기 술 논 문

中小型炉의 開發과 利用(Ⅱ)

中小型炉의 安全性과 認許可問題

이번 會議에서는 안전성과 인허가문제에 관한 세션이 구성되어 안전성에 관해 집중적으로 論議되었으며, 다른 세션에서도 Inherent Safety, Passive Safety 등 최근 화제가 되고 있는 표현을 사용하여 안전성에 대해 論하는 논문이 많았다. 또한 임시로 Pannel Discussion이 마련되어 上記 Inherent Safety, Passive Safety에 대해 활발한 의론을 하였다.

1. 새로운 安全性의 槪念과 新安全基準의 導入

이번 會議에서 중요한 主題중의 하나가 고유안전성을 어떻게 생각하느냐는 점이었으며, 이것은 두가지 관점에서 의론되었다. 하나는 固有安全性이라는 새로운 안전성의 개념을 도입할 필요가 있느냐 없느냐하는 점, 또 하나는 고유안전성을 생각할때 그 정의는 어떤 것인가 하는 점이다.

먼저, 안전성에 새로운 기준·개념을 도입할 필요가 있느냐 없느냐에 대해서는 크게 상반되는 두가지 의견으로 나뉘었다. 하나는 많은 輕水爐가 안전하게 운전되고 있는 지금, 새로운 안전기준을 도입할 필요는 없다. 中小型爐는 大型爐의 경험을 살림으로써 완전히 간소화할 수 있다. 따라서 安全餘裕度는 코스트 低減으로 이어져야 한다는 의견이다. 이를 주장하는 論文이 발표되었으며, 패널디스커숀에서도 다수가 주장했다.

한편, 대립되는 의견으로는 原子力은 절대로 사고를 일으켜서는 안된다는 관점에서 고유안전성을 채용해야 한다는 의견이다. 특히, 高溫가스爐 등의 고유안전성은 경수로용으로 작성된 현행 기준으로는 평가하기 어려우므로 별도의 새로운 기준을 만들어야 한다는 의견이 있었다.

2. 安全性의 定義

Key words로서 Inherent Safety, Passive Safety, Walk-away Safety 등이 있는데, Inherent Safety가 포괄적, 절대적인 의미가 강하며, Passive Safety는 개별적인 기기에 대해 적용한 예가 많았다. 이번 회의 각 논문의 記述을 인용하여 表1에 各 爐型別로 정리하여 나타냈다.

또한 안전성의 新基準을 도입할 필요가 있느냐에 대해 의론하자는 제안이 있었으며, 다음과 같은 의견이 나왔다.

(1) 安全性에 관한 新基準을 도입할 필요가 없다는 의견

① 기존 경수로의 연장(개량)에서 경험에 근거하여 안전성을 높이고, 코스트다운을 도모할

수 있다.

② 설계·제작의 경험을 쌓아 개량해 가는 것으로 충분히 안전성을 확보할 수 있다.

③ Inherent Safety는 소형의 가스爐에 대해서만 적용할 수 있는 것이다. 안전기능을 엔지니어링에서 충분히 적용시키면 안전은 충분히 유지될 수 있다.

④ 사용자의 운전경험을 평가하여 앞으로의 개량에 반영해야 한다.

⑤ 설계, 품질관리, 교육을 착실히 하면 재래의 爐는 안전하다. 문제는 중소형로의 기수가 증가했을 경우에 運轉員의 질이 저하되는 것이다.

⑥ 안전은 핵연료사이클 전반적으로 생각해야 한다. 원자로에만 국한시켜 안전논의를 하여서는 안된다. 소형은 出力當 熱放散面積이 크기 때문에 안전성이 높아지는 것은 당연하다. 코스트와 관련된 論議를 해야 하며, 안전여유도는 코스트 저감으로 이어져야 한다.

⑦ 안전문제는 기술적인 것 뿐 아니라, 정치적인 면도 있다. 가장 중요한 것은 설계 뿐만 아니라, 품질관리도 충분히 하여야 하는 것이다.

⑧ 안전논쟁은 이데오로기논쟁과 비슷하다. 추상적인 의론에서는 不毛의 논쟁이 된다. 코스트 저감 등 구체적인 것과 관련시켜 의론해야 한다.

(2) 安全性에 관한 新基準을 도입해야 한다는 의견

① 다른 爐에는 각각 다른 안전기준이 있어야 한다. HTGR의 안전기준은 LWR과는 다른 것이다.

② 원자력은 발전과 열이용 및 그 출력 규모에 따라 기준이 달라야 한다. 출력이 증가하면 위험부담이 증대되고, 안전에 관한 코스트도 증대된다. 출력이 작은 것은 당연히 안전성도 높아진다.

(3) 기 타

① 안전과 코스트를 관련지워 의론해야 한다. 안전에 대해서도 고유의 안전이라는 추상적인 표현이 아니라 ECCS가 필요없고, 運轉員이 아무것도 하지 않아도 된다든가 구체적으로 나타내야 한다.

끝으로 議長은 다음과 같이 요약했다.

原子爐는 방사성물질을 내장하고 있으며, 재해의 가능성을 항상 내포하고 있음을 잊어서는 안된다. 절대적인 안전은 불가능하며, 적정한 설계, 운전에 의해서만 안전이 확보된다.

