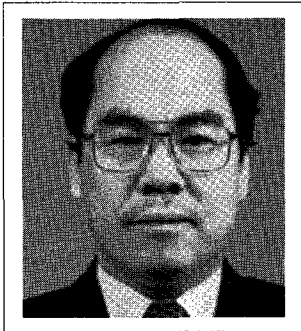


한국표준형 원자로 · 중수로원자로 국산화 성공

김 병 국

한국중공업(주) 원자력공장 공장장(부장)



우리 공장이 원자로설비의 국산화를 위해 걸어왔던 발자취와 현황을 살펴 본다.

한국표준형원자로 설비 국산화

1. 개 요

81년 울진원자력 1·2호기와 영광 원자력 1·2호기의 원자로설비 제작을 한국중공업(주)가 시작한 이후 최근 국내의 초미의 관심사항인 한국표준형 원자로설비는, 설계·소재 제작에서 가공·제관·조립까지 전공정을 한국중공업(주)가 수행하여 공급하는 제품이다.

주지하는 바와 같이 그동안 선진국이 독점공급해온 원자로설비를 영광 원자력발전소 3·4호기부터 한국중공업(주) 원자력공장이 주도하여 제작·공급하게 되었다.

그 제작경험을 토대로 수정·개량된 울진원자력발전소 3·4호기를 한

국표준형으로 정해 93년 제작에 착수, 95년 4월에 성공리에 제작·완료하여 3호기를 공급하였으며, 4호기는 95년 11월에 제작완료하여 현재 울진 건설현장에 설치중에 있다.

2. 생산성 및 품질향상

가. 생산능력

원자력공장의 연도별 생산능력 추이를 보면 <표 1>에서 보는 바와 같이 영광원자력발전소 3·4호기 초기 제작연도인 90년에 109%, 91년 134%, 92년 115%로 유지되고 있다.

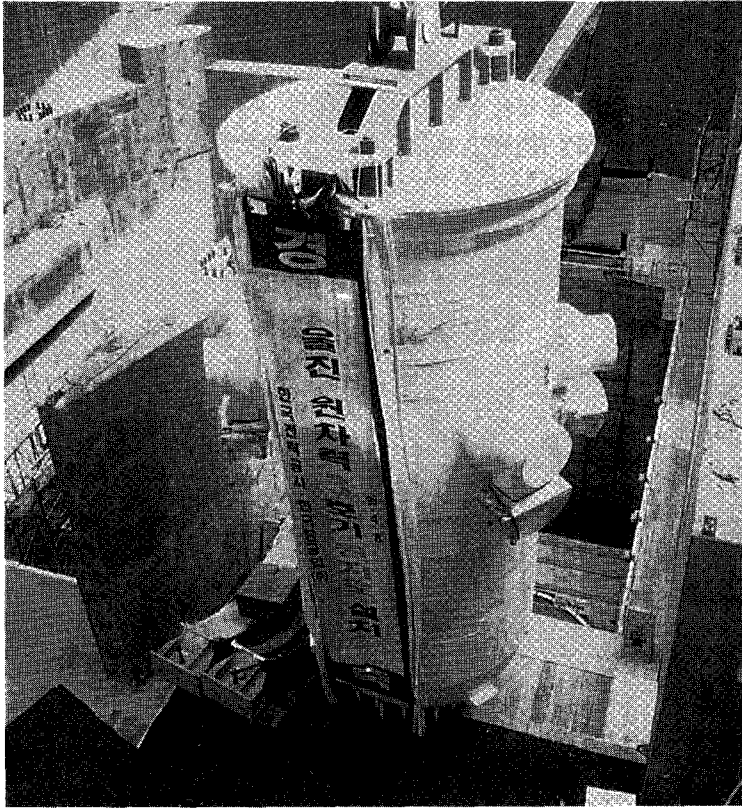
91년에는 초기 제작지연 부분을 채우기 위하여 높은 능률을 올렸음을 볼 수 있다.

울진원자력발전소 3·4호기 제작이 착수된 93년에는 128%, 94년 112%, 95년 113%를 기록하였으며, 94년부터는 월성원자력발전소 2·3·4호기의 물량 증대와 노사관계 불

한

국중공업(주) 원자력공장(공장장 김병국)이 제3회 한국원자력기술상 대상의 수상자로 선정된 것은, 한 공장 일개인의 영광이라기 보다 그간 각고의 노력과 투철한 사명감으로 제조기술의 최고 진수인 원자력발전소 기자재 제작의 기술개발에 전력투구한 모든 사람들의 노력의 결과물이라 생각한다.

