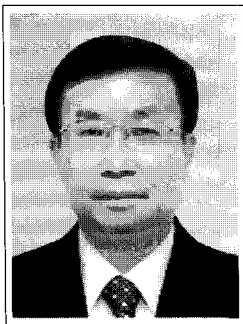


원전 구조물 모듈화공법(SC구조) 기술 개발

정효선

한국수력원자력(주) 건설기술처장



한양대 원자력공학과 졸업
한국전력공사 입사(1978)
한수원(주) 신월성 1,2호기 사업관
리실장, 신월성 1,2호기 건설소장
역임
한국수력원자력(주) 건설기술처장
(2008~)

1971년 고리에 대한민국 최초의 상업용 원전이 건설된 이래 우리나라의 원전 산업은 양적 질적으로 폭발적으로 성장하였다.

초기의 원전 기술은 외국의 원전을 그대로 들여오는 수준에 지나지 않았다. 그러나 여러 이유로 고리 1,2,3,4호기 및 영광 1,2호기의 웨스팅하우스형 가압경수로, 월성 1,2,3,4호기의 CANDU형 가압중수로, 울진 1,2호기의 프라마톰형 가압경수로, 그리고, 영광 3,4,5,6호기 및 울진 3,4,5,6호기의 CE형 가압경수로에 이르기까지 세계 각국의 원전을 도입하여 건설하게 됨으로써 우리나라의 건설 기술은 날로 성장하게 되었다.

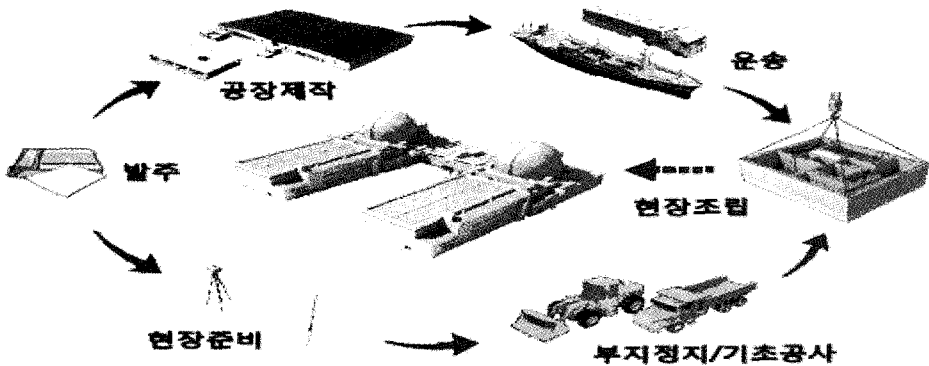
이러한 과정에서 우리나라는

기기 국산화, 설계 기술 자립화, 그리고 한국형 원전의 개발을 단계적으로 발전시켜왔으며 지금은 한국표준형원전인 OPR1000을 거쳐 국내기술로 새로운 노형인 APR1400을 개발하여 건설하게 됨으로써 세계 최고 수준의 원전 기술국으로 도약할 수 있었다.

원전 건설 기술의 획기적인 발전

1978년 한국전력공사에 입사하여 본사 원자력건설처 및 영광 1,2호기 건설 현장을 시작으로 지금까지 원전 건설 사업에 참여하게 되면서 우리나라 원전 건설 기술 자립의 여정과 함께 발걸음을 같이 하게 되었다.

원전 건설의 초기 도입기의 국내 사업 상황과 지금의 상황을 비



〈그림 1〉 모듈화 공법

교하면 비교할 수 없을 만큼 많은 발전을 이룬 것이 사실이다.

특히, 한국표준형원전의 효시인 영광 3호기에서 최초 콘크리트 타설부터 준공까지 64개월이었던 건설공기가 4개의 프로젝트를 거치면서 신규 원전이 계획될 때마다 지속적으로 2개월에서 4개월의 공기 단축이 추진되어 최근에 건설중인 신고리 1,2호기와 신월성 1,2호기는 12개월이 단축된 52개월로 추진되고 있다.

누적된 시공 경험으로 얻어진 건설 경험(Lessons learned)과 신공법을 도입한 설계·시공 개선으로 실제 공기가 단축되는 것을 다수의 원전 건설 사업에 실무자로 참여하면서 가까운 곳에서 직접 목격하게 되었다.

