

고온 플라즈마 개질에 의한 메탄으로부터 고농도 수소생산

김성천*, 임문섭*, 전영남*[†]

*조선대학교 환경공학부 · BK21 바이오가스 기반 수소생산 사업팀

Production of Hydrogen-Rich Gas from Methane by a Thermal Plasma Reforming

Seong Cheon Kim*, Mun Sup Lim*, Young Nam Chun*[†]

*BK21 Team for Hydrogen Production Dept. Environmental Engineering, Chosun University,
375, Seosuk-dong, Dong-gu, Gwang-ju, 501-759, Korea

ABSTRACT

The purpose of this paper was to investigate the reforming characteristics and optimum operating condition of the plasmatron assisted CH₄ reforming reaction for the hydrogen-rich gas production. Also, in order to increase the hydrogen production and the methane conversion rate, parametric screening studies were conducted, in which there were the variations of the CH₄ flow ratio, CO₂ flow ratio, vapor flow ratio, mixing flow ratio and catalyst addition in reactor. High temperature plasma flame was generated by air and arc discharge. The air flow rate and input electric power were fixed 5.1 ℓ/min and 6.4 kW, respectively. When the CH₄ flow ratio was 38.5%, the production of hydrogen was maximized and optimal methane conversion rate was 99.2%. Under these optimal conditions, the following synthesis gas concentrations were determined: H₂, 45.4%; CO, 6.9%; CO₂, 1.5%; and C₂H₂, 1.1%. The H₂/CO ratio was 6.6, hydrogen yield was 78.8% and energy conversion rate was 63.6%.

KEY WORDS : plasmatron(플라스마트론), reforming(개질), synthesis gas(합성가스), hydrogen yield(수소 수율), energy conversion rate(에너지 전환율)

1. 서 론

수소에너지는 화학공업과 석유 정제공업의 원료로서 주로 사용되고 있으며, 환경규제의 강화 및 화석연료의 고갈에 대한 대안으로서 근래 각광받고 있는 청정 대체 에너지 및 연료전지의 원료로서 활용이 기대되고 있다. 이에 따른 수소 수요의

증가에 따라 화석연료보다 저렴한 수소의 수소제조 기술에 대한 각종 연구가 진행 중에 있다.

그 중 연료 개질 반응을 통한 수소 제조 공정은 주로 일반적으로 수증기 개질(steam reforming)¹⁾, 이산화탄소 개질(CO₂ reforming)²⁾, 촉매 개질(catalyst reforming)^{3,4)} 등이 있다. 하지만 기존 개질 공정은 시동 특성이 느리고 강한 흡열반응으로 외부에서 높은 열원이 필요하며 미량의 황화합물에 촉매 피독 등에 기술적인 여러 가지 제약

[†]Corresponding author : ynchun@chosun.ac.kr

이 있다.

따라서 그것을 극복하기 위한 방법으로 전기적인 방전을 이용한 플라즈마 개질⁵⁾ 방법이 주목을 받고 있다. 전기 에너지를 이용하는 플라즈마 개질 방법은 부가적인 오염물질의 생성 없이 다양한 연료를 전환하는데 효과적이다. 특히 전기적인 방전은 높은 에너지를 가진 전자를 생성하며 반응성이 낮은 화합물들도 쉽게 성상을 전환시킬 수 있는 특성이 있으며, 플라즈마 방전이 차지하는 모든 체적에 걸쳐 반응이 일어나기 때문에 반응기가 작고 효율적이다.

플라즈마 방전 중에 고온 플라즈마는 열역학적 평형으로 직류 아크 방전에 의해 이온화된 기체인 열 플라즈마를 생성하여 고밀도 이온 상태를 유지함으로 반응성이 매우 높아 고농도 수소를 생산할 수 있다. 고온 플라즈마는 메탄의 직접 분해 및 폐기물 처리에 연구되어왔다. 본 연구에서는 상기 고온플라즈마를 이용한 소형의 플라즈마 개질기를 설계하였으며 이는 이동형 장치에 수소를 빠른 시간에 공급해 줄 수 있는 응답성과 시동성이 우수하며 소형이어서 탑재가 용이하다. 또한 개질 시 플라즈마의 자체 열과 부분산화에 따른 내부 반응열을 사용함으로 수 초의 빠른 시동 및 응답시간으로 넓은 범위의 유량과 다양한 가스 성상에 대해 적용이 가능하다.

본 연구에서는 고온 플라즈마를 적용한 플라즈마 트론을 이용하여 메탄을 개질함으로 고농도 수소를 포함한 합성가스를 생산하고 수소 생성과 메탄 전환율이 최대한 최적 운전 조건을 파악하였다. 또한 수소 생성을 높이기 위해 개질 반응에 영향인자인 메탄 유량비, 이산화탄소 유량비, 수증기 유량비, 혼합 유량비, 촉매 첨가한 메탄 유량비 변화에 대한 개질실험을 진행하였다.

