

# IGCC용 반응소결용 SiC 고온 가스 필터 개발

박상환<sup>1</sup>, 한재호<sup>1</sup>, 권혁보<sup>2</sup>, 최주홍<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 복합기능세라믹스연구센터, <sup>2</sup>경남대학교 나노재료공학과,

<sup>3</sup>경상대학교 화공학부

## 요 약

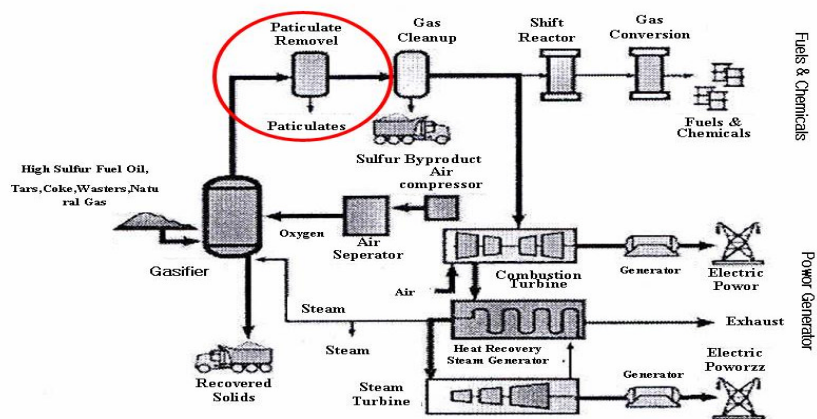
본 연구에서는 반응소결 탄화규소 다공질 지지체 개발을 위하여 SiC/C로 이루어진 성형체를 사용한 Si melt infiltration 공정 및 SiC/C/Si으로 이루어진 성형체를 사용하는 Si embedding 공정 개발이 이루어졌다. 개발된 반응소결 탄화규소 다공질 지지체의 기공률은 38% 이상이었으며 평균기공은 130  $\mu\text{m}$  크기이었다. Si melt infiltration 방법으로 제조된 반응소결 탄화규소 다공질 지지체의 파괴강도는 상용 반응소결 탄화규소 지지체의 파괴강도보다 최대 200% 이상 높게 나타났다. 본 연구에서는 용융 Si의 침윤공정을 이용하여 반응소결 탄화규소 여과층을 갖는 반응소결 탄화규소 필터 및 그 제조공정이 개발되었다. 개발된 반응소결 탄화규소 필터의 필터 특성은 상용 탄화규소 필터의 필터 특성과 대체적으로 대등한 것으로 조사되었다.

## 1. 서 론

최근 심각하게 진행되고 있는 고유가 와 가까운 미래에 이루어질 석유 생산량의 peak-time 시점에 관한 인식이 미래 안정적인 에너지원 확보 및 환경오염에 관한 문제들을 동시에 부각시키고 있다. 이를 해결하기 위한 근본적인 대책을 마련하기 위하여 수급이 불안정한 석유와 가스의 의존도를 줄이고 공급이 안정적인 저가의 다양한 에너지원을 사용할 수 있고 열효율 향상과 환경청정을 동시에 실현할 수 있는 석탄가스화복합발전(Integrated gasification combined cycle, IGCC), 가압유동층복합발전(Pressurized Fluidized-Bed Combustion, PFBC), 석탄가스화 연료전지(Integrated gasification fuel cell, IGFC)등과 같은 신 발전 시스템이 개발되고 있다. 신 발전 시스템에서는 앞으로 200년간 사용가능한 석탄 및 바이오 매스 그리고 석유 잔사유, coal tar 등 석유화학에서 발생하는 저급 에너지원 등을 주요 에너지원으로 사용하여 환경 친화적 에너지 및 화학물질을 생산하게 된다.

신 발전 시스템의 대표적 예인 IGCC 시스템은 저급 에너지원을 사용하여 42-50%의 고효율 발전효율을 갖는 차세대 발전 시스템일 뿐만 아니라 IGCC 발전

