

컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석

오영삼, 송택용*, 백영순*, 최리상**

*한국가스공사, **(주)경동 도시가스

Efficiency Analysis of Compact Type Steam Reformer

Young-Sam Oh*, Taek-Yong Song*, Young-Soon Baek*, Lee-Sang Choi**

*LNG Technology Research Center, Korea Gas Corporation, Dongchun-Dong,
Yeonsu-Ku, Incheon 406-130, Korea

**KyungDong City Gas Co. Ltd, 939, JinJang-Dong, Bur-Gu, Ulsan, 683-350, Korea

ABSTRACT

In this study, the performance of the 5Nm³/hr compact type steam reformer which was developed for application of fuel cell or hydrogen station was evaluated in terms of gas process efficiency. For these purposes, reforming efficiency and total efficiency with system load change were analyzed. The reforming efficiency was calculated from the total molar flow of hydrogen output over total fuel flow input to the reformer and the burner on the higher heating value(HHV). In the case of the total efficiency, recovered heat at the heat recovery exchanger was considered. From the results, it was known that system performance was stable, because methane conversion showed the a slight decline which is about 2% though increasing system load to full. Reforming efficiency was increased from 20% to 58%, respectively as increasing system load from 10% to 90%. It was found that total efficiency was higher than reforming efficiency because of terms of heat recovered. As a results, it was known that total efficiency was increased from 75% to 83% at the 10% and 90% system load, respectively. From these results, it is concluded that compact steam reformer which is composed of stacking plate-type reactors is suitable to on-site hydrogen generator or to fuel cell application because of quick start within 1 hr and good performance.

주요기술용어 : Reformer(수증기 개질기), On-site(현지설치), Compact(컴팩트), Plate(플레이트), Efficiency(효율), Hydrogen(수소), Fuel processor(연료 처리장치)

1. 서 론

수소는 청정에너지라는 인식으로 인하여 전

세계가 환경문제로 고심하고 있는 지금 차세대
의 에너지로서 기대가 되고 있는 에너지원이다.
그러나 수소는 특성상 다루기 힘들고 또한 운반

의 어려움 때문에 수소수요의 대부분은 대용량 수소 제조설비에 의하여 제조된 수소 혹은 공정의 부산물로서 생성되는 수소에 의해서 충족되어 왔다. 현재 사용되고 있는 수소 중 반 정도는 천연가스 혹은 탄화수소의 개질에 의해 얻어지고 있으며, 그 외 나프타 개질, 석탄 가스화, 전기분해 및 바이오매스로부터 생산되고 있다^{1,2)}. 그러나 여러 가지 기술상의 제약조건 들로 인하여 앞으로 수 십년 동안 수소 수요의 대부분은 천연가스와 같은 기존 화석연료의 개질을 통하여 공급될 수밖에 없는 실정에 있다³⁾. 천연가스는 탄소 수 대비 수소의 수가 높아서 수소제조 원으로서 적합한 특성을 가지고 있으며, 특히 배관망으로 공급되기 때문에 설치장소를 쉽게 선정할 수 있어서 현지 설치형 수소 제조장치의 원료 공급원로서 적합하다고 할 수 있다.

최근 들어서 연료전지 등 수소를 이용하는 신기술들의 상용화가 가시화됨에 따라 소규모의 연속적인 수소 공급장치에 대한 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 앞으로 폭발적으로 증가할 것으로 예상되는 수소수요에 대응하기 위해서는 천연가스를 이용하는 현지 설치형 수소 제조장치 개발이 무엇보다 필요한 시점에 와 있다고 할 수 있다. 이전까지는 200 Nm³/hr 이상의 규모로 경제성에 초점을 두어 디자인되어 왔던 수증기 개질장치는 현재 가정용 연료전지에 적합한 소규모의 컴팩트형의 수소 제조장치 개발에 초점이 맞춰져 있다.

