



원자력발전소 기술개발 및 기술자립(A/E)

박범서 | 한국전력기술(주) 신고리 1,2 사업관리실 차장
김윤식 | 한국전력기술(주) 신고리 1,2 사업처 과장



1970년대부터 국내 최초 원전인 고리 1,2호기 및 월성 1호기에서 제한된 분야에서 시작된 우리나라 원자력발전소 종합설계(A/E)는 1976년 6월 원자력발전소 건설사업 종합진단 용역'의 최초 수행 이래 고리 1,2호기와 월성 1호기의 기술용역에 부분적으로 참여하였으며, 고리 3,4호기 사업에는 해외 A/E사로부터 기술을 습득, 영광 3,4호기 이후 한국 표준형원전(KSNP)과 개선형 한국표준원전(OPR-1000)에서는 기술자립을 이루어 독자적인 설계능력을 갖추게 되었다. 본 기고에서는 국내 원자력발전소 종합설계(A/E)의 업무내용과 기술개발 및 기술자립 현황을 파악하고 무한경쟁 시대에 대처해야 할 국내 종합설계 분야의 방향을 제시하고자 한다.

건, 참조발전소의 설계 경험 등을 토대로 설계기준을 수립하고, 각종 설계해석 및 계산을 통하여 계통 및 구조물의 설계, 구매, 시공 및 시운전에 필요한 도면, 규격서 및 지침서등을 생산한다.

한편, 원자력발전소 종합설계는 일반적인 수화력발전소와는 달리 방사성 물질로부터 주민을 보호하기 위한 안전설계개념을 갖고 있으며 발전소의 안전성 및 신뢰성 확보뿐만 아니라 시공성, 운전성 및 유지보수성, 경제성을 고려한 설계업무가 수행된다. 이러한 설계업무의 수행은 최고의 품질(Quality)과 주어진 공정(Schedule) 및 최소의 비용(Cost)으로 이루어지고 있다.

1. 원자력발전소 종합설계 개요

가. 기본개념

원자력발전소 종합설계는 안전성, 신뢰성, 경제성 확보라는 설계목표에 따라 각종 설계요건, 즉 인허가요건, 기술기준 및 표준, 품질보증기준, 사업주요

- ◆ 설계목표
 - 안전성 (Safety) /신뢰성 (Reliability) /경제성 (Economics) 확보
- ◆ 안전설계개념
 - 다중성(Redundancy)/독립성 (Independency) /다양성 (Diversity)
 - 심층방어 (Defence in Depth)

나. 종합설계 업무

종합설계는 발전소 부지 조사나 설계기준 수립 등의 개념설계단계를 비롯하여 발전소 구조물, 계통 및 기기 등의 크기 또는 용량을 결정하고 구매를 위한 설계자료의 생산을 위한 기본설계단계와 실제적인 제작과 시공을 위한 설계결과물을 생산하는 상세설계단계로 구분할 수 있으며 각 단계별 수행업무는 아래와 같다.

◆ 개념설계

- 발전소 부지 지질조사, 환경조사 및 건설타당성 검토
- 계통 및 구조물의 설계기준 수립
- 발전 전체의 구성 및 부지 배치 결정 (그림 2 참조)
- 설계관리절차 수립

◆ 기본설계

- 발전소 건물 및 기기 배치도 작성

- 각종 설계해석 및 계산을 통하여 계통 및 구조물의 크기 및 용량 확정

- 기기/설비의 구매를 위한 구매규격서 작성
- 공급자 제출도면 및 문서의 기술검토 및 승인
- 기자재 제작과정에서 발생하는 기술적 문제점의 검토 및 해결

◆ 상세설계

- 세부 계통/구조물 설계 및 상세 시공도면 작성
- 시공자 제출 도면 및 문서의 기술 검토
- 시공 및 시운전과정에서 발생하는 각종 설계변경사항의 검토 및 해결

