

Co, Ni 마가다이트 주형을 이용한 다공성 흑연의 합성

정 순 용*

한국화학연구원 응용화학연구부

Preparation of Porous Graphite by Using Template of Co- and Ni-Magadiite

Soon-Yong Jeong*

*Applied Chemistry & Engineering Division, Korea Research Institute of Chemical Technology,
Taejeon 305-600, Korea*

(Received March 28, 2005; Accepted April 16, 2005)

Abstract Porous graphite was synthesized by removal of template in HF after pyrolysis of pyrolyzed fuel oil (PFO) at 900°C using the template of Co or Ni intercalated magadiite. Porous graphite had a plate structure like template, and d-spacing value of about 0.7 nm. The extent of crystallization of porous graphite was dependent on the contents of Co or Ni intercalated in interlayer. It can be explained that the metal such as Co and Ni acts as a promotion catalyst for graphite formation. Porous graphite shows the surface area of 328~477 m²/g.

Keywords : Graphite, Catalyst, Layered silicate, Magadiite

1. 서 론

탄소 소재는 각종 물리적, 화학적 유용성으로 다양한 분야에 응용되어 왔으며 최근에는 차세대 에너지 원인 각종 전지의 전극재료로서 다양한 각도의 연구가 진행되고 있다¹⁻⁴⁾. 전극재료는 전기전도성, 신속한 냉각을 위한 열전도성, 가열과 냉각의 반복에 따른 팽창과 수축에 대한 열 충격저항, 활성금속촉매의 효과적 이용을 위한 높은 비표면적 그리고 화학적 안정성 등이 필수적으로 요구된다. 이 중 흑연은 상온에서 구리의 1/3, 알루미늄의 1/2, 일반강의 2배에 이르는 높은 전기전도성과, 알루미늄, 구리, 철 등의 전도성 금속에 비해 현저히 낮은 열팽창율과 열전도도로 인한 높은 열 충격저항 등의 유용한 특성을 나타낸다⁵⁻⁷⁾. 그러나 약 2000°C의 높은 온도에서 장시간의 흑연화 과정을 거쳐야 하는 제조상의 어려움이 있다.

반면에 층상 실리케이트를 주형으로 하면 낮은 반

응온도와 짧은 반응시간에서 쉽게 층상 카본을 제조할 수 있다. 뿐만 아니라 층상 실리케이트의 층과 층 사이의 2차원공간은 나노미터 차원의 반응기로서 역할을 할 수 있으며, 공기와의 접촉이 어려운 불활성의 극한 분위기를 제공할 수 있어서 유기물을 비롯한 여러 가지 무기물들이 2차원의 방향으로 배향되도록 도울 수 있다⁸⁾.

또한 층상 실리케이트는 수열합성에 의한 대량 합성이 용이하고, 불산 또는 알칼리에 의해 용출된 실리카 폐액은 다시 사용할 수 있는 장점이 있으며, 높은 이온 교환능으로 인하여 층과 층 사이의 2차원적 공간은 유동적인 확장이 가능하여 다양한 크기와 입체구조를 갖는 금속이온 혹은 유기물질층을 증착시킬 수 있다. 일반적으로 흑연 제조에 이용되는 탄소 원료로는 열처리기에 의해 흑연화 될 수 있는 통상의 유기물이 이용될 수 있다. 하지만 나프타 열분해 공정의 부산물로서 다환족 탄화수소가 60% 이상인 PFO를 이용할 경우 거의 순수한 카본 화합물로서 자

*Corresponding Author : [Tel : +82-042-860-7538; E-mail : syjeong@kRICT.re.kr]

원 재활용에 의미가 있다.

본 연구에서는 코발트와 니켈이 층간 삽입된 마가다이트를 주형으로 이용하여 다공성 흑연을 제조하였다. 다공성 흑연은 코발트 및 니켈 원자가 층간 삽입된 마가다이트에 PFO를 층과 층 사이에 침투시켜 900°C에서 열처리한 후, 불산으로 실리카를 용출하여 합성하였다. 합성된 마가다이트의 층간에 이온교환되는 금속 이온의 종류와 양의 변화에 따라 제조된 다공성 흑연의 물리적 특성을 XRD, SEM, EDS, FT-IR, 질소흡착장치 등을 이용하여 조사 하였다.