이와 관련하여 국내 연료전지 관련 연구는 89년 말 부터 본격적으로 이루어져 왔으나 대부분의 연구는 연료전지 스택 개발에만 중점을 두었으며, 개질기 및 기타 주변기기에 대한 필요성은 간과해 왔던 것이 사실이다. 2000년대에 들어서 국내에서도 현지 설치형 수소 제조장치의 중요성을 파악하여 컴팩트형 수소 제조장치 개발에 대한 시도들이 이루어지고 있다. 외국의 경우 일본, 미국, 독일을 중심으로 천연가스를 원료로 하는 가정용 연료전지 적용을 위한 1-5Nm³/hr 급 소형 컴팩트형 수소 제조장치 모델이 개발되

어 2002년 4월 독일 하노버 박람회에서 발표된 바 있다. 또한 앞으로 차량용 수소 스테이션 등과 같이 소규모로 연속적인 수소공급을 필요로 하는 분산된 수소 수요가 급격히 증가할 것으로 예상됨에 따라 이미 일본에서는 20-60Nm³/hr급의 다양한 모델의 소형 수소 제조장치 모델을 이미 개발해 놓은 상태이다.

본 연구진은 2000년부터 급변할 것으로 예상되는 수소 수요에 대처하기 위하여 소형 수소제조장치 개발에 초점을 맞추어 연구를 수행하여 왔다^{4~12)}. 그 결과 2001년에 원통형의 컴팩트형 수소 제조장치 개발에 이어 2002년에 이의 단점을 보완한 플레이트형 수소 제조장치 모델을 개발 완료하였다. 본 연구에서는 플레이트형 수증기 개질장치 시제품의 연속운전을 통하여 시스템의 성능 특성을 관찰하고 또한 시스템의 운전 성능과 효율을 분석함으로써 시스템의 개선점을 파악해 보고자 하였다. 이를 위하여 시스템의 부하변화에 따른 시스템의 개질효율과 종합 에너지효율을 분석하고 앞으로 현지 설치형 수소 공급장치 모델로서의 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 시스템 구성

Fig. 1. 5Nm³/hr compact type steam reformer.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 천연가스를 이용하여 시간당 5Nm³의 수소 연속적으로 제조할 수 있도록 제작된 콤팩트형 수증기 개질장치를 이용하였다. 개발된 콤팩트형 수증기 개질장치는 개질반응기 및 전환반응기 등 각각의 반응기들을 플레이트형으로 제작하여 적층하는 구조로 되어있다. 이와 같은 반응기 적층구조는 2001년에 개발되었던 원통형 수증기 개질장치의 운전 결과에서 전환반응기 예열에 별도의 전원을 이용해야 하는 비효율적인 반응기 예열방법의 개선과 예열시간이 많이 소요되는 단점을 해결하기 위하여 고안된 구조이다. 반응기 적층구조에서는 평판형의 메탈화이버 버너를 가장 하단에 두고 버너의 상단에 높은 온도가 필요한 순서대로 개질반응기와 수증기 발생기를 차례로 배치하고 점차 낮은 온도가 요구되는 고온 및 저온 전환반응기의 순서로 배치하여 버너에서 발생되는 연소열을 온도대별로 효과적으로 이용하면서

각각의 반응기들이 가열 및 예열이 되게 된다. 또한 연료중의 황 성분을 제거하기 위한 탈황반응기와 일산화탄소를 추가적으로 제거하기 위한 선택적 일산화탄소 제거기(PROX)를 선택적으로 설치할 수 있도록 하였다. 이러한 적층구조를 통하여 열의 자연스러운 흐름을 이용함으로써 에너지 이용효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 반응기들을 통합함으로써 수증기 개질장치의 콤팩트화와 소형화를 통하여 현지설치형으로서의 장점을 가질 수 있도록 하였다. 이와 같은 콤팩트형 수증기 개질장치는 소규모의 연속적인 수소 공급이 필요한 곳에 바로 설치하여 수소를 공급하기 위한 수소 스테이션으로 이용할 수 있으며, 특히 연료전지의 수소 공급원으로 적합하다고 할 수 있다.

