2004 Annual Program Review Proceedings에 소개된 micro fuel processor 관련 자료 요약

한국에너지기술연구원
이승재

The US DOE Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program에서는 2004 Annual Program Review Meeting을 2004년 5월 24-27일에 Pennsylvania의 Philadelphia에서 개최하였다. 여기에서는 수소의 생산과 저장 및 연료전지에 관련된 기술들에 대한 연구 진행 상황이 소개되었으며, 이들 중 micro fuel processor와 관련된 자료들의 연구목적 (목표), 개발된 micro fuel processor, 결론 등을 요약하여 소개하고자 한다. 자세한 내용은 http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/2004_annual_review.html 을 참고하기 바란다.

1. "Novel Catalytic Microchannel Fuel Processing Technology", P. M. Irving, Innovatek, Inc.

1.1 연구목표

- Fuel Processor Capital Costs – 2010 target of $0.24 per kg H_2
- Operation and Maintenance – 75% Target primary energy efficiency
- Feedstock and Water Issues – Fuel-flexible reformer & water recycle
- Control & Safety – optimized operations, e.g. on-off cycling; enhanced consumer safety

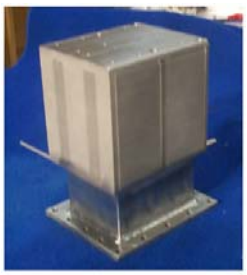
1.2 개발내용

Innovatek, Inc.에서는 micro fuel processor 시스템을 구성하는 각각의 unit들은 다음과 같이 제작하여 테스트 되었다.

Fuel Injector
Reduces coke formation, the #1 reforming problem

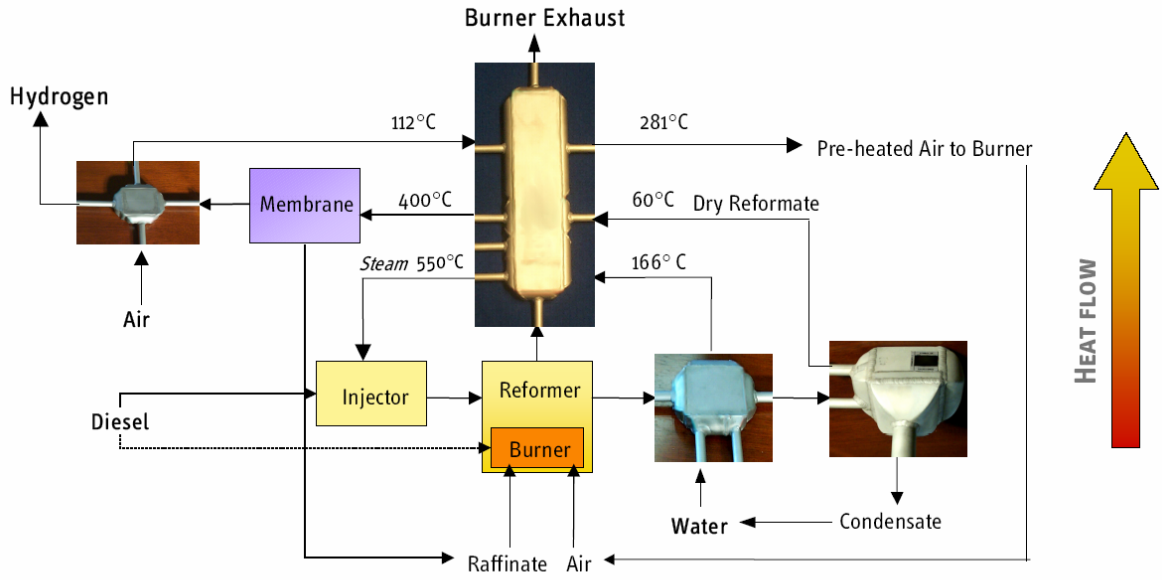
Heat Exchanger
1 of 4 types that reduce thermal loss

Individual Reactor shim plate
1 of 5 types that are diffusion bonded



5-kW Micro-Channel Reactor with Integrated Burner
40% smaller than conventional reactor

위의 각 유닛을 이용한 micro fuel processor의 개발을 목표로 하여 다음과 같은 시스템을 개발하였다.