2. 원자력발전소 종합설계 발전단계

우리나라 원자력발전소 종합설계(A/E)는 1970년대부터 국내 최초 원전인 고리 1,2호기 및 월성 1

■ 그림 1 _ 발전 전체의 구성 및 부지 배치 결정사례

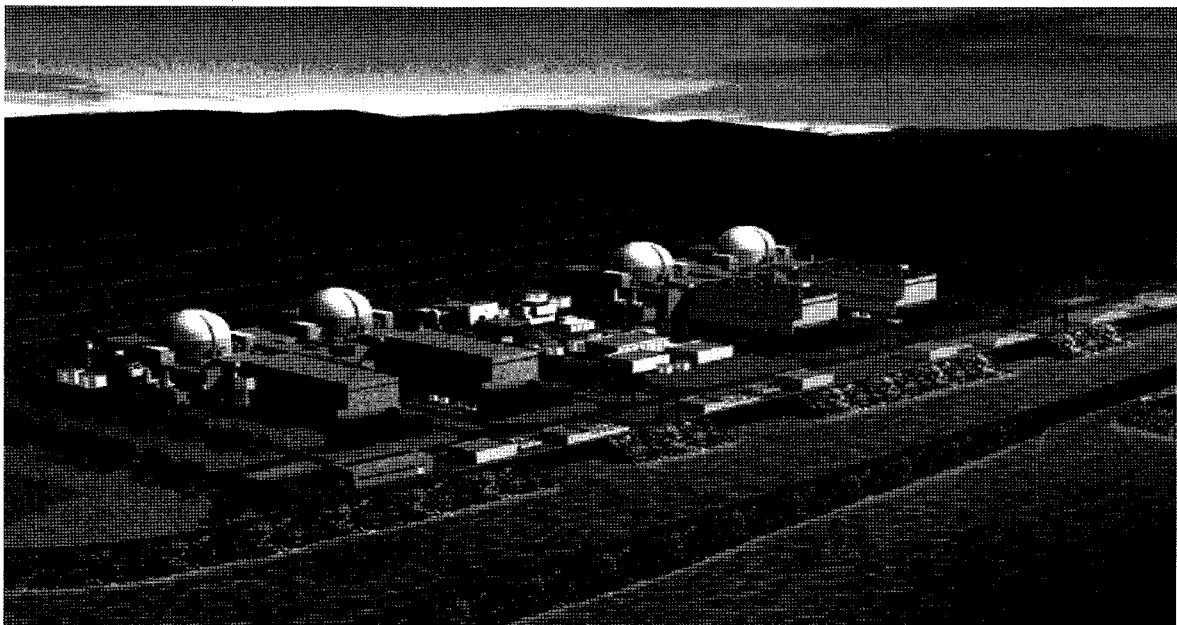
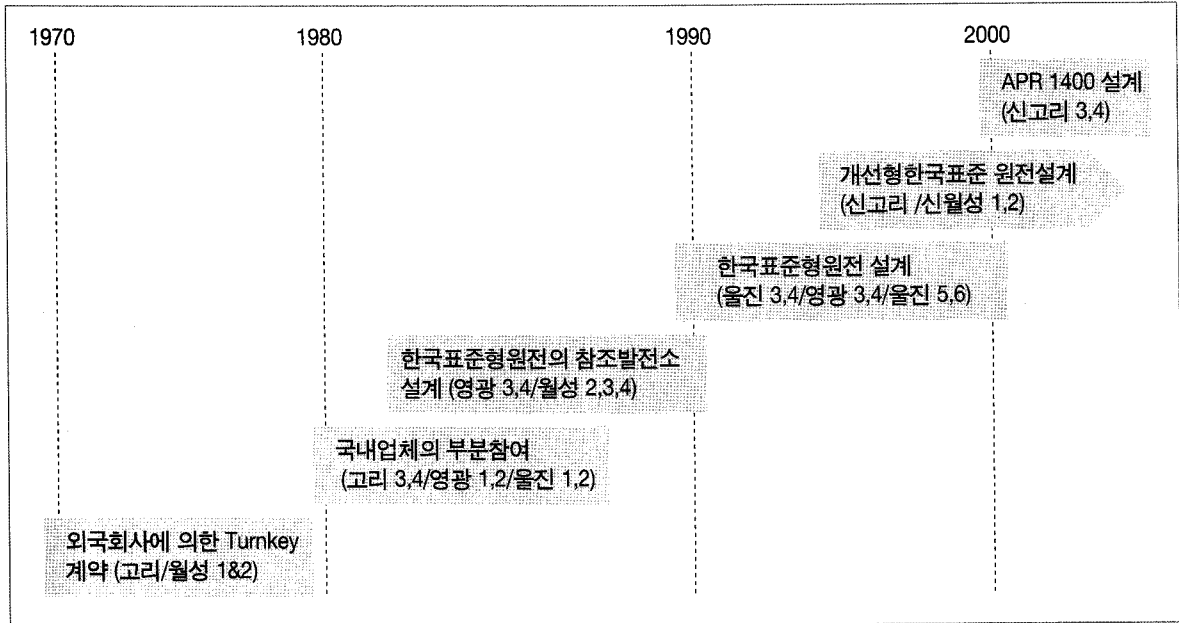