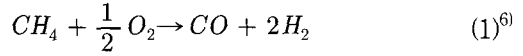
2. 이론 및 실험 방법

2.1. 개질 반응

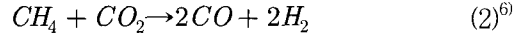
메탄에 이산화탄소와 수증기를 주입하여 플라즈마 개질 반응 시켰을 때 예상되는 반응은 매우

다양하므로 본 연구에서는 식(1)~(10)을 대표 개질반응으로 하여 개질특성을 파악하였다.

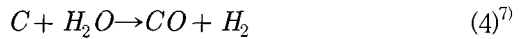
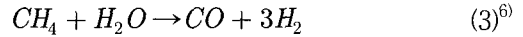
① 부분산화 개질반응



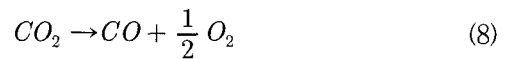
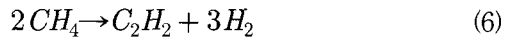
② CO₂ 개질반응



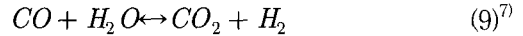
③ 수증기 개질반응



④ 플라즈마(크래킹) 개질반응



⑤ 수증기 전이 반응



⑥ CO 산화



2.2. 반응가스 전환율

반응가스가 합성가스로 전환되는 전환율은 유입 농도와 출구에서 측정된 유출 농도에 의해 식 (11)로 계산된다.

$$\eta = \left[\frac{V_{X_{in}} - V_{X_{out}}}{V_{X_{in}}} \right] \times 100 \quad (11)$$

여기서, η 는 성분 X의 전환율(%), $V_{X_{in}}$ 은 성분 X의 유입 농도(vol.%), $V_{X_{out}}$ 은 성분 X의 유출 농도(vol.%)이다.

2.3. 수소 수율과 에너지 전환율

수소 수율(hydrogen yield)과 에너지 전환율

(ECR : energy conversion rate)은 각각 식(12)와 식(13)에 의해 계산한다.

$$H_2 \text{ yield}(\%) = \frac{[H_2]_{\text{Syn gas}}}{[H_2]_{\text{Reaction gas}}} \times 100 \quad (12)$$

여기서, $H_2 \text{ yield}$ 는 수소 수율(%), $[H_2]_{\text{Syn gas}}$ 는 합성가스 내의 수소량(g/mole), $[H_2]_{\text{Reaction gas}}$ 는 반응가스 내의 수소량(g/mole)이다.

$$ECR(\%) = \frac{([H_2] + [CO])_{LHV}}{[CH_4]_{LHV}} \times 100 \quad (13)$$

여기서, $ECR(\%)$ 은 에너지 전환율이고, $[CH_4]_{LHV}$ 는 주입연료 메탄에 저위발열량(kcal/Nm³), $([H_2] + [CO])_{LHV}$ 는 합성가스(H₂+CO)에 저위발열량(kcal/Nm³)이다.

2.4. 실험장치

Fig. 1은 실험에 사용한 플라즈마트론 개질 실험

장치 구조를 나타낸 것으로, 플라즈마트론 개질기, 전원공급장치, 가스/수증기 공급라인, 측정/분석 라인으로 구성되어 있다. 플라즈마트론 개질기는 플라즈마 토치와 반응기로 구성되어 있다. 고온에 의한 전극의 침식 현상을 완화하기 위해 플라즈마 토치의 두 전극에 냉각수를 공급하였으며, 내부 단열 및 절연을 위해 캐스터블을 사용하였다.

전원공급 장치는 전원공급기와 점화기, 트리거 시스템으로 구성되어 있으며, 전원공급기는 입력 전력 10 kW(최대 전류 50 A, 최대 전압 200 V)를 공급할 수 있다. 점화기는 초기 시동을 위해 30 kV까지 고전압을 공급하며 트리거 시스템은 플라즈마를 지속적으로 유지한다.

가스/수증기 공급라인은 메탄, 이산화탄소, 공기는 각각의 MFC(Bronkhorst F201AC-FAC-22-V)에서 정밀 유량 제어되어 공급한다. 또한 수증기는 물탱크에서 공급된 물을 유량계(B-175-X052)와 메터링 밸브(metering valve)에 의해 조절하여 수증기 발생기로 공급한다.

