technology transfer contract with Siemens-KWU, a German company regarding nuclear design, core design, thermal-hydraulic design, prototype fuel manufacturing and performance test, etc. As a result locally manufactured PWR fuel was loaded into Kori unit 1 for the first time in 1990.

## 2-4. 핵연료 국산화 국가적인 방침 결정

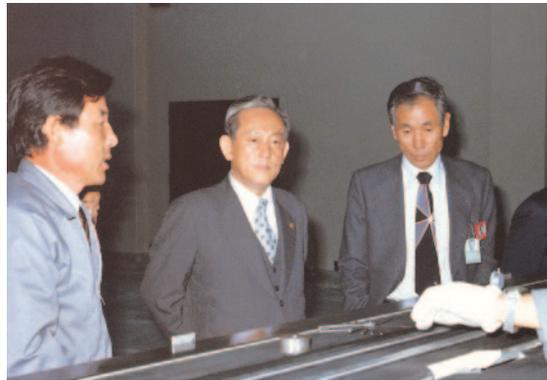
원자력발전소에 사용할 핵연료를 국산화하기 위한 본격적인 논의는 1976년 12월 1일 대덕연구단지내에 한국핵연료개발공단(초대 소장 주재양 박사)이 발족되면서 시작되었다. 1978년 10월에 성형가공시험시설이 준공(사진)되고 이어서 핵연료개발에 필수시설인 정련, 변환시험시설, 조사후시험시설, 방사성폐기물처리시설이 속속 준공되었다.

핵연료개발공단은 그동안 축적한 기술을 바탕으로 핵연료국산화사업(중수로 및 가압중수로 핵연료)을 추진하기로 결정하였다. 1979년 9월 24일에 열린 제26차 경제장관회의에서 한국핵연료개발공단은 핵연료국산화계획을 제안하였다. 그러나 중수로핵연료 국산화사업은 인정을 받게 되었지만, 중수로핵연료의 경우 경제성이 없다는 이유로 제외되었다.

중수로핵연료사업은 타당성을 검토해 실수요자인 한국전력이



〈2-2〉 중수로형 핵연료 성형가공시험공장 준공식에서 테이프 커팅하는 최형섭 장관(앞줄 두번째)  
(1978.10.16)



〈2-3〉 성형가공시험공장 시찰하는 최형섭 장관(가운데)

참여하도록 결정이 내려졌다. 사업주체인 한국핵연료개발공단은 과학기술처의 적극적인 지원 속에서 한국전력과 사업추진방안을 협의하고 소요예산 등의 구체적인 내용들을 경제기획원과 협의해 나갔다. 그러나 당시 한국전력은 핵연료국산화에 소극적인 입장을 취하였다. 핵연료의 품질보장이 쉽지 않은 데다 성형가공의 국제시장 전망이 구매자가 판매자보다 유리한 입장에 있던 것이 주 이유였다.

한국핵연료개발공단은 당초 외국기술을 도입하여 국내 자본만으로 사업을 추진하려고 했던 계획을 유보하고 외국과의 합작방안을 검토하였다. 외국과의 합작이 핵연료의 품질을 보장받는데 유리하고 국내 투자비도 줄일 수 있다는 판단에서였다.

## 과학기술처 핵연료 국산화 위한 회사 설립 제안

1981년 4월 과학기술처는 경수로핵연료 국산화사업계획안을 작성하여 경제장관협의회에 상정하였다. 그 주요내용을 보면 첫째, 핵연료제조회사의 자본은 한국원자력연구소, 한국전력, 외국 기술제공자가 공동으로 출자하되, 한국원자력연구소의 지분을 51% 이상으로 한다. 둘째, 핵연료제조회사가 핵연료 제조기술의 설계·해석기술을 모두 도입한 뒤, 설계·해석 기술은 원자력연구소가 전수 받는다. 셋째, 원자력연구소와 한국전력은 경영에 참여하지 않고 핵연료제조회사가 독립된 법인으로서 전문경영체제를 확립한다는 것이다.

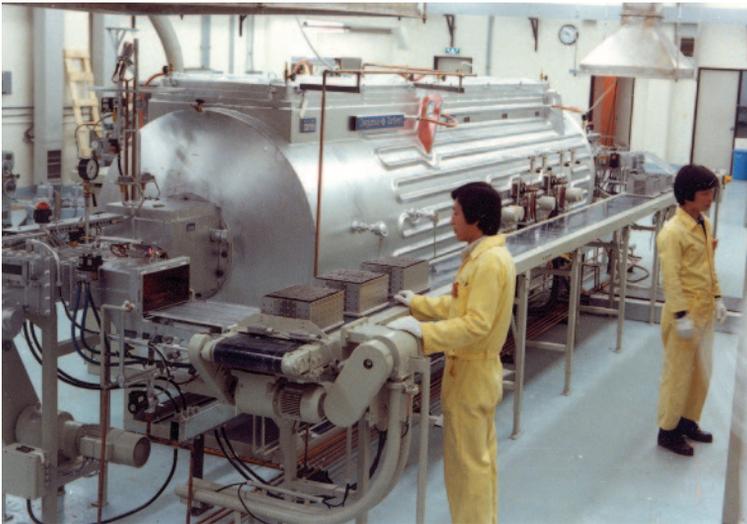
이 안건에 대해 재무부, 동력자원부, 경제기획원 등 관련기관으로부터 검토의견을 받았다. 다들 긍정적인 입장을 나타냈지만 경제기획원 예산실은 두 가지 이유로 반대 의사를 밝혔다. 첫째는 연구소의 목적이 기술습득인데 자본의 51%를 출자하는 것은 타당하지 않다는 것과 둘째는 가급적 연구소는 직접 경영을 피하고 실수요자인 한국전력이 하는 것이 적합하다는 것이었다.

이를 놓고 1981년 7월 30일 제31차 경제장관협의회에서는 한국전력과 한국원자력연구소의 지분문제는 별도 협의로 논의하기로 하고 연간 200톤 규모로 1988년부터 국내소요 전량을 공급한다는 것을 골자로 경수로 국산화사업의 추진을 결정하였다. 외국 기술합작선은 회사 설립 이후에 선정하는 것으로 하였다. 한 달 뒤인 1981년 8월 12일 경제기획원, 과학기술처, 동력자원부, 한국전력, 한국원자력연구소가 지분을 협의결과 한국전력 50%, 한

국원자력연구소 15%, 외국지분 35%로 결정하고 9월 16일 경제부총리의 재가를 받았다.

### 한국원자력연구소를 핵연료 국산화 중심기관 지정

1983년 4월 중순 뜻밖에 전두환 대통령이 한국원자력연구소 대덕공학센터를 방문하여 핵연료성형가공 시험시설을 시찰하였다. 전 대통령은 중수로용 핵연료 국산화개발성공에 감격해 하면서 “왜 경수로형 핵연료는 여기서 개발하지 않고 있는가? 과학자들이 개발해야지 한전서 하면 우리나라에 기술이 남지 못하지 않는가?” 라고 여러 번 질문을 하였다. 이를 계기로 이정오 과학기술처장관은 1983년 5월 27일 핵연료국산화 및 핵연료주기기술개발



〈2-4〉 핵연료 제조공정의 하나인 소결과정. 거대한 소결로가 보인다.

계획을 보고하였다. 이 보고서는 핵연료국산화를 통해 국가 에너지자립을 실현하고 핵연료주기기술개발과 원자력안전기술을 확보한다는 의지를 담고 있다는 점에서 대단히 중요한 의미를 갖는다고 하겠다. 국가적인 사업계획과 진행현황을 보고하고, 개발 전략으로 사업과 기술개발을 동시에 병행 추진하여 목표를 조기에 달성한다는 것이다. 이는 곧 한국원자력연구소 주관으로 핵연료국산화와 핵연료주기기술 자립체제를 구축해야 된다는 것이었다.

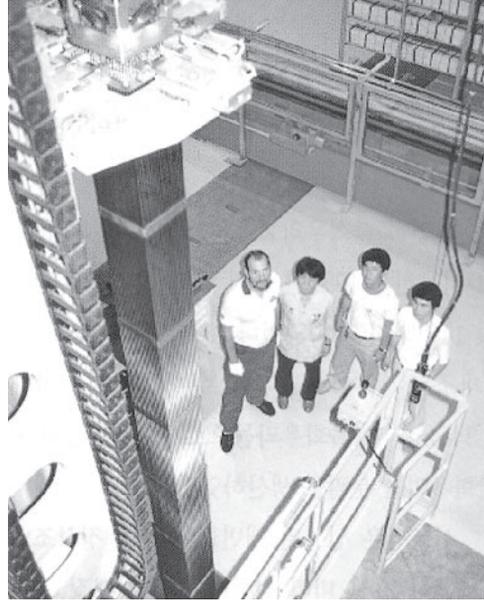
이 특별보고 직후인 1983년 7월 6일 한필순 대덕공학센터장이 한국핵연료주식회사의 제2대 사장으로 취임하게 되었다. 새로운 사장의 취임을 계기로 경수로핵연료의 국산화 방침은 다음과 같이 변경되었다.

첫째, 외국과의 자본합작을 그만두고 국내 경영 관리권을 확보한다. 둘째, 설계와 제조를 분리하여 회사는 제조만 담당하고 설계는 한국원자력연구소가 전담해 핵심기술의 자립과 과급효과를 극대화한다. 셋째, 성형가공 중 재변환은 한국원자력연구소에서 개발한 기술을 활용한다는 것이었다. 이러한 내용을 담은 것이 '핵연료국산화사업계획 변경 안' 이었다.

### **핵연료 국산화 핵심기술의 자립 성공**

1983년 10월 7일 한국전력에 보고된 변경 안은 반대 의견에도 불구하고 끈질긴 설득 끝에 그해 12월 22일 제205차 원자력위원회의 의결을 거쳐 1984년 7월 30일 부총리의 재가를 얻었다. 이 방침에 따라서 핵연료 국산화 사업은 순조롭게 진행되었다. 품질

에 대한 위험부담이 전혀 없었던 것은 아니지만 처음부터 국내 주도 하에 외국의 경영권을 배제하고 사업을 추진하여 완벽한 품질의 핵연료를 생산, 국산화하고 계획변경 당시의 의지대로 핵심기술을 자립하였음은 오늘날 높은 평가를 받기에 충분하다.



〈2-5〉 고리 1호기에 장전된 국산 원자력연료1호

### 1990년 국산 경수로 핵연료 첫 장전

한편 경수로핵연료국산화사업을 추진하기 위하여 1985년 한국원자력연구소는 독일의 Siemens-KWU와 기술도입 계약을 체결하고 핵 설계 및 노심관리, 열 수력 설계, 시제품 제작 및 성능 시험 등에 관한 기술을 전수 받았다. 그 결과 1990년 최초의 경수로용 국산 핵연료를 고리 1호기에 장전하게 되었다.

## 2-4. Decision on Nuclear Technology Self-reliance

The “Enhancement of Economics in Nuclear Power Generation” set up by the government on 28 July 1984 provided a comprehensive policy framework which outlined basic guidelines regarding acceleration of self-

reliance in nuclear power plant construction technology, standardization of nuclear power plant design, advancement of project management skills, increase of plant capacity factor - an indicator of nuclear power plant performance and state, enhancement of operational performance and improvement of nuclear safety and regulatory system. Another noteworthy point was that it laid a guideline for future construction of nuclear power plant, in which local companies and organisations participate as prime contractors and foreign suppliers as sub-contractors on condition of technology transfer.

On 20 October 1984 the Korean government established the “Implementation Plan for the Design of Korean Standard Nuclear Power plant(KSNP)”. Main objective of the plan was to acquire necessary technical capabilities through the construction of the 11th and 12th nuclear power plant (they are nowadays Yonggwang units 3 and 4), so that the construction of following units could be the repetition of KSNP-1000. The plan was carried out in such a successful way that local companies and organizations participated as prime contractors playing a leading role in design, construction and project management not only for Yonggwang units 3 and 4 which served as reference plant but also for Ulchin units 3 and 4, Yonggwang units 5 and 6, up to Ulchin units 5 and 6.

Then Korea developed OPR-1000 through the improvements on safety and economy over KSNP-1000 and applied to Shin Kori units 1 and 2, and also to Shin Wolsung units 1 and 2. Further, Korea developed APR-1400 which has more improved safety together with increased power capacity

over OPR-1400 and applied to Shin Kori units 3 and 4, and also to Shin Ulchin units 1 and 2. APR-1400 was also exported to the UAE and now under construction.

## 2-5. 원자력발전 기술자립 방침 결정

전술한 바와 같이 원자력발전기술은 원자로라는 국제적으로 민감한 부분을 내포하고 있어 기술이전을 꺼리게 되는 기술 부분이다. 박정희 대통령 시절에 고리 1·2·3·4 호기 그리고 월성 1호기 등 5기의 원자력발전소를 착공하여 건설이 진행되고 있었고 영광1·2호기, 울진1·2호기 등 4기의 추가 건설이 결정되었음에도 불구하고 전부 턴키베이스로 진행되어 원자로 부분은 기술적으로는 블랙박스 상태에 있었다.

특히 원자로를 포함하는 핵증기공급시스템과 관련해서는 후진국에서 독자적으로 개발하는 것은 거의 불가능하다. 그 이유는 상용시설과 동급의 대규모 원전 시험시설을 실제로 건설하여 상당 기간 직접 시험 운전해 보아야 경제성과 안전성 확인이 가능한데 그 비용이 원전도입을 외국에 의존하는 것보다 훨씬 더 크며 자칫 잘못해서 사고가 날 경우 대규모 원전사고로 이어지는 위험을 감당할 수 없기 때문이다. 그러기에 세계 수준의 핵무기 능력을 가진 중국도 최근 까지 원전의 핵증기공급시스템의 국산화는 달성하지 못했었다. 따라서 가능한 방법은 건설 중인 핵증

기공급시스템의 설계도와 그 작성기술을 원전 공급선으로부터 직접 전수 받는 방법밖에 없는데 그것 자체가 거의 금기시 되어 있는 것이 국제관례인 것이다.

이러한 어려운 문제의 돌파구를 찾아서 현명하게 기술자립을 이룬 것은 천운이 따라서 기적적으로 이루어졌다고 할 수 있다. 결정적인 계기가 된 것은 1979년 미국 TMI 원자력발전소의 대규모 원전사고 발생이었다. TMI사고 이후 대부분의 선진국들은 물론 미국에서도 원전 건설이 거의 전면 중단되었고 제너럴일렉트릭, 웨스팅하우스 등 원전공급사들은 갑자기 일감이 사라져 매우 어려운 국면에 처하게 되었다. 그런데 그 당시 우리나라에서는 원전 건설을 적극적으로 계속 추진하고 있었기 때문에 거의 독점적 바이어스 마켓 입장에 처하는 천운을 맞게 되었다. 이러한 천운의 기회를 현명히 이용하여 꺼려하는 민감기술 이전을 가능케 하고 원전기술 자립이란 대업을 이루게 되었다. 원전 공급자는 생존을 위한 수주 경쟁에서 살아남기 위해서 민감기술이전 조건을 포함해서 우리가 제시하는 여러 가지 유리한 조건을 수락할 수밖에 없었던 것이다.

### 기술도입 서러움 극복 나서다

원전기술자립에 도전하게 된 또 하나의 배경은 우리의 기술력이 부족한 상태에서 원전건설사업을 계속 추진하기에는 너무나 큰 어려움이 따른다는 것을 뼈저리게 느끼게 된 때문이었다. 그 당시 고리 원자력발전소 1호기는 1978년 준공되었고, 고리 원자

력 2·3·4호기, 영광원자력 1·2호기, 월성 원자력 1호기를 계속해서 착공 건설하게 되었다. 그러나 이들 원자력발전소를 건설하고 운영하는 과정에서 많은 어려움을 겪게 되었고 뼈저린 교훈도 얻게 되었다. 경험과 지식과 기술의 부족 때문에 겪어야 하

고리원전 1·2호기 건설방침을 정할 때도 그러했지만 원자력 발전 기술자립방침을 수립하여 이를 추진할 때도 그 당시 우리나라의 경제적 기술적 여건으로 볼 때 그 방침은 모험에 가까운 결정이었다. 당시로서는 말도 많았고, 많은 사람들이 도저히 이를 수 없는 일이라고 생각했던 것도 사실이다. 그러나 우리는 우리의 목적을 성공적으로 이루어 낸 것이다. 때로는 무모하다고 생각될 지도 모르는 이런 용기와 결단들이 대한민국의 성공역사를 새롭게 써 가고 있는 것이다.

## 2-5. Major Decision Makings on KSNP: Generating Capacity, Method of Order

Viewed from generating capacity point, the standardization of nuclear power plant in Korea started with the introduction of nuclear power plant with capacity of 1000 MWe from CE for Yonggwang units 3 and 4. Utilizing the technologies and experiences gained from the construction and operation of Yonggwang units 3 and 4, together with technology transfer from overseas vendors, Korea completed the development of Korea's first standardized nuclear power plant.(KSNP-1000) and applied to Ulchin units 3 and 4. With

more improvement and optimization OPR-1000 was developed and applied to Shin Kori units 1 and 2.

Further, the power was increased and other new technologies were incorporated to complete the development of APR-1400 and applied to Shin Kori units 3 and 4.

In the early stage of nuclear power development, several nuclear power plants including Kori unit 1 were constructed by foreign companies on a turn-key contract. However, in June 1983, the government drew up a long-term plan for nuclear power plant construction which set a target to achieve 95 percent of self-reliance for nuclear power plant design and component manufacturing, and called for the construction of standardized nuclear power plant. And the government also set the target of self-sufficiency for nuclear power plant construction technologies. That was, technologies and experience should be accumulated through the construction of Yonggwang units 3 and 4 so that by the end of 1995 when their construction would be completed, Korea would achieve more than 95 percent technology self-reliance level for a PWR with 1000 MWe. To achieve this goal, the government made the following decisions:

- 1) To achieve technology self-reliance through the construction of Yonggwang units 3 and 4, domestic companies would be selected as prime contractors and the project would be carried out jointly with overseas companies,
- 2) To learn and acquire necessary technologies through the introduction of overseas technologies, contracts for technology transfer would be signed,

separately from the contract for Yonggwang units 3 and 4, so as to get all technical documents necessary for the construction of nuclear power plant, including computer programs, and also to get training for technically weak areas,

- 3) For some technical areas still left as insufficient in the development of our own technologies, those technologies should be developed and acquired by carrying out our own research and development projects, separately from the introduction of overseas technologies.

According to this plan, KEPCO took the overall project management. And KEPCO carried out evaluations on the technical as well as the general terms proposed by 13 companies from 4 countries to select companies that will work jointly with domestic companies. As a result, KEPCO announced, on 30 September 1986, its final selection. In that CE of the US was selected for NSSS, GE(General Electric) of the US for turbine and generator, and S&L of the US for total design of the plant.

Later on 9 June 1987 KEPCO signed a contract with KEPCOE&G for plant design and a contract with Doosan Heavy Industries & Construction for turbine and generator. These two companies were selected as prime contractors. At the same time, these two prime contractors signed subcontracts with KAERI and overseas companies., KAERI which signed with Doosan Heavy Industries & Construction for NSSS design, signed separately with CE for joint design work.

## 2-6. 한국형표준원전 관련 주요 결정: 용량, 발주방식

정부는 1983년 6월 원전설계 및 기자재 국산화율을 95%로 한다는 목표와 표준형 원전건설을 원전건설사업의 장기추진방향으로 정한 원전건설기술자립목표를 설정하였다. 원전건설기술자립 목표는 영광3·4호기(당시 원전11·12호기) 사업수행을 통해 준공시점인 1995년에 100만kW급 가압경수로 기술자립을 95% 이상 확보하는 것이었다. 이 과정에서 습득된 기술을 토대로 차세대 원자로형 개발을 위한 기술기반을 확보한다는 것이다. 추진방법은 다음과 같았다.

첫째, 영광3·4호기 건설을 통한 기술자립을 위해 국내업체를 주계약자로 선정, 외국회사와 공동설계를 수행하도록 하는 등 국내 수행을 원칙으로 하였다. 이를 위해 기술 및 설계의 확실성을 위해 이미 완성된 설계라도 설계검증을 하고 필요시 재설계를 하도록 정하였다. 둘째, 기술도입계약을 통한 기술습득을 위해 영광3·4호기 계약과는 별도로 기술전수계약을 해외 전문사와 체결하여 전산코드를 포함한 원전건설에 필요한 모든 기술 자료를 도입하고 취약분야에 대해서는 훈련을 실시한다는 것이다. 셋째, 자체 기술개발을 통한 기술습득으로 일부 미진한 기술분야에 대해서는 기술도입과는 별도로 자체 연구개발 등을 통해 기술축적을 이루어 나가도록 한다는 것이다. 넷째는 원전의 표준설계를 확보하기 위해 영광3·4호기 설계를 기준으로 반복설계를 통해 표준설계를 확보한다는 것이었다. 이러한 계획 아래 영광3·4호

기의 발주준비가 추진되었고 세계 유수의 회사들이 국내업체의 하도급업체로 전략하는 체계가 이루어진 것이다.

### 국문 계약을 우선으로한 계약조건으로 발주

1985년 10월 30일 입찰안내서 발급시점 이전까지 16차례에 걸친 ‘전력그룹실무회의’ 및 6차에 걸친 ‘전력그룹본회의’ 그리고 관련정부기관 협의를 거쳤다. 회의에서는 기존의 원전건설방식(턴키, 아일랜드 및 컴포넌트)에서 탈피, 국내업체를 주 계약자라고 외국 업체를 하청계약자로 하며 국내 관련 기술기관에 기술전수를 조건(1995년에 국산화율 95%달성기준)으로, 국문 계약을 우선으로 하는 계약조건들을 확인했다.

외국 업체 4개국 13개사에 대해 기술 및 일반조건에 대한 평가를 수행한 결과 1986년 9월 30일 한전은 원자로부분은 미국의 CE(Combustion Engineering Inc.), 터빈발전기부분은 미국의 GE(General Electric), 그리고 설계용역 부분은 미국의 S&L사를 각각 선정하였다. 한전은 1987년 4월 9일 바로 국내업체인 한국중공업(현 두산중공업), 한국전력기술, 한국핵연료(현 한전원자력연료)와 주 계약을 체결하였다. 이와 동시에 이들 주계약자들은 한국원자력연구소와 외국 업체와 각각 하청계약을 체결하였다. 한국원자력연구소는 CE사와 핵중기공급시스템(NSSS) 공동설계계약을 별도로 체결하였다.

기술자립의 역할분담은 한전이 종합사업관리를, 한국전력기술

은 플랜트종합설계를, 한국원자력연구소는 NSSS계통설계와 초기노심설계를, 한국중공업은 원자로설비 및 터빈발전기설비의 국산화를 이룩하도록 하였다.

영광3·4호기는 내 외자 총 약 3조 3,200억 원이 투입된 사업이었다.

기술자립을 위한 노력은 정부와 한전을 중심으로 하여 국내 관련사들의 상호협력으로 유기적으로 추진된 결과라고 본다. 주요 일정은 다음과 같다.

- 1983. 6월 : 원자력발전 기술자립에 대한 관련기관회의  
(동자부장관 주재)
- 1983. 7월 : 원자력건설 사업 장기추진방향 확정
- 1984. 7월 : 제1차 전력그룹 협력회 본 회의 개최  
(원자력발전기술 자립계획 수립)
- 1985. 5월 : 각 관련기와 업무 분담 최고 경영진간 협의 확정
- 1985. 7월 : 상기 안 “원자력위원회”에서 최종확정
- 1986. 3월 : 응찰서 마감
- 1986. 9월 : 낙찰자 발표  
(NSSS계통-CE, 터빈/발전기-GE, 발전소종합설계-S/L)

원전건설기술 자립에 있어 가장 중요하면서 민감한 부분의 기술은 원자로(핵증기공급시스템)를 자력으로 설계할 수 있는 능력을 확보하는 것이라 할 수 있다. 전술한 바와 같이 독자적 개발은 불가능함으로 도입 추진 중인 원전의 설계 과정에 참여하여 기술을 전수 받는 방법밖에 없는 것이다. 그러한 목적 달성을 위

하여 한국형표준원전건설 사업 추진이란 명분아래 영광3·4호기 사업수행 과정을 통해 공동설계를 실시하는 방식으로 기술습득을 달성하는 전략을 결정했던 것이다. 그러나 원전 공급자 측에서 보면 황당할 수밖에 없었던 것이고 우리 측 기술자들은 피눈물 나는 노력이 강요될 수밖에 없는 작전이였다.

### 원자로 자력설계 능력 확보는 기적적

이러한 기적적 작전이 성공할 수 있었던 가장 큰 이유는 전술한 바와 같이 TMI 사고 이후 전 세계적인 원전 건설 불황으로 원전 공급자들이 생존을 걸고 수주경쟁에 뛰어 들 수밖에 없는 특수 사정이 발생했다는 것이다. 다른 하나의 이유는 한필순 소장과 그에게 적극 힘을 실어준 전두환 대통령의 현명한 컴비플레이가 있었기 때문이다. 그 때까지 거의 독점적으로 국내 원전을 공급하던 웨스팅하우스의 아성까지 무너뜨리고 C.E를 공급자로 선택하는 초강수를 구사하기까지 하면서 기술전수 우선의 원전 발주 전략을 강행했던 것이다.

## 2-7. 원자력안전정책 성명, 안전의 날 제정

과학기술처는 1994년 9월 10일 원자력안전정책성명(Nuclear Safety Policy Statement)을 발표했다. 이 성명에는 원자력 안전의 중요성을 강조하고 원자력정책의 독립성, 공개성, 명확성, 효율성 및 신뢰성 등 안전규제의 원칙을 제시하여 원자력 안전 규

제정책의 모호성과 애매성을 피하려 했다. 또 국민의 적극적 참여 속에 원자력안전을 지켜 나가자는 취지를 살려 그 내용을 정책성명에 담았다. 이 성명은 1994년 7월 제 234차 원자력위원회에서 국가정책으로 확정된 2030년을 향한 원자력장기정책방향을 확인했다. 즉 원자력에너지를 ‘평화적 목적으로 안전하게 이용하여 국민의 복지를 향상시키고 국민과 함께 하는 에너지’라고 정의한 것이다. 따라서 원자력의 개발 및 이용에는 안전성 확보가 기본전제이며 이를 실현하기 위해서는 원자력관계 업무에 종사하는 모든 사람들이 안전 우선의 원칙을 철저히 준수해야 함을 강조하기 위함이었다.

### 국제적 호평 ‘원자력안전의 날’ 제정

‘원자력안전의 날’을 제정할 당시 ‘원자력의 날’로 할 것인가 아니면 ‘원자력안전의 날’로 할 것인가를 논의했었다. 그러나 ‘원자력’ 하면 안전이란 생각을 먼저 떠올리게 되므로 원자력에 대한 불안을 불식시키고자하는 노력이 필요했던 것이다. 이미 일본에서는 오래 전부터 ‘원자력의 날’을 제정해서 원자력의 평화적 이용을 추구하자는 취지가 저변에 깔려 있었다. 따라서 우리는 일본을 그대로 본뜨기보다는 우리 고유의 원자력 안전문화를 발전시켜 나가자는데 그 뜻이 있어 ‘원자력안전의 날’로 정한 것이다. 한국에서 ‘원자력안전의 날’의 제정시행은 국제원자력기구(IAEA)에서도 그 취지를 높이 평가해서 좋은 사례로 회원국에 널리 소개 되는데 까지 이르게 되었다.

원자력 안전을 지키는 것은 그저 무조건 외쳐서 되는 것이 아니고 현장의 직원부터 최고경영자에 이르기 까지 안전의식이 체계화 되어야만 가능하기 때문에 안전의식교육이 중요한 과제로 떠올랐다. 원자력 안전을 지키기 위해 그늘진 곳에서 묵묵히 일하고 있는 많은 일꾼들을 볼 수 있다. 이들을 철저히 교육시키고 우수한 인재를 발굴, 격려함으로써 안전의식을 고취하려는 것이었다. 이를 위해서는 채찍보다 칭찬이 더 효과적이라는 전략이 모색되었다.

원자력안전문제는 원자력사업을 추진하는 국가에만 국한된 것이 아니라 세계적인 공통 관심사로 부상되어 IAEA를 중심으로 안전성확보를 위한 국제적 공동노력의 필요성이 강조되었다. IAEA는 1994년 9월 제 38차 총회에서 회원국들이 서명한 국제원자력안전협약(International Nuclear Safety Convention)을 원자력 안전에 관한 국제기준을 제시했다.

### **안전규제 제도의 국제화로 원자력 안전문화 달성**

따라서 과학기술처는 원자력 안전이 사업추진에 우선하는 최고의 목표임을 원자력안정정책성명에서 명백히 밝히고 국제수준의 원자력 안전성 확보를 지향하며 이를 위해 안전기술의 선진화 뿐만 아니라 안전규제제도의 국제화와 합리화를 달성하고자 했다. 이는 원자력 사업을 추진함에 있어서 원자력안전문화가 무엇보다도 중요하다는 것을 강조한 것이다.

원자력 안전성은 완벽한 설비와 우수한 운전능력 및 이에 대한 규제 기관의 엄격한 안전규제를 통해서 가능하다. 만일의 사고에 대비한 방재대책은 물론 설계, 건설, 운전, 보수 등 모든 단계에

서 안전성 확보 체계가 구축되어야 한다. 또한 국민의 이해와 협조를 통한 안전문화의 정착 등 종합적인 대책이 절실하다.

원자력사업자는 안전을 최우선으로 하는 경영방침을 수립하고 안전을 보장할 수 있는 근무환경을 조성케 하는 것이 무엇보다 중요함을 인식해야 한다. 원자력안전을 생각하게 하는 훌륭한 태도와 관행에 대해 격려와 칭찬은 물론 안전 활동이 우수하면 포상을 실시키로 했다. 그리고 안전을 소홀히 하는 태도와 관행에 대해서는 단호히 조치하여 재발 방지에 노력키로 했다. 잘못이 있을 경우 이를 숨기지 않고 그대로 보고 하여 잘못을 수정 또는 보완되도록 하는 풍토를 조성하고 이러한 풍토가 지속되어야 올바른 안전정책이 시행된다. 또 관리자의 안전문화에 대한 이해와 노력, 작업자의 올바른 안전관행을 통하여 비로소 안전문화가 정착된다.

그래서 정부는 안전규제의 5대 원칙 즉 독립성, 공개성, 명확성, 효율성, 신뢰성 을 정하여 이를 시행토록 한 것이다.

## 2.7 Nuclear Safety Policy Statement, Establishment of Nuclear Safety Day

The Most announced the Nuclear Safety Policy Statement on 10 September 1994. Intended in this Statement was to emphasize the importance of nuclear safety and to remove ambiguity and obscurity embedded in regulatory policy on nuclear safety by clearly putting down in writing the principles of nuclear

regulation in such terms as independence, openness, clarity, efficiency, and reliability. Also contained in it was a societal perspective on the promotion of nuclear safety through active participation of the people. The Statement confirmed the “Directions of Long Term Nuclear Energy Policy toward the Year 2030” which was established as Korean nuclear policy, namely, nuclear energy was defined in such a way as the “energy that should be used for peaceful purposes only, in a way safety being assured, to advance the well-being of the people, and to go with the people.” So the assurance of safety should be a prerequisite for the development and utilization of nuclear power. All this was to emphasize that all organizations and individuals engaged in nuclear power activities should adhere to safety principles as top priority.

At the time “Nuclear Safety Day” was established, there was a debate whether to select “Nuclear Energy Day” or “Nuclear Safety Day.” However, since the word “Nuclear” brings up safety concern as the first thing in our mind, we needed to make efforts to remove the concern on safety. Japan has long been promoting “Nuclear Energy Day” so that the concept to pursue nuclear energy for peaceful purposes has already spread across all levels of the Japanese society. So, rather than making a copy of Japanese model, we all agreed to develop our own nuclear safety culture and decided to name it as “Nuclear Safety Day”. Even the IAEA praised our Nuclear Safety Day campaign as a good practice to promote nuclear safety and introduced it to its member countries.

Nuclear safety cannot be achieved only by loud shouts of strong words. It can be achieved only when the safety awareness of all employees, from field

technicians to top manager, is systematicall established. Therefore, education on safety awareness had emerged as an important issue. We managed to provide good safety education to workers to carry out their missions earnestly paying keen attention to achieve nuclear safety in their workplace, and also identified and selected best safety performers and encouraged them, all intended to promote safety awareness. To achieve this objective, encouragement proved the best strategy.

