

## 수소스테이션용 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 수소제조장치 개발

오영삼<sup>\*</sup>, 백영순<sup>\*</sup>

\*한국가스공사 연구개발원

## Development of 20 Nm<sup>3</sup>/hr Hydrogen Generator for Hydrogen Fueling Station

Youngsam Oh<sup>\*</sup>, Youngsoon Baek<sup>\*</sup>

\*R&D Division of Korea Gas Corporation 973 Dongchun Yeonsoo Incheon, 406-130, Korea

### ABSTRACT

In this study, 20 Nm<sup>3</sup>/hr scale compact hydrogen generator which can be apply to the hydrogen station was manufactured and tested. The design of 20 Nm<sup>3</sup>/hr scale compact hydrogen generator was upgraded on the base of 5 Nm<sup>3</sup>/hr scale plate hydrogen generator concept stacking the plate reactors. Ideas for improving system efficiency such as heat recovery from the exhaust, exhaust duct which is especially design for plate type reactor, reinforcement of insulation, enlargement of heat exchange area of reactor, introduction of desulphurizer reactor and PROX reactor in a compact design etc. were applied. From the performance test, we can learn that the 20 Nm<sup>3</sup>/hr scale compact hydrogen generator can be operated steadily at 100% load condition and the methane conversion of over 94%(at S/C=3.75) was obtained. This result shows that the concept of plate type hydrogen generator can be scale-up to the 20 Nm<sup>3</sup>/hr scale and fit for hydrogen generator for on site hydrogen station application.

**KEY WORDS** : reformer(개질기), plate type(플레이트형), compact(컴팩트형), hydrogen generator (수소제조장치), scale-up(스케일-업)

### 1. 서론

최근 중국의 급격한 경제발전을 비롯하여 세계 에너지수요의 증가로 인하여 에너지 확보문제가 세계적으로 대두되고 있는 상황이다. 이와 같은 이유로 인하여 수소에너지는 미래 에너지, 경제, 환경안보 달성을 위한 핵심적인 에너지원으로 부

각이 되고 있다.

수소를 원료로 이용하는 연료전지 기술의 상용화 가능성은 최근 기술의 발달로 이러한 수소에너지 이용에 대한 추진력을 제공해 주고 있다. 수소는 연료전지를 통하여 쉽게 전기에너지로 전환이 가능할 뿐만 아니라 간헐적인 신재생 에너지원과 연계한 에너지 저장매체로서 활용이 가능하고 수소를 제조할 수 있는 수단이 다양하다는

<sup>†</sup> Corresponding author : ysoh@kogas.re.kr

것은 수소의 미래 에너지원으로서의 가능성을 뒷받침 해주고 있다. 향후 10년 안에 수소경제시대가 시작될 것으로 예상하고 있으며 세계 각국에서는 이를 위하여 수소를 에너지로 이용할 수 있는 효과적인 수소제조 및 수송방법의 개발을 위해 노력하고 있다.

현 단계에서 효과적인 수소제조방법이라고 할 수 있는 화석연료 개질의 경우 고갈에 대한 우려 및 이산화탄소 배출이 문제라고 할 수 있다. 그러나 이것은 수소경제 시대로 가기 위한 기초를 제공해 주는 중요한 기술이며 여러 가지 문제점이 존재함에도 불구하고 극복해야 할 수 밖에 없는 상황이라고 할 수 있다. 전기분해를 이용하여 수소를 제조하는 방법은 태양광, 풍력 등 향후 신재생 에너지를 이용하여 수소를 제조하기 위한 중요한 수단이라고 할 수 있다.

그러나 현재와 같이 화석연료를 이용하는 발전소로부터 생산되는 전기를 이용하는 경우 높은 운영비용과 여전히 이산화탄소 배출문제를 해결할 수 없다는 단점이 있기 때문에 원자력을 이용하는 방법이 대안으로 여겨지고 있다.

반면 이미 상업적으로 이용되고 있는 기존 부생수소를 정제하는 방법은 대량의 수소를 공급하기 위한 수소수송에서의 한계와 파이프라인으로 공급을 고려할 경우 인프라 부족으로 인하여 한정된 지역 내로 공급할 수 밖에 없다는 제약이 따른다. 향후 수소경제 시대에는 원자력 수소 등과 같은 대량수소제조방법이 적용될 것으로 예상되고 있지만 이 역시 수소수송의 문제를 심각하게 고려해야 하는 상황이며 또한 현재의 기술수준은 아직 시작단계라고 할 수 있다.

