

위 스팅하우스社의 개량형가압 경수로(APWR, Advanced Pressurized Water Reactor)의 전기출력은 1,350MWe와 1,050MWe의 2가지이며 공급자측에 따르면 현재 상업화 준비가 되어 있다고 한다. APWR 1300은 예비설계승인(PDA)을 미국원자력규제위원회(NRC)로부터 이미 획득한 바 있다.

스텅하우스社의 AP600계획(AP600 항목 참조)에까지 이르고 있다. 웨스텅하우스社에 따르면 동사의 가압경수로의 입증된 특성과 기자재를 그대로 유지하고 그밖의 설계목표들도 日本과 미국에서 최고의 성능을 가진 발전소를 참조함으로써 가동률, 경제적 발전, 안전성, 운전성과 유지 및 보수성을 크게 향상

의 20% 절감은 몇가지 특성의 결과인데 노심출력밀도를 재래식 설계에 비해 20%나 줄임으로써 연료주기비용을 현저하게 감소시킬 뿐만 아니라 운전 및 안전여유를 향상시킨다.

그밖에 연료주기비용을 크게 절감시키는 것이 Spectral Shift(또는 감속제어) 개념인데 이는 기계적으로 냉각수를 밀어냄으로써 운전기에 냉각수비용을 조절하는 방식이다. 이렇게 함으로써 연료주기 초반동안에 플루토늄이 생성됐다가 냉각수 Displacer Rod를 노심에서 제거시킨 뒤 운전중에 연소되며 또한 동일한 에너지출력을 위한 초기 농축도 줄어들게 된다. 끝으로 방사형 반사체에 의해 노심 중성자 누설을 감소시킨다.

동 계획은 드리마일 아일랜드원전 사고에 이어서 착수됐기 때문에 이전의 설계보다 적어도 10배나 공중의 위험을 줄이도록 의욕적인 목표를 세웠다. 개연적 위험평가(PRA)방법을 충분히 이용함으로써 안전성을 더욱 향상시켰다. 이 방법은 발전소 건설후의 안전성을 검증하기 위하여 이전부터 사용해 왔던 것으로, 동 PRA 기법은 안전성을 전반적으로 최적화하기 위해 설계과정을 통하여 사용한 것으로 APWR이 최초라고 웨스텅하우스社는 말한다. 최적화의 추구는 발전소 안전성 뿐만 아니라 자본비용, 발전소의 가동률, 근무자 방사선피폭 및 운전과 보수도 포함한다.

결과적으로 웨스텅하우스社는 APWR 1300은 내부사고시 노심용융빈도가 매우 낮아졌다고 평가하

웨스텅하우스社의 APWR

APWR 1300 개발계획은 안전성과 발전단가를 본질적으로 개선하고자 1990년대의 4-Loop 형태의 순전기출력 1,300MWe급 최신기술 발전소개발을 위해 구성됐던 웨스텅하우스社 조직에 의해 1978년에 시작됐다. 1981년 이 설계개념은 이에 관심이 있던 日本의 업체들인 미쓰비시重工業(MHI)을 포함하여 5개 가압경수로 발전사업자인 關西電力, 日本原子力發電, 九州電力, 四國電力 및 北海道電力 등이 제의했다.

이들 관련 전력회사들은 日本에 건설될 1기의 세부설계와 성능시험을 위한 웨스텅하우스/미쓰비시의 합작기술계획에 자금을 분담키로 동의하고, 현재까지 200만달러 이상을 투자했다.

설계단순화 목표는 APWR 1300 개발계획에서 착수되어 APWR 1000에서 더욱 발전되고 마침내 웨

시키고 있다고 한다.

APWR 1300 계획의 또다른 주요 목표는 화력발전소에 상응하는 운전유연성을 제고시키는 것이었다. 그밖에 향상된 분야 중에는 Gray 제어봉을 사용함으로써 Boron-Chemical Shim 농도와 관계없이 크세논(Xe)의 변화에 의한 효과를 보상하여 평형을 이루도록 하였으며, 또한 디지털 계장계통은 운전원의 작업을 더욱 용이하게 했다.

경제성, 안전성, 신뢰성

동 계획의 경제적 목표는 기존 가압경수로보다 자본비용을 15%, 연료주기비용을 20%나 절감하는데 있다. 자본비용은 열출력 및 발전소효율의 증가와 발전소 모든 분야에서 설계단순화에 의해 절감된다.

APWR 1300 원자연료주기비용

고 있다. 즉 현재의 발전소보다 더욱 단순화하고 낮은 비용의 안전계통으로 인해 노심용융빈도는 1/1백만노년보다도 적다고 한다.