방식은 기존의 미분탄 발전 방식에 비하여 발전 효율 증대에 따라 20% 이상의 CO<sub>2</sub> 저감효과 및 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub>를 90% 이상 저감 시킬 있어 21세기 중반에 예상되는 환경 규제치를 만족할 수 있을 뿐만 아니라 대기 환경오염의 주범인 황 성분을 SO<sub>x</sub> 생성물로 방출하지 않고 sulfur로 회수 할 수 있기 때문에 근본적인 대기 환경 보존을 달성할 수 있는 신 발전 시스템이다. 저급의 에너지를 사용한 가스화 설비에서 고급 청정에너지 및 화학물질을 생성하기 위해서는 가스화 장치로부터 생성된 고온의 연료 가스 내에 포함된 분진을 제거하여야 안정적으로 고급 에너지를 효율적으로 생산할 수 있으며 그에 따라 효율적 발전 시스템 운용을 가능하게 할 수 있을 뿐만 아니라, 시스템의 열효율 향상 및 유용한 부산물을 고온에서 전환할 수 있다. IGCC 시스템은 그림 1에서 보여주는 것과 같이 석탄가스화 설비, 석탄 가스 정제 설비, 복합 발전 설비 등으로 구성되고 있으며, 생성된 석탄 가스를 고급 청정 발전 연료 가스로 사용하기 위해서는 아래 IGCC 공정 개략도에서 보여주는 것과 같이 석탄으로부터 제조된 가스를 정제한 후에 가스터빈을 가동하는 데 있어 분진에 의한 가스터빈의 부식과 마모를 방지하고 신 발전 시스템의 성공적인 개발을 위해서는 고온고압에서 높은 신뢰성으로 고온/고압, 부식성 분위기 하에서 장기간 작동할 수 있는 고온 가스 엄격한 고효율 정밀 집진 시스템 개발이 꾸준히 요구되고 있다.



[그림 1 : IGCC 시스템 공정 개략도]

IGCC 시스템에서 요구되는 고온 고압 집진 공정의 조건은 아래 표 1에서 보여 주는 것과 같이 PFBC 시스템에서 요구되는 공정조건과 비교하여 집진온도는 500-600 °C 정도로 낮지만 PFBC 시스템에서 보다는 훨씬 높은 20 기압의 고압에서 이루어지며, 고온 고압 하에서 집진은 위의 공정 조건하에서 10,000~20,000 ppm으로 배출되는 입자상 물질 중 5 μm 크기 이상의 입자상의 양이 10 ppm이하가 되도록 이루어져야 한다.

<표 1 : IGCC 및 PFBC 시스템에서 집진 공정 조건 비교>

	PFBC(circulation)	IGCC(Air blown fluidized) <sup>c)</sup>
Gas treatment ( $\text{am}^3/\text{min} \cdot \text{MWe}$ )	20.5	3.7
Particulate load ( $\text{g}/\text{nm}^3$ ) <sup>b)</sup>	4 ~ 20	18.2
Mean average size ( $\mu\text{m}$ ) <sup>b)</sup>	12 ~ 22	-
Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	750 ~ 900	544
Pressure (bar)	10 ~ 15	18.75
Effluent Particle concentration (ppmw)	< 10	<10
Tolerent particle size ( $\mu\text{m}$ )	< 5	<5

<sup>a)</sup>The value per 1MWe in circulation PFBC, <sup>b)</sup>The value referred to Ahlstrom/Karhula PFBC unit, <sup>c)</sup>Referred to Pinon Pine(KWR 97.8MWe).

고온 가스내에 존재하는 입자상의 물질을 제거하기 위해서는 전기 집진기, 싸이클론, 여과포, 금속 또는 세라믹 필터 등이 사용된 집진 방법이 사용되고 있거나 개발되고 있다. 표 2는 개발되고 있는 고온 정밀 집진 시스템의 일반적인 성능을 비교하여 보여준다. 이중층 구조로 이루어진 캔들 필터의 집진은 주로 멤브레인층에서 이루어지며 이 층의 기공크기 조절로 집진효율이 조절된다. 캔들 필터의 압력손실은 다른 집진기에 비해 높은 편이고 가스 처리량도 다른 집진 시스템에 비교하여 낮은 편이지만 절대적인 집진 효율을 추구할 수 있는 큰 장점이 있다.

세라믹 고온 가스 필터를 이용한 고온/고압 용 집진 시스템 개발은 세라믹 가스 필터는 운전 중 취성파괴에 의한 낮은 신뢰성으로 안정적인 시스템 운전에 문제점으로 남아 있는데도 불구하고 고온 및 가혹한 부식 분위기 하에서 사용할 수 있는 유일한 집진 시스템일 뿐 아니라 높은 집진효율을 얻을 수 있고, 시스템 설계 및 운전이 무난하고, 처리용량에 관계없이 경제적으로 설치할 수 있기 때문에 전 세계적으로 신 발전 시스템에서는 세라믹 가스 필터 개발 및 이를 이용한 집진 시스템 개발 연구가 제일 활발하게 이루어지고 있다.

