

## 공비혼합물로 제조된 다공성 센서재료용 실리카 에어로젤

안나 쉘랴흐티나\* · 오영제†

### Silica aerogels for potential sensor material prepared by azeotropic mixture

A.V. Shlyakhtina\* and Young-Jei Oh†

#### Abstract

Ambient drying sol-gel processing was used for monolithic silica ambigels in the temperature range of 130-250 °C. A new method of mesopore ambigels, which mean the aerogels prepared by ambient pressure drying process synthesis, is suggested at first. This method includes two important approaches. The first point is that SiO<sub>2</sub> surface modification of wet gel was performed by trimethylchlorosilane in n-butanol solution. This procedure is provided the silica gel mesopore structure formation. The second point is a creation of the ternary azeotropic mixture water/n-butanol/octane as porous liquid, which is effectively provided removing of water such a low temperature by 2 step drying condition under ambient pressure. The silica aerogels, which were prepared by ambient pressure drying from azeotropic mixture of water/n-butanol/octane, are transparent, crack-free and mesoporous (pore size ~ 5.6 nm) with surface area of ~ 923 m<sup>2</sup>/g, bulk density of 0.4 g/cm<sup>3</sup> and porosity of 85 %.

**Key Words :** aerogel, ambigel, azeotropic, crack-free, mesoporous, ambient drying

#### 1. 서 론

실리카 에어로젤은 초다공성 재료로 가시광선 영역에서 고투과율을 가지며, 낮은 열전도도(~0.02 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), 극히 낮은 유전상수(<1.1) 및 약 1600 m<sup>2</sup>/g의 비표면적을 갖는다<sup>1,2</sup>.

지금까지 개질제 및 용매의 종류, 졸의 점도 및 pH, 온도, 숙성 조건 및 건조 공정 등 수많은 변수에 따른 에어로젤의 구조적, 기계적 특성은 이미 많이 알려져 왔다<sup>3-5</sup>. 또한 에어로젤이 기본적으로 알려진 염기성의 제조 조건에서 에어로젤의 밀도는 0.015 g/cm<sup>3</sup> 만큼 낮출 수 있으며<sup>6</sup> 산성의 촉매작용에서는 0.5 g/cm<sup>3</sup> 이상의 밀도를 얻는다<sup>7</sup>. 에어로젤의 기계적 특성은 1 kPa ~ 1 MPa의 강도와 0.1 MPa ~ 1 GPa의 Young's modulus로 그 특성 범위 내에서 변할 수 있다<sup>7-9</sup>.

따라서 이러한 재료를 가장 잘 적용할 수 있는 것은

우선 유리창의 투광 단열 코팅재로서의 응용이다. 실리카 에어로젤은 우주 탐사선에 초고속 입자수집과 촉매 지지체, 슈퍼 캐패시터와 같은 상업적인 응용분야에도 사용되고 있다. 뿐만 아니라 모노리식형 실리카 에어로젤은 높은 에너지 물리학 분야와 Cherenkov 방사선 검출기에서도 광범위하게 사용되고 있으며 박막형의 경우 화학 센서 및 바이오 센서로 활용 할 수 있어 환경 오염 측정 및 생화학 반응 검출 등에 이용 할 수 있다.

그동안 많은 연구자들은 에어로젤의 복잡하고 긴 건조 공정 시간을 줄이고 투명하고 크랙이 없는 에어로젤을 제조하는 새로운 방법을 찾기 위하여 많이 노력하여 왔는데 표면 개질과 표면 강화를 이용하여 대기압 하에서 실리카 에어로젤을 제조하는데 성공하기도 하였다. 이는 습윤젤을 aprotic 용매로부터 TMCS로 표면 개질 하여 상압 하에서 건조한 것이다<sup>10</sup>. 건조시키기 이전에 새로운 silylation agent에 의한 표면 개질을 이용한 실리카 에어로젤의 제조에 대한 연구 보고에 의하면 실리카 젤은 액상에서 difunctional methylchlorosilane 과 액상의 silylation에 의해 강해지며<sup>11</sup>, 또한 농도가 높은 플루오르 화합물이된 silyl chloride를 이용한 2단계 공정으로부터 강한 소수성의 실리카 에어

한국과학기술연구원 박막재료연구센터(Thin Film Materials Research Center, Korea Institute of Science and Technology)

\*Semenov Institute of Chemical Physics Academy of Sciences, ul. Kosygina 4, Moscow, 119991 Russia

†Corresponding author: youngjei@kist.re.kr

(Received : October 31, 2007, Accepted : November 13, 2007)

로젤을 얻을 수 있다고 보고되어 있다<sup>[12]</sup>.