Schematic of the InnovaGen® Fuel Processor with Heat Exchangers

1.3 연구결과

마이크로 구조화된 유닛을 사용하여 에너지 효율성과 체류시간 등을 개선함으로써, 장치의 소형화, 경제성, 효율성 등을 향상 시킬 수 있었다.

2. “Fuel Processors for PEM Fuel Cells”, Levi Thompson, University of Michigan

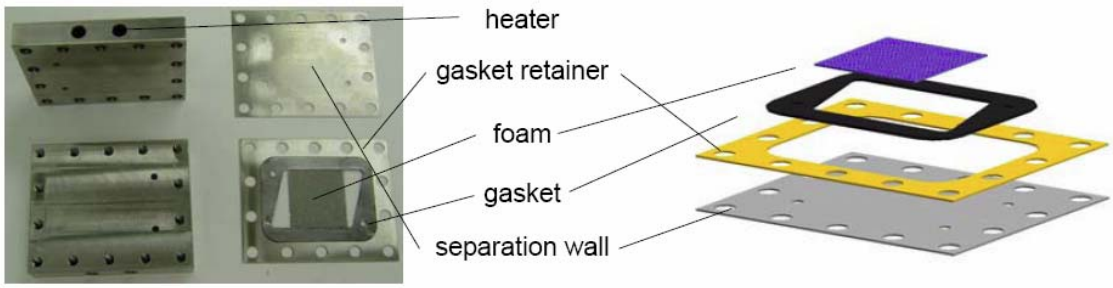
2.1 연구목적

- Develop high performance, low-cost materials
  - High capacity sulfur adsorbents for liquid fuels
  - High activity and durable Autothermal Reforming (ATR), Water Gas Shift (WGS) and Preferential Oxidation (PrOx) catalysts
- Design and demonstrate microreactors employing high performance catalysts
- Design and demonstrate microvaporizer/combustor
- Design and demonstrate thermally integrated microsystem-based fuel processors
- Evaluate system cost

