한국신·재생에너지학회 2006년도 춘계학술대회논문집 pp.37~42

# 수소스테이션용 20Nm$^3$/hr급 수소제조장치 스케일-업 및 성능시험

오 영삼[1], 백 영순[2]

# Performance test of scale-up 20Nm$^3$/hr scale hydrogen generator for hydrogen station

Youngsam Oh, Young-Soon Baek

**Key words** : Steam reformer(수증기 개질기), hydrogen generator(수소제조장치), compact(컴팩트형), plate(플레이트형)

**Abstract** : In this study, 20Nm$^3$/hr scale compact hydrogen generator which can be apply to the hydrogen station was tested for hydrogen station application. 20Nm$^3$/hr scale compact hydrogen generator was developed by upgrading concept of stacking plate reactor from former 5Nm$^3$/hr scale plate hydrogen generator. concepts for improving system efficiency and performance include such as idea of 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 rector in a compact design, introduction of back fire protection structure of plate burner and so on. We can learn that final prototype of scale-up 20Nm$^3$/hr scale compact hydrogen generator can be operated steadily in 100% road at which over 94% of methane conversion(S/C=3.75) was obtained. In case of making up the weak point, we expect that it is possible to apply to hydrogen station by way of showing an example.

## 1. 서 론

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 부각이 되고 있다. 최근 기술의 발달로 수소를 원료로 이용하는 연료전지 기술의 상용화 가능성은 이러한 수소에너지 이용에 대한 추진력을 제공해 주고 있다. 수소는 연료전지를 통하여 쉽게 전기에너지로 전환이 가능할 뿐 아니라 간헐적인 신재생 에너지원과 연계한 에너지 저장매체로서 활용이 가능하고 수소를 제조할 수 있는 수단이 다양하다는 것은 수소가 미래 에너지원으로서의 가능성을 뒷받침 해주고 있다. 향후 10년 안에 수소경제시대가 시작될 것으로 예상하고 있으며 세계 각국에서는 이를 위하여 수소를 에너지로서 이용을 위한 효과적인 수소제조 및 수송방법 개발을 위해 노력하고 있다. 현 단계에서 효과적인 수소제조방법이라고 할 수 있는 화석연료 개질의 경우 고갈에 대한 우려 및 이산화탄소 배출이 문제라고 할 수 있으나 수소경제 시대로 가기위한 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 에너지원을 이용하여 수소를 제조하기 위한 중요한 수단이라고 할 수 있으나 현재와 같이 화석연료를 이용하는 발전소로부터 생산되는 전기를 이용하는 경우 높은 운영비용과 여전히 이산화탄소 배출문제를 해결할 수 없다는 단점이 있기 때문에 원자력을 이용하는

1) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : ysoh@kogas.re.kr
Tel : (032)810-0324 Fax : (032)810-0330
2) 한국가스공사 연구개발원
E-mail : ysbaek@kogas.re.kr
Tel : (032)810-0320 Fax : (032)810-0330

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 수밖에 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 방법이 수소수송 및 저장문제를 동시에 해결할 수 있는 바람직한 방법이라고 할 수 있다. 우리나라의 경우 천연가스 전국 배관망이 구성되어 있어 천연가스를 이용한 수소공급기반이 갖추어져 있는 상태라고 할 수 있다. 향후 수소경제 시대에 진입하게 되면 기존 화석연료뿐만 아니라 신재생에너지 및 원자력 등 수소에너지 원의 적절한 Mix를 통한 효과적인 수소공급시스템이 구성되는 것이 바람직하지만 천연가스는 미래에도 중요한 수소 제조원으로서 그 역할을 할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 수소 수송문제를 해결할 수 있는 방안으로서 천연가스 인프라를 이용하여 현지에서 수소를 생산하여 수소스테이션 등 수소이용시설에 공급할 수 있는 컴팩트형 수소제조장치를 제작하고 성능시험을 수행하였다.