측정/분석라인은 전기특성 측정, 온도 측정, 가

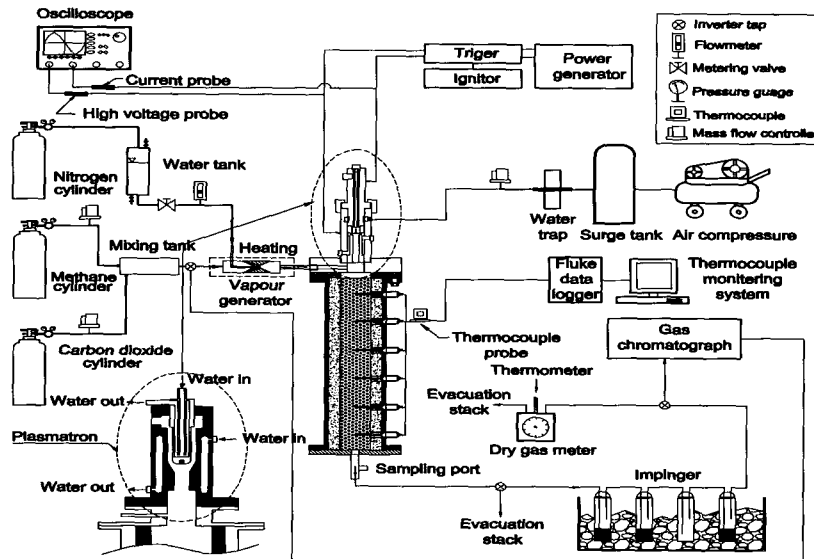


Fig. 1 Schematic of the experimental apparatus

Table 1 Experimental conditions and range

Conditions	CH ₄ content in feed (CH ₄ /TFR ⁽¹⁾)	CO ₂ content in feed (CO ₂ /TFR ⁽¹⁾)	H ₂ O content in feed (H ₂ O /TFR ⁽¹⁾)	CO ₂ content in MFR (CO ₂ /MFR ⁽²⁾)	CH ₄ content in feed with catalyst
range (%)	23.7 ~47.1	0 ~14.2	43 ~69.3	0 ~26	23.7 ~47.1

⁽¹⁾ TFR : Total flow rate (ℓ/min), i.e., CH₄+Air+CO₂+H₂O

⁽²⁾ MFR : Mixing flow rate of carbon dioxide and steam (ℓ/min), i.e., CO₂+H₂O

스 분석 라인으로 구분된다. 전기특성 측정은 고전압 프르브(Tektronix P6015A)와 전류 프르브(Tektronix A6303)가 장착된 디지털 오실로스코프(Tektronix TDS 3052)에 의해 측정된다. 온도 측정은 직경이 0.3 mm 인 K-type 열전대와 데이터 분석장치(Fluke Hydra Data Logger)로 구성되어 있다. 가스분석은 샘플링 라인과 가스크로마토그래프(Varian CP-4900)로 구성되어 있다.

2.5. 실험 방법

실험은 공기를 주입하여 플라즈마를 안정하게 형성하면 반응기 내 가스 온도는 약 650℃ 정도에서 안정화 된다. 이때 메탄을 주입하면 부분산화 반응이 진행되어 반응기 내 가스온도가 1,100℃ 정도로 상승되어 일정하게 유지되는 시점에서부터 본 실험을 진행하였다.

전기적 특성인 입력 전압과 전류는 입력전원 공급장치의 노브(knob)를 이용해서 조절되며, 고전압 프르브와 전류 프르브를 장착한 디지털 오실로스코프에 의해 전압, 전류를 각각 측정하였다.

주입 연료가스는 각각의 MFC에서 유량이 정밀 조절되어 주입되고 수증기는 수증기 공급량으로 환산된 양에 물을 미세조절 가능한 메터링 밸브에 의해 조절한 후 기화기에서 주입 연료가스와 함께 유입되어 완전 기화된 혼합기체 상태로 반응기 내

Table 2 Experimental data for standard condition

Syngas concentration (dry vol.%)						CH ₄ conv. rate (%) ⁽¹⁾	H ₂ /CO	Hydrogen yield (%) ⁽²⁾	Energy conv. rate (%) ⁽³⁾
H ₂	CO	CO ₂	C ₂ H ₂	CH ₄	N ₂	η_{CH_4}			
45.4	6.9	1.5	1.1	0.9	45.1	99.2	6.6	78.8	63.6

⁽¹⁾ Calculated by Eq. (11), ⁽²⁾ Calculated by Eq. (12),

⁽³⁾ Calculated by Eq. (13)

에 주입된다.

합성가스의 채취는 반응기 출구에 설치된 샘플링 포트에서 이루어지며, 채취된 시료 중에 수분량은 냉각장치를 통과하여 응축된 수분 무게를 측정하였으며, 개질가스는 건가스의 상태로 가스크로마토그래프의 샘플링 루프로 연속적으로 유입되어 분석되었다. 분석은 TCD 검출기를 이용하였으며, 분석 컬럼에서 H₂는 Molecular Sieve 5A(80/100 mesh)로 CO는 Molecular Sieve 13X(80/100 mesh)로 CH₄, CO₂, C₂H₂는 HayeSep R(100/120 mesh)을 사용하였다.