Nuclear safety issues were not limited to those countries with nuclear power projects but also emerged as an issue of global interest. That brought up a necessity of international efforts and cooperation with the IAEA at the center to assure nuclear safety around the world. The IAEA, at its 38th General Conference in September 1994, presented the International Nuclear Safety Convention signed by its Member States as international standards on nuclear safety.

As such, the MOST addressed clearly in its Nuclear Safety Policy Statement that overriding priority should be given to the assurance of nuclear safety in the development of nuclear power and it should be assured to internationally acceptable level, and this goal should be achieved through the enhancement of safety technologies and the internationalization and rationalization of regulatory system as well. In other word, it intended to emphasize that safety culture is more important than anything else in the development of nuclear power.

Afterwards, the government introduced the “Radioactive Waste

Management Act” in December 2009 for more systematic and efficient management of radioactive waste, and in 2010 established Korea Radioactive Waste Management Corporation (KRMC) as an organization exclusively responsible for the management of radioactive waste.

Nuclear safety could be assured through defect free equipment and excellent operating capability together with strict safety regulations by the regulatory body but this could not be enough. Thus, confirmed importance was the establishment of an integrated program which would include emergency preparedness in case of radiological emergencies, safety assurance system to cover all stages of nuclear power plant from design, construction, operation and to maintenance, and achievement of safety culture through the understanding and cooperation of the public.

Nuclear utility came to recognize that establishment of management policies, giving a high priority to nuclear safety, and fostering a working climate to assure nuclear safety would be more important than anything else. From then on, managers encouraged, praised and provided tangible rewards to employees for commendable attitudes and good practices concerning safety matters. For repeated deficiencies in or negligent attitudes toward nuclear safety, managers took firm measures in such a way to prevent the recurrences. When errors were committed, individuals were encouraged to report them without any concealment and to correct them to avert future problems so that a desirable working environment could be created to assure nuclear safety at the workplace. The ultimate goal was to achieve safety culture through the development of sound safety policies, full understanding of safety culture by

the senior management and also through proper safety practices and implementation by individuals engaged in nuclear industry. That was the reason why the MOST established the 5 regulatory principles such as independence, openness, clarity, efficiency, and reliability and they were put into force.

## 2-8. 방사성폐기물처분장 경주 설치

1980년대 말 국내 원전 비중이 확대되면서 방사성폐기물 임시 저장고가 한계에 도달하는 상황이 예상되자 정부는 중·저준위 방사성폐기물처분장 및 사용후연료 중간저장시설 후보지를 모색하기 시작하였다. 당시 사업전담기관이던 한국원자력연구소는 1988년 12월 동해안의 울진 영덕 영일 3개 지역을 대상으로 지질 조사에 착수하였으나 지역 주민의 반대에 부딪혀 석 달 만에 포기하고 말았다. 이것이 방사성폐기물처분장(이하 방폐장) 건설 사업 20년의 험난한 여정을 예고하는 전주곡이라는 사실을 당시에는 그 누구도 알지 못했다.

특히 충남 태안군 안면도지역을 대상 부지로 비공개 추진한 사실이 1990년 11월 언론에 보도되면서 지역민의 극렬한 반발과 함께 많은 국민들의 불신과 의혹을 사게 되었다. 이로 인해 방사성폐기물에 대한 부정적인 이미지가 전국으로 확산되기 시작하

〈2-6〉 저준위 방사성 폐기물  
저장 드럼



였다. 몇 차례 실패를 거듭한 끝에 1994년 2월 서해안의 웅진군 굴업도를 최종 후보지로 지정하였으나 조사과정에서 활성단층이 발견되어 사업은 또다시 원점으로 돌아갔다.

정부정책에 의해 한국원자력연구소로부터 1997년 1월 1일부로 이 사업을 이관 받은 한국전력공사는 상당기간 부지확보노력을 적극적으로 하지 않았다. 이는 당시의 회사 최고경영자의 인식결여와 국내정치와 관계가 있었다고 할 수 있다. 그러나 당시 산업자원부의 개입으로 한국전력은 전국 46개 임해지역을 대상으로 유치공모를 실시하였으나 응모한 곳은 한곳도 없었다. 2002-2003년에는 원전 인근지역인 울진, 영덕, 영광, 고창 등 4개 지역을 대상으로 재추진 하였으나 지역주민들의 반대도 있었지만 환경단체의 조직적인 반대에 부딪쳐 더 이상 사업을 진행 할 수가 없었다.

이후 3,000억원 규모의 지역지원금과 양성자가속기 사업 등 지원 사업을 연계, 다시 한 번 유치 공모를 실시하자하여 2003년 7월 전북 부안 김종규 군수가 이를 지역 발전의 호기로 삼고 부안

군의 섬마을 위도를 방폐장부지로 유치 신청 하였다. 그러나 지역주민들의 격렬한 저항에 부딪치며 주민과 주민, 주민과 경찰 사이에 무력충돌까지 일어나는 상처만 남긴 채 또 다시 실패하고 말았다.

그 후 정부는 주민 수용성을 높이기 위한 특단의 대책으로 방폐장부지에 추진되던 사용후 핵연료 중간저장시설을 제외하고 중·저준위처분시설만 추진하기로 정책을 변경하고 정책의 신뢰성 확보를 위해 2005년 3월 ‘방사성폐기물 처분시설의 유치지역에 관한 특별법’을 제정하였다. 이 법은 방폐장 유치지역에 3천억 원의 특별지원금과 폐기물 반입수수료의 지급, 한수원 본사 이전 및 다양한 경제적 지원을 보장하는 한편 이 법과는 별도로 당시 계획 중이던 양성자가속기시설까지 추가로 건설 해 주기로 약속하는 등 정부가 사업의 전면에 직접 나섰다.

또한 정부는 부지선정에 절차적 민주성을 기하기 위해 주민투표제도를 도입, 찬성률이 가장 높은 지역을 후보지로 선정하기로 결정하고 2005년 6월 16일 관련 절차를 확정 공고 하였다. 그해 8월 말 경주, 군산, 영덕, 포항 등 4개 지방자치단체가 유치신청서를 제출하였다. 막연한 불안감을 주던 고준위폐기물이 제외된 데다가 획기적인 지역 지원책이 마련된 터라 유치신청 지역들 간에는 자체 찬성률을 높이기 위한 경쟁이 치열하게 전개 되었다. 2005년 11월 2일 이들 4개 지역에서 역사적인 주민투표가 실시 되었으며 투표 결과 경주시 89.5%, 군산시 84.4%, 영덕군



〈2-7〉 건설중인 경주 방사성폐기물 처분장

79.3%, 포항시 67.5%라는 높은 찬성률을 보여 국내는 물론 세계 원자력계를 놀라게 했다.

장장 20년 동안 국론 분열과 갈등의 대표적 사례로 꼽혔던 방폐장 부지선정이 국책 사업 최초로 주민투표를 통해 경주시로 결정된 것은 국가적 난제와 사회적 갈등을 정부와 국민이 하나 되어 민주적으로 해결했다. 이것은 진정한 주민자치의 실현과 함께 갈등 해결의 모범적인 사례를 남겼다는 점에서 나름대로 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

그 후 정부는 IAEA 권고기준과 국제규범에 따라 폐기물발생자와 처분사업자를 분리함으로써 상호 견제와 균형이 가능하도록 ‘방사성폐기물 관리법’을 제정하고 2009년에는 한국방사성폐

기물관리공단을 설립하여 방사성폐기물 관리 사업을 전담토록 하였다.

오랜 역사와 문화가 살아 숨 쉬는 천년 고도 경주, 이 선택된 땅이 원자력이라는 첨단 과학 기술과의 만남으로 또 다른 자랑스러운 문화를 창조해 갈 수 있게 되었다.

그러나 다른 국가도 어려움을 겪고 있지만 사용후핵연료 처리 처분에 대한 정부의 대책이 아직 정해지지 않았다. 이것은 국내 원전사업의 활성화는 물론, 해외 원전수출산업에 걸림돌이 될 수 있다는 관점에서 이에 대한 국가 정책이 조속히 확립되어 추진되어야 할 숙제로 남아있다.

원자력발전 사업 추진에 있어 가장 복잡하면서 골칫거리인 것이 방사성폐기물처리장(방폐장) 건설 부분이다. 이 사업은 한편으로는 국민이 방사선 피해를 입지 않도록 방사성폐기물을 완벽히 안전하게 영구폐기처리 하는 것이고, 다른 한 편으로는 한번 연료로 사용했으나 사용 과정에서 새로이 생겨나 가용 핵물질 형태로 내포되어 있는 핵물질을 폐기물로부터 분리해서 다시 새로운 형태의 핵연료로 가공하여 사용하는 것 즉 핵연료재처리 사업에 관한 정책 결정 문제이다.

영구폐기처리는 폐기물 처리장 근처 주민은 물론 국민적 차원에서 표출되는 불안감 또는 혐오감에 근거한 반핵운동을 어떻게 극복할 것인가의 문제를 안고 있다. 핵연료재처리 문제는 재처리

된 핵물질 그 자체가 핵폭탄에 사용되는 핵물질이 된다는 측면에서 아직은 국제적으로 사용이 금지되어 있는 사업이다.

이러한 복잡한 사정 때문에 방폐장 건설은 과거 20여 년 동안 심한 우여 곡절을 겪어왔다. 그러나 2005년에 와서야 중 저준위 폐기물에 국한하여 영구폐기처분 할 수 있는 방폐장 건설이 경주에서 착수되어 일부분 문제 해결로 다가서게 되었다는 것은 의미 있는 진전이라 할 수 있다.

## 2.8 Construction of Kyungju Radioactive Waste Management Facility

The Korean government started searching for candidate sites for the deposit of low and medium level radioactive waste and also for the temporary storage of spent fuel as nuclear share in electricity generation has steadily increased since the end of the 1980's. KAERI, then the responsible organization, launched out on geological survey in three eastern coastal areas such as Uljin-gun and Yongduk-gun in Kyungbuk province and Yongil bay in Pohang city in December 1988. But the survey had soon to be withdrawn because of fierce opposition from the local people.

Due to the repeated failures by KAERI in finding a suitable site, the government decided on 1 January 1997 that the whole project of radioactive waste management would be transferred from KAERI to KEPCO. However, even though KEPCO tried several times to get a site but couldn't make any

progress due to strong and unyielding opposition from the local people and environmental groups.

After a long and careful assessment of situation, the government set up a new policy which called for a radioactive waste site to accommodate facilities for the management of low and intermediate level radioactive waste only, excluding those facilities for spent fuel. And the government enacted in March 2005 a law “Special act on the provision of supports for the region that accommodates radioactive waste management facilities.” The law contained a package of many incentives such as the central government would pay 3 billion Won (Korean currency) as a special support to local government which hosts such a site, the headquarters of Korea Hydro and Nuclear Power Co. LTD (KHNP) would move to the region, and a 100 MeV proton accelerator facility, the facility every local government wanted to host, would be built in the same region, etc.

Then the government introduced a system of local referendum which would decide the candidate site by the highest approval rate, based on the result of local referendum, among the contending regions. Announcement was made by the government on 16 June 2005 on the details of this local referendum. Four local governments, Kyungju city, Gunsan city, Yongduk-gun, Pohang city submitted the application to host the site. The referendum result showed that 89.9 percent of the people of Kyongju city voted in favor of hosting the site, the highest approval rate among the three regions. This is the way how Kyongju city was chosen as the site for low and medium level radioactive waste management.

Afterwards, the government introduced the “Radioactive Waste Management Act” in December 2009 for more systematic and efficient management of radioactive waste, and in 2010 established Korea Radioactive Waste Management Corporation (KRMC) as an organization exclusively responsible for the management of radioactive waste.



## 제3장 기술개발 및 상업화 성공사례

- 3-1. 원자로계통(NSSS) 설계 기술 자립
- 3-2. 원전 종합설계 기술자립
- 3-3. 중수로용 핵연료 국산화 성공
- 3-4. 경수로용 핵연료 국산화 성공
- 3-5. 원자력 안전기술 개발 성공사례
- 3-6. 하나로 연구용 원자로 자력설계 건조 및 운영
- 3-7. 원자로 주요기기 장치 국산화 성공 사례
- 3-8. 차세대원자로 APR1400 개발 성공
- 3-9. 방사성폐기물 유리화 기술개발 및 실용화 성공

제3장

“

기술개발 및 상업화  
성공사례

Nuclear Technology Development and  
Commercialization

“



### 3-1. 원자로계통(NSSS) 설계 기술 자립

원자력발전소를 처음으로 해외에 수출한 역사를 이루어낸 저변에 우리 기술이 어떤 역할을 했고, 그 원천 기술은 어떻게 국내에서 만들어 질 수 있었을까? 이에 대한 명쾌한 대답은 원자력발전소의 가장 핵심 머리기술인 원자로계통 (Nuclear Steam Supply System(NSSS), 또는 ‘reactor system’)의 설계기술 자립에서 첫 단추를 찾을 수 있다. 세계 굴지의 웨스팅하우스나 AREVA 같은 NSSS 공급사란 바로 독자적인 노형의 원자로계통 설계기술을 갖춘 회사들을 말한다. 원자로계통이란 원자력발전소의 격납용기 안에 들어가는 1차 계통들로 원자로 냉각계통과 그 주변의 보조계통, 그리고 비상시에 대비한 안전계통 들로 이루어진다. 이중에도 설계기술의 핵심은 원자로 냉각계통으로 핵연료를 담은 원자로 용기와 증기를 만드는 증기발생기가 핵심이다. 원전의 기본 노형인 가압경수로(PWR), 중수로(HWR), 비등경수로(BWR)등은 그 구조가 각각 다르다. 따라서 이 세 가지 노형의 원자로계통은 냉각계통은 물론 원전의 출력 및 원자력 안전규제에 관련한 모든 사항들도 다르다. 그리고 이 모든 기술들은

원자로계통 설계에서 시작된다.

### ‘원자로발전소를 통째로 국산화하자’

핵연료 국산화사업이 한창 진행되던 중에 아예 원전의 두뇌에 해당되는 원자로계통설계기술까지 국산화하자는 움직임이 일어났다. 이를 위해서는 선진국의 기술이전이 필수이지만 경수로형 원자로공급자인 웨스팅하우스는 이 기술을 우리에게 이전 해줄 의사가 전혀 없었다. 게다가 당시 원전기술은 세계 강대국의 전 유물과도 같아서 이를 이전 받는데 대내외적인 압력도 거세졌다.

이러한 어려움 속에서도 1984년 동력자원부는 고리원전에 이은 후속 원자력발전소인 11·12호기(영광3·4호기)부터 표준발전소로 건설하기로 발표했다. 그리고 원자로계통 설계기술 자립화를 목표로 국내 관련기관의 역할분담과 추진체제 구성에 착수하였다.

같은 해 9월 18일 최동규 동력자원부 장관이 주재한 ‘표준원자력발전 설계사업 추진을 위한 정책협의회’의 결정에 따라 종합관리는 한국전력공사가, 종합설계는 한국전력기술주식회사가, 원자로설계는 한국원자력연구소가 각각 담당하기로 하고, 계통설계와 기기제작은 한국전력주식회사와 한국중공업이, 터빈 발전기와 보조기기는 한국중공업이, 핵연료제조는 한국핵연료주식회사가 각각 맡기로 그 역할이 분담되었다.

이어서 표준원자력발전소기술자립을 보다 효율적으로 추진하

기 위해 협의체인 전력그룹협력회가 구성되었고 1985년 6월까지 7차례에 걸쳐 정기적으로 전력그룹협력회 워크숍이 개최되었다. 이 워크숍을 통하여 한국원자력연구소가 원자로계통설계를 수행하기에 적합한 인력과 능력을 갖추고 있음이 널리 알려졌고, 한 달 만인 7월 29일 제214차 원자력위원회에서 한국원자력연구소가 앞으로 건설될 원전의 계통설계 주계약자로 최종 선정되기에 이르렀다. 당시 한국원자력연구소는 정부 출연연구기관(national lab)의 특수성을 초월해서 원자로 계통설계(초기노심설계 포함)의 전담기관으로 전격 선택된 것이다.

### 국제공동 설계로 원자로 계통설계 기술습득

연구소는 즉시 사업전담조직을 발족시키고 원자로계통 설계전담기관으로 나섰다. 한전이 주관하는 영광3·4호기 원전 건설과 기술전수를 동시에 수행하는 국제 경쟁입찰에는 당시 세계 최고 원전 공급사인 미국의 웨스팅하우스, CE(Combustion Engineering), 프랑스의 프라마툼(현재의 Areva), 캐나다의 AECL사 등 4개사가 참여했다. 그 후 1년여에 걸친 입찰평가, 협상과정을 통하여 당시로서는 가장 국제경험과 시장 점유율이 낮았던 미국의 CE사를 1986년 기술도입 주 계약선으로 결정하였다. 이때 가장 중요한 결정은 한국원자력연구소가 수행했던 원자로계통설계 사업팀의 입찰 평가결과가 바로 정부 정책결정으로 받아들여진 획기적인 사건이었다.

가장 우수한 원자력 전문 인력을 상당히 확보한 한국원자력연



〈3-1〉 원자로 발전사업부문 해외기술연수 파견 기념사진

구소는 짧은 기간에 경수로핵연료설계기술 도입 때와 같은 방법인 공동설계를 통하여 원자로계통 선진 해외기술을 습득하는 기술자립의 목표를 달성하였다.

그리고 꼭 12년 후인 1997년 원자로 계통설계 사업에 참여한 모든 인력들은 국내 기업체(KOPEC)로 옮겨고 사업도 이관했다. 이후 연구소는 원자력 기금을 바탕으로 대형 실증시험 등 제3세대 신형원전 개발에 필수적인 원천기술을 제공하였고, 기업체는 사용기술을 더욱 효율화한 한국형 원전 APR-1400을 탄생시킨 것이다. 이로써 우리나라는 미국의 상용기술을 모방하는 know-how 차원에서 시작하여 첨단 신기술을 접목하는 창조적인 know-why 수준까지 갖춘 한국형 원전의 원천기술 소유국이 된 것이다.

앞으로 새로운 국제 원전시장은 한국을 포함하여 미국, 일본, 프랑스, 러시아의 5파전으로 전망된다. 치열한 무역전쟁에서 우리의 원전이 국제경쟁력을 계속 유지하는 길은 무엇일까. 지금까지는 다행히도 우리 원자로 계통설계의 우수성, 고도의 핵연료의 신뢰성, 운전실적의 경제성과 안전성, 그리고 국내 기업체들의 과감한 해외 시장 개척 전략 등에 힘입어 초기에 쾌거를 이룰 수 있었다. 앞으로 세계 속의 원전 공급국으로 세계열강들과 어깨를 나란히 하는 길은 부단한 연구개발투자로 신기술을 접목시켜 원전의 안전성과 경제성을 더더욱 올리는 데 박차를 가해야 한다. 이것이 우리 원자력 후손을 위한 진정한 길이 될 것이다.

### 3-1. Localization of Nuclear Steam Supply System(NSSS) Design Technology

Core technologies of nuclear power plant are involved in the process of designing the nuclear steam supply system (NSSS). NSSS is composed of primary systems, which are installed inside the containment building or containment vessel, such as reactor coolant system and its auxiliary system and an emergency safety system. Among them, the most critical technologies are concentrated in the design of reactor coolant system which is composed of such important equipment as reactor vessel containing nuclear fuel and steam generators, etc.

In 1984 KAERI was assigned a project of designing the NSSS of Yonggwang units 3 and 4. As part of implementation of the project in 1985, KAERI jointly with KEPCO and Korea Heavy Industries (predecessor of Doosan Heavy Industries and Construction), sent out a letter of invitation to four companies such as W and CE(Combustion Engineering Inc.) of the US and Framatome (predecessor of Areva of France) and AECL of Canada to submit a bid for the contract to participate in the project. After a year of detailed evaluation of each bid and negotiation, CE of the US, which proposed the best terms for technology transfer, was finally chosen in 1986 as main contractor for the project.

At that time KAERI could achieve the target of self-reliance in NSSS technology through the joint design approach, the same one applied successfully in the development of PWR fuel, utilizing its highly capable manpower pool of top class nuclear professionals. 12 years later in 1997, the localization of NSSS technology was declared as successfully completed by transferring all KAERI's manpower having involved in NSSS design to KEPCOE&C as part of overall project transfer.

This is the way Korea has become a nuclear power country that owns fundamental technology of Korean Standard Nuclear Plant. It has achieved such high and creative technical level of know-why as able to incorporate the state of the art technologies, starting from the know-how level of copying the commercialized technologies of developed countries.

## 3-2. 원전 종합설계 기술자립

한국전력기술주식회사(KOPEC)에 의하여 주도된 원자력발전소 종합설계(A/E)의 기술자립 추진은 1987년 4월 9일 한국전력과 1000MW급 가압경수로인 영광원자력 3·4호기 종합설계 주계약을 체결함으로써 본 궤도에 오르게 되었다. 본 계약과 병행하여 아직 미진한 핵심기술의 도입을 위해 S&L사와 기술도입계약을 체결하고 KOPEC과 S&L사가 공동으로 기술도입운영위원회를 설치, 기술 자료의 도입에서부터 훈련, 사용, 평가까지의 세부 일정을 수립하여 종합설계 기술자립을 추진하였다. 자립목표는 1995년말 까지 영광원자력3·4호기와 동일한 1000MW급 원전의 종합설계기술 자립도를 95%까지 끌어올리는 것이었다.

기술도입계약의 주요내용은 기술자료 도입, 전산프로그램 도입, 교육훈련 내용 습득 등이었다. 기술도입자료는 S&L사 표준자료와 발전소설계 참고자료로 구분되는데 전자는 약 2만 쪽 분량이었고 후자는 바이론 브레이드우드/캐롤 카운티 발전소 설계시 작성된 각종 참고자료로 131만여 쪽에 이르렀다. 전산프로그램은 각종 설계용, CAD용 및 시스템 관리용 프로그램 260여종이 도입되었으며 그 외에 상업용 프로그램 25종도 도입되었다. 교육훈련은 S&L가 있는 시카고 현지에서 실시한 해외전문가교육과 국내에서 실시한 강의실 교육으로 구분되는데 해외전문가교육의 경우 52개 과정 98명이 기본엔지니어링 분야의 핵심기술을 습득하였다.



(3-2) 원자력발전소 설계작업 장면

영광원자력3·4호기사업을 본격화한지 3년여가 지난 1990년에는 3차에 걸쳐 기술자립 자체평가와 외부 전문기관(S&L, 한국원자력산업회의) 평가도 함께 실시되었다. 이를 통하여 제기된 보완대책을 반영하여 제2차 기술자립실천계획을 수립하였다. 기술자립의 일환으로 도입기술의 응용 및 개량능력 확보를 위하여 자료를 표준화하고 훈련된 인력을 사업현장에 투입하여 기본설계과정 등 핵심 기술업무를 직접 경험토록 하여 활용성을 높였다. 또 새로운 핵심기술을 개발하고 선진 기술을 습득하도록 하였다.

기술자립 노력과 병행하여 자체 기술개발사업에 회사는 매년 매출액 대비 10% 수준을 투자하여 선진국 기술이전 기피에 대처

하고 앞으로 고부가가치 창출을 위한 고급기술개발에 힘을 기울였다. 특히 1992년 9월에는 부설 전력기술개발연구소에 전문 분야별 연구인력 67명을 전담 배치하는 등 연구개발 업무를 본격화하여 기술 선진화의 초석을 다졌다. 아울러 연구개발과제를 공모하는 등 선행 연구 제도를 도입하고 직무발명 보상 제도를 시행하여 연구개발체제를 강화시켰다.

영광원자력3·4호기사업 종료시점인 1995년 말 원전 종합설계 기술자립도는 95.34%로 평가되었고 이를 근거로 안전성, 성능 및 경제성이 획기적으로 개선된 1400MW급 개량형 표준원자력발전소의 종합설계 기술개발에 착수하게 되었다.

### 3-2. Localization of Architect Engineering(A/E) of Nuclear Power Plant

Localization of architect engineering of nuclear power plant was launched as KEPCO selected KEPCOE&C as prime contractor for integrated design of Yonggwang units 3 and 4. KEPCOE&C signed a technology transfer contract with S&L of the US as part of implementation of the design of Yonggwang units 3 and 4.

By the end of 1995, which was the project completion point for Yonggwang units 3 and 4, KEPCOE&C's technology self-reliance in integrated design of

nuclear plant was assessed at 95.34 percent. Based on the experience and technical capabilities obtained from integrated design of Yonggwang units 3 and 4, KEPSCO&C could further develop and acquire the integrated design capability for OPR-1000 and APR-1400.

### 3-3. 중수로용 핵연료 국산화 성공

1980년 6월 중수로핵연료 국산화 기술개발계획안이 성안되고 1980년 12월 과학기술처의 승인으로 중수로핵연료 국산화 기술 개발사업이 1981년 1월부터 국가주도과제로 착수되었다. 1982년부터는 이 사업이 과학기술처의 특정연구개발사업에 포함되었다.

1982년 3월 한필순 박사가 한국원자력연구소 대덕공학센터장으로 취임하면서 최종목표가 핵연료의 양산공급체제로 수정되었다. 완벽한 실증시험을 거쳐 양산화한다는 것은 당시 연구소 상황으로는 매우 어려운 일이었다. 왜냐하면 한국원자력연구소의 기술능력, 경험, 수행능력에 대한 외부의 불신분위기가 강했고, 막대한 양산화 비용문제와 더불어 연구소가 양산화를 추진하는데 대한 주변의 부정적 견해, 특허권 문제, 경제성 문제 등 연구소로서는 감히 해결할 수 없는 외적인 문제들이 많았다. 그리고 참여 연구원들조차도 양산화는 연구소의 할 일이 아니라고 생각하고 있었다. 그러나 사업 책임자의 강력한 의지와 추진력으로 정부와 각 분야별 사업 책임자들을 설득시키고 사업팀을 10개분과 100여명으로 대폭 보강하여 새로운 출발을 하였다.

1982년 10월 5일 한국원자력연구소-AECL은 ‘원자력연구소 핵연료검증시험사업’ 계약을 40만캐나다 달러에 체결하였다. AECL 측은 당초 300만 캐나다달러라는 거액을 요구하였다. 핵연료 검증시험이란 핵연료개발단계에서 상용원자로에 장전하기 전에 시험로에서 연소도 및 개발된 핵연료의 완벽성을 시험하는 일이다. 우리나라에는 그러한 시험로가 없어 불가피하게 캐나다 AECL의 NRU원자로에 새로운 핵연료를 장전하여 시험을 하기로 한 것이다. 이를 통하여 NRU원자로에서의 조사시험, 조사후시험, 화학분석 외에도 훈련생 파견, 전문가 초청강좌, 각종 기술 자료의 이전이 포함된 핵심기술을 거의 다 확보할 수 있었다.

사업은 예정대로 추진되고 있었으나 사업예산 확보에 커다란 어려움을 겪었다. 사업을 승인했던 과학기술처는 1983년도에 한국원자력연구소가 요청한 20억원의 개발비중 6억2천만 원 이상의 예산지원이 불가능한 상태였다. 이것은 양산을 목표로 추진하던 상황에서 큰 문제가 아닐 수 없었다. 담당자들은 절박한 심정으로 6개월에 걸쳐 한국전력과 동력자원부를 드나든 결과 1983년 10월 연구소 역사상 처음으로 한국전력으로부터 역대 최대액수인 12억5천만 원이라는 엄청난 자금을 아무 조건 없이 연구개발 출연금으로 지원 받을 수 있었다. 이후 4년 동안 꾸준한 한국전력의 지원을 받으며 차질 없이 중수로핵연료 국산화사업은 추진되었다.

이 모든 것이 ‘원자력기술자립을 통한 국가 에너지 자립’이라

는 대 명제를 추진하던 한국원자력연구소의 서경수박사(작고)가 이끌던 중수로사업부의 집념어린 인물들이 있었기 때문에 가능한 일이었다. 한필순 한국원자력연구소 소장, 박정기 한국전력 사장이 바로 그 주역들이다.

한국원자력연구소가 제조한 천연핵연료 집합체 2개와 1.58%로 농축된 핵연료 집합체 1개가 1983년 3월 30일 캐나다 AECL의 CRNL(Chalk River National Laboratory) NRU원자로에 장전되었고, 7개월간의 연소시험을 무사히 마쳤다.



〈3-3〉 중수로 핵연료 다발

조사후 시험결과 천연우라늄 핵연료의 건전성이 입증되어 국제적 공인을 얻게 되었고, 1984년 1월 27일에는 과학기술처로부터 설계승인을 받았다. 중수로핵연료 제조의 원조인 캐나다에 이어 우리나라가 두 번째로 중수로핵연료의 설계·제조 기술을 확보하고 세계적인 공인을 획득하게 된 것이다.

1984년 5월 17일 한국원자력연구소와 한국전력은 월성원전에 중수로핵연료를 시험장전하기 위한 핵연료 부분공급계약을 체결하였다. 그러나 상용원전에 시제품을 장전한다는 것은 많은 위험 부담이 따르는 일이었다. 만일 문제가 생길 경우 원전가동을 중



〈3-4〉 월성발전소용 국산핵연료 최초 출하 기념사진(1984.8.29)

지해야 하고 손실도 엄청나기 때문이다. 한국전력 입장에서는 여간 걱정되는 일이 아니었다. 이 때문에 한국전력은 미리 과학기술처 장관과 동력자원부 장관의 시험장전 승낙을 받으려고 했을 만큼 큰 부담감을 느꼈다. 그러나 시제품 개발을 마친 한국원자력연구소의 과학기술자들은 성공을 확신하고 있었다.

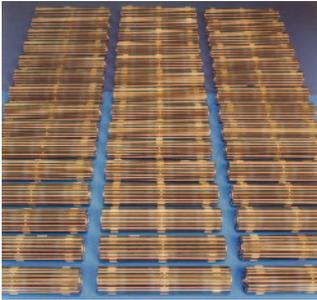
1984년 9월 8일 많은 이들의 기대와 부담감 속에서 월성원전에 24개의 핵연료가 장전되었다. 극소량이지만 한국전력이 최초로 국산핵연료를 갖고 발전을 시작한 것이다. 그리고 1년 후인 1985년 9월 30일 핵연료를 원자로에서 꺼 내 시험해 본 결과 평균 연소도가 캐나다의 핵연료에 비하여 손색이 없음이 입증되었다. 이로써 한국전력은 우리 중수로핵연료의 성능과 완벽성을 신뢰하게 되었고, 이때부터 양산을 위한 지원에 본격적으로 나섰다.



〈3-5〉 국산 핵연료 최초장전 축하기념식(1984.9.8)

1985년 말부터 1986년 초에 이르는 동안 중수로핵연료 양산공급에 따른 기술료 문제로 캐나다 AECL과 협상이 진행되었다. 불과 5년 전, 우리나라의 원자력기술을 평가절하하고 2,500만캐나다 달러의 기술료를 요구했던 상대였는데 이번에도 AECL은 300만 캐나다달러의 기술료를 요구했고 한필순 원자력연구소장은 일언지하에 거절하였다. 마지막으로 AECL측은 상징적 의미의 10만 캐나다달러를 요구해 왔지만 이것 역시 우리에게 의해 거절당했다.

결국 기술료를 한 푼도 주지 않고 캐나다와 함께 대등한 위치에서의 연구 개발 결과의 상호교환을 내용으로 하는 기술도입계약이 1986년 1월 29일 체결되었다. 이것은 한국원자력연구소 과학기술자들의 끊임없는 기술개발의지 및 노력과 과학기술처, 동



〈3-6〉 중수로 핵연료 다발



〈3-7〉 중수로 핵연료 조립 장면

력자원부, 한국전력의 적극적인 지원이 혼연일체가 되어 이룩한 결과였다. 이로써 중수로핵연료를 자력으로 양산하는데 성공한 것이다.

1987년 7월부터 중수로형 핵연료는 본격적인 양산에 들어가 월성원전에 전량 공급되기 시작하였다. 사업을 착수하여 양산하기 까지 7년 6개월의 기간 동안 우리가 얻은 교훈은 헤아릴 수 없이 많았다. 원자력기술자립의 길이 얼마나 힘들고 끈기와 의지가 필요하고 다수인의 결집된 노력이 필요함을 알게 되었다.