<표 2 : 고온 집진 시스템 일반적인 성능 비교>

집진기	처리량 <sup>a)</sup> ( $\text{m}^3\text{N}/\text{hm}^3$ )	압력손실 ( $\text{mmH}_2\text{O}$ )	집진효율 (%)	5 $\mu\text{m}$ 포집 효율(%)	배출농도 (ppm)	비고
사이클론	2340	20 ~ 70	99.0	70	376	2단
고효율 여과포	660	30 ~ 150	99.7	95	10이하	
캔들필터	440	60 ~ 230	99.9+	100	5이하	
Cross flow 필터	1800	20 ~ 80	99.9+	100	5이하	
순환층 여과기	680	60	99.4	90	20이하	2단
전기집진기	220	12.5	99.5	90	20이하	

세라믹 가스 필터는 독일의 U.S. filter(Pall-Schumacher사), 일본 NGK사 그리고 미국의 Refractron사 등에서 길이 1.5m 크기의 상용급 탄화규소 소재 복합층 세라믹 필터 제조기술을 확보하고 있다. 이들 업체에서 제조된 상용필터는 상용급 IGCC 및 PFBC 플랜트에서 실차 시험이 이루어지고 있으며, 아울러 세계 각 연구기관에서 Bench 또는 Pilot 급에서 수행되고 있다. 탄화규소 가스 필터 이외에도 코디어라이트, 알루미나/몰라이트 등과 같은 산화물 세라믹 가스 필터가 개발되어 적용 시험되고 있다. 표 3은 전 세계적으로 개발되고 있는 세라믹 필터의 종류, 소재 및 적용 온도를 요약하여 보여준다.

<표 3 : 세라믹 필터의 종류 및 적용온도>

Element type	Vendor/developer	Material	Limit. T(°C)	Trade name	Dimension (cm)
Candle	Schumacher	SiC granular	1200	Dia-schumalith	6/150L/1T
	Refractron	SiC granular	1200	Vitropore	6/150L/1T
	Techniveave	Composite	900	N610	6D/150L
	Coors	Alumina/Mullite	-	P-100A	-
	Foseco	Alumina Silicate (Fabric)	650	Cerafile 2000i	6D/100L
	DuPont	Composites	1000	PRD-66	6D/150L
	3M	CVI-SiC	1000	-	6D/150L
	IF&P	Alumina Silicate (Vacuum formed)	900	Fiberosic <sup>im</sup>	6D/100L
	BWF	Ceramics fiber	850		15D/150L
	PLANSEE	Chromium	850		6D/100L
Tube	Asahi Glass	Cordierite	1000	-	17D/290L/1.5T
	Pall	Hastelloy X et al.	900		
Cross-flow	Coors	Mullite	1000		30×30×10
Channel	GTE	Corderite, SiN			
	Allied-signal	Sintered SiN			
Monolith	CeraMem	Cordierite	650		15×15×50
Fabric Bag	3M	Polycrystalline Metal Oxide	820	Nextel <sup>im</sup>	-

이제까지 개발된 고온 세라믹 필터, 특히 탄화규소 필터는 다양한 규모로 석탄 가스화복합발전(IGCC)과 가압유동층연소(PFBC) 시스템과 같은 신 발전 시스템 개발에 적용하고 있다. 그러나, 세라믹 필터 및 이를 이용한 고온/고압용 집진기 시스템 기술의 꾸준한 연구 개발에도 불구하고 아직까지 탄화규소 세라믹 필터 및 집진 시스템이 고온에서 장기적으로 신뢰성 있는 작동에 있어서 많은 문제점들이 지적되고 있다. 최근에 IGCC pilot plant 운전 결과 가장 널리 사용되고 있는 점토질 결합 탄화규소 세라믹 필터를 이용한 집진 시스템 운전 시 기계 및 열 충격에 의한 필터 파손, 분진 가교 형성에 의한 필터 손상, 화학반응에 의한 필터

의 열화 등 큰 기술적 장애가 있음이 밝혀졌다.

미국 DOE/MOTC 에서는 차세대 발전시스템인 IGCC 및 PFBC 시스템 개발에서 요구되는 신뢰성이 높고 기존의 세라믹 가스 필터의 취약점을 극복할 수 있는 고온 세라믹 가스 필터를 개발하기 위하여 섬유 강화 세라믹 고온 가스 필터 및 고온가스 필터 시스템 개발을 위한 연구 개발이 수행되고 있으며, 현재 개발된 섬유 강화 세라믹 필터의 발전 시스템에 적용 평가하는 단계에 있다. 또한, 미국에서는 DOE 후원 하에서 Westinghouse와 North dakota 등을 중심으로, 일본의 경우 NEDO 후원하에서 Kanazawa대학, 독일의 경우 Karlsruhe 대학 등 세계적으로 많은 연구기관에서 고온에서 세라믹 필터 파손기구 규명과 분진특성에 따른 집진 성능 및 파생되는 문제해결 등에 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 아직까지 세라믹 가스 필터의 문제점을 결정적으로 보완 할 수 있는 열, 기계적 특성이 우수하며 신뢰성이 우수한 세라믹 가스 필터의 개발 및 그를 이용한 효율적인 세라믹 가스 필터의 적용 기술 개발은 이루어지지 못하고 있다.

