

多目的高温가스炉의 熱利用 System

現在 重化学工業 등의 process的 産業에서 소비되는 炭化水素系原燃料中 상당한 부분은 각각의 프로세스 系内소비에너지로 연소 소비되고 있다. 또 직접적으로 프로세스系内에서 原燃料을 연소 소비하지 않는 産業에서는 외부로부터 공급받는 전력 등의 2차에너지 발생을 위해 대량의 化石연료가 연소 소비되고 있다. 1000MW의 발전소를 가정했을 때 석유 등의 化石연료를 연료로 사용할 경우 연간 200만톤 가까운 炭化水素分을 연소 소비하게 되는데 만약 이 탄화수소分을 有用한 化学物質로 전환한다면 기초化学品인 메탄올 약 200만톤으로 전환시킬 수가 있다. 이것은 또 고도의 化学물질로 전환되어 우리들의 일상생활에 필요한 물자로 도움이 된다. 그러나 이와같이 귀중한 化石연료도 연소에너지로 소비할 경우는 단순히 탄산가스와 물이 되어

대기중에 霧散될 뿐이다.

高温가스炉의 高温核熱이 에너지 多消費型 産業 등의 系内소비 에너지源으로 도입되어 이용되면 微視的으로는 에너지 多消費型 産業 등에서 原燃料 소비면에서의 根本적인 개선이 되고 또 巨視的으로는 장래 인류에 有用한 化石연료 자원의 보존식라는 2중의 면에서 有意의인 效果가 기대된다.

1. 高温가스炉核熱의 利用対象

고온가스炉 核熱의 이용대상 또는 용도에 대해서는 오래전부터 각국의 원자력관련 연구기관에 의해 다분야에 걸쳐 검토되고 또 연구개발이 추진되어 왔다.

중래의 원자로가 비교적 낮은 조작성온도 수준에 있는 utility분야에 한정되어 있음에 비해 고

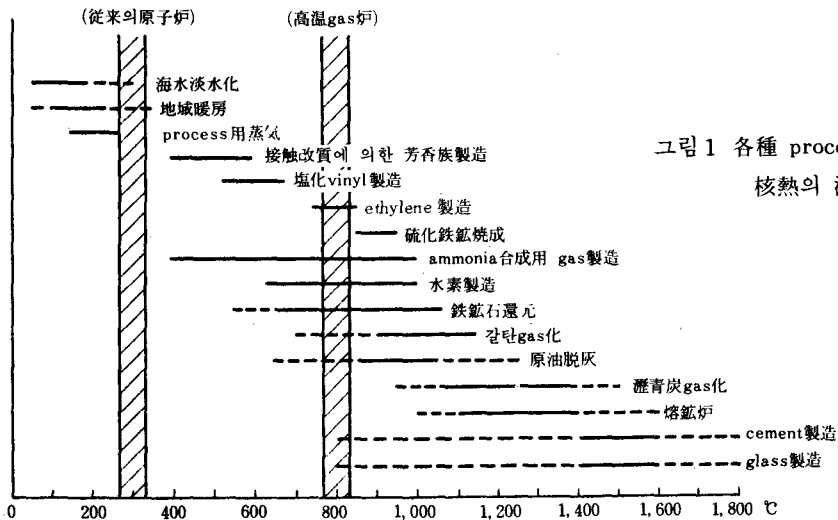


그림 1 各種 process의 操作温度範圍와 核熱의 温度水準

온가스로부터 공급되는 열의 온도수준은 1000℃ 가까운 고온도가 되기 때문에 그 이용분야나 형태는 상당히 성격·내용·색채가 다른 것이 될 것이다.

그림 1은 해외 원자력관련기관의 report에서 拔萃한 것인데 이에 따르면 1000℃ 이상의 煨燒的 프로세스의 온도수준과 從來 원자로의 主 용도인 수증기발생(발전용)의 온도수준인 中間 域에 操作온도를 가지는 각종의 化学的 처리 프로세스가 고온가스 核熱의 이용분야로 適當 할 것이라고 한다.