### 3-3. Localization of Nuclear Fuel for CANDU Reactors

In January 1981, KAERI launched a localization project for heavy water reactor fuel. KAERI signed a contract with AECL on 5 October 1982 for verification test of the heavy water reactor fuel manufactured by KAERI,

which was worth 400 thousand Canadian dollars. It was necessary to test the nuclear fuel developed by KAERI itself to measure the burn-up level of the fuel and its safety performance.

According to the contract two natural uranium fuel assemblies and one 1.58 percent enriched fuel assembly were loaded in the National Research Universal Reactor (NRU) at Chalk River National Laboratory(CRNL) of AECL, Canada on 30 March 1983 and conducted a burn-up test for seven months.

The test proved that the integrity and the reliability of natural uranium nuclear fuel assemblies were satisfactory. Based on the test results KAERI acquired the design approval for natural uranium fuel assembly from the regulatory authority, the MOST, on 27 January 1984. So Korea now established its own technology for the design and manufacturing of heavy water reactor fuel second in the world after Canada.

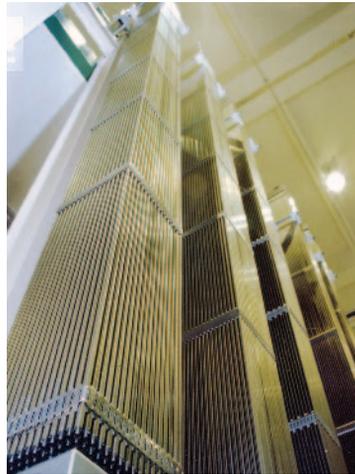
On 8 September 1984, 24 fuel bundles developed and manufactured by KAERI were loaded into Wolsung unit 1 and taken out one year after on 30 September 1985 and then conducted fuel burn-up test. The test proved that Korean fuel was as good as Canadian fuel. It was nothing short of excellent.

Afterwards, KAERI set up a commercial scale manufacturing facility with a capacity of 100 tonne per year and signed a contract with KEPCO. Starting in July 1987, KAERI has supplied full batch of natural uranium fuel to Wolsung unit 1.

### 3-4. 경수로용 핵연료 국산화 성공

1970년대에 두 차례에 걸친 석유파동으로 에너지자원의 전략 무기화 가능성이 전 세계를 뒤흔들었다. 특히 천연자원빈국인 우리나라에는 그 영향을 더욱 심각 느껴 대체 에너지로서 원자력의 필요성이 강하게 대두되었다. 원자력발전소의 필요성과 함께 자연스럽게 나타난 것은 원전기술자립문제였다. 그중에서도 가장 먼저 원자력발전소의 핵이라고 할 수 있는 핵연료기술의 자립 기술이 필요했고 이를 위한 국산화계획이 범국가적인 차원에서 수립하게 되었다.

원자력발전소에 소요되는 핵연료기술은 크게 설계와 제조로 나뉘는데 특히 설계부분은 첨단기술이며 두뇌 집약적인 소프트웨어 기술로서 자립이 매우 어려운 과제였다. 원자력 선진국들은 이 기술정보 노출을 철저히 금지하고 있었다.



〈3-8〉 경수로 핵연료 다발

가압경수로 핵연료 국산화 사업의 목표는 1989년부터 국내에서 소요되는 핵연료를 전량 국산화하여 국내원전에 공급하



〈3-9〉 경수로 핵연료 가공공장 준공식(1989.9.28)

는 것이었다. 이 국산화사업은 핵연료 설계를 담당할 한국원자력 연구소와 핵연료제조를 담당할 한국핵연료주식회사가 주체가 되어 공동으로 추진하였다. 연구소의 설계팀은 핵연료 및 노심설계 업무를 수행하여 핵연료 성형가공에 필요한 제품시방서, 설계도면 등 모든 자료를 생산하여 핵연료회사에 제공하였다. 핵연료회사는 이 설계 자료들을 이용하여 핵연료를 제조하여, 안전하고 경제적인 국산 핵연료를 생산 공급하였다.

핵연료 및 노심설계 기술도입선을 선정하기 위해 1984년 9월에 기술도입계약용 입찰안내서를 발급하였다. 그해 12월 4일에 3개국 5개회사 즉 웨스팅하우스, CE, Exxon, Fragma와 KWU가 응찰서를 제출하였다. 당시의 여건은 우리의 인력, 예산, 시간 등이 절대적으로 부족한 형편이었다. 이러한 악조건을 극복하는 방

법으로 입찰안내서에 기술전수라는 일반적인 과정을 생략하고 대신 곧바로 기술제공선과 공동설계 할 것을 제안하였는데 이 요구가 받아들여졌다. 이것은 세계에서 그 유례가 없었던 방법으로써 최소의 비용을 들여 조기에 기술을 자립하는 결과를 낳았다. 이 방법은 이후 원자로계통설계 기술도입시에도 적용되었다.

엄정한 평가를 통하여 서독의 KWU가 핵연료기술 도입선으로 선정되었다. 핵연료 국산화 사업 중 경수로 핵연료 설계 사업은 연구소가 전담키로 했으며 이 사업은 1986년 1월 10일 KWU사와 한국원자력연구소간에 체결된 핵연료설계 기술도입계약서가 발효되어 본격적으로 시작되었다. 1986년 초 연구소의 설계요원 33명이 KWU사에 파견되어 KWU사와 공동으로 1989년도의 가공분 핵연료에 대한 핵연료와 노심설계를 착수하였다. 공동설계 팀은 핵연료설계, 양립성분석, 안전성분석 업무들을 수행하였다. 이 기간 중에는 핵연료가공 공장의 기기구매에 필요한 자료, 핵연료부품구매에 필요한 자료, 핵연료제조에 필요한 자료, 인허가 관련 자료들을 만들었다.

### 경수로 핵연료 독자 설계 도전

KWU와의 공동설계경험을 바탕으로 국내에서 고리2호기 8주기 교체 노심에 대한 독자설계를 1990년 2월부터 시작하였다. 당초 KWU사와 2년분의 핵연료에 대해 공동설계를 할 예정이었으나 1년 공급분 핵연료만 KWU와 공동설계를 수행하고, 공동설계로 인한 실무경험과 습득한 기술을 바탕으로 당초 계획보다 1년 앞당겨



〈3-10〉 발전소 노심에 핵연료를 장전하고 있다.

1990년 가공분 핵연료의 독자설계를 시작하였다. 이로써 핵연료와 노심설계기술을 1년 앞당겨 자립하여 외화를 크게 절감하였다.

공동설계 착수이전인 1984년부터 과학기술처 특정연구과제로 연구비를 투입하여, 각 분야별 전산코드정비, 설계절차서 작성 및 교차노심 핵연료의 모의 설계 등을 수행하였다. 이는 공동설계 수행 이전에 사전준비를 철

저히 함으로써 기술자립을 조기에 달성하기 위한 조치였다.

또한 KWU사의 전문가 18명을 초청하여 약 10주간 핵연료설계 기술 및 안전성분석분야의 훈련을 실시하였다. 1990년 가공분 핵연료부터 핵연료설계, 노심설계 안전성분석업무를 독자적으로 수행하기 위해 연구소 본소의 전산기에 도입된 KWU전산코드들을 설치했다. 그리고 국내발전소의 설계 업무에 사용하기 위한 설계모델 및 방법의 정확성을 검정하고 도입된 기술의 관리, 품질보증 계획서작성, 설계사업 추진계획수립, 진도평가, 계약관리 등의 업무를 수행하였다.

KWU사로부터 도입된 전산코드와 각종 기술 자료를 적극 활용

하여 교체노심 모의 설계를 수행, 설계 능력을 향상시키기 위한 많은 노력을 기울였다. 본소에서의 핵연료 및 노심설계 업무는 4개 분야 즉 핵연료 설계 분야, 열수력 설계 분야, 핵연료기계설계 분야, 안전성해석분야로 나누어 수행되었다. 이러한 각 분야의 설계업무는 설계조정업무, 공정관리업무, 품질관리 등 사업관리를 통하여 종합되었다.

### 개량형 핵연료 지속적으로 독자 개발

원자력발전소의 안전성과 경제성을 향상시키기 위하여 대략 5~7년 주기로 새로운 특성을 활용한 개량핵연료를 사용하고 있는데 연구소에서도 개량핵연료를 개발하기 위하여 KWU와 공동으로 고연소도 핵연료, Debris Resistant 핵연료, Axial Blanket 활용 핵연료, 새로운 가연성 독물질 개발 등을 착수 하였다. 그동안 핵연료회사에서 지속적으로 개량핵연료 개발에 박차를 가하여 현재 웨스팅하우스형 원전에 ACE7과 한국형표준원전에 PLUS7의 국산 핵연료를 공급하고 있다.



〈3-11〉 원자로 노심에 자리잡은 핵연료 다발들

어려운 여건 하에서 국산 핵연료를 1990년 2월부터 국내 모든 원자력발전소에 성공적으로 공급, 장전함으로써 원자력발전소의 자주적 운영, 수입대체효과(웨스팅하우스 PWR 8기에 연간 3,200만 달러), 원자력 발전소의 경제성 및 안전성을 높이는데 크게 기여하였다. 또한 교체노심 핵연료 설계의 성공적으로 수행하여 축적한 기술로 미국CE사와 공동으로 영광3·4호기의 초기 노심설계를 할 수 있었다. 그리고 나아가 울진 3·4호기부터 초기 노심 핵연료를 독자적으로 설계하여 핵연료 및 노심설계기술의 완전 자립을 달성 할 수 있었다.

### 3-4. Localization of Nuclear Fuels for PWR reactors

The target of the localization project for PWR nuclear fuel was to supply all fuel required by domestic PWRs starting from 1989. This project was carried out jointly by KAERI and KEPCONF in which KAERI developed fuel design and KEPCONF was responsible for fuel manufacturing.

In December 1984 KAERI, in an effort to introduce technological know-hows on nuclear fuel and reactor core design from overseas, received the letter of intention from five companies such as W, CE and Exxon of the US, Framema of France and Siemens/KWU of Germany regarding the technology transfer through joint design. According to the result of evaluation on their proposals, the contract was awarded to Siemens/KWU on 10 January 1986.

KAERI launched the design of PWR nuclear fuel and reactor core, jointly with KWU, in 1986 by assigning its design team to the company.

The joint design project was carried out in such a successful way that KAERI's design team was fully capable to perform the task independently. Thus, starting from 1990 it had carried out nuclear fuel and reactor core design of its own. At last in 1996, KAERI transferred its design team to KEPCONF together with all the technologies involved.

In the meantime, KEPCONF has developed its own nuclear fuels called ACE7 for W type PWRs and PLUS7 for KSNPs. Thus it has been supplying nuclear fuel for all domestic PWRs in operation since February 1990.

### 3-5. 원자력 안전기술 개발 성공사례

원자력선진국에 의존하던 설계·건설·제작·해석·평가기술에서 탈피하여 우리의 자체기술로 개발하여 이를 수출하는데 견인 역할을 한 키워드는 '안전'이다. 원전 산업계나 원전건설현장에 가면 Safety First(안전 우선)란 표어가 여기저기 눈에 띈다. 안전 이라는 키워드는 기술적 해석방법 측면에서 보면 설계기준사고에서 부터 중대사고와 리스크 정보 활용으로 가는 과정에 포함돼 있다.

1990년 한국원자력연구소에서 원자력안전을 책임지는 원자력 안전기술원(KINS)이 탄생하였다. 이것은 1979년 3월29일 발생



〈3-12〉 한국원자력 안전기술원의 탄생으로 관련 기술의 개발을 본격화하였다

한 미국 TMI 사고 이후 우리나라의 원자력사고 방지를 위한 정책 추진의 결과였다. 이 정책 추진에 앞서 정부는 1983년 12월 TMI 후속조치요건을 국내원전에 적용하도록 요구하고, 1989년 12월 엔 영광 3·4호기 건설허가 조건사항으로 사고관리계획을 고려한 안전성점검(IPE; Individual Plant Examination)을 수행하도록 하는 등 안전성 개선사항들을 점검했다. 우리의 현실에 맞는 중대사고 예방 정책을 개발하기 위해 정·산·학·연 고위 정책전문가들로 자문위원회를 구성하여 다양한 논의와 재원확보는 물론 연구방향을 정립했다. 이를 바탕으로 한 연구들이 수행되고 중대사고의 확률적 안전관리평가(PSA)기술들이 정착되기 시작하였다. 이 위원회가 오늘날 세계가 인정하는 PSA기술로 발돋움하는 견인 역할을 한 것이다. 특히 이 모임의 연장선상에서 중대사고 연구회와 한-일간의 PSA기술교류를 발전시킨 민간차원의



〈3-13〉 안전성 제고 위한 인간공학실험실

국제협력인 ‘한-일간 PSA 워크숍’ 이 탄생하여 PSA 기술을 한 단계 끌어올린 역할을 한 것이다.

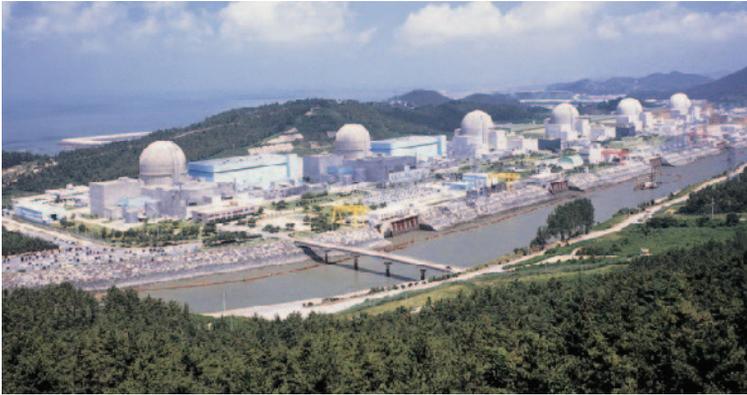
이때만 해도 산업계에서 가장 우려를 표명한 것은 불확실성의 상존에 대한 것이며 이를 자율에 맡겨 달라는 것이었다. 처음으로 IAEA와 KINS가 공동으로 중대사고 정책 및 제도화 워크숍을 통해 국제 전문가를 초청하여 이런 불확실성이 많은 중대사고와 PSA기법을 안전성평가에 적용할 것인지의 방안을 논의하기 시작하였다.

1991년 9월 많은 토의와 논의를 거쳐 작성된 안전 목표를 포함한 중대사고대책(안)을 과학기술처 원자력안전전문위원회에 상정하였으나 아직도 불확실성이 크기 때문에 제도화하기에는 시

기상조라는 이유로 권고사항으로 채택하게 되었다. 이 중대사고 대책(안)은 법적 효력을 갖지 못했으나 산학연의 많은 논의를 거쳐 작성되었기에 산업계에서는 자발적으로 이 대책(안)의 내용을 이행하고자 노력하였다. 다행스러운 것은 산업계가 적극적으로 안전성 증진을 위한 노력을 기울이기 시작하였다는 것이고 또 불확실성을 줄이고 중대사고 현상을 이해하기 위해 연구비 투자를 포함한 많은 노력을 경주하였다는 것이다.

1992년 신규로 건설 중인 원전(영광 3·4호기, 울진 3·4호기, 월성 2·3·4호기)에 설계 시부터 사고예방, 완화 대책 설비 보완, 정량적인 안전성 평가를 수행하도록 하여 국내 원전의 안전수준을 향상시켰다. 특히 IAEA의 국제기술평가팀과 공동으로 정량적인 안전성검토를 수행하여 영광원전 3·4호기와 울진원전 3·4호기의 안전성 수준을 증진시켜 국제적으로 원전 안전성을 입증하였다. 그 후 많은 기술개발과 실증실험, 설계기술 개선을 통해 안전성이 입증된 APR1400은 2002년 5월 7일 우리정부로부터 설계인증(DC)을 받았고 UAE에 이를 수출하는 첫 수출모델이 되었다.

이제 우리의 원전산업계와 연구소는 미국의 상용기술을 모방하는 차원에서 시작하여 첨단 신기술을 접목할 수 있는 창조적인 기술수준까지 갖춘 한국형 원전의 원천기술을 보유하고 있다. 그리고 안전규제전문기관인 KINS는 지속적으로 최상의 안전, 즉 원자력안전성평가 신기술을 확보하고 꾸준히 그 적용을 통해 최상의 안전을 입증하고 있다. 2009년 12월 28일 UAE 원자력공사



〈3-14〉 영광 원자력발전소 전경

(ENEC)의 CEO는 “한국을 원자력발전소 건설 계약자로 선정된 이유로 30여년의 원자력발전소 운용 능력과 안전성.” 이라고 말한 사실은 시사하는 바가 크다.

원전 수출의 분위기에서 더 중요해진 것은 원자력에 대한 안전을 더욱 철저히 지키는 일이다. 우리나라는 1978년 원자력 발전을 시작한 이후 단 한건의 사고도 없었으며 원전 이용률 또한 90% 이상으로 세계 최고다. 하지만 30년의 안전성에 대한 신뢰가 단 한 번의 사고로 무용지물이 될 수 있다는 것이 바로 원자력 임을 우리는 일본 후쿠시마 원전사고에서 배웠다.

원전 수출에 따른 자긍심이 자만심으로 연결되지 않도록 경계하여야 할 것이며, 보다 안전하고 경제적인 원전 기술개발과 원자력 안전 확인체계를 갖추는 일에 더욱 노력해야 할 것이다. 앞으로 원자력도입 100년을 바라보며 기존 기술의 보완 개선은 물

론, 제4세대 원전기술 등 새로운 미래형 원자로를 개발하여 세계 시장을 넓혀가는 것이 원자력 선진국이 된 책임이기도 하다.

### 3-5. Development of Nuclear Safety Technology

Getting rid of dependence on nuclear power advanced countries for the technologies involved in design, construction, manufacturing, analysis and assessment for nuclear power plant, we developed a nuclear power plant with our own technology and exported it to overseas market. The key word for the driving force behind all this achievement can be said as “safety”.

Since the accident at TMI nuclear power plant on 29 March 1979, the Korean government had consistently pursued its policy to prevent nuclear accidents. In accordance to this policy, the Korean government required all domestic nuclear power plants to apply post-TMI action items in December 1983. And in December 1989 the government required Yonggwang units 3 and 4 to perform, as part of the conditions attached to construction permit, Individual Plant Examination (IPE) in consideration of accident management program, and also checked other safety improvement items.

To develop a more realistic policy for severe accident prevention, the government set up an advisory committee consisted of high level policy advisors representing government, industry, academia, and research establishment and provided with the funds to cover the expenses. The

committed produced its recommendation on research areas, scope, direction and schedule, etc., out of in-depth discussions among themselves. Based on this recommendation, necessary researches were systematically carried out and then PSA techniques for the management of severe accident began to settle down. This committed has played a leading role in the development of PSA techniques to such level as to receive the world recognition these days.

It should be noted that a draft form of severe accident plan including safety goal was drawn up through a lot of studies and discussions and in September 1991, it was brought up for discussion at the Nuclear Safety Experts Committee of the MOST. It was taken as a recommendation based on a majority opinion that it was too early to be taken as legal requirement because of its too big an uncertainty. It was very fortunate that even though this plan had no legal power to enforce, the industry made good efforts to implement its contents voluntarily. 10 years later in August of 2001 the severe accident policy for nuclear power plant was passed by the Nuclear Safety Committee of the MOST.

In 1992, all nuclear power plants under construction, such as Yonggwang units 3 and 4, Ulchin units 3 and 4, Wolsung units 2, 3 and 4 were required to strengthen the severe accident prevention and mitigation facilities and also to perform quantitative safety assessment, from the design stage so that safety level of domestic nuclear power plants could be substantially enhanced. Particularly, quantitative safety evaluations were carried out, jointly with the IAEA's safety review team, for Yonggwang units 3 and 4, and also for Ulchin units 3 and 4 to verify their safety level so that their safety was confirmed by

internationally recognized experts. Afterward Korea launched a project to develop a more advanced nuclear power plant, APR-1400. Through many technological developments, verification tests and design technology improvements, the safety of APR-1400 was established and proved so that it received a Design Certificate(DC) from the Korean government on 7 May 2002, and it became the first export model to be exported to the UAE.

Now Korean nuclear industry and research establishment now own fundamental technologies of Korean Standard Nuclear Plant, which have such creative technology capability as to incorporate state of the art technologies, starting from the level of copying the commercialized technologies of the US. And the nuclear safety expert organization, KINS, continuously develops new technologies for nuclear safety assessment and also continues to apply them to confirm nuclear safety on its highest level.

It should be noted that the CEO of ENEC of the UAE said the contract was awarded to Korean consortium because Korea has nuclear power plant operation capability and safety of 30 years.

What has become more important in this nuclear power plant exporting atmosphere is to watch nuclear safety more strictly. Since Korea started the commercial operation of its first nuclear power plant in 1978, there was no major nuclear accident. The availability factor of nuclear power plants is higher than 90% which is the world's best. But we have learned from Fukushima accident that one accident could cancel out 30 years of trust built in safety. We should watch that the self esteem from nuclear power plant export should not lead to vain pride. We should make more efforts for developing

technologies for safer and more economical nuclear power plant and for establishing more effective nuclear safety management system.

### 3-6. 하나로 연구용 원자로 자력설계 건조 및 운영

연구용 원자로인 ‘하나로’ 를 우리 스스로 설계 건조할 수 있었던 것은 이 사업을 이끈 김동훈박사(작고)의 공적과 연계가 깊다. 그는 1959년의 TRIGA Mark-II와 1969년의 TRIGA Mark-III 건조의 실무 책임과 1976년부터는 40MW급의 재료시험로의 자력설계사업의 책임을 맡았었다. 이 사업 명칭은 TTF(Thermal Flux Test Facility)라 하였고, 장치개발사업이라 부르기도 하였다.

이 사업은 1980년부터는 신정부의 출현과 함께 사업이 지속되지 못해 1981년에는 5년 동안의 피땀 어린 기술개발 사업이 완전히 중단되었다. 그러나 연구소는 이 사업을 통해서 분야별 전문인력을 양성한 계기가 되었다. 즉 연구로 설계 코드 개발을 비롯하여 설계도면, 기술보고서, 시제품 및 실험 장치 개발, 설계 엔지니어링 모형개발 등 체계적으로 설계 업무는 물론 연구소와 산업체의 기술적 취약성을 면밀하게 정리하는 계기가 되었다.

1985년부터 하나로 사업이 정부의 지원으로 다시 착수하게 되자 김동훈박사는 사업 책임자로 임명되었고 장치 개발 사업으로 훈련된 요원들은 자연스럽게 하나로 사업의 핵심을 이루게 되었

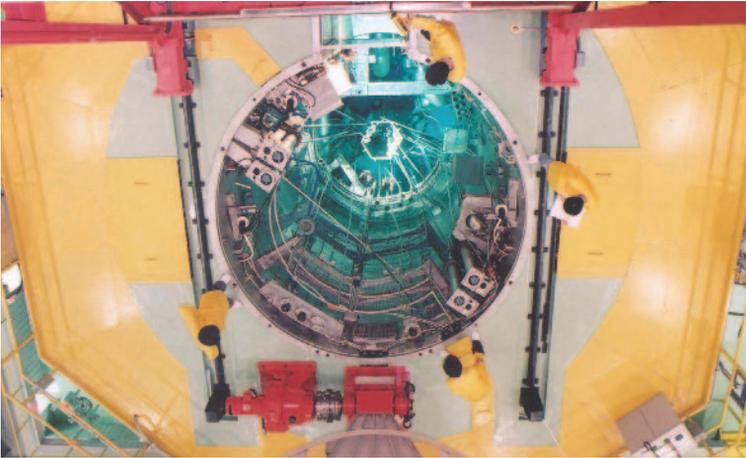


(3-15) 하나로 연구용 원자로 건설 장면

다. 사업 책임자는 기술자립과 연관, 전문요원의 양성을 최우선으로 하였다. 팀원들 가운데 특출한 연구원은 한 두 명에 불과했으나 모든 팀원들은 한 마음으로 결속되어 자신의 능력이상을 발휘하는 Team Spirit을 구축하여 목표를 향해 전념했다.

### 새로운 개념으로 설계된 ‘하나로’

하나로는 국내외적으로 최초로 설계 건조된 원형로(Prototype Reactor)였다. 따라서 새로운 개념이 적용된 분야와 설계자료 생산이 필요한 분야에 대해서는 여러가지의 실증실험도 수행하여야 했다. 대부분의 설계코드를 자체적으로 개발하고 기존의 설계 코드도 하나로에 맞도록 개선해야만 하였다. 그 당시 하나로 설계 개념을 가장 적절하게 수용하는 MAPLE-X 연구로를 캐나다의 AECL이 개발하고 있었다.



(3-16) 하나로 연구용 원자로의 설계 검증 실험을 하고 있다

한국원자력연구소와 AECL은 공동설계 계약을 맺어 하나로 설계팀에서 개발한 설계 코드들을 그들이 사용하는 코드들과 비교함으로써 상호 검증이 가능했고 또 서로 교환해서 함께 사용함으로써 하나로 설계팀은 자신력을 가질 수 있게 되었다. 설계에 사용한 주요 코드들을 정리하면, WIMS-KAERI Code, VENTURE-KAERI Code, KMRRSIM Code, 사용후핵연료 임계도에는 KENO Code를, 반사체 용기 안의 Beam tube의 차폐설계 및 선원 분석을 위해서는 ORIGEN-II, QAD-CG, ANISN, DOT4.2/MORSE Code를 사용하였다. 열 수력 설계용으로 RELAP5/KMRR Code를 개발하였고, 냉각수의 유동장 해석을 위해서는 EL2D Code를, Sub-Channel해석에는 COBRA-IV-1/KMRR를 만들어 각종 운전 상태 변화에 따른 노심의 열적 여유도를 평가하였다. 그리고 1차

냉각계통의 유량 분포, 자연순환 해석에는 AECL과 공동으로 개발한 THANK Code를, 핵연료 봉 내에서의 온도분포 해석을 위해서는 TEMP2D를 개발하였다. 그리고 한국원자력연구소가 개발한 KIRAP을 이용하여 확률론적 안전해석을 수행하였다.

아울러 설계사양에 따라 제작된 원자로구조물과 부품들은 반드시 성능시험(Performance Test), 내구성 시험(Endurance Test), 설계요구 조건인 내진시험(Seismic Test)을 거쳐 설계 검증을 하였다. 이와 같이 철저한 검증을 거쳐 제작, 설치된 하나로는 세계 수준의 다목적 연구로로 그 성능이 입증되고 있었다. 설계 시 반영됐던 이용시설들은 자금 부족으로 그 당시에는 설치되지 못했으나 1995년 가동 이후로 지금까지 15년 동안 꾸준히 설치되어 지금은 동위원소 생산시설을 비롯하여, 방사화 분석시설, 중성자변환 반도체생산시설, 핵연료 노내 조사시험시설, 냉중성자 생산시설, 열중성자 및 냉중성자 이용 분광시설 등을 갖췄다.

이전에는 꿈만 같았던 그레노블의 ILL이나 미국의 NIST의 연구로 이용시설에 비교하여 하나로의 시설은 조금도 뒤지지 않는 세계적 연구로로 그 위상을 굳건히 세우고 있다.

하나로는 점점 세계적인 이상적 연구로 모델로 손꼽히고 있다. 요르단이 하나로를 수입했고 그 외 몇 나라와 수출 상담을 벌이고 있다. 이것은 하나로의 설계 운영에서 개발된 기술이 기본이 되어 그 저력을 세계가 인정하고 있기 때문이기도 하다.

### 3-6. Indigenous Design and Construction of HANARO Research Reactor

The project of indigenous design and construction of HANARO research reactor was launched in 1985. Since AECL of Canada was in the process of developing MAPLE-X research reactor at that time, KAERI made a contract with AECL for joint design of HANARO in an effort to develop computer codes necessary for the design of HANARO research reactor.

Then KAERI developed several high quality computer codes such as RELAP5/KMRR Code for thermal hydraulic design, EL2D Code for coolant field analysis, COBRA-IV.1/KMRR for sub-channel analysis to evaluate reactor core thermal margin depending on various operating conditions.

The design verifications were conducted for structures, systems and components, which were manufactured according to the design specifications, through performance test, endurance test and seismic test. HANARO reactor has been in operation since 1995. Currently HANARO reactor serves as a real multi-purpose research reactor equipped with such important research facilities as radioisotope production facility, radiochemistry analysis facility, semiconductor production facility, in-core irradiation facility, cold neutron production facility, and thermal and cold neutron radio-spectroscopy, etc.

### 3-7. 원자로 주요기기 장치 국산화 성공 사례

TMI사고 등으로 1980년대 이후 전 세계적으로 원전건설이 저조한 시기에도 우리나라는 지속적인 원전 건설, 운전 경험 축적과 함께 정부의 기술자립추진의지에 힘입어 세계적 수준의 플랜트 종합설계, 원전의 운전 및 정비 역량 확보 및 1차 계통 주기기의 대부분을 국산화하였다. 하지만, 국내 기술로 개발한 APR1400 한국표준원전이 최초로 적용된 신고리3·4호기에 이르기까지도 원자로 냉각재펌프(RCP, Reactor Coolant Pump)와 원전 계측제어시스템(MMIS, Man Machine Interface System)은 웨스팅하우스 등 해외 공급사에 의해 독점 공급되고 있어 기술 자립의 필요성이 대두되었다.

원자로 냉각재를 순환시키는 원자력발전소의 심장으로 일컬어지는 RCP 펌프는 약간의 이상만 발생해도 원전 전체를 정지시켜야 하는 핵심기기다. 계측제어시스템은 원자력발전소의 두뇌와 신경망으로 발전소의 안전 운전을 보장하고 사고 예방에 필수적인 시스템이다.

이 같은 기술자립의 필요성에도 불구하고 RCP 분야는 이 기술을 가진 나라들의 기술적 장벽으로 기술이전 논의 자체가 거부되는 상황이었다. MMIS의 I&C 분야는 원전기술의 최후 결정판으로 반복, 복제 사용이 가능하고, Software성, 지식집약형 고부가가치 기술이다. 따라서 국내의 IT기반 저력에 대해 우려하고 있는

외국 공급자들은 우리의 기술이전 요청을 차단하였던 것이었다.

### ● RCP 국산화 개발

RCP를 국산화하기 위해서는 설계, 제작단계 이전에 원형펌프 모델의 성능을 결정짓는 수력 핵심부품의 구조와 형상을 수력학적 상사법칙에 따라 축소한 모델펌프를 시험해야 한다. 그리고 원자로냉각계통에서 요구하는 수력학적 특성 및 펌프 성능요건이 만족됨을 실증하여야 하며, 펌프케이싱 및 모터지지대등과 같은 대형 압력 경계품 및 구조물에 대한 설계, 제작기술도 확보해야한다. 그리고 마지막으로 원형 RCP에 대한 내구성 시험 및 성능시험을 해 원전에의 적용여부를 확인하여야 한다.

이를 위해 두산중공업은 원자력발전기술개발사업(Nu-Tech2012)을 국책과제로 2007년 8월부터 한국원자력연구원 등 국내 기관들과 APR1400급 RCP 개발 및 성능시험설비 구축을 추진하였다. 지난 2008년 7월 RCP의 축소모델 시험을 성공리에 완료하고 국산화 모델의 성능을 확인한 바 있다. 이로써 두산중공업은 RCP 국산화 고유모델을 보유하게 되었다. 이렇게 개발된 RCP 모델은 발전회사인 한국수력원자력(주), 계통설계 및 종합설계 회사인 한국전력기술(주) 등 유관기관으로 구성된 평가단으로부터 2007년 6월부터 2008년 12월까지 약 1년 6개월간에 걸쳐 실제 원전에 적용할 수 있는지 즉, 운전성, 안전성, 신뢰성 등 모든 부문에서 객관적 평가를 받았다. 그 결과 모든 요건들이 충족됨에 따라 신울진 1·2호기 원전에 이를 적용하게 되었다.

이런 노력은 제2 원자력 르네상스와 함께 국내 연구기관 및 관련 산업체가 협력한 결과이며 원전기술 자립과 더불어 포스콘, '우리기술' 과 같은 국내 중소기업의 성장에도 일조한 결과를 낳았다.