반응소결 탄화규소(reaction bonded SiC, RBSC)는 낮은 제조 단가 뿐 만 아니라 우수한 열 충격 특성 및 높은 고온 강도와 같은 우수한 열, 기계적 특성을 지니고 있기 때문에 이제까지 개발된 엔지니어링 세라믹 중 고온 소재로 가장 널리 사용되는 소재로 알려져 있다. 그러나, 아직까지 RBSC 소재를 이용한 세라믹 고온 가스 필터 개발은 이루어지고 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 높은 강도를 갖는 반응소결 탄화규소 필터를 제조하기 위한 소재 및 공정 개발이 이루어졌으며, 또한, 제조된 반응소결 탄화규소 필터의 집진 특성에 관한 연구가 수행되었다.

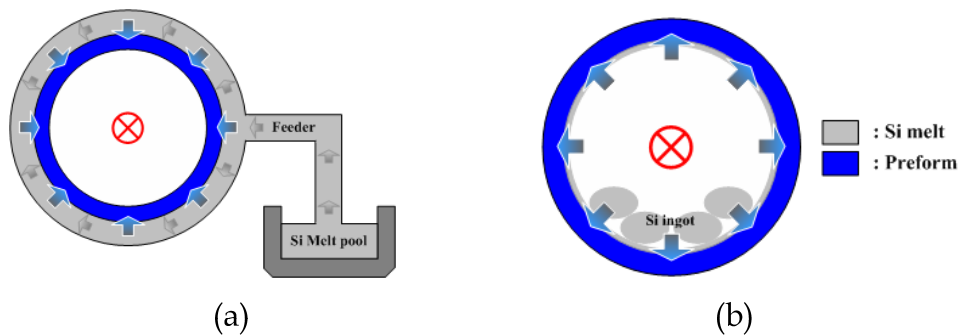
## 2. 본 론

### 가. 실험 방법

표 4는 본 연구에서 사용된 출발원료의 종류 및 특성을 보여준다. RBSC 고온 가스 필터 제조는 RBSC 다공질 지지체 제조 및 RBSC 여과층 제조로 이루어진다. 본 연구에서 RBSC 필터 다공질 지지체는 SiC/C로 이루어진 성형체에 용융 Si을 외부에 침윤시켜 다공질 지지체를 제조하는 용융 Si infiltration 방법 및 SiC/C/Si으로 이루어진 성형체를 열처리시켜 성형체 내부에서 Si을 침윤시켜 다공질 지지체를 제조하는 Si embedding 방법을 사용하였다. 그림. 2는 본 연구에서 RBSC 지지체 제조에 사용된 두 가지 방법의 개략도를 보여준다.

<표 4 : 본 연구에서 사용된 출발원료의 종류 및 특성>

Materials	Supplier	Remark	Purity
SiC	Showa denko	6, 14, 34, 55, 66, 250 $\mu\text{m}$	>99.5 %
Phenol resin	Kolong Chemical		Carbon contents > 60%
Carbon Black	Korea Carbon		>99%
Si	ELKEM	0.2-2mm	>99.6%
	LG	ingot	>99.9999%



[그림 2 : RBSC 다공질 지지체 제조에 사용된 용융 Si 침윤 방법 (a) Si melt infiltration 방법 및 (b) Si embedding 방법]

RBSC 다공질 지지체 제조에 사용된 slurry 조성 및 사용된 Si의 양은 표 5에서 보여주는 것과 같다. 다공질 지지체는 다양한 조성의 slurry를 사용하여 mold를 이용하여 일축가압방법으로 0~10 MPa 압력 하에서 외경 60 mm, 내경 40 mm 이고 길이가 100 mm인 성형체를 제조하였다. 성형 압력을 가하지 않고 성형체 제조를 하기 위해서는 slurry의 solid loading 양을 감소하였다. 제조된 성형체는 건조 후 그림 2에서 보여주는 방법으로 1550 °C에서 30분간 진공 분위기하 ( $10^{-1}$  torr)에서 용융 Si을 침윤하여 RBSC 다공질 지지체를 제조하였다. RBSC 여과층은 SiC/phenol resin slurry를 사용하여 spray coating 방법으로 RBSC 다공질 지지체 표면에 SiC/C 코팅한 후 1360°C 온도에서 30분간 열처리하여 제조하였다.

