

메조포러스실리카를 이용한 메조포러스 전이금속체 합성

한승동^{1,2}, 정의민¹, 이주보¹, 팽메이메이¹, 김대경¹, 장현태^{*}

¹한서대학교 화학공학과, ²(주)씨에스글로벌

Synthesis of Mesoporous Transition Metal Carbon Using the Mesoporous Silica

Seung Dong Han^{1,2}, Ui Min Jeong¹, Joo Bo Lee¹, Mei Mei Peng¹,
Dae Kyung Kim¹ and Hyun Tae Jang^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Hanseo University, ²C & S Global Inc.

요약 본 연구는 SBA-15, MCM-41, MCM-48, KIT-6와 같은 메조포러스실리카를 다양한 조건에서 합성하고 이를 이용하여 CMK(Carbon Mesoporous Korea)를 합성한다. 합성된 CMK를 이용하여 메조포러스 구조의 전이금속체를 제조하였다. 각각의 메조포러스실리카에 따라 합성된 CMK의 특성을 분석하고 이를 이용하여 합성된 메조포러스 전이금속체의 특성을 질소흡탈착 등온선, SEM, 저각 X-선 회절분석으로 분석하므로써 최적의 메조포러스 전이금속체의 합성조건을 도출하였다. 실험 결과 가장 우수한 특성을 나타내는 메조실리카는 SBA-15이며, BET 분석으로 SBA-15로부터 합성된 메조포러스 구리 분자체의 비표면적은 225m²/g, 기공크기는 2.91nm로 나타났다.

Abstract In this study, synthesis of mesoporous silica such as, SBA-15, MCM-41, MCM-48, KIT-6 according to various experimental conditions. The CMK(Carbon Mesoporous Korea) was synthesized by various mesoporous silica. Finally, the mesoporous transition metal structure synthesized using CMK structure. Nitrogen adsorption/desorption, SEM, low angle X-ray diffraction were carried for analysis of each sample. The optimum synthesis condition of mesoporous transition metal structure derived from characteristic analysis. The SBA-15 is best precursor for synthesis of mesoporous transition metal structure. The surface area of copper mesoporous structure from CMK(SBA-15) is 225m²/g, pore diameter is 2.91nm by BET analysis.

Key Words : Transition Metal, Mesoporous Silica, Synthesis, Catalysts, Sorbent

1. 서론

흡착을 이용한 분리공정 및 기상, 액상 오염물질 제거를 위한 기술에 사용되는 촉매, 흡착제로 사용된 물질의 대부분은 활성탄, 제올라이트, 활성알루미나, 산화티타늄을 이용한 공정과 이를 개선하는 연구가 주를 이루고 있으며, 이를 이용한 상용화 공정이 운전 중이다. 현재 제시된 대부분의 담지체는 마이크로 기공이 주를 이루며, 이에 따라 흡착공정에 사용되는 유효 표면적은 기공의 절반 이하를 나타낸다. 또한 유효 기공내 촉매 전구물질

의 분산이 균일하지 않으므로 실제 활성점은 매우 작게 나타난다. 따라서 이러한 단점을 해결할 수 있는 방법으로 메조포러스 분자체의 촉매 및 흡착제의 합성이 연구되고 있으며[1,2], 현재 촉매의 경우 메조포러스실리카에 촉매물질을 담지하는 형태의 제조방법에는 한계에 이르러 다른 방법의 연구를 시도하고 있다[3-7]. 촉매 물질의 분산도에 의하여 활성점이 율속되므로 메조포러스 분자체 자체를 촉매물질로 제작하는 것이 대안으로 제시되고 있다. [7]따라서 본 연구에서는 다양한 전이금속 전구체를 사용할 수 있는 메조포러스 구조의 전이금속 분자체

이 논문은 2010년도 한서대학교 교비 학술연구 지원사업에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Hyun Tae Jang