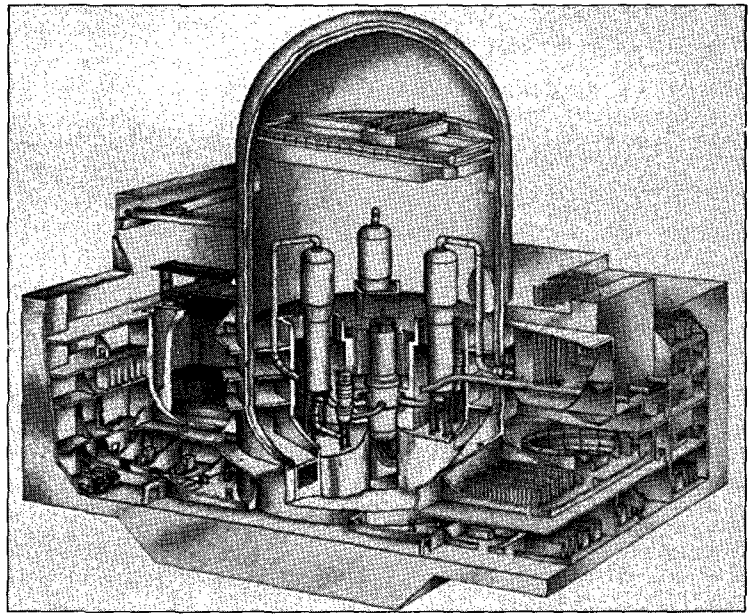
부품신뢰도(Component Reliability)를 향상시키기 위한 동 계획의 개발계획 접근방법은 증기발생기의 향상 예에서 입증됐다. 매우 보수적인 설계기준으로 더 적은 열유량, 더 큰 운전여유, 내부식성 세관소재(열처리한 인코넬690으로 코발트 방출도 감소), 침전물수집기, 세관다발의 열유체 설계의 최적화, 습분분리능력의 향상 및 보수를 위해 재설계된 설비가 가능하다.

이 설계는 40만시간 이상 시험을 토대로 향상됐으며 현재 증기발생기가 교체중에 있으므로 이 APWR 개발계획의 이점을 운전중인 발전소에까지 확대하고 있는 중이다.

1983년 11월에 웨스팅하우스社は 4-Loop APWR 발전소 설계를 위한 예비설계서를 NRC의 검토를 받기 위하여 제출했다. 검토가 끝난 뒤 NRC는 동 발전소설계가 NRC의 최신요구조건에 부합된다고 결정하고 1991년 5월에 예비설계승인서(PDA-14)를 발급했다. 웨스팅하우스社は 동 설계가 미국 전력연구소(EPRI)의 모든 핵심요구조건에 일치하며 사실상 많은 세부요구조건을 정의하는데 이용되는 설계기준이었다고 말한다.

개량형가압경수로 APWR 1000

전력회사들은 공칭전기출력 1,000MWe급 APWR을 원하고 있기 때문에 웨스팅하우스社は 공칭전기출



〈그림 1〉 웨스팅하우스社 APWR 1000 설계도(웨스팅하우스社 제공)

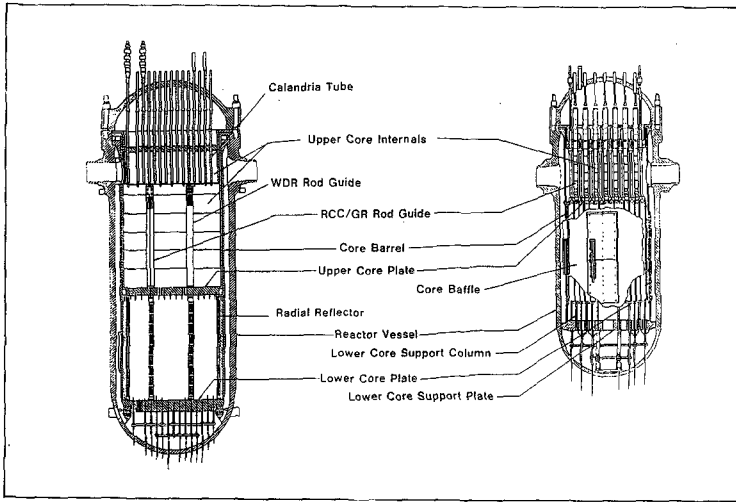
력 1,050MWe급 3-Loop식 APWR 1000을 스웨덴의 INITEC, ENS-A 및 ENUSA社와의 합작계획에 따라 개발했다. 이 설계는 웨스팅하우스社 APWR 개발계획의 입증된 기술이나 장점에 기초하고 있다. 웨스팅하우스社에 의하면 이 설계가 단순화와 운전여유를 증가시킴으로써 오늘날 상업운전이 가능한 가장 개량되고 성능이 입증된 발전소 중의 하나가 됐다고 한다.

APWR 설계특성은 광범위하게 모듈적이며 발전기 규모와 관계없기 때문에 APWR 설계를 3-Loop식 설계방식에 적용하는 것은 상대적으로 단순했다. 예를 들면, APWR 1000 발전소는 APWR 1300의 Spectral Shift 개념과 달리 표준저출력밀도 노심설계방식을 사용하고 있다. APWR 1000의 모듈특성의 또다른 예는 비상노심냉각계통, 비

상급수계통, 부하추종을 위한 Gray 제어봉, 디지털 I&C, 개량된 제어실 및 크게 향상된 구성부품 등이다.