## 2. 20Nm$^3$/hr급 수소제조장치 개발

### 2.1 수소제조장치 설계

플레이트형 수소제조장치 개념설계에서는 기존[1-6]에 제작하였던 20Nm$^3$/hr급 개질반응기 시제품의 성능시험을 통하여 발생되었던 문제점들을 해결하는데 주안점을 두었다. 기존에 개발하였던[3] 20Nm$^3$/hr급 개질반응기 시제품의 성능시험에서는 풀 부하 조건에서도 운전이 가능함을 확인할 수 있었으나 여전히 풀 부하 조건에서 개질반응기의 열전달 문제에 있어서 부족한 점을 발견할 수 있었다. 또한 초기 20Nm$^3$/hr급 개질반응기 승온실험에서 반응기 출구 온도를 750℃까지 올리는데 약 25분 그리고 반응기 입구 온도 기준으로는 약 40분 정도 소요되는 것으로 나타났으나 개질반응기의 열팽창에 취약한 부분이 있는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구의 개질반응기 개념설계에서는 열팽창에 취약했던 부분을 보완하고 열전달 면적을 추가적으로 수 있도록 설계가 이루어 졌다. 또한 버너의 부분에서도 사선형태의 버너형태를 적용하였을 경우 버너의 안정적인 운전에 어려움이 있는 것으로 나타났기 때문에 기존에 사용하였던 평판형 형태의 버너구조로 변경할 수 있도록 하였다. 다만 기존의 경우 대 면적 버너형태의 문제점을 보완할 수 있으면서 제어성능이 우수한 다단버너 구조로 설계하는 것이 바람직하며 연소용 공기와 연료가 별도의 혼합기를 통하지 않고도 버너 내부에서 혼합될 수 있는 구조는 성능이 우수한 것으로 판단되어 이러한 개념을 계속 채택하는 방향으로 하였다. 나머지 탈황반응을 위한 HDS, ZnO 반응기와 HTS 및 LTS반응기 그리고 PROX반응기의 경우 특별한 문제점이 발견되지 않았기 때문에 기존 반응기를 그대로 활용할 수 있도록 하였다.

### 2.2 수소제조장치 제작

#### 2.2.1 반응기 및 버너 제작

수소 제조장치에서 시스템의 성능을 확보하고 열효율 향상을 위해서 가장 기본적으로 고려해야 하는 것은 버너에서 발생되는 열을 효과적으로 촉매층 내로 전달해 주는 것이라고 할 수 있다. 기존[3]에 제작되었던 개질반응기에서도 열전달 면적을 증대시키기 위하여 개질반응기를 다단형 반응기로 설계한 바 있다. 이와 같은 개념의 반응기 형태에 있어서 배가스와 개질반응기 간의 접촉시간을 증가시켜줌으로써 좀더 열전달 효과를 증대시킬 수 있다고 할 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 기존[1-6]에 제작되었던 개질반응기에 장착된 플레이트형 버너는 역화를 방지하고 효과적인 반응기 온도제어를 위하여 3개의 연소영역으로 분할하여 구성하였으며 각각의 연소영역에 연소용 공기를 공급하기 위하여 개별적인 공기공급용 블로워를 설치하여 운영되었다. 이와 같은 버너 제어방식을 이용할 경우 버너를 효과적으로 제어할 수 있다는 장점이 있지만 각각의 블로워를 제어해 주어야 하기 때문에 제어시스템이 복잡해지게 된다. 따라서 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.

### 2.2.3 주변기기 제작

플레이트형 개질기 운전을 위한 주변기기들로는 버너 및 개질반응기에 천연가스를 공급해 주기 위한 연료 및 원료 공급부, 개질반응에 필요한 물을 공급해 주기 위한 반응용 물 공급부, 플레이트형 개질기만의 특징이라고 할 수 있는 연소배가스의 유로를 변경시켜주기 위한 댐퍼 구동부, 일산화탄소의 농도를 ppm 레벨까지 낮추어주기 위한 PROX의 공기 공급부, 고온탈황 시 생성된 수소를 이용하여 탈황반응이 일어나도록 하기 위한 탈황용 수소 순환공급부, 이 외에도 반응기 예열 및 냉각부, 폐열 회수부, 물탱크, 열교환시스템, 제어부 등으로 구성된다. 본 연구에서는 플레이트형 반응기 적층기술을 이용한 수소제조장치에 적합한 주변기기를 적용하여 제작하였다.

### 2.2.4 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 수소제조장치의 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 Stop모드로 진행된다. Stop 모드는 알람이 발생되었을 경우 외에도 시스템 일시정지 목적으로 Stop모드 버튼을 누를 경우에도 작동되며 이 모드에서는 버너의 기동이 중단되고 반응물 투입이 중단됨과 동시에 질소퍼지가 이루어질 수 있도록 하였다. Shut down모드는 시스템의 비상정지 혹은 완전정지하기 위한 모드이며 Stop모드에서의 동작 외에 시스템 유틸리티의 운전까지 완전히 정지되는 되는 것을 포포함한다.