Table 1은 본 연구에서 사용된 콤팩트형 수증기 개질장치의 특징을 요약한 것이다. 개질반응기 본체는 600x400x 800(LWH)의 크기로 제작되었다. 시스템의 콤팩트화를 위하여 유틸리티설비인 물탱크, 블로워, 물펌프, 열교환기 및 PROX반응기들은 1,000x1,000x1,100 크기의 케이스 안에 배치하였다. 또한 시스템 컨트롤을 위하여 PLC모듈과 인버터 등 기타 컨트롤을 위한 설비들은 500x700x1,400크기의 별도의 컨트롤 박스 안에 배치하여 전체적으로 최대한 콤팩트한 구성이 되도록 고려하였다. 시스템 냉각은 공기 냉각방식을 선택하였으며 기동 및 정지시 필요한 질소와 반응에 필요한 연료, 증류수, 그리고 PROX반응에 필요한 공기의 공급을 제외하고 최대한으로 유틸리티가 필요 없도록 함으로써 현지 설치형 수소 제조장치로서의 강점을 가질 수 있도록 하였다. 또한 시스템에 필요한 전력은 최대 부하 시 최대 약 1.1kW 정도의 전력만이 필요하기 때문에 별도의 전기설비가 요구되지 않는 것도 특징이라 할 수 있다.

시스템의 효율분석을 위하여 버너로 유입되는 연료의 양은 적산유량계(Shinakawa seiki Co. DS-2)를 이용하여 측정하였으며, 개질을 위해 투입되는 메탄 양과 물의 양은 시스템에 설치된

Table 1. Characteristics of compact type steam reformer

Item	Characteristics
Capacity	exit H ₂ base 5 Nm ³ /hr
Size	main(LWH) 1000×1000×1100 control(LWH) 500×700×1400
Weight	main 360 kg control 50 kg
Type	compact & plate
Start time	1 hr(cold start)
Fuel	LPG or NG
Raw material	CH ₄ and D.I water
Operating pressure	0.9-1.2kg/cm ² (gauge)
Utility	electricity 1.1 kW(full load) purge N ₂ , 4kg/cm ² cooling air cooling type

질량유량계(Tylan)와 물 펌프(Fluid metering INC.) 각각의 보정곡선을 이용하여 계산하였다. 시스템 성능 실험 시 수증기와 메탄의 비는 3으로 고정하였고, 개질반응기 층의 온도는 750°C로 일정하게 유지하였으며, 이를 위하여 버너로 투입되는 연료는 자동제어방식(PLC, Siemse)을 통하여 제어되도록 구성하였다. 배가스 분석은 가스크로마토그래피(HP6890)의 Carboxen1000 컬럼과 TCD를 이용하여 분석하였다.

3. 시스템 운전

시스템의 부하 운전은 반응기 예열단계에서부터 시작된다. 운전절차를 보면 먼저 반응기 쪽으로 약 20L/min정도의 질소를 흘리면서 버너 측에 연료 혼합가스를 투입하여 점화시키면 메탈화이버 버너에서 발생하는 고온의 배열과 적외선에 의하여 반응기 가열이 시작된다. 버너의 온도는 버너 상단에 위치한 T/C에 의해서 온도에 의하여 제어가 되며 버너의 점화확인도 연료가 투입되는 동안 온도상승 여부에 의하여 판단되도록 하였고 연료가 투입중인데 온도상승이 감지되지 못하면 안전을 위하여 시스템이 비상 정지하도록 되어있다. 개질반응기의 온도 상승 시 여러 단계로 설정하여 시스템의 온도가 전체적으로 안정적으로 상승될 수 있도록 하였다. 온도 설정은 최초 500°C에 도달된 후 잠시 멈추었다가 다시 700°C로 설정되며 최종적으로 안정되게 750°C로 도달되도록 전체3단계에 걸쳐 개질반응기의 온도를 상승시켰다. 질소 및 반응물의 투입은 미리 정해진 설정온도에 의하여 이루어지며 특히 물의 투입은 개질반응기의 온도가 700°C에 도달되었을 때 투입하여 시스템을 미리 안정화시키고 개질반응기의 온도가 750°C에 도달되면 메탄을 투입시켜 개질반응이 일어나도록 하였다. 이때 개질반응기가 750°C에 도달되는 시점은 약 1시간 정도 경과 후에 도달되며, 이때 고온 및 저온 전환반응기의 온도는 각각 목표온도인 400°C와 200°C에 도달하게 됨을 관찰할 수 있다. 전

