서의 방사선량이 매우 낮게 계산됐고 단지 1밀리렘의 전신선량은 미국환경보호기구의 보호행동지침인 1렘 전신선량과 5렘 갑상선량보다도 훨씬 낮다고 한다.

발전소건설과 비용

ABB Atom社에 따르면 PIUS의 건설공기는 최초 콘크리트타설부터 상업운전시작까지는 42개월이 소요된다(연료장전까지는 36개월 소요).

스칸디나비아 조건에서 600MWe PIUS와 ABB Atom社 700 MWe 개량형 BWR과의 비용을 상세히 비교하면 단기비용(금융비용 제외)에서 순전기출력은 kWe당 PIUS가 10%의 이득이 있다.

PIUS는 주증기압력과 온도가 낮기 때문에 열효율이 낮고 연료주기 비용이 좀 더 소요된다고 ABB Atom社는 말하면서도 건설기간이 더 짧고 인건비가 더 적게 소요된다고 부연한다. 결론적으로 kWe당 총비용은 700MWe BWR 발전소보다 저렴한 것으로 평가된다.

전 망

PIUS의 실용화를 위해 이탈리아 국영전력회사인 ENEL社에서 상당기간 평가했다. Consorzio PIUS社는 최근 이탈리아 회사인 Ansaldo 및 Fiat社와 함께 PIUS를 이탈리아의 조건과 요건에 맞도록 합작설계연구를 ENEL社에 제의했다.

실용연구가 中國에서도 수행중이고 다른 나라들에서는 평가연구가 진행중이다. 미국에서는 미국원자력위원회의 허가가능성검토가 진행중에 있어 1994년 봄에는 안전성분석보고서가 나올 것이라고 ABB Atom社에서 말하고 있다.■

유럽型 高速爐(EFR)

유럽 몇개국의 발전사업자, 연구기관, 설계 및 건설회사들은 유럽형고속로(European Fast Reactor)의 상업설계를 공동으로 개발하기 위한 장기계획에 참여하여 왔다. 합작설계기구인 「EFR 협회」는 프랑스 프라마톰社의 한 사업본부인 Novatome社, 독일의 Siemens KWU社, 영국의 NNC社로 구성되어 있다.

EFR 협회는 유럽형고속로(EFR) 설계의 목적을 기존설계의 기본 특성인 Sodium 냉각재, 수조형태, 산화연료를 유지하도록 하는데 합의했다. 전기출력 1,500MWe, 열출력 3,600MWt 규모로 경제적인 면에서 가장 유리한 것으로 보여진다.

1990년 3월까지 수행한 2년간의 개념설계는 다양한 설계사양들을 평가하고 점진적으로 선택사양들을 추려서 최초의 합의된 설계로 확정했다.

현재까지 3년동안 수행하고 있는 개념확증단계에서는 합의설계의 힘든 설계사항과 안전성, 신뢰도 및 비용측면에서 유리하고, 좀 더 진보된 대안에 관한 분석을 위하여 세부연구에 집중하고 있다.

주요설계사항

노심은 6년의 잔류시간에 근거한 원자연료관리계획에 따라 3개의 농축도구역으로 구분되어 있다. 최대 연소도는 중금속원소의 20%까지 연소시키는 것이 목표인데, 이는 고속중성자에 의해 원자당 190회 변위하는 것과 상응하는 양이다(Norgett, Robinson 및 Torens에 의해 표준화된 수치).

2가지의 노심사양이 선택됐는데 하나는 균질노심이고, 다른 하나는 축방향의 비균질노심이다. 연료봉 피복재는 AIM 1(티타늄 오스테나이트계 스테인리스강의 진보된 변형) 또는 PE16 (44% 니모닉합금)으로 선택했다. 또한 발전소설계는 증식옵션의 변동폭을 수용할 수 있고 플루토늄 사용가능성도 고려했다.

비증식노심은 반경방향 증식로 소조립부품이 없지만 고속증식노심은 2열의 증식로 소조립부품의 구성이 가능하다. 균질노심설계에는 387개의 연료부속집합체와 78개의 증식부속집합체가 있다.

연차재장전기간중에 잔열을 감소시키기 위한 234 위치로 된 사용후 연료저장소는 고리모양의 중성자 차폐집합체를 이용, 노심에서 격리된 격자판 위에 있다. 노심 높이는 100cm, 축방향 Blanket 두께는 40cm여서 소듐 기포의 원자로반응 효과를 포함한 안전변수를 최적화했다.

2개의 별개 원자로정지계통이 있는데 각각 Trip System과 33개의 흡수봉을 가지고 있다.

