

탄화수소의 직접분해로부터 수소와 카본블랙을 생성하기 위한 열플라즈마의 응용

이태욱 · 남원기 · 백성현 · 박동화[†]

인하대학교 화학공학과
(2006년 12월 15일 접수, 2007년 1월 19일 채택)

Application of Thermal Plasma for Production of Hydrogen and Carbon Black from Direct Decomposition of Hydrocarbon

Tae-Uk Lee, Won-Ki Nam, Sung-Hyeon Baeck, and Dong-Wha Park[†]

Department of Chemical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea
(Received December 15, 2006; accepted January 19, 2007)

본 연구에서는 열플라즈마 직접분해법에 의해 메탄과 프로판으로부터 수소와 카본 블랙을 생성하는 공정에 대해 조사하였다. 메탄과 프로판의 직접분해 시 열역학적 평형조성을 깁스 자유에너지의 최소화에 근거하여 계산하였으며, 이를 바탕으로 직접분해 실험을 수행하였다. 탄화수소의 직접분해에 의해 생성된 수소의 순도는 분해가스 유량에 의존하는 것으로 나타났으며, 고순도의 수소를 얻기 위한 분해 조건을 조사하였다. 메탄을 분해가스로 사용한 경우 프로판의 경우보다 높은 수소의 순도를 나타내는데, 이는 열플라즈마에 의해 생성된 라디칼의 재결합 등으로 인한 메탄이나 에탄, 그리고 아세틸렌과 같은 부산물이 프로판의 경우에 더욱 많이 생겨나기 때문인 것으로 조사되었다. 생성된 카본블랙은 X선 회절분석과 Raman Spectroscopy 분석을 통해 결정성을 조사하였으며, SEM 분석 및 입도 분석을 통해 카본블랙의 입자 모양과 크기를 조사하였다. 그 결과 구형이며 결정성이 양호한 카본블랙이 생성되었음을 확인하였으며, 메탄으로부터 생성된 카본 블랙이 프로판으로부터 생성된 카본블랙보다 평균 입자 크기가 작은 것으로 나타났다.

Direct decomposition of hydrocarbon (methane, propane) was studied using a thermal plasma to produce high purity hydrogen and carbon black. Thermodynamic equilibrium compositions were calculated based on the minimization of Gibb's free energy, and decomposition experiments were performed on the basis of calculation results. The purity of hydrogen was found to be depended strongly on the flow rate of hydrocarbon. The decomposition conditions for high purity hydrogen were investigated. The purity of hydrogen produced from methane decomposition was higher than that from propane. In the case of propane, it was investigated that by products such as methane, acetylene, and ethane etc., by radical recombination under thermal plasma were produced more than that of methane. Produced carbon blacks were characterized by material analyses, such as XRD, Raman spectroscopy, SEM, and particle size analysis. In both methane and propane decompositions, well-crystallized carbon blacks were produced and showed uniform and sphere-like morphologies. The size of carbon black synthesized from methane was observed to be smaller than that from propane.

Keywords: thermal plasma, hydrogen, carbon black, hydrocarbon decomposition

1. 서 론

수소를 대량으로 생산하기 위한 가장 일반적인 공정은 화석연료의 하나인 천연가스를 이용한 수증기 개질법으로 매우 효율적이며, 광범위하게 사용되고 있다[1]. 그러나 여러 단계의 공정이 필요하고, 경제성 있는 부산물이 없으며, CO₂를 배출하므로 친환경적이지 않다[2]. 또한 다량의 CO가 생성되어 고순도의 수소를 필요로 하는 연료전지 등에 적용되기 위해서는 별도의 분리, 정제 과정을 거쳐야 한다. 이에 대한 대안으로 고순도의 수소를 직접 생산하기 위한 탄화수소의 직접분해 반응이 제안되었다[3]. 탄화수소의 직접분해를 위해 열플라즈마를 이용할 수 있는데, 열플라즈마는 중심온도가 10⁴ ~ 2 × 10⁴ K에 달

하는 국소열평형상태(LTE)로서, 전자의 온도와 이온과 같은 무거운 입자(라디칼, 원자, 분자 등)의 온도가 열적평형에 도달한 상태를 말한다[4]. 열플라즈마 생성의 기본원리는 대상 기체에 강한 전장을 발생시켜 이로 인해 가속된 전자들이 연속적인 충돌을 통해 충분한 전하입자를 생성시키고 전기 전도성을 갖는 장(場)을 만들어 플라즈마 상태를 유지시키는 것이다[5]. 이러한 플라즈마 상태는 열역학적으로 우세한 화학반응을 가속시킬 수 있다[6]. 따라서 열플라즈마를 이용하면 수소제조 시 촉매를 사용하지 않아도 가능하며, 단일 공정으로 고순도의 수소를 생성할 수 있고, 탄소는 반응조건에 따라서 카본블랙, 탄소나노튜브, graphite, 다이아몬드 등의 형태로 회수가 가능하다.