<표 5 : RBSC 지지체 제조에 사용된 slurry 조성, 침윤된 Si의 양, 성형 압력>

Si 침윤 방법	SiC/Carbon black(wt%)	Si(%) <sup>*</sup>	Compact Pressure (MPa)
SI (Si melt infiltration)	82/8, 86/4	18, 20, 22, 25, 30	7, 20
SE (Si embedding)	82/8, 86/4	20, 22, 25	7, 20

\* : dense RBSC 제조에 요구되는 Si 양 대비 wt%

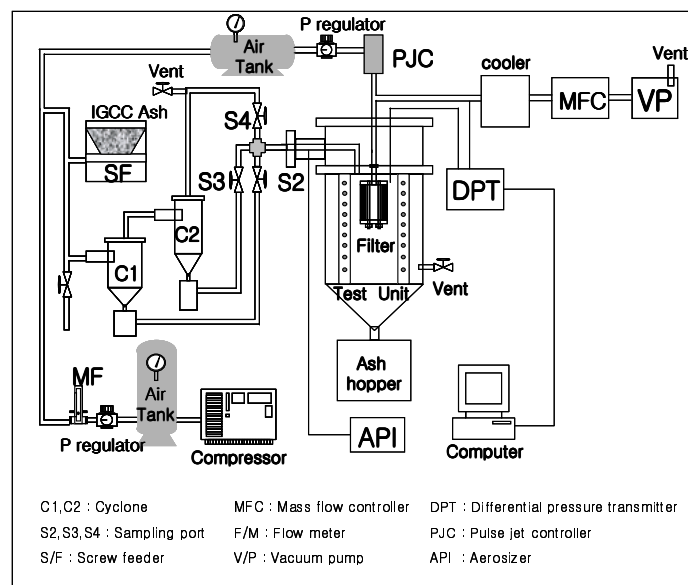
표 6은 RBSC 여과층 제조에 사용된 SiC의 종류 및 SiC/Phenol resin slurry 조성을 보여주며, slurry 내 solid loading은 10% 이하이었다.

<표 6 : RBSC 여과층 제조에 사용된 SiC의 입자크기>

Filter name	지지체 내 SiC 입자( $\mu\text{m}$ )	여과층 내 SiC 입자크기, 조성(wt%)
Filter 1	250	$34\mu\text{m}$ (100%)
Filter 2	250	$34\mu\text{m}$ (90%)/ $14\mu\text{m}$ (10%)
Filter 3	250	$34\mu\text{m}$ (90%)/ $66\mu\text{m}$ (10%)
Filter 4	180	$34\mu\text{m}$ (100%)

제조된 RBSC 필터 지지체의 파괴강도는 3 x 4 x 30 mm 크기의 시편을 사용하여 3 점 굽힘강도 시험 방법으로 측정하였으며, 사용한 span의 길이는 20 mm 이었으며 cross head speed는 0.5 mm/min 이었다. RBSC 필터의 기공을 및 기공 크기 분포는 porosi-meter를 사용하여 측정하였으며, X-선 회절분석기 및 전자주사 현미경으로 제조된 RBSC 필터의 결정상 및 미세구조를 조사하였다.

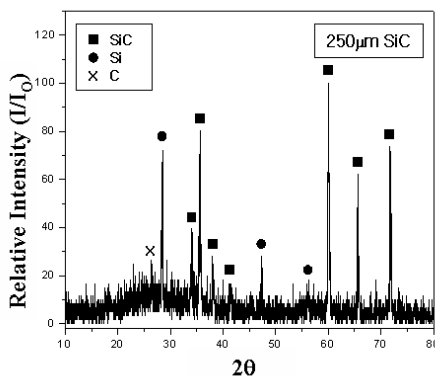
제조된 RBSC 필터는 그림 3에서 보여주는 것과 같은 필터 테스트 장비를 이용하여 제조된 필터의 압력 손실, 필터 기공의 눈 막힘 특성 및 세척특성을 조사하였다.