## 2.3 수소제조장치 구성

본 연구에서 최종적으로 제작된 플레이트형 20Nm$^3$/hr급 수소제조장치의 외형을 Fig. 1에 나타내었다. 플레이트형 수소제조장치의 경우 수소제조에 필요한 모든 반응기가 하나의 몸체로 구성되어 있기 때문에 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 하였으며 추후에 장치를 이전 설치할 경우에도 쉽게 설치가 가능하도록 고려하였다.

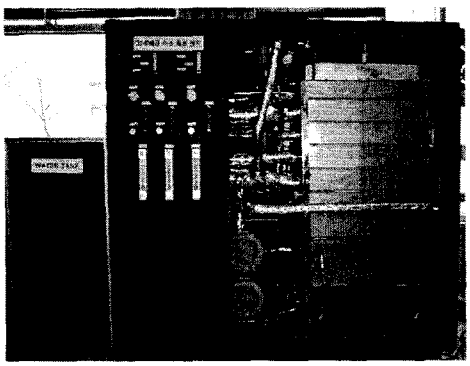

Fig. 1 Out view of 20Nm3/hr scale plate type hydrogen generator

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

## 3. 시스템 성능시험 및 결과

제작된 20Nm$^3$/hr급 수소제조장치의 성능시험에서는 승온실험과 부하특성시험이 이루어 졌으며 이러한 시험결과를 통하여 수소제조장치 스케일-업 결과에 대한 평가가 이루어 졌다.

### 3.1 시스템 승온실험

Fig. 2는 시스템의 운전조건 변화에 따라 개

질반응기를 중심으로 관찰된 온도변화 특성을 정리하여 나타낸 것이다. 승온실험 결과에서 보면 개질반응기입구온도(REFi)의 설정온도인 750℃까지 올라가는데 약 1시간 정도 소요되는 것으로 나타났다. 그러나 급격한 온도상승은 반응기에 무리를 줄 수 있기 때문에 이후 실험에서는 4시간 정도의 승온시간을 유지하였다.

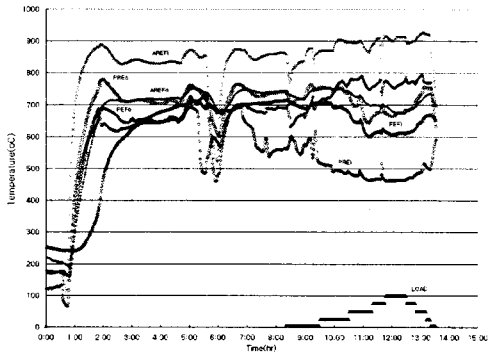

Fig. 2 Reactor temperatures with load change

개질반응기의 설계 관점은 풀 부하 조건에서 개질반응기의 온도를 설정온도로 유지해 줄 수 있느냐가 가장 중요하다고 할 수 있으며 이러한 조건을 만족하면서 컴팩트형 시스템으로 구성하기 위해 반응기 크기를 최소화 하는 노력이 필요하다고 할 수 있다. 성능시험 결과 20Nm$^3$/급 수소제조장치를 운전결과 기존[2]에 문제점이었던 개질반응기 온도추종문제를 해결함으로써 100% 부하에서 개질반응기의 온도하락 현상 없이 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.

시스템의 효율을 향상시키기 위하여 적용하였던 연소용 공기 예열부의 온도의 경우 부하가 증가할 경우 증기발생기로부터 나오는 연소배가스의 온도가 감소되기 때문에 부하가 증가할수록 온도가 감소하여 높은 효과를 기대할 수 없었으나 시스템의 효율향상을 기대할 수 있었다. 고온전환반응기와 저온전환반응기 그리고 탈황 흡착반응기(ZnO)의 온도는 비교적 원하는 온도범위내에서 잘 제어가 되고 있음을 확인할 수 있었으나 수첨반응기(HDS)의 경우 실온의 천연가스가 공급됨으로 인하여 반응기의 온도를 유지하는데 어려움이 있었으며 향후에는 천연가스를 미리 예열할 수 있도록 한 후 수첨반응기로 유입될 수 있도록 수정이 필요함을 알 수 있었다.

