

수소 생산에 적합한 제4세대 원자력 시스템 초고온가스로(VHTR)

장 종 화

한국원자력연구소 신형원자로개발단 핵자료평가랩장
GIF VHTR 운영위원

고온가스로

고온가스로는 독일 Aachen 공대의 Shulten 교수가 주창하여 독일 Juelich 연구소를 중심으로 개발한 원자로이다.

고온가스로의 핵심적인 아이디어는 핵분열 생성물을 가두어 둘 수 있는 미세 피복 핵연료를 사용하는 것이다.

현재 표준으로 자리 잡은 TRISO 피복 연료 입자는 직경 0.6 mm 정도의 이산화우라늄핵(UO₂ kernel)에 초열탄소(PyC), 탄화규소(SiC), 초열탄소를 3중으로 피복한 것이다.

이러한 구조는 핵분열에서 발생하는 대부분의 분열 파편을 차단하여 외부로 누설되는 방사선이 극히 적다.

TRISO를 1,600℃로 수백 시간 동안 운전한 실험에서 외부로 누설된 방사능량은 전체 핵분열 방사능의 10⁻⁶ 이하로 알려졌다. 이 값은

동급의 경수로에서 방출되는 방사선량의 1/1000 이하에 해당된다(그림 1) TRISO).

고온가스로는 높은 온도를 내기 위해 기체를 냉각재로 사용하고 있다. 기체 중에서 화학 반응이 전혀 없는 헬륨을 냉각재로 사용하는 가스냉각로를 고온가스냉각로라고 분류하며, 이산화탄소를 사용하는 원자로를 보통 가스냉각로로 분류한다.

물을 냉각재로 사용하는 경우에는 350℃에서 삼중점을 나타내며, 액체 금속을 냉각재로 사용할 때는 600℃ 부근부터는 끓거나 부식이 커지게 된다. 그러나 헬륨의 경우에는 상변화가 없으므로 높은 온도에서도 사용이 가능하다.

그러나 가스냉각로는 액체보다 냉각 능력이 작기 때문에 노심의 열 출력 밀도를 6W/cc 이하로 유지해야 한다(PWR은 100W/cc임).

가스냉각로에서는 기체의 밀도가 낮아서 감속 능력이 떨어지므로 흑

연을 감속재로 사용하게 된다.

흑연은 중성자 흡수가 적고 산란 단면적이 큰 재료로 최초의 원자로인 Chicago Pile-1에서부터 각광을 받아 왔으나 장시간 사용시 산소·수증기·이산화탄소 등과의 화학 반응으로 부식이 발생하는 문제점이 있다. 또한 저온 상태의 흑연은 중성자 피폭에 따른 Wigner 에너지 축적 현상이 나타난다.

흑연을 저온에서 중성자를 장시간 조사하면 결정 격자가 바뀌면서 에너지가 축적된다. 이 에너지는 흑연의 균열을 초래하며 과도하게 축적된 경우에는 폭발적 에너지 방출이 야기된다.

흑연감속로에서 Wigner 에너지 축적을 해소하기 위해서는 300 ~ 400℃로 가열하여 서서히 냉각시키는 annealing 방법을 사용하고 있다.

그러나 고온가스로는 700℃ 이상의 온도로 운전하므로 Wigner 에너지가 축적되지 않는다.

고온가스로의 개발 현황

고온가스로는 핵연료의 형태에 따라 Pebble형과 Block형으로 나뉜다.

Pebble형은 TRISO 입자를 구형으로 뭉쳐 외곽을 초열탄소로 다시 한번 피복한 형태의 핵연료(Pebble 핵연료)를 사용한다.

