



## 원전 설계의 기술 이전

Kenneth J.Green · Choon S.Kim  
Sargent & Lundy LLC

**추**가적인 전력 자원으로서 원자력에 대한 관심이 다시 증대되고 있다. 화석 연료 자원, 특히 대체 에너지원에 대한 우려와 CO<sup>2</sup> 방출과 관련된 환경 문제들이 원자력을 검증된 해결책으로 지적하고 있다. 제안된 새로운 원전들은 과거 원전들과 여러 가지 면에서 다르다. 고려되고 있는 선진 설계 이외에 뛰어난 특징을 갖는 개량형 설계는 최근의 건설 및 운영 경험을 바탕으로 강력한 경쟁력을 나타내고 있다.

운전의 단순성, 안전성 제고와 입지 및 규모의 탄력성은 새로운 세대에서 원자력의 성공에 필수적일 것이다. 특히 고유 안전의 모듈 원전은 현재 원자력 프로그램을 갖고 있지 않은 많은 나라에서 잘 어울린다. 비록 이들 설계의 원전들이 아직 건설되고 있지는 않지만, 그들은 감소된 복잡성과 단순화된 인허가 절차를 약속한다.

이들 새로운 원전들은 제한된

에너지 자원과 기술적 기반을 갖고 있는 개발 도상국에 매우 매력적일 것이다. 모듈의 규모 탄력성은 제한된 크기의 전력 계통을 지지하게 될 것이다.

수동형 설계는 원자력 기술에서 굳건한 기반이 없는 나라들의 보다 좋은 선택으로 인식된다. 그러나 단기간에는 대규모 개량형 원전들 역시 최근의 프로젝트가 건설 기간의 감축을 입증하고 있으므로 강점을 갖고 있다. 최근의 이용률의 급증은 확실히 대규모 투자비를 정당화하도록 하고 있다.

이론적으로 신규 원전들은 표준화될 것이며, 특정한 설계 엔지니어링의 필요성이 최소화될 것이다. 그러나 여전히 발전소별 중요한 특정 엔지니어링은 이루어져야 할 것이다.

한편 발전소 운전 및 정비는 현지 참여를 필요로 하며, 필요한 신뢰성 및 안전성을 달성하도록 높은 수준으로 이루어져야 한다.

모든 수준의 원자력 인력을 훈련시키고 개발시키는 것이 사소한 일은 아니다. 잘 계획된 기술 이전 프로그램이 모든 신규 원전 설계에서, 특히 개발 도상국의 원전에서 포함되어야 한다.

### 새로운 환경의 새로운 정의

이 주제를 토의하기 위하여 수많은 용어들을 정의하거나 다시 정의하는 것이 필요하다. '개발 도상국'이라는 용어는 이미 언급되었지만, 과거에서처럼 전세계적으로 잘 이해되지 않는다.

원자력 설계 엔지니어링에 대한 토론을 목적으로, 개발 도상국이란 기존의 자체 원자력 산업을 갖고 있지 않고 원자력 프로그램을 지지하는 데 필요한 기술적 기반을 갖고 있는 나라를 말할 것이다.

이 정의는 보통 선진국으로 간주되나 역사 또는 규모로 인하여 현재의 원자력 엔지니어링 능력을

지지할 배경이나 자원이 없는 일부 국가들을 포함할 수 있다. 그러나 1차적 관심은 최근에 경제적으로 어려워진 국가들에 있다.

공급국이란 그들의 자체 원자력 프로그램을 지지할 뿐만 아니라 다른 나라에 자원과 기술을 수출할 적절한 원자력 자원을 갖고 있는 나라들이다. 원자력 설계의 확대를 지지하는 전통적인 공급국들의 능력은 최근에 의문을 받았다. 독일 같은 일부 유럽 국가들은 원자력 선택을 포기하게 되었다. 다른 나라들은 원자력 프로그램을 유지하지만, 새로운 설계 프로젝트의 부족은 원전 설계의 경험의 침해를 가져왔다.