한국형원전 모듈화공법 기술 개발

이러한 연결선상에서, 1990년대 말, 국내에서 불던 타전원 대비 원자력 발전의 경제성에 대한 논란과 국외적으로 미국, 일본 및

유럽을 중심으로 개량형 제3세대 원전(GENIII+)을 비롯한 원전의 경제성 향상을 위한 새로운 기술 개발이 가속화되고 있던 상황은 우리에게 보다 더 획기적인 공기 단축이 가능한 신공법 개발과 적용을 필요로 하게 하였다.

한국수력원자력(주) 사업본부(현재의 건설본부)는 2001년 3월부터 1년간, 「원자력발전소 구조물과 계통 설비의 모듈화공법에 대한 타당성 연구」를 통하여 본격적인 모듈화공법 개발에 앞서 모듈화공법에 대한 타당성을 분석하고 단계별 모듈화공법의 적용 방안 및 후속 개발을 위한 연구 방향을 제시하게 되었다.

이것은 국내 조선 및 해양 구조물 제조 분야에서 이룩한 모듈화공법 발전 현황과 일본 및 미국에서의 모듈화공법 적용 및 연구 사례에 대한 사전 조사를 수행함으로써 한국형 원전 모듈화공법 기술 개발의 기틀을 마련하는 중요한 발판이었다.

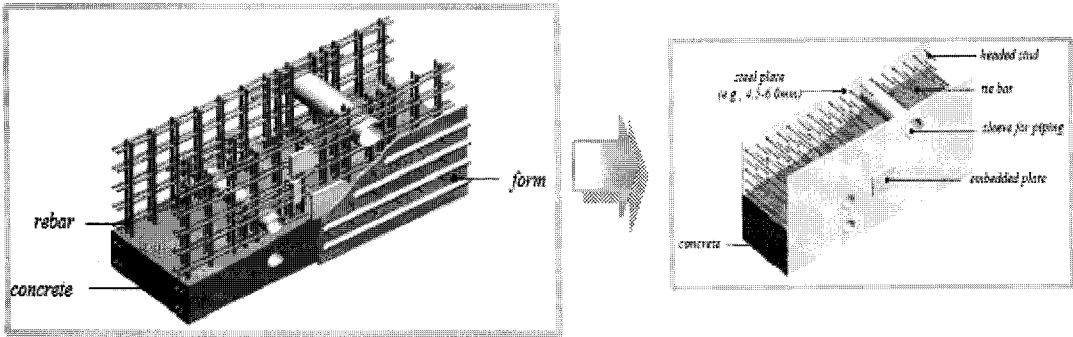
원전 모듈화공법은 원자력발전

소의 건설 공기 단축을 위한 기술의 결정판이라 생각한다. 구조물과 기기·계통을 일체화하여 공장에서 제작한 후 현장에서 각 모듈을 연결·조립하여 설치함으로써 병행 시공(Parallel Construction)을 가능케 하여 원전 건설공기를 획기적으로 단축시킬 수 있을 것으로 기대하기 때문이다.

이러한 복합 모듈화를 구현하기 위해서는 기존 철근 콘크리트 구조를 대신하여 모듈화에 적합한 구조 형식이 필요하며, 지난 3년간 한국수력원자력(주) 건설기술처 및 참여 연구 기관들이 혼신을 기울여 개발한 SC(Steel Plate Concrete) 구조가 바로 여기에 매우 적합한 구조 형식이다.

SC(Steel Plate Concrete) 구조 기술 개발

원자력발전소를 포함한 우리 주변에 있는 대부분의 건물들은 철근과 콘크리트로 만들어져 있다. 골재와 시멘트로 이루어진 콘



〈그림 2〉 RC 구조와 SC 구조 비교

크리트 구조물은 인장력에 대하여 내부에 설치된 철근에 의해 보강됨으로써 하나의 완벽한 구조 형식을 이루는데 이를 철근 콘크리트(Reinforced Concrete, 이하 RC) 구조라 한다.

