은상 -(주)대우건설 기술연구소 토목연구팀

원전 구조물의 기술 자립을 위해 매진

김 성 운
(주)대우건설 기술연구소 토목연구팀장

(주)대우건설 기술연구소는 '건설 기술의 연구 개발을 통한 기술의 선진화 추구'를 목적으로 1983년에 설립됐다.

1994년 12월에 국내 건설 산업계에서 처음으로 연구와 실험을 연결한 지금의 종합 건설기술연구소를 준공해 국내 건설 산업의 기술 개발에 신기원을 이룩했다.

활발한 연구 활동과 더불어 1994년 민간 기업 처음으로 국제 공인 시험 검사 기관(KOLAS), 1995년에는 안전 진단 전문 기관, 시설물 유지 관리업 및 품질 검사 전문 기관으로 지정받아 건설 기술의 토털 솔루션을 제공할 수 있는 토대를 마련했다.

대우건설 기술연구소는 현재 3개 연구팀(토목 · 건축 · 환경)과 2개 지원팀(연구 기획 · 시험 지원)으로 구성되며, 모두 70여 명의 연구원이 연구에 매진하고 있다.

설립 이래 자체 과제 121건을 비롯해 국책 과제 19건과 산 · 학 공동 과제 64건 등 모두 205개 과제를 수행했으며, 2003년에는 13건의 과제를 수행하고 있다.

이렇듯 활발한 연구 개발을 통해 산업재산권 출원 156건, 등록 129건, 건설신기술인정 6건 등의 성과를 얻었다. 특히 건설경영대상 기술개발 부문 4회 연속 수상, 2000년 과학기술부 선정 우수기업연구소 대통령상 수상 등으로 기술연구소의 우수성을 대외적으로 인정받고 있다.

토목연구팀에서는 현재 14명의 연구원(박사 4명, 석사 9명, 학사1명)이 구조 · 교량 · 재료 · 지반 · 터널 등 다양한 토목 분야의 연구에 몰두하고 있다.

최근에는 기초 분야 연구에 치중하던 과거와 달리 회사 이익 창출에 기여하는 실용적 연구에 비중을 두고 있다.

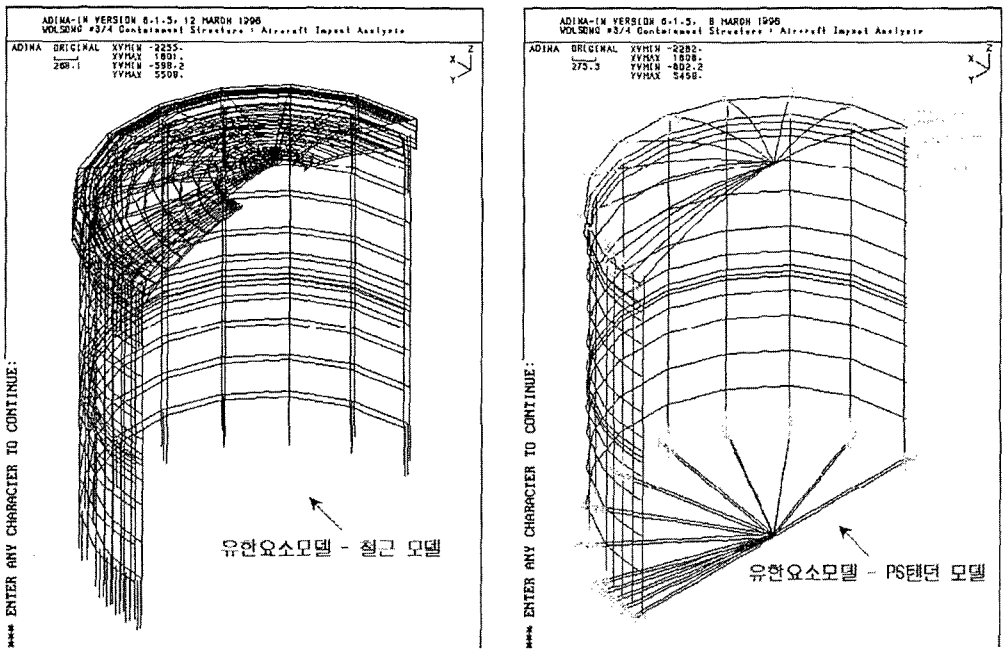
CANDU형 원자로 격납 구조물의 해석 및 평가 기술 개발

대우건설 기술연구소 토목연구팀은 원전 구조물의 기술 자립을 위해 꾸준한 연구 개발을 해왔다.

전 시공 후발 업체인 대우건설이 다른 경쟁사와 어깨를 나란히 하는 데 머물지 않고 더 나아가 차별화된 기술을 보유하게 된 계기는 국내에서 처음 수주한 월성 3 · 4호기 시공에서 기술 개선과 신공법 개발에 과감히 투자했던 점이었다.