2. 실험

2.1. 사용 시약

주형으로 사용할 마가다이트의 합성을 위해 sodium silicate(Shin-hung, 38%), H_2SO_4 (Oriental chemical, 99%) 그리고 NaOH(DC chemical, 98%)를 사용하였다. 합성된 마가다이트는 dodecylamine(DDA, Junsei, 98%), 그리고 EtOH(Jin chemical, 95%)를 이용하여 층간 거리를 넓혔으며 $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (Aldrich, 98%), $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (Aldrich, crystal)를 이용하여 층간 삽입을 시켰다. 또한 흑연 전구체로 pyrolyzed fuel oil(PFO)을 이용하였다. PFO(Honam petrochemical)는 평균분자량이 대략 8000 정도의 지방족과 방향족 탄화수소의 혼합물로서, 비점이 288°C 이하인 탄화수소가 67%이고, 288°C 이상이 33%로 구성되며, 그 중 60% 이상이 방향족으로 이루어져 있다. 또한 50°C에서 점도는 3800-4200 cps이며, 불순물로서 황이 0.1-0.2%, 질소가 20-40 ppm이 포함되어 있다. 마가다이트 주형을 용출 제거하기 위해서 HF(DC chemical, 48%)를 사용하였다.

2.2. 마가다이트의 합성

주형으로 쓰이는 Na-magadiite는 sodium silicate를 원료로 이용하는 Kwon *et al.*⁹⁻¹⁰⁾의 방법을 적용하였다. H_2SO_4 용액(10%) 250 ml을 70-80°C의 온도에서 잘 저어주면서, 여기에 sodium silicate용액(38%) 250 g을 pH 6-7에 도달할 때까지 서서히 첨가하여 실리카를 침전시켰다. 여기에 증류수와 NaOH를 추가하여 $SiO_2 : NaOH : H_2O$ 의 몰 비가 1 : 0.3 : 33.3이 되도록 조정한 후, stainless steel autoclave에 넣고 160°C에서 72 h 동안 수열 반응시켰다. 반

응물을 여과한 후, 증류수로 3회 이상 세척하여 과잉으로 남아있는 염과 알칼리를 제거하고 40°C에서 건조하여 Na-magadiite를 얻었다.

2.3. 마가다이트의 전처리 과정

합성된 Na-magadiite를 주형으로 하고 코발트를 이용하여 이온교환에 의해 층간 삽입 하였다. 각각 6.26, 12.52, 25.04 g의 $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 를 증류수 100 ml에 용해시켜 용액을 제조하였다. 이때의 코발트 원자와 Na-magadiite의 Co/Si 원자비는 각각 0.29, 0.58, 1.16이었다. 제조된 용액에 합성된 Na-magadiite 5 g을 상온에서 교반하면서 분산시켰다. 20 h 동안 유지한 후 증류수를 사용하여 3회 이상 여과 및 세척한 후 80°C에서 건조하여 Co-magadiite를 얻었으며 이것을 Co/MA로 칭하였다.

또한 층간 간격에 따른 코발트 이온의 층간 삽입을 확인하기 위하여 전처리 과정을 거쳤다. 먼저 합성된 Na-magadiite 40 g을 증류수 500 ml에 분산시키고, 0.10 N-HCl 용액을 12 h에 걸쳐 서서히 적하하여 pH가 1.9로 되도록 한 후, 12 h 동안 유지하면서 더 이상의 pH 변화가 없으면 여과하고, 증류수로 Cl^- 이온이 남지 않도록 완전히 씻어내고 40°C에서 건조하였다. HCl에 의해 산처리 된 H-magadiite를 0.5 M dodecylamine-에탄올 용액에 분산시키고 20 min 동안 초음파를 이용하여 분산시킨 후, 50°C의 오븐에서 증발 건조하여 유기화된 magadiite를 제조하였으며 이를 DDA/MA로 칭하였다¹¹⁻¹³⁾. 제조된 DDA/MA 5 g을 6.26, 12.52 g의 $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 이 용해되어 있는 에탄올 용액 100 ml에 교반하면서 분산시켜 제조하였다. 코발트 이온이 층간 삽입된 시료를 Co/DDA/MA로 칭하였다. 이때의 DDA/MA의 Co/Si 원자비는 각각 0.58, 1.16이었다.

코발트 이외에 흑연의 형성을 촉진하는 촉매로써 니켈 ($Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)을 이용하여 코발트와 동일한 방법으로 층간 삽입을 하였다. Na-magadiite를 이용하여 이온교환에 의해 층간 삽입이 이루어진 시료를 Ni/MA라 칭하였으며, DDA/MA를 이용하여 Ni의 층간 삽입이 이루어진 시료를 Ni/DDA/MA라 칭하였다.