Tel: +82-10-7409-2767 email: htjang@hanseo.ac.kr

접수일 12년 01월 25일

수정일 12년 02월 20일

게재확정일 12년 04월 12일

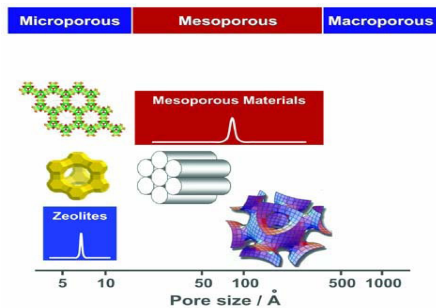
를 합성할 수 있는 메조포러스 탄소체(CMK, Carbon Mesoporous Korea)[9,10]방법에 관한 연구이다. 따라서 분자체 기술의 개발하므로써 메조포러스 구조체 표면에 다양한 이온을 부여하여 액상의 이온결합보다 낮은 이온 결합에너지를 나타내므로 완전한 가역적 재생을 이룰 수 있다. 또한 공유결합시 고체 표면에 존재하는 작용기에 의한 공유결합시 공유결합 에너지가 낮으므로 낮은 온도에서 재생이 이루어지며, 빠른 속도의 재생을 이룰 수 있는 고체형태의 화학흡착제의 개발은 낮은 에너지 소모를 가능하게 한다. 본 연구를 통하여 상기와 같은 특성을 지닌 화합물의 제조 가능성을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

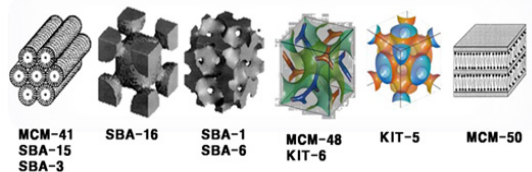
2.1 메조포러스 실리카

메조포러스 실리카의 제조법의 경우 1992년 mobile사에 의하여 제조법이 발표된 이후 현시점까지 생산단가 저감 및 대량생산은 이루지 못하고 있는 실정이다. 다공성 기공을 갖는 물질들은 기공의 크기에 따라 마이크로포러스(Microporous), 메조포러스(Mesoporous) 및 매크로포러스(Macroporous)물질로 분류된다. 그림 1은 기공의 크기에 따른 분류를 나타낸 그림으로 이러한 기공을 갖는 물질들은 1990년도 초반까지 기공을 갖는 무기물질 중 대표적인 것은 마이크로포러스(Microporous)물질인 제올라이트였다. 제올라이트는 기공의 크기가 1nm 이하로 분자체(Molecular sieve)라고도 불리며 높은 표면적을 갖기 때문에 촉매, 흡착제, 또는 담지체 물질등 여러 분야에서 다양하게 응용되어 왔다. 이와 더불어 1992년 Mobil사에서 최초로 합성하여 발표한 실리카계 메조포어(mesopore) 분자체 M41S군(M41S family)의 물질 MCM-41과 Ryoo Ryong(2)에 의하여 합성된 MCM-48을 발표하였다. 이러한 실리카계 메조포어(mesopore) 분자체는 기존 1.3nm이하로 매우 작은 기공을 갖고 있었던 제올라이트와 같은 결정형 알루미늄 실리케이트에 비해 훨씬 큰 1.6nm에서 30nm범위로 균일하고, 규칙적으로 잘 정렬된 기공 (pore) 구조와 큰 비표면적, 기공 부피를 갖는다[11].

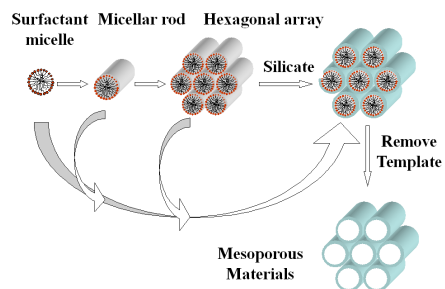
그림 2는 이와 같은 특성을 나타내는 다양한 메조포러스 구조체의 형상을 나타내었으며, 본 연구에서는 SBA 계열, MCM 계열 및 KIT-6 계열을 이용하였다. 본 연구는 크게 두 단계로 구성되며, 첫 번째 단계는 메조포러스 실리카의 합성단계이며, 이는 그림 3에 나타내었다.



[그림 1] 기공크기에 따른 물질의 분류
[Fig. 1] Classification of materials based on pore size.



[그림 2] 다양한 메조포러스실리카의 형상
[Fig. 2] Schematic of Various mesoporous silicas.