그림 2 _ 원자력발전소 종합설계 발전단계(1)



호기에서 제한된 분야에서 시작되어 국내 원자력 발전시장에서의 국내업체의 참여폭을 넓혀 왔다. 1976년 6월 원자력발전소 건설사업 종합진단 용역'의 최초 수행 이래 고리 1,2호기와 월성 1호기의 기술용역분야에 부분적으로 참여함으로써 원자력 산업분야 플랜트 종합설계 기술 습득의 계기를 마련하였다.

본격적인 종합설계사업은 950MWe급인 고리 3,4호기 설계업무부터 시작되었으며 이 사업에서 국내 종합설계를 담당한 한국전력기술주식회사는 미국 벡텔사(Bechtel Power Co.)에서 기본설계업무에 참여하였으며 국내에서는 설계, 구매, 건설관리업무, 현장설계 및 품질검사업무를 수행하였다. 이후에도 영광 1,2호기, 울진 1,2호기 설계용역 등에 계속적으로 참여하여 축적된 기술과 경험뿐만 아니라 사업수행 능력을 인정받아 1987년 국내 최초

로 영광 3,4호기의 종합설계분야 주계약자로 선정, 원자력발전소 종합설계 업무를 독자적으로 설계할 수 있는 발판을 구축하였다.

영광 3,4호기에서 수행한 기술력, 경험 및 자신감을 바탕으로 국내 종합설계는 국산화에 매진하여 1991년에 한국표준형원전(KSNP)인 울진 3,4호기 사업을 독자적으로 수행하였으며 월성 2,3,4호기는 주계약자인 캐나다의 AECL과 공동으로 중수로형(CANDU) 원전설계를 성공적으로 마무리하는 등 원자력사업 참여의 폭을 지속적으로 확대해 왔으며, 1994년 영광 5,6호기, 1996년 울진 5,6호기, 2002년 신고리 1,2호기 및 신월성 1,2호기 사업에서 종합설계 업무를 주도적 역할을 수행하고 있으며 북한에 건설중인 KEDO사업에서는 1996년부터 부지조사, 기반시설설계 및 초기현장공사설계 등을 포함하여 2000년 2월 주계약이 발효됨에 따라 본격적인

■ 그림 3 _ 원자력발전소 종합설계 발전단계(2)