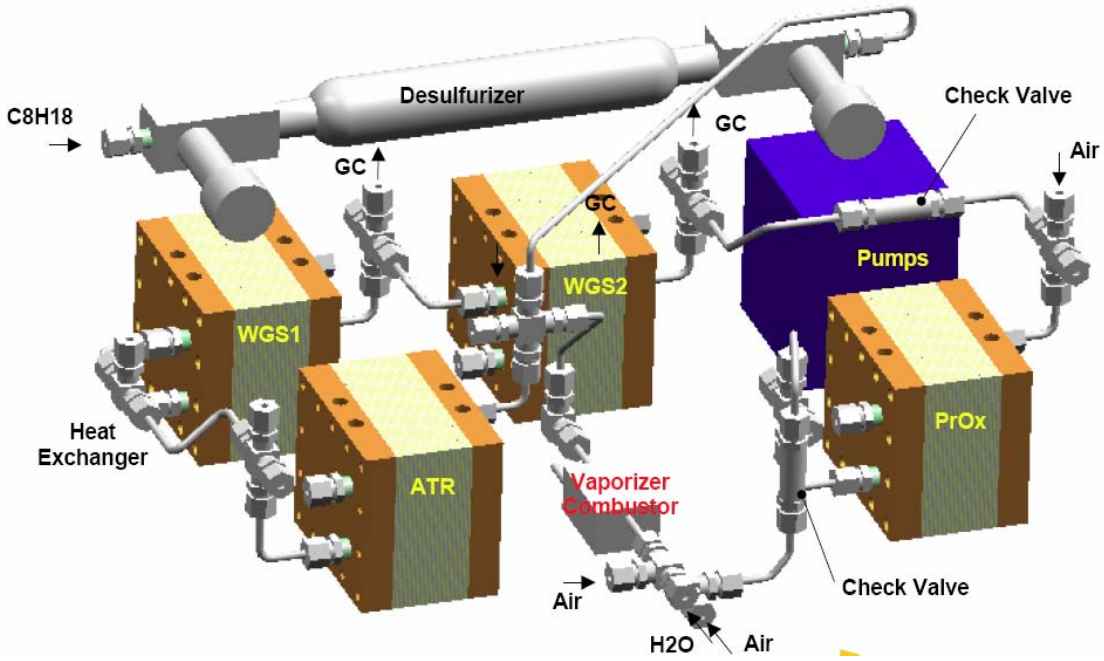
2.2 개발 내용

다음과 같은 마이크로 반응기를 제작하여, 이 반응기를 기본으로 하는 ATR, WGS,

PrOx 반응기를 제작하였다.



이와 같이 제작된 각각의 마이크로 반응기는 아래의 그림과 같이 탈황 장치와 결합하여 연료를 개질하는 시스템을 구성하였다.



2.3 연구결과

100 We급 Prototype 시스템의 성능은 아래의 표와 같이 요약되었다.

	Vap/Com	ATR	WGS		PrOx
Temperature (°C)	450	600	340	290	220
Modules	1	1	1	1	1
Catalyst Type		$Ni/CeZrO_2$	Au/CeO_2	Au/CeO_2	Pt/Al_2O_3
Catalyst Weight (g)		1.5	6	4.5	2.4
No. of Foam cores		10	20	15	30
Foam Volume (cc)		4	8	6	12
Power Density (W/L)*					
Based on Foam	5,500	25,000	7,142		8,333
Target	5,882	10,417	2,525		9,091

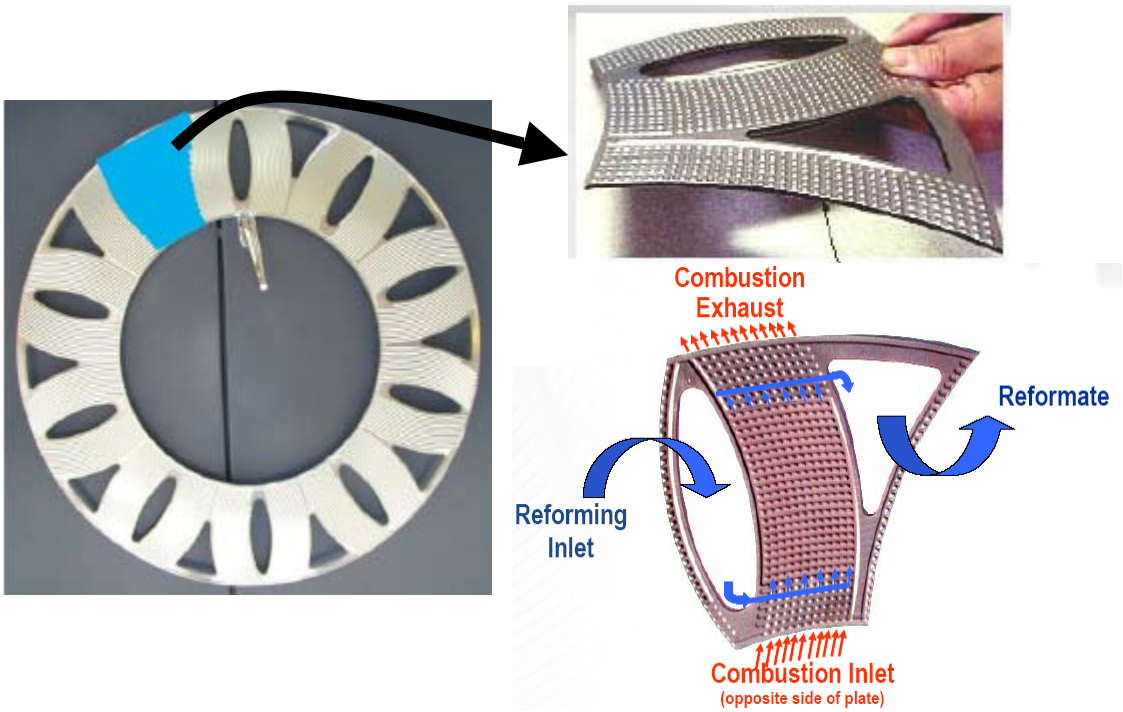
3. “Plate Based Fuel Processing System”, David Yee, Catalytica Energy Systems, Inc.