3. 各爐型別 安全性의 特徵

(1) 高溫가스爐

고온가스로와 관련된 발표는 20여편으로 전체 발표논문의 절반 가까이 차지하고 있었지만, 안전성의 특징은 다음과 같이 요약된다.

① 負의 온도계수가 크다.

② 연료의 耐熱性이 좋고, 1,600 ℃까지 FP의 방출이 없다.

③ 출력밀도가 낮다.

④ 不活性가스에 의한 냉각으로 爐구성재료의 건전성이 유지된다.

(2) 輕水爐 安全性의 特徵

경수로의 경우 各爐마다 안전성의 특징이 다르지만, 다음과 같이 요약할 수 있다.

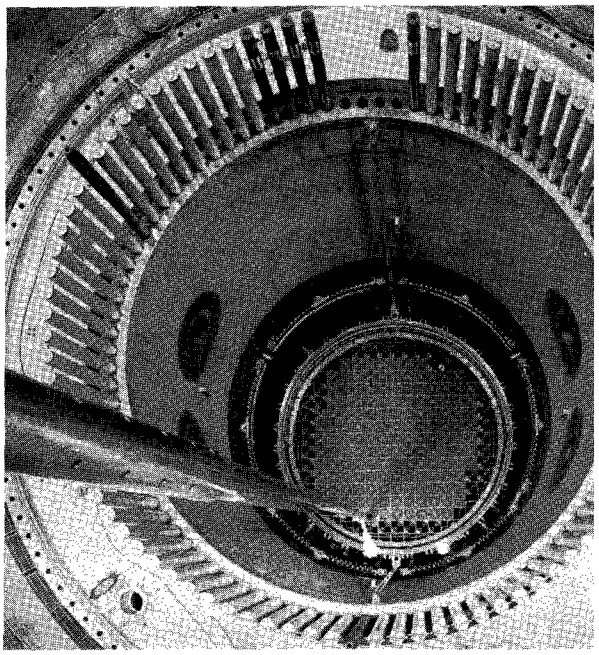
① 密度록을 끼워 일차계통을 고농도보론水풀에 접속시켜 확실한 핵반응정지를 도모한다(PIUS爐).

② 자연순환에 의한 잔류열제거계통(SBWR, AP600 등).

③ 중력낙하방식에 의한 냉각수주입계통. 이들 설비는 밸브류를 사용하고 있는데, 밸브류는 신뢰성이 높다고 간주되고 있다(SBWR, AP600 등).

④ 대량의 냉각수에 의한 Walk-away time

(3-7일간)의 확보(PIUS, SBWR, AP 600 등).



(3) FBR 安全性의 特徵

PRISM, SAFR 등 소형나트륨냉각로의 안전성은 다음과 같이 요약된다.

① 금속연료를 사용함으로써 그 熱傳導度가 높고, 보유열량이 적으며, 負의 반응도가 크다는 고유안전성을 爐 전체의 구조로서 구성시키고 있다.

② 자연순환에 의해 붕괴열제거가 가능하고, 그 효율은 경수로보다 좋다.

③ 압력용기내의 압력은 가스爐, 경수로 보다 특별히 낮고, FP방출의 위험은 적다. 이들 특징 및 이번 회의에서 발표된 최신정보를 추가, 현시점에서 세계각국에서 제안된 중소형로의 안전성 특징을 表1에 정리하여 나타냈다.

〈表 1〉 各炉型과 安全性에 관한 특징

爐 型	輕 水 爐			
	PIUS	AP-600	MTP	SBWR
개발주체	AA	WH	WH	GE
안전성에 관한특성	• 밀도록을 끼운 고농도 보론水의 1차계로의 주입 • 풀水의 붕괴열 제거 능력 7일간	Ⓟ 중력에 의한 노심 보급수 탱크에서의 ECCS水 주입 Ⓟ 자연순환에 의한 잔류열제거 · 단, 밸브는 사용 Ⓟ 鋼製콘테인먼트의 자연순환 공냉. 단, 담퍼는 사용 Ⓟ 중력에 의한 탱크로부터의 콘테인먼트증발, 냉각수주입. 단, 밸브는 사용 Ⓟ 축압식 콘테인먼트 스프레이(30분간) • 캔드 펌프의 채용에 의한 계통의단순화, 2루프爐	Ⓟ 자연순환과 중력에 의한 물주입 이용 Ⓟ 자연순환에 의한 잔류열제거. 단, 밸브는 사용 • 캔드펌프의 채용에 의한 계통의단순화, 1루프爐	Ⓟ 중력낙하 ECCS • 스팀인젝터. 단, 밸브는 사용 Ⓟ 貯水에 의한 콘테인먼트의 증발냉각 Ⓟ 제어실의 자연순환공냉 • 아이솔레이션 콘덴서. 단, 밸브는 사용 • 축압식 제어봉 구동 • 드라이웰의 프라딩 • 자연순환로
안전성의 키 · 워드	• Inherent Safe reactor	• 워크어웨이 안전성 WH의 견해 : 1組의 밸브를 셋트하는 것 뿐이며, 나중에는 패시브하고 안전한 방향으로 움직이는 것.		• 워크어웨이 안전성 : 3일간 정도