SC 구조는 RC 구조의 철근을 대신하여 강판(Steel Plate)을 설치하고 양면 강판 내에 콘크리트를 채워 넣은 구조 형식을 가지며, 전단 스티드(Shear Stud) 및 타이바(Tie-bar)를 이용한 강판과 콘크리트의 합성 작용으로 구조적 기능을 수행하는 새로운 개념의 합성 구조이다.

SC 구조를 적용하면 RC 구조의 공정 잡식 요소인 철근 조립, 거푸집 설치 및 해체와 같은 공정을 생략할 수 있고, 콘크리트 타설 후 양생 기간 중에도 후속 공정을 수행할 수 있어 공기 단축 효과가 매우 우수할 것으로 기대하고 있다.

지난 2005년 9월부터 2008년 8월까지 3년간의 SC 구조 기술 개발이 가지는 가장 큰 의미는 우리 힘으로 세계 최초 강도설계법 기반의 SC 구조 기술기준을 개발

했다는 것이다.

SC 구조를 원전 구조물에 적용하기 위한 연구 개발은 일본 및 미국을 중심으로 이루어져 왔다.

일본은 2005년도에 SC 구조 설계 지침을 개발하였지만 이 지침은 허용 응력 설계법 기반이어서 일본 외 다른 국가에서 적용하기에는 적합하지 않다. 왜냐하면 우리나라를 포함한 대부분의 국가들은 현재 허용응력법이 아닌 강도설계법을 사용하고 있기 때문이다.

미국의 경우, 웨스팅하우스가 'AP600' 및 'AP1000'에 대해 구조물 및 설비, 배관 모듈 등을 개발하여 적용하고 있으나 기존의 철골 및 철근 콘크리트 관련 기술기준을 혼용하여 SC 구조 특성을 제대로 반영하지 못하고 있어서 현재 별도의 SC 구조 기술기준을 수립하려 하고 있다.

그런 의미에서 금번에 국내 연구진의 계획적인 실험·이론적 연구와 실제 원전 구조물 적용 설계를 통해 개발한 SC 구조 기술기준의 의의가 크다고 생각한다.

또한, 금번에 개발된 SC 구조

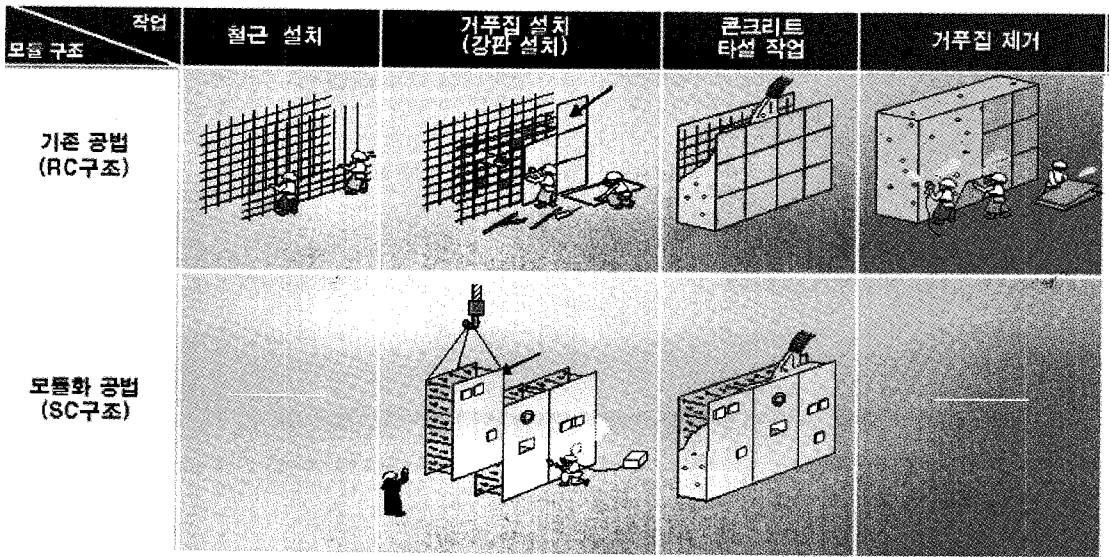
기술기준은 그동안 미국 등 외국의 기술기준을 번안하여 사용하여왔던 기존의 틀을 탈피하여 국내 최초로 독자적으로 개발된 원자력 기술기준이란 점에서도 의의가 크다.

