



원전 기자재산업 - 국산화 실태 분석 및 촉진 방안 (2) -

정만태
산업연구원 연구위원



국내 원전 기자재산업의 현황과 전망

우리 나라 원전 기자재산업은 수요가 한국전력에 집중되어 있는 전형적인 수요 독점 상태에 있으며 현재는 빅딜에 의한 발전 설비 일원화로 인해 동시에 공급 독점 상태에 있다.

원전 기자재는 선(先)생산, 후(後)판매 방식의 대량 생산 방식의 제품과 달리 수주에 의해 제품을 제작하는 전형적인 custom ordered 산업이기 때문에 수요 규모에 의해 공급

수준이 결정된다.

한편 원전 기자재에 대한 수요는 수출이 거의 없어 한전의 발전소 건설 계획에 따라 규모가 결정되므로 수요 규모 결정에 가장 큰 영향을 미치는 변수가 한전의 전원 개발 계획이고 이 계획은 예측된 전력 수요를 감안하여 수립된다.

1887년 발전을 시작한 이래 1970년대 중반 이전까지 발전에 관련된 모든 발전 설비는 수입에 의존해 왔다. 1980년대에 들어서도 우리나라 발전 설비 산업은 유치 산업 단계에서 벗어나지 못했기 때문에 발전 설비의 수입 의존도는 70%를 상회했고 특히 원전 기자재의 수입 의존도는 80%를 넘어서는 상태에 있었다.

1980년대 하반기 및 1990년대에 들어서면서 정책적 지원하에 꾸준히 기술 자립을 추진한 결과 1999년의 발전 설비 수입 의존도는 20% 이하로 크게 줄었고 원전 기자재도 60%를 상회하고 있는 것으

로 나타나고 있다.

원전 기자재의 생산은 1980년 8월 발전 설비 업체의 일원화 조치 이후 최근까지 한국중공업이 주축이 되어 대용량 발전소(1,000MW)용 주기기 및 보조 기기를 생산해 왔다.

발전 설비 일원화 조치가 해제되기 전까지는 발전 설비 부문을 산업 합리화 대상 업종으로 지정, 발전 설비의 제작·설치를 한국중공업에 전량 발주하도록 했기 때문에 한국중공업을 제외한 업체들은 발전 설비 생산에 큰 제약을 받아 왔다.

발전 설비 일원화 조치에 따라 우리나라의 대표적인 발전 설비 생산 업체로 부상한 한국중공업은 여러 기(基)의 화력 및 복합 화력 발전 설비를 제작·설치하였고, 원전 기자재의 경우도 외국 업체의 하청 제작에서 출발하여 일괄 도급 계약자로 올라서면서 외국 업체에 하청을 주는 방식으로 변화되었다.

원전 기자재의 발주 방식이 종전



〈표 1〉 원전 기자재의 공급 추이

단위 : MW, %

연도	1979	1982	1983	1985	1986	1987	1988	1989	1995	1996	1997	1998	1999	2000
원전 기자재	587	679	650	950	1,900	950	950	950	1,000	1,000	700	1,700	1,000	1,000

자료: 대한전기협회, 「전기연감」2000 참조.

〈표 2〉 원자력발전소별 주기기 공급 현황

발전소명	원자로형	용량 (MW)	제작사		상업 운전일
			원자로	터빈	
고리 1호기	가압경수로 (PWR)	587	Westinghouse(미)	GEC (영)	1978. 4.29
		650	"	"	1983. 7.25
		950	"	"	1985. 9.30
		950	"	"	1986. 4.29
월성 1호기	가압중수로 (PHWR)	678.7	AECL(캐)	Parsons (영)	1983. 4.22
		700	AECL(캐)/한중	한중/GE (미)	1997. 7. 1
		700	한중/AECL(캐)	"	1998. 7. 1
		700	"	"	1999. 12.27
영광 1호기	가압경수로 (PWR)	950	Westinghouse(미)	Westinghouse(미)	1986. 8.25
		950	"	"	1987. 6.10
		1,000	한중/GE(미)	한중/GE(미)	1995. 3.31
		1,000	"	"	1996. 1. 1
		1,000	"	"	(2002. 4)
		1,000	"	"	(2002. 12)
울진 1호기	가압경수로 (PWR)	950	Framatom(프)	Alstom(프)	1998. 9.10
		950	Framatom(프)	Alstom(프)	1989. 9.30
		1,000	한중/GE(미)	한중/GE(미)	1998. 8.11
		1,000	"	"	1999.12.31
		1,000	"	"	(2004. 9)
		1,000	"	"	(2005. 9)

자료: ()는 상업 운전 예정 시점임.

의 일괄 도급 방식에서 사업자 직영 분할 발주 방식으로 전환함에 따라 고리 3·4호기부터는 현장 기술 설계는 한국전력기술(KOPEC)이 맡고, 초기 발전소의 건설 경험이 축

적된 한국중공업도 외국 업체의 하청에 참여하게 되어 원전 기자재의 제작 및 설치에 참여하게 되었다. 이후 한중은 영광 1·2호기에서 주기기인 핵증기 발생 장치(NSSS)

공급자인 Westinghouse의 기술 지원하에 NSSS의 증기발생기와 가압기·터빈 등을 제작·납품하였고, 울진 1·2호기의 경우도 주기기 공급자(원자로 계통)인 FRMATOME의 기술 지원하에 증기발생기·가압기·원자로 용기(Reactor Vessel)의 제작 및 설치를 담당하였다.

영광 3·4호기 이후부터는 한국중공업이 일괄 도급 계약자로 선정, 외국 업체에 하청을 주는 형태로 전환되어 가압경수로(PWR) 6기(영광 3·4호기, 울진 3·4호기), 가압중수로(PHWR) 2기(월성 3·4호기)의 제작 및 설치를 담당하였고, 영광 5·6호기 및 울진 5·6호기 등은 현재도 추진되고 있다.

원전 기자재에 대한 수요는 원자력발전소의 건설에 의해 발생되며 원전 발전소의 건설은 전력 수요를 예측하여 수립된 전원 개발 계획에 의해 추진되므로 계획 기간 동안의 수요가 결정된다.

