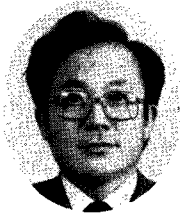


原子力9號機 原子爐 國産化

Localization Success of KNU 9 Reactor Pressure Vessel



洪 周 甫

〈韓電 原子力建設處 原子力9·10號機
프로젝트매니저(現 파리 事務所長)〉

1. 서 언

원자력발전소의 꽃이라 불리는 원자로가 이제 우리의 손으로 제작되어 사용될 수 있게 됐다. 경북 울진군 북면 부구리 원자력 제9, 10호기 건설현장에서는 지난 6월1일 한국전력공사 사장을 비롯한 많은 내외귀빈들이 참석한 가운데서 우리의 기술로 제작된 원자로가 설치되었다.

그동안 우리나라 원자력발전소 1호기부터 8호기까지(4호기 제외) 건설하면서 원자로는 미국과 캐나다에서 전량 수입(CASE III)해 왔으며, 불과 몇년전만 하더라도 원자로를 우리의 힘으로 만든다는 것은 상상하기 힘든 실정이었다.

이번 원자로 국산화는 우리 기계공업의 수준도 이제 자랄만큼 자라서 선진공업국의 기술수준을 따라잡을 날도 멀지않았다는 것을 입증하는 중요한 의미를 갖게 한다.

이 원자로는 프랑스의 프라마툼사로부터 한국중공업(주)이 40억원에 수주하여 지난 '82년 3월부터 제작에 착수, 3년3개월의 제작공정 끝에 완성한 역작으로서 무게 2백60여톤, 높이 13.2m, 너비 4.7m, 철판두께 20cm의 대형제품으로 연인원만도 4천3백75명이나 투입됐다.

이 원자로의 재질은 탄소강이고 내부 벽은 제작공정이 매우 까다로운 스텐레스강 피복을 입혀야 하며, 방사능 유출을 막기 위해 250mm두께의 스텐레스 특수용접을 해야 하는 등 고도의 제작기술이 요구된다.

한편 프랑스의 프라마툼사도 이번 우리의 원자로 제작성공을 높이 평가하고 있으며, 이번 원자로 국산화를 계기로 국내산업을 적극 육성하여 발전설비의 국산화를 촉진하고 원자력발전소의 핵심기기에 까지 국산화 영역을 넓혀 외채절감과 동시에 현재 약40%에 머무르고 있는 국산화율을 더욱 높여야겠다.

2. 원자로 설계

가. 설계기본개념

원자로는 프랑스 규격인 RCCM (Régles de Conception et de Construction des Matériels Mécaniques) SECTION 1에 따라 설계됐으며, 발전소 운전기간동안 발생하는 다양한 노내의 변화상태를 고려하여 노내의 각 부분에 대하여 다음과 같은 사항을 고려한 상세한 응력분석이 요구된다.

- 1) 노심 shell에 대한 방사선의 열영향.
- 2) 다양한 운전조건하에서 원자로에 가해지

는 외부의 힘. 즉,

- 핵연료 다발, 냉각수, 연료봉 구동장치 등 노 내장품의 무게.

- 원자로 냉각수 회로의 열팽창에 기인한 냉각수용 배관류의 반응.

- 지진 및 1차 배관류 파열사고에 의한 반응.

나. 주요설계사항

- 설계압력 : 175kg/cm²

- 운전압력 : 157kg/cm²

- 시험압력 : 232.6kg/cm²

- 설계온도 : 343°C

- 원자로 shell 최소두께 : 200mm

- 내경 : 3,990mm

- 체적 : 142m³

- 무게 : 260톤

- 재질 : RCC-M, M2113, 16MND5(FLANGE용 자재기준)

3. 원자로제작

가. 제작준비

원자력에서는 설계에서 부터 구매, 제작, 설치 및 운전단계까지 철저한 품질관리가 요구된다. 특히, 원자력발전소 기능상 중요하다고 인정되는 안전관련 품목에 대해서는 품질보증기준 18개(18criteria)가 모두 적용되도록 요구된다.

원자로는 안전등급 1(safety class 1)로써 제작단계에서도 철저한 품질관리가 요구된다. 제작작업전 주요작업공정별로 상세작업절차서가 작성되어 관련부서의 검토 및 승인을 득해야 하고, 품질관리부서는 전 작업공정에 대한 품질관리계획서를 수립한후 주요공정마다 입회, 확인할 수 있는 system을 갖춘다.

또한 특수공정(예 : 용접, 열처리 등) 작업원은 그 분야에 관해 충분한 경험이 있어야 하고, 사전에 필요한 훈련 및 교육을 받아 소정의 실기시험과정을 거쳐 최종 Qualify된 자만이 작업

에 임하도록 돼있다. 따라서 원자로 용접작업 전 용접사 Qualification을 10회 실시했으며, 용접절차서 Qualification도 20회나 실시했다(안전에 중요한 부분에 사용되는 기자재의 용접시에 용접사의 자격부여는 물론이고 적용될 용접절차도 사전에 인증받은 용접사에 의해 그 절차의 적법성이 입증돼야 한다).