1차계통의 노심에서 나온 열은 저온수집수조에 있는 3개의 주펌프에 의해 고온수집수조를 지나 소듐 순환으로 6개의 중간열교환기(IHX)로 보내진다. 이 계통배열로 17.2m의 1차용기 내부에 들어가는 컴팩트형 1차계통으로 할 수 있다. 천정과 이중회전플러그는 상부덮개가 되고 열교환기, 펌프, 노심상부 구조물하우징, 노심감시계장, 제어 및 정지계통 등 주요 1차회로기기들을 지지하고 있다. 내부 회전플러그 위에 설치된 직접인양 충전기와 외부회전플러그에 설치된 Off-set-Arm 기기를 잘 배치하여 더욱 소형화했다. EFR의 소형화 설계 때문에 고온, 저온수조에서의 소듐열유체현상해석이 중요하다. 중간열교환기(IHX)에는 기계식 밀봉과 밸브가 있다. 단식 임펠러펌프는 아임계축으로 설계되어 있다.

2차계통은 1차계통의 열을 종래의 방법대로 증기회로로 보낸다. 6개의 증기발생기와 함께 6개의 중간열교환기는 각각 자신의 펌프를 가지고 있는 6개의 본질적으로 독특한 2차루프(하나는 면대칭)가 있다. 증기발생기는 9Cr1MoVNb grade 91의 페라이트강으로 만들어진 관류형 직관튜브로 되어 있다.

기계식 2차펌프와 증기발생기는 원자로건물 밖 증기발생기건물 내에 설치된다. 2차측 펌프는 낮은 위치에 설치된다. 「Regain」 개념이 2차계통에 적용됐다. 펌프와 증기발생기에서 2차회로 방출탱크로 계속 유출되는 소듐은 회로로 재주입된다. 이러한 개념의 장점은 배관길이를 축소해서 비용을 절감하고, 2차펌프에 흡입수두(NPSH)를 증가시키는데 있다.

다음 두 계통은 잔열제거의 신뢰도를 향상시킨다.

1. 물/증기계통과 함께 2차계통을 이용한 정상적인 열제거계통과

2. 2차계통과 별개로 안전등급의 직접원자로냉각(DRC)계통이 있다.

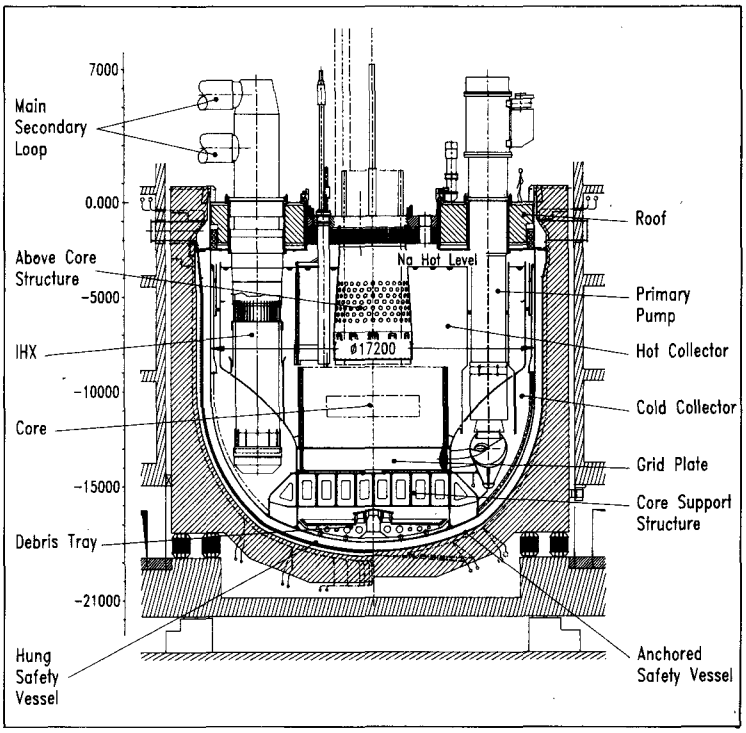
DRC에는 2개의 상이한 세부그룹이 있는데 각각 3개의 독립 소듐 루프가 있어 주위 공기로 냉각되고 자연대류현상으로 안전요건을 만족시킬 수 있다.

각각 DRC 루프는 다음과 같이 되어 있다.

1. 1개의 소듐/소듐 열교환기(DHX)가 원자로용기의 고온수조에 잠겨 있다.