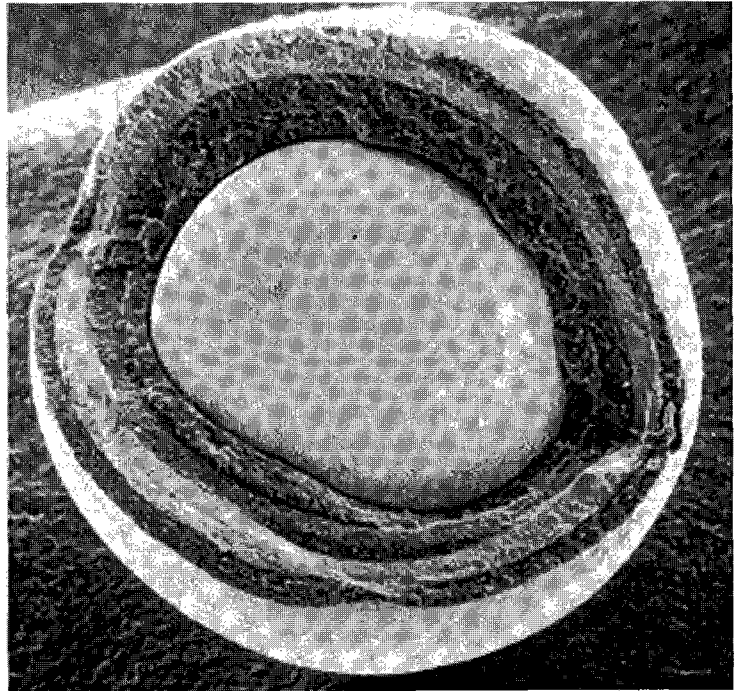
Block 형은 TRISO 입자를 백묵모양으로 뭉쳐 연료 compact를 만든 후 이 것을 육각형의 흑연 블럭에 꽂아 넣은 핵연료(Prism 핵연료)를 사용한다(〈그림 2〉 핵연료 집합체).

Pebble형으로는 1962년 유럽에서 건설한 Dragon 원자로로부터 시작하여 독일에서 개발한 AVR, THTR 이 있으며 현재는 모두 폐쇄되었다.

AVR은 열출력 46MW의 일체형 고온가스로 실험로로 직경 6cm의 Pebble형 핵연료 92,000개를 장전하였다. 노심 상부에 증기발생기를 설치하여 고온 배관 문제를 회피하였다.

AVR은 1956년 개발에 착수하고 1961년 착공한 후 1966년 초임계를 달성했으며 1974년 이후에는 출구 온도 950℃로 운전하고 1986년 발생한 체르노빌 사고의 여파로 1988년 폐쇄하였다(〈그림 3〉 AVR).

AVR의 성공적 운전에 힘입어 독일은 용량을 증가시킨 원형로



〈그림 1〉 TRISO 구조

THTR을 건설하였다. THTR은 열출력 750MW급의 대형 고온가스로이나, 노심이 과도하게 크게 되어 노심 중앙에 제어봉을 삽입해야 했으며 이로 말미암아 Pebble 핵연료 파손이 발생했다. 이런 종류의 사고, 경제성, 독일의 원전 폐쇄 정책 등에 따라 1989년 폐쇄되었다.

THTR에서의 경험은 노심에 제어봉을 삽입하지 않고 사고시 피동 잔열 제거가 가능한 열출력 300 MW 소용량 모듈형 원자로 개념 도입의 초석이 되었다.

중국은 Pebble형 고온가스로를

도입하기로 하고 1995년 착공하여 2000년 초임계를 달성한 실험로 HTR-10을 운전중이며 가스 터빈을 장착한 전기 출력 80MW급의 상용 발전로 HTR-PM 건설 계획을 추진중이다.

남아프리카공화국도 헬륨 가스 터빈 직접 발전 방식의 상용 발전소로 PBMR의 건설 계획을 추진 중이다.

Prism형으로는 1967년 미국에서 건설한 Peach Bottom-1이 시작이며, Fort St. Vrain에 열출력 842 MW, 전기 출력 330MW의 원

〈표 1〉 현재 운전중이거나 계획중인 가스냉각로와 경수로의 특성 비교

원자로 종류	HTR-10	HTTR	PBMR	GT-MHR	경수로
출력	10 MWth	30 MWth	265 MWth	600 MWth	3980 MWth
전기 출력	- 연구로 -	- 연구로 -	116.3 MWe	278 MWe	1425 MWe
효율	-	-	42.7 %	47 %	35.8 %
노심 온도(입구/출구)	300/900	395/950℃	536/900℃	490/850℃	291/325℃
압력 (He)	3 MPa	4 MPa	7 MPa	7.2 MPa	15.3 MPa
유효 노심 높이	1.97 m	2.9 m	8.5 m	7.9 m	3.8 m
유효 노심 직경	1.8 m	2.3 m	3.4 m	4.8 m	3.6 m
연료 농축도	17 %	6 %	7.8~8.3 %	15.5 %	4 %
연료 형태	6 cm Pebble	육각 불럭	6 cm Pebble	육각 불럭	사각 FA
출력 밀도	2 W/cc	2.5 W/cc	4.3 W/cc	6.6 W/cc	100.5 W/cc
평균 방출 연소도	80 GWD/MTU	재장전 없음	80 GWD/MTU	120 GWD/MTU	42 GWD/MTU
RPV 재료		2'Cr-1Mo steel	SA 508	10Cr9MoV Nb steel	Austenitic steel
RPV 내벽 온도	300℃		300℃	440℃	291℃

형로가 건설되어 1981년부터 운전 하였으나 헬륨 순환 펌프의 seal 부분에서의 증기 누설로 반응도가 증가되어 원자로가 트립되는 사고가 자주 발생하였다. 잦은 사고와 이를 개량하기 위한 경제적인 비용 때문에 1989년 폐쇄되었다.