원자로본체 용접작업을 위한 용접사의 사전 자격인증을 위해 창원공장내에서 기량이 가장 뛰어난 16명의 용접사를 엄선하여 200°C 정도로 예열된 시험용 원자재를 다루는 엄격한 훈련을 한여름 3개월간 시켰다. RCCM규격이 요구하는 용접절차서는 60여종에 달했으며, 약1년 동안의 예비시험을 거쳐 본작업에 임할 수 있었다. 이 예비시험은 본 작업시와 똑같은 기술 사양과 대상물체를 통하여 실시됐는데, 수차례의 실패를 경험하지 않을 수 없었다.

그밖에 원자로 제작에 준비, 사용됐던 문서도 보면 42매, 품질검사계획서(Quality Plan) 15종, 작업절차서 126종, 치수관련 사양서(Dimensional Specification) 16종이나 된다.

나. 주요제작과정

원자로본체는 Dome, Torus, Shell, Flange로 크게 나눌 수 있는데, 각 부분별 주요제작공정은 Dome 19공정, Torus 18공정, Shell 18공정, Flange 19공정이 소요됐다.

제작과정은 원자로본체 내부의 스텐레스 피복 작업, 본체 용접작업, 기계가공 그리고 최종수압시험 등 네단계로 구분되며, 제작과정중 특히 고도의 정밀도가 요구되는 Flange 볼트구멍 가공작업은 공작기계 제작회사인 (미)Ingersol Land사의 전문기술진을 초빙하여 공작기계의 정밀도를 재Calibration하고 주위의 온도변화에 따른 정밀도 방지를 위해 동절기에는 8대의 히터를 동원하여 실내온도를 20±1°C로 유지해야 했다.

가공시 가공기계와 제품이 주위온도에 의해

수축 및 팽창되는데, 이 수축과 팽창이 항상 일정해야 한다. 가공기계의 재질과 구성조건이 제품의 그것과 일치하지 않고서는 두 물체의 온도에 의한 수축, 팽창을 일정하게 한다는 것은 참으로 어려운 일이다. 사양서에는 15°C 이상 온도로써 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 오차를 허용했는데, 당시 주위 온도를 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위한 관련기술자들의 노력은 눈물겨운 것이었다.

STUD구멍 58개를 가공하는데 135일이 소요됐으며, 중삭 가공단계부터는 정밀도를 높이기 위해 1구멍당 60차례나 가공기계가 왕복했다(총 58개의 구멍에 대하여 3,480 차례의 왕복작업이 되풀이 됐다).

특히, 마지막 절삭작업은 72시간 논·스톱 가공에 임하지 않으면 안되었는데, 가공기계 공급회사 직원, 프라마투스사 직원 및 한중(주) 기술자들은 한치의 오차도 허용하지 않기 위해 뜬눈으로 밤을 새웠다. 또한 가공중 촌치의 진동도 방지하기 위해 작업장 주변에서 약 1개월 동안 증량물 운반까지도 전면 중단시켰다.

다. 최종수압시험

제작과정중 최후로 실시되는 수압시험은 용접부위에 대한 누설여부를 확인하는 단계로써 원자로제작과정중 가장 큰 관심사중의 하나였다. 시험기간은 약 7.5시간이 소요됐으며, 시험압력은 232.6kg/cm^2 , 온도는 $T_{\text{NDT}} + 33^\circ\text{C}$ 가 요구된다(NDT는 연성전이온도를 가리키며 Nil Ductility Transition Temperature의 약자이다).

수압시험을 위한 준비작업만도 1달이 소요됐고, 실제시험은 2개월여에 걸쳐 실시·종료되었다.

수압시험에 사용된 Hydro-test pit는 원자로 자체무게 332톤(내장품 무게포함), Demi-Water(순수)의 무게 약 300톤을 동시에 견뎌낼 수 있어야 하는데 적당한 Test-Piece가 없어 대형 강괴를 동원하여 실시하였다.

취급장비 또한 심각한 문제였는데, 원자로를

들어서 수직으로 pit에 넣자니 원자로 몸체에 아무런 lifting고리가 없어서 특수 Jig를 만들어 사용했다. 이외에도 순수를 끓이기 위한 탱크의 제작 등은 준비작업중의 가장 어려운 일중의 하나였다.

수압시험과정은 다섯단계로 나누어 158kg/cm^2 로 7분간, 175kg/cm^2 로 4분간, 최대압력인 233kg/cm^2 에서 22분간 유지후, 175kg/cm^2 에서 20분, 158kg/cm^2 에서 8분간 유지하여 누설상태를 세밀히 관찰했다.