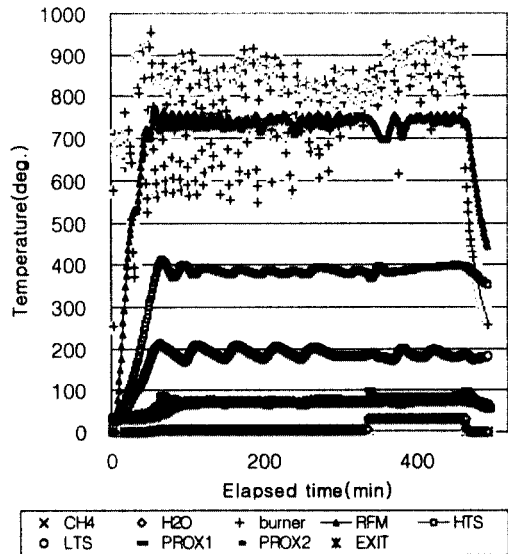


Fig. 2. Temperature profile of 5Nm³/hr plate type hydrogen generator with elapsed time, S/C ratio=3, SR reactor Temp.=750°C.

환반응기가 목표온도에 도달되면 버너에서 발생하는 고온의 배열은 전환반응기를 거치지 않도록 하여 더 이상의 열이 전환반응기로 유입되는 것을 방지하였으며 반응과정에서 발생하는 반응열로 인하여 설정온도보다 상승되었을 경우에는 찬 외기를 투입하여 전환반응기를 냉각시킬 수 있도록 시스템을 구성 및 제어하였다.

4. 시스템 부하운전 특성 분석

Fig. 2는 수증기와 메탄의 비를 3(이하 수증기 메탄 비는 3)으로 유지하고 부하를 0에서 100% 부하까지 변화시키면서 연속운전을 했을 경우 반응기 각 부위에 대한 온도변화 추이를 나타낸 것이다. 시스템 내에 질소로 퍼지하면서 버너를 점화하여 기동을 시작한지 약 50분정도 경과 후에 개질반응기의 설정온도인 750°C에 도달됨을 알 수 있다. 또한 약 10분 뒤인 60분 경과 후에 각각 고온 및 저온 전환반응기의 설정온도인 400°C와 200°C에 도달됨을 알 수 있었다. 따라서 운전 시작 후 1시간 정도면 충분히 시스템 예열

이 완료되어 부하운전이 가능함을 보여주고 있으며 이와 같이 빠른 기동시간을 가지는 것이 이번에 개발된 플레이트형 수증기 개질장치의 가장 큰 특징이라고 할 수 있다.

반응온도에 도달된 후 시스템의 부하를 0에서 100까지 변화를 시키면서 각각의 부하조건에서의 연료소모량과 배가스 성분을 각각 유량계와 GC를 통하여 측정 및 분석하였다. 운전결과에서 보면 개질반응기와 전환반응기의 온도가 규칙적인 현탕 현상이 있는 것을 알 수 있다. 이것은 전체적으로 부하변화에는 관계없이 PLC 제어 상 버너온도 제어를 위한 PID 제어 변수 값이 적절하지 않기 때문인 것으로 나타났다. 이러한 상황은 최적의 PID 제어변수를 찾아 적용하면 해결될 것으로 판단된다.