노 형	重 水 爐			
	CANDU 300	India－500	PWHR 300	ARGOS
개발주체	AECL	인도 DAE	KWU	아르헨티나
안전성에 관한특징	• CANDU 600에서 실증완료 기술 채용 • 노정지용 중력낙하 제어봉 • 감속재에 초산가도륨액 주입	• 235MWe CANDU에서 실증완료 기술 채용 • 노정지용 중력 낙하 제어봉(28本) • 감속재에 액체포이즌주입(반응제어계의 다중화)	• Atucha 1호의 실증기술 채용 • 제어봉과 보론水 주입 이중격납용기 • 액티브한 공학적 안전설비	• Atucha 1호의 실증기술 채용 • 감속재펌프를 ECCS의 고압주입펌프로서 사용 • 독립 2계통제어봉 a) 정지용 45本 b) 출력제어용 15本 • 밴트방식 이중격납용기
안전성의 키·워드		Inherent, Passive Safe 등의 단어는 사용하지 않는다.		• 워크어웨이 안전성 : 사고후 30분간은 운전원의 조작불필요

노 형	高 速 爐		高 温 가 스 爐	
	SAFR	PRISM	AVR	HTR－MODULE
개발주체	록크·웰	GE	KFA	Interatom
안전성에 관한특징	• 온도상승에 의해 작동하는 자기라치제어봉 Ⓘ 금속연료의 고유안전성이용 : 온도상승에 의한 負의 반응도가 크다 Ⓟ 패시브계에 의한 잔류열 제거 a) 원자로 보호용기의 자연순환 냉각 b) 자연순환 원자로 보조냉각계 • 원자로 보호용기	• 중력낙하 제어봉 Ⓘ 금속연료의 고유안전성이용 : 온도상승에 의한 負의 反應度 크다 Ⓟ 패시브계에 의한 잔류열 제거 a) 자연순환에 의해 원자로 용기를 공기 냉각 • 耐震구조 • 원자로 보호 용기	• 저출력밀도 2.6MW/㎥ • 대열용량 • 負의 온도반응도 계수에 의한 고유 안전성(연료 엘리멘트의 최고온도〈1,150℃) • 헬륨 냉각 • 피복 입자 연료에 의한 FP유지 • 페블베드로심	• 저출력 밀도 3MW/㎥ • 대열용량 • 負의 온도 반응도 계수에 의한 고유안전성(연료 엘리멘트의 최고온도〈1,600℃) • 헬륨냉각 • 피복입자연료에 의한 FP 유지 • 페블베드로심 Ⓟ 붕괴열의 전도, 대류, 복사에 의한 외부 히트싱크의 제거
안전성의 키·워드	• 각각 Inherent를 사용하고 있다 : Inherent Capability for Shutdown and Cooling	• 각각 Inherent를 사용하고 있다 : Inherent Core Reactivity Control Inherent Passive Core Decay Heat Removal		• Inherent Safety

노 형	高 温 가 스 爐			
	HTR－500	HTR－100	GHR－10	MHTGR
개발주체	BBC/HRB	BBC/HRB	BBC/HRB	GAT
안전성에 관한특징	Ⓘ 저출력밀도 6.6MW/㎥	• AVR 15MWe 실증기술 채용	• 저출력 밀도 2MW/㎥	• 저출력 밀도 5.9MW/㎥

노형	高 温 가 스 炉			
	HTR-500	HTR-100	GHR-10	MHTGR
개발주체	BBC/HRB	BBC/HRB	BBC/HRB	GAT
안전성에 관한특징	① 대열용량, 흑연 ① 負의 온도반응도계수(연료 엘리멘트의 최고온도〈2,600℃〉 ① 헬륨냉각 • 압력용기내에 1차계 내장 • 피복입자연료에 의한 FP 유지 • 페블베드로심 • 붕괴열 제거계의 다중화 순환계 정지후는 자연순환 냉각	• 저출력 밀도 4.2MW/㎥ • 대열용량, 흑연 • 負의 온도반응도 계수(연료엘리멘트의 최고온도〈1,680℃〉 • 헬륨 냉각 • 피복입자연료에 의한 FP유지 • 페블베드로심	• 대열용량, 흑연 • 負의 온도반응도 계수에 의한 고유안전성(연료 엘리멘트의 최고온도〈800℃〉 • 헬륨냉각 • 피복입자연료에 의한 FP유지 • 페블베드로심 • 1차 정지계 제어봉(6본)을 리프렉터로 중력낙하(10cm/s) • 2차 정지계 제어봉(18본)을 중력낙하(1cm/s) • 2계통의 붕괴열 제거계, 자연 순환에의한 스트레지탱크에 放熱 • 스트레지탱크 냉각은 액티브 방식, 고장시는 100시간 이상 제열가능 • 최종히트싱크는 노용기와 지하에 설치	• 대열용량, 흑연 • 負의 온도반응도 계수(연료엘리멘트의 최고온도~1,600℃) • 헬륨냉각 • 환상로심 • 피복입자연료에 의한 FP 유지 • 블록연료 Ⓟ 붕괴열제거 물·공기계통
안전성의 키·워드	•Inherent safety라 부르고 있다(?)	•High Inherent Safety라 부르고 있다(?) • 개개에는 Inherent, Passive라고는 하지 않고, Inherent에 High, Low 있음		•Passive Safety