### ● MMIS 국산화 개발

대표적으로 기술자립을 하지 못한 품목인 원전 I&C 분야는 2001년 원전계측제어시스템개발 (KNICS, Korean Nuclear I&C System)사업을 착수하고 사업 달성목표를 APR1400 후속기(현재의 신울진 1·2)에 적용할 때까지로 설정하였다. 7년간의 연구기간 동안 정부출연기관 및 우리기술, 포스콘과 같은 국내 기업들과 공동으로 KNICS 개발을 수행하여 원전용 제어기 및 디지털원자로안전계통, 출력제어계통 등을 개발 완료하였다.

이후 2007년에는 지식경제부 주관의 원자력발전기술개발사업 (NuTech-2012)을 국책과제로 하여 통합검증설비 구축 및 통합검증시험을 통해 MMIS의 신뢰성 및 사용자 수용성 확보와 더불어 국산화 디지털 I&C 기술과 제품 전체의 성능에 대한 한국수력원자력(주) 주관의 2년간 평가 작업이 진행되었다.

### 계측제어시스템 국제적 신뢰 확보

그 결과로 신울진 1·2 원전계측제어시스템 국산화에 의한 계약이 체결되었다. 추가적으로, IAEA가 선정한 7명의 I&C 분야 전문가로 구성된 IAEA의 기술검토를 받은 결과, 국제적 기술기준에도 부합된다고 평가되어 두산중공업이 개발한 MMIS가 객관

적으로 국제적 신뢰도 및 인지도를 획득할 수 있었다.

RCP와 MMIS의 국산화는 국내 원전기술의 자립을 완결하여 해외 수출의 기반을 마련하게 됐고 나아가 원전 핵심기기 및 계측 제어 기술의 산업 및 관련 응용기술 분야의 산업까지 새로운 일 자리를 창출하는 효과를 가져왔다. 국산화된 RCP, MMIS와 핵연료설계 등 앞으로 국내에 건설되는 모든 신규 원전은 순수 국내 기술로 완성될 수 있게 됐다. 나아가 가동 원전의 업그레이드를 포함한 유지 보수 역시 국내 기술로 수행될 수 있음을 의미하는 것이다. 따라서 자체기술로 개발된 이 모든 기술들은 원전의 안전성과 이용률 향상에 더욱 기여할 수 있을 것이다.

### 3-7. Localization of Major Equipment

Following the completion of KSNP Korea developed APR-1400 in 2001 and applied to the construction of Shin Kori units 3 and 4. However up until that time reactor coolant pump (RCP) and man machine interface system (MMIS) were not localized. RCP which circulates coolant through the reactor is a critical component of NSSS and MMIS which functions as brain and nerve network for nuclear power plant is critically important to assure safe operation and to prevent accident from taking place as well. Since they were supplied exclusively by world major nuclear manufacturers such as Westinghouse and Framatome, localization of these equipment has emerged as an issue of vital

interest for domestic manufacturing industry.

### ● Localization of RCP

Doosan Heavy Industries & Construction in cooperation with KAERI launched a project to develop RCP for APR-1400 in August 2007 and completed the test with a scale model in July 2008. From June 2007 to December 2008, the localized model was tested and examined to decide whether it can be practically applied to nuclear power plant. The result showed that it fully meets the relevant safety and reliability requirements. So a decision was made to adopt the localized RCP at Shin Ulchin units 1 and 2. Thus Doosan Heavy Industries & Construction could develop and now own its indigenous RCP model.

### ● Localization of MMIS

For the localization of MMIS, the government launched a development project named Korean Nuclear Instrument and Control System(KNICS) in 2001 and completed the development of digital MMIS platform, plant safety system, power control system, and some other components of MMIS in 2007.

For two years starting in 2007, a comprehensive verification test and a performance evaluation were carried out to establish reliability and user acceptability. The evaluation result was satisfactory. So a decision was made to adopt the localized MMIS at Shin Ulchin units 1 and 2.

### 3-8. 차세대 원자로 APR1400 개발 성공

우리나라는 1978년 가압경수로 원전인 고리 1호기를 최초 준공함으로써 원전 보유국으로 첫발을 내딛게 되었다. 1980년대 중반부터는 한국표준형원전의 반복 건설로 건설비를 절감하고 원전설계 및 기자재 국산화율 95% 달성을 목표로 하는 『원자력발전 경제성 제고방안』을 정부 정책으로 확정하는 등 원전 기술 자립을 추진하였다.

1980년대 말에 접어들면서 원전 선진국들은 미국 TMI 및 소련 Chernobyl 원전 사고의 영향으로 강화된 규제요건을 충족시키고, 안전성과 경제성을 보다 향상시키기 위해 각국은 Sys.80+, ABWR, AP600, EPR 등 차세대 노형 개발을 추진하였다. 이에 우리나라도 1992년 6월에 열린 정부 종합과학심의회에서 국가 원자력 기술수준을 선진 7개국 수준으로 진입시킨다는 목표를 설정하고 「차세대원자로(APR1400)기술개발」을 국가선도기술개발사업(G-7 프로젝트)으로 선정하였다.

당시 APR1400 개발에 대해 원자력발전소 설계기술 자립이 완전히 이루어지지 않은 상태에서 새로운 노형 개발을 시작하는 것은 시기상조라는 의견도 있었으나, 새로운 노형 개발에 통상 10년이 걸리고, 이를 건설하는데 10년이 추가 소요되므로 중장기 원자력 산업 발전을 위해서는 APR1400 사업 착수가 필요하다는 공감대가 이루어졌다. 이에 따라 1992년 12월 APR1400 개발을



(3-17) APR1400 열수력 실험장치 준공식 장면

본격적으로 착수하게 된 것이다.

APR1400 기술개발은 1992년부터 10년간 2,340억원의 개발비가 소요되는 대형 국책 기술개발 프로젝트로써 기술개발 방향 중간 점검을 위해 1992년 착수시점부터 3단계로 나누어 수행되었다. 1단계('92.12~'94.12) 2년 동안은 해외에서 개발 중인 신형 원전의 성능 분석과정을 통해 보다 더 우수한 안전성과 경제성을 갖도록 140만kWe급 신형 경수로를 개발 대상 노형으로 확정하고 기본설계를 완료하였다.

2단계('95.1~'99.2) 4년 동안은 한국표준형원전의 설계, 건설 및 운영을 통해 입증된 기술과 축적된 경험을 바탕으로 신 개념



〈3-18〉 한국형 차세대 원자력발전소 조감도

설계를 도입하여 안전성과 경제성이 기존원전에 비해 크게 향상된 설계를 개발하였다. 이후 3단계( '99.3~ 01.12) 사업에서는 경제성 및 시공성 향상을 위해 설계 최적화 업무와 함께 개발된 APR1400 설계에 대한 규제기관의 심사를 거쳐 당시 과학기술부로부터 안전성을 인정받아 표준설계인가(Design Certification)를 받았다. 이로써 명실상부하게 APR1400의 표준원전의 개발은 완료되었다.

APR1400은 안전성과 더불어 경제성, 시공성 및 운전·정비 편의성을 향상시켰다. 발전용량을 140만kWe급으로 높이고, 선행 원전을 벤치마킹하여 2기 공용 복합건물배치, 일체형 원자로 상부구조물 적용, 새로운 건설 공법 등을 APR1400 설계에 반영하

였다. 또한 설계수명을 40년에서 60년으로 증가시켰으며, 암반 부지에 원자로를 설치하는 것을 조건으로 하는 기존 원전 내진설계 기준 0.2g를 강화하여 비 암반부지에도 설치할 수 있도록 내진설계를 0.3g 기준으로 설계함으로써 원전 부지 선정에 대한 유연성을 확보하였다.

APR1400 개발은 10년간 연인원 2,300여명의 정부, 산업계, 연구계, 학계 등 국내 원자력 유관 기관의 기술인력이 참여한 대형 기술개발 사업으로써 우리나라 원자력 산업의 변화와 역사를 같이 하였다. 개발기간 중 1996년 원자력산업 구조개편에 따른 원자로계통 설계개발 업무 조정, 1997년 말 우리나라 IMF 경제위기로 기술개발 범위 및 예산 축소 등 대표적인 애로사항도 예로 들 수 있다. 이러한 어려운 상황이 발생할 때 마다 기술개발에 참여한 모든 기관이 우리나라 원자력 산업의 미래를 다 같이 책임진다는 정신으로 위기를 극복해 나갔다. 각 기관의 이해관계를 떠나 모두가 협력하여 사업적, 기술적 어려움을 함께 넘었기에 성공적으로 APR1400을 개발하여 2008년 신고리 3·4호기의 노형으로 건설에 착수할 수 있었다. 신고리 3·4호기의 성공적인 건설 과정이 바로 이를 참조발전소로 하고 있는 UAE의 원전입찰에서 당당하게 수출(2009. 12월)로까지 성공할 수 있었던 것이다.

정부는 2010년 1월 ‘원자력발전 수출산업화 전략’에서 2030년 세계 3대 원전수출국에 진입한다는 목표를 발표하였다. 이제는 세계 3대 원전 수출국이라는 국가적 목표 달성을 위해 우리나라

산업계, 연구계, 학계가 APR1400 개발을 통해 갖춰진 산업적·기술적 인프라를 바탕으로 세계 최고의 수출 경쟁력을 갖도록 기술개발에 더욱 매진해야 할 것이다. 또한 미국 규제위원회에 표준인가설계(DC) 신청을 해 놓고 있으니 승인을 위한 답변자료 등 최선을 다해야 하는 것도 필요할 것이다.

### 3-8. Development of Indigenous Advanced Power Reactor, APR-1400

Korea took its first step towards nuclear power country by completing the construction of Kori unit 1 in 1978, the first NPP built in Korea. In the mid 1990's, however, Korea achieved 95 percent of nuclear technology self-reliance for NPP design and component manufacturing, and thus the construction cost could be saved significantly by building standardized units called KSNP-1000 and OPR-1000.

Late in the 1980's world's leading nuclear power countries launched the development of more advanced power reactors such as System 80+, ABWR and AP-600, EPR which had much improved economy and more enhanced safety features to meet much strengthened regulatory requirements introduced after the 1979 TMI accident and the 1986 Chernobyl accident. Korea also started a project to develop next generation power reactor, called APR-1400, in June 1992 as one of the national strategic R&D projects. It started with the government policy objective that called for the achievement of nuclear

technology to the level of G-7.

The APR-1400 project was a huge national undertaking which called for the appropriation of 234 billion Won over a period of ten years starting from 1992. For the two years in the first phase of the project from 1992 to 1994, the activities were focused on holistic and detailed review of overseas advanced nuclear reactors under development. Based on the review result, a state-of-the-art PWR, which has power output of 1400 MWe and offers the best economy and safety capability, was chosen as candidate reactor model to develop, and basic design of the plant was completed.

During the four years starting from 1995, in the second phase, a comprehensive design of the plant was developed in such a way that the new plant could be equipped with far enhanced safety and economic features compared to existing PWRs. All these design renovations were made based on the design technologies accumulated in the course of the development of OPR-1000.

And in the third phase from 1999 to 2001 the design was further fine-tuned for better economy, and constructibility. Finally the design was approved and a design certificate was issued by the Ministry of Science and Technology, which marked the completion of the development of APR-1400.

APR-1400 has electric power capacity of 1,400MWe compared to 1,000MWe for OPR-1000 and design lifetime of 60 years compared to 40 years for OPR-1000. Also seismic design criteria was enhanced from 0.2G as

for OPR-1000 to 0.3G to give more flexibility in site selection.

The APR-1400 project was a super technology development project which involved a total of 2,300 men over a period of 10 years, who were technical professionals from many nuclear related organizations such as government, industry, research institutes, and academia. This project made a great contribution to upgrading the Korean nuclear technology to one step higher.

APR-1400 was applied to Shin-Kori units 3 and 4 and became the reactor to be exported to the UAE in 2009.

### 3-9. 방사성폐기물 유리화 기술개발 및 실용화 성공

방사성폐기물의 유리화란 고온을 이용하여 방사성폐기물의 여러 가지 분자 성분을 분해하여 비 방사성 기체 성분은 정화 장치를 거친 후 대기 중에 방출하고 방사성 성분은 고온에서 유리성분과 혼합시켜 안정된 유리 구조화하여 처리하는 방법을 말한다.

방사성폐기물을 유리화하면 그 부피가 현저하게 감소되고 폐기물의 안정성이 극대화됨으로써 폐기물의 처분 물량을 최소화하고 처분 안정성을 한 단계 상승시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 유리화 기술은 방사성폐기물을 처리하는 가장 이상적인 기술이라는 평가를 받고 있다.

중·저준위방사성폐기물은 고준위 방사성폐기물에 비해 그 분자 성분이 매우 다양하여 유리화가 어렵고, 그 동안 중·저준위 방사성폐기물의 처분장이 비교적 많았고 처분 비용이 낮았기 때문에 기술개발의 필요성이 크지 않았으나, 지금은 방사성폐기물의 처분이 까다롭고 또한 비용이 만만치 않아 중·저준위방사성폐기물의 유리화 기술개발도 시급해지고 있는 상황이다.

우리나라의 중·저준위방사성폐기물의 유리화기술은 1990년대 초 미국의 EPRI 와 함께 시작하였다. 처음에는 미국과 공동으로 기술을 개발 할 예정이었으나, 방법론의 차이로 우리나라는 독자적인 기술 개발을 추진하게 되었다. 우리나라는 처음부터 실험실에서 타당성 입증, 소형 파일럿 설비를 이용한 실험, 상용 규모의 실증 연구의 3단계 연구 계획을 수립하여 초기에는 고준위 방사성폐기물의 유리화에 경험이 있는 프랑스와 공동으로 기술 개발을 시작하였다.

1단계와 2단계의 실험은 원만하게 진행 되었으나 3단계인 상용 규모의 실증 실험은 많은 실패를 경험하고 여러 가지 난관을 거쳐야 했다. 이 과정에서 프랑스는 자의로 중도 하차하고 우리나라의 연구진이 독자적인 연구를 계속할 수밖에 없었다.

결국 우리나라에서 중·저준위방사성폐기물의 유리화 기술을 완성하고 국제 특허를 얻었다. 개발된 기술을 바탕으로 울진원자력발전소에 유리화 원형플랜트를 건설하여 성공적인 시운전을

마치고 정부로부터 운영허가를 받았다. 이 기술은 실험실에서부터 상업화까지 전 공정을 우리의 연구팀이 세계 최초로 완전하게 개발하여 원자력발전소에 설치한 보기 드문 사례이다.

### 3-9. Development of Radioactive Waste Vitrification Technology and Commercialization

Vitrification of radioactive waste is a technique in which the radioactive waste is decomposed into various molecular substances in high temperature, higher than 1,400°C. Then, non-radioactive gaseous substances in the waste are released to the atmosphere and the remaining radioactive particles are made into stable vitrified solid by mixing with vitrifying substances. By doing so, the volume of radioactive waste can be reduced significantly and the stability of the radioactive waste can be enhanced at the same time. Till now vitrification is regarded as the most ideal technology for the treatment of radioactive waste.

In the past, vitrification of low and medium level radioactive wastes was not much in demand because it was difficult to vitrify a wide spectrum of molecular substances contained in them compared to high level wastes, and also because the cost of disposal of such wastes was low. However thanks to technological advance in other sectors, vitrification technologies for low and medium level wastes are making progress.

The development of vitrification technology for low and medium level

wastes was launched by KHNP in collaboration with EPRI (Electric Power Research Institute) of the US in the early 1990's. In the beginning, it was envisioned to develop necessary technologies jointly with the US counterpart. But due to the differences in methodology to employ, Korea decided to go its own way to develop necessary technologies. Later a joint development with French counterpart was attempted but the commercial scale demonstration ended in failure. So the KHNP's R&D team had no other option but to keep on developing its own technologies independently.

In the end, the KHNP's R&D team succeeded in developing its own vitrification technology for low and medium level radioactive wastes without foreign partners' participation and acquired an international patent. Based on this technology, a prototype plant for vitrification of low and medium level radioactive wastes was constructed and test-operated, and then received an operating license from the government. It is worth noting that this vitrification technology was developed, starting from laboratory experiments to commercialization by the KHNP's R&D team alone, for the first time in the world.

## 제4장 원전 건설 운영 성공 사례

- 4-1. 표준원전 핵연료 개발 성공사례
- 4-2. 핵연료 피복관 제조기술 개발 성공사례
- 4-3. 원전 건설기간 단축
- 4-4. 원전이용률 세계최고 달성
- 4-5. 방사선 및 방사성동위원소 이용분야의 신산업 창출

제4장

“

원전 건설 운영  
성공 사례

Construction and Operation of Nuclear Power  
Plants

“

#### 4-1. 표준원전 핵연료 개발 성공사례



고리 1호기가 1978년 4월부터 상업운전을 시작한 이후 1982년 국내 핵연료 공급회사인 한전원자력연료(KNF)가 설립되었다. 그러나 핵연료의 국산화가 이루어지기 전까지는 해외 핵연료 공급사로부터 핵연료를 전량 수입, 국내 원전에 공급하였다.

KNF는 핵연료의 국산화에 매진하여 경수로형 및 중수로형 핵연료를 1989년 및 1997년부터 제조공급하기 시작하였다. KNF는 1985년부터 정부의 핵연료 국산화정책에 따라 핵연료 설계 및 제조 기술을 도입하여 소위 국산 1세대인 핵연료 설계 및 제조 능력을 확보함으로써 수입에 의존해 온 핵연료 부품과 집합체를 국산화하여 국내 원전의 핵연료(14형 OFA, 16형 STD, 17형 RFA, 16형 Guardian 연료 등)를 전량 공급해 왔다.

핵연료 기술개발 방향 및 목표는 전력회사의 요구에 따라 고연소 성능, 열적성능 및 신뢰성 향상 등에 두고 있다. 이는 핵연료 손상을 저감, 최적 최저누출 장전모형 허용, 가동원전 출력증강,



〈4-1〉 국산 하나로 원자로용 핵연료 생산작업

장주기 운전 등을 통해 원전의 신뢰성, 안전성 및 경제성을 제고하기 위함이다. 따라서 지속적인 기술개발에 의한 고성능의 핵연료의 개발이 요청되는 것이다.

KNF는 1999년부터 1세대 핵연료와 대비해 연소도 등 성능이 향상된 개량핵연료(2세대 핵연료)를 한국표준원전(APR1400 및 OPR1000)의 핵연료로 사용할 것을 목표로 삼고 이의 개발을 추진해 왔다. 개발은 원천기술의 문제점 때문에 외국공급사인 웨스팅하우스와 공동으로 추진하였다. KNF는 특히 핵연료 성능검증을 위한 노의 실증시험시설 등 국내 인프라가 미비하여 한국표준형의 개량핵연료(PLUS7™)는 물론 웨스팅하우스가 공급한 원전의 개량핵연료(ACE7™)도 함께 개발에 나섰다.

PLUS7™ 시범집합체 4다발은 울진 3호기에서, 16형 및 17형 ACE7™ 시범집합체는 각각 고리 2호기와 고리 3호기에서 노내 연소시험을 성공리에 마치고 2006년 이후부터 국내 원전에 상용으로 공급되고 있으며 이 핵연료들은 우수한 연소 성능을 보이고 있다.

### 고성능 핵연료 개발로 원전가동률 향상

이러한 2세대 핵연료 개발을 통해 KNF는 해외공급사와 동등하게 신뢰성, 안전성 및 경제성 등이 향상된 핵연료를 공급할 수 있게 되었다. 최근 IAEA는 한국의 핵연료 결함률이 세계 평균의 1/5 수준이며 미국보다 우수하다고 평가하고 있다. 이러한 핵연료의 성능향상은 국내 원전의 가동률 향상에도 기여하였다. 우리나라의 2008년 및 2009년 원전 가동률은 연속 세계 1위로 기록되고 있다. 해외의 일부 원전국이 한국의 KNF의 핵연료를 공급받고자 적극적인 협력을 원하는 원인이 바로 KNF의 고성능 핵연료의 신뢰성 때문이다. 개량핵연료는 해외 공급사의 원천기술을 토대로 개발되었기 때문에 원천기술의 소유권 때문에 해외수출 및 국제 기술경쟁에서 한계로 드러내고 있다.

KNF는 앞으로 세계 선두 3위의 핵주기 전문회사로 성장하기 위해 2008년 ‘비전 2020’ 을 선포하고 2012년까지 독자 기술소유권을 확보하기로 했다. 또 2005년도의 정부 국가전략과제인 ‘수출선도형 고성능 고유핵연료’ 를 당초 2015년에서 2012년으로 조기 달성하기로 하고 이의 기술개발에 전력하였다. 우리 기술로

추진 중인 고성능 핵연료의 트레이드 명칭은 HIPER(High Performance with Efficiency and Reliability)로 정하였다. 이 HIPER 기술은 한국이 원천기술을 갖는 최초의 핵연료가 된 것이며 세계 어느 국가에도 아무런 제약 없이 우리의 핵연료를 수출할 수 있게 된다. 연소도는 현재보다 약 20%가 높고 열적성능, 내진성능, 신뢰성 및 제조성이 현저히 개선되어 국내는 물론 해외 수출상품으로 상용 공급할 목표를 갖고 있다.

#### 4-1. Development of Nuclear Fuel for KSNP

Many NPPs were built and kept coming in line in Korea since Kori unit 1 started its commercial operation in April 1978. And KEPCONF, established in 1982, had to import all nuclear fuel from overseas fuel suppliers for these NPPs, in such finished form as fuel assemblies. This situation continued up until Korea localized nuclear fuel design and manufacturing technology. KEPCONF made all-out efforts to localize nuclear fuel. As a result it could successfully develop its own nuclear fuel for CANDU reactors in 1989 and for PWRs in 1997. Ever since it has been supplying nuclear fuel for all domestic NPPs.

KEPCONF launched a project to develop a so called second generation nuclear fuel that is to give improved fuel performances including high burn-up compared to the existing first generation nuclear fuel. And the development

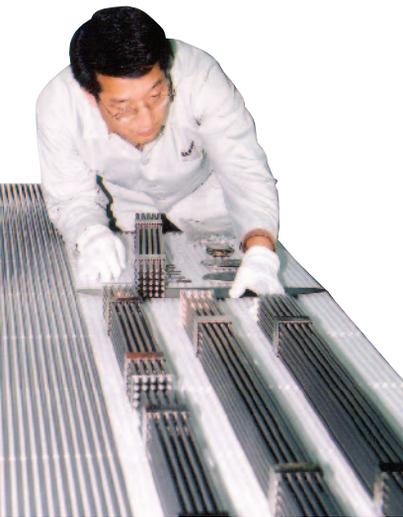
target was set for nuclear fuel for Korean standard nuclear plants such as APR-1400 and OPR-1000. KEPCONF successfully developed PLUS7TM, advanced nuclear fuel for Korean standard nuclear plants and further it also developed ACE7TM advanced nuclear fuel for W nuclear power plants at the same time. Next in-pile tests were performed, in which four PLUS7 assemblies were tested in Ulchin unit 3, and a 16 × 16 type and a 17 × 17 type ACE7 assembly was tested in Kori units 2 and 3, respectively. All tests were successful. These improved fuels have been in use at all domestic NPPs since 2006, showing excellence in burn-up performance.

The IAEA evaluated that PLUS7TM defect rate is one fifth of the world average and it is better than US nuclear fuel. However, since PLUS7TM was developed based on overseas source technology, this technology rights issue could be an obstacle when it comes to exporting to overseas.

In addition, KEPCONF has been carrying out since 2005 a project named High Performance with Efficiency and Reliability (HIPER) with such clearly defined objectives as to get rid of overseas source technology, to secure its own source technology, and also to obtain exportable high performance nuclear fuel, with a target completion date of December 2012. When HIPER is completed as planned, burn-up performance will be increased by as much as 20 percent compared to current nuclear fuels, and thermal efficiency, seismic capability, fuel reliability, and manufacturing productivity will be enhanced significantly.

## 4-2. 핵연료 피복관 제조기술 개발 성공사례

우리나라는 원전을 지속적으로 건설하여 세계 6위의 원전 국가가 되었음에도 불구하고 핵연료의 튜브 제조기술을 외국에 의존하여 핵연료 피복관을 전량 수입해 왔다. 지르코늄합금 튜브는 경수로 핵연료 제조용으로 금액으로 볼 때, 재료비의 70% 가량을 차지하는 핵심부품 임에도 불구하고 이 분야의 기술자립이 늦었다. 한전원자력연료(KNF)는 2003년 정부의 원전기술 고도화 사업 국가전략과제로 ‘지르코늄합금 튜브 제조기술개발’ 과제를 제의, 2008년까지 개발완료를 목표로 추진하였다. 최근까지 우리나라는 연 200억 원 이상의 피복관을 외국에서 구매해 왔다.



〈4-2〉 국산 핵연료 피복관 모양

핵연료용 지르코늄합금 튜브는 핵연료의 품질, 원전의 안전성과 직결되는 핵심 부품이며 전략물자이다. 이것은 원자로 안에서 핵분열을 일으키는 우라늄 소결체를 안전하게 감싸고 있는 길이 약 4m, 직경 1cm의 가늘고 긴 둥근 관을 비롯해 20여 가지의 다양한 종류의 부품이 있다. 튜브는 마모성과 부식성이 아주 적을 뿐만 아니라 열 전달성이 뛰어난 지르코늄합금을 소재로 특수한 공법으로 만들어진다. 국제적인 거래가 엄격히 통제되는 이 물자는 튜브의 제조기술에 따라 핵연료의 안전성이 좌우된다.

경

# 국산하나로핵연료집합체첫출하

축

2005. 3. 4(금) 새빛연료과학동  
하나로핵연료기공사업·하나로운영부



(4-3) 하나로 원자로에 들어가는 핵연료집합체가 첫출하되었다(2005.3.4)

KNF는 2003년 사업을 착수하고 다음해에 기술협력사로 웨스팅하우스를 선정, 한국에서 제조되는 튜브의 소유권과 실시권을 확보할 수 있도록 하였다. 기술확보 최종단계인 2007~2008년에는 장비설치 및 시운전, 장비자격 인증시험 및 제품 자격인증시험을 통해 장비성능 및 제품특성 검증을 실시하였다. 우리 튜브 공장에서 생산된 제품이 미국 웨스팅하우스가 제조한 제품과 동등함을 입증하기 위해 꼭 같은 원소재를 사용하고 양산 제조공정에서 특성시험용 튜브 시제품을 제작하여 미국과 한국에서 공동으로 제품특성시험결과를 비교 평가했다. 그 결과 제품 특성 및 성능이 동일하다는 것이 검증되어 국내 최초로 국산화에 성공한 신기술에 대한 신뢰성을 확보할 수 있었다.

튜브 제조공장은 완전한 핵연료의 양산을 위한 신호다. 이로써 국내 경수로 원전에 공급되는 모든 핵연료에 필요한 튜브를 전량 생산, 공급할 수 있게 되었다. 국내 기술로 제조된 피복관이 사용된 핵연료가 2010년 3월 울진6호기(5주기)에 국내 최초로 장전되기 시작했다. 앞으로 국내 모든 경수로 발전소에도 이 피복관을 사용한 핵연료가 공급 및 장전될 예정이다. 소재의 경우 한국 원자력연구원에서 개발한 국산 고유브랜드의 핵연료 피복관용 신소재인 '하나(HANA Alloy TREX)'를 이용한 튜브를 경수로용 핵연료 제조에 적용하기 위해 현재 KNF가 '하나합금 튜브'의 제조 공정자격인증을 수행 중에 있으며, 이를 통해 부식성능과 기계적 특성이 향상된 신합금 핵연료튜브의 개발 및 상용화가 이루어지게 된다.

### 원전 원료의 기술자립 완성단계 돌입

부지 약 16,500m<sup>2</sup>(5천평)에 사업비 1,074억원을 들인 피복관 제조공장은 사업착수 6년 만인 2008년 말 연산 1,400km의 양산 체제를 갖췄다. 2009년 초부터 선진국 등급(합격률 95%)을 상회하여 제품을 제조해 넘으로써 명실 공히 원전연료의 기술자립화가 완성단계에 도달했다고 할 수 있다. 이는 원전도입 30년 만이고 국산핵연료 공급시점에서는 보면 20년만의 쾌거라고 할 수 있다. 현 시설은 국내 모든 원전에 핵연료 피복관을 공급하고 1~2기 원전에 소요되는 피복관을 수출(실제 원전 1기에 해당하는 100만 불 수출계약을 웨스팅하우스와 체결 완료) 할 수 있는 여유가 있다. 그러나 국내 원전건설이 늘어나고 해외 원전수출이

확대되면 현재의 시설로는 부족하기 때문에 제2의 제조시설을 준비해야 한다. 이를 위해 부지 준비와 엔지니어링 준비에 만전을 기하여야 할 것이다.

지르코늄합금 튜브는 고연소도 핵연료 개발에서 가장 중요한 부분이다. 원전의 다양한 운전조건에 따른 핵연료의 건전성 및 안전성을 정확하게 평가하기 위해선 튜브 제조공정과 성능평가 기술 개발이 필수적이다. 앞으로 원전의 해외수출을 감안하여 현재 연산 1,400km의 생산으로는 절대 부족하기 때문에 공장 증설 등 이에 대한 대책이 강구되고 있다.

원전의 증기발생기용 전열관 튜브를 국산화하기 위한 국내 관련사의 노력도 진행 중이다. 핵연료의 피복관 튜브생산 기술과 전열관 튜브생산기술이 동일하여 피복관 튜브 생산기술을 전열관 튜브를 국산화하는데 직접 사용할 수 있어 기술적 파급효과가 지대할 것으로 판단된다.

## 4-2. Development of Nuclear Fuel Cladding Technology

Despite its continuing construction of NPPs and putting them into commercial operation to become the world's 6th largest nuclear power country, in terms of installation capacity, Korea still had to rely on overseas

suppliers for all nuclear fuel cladding because of the lack of fuel cladding technology. Therefore, KEPCONF carried out in 2003 a project to develop technologies for manufacturing zirconium alloy tube, as part of national strategic R&D program for the advancement of nuclear power technologies, and the company successfully completed the development in 2008.

Zirconium alloy tube is one of the key components directly involved in nuclear fuel safety. It securely embraces in itself uranium pellets which undergo chain reactions and it is composed of 20 some parts including a tube of one centimeter in diameter and four meter long. The tube should have excellent anti-abrasion and corrosion resistant properties with low neutrons absorption rate and high thermal conductivity. It is fabricated through a series of special manufacturing processes using zirconium alloy.

Nuclear fuel assemblies manufactured with these localized zirconium alloy tubes were loaded into Ulchin unit 6 in March 2010 for the first time in Korea. They will be supplied to all domestic PWRs in the near future.

KEPCONF completed a zirconium alloy cladding manufacturing facility at the end of 2008 after 6 years of construction work. It has an annual production capacity of 1,400 km of zirconium alloy tube. As a result, KEPCONF could successfully localize all nuclear fuel manufacturing technologies except some technical areas in tube manufacturing and performance tests. Currently KEPCONF exports some zirconium alloy cladding to the US and other countries.

### 4-3. 원전 건설기간 단축

원전은 대규모 투자 사업이면서 공사기간이 길어 이자부담을 줄이고 전력수요에 즉각 대응해야 한다. 또한 원전은 안전성을 최우선으로 하면서 짧은 기간에 얼마나 적은 비용으로 건설하느냐 하는 것이 중요한 사업관리 목표이기도 하다.

고리 1호기 건설이후 일괄도급방식에서 분할발주방식, 영광 3·4호기에서의 기술자립을 통하여 경험과 노력은 건설공기를 줄이는데 크게 기여했다. 종전에는 최초 콘크리트 타설로부터 상업운전까지 63개월이었던 것이 신월성 1·2호기의 경우 52개월의 목표공정을 계획하고 있어 그동안 건설공기 단축에 얼마나 심혈을 기울여 왔는가를 알 수 있다.



<4-4> 월성 원자력발전소 건설장면

주요한 신기술 및 신공법의 적용사례를 보자. 구조물 슬라브 구조에서 Deck Plate 구조 공법으로 공법을 변경함으로써 거푸집과 거푸집 지지대 설치, 제거 공정이 필요 없게 됐고 콘크리트 양생 기간 중에도 하부 층에 들어 갈 기기나 배관류 등을 조기반입 및 설치공사를 할 수 있어 공기를 단축했다.

