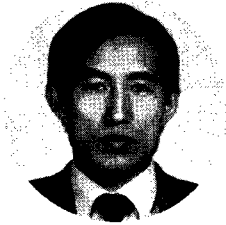


原電機資材 國產化 現況과 信賴性

Localization of Nuclear Equipment and Reliability



權 中 圭

〈韓國重工業(株) 理事〉

1. 序 言

한국의 原子力 事業은 원자력 1, 2, 3 호기 건설을 외국 공급자 일괄도급 방식 (TURNKEY)에 의거 건설한 이래 현재까지 9기를 건설하는 동안 여러 단계의 발전을 거듭하여 이제는 900MW級 原子力發電所 건설을 국내 공급자 주도로 추진하기에 이르렀다.

원자력발전의 증가에 따라 국내 基幹産業 육성과 건설비 절감을 위해 기자재 국산화의 필요성이 절실히 요구되었고, 원자력 5, 6호기 이후 HARDWARE 측면의 괄목할 만한 국산화 증가 추세를 보여 왔다. 기자재 국산화에 대한 정부의 發電設備 一元化 정책이후 이 사업은 韓國重工業을 주축으로 일관성 있게 추진되고 있으며, 실제 기술을 포함한 技術自立에 최대한 역점을 두고 있다.

한국중공업은 1981년부터 원자력 7, 8 호기 主機器 部品를 생산하기 시작한 이래 기술부재와 고급인력 부족의 어려움 속에서 각고의 노력을 거듭하여 5년이 지난 지금은 素材生産, 精密加工, 品質管理 등 여러 부문에서 국제경쟁력을 갖추어 가고 있다. 원자력 11, 12 호기에서는 기자재 공급의 주 계약자로서 외국공급자와 대등한 입장에서 프로젝트가 추진되고 있으며, 원자력

발전의 안전성과 신뢰성에 직결되는 주요 품목에 대해서는 충분한 검토로 국산화 증가에 박차를 가하고 있다.

本稿에서는 주로 原子力發電所 機資材의 國產化 現況과 향후 國產化 推進計劃에 대하여 고찰해 보기로 하겠다.

2. 國產化 現況

가. 號機別 國產化 現況

기자재 국산화는 事業主 主導型 建設方式으로 전환한 원자력 5, 6호기 이후부터 설계와 기기가 분할 발주되면서 정책적 지원과 함께 국산화가 시도되었다. 또한 원자력 7, 8/9, 10호기가 계속 건설되면서 국내 기술 축적이 촉진되어 表 1 과 같은 國產化率을 이룩하였다.

나. 主要機器 國產化 現況

기기 국산화 초기에는 대부분 반제품을 수입하여 가공, 조립하든가 또는 재조립과 시험을 위해 일부를 외국 공급자에게 다시 보내는 등 국산화의 외형 증가에 그쳤으나, 鑄·鍛造 공장완공 이후 원자력 9, 10호기 T/G를 제작하면서 TBN HP ROTOR SHAFT, GEN ROTOR SHAFT, HP CASING 등 일부 부가가치가 높은 품목의 소재개발과 조립, 제작영역을 대폭 확대하여 실질적인 국

산화 증가를 이룩하였다.

호기별 주요 기기 국산화 현황은 表2와 같다.

3. 향후 國産化 당면과제 및 自立計劃

원자력 발전 설비는 고도의 品質管理에 의한 信賴性을 요구하고 있으므로, 설계에서부터 제작, 시험, 설치에 이르기까지 어느것 하나 완벽을

〈表1〉 號機別 國産化率 比較

(단위 : %)

호기 분야	국 산 화 율		
	원자력 5, 6	원자력 7, 8	원자력 9, 10
NSSS	10%	18%	26%
T / G	11%	28%	40%
BOP	33%	45%	55%
TOTAL	29%	35%	40%