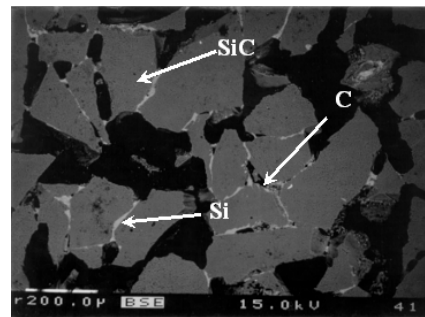
[그림 3 : 세라믹 필터 테스트 실험 장비 모식도]

## 나. 결과 및 고찰

그림 4는 본 연구에서 제조된 RBSC 필터의 XRD pattern 및 제조된 RBSC 지지체의 대표적인 back scattered SEM 미세구조를 보여준다. 제조된 RBSC 필터는 SiC, Si 및 잔류 graphite로 이루어져 있으며, 그림 4(b)에서 보여주는 것과 같이 용융 Si의 침윤 반응으로 다공질 RBSC 지지체가 성공적으로 형성되었음을 보여준다. Electron probe micro-analysis(EPMA) 결과 하얀색으로 나타나는 부분은 Si이며, 회색 부분은 SiC 그리고 기공 및 미반응 graphite는 검은색으로 나타났다. SEM 미세구조로부터 SiC 입자 사이는 잔류 Si 및 Si와 C사이의 반응으로 새롭게 형성되는 SiC에 의해 neck을 형성하여 RBSC 다공체를 형성하는 것으로 나타났다.



(a)

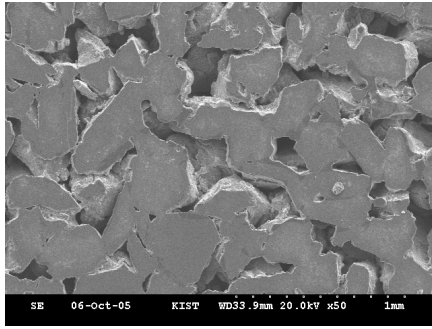


(b)

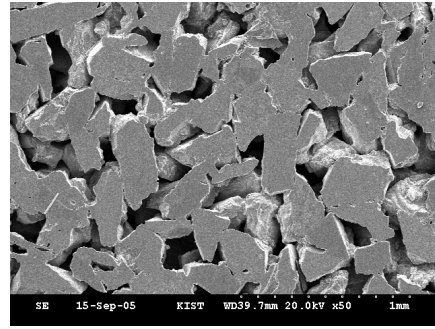
[그림 4 : (a) RBSC 필터의 XRD pattern 및 (b) 제조된 RBSC 지지체의 대표적인 back scattered SEM 미세구조]

그림 5는 다양한 성형체 종류 및 Si 침윤 방법에 따라 제조된 250  $\mu\text{m}$  크기의 SiC 입자로 이루어진 RBSC 다공질 지지체의 대표적 미세구조를 보여준다. 용융 Si melt infiltration 방법으로 제조된 RBSC 다공체 지지체는 Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체의 미세구조와 비교하여 같은 양의 Si이 침윤된 경우에도 SiC 입자사이에 형성되는 neck상의 두께가 증가하였으며 기공구조도 비교적 균일하게 형성되는 나타났다. Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체는 성형체내에 있는 Si 입자가 반응 소결 시 용융되어 침윤되면서 carbon과 반응하여 RBSC 다공질 지지체를 형성하게 된다. 따라서, 성형체내에 Si 입자는 SiC 입자 사이에 위치되고 반응 소결 후 Si 입자가 차지하였던 부분은 빈

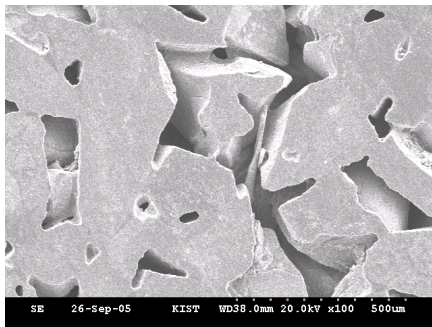




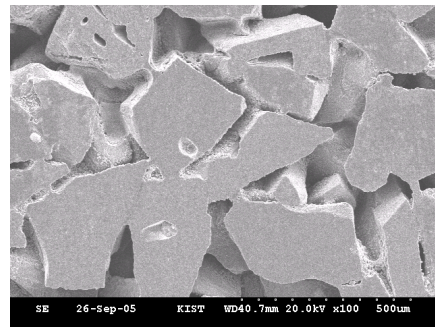
(a)



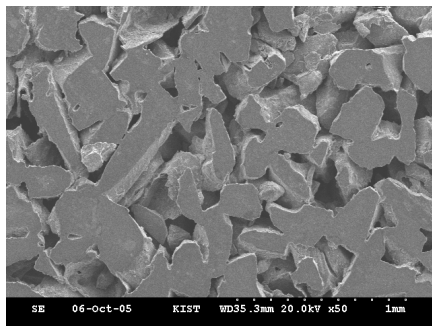
(b)