일본은 이 노형을 개량한 고온 실험로 HTTR을 1991년부터 건설하여 1998년말 초임계를 달성하고 운전중이다.

미국 General Atomics사는 헬륨 가스 터빈 직접 발전 방식의 GT-MHR 개념을 개발하고 구소련의 핵무기 플루토늄을 연료로 사용하는 발전소 건설을 ISTC 프로젝트로 추진하였다.

고온가스로의 장점

TRISO 핵연료, 헬륨 냉각재, 흑연 감속재는 고온 환경에서 원자로를 구성할 수 있는 합리적인 조합이다.

고온의 열원은 원자력의 응용 범위를 넓힐 수 있으며 발전기 등에서도 40% 이상의 높은 에너지 변환 효율을 달성할 수 있다. 효율이 높으면 동일한 전력을 얻기 위해 방출해야 하는 열도 줄어들어 온배수 문제도 현저히 줄일 수 있다.

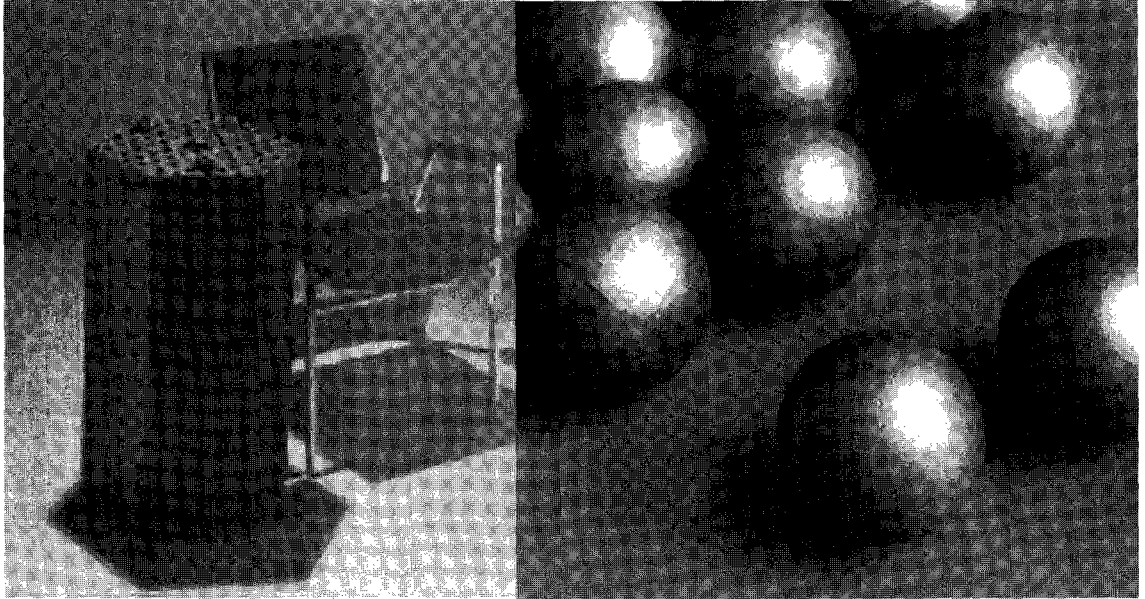
열용량이 큰 고체 감속재는 열적 천이 속도가 매우 느리며 주배관 파손에 의한 냉각재 상실 사고시에도 흑연이 노심에 머물러 있으므로 냉각 능력 상실 사고시 붕괴 잔열 발생으로 증가되는 노심 온도의 최고

치 도달 시점은 사고 후 2~3일 정도이다(경수로 LOCA시에는 30초 정도임).

또한 400℃ 이상의 큰 냉각재 입출구 온도 상승을 얻기 위해 채택한 높은 원통형의 원자로 구조와 기체 냉각로 고유의 낮은 열출력 밀도 때문에 내부 흑연 구조물의 열전도와 압력 용기의 복사열 방출만으로도 붕괴 잔열을 제거할 수 있다.

금년 4월 중국의 HTR-10은 모의 냉각 능력 상실 사고(LOCA ATWS)를 시험하여 독일 AVR에서 입증된 완전한 피동 노심 냉각 능력을 다시 입증하였다.