3.1 연구목표

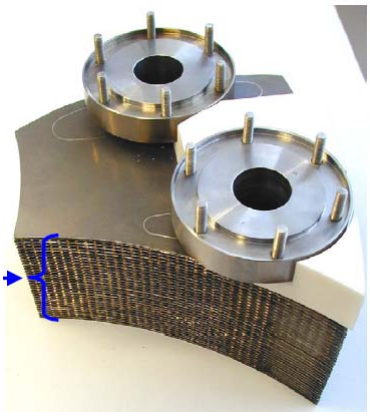
- Develop new catalytic reactor designs and reactor technology for processing gasoline to PEM quality H_2
- Develop improved catalyst materials compatible with these reactor systems
- Design and fabricate prototype units for each reactor at the 2 to 10kW(e) scale
- Demonstrate steady state and transient performance
- Evaluate rapid start up performance

3.2 개발내용

아래 그림의 왼쪽과 같은 형태의 연료 개질기를 만들기 위하여, 1/10 조각의 일부분을 잘라내어 prototype의 반응기를 제작 시험하였다. 이러한 반응기의 반응물 흐름은 아래 그림의 오른쪽 아래에 나타나있다.



이와 같이 제작된 판들을 여러 개 쌓아 아래와 같은 형태로 사용되었다.



3.3 연구결과

연구결과는 아래의 표와 같이 요약되었다.

		2010 target	2005 target	CESI 2004	Comments
Energy efficiency	%	80	78	75	integrated heat management calculated from PRO/II SimSci software
Power density	W/L	800	700	1,650	reactor components only
Specific power	W/kg	800	700	1,400	reactor components only
Cost	$/kW(e)	10	25	21	precious metal costs only
Cold start-up time	s	60	120	80	steam reformer start-up only
Durability	h	5,000	4,000	> 5,000	thermal stress analysis

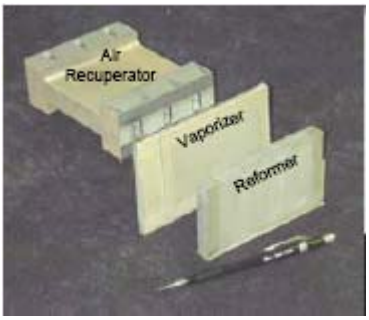
4. “Development Status of a Rapid-Cold-Start, On-Board, Microchannel Steam Reformer”, Greg A. Whyatt, Pacific Northwest National Laboratory

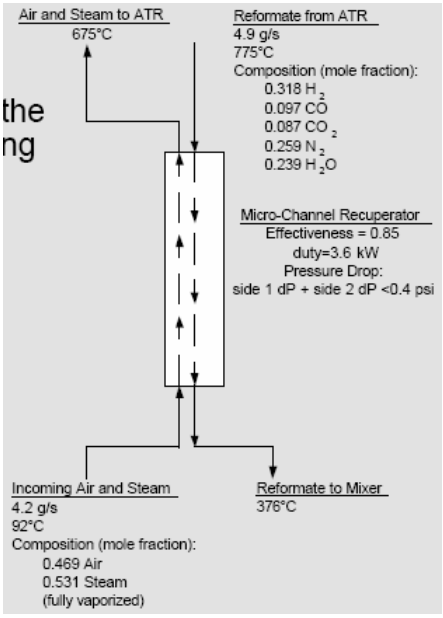
4.1 연구목표

- Utilize microchannel steam reformer and vaporizer to demonstrate rapid cold start of the steam reforming sub-system.
- Develop a prototype microchannel-steam-reforming fuel processor at ~2 kWe scale that will meet DOE performance targets when scaled up to 50 kWe.
- Develop reactors, vaporizers, recuperative heat exchangers, and condensers broadly applicable to other fuel processing options.
- Engage industrial partner(s) to facilitate application of technology to full-scale fuel processing systems.