실험은 반복 예비실험을 통하여 공기 주입에 따른 고온 플라즈마 화염이 안정적으로 형성되는 주입 공기량은 5.1 ℓ/min이고 입력전력은 6.4 kW이다. 이에 모든 실험조건에서 주입 공기량과 입력전력을 고정한 상태에서 개질 반응하여 수소의 생성과 메탄 전환율이 최대인 조건을 기준조건(Table 2 참조)으로 정하였다. 또한 개질 반응에 영향인자를 파악하기 위해 변수별 연구로 메탄 유량비, 이산화탄소 유량비, 수증기 유량비, 혼합 유량비 변화에 대해 개질실험을 하였다. 그리고 촉매 첨가에 따른 개질특성 파악하기 위해 메탄 유량비와 동일한 조건에서 개질 실험을 수행하였다. 이때 첨가한 촉매는 ϕ 4 mm의 구형 알루미늄 담체에 6 wt% 니켈 촉매를 담지하여 반응기에 충전하였다. 실험 조건은 Table 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

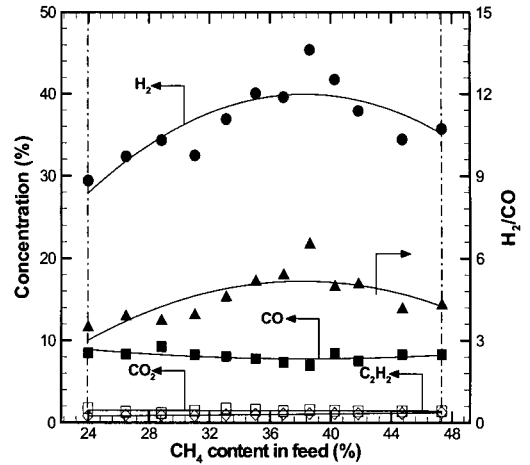
본 연구는 고온 플라즈마 화염이 안정적으로 형성되는 공기 유량과 입력 전력을 각각 5.1 l/min, 6.4 kW로 고정한 후 메탄 개질 반응하여 고농도 수소를 포함한 합성가스를 생산하였다. Table 2는 기준 조건 시에 개질 결과를 나타낸 것이다. 기준 조건에서 메탄 개질반응 결과로 생성된 합성가스 농도는 H₂ 45.4%, CO 6.9%, CO₂ 1.5%, C₂H₂ 1.1%이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 합성가스의 대부분이 수소이고, H₂/CO 비는 6.6으로 부분산화 개질이 진행되었을 때의 이상적인 H₂/CO 비 2.0보다 높은 값을 나타내고 있다. 이는 식(7)의 플라즈마 개질에 의해 CO가 카본(carbon)과 CO₂로 크래킹(cracking)되고, 일부 CO는 식(9)의 CO 산화반응에 의해 CO₂로 전환되기 때문이다. 메탄 전환율은 99.2%로 주입된 대부분의 CH₄이 개질반응을 통해 합성가스로 전환됨을 알 수 있다. 이때 주입 메탄으로부터 생성되는 수소 수율은 78.8%이다. 본 연구의 플라즈마트론 개질장치에 에너지 전환율은 63.6%로 Pedersen-Mjaanes 등⁸⁾이 메탄을 부분 산화하여 수소를 생성할 때에 에너지 전환율 46%보다 높은 전환효율을 보이고 있다. 또한 플라즈마 개질을 이용한 Minutillo⁹⁾의 에너지 전환율 63%와는 유사한 값을 나타내고 있다.

또한 수소 생성을 높이기 위해 개질 반응에 영향인자인 메탄 유량비, 이산화탄소 유량비, 수증기 유량비, 혼합 유량비, 촉매첨가 메탄 유량비 변화에 대한 변수별 연구를 수행하였다.

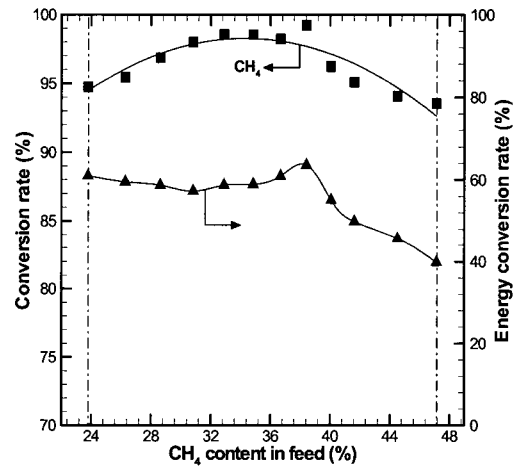
3.1. 메탄 유량비

Fig. 2는 메탄 유량비(CH₄/TFR)를 23.7%~47.1%로 변화시켜 실험한 결과이다. 여기서, TFR은 반응가스의 총 유량(CH₄+Air)이다.