냉각재인 헬륨의 극히 낮은 중성자 단면적과 감속재인 흑연의 낮은 중성자 흡수 단면적 때문에 원자로의 감속재 온도 계수는 실질적으로



〈그림 2〉 핵연료 집합체

영이다. 따라서 원자로 온도에 따른 반응도 궤환 효과는 항상 음인 도플러 온도 계수만 지배한다.

노심 구조의 중요한 변경없이도 90%의 고농축 우라늄부터 10%의 농축 우라늄, 토륨 연료, 플루토늄 연료 등을 자유로 사용할 수 있다.

실제로 독일의 AVR 원자로는 토륨을 연료로 사용하였으며, 미국 General Atomics는 GT-MHR 개념을 구소련의 무기급 플루토늄을 연료로 사용하는 계획의 연구를 완료하고 건설을 추진하고 있다.

피복 핵연료의 재처리를 위해서

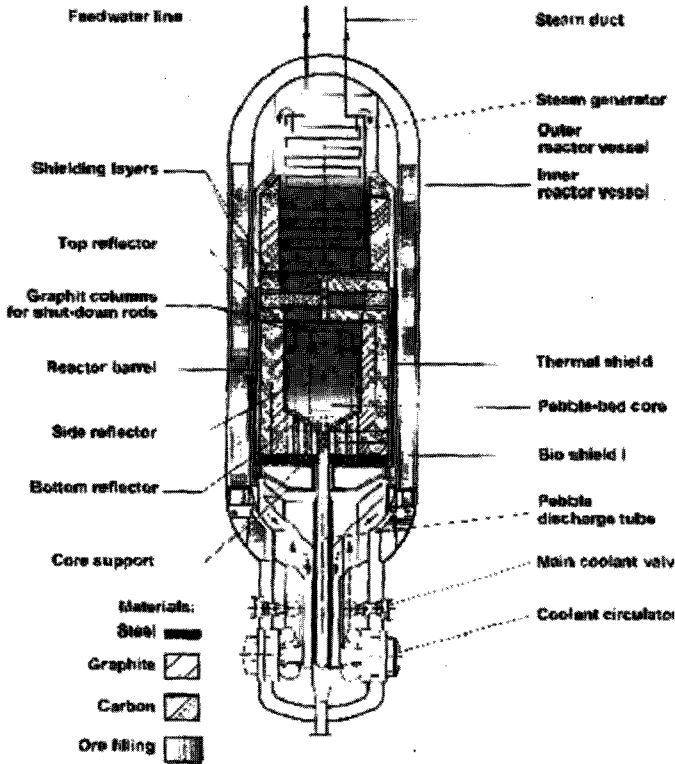
는 0.8mm 크기의 TRISO 핵연료를 기계적으로 파손한 후에 화학적인 분리 과정을 거쳐야 하므로 다른 노형의 재처리보다 경제적이지 못하다. 이러한 이유로 고온가스로에서는 Once-through cycle을 주장하고 있다.

또한, 고온가스로의 한 가지 형태인 페블베드 원자로는 노심 상부에 투입한 핵연료가 노심 하부에서 나타날 때까지 3개월 이상이 소요되어 Pebble의 장기간 연소로 Pu-238의 비율이 높아져 무기용 플루토늄으로는 부적합한 플루토늄이

생산된다. 이런 이유로 미소 피복 핵연료를 사용하는 고온가스로형은 무기용 핵물질 생산에는 부적합 것으로 간주되고 있다.

고온가스로는 TRISO의 견고성과 경수로보다 경화된 중성자 스펙트럼의 영향으로 사용후핵연료 평균 방출 연소도가 10~20% FIMA¹⁾에 이른다. 즉, 고속증식로보다는 우라늄 자원의 효율적 사용이 나쁘지만 여타 노형보다는 높아서 핵연료 재처리의 비용 등을 고려할 때 Once-through cycle을 채택하는 것이 경제적이라는 것이 고온가스

1) FIMA : Fission per Initial Metallic Atom(초기 핵물질 중 연소도) 1% FIMA는 약 10,000 MWD/MTU에 해당.



〈그림 3〉 AVR 구조

냉각로를 지지하는 축의 주장이다.

1978년 독일 AVR에서는 노심 상부에 위치한 증기발생기가 누설하여 수십톤의 물이 가동중인 노심에 쏟아졌다. 그러나 핵연료의 손상이 없었으므로 노심의 물을 제거한 후에 원래 있던 핵연료 계속 사용함으로써 TRISO 핵연료의 견고성을 입증하였다.