지금까지 외국의 기술기준을 따라 설계와 시공에 적용하는 수준을 넘어서 그 기술기준안의 단어 하나, 문장 하나에 숨어있는 기술적 배경을 완전히 이해하고 거기에 국내에서 수행된 이론적 실험적 연구 결과를 녹여 넣는 과정이 매우 어려운 고비들과 크고 작은 성취들의 연속이었다는 연구 실무진의 설명에 고개가 끄덕여진다.

복합 모듈화 기술 개발 연구

‘첫 술에 배부를 수 없다’는 우리 속담이 있다. SC 구조와 복합 모듈 기술도 마찬가지일 것이다. 3년간의 연구가 비록 훌륭한 성과를 남겼다고는 하지만 이제 기술기준을 실제 산업에 적용하여야 하는 단계이다.

세상사 단숨에 완벽한 것이란



〈그림 3〉 SC 구조와 RC 구조 시공 비교

있을 수 없듯이 이제 태어난 SC 구조 기술도 지속적인 연구과 실용화를 통하여 먹이고 입혀서 우리 원전 기술의 우수성을 드높일 재목으로 성장시켜야 할 것이다.

현재 후속 연구로 한국수력원자력(주) 건설기술처 주관으로 수행중인 기기/구조물 복합 모듈화 기술 개발 연구가 여기에 해당 될 것이다.

SC 구조의 원전 확대 적용과 SC 구조에 기계, 배관, 전기, 제어 계측 설비들을 붙여 블록 형식으로 만드는 복합 모듈 기술의 개발과 원전 적용은 앞으로 궁극적으로 추구하는 원전의 획기적인 공기 단축을 가능하게 될 것으로 의심하지 않는다.

복합 모듈을 통하여 부재 단위, 실 단위 혹은 그 이상 규모의 구조 모듈 시공뿐만 아니라 구조물과 기기·계통 설비가 통합된 복합 모듈 시공이 구현되어 원자력

발전소 건설의 새로운 지평을 열 수 있을 것이다.

이를 위해서는 단순히 관련 기술의 발전뿐만 아니라 법적, 제도적, 산업적 변화가 동반되어야 한다는 점에서 앞으로 국내 원자력계가 해야 할 일들이 실로 많다고 생각한다.

향후 적용 계획

현재, SC 구조 기술에 대한 안전 관련 인허가 심사가 진행중에 있으며 심사 기간은 내년 5월까지로 계획되어 있다. 이 인허가가 완료되면 현재 건설 추진중인 원전에 우선 부분적으로 적용한 후, 이후에 확대 적용할 계획이다.

향후 몇 십년간 우리나라를 비롯하여 세계적으로 원전이 계속 지어질 것으로 기대됨에 따라 한국형 원전이 건설되는 곳마다 이 기술을 활용할 수 있을 것으로 예

상한다.