表 1 主된 重化学的 process의 操作温度水準

process	操作温度水準(℃)
methane reforming(水素製造)	700~800
naphtha reforming(水素製造)	750~850
石炭 steam gas化	950~1000
石炭 水素 gas化	900~950
石炭 直接液化(水素化)	350~450
石炭 間接液化	
gas化(Lurgi)	700~1000
F-T 合成	300~350
naphtha cracking(ethylene製造)	700~800
ammonia 合成	400~600
methanol 合成	250~300
石油精製	
熱 分解	450~550
接觸分解	450~500
hydro cracking	300~500
鉄鈹石 直接還元	500~1000
熱化学的 水分解(S-cycle)	450~900
高温 蒸氣	500~550

表 1에 各種의 基幹的인 重化学的 프로세스 中에서 代表적인 操作 온도수준을 열거하였다. 이에 따르면 重化学的 프로세스의 상당부분은 온도수준에서 고온가스로 核熱의 이용이 될 수 있다.

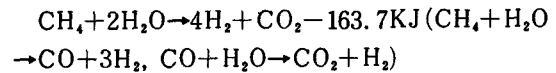
2. 核熱利用技術의 開發動向

(1) methane의 steam reforming

이 題마는 高温 가스 爐 化學이용의 중심적 과 제로 보여지며 세계 各國에서 대단히 많은 연구 가 行해졌다. 이 題마는 石炭의 水素化 가스化 프

로세스와도 關連되며 고온가스 爐의 고온熱을 이 용하여 石炭으로부터 水素의 제조와 이를 이 용한 石炭의 가스化·液化 또는 직접 steam gas 化와 아울러 고온가스 爐와 水素를 媒介로 하는 광범위한 化學공업적 展開體系를 이어주는 樞軸 으로 重要시되고 있다. 고온가스 爐核熱의 온도 수준으로 보아 石炭을 직접 steam gas化 하는 것보다는 온도조건적으로 적합성이 있다고 보여 지는 이 프로세스의 개발을 중점적으로 하는것 같다.

化學反應式으로는 다음과 같이 표시된다.



이 프로세스는 원료로 직접적으로는 천연 가스 또는 輕質의 석유정제系副生 가스 등을 이용 하지만 石炭의 水素化 가스化와 結合시킬 경우에는 여기서 생성되는 메탄을 원료로 이용하게 되므로 基本원료源으로 石炭을 출발원료로 하는 展開에 연결되게 된다. 이 프로세스가 重要시되는 이유가 여기에 있다. 이 題마의 연구개발을 추진해오고 있는 기관으로는 미국 General Atomic Co. 그룹, 서독 Kernforschungsanlage Jülich GmbH 그룹 및 프랑스의 GEGN 그룹등이 있다.

이 프로세스에 의한 수소제조의 skim 보기를 그림 2에 표시하였다.

