

## 기능성 미분말의 제조공정에 관한 연구 : I. 분무건조법에 의한 microcapsule 제조

정철원, 허화범, 박종현, 신건철  
강원대학교 재료공학과, 춘천, 200-701

## Preparation process of functional particles : I. Preparation of microcapsule by spray drying

C.W. Jeong, H.B. Heo, J.H. Park and K.C. Shin  
*Department of Materials Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*

요 약 분무건조법을 이용하여 무기질막 microcapsule과 무기질/유기질막 microcapsule을 제조하였다. 무기질막 microcapsule은 core 물질로  $K_2SO_4$ 와 clay shell 물질로 colloidal silica를 사용하였고, 무기질/유기질막 microcapsule은 core 물질로 상기 제조된 무기질막 microcapsule을 shell 물질로는 ethyl cellulose를 사용하여 각각의 microcapsule를 제조하였다. 제조된 microcapsule이 기능성을 갖기 위하여는 구형의 균일한 표면과 세공용적이 매우 중요하다. 무기질막 microcapsule인 경우 core/shell의 체적비가 0.3/0.7인 경우 구형의 균일한 표면의 microcapsule이 제조되었으며, 무기질/유기질막 microcapsule인 경우, 무게비가 0.76/0.24일 때 균일한 표면을 갖는 microcapsule이 제조되었다. 무기질/유기질막 microcapsule인 경우, 무기질막 microcapsule보다 세공용적이 감소하였고, shell물질(ethyl cellulose)의 양이 증가할수록 피복이 균일하게 되며, 세공용적도 감소하였다.

Abstract Inorganic and inorganic/organic microcapsules were prepared by spray drying.  $K_2SO_4$  and clay were used as the core and colloidal silica as the shell for the inorganic microcapsules. For the inorganic/organic microcapsules were used the inorganic microcapsule which were mentioned above (core) and ethyl cellulose (shell). To characterize the prepared microcapsule for the practical use, the homogeneity of surface and pore volume are the dominant factors. At the volume ratio of 0.3/0.7 of core/ shell, the spherical and homogeneous surfaces

of inorganic microcapsule could be synthesized. In the case of inorganic/organic microcapsules, the weight ratio was 0.76/0.24. The pore volume of inorganic/organic microcapsules decreases more than that of inorganic microcapsule. The more the amount of shell (ethyl cellulose) in inorganic/organic microcapsules increases, the more the coating became homogeneous and the pore volume decreased.

## 1. 서 론

신소재인 파인세라믹스가 고기능성을 가지도록 제조하려면 근본적으로 원료가 되는 세라믹 입자 형성 기술과 특성 개질 기술이 핵심 요소이다.

특히, 최근에는 종래와 같은 방법으로 제조된 분체를 이용하여 각종 제품의 성능을 비약적으로 향상시키는 일은 곤란하다는 인식 하에서 기능성 분체 제조로의 방향이 진전되고 있다. 그 중에서도 분체의 표면개질은 가장 주목할 만한 분체 처리기술 중의 하나이며, 소재개발의 중요한 방법으로 주목받고 있다[1].

분체의 표면개질법에도 많은 방법이 있지만 이 중에서도 분무건조법은 산업화되어 있기 때문에 공업적으로 쉽게 활용할 수 있는 기술의 하나이다[2]. 분무건조법을 이용하여, 대·소 이성분 입자계 현탁액을 만들어 분무시키면 액적이 건조되는 과정에서 입자의 편석이 생겨 큰 입자를 구성한 핵심부분을 소입자가 피복한 일종의 microcapsule(이하MC)을 얻을 수 있다[2]. 이러한 원리를 이용하면, 대입자(core)와 소입자(shell) 물질의 종류에 따라 다양한 기능, 즉, 서방성, 내열성 및 고강도의 기능성 입자의 제조가 가능하다[2]. 예를 들면, core물질을 금속, shell물질을 ceramic으로 사용할 경우는 cermet의 제조가 가능하고, core물질, shell물질을 모두 ceramic으로 할 경우에는 ceramic/

ceramic composite가 제조 가능하다. 또한 core물질을 의약이나 농업부분에서 요구되는 성분을 사용하고, shell물질을 유기물 또는 무기물을 사용할 경우에는 core물질을 피복하고 있는 shell물질의 세공경, 세공용적 및 성질에 따라 core물질이 녹아 나오는 시간이 다르게(徐放性)된다. 또한 특정조건에서만 core물질이 녹아나오는 특성을 갖는 MC도 제조 가능하다.