### 신기술 · 신공법 개발로 공기단축 및 사고예방

또 몇 가지 개발된 주요 내용을 보면 첫째, 구조물 슬라브 형식을 철근 · 콘크리트를 택하고 있고 둘째, 먼저 건설된 원전에서는 크레인 인양능력과 기술적 어려움으로 지상에서 1~2단으로 모듈화로 제작하여 인양하던 원자로건물 격납철관을 지상에서 3단을 한 번에 모듈화하여 인양, 설치함으로써 기술적 한계를 극복하였다. 지상에서 많은 작업을 하여 중량물을 인양, 설치함에 따라 고소작업을 대폭 줄여 작업의 효율성을 높이고 작업자의 안전사고 예방에도 많은 효과가 있다. 셋째, 구조물의 대형철근 이음작업에 있어 나사이음방식 기술을 개발하여 과거 화약을 이용한 용융금속 슬리브이음방식(Cadweld) 보다 작업의 안전성과 효율을 향상시키고 있다. 넷째로는 신월성 1호기에서 원자로냉각재배관(Reactor Coolant Line)과 원자로 내장물(Reactor Vessel Internal)의 공정을 병행 시공하였다. 이전까지는 용접에 따른 열응력 영향을 우려하여 원자로냉각재배관 용접 후 원자로 내장물 설치공사를 착수하였으나 신고리 1·2호기 건설과정을 통해 이에 대한 영향을 분석하고 대책을 마련함으로써 원자로냉각재배관 중간 연결관 작업과 원자로 내장물 설치작업이 병행될 수 있음을 확인하고

이를 병행함으로써 약 2개월의 작업 기간을 단축할 수 있었다.

또 한수원은 세계 최고 수준의 선진사업관리기법을 도입하여 원전건설관리시스템(NPCMS : Nuclear Power Plant Construction Management System)의 전산시스템을 개발, 실시간 사업관리는 물론 비문서(Paperless) 사업관리를 구현하여 공기단축에도 기여하였다.

그동안 신기술 신공법 개발에 전력해 왔지만 앞으로도 한수원은 보다 고도화된 신기술, 신공법을 개발하여 신고리 3·4호기부터 건설하는 한국표준원전 APR1400에 적용함으로써 궁극적으로 30~40개월 대의 원전건설을 목표로 하고 있다.

원자로 내장물의 모듈화 기술개발도 완료하였으며, 강관으로 거푸집을 대신하고 철근과 배관 및 기기 지지대 설치를 위한 매설철판을 없애고 구조물의 모듈화가 가능한 강판-콘크리트구조물(Steel Plate-Concrete)공법도 개발되었다.



〈4-5〉 울진발전소 건설장면

구조물과 설비를 외부에서 일체의 모듈로 제작, 현장에 반입 설치하는 복합 모듈화 공법도 개발하여 인허가 중에 있다. 기기 및 구조물의 모듈화는 보다 대형화를 추진할 예정이며, 신고리 5·6호기부터는 주요 중량물에 대해 수직반입공법(Over the Top) 적용을 추진하고 있다. 원자로냉각재배관에만 적용중인 자동용접도 전 분야로 확대를 추진할 예정이다. 이외에도 보온재를 대신하여 도장 보온하는 기술, 내방사선도장 기술 개선 등 원전 건설 기간 최적화를 위한 노력을 지속적으로 추진 중에 있다.

현재도 세계의 원전 선진 국가들이 우리의 원전건설에 대해 많은 찬사를 보내고 있지만 개발 중인 기술이 본격적으로 건설현장에 적용되는 시점에서는 세계적인 원전 건설수준을 확보하게 되어 세계원전시장을 주도하는 위치에 설 수 있게 될 것이다.

### 4-3. Shortening of NPP Construction Time

Construction of nuclear power plant requires a large amount of money and long period of time to complete. Therefore, it is one of the most important objectives in the project management to reduce the construction time so as to minimize the financial cost, but it should be done without compromising safety of the plant which should remain the highest prerequisite not an option all through the construction.

During the period starting from Kori unit 1 for which construction officially

began in 1971 to Yonggwang units 3 and 4 for which construction began in 1981, the construction time usually took 63 months from the first concrete to commercial operation. However, thanks to accumulated experience and technological advancement during this time period, and effective project management the construction time could be reduced to 52 month, for example, for Shin-Wonsung units 1 and 2 for which construction started in 2005.

To achieve this reduction of construction time, many new ideas and technical innovations were employed. For example, a change from slab construction method to deck plate construction method could eliminate the process of installation and removal of concrete forms and their supporting piles which needed extra time in the past. This change also made it possible to perform early take-in and installation of equipment and piping at the lower layers while curing the concreted surface in the upper layers.

Also by incorporating the world's top level project management techniques, a computerized Nuclear Power Plant Construction Management System(NPCMS) was developed. NPCMS made real time and paperless project management possible, which contributed greatly to the reduction of construction time as well.

The effort to shorten the construction time is going on further. Korea set up a construction time target of 30 to 40 months, starting from Shin-Kori units 3 and 4 (the first APR-1400 units) for which construction started in 2007, through adoption of new construction technology and advanced project management. Further development of new construction technology and advanced project management skills will then give Korea a competitive edge in the world's nuclear power plants market.



#### 4-4. 원전이용률 세계최고 달성

2009년 우리나라에서 운전 중인 총 20기의 원자력발전소는 세계 평균 운전율 76%를 크게 상회하는 91.7%를 기록, 세계 1위다. 원전의 이용률은 발전설비 운영의 효율성과 활용도를 객관적으로 나타내는 지표로서 설비의 건전성 및 운영인력의 인적 성능 등 발전소 운영기술 수준을 평가하는 직접적인 척도가 된다.

국내 원전의 이용률은 1978년 국내 최초로 고리1호기가 상업운전을 시작한 이래 1990년도까지는 70%대 수준이었으나, 1991년부터는 운영기술과 경험이 적었던 초창기의 어려움을 극복하고 지속적으로 운영기술을 향상시켜 80%대로 진입하였으며, 2000년 이후에는 90% 이상의 높은 이용률을 유지하고 있다. 지난 10년간 평균 이용률은 92.5%로 세계평균 78.2%와 원전선진

국인 미국의 89.5%를 능가하고 있다. 이와 같이 뛰어난 운영실적은 우수한 인적자원과 안전 최우선의 조직문화를 바탕으로 세계 최우수 원전과의 기술격차 해소라는 도전 목표를 설정하고 선진 운영기법 도입, 발전설비 성능개선 등의 노력을 지속적으로 기울인 결과라 하겠다.

이용률을 높이기 한 구체적인 사례로는 단위작업 및 공정 최적화를 통한 계획예방정비의 기간 단축, 운전방법 개선에 의한 가동정지 시간 단축, 표준형 원전의 RCS 배수밸브 정비주기 최적화, 주발전기, 제어기 특성시험 최적화 및 고장정지 발생시 본사 사건조사팀 현장 지원체계 구축에 의한 재가동 시간 단축 등을 들 수 있다. 또한 복수기튜브·비파괴검사·표준시스템 구축 등 기기신뢰도 향상 프로그램을 수립하였으며 열성층·열피로 취약 배관 관리를 강화하고, 증기발생기통합관리체계(SGMP) 운영, 노후설비와 취약설비의 교체 및 개선 등을 들 수 있다.

그리고 빼 놓을 수 없는 것은 연소되는 핵연료의 성능이 이용률에 미치는 영향이다. 1990년 말 우리의 핵연료가 국산화되고 고성능의 핵연료를 만들면서 점진적으로 신뢰성을 높여 온 결과인데 이는 2000년대의 이용률향상과 무관하지 않다.

한편, 안전 최우선이라는 최고경영자의 경영방침에 따라 전 직원이 안전문화 정착을 위한 노력을 기울여 왔다. 원전 안전운영의 기본인 원전운영 규정 및 절차 준수를 더욱 생활화하고, 규제기관에 의한 피동적인 안전절차의 준수가 아니라 스스로의 안전

문화 준수지침을 제정하여 안전을 최우선으로 하는 보수적 의사 결정을 업무의 관행으로 정착시키고 있으며, 자체진단 시스템 등의 운영개선 프로그램을 도입하여 주기적 안전문화 점검을 체계화하였다. 또한 매월 전 직원을 대상으로 한 원자력 안전의 날 행사 등을 통해 안전마인드를 정립하였다. 동시에 발전소의 안전성을 정량적으로 평가하기 위한 확률론적 안전성평가를 통해 취약분야를 확인하고, 이를 개선함으로써 실질적인 발전소 안전성 향상을 도모하고 있다.

### 원전 운영 및 절차 준수를 생활화

우리나라가 세계 최고수준의 원전 운영능력을 확보할 수 있기까지는 어려운 여건 속에서도 국가 에너지산업의 주역이라는 사명감과 투철한 직업의식으로 무장한 원전 종사자들의 헌신이 무엇보다도 큰 기초가 되었음을 부정할 수 없다. 특히 원전 안전운영과 이용률 향상의 최전방을 책임지고 있는 원전조종사들은 강화된 모의제어반 실습훈련을 통하여 비정상 대응능력을 계속 향상시켜 나가고 있다. 또한 이들을 대상으로 100대 핵심직무를 선정하여 핵심기술을 보전하고 공유함으로써 국제 경쟁력을 갖춘 핵심 전문가로 육성하고 있다.

교육훈련 통합관리시스템을 구축하여 직무수행능력인증 제도의 운영기반을 확보하였다. 또한 미국 전력연구원(EPRI)의 User's Groups과 설비별 전문가그룹 운영을 통해 직무역량을 강화하고 직무 전문성을 확보하는 노력도 기울이고 있다.

앞으로도 우리는 세계 최고 수준의 이용률을 지속적으로 달성하기 위해 최고 품질의 설비를 유지해야 한다. 이 밖에 최신 절차서에 의한 완벽한 운전, 철저한 방사선안전관리 및 비상대응능력 강화를 통하여 안전 최우선 운영방침을 시현해 나가는 것이 바람직하다. 또한 변화와 혁신을 주도하는 관리자의 솔선수범과 강화된 리더십으로 원전운영의 새로운 패러다임을 정립해야 한다.

더하여 최상의 설비신뢰도 확보를 위한 엔지니어링 역량 강화, 원전조종사 직무역량 및 정비요원 워크맨십 향상 등 원전운영 인프라 고도화를 위한 노력을 계속 추구해 나가야 할 것이다.

#### 4-4. World's Highest Capacity Factor Achieved by Korean Nuclear Power Plants

The average capacity factor of 20 operating nuclear power plants in Korea recorded 91.2 percent in 2010, far higher than the world average of 76 percent, recognized as the world's best performer. The capacity factor, regarded as an indicator to show the efficiency and effective utilization of nuclear power plants, is used to measure the integrity of nuclear power plant facilities and the capability of operators. The capacity factor had stayed at around 70 percent from 1978, when the first nuclear power plant, Kori unit 1 went into commercial operation, until 1990. However it improved to around 80 percent in the 1990's thanks to technological improvement in operation and

maintenance and accumulation of operational experience and improved skills. Owing mainly to this continuing effort, the capacity factor higher than 90 percent has been maintained since 2000.

Also the high performance of domestically manufactured nuclear fuels has made a good contribution to the achievement of this world's top capacity factor. Statistics show that the defect rate of domestic nuclear fuels is equal to or even lower than that of the US' fuels.

#### 4-5. 방사선 및 방사성동위원소 이용분야의 신산업 창출

방사선 및 방사성동위원소 이용기술은 의학, 공업, 농업, 환경, 식품생명, 우주과학 등 산업 각 분야에 걸쳐 광범위하게 적용되고 있으며 부가가치가 매우 높고 성장잠재력과 수요가 급속히 증가하고 있다. 이에 따라 2000년대 이후 우리나라에서도 방사선 및 방사성 동위원소 이용 분야에 대한 투자가 꾸준히 증가해 왔으며, 다양한 산업분야에 활용이 늘어나면서 신산업을 창출하고 있다.

방사성동위원소 이용기술은 국내 원자력기술의 태동과 역사를 같이하고 있다. 1962년 국내 최초로 도입된 연구용 원자로인 TRIGA Mark II (250kW)를 이용한 기술개발부터 기초기술이 개



〈4-6〉 방사성동위원소를 이용한 다양한 의료제품들

발되기 시작하여, 1995년 국내 유일의 고성능 연구로인 하나로의 가동과 더불어 본격적으로 국내에서도 대량의 방사성동위원소 생산이 시작되었다. 현재는 이들 연구개발 결과 중에서 일부가 실험실 수준을 벗어나 민간으로 기술이 이전되어 사업화되고 있다.

대표적인 예로서 국내 신약 3호로 등록된 간암치료제 밀리칸주와 세계 비파괴검사선원 시장의 10%를 점유하고 있는 Ir-192 비파괴검사선원 (2009년도 20만 Ci 공급)을 들 수 있다. 특히 Ir-192 비파괴검사선원의 경우 수년 내 40만 Ci 이상이 생산될 것으로 보여 국제 서열 3위의 생산



〈4-7〉 신약으로 등록된 간암치료제 '밀리칸주'



〈4-8〉 진단 방사선의약품 생산 장면

기업으로 성장할 것으로 보인다. 더불어 치료용 방사성동위원소 및 방사선원 분야에서는 암치료용 방사성의약품 제조에 이용되는 Re-188 발생기 제조기술과 자궁경부암 및 유방암 치료에 이용되는 근접치료용 Ir-192 방사선원 제조기술 등 신기술이 민간으로 이양되어 사업화가 진행되어, 해외기술 의존을 벗어나 기술자립이 이루어지고 있다.

이 기술들은 이미 국제적으로 선도적 수준에 도달하여 앞으로 수출산업으로도 성장할 것으로 판단하고 있다. 방사성동위원소 생산장비의 수출산업화도 현재 진행 중이다. 한국원자력연구원에서 개발한 다양한 방사성동위원소의 생산 장비의 수출은 현재 한국원자력연구원 자체적으로 수출을 추진하고 있지만, 사업규모가 확대될 경우 민간 주도형 사업으로 성장할 것으로 전망된



〈4-9〉 연구용 원자로 하나로에서 생산된 방사선동위원소를 제품화 하는 장면

다. 2009년도 한 해 동안 10여 건의 수출 상담이 이루어 졌으며 올해에 가시적인 수출성과도 기대된다.

방사선 이용 분야에서는 1966년 방사선농학연구소(1973년 한국원자력연구소로 통합) 설립 이래 돌연변이 육종과 식품조사 등의 연구와 산업적 활용이 지속되어 왔다. 특히 2000년대에 들어와 첨단기술과 방사선기술을 접목한 방사선융합기술(RFT) 연구 개발이 방사선과학연구소를 중심으로 활발히 이루어져, 그 성과물들이 우리의 생활과 밀접한 첨단 산업 분야에 널리 활용되고 있다. 그 사례로서 방사선 고분자 가공기술을 이용하여 고품질의 화상치료 및 아토피 피부염 치료용 하이드로겔과 인공고관절 소재 등을 개발하여 보건 관련 기업에 기술을 이전하여 상용화한 바 있다. 또한 환경오염의 주범이 되고 있는 폐절연유의 PCBs를

전자빔을 이용하여 제거하는 기술을 개발 산업화함으로써 깨끗한 환경을 지키는데 한 몫을 하고 있다.

생명과학분야에서는 전통적인 방사선 식품조사에서 더 나아가 방사선기술을 이용한 고부가가치 바이오 소재를 개발하고 있다. 그 결과 고순도 고효성 녹차추출물 제조기술, 천연 항산화물질인 메이신 대량 생산



〈4-10〉 동위원소를 이용한 신품종 개발

기술, 수용성 프로폴리스 생산기술 등이 개발되어 건강기능식품과 화장품 등 고부가가치 바이오제품으로 상용화되고 있다. 또한 방사선 치료의 부작용 경감을 위해 개발된 생약조성물 ‘헤모힘(HemoHIM)’은 현재 면역기능개선 건강기능식품으로 상용화되어 연 70억원에 달하는 매출을 달성하고 있으며, 미국 등 해외에도 수출되고 있다.

한편 방사선육종기술을 이용하여 ‘골드아미 1호’ 등 벼 신품종, ‘조생서리’ 등 콩 신품종, ‘꼬마’ 등 무궁화 신품종을 개발, 농가에 보급하여 나날이 치열해지고 있는 국가 간 종자 지적재산권 확보경쟁에 대응하고 농업분야의 국제경쟁력을 키우고 있다.

이와 같이 방사선 및 방사성동위원소 이용 분야의 산업화를 더욱 촉진하기 위하여 2015년 완공을 목표로 전북 정읍에 RFT 첨

단과학산업단지를 조성 중에 있다. 2020년경에는 1만 명 이상의 고용 창출, 연간 2조원 이상의 산업육성, 기술혁신을 통한 지역특화발전의 기대효과를 예상하고 있어 명실상부한 방사선이용 신산업 창출의 메카로 성장할 것으로 기대된다.

#### 4-5. Promotion of New Industries Through Radiation and Radioisotope Applications

Radiation and radioisotopes application technology is being widely used for industry of medicine, engineering, agriculture, environment, food processing, biology, space, etc. and expected to create new industries.

Uses of radiation and radioisotope application technology began when Korea introduced its first research reactor, TRIGA Mark-II in 1962. And further the operation of multi-purpose research reactor, HANARO which was developed and constructed by Korea's indigenous technology, could produce and supply many important radioactive isotopes replacing those imported so far from overseas suppliers.

The most prominent achievement made so far in the radiation technology development could be Milican Injection which was developed in 2001 and approved as the new pharmaceutical number 3 by the Korea Food and Drug Administration(KFDA). In addition, the manufacturing technology of Re-188 generator that produces nuclear medicines for cancer treatment and also the

manufacturing technology of Ir-192 that is applied to cervical cancer and breast cancer treatment could be listed as other noteworthy achievements.

The Korean government set up Jeongeup Advanced Radiation Technology Institute as an affiliate of KAERI in 2005 to lead radiation technology R&D combining with biotechnology, environmental technology, information technology, nano-technology and space technology. The Institute is now carrying out various R&D projects with the installation of many state-of-the-art facilities including gamma irradiation facility, gamma cells, an electron accelerator, and various analysis equipment for R&D.

## 제5장 해외 수출 성공 사례

5-1. UAE에 상업용 원전 수출

5-2. 요르단 연구용 원자로 수출

5-3. 원전 핵연료 부품수출 성공사례

5-4. 비파괴검사수출 성공사례

제5장

“

# 해외 수출 성공 사례

Success Story of NPP and Research  
Reactor Export

“

## 5-1. UAE에 상업용 원전 수출



UAE는 2020년의 전력수요가 현재의 15,000 MW에서 40,000 MW로 늘어날 것으로 예측하고 원자력을 차세대 에너지원으로 설정하였다. 이것은 지속적인 경제성장과 에너지안보를 강화할 수 있도록 환경적 측면과 상업적 효율성을 고려한 것이다. 이에 따라 2008년 5월 UAE는 중동지역 최초의 원전건설 프로젝트를 발주하기 위해 전 세계에서 원자력을 수출할 능력이 있는 한국을 포함 6개국 9개사를 순회하면서 예비실사를 한 바 있다.

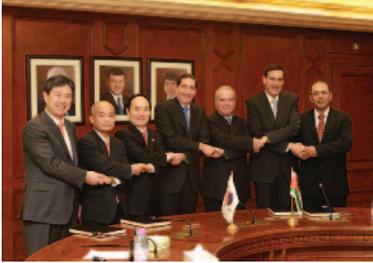
UAE는 사전 예비심사를 통해 철저한 원전입찰업체 분석을 한 후 한국전력, AREVA, GE, Westinghouse, Hitachi, Toshiba, Mitsubishi 등 세계 20개국 190여명을 대상으로 2009년 2월 초 중동지역에서 최초의 원전건설 국제공개경쟁입찰 설명회를 개최하였다. 우리에게만 한국형원전 수출을 위한 첫 걸음을 알리는 신호탄이었다. 그러나 한국전력은 보수적이고, 기동력이 없으며, 신의 직장이라는 마녀사냥 식 비난을 받으며 절대로 초대형 해외 원전사업을 수주할 수 없다는 분위기가 국내에 팽배해 있었다.

그러나 한국전력은 어려운 분위기를 누르고 민간기업보다 더욱 잘 할 수 있다는 투지와 오기로 험난한 여정을 시작하였다.

거대 원전공급자인 웨스팅하우스는 1라운드 입찰자격 서류를 준비하는 기간 중 한국수력원자력, 두산중공업, 현대 등과 접촉하며 이들을 자사 콘소시엄에 포함시키려고 하였다. 그러나 국내 산업체는 한국전력을 중심으로 뿔뿔 뭉쳐 한국콘소시엄을 구성하고 한 달 반 만에 영문 1,200페이지에 달하는 입찰서류를 제출하면서, 골리앗 웨스팅하우스를 누르고 AREVA, GE-Hitachi 콘소시엄과 함께 1차 관문을 통과하는 기염을 토했다. 이렇게 웨스팅하우스를 쓰러뜨린 것이 우리에게서 UAE 원전사업을 따낼 수 있었던 기폭제가 되었다.

### 야전침대 생활하며 1,800쪽 ‘명품’ 입찰 제안

세계 원전전문가들은 제 1라운드를 통과한 3개 팀인 프랑스의 AREVA, 미국과 일본의 콘소시엄인 GE-Hitachi와 한국전력을 놓고 수주가능성을 6대 3대 1이라 얘기하며, 한국전력의 우승은 계란으로 바위치기라는 냉소를 보내기도 하였다. 하지만 우리는 총성 없는 전쟁을 시작하였다. 한전은 ‘원전수출, 한방에 끝내자’라는 단호한 의지로 본사 지하2층에 UAE 원전사업 입찰전담반(위룸:War Room)을 운영하였다. 대북경수로사업에 참여한 경험이 있는 한국전력 직원들이 중심이 된 약 80명의 한국전력의 자회사인 한국수력원자력, 한국전력기술, 한전원자력연료와 협력사 및 글로벌 기업인 Bactel의 관계자들은 주말과 밤낮을 잊은 채 야전침대생활을 하며



〈5-1〉 요르단과 연구용 원자로 수출 조인식 후 기념촬영

영문 1,800페이지의 세계 최고명품 입찰제안서를 탄생시켰다.

2006년에 종결된 대북경수로(KEDO)사업은 UAE 원전사업 수주를 가능케 한 진정한 효자노릇을 하였다. 비록

KEDO사업이 끝까지 진행되지 못해 아쉬웠지만, KEDO집행이사국인 미국, 일본, EU 등과 치열한 전투를 통해 얻은 해외사업 경험 및 수백 종의 영문자료, 계약서들은 UAE 원전사업 수주에 큰 밑거름이 되었다.

한국전력은 UAE 원전사업 수주를 위해 30년간의 원전건설 및 운영경험과 노하우를 최대한 보여주었다. 거기에 더하여 UAE측의 감동을 이끌어 내기위해 UAE 국민이 좋아하는 황금색으로 엘리베이터를 꾸몄고 서툴지만 간단한 아랍어를 배워 응대하였다. 또한 상대국의 문화를 이해한다는 차원에서 벨리 댄스를 배우기도 하였으며, 아랍의 전통에 따라 도축한 후 증명서를 첨부한 할랄 미트로 식사를 준비하였다. 이렇게 사소한 것까지 정성을 다해 발주자의 마음을 사로잡은 것도 수주에 큰 보탬이 되었다.

UAE 원전사업 입찰과정은 피를 말리는 시간의 연속이었다. 관계자들은 10개월 동안 수십여 차례에 걸쳐 UAE 아부다비로 날아

가 최종 사업자 선정 시까지 UAE전력공사(ENEC)와 계약협상을 하는 등 주로 무박 3일의 일정으로 강행군을 했다. UAE 입찰평가단은 한국전력의 불굴의 투지와 열정에 놀랐다. 위 립을 구성하여 입찰준비를 하는 것도 신기했고, 발주자가 요구하는 자료를 제출하는 기간도 촉박한데 모국어도 아닌 영어를 어찌 그렇게 완벽하게 다른 경쟁업체보다 한 발 앞서 제출하는지 감탄을 잊지 못할 정도였다. 그리고 협상할 때 마다 느꼈던 ‘해봅시다!’ 정신에 UAE 평가단은 완전히 매료되었다.

당초 2009년 9월에 최종 사업자를 선정하기로 예정되었던 일정이 12월말까지 늦춰지면서 대내외적 여론은 ‘역시 프랑스, 미국, 일본 등 원전강국의 벽을 넘기가 쉽지 않겠구나’ 라는 분위기가 감돌았다. 지상전에서는 우리가 선전하였으나, 프랑스와 일본은 공중전을 통해 융단폭격을 하며 전세역전을 꾀했다. 우리는 수주원전의 가격경쟁력과 기술력은 인정받았지만 정치 외교적 역량이 프랑스, 미국, 일본에게 밀린다는 생각을 떨쳐버릴 수 없었다. 또한 UAE의 고등훈련기 수주 실패, UAE 투자회사와 현대중공업간 지분매입관련 국제소송, UAE 에티하드 항공사 운항협상 난항 등 외적인 장애요인도 많았다.

UAE 원전사업은 총 4기 5,600MW급 규모로 단일 최대금액인 약 200억 달러에 달하는 초대형 프로젝트로 2017년 5월 1일까지 최초호기를 준공해야 한다. 우리는 첫 출전에서 단번에 주행선이 아닌 추월선을 통해 원전 최강국들을 누른 것이다. 민간 CEO출

신인 이명박 대통령의 실질적 정상외교 등 정부, 원자력산업계, 학계 등이 하나가 되어 단합된 노력과 희생을 바탕으로 최종 승리를 이루어 냈다. 세계는 프랑스, 일본 등 메이저가 약체라고 생각한 한국에게 패한 사실로 충격에 휩싸였다. UAE원전 수주는 에너지의 97%를 수입하는 국가에서 원전수출을 통해 산유국에 버금가는 위상을 정립한 역사적 거사이다. 그러나 첫 해외 원전수출이라는 감격에만 젖어있지 않고 우리는 이 프로젝트를 시작하면서 마음에 지녔던 각오를 새롭게 다져 세계 최고의 명품 한국표 준원전을 UAE에 건설할 수 있도록 최선을 다 해야 할 것이다.



〈5-2〉 요르단에 수출될 연구용 원자로의 원형인 하나로

## 5-2. 요르단 연구용 원자로 수출

세계적인 원자력 르네상스에 따라 새로 원자력을 이용하려는 국가가 크게 늘고 있는데, 이들은 상용 원전을 도입하기에 앞서 원자력 기반 구축의 일환으로 연구용 원자로를 먼저 건설하기를 희망하는 경우가 많다.

한국원자력연구원은 요르단원자력위원회(JAEC: Jordan Atomic Energy Commission)가 발주한 5MW 연구 및 교육용 연구로(JRTR: Jordan Research and Training Reactor) 건설사업 국제입찰에 참여하여 수주에 성공하였다. 이것은 한국원자력연구원이 연구용 원자로인 ‘하나로’를 자력으로 설계하여 건설, 운영해 오면서 쌓은 풍부한 경험과 기술력을 바탕으로 국내 원자력산업계와 힘을 합하여 이룩한 성과다.



〈5-3〉 요르단 연구용 원자로 건설 투시도

JRTR은 열출력 5 MW인 개방수조형 다목적 연구용 원자로로 요르단은 이를 요르단 원자력 기술확보의 시발이자 중심으로 삼아 장차 원자력 산업을 크게 육성한다는 계획을 가지고 있다. JRTR건설은 한국원자력연구원과 대우건설이 콘소시엄을 구성하여, 원자로를 포함하여 원자로 건물, 동위원소 생산시설, 교육센터 등의 건설과 요르단 인력의 교육훈련 등을 수행하는 턴키(Turk-key)계약방식의 사업이다. 건설 부지는 요르단 수도인 암만 북방 70 km에 위치한 이르비드 지역의 요르단 과학기술대학교 캠퍼스에 마련되었다. 건설공기는 56개월로서 2015년 3월에 소유자인 요르단 원자력위원회에 인도하도록 계획되어 있다.

JRTR 사업 수주는 1959년 우리나라 최초의 원자로인 TRIGA Mark-II 사업을 시작한지 50년 만에 이룬 최초의 원자로 종합 시스템 수출이다. 이것은 마침내 한국이 원자력 수입국에서 수출국



〈5-4〉 요르단 연구용 원자로 수출 조인식에 참가한 한국대표단

으로 성장하였음을 실증하는 중요한 사건이었다. 2007년 9월에 국제공개경쟁을 시작하다가 2010년 1월 입찰이 중단되고 다시 2011년 재입찰예정인 네덜란드의 80MW PALLAS 연구로 사업 입찰에 우리가 참여한 것은 세계가 우리나라를 연구로 공급국으로 인식하는 계기가 되었다. 그러한 인식은 JRTR 수주로 더욱 단단해져 원자력을 새로 시작하려는 많은 국가가 우리나라에게 연구로 건설과 관련된 직간접 협력을 구하고 있다.

한국원자력연구원이 중심이 되어 사우디아라비아, 남아공, 싱가포르 등에 연구로 추가 수출을 위해 노력 중이며, 한편으로는 세계 연구로 건설시장이 본격적으로 진출하기 위한 역량을 더욱 강화하고 있다. 즉, 열출력 용량별로 연구로의 기준 모델들을 개발하고, 세계적으로 많은 연구로가 사용하고 있는 판형핵연료의 제작기술을 자립하기 위한 연구개발을 적극 추진 중이다. 부지가 기장으로 결정된 신형 연구로 건설도 활발히 추진되고 있다. 이러한 계획이 완료되는 약 5년 후에 한국은 세계 연구용 원자로시장에서 기술력이 가장 뛰어나고 경험이 많은 국가가 될 것이다. 이 모든 결실들이 그 동안 열악한 상황에서도 기술을 축적하고 전문가를 양성해 낸 원자력계 전문인력의 노력의 결과이다. 앞으로의 성과는 결국 원자력 전문인력을 어떻게 확보하느냐에 달려 있다 할 것이다.

### ● JRTR 사업 수주 경과

- 2009. 2. 9. JRTR 응찰제안서(RFP: 2009. 1. 15자) 접수
- 2009. 5. 17. 입찰서류 제출 (기술 제안서, 사업비 제안서)

- 2009. 12. 4. 한국 콘소시엄, 우선협상대상자로 선정
- 2010. 1. 10. 한국 콘소시엄, 낙찰자로 선정
- 2010. 3. 30. 계약체결
- 2010. 8. 1. 사업 개시

## 5-1,2. NPP Export to the UAE and Research Reactor to Jordan

### ● NPP Export to the UAE

The United Arab Emirates(UAE) made a projection that called for its electrical capacity demands to increase to 40,000 MWe by 2020 from the current capacity of 15,000 MWe and set its course to go for environment friendly nuclear energy to support its sustainable economic development. And the UAE conducted in May 2008 a preliminary assessment on 9 companies from six countries including Korea, which were considered to have export potentials, for the construction of nuclear power plants the first time in the Middle East.

After the preliminary assessment the UAE chose 3 candidates such as Korean consortium led by KEPCO, AREVA and GE-Hitachi consortium in the evaluation of the first round pre-qualification review in February 2009.

Even though the project implemented by the Korean Peninsular Energy Development Organization (KEDO) in North Korea was terminated in 2006, the project contributed greatly to the success in winning the contracts for the

UAE project. When the Korean consortium was preparing the necessary documentations they could draw a lot of useful informations from the KEDO project such as overseas project experience, hundreds of related materials and contract papers prepared and formalized by executive board member countries of the KEDO.

Ultimately the Korean consortium won the contracts for four units of APR-1400 in December 2009, with a contract amount well over 20 billion US dollars.

This kind of contract award was possible because the Korean consortium was assessed to have the capabilities to successfully construct and operate nuclear power plants, which are superior or at least equal to those of global leading suppliers such as Westinghouse, AREVA and GE-Hitachi.

### ● Research Reactor Export to Jordan

It is a worldwide trend that many countries are increasingly interested in introducing nuclear power as a means of acquiring environment friendly energy source and energy security at the same time. It is also true that many of these countries consider to build a research reactor prior to commercial scale nuclear power plant with an aim to lay a technology foundation for nuclear energy.

Based on its experience in construction and operation of the research reactor HANARO with its own technology, KAERI set up a consortium with Daewoo E&G and won the contracts at the end of 2009 for a 5MW Jordan Research and Training Reactor(JRTR) proposed by the Jordan Atomic Energy Commission(JAEC).