오늘날 한국의 원자력산업은 국내 프로그램을 지지할 능력만을 갖추고 있는 것으로 보이나, 이러한 새로운 설계 경험은 한국을 하드웨어 뿐만 아니라 원자력 설계 서비스의 잠재적 수출국으로 만들 것이다.

어떠한 공급국도 새로운 원전 설계의 기술을 이전할 것으로 기대되므로 기술 이전의 최근 수혜자인 한국은 공급국이 될 수 있다.

### 기술 이전의 예

역사적으로 상업적인 원자력 산업은 기술의 공유와 이전에 노력해 온 국제적 산업이었다. 원자력

산업에 고유 기술 같은 일부 거래 비밀은 있지만 대부분의 지적 재산, 특히 엔지니어링 및 설계 분야에서는 공개적으로 이용 가능하다. 이것은 부분적으로 동력로의 개발 초기에 연구 기관들의 깊숙한 간여 때문이다.

원전 안전성의 대중에 대한 입증은 필요로 하는 인허가 과정 또한 높은 수준의 투명성 및 기술 공개를 요구한다.

선진국(북미, 서유럽 및 일본)의 원자력 프로그램의 개발에서 기술 이전 수준은 명백하다. 유사한 기술 이전 프로그램이 동유럽 국가에 적용되었다. 이들 프로그램에서 공통적인 기술적 토대가 참여국으로 하여금 동일한 근거로 기여하도록 허용했다.

나머지 세계의 상황은 그러한 최적의 기술 이전 견해를 지지하지 않는다. 세계에는 원자력 설계 능력을 주장하는 많은 나라들이 있지만, 그들은 실제로 원전을 설계하고 건설하는 데 그 능력을 사용할 수 없었다. 대부분의 경우에 경제 때문에 그러했다고 주장하지만, 사실 능력이 입증되지 않았음을 인정해야 한다.

비록 중국이나 인도가 고유 설계의 원전을 갖고 있지만, 이들은 제한된 범위의 프로그램이다. 단지 한국만이 상대적으로 완벽한 원전 설계 능력을 개발하는 데 성

공했다. 사실 한국은 이제 신뢰감을 갖고 수출 시장에서의 참여를 토의할 수 있다. 비록 한국의 원전들이 기존의 입증된 설계의 토대 위에 설계되었지만, KOPEC 및 기타 한국 회사들은 이들 설계들을 새로운 프로젝트에 적용시키거나 요구되는 대로 설계를 변경하는 자원과 경험을 갖고 있다.

한국에서의 기술 이전 방법과 범위에 관한 검토는 개발 도상국에서 장래 원자력 프로그램의 기술 이전을 위한 적절한 목표에 관하여 좋은 참고가 될 것이다.

### 한국의 원전 설계

15년 전에 한국은 원전의 완전한 설계·제작 및 건설 능력을 필수적으로 확보하기 위한 결정을 내렸다. 설계의 많은 부분들에 대해 정의된 병행되고 독립적인 프로그램이 있었다.

한국에서 Sargent & Lundy (S&L)사는 영광 3·4호기의 설계 역무와 함께 광범위하고 성공적인 기술 이전 프로그램을 포함시켰다. 한국전력기술(주)(KOPEC)는 이전의 원전 건설에서 풍부한 경험을 가졌지만, 완전한 책임을 갖지는 않았다. 교육 훈련이 사전 프로젝트의 일부였지만, 이들 프로젝트는 KOPEC이 충분히 자립하는 명백한 기대치를 포함하지 않



았다. 그 프로그램은 BOP 설계의 모든 면을 실질적으로 포함하는 포괄적인 계획이었다. 그 계획은 발전소 설계 일정과 통합되었고, 관련 기술 인력 배치를 포함했다. 교육 훈련은 대규모 엔지니어링 기준과 광범위한 전산 프로그램 목록의 이전을 포함했다. 종합적 팀 환경하에 OJT가 교실 수업을 보충했다. 교실 수업은 어떤 경우에도 영광 3·4호기 사업에 직접 투입된 엔지니어를 포함하지 않았는데, 왜냐하면 그 내용이 사업팀을 교육시키는 것일 뿐만 아니라 전체적인 조직적 기반을 축적시키는 것이었기 때문이다.