본 연구에서는 대입자(core물질)를 농업분야에서 이용되는 비료성분의 수용성 물질, 소입자(shell물질)를 무기질 및 유기질 물질로 선택하여 현탁액을 제조하고, 이 현탁액을 분무 건조하여 무기질막MC와 무기질/유기질막 MC를 제조한 후 제조된 각 MC의 특성을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 현탁액 제조

#### 2.1.1. 무기질막 MC 제조를 위한 현탁액 제조

사용된 출발물질의 특성은 Table 1과 같으며, Table 1에서 알 수 있듯이 core 물질은 비교적 입자가 큰 Clay Roseki(五島鑛山(株), 川木朋工場)와  $K_2SO_4$ (Katayama Chemical Co., Japan, Special Grade)를 사용하였다.  $K_2SO_4$ 는 유효성분(active ingredient)으로서  $K^+$ 은 칼리비료의 원료가 되는 물질이다. Shell

Table 1  
Properties of core and shell materials

Core & shell materials		Mean particle size	Solid concentration (wt.%)	Na <sub>2</sub> O in suspension (wt.%)	pH
Core	Clay	4 μm	—	0.07	—
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5.68 μm	—	—	—
Shell	Si500	< 6 nm	28.9	4.4	11.4
	Si80P	80 nm	37.4	0.3	9.9

물질인 Si500과 Si80P는 Catalysis & Chemicals Ind., Co., Ltd.의 colloidal silica 제품명으로서 mean particle size가 각각 6 nm와 80 nm로 매우 미세하다. 무기질막 MC를 제조하기 위한 현탁액의 제조 공정은 Fig. 1에 나타내었다. Core 물질로 사용된 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>는

Grinder(ANM-100 type, 日陶 科學株式會社)를 사용하여 평균입경이 5.68 μm가 되도록 grinding한 후 Clay와 mixing하였다. Shell 물질인 colloidal silica Si500과 Si80P를 혼합하여 shell 용액을 제조하였다. 제조된 shell 용액에 core물질을 교반하면서 천천히 첨가하여 현탁액을 제조하였다.

제조된 현탁액의 조성은 Table 2와 같으며 sample Ex.3은 core 물질인 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/Clay의 volume fraction이 0.12/0.88, Ex.8은 core 물질인 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/Clay의 volume fraction이 0.5/0.5로 하였고, Ex.10은 비료의 유효성분인 K<sup>+</sup>를 보다 많이 함침시키기 위하여 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/Clay를 0.88/0.12의 비율로 각각 혼합하였다. Shell 물질인 Si500/Si80P의 volume fraction은 0.6/0.4로 고정하였다. Ex.3과 Ex.10은 core/shell의 volume fraction을 0.3/0.7로 하였으며 Ex.8은 core/shell의 volume fraction을 0.7/0.3로 하였다.

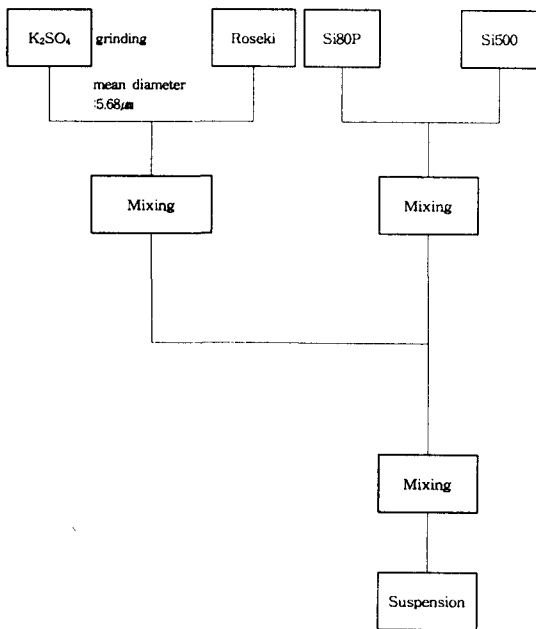


Fig. 1. Schematic diagram of prepared suspension for inorganic MC.

2.1.2. 무기/유기질막 MC 제조를 위한 현탁액 제조

무기/유기질막 MC 제조를 위한 현탁액 제조 공정은 Fig. 2와 같다.

제조된 무기질막 MC에 유기질막을 피복

Table 2  
Volume fraction of suspension for inorganic MC preparation

Sample No.	Core material	Shell material	Core/shell
	$K_2SO_4/Clay$	Si500/Si80P	
Ex.3	0.12/0.88	0.6/0.4	0.3/0.7
Ex.8	0.5/0.5	//	0.7/0.3
Ex.10	0.88/0.12	//	0.3/0.7