〈表2〉 號機別 主要機器 國産化 現況

호기	구분	주요기기	참여분야	비고
원자력 7, 8	NSSS	- S / G - PRESSURIZER - ACCUMULATOR - TANK & VESSEL	제작설계 및 제작	
	T / G	- H - P CY GLAND - L - P CYLINDER - MSR - STATOR FRAME - END SHIELD	제작설계 및 제작	
	BOP	- HEAT EXCHANGER - CONDENSER - CLP - S / SLP - HVAC - CRANE	제작설계 및 제작	
원자력 9, 10	NSSS	- REACTOR VESSEL - FUEL RACK - PRIMARY PIPING	제작설계 및 제작	원자력7, 8호기품 목에서추
	T / G	- DIAPHRAGM - TBN HP ROTOR SHAFT - GEN ROTOR SHAFT	제작설계 및 제작	가품목만 나열
	BOP	- DEBRIS FILTER - 1차, 2차계통 배관 및 지지물	제작설계 및 제작	

기하지 않을 수 없다. 이러한 관점에서 볼 때, 첫째로 품질관리능력을 배양하여 無缺點의 제품을 생산할 수 있는 自體技術을 배양하여야 하고, 둘째로 고급 기술 인력을 양성하여 자체 기술개발에 주력하여야 한다. 지금까지는 대부분의 원자력 기자재의 국산화가 외국 업체와 기술제휴를 통한 외형적인 國産化率의 증가에 불과했으므로, 순수 국내기술에 의한 國産化率의 증가는 다시 한번 검토되어야 할 과제이다.

셋째로 원자력발전소의 標準化를 정착시켜야 한다. 한국의 원자력사업은 原電 1, 2, 5, 6, 7, 8호기는 미국의 ASME CODE에 의거 제작, 건설되었고, 原電 3호기는 CANADA CODE & STANDARD에 의거 제작, 건설되었으며, 原電 9, 10호기는 프랑스 RCC-M CODE & STANDARD 및 FRENCH REGULATION을 적용하여 현재 제작 건설중이다. 이렇게 각기 상이한 CODE & STANDARD를 적용하는 데는 그에 따른 설계, 자재, 제작, 품질 보증 등 준비에 많은 시간과 막대한 경비가 소요되었다. 특히 원자력 9, 10 PROJECT의 용접 분야에 관련된 문서는 ASME CODE에서 RCC-M CODE로 전면 개정되었으며, PQ T-TEST 및 節次書 작성 등 각종 작업 준비에 약 1년이 소요되었다.

前述한 바와 같이 상이한 CODE & STANDARD를 적용함으로써 발생하는 혼란과 복잡성은 표준화를 통한 국산화율 증가에 再考되어야 할 것이다.

가. 技術自立 目標

향후 계속적으로 추진되는 後續機 國産化計劃은 表3과 같다.

나. 技術自立方案 推進

원자력 11, 12호기부터는 별도의 기술전수 계약을 토대로 機器·設計 國産化에 주력하면서 경제성을 고려한 국산화율을 고려하고, 경제성이 없거나 産業波及效果 및 활용 가능성이 낮은 기술은 국산화 대상에서 제외시키며, 또한 부가

〈表3〉 後續機 國産化 計劃

(단위: %)

분야	호기	호 기 별		비 고
	가중치	원자력 11, 12	원자력 13, 14	
NSSS	24 (100)	16 (68)	23 (95)	1. ()내 수치는 한중 및 전문계 열업체포함분야 별 국산화백분율
T/G	12 (100)	10 (82)	11 (91)	
BOP	64 (100)	46 (72)	61 (95)	2. 준공 년도 기준 11호기: 1995 12호기: 1996 13호기: 1997 14호기: 1998
TOTAL	100	72	95	

가치가 높은 품목은 政策的 育成을 통하여 국산화에 포함시키도록 하고 있다. 또 基本 設計 참여로 기술자립 기반을 구축토록 하고 설계 기술 습득 및 활용을 위한 훈련 및 OJT를 실시하며, 補助機器 設計는 기술 제휴사와 공동 수행토록 한다. 또한 기존 국산화품목에 대한 국산화 범위를 대폭 확대하여 주요 熱交換機(고온·고압) 및 일부 原子爐 내부구조물을 국산화 추진토록 한다.

원자력발전소용 기자재중 주요 機器들은 고온·고압하에서 강력한 방사선을 받게 되므로 높은 성능의 품질 조건에 맞아야 한다. 따라서 일정 기간 동안 어떠한 조건 속에서도 사고없이 제 기능을 수행할 수 있도록 설계·제작되기 위해서는 기존 대부분의 선진국에서 적용하고 있는 CODE & STANDARD를 따르도록 해야 하는데, 그 적용 범위내에서도 외국 공급자들은 핵심 기기들의 제작을 독자적으로 개발하여 사용하고 있다.