초열 탄소와 탄화 규소 피복은 화학적 부식에도 내성이 크므로 사용 후핵연료에 별도 처리를 하지 않되

라도 몇십만년의 장기간 처분에 적합하다.

독일의 Juelich 연구소에서는 AVR과 THTR에서 사용한 Pebble 핵연료를 강철 캐스크에 넣고 밀봉한 후 처분하고 있다.

초고온가스로 (Very High Temperature Reactor, VHTR)

제4세대 원자력 시스템 국제 포럼(GIF)에서 선택한 6개 노형 중의

하나인 초고온가스로의 개발 목표는 수소 생산에 적합한 원자로를 개발하자는 것이다.

이를 위해 기존 기술인 고온가스보다 출구 냉각재 온도를 50℃ 정도를 더 높인 1,000℃의 열을 공급하는 것을 목표로 정하고 있다.

GIF의 VHTR 운영 위원회(Steering Committee)에서는 초고온가스로의 국제 공동 연구 개발을 위해서 노심 설계(Design and Safety), 핵연료(Fuel development), 재료(Material and Components), 수소 생산(Hydrogen Production), 가스 터빈(Turbo Machinery and BOP)의 5개의 과제 관리 위원회(Project Management Board; PMB)를 구성했다.

노심 설계 부분에서의 연구 개발 중점은 예비 개념 설계, 안전성 향상, 수소의 삼중수소 오염, 여타 분야의 종합에 있다.

핵연료 부분에서는 SiC 피복과 ZrC 피복연료, 핵연료 성능, 고연소도 달성이 중점 사항이다.

재료 및 부품 부분에서는 재료 개발과 부식과 방사선 조사를 포함한 특성 평가, 재료 거동 모형 개발, 탄소 복합재, 고온열 이용을 위한 증간열교환기, 격리 밸브 등이 중점 사항이다.

수소 생산 부분에서는 고온 수증기 전기 분해, 열화학법, 특히 황-

요드법(Sulfur-Iodine Therm^ochemical Cycle)의 공정 개발과 열화학 데이터베이스 개발, 격리 밸브 등 원자로와 화학 공장의 연결이 중점 사항이다.

가스 터빈 부분에서는 Braton Cycle을 이용하는 직접 발전용 고효율 헬륨 가스 콤프레서 및 가스 터빈의 개발이 중점 사항이다.

핵연료 주기에 대한 연구 개발로는 액티나이드 연소를 위한 Deep Burn 개념, 직접 처분, 재처리 등이 있으나 향후 연구 항목으로 분류하였다.

VHTR의 운영위원회에는 우리나라·프랑스·일본·미국·영국·유라툼·남아공·스위스·캐나다 등 9개국이 참여하고 있는 등 GIF에서 가장 관심도가 높다. 우리나라는 가스 터빈 분야를 제외한 4개 PMB에 참여하고 있다.

가스냉각고속로 (Gas Fast Reactor, GFR)

GFR도 GIF에서 선정한 6개 Gen IV 노형의 하나로서, 고속 중성자 스펙트럼을 유지하면서 안전성을 획기적으로 개선하자는 개념이다.

즉, 안전성이 뛰어난 미세 피복 핵연료와 불활성 기체인 헬륨을 냉각재로 채용하고 플루토늄 증식이 가능한 고속 원자로 개념이다.

고속 스펙트럼을 달성하기 위한 구조 재료로서는 중성자 흡수 단면적이 적으면서 열용량이 크고, 열전도가 높고, 용융점이 높고, 핵분열 생성물 포획능력이 높고 중성자 조사 특성이 좋은 물질을 선정하려고 한다.

구조 재료로 현재 검토되고 있는 것은 Zr, Mo, HT-9, Nb, V, Ti 등과 그 합금이다.

기체는 열제거 능력이 떨어지므로 고속 중성자 스펙트럼을 유지하기 위한 고출력 밀도에 부적합하다. 그러나 출력 밀도를 경수로의 절반인 50~100 W/cc로 결정한다면 경제성이 있을 것으로 판단하고 있다.

GFR은 실험로도 건설된 적이 없기 때문에 프랑스는 20~50 MW급의 가스 고속 실험로 ETDR (Experimental Technology Demonstration Reactor)을 2015년까지 건설할 계획을 추진중이다.

GFR은 또한 850℃의 헬륨을 이용한 가스 터빈과 고온 전기 분해를 이용한 수소 생산을 목적으로 하고 있다.

GIF에서 작성중인 연구 개발 계획에서는 많은 부분이 초고온가스로나(VHTR) 또는 소듐냉각고속로(SFR)와 중복되므로 노심 설계(Design and Safety)와 핵연료 및 재료(Fuel, Core material, and Fuel Cycle)의 2개의 PMB를 구성

했다.