원자력 발전 규모는 발전원별 설비 특성, 경제성, 환경 영향, CO₂ 배출량, 연료 조달 특성 등을 고려

〈표 3〉 발전 설비별 폐쇄 규모

단위 : MW, 기

현황	계획	제4차 계획(1998)	제5차 계획(1999)
		1999~2015	1999~2015
원자력		1,270(2)	1,270(2)
기 력		9,390(38)	8,010(30)
내연력		240(3)	200(2)
합 계		10,900(43)	9,480(34)

자료: 산업자원부 전력산업과, 「제5차 정기 전력 수급 계획」, 1999.

〈표 4〉 원전 기자재의 수요 추이

단위 : MW, %

연도	1980	1985	1990	1995	2000	연평균 증가율 (1980~2000)
원전 기자재	587	950	950	1,000	1,700	5.5

자료: 산업자원부 「전원개발계획」.

하여 도출된다. 입지 확보, 재원 조달, 건설 불확실성 등도 추가적인 고려 요소가 된다.

여러 인자들을 고려할 때 원자력 발전소는 경제성과 안정성 면에서 유리하고 환경 측면(CO₂ 배출 저감)에서 비교 우위가 있으나 NIMBY (Not In My Backyard) 현상으로 부지 확보가 어려운 편이다.

노후 발전소의 폐쇄는 신규 수요의 발생 요인으로 작용하며, 제4차 및 5차 장기 전원 개발 계획 기간 중에는 원자력발전소 2기, 1,270MW가 폐쇄 대상으로 예정되어 있다.

우리 나라의 원전 기자재에 대한 수요는 1970년대의 석유 파동으로 탈석유 전원 개발이 추진되면서 1980년대에 급증하였다.

따라서 1980년대 말부터 1990년대 초까지 원자력 발전 비중이 36.3%에 이르렀으나 1990년대 중반까지는 단기적 전력 수요를 충당하기 위한 복합화력 발전소의 건설이 증가했다. 그러나 1990년대 중반부터 한국 표준형 원자력발전소의 건설이 적극 추진되면서 영광 3·4호기, 울진 3·4호기의 건설 및 준공이 이어졌다.

1980년 이후 원전 기자재 수요는 1980년 587MW에서 1990년 950MW로 늘었고 2000년에는 1,700MW에 이른 것으로 나타나고 있다. 따라서 1980년 이후 20년간 원전 기자재 수요의 연평균 증가율은 5.5%로 나타나고 있다.

원전 기자재에 대한 수급 전망은

중·장기 전력 수요를 예측하고 시공 단가·운영 단가·부지·기자재 효율 등을 감안하여 종류별 발전소 건설 계획을 참고로 하여 추정할 수 있다. 국내 전력 수요는 외환 위기 이후 처음으로 1998년에는 감소하였으나 이후로 지속적 증가가 예상되고 있다.

중·장기 전력 수요 전망에 따르면, 1999년~2015년까지 전력 수요의 연평균 증가율은 3.8%로 예상되고 있다. 1999년의 최대 전력 수요는 37,290MW였으나 2015년에는 67,510MW로 예상되고 있어 81%의 증가를 나타내고 있다.

산업자원부의 제5차 장기 전력 수급 계획(1999~2015년)에 입각하여 국내 원전 기자재에 대한 수요 규모를 추정해 볼 수 있다. 전력 수급 계획에 따르면, 원전 기자재는 1999년 이후 2015년까지 14기 15,300MW가 확충되는 것으로 나타나고 있으며, 특히 2010년부터는 1,400MW급의 고용량 차세대 원자력발전소가 지어질 것으로 계획되고 있다.

영광 3·4호기에서 시작된 한국 표준형 1,000MW급 원자력발전소는 2010년경까지 건설이 계획되고 있으며 그 이후에는 고용량 고효율의 차세대 원전으로 대체될 것으로 예상된다. 따라서 2015년의 원전 기자재는 30기, 총 용량 26,050MW로 전체 기자재의 33.0%에 해당될



〈표 5〉 중·장기 전력 수요 전망

단위 : MW, %

연도 수요	1999	2000	2005	2010	2015	연평균 증가율 (1999~2015)
최대 수요	37,290	39,510	51,660	60,720	67,510	3.8

자료 : 산업자원부 전계서.

〈표 6〉 원자력발전소 건설 계획

단위 : MW, 기

연도 계획	1999	2002	2004	2005	2008	2009	2010	2011	2013	2014
용량	1,700	2,000	1,000	1,000	1,000	2,000	2,400	1,400	1,400	1,400
기수	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1

자료 : 산업자원부 전력산업과, 「제5차 장기 전력 수급 계획」, 1999. 12

주 : 2010년 이후의 원전 기자재는 차세대형으로 기당 용량이 1,400MW임.

〈표 7〉 국내 원전 기자재의 수급 전망

단위 : MW, %

연도 전망	2000(누계)	2005	2010	2015	연평균 증가율 (1999~2015)
원전 기자재	13,720	1,000	2,400	1,400	3.4

자료 : 산업자원부 전력산업과, 전계서.

것으로 전망된다.

원전 기자재산업의 기술 발전 추이

**1. Architecture & Civil 패키지
가. 엘리베이터**

현재의 엘리베이터 구동 방식은 20세기 초부터 적용된 권상기 방식을 크게 벗어나지 않고 있으나 최초 엘리베이터 출현 이후 전동기 구동, 권상기식, 워드-레오나드식, 워기어/유압/기어리스가 혼재되어 사용되다가 1970년대부터 반도체 제어 방식, 마이크로컴퓨터 제어/AC

VVVF 리니어 모터 방식, 초고속 엘리베이터 기술을 거쳐 최근에는 머신룸리스(Machine-room-less) 기술까지 등장하고 있다.

제어 시스템에서도 최신 구동 제어 기술 변화는 거의 대부분이 주파수 제어에 의한 구동 제어를 통해 승차감, 전력 절감 및 보수성을 확보하고 있다.

또한 엘리베이터 구동 방법에도 과거 단순 방식에서 교류 2단 속도 제어를 통하여 감속 방법이 개선되었고, 이어 전력 반도체의 개발로 가변 주파수 제어(AC-VVVF) 구

동 방식이 현재 거의 모든 엘리베이터에 적용되고 있으며, 군 관리 및 엘리베이터 운용 제어 시스템에서도 과거 릴레이 시퀀스 제어에서 현재는 컴퓨터에 의한 다중 처리 시스템으로 발전하고 있다.