이와 더불어 대우건설 기술연구소 토목연구팀은 CANDU 형식인 월성 원자로 격납 구조물 3 · 4호기의 해석과 평가에서 진일보한 이론적 기술을 축적했다. 이렇게 개발한 원전의 시공과 해석기술은 모두 대우건설의 특화된 기술로 자리매김했다.

CANDU형 원전과 관련해 대우건설 기술연구소에서 수행한 연구



〈그림〉 CANDU형 원전의 3차원 유한 요소 모델

를 간단히 소개하면 다음과 같다.

1. CANDU형 원자로 격납 구조물의 극한 내압 해석 기술 개발

원전에서 가장 기본적이면서도 중요한 요구 사항인 극한 내압에 대한 저항 능력을 합리적으로 평가할 수 있는 유한 요소 모델을 구축했다. 콘크리트 · 철근 · 텐던 등 원전을 구성하는 재료들의 비선형성을 엄밀하게 고려했다.

특히 기존 연구에서 고려하지 못한 기초 슬래브와 상부 돔에 배치된 프리스트레싱 텐던의 단면적 변화를 실제에 가깝게 모델링할 수 있는 이론적인 절차를 제시했다.

이를 통해 CANDU형 원전의 파괴 모드와 극한 내압 능력을 실제 거동에 가깝게 해석적으로 예측할 수 있는 토대를 마련했다.

2. CANDU형 원자로 격납 구조물의 충격 해석 및 평가 기술 개발

원전에 발생할 수 있는 잠재적인 충격 하중들을 분류하고 이에 대한 원전의 안전성을 평가할 수 있는 체계를 구축했다.

콘크리트 격납 구조물의 최적 국부 손상 평가식을 충격체별로 도출했고, 특히 항공기 충돌은 중대 가상 사고로 다루어 원전의 전반적인 거동을 정밀 유한 요소를 사용한 동적 비선형 해석으로 평가했다. 이것은 국내에서 항공기 충돌에 대한 선도적인 연구였다.

이 때 인정받은 대우건설 기술연구소의 기술력이, 세계무역센터 항공기 테러로 항공기 충돌에 대한 원전의 안전성이 국내외에서 큰 이슈가 됐을 때 한국원자력안전기술원으로부터 「항공기 가상 사고에 대한 안전 관련 구조물 저항 능력 평가」 과제를 위탁받는 계기가 됐다.

항공기 가상 사고에 대한 안전 관련 구조물 저항 능력 평가

우리 나라 원전은 항공기 사고 발생 확률이 10^{-7}/년 이하인 곳에 지어져, 미국 기준에 따라 항공기 사

고를 설계에 고려하지 않았다. 단, 프랑스에서 설계한 울진 1·2호기는 프랑스 기준에 따라 경비행기 사고를 고려했다.

2001년 9월 11일 세계무역센터와 펜타곤에서 일어난 항공기 테러는 항공기 사고에 대한 생각을 뒤집었다. 테러 같은 인위적 사고는 사고 확률과 관계없이 일어날 수 있고, 그 대상도 프랑스 기준에서 쓴 5.7톤짜리 경비행기 정도가 아니라 수백 톤짜리 대형 항공기일 수 있다는 것이다.

이렇게 되자 중요한 사회 기반 시설인 원전에 대형 항공기를 사용한 테러가 일어나도 격납 구조물이 원자로를 효과적으로 방호할지가 관심을 끌게 됐다. 이런 배경에서 관련 연구를 계획한 한국원자력안전기술원은 앞서 말한 대우건설 기술연구소의 「CANDU형 원자로 격납 구조물의 해석 및 평가 기술 개발」 관련 연구를 높게 평가해 「항공기 가상 사고에 대한 안전 관련 구조물 저항 능력 평가」를 위탁하게 됐다. 이 연구는 성공적으로 수행되는 중이다.

원전 설계 수명 증가 검증 평가 기술 개발

2000년 8월부터 15개월에 걸쳐 한국원자력안전기술원의 수탁으로 「설계 수명 증가에 따른 원자로 격납 건물 포스트텐션닝 계통 및 구조 요소의 성능 검증 평가」에 관한 연구를 수행했다.

이 연구의 대상인 차세대 원전(KNGR: Korean Next Generation Reactor) 격납 구조물에서는 설계 수명이 40년에서 60년으로 연장되었다.

원전 구조물은 열화 등으로 기능이 떨어져도 교체가 불가능하기 때문에 설계 수명이 긴 차세대 원전을 설계·시공할 때는 장기 안전성을 확보해야 한다. 그리고 각 건설 재료 선정법과 시험 방법 등도 명확히 정의해야 한다.