[그림 3] 메조포러스실리카 제조 경로도
[Fig. 3] Possible Mechanistic pathways for the formation of mesoporous silica

그림 3은 메조포러스 합성의 메카니즘을 나타내었다. 계면활성제나 고분자가 이루는 일종의 거대 분자(supramolecule)가 수용액 내에서 형성되고, 표면에 위치한 친수성 부분과 Silicate와 같은 무기 물질이 상호작용함으로써 유기-무기 나노복합체가 형성되고, 이후 계면활성제를 제거하면 메조포러스 물질을 얻을 수 있다.

2.1.1 SBA-15 합성

SBA-15는 Tetraethyl orthosilicate(TEOS)을 실리카 원료로 사용하여 합성하였고, 구조배향체로 Pluronic P123($\text{EO}_{20}\text{PO}_{70}\text{EO}_{20}$, BASF)를 사용하였다. Pluronic P123 8g에 물 200g, 37 % HCl 60 g을 첨가한 후 P123가 완전

히 녹아 용액이 투명해질 때까지 천천히 상온에서 교반한다. 이 용액에 Tetraethyl orthosilicate(TEOS)을 61.25g을 첨가한다. 혼합된 용액을 35℃~40℃에서 24시간 동안 교반하고, 100℃~105℃에서 24시간 동안 유지시킨 후 냉각시킨 다음 여과하여, 마지막으로 Ethanol로 세척하여 상온에서 24시간 건조한다. 그 후 24시간 동안 40℃~50℃에서 계면활성제를 제거하고, 유기 구조배향제를 제거하기 위하여 200℃에서 3시간, 500℃에서 6시간 1℃/min의 승온속도로 공기분위기에서 소성하여 세공이 매우 규칙적인 메조포러스 실리카 SBA-15를 수열합성하였다.

2.1.2 MCM-41 합성

Ludox HS-40을 사용하여 Silicate solution을 제조하고, Surfactant solution은 Cethyltrimethyl-ammonium bromide (CTABr, Aldrich)를 사용하여 합성하였다. Silicate solution은 Ludox HS-40 50.63g에 물 161.74g, NaOH 6.47g을 첨가한 후 60℃에서 24시간 동안 교반하여 투명한 용액이 될 때까지 완전 용해시킨 후 상온으로 냉각한다. Surfactant solution은 CTABr 30.32g에 물 167.68 g, NH₄OH 3.21g을 첨가한 후 35℃에서 교반하여 투명한 용액이 될 때까지 완전 용해시킨 후 상온으로 냉각한다. Surfactant solution에 Silicate solution을 적하하면서 교반하여 혼합한 후 1시간 동안 추가로 교반한 후 105℃ convection oven에 넣고 3일간 반응시킨다. 반응시 24시간 간격으로 꺼내어 상온까지 냉각 후 Acetic acid 수용액을 첨가하여 pH를 11로 조정해 준다. 반응종료 후 생성물을 여과하고 충분히 세척한 후 건조하고 220℃에서 3시간, 550℃에서 6시간 1℃/min의 승온속도로 공기 분위기 소성하여 메조포러스 실리카 MCM-41을 수열 합성하였다.

2.1.3 MCM-48의 합성

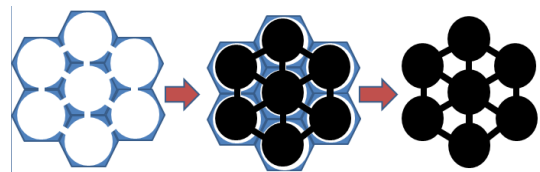
MCM-48는 TEOS시약을 실리카 원료로 사용하여 합성하였고 구조배향체로 CTABr을 사용하여 합성하였다. 초순수의 CTABr 109.5g에 물 500g, NaOH 10.2g을 1시간 동안 교반하고 Tetraethyl orthosilicate(TEOS) 106g을 천천히 적하한 후 1.5시간 동안 교반을 한다. 그 후 90℃ convection oven내에 넣고 4일 동안 유지시킨 후 꺼내어 상온까지 냉각시키고, 여과하여 세척한 후 60℃에서 건조한 후 마지막으로 550℃에서 5시간 1℃/min의 승온속도로 공기 분위기 소성하여 메조포러스 실리카 MCM-48를 수열합성하였다.