교육은 세 가지 단계로 시행되었다. 첫 번째 단계는 제한된 수(약 50명)의 KOPEC 엔지니어와 함께 S&L의 시카고 사무실에서였다. 기본적 설계 업무는 6개월에 걸쳐 완료되었다. 경험있는 엔지니어링 회사의 기반 내에 이러한 초기 작업 단계는 KOPEC 엔지니어로 하여금 기반이 어떻게 사업을 지지하는가를 관찰하도록 하였고 새로운 사무실 시설 증설의 일정에 대한 영향을 배제시켰다.

동시에 KOPEC 사무실 시스템들이 S&L 설계 방법을 지원하도록 개선되었다. 6개월 후에 S&L 직원들이 한국으로 이동했다. 이 당시에 S&L 직원들은 전체 사업의 약 20%에 해당하는 꽤 큰 수

자였다.

두 번째 사업은 약 2년 동안 지속되었다. 이 기간 동안 기본 설계 업무의 중요한 부분이 완료되었다. 그 통합된 조직은 관리자 위치와 몇몇 전문가 분담에서 담당자를 이용했다.

많은 직원들이 개인별 업무를 가진 각 엔지니어와 함께 통합된 조직에서 일했다. 이미 특정한 경험을 갖고 가능하다면 선임의 역할은 KOPEC 직원들이 수행했다.

두 번째 단계에서 S&L은 계약적으로 설계 인도에 책임이 있었다. 국내 통합 팀 운영의 2년 후에 사업은 세 번째 단계로 옮겨졌다. 이 단계에서 KOPEC은 설계 업무의 책임을 담당했고 S&L 직원들은 감소되어 전체 직원의 단지 10%에 이르렀다. 이 확대된 OJT 프로그램과 병행하여, 약 100개의 교육 과정이 개설되었다. 이들 과정들은 일반적으로 교실 수업과 실습의 조합이었다.

후속 사업에서는 자문과 특정 계약 업무의 감축으로 이어졌다. 기술 이전 프로그램은 KOPEC이 원자력 설계 업무에서 대부분 기술 자립할 수 있도록 하는 데 성공했다. 다음 특징들이 본 프로그램 성공의 주요점이다.

- KOPEC은 발전소 경험을 가진 기존 회사였다.

- S&L은 완전한 설계 도구와

참고 자료를 기꺼이 이전했다.

- 기술 이전 프로그램은 계약에 통합되었다.

- KOPEC은 기꺼이 새로운 기준, 새로운 컴퓨터 프로그램 및 새로운 설계 과정을 수행했다.

이러한 성공적인 경험으로부터, 우리는 기술 이전 프로그램을 구축하는 과정을 제안할 수 있다. 앞으로 보여지겠지만, 한 모델이 모든 상황에 적합하지는 않다. 결정은 실질적 필요성 및 현실적인 능력 평가에 따라 내려져야 한다.

### 민감한 영역의 정의

개발중인 원자력 엔지니어링 능력과 같은 장기 프로그램에 대한 계획 및 목표를 확립하는 데 있어서 문제 중의 하나는 그 프로그램의 논리적 및 실무적 영역을 확립하는 것이다. 너무 자주 기술을 요하는 프로그램은 명백한 사업 및 경제적 이유보다도 국가적인 이미지 또는 자긍심을 갖고 추진된다.

기술 이전 결정 과정은 확장 또는 다변화의 선택에 관한 사업처럼 취급되어야 한다. 다루어져야 할 두 가지 질문이 있다.

- ① 우리는 성공할 자원과 의무를 가지고 있는가?

- ② 우리는 경제적으로 경쟁력 있고 스스로 유지할 수 있는가?

첫 번째 질문은 현지 교육 체계

가 사업을 담당할 필요한 자격있는 엔지니어들을 실제로 배출할 수 있는가와 이들 엔지니어들이 전자공학, 자동 생산 또는 어떤 다른 산업 분야에 반대적인 원자력 산업에 종사 가능한지와 관련된다. 이것은 원자력산업의 개발이 정말 확실한 의무인지의 질문이다. 한국의 경우에 첫 번째 발전소들은 터키 사업이었으며, 기술 이전은 발전소 운영에 명백하게 필요한 운전 및 정비 기능에 중점이 주어졌다. 설계 능력의 개발은 원자력 선택을 그 스스로 입증하기 까지 강조되지 않았다.