에어로젤 제조 중 TEOS(tetraethoxysilane)가 변할 수 있는데, TEOS 대신 상업적으로 이용 가능한 hydrogensil-sesquioxane을 사용하면<sup>[13]</sup> 새로운 프리커서로서의 hydrogensil-sesquioxane은 간단하게도 1단계 공정으로 수분 내에 추가하여 표면 개질 할 필요 없이 젤을 제조 할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 시도코자 하는 에어로젤의 제조 공정에서 공비혼합물(Azeotropic mixture)은 지금까지 사용한 전례가 없는데 특히 상압 건조 공정에서 시도된 경우는 더욱 그러하다. 다만 Land 등이 물/에탄올/톨루엔 공비혼합물에서 에탄올과 물을 조절하여 silylation 전에 툴루엔의 끓는점을 110 °C로 바꿨다고 거론한 적이 있을 뿐이었다<sup>[14]</sup>. 따라서 본 연구에서는 상압 하에 물/노말 부탄올/옥탄의 삼성분계 공비혼합물을 이용하여 130 °C~250 °C영역에서 저밀도의 투광성이 증진된 에어로젤을 처음으로 보고 한다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 2단계 공정을 적용하여 TEOS (Junsei, Japan or Aldrich, USA), IPA (Junsei, Japan), HCl (0.1 M) 및 NH<sub>4</sub>OH (0.15 M)를 이용하여 습윤젤을 제조하였다. 이 물질들은 TEOS:IPA:HCl:NH<sub>4</sub>OH = 60 ml:61.5 ml:14.5 ml:9.3 ml의 비율로 하여 상온에서 잘 교반하였다<sup>[15]</sup>. 젤화 공정에서 용액의 점도를 정확하게 조절하기 위하여 Brookfield (programmable DV-II+) 점도계를 사용하였으며 본 실험의 에어로젤 제조 시 졸의 점도는 18~22 cP로 고정 하였다. 6, 15, 25 ml의 졸을 각각 테프론 용기에 넣어 봉한 뒤 한 시간 동안 상온에서 젤화 시켰다. 이어 습윤젤이 들어있는 각 용기에 부탄올을 채워 다시 봉하였다. 각각의 용기들을 50 °C 오븐에 약 18 시간 정도 방치 하였으며 이후 각 샘플들을 50 °C 부탄올에서 약 20 시간 동안 세척하였다. 이때 부탄올의 양은 용기에 따라 각각 50, 100 및 130 ml이었다. 이후 5% TMCS (trimethylchlorosilane, Alfa Aesar)와 부탄올 용액으로 50 °C에서 약 21 시간 동안 표면개질 하였다<sup>[15]</sup>. 마지막으로 습윤젤을 아래 순서에 맞게 단계적으로 세척하였다.

- (1) 50 °C에서 22 시간, 노말-부탄올 용액 중,
- (2) 50 °C에서 23 시간, 노말-부탄올:옥탄(3:1) 용액 중,
- (3) 50 °C에서 24 시간, 노말-부탄올:옥탄(1:1) 용액 중,
- (4) 50 °C에서 24 시간, 순수 옥탄 용액 중,

이후 습윤젤을 소량의 옥탄(1~2 ml) 용액이 들어있는 비이커에 넣고 알루미늄 호일로 봉한 후 용매의 증

발 속도를 조절하여 서서히 건조 시켰으며 에어로젤의 상압건조는 아래와 같이 2단계로 행하였다.