한편, 이번 원자로 제작과정중 예상하지 못한 많은 문제점도 없지 않았으며, 우리가 겪은 크고 작은 시행착오는 좋은 경험과 교훈을 주었다.

4. 발전기자재의 국산화

가. 소재산업 육성의 필요성

이번 원자로의 설계 및 원자재는 프랑스의 프라마투스사에서 공급했으며, 제작 및 시험은 한국중공업(주)에서 수행했다. 우리의 원자력산업 정책은 최종기기의 조립·제작에 중점을 둔 기계공업부문에 많은 관심을 기울여 왔으며, 그 결과 이와 관련된 국내 소재산업과의 상호 구조적인 연관성이 결여되어 균형있는 발전이 미흡한 상태이다. 따라서 원자력산업의 가장 중요한 연관 산업이라 할 수 있는 특수강을 중심으로한 원자력산업용 소재의 외국 의존도가 높은 실정이다.

원자력발전소의 주요 소재인 이 특수강산업은 고도의 생산기술과 고급장비를 필요로 하는 첨단산업이며, 국가기간산업인 철강공업의 핵심적인 부문이기 때문에 현재 자본 및 기술부족 등으로 국산화가 이루어지지 못하고 대부분 수입에만 의존하고 있는 특수강을 중심으로한 관련 주요 소재산업을 적극 육성하여 중간 원자재 수입에서 기초 원자재 수입으로 전환해야 할 필요성이 있다.

(표) 원자력발전소 구조재료의 국산화현황

('84년말기준)

합금의 종류	강종규격	국내주요 생산업체	국산화현황
CARBON STEELS	SA508/3, 533/B, A105, 106/B, 216/B	포항종합제철	1차소재의 국내공급이 가능하나 가공설비의 보완이 필요하며, 초후 강판용 강재의 용해 제조기술, 가공기술, 열처리 기술 등을 확립할 수 있는 품질개선을 위한 연구개발이 요망됨.
STAINLESS STEEL	A304, 304L 316, 316L 321, 347	한국종합특수강	1차소재 및 대부분의 PIPE류, 주조품은 국내공급이 가능하나 보완이 필요함. 품질공인 체제의 취약성 때문에 원자력 산업용으로 국내공급이 불가능한 실정임.
NI-BASE ALLOYS	INCONEL 600, 690, 718 INCOLOY 800, NIMONIC PE16	한국종합특수강	용해제조설비의 보완이 필요함. 특히, 금후의 고속 증식로용 구조재료로서도 많은 물량의 수요가 예상되고 있으므로 국산화에 대비한 적극적인 정책지원이 요망됨.
COPPER- BASE ALLOYS	COPPER- NICKEL ALUMINU-M -BRASS	풍산금속	Cu ALLOY는 국내에서 대량 생산되고 있으나, 고리 5, 6호기 이후 복수기 열교환기 TUBE재질은 Cu ALLOY에서 TI ALLOY로 바뀜. TI ALLOY는 국내생산업체의 부재로 전량 수입될 전망이다.

이 분야에 대한 과감한 투자 및 지원정책이 수립되어, 막대한 물량의 수입대체효과를 가져올 수 있도록 소재산업의 육성이 아쉽다.

나. 원자력발전소 구조재료의 국산화 현황

원자력발전소 구조재료의 국산화 현황은 표와 같다.

5. 결 론

우리가 이번 처음으로 원자로 제작을 국산화했다는 것은 우리에게 많은 용기와 가능성을 제시했고, 우리나라 기계공업분야에 커다란 이정표를 마크했다는 것은 사실이다. 그러나 이러한 자부심을 갖기에 앞서 냉철히 우리가 처해 있는 현실을 직시해 볼 필요가 있다. 아직도 취약분야인 설계와 소재산업 육성에 더 많은 연구와 투자를 집중하여 기술의 선진화를 이룩해야 한다.

이번 원자로 국산화를 계기로 한층더 발전기 자재의 국산화에 박차를 가하여

가. 제작업체의 설비 및 인력활용 증대로 인한 기업의 채산성을 제고함과 동시에,

나. 수입을 감소시켜 외채절감 및 국제수지를 개선하고,

다. 기술자립으로 국제경쟁력을 강화시켜야겠다.

끝으로 현재 경북 울진에 건설중인 원자력 9, 10호기는 프랑스내에서 이미 34기나 되는 표준화된 발전소의 설계 및 시공기술을 도입함으로써 설계의 정확성, 시공의 정밀성의 장점을 가진 훌륭한 표준화 발전소 검토 대상임을 천연하면서 이번 원자로 제작에 동참하여 수고한 한국중공업(주) 임직원, 프라마투스 및 창원공장 주재 한국전력공사 직원들에게 깊은 감사를 드립니다.