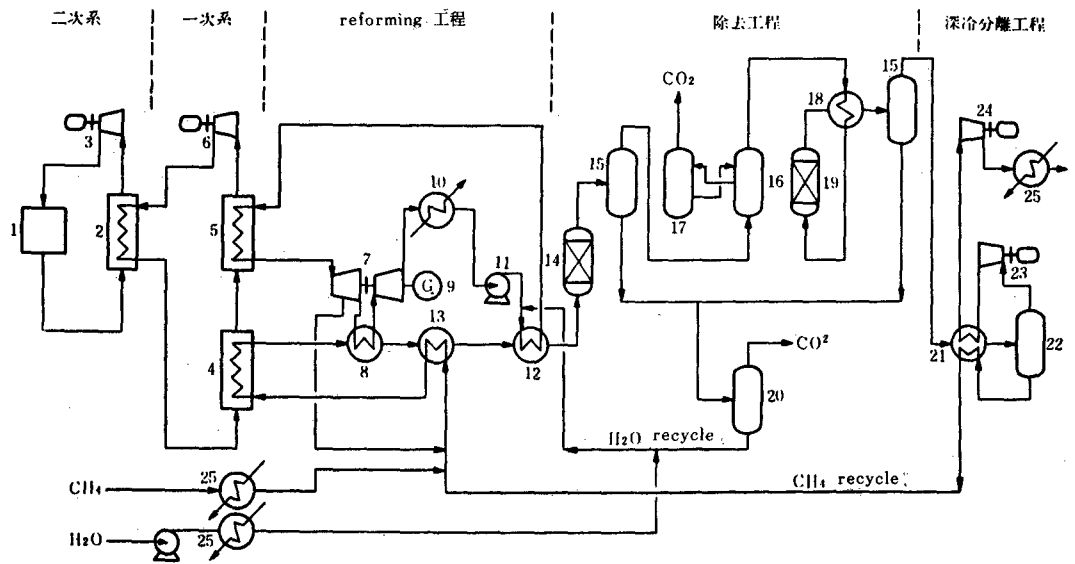
프로세스의 반응조건으로는 온도 750~800℃, 압력 17Bar 정도가 생각되고 있는것 같다.

이 프로세스는 고온가스 爐의 核熱利用體系가 확립될 경우 重要한 구성부분이 될것으로 주목 받고 있다.

(2) 石炭의 steam gas化

化學공업분야에서 石炭의 활용이라는 잠재적 요청은 간절하며 이 題마에서는 高温核熱을 石炭의 化學원료化에 端的으로 이용하려는 점에 서 가장 직접적인 發想의 이용법이라 하겠다.

이 題마는 西독 Bergbauforschung GmbH에서 개발이 추진되고 있다. Test Plant가 1976 년부터 1979년에 걸쳐 운전되고 있으며 다음 단계로 1982년에 Pilot Plant가 가동될 예정이다.



- | | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 高温 gas | 10 蒸氣 condenser | 19 methanator |
| 2 中間熱交換器 | 11 補給水 pump | 20 脱氣塔 |
| 3 helium循環機 | 12 補給水予熱器 | 21 condenser |
| 4 reformer | 13 reformer予熱器 | 22 液化methane |
| 5 蒸氣發生器 | 14 CO Shift convertor | 23 水素膨脹 turbine |
| 6 helium循環機 | 15 水分離器 | 24 壓縮機 |
| 7 蒸氣 turbine | 16 CO ₂ 吸收塔 | 25 原料予熱器 |
| 8 蒸氣再熱器 | 17 CO ₂ stripper | |
| 9 發電機 | 18 熱交換器 | |

그림 2 methane steam reforming

화학반응식은 $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ($\Delta H = 118.3 \text{ KJ/mol}^\circ\text{C}$), 반응조건은 온도 950°C , 압력 40Bar 정도에서 행해지고 있다.

이 방법은 核熱을 고온수증기로 거의 직접적으로 화학반응에 이용하려는 점에서 흥미있는 방법이나 반응이 큰 흡열반응이며 또 적절한 반응온도 수준이 1000°C 이상이라는 점에서 현재 개발중인 고온가스화와의 결합에는 약간의 무리가 있다.

또 이 프로세스는 석탄수소화가스화와도 결합도 고려되고 있다. 즉 석탄을 水素化가스화 工程에서 gas化할 경우 水素化反應에 비교적 不活性인 tar分을 이 steam gas化 公程에서 완전히 gas化시키려는 시도가 행해지고 있다. 그 개요를 그림 3에 표시하였다. 장차 1000°C 이상의 고온가스화가 출현했을 때는 흥미있는 프로세스가 될 가능성이 있다.

(3) 石炭의 水素化 가스화

석탄의 경제적 또는 효율적이용은 프로세스 산업에서 앞으로의 장기적 과제의 하나이다. 이것은 고온가스화 核熱의 이용에서도 필수적이다.

이 프로세스는 장래에 고온가스화와 석탄의 이용을 결합시킨 대규모 combineate 体系에서의 中核的 프로세스로 각국의 相關기관에서 銳意 개발이 추진되고 있는 것이다.