이번 수상을 통해 앞으로의 사명감을 더욱 느끼며, 이 지면을 통해 그간



울진원자력 3호기 원자로 설치 장면

안정 등의 요인이 있어 약간 낮게 유지되었다.

나. 품질향상

원자로설비의 품질보증을 위하여 원자력공장에서는 제작전·제작중·제작후의 수많은 검사를 계약조건에서 요구하는 조건보다 매우 엄격하게 규제된 SPEC를 준수하고 반복 다단계 비파괴검사를 수행하여, 외국업체에 비해 품질우위 확보에 전념하고 있다.

그동안 품질향상의 추이를 살펴보면 첫째, 품질검사부분은 전반적으로 99% 수준의 합격률을 유지하고 있으며, 91년 98.6%에서 95년 99.8%로 점차적으로 상승되고 있다.

이는 생산작업자의 품질관리 의식 고취와 자주검사 생활화 등의 결과로 판단된다.

둘째, 비파괴검사 합격률은 연도별로 점차적으로 상승되고 있으며, 합격률이 PT·MT·UT 합격률에 비하여 다소 낮은 상태이다(표 2).

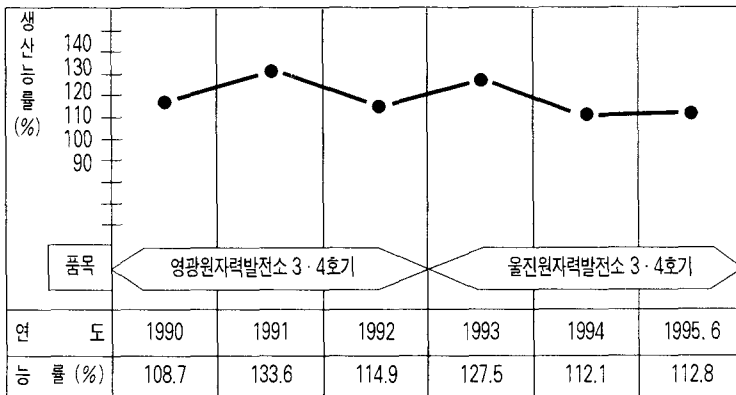
다. 표준화

제작에 관련된 표준화 부분은, 우선 원자로설비 전체 각 품목별의 소공정을 분량 20권에 표준소공정화하여 정리·유지·보완하고 있으며, 각 공정별 작업지침서는 약 260건 정도를 표준화하였다.

한편 Jig & Fixture는 950종류를 도면화하고 마이크로필름화하여 유지·관리하고 있다.

모든 표준화 데이터는 전산화하여

〈표 1〉 한국중공업(주) 원자력공장의 생산능력 추이





월성 4호기 원자로(CALANDRIA) 출하 장면

이다.

3. 제작기술개발

〈표 3〉 참조

가압중수형 원자로설비 국산화

1. 개 요

가압중수형 원자로설비는 AECL의 고유모델로, 우리나라는 월성원자력 발전소에 적용하고 있다.

현재 가동중인 월성 1호기는 전체 완성품으로 수입하여 설치되었으며, 2호기부터 한국중공업(주)가 일부분 제작에 참여하여 공급하였다.

월성 3·4호기부터 명실공히 원자로설비 전체 국산화 성공 목표로 한국중공업(주) 원자력공장이 주도하여 제작중인데, 4호기 중수형 원자로는 95년 12월 8일에 출하하였으며, 그의 3·4호기 주요 설비는 96년말까지 제작 완료할 예정이다.

2. 주요 원자로설비(국산화 품목)

〈표 4〉 참조

3. 제작기술 개발

〈표 5〉 참조

원자력공장 현황(96. 2 현재)

1. 인 력

96년 2월 현재 원자력공장에는 기술직 197명(감 : 13, 을 : 184)이 근

(표 2) 한국중공업(주) 원자력공장의 품질향상 추이

품질 검사	검사건수	113,763	87,862	138,441	234,229	272,893
	합격건수	112,215	86,777	137,797	233,447	272,347
	합격률(%)	98.6	98.8	99.5	99.7	99.8
비파괴 검사 률 %	P T	99.0	99.3	99.5	99.6	99.5
	M T	99.0	99.2	99.8	100.0	99.9
	U T	99.0	98.4	99.4	99.4	99.6
	R T	96.4	96.6	99.3	98.2	98.7
종류	연 도	1991	1992	1993	1994	1995