Fig. 3은 시스템의 부하를 점차 증가시키면서 연속운전 했을 경우 출구의 농도변화를 나타낸 것이다. 배가스 농도를 보면 부하변화에 관계없이 거의 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 또한 반응기의 온도에 현탕에도 불구하고 배가

스 조성에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이것은 반응기 내의 촉매층이 열용량이 커서 약간의 온도현탕 효과를 감쇠하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 플레이트형 수증기 개질장치 배가스 중의 수소, 일산화탄소, 메탄 및 이산화탄소의 각 부하별 평균치 값을 나타낸 것이다. 시스템의 부하가 증가할수록 가스 중의 수소와 이산화탄소 농도변화는 부하변화에 따라 약간 감소되는 경향을 보이나 2%정도로 거의 변화가 없음을 보여주었다. 단지 부하가 증가할수록 일산화탄소와 메탄의 농도가 약간 증가하는 경향을 보여주었으나 90%의 부하에서도 메탄과 일산화탄소의 농도는 각각 0.4%와 0.7% 정도로 이전 연구^{13,15)}와 비교하여 우수한 결과임을 알 수 있었다.

Table 2는 90% 부하 운전시 분석된 배가스 조성과 HYSYS 분석결과 계산된 조성을 수분을 제외한 건조기준으로 비교하여 나타낸 것이다. HYSYS를 통한 개질반응 모사 시 반응조건으로 수증기/메탄의 비를 3 그리고 개질반응기의 온

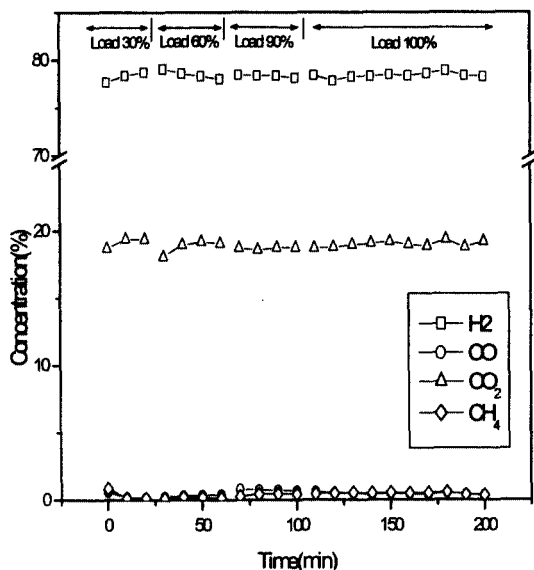


Fig. 3. Composition of the product gas from 5Nm³/hr plate type hydrogen generator with load changes, S/C ratio=3, SR reactor Temp.=750°C.

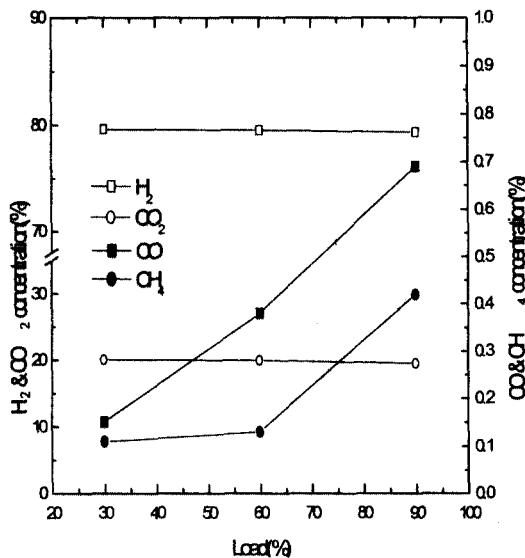


Fig. 4. Concentration changes of the product gas from 5Nm³/hr plate type hydrogen generator with load change, S/C ratio=3, SR reactor Temp.=750°C.

Table 2. Exit composition of real operation data at 90% load and HYSYS simulation result (dry basis)

Concentration(%)	90% Load	HYSIS
H ₂	79.40	79.94
CO	0.75	0.34
CH ₄	0.39	0
CO ₂	19.45	19.72
CH ₄ conv.	98.08	100

도는 750°C, 1 atm으로 시스템의 실제 운전조건과 동일하게 설정하였으며 고온 및 저온 전환반응기의 온도도 각각 400°C와 200°C로 동일하게 설정하였다. 또한 모사 모델식으로는 Peng Robinson식을 사용하였고 개질반응 및 고온 및 저온 전환반응기는 평형반응기로 가정하였다.