카본블랙은 상업적으로 제조된 콜로이드 카본으로써 입자의 모양이 구형이며, 직경이 1000 nm 이하의 입자들이 서로 융합되어 뭉쳐진

[†] 주 저자 (e-mail: dwpark@inha.ac.kr)

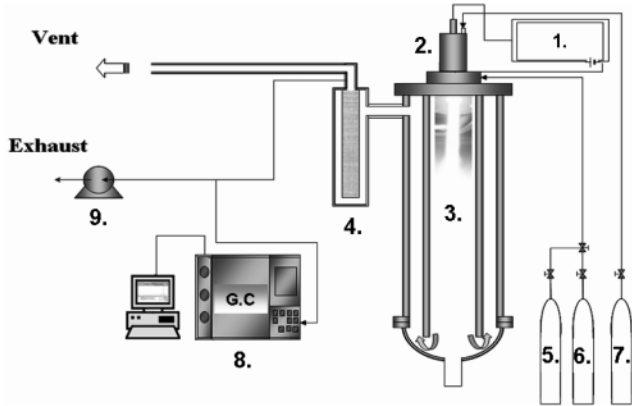


Figure 1. Schematic diagram of a thermal plasma decomposition system: 1. DC power supply, 2. plasma torch, 3. quenching chamber, 4. filter, 5. purge gas for decomposition gases, 6. decomposition gas, 7. plasma generating gas, 8. gas chromatograph, 9. vacuum pump.

Table 1. Experimental Conditions for Hydrocarbon Decomposition

Plasma generating gas	N ₂ (13 L/min)	
Decomposition gas	CH ₄ (99.9%, 3~17 L/min), C ₃ H ₈ (99.8%, 1~5 L/min)	
Decomposition time	1~5 min	
Plasma input power	4.9~5.3 kW (70 A, 70~75 V)	
Gas composition	H ₂ , N ₂ : TCD (Molecular Sieve 13X),	
	CH ₄ , C ₃ H ₈ : FID (HP-PLOT Al ₂ O ₃)	
Analysis	FT-Raman (RFS 100/S, BRUKER)	
	XRD (DMAX-2500, Rigaku)	
	SEM (S-4200, Hitachi Co.)	
	Carbon black	PSA (Laser Light Particle Sizer SYS 4700, MALVERN)
	EA (Element Analyzer, EA1110 CE Instrument, Italy)	

집합체를 말한다[7]. 카본블랙의 주요 특성으로는, 1) 고무 보강용 기계적 특성(인열강도, 내마모성, 모듈러스, 그리고 피로특성 향상), 2) 염색 특성(흡광, 착색력, 자외선 차단), 3) 전기적 특성(전기적 컨덕턴스 향상, 전하의 유지 개선) 등을 들 수 있다[8]. 카본블랙은 입자 크기분포, 입자의 형태와 응집형태, 그리고 비표면적 등과 같은 특성에 의존하여 최종적으로 사용될 수 있으며, 이러한 특성들은 제조공정에 크게 의존한다[9]. 전 세계적으로 카본블랙은 연간 약 6백만 톤이 생산되고, 생산된 카본블랙 중 70% 정도가 타이어에 주로 소비되며, 나머지는 자동차 산업 및 고무산업 등에 쓰인다[9,10].

본 연구에서는 직류 아크방전에 의해 생성된 열플라즈마를 이용하여 탄화수소의 직접분해 실험을 수행하였다. 탄화수소의 원료로는 메탄과 프로판을 사용하였으며, 이때 생성된 수소의 순도 및 생성량, 카본블랙의 특성을 분석하였다.

2. 실험

2.1. 실험 방법

2.1.1. 시스템의 구성

본 실험에 사용한 플라즈마 장치는 직류 아크 플라즈마 토치, 급속 냉각 챔버, 필터 부분으로 구성되어 있는데, 개략도를 Figure 1에 나타

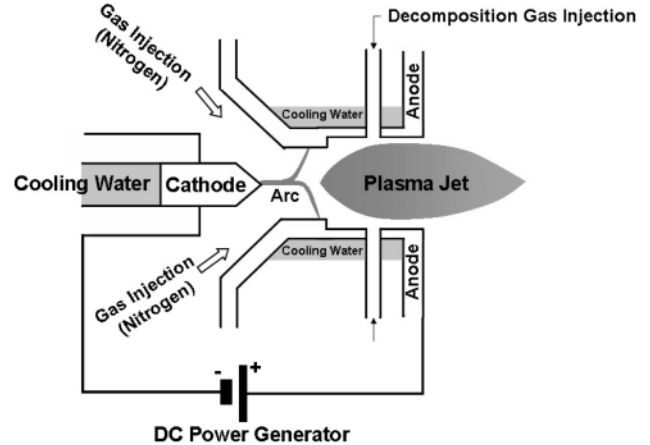


Figure 2. The internal structure of a non-transferred arc plasma torch used in this work.