구분	시기	주요사업	기술단계
태동기	70년대	고리 1,2호기월성 1,2호기	기초기술 입문원전 설계개념 이해
기술기반구축기	80년대 초반	고리 3,4호기 영광 1,2호기 울진 1,2호기	설계기술 습득 선진기술 분석 및 검토 대형원전 설계참여 책임수행
기술자립기반조성기	80년대 후반 ~ 90년대 초반	영광 3,4호기 월성2,3,4호기	선진 설계기술 도입 선진기술 소화, 개량 기술자립기반 조성
기술자립기	90년대 초반 이후	울진 3,4호기 영광 5,6호기 울진 5,6호기 KEDO 1,2호기	설계기술의 자립 설계표준화 경제성 확보
기술선진화기	2000년대 초반	신고리 1,2호기 신월성 1,2호기 신고리 3,4호기	설계기술의 선진화 한기독자 기술력 확보 경제성 제고

종합설계 업무를 수행한 경험을 갖고 있다.

또한 한국표준형원전(KSNP)의 기술성, 시공성 및 경제성을 더욱 향상시킨 개선형 한국표준원전(KSNP+)의 기본설계를 완성함으로써 명실공히 한국표준형원전의 독자설계능력을 보유하게 되었으며, 이의 결과로 신고리 1,2호기와 신월성 1,2호기에 개선형 한국표준원전이 채택되어 설계업무를 수행중에 있으며 차세대원자로 기술개발사업의 I, II 및 III단계 기간동안 개발된 1,400MWe급 격상용량의 신형경수로1400(APR1400)이 신고리 3,4호기의 노형으로 채택되어 최초 상용화를 위한 설계업무를 수행하고 있다.

3. 한국표준형원전(KSNP) 기술개발 참여

한국표준형원전(KSNP)은 지난 1983년부터 추진해온 원자력기술자립계획을 통해 개발되어 왔으며 1995년 3월과 1996년 1월에 각각 준공된 영광 3,4호기를 참조발전소로 한다. 기술자립계획은 KSNP의 효시인 울진 3,4호기의 건설과 성공적인 운전에 의해 실현되었으며 국내 원전건설에서의 성공을 통해 축적된 기술과 16기의 원전 건설, 설계 및 운전으로부터 획득한 30년간의 경험과 기술력을 반영하여 발전소안전성 및 경제성을 향상시키기 위하여 지속적으로 개선노력을 하여왔다.



국내 종합설계 분야는 그동안 원자력기술자립계획을 통해 획득한 국내외 신기술과 기존원전의 건설 및 운전경험을 반영하는 한국표준형원전(KSNP) 기술개발에 참여하여 영광 3,4호기를 참조발전소로 하여 울진 3,4,5,6호기, 영광 5,6호기, KEDO 1,2호기의 종합설계(A/E) 업무를 성공적으로 수행하여 왔으며 KSNP의 반복적이고도 점진적인 설계, 시공, 운전 및 보수 분야의 개선으로 얻어진 경험의 축적, 기기/설비 최적화를 위한 선진기술의 개발 및 원자력 시장성 및 국제 경쟁력 확보 시급 등의 배경으로 KSNP 설계를 혁신적으로 개선하기 위한 프로그램을 이행하게 되었다.

4. 개선형 한국표준원전(OPR-1000) 기술개발

국내 종합설계는 영광 3,4호기부터 울진 5,6호기까지 추진되어온 한국표준형원전의 복제 및 참조 설계 이외에 국내·외에 운영중인 원전의 건설 및 운전 경험을 반영하여 한국표준형원전(KSNP)의 기본적인 설계개념과 안전성을 유지하는 범위에서 경제성, 시공편의성, 운전보수성 등을 향상시키기 위해 전면적인 설계개선을 한 개선형 한국표준원자력발전소 설계기술(OPR-1000)을 개발하여 신규원전인 신고리 1,2호기 및 신월성 1,2호기의 종합설계(A/E)에 개발된 신 기술을 적용, 성공적으로 설계 업무를 수행하는 단계에 이르고 있다.