실제 운전 결과와 HYSYS 모사결과를 보면 실제 운전결과에서 미반응 메탄이 0.39%이고 일산화탄소의 농도가 0.75%로 분석되었으며 이러한 결과는 HYSYS의 모사 결과와 매우 유사한 결과를 얻었음을 확인할 수 있다. 또한 실제 운전결과에서 메탄 전환율이 98%정도로 시스템의 개질성능이 매우 우수한 것을 알 수 있으며 이러한 결과는 HYSYS에서 계산된 열역학적 평형치에 근접한 결과임을 보여주고 있다.

5. 시스템 효율분석

시스템 효율분석을 위하여 시스템을 10%의 부하에서 유지시키고 시스템이 안정화된 것을 확인한 후에 부하를 10%에서 90%까지 올리면서 각각의 부하에서 안정화 되었을 때 30분간 소모되는 연료량과 배열회수 열교환기에서 회수되는 회수열을 측정하여 효율을 분석하였다.

Fig. 5는 시스템의 부하를 변화시키면서 측정된 시스템의 개질효율과 종합효율 결과를 나타

Fig. 5. Reforming & total energy efficiency with load change, conditions; S/C ratio=3, Steam reactor Temp.=750°C.

낸 것이다. 이때 시스템의 개질효율 η_{ref} 은 아래(식) 1과 같이 투입된 원료와 연료의 발열량의 합에 대하여 생성된 수소의 발열량의 비로 계산하였으며¹⁴⁾ 종합 효율 η_{total} 은 (식) 2와 같이 투입된 원료와 연료의 발열량의 합에 대하여 수소 발열량과 시스템에서 회수되는 열량의 합의 비로 계산하였다

$$\eta_{ref} = \frac{n_{H_2} \cdot HHV_{H_2}}{n_{CH_4, ref} \cdot HHV_{CH_4} + n_{C_3H_8, burn} \cdot HHV_{C_3H_8}} \quad (1)$$

$$\eta_{total} = \frac{n_{H_2} \cdot HHV_{H_2} + Heat_{recovered}}{n_{CH_4, ref} \cdot HHV_{CH_4} + n_{C_3H_8, burn} \cdot HHV_{C_3H_8}} \quad (2)$$

여기서, n_{H_2} , n_{CH_4} , $n_{C_3H_8}$ 은 각각 생성되는 수

소와 개질을 위한 메탄 그리고 버너에 사용된 프로판의 몰유량(mol/hr)를 의미하며 HHV_{H_2} , HHV_{CH_4} 그리고 $HHV_{C_3H_8}$ 은 각각 수소, 메탄 그리고 프로판의 고위발열량(kcal/mol)을 의미한다. $Heat_{recovered}$ 는 반응기 최상단에 위치한 열회수 열교환기에서 연소배가스와 최종적으로 열교환된 냉각수 입출구 온도차로 계산되는 열을 의미한다. 또한 본 연구에서 버너에 사용되는 연료로서 프로판을 사용하였기 때문에 메탄과 프로판의 발열량이 동시에 고려되었다.

개질효율은 시스템의 부하가 10%일 때 20% 정도 이던 것이 90% 부하에서는 58%로 증가되었으며, 부하가 증가함에 따라 개질효율이 점차 증가되는 것으로 나타났다. 이는 시스템이 운전되기 위해 일정 수준 이상의 연료가 소모되기 때문에 시스템의 부하가 낮을수록 개질효율이 낮게 계산되기 때문인 것으로 판단된다. 반면 종합효율의 경우 낮은 부하에서 75% 정도인 것으로 나타났으며 90% 부하에서는 83%까지 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 부하 증가량에 비해 폐열 증가량이 작다는 것을 의미하며 따라서 배가스에서 회수되는 열량이 부하 변화에 크게 영향을 받지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 플레이트형 수소제조장치에서 버너에서 발생하는 열의 소모되는 흐름을 분석하여 나타낸 것이다.