내었다. 탄화수소의 직접분해를 위해 비 이송식 플라즈마가 사용되었으며, 플라즈마 토치의 상세도를 Figure 2에 나타내었다. 탄화수소의 직접분해공정은 대기압 하에서 최대 전력이 8 kW인 직류 전원공급기에 의해 전원이 공급되었으며, 13 L/min의 질소를 사용하여 텅스텐 음극(cathode) 봉과 동 양극(anode) 노즐 사이의 아크 방전을 통해 발생된 플라즈마의 중심부로 분해가스가 주입되도록 설계되었다. 분해가스는 순도 99.9%의 메탄과 순도 99.8%의 프로판을 사용하였으며, 분해가스의 유량과 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

2.1.2. 생성물의 분석

탄화수소의 직접분해에 의해 생성된 혼합가스는 기체 크로마토그래피(GC, Agilent Tech., 6890N)를 이용하여 분석하였으며, 혼합가스 중 수소와 질소는 운반 가스로 알콘을 사용하여 Molecular sieve 13X 컬럼을 이용하여 열전도도 검출기(TCD)로 분석하였고, 수소와 질소를 제외한 탄화수소류의 혼합가스들은 운반 가스로 헬륨을 사용하여, HP-PLOT Al₂O₃ “M” 컬럼을 이용하여 불꽃이온화 검출기(FID)로 분석하였다.

원료인 탄화수소의 분해율(η : decomposition efficiency of hydrocarbon)은 다음의 (1)식을 이용하여 계산하였다.

$$\eta(\%) = \frac{\text{Decomposition amount of hydrocarbon}}{\text{Total amount of hydrocarbon injected into plasma chamber}} \times 100 \quad (1)$$

탄화수소의 직접분해에 의해 생성된 수소의 순도는 플라즈마 가스로 사용된 질소를 제외하고 다음의 (2)식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Purity of hydrogen}(\%) = \frac{\text{The amount of produced H}_2}{\text{Total amount of produced gases}} \times 100 \quad (2)$$

고상으로 생성된 카본블랙은 FT-Raman, XRD, SEM 등을 통하여 특성을 분석하였다.

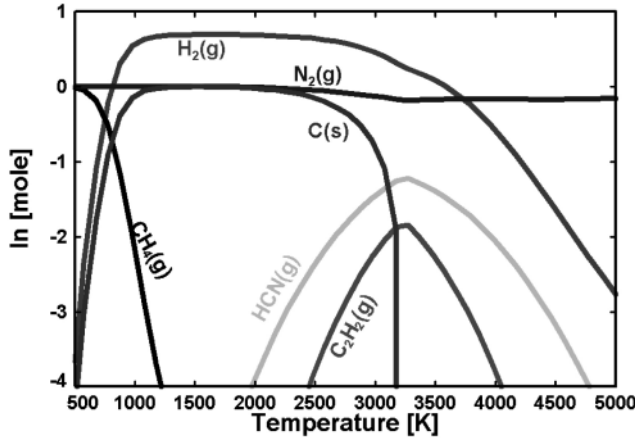


Figure 3. Thermodynamic equilibrium compositions calculated from methane decomposition.

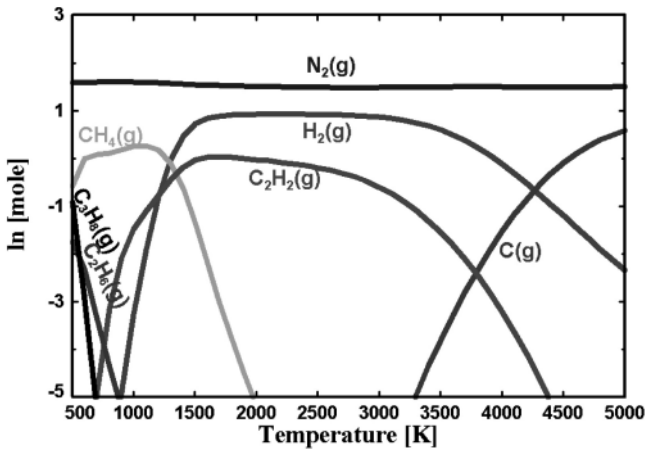


Figure 4. Thermodynamic equilibrium compositions calculated from propane decomposition.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄화수소의 열역학적 평형조성