이러한 점에서 韓重은 보유 설비에 적합한 製作方法과 材質選擇 등을 결정하기 어렵고 제작 특성별 장·단점의 판단이 기술적으로 어려워 국산화하는 데 난관에 부딪히는 경우가 많다. 表4는 몇몇 기기의 제작 방법이 다른 경우를 비교한 것이다. 이와 같은 서로 다른 기술을 선택·응용

〈表4〉 各社 製品 形態別 比較

— NSSS —

기기	공급회사	C · E	FRAMATOME
REACTOR VESSEL		BENDING TYPE	RING FORGINGTYPE
PRIMARY PIPING		PLATE FORMING TYPE	CASTING TYPE
S/G CHANNEL HEAD		FORMED TYPE	CASTING TYPE

— T/G —

기기	공급회사	A · A	BBC	GE	WH
HP ROTOR		MONO-BLOCK TYPE	WELDED DISC TYPE	MONO-BLOCK TYPE	MONO-BLOCK TYPE
LP ROTOR		WELDED TYPE	WELDED TYPE	MONO-BLOCK TYPE	MONO-BLOCK TYPE
BLADE		IMPULSE TYPE	REACTION TYPE	IMPULSE TYPE	REACTION TYPE
EXCITATION SYSTEM		BRUSHLESS TYPE	BRUSH TYPE	BRUSH TYPE	BRUSHLESS TYPE
GENERATOR FRAME		MONO TYPE	THREE PARTS	MONO TYPE	MONO TYPE

*HP ROTOR MONO-BLOCK의 2가지 형태; SOLID TYPE, SOLID DRUM TYPE

*웨스팅하우스 LP ROTOR는 MONO BLOCK TYPE임

하기 위해서는 기기 설계 기술의 자립이 관건이며 경쟁력을 갖추기 위해 素材의 PRE-QUALIFICATION과 예비 시험으로 기기와 SYSTEM에 대한 안전성과 신뢰성이 확보되어야 한다.

설계 기술 도입은 後續機부터 부분 참여 형태로 점차 증가시키도록 추진되고 있으나, 첨단 부품개발이나 試製品 生産에는 과중한 비용 부담 때문에 과감한 추진을 못하고 있는 실정이다.

다. 施設補完計劃

창원공장의 현 보유설비는 원자력 9, 10 호기 국산화 증가에 따른 設備補強이 문제가 되고 있고, 국산화가 미진한 부가 가치가 높은 품목에 대해서는 외국 공급사별로 독특한 KNOW-HOW로 되어 있기 때문에 기술습득과 설비보강의 동시 추진이 불가피한 실정이다. 현재 후속기 추

〈表 5〉 追加 補完設備

분 야	도입기기명	추 가 국산화품목	용 도 비 고
NSSS	- MANIPULATOR TYPE GRINDING M/C	R/V	CLADDING부위 후속기 가공
	- TUBE TO TUBE SHEET WELDING M/C	S/G	TUBE와 TUBE SHEET 용접
	- BROACHING M/C	S/G	TUBE SUPPORT PLATE 구멍 가공
TURBINE	- BLADE CONTOUR PLOTTING M/C	BLADE	BLADE 가공
	- INTERNAL GRINDING M/C	VALVE	VALVE 가공
	- BLANCING TEST	ROTOR	ROTOR의 진동시험 및 가공 조립

진에 따른 기술 전수와 설비 보강 문제가 신중히 검토되고 있으며, 후속기 외국 공급자 選定試驗에서 설비 보강의 품목이 결정될 것으로 보이나 예상 보완 설비는 表5와 같다.

4. 品質管理活動 및 信賴性

1978년에 일어난 TMI 사고는 원자력발전의 안전에 대해서 다시 한번 신중히 검토해야 할 계기를 마련해 주었다.

TMI 사고로 安全規制機關에서는 一次系統主機器뿐만 아니라 발전소 전 주요 기기에 대해 규제를 강화하게 되었다. 원자력발전소의 주요 기자재는 엄격한 품질관리 활동을 거쳐 제작되고 있다.