이 프로세스는 석탄과 수소와의 반응에 의해 메탄을 제조하는 것인데 메탄의 steam reforming에 의한 수소제조와의 결합에 의해 화학관련의 광범한 프로세스 산업을 포함시킬 수 있는 이용전개가 가능하리라 생각된다.

화학반응식으로는 $C + H_2 \rightarrow CH_4$ ($\Delta H = -86 \text{ KJ/mol}^\circ\text{C}$), 반응조건으로는 온도 $850 \sim 950^\circ\text{C}$ 의 고온도에서 조작되나 발열반응이므로 고온가스화와의 결합을 특별히 고려하지 않아도 된다. 核

熱의 소비라는 점에서는 이 프로세스에 부수되는 methane reforming process에서 소비되게 된다.

터 운전되고 있으며 1982년에 다음 단계인 Pilot Plant가 가동에 들어갈 예정이다. 특히褐炭의 수소화가스화에 중점을 두고 있는 것 같다.

그림 4에褐炭의 수소화가스화, 그림 5에 서독 PNP-500 프로젝트, 그림 6에 Lurgi方式 가스화와 수소화가스화의 結合시스템을 각각 나타냈다.

이 프로세스는 methane steam reforming 과의 結合에 의해 고온가스화의 核熱과 석탄으로부터 화학관련 프로세스 산업의 기본원료인 수소와 연료가스로의 메탄을 공급할 수 있는 中核的 시스템이 되기 때문에 고온가스화 核이용전에 있어 가장 중요한 위치를 정하게 될 것이다.

(4) 石炭의 直接液化

석탄의 수소첨가에 의한 직접액화 프로세스는 SRC-II (Gulf), Donor Solvent (Exxon), H-Coal (Hydrocarbon Reserch) 등을 들 수 있으나 아직 모두 개발단계에 있는 기술이다. 석탄의 수소화액화반응의 조건은 온도 400℃, 압력 약 100기압정도로 비교적 온화하나 固-液-氣系의 조작을 수반한다는 것, 대량의 에너지 및 原材料(수소·석탄 등)를 소비한다는 것, 거대한 조작규모와 거액의 설비투자를 요한다는 것, 실질적으로는 低코스트의 石油라는 천연의 競争品 存在 등으로 現狀으로는 그 실현을 가로막는 어려운 문제들이 많다.