유사 프로젝트 수행 및 영업자료, 기술자료로 광범위하게 활용하고 있으며, 금년도 회사 총괄 전산화 작업과 연계될 수 있도록 현재 작업을 진행중

〈표 3〉 한국중공업(주) 원자력공장의 한국표준형 원자로설비 제작기술 개발현황

구분	주요개발항목	내 용 요 약
용 접 기 술	Strip Cladding 자동용접기술 개발	- 압력용기, Pipe, Nozzle 내경의 내부식성을 유지하기 위한 Stainless 피복(Caldding)의 용접작업을 광폭 Strip(90×0.5mm) 용접재료를 사용하는 국내 최초의 신공법기술, 외국선진기술의 핵심 - 용접재료 소모량 : Strip(97ton) Flux(138ton)
	대형 Nozzle과 Shell 자동용접 기술개발	- 원자로 제작의 Critical Path(약 7개월)로써 대형 Nozzle과 Shell에 특수 Nozzle 자동용접기술을 국산화한 전자동 용접기술 공법 - 용접재료 소모량 30ton, 용접길이 약 24km
	Small Pipe 내면 Cladding 기술개발	- 최소 4" 내경 이상의 소형 Pipe 내경에 Stainless 피복(Cladding)의 용접작업을 전자동 Tig 용접기술을 자체 개발하여 수행 - 고도의 첨단용접기술 - 화학 Plant에도 확대적용
	Narrow Gap 자동용접기술 개발	- 극후판(약 270mm) 대형 Shell(직경 4m)의 맞대기 용접 이음부를 용접면적 최소화하여 용접 작업시간을 단축시키는 세계 첨단 용접기술 - 협개선 자동 용접장치 전용화
제 관 기 술	폭파에 의한 Tube 확관기술	- 증기발생기, 열교환기 Tube와 Tube Sheet를 접합시키는 작업을 화약을 이용 폭발시켜 폭발력에 의해 Tube를 확관시키는 제작기술 - 고능률(기계식 10배)의 국내 초유의 기술
	냉각막음에 의한 Nozzle 설치기술	- 노즐류를 원자로 Head에 접합시키는 공정에 N ₂ Gas를 사용, 약 -180℃ 정도로 유지하여 Nozzle 외경을 수축시켜 Head에 박음하는 세계 선진기술
	증기발생기 Tubing기술개발	- 증기발생기의 Tubesheet Drilling부터 Tubing·용접·확관까지의 설비·인력·치공구·검사 등의 고도의 기술집약적인 종합제작 기술
	Local 용접 후 열처리 기술개발	- 용접후 응력제거를 위한 열처리시 국부적인 용접 이음부를 열처리하는 기술 - Jig/Fixture Heating Source 등 전용화 장치 개발

무하고 있다.

2. 작업장

길이 276m, 폭 70m, 높이 26m로 약 6,400평이다.

3. 주요설비

〈표 6〉 참조

원자력품질보증자격 인증현황

원자력 발전설비의 기자재 설계·구매·제작·설치 및 사후 서비스에 적용하기 위한 품질보증 프로그램을 81년 처음 ASME 'N' 스탬프 취득시 도입하여 계속 적용·향상시켜 왔으며, 고품질 유지와 고객 만족을 위해 각종 품질시스템 요건에 따라 계속 각종의 자격 유지에 적극 노력하고 있다(표 7).

소 감

그동안 우리나라 원자력발전소 원자로 설비의 역사를 보면, 각 발전소 별로 설계나 시스템이 다양하고 기술 제휴선이나 주계약자가 상이하여, 당사는 제작표준화와 제작기술 개발의 연속성 미흡 및 전문기술인력 이탈 등 수많은 어려움을 겪었다.

그 결과 하드웨어의 기술축적을 이룩하기까지 대외적 요인이나 배경에 의해 수많은 시행착오를 거듭할 수 밖에 없었다.

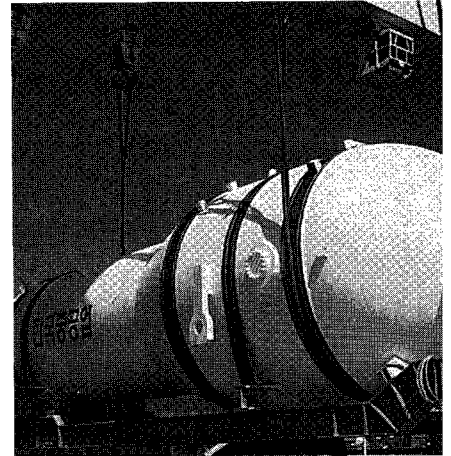
〈표 4〉 한국중공업(주) 원자력공장의 주요 원자로설비 국산화 품목

품 목 명	호기당 수 량	중량 (ton)	크 기(mm)			재 질	제작기간 (개월)
			두께	직경	길이		
원자로 (Calandria)	1	340	29	7,594	8,534	SUS304	28
증기발생기 (Steam Generator)	4	218×4 = 872	74	3,908	19,334	Low Alloy Steel	33
가압기 (Pressurizer)	1	96	125	2,232	16,168	"	20
탈기응축 (Degas Condenser)	1	44	125	2,232	7,415	"	20
1차 열교환기 (Major Heat Exchanger)	5종7기	214	19	1,918	8,973	"	14
계	13기	1,566					