일반적인 용도의 엘리베이터 설계 기준에 비취 현재 원자력발전소에 적용되는 엘리베이터 설계 기준은 크게 아래와 같은 세 가지 측면에서 추가적인 요건을 부과하고 있다.

엘리베이터 부재의 내진 설계 요건, 관리 구역 내를 운행하는 엘리베이터의 마감재 규제 요건, 방화 구역 내 엘리베이터의 내화 성능 요건 등이다.

원전용 엘리베이터의 최신 기술 동향을 보면 다음과 같다. 구동 제어 방식으로 가변 주파수 제어(VVVF) 방식을 적용하고 있으며, 엘리베이터 컨트롤 시스템을 마이크로 프로세서를 기초로 하는 디지털 방식을 적용하고 있다. 그리고 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 기술을 채택하고, 엘리베이터의 전기 장치의 전자파 감쇄를 위한 EMI Filtration 기술을 적용하고, 안전 장치로 승차 감지를 위한 Multiple Photocell Detector 기술을 활용하고 있다.

나. 시멘트 및 콘크리트 관련 제품
국내 원전 건설에 쓰이는 시멘트는 ASTM C150의 Type V 시멘트가 주종을 이루고 있으며, 국내 자

체 기술에 의해 생산되고 있어 완전 국산화를 이루고 있는 품목이다.

콘크리트 공사 관련 제품인 방수 Sheet · 지수판 · Joint Filler · Grout 등도 완전 국산화 생산되고 있으나 부분적으로 Non-Shrink Grout 제품 등 해외 선진 기술 제품에서 특허 사용료를 지불하고 있다.

다. 철근 및 철근 이음 자재

국내 원전 건설에 사용된 철근의 적용 규격은 ASTM A615로 국내 기술에 의해 생산하고 있다.

#14 · #18 과 같은 대구경 철근은 올진 5 · 6호기 이전 원전 공사에서는 국내 생산 시설의 미비로 인해 미국으로부터 전량 수입하여 사용하여 왔으나 올진 5 · 6호기 공사부터는 국내 업체에서 시설을 갖춰 생산하고 있다. #11 이상 규격의 철근 이음에 주로 쓰이는 철근 이음 자재는 Mechanical Splicing 방식인 CADWELD 방식을 채택하여 사용하여 왔으며, 이에 대한 설계 및 제작에 관한 국내 기술은 개발되어 있지 않다.

Mechanical Splicing 제품은 대부분 특허 관련 제품으로서 앞으로 특별히 대규모 사용 수요가 나타나지 않는 경우 국내에서 기술 자립 및 생산되기는 어려울 것으로 전망된다.

라. 철골 및 철판

철골 및 철판의 적용 규격은 ASTM A36 및 A572가 주를 이루

며, 집수정 · 수조의 Gate 등 일부 분야에서 ASTM A240 규격의 스테인리스 철판이 사용되고 있다.

영광 3 · 4호기 이전 건설에서는 국내에서 생산되지 않는 치수의 경우 수입하여 사용하였으나 그 이후에는 국내 생산 시설의 확대, 생산 가능 치수로의 설계 변경 등을 통해 극히 일부를 제외하고 주로 국내 생산 제품을 사용하고 있다. 일부 수입되고 있는 제품도 국산화 관점에서 기술적인 문제가 있는 것은 아니며 시장 수요의 확대 정도에 따라 국산화 여부가 결정될 것으로 판단된다.

마. 대구경 배관 지지대

대구경 배관 지지대는 철골과 공장 제작 배관 지지대로 구성되는데, 이 중 철골 부분은 국산화 문제가 없으나 공장 제작 배관 지지대 대부분은 기술료를 지불하고 국내에서 복제 생산하고 있고, 그 중 Snubber는 전량 수입 사용하고 있다.

특히 원전에서 사용하는 공장 제작 배관 지지대는 엄격한 품질 요건 준수를 요구하고 있으므로 이에 따른 기술 개발과 성능 입증을 위한 시험 등에 많은 비용이 드는 반면 사용처가 제한적이고, 수요가 많지 않다는 점이 국산화 개발의 제약 요인이 되고 있다.

바. Post-Tensioning System

국내 원전의 격납 건물 외벽에 적용하고 있는 Post-Tensioning

System 기술은 주로 해외에 의존하고 있으며 Stressing 장비 및 Wedge를 제외한 자재들은 국내에서 복제 생산되고 있다.

Post-Tensioning 관련 기술은 주로 특허에 관련되어 있어 국산화하기 위하여는 독자적 방식의 Post-Tensioning System 형식이 개발되어야 하나 이를 개발하고 성능 입증 후 적용하기까지 많은 비용과 시험 및 장기간이 소요되는 반면 이 역시 수요처가 제한적이고, 특히 원전에서 적용하고 있는 것과 같은 대규모적인 것은 타건설 분야에서 전무한 실정이어서 국내 개발은 경제적 관점에서도 실효성이 없는 부분이다.

2. Electrical 패키지

가. 배전반

배전반은 고압 차단기반, 저압 차단기반 · 교류 전동기 제어반 · 직류 전동기 제어반 · 기타 분전반 등으로 구분되는데, 영광 3 · 4호기 이전에는 배전반 대부분이 해외에서 제작되었으며 교류 전동기 제어반과 같은 일부 품목의 경우 국내 제작이 이루어졌으나 해외 업체의 하도급 형태로 제작 설계 및 부품이 모두 해외로부터 도입되었다.

영광 3 · 4호기 및 올진 3 · 4호기에서는 직류 전동기 제어반을 제외하고 모두 국산화 품목으로 분류되어 해외의 제작사들과의 기술 협



력을 통하여 국내 제작사들이 제작 공급하였으나, 배전반에서 가장 중요한 차단기를 비롯한 주요 부품을 대부분 해외에서 수입하여 사용하였다.