이렇게 새로 건설되는 차세대 원전 격납 구조물이 60년의 설계 수명 동안 안전성과 사용성을 유지할 수 있는 방안을 찾는 것이 이 연구의 목적이었다.

지금까지 원전 격납 구조물의 열화에 대한 국내외 연구들은 주로 사용중 구조물에 발생한 열화의 원인과 보수·보강 대책에 머물렀다. 이 연구에서는 그 동안 부족했던 설계·시공시 열화 저감화 방안, 내구성을 고려한 설계·시공을 다루었다. 여기에 덧붙여 기존 열화 연구에서 다루지 않았던 포스트텐션닝 계통 긴장재 등에 대해서도 연구했다.

국내외 원전에서 조사된 열화 사례를 보면, 사용중 열화와 시공 원인으로 발생한 열화가 많았다. 항목별로는 콘크리트에서, 형태별로는 균열과 부식이 많았다. 주목할 점은 국내 원전은 국외 원전에 비해 부식이 많았다는 것이다.

비부착식 포스트텐션 시스템에서 일어나는 부식은 대부분 빈약한 시공 규정과 부족한 설계 상세에서 비롯된 것으로 더 실질적인 설계·시공상 방지 대책이 필요한 것으로 나타났다.

국내외 원전 구조물 열화의 절대 다수를 차지하는 균열을 줄이기 위해서는 매스콘크리트의 온도 균열 발생 여부에 대한 평가법을 규정하고, 합리적인 재료 배합·설계·시공 방법을 생각해야 한다. 온도 균열을 제어할 수 있는 프리쿨링을 고려한 시공법 등을 적극적으로 연구하고 도입하는 것도 그 예이다.

이 연구로 얻어진 설계·시공상 내구성 향상 방안은 차세대 원전에 대한 안전 심사, 검사 지침 작성에 기초 자료로 활용됐으며, 연구 결과는 앞으로 차세대 원전 안전 관련 구조물의 장기 안정성을 확보하고 유지 관리 비용을 줄이는 데 큰 도움이 될 것이다.

수상 소감

대우건설은 일찍이 건설업에서 기술의 중요성을 인식하여 기술연구소를 설립, 한국 건설업의 기술력을 한 단계 도약시키며 건설 산업의

(주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 연구원들

선진화를 추구해 왔다. 이러한 회사의 노력은 대우건설의 기술력이 최고라는 인식을 심어주었고 IMF와 대우 사태로 인한 회사의 위기를 헤쳐 나갈 수 있는 원동력이 됐다.

토목연구팀은 연구소 설립 때부터 활발한 연구 활동으로 구조 · 교량 · 지반 · 터널 · 콘크리트 등 다양한 분야에서 많은 연구 성과를 거두었다. 특히 회사의 일등상품이었던 「CANDU형 원전」의 기술 자립화를 위해, 당시에는 거의 시도하지 않았던 원전 격납 구조물의 내진 해석, 충격 하중에 대한 해석 기술 등을 연구하여 원자력 연구 분야의 새로운 지평을 열었으며 한국원자력기술원으로부터 지속적인 연구 참여를 요청받고 있다.

이번 한국원자력기술상 수상은 어떤 분야의 연구라도 최고의 연구력을 축적하면 장기적으로 회사에 이익이 된다는 신념으로 연구를 지속해온 결과라 할 수 있다.

특히 토목 구조 해석과 관련한 원자력 연구로 개인이 아닌 단체가 이 상을 받은 것이 처음이라는 점에 더욱 보람을 느낀다. 이것이 척박한 국내 건설 연구 풍토에서 묵묵히 최선을 다해 연구에 몰두하는 연구자들에게 신선한 격려와 자극이 될 수 있기를 바란다.

이 자리를 빌어 어려운 회사 여건에서도 기술연구소에 대한 격려와 지원을 아끼지 않으신 사장님 이하 회사의 모든 임직원들과 사단법인 원자력산업회의 관계자 여러분, 함께 원자력 분야 연구를 계속하고 있는 한국원자력기술원 관계자 여러분께 심심한 감사의 말씀을 드리며, 특히 수상 과정에서 여러 가지 조언과 격려를 아끼지 않으신 회사 원자력사업단 김선구 단장님과 김상열 부장님 및 관계자 여러분, 토목연구팀에 지원과 격려를 아끼지 않으신 김기동 연구소장님, 이상범 상무님, 그리고 연구에 열중했던 토목연구팀원 모두에게 감사를 드리고, 이번 수상을 계기로 더욱 발전하여 국내를 넘어 세계에서 인정받는 토목연구팀이 되도록 노력할 것을 다짐하면서 수상 소감을 갈음한다.