미래의 수소경제 시대에서는 수소 파이프라인과 같은 공급인프라 구축을 고려해 볼 수 있으나 현실적으로 가장 적합한 수소제조 및 공급방법은 기존의 천연가스 인프라를 이용하여 현지에서 개질을 통하여 수소를 직접 제조하여 공급하는 방법이다. 이는 수소수송 및 저장문제를 동시에 해결할 수 있는 바람직한 방법이라고도 할 수 있다. 우리나라의 경우 천연가스 전국 배관망이 구성되

어 있어 천연가스를 이용한 수소공급기반이 갖추어져 있는 상태라고 할 수 있다. 향후 수소경제 시대에 진입하게 되면 기존 화석연료뿐만 아니라 신재생에너지 및 원자력 등 수소에너지원의 적절한 Mix를 통한 효과적인 수소공급시스템이 구성되는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 그렇지만 천연가스는 미래에도 중요한 수소 제조원으로서 그 역할을 할 것으로 예상된다.

국내의 경우 천연가스를 이용한 수소제조장치 개발에 한국가스공사를 비롯하여 기술연구원과 (주)SK에서 참여하고 있다. 외국의 경우 일본, 캐나다, 미국, 독일 등을 중심으로 기술개발이 이루어지고 있다. 특히 일본과 캐나다에서는 수소스테이션에 적용을 위한 30~50 Nm<sup>3</sup>/hr급 수증기 개질형 수소제조장치 개발이 이루어진 상태라고 할 수 있다.

본 연구에서는 수소 수송문제를 해결할 수 있는 방안으로서 천연가스 인프라를 이용하여 현지에서 수소를 생산하는 수소스테이션 및 소규모 분산형 수소 이용시설에 수소를 연속적으로 공급할 수 있는 컴팩트형 수소제조장치를 제작하여 성능시험을 수행하였다.

## 2. 20Nm<sup>3</sup>/hr급 수소제조장치 개발

### 2.1 수소제조장치 설계

플레이트형 수소제조장치 개념설계에서는 기존에<sup>1-6)</sup> 제작하였던 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 개질반응기 시제품의 성능시험을 통하여 발생되었던 문제점들을 해결하는데 주안점을 두었다. 기존에<sup>3)</sup> 개발하였던 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 개질반응기 시제품의 성능시험에서는 100% 부하 조건에서도 운전이 가능함을 확인할 수 있었으나 여전히 100% 부하 조건에서 개질반응기의 열전달 문제에 있어서 부족한 점을 발견할 수 있었다. 또한 초기 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 개질반응기 승온실험에서 반응기 출구 온도를 750℃ 까지 올리는데 약 25분 그리고 반응기 입구 온도 기준으로는 약 40분 정도 소요되지만, 개질반응기의 열팽창에 취약한 부분이 있는 것으로 파악되

었다. 따라서 본 연구의 개질반응기 개념설계에서는 열팽창에 취약했던 부분을 보완하고 열전달 면적을 추가적으로 수 있도록 설계가 이루어졌다. 또한 버너의 부분에서도 사선형태의 버너형태를 적용하였을 경우 버너의 안정적인 운전에 어려움이 있으므로 나타났기 때문에 기존에 사용하였던 평판형 형태의 버너구조로 변경하였다. 다만 기존의 경우 대 면적 버너형태의 문제점이 보완되면서 제어성능이 우수한 다단버너 구조로 설계하는 것이 바람직하다. 그리고 연소용 공기와 연료가 별도의 혼합기를 통하지 않고도 버너 내부에서 혼합될 수 있는 구조가 성능이 우수한 것으로 판단되어 이러한 개념을 계속 채택하는 방향으로 하였다. 나머지 탈황반응을 위한 HDS, ZnO 반응기와 HTS 및 LTS반응기 그리고 PROX(선택적산화반응)반응기의 경우 특별한 문제점이 발견되지 않았기 때문에 기존 반응기를 그대로 활용할 수 있도록 하였다.

## 2.2 수소제조장치 제작

### 2.2.1 반응기 및 버너 제작

Fig. 1은 플레이트형 수소제조장치의 개념도를 나타낸 것으로 버너에서 발생하는 열을 이용하여

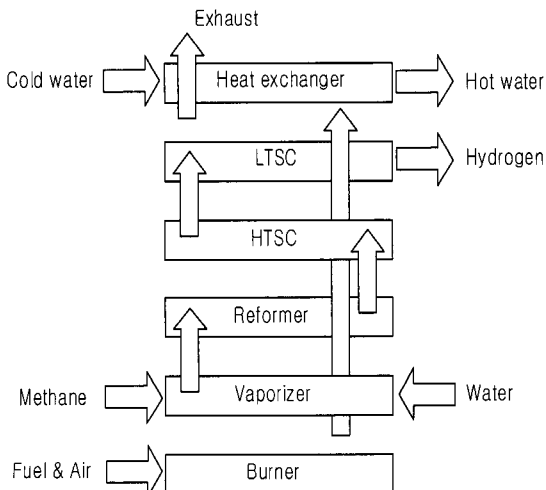


Fig. 1 Concepts of plate steam reformer

증기발생기, 개질반응기 및 전환반응기 등 기타 반응기들을 각각의 온도대에 맞게 가열 및 예열할 수 있는 구조라고 할 수 있다.