영광 3·4호기 및 울진 3·4호기를 거치면서 국내 제작 업체의 원전용 배전반 제작 능력은 빠르게 향상되었으며, 영광 5·6호기부터는 모든 배전반을 국내에서 설계하여 납품하고 있다.

IEC 규격에 따라 개발되어 이미 수화력발전소 및 산업 플랜트에 적용되어 왔으나 미국의 NRC 및 ANSI를 주요 요건으로 하여 건설되는 국내의 원전에 적용할 수 없어 외제를 전량 수입하여 적용하던 차단기는 영광 5·6호기부터 일부 제작 업체가 원전용 차단기 개발에 착수하여 교류 전동기 제어반 및 분전반에 적용되는 몰드 차단기가 국산화되었다.

이어 울진 5·6호기에서는 고압 차단기 및 저압 차단기가 원전용(ANSI 요건)으로 국산화 개발 완료 단계에 있다. 그러나 직류 차단기의 경우 시험 비용 및 시장성 등의 이유로 현재까지 외제를 수입하여 적용하고 있다.

국내 차단기 제작 업체의 기술 수준은 원전용 차단기를 충분히 개발·제작할 수 있는 능력을 소유하고 있으나, 시장성 및 개발 비용 등의 이유로 소수의 대기업 업체에서

만 국산화에 관심을 가지고 있다.

배전반에 적용되는 주요 기자재들은 보호계 전기류 일부를 제외하고는 대부분 국산화가 완료되었거나 완료단계에 있다.

나. 케이블

원자력발전소에 적용되는 케이블은 전력 케이블·제어 케이블·계장용 케이블·특수 케이블·조립케이블 등으로 구분된다.

영광 3·4호기 이전의 원전에서는 모든 케이블을 해외에서 수입하여 사용하였다. 영광 3·4호기부터 특수 케이블 및 조립 케이블을 제외한 모든 케이블이 국산화되었으며 울진 5·6호기에서는 일부 특수 케이블(Thermocouple 케이블)도 국산화하였다.

영광 3·4호기에서는 안전급 케이블의 외장에 대한 색깔을 검정색으로만 제작 가능하였으나 울진 3·4호기부터는 안전급 케이블의 외장 색깔을 Segregation Code별로 빨강·초록·노랑·파랑 등으로 제작할 수 있게 되었다.

특수 케이블의 경우 국내 제작 업체에서 국산화 노력을 계속하고 있으므로 후속 호기부터는 조립 케이블을 제외한 대부분이 국산화될 것으로 전망된다.

다. 변압기

원전에 적용되는 변압기는 주변 압기·소내 보조 변압기 및 대기 보

조 변압기 등의 전력용(유입식) 변압기와 조명 및 전기 보온 설비용의 배전용(건식/몰드) 변압기로 분류할 수 있다.

전력용 변압기 및 배전용 변압기는 모두 비안전급 전기기기로 영광 3·4호기 이전부터 외국 업체와의 기술 협력을 통하여 국내에서 제작하고 있었으며 영광 3·4호기부터 국산화 품목으로 분류되어 이미 국산화가 완료된 품목이다.

배전용 변압기는 특별한 부속 장치가 없는 간단한 변압기로 완전 국산화가 완료되었다고 판단되며, 전력용 유입식 변압기의 경우 부하탭 절환 장치, Sudden Pressure Relay, 브호홀쯔 계전기 등 일부 주변 기기를 해외에서 수입하여 적용하고 있으나, 핵심 부품인 철심 및 권선을 비롯한 변압기의 전체적인 설계, 제작이 국내에서 가능하게 되었다.

라. 362kV 가스 절연 개폐소

옥외 개폐소(스위치야드)로 옥외 철구형 또는 부분 가스 절연 개폐소가 적용되어 오다 영광 1·2호기부터 전폐 가스 절연 개폐소가 적용되기 시작하였다.

362kV 전폐 가스 절연 개폐소는 영광 3·4호기 이전에는 1개 업체만이 외국 업체와의 기술 제휴로 국내 제작이 가능하였으며 영광 3·4호기부터는 2개 업체에서 제작이 가능하게 되었다.

가스 절연 개폐소는 차단기·단로기/접지 개폐기·가스 절연 모선·변압 변류기·피뢰기·압축 공기 장치·기타 제어반 등으로 구성되며, 대부분의 부품을 일본 및 유럽 등지에서 구매하여 사용해오다가 최근에는 변압 변류기 및 피뢰기를 제외하고는 대부분 국산화되었다.

362kV 가스 절연 개폐소 개발 완료 후 초기에는 실제 사업에 적용 시 고장도 많이 발생하였으나 현재는 지금까지 발생한 문제점이 모두 개선되어 안정 단계에 접어들었으며 최근에는 362kV 63kA 및 800kV 50kA 가스 절연 개폐 설비도 개발되었다.

마. 축전지

영광 3·4호기 이전에도 비안전급 축전지는 국내 제작이 가능하였으나 안전급 축전지의 제작이 이루어지지 않아 원전에 적용하지 못하다가 영광 3·4호기에서 처음으로 안전급 축전지가 개발되어 사용되기 시작하였다.

안전급 축전지의 개발은 축전지 자체의 특성보다는 기기 검증 측면에서의 비용 문제로 현재까지 국내에서 1개 업체만이 원전에 공급 가능한 것으로 평가되고 있다.

**3. Instrument & Control 패키지
가. 공기 조화 제어반**

영광 3·4호기 공기 조화 제어반은 재래식 형태의 모듈을 제어반 내

부에 설치하여 필요한 지시 및 기록·제어 기능을 제공하고 있으며 지시계로는 바늘이 있는 재래식 형태를 사용하였다.

이러한 설계 개념은 기기 성능과 유지 보수성 저하, 부품 조달 측면에서 문제점이 노출되었으며 올진 3·4호기부터 성능 향상과 제어반 내부 와이어링 개선 및 기기 설치를 가능한 단순화시키는 방향으로 개선하였다.

특히 마이크로 프로세스를 기반으로 한 컨트롤러를 사용하여 관련 하드웨어를 소프트웨어로 대체하여 하드웨어 수를 줄여 제어반 내부 공간을 확대하고, 모듈이 아닌 카드 형태를 사용함으로써 유지 보수성을 향상시켰다.