2. DHX 상부 충분한 높이에 자연대류열전달을 위한 소듐/공기 열교환기(AHX)가 1개 있다.

3. DRC 루프 상부의 AHX 내부에 들어 있는 소듐팽창용기는 아르곤가스로 밀봉되어 있으며 AHX



〈그림 2〉 유럽형고속로 1차계통 원자로 단면도(EFI협회 제공)

의 소듐입구헤더로 이용된다.

4. 원자로건물 위로 공기굴뚝이 1개 있다.

EFR 설계의 안전성 접근방법은 기존의 유럽형 액체금속고속증식로 프로젝트의 경험을 고려함과 동시에 경수로형 인허가원칙과 경험을 적용한다. EFR 위원회에 따르면 EFR의 안전성은 최소한 다른 원전의 안전성과 견줄 수 있다고 말한다. 보호계통은 정상상태의 이탈 및 사고를 감지하는 계통, 공학적 안전특성, 방사성물질을 보존하는 방벽 및 사고관리능력을 보유하고 있다.

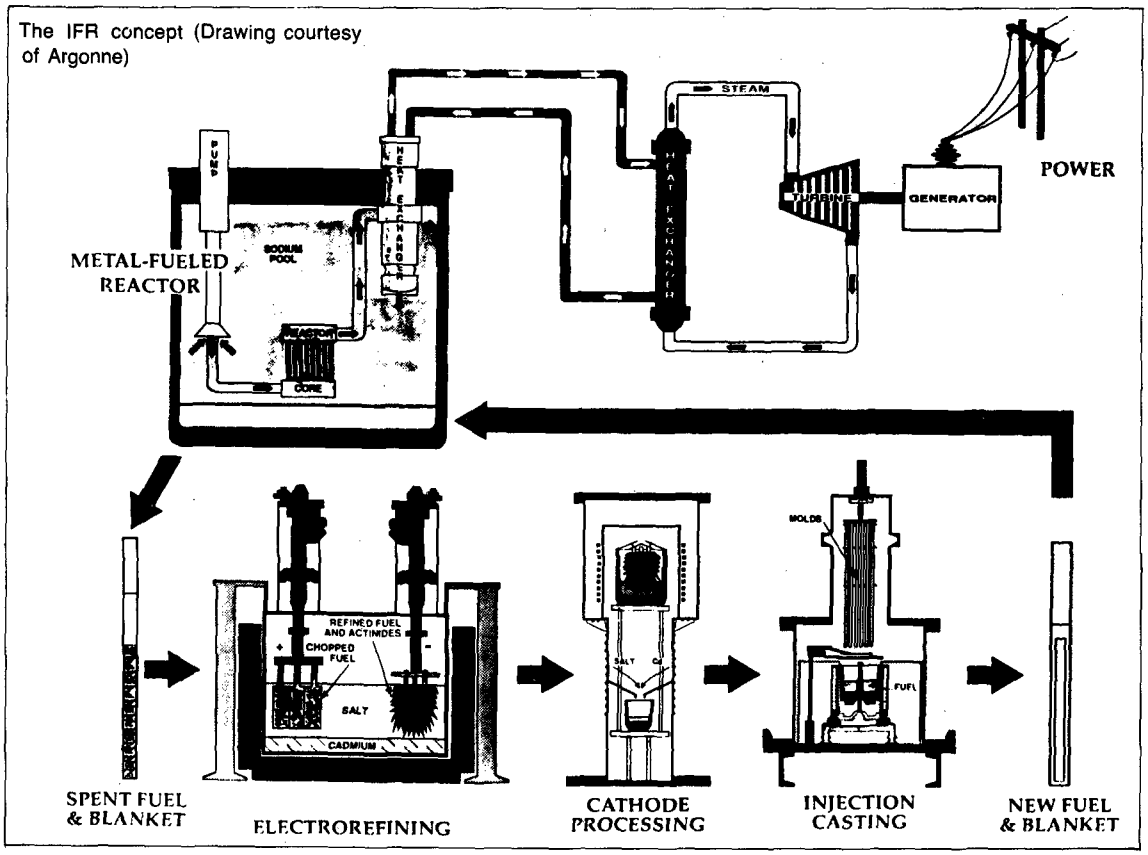
사고방지와 완화의 신뢰도를 향상시키는데 역점을 두고 있어, 어디에서든지 가능하고 유익한 설계상 피동적안전특성을 이용할 수 있다. 사실상 보호기능 향상과 노심정지나 잔열제거를 위한 자연특성을 포함한 대안 마련에 상당한 주의를 기울였다.