수소 제조장치에서 시스템의 성능을 확보하고 열효율 향상을 위해서 가장 기본적으로 고려해야 될 것은 버너에서 발생하는 열을 효과적으로 반응기 촉매층 내로 전달해 주는 것이라고 할 수 있다. 기존<sup>3)</sup>에 제작되었던 개질반응기에서도 열전달 면적을 증대시키기 위하여 개질반응기를 다단형 반응기로 설계한 바 있다. 이와 같은 개념의 반응기 형태에 있어서 배가스와 개질반응기 간의 접촉시간을 증가시켜줌으로써 좀 더 열전달 효과를 증대시킬 수 있다. 이 외에도 pre-reactor 개념은 메탄전환율의 향상과 시스템 성능이 안정적으로 확보하는데 도움을 주기 때문에 적용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 개념을 바탕으로 반응기의 설계 및 제작이 이루어졌다.

또한 기존에<sup>1-6)</sup> 제작되었던 개질반응기에 장착된 플레이트형 버너는 역화를 방지하고 효과적인 반응기 온도제어를 위하여 3개의 연소영역으로 분할하여 구성하였다. 그리고 각각의 연소영역에 연소용 공기를 공급하기 위하여 개별적인 공기 공급용 블로워를 설치하여 운영되었다. 이와 같은 버너 제어방식을 이용할 경우 효과적으로 버너를 제어할 수 있다는 장점이 있다. 그렇지만 각각의 블로워를 제어해 주어야 하기 때문에 제어시스템이 복잡해지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존 3대의 블로워를 1대의 블로워를 이용하여 제어할 수 있도록 시스템 구성을 변경하여 적용하였다. 그리고 모든 버너 연소용 공기는 폐열회수 열교환기에 의해서 예열된 공기가 버너로 공급되도록 유로 변경하여 시스템의 효율을 높일 수 있도록 제작하였다.

### 2.2.2 주변기기 제작

#### 1) 연료 및 반응가스 공급부

수소제조장치를 운전하기 위해서는 많은 주변 기기들이 필요하게 되며 연료 및 반응가스 공급

부는 핵심적인 주변기기라고 할 수 있다. 실험실 내 공급되는 천연가스는 7 bar로 공급되기 때문에 공급된 천연가스는 버너용 연료와 반응용 원료로써 공급하기 위해서 적절한 압력을 유지시켜 줄 필요가 있다. 연료공급부에서는 압력 조절기를 이용하여 버너의 사양에 맞게 천연가스의 압력을 낮추어 공급되도록 하였고 유량조절은 볼 유량계를 이용하였다. 또한 버너의 기동 및 정지기능을 자동화하기 위하여 전동 ON/OFF밸브를 이용하여 제어할 수 있도록 하였다. 연소용 공기공급은 링 블로워를 이용하였고 공기의 유량조절은 인버터를 사용하여 블로워의 회전수를 제어하는 방법을 적용하였다. 연료의 공연비를 유량조절기와 블로워 회전수를 제어하여서 연소조건을 조절할 수 있도록 하였다.

#### 2) 반응용 물공급 펌프

반응용 물을 공급하기 위한 정량 물펌프는 시스템의 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 기기라고 할 수 있다. 물 투입이 원활히 되지 않거나 정량의 물이 공급되지 않을 경우 반응기 내에 카본이 생성되어 반응기를 손상시킬 수 있기 때문이다. 따라서 정량 물펌프의 선정은 중요하게 고려되어야 한다. 본 연구에서는 FMI방식의 정량펌프의 사양으로 그리고 시스템의 최대 운전압력을 6 bar로 설정하여 디자인하였다.

#### 3) 댐퍼 구동 모터

플레이트형 수소제조장치는 플레이트 형태의 반응기를 적층하고 배가스의 흐름을 조절하여 각각의 반응기 온도를 제어하는 방식이므로 반응기 온도조절을 위한 댐퍼의 역할이 매우 중요하다. 댐퍼 구동 모터는 PLC로부터 각각의 반응기 온도에 따른 운전 신호를 받아 정, 역으로 동작하여 배가스의 흐름을 운전조건에 따라 변경할 수 있도록 설계하였다.

#### 4) PROX 반응용 공기 공급장치

PROX 반응은 반응가스 중에 포함된 일산화탄소를 수소 과량의 조건에서 선택적으로 제거하기

위한 반응이다. 이 반응에서는 경쟁적으로 수소와 산소가 반응이 일어나 반응기의 온도가 급격하게 상승으로 인하여 촉매 손상의 우려가 있기 때문이다. 이러한 반응특성을 고려하여 PROX 반응기를 설계하고 또한 발생하는 열을 효과적으로 제거하여 반응온도 범위 내에서 반응기가 운전되도록 해야 한다.