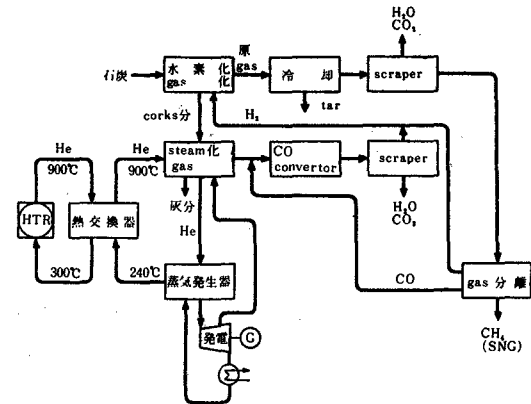


그림 3 石炭의 steam gasification·水素화gasification 結合system

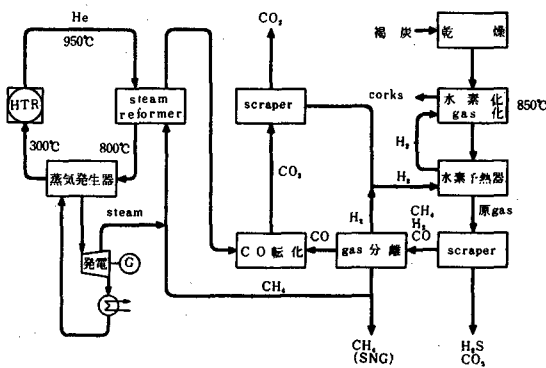


그림 4 褐炭의 水素化gasification process

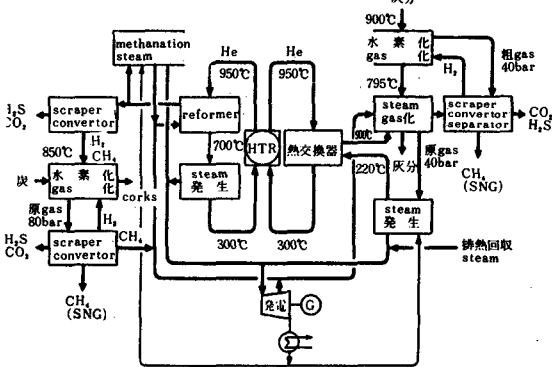


그림 5 西独PNP500 prototype plant

이 프로세스는 미국 General Atomic Co. 그룹, 서독 Rheinische Braunkohlenwerke AG 그룹, 프랑스의 GEGN 그룹 등에서 개발이 추진되고 있다. 서독에서는 Test Plant가 1975년부

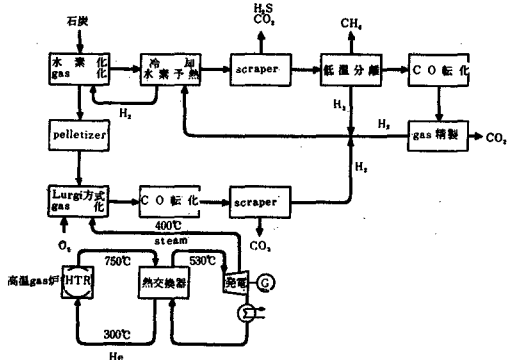


그림 6 Lurgi式 가스화-水素화gasification 結合system

이와같이 攣관성이 예상되는 석탄직접액화프로세스도 장차 고온가스화와의 연결이 가능해진다면 原料·에너지의 절약면에서 큰 利점이

얻어질 것이 예상된다.

미국 General Atomic Co.의 검토에 따르면 고온가스화 核熱을 유효하게 이용할 수 있다면 석탄의 직접액화에서 원료석탄의 소비량을 약 30%이상 절감시킬 수가 있다고 한다. (表 2)

또 프랑스 GEGN 그룹의 검토에 의하면 고온 가스화 및 석탄직접액화프로세스를 연결시키는 것은

① 소요온도수준이 400~700℃정도의 범위에 있으므로 고온가스화의 核熱을 이용하기에 적당하다.

② 제품이 주로 SNG 및 액체연료이며 Valuable이다.

③ 프로세스내 내부에서의 에너지(전력·증기)와 수소의 소비량이 크므로 외부에 고온가스화의 에너지 大量固定user를 특별히 확보하지 않아도 좋다.

④ steam reformer(수소제조)와의 연결성이 좋다 등으로 바람직한 효과가 기대된다고 한다.

表 2 石炭液化 process에서의 核熱利用의 效果(予想)

process	間 接 液 化		直 接 液 化	
	従来方式	核熱利用	従来方式	核熱利用
石炭所要量(ton/日)	46,400	30,800	32,210	21,700
核熱利用量				
reforming(MW(t))	-	775	-	905
蒸氣發生(MW(t))	-	2,300	-	1,155
製品生産品(barrel/日)	90,000	90,000	90,000	90,000
(ton/年)	4.4×10^6	4.4×10^6	4.4×10^6	4.4×10^6
熱 効 率(%)	42	48	59	67
製品 / 石炭比(barrel/ton)	1.9	2.9	2.8	4.2
製品中保有熱量	0.42	0.64	0.59	0.95
石炭保有熱量				

그림 7에 석탄직접액화와 고온가스화의 결합 想定例를 나타냈다.

(5) 石炭의 間接液 化

이 프로세스에 대해서는 이미 南阿共和国 S-ASOL에서 대규모로 공업화가 실시되고 있다. 현재 가동되고 있는 프로세스의 구성은 Lurgi 방식 석탄가스화 공정과 Synthol 방식 Fischer-Tropsch合成공정과의 결합이다.