2.1.4 KIT-6

KIT-6은 TEOS를 실리카 원료로 사용하여 합성하였고, 구조배향체로 Pluronic P123을 사용하여 합성하였다. Pluronic P123 40g에 물 1440g, 35% HCl 79g을 첨가한 후 35℃상태에서 P123가 완전히 녹아 투명해질 때까지 교반을 한 후 BuOH 40g을 첨가하고 1시간을 더 교반한다. 그 후에 TEOS 87.7g을 천천히 적하하고 24시간 동안 교반을 한 후 100℃에서 24시간 동안 유지시킨 후 꺼내어 hot-filtering하고 100℃에서 24시간 동안 건조하고 꺼내어 HCl : Ethanol(부피 5 : 95)용액 3 L를 이용하여 세척한다. 마지막으로 550℃에서 5시간 1℃/min의 승온속도로 공기분위기 소성하여 KIT-6를 수열합성하였다.

2.2 CMK의 합성

두 번째 단계는 합성된 메조포러스실리카를 거꾸집으로 이용하여 메조포러스 탄소체를 제조한다. 그림 4에 과정을 나타내었다. 따라서 메조포러스분자체의 종류 및 탄소전구체, 합성시간, 온도, 농도에 따른 합성 방법 도출하여 특성분석을 통하여 최적 메조탄소 분자체 합성법을 도출하고자 한다.



[그림 4] SBA-15로부터 메조카본의 형성도
[Fig. 4] Formation of mesoporous carbon from SBA-15

2.2.1 SBA-15를 이용한 CMK 합성

CMK는 구조배향체로 SBA-15를 사용하여 합성하였고, Sucrose을 카본 원료로 사용하여 합성하였다. Sucrose 18.75g에 H₂SO₄ 2.1g, 물 75 g을 첨가한 후 완전히 녹을 때까지 교반하고 SBA-15 15g을 첨가하며 교반한다. 그 후 100℃에서 6시간, 160℃에서 6시간을 유지시킨 후 sucrose 12 g, H₂SO₄ 1.35g, 물 75 g을 더 첨가하여 녹이고, 100℃에서 6시간, 160℃에서 6시간을 더 유지시켜 주고, 900℃에서 6시간동안 2℃/min 승온속도로 N₂ 분위기에서 소성한다. 그 후 2시간 동안 5% HF 처리를 하고, Ethanol로 세척한 후 120℃ convection oven에서 건조하여 CMK를 얻었다.

2.2.2 MCM-41을 이용한 CMK 합성

CMK는 구조배향체로 MCM-41을 사용하여 합성하였

고, 2.2.1의 SBA-15을 이용한 CMK 합성과 동일한 방법을 사용하였다.

2.2.3 MCM-48을 이용한 CMK 합성

CMK(MCM-48)는 구조배향체로 MCM-48를 사용하여 합성하였고, 2.2.1의 SBA-15을 이용한 CMK 합성과 동일한 방법을 사용하였다.

2.2.4 CMK(from KIT-6) 합성

CMK(from KIT-6)는 구조배향체로 KIT-6를 사용하여 합성하였고, pyrrole시약을 카본 원료로 사용하여 합성하였다. pyrrole 16.5g에 FeCl₃ 2.1g, 물 75g을 첨가한 후 완전히 녹을 때까지 교반하고 KIT-6 15g을 첨가하며 교반한다. 그 후 100°C 에서 6시간, 160°C convection oven에서 6시간을 유지시킨 후 pyrrole 12 g, FeCl₃ 1.35 g, 물 75 g을 더 첨가하여 녹이고, 100°C convection oven에서 6시간, 160°C convection oven에서 6시간을 더 유지시켜 주고, 900°C에서 6시간동안 2°C/min 승온속도로 N₂ 분위기에서 소성한다. 그 후 2시간 동안 5% HF 처리를 하고, Ethanol로 세척한 후 100°C 에서 건조하여 CMK(from KIT-6)를 얻었다.