PROX반응의 성능을 높게 하기 위해서는 산소와 반응물이 잘 혼합될 수 있도록 하여야 하며 보통은 산소 공급원으로서 공기를 사용한다. 본 연구에서는 공기의 공급방법으로서 소형 펌프를 사용하여 PROX용 공기를 공급할 수 있도록 구성하여 향후 시스템의 유틸리티를 최소화 할 수 있도록 고려하였다.

이 외에도 주변기기로는 플레이트형 반응기 적층구조에서 기동시에 고온 및 저온전환 반응기를 비롯한 각각의 반응에 필요한 온도로 유지 될 수 있도록 배플 및 냉각코일로 구성된 반응기 예열 및 냉각시스템, 버너 폐열 회수기 및 반응기 및 폐열로부터 회수되는 온수를 보관하고 온도를 조절하기 위한 외부 물탱크 및 열교환 시스템 등을 들 수 있다.

### 2.1.3 제어 및 운전알고리즘

플레이트형 반응기 개념에서는 일반적인 반응기의 제어방식과 다르기 때문에 플레이트형 반응기 제어에 적합한 알고리즘을 적용해야 할 필요성이 있다. 이를 위하여 운전알고리즘은 예열모드와 운전 모드에 따른 버너 운전 알고리즘을 개발하여 적용하였으며 개질반응기의 상, 중, 하 온도 분포에 따른 이상적인 버너온도 제어가 되도록 하였다. 뿐만 아니라 탈황반응기, 고온 및 저온전환반응기, PROX반응기 등 각 반응기들의 온도 제어를 위한 알고리즘을 고려하여 적용하였다.

제어시스템에는 Stand By 모드, Processing 모드, Stop 모드, 그리고 Shut Down 모드 등 크게 4개의 모드로 구성하였다. Stand By모드에서는 장치운전에 필요한 지연시간과 온도 등 운전 초기값을 설정하는 모드이며 플레이트형 수소제조

장치의 운전경험을 통하여 얻어진 초기값들이 저장되어 있고 원하는 경우 설정치를 변경할 수 있다. Processing 모드에서는 버너의 기동과 개질반응기 온도설정, 부하량 결정 등을 통하여 수소제조장치를 부하운전이 이루어지는 단계로서 설정된 알람상황이 발생될 경우 Stop 모드로 진행된다. Stop 모드는 알람이 발생되었을 경우 외에도 시스템 일시정지 목적으로 Stop 모드 버튼을 누를 경우에도 작동된다. 이 모드에서는 버너의 기동이 중단되고 반응물 투입이 중단됨과 동시에 질소 퍼지가 이루어질 수 있도록 하였다. Shut down 모드는 시스템의 비상정지 혹은 완전 정지하기 위한 모드이며 Stop 모드에서의 동작 외에 시스템 유틸리티의 운전까지 완전히 정지가 된다.

## 2.2 수소제조장치 구성

본 연구에서 최종적으로 제작된 플레이트형 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 수소제조장치의 외형을 Fig. 2에 나타내었다. 플레이트형 수소제조장치의 경우 수소제조에 필요한 모든 반응기가 하나의 몸체로 구성되어 있으므로 전체적으로 컴팩트한 구성을 가지고 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 순수제조장치를 비롯한 수소제조장치에 필요한 모든 유틸리티를 하나의 케이스에 포함시킴으로써 컴팩트형 수소제조장치로서의 장점을 살릴 수 있도록 하였으

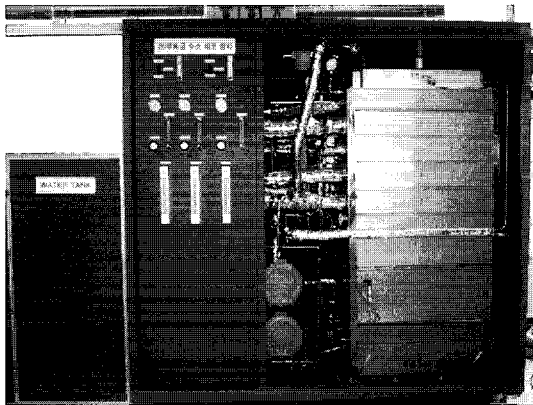


Fig. 2 Out view of 20 Nm<sup>3</sup>/hr scale plate type hydrogen generator

며 추후에 장치를 이전 설치할 경우에도 쉽게 설치가 가능하도록 고려하였다.