品質管理活動은 원자력발전 기자재 제작에 있어서 필수불가결한 것이며, 品質要件도 규정이나 표준 등으로 정해져 있어서 그대로 따르지 않으면 제작공정 자체가 허락되지 않는 強制規定인 것이다. 현재 국내 원자력발전 기자재 제작시 적용되는 品質保證計劃 요구사항으로는 미국의 10CFR50 APP B, ANSI N45.2 및 AS-

ME CODE, RCC-M CODE, AFNOR CODE 그리고 國際規格으로서 IAEA CODE를 열거할 수 있다.

韓國重工業은 원자력 7, 8호기 기자재 제작부터 거의 자체적으로 QA/QC 기구를 조직하여 品質保證·品質管理 활동을 수행하고 있다. 즉, QA/QC MANUAL 및 節次書를 제정하고 機資材供給者 資格認定(VENDOR QUALIFICATION), 內·外部品質監査(AUDIT) 실시 등 모든 품질관리 활동이 한국중공업 기술진으로 이루어지고 있다.

특히 이를 뒷받침하는 사항으로서 지난 1981년 11월 미국의 ASME NUCLEAR SURVEY에 합격하여 원자력기기 N. NPT, NA에 대한 ASME CERTIFICATE를 획득하여 원자력발전 기자재 제작의 信賴度를 한층 더 높일 수 있었다.

기자재 제작시 현재 적용하고 있는 주요 기기들의 試驗檢査基準 및 方法을 열거하면 아래와 같다(表6·7·8·9).

5. 結 言

韓國重工業은 최신 제작 설비로 경쟁력을 키워가고 있으며, 後續機를 제작 참여를 선진국 S-

〈表 6〉 KNU 7,8 & KNU 9,10 증기발생기(S/G)

No.	Process Inspection	Applicable Code (ASME) KNU 7 & 8	Applicable Code (RCC-M) KNU 9 & 10
1	Material Inspection	ASME SEC II SEC III	RCC-M SEC II
2	Manufacturing Process Inspection	ASME SEC III Div 1	RCC-M SEC V
3	NDE	ASME SEC III Div 1	RCC-M SEC III MC 2000, S 7710
4	Hydrotest	ASME SEC III Div 1	RCC-M SEC III
5	Welding Inspection	ASME SEC III Div 1	RCC-M SEC IV

〈表 7〉 증기발생기

Item	NDE	RT	UT	PT	MT	ECT
Tubesheet	Forging		○		○	
	Cladding		○	○		
Channel Head	Casting	○			○	
	Cladding			○		
Secondary Shell and Head	Plates		○			
Tubes			○			○
Nozzles (Forgings)			○		○	
Weldments	Shell, longitudinal	○	*		○	
	Shell, circumferential	○	*		○	
	Cladding (Channel head-tubesheet joint cladding restoration)		*		○	
	Steam and feedwater nozzle to shell	○			○	
	Support brackets				○	
	Tube-to-tube sheet				○	
	Instrument connections (Primary and secondary)				○	
	Temporary attachments after removal				○	
	After hydrostatic test (All welds and complete channel head, if casting where accessible)				○	
	Nozzle safe ends	○			○	
	Nozzle safe ends (If weld deposit)				○	

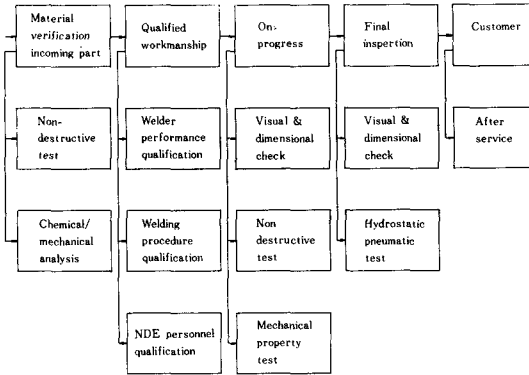
Note : *Mark ; According to RCC-M MC-2000, S-7710 weldments additional requirement for KNU 9 & 10.

