

EPR-새로운 원자력 시대를 위한 진보된 원자로

Othman Salhi

Framatome ANP

EPR 개발의 주요 단계

1992년부터 프라마톰과 지멘스는 EDF 및 독일 주요 전력사와 연합하여 EPR 개발을 수행하였다.

EPR 설계에는 피동형 안전 설비(Passive Safety Features)의 잠재성을 평가하여, 1700ry의 운전 및 건설 경험 원자로 개념의 경험으로부터 피드백을 받아 이득을 취할 수 있기 때문에 안전성을 보증하는 데 최적이라고 여겨졌기 때문에 이를 적용하기로 하였다.

그러나 피동형 안전 설비를 광범위하게 적용하면 다양한 분야에서 아직 입증되지 않은 설비에 의존하여야 하고, 대부분이 크기가 커져서 EPR 출력에 적합하지 않은 단점이 있다.

이러한 관점은 프랑스와 독일의 안전 규제 기관이 미래의 원자력발전소에 대한 일반 안전 접근 방법을 결정하기 위해 협력하기 시작하면서 초기 설계에 대한 중요도를 결정하

는 중에 제기되었다.

그러므로 EPR 설계는 강력한 프랑스와 독일에서 각각 건설된 가장 최신의 원자력발전소 시리즈인 N4와 Konvoi 발전소를 토대로 하였다.

공급자(vendors) · 사업자 · 규제 기관 간의 프랑스-독일 뿐 아니라, 유럽 사업자 요건(European Utilities Requirements ; EUR)을 만들려는 목적에서 유럽 사업자들이 더 광범위한 분야에서 협력하였다.

EPR은 기본 설계 개발 단계부터 EUR을 근거로 검토하여 이 요건에 완전히 부합한다.

기본 설계 단계(Basic Design Phase)와 이에 이어지는 기본 설계 최적화 단계(Basic Design Optimization Phase)가 끝나면서, 기본 설계 보고서(Basic Design Report; BDR)와 믿을 만한 수량 명세서가 작성되었다.

전체적인 비용 분석 결과 EPR을

통해 더 낮은 비용으로 전력을 생산 할 수 있음이 입증되었고, 이는 다른 어떤 전원보다 경쟁력이 있다.

EPR의 기본 설계는 안전 규제 기관과 그 지원 조직인 IRSN과 GRS가 면밀히 검토하였다. 검토 결과는 「Groupe Permanent」(프랑스 고문단 : GPR)과 독일 전문가에 의해 일련의 기술 지침으로 만들어져, 2000년 11월 프랑스 안전 규제 기관에 제출되었다.

EPR은 이제 프랑스, 유럽과 전 세계의 산업체에 제공될 준비가 끝난 상태이다.

프랑스에서는 최초의 발전소들을 대체하기에 앞서 동종의 발전소를 최초로 건설하는 것에 대하여 에너지 정책 토론의 틀 안에서 2003년 10월에 정부가 선언한 매우 긍정적인 이슈로 고려하고 있다.

핀란드에서도 EPR 도입을 진지하게 고려하여, 핀란드 방사선 및 원자력안전위원회(STUK)가 수행한 예비 평가 결과 EPR 개념이 기

본적으로 허가 가능함을 확인하였다.

프라마톰-ANP는 Teollisuuden Voima Oy(TVO)가 핀란드의 5번 째 원자력발전소를 건설하기 위해 발주한 국제 입찰(Call For Bid)에 응하였다.

2003년 10월 중순 TVO는 해당 목적에 가장 적합한 것으로 EPR을 선택하여, 2003년 12월 18일 관련 계약을 모두 마친 상태이다.

새 시대에 전력을 공급하기 위하여 EPR은 현재 건설중에 있다.

입증된 근거를 토대로 한 새로운 설계

1. 일반 목적

프랑스와 독일 원자력 안전 규제 기관에 의해 작성된 새로운 세대의 가압경수로 규정에 합치하는 EPR은 다음 원칙을 만족한다.

- 진보적(evolutionary) 설계, 새로운 원전들과 비교하여 산업적 위험을 가능한 한 최소화하고 누적된 경험을 반영하여 이익을 최대화하였다.

- 현 기술 수준에서의 안전 수준

- EPR은 안전 관련 참조 중 가장 엄격한 권고를 따르고 있다. 기본적으로 저온 정지 상태를 안전 정지로 간주하고, 운전원 개입 전의 시간 지연은 사고 후 30분으로 설계하고 있다.

- EPR은 INSAG(International Nuclear Safety Advisory Group of the IAEA)에서 차세대 원자로에 권고하는 통합된 심층 방어 원칙을 따르는 개선된 설계를 제공한다.

기본적으로, 노심 손상 빈도는 안전 계통과 관련 계통(예-기능 다양성을 가지는 4계열 다중성)의 신뢰도를 높여 낮추었다.

한편, 중대 사고의 경우 방사선 영향을 제한하는 조치가 취해진다. 노심 손상이 일어나지 않는 사고를 대비하여 관련 공기 조화 계통을 포함한 주변 건물의 건축은 발전소 인근에 살고 있는 사람들을 보호하기 위한 수단이다.