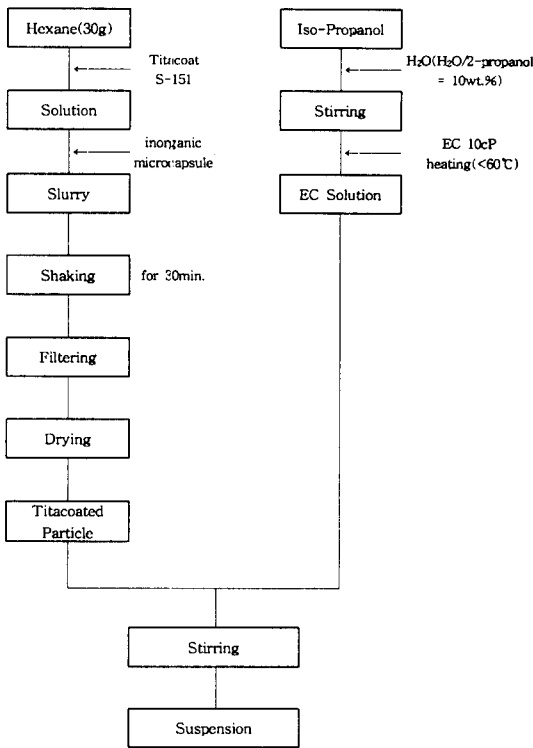


Fig. 2. Schematic diagram of prepared suspension for inorganic/organic MC.

하기 위하여, 먼저 무기질막 MC의 표면을 Ti계 표면처리제를 이용하여 소수성 표면으로 처리하였다. 표면처리 방법은 먼저 hexane(Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Special Grade)에 Ti계 표면처리제인 Tita-

coat S-151(日本曹達株式會社)을 첨가하여 제조한 용액에 무기질막 MC를 첨가하여 slurry를 제조하였다. 제조된 slurry를 30분간 shaking하고 filtering한 후 oven에서 건조하여 Titacoated particle(소수성 표면처리된 무기질막 MC)을 제조하였다. Shell 물질로 사용하기 위한 Ethyl Cellulose(EC 10cP, Wako Pure Chemical Industries, Ltd., 이하 EC)는 H<sub>2</sub>O를 iso-propanol에 대해 10 wt.%로 첨가한 iso-propanol 용액을 교반 및 heating(< 60°C)하면서 EC를 첨가하여 EC 용액을 제조하였다. 제조된 EC용액에 Titacoated particle을 교반하면서 천천히 첨가하여 현탁액을 제조하였다. 제조된 현탁액의 조성은 Table 3에 나타내었다.

Ex.4와 Ex.5는 제조된 Ex.3의 무기질막 MC를 이용하여 회수 장치의 위치(Ex.4: Bottom sample, Ex.5: Cyclone sample)에 따른 무기질/유기질막 MC의 특성변화를 관찰하고자 하였다. Ex.11-1과 Ex.11-2는 제조된 Ex.8의 무기질막 MC를 이용하여 코팅 물질인 EC의 양을 변화시켜 그에 따른 무기/유기질막 MC의 특성을 관찰하고자 하였으며, Ex.13은 Ex.10의 무기질막 MC를 유기질 코팅한 것으로서 무기질막 MC와 무기/유기질막 MC의 특성을 상호 비교 검토하였다.

Table 3

Composition of suspension for inorganic/organic MC preparation

Sample No.	Core	Shell	Water	Iso - propanol
	Synthesized inorganic MC	EC (10cP)		
Ex.4	Ex.3 Bottom Sample : 30(g)	5(g)	6.5(g)	65(g)
Ex.5	Ex.3 Cyclone Sample : 30(g)	//	//	//
Ex.11 - 1	Ex.8 Bottom Sample : 20(g)	3.2(g)	4.16(g)	41.6(g)
Ex.11 - 2	//	6.4(g)	//	//
Ex.13	Ex.10 Cyclone Sample : 20(g)	6.4(g)	//	//

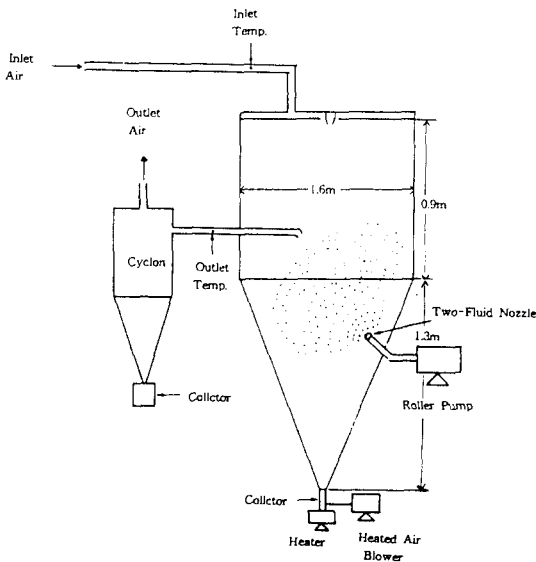


Fig. 3. Schematic diagram of spray dryer.

