

유럽고속증식로(EFR)계획의 현황과 전망

유럽 고속증식로의 개발협력은 5개국 정부 합의각서의 서명으로 1984년에 결정되었다. 영국의 CEGB(지금은 Nuclear Electric으로 바뀜)가 프랑스의 EDF, 독일 전력그룹들(RWE, Preussen Elektra and Bayernwerk) 그리고 이탈리아의 ENEL에 합류하여 유럽 고속증식로 발전소 운영자(EFRUG)를 수립하게 되었다.

이 프로젝트는 1988년 3월에 진행되었고 1단계인 개념설계는 1990년 3월에 완료되었다. 설계 및 건설회사들은 지금 EFR Associates의 이름하에 협력하고 있으며, 2단계인 개념확인 은 리용에 있는 중앙 프로젝트관리팀(PMT) 하에 활동하기 시작했다. 설계회사(프랑스의 Novatome, 독일의 Interatom 그리고 영국의 NNC)는 3~4명의 대리인을 팀에 파견하고 있으며 이중 1명은 고급관리자가 포함되어 있다.

주요 계통의 설계는 다음과 같이 분담되어 있다. NNC가 노심, Novatome이 1차계통, 그리고 Interatom이 중간 열수송계통이다. 이들 3회사는 모든 엔지니어링 연구에 관여하고 있으며, 추가로 벨기에의 Belgonucleaire와 이탈리아의 Ansaldo가 협력업체로서 설계에 참여하고 있다.

목 표

고속증식로를 위한 존재 이유는 주어진 우라

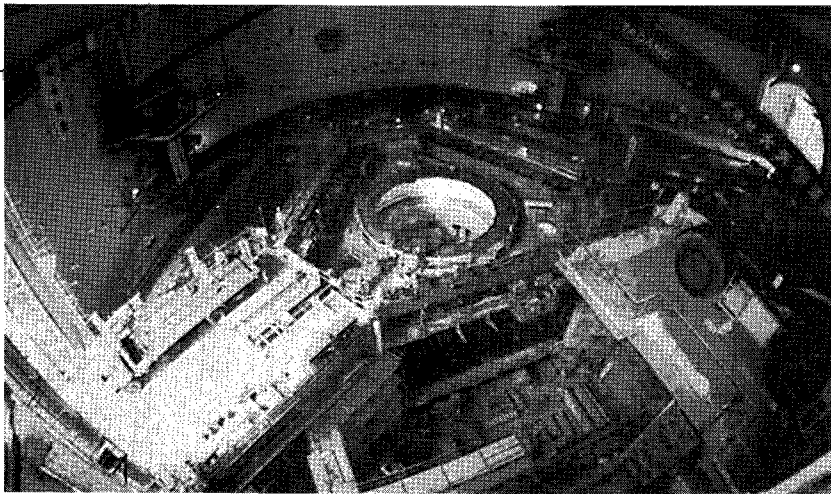
늄량으로부터 열원자로에서 보다 최소한 60배 이상 에너지가 생산될 수 있다는 것이다. 이것은 세계 석탄량의 2배 규모, 석유의 15배 규모의 우라늄을 갖는다.

비교적으로 열원자로에 사용되는 우라늄은 오직 세계 석탄량의 1/20에 해당하는 양에 불과하다. 그러나 전략적 장점에도 불구하고 고속증식로는 단지 운전비용이 PWR과 같은 기존 시스템과 가격 경쟁력이 있을 때 단지 상업적으로 사용될 것이다.