〈표 5〉 한국중공업(주) 원자력공장의 가압중수형 원자로설비 제작기술 개발 현황

구분	주요개발항목	내용 요약
용접기술	증기발생기 및 열교환기 Extrude Tube to Tubesheet 전자동 용접기술	-증기발생기 및 열교환기 Tube와 Tubesheet 돌출용 접 이음부에 고정밀, Programing 첨단 전자동 용접 장비를 개발하여 성공적으로 작업수행 -적용 용접개소 수량 : 42,360hole
	Shell Longitudinal TANDEM 자동 용접기술	-Submerged Arc Welding by TANDEM 용접 전용 장치를 개발하여 Shell Longitudinal Weld Seam에 적용하여 생산성 능률향상(능률 Single 대비 1.8배)
제관기술	진공 Local PWHT 방법 개발	-증기발생기 내부구조물 조립후 Top Head와 Upper/Lower 최종 용접부에 각각 내부응력 제거용 후열처리시 내부 진공조건 유지를 하기 위한 특별한 장치개발로 성공적으로 수행
	열교환기 · 증기발생기 및 원자로 Tubing 장치개발	-열교환기 및 증기발생기 Tubing 조건(온도 · 습도 · 청결)에 적합한 Dleaning Room Platform, Optical 측정장비 등을 자체 개발하여 성공적으로 작업수행



울진원자력 3호기용 증기발생기 출하 장면

〈표 6〉 한국중공업(주) 원자력공장의 주요설비 현황

품명	수량	품명	수량
초대형 가공장비(HBM, VBM, Drill)	3	용접 포지셔너(3~250ton)	5
천정크레인(50~800ton)	5	대형 자동 용접장치	10
대형 열처리로(Gas, Electric)	3	노즐 자동 용접기	5
대형 비파괴검사 Room(9MeV, 6MeV)	2	스트립 크레더	6

〈표 7〉 한국중공업(주) 원자력공장의 품질보증 자격인증 현황

인정증 종류	적용품목	요건	취득 일자	92	93	94	95	96
ISO 90001	ISO 적용품목	ISO STD	93. 3		■	○	○	●
ASME N, NA, NPT	원자력기계제작	ASME NOA-1	81.11	○	●	○	○	●
ASME U, U2, A, S, PP, S	압력용기 · 배관 제작	ASME SECT.VIII APPENDLX 10	82. 5	○	○	●	○	○
ASME MM, MS	원자력소재 제조 공급	ASME SECT.Ⅲ NCA-3800	83. 8	●	○	○	●	○
한국전력공사	원자력/수력력품목	계약요건	-	○	○	○	○	○
과학기술처	원자로압력용기	원자력법	84. 5	○	○	○	○	○

주 : ■ 취득 ● 갱신검사 ○ 연례수감

그러나 울진 3·4호기부터 한국표 제적인 제작 표준화와 기술 노하우를 준형 원자로설비로 정하여 당사가 실 갖추게 되어 명실공히 경수로 제작 경

쟁력을 확보하게 되었다.

한편 가압중수로는 많은 어려움속에 캐나다에 이어 세계에서 두번째로 중수로형 원자로를 국산화 개발하는데 성공하여 국가 경쟁력 강화의 밑거름이 되었다.

이러한 결과 한국중공업 원자력공장은 세계적으로 원자로의 양대 타입인 경수로형과 중수로형 원자로를 함께 생산할 수 있는 세계적으로 유일한 발전설비 전문제작업체로 우뚝 서게 되었다.

이는 전 한중인이 노력한 결과의 산물이지만 원자력공장 전원의 혼연일체 노력과 기필코 성취하고자 하는 기술 자립 의지가 없었더라면 감히 실현되기 어려웠던 과제라 아니할 수 없다.

앞으로 중국을 비롯한 동남아시아지역 원자력발전소 수출에 새로운 전기 가 될 것으로 크게 기대하고 있다.