Fig. 2(a)는 합성가스 중에 대표 선별가스와 H₂/CO 비를 나타낸 것이다. 메탄 유량비가 38.5% 일 때 H₂ 농도는 45.4%로 최대값을 나타내고 있는데 이는 식(1)의 부분산화 개질반응과 식(5)와 식(6)의 플라즈마 개질반응이 우세하게 진행되기 때



(a) Concentration of selected syngas and H₂/CO ratio



(b) Conversion rate and energy conversion rate

Fig. 2 Effect of variations in a CH₄ flow ratio

문이다.

CO 경우는 메탄 유량비 변화에 대해 평균 8.1%의 농도를 보이고 있다. 이는 식(1)의 부분산화 개질반응에 의해 생성된 CO가 식(7)과 식(10)의 반응에 의해 계속적으로 CO₂로 전환되기 때문이다. 따라서 반응가스로 주입되지 않은 CO₂가 평균 2% 정도 합성가스로 생성되고 있다. H₂/CO 비는 3.4~6.5 범위로 이상적인 부분산화 반응에 의한 H₂/CO

비 2.0보다 높은 이유는 개질반응에서 생성된 CO가 식(7)과 식(10)에 의해 CO₂로 전환되어 감소하였기 때문이다.

Fig. 2(b)는 메탄 전환율과 에너지 전환율을 나타낸 것이다. 메탄 전환율과 에너지 전환율은 H₂ 생성이 최대인 메탄 유량비 38.5%에서 각각 99.2%와 63.6%로 최대값을 나타내고 있다. 이때 평균 메탄 전환율은 96%로 주입된 CH₄의 대부분이 합성가스로 전환됨을 알 수 있다.

3.2. 이산화탄소 유량비

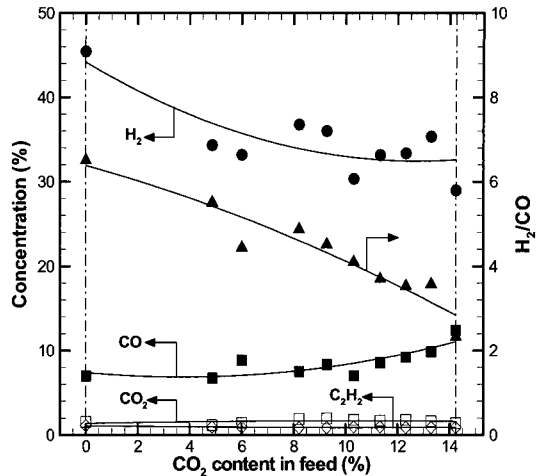
Fig. 3은 메탄 유량비 변화에서 수소 발생이 최대인 메탄 유량비 38.5%를 고정한 후 이산화탄소를 첨가하여 이산화탄소 유량비(CO₂/TFR)를 0%~14.2%로 변화시켜 실험한 결과이다. 여기서, TFR은 반응가스의 총 유량(CH₄+Air+CO₂)이다.

Fig. 3(a)는 합성가스 중의 대표 선별가스와 H₂/CO 비를 나타낸 것이다. H₂ 농도는 이산화탄소 유량비 증가에 따라 45.4%~28.9% 범위로 점차적으로 감소하고 있다.

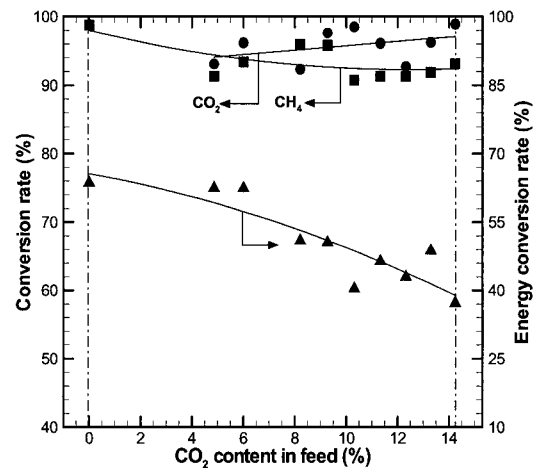
이는 합성가스의 주성분인 H₂가 충분한 CO₂ 상태에서 식(9)의 역반응이 우세하게 진행되기 때문이다. 따라서 주입된 CO₂ 농도는 이산화탄소 유량비 변화에 대해 평균 1.6%에 낮은 농도분포를 나타내고 있다. 이는 CO₂ 유량비 증가에 따른 CO 농도 증가에서 확인할 수 있다. 따라서 H₂/CO 비는 CO₂의 주입량이 증가할수록 6.5에서 2.3으로 점차 낮아지고 있다. Fig. 3(b)는 반응가스 전환율과 에너지 전환율을 나타낸 것이다. 메탄과 이산화탄소 전환율은 이산화탄소 유량비 변화에 대해 각각 평균 93.3%와 평균 95.7%로 높은 전환율을 나타내지만 에너지 전환율은 개질가스 중의 주성분인 H₂의 빠른 감소로 63.6%~37.3%로 감소하고 있다.