실험에 앞서 메탄과 프로판의 열분해 시 열역학적 평형조성을 계산하여 Figure 3과 Figure 4에 각각 나타내었다. 화학평형조성은 깁스 자유에너지의 최소화를 기반으로 한 프로그램(factsage)에 의해[11], 500~5000 K의 온도범위에서 계산을 수행하였다. Figure 3과 Figure 4는 각각 대기압 하에서 온도에 따른 메탄과 프로판의 열분해에 대한 열역학적 평형조성 계산결과를 보여준다. 메탄의 경우, 약 1300 K 부근에서 완전한 열적분해를 보이고 있으며, 1300~2000 K 사이의 온도에서 수소를 최대로 얻을 수 있는 것으로 나타났는데, 이 온도 범위에서는 대부분의 생성물이 수소와 카본블랙이라는 것을 알 수 있다. 또한 프로판을 직접 분해할 경우 열역학적 평형조성 계산 결과, 약 900 K 부근에서 프로판의 완전한 열적분해가 가능하였다. 한편 프로판의 분해에 따라 메탄과 에탄이 생성됨을 알 수 있었으며, 900 K 이상에서는 메탄과 에탄의 열적분해에 의해 수소와 아세틸렌이 생성되고 3300 K 이상의 온도에서 탄소가 생성됨을 알 수 있었다. 또한 프로판의 열분해 시 약 1500~3300 K에서 수소의 조성이 최대를 나타냄을 확인하였으며, 이 온도 범위는 본 실험에 사용한 플라즈마 토치에서 분출되는 플라즈마 제트의 중심온도보다 충분히 낮은 온도임을 알

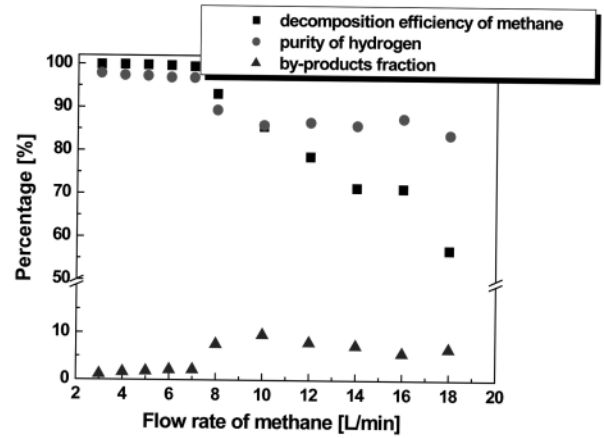


Figure 5. Decomposition efficiency, hydrogen purity, and by-products fraction as a function of methane flow rate.

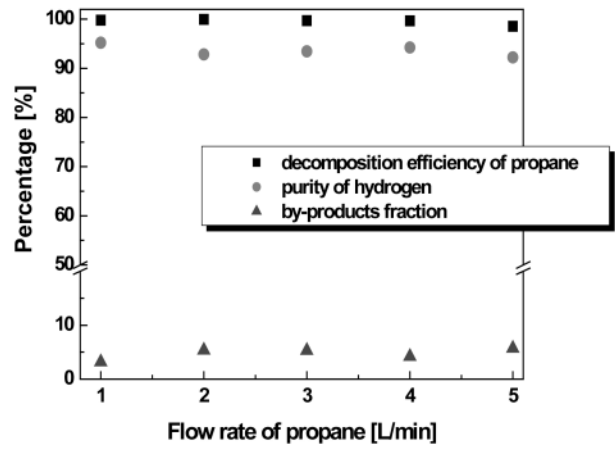


Figure 6. Decomposition efficiency, hydrogen purity, and by-products fraction as a function of propane flow rate.

수 있다[5].

3.2. 분해가스의 분해율 및 생성된 수소의 순도

Figure 5에는 분해가스로 메탄을 사용하였을 때 유량에 따른 탄화수소의 분해율, 수소의 순도, 그리고 분해가스와 수소를 제외한 아세틸렌과 같은 다른 탄화수소를 포함한 부산물의 농도를 나타내었다. 분해가스의 유량이 7 L/min 이하일 경우 분해율은 99.8%로 매우 높았으나, 유량이 그 이상으로 증가함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 이것은 분해가스인 메탄의 유량이 매우 큰 경우에 열플라즈마를 냉각시키고 주입된 메탄 일부가 플라즈마와 충분히 혼합되지 못하고 충분한 접촉시간을 갖지 못하여 불완전 열분해가 일어나는 것으로 판단된다. 수소의 순도도 분해가스의 유량이 7 L/min 이하일 때 98% 이상으로 유지되는 반면, 메탄의 유량을 7 L/min 이상으로 증가시킬 경우 탄화수소 분해율의 감소와 생성된 메탄 라디칼의 재결합에 의해 생성된 부산물(메탄을 제외한 탄화수소)들의 증가로 인해 수소의 순도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이상의 결과로부터 열플라즈마에 의한 메탄의 직접분해에 의해 수소를 생성할 경우, 유량조절을 통해, 최대 98% 이상의 순도를 가지는 수소를 생성할 수 있음을 확인하였다.