분석결과 버너에서 발생하는 열중 약 33%는

수증기제조와 메탄을 예열하는데 사용되는 것으로 나타났고 개질반응에 필요한 열로서 약 29%가 사용되는 것으로 나타났다. 나머지 약 36%의 열은 배기구를 통하여 배출되며 이중 30%는 고온 및 저온전환반응기 예열과 폐열회수 열교환기에서 흡수되고 나머지 약 6%의 열만이 연도를 통하여 배출되는 것으로 나타났다. 이전의 연구에서 개발되었던 원통형 개질기의 경우 연도를 통하여 배출되는 열의 양은 약 47%로서 버너에서 발생하는 열중 거의 반 정도를 연도를 통하여 버려졌던 것과 비교하여 플레이트형 개질기에서는 열을 보다 효율적으로 사용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 플레이트형 수소제조장치에서도 개질반응에 사용되는 열은 30%정도인 것을 감안하면 여전히 개질반응에 사용되는 열이용효율을 높여야 할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

개질효율은 단위열량을 이용해서 얼마만큼 많은 양의 수소를 얻을 수 있는지를 표현해 준다. 따라서 개질효율을 상승시키기 위해서는 버너에서 발생하는 열을 효과적으로 그리고 최대한 개질반응기로 전달해 주어야 한다. 또한 개질반응기에서도 개질 촉매층까지 얼마만큼 열을 잘 전달해 줄 수 있는지가 개질효율을 높일 수 있는 중요한 포인트라고 할 수 있다. 이를 위해서 개질반응기층을 가능한 얇게 설계하여 열 전달율을 높여주거나 반응가스 반응물의 체류시간을 더 늘어나도록 설계함으로써 열전달 효과를 높일 필요성이 있다. 그러나 콤팩트화를 위해서는 공간적인 제약조건이 있기 때문에 적절한 적용이 필요할 것으로 판단된다. 또한 현재의 반응기 시스템에서는 열효율을 높이기 위해서는 반응기를 둘러싸고 있는 외벽을 통하여 발생하는 열손실을 좀 더 줄여야 할 필요성이 있는 것으로 나타났다. 그리고 또 하나의 개선 포인트로서 시스템에 적합한 제어로직과 제어시스템 구성이 필요하다는 것이다. 반응물의 양이 변하는 조건에서도 개질반응기의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 버너의 열량을 얼마만큼 잘 제어하느냐

Fig. 6. Heat flow of plate type hydrogen generator.

가 무엇보다 중요하며, PLC를 이용한 제어보다는 전용 제어를 개발하여 적용할 필요성이 있다고 판단되었다. 전용 제어가 개발될 경우 시스템의 가격을 많이 낮출 수 있어서 그만큼 가격 경쟁력도 높아질 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 컴팩트형 수증기 개질장치의 부하변화에 따른 연속운전 실험을 통하여 시스템의 성능 특성을 관찰하고 또한 시스템의 운전 성능과 효율을 분석함으로써 시스템의 개선점을 파악해 보고자 하였다.

컴팩트형 수증기 개질장치 운전결과, 각각의 반응기들이 통합된 구조로 되어 있고 또한 버너의 열을 이용하여 개질에 필요한 열을 공급함과 동시에 각각의 반응기들을 예열하는 구조로 되어 있기 때문에 1시간 정도의 빠른 기동이 가능하고 또한 부하변화에 따른 응답성이 빠른 것을 알 수 있었다.

시스템 성능 측면에서 보면 90% 부하에서 98%정도로 이론적인 메탄 전환율과 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 부하변화에 따른 메탄전환을 변화를 보면 부하가 증가하면 메탄 전환율은 약간 낮아지는 경향을 보이거나 전체적으로 보면 그 변화폭은 2% 미만으로 매우 안정적으로 시스템이 운전되는 것을 알 수 있었다. 개질효율은 10% 부하에서 20%정도 그리고 90% 부하에서 58% 정도로 부하 증가에 따라 개질효율도 증가하는 것으로 나타났다. 종합 효율은 10% 부하에서 75% 로 나타났으나 90% 부하에서는 83%까지 증가하는 것으로 나타났다.