EFR의 목표는 EFRUG에 의해 주장된 대로

- 발전비용이 경쟁 PWR과 비교할 수 있어야 한다
- 가능성 및 신뢰성이 또한 PWR과 비교할 수 있어야 한다
- 발전소는 모든 참여국가에서 인허가 받을 수 있어야 한다
- 건설은 보증된 공정에 의해 수행되어야 한다
- 상업발전소에 최소한 접근되어야 한다

이러한 목표는 분명히 종전의 국가 설계와 비교해 중대한 조치가 요구되고 가격 절감을 위해 많은 단순화가 있어야 한다. 그러므로 예측되는 발전비용의 최소화는 EFR설계의 주요 목표이다. 이는 엔지니어링 작업에 계속적이고 철저한 감시를 요구하고 있다. 이는 또한 설계 특성의 선정을 유도하고, 특히 설계자에게 가능한 대체 방안이 있는 경우에는 특히 효과적



이다.

현행 설계특성

광범위한 선택 범위는 개념설계 단계의 2년간에 고려되었는데, 즉 안전한 특성에서 혁신적인 특성에 이르기까지 중대하게 비용을 절감하거나 안전성을 증가시킬 수 있는 모든 것이 고려되었다.

EFR프로젝트의 초창기부터 어떠한 단일 조치로는 경제적 경쟁력을 달성할 수 없다는 것을 분명히 했으며, 조합에 의해 취해진 많은 조치로 이 목표를 달성할 수 있게 되었다. 실질적 진전은 이미 달성되었고 더 많은 절감이 2단계에서 추구될 것이며, 특히 보조계통과 연료 및 기기조작계통에 역점을 두고 있다.

또한 건설프로그램의 단축을 가능케 할 제작 및 설치 방법에 특별한 관심을 두고 있다. 수많은 특성은 EFR을 비교할 수 있는 용량의 중전 Pool타입 원자로설계와는 다르게 나타내주고 있으며, 물리적 규모에서, 요구되는 재료의 물량에서, 그리하여 투자비에서 현저한 감소를 나타내주고 있다.

전체의 Nuclear Island는 단일 基盤에 의존하며 모든 건물은 핵연료 루트, 기기조작 및 부속물들을 제외하고는 지진에서 격리될 것이다. 발전소의 축점은 46m 내경의 원형 원자로건물이다. 이는 바깥의 환상(環狀)의 서비스건물과 3개의 증기발생기 건물에 의해 둘러싸여 있다.

직사각형의 건물이 원자로건물과 인접해 있

고, 2차 핵연료조작실과 능동적 기기 유지보수 설비를 내포하고 있다.

1차 계통은 4개의 펌프와 8개의 열교환기를 대신하여 3대의 1차 펌프와 6기의 중간 열교환기를 포함하고 있다. 주요 특성으로는 사용후연료 Sub-Assembly와 1차 용기(용기내 저장)와의 통합이다. 1차 핵연료 조작계통은 2대의 다른 조작설비를 갖고 있는 중간 Put-down/Take-up위치계를 사용하고 있다.

소구경 회전 플러그는 17m 직경의 주용기(Main Vessel)로 이어지고 종전의 설계로 약 20~21m와 비교된다. 추가로 이는 사용후연료를 위한 외부 나트륨 저장용기의 필요성을 없애고 원자로건물 내부공간에 많은 절감을 가져왔다.

2차 계통은 열을 1차 계통에서 물/공기 회로로 수송해 준다. 이는 증기발생기, 2차 펌프, 각 기기사이를 연결하는 배관들로 구성된다. 2차 계통을 위한 6루프 모양의 선택은 향상된 가동성과 기능상 이점을 제공한다. REGAIN 개념이 채택되었으며 이는 온도변화동안 나트륨 팽창과 수축을 허용할 별개 탱크의 필요성을 없애 준다.

슈퍼피닉스-1에 사용된 기존 2차 계통 배치와 비교하면, REGAIN은 더 적은 2차펌프와 더 짧은 주배관 루트로 인해 경제적 이점을 갖고 있다. EFR은 개량된 증기발생기 설계를 채용하고 있는데 이는 슈퍼피닉스-1 나선형 설비와 비교해 매우 중대한 투자비용을 절감하게 된다. 이 설계는 Once-through, 개조된 9Cr

(등급 91)철강재질의 직선 튜브이다. 전체적인 증기발생기 건설은 기본적으로 단순하여 제작을 용이하게 해 준다.