3.3. 수증기 유량비

Fig. 4는 메탄 유량비 변화에서 수소 발생이 최대인 메탄 유량비 38.5%를 고정한 후 수증기를 첨가하여 수증기 유량비(H₂O/TFR)를 43%~69.3%



(a) Concentration of selected syngas and H₂/CO ratio



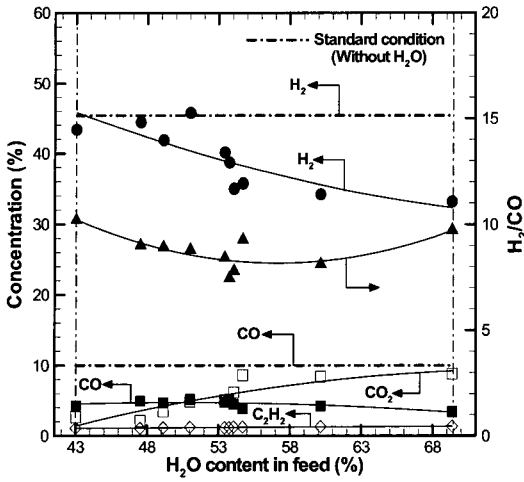
(b) Conversion rate and energy conversion rate

Fig. 3 Effect of variations in a CO₂ flow ratio

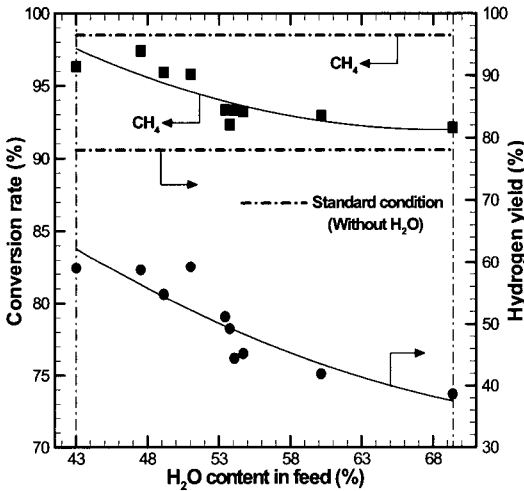
로 변화시켜 실험한 결과이다. 여기서, TFR은 반응가스의 총 유량(CH₄+Air+H₂O)이다.

Fig. 4(a)는 합성가스 중의 대표 선별가스와 H₂/CO 비를 나타낸 것이다.

수증기 유량비 43%~51.4%범위에서는 대체적으로 H₂ 농도는 유사한 농도분포를 보이고 있으며, H₂ 최대농도는 45.7%이다. 이는 식(3)과 식(4)의 수증기 개질반응이 충분한 수증기 상태에서 우



(a) Concentration of selected syngas and H₂/CO ratio



(b) Conversion rate and hydrogen yield

Fig. 4 Effect of variations in a vapor flow ratio

세하게 진행되기 때문이다. 하지만 수증기 유량비 51.4%이상에서 H₂ 농도가 감소하는 것은 수증기 개질반응 이상에 과잉의 수증기 공급되고 반응가스의 주입량 증가에 따른 반응 체류시간이 감소하였기 때문이다. CO는 기준조건에 비해 수증기 공급에 의해 평균 5%이상 CO 농도가 낮다. 이는 CO가 CO₂ 전환되기 때문이다. 따라서 CO₂ 농도는 점차적으로 증가하고 있다. H₂/CO 비는 수증기 유