2.4. 다공성 흑연의 합성

코발트 또는 니켈 이온이 층간 삽입된 시료와 PFO를 이용하여 다공성 흑연을 합성하였다. 코발트

또는 니켈 이온이 층간 삽입된 시료 10 g을 PFO 30 g에 분산시킨 후 30 min 동안 교반기를 이용하여 혼합하였다. 이때의 중량비는 주형 : PFO=1 : 3이었다. 혼합된 시료를 상온에서 15 h 동안 방치하여 PFO의 자발적 층간 삽입을 유도한 후 Tube furnace에서 3 l/min로 질소를 흘려주면서 900°C에서 3 h 동안 열분해 시켰다. 소성된 시료를 48%의 불산 용액에 6 h 이상 분산시켜 주형인 마가다이트를 용출시키고, 침전물을 증류수로 3회 이상 여과, 세척하여 침전물을 회수하였다. 초기 PFO 투입량 대비 건조한 다공성 흑연의 수율은 약 10% 였다.

2.5. 특성 분석

X선회절 분석은 X-ray powder diffractometer (Rigaku, D/MAX-IIIB)를 이용하여 $\text{CuK}\alpha$, 40 kV, 40 mA, Ni-filter 조건의 광원으로 $1.5\sim 60^\circ$ 범위에서 0.02° 간격으로 주사속도 $4^\circ/\text{min}$ 로 행하였다. 또한 scanning electron microscopes (Philips, XL 30S FEH, XL V.5.50)를 사용하여 입자크기 및 형상을 관찰하였으며, 합성된 시료들의 비표면적은 자동흡착장치 (Micrometrics, ASAP 2010)를 사용하여 액체질소 온도(77K)에서 질소가스 흡/탈착 자료로부터 구하였다. Energy dispersive X-ray spectrometer (EDS, Phoenix, EDAX V.3.)를 이용하여 시료의 화학조성을 확인하였고, 합성 마가다이트와 층간 삽입 과정에 따르는 결합구조를 조사하기 위하여 FT-IR (Jasco, FT/IR-610) 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

Na-magadiite와 DDA/MA를 이용하여 각기 다른 전처리 과정을 통하여 층간 삽입에 의한 층간 거리 변화와 Co, Ni 금속이온의 이온교환 능력의 여부를 확인하였다. Na-magadiite를 기초로 하여 전처리 과정에 따른 XRD peak 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 그림 1(a)는 수열합성에 의해 합성된 Na-magadiite의 전형적인 결정 피크로 d-spacing이 2.0 nm으로 문헌치^{14,15)}와 일치함을 확인할 수 있다. 코발트 이온을 이온교환에 의해 층간 삽입시킨 Co/MA의 결정 구조를 보면(001)면 피크의 세기가 작아졌음과 동시에 코발트 이온의 층간 삽입에 의해 2 θ 의 값이 약간 오른쪽으로 밀려있음을 그림 1(b)에서 확인할 수 있다.

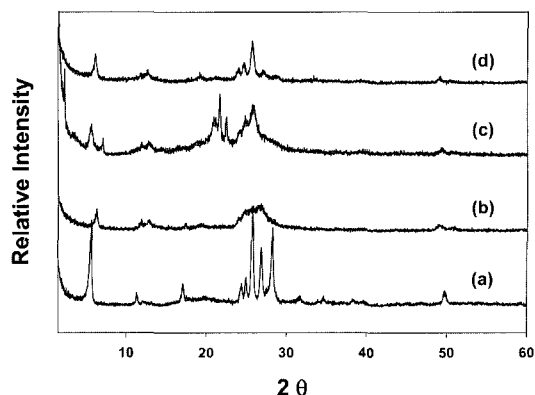


Fig. 1. XRD patterns of template. (Co/Si=1.16). (a) Na-magadiite (b) Co/MA (c) DDA/MA (d) Co/DDA/MA

이것은 나트륨 이온이 코발트 이온으로 교환되면서 층간 간격이 약간 작아졌음을 보여 주고 있다. 그림 1(c)는 DDA를 Na-magadiite의 층 내에 층간 삽입된 시료 DDA/MA의 결정 피크이며 d-spacing이 5.1 nm의 값으로 층간 간격이 크게 확장되었다. DDA에 의해 층간 확장된 DDA/MA에 코발트 이온을 층간 삽입시킨 시료 Co/DDA/MA의 결정 구조를 그림 1(d)에 나타내었다. DDA에 의해 층간 확장되었던 마가다이트가 코발트 이온이 층간 삽입되고 DDA가 유출되면서 층간 간격이 다시 작아졌음을 알 수 있다.