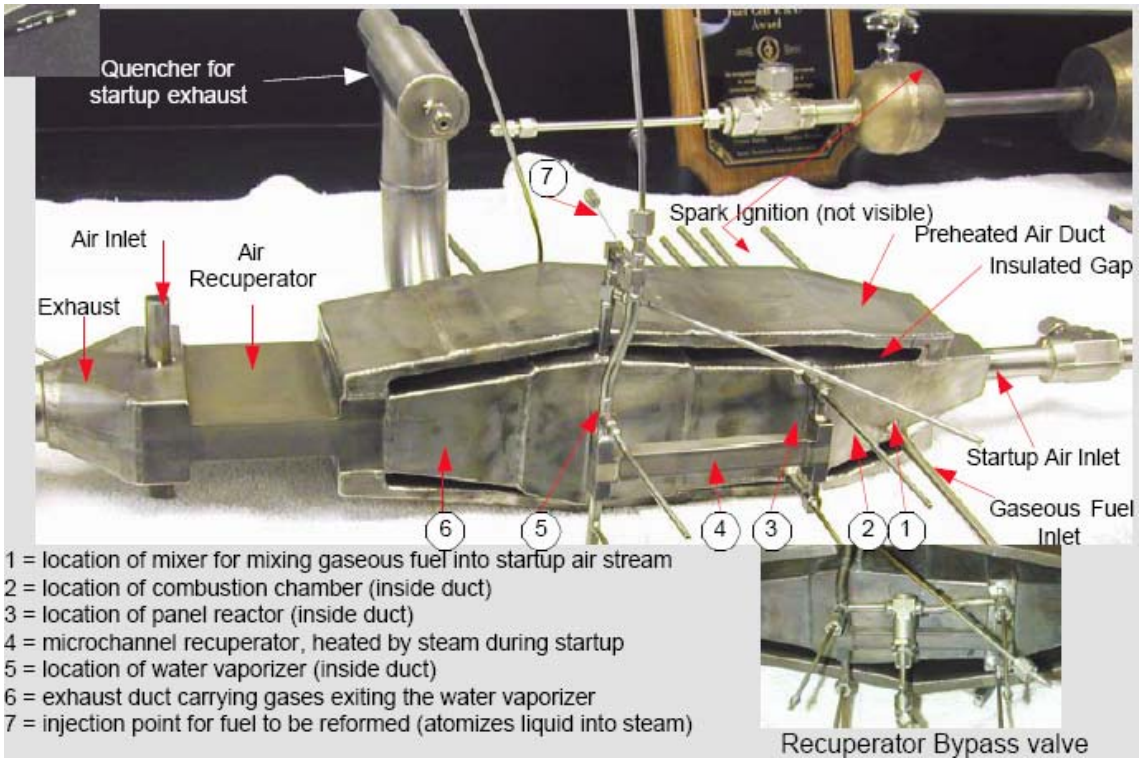
4.2 개발내용

압력 손실을 줄이기 위해, 아래의 왼쪽 그림과 같은 단위 장치를 제작하여 사용하였다. 특히 공기와 수증기의 예열을 위한 air recuperator는 아래 오른쪽의 개념도와 같이 제작되었다.





그리고, 이들 단위 장치를 결합하여 아래와 같은 연료 개질 장치를 제작하였다.



4.3 연구결과

연구 결과는 다음의 표와 같이 요약되었다.