분해가스로써 프로판을 사용하였을 때 실험결과를 Figure 6에 나타

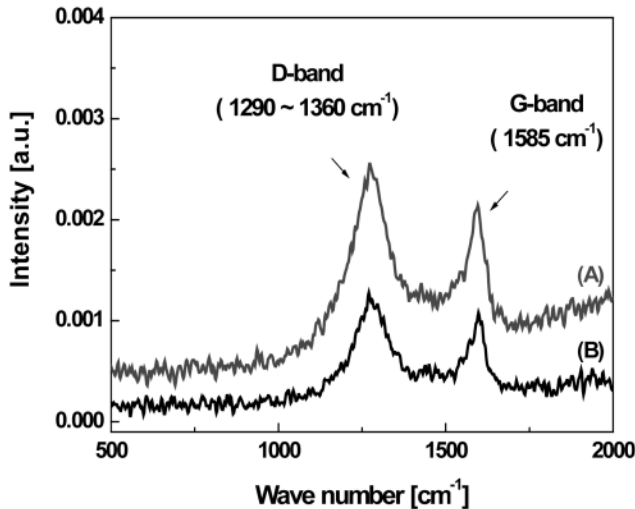
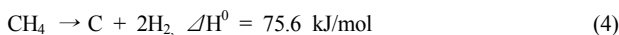
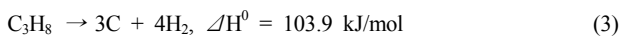


Figure 7. Raman spectra of carbon blacks: produced from (A) propane and (B) methane decompositions, respectively, when a hydrocarbon flow rate of 3 L/min was used.

내었다. 프로판을 분해가스로 사용한 경우 유량이 5 L/min보다 클 경우 주입구에 생성된 카본블랙 덩어리로 인하여 유량이 불안정하였으며, 이에 따라 재현성 있는 결과를 얻을 수 없었으므로, 유량이 1~5 L/min의 범위에서 실험을 수행하였다. 실험한 프로판의 유량범위에서 분해율은 99.5% 이상을 보였으나, 같은 유량의 메탄에 비해 에탄이나 메탄, 그리고 아세틸렌과 같은 탄화수소로 구성된 부산물들이 많이 생성되어 수소의 순도는 약 95%로 조금 낮은 것으로 나타났다. N. Muradov[2]에 따르면, 프로판은 약한 C-H결합(402.2 kJ/mol)을 가지기 때문에 440 kJ/mol의 C-H 결합에너지를 가지는 메탄분자보다 좀더 쉽게 분해될 수 있다. 프로판으로부터 수소 1 mol을 생성하는데 필요한 에너지는 26.33 kJ/mol이며, 이것은 메탄으로부터 수소 1 mol을 생성하는데 필요한 에너지 37.8 kJ/mol보다 작다.



그러나, 고온에서 프로판의 열적분해는 Figure 4에서 보듯이 열역학

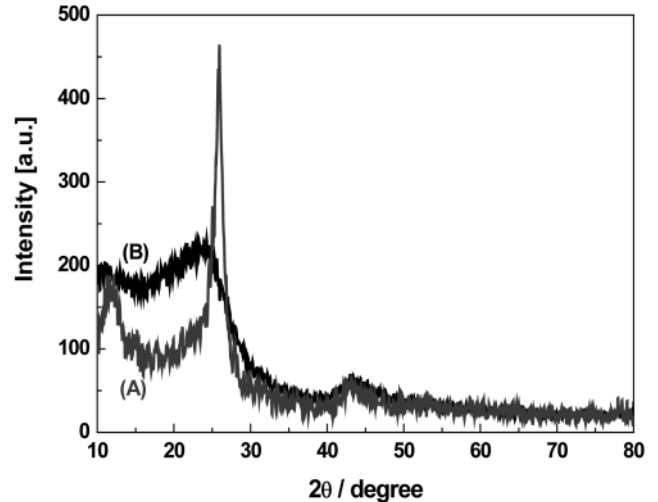
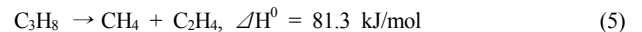


Figure 8. XRD patterns of carbon blacks: produced from (A) propane and (B) methane decompositions, respectively, when a hydrocarbon flow rate of 3 L/min was used.