JRTR is a multi-purpose research reactor that can be used for education, research and radioisotope production, etc. Jordan has a master plan to promote nuclear industry based on this JRTR. It is located in the campus of Jordan University of Science and Technology(JUST) at Irbid, 70 Km north from Amman, the capital city of Jordan. The contract is a turnkey basis and construction time is 56 months. This research reactor will be turned over to the JAEC in March 2015.

Winning the contract for JRTR is the greatest achievement made in 50 years since the introduction of the first research reactor TRIGA Mark-II, into Korea in 1959. It served as a landmark for Korea to turn from nuclear importer to exporter. Starting with this JRTR contract, Korea expects to participate in the construction of research reactors in other countries.

Currently, KAERI is making good efforts to export research reactors to Saudi Arabia, South Africa, the Netherlands and Singapore, etc. For this purpose, KAERI is developing various reactor models that can be fitted to specific purpose and also to meet the demands of different thermal power. It has already completed the development of plate type fuels which are widely used in research reactors all over the world.

### 5-3. 원전 핵연료 부품수출 성공사례

우리나라는 원전핵연료 국산화를 위해 1982년 한전핵연료주식회사(KNF)를 설립하고 국산 핵연료를 1989년 고리2호기에 처음으로 출하하였다. 기술개발 초기인 1990년대에는 예산 및 기술 인력의 부족 등 국내 인프라가 여의치 못해 핵연료제조 분야의 국산화에 국한하였다고 볼 수 있다. KNF는 선진업체들이 국산화가 불가능할 것이라 판단했던 핵연료의 상단고정체 판스프링, 지지격자체 등 부품을 연구 대상으로 삼아 당당히 국산화 한 것이다. 이러한 성공은 2000년대 자력으로 이룩한 핵연료기술 개발의 디딤돌이 되었다.

1990년대 핵연료의 부품 국산화에 성공한 KNF는 2000년대에 들어 또 다른 도전을 시작하게 된다. 그것이 바로 신형 국산핵연료의 개발이다. 당시 자체적으로 핵연료를 개발한 적이 없는 KNF는 선진기술을 보유하고 있는 미국의 웨스팅하우스와 공동으로 한국의 표준원전인 OPR1000 및 APR1400형 원전에 사용될 PLUS7 핵연료와 웨스팅하우스에서 도입한 원전에 사용될 ACE7 핵연료를 개발하는 프로젝트를 수행, 이를 성공시킴으로써 KNF는 당당히 핵연료기술의 소유권을 보유하게 되었다. 이 핵연료는 개발과 동시에 국내 원전에 장전되어 우수한 연소결과를 내었을 뿐 만 아니라 연료 손상률도 현저히 줄여 발전소 가동률을 세계 톱 수준으로 끌어 올리는 계기를 만들었던 것이다.

이를 통해 KNF는 국내의 우수한 핵연료설계제조기술을 바탕으로 해외수출에 나섰다. 이를 위해 핵연료 본체 수출에 앞서 '틈새시장 공략'이라는 부품수출의 전략을 수립하였다. KNF는 그 동안 기술을 배웠던 세계 최고의 전문회사인 웨스팅하우스와의 협상을 통해 이 회사가 공급하던 B&W형 경수로의 신형연료 개발에 사용할 지지격자 형판 및 지지격자판의 개발을 우리가 수출하는 기회를 갖게 되었다. 웨스팅하우스도 우리의 엔지니어링 및 제조공정의 품질을 인정해 준 셈이다. 이후 지지격자판은 물론이고 PLUS7 핵연료의 중간 지지격자 및 보호 지지격자 등을 계속 개발, 미국에 수출하였으며 또한 중수로 핵연료 분야에도 한국원자력연구원과 캐나다의 AECL과 공동 개발한 CANFLEX 핵연료를 생산 수출하기도 하였다.

이러한 기반을 바탕으로 2006년 9월 브라질 INB사에 16x16 STD 연료용 지지격자를 3년간 장기공급하는 계약을 체결 하였고, 미국과도 2007년 4월 WEC17x17형 상하단고정체 등의 부품 장기공급 계약을 체결하였다. 전체 부품계약은 약 1천만 달러 규모지만 이는 차기 핵연료본체 수출의 기반이 된 것이기 때문에 중요한 의미를 갖는다. 2009년 1월에는 웨스팅하우스와 그동안 미국에서 수입하던 제어봉집합체의 설계생산 합자회사를 한국에 설립하기로 하고 집합체생산라인을 건설하고 있다. 이로써 한국은 2010년부터 연간 80만 달러의 수입대체효과와 같은 금액을 미국에 수출하게 된다.

미국과의 지속적인 협력은 한국의 우수한 기술을 인정받는 계기가 되었고 한국에서 개발되고 있는 한국 표준형 원자로의 핵연료개발에의 관심을 더욱 갖게 해 주었다. 이 결과는 국내 원전의 우수한 가동률을 지원하는 동시에 외국수출의 기회를 갖게 하였다. 결국 2009년 말 UAE에 한국 표준원전 핵연료의 실비정산까지 포함하여 총 19억불의 수출을 하게 된 것이다.

### 5-3. Export of Nuclear Fuel Components

Korea established KEPCONF in 1982 to supply and to localize nuclear fuels and KEPCONF supplied localized PWR fuel to Kori unit 2 for the first time in 1989. In the early 1990's, however, Korea focussed more on the localization of high-technology components such as top nozzle hold down springs and grid assemblies, etc.

In the 2000's, KEPCONF made all-out efforts to develop advanced indigenous Korean nuclear fuels. For this purpose, it successfully developed, in collaboration with Westinghouse, advanced nuclear fuels called PLUS7 for OPR-1000 and APR-1400 and ACE7 for existing W type nuclear power plants.

Nuclear fuels developed and manufactured by KEPCONF demonstrated excellent burn-up performance and at the same time made a great contribution

to the enhancement of capacity factor of the domestic nuclear power plants to the world's best by significantly reducing the defect rate of nuclear fuels.

Currently middle clamping grids and protective grids of PLUS7 are exported to the USA, Brazil, etc. and advanced heavy water reactor fuel, called CANFLEX, developed jointly with AECL of Canada is now fully ready for use at domestic CANDU reactors and also ready to export to overseas market.

#### 5-4. 비파괴검사수출 성공사례

우리의 최초 원전인 고리1호기는 계약방식이 턴키로서 설계에서부터 발전소 완공에 이르기 까지 모든 것이 원자로공급자인 웨스팅하우스의 책임하에 이루어 졌다. 계약상 기술자립을 위한 접근에 어려움이 많았고 또한 기술인력, 장비 등 국내인프라도 따르지 못했다. 원전건설의 건전성을 확인하기 위한 방안으로 건설완성단계에서 시행하는 가동 전 검사(PSI, Pre-Service Inspection)가 있다. 한국은 이 분야의 기술자립을 위해 1980년대에 별도의 노력을 하게 되었는데 한국원자력연구소(KAERI)가 미국의 SwRI(Southwest Research Institute)의 기술을 습득하여 기술자립을 한 것이다. 이를 근간으로 국내원전의 PSI는 물론 원전의 가동 중 검사(ISI, In-Service Inspection)까지도 국내 인력으로 수행할 수 있게 된 것이다. 건전성을 확인하는 검사내용을 요약하면 주요배관의 수동 및 자동 비파괴 검사, 원자로압력용기의 건전성에 관한 비파괴검사,



〈5-5〉 원자로 부품의 비파괴검사

증기발생기의 세관검사 및 평가업무 등이다.

중국의 원자력발전소 건설은 자력으로 300MW급의 경수로설계를 시작하면서 부터이지만 상용 대형 원전 건설은 1980년도의 프랑스 제품 900MW급 광둥1·2호기 원전을 도입하면서부터다. 중국은 PSI 분야의 기술자립을 위한 목적으로 광둥원전에서 한국의 기술을

이용하려 하였고 KAERI는 자연스럽게 기술수출 전선에 참여하게 되었다.

당시 우리는 중국을 중공이라 부르고 양국 간에는 국교가 없던 시절이다. 그러나 입국비자는 쌍방이 주고받는 편지로 가능했으며 결국 양국 간에 PSI 계약이 성사되었는데 당시 금액으로 약 50만달러였다. 이 계약은 금액이 많고 적음을 떠나 한국에서 처음으로 외국에 상용원전 기술의 일부를 수출하는 기회를 가졌는데 그 의의를 찾을 수 있다.

이 분야에서 중국과의 두 번째 협력은 1994년, 광둥원전의 ISI에서이다. 즉 PSI에서 그들이 우리의 기술을 이미 습득한 바 있지



〈5-6〉 원자력발전소의 가동전 비파괴검사를 실시하고 있다

만 ISI는 처음이기 때문에 다시 KAERI에게 요청한 것이다. 두 번째의 기술협력은 기술자문 분야를 희망하였다. KAERI 입장에서 보면 기술수출계약은 나쁘지 않지만 우리기술이 완벽하게 외국에 전수되는 것에 문제가 있다고 보고 최소한의 자문만 하기로 하고 협상을 추진하였다.

당시에도 정부 간 국교 정상화가 진행 중이었지만 공식적으로 열리지 않았다. 계약금액은 1차와 비슷한 약 50만달러 이었으며 한국과 중국의 1인당 인건비는 20:1이었다고 기억 된다.

같은 해, 이 분야에서 또 다른 기술수출은 미국 원전에 한국의 기술자가 진출하는 계약이 이루어 졌다. 원전의 건전성 확인에 가장 핵심적인 부분은 증기발생기의 세관누수 여부를 확인하는

것인데 와류검사를 통해 건전성을 평가한다.

이 기술은 당초 미국의 ZETEC으로부터 도입하였는데 몇 년이  
가지 않아 우리 기술진의 실력을 ZETEC이 인정하고 협력협약을  
체결한 것이다. 계약내용은 미국 내 원전에 우리의 기술진이 진  
출하여 증기발생기 세관평가를 하는 것이었다. 당시 미국의 인건  
비는 한국에 비해 약 1.5~2배 높았으므로 양 기관 간의 협력협  
약이 무리 없이 성사된 것이다. 이 계약을 통해 미국의 여러 원전  
과도 협력을 하였고 심지어 핀란드 원전에도 양 기관의 인력이  
공동으로 팀을 구성하여 ISI를 성공리에 완수하였다. 한편, 1990  
년대 후반, 한국원자력연구소는 담당사업부의 PSI/ISI업무를 벤  
처기업으로 키워 아웃소싱 하였다.

## 제6장 타 산업부문 파급 효과 등

6-1. 전력산업 기술기준 제정

6-2. 품질보증계획 파급사례

## 제6장

“

# 타 산업부문 파급 효과 등

Ripple Effects on Other Industries

”

## 6-1. 전력산업 기술기준 제정



기술기준이라 함은 기술계의 육법전서와 비슷하여 기술인들이 작업할 때 기본으로 삼고 인용하는 원칙이다. 진시황이 천하를 정복할 때 서두른 것이 화폐, 도량형, 무기, 도로, 군 체제와 행정 조직, 심지어 문자까지 통일하는 작업이었다. 산업혁명이 빠르게 발전하고 그것이 이웃나라에 제대로 전파될 수 있었던 것도 기술적 기준이 확립된 까닭이었다. 기술기준은 기술사회가 거울로 삼는 기술맞춤법이라 할 수 있다.

우리 전력업계가 만드는 KEPIC (Korea Electric Power Industry Code)은 미국의 ASME나 IEEE, 유럽연합의 전력기준, 프랑스의 RCC와 마찬가지로 원자력, 화력 및 전력 산업계에서의 설계, 제작, 조립, 건설, 시험, 검사, 운전, 보수, 폐로에 이르는 전 분야의 원칙과 절차를 규정한 기술기준 (Codes and Standards)이다. 1980년대 후반 한국전력기술 (KOPEC)은 KEPIC 개발의 필요성을 원자력학회에 건의했고 건의를 받은 학회장(당시 이병휘 박사)이 과학기술처와 산업자원부에 건의, 국가차원에서 이의 개

밭에 손대게 되었다.

### 기술기준 확립은 경비 절감 직결

1990년대 초 울진 원전 1·2호기의 냉수압시험(Cold Hydro Test)때의 일이다. 한국전력은 이 시험 검사를 먼저 건설된 다른 원전에서와 마찬가지로 미국기술기준에 따라 수행한 다음 그 원전에 대한 운영허가를 신청했다. 그러나 과학기술처는 울진 원전 1·2호기는 프랑스의 기술기준에 따라 설계·제작·건설된 것이니 마땅히 프랑스의 해당 기술기준에 맞춰 실험하는 것이 원칙이라고 회신했다. 그러자면 발전회사는 1차 냉각계통 파이프 둘레의 절연체를 뜯어내고 거기에 측정기를 다시 설치해야 하므로 몇 달간의 실험기간과 몇 백만 달러의 경비를 추가로 부담해야 했다. 그래서 규제기관과 한국전력 사이엔 갑론을박이 오고갔다. 입장이 난처해진 양측은 그 문제의 평가와 판단을 원자력학회에게 의뢰하였다. 그러자 원자력학회장(당시 이창건 박사)은 기계, 재료, 파괴전문가와 함께 논의, 당면 문제를 해결한 바 있다.

원자력 및 화력발전에 관련된 기술기준개발을 촉구한 원자력학회의 요청에 따라 과학기술처와 산업자원부는 그 필요성엔 동감했으나 사업추진 경비마련이 묘연했다. 그래서 두 부처는 기술기준의 최대수혜기관이 될 한국전력에게 경비부담을 요청했고 그 일의 추진기관으로 전기협회를 지정했다.

전기협회는 기계학회, 전기학회, 토목(구조)학회, 화재예방학

회, 원자력학회, 품질보증학회에게 전문가 차출을 의뢰했다. 6개 학회는 350여명의 공학계 교수 및 현장 전문인력을 선발했는데 교수와 기술전문가 비율은 대략 2:1이었다.

기술기준개발을 추진하면서 다음과 같은 문제점이 제기됐다. 첫째, 경비를 한국전력이 부담하니 결과물이 한국전력의 기술기준이 될 우려가 있으므로 이것을 국가 내지는 전력업계 전체의 기술기준이 되게 하기 위해 정부를 비롯한 수익자 전부가 경비를 부담해야 한다. 둘째, 교수의 비율이 높아 현장을 무시한 이론위주의 기준이 될 우려가 있으므로 인력 비율은 현장인력 위주로 개편하라는 점이다. 추진기관은 즉각 현장의 소리를 반영해 주요 문제점을 시정했다.

### 현장의 경험을 적극 반영기로...

KEPIC 개발은 3단계로 추진되었다. 첫째는 외국의 예를 참조해 기술기준의 초안을 작성하는 분과위원회 작업이다. 분과위원들은 상호 초안을 심의, 검토하여 그것을 전문위원회에 상정한다. 그러면 전문위원들이 재차 심의·수정·보완하여 다수결로 안을 의결한다. 마지막 단계인 전력기준정책위원회에서는 내용이 타 위원회와의 균형이 잡혀 있는지, 향후 개발방향과 보조를 맞출 수 있는지, 우리나라 산업발전에 기여할 것인지를 고려하여 최종 결정한다.

분과위원회는 30여개에 이르고 전문 위원회는 기술품질, 원자

력, 원자력 발전기계, 화력발전기계, 전기 및 계측제어, 구조, 화재 및 환경보존의 7개로 구성되어 있다. KEPIC의 결과물은 매 5년마다 간행되나 추록 (Addenda)은 중간단계에서 수시로 발행되고 현장과 위원회 간에 오고간 질의와 회신은 나중에 다수결로 의결된다.

2005년판 KEPIC에선 330여 종의 기술기준이 다뤄졌고 그 두께는 약 3.3 m에 이른다. 2010년 판에선 그간 빠진 품목의 제정과 함께 국제시장에의 진출을 감안하여 영문 번역판을 간행하기도 했다.

### 원자력 설계 수출은 국내 기술의 국제공인 효과

UAE에 APR1400을 수출한 것은 국제사회가 KEPIC을 받아들이고 공인했다는 뜻이고 외국에선 20년 전부터 기술기준 제정에 뛰어들 우리를 굉장히 부러워하고 있다. 우리는 KEPIC이 국제사회에서 널리 쓰이고 있는 기준과 같거나(Identical) 조화(Harmony)를 이루어 국제시장에서 KEPIC이 선도적 위치에 오르도록 꾸준히 노력해야 할 것이다.

## 6-1. Development of Korea Electric Power Industry Code

Codes and Standards of technical community can be compared to a Compendium of Laws or a complete book of the six Major Laws of Korea.

They are the principles referred to as basis when technical people perform their work. When the first emperor of China, Qin Shi Huang conquered the world he hurriedly pushed the work to standardize everything, starting from money, weights and measures, weapons, road, military structure and administrative organization, up even to Chinese characters. The Industrial Revolution could make fast development and spread well to neighboring countries because the technical standards were well established at that time. Codes and Standards can be said as technical grammar that a technical society should follow as good rules.

KEPIC (Korea Electric Power Industry Code) developed by Korean electric community provides basically the same services, in nature, as any internationally recognized industrial codes and standards such as ASME and IEEE of the US, Electric Codes and Standards of EU, and RCC of France. KEPIC, which is designed for nuclear, fossil and electric industry to follow, provides codes and standards that prescribe necessary principles, requirements and procedures which should be applied to all across work areas such as design, manufacturing, fabrication, construction, test, inspection, operation, maintenance, and decommissioning of nuclear power plant. In the late 1980's KOPEC proposed to Korean Nuclear Society(KNS) for the development of KEPIC. Then the president of KNS, Dr. Byongwheel Lee proposed to the MOST and to the MOCIE so as to draw support from the government.

In the early 1990's, cold hydro test of Ulchin units 1 and 2 became a controversy. Ulchin units 1 and 2 were imported from France, but KEPICO performed this test according to the ASME code as it did with other plants

imported from the US. Then KEPCO applied to the MOST for the amendment of operating license in such a way that ASME code for cold hydro test could be applied to French design plants. But the Ministry responded that since Ulchin units 1 and 2 were designed, manufactured and constructed according to French RCC code, the test should be conducted in accordance with French code. To comply with the requirements of the Ministry, the operator should tear down all thermal insulations and protections around the primary coolant pipes and install test sensors again. That meant that the operator should bear millions of dollars and a couple of months of time in addition to the time and money it already spent. So that issue had become a controversy between the two organizations. Under such difficult situation, both sides agreed to ask the president of KNS to solve the problem. Then KNS president, Dr. Changkun Lee discussed with a team of experts in the area of mechanical and metallurgical engineering as well as fracture mechanics and recommended a reasonable solution.

At that time, KNS demanded to develop codes and standards for the areas of nuclear plant and fossil plant. The MOST and the MOCIE agreed to the need but had no idea how to appropriate the fund from the government's budget. Since KEPCO would obviously be the greatest beneficiary of KEPIC when completely developed, the two Ministries decided to ask KEPCO to bear the expenses and appointed Korea Electric Association as responsible organization to carry out the task.

The development of KEPIC is carried out in 3 stages. In the first stage, subcommittee members or working group members draw up or prepare a

preliminary draft referring to overseas examples. Then the members review and discuss each other's preliminary draft to make necessary corrections and changes. Then introduce them to main committee. In the second stage, main committee members once again perform review, make corrections and changes to the preliminary draft. Then the committee approves it as KEPIC draft by a majority vote. Then this draft is introduced to policy committee. In the last stage, the policy committee reviews whether the content is in good balance with other committees, whether it is in line with the direction for future development and whether it can contribute to the industrial development in Korea. After considering all these aspects the policy committee approves the draft as official KEPIC.

Under the KEPIC policy committee seven professional main committees are incorporated such as quality assurance, nuclear, nuclear mechanical, fossil mechanical, structural, electrical I&C, and fire protection/environmental committee. And a total of 29 subcommittees are operating under these main committees. A revised and updated code edition is published every five years. Code Addenda are issued annually and inquiries from industry and replies from KEPIC are decided by a majority vote.

In 2005 edition KEPIC, around 330 codes and standards were covered and when stacked up vertically the height comes up to 3.3 meters. In 2010 edition, those codes and standards which were not developed so far were completed and English edition was published in consideration of making inroads into international markets.

That we exported APR-1400 to the UAE means that the world community accepted and approved KEPIC, and they envy us very much that we have been successfully developing codes and standards of our own for 20 years. We have to keep striving to make KEPIC equal to or harmonized with other codes which are used worldwide, and also to make it recognized in the world market

## 6-2. 품질보증계획 파급사례

과학기술처는 30년 전 우리나라 원자력법에 미국연방정부의 원자력발전소 품질보증계획(10 Code of Regulation 50 Appendix B)에 있는 18가지 기본요소들을 구체적으로 우리법령에 반영했다. 이것은 당시로서는 이례적이고 파격적인 조치였으며 좋은 사례로 평가 받기에 충분했다. 왜냐하면 이 규정에 따라 당시 사업자는 품질보증 부서로 하여금 원자력발전소 건설에 필요한 배관 및 주요밸브 등 기자재의 공급부분을 품질실사(Quality Surveillance)하여 일일이 점검함으로써 원전에 이 기자재들을 쓸 수 있는지 여부를 철저히 확인해 나갈 수 있도록 길을 열었기 때문이다. 이 활동은 원자력 기자재의 국산화 계획 및 그 계획을 앞당기는데 기여하였다. 또 원자력등급(N-Class)으로 규정하는 원자력제품을 구분하였기 때문에 원자력발전소에 대한 신뢰가 높아졌을 뿐만 아니라 기자재 제품의 국산화가 부분적으로 조기에 이루어 질 수 있는 계기가 되었다.

## 원자력 설비·부품에 대한 제도적 인증 확립

1970년도 중반 고리 1·2 호기 건설은 턱기로 건설되어 국내에서 공급될 수 있는 것이라고는 모래와 자갈뿐이었다. 모래도 염분이 섞이면 안 되기 때문에 물로 씻어서 콘크리트를 타설 하곤 하였다. 심지어 시멘트는 ASTM 규정에서 요구한 화학적 성분이어야만 원전건설에 공급 될 수 있다. 따라서 우리나라의 시멘트를 그대로 공급할 수 없어 품질관리 절차서에 합격시킨 후에 공급할 수 있다. 이러한 과정을 거치면서 국내 시멘트의 질이 향상되었음은 물론 시멘트 산업도 크게 활성화 되었다.

또한 격납용기 차폐 벽에 들어가는 철판도 당시 포철에서 생산되는 철판을 그대로 사용할 수 없어 영국에서 공급된 자재만을 사용하였다. 그후 원전에 들어가는 기자재들의 품질요건들이 관련국제기준에 따라 만족스럽게 되었다. 따라서 후속기에 들어가는 격납용기 차폐용 철판부터 포철에서 공급할 수 있으며 이것이 또한 이 분야의 활성화를 촉진시키는 계기가 되었다.

원자력 발전의 압력배관 용접에는 적절한 자격을 갖춘 용접사에 의해 용접작업이 이뤄져야 한다. 이러한 압력배관 용접규정은 조선산업에도 똑 같이 적용되고 있었으므로 숙련된 용접사와 비파괴검사요원의 인력부족 문제가 심각한 적도 있었다.

압력용기 용접작업의 경우 용접사의 자격요건이 규정되어 있는데 AWS(American Welding Society) 규정이 그것이다. 즉,

AWS 6 G Position에 따른 수평, 수직, 및 오버헤드 등 6가지 위치 별로 인증 자격시험(Qualification Test)를 거쳐 용접사의 자격을 인정하도록 하고 있다. 또 용접작업부위를 각종 비파괴검사 즉, 방사선 투과검사(RT, Radiation Test), 침투탐상(PT, Penetrant Test), 자분탐상(MT, Magnetic Test), 초음파탐상(UT, Ultrasonic Test)를 통해 이상 유무를 판단, 합격된 인력만을 용접사 및 원전 검사자로 활용할 수 있다.

### 용접·비파괴검사등 자격인증 제도적 장치 마련

습기 찬 날의 용접활동은 기공(porosity)이 생기게 되어 용접활동을 하지 않는 것이 현장의 분위기였다. 용접사는 다른 분야의 임금과 비교하여 상당히 높았다. ‘용접사를 죽이려면 칼이 필요 없고 사흘만 비가 오면 된다.’ 라는 말이 있을 정도였다.

지금은 국가기술자격법에 의한 자격자들이 많이 배출된 상태이지만 고리 1·2호기 건설 당시 우리나라에는 용접이나 비파괴검사를 할 수 있는 자격자가 많지 않았다. 특히 비파괴검사의 경우 미국비파괴검사학회(American Society for Nondestructive Testing) Level III 자격자에 의한 비파괴검사가 이루어져야 하는데 당시 이러한 조건에 맞는 Level III 자격자가 없어 미국에서 2명의 감독관(Proctor)를 초빙하여 한국에서 Level III 시험을 실시했다. 이로써 RT, UT등 분야별로 Level III 자격자가 배출되기 시작했고 그때부터 모든 검사 기록에 이들이 서명, 날인할 수 있는 권한을 가지게 되었다. 이로부터 품질보증활동이 차근차근 정상적으로 발전되어 나갔다고 할 수 있다. 원전에서 인증된 숙련된

용접사나 검사요원은 선박건조 및 석유 콤비나트의 건설에 필수 요원으로 참여하게 되어 관련 산업 발전에도 크게 기여하였음은 물론이다.

## 6-2. Effects of Quality Assurance Program

30 years ago the MOST introduced all 18 requirements (or criteria) for quality assurance programs for nuclear facilities(ASME NQA-1), as required by the US government(10 Code of Federal Regulation 50 Appendix), into Korean laws. This legislation was regarded as very exceptional and unusual measure at that time, but was enough to be praised as a good practice, because it provided a very powerful tool for operator to assure the quality of nuclear power plant construction. Under this rule, the operator could let its QA department conduct quality surveillance to check in detail the supplied batch of parts and components such as pipings and valves needed for the construction of nuclear power plant to decide and to confirm whether these parts and components can be used for that purpose. This QA activity contributed to moving up the date for localization of nuclear parts and components and its schedule. At the same time, nuclear components were designated as nuclear grade(N-Class) and handled separately. So the trust and confidence in nuclear power plant was improved and provided an opportunity for early localization of some parts and components.

Welding on pressure bearing pipes of nuclear power plant should be done by a duely qualified welder. This kind of welding requirement is applied the same in the shipbuilding industry. Therefore, there were some times when the shortage of

qualified and experienced welders and NDE inspectors became a serious problem. In case of pressure vessel welding, the welder should be qualified by AWS(American Welding Society) standards. That is, a welder should pass all qualification tests conducted on 6 different positions such as horizontal, vertical and overhead position according to the requirements of AWS 6G Position. In addition, only those welders and welding inspectors who passed the NDE inspection tests on welded area such as Radiation Test(RT), Penetrant Test(PT), Magnetic Test(MT), and Ultrasonic Test(UT) should be allowed to work as welders and as a welding inspectors at the site.

These days, there are many welders qualified by the NTQT(National Technical Skills Qualification Testing) based on National Technical Skills Qualification Act. However, at the time Kori units 1 and 2 were under construction there were not many qualified welders and NDT inspectors in Korea. Particularly for NDT inspection, it should be done by an inspector with ASNT(American Society for Nondestructive Testing) Level III qualification. But there was no such qualified inspector in Korea. Therefore, 2 proctors were invited to Korea and conducted Level III test. Then Level III inspectors for UT and also for RT began to appear in Korea and to have authority to sign on all test records. From then on Quality Assurance activities grew steadily in Korea. Those welders and inspectors qualified and experienced at nuclear power plant construction could participate in shipbuilding and construction of petrochemical complex as essential personnel. So it should be noted that they also made great contributions to the development in other industries.

## 제7장 교훈사례

### 7-1. 굴업도 방사성폐기물관리사업 추진

제7장

“

# 교훈사례

Lessons Learned

“

## 7-1. 굴업도 방사성폐기물관리사업 추진



방사성폐기물관리사업(이하 방폐물사업)을 추진하기 위해 1983년 과학기술처가 원자력위원회 주관으로 방폐사업 특별분과위원회를 구성한 것이 사업의 출발이었다. 분과 위원회는 ‘방폐물처리 처분대책안’을 수립, 원자력위원회에 보고하였고 제 211차 원자력위원회에서 그 기본계획을 확정하는 바 있다.



〈7-1〉 방사선 폐기물 처분장 확보를 위한 공청회(1995.1.25, 인천시)

확정된 기본계획은 중·저준위 방폐물처분에 대해서 육지처분을 원칙으로 원전부지가 아닌 외부부지로 하고 운영경비는 방폐물 발생자가 부담하며 관리는 별도의 비영리기관에서 전담하도록 했다. 그리고 제213차 원자력위원회는 전담기구로 우선 한국핵연료(주)를 지정했다. 이 사업계획은 관련 원자력법이 보완된 후 1988년 원자력위원회에서 사용후핵연료의 중간저장시설을 포함한 구체적인 방침을 결정하게 되는데 여기에는 방폐물사업 소요자금이 기금으로 규정화되었다. 또한 사업주체가 한국핵연료(주)에서 한국원자력연구소로 바뀌면서 추진체제를 강화하여 연구소에 부설연구소를 두었으나 이는 곧 환경관리센터의 부설 독립기구로 바뀌었다. 이렇게 강화된 조직으로 방폐물사업부지를 선정하는 업무가 본격 추진된 것이다.

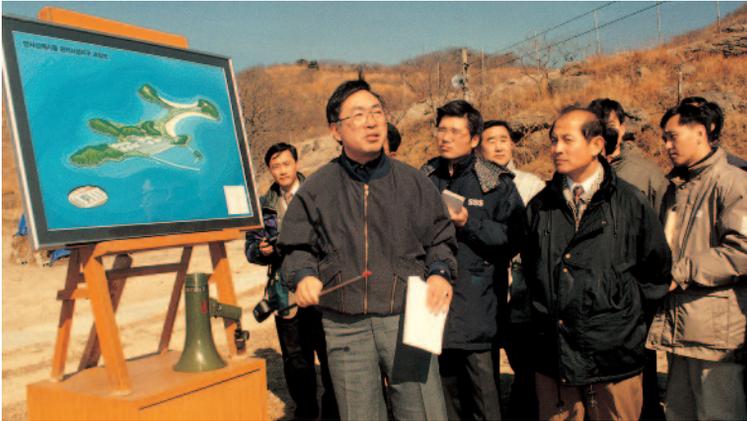
1986년부터 시작된 부지확보노력은 19년간의 실패를 거듭하면서 원자력사업 성장에 큰 장애요인이 되었다. 특히 1990년의 안면도의 폭력사태, 장안, 부안소요사태, 그리고 굴업도사업의 지정고시 해제를 거치면서 마침내 2005년 11월 주민투표의 형식을 통해 중·저준위방폐물사업 최종부지로 경주가 선정되었다. 돌이켜 보면 방폐장부지 선정문제는 사회과학적인 문제로 우여곡절이 뒤따랐지만 이런 과정에도 불구하고 경주에 부지를 마련할 수 있었던 것은 과거의 실패에 따른 교훈이 우리에게 좋은 밑거름이 된 것으로 볼 수 있다. 굴업도사업은 성공하지 못한 사업이기는 하지만 정부에서 공식적인 지정고시까지 하고 해당지역에 500억원의 특별지원금이 투입되었고 법적 절차와 공정에 따



〈7-2〉 안면도 주민의 반대시위



〈7-3〉 부안의 방폐장 반대 소요사태



〈7-4〉 원자력연구소는 굴업도의 방사성폐기물 관리시설에 대한 설명회를 열었다

라 진행하였던 사업이었다. 그래서 다른 실패사례와는 근본적으로 다르다고 할 수 있다.

1994년 12월, 제236차 원자력위원회에서 굴업도선정에 따른 방폐물사업 기본계획이 의결되었다. 인천을 중심으로 한 반핵단체의 상당한 반대가 있었지만 주민을 대상으로 공청회의 개최, 지원금의 집행 등 사업추진을 위한 주요공정이 추진되고 있었다. 그러나 한국지질연구소의 세부 부지조사과정에서 굴업도 인근에

활성단층이 있음이 판명되면서 과학기술처는 1995년 11월 이를 발표하고 굴업도 처분장의 고시를 해제하는 절차를 밟았다. 당시 굴업도 방폐물사업은 정부의 강한 의지에 의해 국무총리를 위원장으로 하는 방폐물사업추진위원회와 방폐물관리사업기획단을 설치 운영해 왔기 때문에 사업의 추진에 따른 문제점해결과 추진 속도에 매우 효율적으로 대처할 수 있었다고 할 수 있다.