노 형	기 타			
	SHR	AMPS	GEYSER	MARS
개발주체	스 위 스	카 다 다	스 위 스	로마大學이탈리아
안전성에 관한특징	• 저출력 밀도 18.4W/ℓ • 중력낙하 제어봉과 축압식 보론水로 노정지 • 원자로용기는 콘크리트 풀내에 수몰시켜 잔류열을 수주일간에 걸쳐 제열	• 1기압 90℃로 운전 • 잔류열은 자연순환과 열교환기로 海水에 放熱 • U-Zr-H 연료의 채용으로 負의 반응도계수에 의한 노정지	• 원자로 용기를 30~50m수심의 풀에 가라앉혀 주위를 보론水 탱크로 둘러 싼다 • 이상시에는 보론水가 노용기에 들어가 노를 정지 시킨다 Ⓟ 제어봉을 사용하지 않고 보론水의 패시브주입계에 의한 고유안전성과 • 보유냉각 수량(水量)이 많기	Ⓟ 패시브클러스터 제어봉(?) • 고압풀水 속에 1次系 내장 Ⓟ 자연순환에 의한 붕괴열의 노심으로 부터 풀에 제거

노 형	기 타			
	SHR	AMPS	GEYSER	MARS
개발주체	스 위 스	카 나 다	스 위 스	로마大學,이탈리아
	• 자연순환로 • 완전무인화		때문에 워크어웨이 안전성을 주창하고 있다. • 2차계도 2相 · 자연순환 • U-Zr-H 연료 채용으로 負의 반응도계수에 의한 노정지	
안전성의 키 · 워드	•Numerous Inherent Safe Features	• 워크어웨이	• Entirely passive LWR 및 High Inherent Safety라 부르고 있다(?)	

中小型炉의 市場性과 經濟性

1. 中小型爐의 市場性

歐美 各國에서 추진되고 있는 중소형로의 설계개발에는 그것이 개발도상국으로의 수출을 목표로 하여 개발되는 경우와, 미국과 같이 주로 國內需要에 대응하기 위한 개발의 경우가 있다.

(1) 輸出市場用 中小型爐 開發

개발도상국에서의 중소형로 도입과 그 개발이용을 도모하기 위해 IAEA는 중소형로프로젝트의 이니세이션 · 스터디를 1983년부터 3년에 걸쳐 실시했다. 이 硏究의 중점은 중소형로의 시장성 조사로서, 주요 결과는 다음과 같다.

① 지금까지의 원자로 유니트容量은 900 MWe에서 한계점에 도달했으며, 여기에서 역사적으로 본 원자로 中小型化 경향이 나왔다.

② 600MWe이하의 중소형로에 대한 개발도상국의 잠재시장은 1990년~2000년까지 10년간에는 9개국에서 10~15基 정도이지만, 2020년까지의 30년간에서 보면 약 70基가 전망된다.

이러한 中小型爐의 구매국측의 상황에 대해 이것을 공급하는 측에서도 시장성 조사를 하고 있다. 예를 들면, 서독의 BBC/HRB社는 同社가 수출용으로 개발한 중소형 고온가스로 HTR시리즈에 대해서 그 규모(유니트용량)를 OECD諸國 및 개발도상국에서의 수요조사에 근거하여 결정했다.

즉, 送電網(그리드)의 전용량에 대해 최대유니트용량이 10%를 넘지 않도록 한다는 기준을 설정하고 가장 수요가 높은 유니트용량을 조사하였는데, 결과는 다음과 같다.

·OECD제국의 경우 : 400~600MWe(그림 1)

· 개발도상국의 경우 : 400~600MWe 및 100~300MWe(그림 2)

따라서 BBC/HRB社는 400~600MWe 범위는 500MWe의 HTR-500을, 또 100~300 MWe 범위는 100MWe의 HTR-100 2基를 건설함으로써 대응이 가능하다고 하고 있다.