두 번째 질문은 쉬우면서 어려운 부분이다. 쉬운 부분은 이것이 지속 가능한 사업이냐 아니냐이다. 발전소 운전 및 정비와 달리 설계 기술은 발전소 수명을 통하여 어느 정도 일정한 율로 요구되지 않는다. 설계 기술은 단지 설계 단계의 몇 년 동안만 최고에 달한다. 일부 설계 지원은 건설 기간 내내 요구되지만, 발전소가 운전되면 그 요건들은 낮은 수준으로 떨어진다. 설계 기술 인력을 유지하기 위하여 꾸준히 신규 원전 허가가 요구된다.

요구되는 원자력 프로그램의 크기는 설계 작업 기간의 가정, 발전소 수명 및 발전소가 단일 호기나 두 개 호기냐에 달려있다. 그러나 40년의 수명을 가정할 때, 최소한

10기가 요구될 것이다. 아마도 최소한 15~20기가 설계 기술 조직의 이용을 최적화하기 위하여 필요할 것이다. 이것은 원자력 선택의 주요 의미이다. 덜 야망있는 프로그램은 외부 설계 자원에 더 잘 제공될 것이다. 이 지침을 이용하여 한국의 원자력 프로그램은 명백히 충분한 설계 능력의 개발을 지지하기에 충분히 크다.

소규모 프로그램에서 기술 이전을 통하여 개발된 현지 설계 조직의 역할 감소가 있을 수 있다. 그러나 어떤 원자력 프로젝트도 기술 이전에 대한 필요성을 갖는다. 설계 조직을 유지할 경제성은 복잡하며, 기술 이전 효율성의 예측을 필요로 한다. 단지 현지 엔지니어가 외국 계약사보다 더 싸다는 것을 인식하는 것은 대규모 기술 이전 프로그램에 대한 무역 통제에 이끌리는 않는다. 효율성·생산성 및 관리 능력이 이들 의사 결정의 요소들이다.

### 기술 이전 참여

기술 이전 프로그램에는 기술 공여자 및 수혜자가 있다. 공여자의 경우에 이것은 분명히 설계 작업을 할 수 있는 조직이어야 하며, 사업 설계에 직접 연관된 조직이어야 한다. 수혜자 조직은 OJT 중에 작업에 기여하기 위한 분명

히 확립된 위치 및 적절한 자원을 가져야 한다. 설계 기술 이전 프로그램은 일반적으로 다중 프로그램으로 구성될 것이다. NSSS의 설계는 BOP 설계보다 다른 공여자 조직에 관계될 것이다.

추가적인 공여자 조직을 갖는 품질 보증 또는 시운전 같은 설계 엔지니어링에 관련된 기타 분야들이 있다. 기술 이전 프로그램의 각 부분은 그 자신의 계획, 일정 및 계약적 조정을 필요로 할 것이다.

기술 이전 프로그램의 참여자들은 일반적으로 기술 과정의 다른 책임들을 가질 것이다. 전반적인 사업 계획은 설계 업무와 함께 기술 이전 노력을 위한 적절한 인력과 일정의 여유를 포함해야 한다. 기술의 비용이 인식되어야 하고 발전소 건설 비용의 일부로 포함되어야 한다.

### 기술 이전 방법

교육은 일반적으로 세 가지 방법 중의 하나로 구분된다. 여기에는 자기 학습, 교실 강의 및 현장 교육(OJT)이 있다.

첫 번째는 자기 학습 또는 습득이다. 이 방법은 또한 설계 자료, 과정, 기준 및 참고 자료의 이전을 포함할 것이다. 이러한 형태의 교육이 기술 교육으로 구분되지만, 그 자체로서 매우 성공적이거나



효율적이지 않다.