2.2. 분무건조

앞서 2.1.1과 2.1.2에서 제조된 현탁액으로부터 무기질막 MC와 무기질/유기질막 MC를 제조하기 위하여 사용된 분무건조 장치는 Fig. 3에 나타내었다. 장치의 탑경은 1.6 m, 원통 부분의 높이는 0.9 m, 원추부 높이는 1.3 m이다. 현탁액은 Roller Pump(Furue sci., N-2333 type)로 이송하여 Two-Fluid

Nozzle(Air Nozzle : 2.53mm inner dia., 2.81 mm outer dia., Liquid Nozzle : 1.6 mm inner dia., 2.53 mm outer dia.)로 분무하였으며, 이때 nozzle의 압력은 2.5 kgf/cm<sup>2</sup>이었다. 무기질막 MC 제조시 열풍의 입구온도는 약 120℃로 하였고, 무기질/유기질막 MC 제조시에는 약 80℃로 하여 분무된 액적을 건조하였다.

건조된 MC는 하부의 collector와 cyclone에서 회수하였다. 제조된 MC의 형태 및 표면을 SEM(ALPHA-25A, 明石 Tech., Co., Ltd.)으로 관찰하였고, 제조된 MC표면의 세공용적은 Pore Sizer 9310(Micromeritics Co., Ltd.)을 사용하여 측정하였다. 제조된 MC의 입도분포는 Particle Size Analyzer (LDSA-1400A, Tohnichi Computer Co., Ltd.)로 분석하였다. 또한 밀도는 밀도측정기(Accupyc 1330 V2.01, Micromeritics Co., Ltd.)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. MC 제조를 위한 suspension의 안정성 검토

Fig. 4는  $K_2SO_4 \cdot H_2O \cdot Colloidal\ silica(SiO_2)$  system의 안정한 suspension 영역을 조사하기 위하여  $K_2SO_4 \cdot H_2O \cdot Colloidal\ silica(SiO_2)$ 의 비율을 변화하면서 suspension의 안정성을 조사한 결과이다. 그림에서 sample No. 뒤에 (○)는 suspension이 안정한 경우이며, (×)로 표시된 경우는 gelation이 발생하여 불안정한 경우이다.

Suspension은 그림에서 볼 수 있듯이 물의 양에 대해  $K_2SO_4$ 의 양이 상대적으로 증가하면 불안정하고, colloidal silica의 양이 증가할수록 불안정한 상태를 보여준다. 이것은 shell 물질인 colloidal silica는 농도가 20~

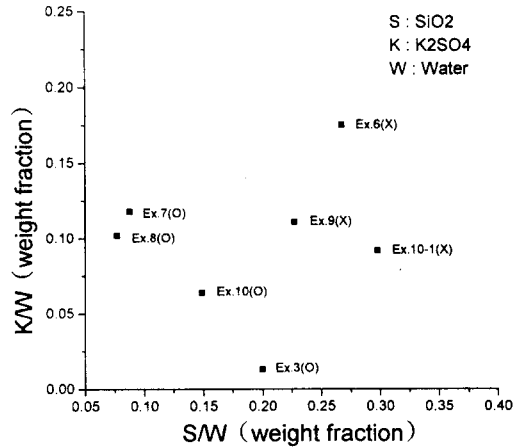


Fig. 4. Stability of suspension ( $K_2SO_4 \cdot H_2O \cdot SiO_2$  system).