플레이트형 수소제조장치는 크게 반응기 부분과 냉각수 저장용 물탱크설비, 그리고 제어판넬 등 3개의 부분으로 구성되어 있다. 반응기 부분에서는 시스템 운전 전에 있어서 필수적으로 확인이 필요한 가스에 대해서는 압력과 유량을 직접 확인하고 제어할 수 있도록 압력계와 불 유량계를 설치하였다. 물탱크와 반응기 부분간의 파이프 연결을 쉽게 할 수 있도록 반응기 뒷면에 위치를 고려하여 연결 포트를 설치하였다. 반응기와 제어판넬 간에도 온도신호 및 전기공급 케이블을 착탈식으로 설계하여 이동설치의 편의성을 고려하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 시스템 부하운전에 따른 승온 특성

Fig. 3은 시스템의 운전조건 변화에 따라 개질반응기를 중심으로 관찰된 온도변화 특성을 정리하여 나타낸 것이다. 승온실험 결과에서 보면 개질반응기 입구설정온도인 750℃까지 올라가는데 약 1시간 정도 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 급격한 온도상승은 반응기에 무리를 줄 수 있기 때문에 이후 실험에서는 4시간 정도의 승온시간을 유지하였다.

개질반응기의 설계 관점은 100% 부하 조건에서 개질반응기의 온도를 설정온도로 유지해 줄 수 있느냐가 가장 중요하며 이러한 조건을 만족하면서 컴팩트형 시스템으로 구성하기 위해 반응기 크기를 최소화하는 노력이 필요하다. 20 Nm<sup>3</sup>/급 수소제조장치의 성능시험을 통하여 기존에<sup>2)</sup> 문제점이었던 개질반응기 온도 추종문제를 해결함으로써 100% 부하에서 개질반응기의 온도하락 현상없이 부하운전이 가능함을 알 수 있었다. 그리고 프리 리포머를 적용하였을 경우 개질반응에 필요한 열전달면적을 증가시킬 수 있고 또한 개질반응 효율을 증가시킬 수 있는데 기여를 하는 것을 알 수 있었다.

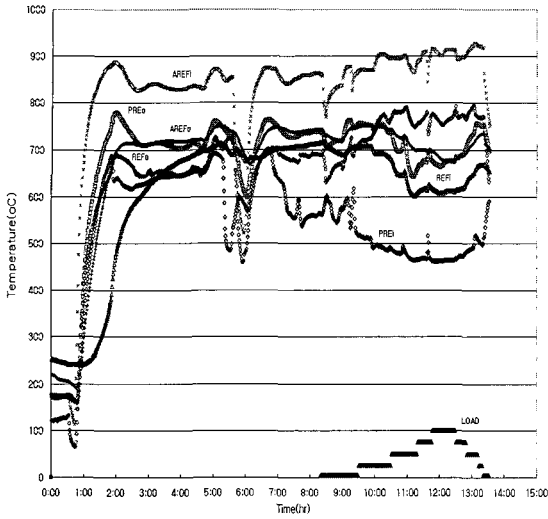


Fig. 3 Temperature profile of reformer reactor with load change (REF : reformer, PREf : pre-reformer, i : in, o : out)

시스템의 효율을 향상시키기 위하여 적용하였던 연소용 공기 예열부의 온도의 경우 부하가 증가할 경우 증기발생기로부터 나오는 연소배가스의 온도가 감소된다. 이로 인해 부하가 증가할수록 회수할 수 있는 온도가 감소하여 높은 효과를 기대할 수 없었으나 시스템의 효율향상을 기대할 수 있었다. 고온전환반응기와 저온전환반응기 그리고 탈황 흡착반응기(ZnO)의 온도는 비교적 원하는 온도범위 내에서 잘 제어가 되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 수첨탈황 반응기(HDS)의 경우 실온의 천연가스가 공급됨으로 인하여 반응기의 온도를 유지하는데 어려움이 있었으며 향후에는 천연가스를 미리 예열할 수 있도록 한 후 수첨탈황 반응기로 유입될 수 있도록 수정이 필요함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 운전조건 변화에 따른 탈황 및 전환반응기의 온도변화 추이를 나타낸 것이다. 수첨탈황 반응기(RHDSi)의 경우 부하운전 이전에 약 500°C 정도의 온도수준에서 부하운전이 시작되면 반응기의 온도가 감소하여 100% 부하에서 약 100°C까지 감소되는 현상을 보여주었다. 이러한 현상은 반응물로 유입되는 실온 상태의 천연가스가 최초로 탈황반응기로 유입되기 때문에 반응물의 유량

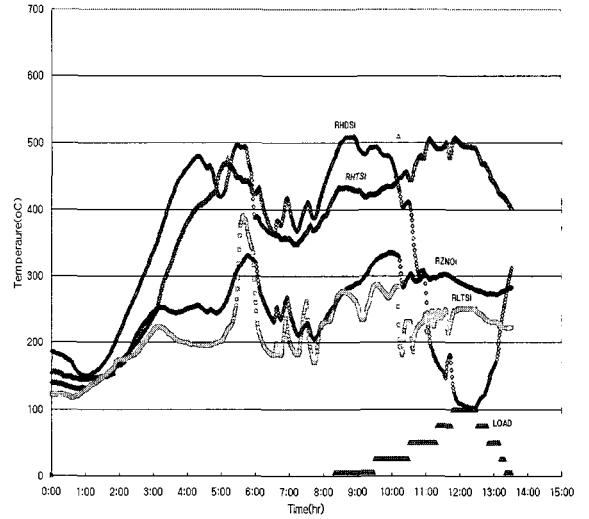


Fig. 4 Temperature profile of reactors with load change (RHDS : HTS reactor, RLTS : LTS reactor, RHDS : HDS reactor, ZNO : ZnO reactor, i : in, o : out)

이 증가됨에 따라 감소되는 것으로 판단되었다.