그림 2는 Na-magadiite와 전처리 과정을 통해 층간 삽입된 시료들의 FT-IR spectrum을 $4000\sim 100\text{ cm}^{-1}$ 범위에서 측정하여 마가다이트와 층간 삽입된 시료들의 -OH band의 변화와 새로 도입되는 CH_3 ,

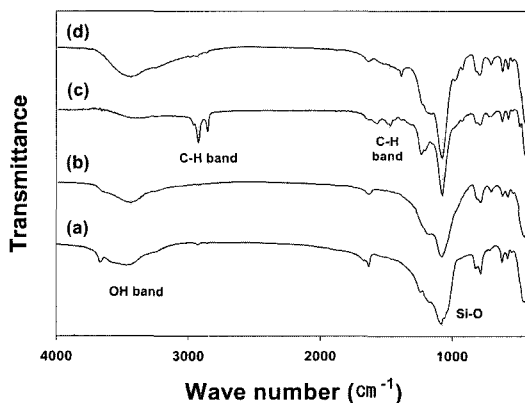


Fig. 2. FT-IR patterns of template. (Co/Si=1.16). (a) Na-magadiite (b) Co/MA (c) DDA/MA (d) Co/DDA/MA

Table 1. BET surface area of porous graphite prepared at various atomic ratios of metal and template.

Template	Metal	Atomic Ratio of Metal/Si		BET Surface Area (m ² /g)
		Existing in Slurry Solution	Existing in Template (EDS analysis)	
Na-Magadiite	Co	0.29	0.09	400
	Co	0.58	0.08	328
	Co	1.16	0.09	373
	Ni	1.16	0.05	366
	Co	0.58	0.19	477
DDA/MA	Co	1.16	0.27	428
	Ni	1.16	0.18	477

CH₂, NH₂ band의 변화를 나타낸 것이다. 3600 cm⁻¹ 부근에서 -OH band가 나타남을 확인할 수 있으며 DDA에 영향을 받아 다소 감소하였음을 확인할 수 있다. 또한 1000~1100 cm⁻¹ 부근에서 SiO band가 나타나며 DDA에 포함되어 있는 CH₃, CH₂가 그림 2(c)에서처럼 각각 2800~3000, 1465 cm⁻¹ 부근에서 존재하였다가 코발트의 층간 삽입에 의해 제조된 Co/DDA/MA에서는 존재하지 않음을 그림 2(d)에서 확인할 수 있다. DDA와 코발트 이온의 상호 교환이 이루어졌음을 재확인 할 수 있었고 이처럼 전처리에 의해 층간 삽입되었던 DDA는 코발트 이온이 쉽게 층간 삽입되도록 마가다이트의 층간 거리 확장의 역할을 충실히 하였음을 확인할 수 있다.

표 1은 코발트 또는 니켈 이온이 층간 삽입된 시료들의 EDS 분석 결과이다. Na-magadiite를 주형으로 이용하였을 경우 슬러리의 Co/Si 원자비의 변화에도 불구하고 거의 일정하게 0.09 정도의 값을 나타내어 용액 중에 코발트의 양에 관계없이 일정 농도 이상에서는 이온교환된 코발트의 양이 일정함을 나타내었다. 하지만 DDA/MA를 주형으로 이용하였을 경우 슬러리의 Co/Si 원자비가 0.58에서 1.16으로 증가함에 따라 층간 삽입된 시료의 Co/Si 원자비가 0.19에서 0.27로 2배 이상 증가함을 보여 주었고, 이것은 코발트가 층간에 많이 삽입되어 있음을 나타낸다. 그러나 층간 삽입된 금속 원자는 최초 공급된 금속원자의 약 20%로써 대부분의 금속은 세척, 여과 시 소실되었음을 확인할 수 있다. 또한 주형의 종류에 따른 변화를 비교해 보면 Na-magadiite와 DDA/MA의 시료의 경우 슬러리 시료의 Co/Si 원자비가 0.58인 반면에 층간 삽입된 시료의 Co/Si 원자비가 각각 0.08, 0.19의 값을 나타냈으며, DDA/MA가

Na-magadiite에 비해 두 배 이상의 층간삽입능이 있음을 확인하였다. 이는 DDA/MA의 층간 간격이 유기화합물에 의해 크게 확장되어 금속화합물의 침투를 용이하게 했을 뿐만 아니라 금속화합물과 층 내부에 결합되어 있는 아민기와의 상호작용에 의한 것으로 예상된다. 니켈의 경우도 Ni/Si의 원자비가 1.16으로 동일할 때 Na-magadiite를 주형으로 사용하였던 것보다 DDA/MA를 주형으로 사용하였을 경우가 Ni/Si의 원자비가 각각 0.05에서 0.18로 증가한 것으로 보아 더 많은 니켈 이온이 층간 삽입되어 있음을 확인할 수 있었다.