영광 3·4호기 이전의 경보 계통은 재래식 형태의 기자재로 구성되어 있으며 설계 변경 작업의 불편함, 유지 보수성의 저하, 즉각적인 세부 경보 확인의 불가능, 모든 경보의 발생 시간을 확인할 수 없는 등의 단점을 지니고 있어 이를 보완하기 위해 영광 3·4호기부터는 마이크로 프로세스를 기반으로 한 경보 계통으로 설계하였다.

당시에는 원전에 컴퓨터를 이용한 경보 계통이 처음 적용된 것으로 안전 등급 기기 검증과 Documentation에 어려움이 예상되어 외자 도입으로 결정되었으며 경보창 할당, 입력 신호 형태, Sequence 등

의 변경 시 하드웨어가 아닌 소프트웨어 데이터 변경만으로 처리되도록 하였다.

또한 영광 3·4호기 경보 계통은 인간 공학 원리를 적용한 최초의 발전소로 인적 실수를 줄이기 위한 실용적인 인간 공학 기준을 적용하였다.

즉 경보 CRT를 통해 세부적인 경보 입력을 운전원에게 제공하고, Lampbox 상단에 기능적인 명칭을 부여하여 계통 상태 파악이 용이도록 하였으며, 경보 중요도 별로 우선 순위, 할당, 인간 공학적 경보창 배치, 국내 운전원에게 적합한 색상 등을 적용하여 설계하였다.

올진 3·4호기는 이러한 설계 개념에 준하고 선형 호기에서 문제점으로 지적된 사항을 개선하였으며 특히 경보 입력을 현장에 설치된 MUX를 통해 계통과 연결토록 하여 케이블량을 절감하였다.

올진 3·4호기 공급자인 현대중공업은 주요 기자재를 미국에서 구입하고 국내에서는 이들을 조립하는 형태로 제작하여 일부 부족한 기술을 보완하였다.

비록 외국 기술에 의존하여 경보 계통 설계 및 제작을 수행하였지만 MUX 성능과 Lampbox 유지 보수 시 문제점이 발생되어 이를 후속 호기에서 개선하였다.

영광 5·6호기 경보 계통은 국내 업체인 우리 기술에 의해 제작·공



급되었으며 기기 설계 및 제작을 독자적으로 수행하여 실질적인 국산화를 이룩하였다고 볼 수 있다.

따라서 국내 공급 업체는 설계 및 제작 경험이 있고 기술 능력도 확보되어 있어 국내 기술만으로 모든 기자재를 공급할 수 있는 것으로 판단된다.

다. 제어 밸브

원자력 분야의 제어 밸브는 일반용 제어 밸브와 안전 등급 및 고온 고압용 제어 밸브로 구분한다.

영광 3·4호기 및 그 이전의 사업에서는 일반용 제어 밸브와 안전 등급 및 고온 고압용 제어 밸브 모두 해외 시장에서 구매하였다.

울진 3·4호기에서는 정부 및 한전의 원전 기자재 국산화 정책에 따라 원자력발전소의 안전성과 직접적으로 관련이 없는 일반용 제어 밸브는 국내의 유자격 업체를 선정하여 국내 시장에서 구매함으로써 원자력발전소용 제어 밸브의 국산화 기틀을 마련하였다.

원자력발전소의 안전성과 직접 관련이 있는 안전 등급 및 고온 고압용 제어 밸브는 국내 업체들의 기술력 및 경험 부족으로 원자력발전소에서 요구하는 수준의 제품을 제작 및 공급할 능력이 부족하기 때문에 해외 업체 중 원자력발전소에 공급한 실적이 있고 구매 규격서의 요건에 만족하는 업체에 발주하여 구매함으로써 여전히 해외 기술력에

의존하였다.

그 후 정부의 지속적인 원자력발전소 건설과 기자재 국산화 정책에 따라 국내의 제어 밸브 제작사들의 기술 개발을 지원해 왔으며, 제작사들의 기술 수준도 선형 호기의 공급 경험을 토대로 자체적인 기술 개발 또는 해외 유명 밸브 회사와의 기술 협약 등으로 원자력용 제어 밸브를 제작할 수 있는 수준으로 향상되었다. 따라서 영광 5·6호기 사업과 울진 5·6호기 사업에서는 모든 원자력 발전소용 제어 밸브를 국내 업체에 발주하여 구매하고 있다.

그러나 원자력용 제어 밸브의 전체 국산화에는 막대한 비용과 시간이 소요되는 반면 그 수요가 한정되어 있으므로, 국내의 제어 밸브 전문 제작사들의 기술 개발에도 한계가 있는 것으로 보여진다.

현재 국내에서 원자력용 제어 밸브를 제작 공급할 수 있는 유자격 업체는 2개 회사로 극히 제한되어 있으며, 그 2개사도 일부 부품 및 밸브를 아직도 해외 협력 회사로부터 기술을 도입하여 제작하거나, 완제품을 수입하여 공급하고 있는 실정이다.

특히 안전 등급 및 고온 고압용 제어 밸브의 경우는 대부분 해외 유명 밸브 회사의 제품을 수입하여 공급하고 있는 실정이다.

해외 유명 제어 밸브 제작사들은 자국의 원자력 산업이 침체하고 있

음에도 불구하고 계속적으로 기술 개발을 추진하여 신제품을 생산하고 있으며, 이들 제품을 현재 원자력발전소를 건설하고 있거나 건설을 계획하고 있는 국가에 공급을 시도하고 있다.

따라서 국내 제어 밸브 제작사들은 이들 해외 유명 밸브 회사들과 기술 협력 관계를 지속적으로 유지하면서 신기술을 도입하고, 이와 병행하여 자체적으로 기술 개발을 추진할 경우 머지않아 원자력발전소용 제어 밸브의 완전 국산화를 이룩할 것으로 보여진다.

4. Mechanical 패키지

가. 복수 및 급수 승압 펌프

복수 및 급수 승압 펌프의 경우 영광 3·4호기 이전은 단순 제작 정도의 기술 수준이고 외국사의 기술을 도입하여 설계하였으며, 이후는 자체 설계·제작이 어느 정도 가능하나, 향후 원전의 전펌프류를 국내 업체 자체 설계를 목표로 하고 있다.