상기와 같은 결과를 통하여 플레이트형 반응기를 적층하는 형태로 구성된 본 컴팩트형 수증기 개질장치의 우수성을 확인할 수 있었으며, 앞으로 현지 설치형으로 수소를 공급하거나 또는 연료전지의 수소 공급장치로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) Office of Power Delivery et.al. : "A Multilayer plan for the Hydrogen R&D program," Aug, 1999.
- 2) M. A. Peña, J. P. Gómez and J. L. Fierro : "New catalytic route for syngas and hydrogen production," Applied Catalysts A, Vol.144, 1996, pp. 7-57
- 3) M. Lohr and I. Heil : "Compact hydrogen generation," Hydrocarbon Engineering, No. 42. 2002, pp. 79-80.
- 4) 노현석, 전기원, 박상언, 오영삼, 백영순, 최리상 : "수소제조를 위한 개질촉매개발," 한국수소에너지학회 춘계학술대회는 문집, 2001, pp. 141-145.
- 5) 동문생, 노현석, 전기원, 박상언, 오영삼, 최리상 : "담지된 니켈 촉매상에서 메탄으로부터 합성가스의 제조," 한국화학공학회 춘계학술발표 논문집, 2001, pp. 85-90.
- 6) 오영삼, 송택용, 백영순, 전기원, 박상언, 최리상 : "천연가스로부터 수소제조를 위한 수증기 개질촉매 특성연구," 한국가스학회 추계학술대회논문집, 2001, pp. 225-230.
- 7) 유중문, 노현석, 백승찬, 전기원, 박상언, 오영삼, 최리상 : "세타-알루미나 담지 니켈 촉매상에서 메탄 부분산화 반응의 메카니즘 고찰," 한국화학공학회 추계학술대회논문집, 2001, pp. 2541-2544.
- 8) 노현석, 전기원, 박상언, 조영일, 오영삼 : "세륨-지르코니아 담지 니켈촉매상에서 메탄 개질반응," 한국화학공학회 추계학술대회논문집, 2001, pp. 2537-2540.
- 9) 오영삼, 송택용, 백영순, 전기원, 박상언, 최리상 : "메탄 수증기 개질장치 설계를 위한 촉매활성특성연구," 한국수소에너지학회 추계학술대회논문집, 2001. pp. 52-60.
- 10) W.S. Dong, H.S. Hoh, K.W. Jun, S.E. Park

- and Y.S. Oh : "Methane Reforming over Ni/Ce-ZrO₂ Catalysts: Effect of Nickel Content," Applied Catalysis A; General Vol.226, 2002, pp. 63-72.
- 11) 노현석, 전기원, 백승찬, 오영삼, 백영순 : "Ni/Ce-ZiO₂/θ-Al₂O₃ 촉매상에서 메탄 개질 반응," 한국화학공학회 춘계학술대회논문집, 2002, pp. 113-117.
- 12) 오영삼, 송택용, 백영순, 전기원, 최리상 : "5Nm³/hr급 플레이트형 수소 제조장치 운전특성," 제14회 신재생에너지 워크샵 논문집, 2002, pp. 315-321.
- 13) 정성재 : "LNG를 이용한 On-site 수소생산 기술," 제11회 신재생에너지 워크샵 논문집, 1999, pp. 22.
- 14) A. Heinzl, B. Vogel, P. Hubner : "Reforming of natural gas-hydrogen generation for small scale stationary fuel cell systems", Journal of power sources, Vol.105, 2002, pp. 202-207.
- 15) 서혜경, 고준호, 임희천, 정성재 : "2kW급 MCFC용 평판형 개질기 운전결과," 한국수소에너지학회, Vol.13, No.2, 2002, pp. 159-167.