CMK-3의 합성은 메조포러스 실리카를 주형틀로 하여 메조카본을 합성한다. H₂O와 H₂SO₄, Sucrose를 용해시킨 후 이 용액에 메조포러스 실리카를 혼합하고 100°C Oven에서 6시간동안 건조한 후 433K Oven에서 6시간동안 열 처리한다. 형성된 물질은 Oven에서 열 처리 과정에서 검은색으로 변화하여 Silica Carbon이 생성된다. 열 처리한 메조분자체를 H₂O와 H₂SO₄, Sucrose를 용해시킨 용액에 혼합하고, 탄화하면 메조포러스분자체 세공 안에 흡수하게 된다. 탄화되어진 Mesoporous Carbon은 N₂ 분위기에서 900°C에 탄화한 후 Silica 주형틀을 제거하기 위하여 상온에서 5w% HF를 사용하여 세척 여과한다. 마지막으로 Ethanol로 세척한 후 393K 에서 건조하면 메조카본 CMK-3를 합성한다.

2.3 전이 금속체 합성

2.3.1 CuO 합성

Cu(NO₃)₂ · 3H₂O(19.3275g)에 EtOH 50g을 첨가하여 1.6mol 용액을 만들고 CMK 0.5g을 넣고 24시간 동안 2900 rpm/min 회전속도로 교반한 후 진공상태 실온에서 건조시켜 Cu-CMK를 얻고 300°C에서 4시간동안 1°C/min 승온속도로 공기분위에서 소성하여 CuO를 합성하였다.

2.3.2 ZnO 합성

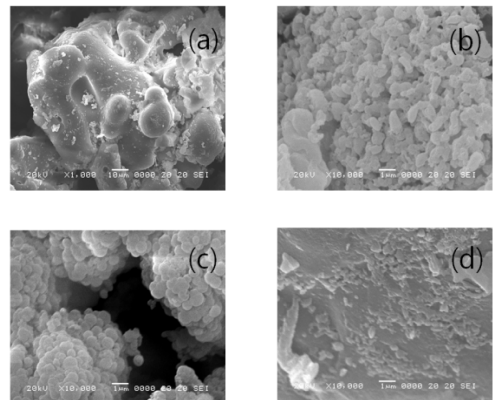
상기실험방법에서 Cu 화합물을 Zn(NO₃)₂ · 6H₂O(23.7992g)로 대체하여 동일한 방법으로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 특성 분석

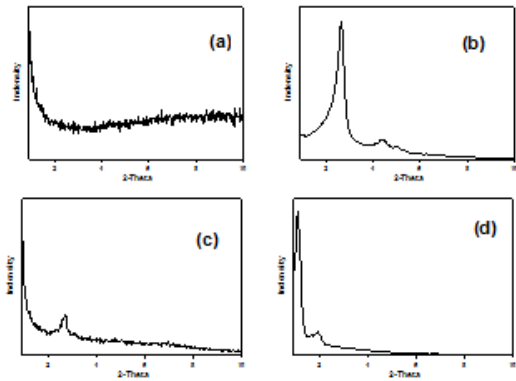
3.1.1 메조포러스실리카

합성된 시료의 특성분석은 다음과 같은 분석을 통하여 수행하였다. X-선 회절분석(Powder X-ray diffraction, Phillips, PW 1700, Target : CuKα, Filter: Ni)으로 2 θ = 0.9° ~ 10° 범위에서 0.02° 간격으로 기공의 구조와 결정성을 측정하였다. 결정의 형태와 크기는 주사현미경(SEM, Hitachi X-650)을 이용하여 수행하였다. 저온질소 흡착법을 저온질소흡착장치(Bel, Japan)를 이용하여 질소 물리흡-탈착등온곡선 등 기초 물성을 측정하여, 기공크기, 기공부피, 비표면적을 BET법으로 계산하였다. 질소 흡착탈착실험의 전치리는 523 K에서 24시간 수행하였다. 합성된시료의 불순물 함유 여부를 파악하기 위하여 EDX(Energy Dispersive X-ray)를 사용하여 미량원소 함유를 측정하였다. 그림 5는 SEM으로 소성이 완료된 메조포러스 실리카를 결정의 형태를 나타내었다. SBA-15는 결정형태가 둥글하게 나타나 있으며, MCM-41은 hexagonal 형태, MCM-48은 1~1.5 μm의 cubic 구조 형태로 균일하게 배열 되어있으며, KIT-6는 큰 덩어리에 조그마한 결정형태를 나타내었다. 또한 그림 6에 나타난 저각 XRD에서 합성된 시료는 전형적인 구조체의 패턴을 나타내고 있다.