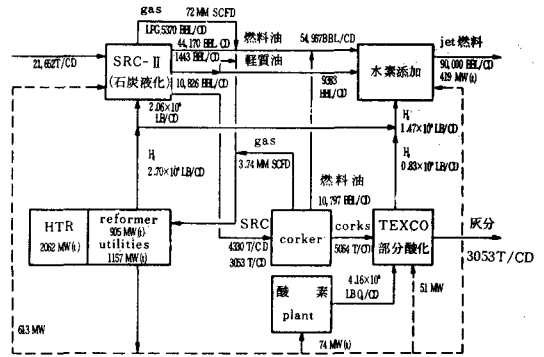


그림 7 高温가스화-石炭直接液 化結合 想定例

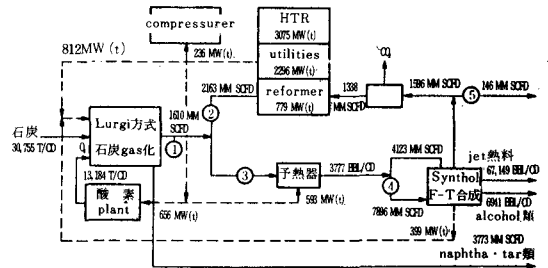


그림 8 高温가스화-石炭間接液 化結合 想定例

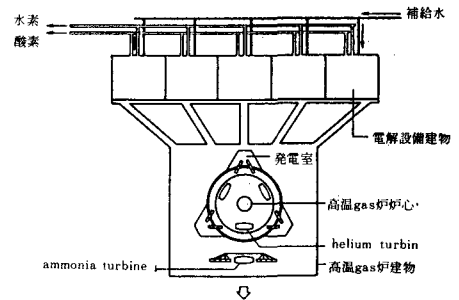


그림 9 高温가스화-水電解結合 model 概要圖

이 프로세스는 만들어진 제품단위량당의 원료석탄과 에너지 소비량이 많다는 문제점이 있으나 고온가스화의 核熱을 잘 이용할 수 있다면 이에 따른 利点은 크게 기대된다.

미국 GA Co.의 검토에 의하면 이 프로세스와 고온가스화와의 결합에 의해 원료석탄의 소비량이 3분의2 정도까지 대폭적으로 절감될 것으로 보고 있다. (表 2)

그림 8에 석탄간접액화와 고온가스로의 結合 想定例를 나타내었다.

(6) 水分解에 의한 수소제조

수소의 제조법으로는 탄화수소연료의 steam reforming法외에 물 분해에 의한 방법도 개발되고 있다. 물 전기분해에 의한 수소제조는 옛날부터 실시되어 왔으나 최근 탄화수소류를 원료로 하는 방법으로 바뀐 현황에 이르렀다. 그러나 최근에는 化石연료의 高騰과 대체 신에너지의 개발을 감안하여 장래의 새로운 수소제조법으로 물 분해에 의한 방법이 새로운 각도로 주목받고 있다.

1) 전기분해에 의한 수소제조

물 전기분해에 의한 수소제조법에 대해서도 앞으로 기대되는 수소에너지 시스템 및 신에너지源 등을 감안한 여러가지 새로운 방법이 개발되고 있다.

그 하나는 고온가스로의 연결성 観点에서 특별히 利點은 보이지 않으나, 넓은 뜻에서의 에너지源으로 고온가스로를 생각하면 核熱의 이용이라기 보다 전력을 매개로 한 結合시스템이 예상된다. 또 일본 sun shine계획의 한 프로젝트로서의 高温高压水電解방법과 SPE(Solid Polymer Electrolyte)의 개발도 그 하나의 방법일 것이다.