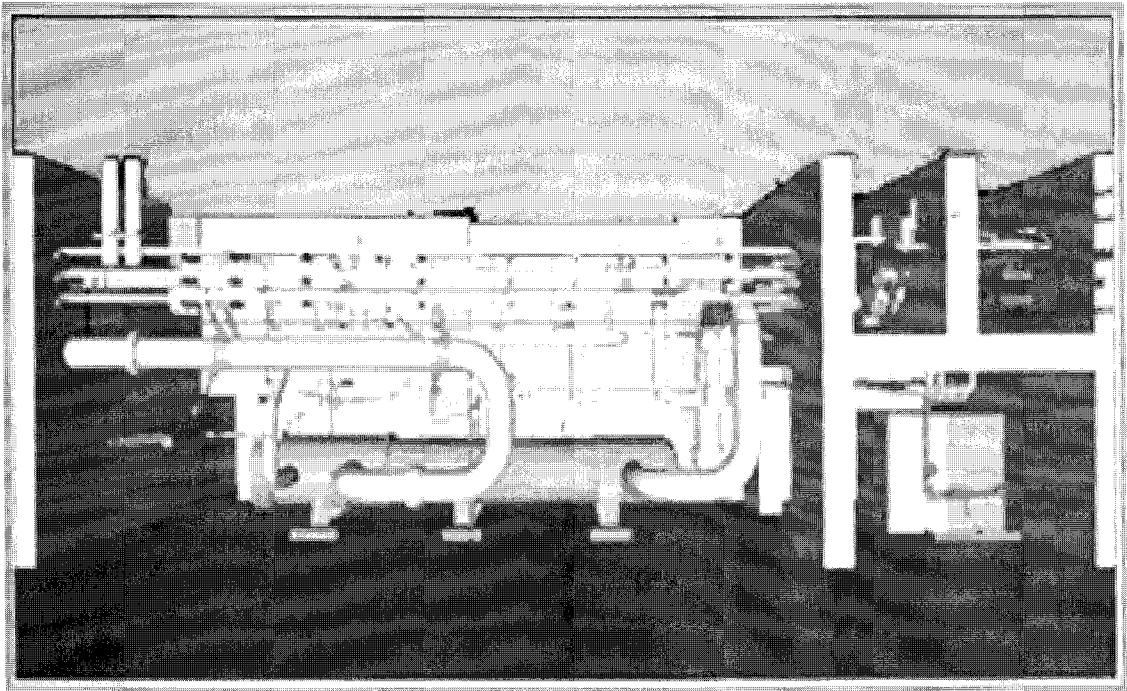
이 기술을 통하여 OPR1000 및 APR1400의 해외 시장 경쟁력이 한층 제고될 수 있기를 기대한다.

아울러 원자력발전소뿐만 아니라 교량, 터널, 일반 플랜트, 대형 구조물, 군용 시설 및 상업용 건축물 등 타산업에서도 SC 구조 활용을 통한 시너지가 창출될 수 있을 것으로 기대한다.

이러한 산업의 변화를 위해서는 산업계의 관심과 이를 뒷받침하는 법·제도적 지원이 있어야 하며 국가 정책 차원의 적극적인 배려도 필요할 것으로 판단된다.

수상 소감

먼저 금번에 한국수력원자력(주) 건설기술처가 제16회 한국원자력기술상 대상을 수상하게 된 것에 대해 매우 기쁘게 생각한다. 무엇보다, 지난 3년간 원전 구



〈그림 4〉 복합 모듈 개념도

조물 모듈화 공법 기술 개발 과제를 성공적으로 마칠 수 있도록 수고해 주신 건설기술처 직원 여러분들과 한국강구조학회를 비롯하여 한국원자력안전기술원, 한국 전력기술 및 한전 전력연구원의 참여 연구진들께 심심한 감사의 말씀을 드린다.

신기술 신공법 개발을 통한 개선과 혁신의 의지가 없었다면 오늘의 한국은 원자력기술의 발전은 이루지 못했을 것이다. 급변 기술 개발은 지난 20년간 우리 원전 건설 사업이 부단한 노력을 통하여 이룩하여 온 공기 단축 성과의 토대 위에 향후 복합 모듈을

적용을 통한 획기적인 공기 단축을 피할 수 있는 기술적 기반을 구축하였다는 데 그 의미가 크다고 생각한다.

개발된 SC 구조 기술기준과 관련 특히 기술은 향후 원자력 발전의 경제성을 향상시키고 국산 원전의 해외 수출 경쟁력을 높이는 데 크게 이바지할 것으로 기대한다.

에너지 자원의 고갈과 화석 연료의 탄소 방출에 따른 환경 문제의 대두로 세계적으로 원자력 발전의 중요성이 재인식되고 있는 가운데, 정부는 저탄소 녹색 성장의 동력으로 원자력 에너지를 선정하였으며, 이러한 국내 여건과

국제적 환경 속에서 국민에게 신뢰를 얻고 해외 수출을 가속화하기 위해서는 우리 원전의 건설 기술이 세계 최고가 되어야 한다는 것과 우리가 그것을 이루어내야 한다는 것이 한수원 건설본부 직원들의 한결같은 생각이다.

끝으로, 영예로운 한국원자력 기술상을 수상에 즈음하여 그동안의 저희들의 기술 개발 노력에 대하여 음양으로 도움을 주시고 격려해 주신 모든 원자력가족 여러분들께 깊은 감사의 말씀을 드린다. ⊗