계측제어계통

발전소 계측제어계통은 안전도나 운전계통으로 분류될 수 있다. 1차계통에 있으면서 외부사고로부터 보호되는 안전도계측제어계통는 발전소 비정상상태 발생후 적어도 30분 동안에 발전소를 제4분류 발전소의 운전조건의 방사능설계한도 이내로 유지시키는데 필요한 안전기능을 작동시켜 제어한다.

제4분류 발전소 운전조건은 설계기준사고 중 발생빈도가 가장 낮다. 안전계통은 원자로정지, 잔열제거기능을 가진 원자로 보호계통과 증기발생기 보호, 격납기능, 안전도 연동장치기능 등을 가지고 있는 발전소보호계통으로 구성되어 있다.

안전계통은 가장 많이 사용되는 기존의 탁월한 배선에 의한 기술과 병행자료처리기술을 이용한다. 예



〈그림 1〉 액체금속원자로 개념(Argonne 국립연구소 제공)

를 들어 개별 노심출구온도제어와 같은 복잡한 문제의 경우에는 마이크로프로세서를 이용한 기술을 개발하게 된다. 운전계측제어계통은 진보된 마이크로프로세서 전산처리 계통을 이용한다.

제염과 유지보수

제염과 유지보수설비는 원자로건물 내의 서비스건물에 있으며, 서비스건물에는 필요한 모든 장비와 기기가 있다. 이 설비들은 소듐으로 오염된 기기들을 대기중에서 취급하고 가능한 한 손으로 정비할 수 있도록 제염한다.

세척 및 제염구역 가까이에 있는 정비구역은 검사, 정비, 재사용을 위한 수리를 할 수 있고, 폐기물을 취급한 기기들을 손질하며 만약 재검증해야 할 경우에는 원격으로 제어하고 취급용기 아래 부분을 정비, 수리 및 제염한다. 정비건물 내에는 제한된 숫자의 유효기간이 지난 원자로부품과 여분의 원자로 부품이 저장되어 있다.

개발현황

EFR의 목적을 위해 많은 연구개발계획이 수립됐다. 프랑스, 독일, 영국의 원자력연구센터의 연구계획이 EFR의 조건에 맞게 재검토됐다.

현재 수행중인 EFR 개념검증단계는 기술적, 경제적으로 잘 수립된 1차계통설계와 예비안전성보고서(특정 부지에 국한되지 않은)와 함께 1993년 3월에 완료될 계획이다. 2, 3년 연구를 더 수행하면 두 분야를 잘 통합하여, 핵증기공급계통설계 및 국가적 관행과 2차계통(BOP)과의 조화를 위한 설계연구도 분석될 것이다.

부지가 선정되면 현장특성을 고려한 1, 2차측 상세설계, 기기검증시험, 설치국가의 인허가준비 및 예비제작기술검토를 시작할 것이다.■

改良型液體金屬原子爐(ALMR)

개량형액체금속원자로(ALMR, Advanced Liquid Metal Reactor)를 개발하기 위해 미국 에너지성의 지원을 받는 계획의 일환으로, Argonne 국립연구소의 종합고속로(IFR, Integral Fast Reactor) 개념을 GE社의 혁신소형동력로(PRISM, Power Reactor Innovative Small Module) 증식로설계에 적용하고 있다.

종합고속로(IFR)

IFR 개념은 수조형원자로로서 혼합금속원자연료와 건식야금(Pyroprocess) 연료주기를 이용하고 있다. 두 가지 특성으로 IFR은 세계의 다른 액체금속원자로와 구별되는데, 연료형태와 연료주기술이 그것이다.

연료는 우라늄, 플루토늄, 지르코늄혼합금속이다. Argonne 연구소에 의하면 금속연료는 중요한 새로운 안전특성이 있고, 건식야금이라 불리우는 고온에서 금속을 제련하는 공정에 기초하여 근본적으로 연료주기의 단순화를 가능하게 한다고 한다.

금속연료의 원자로성능은 Idaho 州에 있는 Argonne 연구소의 실험증식로－Ⅱ(EBR－Ⅱ)에서 수년간 성공적인 사용으로 150,000에서 200,000MWd/t에 이르는 연소도를 확립했다.

금속연료를 사용하는 ALMR의 피동적안전특성은 1986년 EBR－Ⅱ로 실시한 획기적인 일련의 실험에 의해 입증됐다. 두 건의 전통적인 무정지예상과도상태(ATWS)를 모의시험했다. 같은 날 별개 시험인 실제 발전소 정전사고와 히트싱크상실조건이 전출력상태에서 일시 우회정지회로와 운전원의 조치 없이 실시되었다.

두 경우 모두 EBR－Ⅱ은 자연순환으로 열이 제거되는 저출력조