빈도는 매우 낮지만, 만에 하나 저압에서 노심 손상 사고가 발생한다면 강화 처리된 원자로 건물과 특수한 완화 장치가 조기 대량 방출 사고를 방지할 수 있게 하였다.

그러므로 방출된 방사성 물질은 EUR의 엄격한 기준 이하로 제한되어 부지 인근 지역(약 1km 이내)에 대하여 최초 수확물 이후에는 음식 제한이 필요 없고, 별도의 엄격한 대응책(건물 내 격리, 소개, 장기 거주 금지)도 요구하지 않게 되었다.

- 외부 사건(특히 항공기 충돌)뿐 아니라 내부 사건(특히 화재)에 대한 예방 및 보호 기능도 크게 개선되어, EPR의 건물들은 매우 강

력한 충돌을 견딜 수 있도록 설계되었다.

2. 중대 사고의 완화

중대 사고 측면에서 안전 목적을 고려하게 되면 특수한 수단을 함께 사용하여야 하는데, 주요한 수단은 다음과 같다.

- 고압 노심 손상 상황은 격납 건물 전선성에 큰 위협이 될 수 있다. 현존하는 원자력발전소에서는 감압과 잔열 제거 계통에 대한 높은 신뢰도가 이러한 위험을 피할 수 있게 한다.

EPR에서는 부수적인 수단으로 운전원에 의해 작동되는 모터 구동 벨브를 가진 전용 계열이 있어 안전 감압을 가능하게 한다.

- 수소 발생으로 야기될 수 있는 현상을 피하기 위해 피동형의 촉매 재결합기(약 44개)가 수소 소비를 위해 설치되었다.

- 코룸 확산 및 냉각은 원자로 구멍의 바닥에 인접한 전용 공간에서 이루어지는데, 이 공간의 벽과 바닥은 소모(sacrificial) 물질로 덮여 있다.

완전한 피동형 장치에 의해 격납 건물 내 코룸 확산실 옆에 위치한 재장전수 탱크(In-Containment Refueling Water Storage Tank ; IRWST)의 물이 코룸총을 덮도록 하였고, 격납 건물을 장기간 보호하기 위해 코룸총 하부의 기저



면에 냉각을 작동할 수 있다.

- 원자력발전소 건물은 관통부를 통해 일어날 수 있는 가능한 누설을 수집하고 방출 전에 필터링할 수 있게 설계되었다.

장점

1. 효율성

EPR은 PWR 원자로 중에서 최적의 효율성을 가지고, 핵분열성 물질을 가능한한 효율적으로 사용하도록 설계되었다.

핵증기 공급 계통(NSSS)은 최대 65GW d/톤까지 이르는 고방출 번업(high discharge burn up)을 가지도록 설계되었다.

증기 압력(증기발생기 출구에서 77.1 바)은 발전소의 열동력 회로의 효율이 최대가 되는 범주이다.

현재의 증기 터빈 기술로 37%를 초과하는 발전소 효율을 얻을 수 있고 이것은 전 세계 경수로 중 알려진 가장 높은 값이다.

2. 연료 재장전과 정비를 위한 정지 기간 감소

전체 발전소 이용률을 개선하기 위해 계획 예방 정비 기간을 줄이는 것은 이 프로젝트가 시작하는 순간부터 매우 중요한 목표였다.

기기의 일반적인 배치는 정비와 운전이 용이하도록 되어 있다.

4 트레인을 가지도록 설계한 계

통은 운전중에도 정비가 가능하고, 이는 계획 예방 정비 작업 물량을 감소시킨다.

연료 장전을 위한 표준 공기는 원자로 냉각, 연료 인출, 검사, 정비, 재장전과 정상운전 수준까지의 원자로 가열 등 운전 공정을 포함하여도 16일보다 짧게 운영할 수 있다.

3. 이용률

계획 예방 정비 기간과 장비 이용 불능으로 인한 비계획 정비를 줄임으로써 발전소 서비스 수명에 걸쳐 92%의 발전소 이용율을 달성할 수 있다.

최근에 이루어진 계측 제어 시스템의 개선 사항이 설계에 반영되었고, 이를 통해 높은 검사 기능을 가지고 비정상 상태를 감지하고, 부적절한 원자로 정지를 걸러낼 수 있게 되었다.

4. 서비스 수명

EPR의 기술적 수명은 발전소 소유자에게 경제적 이익을 최대화시킬 수 있도록 60년으로 설계되었다.

원자로 및 원자로 냉각재 계통의 1등급 기기나 건축 구조물과 같이 교체가 아주 어렵거나 교체에 비용이 많이 드는 기기의 설계는 이 기간을 근거로 하였다.

다른 기기들에 대하여도 긴 서비스 수명을 보증할 수 있도록 설계되

었다. 그러나 일반 배치 설계에서 취해진 예비품 덕분에 언제라도 쉽게 교체할 수 있다.