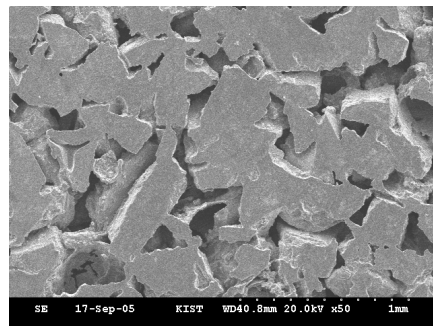
(c)



(d)



(e)



(f)

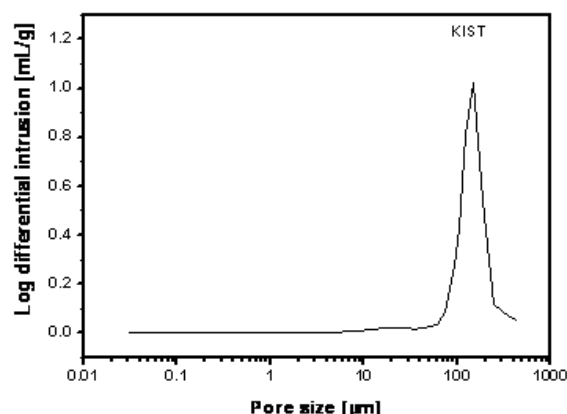
[그림 5 : 다양한 성형체 종류 및 Si 침윤 방법에 따라 제조된 RBSC 다공질 지지체의 미세구조. Si melt infiltration process 성형 압력=7MPa, CB content=4%, (a) Si content 20% (b) Si content 25%, Si melt infiltration process 성형압력=0, cB content=4%, (c) Si content 20%, (d) Si content 30%, Si embedding process 성형 압력=7MPa, CB content=8%, (e) Si content 20%, (f) Si content 25%]

자리로 남게 되기 때문에 SiC 입자사이의 neck 상이 불규칙하게 형성되며, 성형체내 Si 입자 표면에 코팅된 carbon source와 반응으로 Si 입자 표면에 SiC 피막이 형성되기 때문에 기공 구조가 불규칙하게 될 뿐만 아니라 carbon source 및 Si 이 SiC 입자 사이 neck 기지상 이외에서 소모되기 때문에 neck 기지상의 두께가 감소되는 것으로 생각된다. 또한, 일축가압 성형 시 압력이 높아질수록 RBSC 다공질 지지체의 미세구조는 불균일하게 나타났으며, 이는 일축 가압 시 SiC 입자사

이의 관찰에 의해 SiC 입자의 부분 응집 현상에 의한 것으로 생각된다.

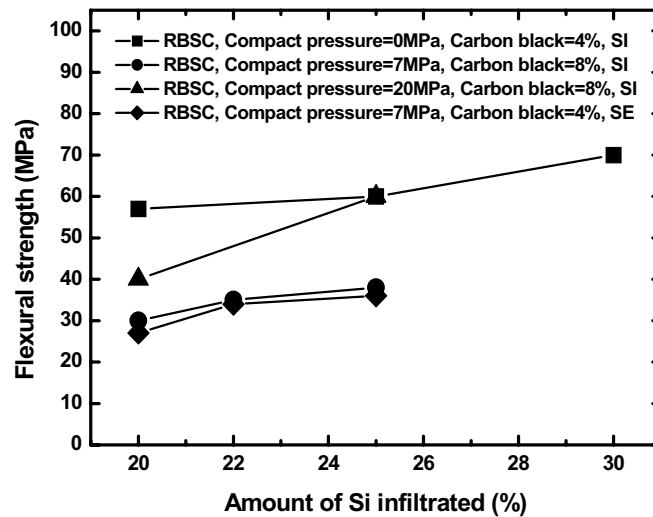
그림 6은 제조된 RBSC 다공질 지지체의 대표적인 기공 크기 분포를 보여준다. Si melt infiltration 방법 및 Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체의 기공률은 38~42% 정도로 침윤 방법 및 성형체 조성에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다. 또한, RBSC 다공질 지지체의 평균 기공 크기는 120~135  $\mu\text{m}$  정도인 것으로 나타났다.