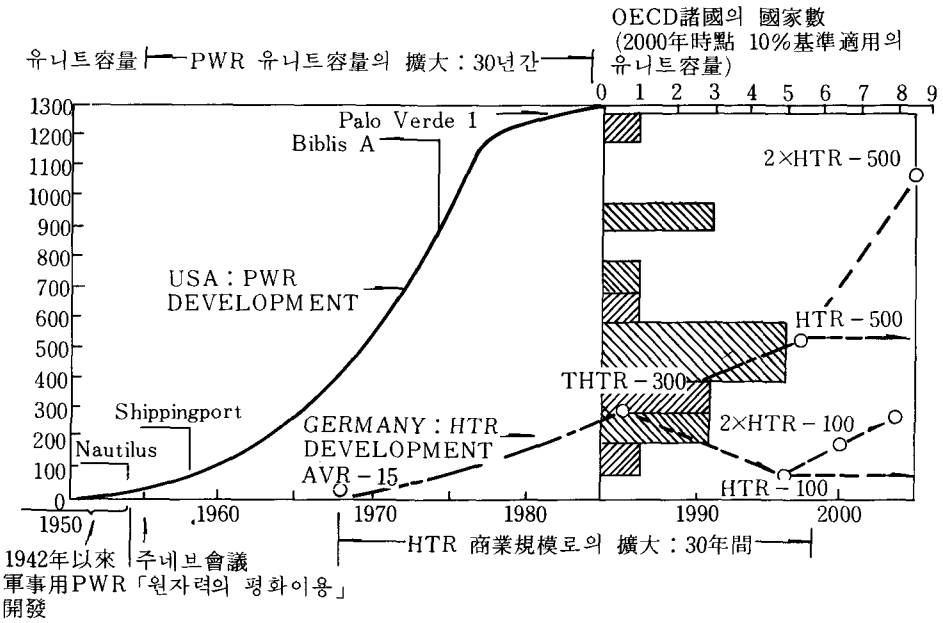
(2) 國內市場用 中小型爐 開發

EC委員會는 서독, 이탈리아, 프랑스에서 중

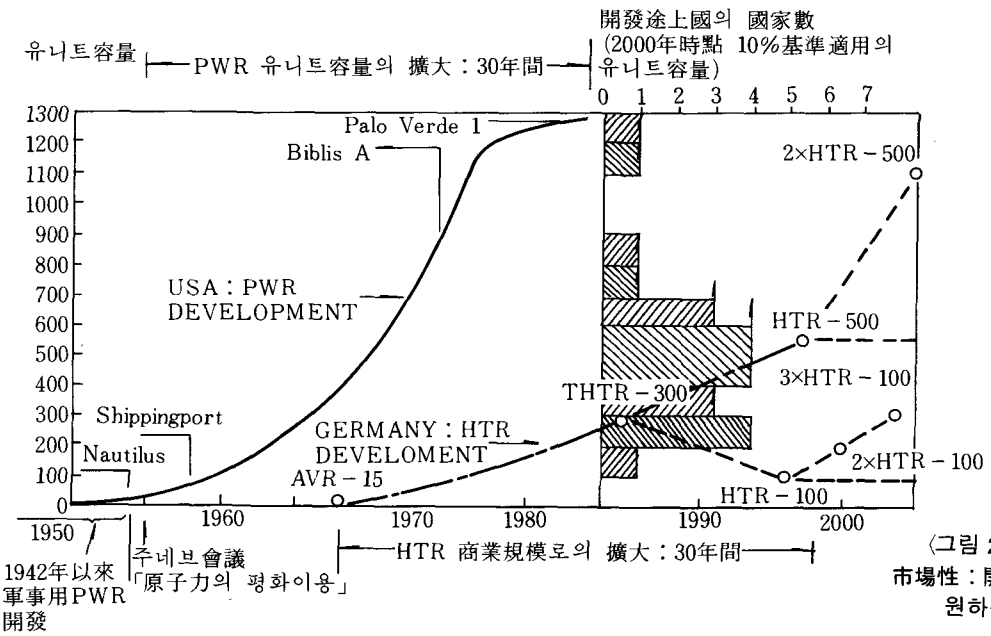
소형 熱·電氣併給爐의 시장성 조사를 3개국 공동연구로 실시했다. 리파렌스爐는 서독의 인터·아톰社가 개발중인 모듈型 고온가스爐: HTR-M(1유니트 200MWt)으로 열과 전기 併給爐이다.

조사결과를 EC제국 전체로 보면 2020년까지 6,000MWt의 수요가 있는데, 이것은 200MWt 30基分에 상당하므로 대체로 시장성이 있다고 결론지었다.

규모가 적은 電氣事業體가 다수(약 3,000社)



〈그림 1〉中小型爐의 市場性 : OECD諸國이 원하는 유니트容量



〈그림 2〉中小型爐의 市場性 : 開發途上國에서 원하는 유니트容量

존재하는 미국에서는 최근 중소형로가 갖는 여러가지 매력(엄격한 환경기준에 합치되며, 전체 투자액이 적어도 되고, 全出力運轉이 조기에 될 수 있는 점)에 착안하여 WH社가 AP-600(PWR, 600MWe), GE社가 SBWR(BWR, 600MWe)이라는 중소형경수로를 설계개발했으며, 또 GAT社가 MHTGR(350 MWt×2-4基)이라는 모듈型 고온가스로를 설계 개발하고 있는 중이다.

이 때문에 美國內에서는 이러한 중소형발전로의 수요에 대해 다음 세 기관이 전기사업자를 대상으로 시장성 조사를 실시했다.

① 로스알라모스국립연구소 … 26個社의 인터뷰조사(1984년 실시)

② GCRA(가스냉각로협회) … 156個社에 우편조사(1985년 실시)

③ EPRI(전력연구소) … 會員會社에 우편조사(1987년 실시)

1) 로스알라모스국립연구소의 시장성 조사결과

미국의 전기사업자들이 전망하는 2000년까지의 負荷成長率을 평균하면 연 1.9%가 된다. 또 이러한 부하성장에 대응하기 위해서는 최소한 3년에 1基씩 발전소를 건설해야 되는데, 이것은 가능하다고 많은 전기사업자들은 생각하고 있다.

그러므로 미국의 전기사업자들이 바라는 유니트容量(규모)은 100MWe~800MWe 사이인데, 그 중에서도 가장 많은 것은 200~400 MWe이다.