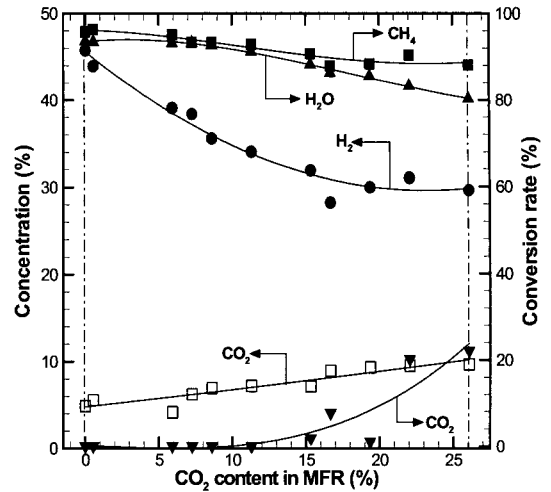


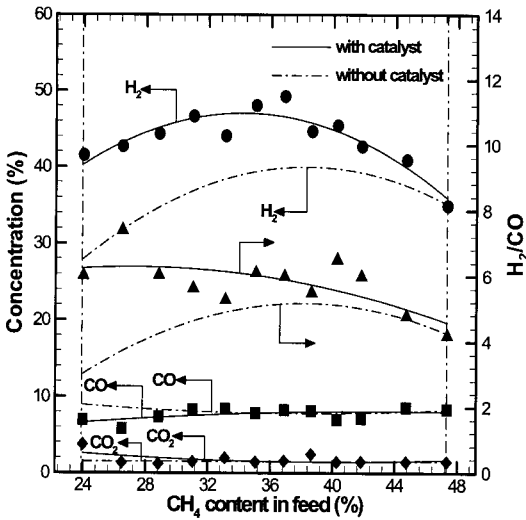
Fig 5 Effect of variations in a mixing flow ratio

량비 변화에 대해 변화폭이 크지 않다. Fig. 4(b)는 메탄 전환율과 수소 수율을 나타낸 것으로 메탄 전환율은 평균 95%의 높은 전환율을 보이고 있다. 이때 수소 수율은 수증기 유량비 43%~51.4%범위에서 대체적으로 일정한 수율을 보이지만 수증기 유량비가 51.4% 이상에서는 수소 수율이 급격히 감소한다. 이 결과 고농도 수소를 생성하기 위해서는 수증기 유량비를 50%이하로 수증기를 공급해주는 것이 효과적이다.

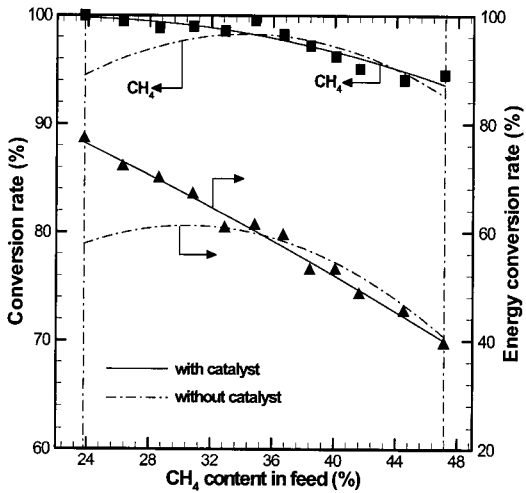
3.4. 혼합 유량비

Fig. 5의 혼합 유량비는 이산화탄소와 수증기의 총 유량에 대한 이산화탄소 유량 비로 혼합 유량비(CO₂/MFR)는 0%~26% 이다. 여기서, MFR은 반응가스 중의 이산화탄소와 수증기 총 유량(CO₂+H₂O)이다.

H₂ 농도는 혼합 유량비가 증가할수록 점차 감소하고 있다. 이는 주입되는 미반응 CO₂에 희석효과로 인해 H₂ 농도가 감소하기 때문이다. 또한 이산화탄소 전환율은 혼합 유량비가 19.3% 이하에서 7.6% 이하로 매우 낮으며, 혼합 유량비가 증가할수록 미반응 CO₂ 농도는 점차 증가하고 있다. 하지만 메탄과 수증기전환율은 각각 92.1%와 89.1%



(a) Concentration of selected syngas and H₂/CO ratio



(b) Conversion rate and energy conversion rate

Fig. 6 Effect of catalyst according to variations in a CH₄ flow ratio

이상으로 높다. 이는 식(2)에 이산화탄소 개질반응이 식(1)의 부분산화 개질과 식(3), 식(4)의 수증기 개질반응에 비해 반응율이 낮음을 알 수 있다.

3.5. 촉매 첨가한 메탄 유량비

Fig. 6은 메탄 유량비 변화와 동일한 조건에서

플라즈마트론 후단부의 반응기내에 6 wt% 니켈 촉매를 충전하여 개질특성을 파악한 것이다.

Fig. 6(a)는 합성가스 중의 대표 선별가스와 H₂/CO 비를 나타낸 것으로 H₂ 농도는 메탄 유량비가 36.6%일 때 49.2%로 최대를 보이고 있으며, 촉매 주입에 따라 H₂ 농도는 촉매를 주입하지 않은 경우와 비교하여 개질효율이 향상된다.