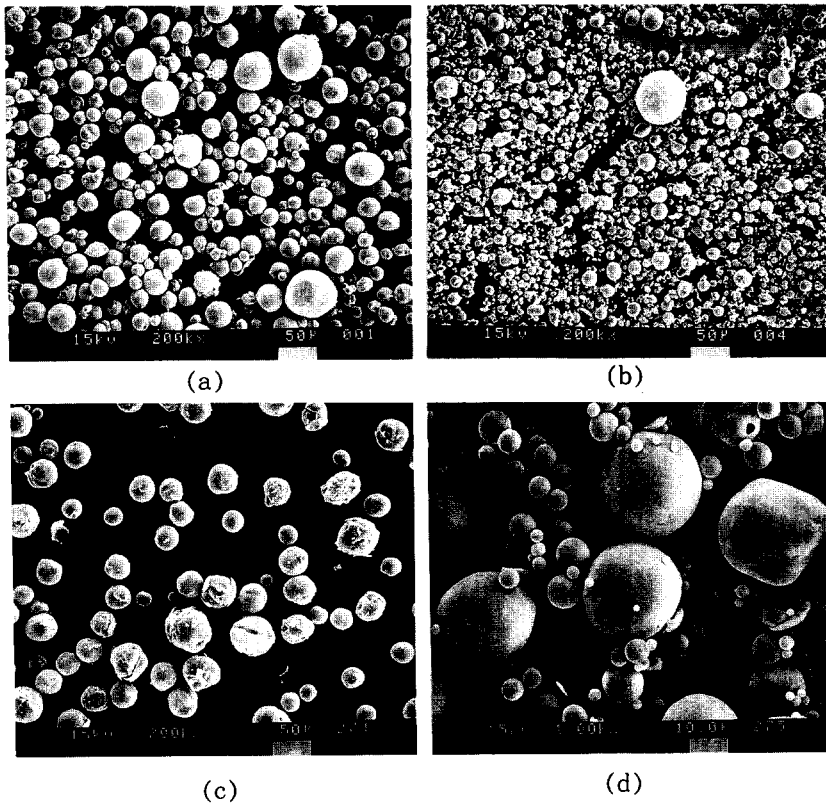


Fig. 5. SEM photographs of prepared inorganic MC according to Roseki/ $K_2SO_4$  volume fraction in core materials (a) 0.88/0.12 (Ex.3, bottom), (b) 0.88/0.12 (Ex.3, cyclone), (c) 0.12/0.88 (Ex.10, bottom) and (d) 0.12/0.88 (Ex.10, cyclone).

50 % 영역에서는 안정하나 이보다 높은 농도로 농축된 것은 급격한 점도의 상승을 초래하여 gel화가 쉽고 그 속도는 농도의 제곱에 비례하기 때문이다[3]. 따라서 본 연구에서는 suspension 제조시 colloidal silica의 농도를 약 30 % 이하로 제조하였으나 불안정하였다. 이것은 colloidal silica에 전해질이 첨가되면 gel화가 촉진되며[3], 본 연구에서 core 물질로 사용한  $K_2SO_4$ 에서 유리된  $K^+$ 와  $SO_4^{2-}$ 가 전해질 역할을 하여 gel화를 촉진하였기 때문으로 사료된다. 따라서  $K_2SO_4$ 의 양, colloidal silica의 양과 물의 양에 대한 상대적 비교를 통해 볼 때, Ex.7, Ex.10과

Ex.3을 연결하는 곡선의 아래영역에서 안정할 것으로 예상된다. 또한, colloidal silica를 shell 물질로 사용하고 core 물질이 수용성 전해질 물질인 경우에는 suspension 제조시 안정영역을 반드시 고려해야 한다.

### 3.2. 제조된 MC의 특성 조사

#### 3.2.1. Morphology

Fig. 5는 core/shell의 volume fraction을 0.3/0.7로 고정하고, core 물질 자체내의  $K_2SO_4$ /Caly의 volume fraction을 (a)와 (b)는 0.12/0.88, (c)와 (d)는 0.88/0.12로 변화시