가. OPR-1000원전 설계목표

- ◆ 한국표준형원전의 기본 설계개념 및 안전성 유지
 - 선행 한국표준형원전(울진 5,6호기까지)의 기

본적인 설계개념 및 안전성 유지 또는 향상

- ◆ 운전 및 유지보수성 향상
 - 선행호기 운전 및 보수 경험 및 사업주 설계 개선 요건 반영
- ◆ 시공편의성 향상
 - 시공편의성을 고려한 설계방식 및 선진시공 기법 적용 및 설계/시공 공정관리체계 개선
- ◆ 경제성 제고
 - 건설비(기자재, 시공 물량 등) 및 운전유지비 감소
 - 건설공기 단축(56개월→54개월)
- ◆ 원전 설계 고도화
 - 현재까지 자립된 기술을 바탕으로 고도화된 설계 기술 개발

나. OPR-1000 종합설계 설계개선 사례

KSNP 설계개선 프로그램을 통해 채택된 주요 설계개선 사항의 특성을 발전소 배치 최적화, 계통설계 최적화, 기기용량 최적화 및 신기술 적용, 건설공기 단축을 위한 신 건설공법 적용 등 4가지 범주로 구분하여 기술하였다.

1) 발전소 건물배치 최적화

- 양 호기 비안전성관련 건물인 2차보조건물 및 출입통제건물과 공용의 방사성폐기물건물을 1개의 복합건물에 통합배치 (그림 4 참조)
- 지하 방사성폐기물 터널 삭제 및 지하공동구의 최단거리 배치
- 터빈건물 운전층의 하역공간 및 천정크레인 운전구간 확장
- 방사성유체계통 필터실과 고준위폐기물 저장

그림 4 _ 발전소 배치 최적화

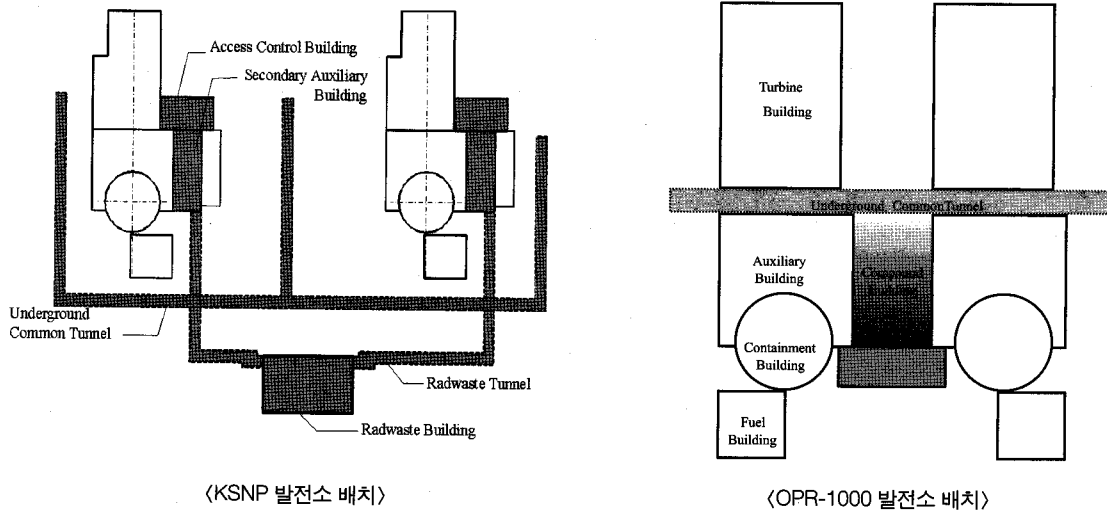
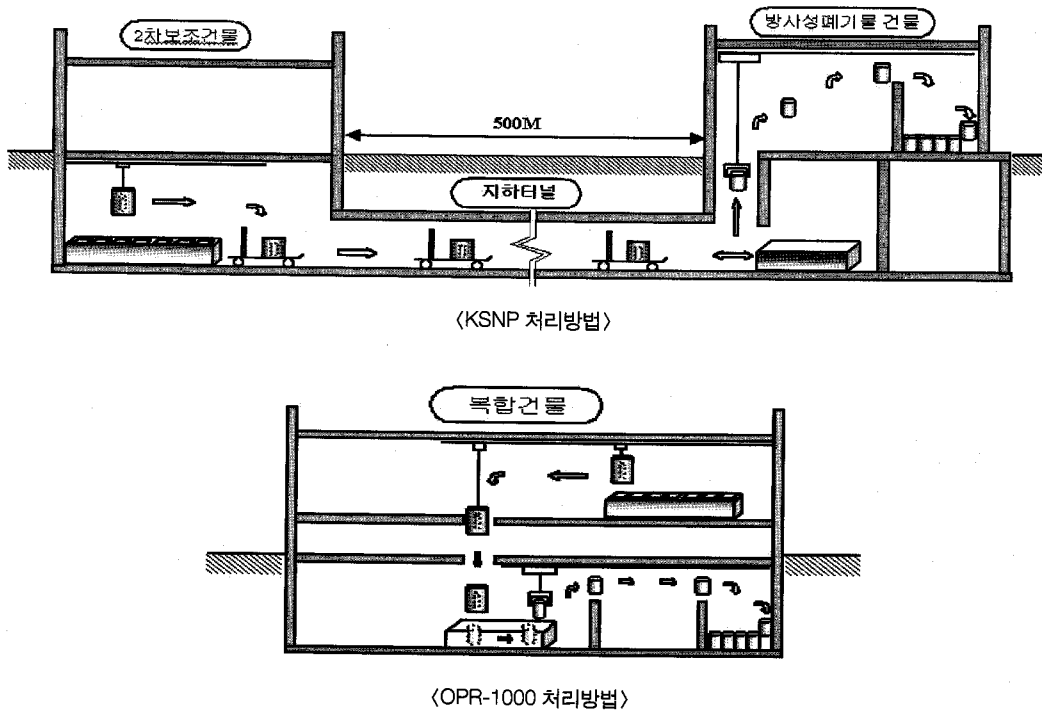