5. 최적화된 일반 배치

일반 배치는 다중 계열을 분명하게 분리하고 있다. 게다가, 접근이 제한되는 지역들-방사성 기기가 설치된-과 비방사성 기기만이 설치된 지역 간의 구별을 통해 종사자의 방사선 피폭이 0.4man-Sv/yr 이하가 되도록 설계하였다.

작업 공간을 충분히 확보하여 정비 편의를 도모하였다.

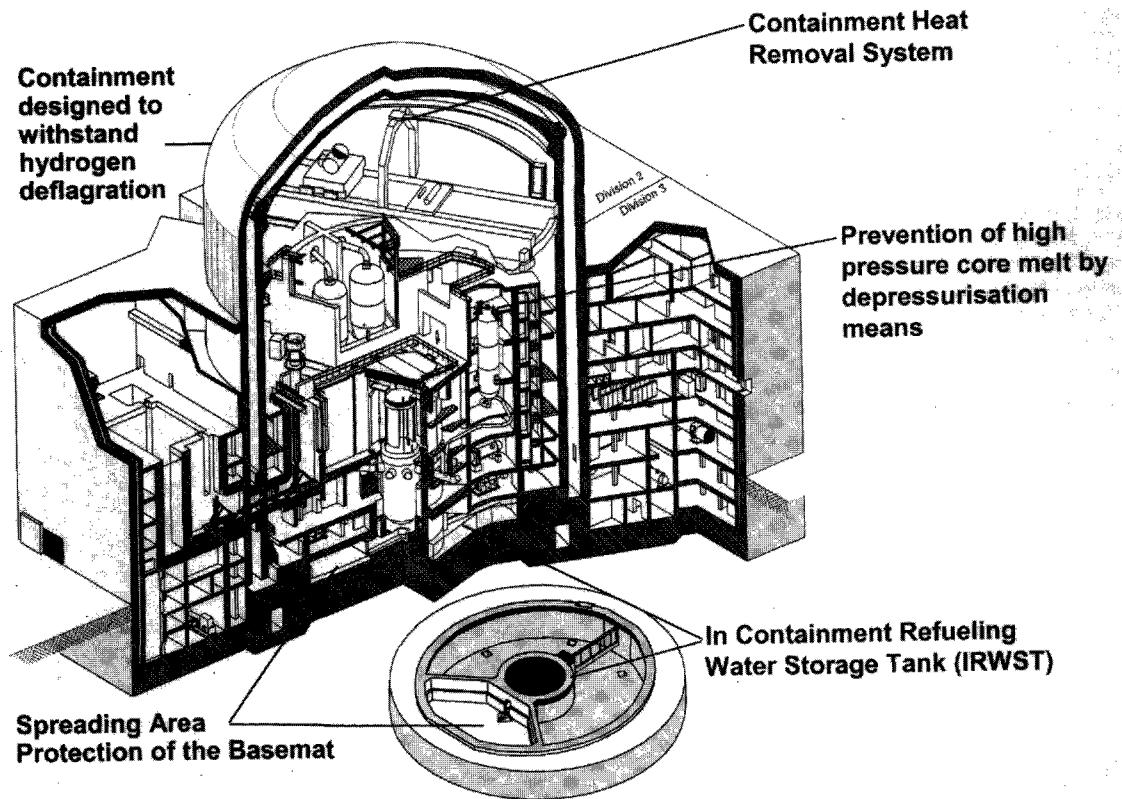
결론

EPR은 방대한 운전 경험을 근거로 혁명적으로 설계된 진보된 원자력발전소이다.

이 설계는 유럽 사업자 요건(European Utilities Requirements)를 만족할 뿐 아니라, 개발 과정에 밀접하게 참여한 사업자의 필요를 주의 깊게 고려한 것이다.

이 설계는 또한 안전 규제 기관이 개발한 가장 최신의 요건을 만족하고, 외부 위해로부터 환경을 보전한다는 측면에 분명한 이득을 제공한다.

가장 중요한 타전원과의 가격 경쟁력 측면에서도 kWh당 생산가가 아주 낮고, 향후 60년간 생산할 수 있으므로 거의 최고 수준이라고 할



EPR 구조도

수 있다.

세계는 온실 가스를 감축하기로 한 교토와 부에노스아이레스의 합의 사항을 지속적으로 만족시키면서 전력 생산을 늘려야 할 필요에 직면했으며, 그 핵심은 바로 원자력 에너지이다.

이러한 상황에서 EPR은 유럽 및 전 세계의 차세대 원자력발전소를

위한 준비된 설계를 제공한다.

원자력계는 원자력의 이익에 대하여 공중의 합의를 얻기 위해 특히 원자력 안전 분야에서 모범을 보이고 투명성을 확보하려는 노력을 기울일 필요가 있다.

우리는 지금 새로운 원자력발전 소 건설에 신규 투자할 준비를 해야만 한다. EPR은 안전성과 가격 경

쟁력 측면에서 분명한 이득이 있는 강력한 후보이다.

이러한 기본적인 상황을 만족시키면서 이미 건설중에 있는 EPR은 대형 산업과 인구가 많은 국가에서 지속 가능한 발전에 기여할 것이다.