노심은 2부분의 농축영역이 있으며 모두 축방향이고 선택적으로 반경방향의 증식영역으로 구성된다. 연료관리계획은 6년 residence time에 근간을 둔다. 2가지 노심형태(동질이며 축방향으로 이질형임)와 2가지 노심배치는 더 연구되어야 한다. 사용후연료의 용기내 저장을 포함한 모든 노심변형은 1차계통 설계에 적합한 기하형상에 감싸져 있다. 고연소를 위한 노심 및 연료의 설계는 고속증식으로 연료주기비절감을 위해 효율적 방안이다.

안 전

상업용 원자력발전소의 안전설계는 계속적으로 개발되고 있다. 특별한 관심은 방사선 재해에 의한 위험을 사고 예방과 사고관리 대책을 동시에 향상시킴으로써 감소시키기 위해 모아지고 있다. EFR설계자는 더욱더 고속증식로의 안전특성을 연구개발할 것이다.

나트륨냉각 고속증식로의 자연적 안전특성과 기술특성은 EFR설계에 충분히 활용될 것이고, 가장 최근의 PWR과 같은 안전표준을 충족시킬 것이다. 안전개념은 개발되어 왔고 공학적 예방시스템을 갖고 있을 뿐만 아니라 또한 중요한 안전기능의 수동적 운전을 지향하고 있다.

심층방어전략의 이행으로 3번째 정지라인으로 알려진 일련의 특성 규정을 유도한다. 이런 특성은 발전소 전력상실 또는 정상정지시스템의 미리 계획된 실패에 결합한 2차 회로의 상실사고시에 냉각재의 비동을 막아준다. 그들은 온도상상에 반응한 원자로 구조물의 향상된 반응도 피드백, 1차 펌프구동의 플라이휠, 흡수봉 반응도 삽입률의 제한, 기계적 흡수봉 Stroke 제한 등이다.

이러한 조치들의 전체적 영향은 잠재적 손상 사고 연쇄동작의 빈도를 감소시키는 것이다. 진행중 작업은 2단계 기간동안 이러한 추가 특성을 확인할 것이다.

특히 공학적 설비에 추가하여 입증된 다음 원칙을 적용한다.

- 단일 고장기준의 적용에 의한 시스템 다중성
- 거리상 분리 및 방벽에 의한 분리
- 적절한 수준까지 시스템 다양화
- 설계의 각 단계에 일관성있는 법칙사용을 확신하는 것

EFR Associates의 Design and Construction Rules Committee(DCRC)에 의해 설립된 합동전문가그룹에 의해 이룩된 개선사항을 언급할 가치가 있다. DCRC의 참조규정은 프랑스 RCC-MR 설계코드에 근간하여 일관성 있는 설계 및 건설지침을 수립하는 것이고, 이는 EFR프로젝트의 참여 국가의 전체 경험을 통합시킨다. 잔열은 주 2차 나트륨계통과 증기설비를 사용하거나 또는 주용기에서 공기냉각기로 잔열을 수송하는 작은 정교한 나트륨 루프, 즉 직접적인 원자로냉각 루프를 사용하거나 하여 제거될 수 있다.

이들 루프(6×15MWt)의 수는 요구되는 것보다 많으며, 이리하여 다중성을 제공한다. 이들 자연대류 냉각능력이 안전측면에서 요구될 빈도는 아직까지 해결되지 않았다. 그러나 분명히 수동적 잔열제거는 EFR의 중요 특성이 될 것이다.

격납건물 개념에 관련하는 한 심층방어원리의 이행은 다음을 의미한다.