그림 3은 다양한 농도의 코발트 수용액에서 이온 교환에 의해 코발트 이온이 층간 삽입된 Co/MA를 주형으로 이용하여 제조한 다공성 흑연의 XRD 피크이다. 분석 결과를 보면 2θ=11° 부근에서 약 0.7 nm의 d-spacing 값을 가지는데 이로 부터 다공성 흑

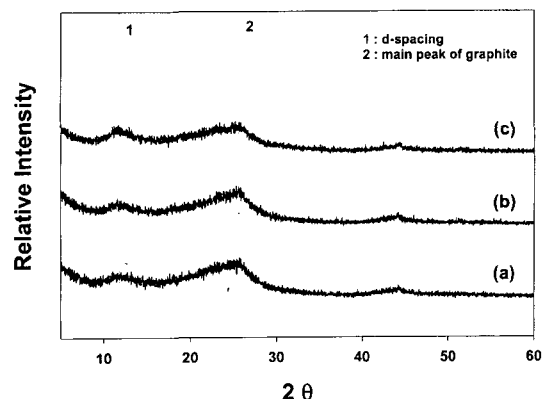


Fig. 3. XRD patterns of porous graphite by various Co/Si ratios of Co/MA. (a) Co/Si=0.29 (b) Co/Si=0.58 (c) Co/Si=1.16

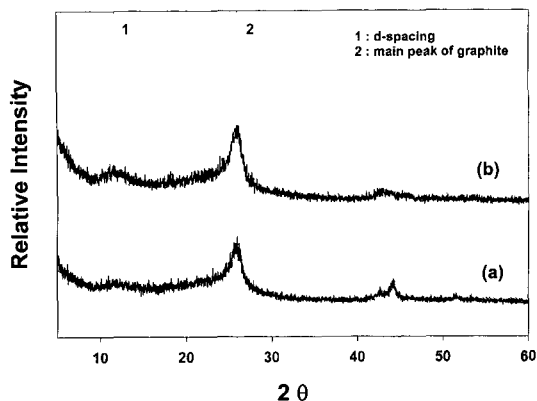


Fig. 4. XRD patterns of porous graphite by various Co/Si ratios of Co/DDA/MA. (a) Co/Si=0.58 (b) Co/Si=1.16

연이 층상 구조를 가지고 있음을 확인할 수 있으며 흑연의 주요 피크가 $2\theta=26^\circ$ 근방에서 작게 나타난 것으로 보아 흑연의 결정이 발달되지 않았음을 알 수 있다. 이것은 슬러리 용액의 Co/Si 원자비가 0.29, 0.58, 1.16으로 점차 증가하였지만, 이미 0.29 이하의 원자비에서 마가다이트의 층 내에 코발트 이온이 포화되어 있어 나머지 과량의 코발트 이온들은 더 이상 층간 삽입되지 않고 세척 과정에 의해 소실되어 흑연화 과정의 촉매로써의 역할을 하지 못하였기 때문에 예상된다. 그러므로 XRD 피크의 형태는 Fig. 3(a)-(c)에서처럼 크게 변화하지 않음을 확인할 수 있다.

그림 4는 다양한 농도의 코발트 용액 내에서 코발트 이온이 층간 삽입된 Co/DDA/MA를 주형으로 이용하여 제조한 다공성흑연의 XRD 피크이다. 분석된 결과를 보면 $2\theta=26^\circ$ 근방에 흑연 고유의 피크가 뚜렷하게 성장하였음을 볼 수 있다.¹⁶⁾ 이는 DDA의 전처리 과정을 통하여 층간 거리가 크게 확장된 DDA/MA의 층간 사이에 많은 양의 코발트 이온이 충분히 층간 삽입되었기 때문에 사료된다. 또한 $2\theta=11^\circ$ 부근에서 약 0.7 nm의 d-spacing 값을 확인할 수 있는데 이는 박막들이 일정한 간격으로 서로 포개어진 구조로 전형적인 층상 구조를 가지는 다공성 흑연을 형성하였음을 보여준다.

다공성 흑연의 합성에 주형으로 이용되는 마가다이트의 층 내에 삽입된 금속이온의 영향을 확인하기 위해 DDA/MA를 이용하여 동일한 농도에서 코발트 또는 니켈 이온이 층간 삽입된 Co/DDA/MA, Ni/DDA/MA를 주형으로 이용하여 합성한 다공성 흑연