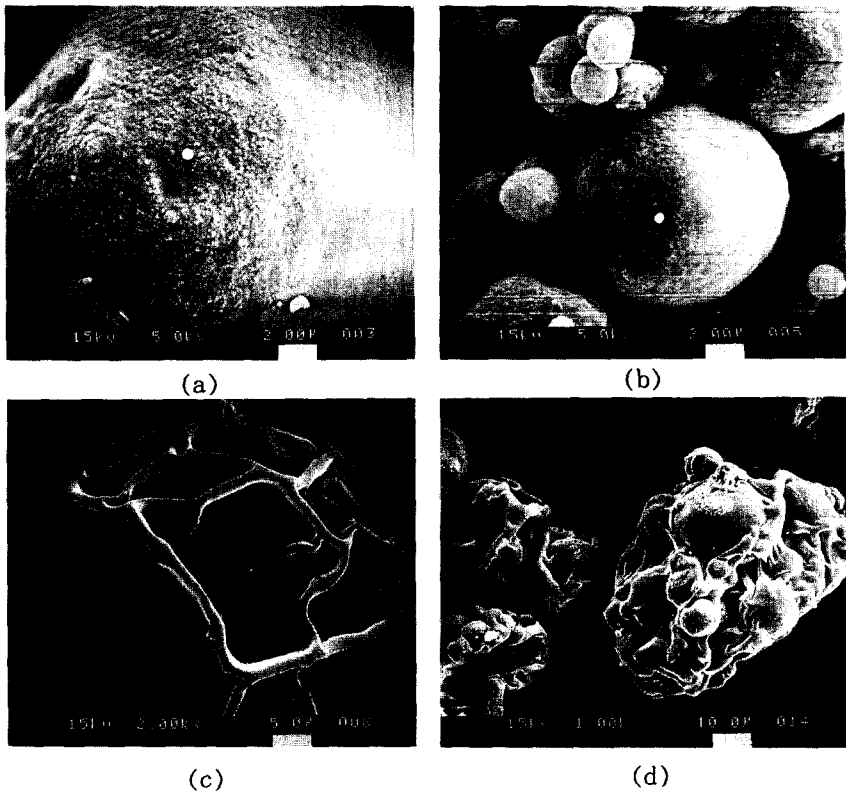


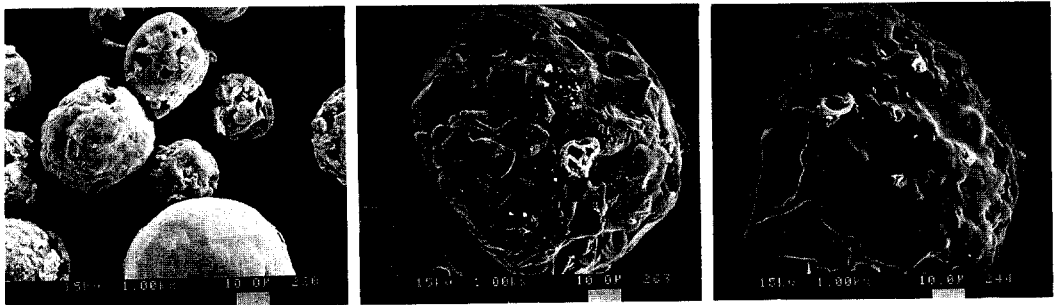
Fig. 6. SEM photographs for the comparison inorganic MC with inorganic/organic MC (a) inorganic MC (Ex.3, bottom), (b) inorganic MC (Ex.3, cyclone), (c) inorganic/organic MC (Ex.4, bottom) and (d) inorganic/organic MC (Ex.4, bottom).

켜 core 물질 자체내의 volume fraction 변화에 따른 morphology를 SEM으로 관찰한 결과이다. 또한 (a)와 (c)는 bottom collector에서 회수한 sample이고, (b)와 (d)는 cyclone에서 회수한 sample이다. (a), (b), (c) 그리고 (d) 모두가 구형의 형태를 나타내고 있다. 표면은 비교적 매끄러운 형태이나 (c)의 경우는 다른 sample에 비해 약간 깨진 형태나 박편이 표면에 접촉된 형상을 보여준다. 또한 (a)와 (c), 즉 bottom collector에서 회수한 무기질막 MC가 (b)와 (d), 즉 cyclone에서 회수한 무기질막 MC보다 입자의 크기가 훨씬 큼을 알 수 있다. 이것은 열풍에 의해 미세한 입자가 cyclone에서 포집되기 때문이다. 또한 상대적으로  $K_2SO_4$ 의 양이 많이 첨가된 (c)와 (d) sample의 경우가 균일하게 coating되지 않음을 알 수 있다. 이것은 건조시  $H_2O$ 의 증발로 colloidal silica의 안정성을 저하시켜 입자편석에 의한 MC 제조를 방해하여 치밀한 표면을 갖지 못하기 때문으로 사료된다.

Fig. 6은 Ex.3의 bottom에서 회수한 sample과 cyclone에서 회수한 sample을 같은 무게분율(inorganic sample/EC=0.86/0.14)의 EC로 무기질/유기질막 MC를 제조하여 그

morphology를 SEM으로 관찰한 결과이다. (a)는 Ex.3의 bottom sample, (b)는 Ex.3의 cyclon sample, (c)는 (a) sample을 EC로 coating한 경우이며, (d)는 (b) sample을 EC로 피복한 경우이다. (a)와 (b)는 Fig. 5의 (a), (b)와 같은 sample이다. (a), 즉 큰 무기질막 MC로 EC 피복을 한 경우인 (c) 사진에서 볼 수 있듯이 한 개의 입자에 EC가 균일하게 피복된 것을 알 수 있다. 즉 maxocore의 MC가 주로 제조되었다. 그러나 일부 여러입자가 응집하여 피복된 경우와 전혀 EC 피복이 되지 않은 경우도 다른 SEM 사진을 통하여 관찰할 수 있었다. 한편 (d)의 경우는 (b)를 EC 피복한 경우로서 작은 여러개의 입자가 응집되어 EC 피복이 되고, 균일하게 coating이 이루어지지 않음을 알 수 있다. 따라서 균일한 피복을 위해서는 피복물질의 양 및 무기질막 MC가 EC용액에 균일한 분산을 할 수 있는 조건등에 대한 연구가 더욱 필요한 것으로 사료된다.

Fig. 7은 EC 양의 변화에 따른 제조된 무기질/유기질막 MC의 morphology를 SEM으로 관찰한 결과이다. (a)는 Ex.8의 bottom sample로서 core/shell의 volume fraction이 0.7/0.3이다. 사진에서 볼 수 있듯이 무기질



(a)

(b)

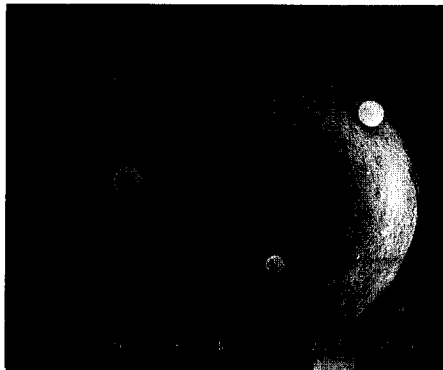
(c)

Fig. 7. The comparison of MC prepared by difference of EC amount (a) nothing (Ex.8, bottom), (b) 0.14 wt% (Ex.11-1, bottom) and (c) 0.24 wt% (Ex.11-2, bottom).