- ① 상온에서 87 °C까지 1 °C/min 속도로 승온; 87 °C에서 24 시간 동안 유지
- ② 87 °C부터 0.1 °C/min 속도로 130 °C 또는 180 °C 또는 250 °C에서 각각 24 시간 유지

에어로젤 샘플의 무게와 부피를 측정하여 밀도를 계산하였으며 실린더의 지름을 이용하여 에어로젤의 건조시의 선수축률을 계산하였다. 비 표면적, 평균 기공 크기, 기공 분포를 질소 흡착을 이용하여 BET법으로 측정하였다. 이때 측정 장비는 ASAP 2010 automated volumetric analyzer로 77.3 K에서 측정하였으며 측정에 앞서 200 °C에서 2 시간동안 가스를 전처리 하였다. TGA 분석은 Universal V1.8M TA Instruments 장비를 이용하였으며 분당 10 °C씩 1000 °C까지 공기 분위기에서 측정하였다. 또한 투과 전자 현미경(TEM H9000 microscope)을 이용하여 에어로젤의 미세 구조를 관찰 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

2단계 합성 공정에서 시간에 따른 점도 변화를 보여 준 그림 1에서 보는 바와 같이 실리카졸의 점도는 출발 원료에 따라 상이 하였으며, 18~22 cP에서 점도가 에어로젤 제조에 적절한 범위를 가졌다. 즉 에어로젤 샘플의 점도가 18 cP 이하 그리고 22 cP 이상에서 합성하면 상압건조 조건에서 샘플에 균열이 쉽게 발생하였다.

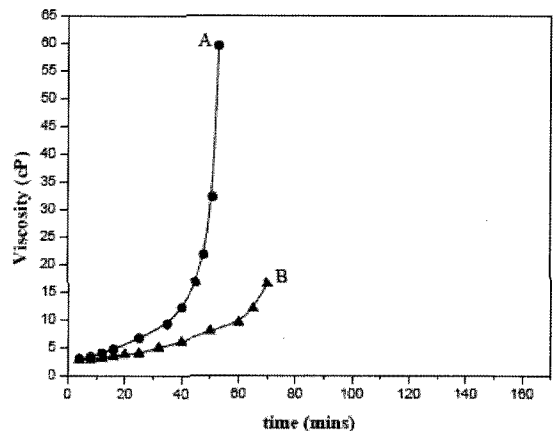
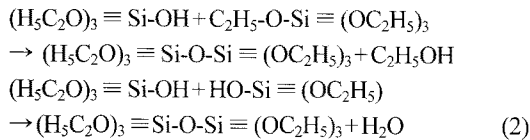
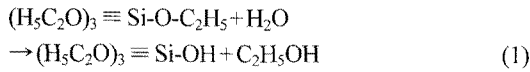


그림 1. 출발물질에 따른 SiO<sub>2</sub>졸의 시간별 점도 변화(상온)  
Fig. 1. Viscosity change of SiO<sub>2</sub> sols as a function of aging time for A (TEOS from Aldrich, USA), and B (TEOS from Junsei, Japan) (at RT).

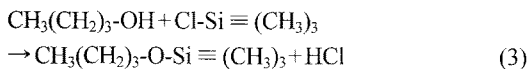
일반적으로 상압 건조시 실리카 에어로젤에서 발생되기 쉬운 문제는 열에 의한 샘플의 균열이다. 보통 균열의 발생은 어쩔 수 없는 젤 망목의 수축이 원인이 된다<sup>[15-17]</sup>. 습윤젤의 표면은 -OH 또는 -OR 기로 이루어져 있는데 TEOS로부터 형성된 실리카 습윤젤의 망목 기구(많은 가지모양의 실리카구조 표면의 -OH와 -OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)는 다음의 반응식 (1), (2)를 예상할 수 있다.



보통 2단계 솔-젤 공정은 수많은 branch chain 들이 [표면에 -OH(OH-|SiO<sub>2(표면)</sub>)와 -OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>((C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub> ≡ Si-O-|SiO<sub>2(표면)</sub>)로 둘러 쌓여] ≡ Si-O-Si ≡ 체인상의 중합체 구조를 이루게 한다. 습윤젤이 건조되는 동안 실리카의 표면기 -OH와 -OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>는 알콜과 물에 의한 축합반응으로 ≡ Si-O-Si ≡ 로 결합한다<sup>[10]</sup>. 따라서 이 공정은 표면개질 후 결과적으로 (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> ≡ Si-O-|SiO<sub>2(표면)</sub>을 형성시킬 것으로 예상할 수 있다.