교육 산업은 일부 예외는 있지만 이러한 방법의 효과가 낮음을 발견했다. 예외는 교육이 매우 집중적이고 수혜자 학생들이 이미 전반적인 관련 주제에 친숙해져 있는 상황에서이다. 예를 들면, 기존 실무에 밀접하게 연관된 과정의 개정이나 새로운 방법 내의 교육이다.

그러므로 자료 이전은 필요한 참고 및 절차 근거를 주는 기술 이전 프로그램의 필수적인 부분이지만, 완전한 해결책으로서 성공적이지 않을 것이다. 컴퓨터 지원 교육 시스템의 최근 진전이 이런 형태의 교육의 효율성을 증가시켰지만, 또 다른 형태의 교육과 함께 이용될 때 가장 유용할 것이다.

교실 강의는 강사가 강의 수준을 학생들에게 맞출 수 있고, 학생들이 어렵다고 느낄 때까지 진도를 계속 나갈 수 있기 때문에 높은 수준의 효과를 갖는다. 그러나 교실 강의는 특히 언어 장벽이 존재할 때 제한적이다. 주제에 대한 실질적인 적용없이 학생들이 성공적이라는 것은 검증하기 어렵다.

많은 지식에 의존하거나 규정 또는 지침의 설명을 요하는 주제들은 보통 교실 강의를 요한다. 많은 이러한 주제들이 OJT를 포괄적으로 만들기에 충분히 빈번하게 발생하지 않는 독특한 상황을 다

루어야 한다.

OJT 또는 현장 교육은 가장 성공적인 방법이다. 불행하게도 자주 수행하기가 가장 어렵다. 학생들이 전적으로 교육에 참여해야 하기 때문에 작기 투자비가 너무 크다. 많은 분야에서 업무가 예측 가능하지 않고 교육이 단지 교육 기간에 발생하는 업무만을 포함할 것이다.

이것은 때때로 사업이 임계 경로의 일정 상에 있을 때 생산성에 피할 수 없는 영향을 미친다. 인력 배치는 이러한 낮은 생산성을 보충하고 교육생에 의한 어떤 실수가 인식되고 교정되도록 적합해야 한다.

교육생들에게 프로젝트 업무를 하는 데 있어서 지대한 교육 이득이 있지만, 교육생들이 적용 가능한 경험을 갖고 있지 않다면 적어도 초기에는 교육생들의 효율성이 매우 낮을 것이다.

한국의 경우에 초기 기술 프로그램이 범위에서 제한되었고 자체 충분한 설계 능력을 갖추도록 기대하지 않았다. 그러나 그들은 엔지니어로 하여금 설계 기술에 익숙하게 했고, 이것은 의심할 여지 없이 더욱 포괄적인 기술 이전 프로그램의 성공을 지원했다.

**기술 이전의 최소 계획**

앞서 기술된 토대와 함께 몇몇

대체 계획이 기술될 수 있다. 가장 기본적인 계획은 광범위한 원자력 프로그램에 있어서 너무 작거나 원자력 설계 프로그램을 지지할 기술적인 기반을 갖고 있지 않는 나라에서 건설되는 원전에 대한 것이다. 이 경우에 기술 이전 프로그램은 여전히 발전소 설계의 일부로 포함되어야 한다.

발전소가 어떻게 설계되는가에 대한 명확한 이해와 설계 결정의 기초를 가진 원전 운전 요원을 확보하는 것이 필수적이다. 이 경험은 발전소 운전원의 정상적인 계통 교육 내용에 대한 중요한 보충 사항이다.

통상적으로 쉬운 방법이 최선이 아니다. 경험없는 엔지니어를 큰 반복적인 업무에 종사시키는 것이 가장 쉬운 방법이다. 그러나 구조 설계나 배관 응력 해석 같은 업무는 가장 중요한 운전 문제에 직접 적용되지 않는 것이다.

교육은 기계적·전기적 및 계측 제어 계통 설계에 중점이 주어져야 한다. 안전 해석, 방사선 방호, 인허가 같은 어떤 형태의 전문 분야에서 교육받은 엔지니어를 확보하는 것이 중요하다.