적으로 메탄과 아세틸렌을 생성하는 반응이 또한 우세하여, 프로판을 직접 분해할 경우 CH_4 , C_2H_4 등의 탄화수소로 전환되는 반응인 식 (5)가 먼저 일어나고 그 이후에 순차적으로 CH_4 , C_2H_4 등의 탄화수소가 수소와 카본으로 분해되는 식 (4)의 반응이 일어나는 메커니즘으로 설명할 수 있다.



이와 같은 이유로, 프로판의 직접분해에 의해 생성된 수소의 순도는 메탄의 경우에 비해 낮은 것으로 판단된다.

본 연구 결과에서는 프로판을 분해가스로 사용하여 약 95%의 순도를 가지는 수소를 얻을 수 있었으며, 급속 냉각 등으로 생성된 라디칼들의 재결합을 막을 수 있으면 더 높은 수소로의 전환을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 생성된 카본블랙의 형태

탄화수소의 직접 분해에 의해 생성된 카본블랙의 결정성을 조사하기 위해 Raman Spectroscopy와 X선 회절 분석을 수행하였다. 흑연은

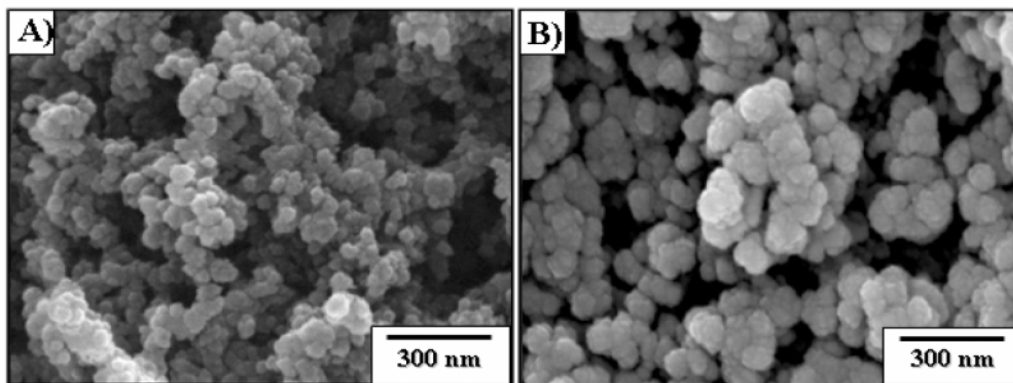


Figure 9. SEM images of the carbon blacks: produced from (A) propane and (B) methane decompositions, respectively, when a hydrocarbon flow rate of 3 L/min was used.

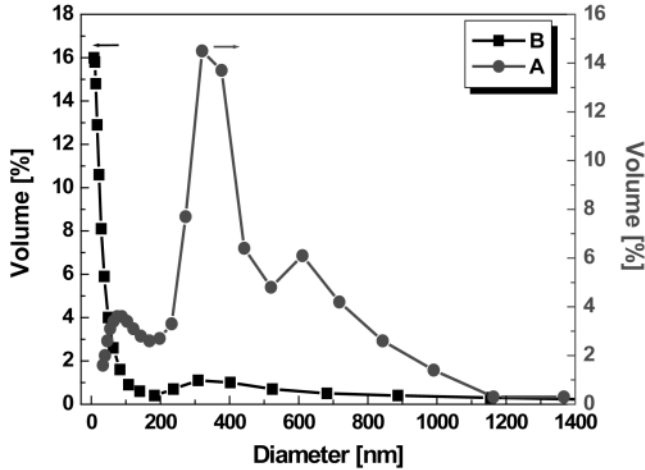


Figure 10. Particle size distributions of carbon blacks: produced from (A) propane and (B) methane decompositions, respectively, when a hydrocarbon flow rate of 3 L/min was used.