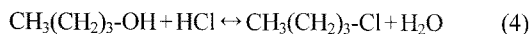
단일기 또는 다기능기의 methyl-chlorosilane은 종종 실리카의 표면개질제로 사용되며 보통 헵탄, 헥산과 같은 용매와 같이 쓰인다. 본 연구에서는 습윤젤을 5% TMCS의 부탄올 용액에 담가 습윤젤의 표면을 보호하였다. 따라서 여기서 초기 공정의 반응식을 아래와 같이 표기할 수 있으리라 본다.

첫 번째 단계에서 TMCS는 노말 부탄올과 함께 반응하여 아래의 식 (3)과 같이 alkoxy silan과 HCl을 생성시킬 수 있으며,



본 실험에서 사용한 온도는 50 °C 정도로 약간 따뜻한 용액이었으므로 결국 식 (3)의 반응을 촉진시킬 수 있으리라 생각된다.

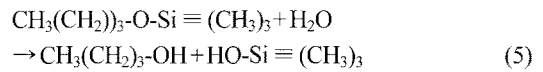
한편, 위에서 생성된 일부의 HCl은 아래 식 (4)로부터 부탄올과 반응하여 미량의 알킬 halide 와 물을 생성시키리라 보며,



이 식에서의 HCl은 노말 부탄올 내의 HCl용액을 나타낸다.

결과적으로 식 (3)에서 생성물인 Alkoxy silane (CH<sub>3</sub>

(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-O-Si ≡ (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)은 아래 식 (5)와 같이 물과 반응 하리라 사려 된다.



본 공정의 수차례 세척공정으로부터 얻어진 잔류용매의 정량분석 결과를 표 1에 나타내었다. 4번째 용매 치환 이후 IPA와 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH는 사라졌고, 5% TMCS 부탄올 용액으로 표면개질 후 추출한 용액에서 Cl<sup>-</sup>가 확인되었고 5번째 용매치환 후 그것은 정량적으로 검출되지 않았다. 그러나 물의 정량분석은 더 복잡해서 추출한 용액 내에 물의 양을 분석할 수는 없었으며 노말 부탄올은 용액 내 공히 50 wt% 이상을 함유하기 때문에 마지막 7번째를 제외하고는 측정치 않았다.

젤의 표면 적용 범위 전체에서 반응이 일어났다면 화학반응을 일으킬 수 없는 (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> ≡ Si-O-와 (H<sub>5</sub>C<sub>2</sub>O)<sub>3</sub> ≡ Si-O-족들은 다시 원상태로 되여야 할 것이고 상압 건조 조건에서 낮은 젤 밀도를 가져야 한다. 습윤젤에서 물의 양이 거의 없는 것은 사실이지만, 물은 습윤젤 제조 공정 중에서 그 조성물 중에 하나인 것 역시 기지의 사실이다. 그리고 건조 공정 전에 이 시스템에서 물이 본체에 균열 등의 나쁜 영향을 주지 않고 제거되는 것이 에어로젤 제조 공정 시 주된 해결 사항 중 하나이다. 따라서 본 연구에서 수행한 물/노말 부탄올/옥탄 공비혼합물을 이용한 습윤젤의 상압 건조는 이러한 물을 본체에 균열을 주지 않고 저온에서 보다 효과적으로 제거할 수 있었다. Kogan 등에 의하면 물, 노말 부탄올 그리고 옥탄은 3성분계 공비혼합물로 조성 비율은 정확하게 69.9:18.3:11.8 (mol%) 이라고 보고된 바 있다<sup>[8]</sup>.

물/노말 부탄올/옥탄 공비 혼합물의 끓는점은 86.1 °C로, 이 온도에서 대부분의 물과 부탄올이 다공성 습윤젤로부터 제거된다. 중요한 것은, 물은 기공들로 부터 완전히 제거되어야 한다는 것이다. 따라서 끓는점이 125.75 °C인 옥탄은 이 온도에서도 젤로부터 증발될 수 있기 때문에 제조공정상 유리한 이점을 갖는다. 물(표면장력: 73.05 dynes/cm<sup>2</sup> at 20 °C, 점도 1.002 cP)과 노말 부탄올(표면장력: 24.6 dynes/cm<sup>2</sup> at 20 °C, 점도 2.948 cP)에 비하여 옥탄이 각각 21.8 dynes/cm<sup>2</sup> 및 0.542 cP로 가장 적은 표면장력과 점도를 가짐을 나타낸다.