노심 설계 부분은 노심 잔열 제거 능력 등의 안전성, 핵연료 및 재료 부분은 고온 세라믹 재료의 고온 중성자 피폭, 핵연료 재처리 성능에 대한 연구가 주안점이다.

우리 나라는 R&D 플랜 준비 과정에는 참가하였으나, 운영위원회에는 참가하지 않고 PMB에만 참가하기로 하였다. 현재 GFR의 운영 위원회에는 유라툼·프랑스·일본·남아공·스위스·영국·미국 등 7개국이 참가하고 있다.

수소 생산

초고온가스로나는 900℃의 높은 열을 공급하므로 여타 노형보다 활용 범위가 높아, 고효율 발전뿐 아니라, 해수 담수화, 공정열 제공, 석탄 액화, 천연가스 증기개질, DME 생산, 수소 생산 등의 다양한 가능성을 가지고 있다.

그러나 2020년 이후의 상용화를 목표로 설정한다면, 석유 자원의 품귀와 지구 온난화를 고려하여 물을 원료로 수소를 생산하는 방법이 연구 개발의 목표가 될 것이다.

물을 분해하기 위해서는 4,000℃ 이상의 고온이나, 전기 분해 방법을 사용해야 한다. 그러나 전기는 생산하는 데 비용이 많이 들어가는 에너지이기 때문에 가능한 한 저렴한 열에너지를 많이 사용하여야 한



다.

초고온가스로나(VHTR)로 제공할 수 있는 1,000°C 이내에서 가능한 방법으로는 열화학법(Thermochemical cycle)과 고온 전기 분해법(High Temperature Steam Electrolysis)이 있다.

열화학법은 물을 원료로 수소와 산소를 발생시키는 방법이며, 여러 가지의 화학 반응을 조합하여 다양한 구성을 생각할 수 있다.

1970년대 이후 200여개의 열화학법이 제안되었으나, 대량 수소 생산에 적합한 유체기반의 방법으로는 황산을 사용하는 것이 가장 유망할 것으로 알려졌다(그림 4).

일본 JAERI에서는 황산과 요오드를 사용하는 방법을 선정하여 연구를 계속해왔으며, 1999년 시간당 1리터 규모의 연속 수소 생산에 성공한 후 2003년 8월에는 시간당 50리터의 연속 운전에 성공하였다.

황산-요드법(S/I Cycle)은 용량 증강(Scale-up)가 용이하므로 대량 수소 생산에 적합할 것이나, 고온의 황산과 요오드산의 부식에 견디는 반응 용기의 개발이 관건이라 할 수 있다.

현재 파이렉스 초자 기구를 사용하여 시간당 50리터(140Watt 상당)에 성공하였으나, 원자로에 연결하기 위해서는 100만배의 용량 증강(Scale-up)이 필요하다.

황산-요드법은 최소 800°C 이상

의 열을 공급해야 반응이 유효한 데 비해, 고온 수증기 전기 분해는 온도에 따른 열효율의 변화가 급격하지 않으므로 850°C 이하에서는 황산-요드법보다 유리하다.

고온 전기 분해는 연료 전지 기술 중 고온 고효율 연료 전지인 SOFC(Sulfur Oxide Fuel Cell)의 역반응이므로 SOFC 기술이 발전하면 실용화에 필요한 많은 문제가 해결될 것으로 기대된다.

이외에도 도쿄대학에서 개발한 Ca-Br-Fe의 산화 환원 반응을 이용하는 UT-3 사이클도 실험실 규모로 입증되었다. 고체 물질을 사용하여 대규모 연속 공정에는 불리할 것으로 예상되나 반응 온도가 730°C 정도로 낮다는 장점이 있다.

미국의 NGNP(Next Generation Nuclear Power) 프로젝트

미국은 Idaho Falls에 소재한 INEEL에 경제적인 수소와 고효율의 전기를 생산할 수 있는 원자로를 2015년까지 건설하기로 한 NGNP 계획을 추진하고 있다. 이 NGNP 계획은 미 에너지부에서 직접 주관하여 미국의 수소 프로그램과 긴밀한 협력 아래 추진중이다.

이 원자로의 기본 설정은 초고온 가스로나(VHTR)와 같으며 최종적으로는 상업적으로 건설 가능한 원자

로의 개발이 목표이다.