뿐만 아니라 수첨탈황 반응기 주위를 흐르는 배가스의 온도(AHDSi)도 부하가 증가할수록 감소되기 때문에 수첨탈황 반응기 온도 감소에 영향을 주는 것으로 판단된다. 이러한 이유로 탈황 반응기로 유입되는 천연가스 예열을 위한 고려가 필요함을 알 수 있었다.

고온전환반응기(RHTSi)의 온도변화 추이를 보면 부하가 증가할수록 반응기의 온도가 증가하는 경향을 보여주고 있다. 부하가 100%에 도달될 경우 고온전환반응기의 온도는 500°C 정도까지 상승됨을 알 수 있다. 반응기 주위를 흐르는 배가스의 온도 감소로 인해 고온전환반응기의 냉각효과를 줄 수 있지만 추가적으로 고온전환반응기의 온도를 낮추기 위한 냉각시스템이 추가로 고려되어야 함을 보여주고 있다. 반면 황흡착반응기(RZNOi)와 저온전환반응기(RLTSi)의 온도의 경우 부하변화에는 그리 큰 영향을 받지 않고 정해진 온도범위 내에서 제어가 되고 있음을 보여준다. 다만 저온전환반응기의 경우 제어온도 편차를 줄일 수 있도록 제어기 튜닝이 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

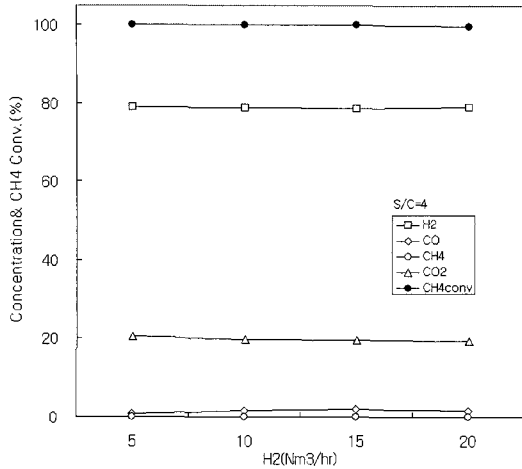


Fig. 6 Methane conversion and product concentration with load change at the steam/carbon=3.5

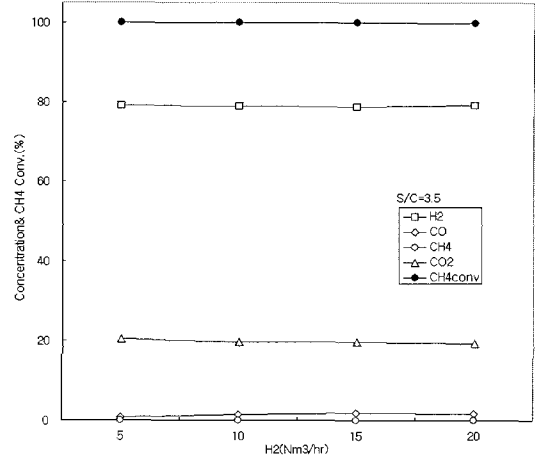


Fig. 5 Methane conversion & product concentration with load change at the steam/carbon ratio=4

### 3.2 시스템 성능 특성

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 플레이트형 수소제조장치의 부하특성 실험 시 스팀/카본비(S/C ratio)를 4와 3.5로 운전했을 때의 성능시험 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 수소제조장치의 성능시험 결과에서 보면 스팀/카본의 비가 4인 경우에 75% 부하 이하에서 메탄 전환율은 약 98% 이상의 메탄 전환율을 얻을 수 있었다. 100% 부하에서도 개질반응기의 온도가 안정적으로 유지하는 것이 가능했지만 증기발생기의 압력이 높아지는 단점이 발견되어 보안이 필요함을 알 수 있었다. 반면에 Fig. 6에 나타난 바와 같이 스팀/카본의 비를 3.5로 운전하였을 경우에는 메탄 전환율은 전체적으로 약 95% 이상으로 성능이 우수한 것으로 나타났지만 전술한 스팀/카본의 비가 4인 경우와 비교하여 메탄 전환율이 낮아짐을 확인 할 수 있었다.