그림 5 _ 방사성폐기물 처리방법 최적화

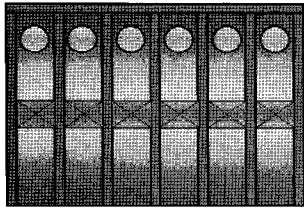




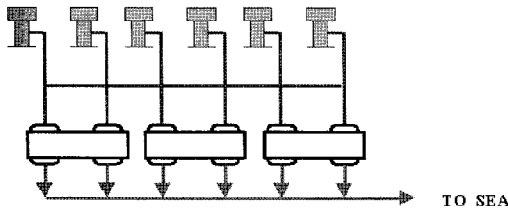
지역을 상하층에 인접 배치(그림 5 참조)

2) 발전소 계통설계 최적화

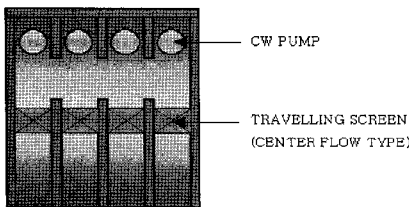
- 순환수계통 펌프 및 이동용 스크린의 개수를 6개에서 4개로 감소
- 1차측기기냉각수계통 Common Loop 개념 적



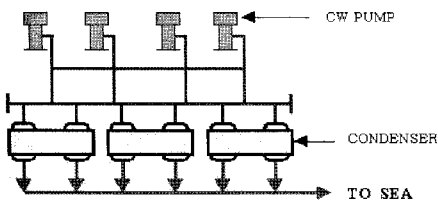
(수로방식: 6열 단독수로)



<KSNP>



(수로방식: 4열 공동수로)



<OPR-1000>

용 및 용량 최적화

- 원자로건물 살수 열교환기 삭제 및 정지냉각 열교환기와 공유
- 사용후연료저장조 정화계통 Skimmer loop과 원자로공동여과계통 제거
- 증기발생기취출계통의 CBD 탱크와 HCBT 탱크를 하나로 통합 및 비재생 열교환기와 HCBT 탱크 이송펌프 제거