1984년 ALSTOM 등과 기술 제휴를 맺었으며, 울진 1·2호기 및 영광 3·4호기 당시 단품 제작으로 시작하여 월성 2호기부터 국내 자체 설계 및 제작 가능하다.

급수 승압 펌프는 영광 3·4호기 당시 IDP사 등과 기술 제휴로 일부 주조품 및 제관품 제작으로 시작하여 울진 3·4호기부터 국산 기술로 자체 설계·제작 가능하다.

나. 해수 순환수, 주급수 및 기동 급수 펌프

해수 순환수 펌프는 울진 3·4호기가 IDP사 등과 기술 제휴로 최초 제작하여 1990년부터 자체 설계 가능하며, 화력 발전소에는 계속 공급하고 있었다.

주급수 및 기동 급수 펌프의 경우 1992년 ALSTOM과 기술 제휴를 맺었으며, 영광 5·6호기를 시작으로 현재 자체 설계 제작 가능하다. 원자력발전소의 건설과 관련된 대한민국 원자력법과 전력기술기준(KEPIC) QAP-1, 10 CFR 50 Appendix B, ASME Boiler and pressure vessel code section III, Division I, ANSI/ASME NQA-1, CSA CAN3Z299, ISO 9001의 요구 사항 및 고객의 계약 요구 사항을 만족하고 있다.

다. 용수 처리 설비

국내 원자력발전소의 용수 처리 설비는 크게 원수 및 수처리 설비, 복수 탈염 설비, 해수 전해 설비로 대별하며, 이들 설비는 하나의 구매 규격서로 통합되어있고 기자재 공급자가 계통의 상세 설계, 기자재의 제작 및 납품, 현장 설치 및 시운전까지를 수행하는 패키지 형태로 공급 설치되었다.

원수 및 수처리 설비는 소외 댐의 공업 용수를 공급받아 원수 처리 설비에서 부유 물질, 탁도 및 미생물을 제거한 후 순수 처리 설비에서

이온성 물질 및 가스상 물질을 제거하여 제조된 순수를 저장한 후 발전소 계통에 보충하게 된다.

원수 처리 설비의 주요 기기로는 응집 침전기·수평 압력 여과기 및 약품 주입 설비 등으로 구성되며, 순수 처리 설비는 활성탄탑·양/음이온 교환 수지탑·탈탄산탑·혼상수지탑, 진공 탈기 및 수지 재생 약품 설비(황산 및 가성 소다 저장 및 공급 설비) 등으로 구성된다.

복수 탈염 설비는 증기발생기에 공급되는 복수에 포함된 슬러지 성분 및 이온성 물질 등을 제거하여 발전소 기동 및 정상 운전시 급수의 수질을 개선하고, 복수기 튜브의 해수 누설 및 증기발생기 누설에 의한 방사능 오염시 계통 수질을 보호하기 위해 설치된다.

구성 기기로는 양이온 교환 수지탑, 혼상 수지탑과 재생 설비(수지 재생 탱크 및 약품 저장, 공급 설비) 등이다.

해수 전해(염소 주입) 설비는 해수를 냉각수로 사용하는 발전소에서는 해수중에 패각류와 기타 해양생물이 냉각수의 수로나 복수기 튜브의 내부에 부착 서식함으로써 유로의 저항을 증가시키고 열교환 효율 저하와 부식을 촉진시키게 되므로 이를 억제하기 위한 대책으로 해수중의 차아 염소산 소다를 전기 분해 방식으로 생산하여 순환수 취수 설비 전단에 주입하는 설비로 해수

공급 펌프, 해수 전해 설비, 차아 염소산 소다 저장 탱크 및 주입 펌프 등으로 구성된다.

원수 및 수처리 설비의 경우 고리 3·4호기까지는 외국 업체와 기술 제휴를 통해 설계를 수행하였고 핵심 부품에 대해선 외국 기술의 협조를 받아 일부 제작하거나 전량 수입에 의존하여 설비를 공급하였다.

이후 영광 1·2호기에서 그 동안 축적된 기술과 경험을 바탕으로 설계를 포함한 전부분에서 완전 국산화를 이룩하였으며, 울진 1·2호기부터는 운전 제어 방식을 PLC와 CRT Monitoring 복합 방법으로 개선하여 운전의 효율성과 편의성 및 신뢰성 더욱 향상되었다.

그 동안의 국내 원전 수처리 설비 공급 경험을 바탕으로 기술 개발을 지속적으로 추진하여 이온 교환 수지를 이용한 탈염 처리 방식 중 가장 진보한 유동 수지층(Fluidized Bed)을 이용한 상향류 통수 방식(Uplow Service)를 채택한 설비를 해외 원전(중국 링야오 1·2호기)에 공급하여 성능 시험까지 성공적으로 완료하여 국산 기술이 기존의 해외 타회사 설비보다 우수하다는 평가를 받은 바 있으며, 이를 계기로 중국뿐만 아니라 동남아 시장 진출 전망을 밝게 하고 있다.

용수 처리 설비의 기술 발전은 현재까지 순수 생산을 위해 주로 사용해 왔던 이온 교환 수지를 이용한



전통적인 방식에서 점차 막(역삼투막, 전기 투석막, 한외 여과막 등)을 이용한 설비가 보편화되어가고 있는 추세이고, 또한 이러한 설비는 순수 생산뿐만 아니라 물 부족 시대를 대비하여 해수 담수화 설비, 폐수 재활용 설비에도 폭 넓게 사용될 수 있게 되었다.

운전 제어 방식의 경우에는 현재의 PLC-CRT Monitoring 방식에서 한 단계 발전한 컴퓨터 단독 제어 방식이나 무인 운전이 가능하도록 위성이나 전용선을 이용한 원거리 원격 제어 방식으로 발전될 전망이다.

라. 크레인 및 호이스트

원자력발전소의 건물 내에 설치되는 주요 크레인으로는 격납 건물 천장 크레인·터빈 건물 크레인·핵연료 건물 크레인·취수장 겐트리 크레인 등이 있으며, 중량물 운반 및 기기의 보수를 위한 일반 크레인 및 호이스트가 건물 내의 각 요소에 설치된다.