SP² 혼성결합으로 된 하나의 층을 가지고 있으며, 층 방향으로는 π 결합으로 인해 전기전도성을 띠므로[12], 도전성물질로 활용이 가능하다. Raman 분석 시 흑연과 같은 결정성인 SP² 혼성 탄소구조는 소위 G-band (1585 cm⁻¹)라 불리는 부근에서 특성 피크가 나타난다. 따라서 G-band 영역에 피크가 존재한다면 결정성이 있는 물질이라고 볼 수 있다. 반면에 약 1350 cm⁻¹ 부근에서 나타나는 D-band의 특성 피크로부터 구조결합의 정도를 판단할 수 있다[13]. Figure 7에는 주입된 메탄과 프로판의 유량이 3 L/min 일 때 생성된 카본블랙의 Raman 분석 결과를 나타내었다. 메탄이나 프로판의 직접분해에 의해 생성된 카본블랙의 경우 모두 1290 cm⁻¹ 부근과 1585 cm⁻¹ 부근에서 각각 피크가 관찰되었다. 두 물질 모두 D-band의 피크를 가지므로 탄소의 격자결합을 포함하는 탄소 계층의 무질서 구조를 가지는 것을 알 수 있고, G-band의 피크 또한 존재하는데 흑연과 같은 SP² 혼성결합뿐만 아니라 다이아몬드에서 나타나는 SP³ 혼성결합이 혼재하는 defective graphite를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 더욱이 프로판에서 생성된 카본블랙의 G-band 영역이 강하므로 전도성물질로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 프로판과 메탄의 열분해로 생성된 카본블랙의 X선 회절분석을 수행하여 그 결과를 Figure 8에 나타내었다. X선의 source로는 CuK α 를 사용하였고, 파장이 $\lambda = 1.54 \times 10^{-10} \text{ m}^{-1}$ (1.54 Å)인 X-선을 이용하여 분석을 수행하였다. 모든 경우에 있어서 2θ 가 20° ~ 30°에서 특성피크를 나타내고 있으며, 플라즈마 열분해에 의해 생성된 카본블랙의 경우 높은 결정성을 가지고 있음을 확인해 볼 수 있었다. 또한 각 물질의 회절곡선의 폭을 측정하여 매우 작은 결정들의 평균 입자 크기를 측정할 수 있으며, 평균입자 크기는 (6)식의 Scherrer Equation을 사용하여 FWHM (full width at half maximum)으로부터 계산할 수 있다[14].

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (6)$$

여기서, D 는 입자 직경, λ 는 x-ray 파장, B 는 회절피크의 FWHM을, θ 는 피크 첨단(尖端)의 회절 각을 의미한다. 따라서, X선 파장이 일정하고, θ 값의 변화가 적다면(단, $\cos \theta > 0$), 회절피크의 FWHM인 B 에 의해 평균 입자크기가 결정되며, 이 값이 클수록 입자의 직경

Table 2. Elemental Analysis of Carbon Black Produced from Hydrocarbon Decomposition

Sample Name	Nitrogen [%]	Carbon [%]	Hydrogen [%]	Sulfur [%]
In Chamber (3 L/min, CH ₄)	0.5681	95.576	1.3296	-
In Chamber (3 L/min, C ₃ H ₈)	0.5345	96.5970	1.6356	-

은 작은 것으로 판단할 수 있다. Figure 8의 약 23° 부근의 피크를 비교해볼 때, 메탄으로부터 생성된 카본블랙의 평균 입자 크기가 프로판으로부터 생성된 카본블랙의 평균 입자 크기보다 더 작은 것을 확인해 볼 수 있다.

생성된 카본블랙의 표면 분석을 위해 주사전자현미경(SEM) 분석을 수행하여 그 결과를 Figure 9에 나타내었다. 메탄이나 프로판의 직접분해에 의해 생성된 카본블랙의 표면 형상이 입자 크기가 균일한 구형으로 존재함을 확인할 수 있었다. 또한 작은 크기의 입자들이 서로 응집되어 있는 것을 확인하였는데, 일반적으로 카본블랙은 반데르발스 인력으로 결합한 응집체, 즉 structure라 부르는 집합상태로 존재하는 경우가 많고, 입경이 작을수록 응집하기가 쉬운 것으로 알려져 있다[15]. 메탄에서 생성된 카본블랙이 프로판에서 생성된 카본블랙보다 더 많이 뭉쳐있는 것을 SEM 분석결과 확인하였는데, 이는 X선 회절분석 결과에서 보듯이 메탄으로부터 생성된 카본 입자가 프로판으로부터 생성된 카본 입자보다 크기가 작은 것을 통해 입증될 수 있다.

메탄과 프로판의 직접분해에 의해 생성된 카본블랙의 입도분석 결과를 Figure 10에 나타내었다. 입도분석은 광 산란 방법에 의해 수행하였으며, 알코올에 아주 미세히 희석된 카본블랙의 시료를 레이저 빔에 노출시켜 입자에 의해 산란되는 빛의 파장 신호 변화를 통해 입자의 크기를 분석하였다. 메탄이 프로판보다 작은 사이즈의 카본블랙을 생성하였으며, 메탄으로부터 생성된 카본블랙은 100 nm 미만의 사이즈가 대부분을 차지하였고, 프로판으로 생성한 카본블랙은 500 nm 미만의 사이즈가 주를 이루었으며, 이는 메탄에서 생성된 카본블랙이 프로판에서 생성된 카본블랙보다 작은 것으로 판별된 X선 회절분석과 SEM 분석의 결과와 일치한다.