### 굴업도사업 완벽한 사후처리 총력

실제 사업추진체제는 한국원자력연구소의 환경관리센터(당시 센터소장은 장인순박사)의 임직원 150여명이 담당하였지만 대내외의 협조체제는 매우 추진력 있는 연계조직이었다. 즉 중앙 각 부처의 지원은 물론, 불법에 따른 사건에 대해 적시에 대책을 강구할 수 있었다. 이러한 여건에서 굴업도사업의 고시해제는 새로운 부지를 다시 확보해야 한다는 중압감도 있었지만 우선은 굴업도사업 사후처리가 더 큰 문제로 대두되었다. 고시해제의 행정적 처리와 병행하여 극명히 갈라져 있던 찬반의 지역주민을 어떻게 사후 관리를 할 것인지가 가장 큰 고민거리로 부상한 것이다. 더욱이 지역민간재단에 지원되었던 500억 원의 회수 역시 쉬운 일이 아니었다. 국책사업에 찬성하던 주민의 대정부 투쟁은 그동안 반핵단체를 중심으로 한 반대세력과는 차원이 달랐다. 찬성자들은 나름대로 정부의 정책을 믿고 지지하여 정부지시를 따른 것밖에 없는 데 결과적으로는 이웃과 원수가 된 경우가 되어 고향에 살 수도 없으니 보상하라는 요지로 투쟁을 전개하였다.

지역 대민 협상팀은 정부와 연구소의 환경관리센터 직원을 중심으로 구성되었으며 총 협상책임자는 그동안 굴업도 사업추진 현장을 이끌었던 이익환본부장이었다. 물론 기획단에 파견된 공무원도 외곽지원을 하였다(당시 과학기술부 이현규국장). 어떤 때는 폭력으로 돌변한 찬성자 집단에 의해 생명의 위협까지 감수하면서 진행된 협상은 타결이 쉽지 않았다. 결국, 시간은 걸렸지만 어렵게 이를 극복할 수 있었다. 1년 이상의 긴 협상기간을 포함하여 그동안 발생한 이자까지 합한 금액 약 520억 원을 환수할 수 있었다. ‘명분 없는 공금사용은 불법이며 그런 면에서 한 푼의 돈도 지역주민 개인에게 보상할 수 없다’는 기본원칙이 철저하게 협상에 적용된 사례로 역사에 기록될 것이다.

다만 굴업도 주민(7가구)이 공용으로 사용할 수 있는 발전설비, 염소 공동사육, 소형선박, 방갈로시설 등 주민 공동이익에 부합하는 최소한의 지원(약 2억원)은 있었다. 정권이 바뀌어 ‘국민의 정부’가 들어서면서 정부 인수위는 철저하게 방폐사업에 대해 조사하였다. 인수위는 사업추진의 몇몇 곳에서 문제점을 지적하였으나 적어도 굴업도사후처리에 대해서는 오히려 칭찬을 아끼지 않았다. 당시 협상책임자는 어느 누구에게서도 수고했다는 얘기를 들어 본 적이 없지만 새로이 들어선 국민의 정부의 인수위로부터 칭찬을 받은 셈이 되었다.

### **실패한 국책사업, 소중한 경험으로 남아**

굴업도사업은 초기의 목적을 달성하지 못했지만 처음부터 마무리까지 신뢰를 바탕으로 이루어지도록 최선을 다한 프로젝트

이었다. 주인의식이 결여되고 철저한 분석 없이 진행된 국책사업의 전형적 실패 과정을 적어도 굴업도 사업에서는 답습하지 않았다는 것이고 이 결과는 지자체의 유치공모에 의해 성공할 수 있는 기틀을 마련하였다고 할 수 있다.

아쉬운 것은 방폐물사업의 추진은 원전사업 시작시점과 동시에 추진되었으면 주민들의 원자력 수용성 등 어려운 문제를 일으키지 않았을 것이라 하는 원칙적인 교훈과 아쉬움을 남겼다고 볼 수 있다. 굴업도의 사례를 거울삼아 추진된 지자체공모제도에 의거 중·저준위 방폐물처분시설은 확보되었지만 사용후핵연료 중간저장 시설을 포함한 고준위방폐사업 역시 조속히 해결해야 할 중요한 국가의 정책과제로 남아 있다.

### 7-1. Radioactive Waste Management Projects in Anmuen Island and in Gulup Island

In 1983 the MOST set up a special subcommittee in charge of radioactive waste management project (herein after called the Radwaste Project) under the supervision of Atomic Energy Commission (AEC) to carry out the Radwaste Project. That was the start of the Project. The Subcommittee drew up a “Radioactive Waste Disposal Plan (draft)” and reported it to the AEC, and the 211th AEC approved a master plan. The master plan called for the Radwaste Project to be implemented in such way that low and medium level radioactive waste should be disposed of at a land based disposal site, in principle, which to

be located outside of the boundaries of nuclear power plant, management expenses should be borne by the radwaste producers, and the facility should be managed exclusively by the separately established non-profit organization. Then, the 213th AEC designated Korea Nuclear Fuel Co. as the responsible organization to carry out the Radwaste Project.

As nuclear power expanded significantly the government upgraded atomic energy laws, and in 1988 the AEC approved a detailed action plan for the implementation of Radwaste Project in such way that intermediate storage facility for spent nuclear fuel was included in the Project and the Radwaste Project cost was stipulated as the Radwaste Project Fund. In addition, the responsible organization was changed from Korea Nuclear Fuel Co. to KAERI and its management system was strengthened. As part of this new management, KAERI set up an affiliate institute but it was soon changed into an affiliated but independently operating organization called Nuclear Environment Management Center. At last, the task to select a site for Radwaste Project was carried out in earnest by this much reinforced organization.

The task to get a radwaste disposal site started in 1986, experienced a series of failures in the next 19 years and became a major stumbling block for the project to develop and expand nuclear power. It had gone through many painful events full of disappointment such as violent riots in Anmuen island in 1990, violent incidents and civil unrest in provinces of Changan and Buan, and cancellation of the designated notification for Gulup island project. Finally, the city of Kyongju was chosen as the site for Radwaste Project by the local referendum in November 2005.

In retrospect, the selection of radwaste disposal site was a socio-science issue full of turns and twists. The driving force behind the success in acquiring a site in Kyongju, in spite of all these difficulties, could be the lessons learned from previous failures which gave us much needed wisdom and insight.

The Gulup island project was not successful. But the government issued a notification to officially designate the island as candidate site and paid the communities a special subsidy of 50 billion KRW as promised. And the Project was carried out in due legal steps and procedures. Therefore, this case was quite different from other failures. This is the story of Gulup island project.

In December 1994, the 236th AEC decided on a master plan for Radwaste Project pending final selection of Gulup island as the site. At that time, there was considerable opposition from the anti-nuclear groups around Incheon area. But major steps of the Project were carried out, which include public hearing with local residents and appropriation of special subsidy. However, an active fault was found in the area of Gulup island and confirmed by the detailed geological survey conducted by Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM). In November 1995 the MOST announced the survey results to the public and took steps to cancel the notification that designated Gulup island as candidate site for Radwaste Project. At that time, since the Gulup island project was carried out by the Radwaste Project Implementation Committee chaired by the Prime Minister and the Radwaste Project Task Force, it could respond very effectively to various problems encountered in the project implementation and also could make excellent progress.

In reality, the Project was carried out by the staff members of about 150 at Nuclear Environment Management Center(then the president was Dr. Insoon Chang) of KAERI, and the cooperation between offices within the Center and also with outside organizations was very excellent. So the Center could receive the supports from various central government offices in a timely manner and could draw up effective responses to illegal activities and violations which took place in Gulup island. Under the circumstance, the cancellation of notification brought a heavy pressure to find a new site but the real big problems was what to do to close the Gulup island Project and how to do it.

In parallel with the administrative actions to take after the cancellation of notification, the measures to take for local community people who were clearly divided into two sides which are hostile to each other, emerged as a big headache. Furthermore, recovery of 50 billion KRW which was paid to local community foundations was not an easy task. The people who had supported the Project staged an anti-government campaign which was fundamentally different from the one backed by the anti-nuclear group. In the campaign, pro-project people argued that they just trusted in the government's policy, supported it and followed the government's instructions. As a result, however, they ended up being an enemy to their neighbors, and so they couldn't live there. They demanded appropriate compensations.

A negotiation was proposed to settle the dispute and the team was composed of staff members from the government and the Center. Then vice president of the Center Ikwhan Lee who led the Gulup island Project at the field was chosen as head of the team. Of course, government official who was

assigned to the Task Force(then director general Hunkyu Lee) added his support. The negotiation was not easy and the negotiation team had to risk their lives sometimes from the violence of the other party. Even though it took time, the negotiation could make a settlement in the end coping with all difficulties. Through the negotiated settlement, about 52 billion KRW including the interest earned during all those intervening years, was recovered. This should be recorded as a good practice of negotiation in which a basic principle was steadfastly maintained as “Unjustified spending of government funds is illegal and in this respect, no compensation in cash should be made to individuals.”

However, there was a small support(about 200 million KRW) for the good of the island’s community(7 households) such as electric generator, a stall for goat farm, small boat and a bunglaow facility. The government changed and the people’s government (or the President Daejung Kim’ administration) came to power and his transition team conducted a thorough investigation into the Radwaste Project. The transition team pointed out several problematic issues in overall implementation of the Project. But as far as the negotiated settlement of Gulup island matters are concerned the Team saved no praises. At the time of negotiation, the negotiation chief didn’t get a word of encouragement from anyone. It is quite ironic to receive a praise from the transition team of people’s government which has very different philosophy from the previous one it replaced.

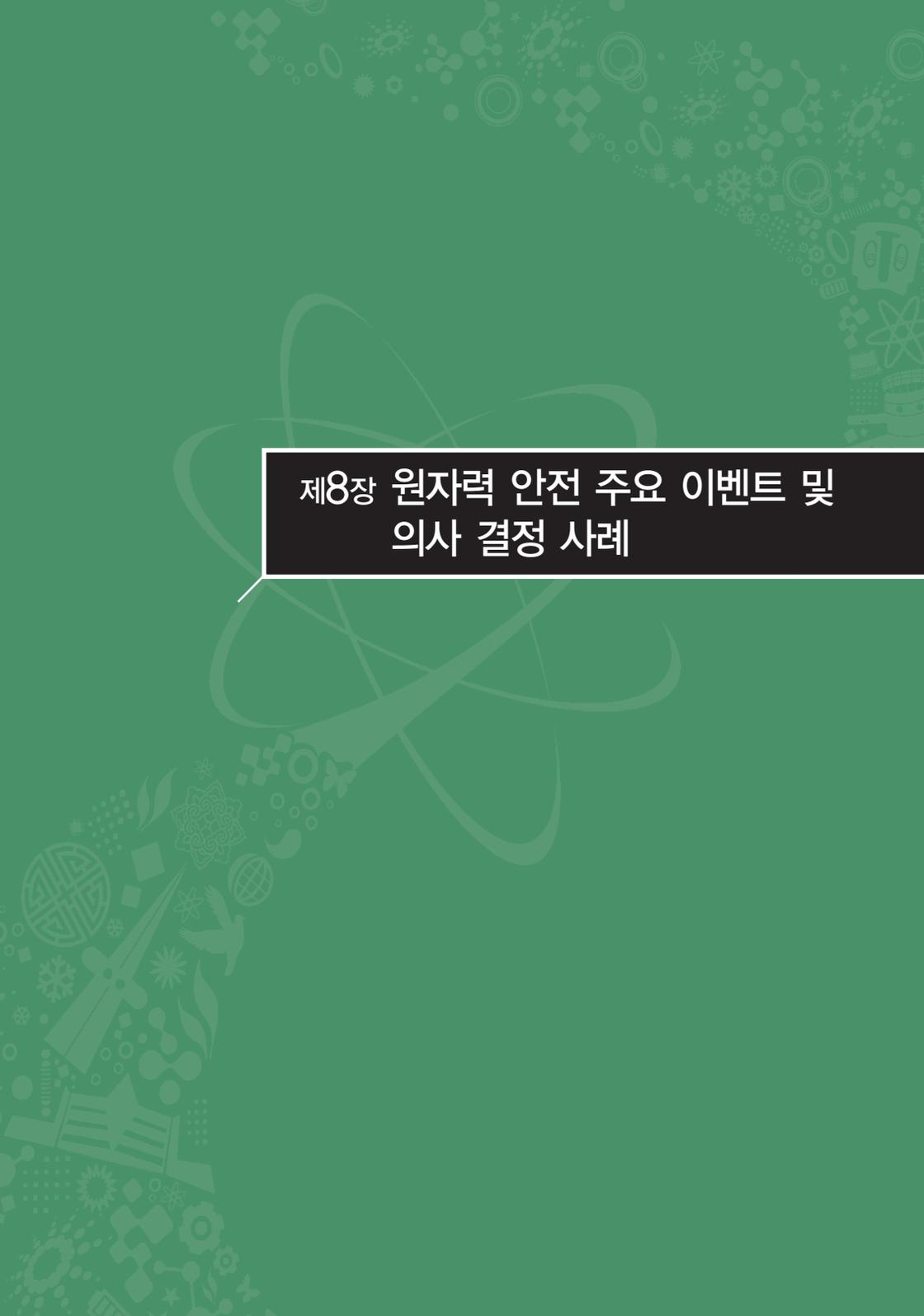
The Gulup island project can be can be summarized in such a way that it was a typical of socio-scientificly detestable project ended up in failure. But

we did our best so that it could be carried out from the beginning to the end consistently on the basis of trust. Past failure experience with nation project such as Kumkangsan dam project which was carried out without thorough analysis and without a sense of ownership was not repeated at least in the Gulup island project. It can be said that all this contributed to laying a foundation for future success through open invitation of local government to referendum.

We feel sorry that if this Radwaste Project had been carried out at the same time as the nuclear power project such difficult problems as public acceptance would not have arisen. A good lesson learned with a lot of regret

The management facility for low and medium level radioactive waste is now firmly established. However, the project for high level radwaste including intermediate storage facility for spent nuclear fuel still remains as important and urgent national policy agenda.





## 제8장 원자력 안전 주요 이벤트 및 의사 결정 사례

제8장

“

원자력 안전 주요 이벤트 및  
의사 결정 사례

Major Nuclear Safety Events and Regulatory  
Decisions

“



1945년 제2차 세계대전이 끝난 후 1953년 12월 8일 아이젠하워(Eisenhower) 미국 대통령이 UN(United Nations) 총회에서 “원자력의 평화적 이용(Atoms for Peace)”이라는 특별연설을 통해 원자력의 평화적 이용의 중요성을 강조하면서 그 업무를 담당할 국제기구의 창설을 제안함에 따라 1957년에 UN내에 국제원자력기구(IAEA, International Atomic Energy Agency)가 설립되었다.

이러한 국제환경에서 우리나라는 1956년에 문교부 기술교육국에 원자력과를 설치하고 본격적으로 원자력을 추진하게 되었다. 당시 원자력과는 원자력관련법령 제정, 원자력분야 인력양성, 연구용원자로 도입 계획 수립, 원자력원 및 원자력연구소 설립 등을 추진함으로써 원자력 이용개발의 기반을 구축하였다.

이런 노력의 결과 1958년도에 원자력법이 공포되고 이듬해 1959년 1월에 정부조직으로 원자력원이 개원되었다. 한편 원자

력 인력양성을 위해 1958년 최초로 한양대학교가 원자력공학과를 설치하고 이듬해에는 서울대학교도 원자력공학과를 설치하였다.

또한 1959년에는 원자력연구의 산실인 원자력연구소가 설립되었다. 한편 정부는 미국으로부터 연구용원자로 TRIGA-MARK-II를 도입하기로 결정하고 이승만 대통령이 참석한 가운데 1959년 7월 14일 기공식을 갖고 62년 3월부터 가동하기 시작하였다. 그 당시 원자력 안전 문제는 방사성동위원소의 농업, 공업 및 의학적 이용 연구 등에 따른 연구원의 피폭정도가 주요 관심사였다.



〈8-1〉 이정오 과기처 장관과 차중희 원자력연구소장이 현판식을 진행하고 있다(1982.2.10)

원자력안전규제의 개념이 본격적으로 나타나게 된 것은 1960년대 말 고리 1호기 원자력발전소 도입이 구체화하면서이다. 고리 1호기는 1971년 3월 박정희 대통령이 참석한 가운데 기공식이 거행되었고 1978년 4월 상업운전에 들어갔다. 연구용 원자로 TRIGA-MARK-II와 고리 1호기의 건설과 운영을 계기로 1967년 원자력시설의 인·허가, 핵물질 및 동위원소 사용 허가 등을 담당하도록 원자력청이 정부기구로 설치되었다. 그 후 원자력청은 1973년 과학기술처가 신설됨에 따라 과학기술처에 원자력국을

두어 원자력안전규제업무를 관장하도록 하였다.

원자력법은 법 제정 당시에는 원자력의 평화적 이용개발을 위한 기본 사항만 담겨 있었다. 그러나 1971년 이후 고리1호기 기공식 이후 원자력 발전소의 지속적인 건설에 따라 원자력안전규제의 법제화를 서두르게 되었다. 당시까지는 원자력발전소가 turn-key 방식으로 건설되어 불가피하게 미국의 규제법인 10CFR(Code of Federal Regulations), USNRC(US Nuclear Regulation Commission)의 규제 지침, 산업기술기준인 ASME(American Society of Mechanical Engineers) 코드, 캐나다의 ANSI(Atlantic Nuclear Services Inc.) 등을 준용하였다.

### 1980년부터 원자력안전규제에 대한 전문성 강화

1982년 원자력법을 개정하면서 원자로 및 관계시설의 건설허가요건과 기술기준, 운영허가요건 및 기술기준, 핵물질의 취급 절차 등이 대폭 보완하고 1990년대 들어와서도 여러 차례 개정되었는데 특히 1995년에는 핵물질계량관리 및 방호규정의 보완을 통해 핵물질의 사찰과 핵 물질, 시설 및 기술의 통제체제를 강화하였다. 또한 원자력안전규제의 전문성을 강화하기 위하여 1980년에 원자력연구소 내에 원자력안전센터를 설치하였다.

1978년 고리1호기의 운영이 시작 되면서 원자력안전은 매우 중요한 사안이 되었다. 또한 1985년 영광 3, 4호기 건설부터는 국내업체를 주계약자로 선정하여 기술자립을 본격적 추진하게 되

었고, 원자력안전 규제에 있어서도 원전 도입과정에서 준용되어 온 외국의 법령 및 규제 지침을 국내 법령과 지침으로 바꾸었다. 그리고 원자력 안전성 심사와 검사를 수행하기 위하여 1986년에 한국원자력연구소 부설 원자력안전센터를 1989년에는 한국원자력안전기술원을 설립하여 원자력의 안전규제의 전문성과 독립성을 강화하였다.

원자력 안전규제 활동으로 1978년 고리1호기의 가동이 시작되면서 현장 안전규제를 강화하기 위하여 모든 원자력발전소에 주재관을 상주시켜으며, 또한 매년 가동 중인 원자력발전소에 대해 수시로 점검을 하는 동시에 15-20개월 마다 정기적으로 운전을 정지시키고 전문가의 철저한 검사를 받도록 하였다. 1990년대 이후에는 한국표준형 원자력발전소(KSNP, Korean Standard Nuclear Power plant)와 신형경수로(APR-1400)의 설계와 건설, 운영을 위한 안전규제 체계를 확립하였다. 이와 같은 과정을 통하여 우리나라 원자력발전소의 안전성을 가늠할 수 있는 원전정지 또는 고장건수가 1980년대에는 연간 5건, 1990년대에는 1건, 2000년대에는 0.5건으로 현저히 줄어 최근에는 선진국 수준의 안전관리 능력을 확보하게 되었다.

### 원자력안전 유지위해 검찰에 고발도

그동안 원자력안전과 관련된 주요 사건과 그에 따라 안전규제를 선진화할 수 있었던 사례를 보자. 첫째, 1989년 과학기술처 원전특별점검 과정에서 1988년 올림픽때 전력의 안정적인 공급을

이유로 운영기술지침서상의 주요 설비들에 대한 주기적 점검을 생략한 사실이 발견되었다. 당시 규제당국인 과학기술처는 이와 같은 안전규칙 빈번하게 되면 큰 사고로 이어질 수 있다고 판단하여 원자력사업자인 한국전력공사를 검찰에 고발하였다. 이 사건을 계기로 규제당국인 과학기술처는 원자력발전소의 안전을 현장에서 확인하고 점검하기 위하여 원자력발전소 주재관을 중원하였으며, 원자력사업자인 한국전력공사는 ‘원자력의 날’을 제정하고 안전교육을 강화하였다.

둘째는 영광 3·4호기의 건설허가 과정에서 1986년 핵 증기 공급계통 (Nuclear Steam Supply System)설계의 하위 도급 계약자 (sub-contractor)로 미국의 Westinghouse, Combustion Engineering Inc.(CE), 캐나다의 AECL, 프랑스의 Framatome사가 입찰에 참여했는데, 기술전수 조건이 우수한 CE를 선정하였다.

### 국내 기술로 안전성 심사체제 구축

이에 대해 경쟁자인 Westinghouse는 CE의 핵 증기 공급계통 설계에 있어서 핵연료 및 노심은 1,000MW의 알칸사스 원자력발전소 ANO-2를 참조하고 원자로, 증기발생기, 가압기 등은 1,300MW의 팔라버디 원자력발전소를 참조한 혼합설계라는 점에서 안전성에 대한 문제를 제기함한 일이다. 이에 환경단체, 국회, 언론에서도 이에 대한 문제점을 제기했다. 이에 대하여 규제당국인 과학기술처는 원자로, 증기발생기, 가압기 등이 1,300MW급으로 설계할 경우 사고가 났을 경우 시스템을 안정화

하여 안전성을 강화시키는 것으로 판단되어 건설허가를 발급하고 허가 조건으로 원자로, 증기발생기, 가압기는 핵연료를 장전하기 전에 원자로 진동 실증시험을 하도록 하였고, 가압기에는 압력방출 밸브(PORV, Pressure Operated Relief Valve)를 설치하도록 하였다. 국내 주도의 영광 3·4호기 안전성 심사과정은 우리나라의 안전성 심사 체제를 구축하는 계기가 되었다.

마지막으로 1999년도에 월성 원전3호기의 냉각수 펌프정비 작업 중에 중수가 누출되어 22명이 피폭된 사고가 발생하였는데, 사업자인 한국전력공사는 작업자 피폭이 허용 기준치 이내에 해당된다고 하여 언론 공개 여부에 대하여 규제당국과 이견이 있었다. 그러나 그 시기에 일본의 핵연료가공(주)에서 1990년대 최악의 방사능 누출 사고가 발생하여 원자력 안전에 대한 관심이 고조된 시기여서 국내 언론의 집중 조명을 받았다.

원자력안전위원회 위원 및 전문위원 등이 두 차례에 걸쳐 안전 점검을 실시하였으며 점검결과 월성3호기 감속재펌프 중수 누설 원인은 작업자의 부주의, 작업절차서 미비 등이 원인으로 밝혀졌다. 이를 계기로 규제당국은 원전 사고 및 고장에 대한 공개 원칙을 확립하기 위하여 ‘원전 사고 고장정보 공개 지침’을 제정하여 시행하게 되었다. 이 지침은 원전의 사고 및 고장이 원전 안전에 미치는 영향의 정도와 방사성 물질의 누출로 인한 인체와 환경의 위해 정도, 국민의 관심도 등에 따라 언론과 인터넷에 공개하는 과정을 정한 것이다.

## 원전사고 정보공개 지침 마련

1979년 3월 미국에서 펜실바니아주의 TMI(Three Mile Island) 원전사고는 설계기준사고(design basis accident)로서 설계시 예상되는 사고였다. 원인은 가압기 안전밸브 오작동과 운전원이 냉각시스템을 인위적으로 중단시켜 핵연료에 손상을 가져온 것으로 이로 인해 원자로는 폐기 되었으나 핵연료에 손상으로 발생한 방사성 물질은 격납용기내에 포집됨으로서 환경에 미치는 영향은 아주 적었다. 사고 이후 미국 NRC는 TMI와 같은 사고 예방을 위한 조치사항을 미국내 원자력 발전소에 적용하였다. 우리나라도 대부분의 항목을 반영하여 사고의 위험도를 줄였다. 또한 규제당국인 과학기술처는 원자력안전국을 신설하여 원자력안전규제 행정을 보다 더 강화하는 계기가 되었다.

1986년 4월 구소련에서 발생한 체르노빌 원전사고는 예상하기 어려운 가상사고(hypothetical accident)에 해당되며, 원인은 안전장치를 제거한 상태에서 터빈정지 복구시험 과정에서 원자로가 폭발한 사고로서 방사능이 전 유럽에 확산되어 생태계에 영향을 주었다. 해당 원자로 폐쇄되었다. 동 사고를 계기로 우리나라는 전국 환경방사능 측정소를 증설하고 측정 장비를 보강하였다.

## 잇단 원자력사고, 안전규제 강화 계기

2010년 3월 일본에서 발생한 후쿠시마 원전사고는 설계기준이상의 지진에 의해 9미터 높이의 쓰나미 여파로 다중 전원이 완전히 상실되어 다량의 방사능이 누출되어 환경에 심각한 피해를 끼

쳤다. 우리나라는 이를 계기로 특별 안전 점검을 실시하여 자연 재해에 대응할 수 있는 장단기 조치들을 강구해 나가고 있다. 한편 원자력 안전 문제는 한 국가의 차원을 넘어 인접 국가들간 협력이 필요하다는 교훈을 보여주었다.

우리나라는 원자력 전력 발전량을 기준으로 미국, 프랑스, 일본, 러시아에 이어 세계5위에 위치하고 있다. 또한 2009년에는 UAE에 상업용 원자로, 요르단에 연구용원자로를 처음으로 수출하는데 성공하였다. 이러한 결과는 1959년 연구용원자로 TRIGA Mark-II를 도입한 이후 현재까지 원자력 사업을 일관되게 추진한 결과이며 앞으로도 원자력 선진국의 지위를 확보해 나가기 위해서는 무엇보다 원자력안전에 최우선 가치를 두어 국민의 신뢰를 바탕으로 원자력 기술개발을 추진해 가야 할 것이다.

최근 후쿠시마 원전 사고 이후 정부에서는 원자력안전법과 원자력안전위원회 설치 및 운영에 관한 법률을 제정했다. 앞으로 원자력안전위원회는 미국의 NRC와 같이 독립성과 전문성을 확보함으로써 원자력 안전에 대한 국민의 신뢰성을 증진할 것이다. 국제사회에서 우리나라 원자력 안전을 인정받아 원자력 기술의 수출을 확대해 나가야 한다.

다만, 원자력 안전과 핵 안보 및 통제는 업무의 성격과 전문성이 다르고, 특히 원자력 안전은 공개를 원칙으로 하나 핵 안보 및 통제는 비공개 원칙으로 하기 때문에 핵 안보 및 통제는 정부 부처가 담당하는 것이 바람직하다.

## Major Nuclear Safety Events and Regulatory Decisions

Historically the Korean Government's policy on nuclear safety was developed and expanded in three stages: The first stage was characterized by the establishment of the Atomic Energy Board(AEB) in 1958, and Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) in 1959. The construction of a research reactor at KAERI in 1962 opened a new chapter in the utilization in honest of radiation technologies in such areas as agriculture, manufacturing industry and medical sector. Nuclear safety regulation, however, stayed virtually in the level of industrial safety merely providing protection of workers from radiation exposure in the field of radiation applications. The Atomic Energy Act then at the time of its enactment carried only a few fundamental provisions for the peaceful uses of atomic energy and nuclear safety laws were divided into 3 separate areas such as nuclear reactor, nuclear materials and radioisotopes. Further, the legal text of these laws stipulated, in a more holistic approach, that all utilization activities such as construction, operation and safety management, etc. should be subject to government approval.

In the second stage, a concept of nuclear safety, which is uniquely defined with nuclear energy compared to other regulatory areas, came into regulation as introduction of Kori unit 1 began to take shape at the end of the 1960's. As the Ministry of Science and Technology was established in 1967, the Atomic Energy Board was re-organized into the Atomic Energy Agency under the Ministry, and later the Agency became the Atomic Energy Bureau in 1973.

When the construction of Kori unit 1 officially started in 1971, the

capability of domestic nuclear industry remained weak and nuclear safety laws, regulations and standards were yet to be developed for full fledged regulation. Nevertheless construction continued and more nuclear power plants were ordered. So the Government set up regulatory measures in which vendor country's laws and technical standards could be applied to the import reactors. To assure detailed safety assessment for the construction of proposed nuclear power plant, the Reactor Safety Review Committee entrusted by the Presidential Decree should conduct a high professional level safety review before the final decision would be made by the Atomic Energy Commission that is the ultimate legal authority under the Atomic Energy Act.

In accordance with these measures, for example, Kori units 1 - 4, Yonggwang units 1 and 2 which were imported from the U.S., were required to comply with the U.S. regulations, *mutatis mutandis*, stipulated by 10CFR(Code of Federal Regulations), the US Nuclear Regulatory Commission's (USNRC's) regulatory guides, and so on. As far as industrial codes and standards are concerned, American Society of Mechanical Engineers (ASME) standards were applied to 6 nuclear power plants imported from the U.S., Atlantic Nuclear Services Inc.(ANSI) standards of Canada to Wolsung unit 1, and RCCP codes of France to Ulchin units 1 and 2.

In the third stage, the turn-key basis contract that had been a mainstay so far for the construction of nuclear power plants was changed in such a way that domestic industry took a proactive role, starting with the contract for Yonggwang units 3 and 4 in 1985. In the same spirit, all overseas laws and regulations applied *mutatis mutandis* so far were replaced with domestic ones.

Further, the Atomic Energy Act was amended in 1982 so as to very much strengthen the requirements and technical standards of both construction permit and operating license for a reactor and its related facilities, and also the management of nuclear materials was strengthened as much. The Act was amended several more times in the 1990's before a legal structure was firmly established so as to implement safety regulation to nuclear power plants in a systematic way. In the mean time, Nuclear Safety Center was established in 1980 within Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI) with an aim to foster professional capabilities for nuclear safety regulation. The Center grew to become an affiliate body of KAERI in 1986. And finally Korea Institute of Nuclear Safety(KINS) was established as an independent regulatory expert organization through a special legislation in 1989.

In the area of nuclear regulatory activities, a new challenge emerged as Kori unit 1 started its commercial operation in 1978 - how to assure the safety of nuclear power plant in operation. For this, resident inspectors office was set up at each nuclear power plant site. The resident inspectors routinely carry out inspections, as part of their daily assignment at the site, for plants in operation and for those under construction as well. Further, all operating nuclear power plants are required by law to shut down and receive a regulatory periodical inspection by qualified regulatory inspectors in every 15 to 20 months. In the 1990's, the Government established a regulatory as well as licensing system which would be applied to design, construction and operation of Korean Standard Nuclear Power Plant (KSNP) and also to those of APR-1400. Through all these measures, reactor scrams or major malfunctions, which represent the safety performance of a plant, were recorded as 5 times per year

in the 1980's, 1 time in the 1990's, and 0.5 times in the 2000's. It shows a sharp decreasing trend over the years. This means that domestic safety management capabilities reached the level of developed countries.

There were some important milestone safety events which created a big momentum for the improvement of safety regulation to reach the advanced level. Special inspection conducted by the MOST in 1989 revealed that periodical checkup on major equipment and systems as listed in the technical specifications for operation were skipped on the ground that it might jeopardize the stable supply of electricity during the olympic games in 1988. But the Ministry concluded that this kind of safety violation, if frequently repeated, could lead to a major accident and very much strengthened the regulations for operating plants, which included increase in the number of resident inspectors at each site. In response to this stepped up effort of the regulatory body, the licensee KEPCO set up a "Nuclear Safety Day" and strengthen the safety education and training programs for its employees.

Yonggwang units 3 and 4 were decided to build utilizing the technologies and experiences accumulated through the construction of nuclear power plants based on turn-key contracts so far and also with the proactive role of domestic nuclear industry. But the project was swept into a whirl wind of new controversy this time about the safety of their design. A safety issue was brought up by the argument that the nuclear steam supply system of Yonggwang units 3 and 4 is a mixing bowl of two different plants, namely nuclear fuel and reactor core were designed with a reference to 1,000 MW Arkansas nuclear plant(ANO-2), while reactor vessel, steam generators and

pressurizer with a reference to 1,300MW Palo Verde nuclear plant. It should be remembered that many environmental groups, law makers and news media joined the forces arguing for their own cases.