교육은 교육생들에게 설계 업무에서 사용되는 기준 및 과정에 대한 일반적 소개를 주는 교실 강의로 시작해야 한다. 그 때 교육생들은 설계 그룹별로 할당되어야 한

다. 일부 경우에, 교육생들로부터의 기여는 대부분의 교육에 있어서 미미할 것이다. 그러나 이것은 계통 설계 지식을 개발하기 위한 대가이다.

설계 업무의 종료 후에 교육생들은 계통 시운전 위치로 옮겨진다. 발전소가 가동될 때 이들 개인들은 교실 교육에서 배운 것을 넘어 계통의 이해를 가질 수 있다.

### 제한된 설계 능력 개발

원자력 프로그램이 더욱 야망적이고 자격있는 교육생들이 이용 가능하다면, 제한된 설계 능력 프로그램이 추구될 수 있다. 이 계획에서 이용 가능한 교육생 자원에 적합한 특정 설계 분야가 인식될 것이다. 수많은 원전이 건설될 것으로 기대된다면, 사무·초안 작성 및 대규모 설계같은 업무를 수행할 현지 조직을 개발하는 것이 합리적이다.

이들 프로그램들의 기술 이전 계획은 강사의 기능을 수행하는 강력한 감독자에 기초할 것이다. 한편 경험있는 요원은 효율적인 교육 환경을 만들어 가도록 교육생과 함께 일하게 될 것이다.

이 환경에서 보통 그룹별로 수많은 경험있는 직원들과 함께 시작하게 되며, 설계가 진척되면서 줄어들게 된다.

### 전체 설계 능력 프로그램

원자력 프로그램이 확대되고 현지 자원들이 이용 가능하다면 완전한 설계 능력 프로그램이 추구될 수 있다. 그러나 한국의 예에서 보여지듯이 이것은 처음 또는 두 번째 원전에서 쉽게 달성되는 선택이 아니다.

환경이 충분한 기술 이전을 지지한다면, 한국의 예는 최적의 방법이다. 설계 작업 동안 일정 및 예산을 유지하고 설계 기술 능력을 개발하는 것이 실증되었다.

### 프로그램 결과 평가

프로그램의 결과에 대한 평가는 교육생 능력의 정직한 평가를 요구한다. 이것은 'Yes' 나 'No'의 판단이 아니다. 일반적으로 다양한 성취 업무와 수준이 있다. 평가는 통합된 팀 내의 강사나 감독자에 의해 가장 잘 이루어질 수 있다. 세부적인 평가는 조직 내에 어떤 갈등의 야기를 회피하도록 널리 배포되지 않아야 한다. 평가는 기술 이전 목표의 매트릭스를 이용하고 모든 분야의 성공 정도를 평가하도록 정기적으로 이루어져야 한다. 결과는 백분율로 나타낼 수 있으며, 실제적 중요성은 성공적이거나 추가적인 증점을 요하는 분야를 인식하는 데 있다.

### 기술 이전의 충분한 양

불행하게도, 기술 이전이 100% 성공적이어야 한다는 생각과 함께 기술 이전 평가가 종종 낮게 된다. 그러나 경제적으로 바람직한 좋은 사례가 이루어질 수 있다.

오늘날 서방 회사들은 거의 그들의 산업에서 요구되는 기술적 업무를 수행할 수 없다. 단지 주기적으로 요구되는 어떤 업무들이 항상 있다. 다른 업무와 맞지 않는 특정 전문 기술이 요구된다면, 직원들은 충분히 이용되지 않는 것이다.

또한 업무의 양 및 형태의 불가피한 변동은 이동되는 직원과 유지되는 직원에 의해 항상 취급되지 않는다. 비용이 처음에는 높아 보이지만, 계약자에게 보다 효율적일 수 있다.

외부 계약자에 관한 문제는 어려운 관리상 업무이다. 작업이 조직 내에서 수행된다면, 이들 자원과 관련된 관리 비용이 이미 지불되었기 때문에 가장 경제적일 것이다. 그러나 계약자에 대한 요구가 너무 지연된다면 비용 및 일정상의 영향이 있을 것이다.

이것은 기술 이전의 적절한 정도와 현지 능력 개발을 결정하는데 관리자가 직면할 많은 문제들의 하나이다. ☺