이러한 이유는 수증기 개질반응에서 투입되는 스팀의 양이 증가할수록 메탄전환율이 높아지기 때문인 것으로 판단된다. 이로 인하여 본 수소제조장치를 효과적으로 운전하기 위해서는 스팀/카본의 비를 3.75 정도로 운전하는 것이 메탄전환율

을 높이면서 시스템을 안정적으로 운전하는데 적합함을 알 수 있었다.

### 3.3 시스템 효율향상 방안

플레이트형 반응기 적층구조의 수소제조장치에서 뿐만 아니라 일반적인 수증기 개질방법을 이용하는 수소제조장치에서 시스템의 전체 효율을 향상시키기 위해서는 연소배가스로부터 열을 얼마나 많이 회수할 수 있는냐가 관건이다. 본 연구에서 제작된 수소제조장치 시제품의 경우 각각의 반응기를 가열 및 예열하고 나온 최종의 배가스의 온도가 300~400℃의 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 아직도 시스템의 효율 향상을 위하여 시스템을 개선해야 할 필요성이 있다는 것을 보여주고 있다.

배가스 온도를 낮추고 시스템의 효율을 향상시키기 위한 방안으로는 첫째, 반응기로 투입되는 천연가스를 배가스를 이용하여 예열 후 탈황반응기로 유입될 수 있도록 하는 열교환기를 추가로 고려하는 것과 둘째, 최종 배가스 열교환기 개념을 이용하여 반응을 위하여 시스템으로 투입되는 물을 이용하여 최대한 배가스로부터 열을 회수하는 방법을 적용하여 시스템의 유틸리티 설계를

하는 것이 바람직하다. 또한 각각의 반응기 간의 열 균형이 맞을 수 있도록 설계하여 외부로 배출되는 열을 최소한이 되도록 유틸리티를 설계하는 것이 필요하다.

버너의 경우 메탈화이버형태의 버너 시스템은 개질반응기의 열 공급원으로서 적합하지만 다만 버너 형태의 구조로 제작하는 것이 바람직하다고 판단된다. 다만 하나의 블로워를 사용하여 각각의 버너로 유입되는 공기유량을 동일하게 유지하는데 어려움이 있을 수 있다. 이를 해결할 수 있는 적절한 방법을 적용하여 효과적인 버너제어가 되도록 하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 배가스 폐열을 이용하여 연소용 공기를 예열하는 개념에 대하여서는 효과가 있는 것으로 나타났지만 최종 시제품에서 버너별 제어 방식으로 구조 변경하는 과정에서 그 성능을 정확하게 측정할 수 없었다. 그러나 이러한 개념을 이용하게 될 경우에 시스템 효율 증가뿐만 아니라 고온전환반응기의 온도를 보다 효과적으로 제어할 수 있는 수단으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 플레이트형 반응기 적층기술에서는 이러한 개념이 반드시 반영하여 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

또한 시스템의 장기운전을 위해서는 개질반응기의 재질문제를 심각하게 고려해야 할 필요성이 있다. 장기운전에 대한 안전성을 확보하기 위해서는 현재의 SUS 재질을 내열성 재료를 적용해야 할 필요성이 있는 것을 알 수 있었다.

플레이트형 반응기 시제품 성능시험결과 개선이 필요한 부분으로 시스템 성능향상을 위한 방안으로 개질반응기 출구 쪽의 열을 증기발생기로 유입되는 물을 예열하고 있다. 그러나 좀 더 효과적인 열 회수가 가능하도록 열교환기 부분에 개선이 필요할 것으로 판단되었다. 버너부분에 있어서도 개별 제어방식을 적용하여 역화문제 없이 안정적으로 운전이 되는 것을 확인하였지만 버너의 효과적인 열량제어를 위한 제어기 개발이 필요한 것으로 판단되었다.

시스템 제어에 있어서 플레이트형 수소제조장

치 제어에 적합하도록 제어로직을 적용하여 자동 운전이 가능하도록 구성하였다. 단, 사용자 관점에서 좀 더 편리한 방법으로 제어할 수 있도록 자동제어 개념이 많이 반영되어야 할 것으로 판단되었다. 그러나 본 실험을 통하여 플레이트형 반응기 적층개념을 이용하여 20 Nm<sup>3</sup>/hr급의 수소제조장치로 스케일-업 개발이 가능함을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 천연가스를 원료로 현지에서 수소를 제조하기 위한 20 Nm<sup>3</sup>/hr급의 컴팩트형 수소 제조장치 개발을 통하여 수소스테이션에 적용하고 향후 발생하게 될 분산된 수소수요 수급에 원활히 대처하고 또한 장기적으로 50 Nm<sup>3</sup>/hr급 이상의 중대형 산업용 수소제조장치 개발을 위한 스케일-업 기술을 확보하고자 하였다.