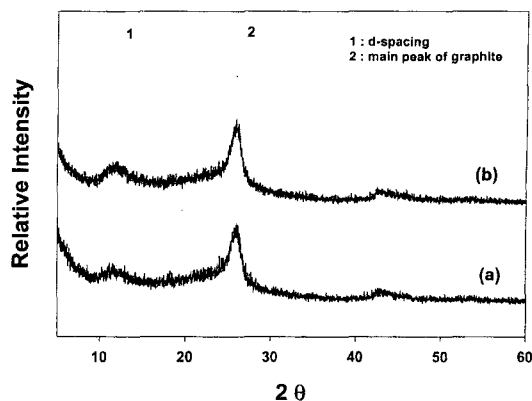


Fig. 5. XRD patterns of porous graphite by Co/DDA/MA and Ni/DDA/MA. (Co/Si=1.16, Ni/Si=1.16) (a) Co/DDA/MA (b) Ni/DDA/MA

의 XRD 피크를 그림 5에 나타내었다. 이 결과들은 결정성 높은 다공성 흑연이 형성되었음을 보여주고 있으며, 또한 코발트 뿐 아니라 니켈도 흑연화를 촉진시키는 촉매로써 사용가능함을 나타내고 있다.

전처리 과정을 거친 시료를 주형으로 하여 합성한 다공성 흑연의 겉보기 형상의 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)는 DDA를 이용하여 합성된 마가다이트를 전처리를 통해 층간 거리가 확장된 DDA/MA의 겉보기 형상이다. 그림 6(b)-(c)는 DDA/MA를 이용하여 코발트 또는 니켈 이온을 각각 층간 삽입시킨 시료들에 PFO를 혼합하여 900°C 에서 합성한 다공성 흑연의 겉보기 형상으로 입자 사이즈가 5 μm 정도인 DDA/MA에 비해 2-3 μm 정도로 작음을 확인할 수 있다. 또한 판상 모양을 가지는 개개의 옆들이 다발을 이루는 것으로 보아 주형의 효과가 잘 반영된 것으로 사료된다.

그림 7은 DDA/MA를 코발트 용액(Co/Si=0.27) 내에서 분산시켜 코발트 이온을 층간 삽입시킨 Co/DDA/MA를 주형으로 이용한 다공성 흑연에 대한 흡착 등온선을 나타낸 것이다. 다공성 흑연은 전형적인 타입 II 유형의 흡착 등온선을 보여주며, 전체 기공 부피는 $0.53 \text{ m}^3/\text{g}$ 이며, 그 중 미세 기공이 $0.15 \text{ m}^3/\text{g}$, 중 기공과 거대 기공을 합한 값이 $0.38 \text{ m}^3/\text{g}$ 의 값을 나타냄으로서 중 기공과 거대 기공이 많은 부분을 차지하고 있을 것으로 추측된다.

Na-magadiite와 DDA/MA를 주형으로 이용하여 합성된 다공성 흑연을 EDS로 조사한 결과 순수한 탄

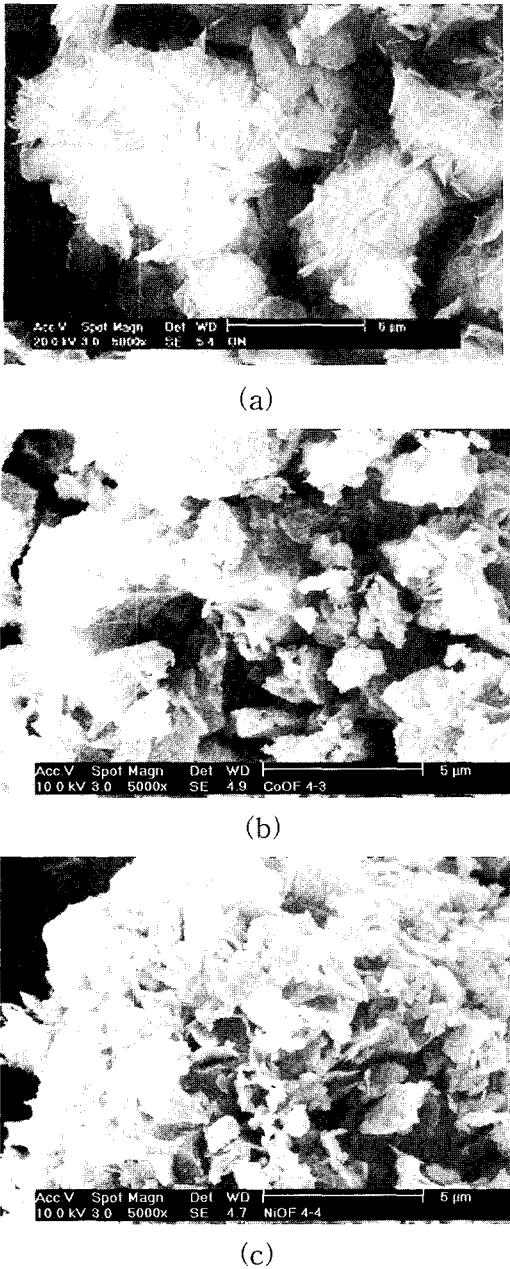


Fig. 6. SEM images of the template of DDA/MA and porous graphite prepared by Co/DDA/MA and Ni/DDA/MA. (Co/Si=1.16, Ni/Si=1.16) (a) DDA/MA (b) Co/DDA/MA (c) Ni/DDA/MA

소로 이루어졌음을 확인하였으며 다공성 흑연의 비표면적을 확인해 보면 DDA/MA를 주형으로 이용하였을 때 비교적 크게 나왔음을 표 1에서 알 수 있다.