- 노심 파열사고의 경우에 기계적 에너지방출의 관점에서 Cliff Edge Effect가 없음을 확인하기 위해 1차 격납건물 경계 강도의 일관성을 점검

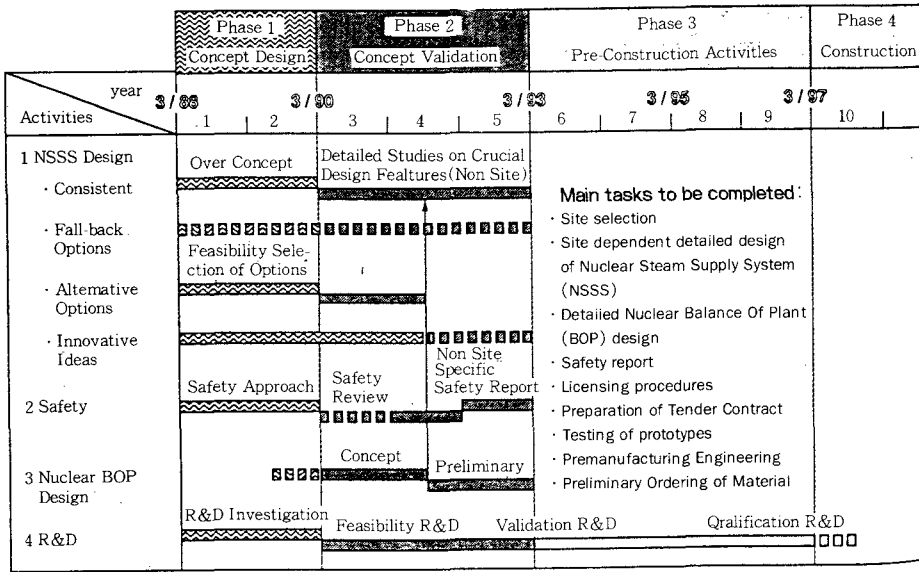
- 원자로 커버그스내에 대규모 핵분열 생성물을 가정하여 환경으로의 방사능 방출이 만족스러운지를 확신함

2단계 동안 EFR안전성 접근방법은 여러 국가 조직으로부터 고급안전전문가에 의해 평가될 것으로 예견된다.

연구개발

EFR목표는 설계작업이 포괄적인 R&D 및

The EFR Associates' EFR Summary Program



기기입증 프로그램에 의해 지원을 받을 것을 요구한다. 1984년 국가간 합의각서하에 프랑스, 독일, 영국, 벨기에 및 이탈리아의 연구조직은 그들 프로그램을 조화시키기 위한 조치를 취하여 그들 경험과 자원을 효율적으로 공동 운영하게 되었다.

그러나 그 임무는 그들이 다른 국가 프로젝트를 지원하는 관계로 쉽지는 않다. EFR의 출현으로 R&D프로그램 합리화 과정에 새로운 자극을 주었는데 이는 프랑스, 독일 및 영국의 R&D조직간에 1989년 2월 16일 협정서 서명으로 재확인되었다.

EFR Associates와 이들 조직에 의해 설립된 일반 체제간에 연계관계가 수립되었다. 축점은 Management Group for R&D(MGRD)와 PMT간에 연결이다. 유럽 R&D 프로그램

은 EFR의 요건에 따라 재정비되었고, 설계 이전에 의하여 지금은 잘 추진되고 있다.

결 론

합동 유럽고속원자로 설계작업은 희망적인 단계에 도달했다. 그 특성은 유럽에서 갖고 있는 가장 좋은 경험으로부터 나온 것이다. 진보적이고 혁신적인 기술선택에 힘입어, 이미 선행 프로젝트와 비교해 연료주기비 뿐만 아니라 자본비에도 상당한 절감을 쉰예견하고 있다.

일관성있고 최선의 안전성 접근방식은 명확히 규정되고 있다. 유효한 설계 도구 및 자료의 제공과 안전성을 구체화하는 필요한 R&D는 지금 만족스럽게 연구중에 있다.