3) 기기 용량 최적화 및 신기술 적용

- 비상디젤발전기, 보조보일러 및 펌프(복수펌프, 기동용 급수펌프, 1차측 기기냉각수계통 펌프) 용량 축소
- 원자로건물수소제어계통의 능동 수소재결합기를 피동 촉매식재결합기 (PAR)로 대체
- 액체방사성폐기물계통의 여과장치를 역삼투압 형태로 변경
- 발전소제어계통의 제어방식 개선
 - 단일루프 제어방식으로부터 다중루프 제어방식으로 개선
 - 현장 다중화기기에 제어기능 부여
- 철골-철근콘크리트 합성구조 채택
 - 구조부재 크기를 축소하여 시공구역 효율성 증대
 - 시공자재 물량 감소(천정에 매입철판 제거)

4) 건설공기 단축을 위한 신 건설공법 적용

- 구역별 시공완료 개념
- 철골-철근콘크리트 합성구조 채택에 따른 데크 플레이트 시공공법 적용

5. 종합설계 기술력 확보

국내 종합설계는 국내 원전 종합설계분야에서 설계용역 수행경험과 다양한 설계개선 등 기술개발을 통해 독자적인 기술력을 확보하고 있지만 세계 일류 기업들과의 경쟁을 위해서는 일부 부족한 Know-why 및 핵심원천기술을 확보할 필요성이 있다.

이를 위해, 각 분야에 대한 원천기술 확보를 위해 다양한 노력을 기울여야 하며 설계사업 수행을 통한 끊임없는 Know-why의 체득과 선진국 기술과의 제휴 및 교환프로그램 시행 및 첨단기술을 습득키 위한 주도면밀하고도 지속적인 기술개발과제의 시행과 국내외 학술활동 및 교육프로그램에의 확대 참여 등이 요구된다.

이미 몇몇 기술분야에서는 국내 종합설계 능력은 세계에서 인정받는 부분이 있어 이들 분야를 더욱 확충시켜야 현재 주로 경수로에 국한된 국내 설계기술력을 점차 SMART, GEN IV 원자로 등 모든 원자력발전 노형에 대한 설계능력을 원천적으로 확보키 위해 체계적이고 다양한 know-why 확보 노력이 필요하다.

한편, 국내 종합설계는 지금의 설계위주의 사업영역을 확대하여 설계기술과 경험을 발전소 유지와 보수에도 적용, 보다 나은 발전소 운영이 될 수 있도록 사업영역을 넓혀야 하며 많은 발전소 건설 데이터를 보유하고 있어 발전소 운전상의 문제가 발생시 원인 규명에 의한 근본적인 조치를 취할 수 있다는 강점이 있으므로 체계적인 O&M 사업을 수행키 위해 가동 중인 우리나라 발전소의 건설, 운영 자료를 체계적으로 확보, 이를 데이터베이스화함과 아울러 그 간의 설계업무만의 역할에서 그 임무를 넓혀 발전소 수명 전 주기를 관리하는 발전소 홈닥터로서의 역할을 수행해야 하며, 창의적인 아이디어와 최선의 기

술에 기반을 둔 설계개선안을 사업주에 먼저 제시하는 등 능동적, 적극적 사업개발체제를 운영이 요구된다.

6. 해외사업개발의 본격적 추진

WTO 시장개방 협상의 진전에 따라 우리나라의 발전소 설계시장의 개방이 임박한 것으로 보여지며, 이 경우 국내시장은 바로 국제 시장의 한 부분으로 되어 국제경쟁이 불가피해 질 것이다. 이에 따라 설계자체의 경쟁력확보도 필요하지만 사업구조를 선진국 형태로 전환하지 못하면 국내 업체는 선진국의 하청형태로 전락될 우려가 큰 현실이다.