막 코팅이 잘 되지 않아 core 물질의 응집 형태로 다공의 표면을 보여준다. 이는 shell 물질인 colloidal silica가 core물질을 완전히 피복할 수 있는 양이 부족함을 나타낸다. (b)는 (a) sample에 EC를 무게분율[(a) sample/EC] 0.86/0.14로, (c)는 0.76/0.24로 EC의 양을 변화시킨 경우로서 (b)의 경우는 (a) sample과 거의 흡사한 형태로서 EC 피복이 잘 되지 않았음을 알 수 있다. 반면 (c)의 경우는 비교적 EC양이 증가함으로써 표면이 균일하게 피복 되었음을 알 수 있다.

Fig. 8은 무기질막 MC와 무기질막/유기질



(a)



(b)

Fig. 8. SEM photographs of (a) inorganic MC (Ex.10, cyclone) and (b) inorganic/organic MC (Ex.13, bottom).

막 MC를 상호 비교한 SEM 사진이다. (a)는 Fig. 5의 (d)와 같은 sample이며 (b)는 (a)를 EC(무게분율 : 0.76/0.24)로 coating한 경우로서 여러 개의 입자가 응집하여 dense하게 coating된 것과 한 개의 입자가 coating된 형태등, 전체적으로 EC coating이 충분히 이루어졌음을 알 수 있다. 이는 Fig. 7의 (c) sample과 동일한 비율의 EC를 첨가한 경우로서, EC첨가량 증가에 따른 피복의 균일성을 보여주고 있다.

Table 4

Mean particle size and density of prepared inorganic MC and inorganic/organic MC

Sample No.		Mean particle size ( $\mu\text{m}$ )	Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Remark
Ex.3	Bottom	34.90	2.1427	Inorganic MC
	Cyclone	20.67	2.2168	
Ex.8	Bottom	39.90	2.6582	
	Cyclone	10.58	2.5178	
Ex.10	Bottom	45.51	1.7568	
	Cyclone	7.56	2.0758	
Ex.4	Bottom	54.23	1.8531	Inorganic /organic
	Cyclone	17.85	1.8646	
Ex.5	Bottom	52.81	2.0434	//
	Cyclone	17.65	2.0008	
Ex.11-1	Bottom	52.57	2.2862	//
	Cyclone	17.23	2.1820	
Ex.11-2	Bottom	97.05	2.1057	//
	Cyclone	13.67	1.9055	
Ex.13	Bottom	73.70	1.8840	//
	Cyclone	20.57	1.7975	

### 3.2.2. 평균입경 및 밀도

Table 4는 collector의 위치별로 회수한 sample의 평균입경 및 밀도를 나타낸 것이다. 먼저, 제조된 MC의 평균입경의 경우는 bottom collector에서 회수한 sample의 평균입경이 cyclone에서 회수한 sample의 평균입경 보다 훨씬 크며, 이것은 SEM 사진의 결과에서 기술한 바와같이 작은 입자의 경우 열풍에 의해 이송되어 cyclone에서 회수되는 것으로 사료된다. 한편 무기질막 MC의 경우에, 밀도는 cyclone에서 회수한 sample이 bottom에서 회수한 sample 보다 전반적으로 큼을 볼 수 있으며, 이는 bottom collector에서 회수한 sample이 cyclone에서 회수한 sample 보다 MC의 closed pore가 많이 존재하기 때문인 것으로 사료된다. 한편 Ex.8의 경우에는 SEM 사진에서 볼 수 있듯이 open pore가 다량 존재하는 것으로 보아, 밀도가 다른 sample에 비해 상대적으로 큰 것으로 사료된다.

무기질/유기질막 MC의 경우에는 무기질막 MC 보다 전체적으로 밀도가 감소함을 알 수 있다. 이는 유기질막에 의해 closed pore가 다량 존재하기 때문으로 사료되며, cyclone에서 회수된 sample의 밀도가 bottom sample 보다 작은 것은 SEM 사진에서도 관찰된 바와같이 가볍고 작은 EC로만 형성된 입자들이 상대적으로 다량 존재하여 밀도가 감소하는 것으로 사료된다.