표 1에 정량 분석으로 7번째의 마지막 용매치환 후에 잔존하는 옥탄(97.1 mol%)과 노말 부탄올(2.5 mol%)의 양을 보여준다. 그것은 습윤젤의 상압건조 공정시 비이커내의 약간 양의 옥탄(1~2 ml)의 존재가 중요함을 보여주는 결과이다. 따라서 에어로젤의 건조공정은 옥탄 기체의 포화 분위기에서 이루어 졌다.

표 1. 용매세척 횟수에 따른 잔류 용매의 미세정량분석<sup>[18]</sup>

Table 1. Microanalysis Data of Solvent Liquids after Multiple Changes

| 용매세척 횟수 | 잔류 IPA*<br>(wt%) | 잔류 C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH<br>(wt%) | 잔류 옥탄<br>(wt%) | 잔류 노말부탄올*<br>(wt%) | 표면개질후의 Cl <sup>-†</sup><br>(wt%) |
|---------|------------------|--|----------------|--------------------|----------------------------------|
| 1       | 5.43             | 5.31   | -              | -                  | -                                |
| 2       | 0.86             | 0.74   | -              | -                  | -                                |
| 3       | 0.09             | 0.08   | -              | -                  | 1.16                             |
| 4       | 0.009            | 0.009  | -              | -                  | 0.0888                           |
| 5       | 0.002            | 0.003  | 19.3           | -                  | 0.0048                           |
| 6       | 0.002            | 0.003  | 36.5           | -                  | 0.0004                           |
| 7       | 0.009            | 0.011  | 97.1           | 2.5                | 0.00005                          |

\*Gas chromatography (Metrohm 753)로 분석

†Ion chromatography (Varion Vista 6000)로 분석

표 2. 삼성분계 공비혼합물로 제조된 상압건조 에어로젤의 특성

Table 2. Some Characteristics of the Ternary Azeotropic Aerogels Dried at Ambient Pressure

| Sample Code | Drying Temperature/<br>two-step (°C) | Bulk density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Specific surface area<br>(m <sup>2</sup> /g) | Average pore diameter (Å) | Pore volume<br>(cm <sup>3</sup> /g) | Linear shrinkage<br>±2% | Porosity (%) |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------|
| A01         | 86+130                               | 0.42                                 | 938  | 57.0                      | 1.34                                | 27.3                    | 84.3         |
| B01         | 86+130                               | 0.4                                  | 923  | 55.7                      | 1.29                                | 28.5                    | 85.0         |
| C11         | 86+130+180                           | 0.48                                 | 928  | 50.6                      | 1.39                                | 32.7                    | 81.9         |
| D111        | 86+130<br>+180+250                   | 0.48                                 | 995  | 55.1                      | 1.55                                | 34.7                    | 87.3         |
| E01         | 86+130                               | 0.43                                 | -  | -                         | -                                   | 28.5                    | 83.6         |

본 연구에서 제조한 에어로젤의 특성을 표 2와 그림 2, 3에 나타내었다. 130 °C에서 24 시간 동안 상압 건조 후 얻어진 실리카 에어로젤은 투명하고 크랙이 없었으며 적은 부피 수축이 이루어 졌다. 또한 SEM 사진에서 보는 바와 같이 5.0~5.7 nm의 미세 기공구조를 갖는 재료(mesoporous material)임을 나타낸다. 그림 2는 130 °C에서 건조한 실리카 에어로젤에 대한 기공 크기에 따른 기공 분포를 나타낸 것으로 매우 균질한

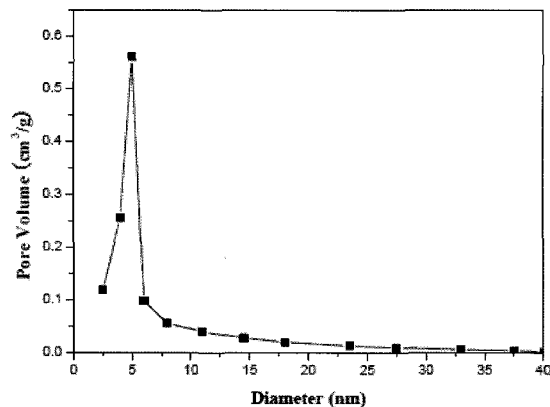


그림 2. 130 °C 건조 실리카 에어로젤의 기공분포도

Fig. 2. Pore size distribution of the silica aerogel processed at 130 °C.