高温가스로에서 얻어지는 물 전기분해 시스템에 대해서 미국 Institute of Gas Technology에 의해 검토되고 있는 例를 소개한다. 이 시스템의 설계개념에 의하면

i) 고온 헬륨가스(980℃)의 직접구동에 의한 가스터빈 발전 및

ii) 고압(약 70at)·高電流密度의 전기분해공정으로 되는 시스템이 想定되고 있으며 이것에 의한 종합에너지효율은 42.9%정도가 될 것으로 추정하고 있다. 또 이 시스템에 의한 수소제조코스트는 加壓輕水로를 베이스로 하는 경우에 비해 60%정도 이하가 될 것으로 보고 있다. 그림 9에 그 model의 개요를 표시하였다.

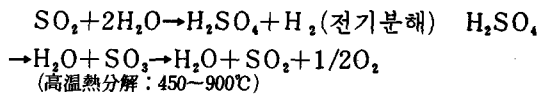
2) 熱化學的分解에 의한 수소제조

물을 수천도의 초고온하에 두면 수소와 산소

로 분해되나 현재의 에너지공업적 기술수준에서는 실용성이 없다. 그러나 현재 또는 가까운 장래에 실용화가 전망되는 1000℃ 정도 이하의 비교적 저온도에서 시스템적으로 물을 분해할 수 있는 열화학적반응에 의한 물로부터의 수소 제조법이 현재 세계 각국에서 흥미를 가지고 여러 가지 반응시스템이 提案, 연구되고 있다.

현재까지의 동향을 살펴보면 종래의 순수한 열화학적반응의 단계에서 실용성에 중점을 둔 프로세스로의 단계에 들어가고 있는 것 같다. 그리고 가까운 장래의 실용화 대상후보로는 비교적 陳腐한 화학반응의 結合을 사용한 「Sulfur cycle」이라고 하는 hybrid방식에 중점을 두는 것 같다.

이 방법은 다음과 같은 반응으로 물에서 수소를 제조한다.



이 프로세스의 구성은 전기분해공정과 고온열 분해공정으로 되며 고온열분해공정에서 高温가스로의 核熱을 이용하게 된다.

개발을 추진하고 있는 기구로는 미국의 Westinghouse Electric Corp., 이탈리아의 J. R. C. -Ispra, 서독의 Kernforschungsanlage Jülich 및 소련 등을 들 수 있다.

그림 10과 11에 그 例를 들었다.

이 프로세스에 사용하는 硫黃源으로는 석탄 화력발전소의 排煙에서 회수되는 SO₂를 이용하는 것도 생각되고 있다.

고온가스로의 核熱과 그 併産전력을 이용하므로써 가까운 장래에 이와같은 hybrid方式의 열화학적 물 분해반응에 의한 수소제조법이 실현화 될 것이 기대된다.

(7) 化學的 heat pipe system

이것은 생산적인 프로세스가 아니고 화학적인 반응을 이용한 열의 수송·전달수단으로서의 응용적인 시스템이다. 이 시스템의 例는 서독의 Nuclear Long Distance Energy Transport(NLE) 프로젝트下에 EVA/ADAM-system이란

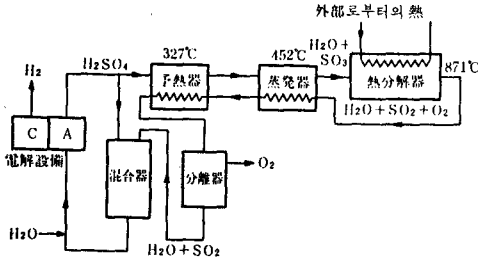


그림10 熱化學的 硫酸熱分解工程概要例

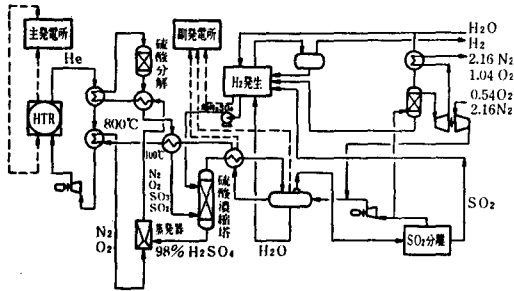


그림11 熱化學法 (CRISTINA process)

명칭으로 개발이 진행되고 있으며 그 내용은 methane reforming에 의한 生成gas를 화학적 열수송매체로 사용하여 이 가스를 pipe line에 보내므로써 고온가스로의 核熱을 원격지에 있는 熱利用先으로 공급하고자 하는 시스템이다. 원리적으로는 다음과 같다.