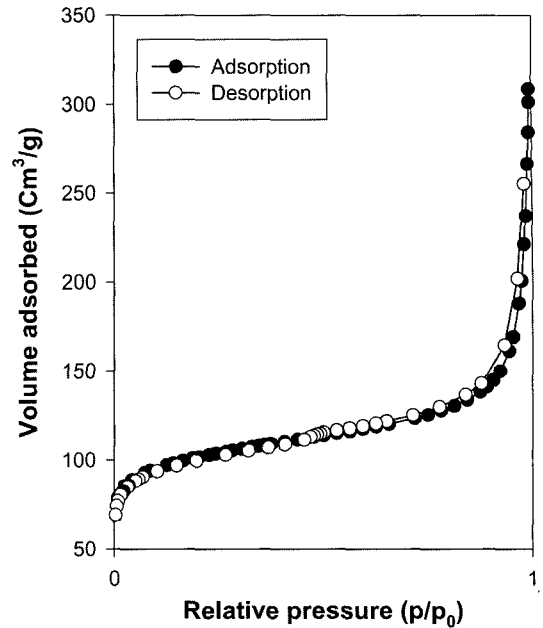


Fig. 7. Nitrogen adsorption isotherm for porous graphite by Co/DDA/MA (Co/Si=0.27)

그림 8은 상기의 결과들을 토대로 하여 마가다이트 주형에 의한 다공성 흑연의 생성과정을 도식적으로 나타낸 것이다. 전처리에 의해 코발트 또는 니켈이 층간 삽입된 마가다이트에 PFO를 혼합하게 되면 층간의 실란올 그룹은 방향족 탄화수소에 대한 친핵체로 작용할 수 있기 때문에 낮은 분자량의 방향족 탄화수소가 먼저 층 내부로 확산되면서 층간 거리가 확장되어 높은 분자량의 다환족 탄화수소가 쉽게 층내로 삽입이 가능케 된다. 열처리가 시작되면 온도 상승과 더불어 층박에 존재하는 저 비점의 탄화수소가 서서히 증발하게 되면서 높은 분자량의 탄화수소가 추가적으로 층 내부로 스며들어 계속적인 열분해에 의해 실리케이트 층간에 탄소박막을 형성한다. 여기서 불산 용액으로 실리케이트 주형을 용출 제거하면 카본만으로 이루어진 다공성흑연을 얻게 된다.

4. 결 론

나노차원의 2차원 공간을 가지며, 층간 거리가 유동적인 층상 마가다이트에 코발트와 니켈을 층간 삽입하고, 이를 주형으로 이용하여 다공성 흑연을 합성한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