기공 분포를 보여 주고 있다. 기공 크기 및 분포는 질소 등은 흡착에 따른 망목 탈착에 의해 계산되었다.

표 2의 데이터는 표면 개질 및 용매 세척 후 건조 조건에 따른 부피 밀도, 비 표면적, 기공 체적, 평균 기공 크기, 선 수축률 및 기공률을 요약한 것으로 제조한 에어로젤의 고체 밀도는 0.4에서 0.48 g/cm<sup>3</sup>으로 바뀌었으며 기공률은 81.9~87.3%이었다. 에어로젤 샘플의 밀도는 130~250 °C영역에서 변하지 않았으며 모두 균열이 없는 고투광도의 에어로젤을 제조 할 수 있었다. 그러나 300 °C 건조 시에는 균열이 발생하였다.

130 °C에서 제조된 에어로젤 샘플의 TG 데이터를 그림 4에 나타내었는데, 25~800 °C온도영역에서 3번의

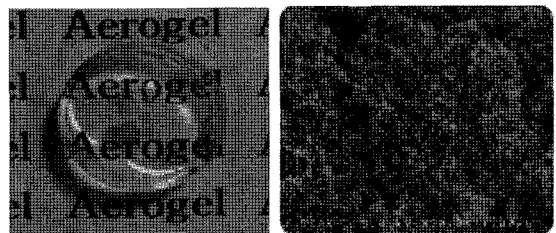


그림 3. 130 °C에서 건조된 모노리스 에어로젤 펠렛(두께 2 cm x 직경 ~2 cm) 및 SEM 미세구조사진

Fig. 3. Monolith aerogel pallet(thick 2 cm x dia ~2 cm) dried at 130 °C and its SEM micrograph.

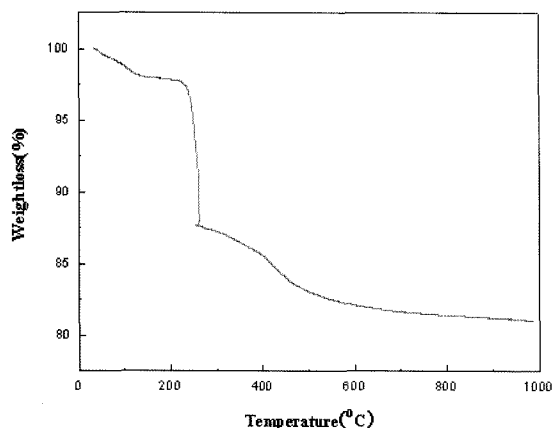


그림 4. 130 °C에서 건조된 실리카 에어로젤의 TG 열분석 곡선

Fig. 4. TG curve of the silica aerogel dried at 130 °C.

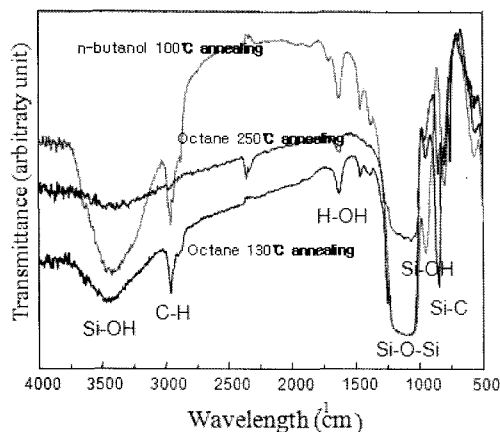


그림 5. 여러 온도(100, 130, 250 °C)에서 건조된 실리카 에어로젤의 FT-IR

Fig. 5. FT-IR of the silica aerogels dried at various temperatures(100, 130, 250 °C).