생성된 카본블랙의 CHNOS 원소분석을 수행하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 메탄이나 프로판으로부터 생성된 카본블랙은 구성에 있어서 큰 차이를 나타내지 않았다. 두 종류의 카본블랙 모두 95% 이상이 카본으로 구성 되어있으며, 질소가 미량 함유되어있는데, 이는 플라즈마 발생가스로서 질소를 사용하였기 때문에 나타난 결과로 판단되며, 생성된 수소가 각 카본블랙 표면에 미량 붙어 최종 생성물에 미량의 수소가 포함되어 있음을 확인해 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 열플라즈마 직접분해에 의해 탄화수소로부터 고순도의 수소와 상업적으로 응용 가능한 카본블랙을 생성하였다. 약 5 kW의 열플라즈마를 이용한 결과 분해가스(CH₄, C₃H₈)는 99% 이상의 분해율을 보였으며, 수소로의 높은 전환율을 확인하였다. 열플라즈마를 이용한 탄화수소로부터 수소를 생성할 경우, 질소를 제외한 수소의 순도는, 메탄의 경우 최대 98%, 프로판의 경우 최대 95%의 순도를 나타내었다. 메탄의 경우, 유량이 7 L/min 이하에서는 분해율이 99.8%를 나타내었으나, 분해가스 유량이 7 L/min 이상으로 증가할수록 분해율이 감소하였는데, 그 이유는 분해가스의 유량이 증가함에

따라 냉각된 열 플라즈마와 충분한 혼합과 긴 접촉시간을 갖지 못하고 그로 인해 주입된 메탄이 불완전한 열분해를 일으키기 때문이다.

프로판의 경우, 열역학적으로 카본과 수소로의 분해반응보다 메탄과 에틸렌으로의 분해반응이 우세하여 수소의 순도가 메탄의 직접분해에 비해 낮은 것으로 나타났으나, 열플라즈마를 사용한 프로판의 분해를 통해 최대 95%의 상당히 높은 순도의 수소를 얻을 수 있는 것으로 확인되었다.

탄화수소의 직접 분해에 의해 부산물로 생성된 카본블랙의 경우 Raman spectroscopy와 X선 회절분석을 통해 결정성이 양호한 카본블랙이 형성되었음을 확인하였는데, 공정개선을 통해 보다 우수한 결정성을 가진 카본블랙을 합성한다면 높은 전도도를 요하는 전극 재료로서 사용이 가능할 것으로 판단된다. SEM 분석과 입도 분석을 통해 카본블랙의 표면형상 및 평균 입자 크기를 분석한 결과 생성된 탄화수소의 입자가 구형으로 고르게 존재하는 것으로 나타났으며, 메탄으로부터 제조된 카본블랙이 프로판으로부터 제조된 카본블랙 보다 작은 입자 크기를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 특성들로 미루어 메탄을 사용하여 플라즈마 직접분해에 의해 생성된 카본블랙은 고무 산업 및 플라스틱 산업에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지정 RIC 인하대학교 열플라즈마환경기술연구센터의 2006년도 지원에 의한 것이다.

참고 문헌

1. B. Gaudernack, *Energy Convers. Manage.*, **38**, S165 (1997).

2. N. Muradov, *International Journal of Hydrogen Energy*, **26**, 1165 (2001).

3. K. Osuka, S. Kobayashi, and S. Takenaka, *Journal of Catalysis*, **200**, 4 (2000).

4. E. Pfender, *Plasma Processing and Synthesis of Materials, Materials Society Symposia Proceedings*, **30**, 13 (1984).

5. 박동화, 오성민, *열플라즈마 공정과 응용*, 82, 인하대학교 출판부 (2004).

6. L. Bromberg and R. Ramprasad, *International Journal of Hydrogen Energy*, **25**, 1157 (2000).

7. E. fitzer, K. H. Kchling, H. P. boehm, and H. marsh, *Pure & Appl. Chem.*, **67**, 473 (1995).

8. Y. Schwob, *Caoutchouc et Plastiques*, **733**, 70 (1994).

9. F. Fabry, G. Flamant, and L. Fulcheri, *Chemical Engineering Science*, **56**, 2123 (2001).

10. B. gaudernack and S. lynum, *Int. J. Hydrogen Energy*, **23**, 1087 (1998).

11. FactSage, software program, Version 5.3.1, GTT-Technologies, Germany.

12. S. Reich and C. Thomsen, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, **362**, 2271 (2004).

13. A. C. Dillon, M. Yudasaka, and M. S. Dresselhaus, *Journal of nanoscience and nanotechnology*, **4**, 691 (2004).

14. B. D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction*, **2**, 86, Addison-Wesley, Philippines (1978).

15. L. Fulcheri, Y. Schwob, and G. Flamant, *J Phys. III France*, **7**, 491 (1997).