### 3.2.3. 세공용적 분포

Fig. 9와 Fig. 10은 무기질막 MC와 무기질/유기질막 MC의 세공용적의 변화를 나타낸 그림이다. 먼저 Fig. 9에서는 무기질막 MC인 Ex.8의 sample과 EC를 Ex.8의 0.14 무게분율로 첨가하여 제조한 무기질/유기질막 MC인 Ex.11-1의 세공용적 변화를 조사한 것이

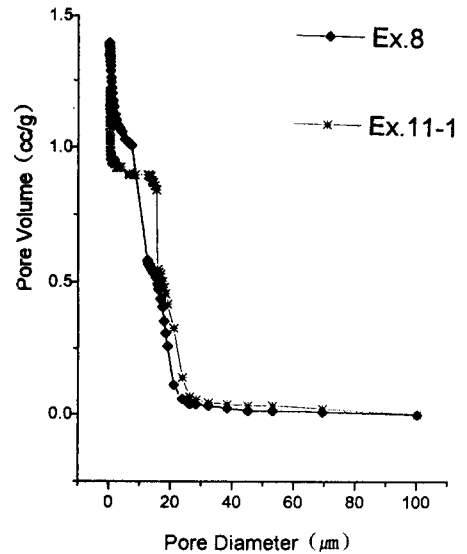


Fig. 9. The difference of pore volume between inorganic MC and inorganic/organic MC.

다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 무기질막 MC(Ex.8) 보다 EC를 피복한 무기/유기질막 MC(Ex.11-1)의 세공용적이 감소함을 알 수 있으며 이는 EC가 무기질막 MC의 세공을 피복함으로써 세공용적이 감소하는 것으로 사료되며, 이는 전술한 밀도 및 SEM 사진의 결과와 일치함을 알 수 있다. 또한 세공경은  $0.0066 \mu\text{m}$ 에서  $100.27 \mu\text{m}$ 의 범위를 나타내며,  $10 \mu\text{m}$  이상의 세공경은 제조된 MC입자 사이의 공극에 의한 것으로 사료되며  $10 \mu\text{m}$  이하의 값은 제조된 MC 자체의 표면에 존재하는 세공의 크기로 사료된다.

Fig. 10은 EC의 양이 세공용적에 미치는 영향을 조사하기 위하여 EC 양을 무기질막 MC에 대한 무게분율로 0.24 첨가하여 제조된 무기질/유기질막 MC(Ex.13)에 대한 결과이다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이, EC를 피복한 경우, 세공용적이 무기질막 MC(Ex.10)

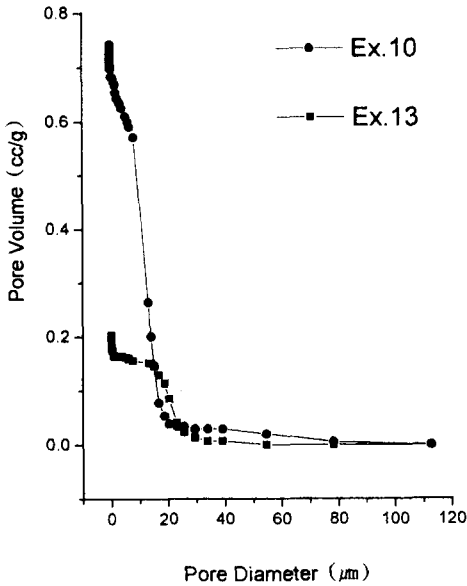


Fig. 10. The difference of pore volume between inorganic MC and inorganic/organic MC.

에 비해 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 Fig. 9의 결과와 같은 경향을 나타내고 있으며, EC의 양, 즉 피복 물질의 증가에 따라 세공용적은 크게 감소함을 알 수 있다. 이는 EC가 피복물질의 양이 증가하면서 무기질막 MC 표면에 존재하는 세공을 피복하고, 막의 두께가 증가함에 따라 세공이 감소하기 때문으로 사료되며, N. Yamada의 결과와도 잘 일치한다[4-5].

#### 4. 결 론

상기의 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Shell 물질인 Colloidal silica는 Core의 전해질 물질인  $K_2SO_4$ 에 의해 안정성이 크게

감소한다.

2) Core/Shell의 volume fraction이 0.3/0.7 이상인 경우, 균일한 표면을 갖는 구형의 무기질막 MC를 얻을 수 있었다.

3) 무기질막 MC에 EC를 피복한 경우, 평균입경은 증가하고 밀도는 감소한다.

4) 무기질/유기질막 MC는 무기질막 MC보다 세공용적이 감소하였다.

5) 무기질/유기질막 MC에서 shell의 양이 증가할수록 세공용적은 감소하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] 서태수, 기능성 분체재료의 설계 기법, 제7회 요업원료 심포지움, pp. 5-25.
- [ 2 ] N. Yamada, E. Abe and H. Hirose, Kagaku Kogaku Ronbunshu 8(6) (1992) 781.
- [ 3 ] Cataloid S (Colloid Silica), Catalysts & Chemicals, IND., Co., Ltd.
- [ 4 ] N. Yamada, E. Abe and H. Hirose, J. Soc. Powder Technol., Japan 32 (7) (1995) 326.
- [ 5 ] N. Yamada, E. Abe and H. Hirose, J. Soc. Powder Technol., Japan 32(5) (1995) 459.