하지만 메탄 유량비가 증가할수록 합성가스 내의 수소 농도 차이는 줄어들어간다. 이는 메탄 유량비가 증가할수록 식(5)에서 생성된 카본(10)이 촉매 지지체에 흡착되어 촉매반응 영역을 감소시키므로 촉매 활성이 저하되었기 때문이다. CO와 CO₂ 농도는 촉매가 없는 경우와 유사한 농도분포를 보이며, H₂/CO 비는 메탄 유량비가 증가할수록 다소 감소하지만 평균 4.7이다. Fig. 6(b)는 메탄과 에너지 전환율을 나타낸 것이다. 촉매가 있는 경우, 메탄 전환율과 에너지 전환율은 메탄 유량비 36.6% 이하에서 높은 값을 나타내고 있다. 이는 반응기내에 반응가스의 체류시간이 증가함으로 촉매와 개질 반응하는 충분한 시간적 여유를 가짐으로 촉매 활성이 커져 개질 반응이 활발하게 진행되기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 메탄을 개질 반응하여 고농도 수소를 포함한 합성가스 생성이 최적인 개질특성을 파악하였다.

기준 조건에서 메탄 개질반응 결과로 생성된 합성가스 농도는 H₂ 45.4%, CO 6.9%, CO₂ 1.5%, C₂H₂ 1.1%이다. 결과에서 알 수 있듯이 합성가스의 대부분이 수소이고, H₂/CO 비는 6.6이다. 또한 반응가스인 메탄 전환율은 99.2%로 주입 메탄은 대부분이 합성가스로 전환되고 있다. 이때 수소 수율은 78.8%이며, 에너지 전환율은 63.6%이다.

변수별 연구를 통한 개질 특성을 파악한 결과 메탄 유량비 변화에 대해 CO 농도는 플라즈마 개질반응과 CO 산화반응에 의해 CO₂로 전환되어 농도 변화가 거의 일어나지 않는다. 이산화탄소 유량

비는 증가할수록 합성가스의 주성분인 H₂가 수증기 전이반응에 역반응이 우세하게 진행되어 H₂ 농도가 감소함으로 고농도 수소 생성에는 이산화탄소 개질반응은 한계가 있다. 또한 적절한 수증기 공급으로 수소 생성을 높일 수 있음을 확인하였다. 혼합 유량비 증가할수록 미반응 CO₂ 농도는 점차 증가함으로 미반응 CO₂에 회석효과로 인해 H₂ 농도가 감소한다. 촉매 첨가에 따른 개질특성을 파악한 결과 촉매와 반응가스 간에 반응시간이 증가하는 저 유량 범위에서 촉매에 의한 개질효과가 커짐으로 합성가스의 주성분인 H₂ 생성이 높다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10355-0)지원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- 1) P. Beckhaus, A. Heinzl, J. Mathiak, and J. Roes, "Dynamic of H₂ production by steam reforming", J. Power Sources, Vol. 127, 2004, pp. 294-299.
- 2) S. G. Wang, Y. W. Li, J. X. Lu, M. Y. He, and H. Jiao, "A detailed mechanism of thermal CO₂ reforming of CH₄", J. Molecular Structure, Vol. 673, 2004, pp. 181-189.
- 3) S. C. Tsang, J. B. Claridge, and M. L. H. Green, "Recent advanced in the conversion for methane to synthesis gas", Catalysis today, Vol. 23, 1995, pp. 3-15.
- 4) D. J. Moon, J. S. Kang, J. W. Ryu, D. H. Kim, K. S. Yoo, H. J. Lee, H. G. Kim, S. D. Lee, B. S. Ahn, and B. G. Lee, "Hydrogen Production by Catalytic Reforming of CO₂ by CH₄ over Ni Based Catalysts and It's Application", Trans of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 17, No. 2, 2006, pp. 166-173.
- 5) M. Deminsky, V. Jivotov, B. Potapkin, and V. Rusanov, "Plasma-assisted production of hydrogen from hydrocarbons", Pure Appl. Chem., Vol. 74, 2002, pp. 413-418.
- 6) H. Nishimoto, K. Nakagawa, N. Ikenaga, M. Nishitani-Gamo, T. Ando, and T. Suzuki, "Partial oxidation of methane to synthesis gas over oxidized diamond catalysts", Applied Catalysis A: General, Vol. 264, No. 1, 2004, pp. 65-72.
- 7) A. Demirbas, "Gaseous products from biomass by pyrolysis and gasification: effects of catalyst on hydrogen yield", Energy Conversion and Management, Vol. 43, No. 7, 2002, pp. 897-909.
- 8) H. Pedersen-Mjaanes, L. Chan, and E. Mastorakos, "Hydrogen production from rich combustion in porous media", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, 2005, pp. 579-592.
- 9) M. Minutillo, "On-board fuel processor modelling for hydrogen-enriched gasoline fuelled engine", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 30, 2005, pp. 1483-1490.
- 10) R. F. Horng, Y. P. Chang, H. H. Huang, and M. P. Lai, "A study of the hydrogen production from a small plasma converter", Fuel, Vol. 86, 2007, pp. 81-89.