사업 추진을 위해 현재의 INEEL과 ANL의 일부를 통합한 INL(Idaho National Laboratory)을 2005년부터 발족할 계획이며, 이 연구소에서 관련 연구 개발을 기획·집행하도록 하는 등 건설될 NGNP 원자로에 대한 기술적 지원을 수행하는 임무를 부여하였다.

전체적으로는 민간의 주관 사업자를 선정하여 국제 컨소시엄을 구성하여 NGNP 실증로 노형을 선정하고, 설계·건설·소유·운전하도록 하였다.

· 선정된 주관 사업자는 2개의 설계안에 대한 경쟁적인 예비 개념 설계를 수행한 후 최종 노형을 선정하도록 하였다.

민간 사업자의 참여를 요청하는 참여 의향서를 금년 6월에 발표하였다. 이 요청서의 요지는 2020년 이전에 원자로를 이용한 수소 생산을 파일럿 규모로 실증하는 것이다. 전기 생산 단가를 kWh당 1.5 센트 이하, 수소 생산 단가를 휘발유 1갤런당 1.5 달러 이하, 건설 단가를 kWh당 1,000달러 이하로 할 수 있는 상용로를 건설하는 데 필요한 실증로를 개발·건설·운영하는 것을 목표로 제시하였다.

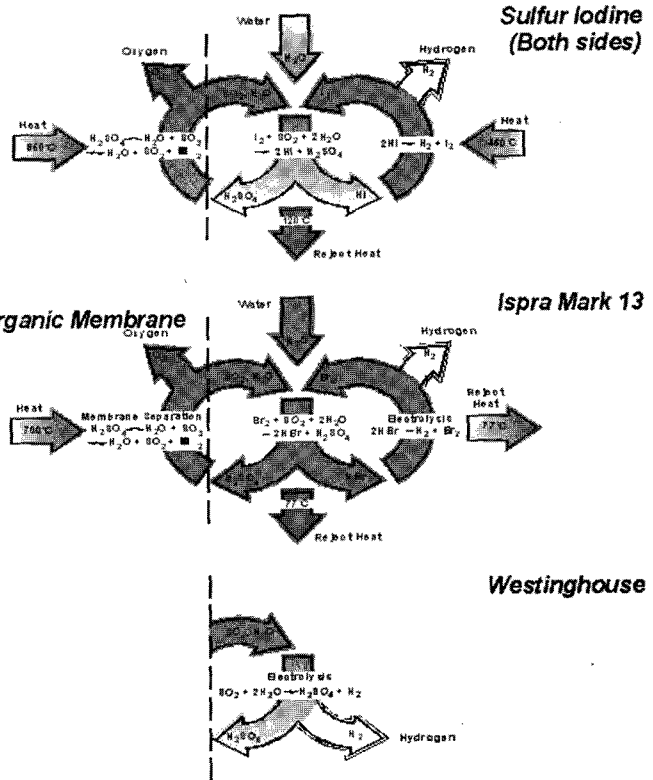
2004년 9월 현재 13개 회사가 참여 의향서를 제출하였는데, 기술적으로 중립이고, 상업적으로 채택 가능한 기술을 개발하는 프로그램

을 제시하고 또한 적절한 비용 분담안을 제시한 11개 회사를 선정하였다.

미 에너지부의 계획에서는 원자로 부분의 NGNP와 병행하여 원자력 수소 계획(NHI; Nuclear Hydrogen Initiative)을 추진하고 있다.

NHI에서는 황산 사이클 열분해법, Ca-Br 열화학법, 대체 열화학법을 병행 연구하여 2009년경까지 5kW 이내의 실험실 규모의 공정을 개발하고, 그 중 하나의 열화학법을 선택할 예정이다.

또한 고온 전기 분해법에 대해서는 2005년에 연구 개발을 병행할지를 결정한 후, 2012년까지 200kW~1MW 규모의 파일럿 스케일로 개발하고자 하는 계획을 수립하였다.



〈그림 4〉 황산 사이클

**남아프리카공화국의 PBMR
건설 프로젝트**

PBMR(Pebble Bed Modular Reactor)은 독일에서 개발한 HTR-Module 개념을 개량한 것이다.

남아프리카공화국은 Cape Town 인근의 Koeberg에 165 MWe급 모듈 8개를 건설하려는 계획을 추진중이며 2007년까지 첫 모듈을 건설할 계획을 가지고 있다.

2000년 남아공개발기구(IDC),

전력회사인 Eskom, 영국의 BNFL 및 미국의 Excelon사가 컨소시엄을 구성하여 사업을 추진하였다. 그러나 Excelon사가 2003년초 경영진 교체와 함께 컨소시엄에서 탈퇴함으로써 어려움에 봉착해 있다.