大型爐의 공동소유는 환영받지 못하고 있으며, 플랜트건설의 불확실성, 특히 자금부담을 분산할 수 있다는 점이 중소형로의 최대 매력이라고 생각된다.

한편 중소형로에 대한 우려로는 스케일·메리트가 없어 상당히 高價인 점이지만, 간접비(설계비+필드 엔지니어링비)가 자본금의 대부분을 차지하는 원자력발전플랜트의 경우 오히려 中小型爐 경우가 유리하다고 한다.

2) GCRA의 시장성 조사결과

전기사업자가 희망하는 유니트容量에는 400~700MWe의 범위와 200~400MWe의 범위 두 그룹이 있는데, 前者는 규모가 비교적 크고 원자력발전소를 소유하고 있는 전기사업자가 희망하는 유니트용량이며, 後者는 규모가 비교적 적고 원자력발전소를 소유하지 않은 전기사업자가 희답한 유니트용량이다.

3) EPRI의 시장성 조사결과

EPRI의 많은 會員회사가 희망한 유니트용량은 400~700MWe이며, 이 정도의 규모라면 2000년까지 미국 전체에서 많은 需要가 있을 것이라고 한다. 그러나 電力會社를 개별적으로 보면, 예를 들면 듀크전력과 같이 2000년까지는 수요가 없고, 2000년이후는 1,200~1,300 MWe級의 大型爐가 필요하다는 회답도 있었다.

2. 中小型爐의 經濟性

(1) 中小型輕水爐

1) 石炭火力과의 代替를 전제로한 경제성 평가

i) KWU社의 評價

輕水爐의 發電코스트를 가능한 한 낮추기 위해서는 플랜트의 규모(유니트容量)를 되도록 크게 할 필요가 있다. 서독의 경우 1,000 MWe를 넘지 않으면 석탄화력과 경쟁하여 경제성이 없다고 한다. 그러나,

① 너무 유니트容量이 큰 大型爐가 되면 국내 送電網(그리드)의 용량면에서 감당할 수 없다는 문제가 있으며,

② 서독 국내의 많은 전기사업자의 규모가 적고, 이로 인해 약간 資本費(KWe당 코스트)가 비싸도 플랜트 전체의 투자액이 적은 편이 자금부담이 용이하기 때문에 최근 서독에서도 중소형로를 선호하는 경향이 있다.

중소형경수로에 의한 원자력발전의 경우 가장 큰 課題는 資本費(KWe당 코스트)를 얼마나 낮추느냐이며, KWU社는 동사가 설계한 發電專用爐 SBWR-200(200MWe, BWR)을 대상으로 試算하여 그 결과를 다음과 같이 발표하였다.

중소형경수로의 發電코스트(kWh당 코스트)를 석탄화력에 의한 발전코스트와 브레이크·이븐(等價)으로 하기 위해서는 중소형경수로(SBWR-200)의 KWe당 資本費는 대형경수로의 KWe당 資本費의 30% 상승까지 허용된다.

ii) 日本原子力研究所의 評價

일본원자력연구소는 일본의 에너지시장에서 중소형경수로의 경제성을 다음과 같이 전망했다.

發電用이라는 관점에서 일본에서는 대형경수로가 매우 유리한 것은 분명하므로, 이 중소형경수로의 경제성 시산에서는 먼저 대형경수로의 占有率 상한치를 입지제약과 개발정책면에서 미리 할당하였다.

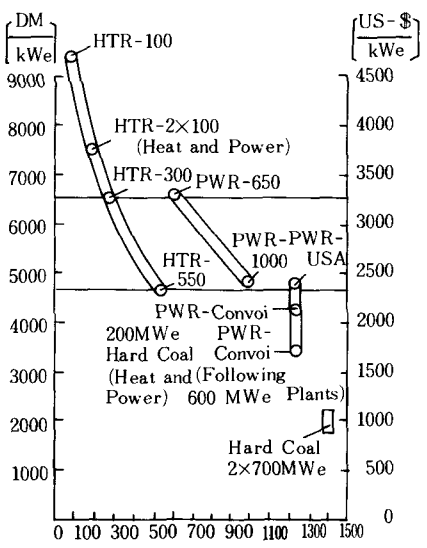
따라서 발전용 중소형경수로는 대형경수로를 제외한 화석연료에 의한 발전으로 대체할 경우 중소형경수로의 KWe당 資本費는 대형경수로의 KWe당 資本費의 몇배까지 허용되는가를 시산했다. 이 시산결과는 다음과 같다.

- 중형경수로 : 2010년 까지는 1.5배
  2010년 이후는 1.4배
- 소형경수로 : 2010년 까지는 1.5배
  2010년 이후는 1.35배

2) 大型輕水爐와의 代替를 전제로 한 경제성 평가—EPRI 등의 평가

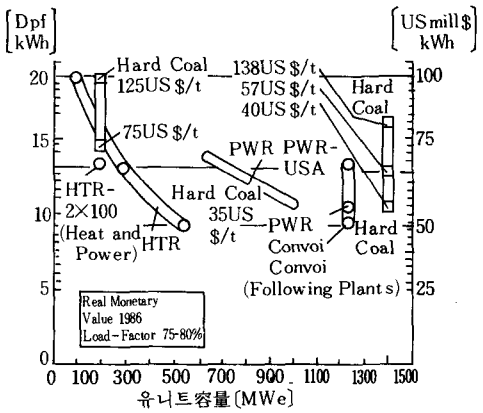
중소형경수로는 대형경수로와 같은 스케일·메리트가 없기 때문에 KWe당 資本費에서는 대형경수로를 따를 수 없다. 그러나 미국의 ERPI와 GE社, WH社 등의 메이커는 Passive System 도입과 간소화를 실시한 중소형로 SBWR과 AP-600이라면 발전코스트(kWh당)에서 대형로와 충분히 경합할 수 있다고 지적했다.