For this, the MOST concluded that when reactor, steam generators and pressurizer are designed to 1,300MW system, safety of the whole system would rather be enhanced because of the large coolant inventory as confirmed by many experts. And then construction permit was issued with such conditions attached as a comprehensive vibration test should be conducted at the reactor, with steam generators and pressurizer lined up all together, before fuel loading, and so on. It should be noted that the whole process of safety review for the construction of Yonggwang units 3 and 4, which was the first project carried out by domestic nuclear industry playing a proactive role, provided a great opportunity for the improvement and strengthening of our safety review system and its capabilities.

Lastly an incident took place at Wonsung unit 3 in 1999 in which radioactive heavy water was spilled out during the maintenance of coolant pump causing workers to be exposed to radiation. The operator KEPCO past a judgement that the radiation exposures of its workers were within the legally allowed dose limit, and then was reluctant to open up the incident to the news media but the regulatory body had a different position. Anyway, the incident drew a lot of intense attention and received a spotlight from the news media. Unfortunately at that time, a large scale radiation release accident, the worst accident of the 1990's, took place at Japan Nuclear Fuel Conversion Co.(JCO), Tokai-mura, Japan which very much heightened the public concerns on

nuclear safety.

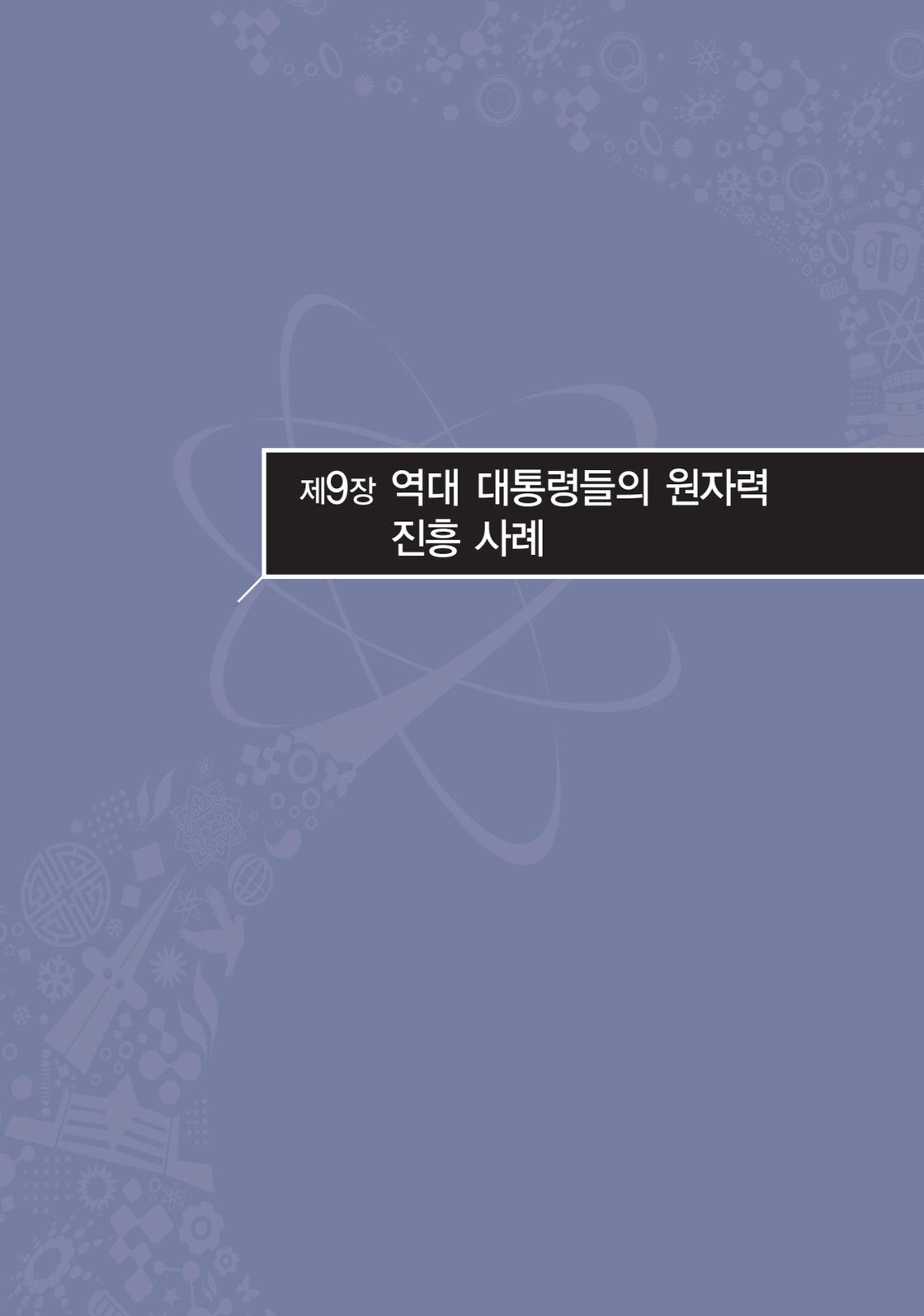
Selected members of the Nuclear Safety Commission(NSC) together with some expert committee members conducted a couple times of special safety inspection at Wolsung unit 3 and reported that the incident was caused by negligence on the part of the workers and also by the ill-prepared maintenance procedures. On the occasion of this incident, the regulatory body established a “Regulatory Guide for the Release of Information on the Accident/Incident and Malfunction at Nuclear Power Plant.” This was done to firmly set up an open up policy for any accident/incident and malfunction at nuclear power plant. This guide calls for the opening of any accident/incident and malfunction at nuclear power plant through the media and the internet, according to their level of effects on safety of the plant, detrimental effects on the people and on the environment, and also according to the level of public interest.

The Chernobyl nuclear accident which took place in April 1986 is classified as a major accident at level 7, on the scale of 0-7, according to the IAEA’s INES(International Nuclear Event Scale). the reactor exploded during a test procedure for the recovery from turbine trip with the safety lock removed. Radioactive materials were released to all over Europe damaging the environment and ecosystems and the reactor was immediately closed. On the occasion of this accident, Korea increased the number of environmental radiation monitoring posts across the country and reinforced the radiation measuring equipment.

The Fukushima nuclear accidents which took place at Fukushima Daiichi

nuclear power plant in Japan in March 2011 was caused by a more than 9 meter high tsunami following the earthquake with magnitude far greater than design criteria. As a result all electric power supplies, off site as well as emergency diesel generators, were completely lost, which led to a station black out. Huge amount of radioactive materials were released to the environment causing a lot of damages to it. The Korean Government prompted a special safety inspection to all nuclear power plants in operation and identified items and issues for short and long term improvement so that they can be protected from such natural disasters.



The background is a solid blue color with a pattern of faint, light-colored icons. These icons include various scientific symbols like atoms, molecules, and geometric shapes, as well as cultural and historical symbols like a traditional Korean pattern, a globe, and a stylized figure. A large, faint atomic model is also visible in the center.

제9장 역대 대통령들의 원자력  
진흥 사례

제9장

“

역대 대통령들의 원자력  
진흥 사례

Nuclear Energy Promotion by Korean  
Presidents

“



원자력에너지의 진흥은 국가 최고 통치자에 의해 크게 좌우되고 있음을 과거의 국내외 역사에서 분명히 찾을 수 있다. 오늘날 원자력기술자립에 성공한 프랑스, 일본, 중국, 인도 등 여러 국가가 그러하다. 이러한 관점에서 우리나라의 원자력기술자립에 대한 역대 대통령들의 철학과 정책을 살펴보는 것은 그 가치가 충분하다고 보겠다.

국제정치의 안목을 가진 이승만 대통령은 원자폭탄에 의한 일본의 패망을 보면서 원자력의 위대함을 알았고, 미국 유수의 전력회사 사장인 워크 시슬러의 만남에서 이땅에 원자력의 씨앗이 뿌려졌다. 당시 시슬러는 인재부터 육성해야 한다고 강조하고 지금부터 20년 후면 원자력발전을 할 수 있다고 했다. 여기에 힘을 얻은 이대통령은 1956년 문교부 산하에 원자력과를 신설하고 초대 과장에 서울대 조교수인 윤세원 박사를 선임했다. 그리고 3년후 정부 부서로 원자력원을 개원하고 원자력연구소(KAERI)를 설립하였으며, 대한민국 최초의 연구용원자로 TRIGA Mark II 원자로

기공식에 직접 참석하여 시삽을 하였다. 이와 함께 어려운 경제 여건 하에서도 인력 양성에 치중하여 유능한 젊은이들을 국비로 유학을 보냈다. 이러한 유학생들이 귀국하여 우리나라 과학기술계를 이끌어 나갔다. 이승만 대통령은 우리나라가 원자력 발전국으로 진입하는 토대를 마련하는데 큰 기여를 하였다고 할 수 있다.

우리나라 경제성장을 이룩하는데 힘쓴 박정희 대통령은 경제개발5개년계획을 수립하는 등 공업화에 박차를 가하면서 경제개발계획에 따른 에너지 수요를 충족하기 위한 방안으로 원자력발전 도입을 결정하고, 원자력발전추진위원회를 구성하였다. 당시 원자력발전사업은 새로운 분야를 개척하는 첫 사업으로 1971년 착공한 고리1호기 건설은 주계약자인 미국의 공급자에게 설계, 제작, 건설, 시운전에 이르기까지 모든 권한과 책임을 맡기는 일괄도급방식(Turn Key Base)으로 추진됐다.

1973년 원자력청 산하의 원자력연구소와 방사선의학연구소 및 방사선농학연구소를 특수법인 한국원자력연구소로 통합해 민영화했다. 1976년에는 원자력연구소의 핵연료주기사업 및 연구부서를 분리하여 별도 법인인 한국핵연료개발공단으로 발족시켰다. 원자력연구소는 원자력발전 등 기초연구를 수행하고, 핵연료개발공단은 핵연료주기기술 개발을 중점적으로 수행했다.

1973년 제1차 석유과동을 계기로 박대통령은 탈유전개발 시책의 일환과 장기전원공급계획에 따라 1974년 중수로형 원전인 월

성1호기 도입계약을 캐나다원자력공사와 체결하고, 이후 계속하여 1977년에 영광1,2호기를 미국 웨스팅하우스와, 1979년에는 울진1,2호기를 프랑스 프라마툼과 계약을 체결하는 등 경제성장에 필요한 전원으로 원자력발전을 확대 추진하였다.

전두환 대통령은 국익차원에서 보이지 않게 원자력기술 자립을 강력하게 추진할 수 있도록 지원하여 오늘날 우리가 원자력기술 자립국으로 성공할 수 있도록 도와준 대통령이다. 전두환 대통령은 1983년 4월 한국원자력연구소를 방문하여 중수로형 핵연료개발현황 보고를 청취하고 시설을 시찰하면서 경수로핵연료도 원자력연구소에서 개발할 것을 주문하였다. 얼마 뒤 원자력연구소 대덕공학센터장이던 한필순 박사는 한국핵연료주식회사 사장으로 겸직 임명되었다.

중수로 핵연료개발 성공에 이어 경수로 핵연료 국산화사업이 본격적으로 추진되었고, 기술 도입선으로 3개국 5개 업체가 경쟁을 벌여 독일의 KWU사가 최종 선정됐다. 인력과 예산이 부족하고 개발 시간도 부족한 입장에서 한필순 박사는 Joint Design(공동설계)이라는 독특한 방식을 제안하였다. 당시 해외에 거주하고 있던 과학자들을 대거에 유치하여 경수로 핵연료 국산화 사업에 참여시킴으로서 경수로 핵연료도 기술자립을 성공적으로 이룰 수 있었다. 원자력연구소의 과학기술자들이 핵연료국산화사업과 원자력계통설계사업에 참여함으로써 기술자립에 더하여 한국형 원전의 개발을 성공할 수 있었다. 경수로 및 중수로핵연료 국산

화와 원자로계통 설계 기술자립 성공은 한국의 원자력 과학 기술자를 전적으로 신뢰하는 계기가 되었고 이로부터 우리나라는 본격적인 원자력 기술자립 시대가 열렸다고 할 수 있다.

1988년은 우리나라가 처음으로 올림픽을 치른 해로 노태우 대통령 정부가 들어섰다. 당시 사회 각 부문에서 밀물처럼 터져 나온 민주화의 열기는 우리 사회에 많은 변화를 가져왔다. 원자력 연구소가 사업 책임자로 추진하던 중저준위방사성폐기물관리 사업은 안면도에 제2원자력연구소 설립과 방사성폐기물 처분장을 마련하려고 하였으나 1990년 11월 주민들의 거센 저항이 폭동 사태로 번지면서 어려움을 겪었다. 이후 방사성폐기물 처분장 확보 사업은 표류되었고, 반핵단체의 활동이 더욱 활발해졌다. 장기적인 관점에서 보면 완전한 원자력기술 자립을 위해서는 후행 핵연료주기기술이 확보되어야 한다. 그러기 위해서는 평화적인 농축과 재처리 기술도 확보되어야 한다. 이러한 일련의 계획은 노태우 대통령의 비핵화 선언으로 어려움에 직면하게 된다. 우리만의 특수한 상황으로 남북한 대치 국면에서 내려진 조치로 이해를 하지만 기본적인 연구조차도 수행할 수 없도록 만들어진 비핵화선언은 많은 아쉬움을 남게 했다.

문민정부인 김영삼 대통령 시대인 1995년 우리가 독자적으로 설계 건조한 다목적연구로인 “하나로”가 완공되었고, 1996년에는 한국표준형원전인KSNP(OPR1000) 개발에 성공함으로써 원자로를 설계 공급할 수 있는 나라로 부상했다. 이와같이 우리나라

원자력 기술자립을 주도한 한국원자력연구소는 김영삼 정부에 있어서는 뼈아픈 기억을 갖고 있다. 방사성폐기물관리사업의 실패를 빌미로 삼아 산업계에서는 정치권을 등에 업고 원자력연구소가 수행하던 원자력 사업의 산업체 이관을 적극적으로 밀어부쳤다. 결국 방사성폐기물 관리 사업을 포함하여 원자로계통설계 및 핵연료 사업과 이관 논의 당시 소속된 과학기술 인력 전원이 한전 및 한전 계열사로 이관(1997. 1)하게 되었다. 1996년 1년간의 진통 끝에 원자력연구소와 소속 과학기술자들의 의견이 완전 무시된 채 610여명이 한전 및 한전 자회사로 이관되었다. 이에 따라 많은 핵심 과학기술자들이 조기 은퇴, 외국 업체로 이직할 슬픈 역사적 과오가 있었다. 원전 사업이관은 그동안 원자력연구소가 이룩한 원자력 기술자립을 한층 더 기술고도화 시킬 기회를 놓치게 했다는 평가가 있다.

실용 정부인 이명박 대통령 시대는 우리나라 원자력 도입 반세기기를 맞이 원자력기술 수출국으로 부상하는 쾌거를 이룩하였다. 2009년 12월 한국원자력연구원과 대우건설이 중동의 요르단에 연구용원자로를 한국전력공사 콘소시엄이 아랍에미레이트에 상용원전 수출에 성공하여 우리도 원자력 선진국대열에 올랐다. 요르단 연구용원자로 수출의 경우 원자력연구원의 하나로 건조 윤영경협과 대우건설의 시공력 뿐만 아니라 교육과학기술부를 비롯한 범정부 차원의 적극적인 지원에 힘입어 수출의 쾌거를 이룰 수 있었다. 또한 UAE에 상용원전 4기 수출의 경우 지식경제부뿐만 아니라 이 대통령이 직접 관여하면서 진두 지휘하여 큰 힘이

되었다. 이번 UAE 상용 원전 수출에서 보듯이 원자력은 최고통치권자의 관심 여하에 따라 달라짐을 볼 수 있다. 예전에 우리가 원전을 도입할 시에도 미국, 프랑스, 캐나다의 최고 통치권자가 방한하거나 직접 전화 통화를 했다는 말이 낭설이 아님을 알 수 있다. 실용정부에서 원자력을 미래 성장산업으로 더욱 키우려면 최고통치권자가 미래의 수출 상품을 개발하는 원자력연구개발에 더 많은 관심을 가져야 한다.

## [역대 대통령의 원자력 기술자립 역사]

### 이승만 대통령 시대

- 이승만(1947-1960)
  - 1958 문교부 산하 원자력과 신설  
초대 과장 : 윤세원(서울대 1회)
  - 1959 원자력원 개원  
원자력연구소 [KAERI] 설립  
General Atomic사의 TRIGA Mark II 도입  
인력양성 주력

### 박정희 대통령 시대

- 박정희(1961-1979)
  - 한국원자력연구소 KAERI - 기초연구
  - 한국전력공사 KEPCO - 원자력 발전소 Turn Key Base 도입 (1978)

USA : W/H형 PWR, CANADA : AECL형 PHWR

- KNFC [한국핵연료개발공단] - 설립  
핵무기 개발 의혹으로 미국의 강력한 제재

### 전두환 대통령 시대

- 전두환(1980-1988)
  - KAERI의 A : Atomic → Advanced  
한국원자력연구소 → 한국에너지연구소
  - KNFDI → DEC [Daeduk Engineering Center]  
한국핵연료개발공단 → 대덕공학센터
  - 1982년 : France Framatom 형 PWR
  - 1983년 4월 전대통령 DEC 방문  
PHWR CANDU FUEL과 APFDS 대전차탄 개발 성공에 감격
  - 대통령 질문 : “왜 PWR연료는 여기서 개발 안 하느냐?  
한국 과학자들이 개발해야지 한전서 하면 우리나라에  
기술이 남지 못하지 않는가?”
  - 1983년 6월 한필순박사 KNFC [Korean Nuclear Fuel  
Company] : 한국핵연료주식회사 사장 취임
  - 1984년 : 최동규 동자부장관 주재회의 : 원자로 담당 변경  
(KOPEC → KAERI)
  - 1985년 : 박정기 사장 주재 전력그룹협력회 :  
원자로 → 원자로계통(NSSS)  
김성진 과기처 장관 주재 원자력위원회 :  
박정기 한전 사장안 통과

- 1990년 : 만 9년간 1,000억원의 NSSS 설계예산으로 NSSS 기술자립 완수
- NSSS 기술자립과 동시에 해외 수출권 획득
- NSSS 설계요원, 안전규제요원, 한전기술진 기술 교육 수행

### 경수로 핵연료 국산화 사업 [ I ]

- 한국의 원자력 과학 기술자를 전적으로 신뢰하는 계기가 되어 본격적인 한국 원자력 기술 자립의 시대가 열림
- 1983년 한필순 박사 KNFC 사장 취임
  - » 당시 여건 : 인력부족, 예산부족, 시간부족
  - » 이러한 악조건을 극복하는 방법으로 Joint Design [공동 설계] 제안하여 5개사 (미국 W/H, C/E, Exxon Nuclear, 프랑스 Framema 독일 KWU)를 경쟁시킴
  - » 최종적으로 PWR 기술 도입선으로 독일 KWU로 결정
- 해외 거주 과학자 대거 유치 성공 - KAERI 기술자립 성공의 효시

### 경수로 핵연료 국산화 사업 [ III ]

- 기본방침 : 핵연료 국산화 사업은 정부 주도 보다는 한전을 앞장세움
- 최고통치권자 적극적 지원
  - 에너지 자원 빈국의 선택
  - NPT하에서의 원자력 강국건설의 지혜

- 한전 주장 --- PHWR CANDU 핵연료 비싸다.  
가격 국제경쟁력 강력히 요구

### 노태우 대통령 시대

- 노태우(1988-1993)
  - 한필순 : 1989 대통령과 단독 면담  
1990 미국무성 초청 거절하고,  
대신 양명승/최영명/오원진 박사 파견  
1991 미국무성 초청 한필순/전풍일 참가

한국은 다음 사항을 하지 말 것

- » 우라늄 농축기술   » 재처리기술
- » 중수기술           » 원자력기술의 적대(敵對)국가 수출
- 안면도 폭동 사태 (1990)
- 대통령 비핵화 선언 (1991)

### 방폐장 설치 갈등

- NIMBY 현상
  - 영덕주민 방폐장 건설 반대
  - 과기처 공무원 주민 돌팔매 부상
  - 경북지사 면담

### 김영삼 대통령 시대

- 김영삼(1993-1998)

- 원자력연구소 사업 및 사업참여인력 이관
  - NSSS 설계사업 : KAERI → 한국전력기술주식회사
  - 핵연료설계사업 : KAERI → 핵연료주식회사
  - 방사성폐기물사업 : KAERI → 한국전력공사
- 하나로 준공 [30MW급] : 다목적 연구

### 이명박 대통령 시대

- 이명박(2008 - )
  - 2009년 : 연구용 원자로 요르단 수출
    - Contract Signing in March, 2010
    - Detailed Design by 2012
    - Built on Jordan University of Science and Technology by 2014
  - 2009년 : 아랍 에미리트 원전 수출
    - Selected as Nuclear Poser Reactor in UAE [2009.12]
    - Project Scope : 4 APR1400
    - Construction site in western abu Dhabi

## Nuclear Energy Promotion by Korean Presidents

Development and promotion of nuclear energy depend greatly on the national leader as manifested in national as well as world history. Several countries like France, Japan, China and India that succeeded these days in developing their own nuclear technology bear witness to that. From this perspective, it will be worth taking a look at the visions and policies that our presidents provided for the development of nuclear technology of our own.

The President Syngman Rhee who had a great insight on the international politics recognized the awesome power of nuclear energy when he saw Japan destroyed by a couple of nuclear bombs and he sew the seeds of nuclear energy in this land through the meeting with Walker Lee Cisler, the chairman of a prestigious electric company of the US. At that time, Cisler emphasized that fostering nuclear manpower should be the first step to take and then nuclear power plants would be operating in Korea in 20 years. Encouraged by Cisler, the President Rhee established the Atomic Energy Division within the Ministry of Education in 1956 and appointed Sewon Yoon as head of the Division. Then 3 years later he opened the Atomic Energy Board and founded Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI). He participated in person in the ground breaking ceremony and took the first shovel. Besides, even under the severe economic hardship of the nation he made a lot of efforts to develop nuclear manpower and supported many young talents for overseas education and training with government scholarship. It should be noted that the President Rhee made great contributions to laying foundation for Korea to move forward to become a nuclear power country.

The President Junghee Park had put all his efforts to achieve economic development of this country. He also pushed forward the industrial development plans by establishing, i.e., a ‘Five-Year Plan for Economic Development’ and decided to introduce nuclear power plant as a means to meet the increasing energy demand caused by economic development and set up the Nuclear Power Plant Commissioning Committee(NPPCC). At that time, nuclear power project was considered a pioneer project to open a new industry.

In 1973, the three institutes(KAERI, Radio-medicine Research Institute and Radio-agriculture Institute), which had been under the Atomic Energy Board, were merged together into KAERI again. Then KAERI was privatized as a special legal entity that’s what it is now.

In 1976, KAERI’s nuclear fuel cycle project office and R & D departments were spun off to establish Korea Nuclear Fuel Development Corporation(KNFDC) as a new legal entity. From then on, KAERI performed basic research and development projects in the field of nuclear power and KNFDC carried out nuclear fuel cycle related technology development.

On the occasion of first oil crisis in 1973, President Park pushed forward with a policy to get rid of the grip oil shortage and a long-term electric power development plan. As part of this policy and the plan, the contract to import Wolsung unit 1, a heavy water reactor, was signed with AECL in 1974. From then on, the contract for Yonggwang units 1 and 2 was signed with Westinghouse of the US in 1977, and the contract for Ulchin units 1 and 2 was signed with Framatome of France in 1979. Under his leadership nuclear power

was expanded to a great extent to supply electricity in support of national economic growth.

The President Doohwan Chun, from point of view of national interest, provided a strong leadership in support of the development of our own nuclear technology so that we could become successful as a stand alone nuclear power country these days. In April 1983, he visited KAERI and received briefings on the development of heavy water reactor fuel(or CANDU fuel) and then toured around the research facilities. In the middle of the tour he asked KAERI to develop light water reactor fuel (or PWR fuel) too. Some time later, Dr. Pilsoon Han, president of Daeduk Engineering Center of KAERI was appointed concurrently as president of Korea Nuclear Fuel Company.

Following the successful development of CANDU fuel, the development of PWR fuel was carried out in honest. At that time, 5 companies from 3 countries competed to win a contract to provide PWR fuel technology and KWU of Germany was finally selected. To cope with the situation like insufficient manpower, budget and development time, Dr. Han proposed 'Joint Design' a very unique approach which later turned out to be very effective and successful. At that time, large number of overseas scientists and engineers were recruited and put in the Joint Design project, which led to the success in achieving localization of PWR fuel technology. Further KAERI was also successfully in achieving localization of NSSS design technology through the same Joint Design approach. Later, this highly capable manpower pool of top class nuclear professions at KAERI developed a Korean standard nuclear power plant. Therefore, it should be noted that the success in achieving

localization of CANDU fuel and PWR fuel, and NSSS design technology provided an opportunity for Korean nuclear scientists and engineers to get public trust. It can be said that an era of nuclear technology self-sufficiency is now open in full measure for Korea

1988 is remembered as the year Korea hosted the olympic games for the first time and the government of the President Taewoo Rho came to power. At that time, the heat of democratization movement like tidal waves burst out of every sector of the society swept across Korea bringing a lot of changes to our society. KAERI, then responsible for carrying out the project of low and medium level radwaste management, tried to open a 2nd KAERI and the repository in Anmuen island. But the plan was cancelled in November 1990 because the opposition by the local people turned into a riot. Thereafter, the project had been adrift for quite a while and anti-nuclear movements had become more active. In the long run, the backend fuel cycle technology should be fully developed and available to achieve the goal of complete nuclear technology self-sufficiency. For this, enrichment technology and reprocessing technology should also be developed, of course for peaceful purposes. A series of important development agenda like these ones are faced with difficulty due to the “Joint Declaration on the Denuclearization of the Korean Peninsula” signed by the President Roh. We understand this measure was taken under a very special circumstance in which South Korea and North Korea confront each other. However, we can’t help but feel very much sorry about the basic researches that are totally banned by this declaration.

The President Youngsam Kim opened a new chapter for civilian democratic

government. In 1995 a multi-purpose research reactor HANARO was completed. It is recorded as the first research reactor designed and built by our own indigenous technology. In 1996, the development of Korean Standard Nuclear Power Plant(KSNP) or OPR-1000 was successfully completed, by which Korea leaped into the ranks of advanced countries capable of supplying reactor designs. As mentioned above, KAERI had played a major role in the development of indigenous nuclear technology, but it also had a painful memory during the government of the President Kim. The industry side used the failure of radwaste management project as an excuse to discredit the KAERI's overall project management capability and, with some political backing, strongly pushed its agenda which called for transferring all of KAERI's nuclear power projects to industry. After all, the radwaste management project, nuclear fuel project and NSSS design project together with all technical as well as management staff, a total of around 610 employees involved in those projects were transferred to KEPCO and its subsidiary companies in January 1997. The whole year of 1996 was a period of extreme pain, confusion, and frustration for those employees to be transferred because their opinions were not adequately addressed.

As a result, many core project members who were highly qualified professionals took early retirement or moved to overseas companies. It is a sad chapter of otherwise a complete book of success and exciting stories about developing nuclear power technologies at KAERI. It should be noted that there are some opinions saying that were it not this project transfer, the indigenous nuclear power technologies developed by KAERI could have advanced to one higher step.

The President Myungbak Lee declared as he came to power that he would lead a pragmatic government. Under his leadership Korea achieved brilliant successes to leap into the ranks of nuclear technology exporting countries, on the occasion of a half century since the introduction of nuclear energy in this land. In December 2009, KAERI set up a consortium with Daewoo E&G and won the contract for a 5 MW research reactor to Jordan, and the Korean consortium led by KEPCO won the contract for 4 units of nuclear power plants to the UAE. These successes led Korea to enter the ranks of advanced nuclear power countries. In the case of research reactor export to Jordan, the export was made possible with KAERI's experience in construction and operation of the research reactor HANARO and Daewoo's construction capability, not to mention the full support from the government led by the MOST. And in the case of nuclear power plant export to the UAE, the Korean consortium has done its best and the government support led by the MK&E was excellent, of course. But we recognize that the President Lee's personal involvement providing valuable leadership in a pragmatic way when and where necessary could make it a success. As witnessed in this nuclear power plant export to the UAE, the attention and enthusiasm of the national leader could make a noticeable difference. In the past when we imported nuclear power plants from the US, France, Canada, we heard that the top national leader of the exporting country paid a visit to Korea in person and/or directly called the Korean president. It proved not a false rumor.

It is clearly evident that to further develop nuclear power as a major growth engine for the country in this pragmatic government the top national leader has to pay more attention to the research and development of new nuclear products for future world markets

## 우리나라의 주요 원자력 성공 사례

구 분	성공 사례 항목	원고작성자	
		성명	소속
1. 역사적 주요 이벤트	원자력법 제정 문교부내 원자력과 설치 대학의 원자력공학과 설치 원자력원과 한국원자력연구소 설치 연구용원자로 최초도입 최초의 원전 상업가동 한국표준형 원전 성공적 가동	이창건 이창건 이창건 이창건 이창건 민계홍,이익환 민계홍,이익환	한국원자력연구소(한원연) 한원연 한원연 한원연 한원연
2. 정책 및 전략적 의사결정 성공사례	원자력 도입 결정(이승만 대통령) PWR노형 결정 및 웨스팅하우스원전 터키도입 핵연료국산화방침 결정 원자력발전기술자립 방침 결정 한국형표준원전 관련 주요 결정: 용량, 발주방식 원자력안전정책성명, 안전의 날 제정 경주 방사성폐기물 처분장 선정	이창건 노윤래 남장수 김세중 임한쾌 허남 이용래	한원연 한원연 동자부 한진 원안기원 한수원
3. 기술개발 및 상업화 성공 사례	원자로계통(NSSS) 설계 기술 자립 원전A/E 기술자립 중수로용 핵연료 기술개발 국산화 성공 경수로용 핵연료 국산화 성공 원자력 안전기술 개발 성공사례 하나로 연구용원자로 자력 설계 건조 및 운영 원자로 주요기기 장치 국산화 성공 사례 차세대원자로 APR1400 개발 성공 방사성폐기물 유리화 기술개발 및 실용화 성공	김병구 한기인 남장수 김시환 이종인 최창우 원태우 최영상 송명재	한원연 KOPEC 한원연 한원연 KINS 한원연 두중 한수원 한진
4. 원전 건설 운영 성공 사례	APR 핵연료 개발 성공 핵연료 튜브 국산화 성공 방사성동위원소 이용기술 개발 성공 사례 건설기술자립 및 공기단축 사례 원전이용을 세계최고 달성	이익환 이익환 조성기 이우방 박현택	KNF KNF 한원연 한수원 한수원
5. 해외 수출 성공 사례	요르단 연구용 원자로 수출 핵연료부품 및 비파괴기술 수출 UAE 상업용 원전 수출	하재주 이익환 변준연	한원연 KNF 한진
6. 타 산업부문 파급 효과 등	조선산업 전력산업기술기준 제정 품질보증계획 파급 사례	권종규 이창건 허남	현대조선 한원연 과기부
7. 교훈 사례	굴업도 방사성폐기물 사업 추진	이익환	한원연
8. 원자력 안전 주요 이벤트 및 의사 결정 사례	9. 역대 대통령들의 원자력 진흥 사례	이승구	한국기술경영연구원
		한필순	한원연

주 : 작성자(안)의 소속은 당시의 소속임

Nuclear Success Story in Korea

원자력 선진국으로 발돋움한

# 대한민국 원자력 성공사례

편집위원회

위원장 이승구(한국기술경영연구원장)

위원 허남(한국동위원소협회 국제협력조정관)

이익환(한국원자력기술(주) 회장)

남장수(한국원자력학회 사무총장)

은영수(전 원자력안전기술원장)

이현규(KAIST 교수)

윤세준(원자력협력센터 사무국장)

이용수(전 동아일보 편집위원)

장재열(전 중앙일보 과학부장)

한봉오(한국원자력연구원 홍보부장)

송봉현(한국기술사회 사무총장)

김대석(과우회 사무총장)