## 3.2 시스템 부하특성 실험

Fig. 3의 a)와 b)는 각각 20Nm$^3$/hr급 플레이트형 수소제조장치의 부하특성 실험 시 S/C의 비를 4와 3.5로 운전 했을 때의 성능시험 결과를 나타낸 것이다.

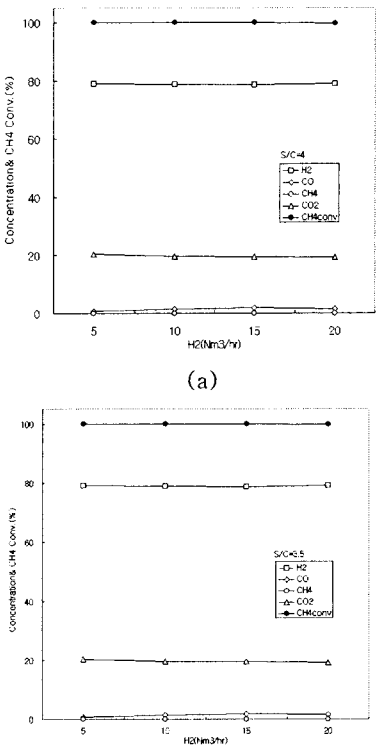

Fig. 3 Reactor temperatures with load change

20Nm$^3$/hr급 수소제조장치의 성능시험 결과에서 보면 S/C의 비가 4인 경우에 75% 부하 이하에서 메탄 전환율은 약 98% 이상의 메탄 전환율을 얻을 수 있었고 100% 부하에서도 개질반응기의 온도가 안정적으로 유지하는 것이 가능했지만 증기발생기의 압력이 높아지는 단점이 발견되어 보안이 필요함을 알 수 있었다. 반면 S/C의 비를 3.5로 운전하였을 경우에는 메탄 전환율은 전체적으로 약 95% 이상으로 성능이 우수한 것으로 나타났지만 S/C의 비가 4인 경우와 비교하여 메탄 전환율이 낮아짐을 확인 할 수 있었다. 이러한 이유는 수증기 개질반응에서 투입되는 스팀의 양이 증가할수록 메탄전환율이 높아지기 때문인 것으로 판단되며 이로 인하여 본 수소제조장치를 효과적으로 운전하기 위해서는 S/C의 비를 3.75 정도로 운전하는 것이 메탄전환율을 높이면서 시스템을 안정적으로 운전하는데 적합함을 알 수

있었다.

### 3.3 결과 및 토의

플레이트형 반응기 적층구조의 수소제조장치에서 뿐만 아니라 일반적인 수증기 개질방법을 이용하는 수소제조장치에서 시스템의 전체 효율을 향상시키기 위해서는 연소배가스로부터 열을 얼마나 많이 회수할 수 있느냐에 따라서 달려있다. 본 연구에서 제작된 수소제조장치 시제품의 경우 각각의 반응기를 가열 및 예열하고 나온 최종의 배가스의 온도가 300-400℃의 수준으로 나타났으며 이것은 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 바람직하다고 판단된다. 또한 각각의 반응기 간의 열 균형이 맞을 수 있도록 설계하여 외부로 배출되는 열을 최소한이 되도록 유틸리티를 설계하는 것이 필요하다고 판단된다.