즉, 이 중소형로의 KWe당 資本費가 대형로 資本費의 15%상승 정도에서 억제된다면,



1986年實質價格
換算레이트 : 1US$=2.000DM
資本費에는 設備投資l 코스트, 所有者 코스트, 稅, 建設中利子 포함

〈그림 3〉 HTR시리즈의 경제성비교
(kWe當 資本費)



換算레이트 : 1US$=2.00DM
에스칼레이션(實質) :
- 投資0.5—1.0%/a
- 石炭價格1.0—1.5%/a

〈그림 4〉 HTR시리즈의 경제성비교
(發電코스트)

① 자금부담의 감소,

② 低負荷成長에 알맞는 설비투자의 平滑化:

예를 들면, 8년에 1,200MWe 1基를 건설하는 것이 아니라, 4년마다 600MWe 1基, 8년간에 합계 2基를 건설하도록 하는 것,

③ 연료비, 운전유지비의 대폭 저렴화

등에 의해 전체적으로 kWh당 발전코스트에서는 중소형로는 대형로와 동등하든가, 그 이하로 된다고 한다.

간소화된 Passive System의 중소형경수로는

① 建設性 향상에 의한 工期 및 리드타임의 대폭 단축,

② 기기의 모듈화와 시설배치의 합리화,

③ 기기의 소형화

등에 의해 KWe당 資本費를 15% 이하로 억제할 수 있다고 미국의 메이커는 말하고 있다.

(2) 中小型高溫가스爐와 모듈型高溫가스爐

1) 중소형고온가스로

BBC/HRB社는 동사가 개발중인 HTR시리즈(THTR-300, HTR-500, HTR-100)에 대해 재래의 경수로(이 경우에는 PWR)와 경제성을 비교하여, HTR시리즈 중 HTR-500은 1,000 MWe 이상의 대형 PWR에 비해 KWe당 資本費에서는 같은 정도이지만, 발전코스트(kWh당)에서는 압도적으로 우위라고 결론지었다.

① KWe당 資本費(그림 3)

서독의 재래 PWR은 600MWe級의 것은 6,700마르크/KWe, 1,000MWe級은 5,800마르크/KWe이므로 HTR-500이라면 이 범위의 것, 즉 600~1,000MWe와 충분히 경합할 수 있다. 그러나 이 범위를 벗어난 1,250MWe의 신형 PWR 콤보이보다는 HTR-500이 12% 비싸진다.

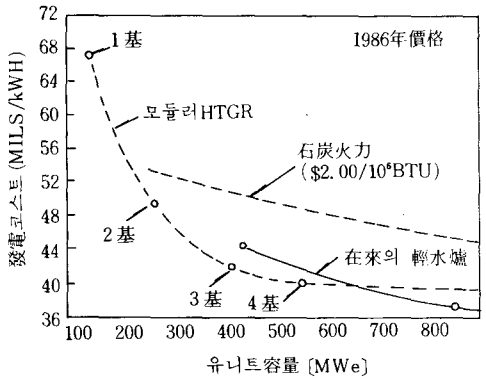
② 發電코스트(kWh당) (그림 4)

600~1,000MWe의 재래 PWR은 14~11페니히/kWh이므로 HTR-500은 이 범위의 것보다 싸며, 1,200MWe의 PWR콤보이에서도 같든가, 그 이하이다.

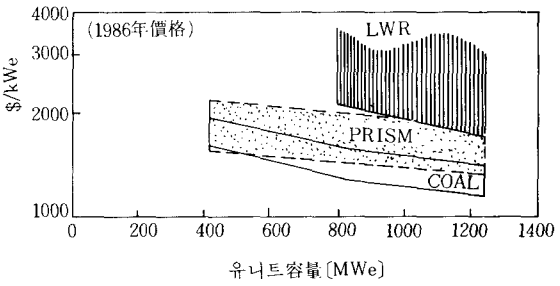
2) 모듈형고온가스로

GAT社는 동사가 개발한 모듈러 HTGR (350MWt×2~4基)에 대해 재래경수로와 발전코스트(kWh당)를 비교했다. 이 모듈화의 목적은 10%의 자본부담 경감에 있다.