영광 3·4호기 이전의 경우 중량물 운반 및 기기 보수용 일반 크레인 및 호이스트는 일반 산업용 인양기와 유사하여 일부 주요 부품을 제외하고는 대부분 국내 자체 기술로 설계 및 제작이 가능하였으나, 원전의 안전성 관련 기기를 취급하는 격납 건물 천장 크레인 및 핵연료 건물 크레인은 일부에 국내 제품이 사용되고 있었을 뿐 구동기 및 제어 장치의 거의 모든 제품이 외국의 기

술에 의존하고 있는 실정이다.

영광 3·4호기 건설 당시 원전 사용 기기의 국산화를 향상을 위한 정부의 정책에 따라 그 동안 외국 기술 제휴선을 통해 수입에 의존하고 있던 크레인의 주요 장치와 내진 설계 및 제작 기술을 자체 개발하여 각종 시험 및 품질 검증을 통해 크레인의 성능 보증이 입증됨에 따라 국산화에 성공, 납품하여 설치 완료하였다. 자체 개발된 기술을 지속적으로 발전시켜 올진 3·4호기 및 영광 5·6호기 주요 크레인을 원활히 제작 납품하였다.

크레인의 속도 제어 장치·충돌 방지 설비 등 일부 핵심 부품은 아직 수입에 의존하고 있으나, 조만간 관련 기기의 국내 개발이 가능할 것으로 기대되고 있어, 완전 국산화된 크레인을 KEDO와 중국 등 해외 원전으로 원활한 진출이 기대된다.

마. 송풍기

원전용 송풍기는 안전 등급과 비안전 등급으로 구분되며 비안전 등급의 송풍기는 영광 1·2호기 초기부터 영광 5·6호기까지 국산 제품이 꾸준히 사용되고 있다. 그러나 원전의 안전성과 관련되어 내진/내환경 설계 및 성능 보증이 필요한 안전 등급 송풍기는 제작 설계 및 성능 검증에 대한 기술력 미흡으로 올진 3·4호기까지 해외 수입 제품을 사용하였다.

이후 정부의 원전 기자재 국산화

및 중소기업 지원 정책의 일환으로 수요자와 송풍기 제작 전문 업체와의 「원전 기자재 국산화 협력 개발 연구」 사업의 결실로 국산화에 성공하여 영광 5·6호기 이후부터 안전성 관련 송풍기로 국산 제품이 사용되고 있다.

영광 1·2호기 이후 20년이 지난 현재까지의 국내 제작 업체의 기술 축적과 최근 안전 등급 송풍기의 국산화 기술력을 바탕으로 송풍기 설계/성능 향상의 난제인 고효율·저소음 및 저진동 설계에 지속적인 연구/개발을 수행할 경우, 해외 원전 시장에 안전성 관련 국산 송풍기의 진출이 기대된다.

바. 냉동기

냉동기(Chiller)는 국내 원자력 발전소의 경우, 영광 3·4호기 이전에는 비안전 등급 냉동기의 일부에 국내 제품이 사용되고 있었을 뿐이고 안전 등급 및 비안전 등급 냉동기의 거의 모든 제품이 외국의 기술에 의존하고 있는 실정이었다.

그러나 영광 3·4호기 건설 당시 발전소 사용 기기의 국산화를 향상을 위한 정부의 정책에 따라 그 동안 모두 수입에 의존하고 있던 안전 등급 냉동기의 국산화를, 설계 기술 개발 및 이에 대한 해외(미국) 전문 검증/시험소의 품질 검증을 통하여 냉동기 국산화에 성공, 납품을 완료하였다.

이후 CFC 규제 문제로 대체 냉

매의 사용이 필요하게 되었으며, 국내 업체들은 냉동기 냉매에 대한 압축기 및 시스템 개발을 지속적으로 추진하여 울진 3·4 및 영광 5·6호기 비안전성/안전성 관련 냉동기를 납품하였다.

더불어 국내 냉동기 생산 업체들은 국내 원자력발전소 납품 경험과 지속적인 자체 개발을 통하여 사업의 지속적인 확대와 동남아 및 중국 등의 해외 원전에 국산 냉동기 납품을 적극 추진하고 있으며, 국내 원전 납품 후 냉동기의 우수한 운전이력이 입증되고 가격 경쟁력을 갖출 경우 국산 냉동기의 해외 원전 시장 진출 전망은 매우 밝다.

5. Nuclear 패키지

가. ASEM Section III Heat Exchangers

영광 3·4호기의 경우 열교환기 제작 분야는 그간의 제작 경험을 토대로 하여 충분히 제작 가능한 기술 수준을 보유하고 있었으나 열교환기의 기본 설계 분야(Thermal Performance Analysis, Mechanical Calculation 등)는 유체의 형상 변화 여부와 정도를 평가한 후 장치의 형식에 의해 혹은 유동의 상황에 따라서 각각의 경우에 적합한 식을 찾아 열전달 계수를 계산하여 필요한 전열면적을 계산하고 공정 조건에 적합하기를 확인하여야 하므로 오랜 시간의 경험이 요구되는 기술이

어서 대부분의 기술을 외국 선진 회사에 의존하였다.

아울러 기술 선진국들이 설계 방법의 공개를 꺼리는 경향이 있어 기술 자립시 많은 애로 사항이 있었다.

그러나 유사 품목(열교환기)의 설계·제작 경험 및 기본 설계의 경험이 풍부한 선진국의 기술 자문 자료(유사 품목)를 토대로 하여 본 품목에 대한 설계 및 제작을 수행하였다.

본 품목의 기술 자립시 많은 시행착오와 경험을 하였지만 선진국과 같은 기술 수준을 달성할 수 있었다. 특히 열교환기의 필수 기술이라고 할 수 있는 기본 설계 분야를 자체적으로 수행할 수 있게 되어 기술 자립의 근간을 마련하였다.

영광 3·4호기 이후에는 본 품목에 대한 제작·설계 경험을 토대로 이후에 이루어지는 모든 프로젝트(울진 3·4호기, 영광 5·6호기 및 울진 5·6호기)에 대해서 자체 기술로서 수행할 수 있어 완전 국산화가 이루어졌다. 아울러 외국에서 발주한 프로젝트에서도 본 품목과 유사한 제품에 대해 수출 계약이 이루어졌거나 수출이 가능하여 국산화 뿐만 아니라 기술 수출국으로서 입지를 넓히는 계기가 되었다.