중량감소를 확실하게 보여준다. 약 2.1%의 첫 번째 중량 감소는 25~230 °C 영역에서 이루어 졌고 약 10.6%로 가장 큰, 두 번째 중량 감소는 210~250 °C 영역에서 이루어 졌으며 약 6.0%의 3번째 중량 감소는 260~800 °C 영역에서 이루어 졌다. 표 2는 250 °C까지의 온도 증가와 이 온도에서의 24 시간 동안의 열처리에 따른 낮은 밀도와 균열 없는 에어로젤 샘플의 제조 결과를 증명한다.(그림 3) 그러므로 25~250 °C 영역에서 이루어진 약 12.7%의 두 단계의 중량 감소는 에어로젤 샘플의 균열에 영향이 적음을 나타낸다. 첫 번째 중량 감소는 용매의 증발에 의한 것이며 두 번째 중량 감소는 잔여 유기 용매의 연소반응에 의한 것이다. 벌크

에어로젤 샘플의 300 °C이상의 열처리는 벌크 샘플의 내부에서 크랙을 유발시킨다. 위 결과는 300~800 °C 온도영역에서는 응집 공정이 이루어지는 것으로 사료된다. 따라서 100, 130 °C의 저온에서의 건조는 그림 5의 FT-IR 결과에서 보는 바와 같이 실리카 에어로젤 표면에 현저한 C-H 피크를 보여 소수성의 에어로젤임을 알 수 있으나 250 °C에서 열처리시 TG의 결과에서도 보는 바와 같이 잔류 유기용매의 연소에 기인한 C-H 피크의 소멸로 모두 친수화 됨으로서 본 연구의 저온건조공정이 투명도와 강도가 증진된 에어로젤 제조에 적합하였다.

#### 4. 결 론

삼성분계 공비혼합물 용매 및 이에 합당한 다단계 건조 조건을 사용하여 상압건조 경우 보다 저온에서 투명도와 강도가 증진된 실리카 에어로젤을 성공리에 제조 하였다. 이는 실리카 에어로젤이 고두께화 및 대면적화 박/후막 제조시 보다 안정된 공법을 제공하는 신기술로 soft solution chemistry를 이용하여 우수한 나노물성의 실리카 에어로젤을 얻을 수 있다.

상압 건조 공정 전에 반응의 부산물인 물이 가급적 본체에 균열 등의 나쁜 영향을 주지 않고 제거되는 것이 주된 해결 사항 중 하나로서 본 연구에서 수행한 물/노말 부탄올/옥탄 공비혼합물을 이용한 습윤젤의 상압 건조는 이러한 물을 본체에 균열을 주지 않고 저온에서 보다 효과적으로 제거 할 수 있었다.

물/노말 부탄올/옥탄 공비 혼합물의 끓는점인 86.1 °C의 낮은 온도에서도 대부분의 물과 부탄올이 다공성 습윤젤로부터 제거 시킬 수 있으며, 끓는점이 125.75 °C인 옥탄은 이 온도에서도 젤로부터 증발 될 수 있기 때문에 제조공정상 유리한 이점을 가져 본 연구의 87 °C와 130 °C의 2단계 건조 조건이 보다 효과적이었다.

에어로젤 제조에 적합한 점도는 18~22 cP 이었으며 삼성분계 공비혼합물(물/노말 부탄올/옥탄)로 치환된 습윤젤을 2단계 열처리조건에서 상압건조 시켜 얻어진 실리카 에어로젤은 균열 없이 투명하였으며 약 923 m<sup>2</sup>/g의 비 표면적과 0.4 g/cm<sup>3</sup>의 밀도, 5.6 nm의 기공 크기 및 85%의 기공률을 가졌다. 그러나 250 °C에서 열처리시 잔류 유기용매의 연소에 기인한 C-H 피크의 소멸로 모두 친수화 되었다.