2003년에 상세 타당성 연구를 완료하여 환경 영향 평가를 승인받은 바 있으나, 아직도 설계 개선을 하고 있는 중이다.

우리 나라의 NHDD (Nuclear Hydrogen Development and Demonstration) 프로젝트

우리 나라도 2020년대에는 원자력을 이용한 수소 생산 시스템을 개발한다는 목표하에 금년부터 정부 과제료 「원자력 이용 수소 생산 시스템 개발 사업」을 추진하기 시작했다.

이 사업은 원자력 수소 생산 기술 개발 및 실증으로 수소 생산 실증로

설계 및 건설, 실증, 초고온가스로 핵심 기술 개발, 피복 입자 핵연료 기술 개발 및 제조, 열화학 수소 제조 핵심 기술 개발 및 실증을 최종 목표로 제시하였다.

구체적으로는 2017년까지 수소 생산에 적합한 실증로와 수소 생산 플랜트를 건설하고 2020년까지는 실증을 완료한다는 것이다. 또한 여기에 사용할 핵연료도 개발하고, 제조하도록 하였다.

현재의 연구 방향은 각종 관련 요소 기술을 파악, 개발하여 기술적 능력을 향상시키려는 노력과 함께 수소 생산용 고온가스원자로로서 우리 나라의 2020년대 수소 수요에 적합한 단위 모듈의 용량을 조사하여 수요자의 요구 조건을 파악하고, 페블형과 프리즘형 중 어느 노형이 수소 생산에 적합한 것인가 하는 기술적 적합성, 건설을 위한 인허가 가능성, 부족한 외국 기술의 도입 가능성을 검토하고 있다.

또한 국내 핵연료 생산을 위한 선행 연구로서 TRISO 제조 기술과 황산-요드 열화학법에 대한 기초 실험을 수행하여 전체 수소 생산 플랜트의 기본 디자인 데이터를 생산하고 있다.

각종 설계 코드의 개발 및 검증, 설계 데이터베이스의 확보를 위해서는 실험이 불가피하며 고온가스로에 관련된 실험을 수행할 수 있는 장치가 국내에는 거의 전무하므로

제4세대 원자력 VHTR 참여국을 비롯하여 고온가스실험로인 HTR-10을 운전하고 발전로 HTR-PM을 개발중인 중국과도 협력하여 핵심 기술을 확보할 예정이다.

제4세대 원자력 시스템 국제 포럼(GIF)의 역할

NHDD 계획의 목표는 수소 생산에 적합한 고온가스로를 개발하는 것이며 제4세대 원자력 VHTR 계획과는 많은 부분이 공통된다.

더구나 고온가스로 기술에 대해 집중적인 연구 개발을 수행한 적이 없는 우리 나라의 입장에서선 선진 외국의 경험, 실험 장치 등을 공유하고 GIF/VHTR의 목표 중의 하나인 과거 기술의 재현에 동참함으로써 설계·인허가·운전에 필요한 방법론과 데이터베이스의 개발 및 검증, 이를 위한 실험 시설의 공동 이용을 할 수 있다.

또한 상용로를 건설하기 위해 필요한 재료의 표준 규격 정립, 무누설 격납 용기를 채택하는 문제, 발전소 비상 계획 구간의 설정 등 경제성에 중대한 영향을 미치는 인허가 이슈에 대해 공동으로 해결책을 찾을 수 있을 것으로 기대한다.

우리 나라의 NHDD 뿐 아니라 미국의 NGNP 및 NHI 계획, 일본의 HTTR을 중심으로 진행중인 원자력 수소 개발, 프랑스의 ETRD

계획, EURATOM의 HTR 계획, 남아공의 PBMR 등 각국의 독자적이고 구체적인 개발 계획 아래 GIF/VHTR 국제 공동 연구를 수행하므로 GIF/VHTR의 진행은 다른 어떤 GIF 노형보다 구체적이고 집중적일 것이다.

〈참고 문헌〉

- [1] 장종화 등, “원자력을 이용한 수소제조 기술현황,” KAERI/AR-600/2001, 한국원자력연구소, 2001.7.
- [2] (일본) 원자력 시스템연구 간학회, “원자력에 의한 수소에너지,” NSA/Commentaries : No : 10, (일) 원자력산업회의, 2002.6.18. 번역서 KAERI/TS-192/2003, 한국원자력연구소.
- [3] 제4세대원자로 정책그룹회의 자료, 제주도, 2004년 9월 2일 - 3일.
- [4] 원자력 수소 홈페이지, <http://www.hydrogen.re.kr/>.