Attribute	Units	2004 Status	2004 Demo Criteria	Ultimate Target
Transient	sec	~2, 100% to 10% ~5, 10% to 90%	<5, 10% to 90% and 90% to 10%	<1, 10% to 90% and 90% to 10%
Start-up Time (+20°C)	sec	**12 sec at reformer**, estimate <60 sec for full fuel processor	<60 to 90% traction power	<2 to 10%, <30 to 90%
Start-up	MJ/50kWe	>7.0 (a)	<2	<2
Efficiency	%	78 (b)	78	>80
Power density	W/L	2307 (c)	700	2,000
Durability	hours	1000+	2000h and >50 stop/starts	5,000h and 20,000 starts
Sulfur Tolerance	ppb	(d)	<50 out from 30 ppm in	<10 out from 30 ppm in
Turndown	ratio	>10:1	20:1	>50:1

(a) value is based on thermal mass of individual components and represents a minimum value.

(b) calculated based on 0.95*(LHV H_2 out)/(LHV combustion fuel feed +LHV reforming fuel feed) The derating factor of 0.95 is considered very conservative for low dP system.

(c) based on individual components. Specific power estimated to be 909 We/kg on same basis. Does not include connecting duct and tubing instrumentation and insulation.

(d) Ability to provide <150 ppb reformate from 25 ppm reformate demonstrated at ambient. Issues remain with operation on 30 ppm fuel in reformer and removal ahead of WGS reactor.

5. “Microchannel Reformate Cleanup: Water Gas Shift and Preferential Oxidation”, Ward E. TeGrotenhuis, Pacific Northwest National Laboratory

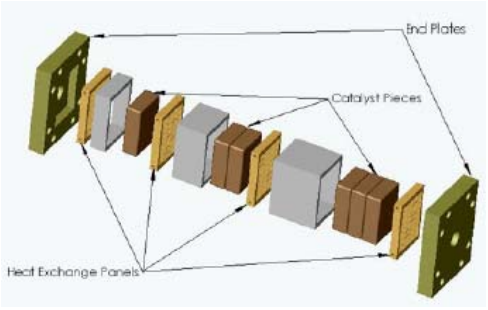
5.1 연구목적

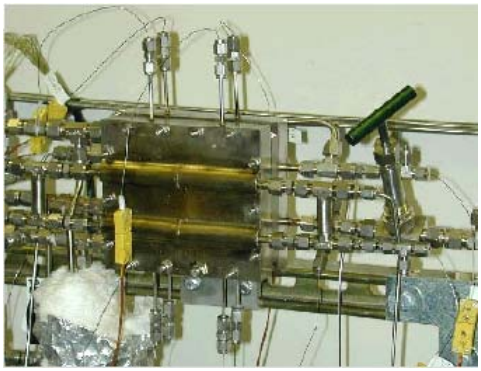
- Demonstrate 90% CO conversion in a single-stage WGS reactor that scales to less than 3 liters at full-scale
- Determine whether microchannel architecture provides opportunities for size and weight reduction for PROX reactor

5.2 개발내용

WGS 반응에 있어서 발열양이 작고 열전달 면적이 넓어 반응이 쉽게 중단되는 문제점을 해결하기 위하여, 충분한 열공급을 위한 열교환 채널과 촉매 담지량을 증가시키는 방법이 고려된 WGS 반응기가 시도되었다 (아래 그림 참고).

PrOx 반응기에서 CO 산화의 선택성을 향상시키기 위하여, 아래 그림의 왼쪽과 같은 방법으로 반응온도를 조절하고자 하였다. 이와 같이 구성된 반응기는 아래 오른쪽 그림과 같은 시스템을 이용하여 테스트 되었다.





5.3 연구결과

2 kWe급 WGS 반응기의 테스트와 개발된 각 반응기를 개질기와 함께 부착하였을 때의 성능 시험이 필요하다. 또한 장시간동안의 내구성 시험이 필요하다.