버너의 경우 메탈화이버형태의 버너 시스템은 개질반응기의 열 공급원으로서 적합하지만 다단 버너 형태의 구조로 제작하는 것이 바람직하다고 판단된다. 다만 하나의 블로워를 사용하여 각각의 버너로 유입되는 공기유량을 동일하게 유지하는데 어려움이 있을 수 있으나 이를 해결할 수 있는 적절한 방법을 적용어서 효과적인 버너제어가 되도록 하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 배가스 폐열을 이용하여 연소용 공기를 예열하는 개념에 대하여서는 효과가 있는 것으로 나타났지만 최종 시제품에서 버너별 제어방식으로 구조 변경하는 과정에서 그 성능을 정확하게 측정할 수 없었지만 이러한 개념을 이용하게 될 경우에 시스템 효율 증가뿐만 아니라 고온전환반응기의 온도를 보다 효과적으로 제어할 수 있는 수단으로 활용될 수 있을 것으로 사료되기 때문에 플레이트형 반응기 적층기술에서는 이러한 개념이 반드시 반영하여 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 또한 시스템의 장기운전을 위해서는 개질반응기의 재질문제를 심각하게 고려해야 할 필요성이 있으며 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 예열할 수 있도록 하고 있으나 좀 더 효과적인 열 회수가 가능하도록 열교환기 부분에 개선이 필요할 것으로 판단되었다. 버너부분에 있어서도 개별제어방식을 적용하여 역화문제 없이 안정적으로 운전이 되는 것을 확인하였지만 버너의 효과적인 열량제어를 위한 제어기 개발이 필요한 것으로 판단되었다. 시스템 제어에 있어서 플레이트형 수소제조장치 제어에 적합하도록 제어로직을 적용하여 자동운전이 가능하도록 구성하였으나 사용자 관점에서 좀 더 편리한 방법으로 제어할 수 있도록 자동제어 개념이 많이 반영되어야 할 것으로 판단되었다. 그러나 본 실험을 통하여 플레이트형 반응기 적층개념을 이용하여 20Nm$^3$/hr급의 수소제조장치로 스케일-업 개발이 가능함을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

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

이를 위하여 가스공사에서 기 개발되었던 5Nm$^3$/hr급 플레이트형 수소제조장치의 메카니즘을 적용하여 20Nm$^3$/hr급 컴팩트형 수소제조장치로 개발하였다. 성능시험결과 풀 부하 조건에서 메탄 전환율을 94% 이상 얻을 수 있음을 확인할 수 있었고 이때 시스템 총 효율은 약 50-54% 정도가 됨을 알 수 있었다. 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 있었지만 플레이트형 반응기 적층개념을 적용하여 20Nm$^3$/hr급의 수소제조장치로 스케일 업이 가능함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 20Nm$^3$/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 수소스테이션용 수소제조장치로서 완성하기 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 과기부의 프론티어 수소제조 저장 이용 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

[1] 오영삼, 조영아, 박달영 "수소스테이션용 고효율 수소제조 기술개발", 2005 신재생에너지워크샵, 서울대학교, Nov. 11(2005)

[2] 오영삼, 이대환, 백영순, "수소스테이션용 20Nm$^3$/hr급 수증기 개질반응기 개발 및 운전특성", 수소및신에너지학회, 전남대학교, May 13(2005)

[3] 오영삼, "수소스테이션용 20Nm$^3$/hr 급 컴팩트형 수소제조장치 기술개발, 한국신재생에너지학회지, Vol.1 No.1 pp.14-18(2005)

[4] 오영삼, 송택용, 백영순, "20Nm$^3$/hr급 컴팩트형 고효율 수소제조장치개발", 제1회 수소에너지 제조 저장 이용기술개발 사업단 워크샵, 제주 KAL, Feb. 19(2004)

[5] 오영삼, 박종원, 조영아, 백영순, "수소스테이션 적용을 위한 20Nm$^3$/hr급 개질반응기 모듈 특성실험", 한국수소및신에너지학회, 한국가스공사, Oct. 26 (2004)

[6] 오영삼, 박종원, 조영아, 백영순, "수소스테이션용 고효율 수소제조장치 개발", 제16회 신재생에너지워크샵, 서울과총회관, Nov. 4 (2004)

[7] 오영삼, 송택용, 백영순, 최리상, "컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석", 한국수소및신에너지학회 논문집, Vol. 13, No. 4, pp304-312(2002)

[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, "5Nm$^3$/hr급 플레이트형 수소 제조장치 개발", 추계 한국화학공학회 발표논문집, 서울대학교, Oct. 22-24(2002)

[12] 오영삼, 송택용, 백영순, 전기원, 박상언, 최리상, "5Nm$^3$/hr급 플레이트형 수소 제조장치 운전특성", 제14회 신재생에너지워크샵 발표논문집, aTcenter, Dec. 7-9(2002)

[13] 오영삼, 송택용, 백영순, 박상언, 최리상, "컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석", 추계 한국수소에너지학회 학술발표 논문집, 성균관대학교, Dec.15(2002)

[14] 오영삼, 송택용, 백영순 "현지 설치형 수소공급시스템을 위한 컴팩트형 소형 수증기 개질장치 설계", 국가지정연구실 Workshop, 영남대학교, (2003. 10.10-11)

[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 $H_2$-fueling station", Korea-UK Energy Forum, UK, March.28(2002)