高温炉側 : $CH_4 + H_2O \rightarrow 3H_2 + CO$ (吸熱反應)

熱利用側 : $3H_2 + CO \rightarrow CH_4 + H_2O$ (發熱反應)

서독에서는 고온가스로의 Steam reforming 장치를 EVA unit, 열이용측의 methanation 장치를 ADAM unit라고 하고 있다. 열의 수송·전달거리로는 약 100km 정도를 목표로 하고 있다. 그림12에 그 개요 예를 표시하였다. 미국의 GE社 등에서도 이와 같은 개발이 행해지고 있다.

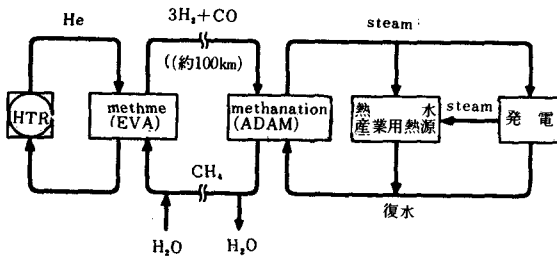


그림12 EVA/ADAM system

(8) 기타

기타의 고온가스炉核熱 利用으로는 直接還元 製鐵 이외에 미국을 중심으로 한 Oil shale에서의 石油회수, 석유정제의 이용, 液化수소 시스템으로의 이용이 검토되고 있다.

3. 예상되는 이용형태

앞에서 고온가스로 핵열 이용처에 대한 각종 연구기관에서의 연구개발동향을 概觀했는데 이들을 정리해서 현단계에서 하나의 가능성으로 생각되는 核熱의 이용체계를 想定해보면 그림13과 같다. 상정되는 형태는 에너지多消費型的의 기간적 중화학공업적 색채가 짙은 超大型 Combinate가 부상한다. 또 여기에 부수해서 上水·熱水·전력·연료가스 등의 公共·公益의 기구 등도 포함된 국가적인 utilities center의 출현도 생각된다.

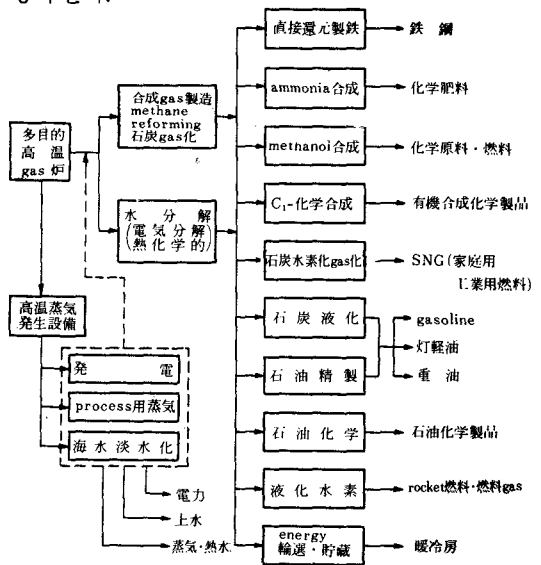


그림13 高温gas炉 核熱利用体系의 想定

또 고온가스炉에 특별히 적합한 새로운 이용 프로세스의 출현도 있을 것이다. 예를 들면 重質油나 석탄을 정제가공하는 것같은 프로세스는 고온가스炉가 구체화 되었을 때 혁신적 發展이 수행될 것도 고려된다. 특히 석탄의 액화 등은 고온가스炉라는 새로운 partner의 출현으로 인해서 存立이 가능하게 될지도 모른다.