〈表 8〉 KNU 9 & 10 원자로

Item	NDE	RT	UT	PT	MT	ECT
Material	Flange Forgings		○		○	
	Head L, U Forgings		○		○	
	Shell Ring Forgings		○		○	
	Nozzle (Outlet, Inlet) Forgings		○		○	
Weldments	Longitudinal Seam	○	○	○	*	
	Girth Seam	○	○	○	*	
	Nozzle to shell (Set-on, in)	○	○	○	*	
	Cladding (Shell, Head, Nozzle)			○	○	
	Nozzle Safe end (Buttering)			○	○	

Note : *; After Back Chipping

(表 9) 제작중 品質保證 절차



OFT WARE 도입의 좋은 기회로 삼고 있다. 이런 관점에서 후속기를 추진하면서 SOFTWARE와 HARD WARE의 상호 보완으로 기술 자립을 조기 달성하려는 바 다음과 같은 사항들을 선결 과제로 하고 이의 해결에 역점을 두고 있다.

첫째로, 製作物量 확보.

- 현 보유 설비 활용 극대화를 위해 기술 도입 선을 향후 해외 및 국내 수주 전략상 最適格의 국 업체를 선정하고 반복 제작 경험을 쌓도록 하며, 系列品目 공급선의 균형있는 성장 촉진을 위하여서는 汎國家的 體制下의 계열 업체 육성이 절실히 요구되고 있다.

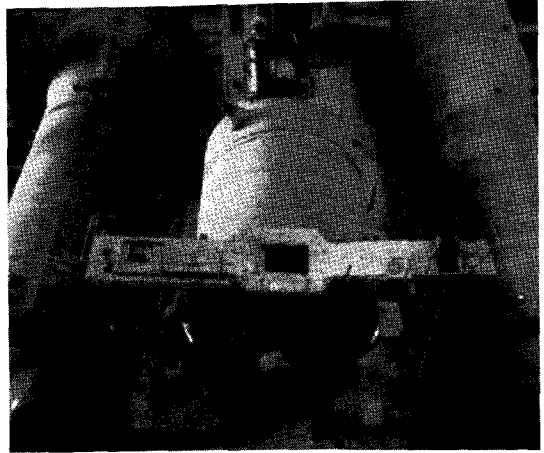
둘째로, 設備補完.

- 선진국의 기술 이전 기회로 누락되었던 제작 설비를 보강(BLADES, MONO-BLOCK ROTOR, STATOR BAR 등)토록 하여 市場與件과 技術蓄積 정도에 따라 설비를 완전 보완하도록 한다.

셋째로, 선진 기술 도입과 國策의 配慮.

- 원자력 발전 설비를 비롯한 일반 발전 설비나 산업 설비, 기타 고도의 기계 공업 기술을 요하는 플랜트산업은 기계·금속·전기·전자 등 全産業이 연관되고, 이들이 다 같이 선진 기술 수준에 도달해야만 완전 기술 자립과 국산화 달성이 되는 것으로, 이를 위해서는 범 국가적 지원 시책과 장기 대책이 요망된다.

1960년대 초 프랑스에서 정부 주도하에 실시한



해의 교육 "ADVANCED EDUCATION PROGRAM"의 10년 간에 걸친 많은 인력의 장기적이고 대량적 교육이 1970년대 후반기에 와서 프랑스를 重化學工業의 세계 정상급 국가로 올려 놓게 한 밑거름이 되었다는 점과 현재 우리와 이웃한 국가에서도 이와 유사한 교육 프로그램을 실시하고 있음을 볼 때 우리나라의 産業界나 관련 기관에서도 더 많은 教育投資와 人力開發, 정부의 더 많은 政策的 配慮가 요망된다. 또한, 이들 국가와 대처해야 하는 우리의 각오를 새롭게 하고 또한 어떻게 하여 그같은 경쟁에서 이겨나갈 수 있을 것인가 하는 전략 마련에 혼신의 노력을 다해야만 하겠다.

네째로 國家標準 확립.

현재 불가피하게 적용되고 있는 각국의 技術導入線으로부터의 CODE & STANDARD를 통일하여 하나의 國家標準으로 설정하고 신규 도입되는 발전소는 어떤 기술 供給線이든 모두 한국의 국가표준에 따르도록 해야 할 것이다.

스페인의 예를 들면, 독일의 KWU와 TRILLO발전소 공급계약을 할 때, ASME가 근간이 된 스페인의 규격에 KWU가 모든 것을 따르도록 한 것은 좋은 본보기가 된다.

발전소 건설을 비롯한 機資材製作 등 모든 것은 동일한 規格과 標準으로 반복 제작·건설될 때, 높은 신뢰성을 얻을 수 있을 것이다.