#### 참고 문헌

- [1] L.W. Hrubesh, "Aerogel applications", *J. Non-*

- Cryst. Solids*, vol. 225, pp. 335-342, 1998.
- [2] J. Friske, A. Emmerling, in: R. Reisfeld, and C.K. Jorgensen(Eds.), "Chemistry, spectroscopy and applications of sol-gel glasses", *Springer Series Structure and Bonding*, vol. 77, pp. 371, Springer, Berlin, 1992.
- [3] T.J. Kim and Y.-J. Oh, "Effect of surface modifiers on the nano porous silica aerogels prepared by ambient drying process", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 16, pp. 77-83, 2007.
- [4] S. Ryu, S.-S. Kim, and Y.-J. Oh, "Influence of solvent on the nano porous silica aerogels prepared by ambient drying process", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 5, pp. 371-377, 2006.
- [5] T.J. Kim, S. Nahm, and Y.-J. Oh, "Surface modifiers on the waterglass aerogels prepared by ambient drying process", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 15, pp. 173-178, 2006.
- [7] R. Vacher, T. Woignier, J. Phalippou, J. Pelous, and E. Courtense, "Fractal structure of base catalyzed and densified silica aerogels", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 106, pp. 161-165, 1988.
- [8] T. Woignier, J. Phalippou, and R. Vacher, "Parameters affecting elastic properties of silica aerogels", *J. Mater. Res.*, vol. 4, pp. 688-693, 1989.
- [9] E. Nilsen, M.-A. Einarsrud, and G.W. Scherer, "Effect of precursor and hydrolysis conditions on drying shrinkage", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 221, pp. 135-143, 1997.
- [10] A. Venkateswara Rao, E. Nilsen, and M.-A. Einarsrud, "Effect of precursors, methylation agents and solvents on the physicochemical properties of silica aerogels prepared by atmospheric pressure drying method", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 296, pp. 165-171, 2001.
- [11] H.L. Castrium, M.C. Mittelmeijer-Hazeleger, A. Sah, and J.E. ten Elshof, "Increasing the hydrothermal stability of mesoporous SiO<sub>2</sub> with methylchlorosilanes-a structural study", *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 88, pp. 63-71, 2006.
- [12] A. Roig, E. Molins, E. Rodriguez, S. Martinez, M. Moreno-Manas, and A. Vallribera, "Surperhydrophobic silica aerogels by fluorination at the stage", *Chem. Comm.*, pp. 2316-2317, 2004.
- [13] D.L. Ou and P.M. Chevalier, "Studies of highly porous hybrids prepared by a novel fast gelation process under ambient pressure", *J. Sol-Gel Science and Technology*, vol. 26, pp. 657-662, 2003.
- [14] V.D. Land, T.M. Harris, and D.L. Teeters, "Processing of low-density silica gel by critical point drying or ambient pressure drying", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 283, pp. 11-17, 2001.
- [15] S.S. Prakash, C.J. Brinker, A.J. Hurd, and S.M. Rao, "Silica aerogel films at ambient pressure", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 190, pp. 264-275, 1995.
- [16] R. Deshpande, D. Hua, D. Smith, and C.J. Brinker, "Pore structure evolution in silica gel during aging/drying. III. effects of surface tension", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 144, pp. 32-44, 1992.
- [17] S.S. Prakash, C.J. Brinker, A.J. Hurd, and S.M. Rao, "Silica aerogel films prepared at ambient pressure by using surface derivatization to induce reversible drying shrinkage", *Nature*, vol. 374, pp. 439-443, 1995.
- [18] V.B. Kogan, V.M. Fridman, and I.V. Deizenrot, "About azeotropic mixtures formed by long chain alcohols, long chain hydrocarbons and water", *Zhur. Prikl. Khim.*, vol. 30, pp. 1339-1344, 1957.



안나 쉴라흐티나

- 1983년 모스크바대 화학과(이학석사)
- 1997년 모스크바대 화학과 무기화학전공(이학박사)
- 1983년~1994년 Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Science 부연구원
- 1994년~1998년 상동, 연구원
- 1998년~현재 상동, 선임연구원
- 주관심분야 : 미세 무기분말 합성, 나노 기공 재료



오 영 제

- 1977년 연세대학교 세라믹공학과(공학사)
- 1979년 연세대학교 대학원 세라믹공학과(공학석사)
- 1987년 연세대학교 대학원 세라믹공학과(공학박사)
- 1988년~1989년 미국 일리노이즈 대학(Urbana-Champaign) 포스트닥
- 1982년~현재 KIST 재료연구본부 책임연구원
- 2000년 KIST 신산업창업보육센터장
- 2000년 Academician, Russian Academy of Engineering
- 2002년 Full Member, International Academy of Engineering
- 주관심분야 : 화학센서, 광센서 및 기능성 나노재료