[그림 5] SEM 형상 (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

[Fig. 5] SEM images of (a)SBA-15, (b)MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

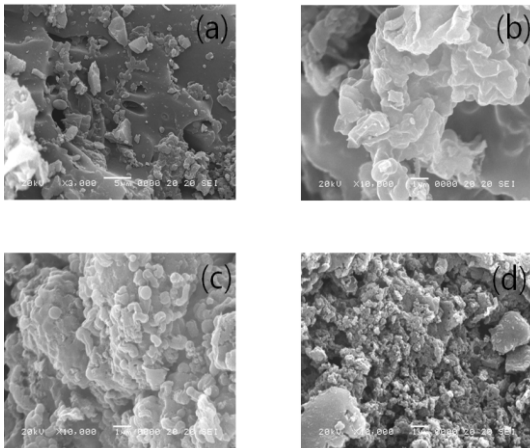


[그림 6] X-선 회절분석 (a)SBA-15, (b)MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

[Fig. 6] XRD Pattern of (a)SBA-15, (b)MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

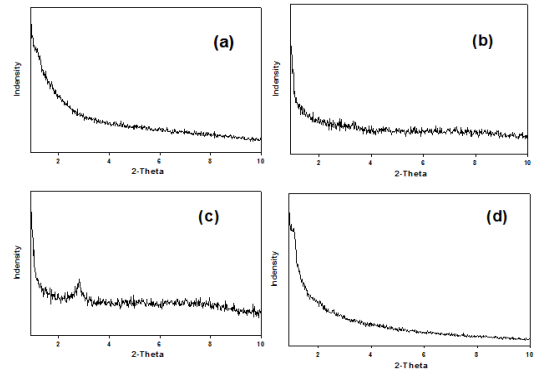
3.1.2 메조포러스카본

각각의 메조실리카를 이용하여 합성된 메조카본의 형상과 XRD패턴을 그림 7, 8에 나타내었다. 메조카본의 구조가 거꾸집으로 사용된 메조실리카의 형상을 나타내고 있음을 알 수 있다.



[그림 7] 합성된 CMK의 SEM 형상 (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

[Fig. 7] SEM images of CMK Synthesized using (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

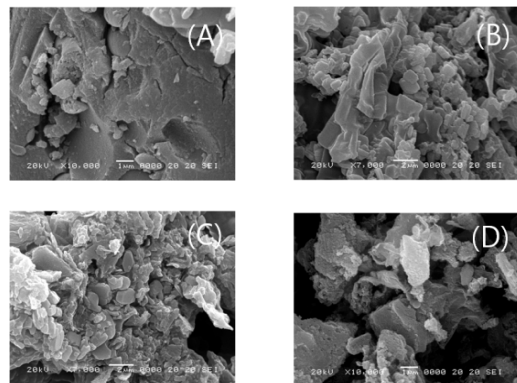


[그림 8] 합성된 CMK의 X-선 회절분석 (a)SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

[Fig. 8] XRD Pattern of CMK Synthesized using (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

3.1.3 메조포러스 전이금속체

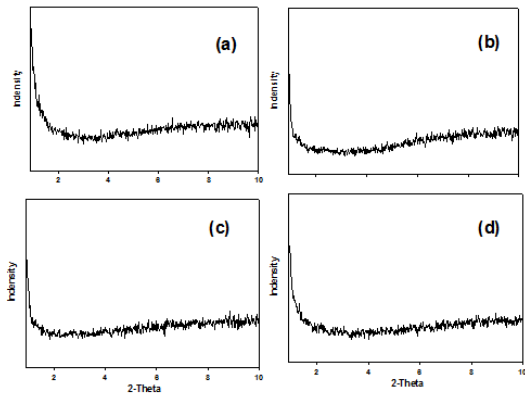
상기 합성된 각각의 CMK를 이용하여 합성한 Cu 구조체의 SEM과 XRD 결과를 그림 9, 10에 나타내었다. 그림에서 합성된 구조가 완전한 메조구조체형태에서 벗어나고 있음을 그림 10에서 알 수 있다. 메조포러스 전이금속체의 합성은 상기 과정으로 제조된 CMK를 주형틀로 사용하여 전이금속을 담지하였으며(12), 이때 담지되는 전이금속의 전구체는 -COOH, -Cl, -NO₂ 등의 다양한 형태의 전구체를 대상으로 실험을 수행하여 최적의 전구체를 선별하였다. 또한 전구체 농도, 첨가물, 담지 방법 및 회수에 의한 메조포러스 금속 분자체의 특성을 분석하여 최적 조건을 도출한 결과 NO₂ 형태가 가장 우수하게 나타났으며, 본 연구논문에서는 Cu 결과만을 나타내었다.