정부에서도 이를 대비하여 공공사업을 일괄발주 형태로 하는 것을 권장하여 이를 촉진하기 위해 관련법을 정비해나가는 추세이고, 세계적으로도 CM (Construction Management) 사업이 활성화되면서 점차 일괄발주의 경제성 우위논리에 의해 대형사업은 일괄발주 형태로 추진되는 추세에 있다.

국내 종합설계의 경우 기개발한 OPR-1000 및 APR1400을 주력상품으로 하여 미국의 우수 A/E 회사 등과 협력하여 원자력산업 부흥의 움직임이 있는 미국시장 등에 진출하는 계획을 수립하고 있다.

미국, 캐나다 등 북미시장은 가동중 원전의 수명 연장 및 원전건설재개 전망으로 한국 원전 설계기술 수출 가능성이 어느 때보다도 증대하고 있으며 미국 내 신규원전 건설이 본격화되기 전까지는 이러한 기틀을 바탕으로 미국내 가동 원전에 대한 참여를 추진하고 있다.

동남아에서는 대만 Lungmen 원전에 1999년부터 국내의 기술인력을 지원하고 있으며, 이 사업을 통해 국내 원전설계 기술인력의 우수성을 인정받은



것으로 향후 중국 등 아시아 원전시장에 적극적인 진출 발판을 마련하게 되었다.

또한, 2001년에는 베트남 원자력위원회팀 및 국내 관련사와 공동으로 한국표준형원전의 베트남 건설 타당성조사를 실시하였으며, 베트남 정부는 상기 공동조사 외에도 원전도입 예비타당성 검토결과를 토대로 원전도입여부를 결정할 예정이다. 이 밖에도 사업다각화를 위해 폐기물 관련사업 및 제염, 해체 사업의 기술개발을 통하여 신규사업을 발굴하고 있으며 해외사업개발 강화를 위하여 해당 국가별 거점 확보를 위한 협력파트너 선정 및 적극적인 교류 협력이 추진되고 있다.

7. 결론

우리나라는 그 동안의 원전 건설, 설계 및 운영 기술과 경험을 근간으로 하여 현재 원전기술의 고도화 단계에 진입해 있으며 날이 갈수록 치열해지는 국제적인 경쟁환경 하에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 안전성이나 기술성 못지 않게 경제성 및 운전보수성이 획기적으로 향상된 원전 모델의 개발이 요구되어 왔다.

국내 원자력발전소 종합설계 수행능력은 영광

3,4호기 이래 국내 원전의 설계를 수행하면서 한국 표준형원전(KSNP)을 통해 기술자립을 이루었고 KEDO 원전 설계업무를 수행과정에서 국제적으로 우수성을 인정받았으며 국내 원전의 설계경험과 운전경험을 기반으로 개선형 한국표준원전(OPR-1000) 개념을 정립하여 후속호기인 신고리 1,2호기와 신월성 1,2호기에 적용 원자력발전소 설계능력을 향상시켰으며 OPR-1000 개발경험은 신규원전의 성공적인 건설 및 운전을 통해 원전설계 고도화 기반 확립, 원전기술의 해외수출 기반 확충 등 원전 기술 선진국 수준으로 발전하는 계기가 될 것으로 예상된다.

국내 원자력발전소 종합설계는 기술자립 수준을 넘어 치열한 국내외 경쟁이 예상되는 향후 원자력 산업계의 동향을 추적, 국내에서 이룩한 해외의존형 기술자립 및 제한된 원자로 형에 대한 설계기술의 자립에서 벗어나 독창적이며 최고의 경제성과 안전성을 두루 갖춘 세계 최첨단 원전을 독자 설계할 수 있는 능력을 갖추는 것을 목표로 설계, 기기구매, 건설, 설치, 시험, 시운전, 및 전 수명기간 동안 운전 등 발전소 건설초기부터 수명 종료 시까지의 설계 관련 전 부문에 걸쳐 발전소를 자문할 수 있는 설계 자로서의 역할이 기대된다.