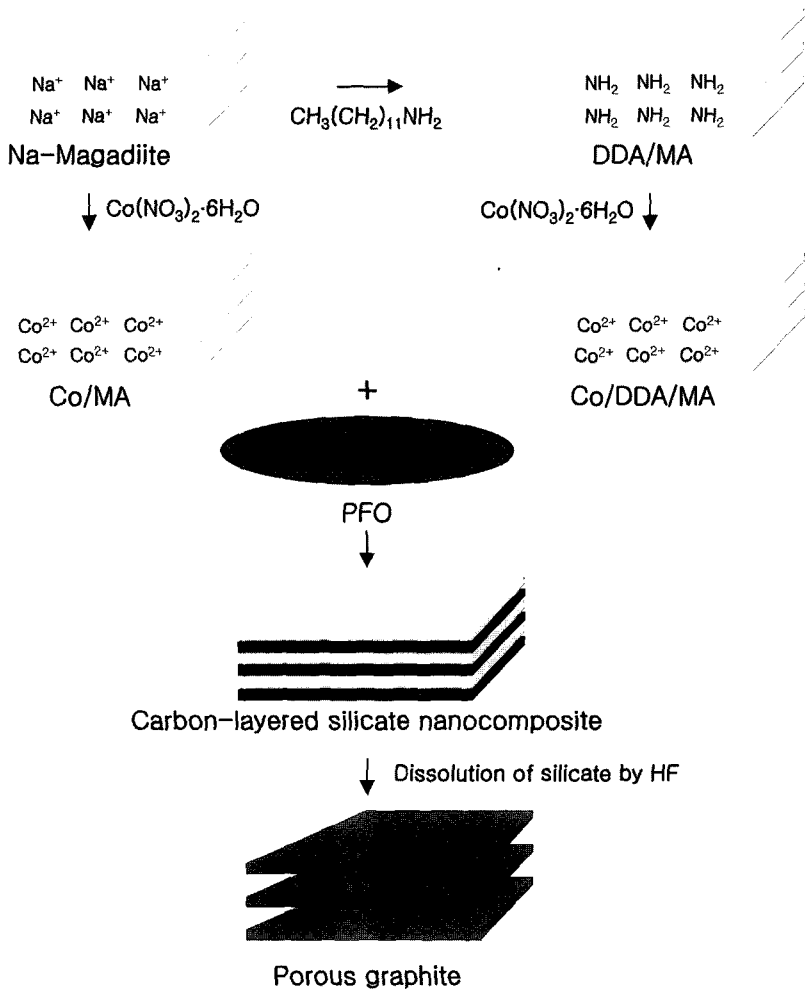


Fig. 8. Schematic drawing for the preparation of porous graphite.

1. 다공성 흑연의 제조 시 DDA/MA를 주형으로 이용하였을 경우 코발트와 니켈이 효과적으로 층간 삽입되었을 뿐만 아니라 이로 인해 흑연의 결정 생성이 매우 촉진되었다. 이것은 넓은 층간 거리와 층 내부의 기능이 금속화합물과 반응하여 금속원자의 침투와 부착을 원활하게 한 결과로 생각되며, 코발트와 니켈은 흑연의 결정 생성을 돕는 촉매 역할을 하였음을 알 수 있다.

2. 합성된 다공성 흑연은 개개의 흑연 박막들이 일정하게 적층된 독특한 구조로 이루어져 있었다. 이는 주형으로 이용된 층상 마가다이트의 영향이라 할 수 있으며 흑연 결정의 성장은 주형의 층 내에 층간 삽입되어 부착된 코발트 및 니켈의 양에 의존함을 알

수 있었다.

3. 다공성 흑연은 전형적인 타입II 유형의 흡착 등온선을 나타내는 기공 특성을 보이며 기공 부피를 고려할 때, 미세 기공 보다 중간 혹은 거대 기공으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 이 결과는 흑연의 층과 층 사이에 일정한 간격으로 기공이 형성되었기 때문으로 사료된다.

참고문헌

1. H. M. Cheng, Q. H. Yang and C. Liu : Carbon, **39** (2001) 1447.
2. E. Poirier, R. Chahine, P. Benard, D. Cossement, L.

- Lafi, E. Melancon, T. K. Bose and S. Desilets : Appl. Phys. A., **78** (2004) 961.
3. J. Lee, S. Han and T. Hyeon : J. Korean Ind. Eng. Chem., **15** (2004) 483.
4. M. Inagaki, K. Kaneko and T. Nishizawa : Carbon, **42** (2004) 1401.
5. S. H. Joo, S. J. Choi, I. Oh, J. Kwak, Z. Liu, O. Terasaki and R. Ryoo : Nature, **412** (2001) 169.
6. G. G. Park, R. H. Yang, Y. G. Yoon, W. Y. Lee and C. S. Kim : Int. J. Hydrogen Energy, **28** (2003) 645.
7. N. M. Rodriguez, A. Chambers and R. Terry K. Baker : Langmuir, **11** (1995) 3862.
8. O. Y. Kwon and K. W. Park : Bull. Korean Chem. Soc., **24**(2003) 1561.
9. O. Y. Kwon, S. Y. Jeong, J. K. Suh and J. M. Lee : Bull. Korean Chem. Soc., **16** (1995) 737.
10. O. Y. Kwon and K. W. Park : Bull. Korean Chem. Soc., **25** (2004) 25.
11. O. Y. Kwon, S. Y. Jeong, J. K. Seo, B. H. Ryu and J. M. Lee : J. Colloid and Interface Sci., **177** (1996) 677.
12. O. Y. Kwon and K. W. Park : J. Korean. Ind. Eng. Chem., **7** (2001) 44.
13. E. I. Jeong, S. Y. Jeong and O. Y. Kwon : J. Korean. Ind. Eng. Chem., **14** (2003) 973.
14. G. Lagaly and K. Beneke : Amer. Mineral., **60** (1975) 650.
15. K. Beneke and G. Lagaly : Amer. Mineral., **68** (1983) 818.