[그림 9] 합성된 Cu 메조포러스 구조체의 SEM 형상 (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

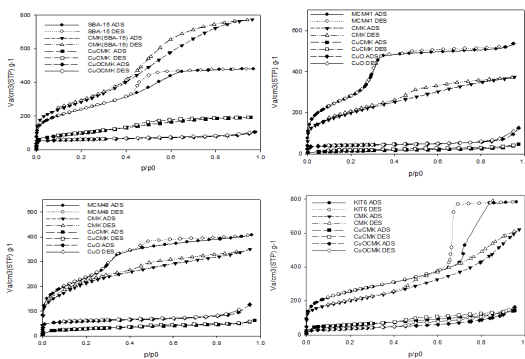
[Fig. 9] SEM images of Cu mesoporous structure Synthesized using by CMK from (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

본 연구에서 합성된 구리 메조포러스 분자체의 합성 전구체에 따른 표면 특성을 그림 11과 표 1에 나타내었다. 그림 11에서 메조구조체의 흡/탈착 곡선의 특성을 SBA-15에서 가장 근접하게 나타내며, 이의 표면적 225m²/g이며, 대부분 기공이 메조포러스인 3nm를 나타내고 있다. 따라서 본연구에서는 메조구조체 전이금속 합성에 가장 우수한 전구체로 SBA-15로부터 합성된 CMK를 선정하였으며, 함침 조건은 2회 반복 함침을 최적조건으로 도출하였다.



[그림 10] 합성된 Cu 메조포러스 구조체의 X-선 회절분석 (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

[Fig. 10] XRD Pattern of Cu-structure Synthesized using by CMK (a) SBA-15, (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6



[그림 11] 각각 메조실리카로부터 합성된 CMK, Cu-structure의 질소흡착등온선 (a) SBA-15 (b) MCM-41, (c) MCM-48, (d) KIT-6

[Fig. 11] Nitrogen adsorption/desorption isotherm of (a) SBA-15/CMK/Cu-structure, (b) MCM-41/CMK/Cu-structure, (c) MCM-48/CMK/Cu-structure, (d) KIT-6/CMK/Cu-structure

[표 1] 각 시료의 표면 특성치

[Table 1] Surface Properties of each sample.

	V _m (cm ³ /g)	Surface Area (m ² /g)	Pore Volume (m ³ /g)	Pore diameter (nm)
SBA-15	197.65	860.28	0.7439	3.4591
CMK (SBA-15)	243.84	1061.3	1.1962	4.5083
CuCMK (SBA-15)	81.077	352.88	0.2996	3.396
CuOCMK (SBA-15)	51.747	225.23	0.1641	2.9145

3. 결론

1. 본 연구 결과 SBA-15, MCM-41, MCM-48, Kit-6로부터 CMK의 합성이 가능함을 알 수 있었다.
2. 다양한 전구체로부터 합성된 CMK 중 SBA-15로부터 합성된 탄소체가 가장 우수한 메조포러스 구조의 전이금속체를 제조할 수 있음을 알 수 있었으며, Cu, Li, Mg, Zn의 구조체를 합성할 수 있었다.
3. 합성된 전이금속체 중 Cu가 가장 우수한 비표면적과 기공특성을 나타냈으며, 기공크기 3nm, 표면적 225 m²/g을 얻었다.