나. Shop Fabricated Pressure Vessel and Tank(ASME III)

영광 3·4호기까지의 설계는 외국 기술 주도하에 수행되어 기술은 외국에 의존하고 제작만 국내에서

수행되었다. 울진 3·4호기에서는 국내 기술로 설계되었으나, 기술 기준은 여전히 미국의 ASME Code를 적용하여 수행되었다.

따라서 기술의 해외 의존도가 높은 상태에서 영광 5·6호기의 국내 기술 자립이 수행되었으며, 울진 5·6호기는 해외 기술 기준(ASME) 적용에서 국내 기술 기준(KEPIC)을 적용하여 기기 설계·구매 및 제작이 수행되고 있다.

다. New & Spent Fuel Storage Racks

신연료 및 사용후 연료 저장대는 원자력발전소 노심에 장전할 신연료와 노심에서 연소된 사용후 연료를 일정 기간 동안 저장하기 위해 핵연료 건물 내 신연료 저장조(New Fuel Pit)와 사용후 연료 저장조(Spent Fuel Pool)에 설치된다.

신연료 저장조는 건조 상태로 신연료 저장대에 신연료를 임시로 보관하고 있으며, 사용후 연료 저장조는 연소된 핵연료에서 발생하는 붕괴열을 충분히 냉각하여 연료의 건전성 유지 및 방사선 차폐의 목적으로 붕산수로 채워진 Pool 속의 사용후 연료 저장대에 사용후 연료를 보관한다.

영광 3·4호기 및 울진 3·4호기 사용후 연료 저장대는 표준 저장 개념에 따라 설계된 기술로 원전에서 발생된 사용후 연료를 10년 동안 저장할 수 있는 용량으로 설계되



어 있으며, 저장대 제작에 사용된 재질은 Stainless Steel만을 사용하고 있다.

영광 5·6호기 및 울진 5·6호기의 사용후 연료 저장대는 조밀 저장 개념에 따라 설계된 기술로 비상 노심과 전체 노심의 1/3을 저장할 수 있는 Region I과 정상적으로 연소된 사용후 연료를 저장할 수 있는 Region II로 이루어진 2 영역 개념을 도입하여 사용후 연료를 20년 동안 저장할 수 있어서 사용후 연료 저장조 크기의 증가없이 저장 능력을 증가시켰다.

저장대 제작에 사용된 재질은 Stainless Steel에 사용후 연료 저장시 임계에 도달하지 못하도록 중성자 독물질(Poison Material)인 Boral을 부착하여 제작된다.

6. Piping 패키지

가. 배관

영광 3·4호기에서 6" 이하의 소구경 배관은 Seamless Pipe로 국내 생산 가능하였으며 8" 이상의 Seamless Pipe는 주로 외국 업체의 생산품을 수입하여 사용하였다.

Welded Pipe의 경우 그 크기에 상관없이 원소재를 구입하여 국내 생산이 가능하였다. 현재의 기술 수준도 영광 3·4호기 당시와 비교하여 크게 발전되지는 않았으며 대구경 Seamless Pipe는 주로 외국으로부터 수입하여 사용하고 있는 실

정이다.

이는 국내 업체의 기술 능력이 앞서기보다는 원자력발전소에 사용되는 대구경 Seamless Pipe의 소요량이 극히 제한적이기 때문에 관련 업체의 설비 투자가 뒤따르지 않았기 때문이다.

나. 관이음쇠

관이음쇠(Pipe Fittings)는 영광 3·4호기 당시부터 초대형 단조 제품을 제외한 대부분의 관이음쇠는 국내 업체에 의해 생산되고 있었다. 국내의 관이음쇠 생산 업체는 일반 플랜트에 사용되는 제압/용접 이음관 이음쇠로부터 생산 경험을 익혀 영광 3·4호기 건설 당시 이미 상당한 기술 수준에 도달하였다.

현재에는 고압/WROUGHT 관이음쇠에 이르기까지 그 기술 수준이 매우 발전하였으며, 일부 초대형 단조 제품을 제외하고는 원자력발전소에 필요한 모든 관이음쇠를 생산할 수 있을 정도의 발전을 이룩하였다.

다. 밸브

영광 3·4호기 이전에는 2" 이하의 소구경 단조 밸브 또는 주철/청동 밸브 등 일반 Plant에서 주로 사용되는 밸브들만 국내에서 생산되고 있었다.

영광 3·4호기부터 주강밸브를 국산화하기 시작하여 현재는 Controlled Closure Check Valve(CCCV)와 일부 제어 밸브를 제외한 대부분의 밸브들을 국내 업

체가 생산하여 원자력발전소에 납품하고 있다.

ASME III Motor Operated Valve도 영광 5·6호기부터 국산화되었으며 Tilting Disc Check Valve도 국내 업체에 의해 생산되었다. MOV 및 AOV의 Actuator는 아직 외국으로부터 수입되고 있으며 Controlled Closure Check Valve는 국내에서의 생산 경험이 아직 없으나 이 품목도 조만간에 국산화 개발이 완료될 것으로 보인다.

울진 3·4호기 건설 당시부터 능동 전동 구동 밸브(Active MOV)에 대해 ASME B16.41 요건에 따라 Functional Qualification Test를 수행하여 MOV의 작동성을 검증하기 시작하였으며, 영광 5·6호기에서는 MOV와 AOV에 대해 ASME B16.41 요건에 따른 Functional Qualification Test를 수행하였다.

울진 5·6호기에서는 ASME B16.41의 개정 신판인 ASME QME-1 요건을 적용하여 동력 구동 능동 밸브(MOV 및 AOV)뿐만 아니라 Self Operated Check Valve에 대해서도 Functional Qualification Test를 거쳐 그 작동성을 보장하도록 하고 있다.

이는 해외 업체에서도 아직 적용해본 선례가 없는 것으로 원자력발전소에 밸브를 납품하는 국내 업체의 기술은 세계적인 수준으로 발전하고 있다. (다음호에 계속)