이를 위하여 가스공사에서 기존에 개발되었던 5 Nm<sup>3</sup>/hr급 플레이트형 수소제조장치의 메카니즘을 적용하여 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 컴팩트형 수소제조장치로 개발하였다. 성능시험결과 100% 부하 조건에서 메탄 전환율을 94% 이상 얻을 수 있었고 이때 시스템 총 효율은 약 50~54% 정도가 됨을 알 수 있었다. 플레이트형 수소제조장치에 적합한 운전조건으로서 S/C의 비는 약 3.75 정도로 운전하는 것이 시스템 성능 및 안전성 측면에서 바람직함을 알 수 있었다. 성능시험 결과 시스템의 효율을 높이기 위해 일부 구조적인 개선이 필요한 것을 알 수 있었다. 하지만 플레이트형 반응기 적층개념을 적용하여 20 Nm<sup>3</sup>/hr급의 수소제조장치로 스케일 업이 가능함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 20 Nm<sup>3</sup>/hr 수소제조장치 시스템은 천연가스 개질반응에 필요한 모든 반응기를 하나로 통합하였기 때문에 기존 시스템들과는 달리 수소제조장치를 매우 단순화된 시스템이라는 것이 특징이라 할 수 있다. 따라서 향후 계속적인 시스템 개선과 성능시험을 통하여 보다 장기적인 신뢰성을 확보하고 효율을 개선함으로써



써 수소스테이션용 수소제조장치로서 완성하기 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 과기부의 프론티어 수소제조 저장 이용 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 오영삼, 조영아, “수소스테이션용 고효율 수소제조 기술개발”, 2005 신재생에너지워크샵, 서울대학교, Nov. 11, 2005.
- 2) 오영삼, 백영순, “수소스테이션용 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 수증기 개질반응기 개발 및 운전특성”, 한국수소 및 신에너지학회, 전남대학교, May 13, 2005.
- 3) 오영삼, “수소스테이션용 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 콤팩트형 수소제조장치 기술개발, 한국신재생에너지학회지, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 14-18.
- 4) 오영삼, 송택용, 백영순, “20 Nm<sup>3</sup>/hr급 콤팩트형 고효율 수소제조장치개발”, 제 1회 수소에너지 제조 저장 이용기술개발 사업단 워크샵, 제주KAL, Feb. 19, 2004.
- 5) 오영삼, 조영아, 백영순, “수소스테이션 적용을 위한 20 Nm<sup>3</sup>/hr급 개질반응기 모듈 특성 실험”, 한국수소 및 신에너지학회, 한국가스공사, Oct. 26, 2004.
- 6) 오영삼, 조영아, 백영순, “수소스테이션용 고효율 수소제조장치 개발”, 제 16회 신재생에너지워크샵, 서울과총회관, Nov. 4, 2004.
- 7) 오영삼, 송택용, 백영순, 최리상, “컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 13, No. 4, 2002, pp. 304-312.
- 8) 오영삼, “개질기 관련 기술개발 현황 및 소형 수소제조장치 개발” 공업화학 전망, Vol. 6. No. 3, 2003.
- 9) 오영삼, “연료전지용 개질기 소형화 기술”, 가스산업과기술, Vol. 6, No. 1, 2003.
- 10) “천연가스로부터 수소제조연구”, 한국가스공사 연구보고서, 2002.
- 11) 오영삼, 송택용, 백영순, 전기원, 박상언, 최리상, “5 Nm<sup>3</sup>/hr급 플레이트형 수소 제조장치 개발”, 추계 한국화학공학회 발표논문집, 서울대학교, Oct. 2002, 22-24.
- 12) 오영삼, 송택용, 백영순, 전기원, 박상언, 최리상, “5 Nm<sup>3</sup>/hr급 플레이트형 수소 제조장치 운전특성”, 제 14회 신재생에너지워크샵 발표논문집, AT center, Dec. 7-9, 2002.
- 13) 오영삼, 송택용, 백영순, 박상언, 최리상, “컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석”, 추계 한국수소및 신에너지학회 학술발표논문집, 성균관대학교, Dec. 15, 2002.
- 14) 오영삼, 송택용, 백영순 “현지 설치형 수소공급시스템을 위한 콤팩트형 소형 수증기 개질장치 설계”, 국가지정연구실 워크샵, 영남대학교, Oct. 10-11, 2003, pp. 304-312.
- 15) Y.S. Oh, T.Y. Song, Y.S. Baek, “Development of hydrogen generator for residential power generator”, NESC 2003, Busan, Korea, Nov. 10-13, 2003.
- 16) Y.S. Oh, "Development of compact NG steam reforming for H2-fueling station", Korea-UK Energy Forum, UK, Mar. 28, 2002.
- 17) 과학기술부, “수소 station용 천연가스 수증기 개질 수소제조공급시스템 기술개발”, 프론티어 수소사업단 연구보고서, 2006.