References

- [1] Bain, S.W., Ma, Z., Cui, Z.M., Zhang, L.S., Niu, F., Song, W.G., "Synthesis of micrometer-sized nanostructured magnesium oxide and its high catalytic activity in the Claisen-Schmidt condensation reaction", *J. of Phys. Chem. C.*, **112**(30), 11340-11344, 2008.
- [2] Climent, M.J., Corma, A., Iborra, S., Primo, J., "Base catalysis for fine chemicals production: Claisen-Schmidt condensation on zeolites and hydrotalcites for the production of chalcones and flavanones of pharmaceutical interest", *J. Catal.* **151**, 60-66, 1995.
- [3] Kim(a), J.M., Stucky, G.D., "Synthesis of highly ordered mesoporous silica materials using sodium silicate and amphiphilic block copolymers", *Chem. Commun.* 1159-1160, 2000.
- [4] Endud, S., Wong, K.L., "Mesoporous silica MCM-48 molecular sieve modified with SnCl₂ in alkaline medium for selective oxidation of alcohol", *Micropor. Mesopor. Mater.* **101**, 256-263, 2007.

- [5] Jang, H.T., Park, Y.K., Ko, Y. S., Lee, J.Y., Bhagiyalakshmi, M., "Highly siliceous MCM-48 from rick husk ash for CO₂ adsorption", *Int. J. Greenh. Gas. Con.* **3**, 545-549, 2009.
- [6] Jun, S., Joo, S.H., Ryoo, R., Kruk, M., Jaroniec, M., Liu, Z., Ohsuna, T., Terasaki, O., "Synthesis of new, nanoporous carbon with hexagonally ordered mesostructure", *J. Am. Chem. Soc.* **122**, 10712-10713, 2000.
- [7] Zhao, D., Feng, J., Huo, Q., Melosh, N., Fredrickson, G.H., Chmelka, B.F., Stucky, G.D., "Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores", *Science* **279**, 548-552, 1998.
- [8] Ryong, R., Sang, H.J., Michal, K., Mietek J., 2001. "Ordered mesoporous carbons", *Adv. Mater.* **13**, 677-681.
- [9] Roggenbuck, J., Tiemann, M., "Ordered mesoporous magnesium oxide with high thermal stability synthesized by exotemplating using CMK-3 carbon", *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 1096-1097, 2005.
- [10] Roggenbuck, J., Koch, G., Tiemann, "M., Synthesis of mesoporous magnesium oxide by CMK-3 carbon structure replication", *Chem. Mater.* **18**, 4151-4156, 2006.
- [11] Vinu, A., Murugesan, V., Tangermann, O., Hartmann, M., "Adsorption of cytochrome con mesoporous molecular sieves: Influence of pH, pore diameter, and aluminum incorporation", *Chem. Mater.* **16**, 3056-3065, 2004.
- [12] Kumar, A., Kumar J., "Defect and adsorbate induced infrared modes in sol-gel derived magnesium oxide nano-crystallites", *Solid State Commun.* **147**, 405 - 408, 2008.

장 현 태(Hyun-Tae Jang) [정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 화학공학과(공학사)
- 1991년 8월 : 고려대학교 화학공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 고려대학교 화학공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학과 교수

<관심분야>
흡착, 유동층반응

한 승 동(Seung-Dong Han) [정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 화학공학과(공학사)
- 1990년 2월 ~ 1994년 7월 : S-Oil 공정 엔지니어
- 2012년 2월 : 한서대학교 화학공학과(공학석사)
- 1994년 9월 ~ 2007년 12월 : 날코코리아 영업 엔지니어, 소장
- 2008년 1월 ~ 현재 : (주)씨에스글로벌 CEO

<관심분야>
유기합성, 미생물공정화, 촉매

팽 메이메이(Meimei Peng) [준회원]



- 2008년 7월 : 안휘중의대학교 중의학과(한의학사)
- 2012년 2월 : 한서대학교 화학공학과(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 대학원 박사과정 재학

<관심분야>
유기합성, 미생물공정화, 촉매

김 대 경(Dae-Kyung Kim) [준회원]



- 2011년 8월 : 한서대학교 화학공학과(공학사)
- 2011년 8월 ~ 현재 : 한서대학교 일반대학원 화학공학과 재학

<관심분야>
흡착, 전환공정

이 주 보(Joo-Bo Lee)

[준회원]



- 2012년 2월 : 한서대학교 화학공학(공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 일반대학원 화학공학과 재학

<관심분야>
흡착, 전환공정

정 의 민(Eui-Min Jeung)

[준회원]



- 2012년 2월 : 한서대학교 화학공학(공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 일반대학원 화학공학과 재학

<관심분야>
흡착, 전환공정