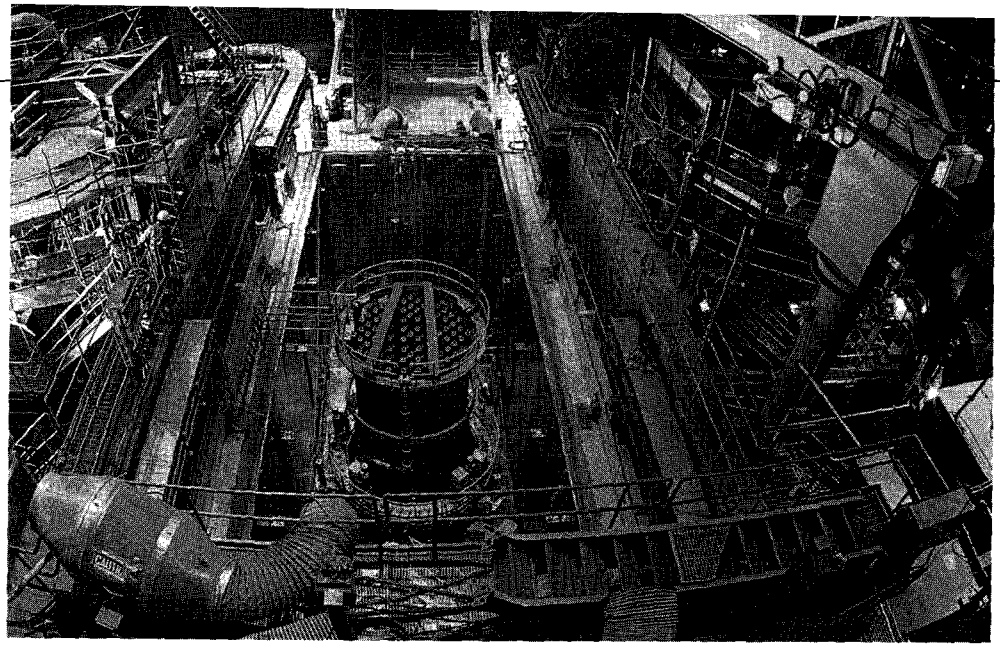
이 모듈러 HTGR의 1유니트용량은 150 MWe로서 유니트 1基만의 경우는 67밀/kWh로 높지만, 2基를 연결하여 300MWe로 하면 50밀/kWh, 4基를 연결하여 600MWe로 하면 40밀/kWh가 되어 같은 용량의 경수로와 비교하여 대폭 싸졌다. 이것은 모듈화에 의한 習熟效果가 크기 때문이다.



〈그림 5〉 M-HTGR의 경제성비교
(發電코스트)



〈그림 6〉 PRISM의 경제성비교
(kWe當 資本費)



그러나 이러한 모듈화에 의한 경제적 우위성도 전체용량이 600MWe까지이며, 이것을 초과하면 재래경수로의 경우가 발전코스트(kWh당)면에서도 앞선다(그림 5 참조).

3) 모듈형 FBR

GE社는 1유니트容量이 138MWe이며, 이것을 3基 연결하여 1블록 415MWe로 하고, 합계 3블록 1,250MWe가 되는 모듈형 FBR인 PRISM을 설계개발했다.

1,250MWe 풀사이즈의 PRISM과 재래대형경수로를 비교하면 KWe당의 資本費에서는 같은 정도 또는 그 보다 싸고(그림 6 참조), 발전코스트(kWh당)에서는 PRISM이 30~35밀/kWh로 경수로보다 훨씬 싸다(그림 7 참조).

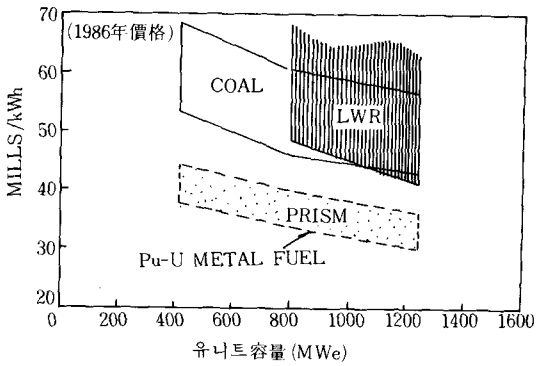
또 RI社(미국)가 1유니트 용량이 350MWe이며, 이것을 4基 연결하여 1,400MWe로 하는 모듈형FBR인 SAFR을 설계개발했는데, 이것의 KWe당 資本費는 1,500$/KWe, 발전코스트는 약 30밀/kWh로서 그림 6 및 그림 7의 PRISM의 코스트 곡선을 1,400MWe 규모로 연장한 것과 완전히 합치된다.

이와 같이 모듈형 FBR, PRISM 및 SAFR이 대형경수로와 비교하여 발전코스트는 물론 KWe당 資本費에서도 훨씬 우위에 있는 것은 다음과 같은 이유 때문이다.

① 모듈화함으로써 生産基數가 증가하고, 이로 인해 習熟効果가 작용되어 생산단가가 저감된다. 또 연속생산이 가능하며, 그에 따라 상당한 비용절감이 된다.

② 모듈화하는 것은 플랜트 전체 및 기기를 표준화하게 되고, 또 공장에서의 프리파브리케이션을 가능하게 하며, 그에 따라 큰 코스트다운이 가능해진다.

③ 모듈화한다는 것은 동일사이트에 多數基를 시리즈로 건설하게 되어 건설의 공통화와 공통의 건설기계사용을 가능하게 하여 건설비의 절감과 工期의 단축을 가져온다.



〈그림 7〉 PRISM의 경제성비교(發電코스트)