90%의 가동률이 설계목표인 APWR 1000의 설비비용률은 대부분의 현재 가동중인 최우수 발전소를 능가할 것으로 기대되며, 발전량에 따라 증가하는 고정비도 감소시킨다고 웨스팅하우스社は 말하고 있다. 향상된 발전소설계특성과 더욱 높아진 가동률로 이전의 유사설계와 비교할 때 운전 및 유지보수비용을 30%까지 줄일 수 있을 것으로 기대하고 있다.

APWR 1000 설계는 발전소 전반에 걸친 접근방법으로 1차계통범위와 설계특성들이 2차계통(BOP)에 미치는 영향을 고려하여 신중하게 재평가됐다. 이전의 유사설계방식에서 참조한 장점들은 자본비용의



〈그림 2〉 웨스팅하우스 APWR 1300(좌) 및 재래식 4-Loop PWR의 원자로내부 단면도(웨스팅하우스 제공)

대폭 절감, 더욱 단축된 공기, 30% 줄인 건물용적, 절감된 운전 및 보수비용, 100배나 낮은 노심손상 및 방사능누출위험, 폐기물감소, 90%의 가동률 및 100인 -램/년의 원전근무자의 피폭량 등이다.

APWR 1000은 실증된 기술을 사용한다고 웨스팅하우스사는 말한다. APWR 1000의 많은 운전특성과 주요 기자재는 최근 운전되고 있는 웨스팅하우스사의 가압경수로 발전소에서 사용하고 있으며 Houston Lighting & Power Company의 South Texas 프로젝트 2기(1988년과 1989년에 상업운전 개시), 스페인의 Association Nuclear Vandellos의 Vandellos 2호기(1988년에 상업운전 개시) 및 1994년에 상업운전계획으로 건설중인 영국의 Nuclear Electric사의 Sizewell B 발전소 등이 그것이다.

설계특성

설계 중 개량된 계장계통은 전력 및 산업분야에 적용되며 광범위하게 입증된 계통설비이다. 웨스팅하우스사는 1976년 이래 마이크로프로세서시스템을 설계해 오고 있다.

Class 1E 소프트웨어 계장계통은 1987년에 처음 개발돼 현재 사용중에 있다.

웨스팅하우스사는 영국의 Sizewell B 발전소에 보호계통과 프로세스제어계통 모두를 설치중에 있다. 기존 발전소에는 웨스팅하우스사의 Microprocessor-based Eagle 21 Product Line이 Plant Process Analog Protection System과 직접 교체될 수 있어 Tennessee Valley Authority의 Watts Bar-1에서 설치중에 있다. 120개 이상 Microprocessor 제어 및 감시계통을 기존 발전소와 건설중인 발전소에 설치하려고 전력회사들이 주문하고 있다.

APWR 1000은 APWR 1300 프로그램에 따라 개발되고 인가된 개량형경수로(APWR)의 총체적 안전방호관계통(ISS)의 특성을 갖고 있는데 이것은 2개의 재래식 어큐물레이터, 격납건물내 1개의 비상냉각수저장조와 4개의 동일한 기계적 보조시스템이 있다. 각 보조시스템에는 1개의 잔열제거(RHR)/격납건물살수펌프, 최소유량 열교환기, 1개의 고압안전주입펌프 및 1개의 RHR 열교환기가 있다. 어큐물레이

터와 비상냉각수저장조는 격납건물내부에 있다. 각각의 총체적 안전방호계통(ISS)의 보조계통은 격납건물 밖 부속건물내 별도의 컴파트먼트 내에 설치되어 있다.

부하추종을 위한 Gray 제어봉 사용, 안전계통과 운전계통기기의 분리, 인간공학적 디지털제장기기를 포함하여 많은 APWR 1000 설계특성은 운전원의 업무량을 줄여준다. 또한 18개월에서 24개월의 연료주기는 연료재장전을 더욱 줄이므로 운전요원의 업무도 줄이게 된다.

비용을 줄이는 그밖의 요인들은 다음과 같다.

1. 운전하기 더욱 쉽고 보다 단순화된 계통과 기자재
2. 보수가 필요한 밸브의 30% 감축
3. 단순화와 기자재 신뢰도의 향상으로 예비품 재고량 감소
4. 계통단순화로 더욱 효과적인 훈련
5. 더 커진 운전 및 안전여유
6. 감소된 연료누설, 개량된 부품자재, 낮아진 부식률 및 간소화된 폐기물처리시스템

웨스팅하우스사는 APWR 1000을 영국의 British Nuclear Fuel사, Hungarian Electricity Board(MVM-T) 및 Czech and Slovak Power Boards에 권유하고 있다. 웨스팅하우스사에 따르면 日本에서의 다음 PWR 프로젝트는 APWR 1300이 될 것이며 臺灣 등 다른 나라에서도 APWR 설계를 채택할 것으로 기대하고 있다고 말한다.■