그림 7은 본 연구에서 제조된 RBSC 다공질 지지체의 파괴강도를 250  $\mu\text{m}$  크기 SiC 입자로 제조된 상용 탄화규소 필터 (Dia-Schmalith F-20) 지지체의 파괴강도와 비교하여 Si 침윤 방법, 성형체 조성, Si 침윤량 및 성형체 성형 압력 변화에 따라 보여준다. Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체의 파괴강도는 상용 탄화규소 필터 지지체와 비교하여 크게 향상되지 않았으나, Si melt infiltration 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체의 파괴강도는 크게 향상되는 것으로 나타났다. 상용 탄화규소 필터와 본 연구에서 제조된 RBSC 다공질 지지체의 기공률 및 기공 크기는 차이가 없기 때문에 다공질 탄화규소의 파괴강도는 SiC 입자 사이에 형성된 neck 지지상의 강도에 의해 결정되는 것으로 생각된다. 상용 탄화규소 필터 지지체 내 SiC 입자 사이 neck 지지상은 clay 상으로 이루어져 있고 RBSC 지지체내 SiC 입자 사이 neck 지지상은 SiC/Si 상으로 이루어져 있다. 따라서, RBSC 다공질 지지체의 높은 파괴강도는 SiC 입자 사이에 형성된 SiC/Si neck 지지상의 높은 파괴강도에 의한 것으로 생각된다. Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체의 낮은 파괴강도는 미세구조에서 보여주는 것과 같이 SiC 입자 사이 neck 지지상의 두께 감소 및 성형체내 Si source로 사용된 Si 입자로 인하여 SiC 입자 사이의 neck 형성이 충분히 이루어지지 못한 결과로 생각된다.



[그림 6 : 제조된 RBSC 다공질 지지체의 대표적인 기공 크기 분포]

그림 9는 Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체에 다양한 종류의 여과층을 200~250  $\mu\text{m}$  두께로 코팅하여 제조된 RBSC 필터 단면 및 여과층 표면의 SEM 미세구조를 보여준다. RBSC 필터의 미세구조는 큰 기공으로 형성된 지지체 및 작은 기공으로 이루어진 여과층이 구분되어 전형적인 비대칭 필터구조를

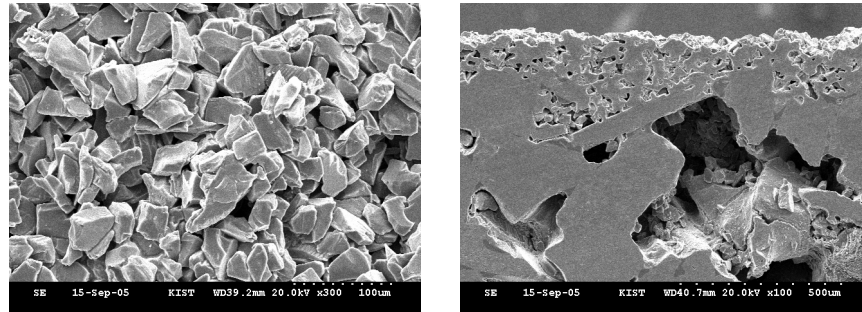


[그림 7 : RBSC 다공질 지지체의 파괴강도 변화]

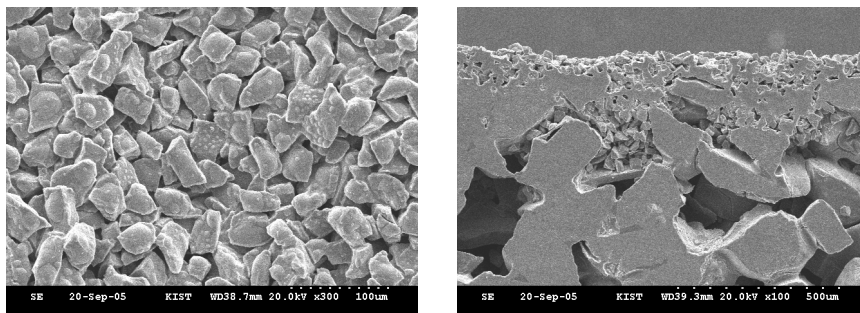
보여준다. RBSC 필터의 미세구조는 여과층의 구성에 따라 크게 다르게 나타나지 않았으나, 여과층 표면 미세구조에서 나타나는 SiC 입자 크기의 변화는 관찰되었다. RBSC 지지체 표면에 형성된 여과층은 용융 Si의 용점이하의 온도에서도 여과층을 이루는 SiC 입자사이에 neck 기지상이 형성되었다. RBSC 지지체내의 잔류 Si은 고온에서 여과층내 carbon과 반응으로 SiC을 형성하며 이때 나타나는 발열 반응으로 국부적인 온도 상승에 의해 Si melt가 형성되며 Si melt가 여과층을 구성하는 SiC 입자 표면의 카본 코팅층을 따라 이동하여 여과층을 형성하는 것으로 생각된다. 또한, 여과층은 지지체와 강한 결합을 갖는 계면을 형성하는 것으로 나타났다.

RBSC 필터를 통한 압력손실은 길이 5 cm의 RBSC 필터를 그림 3에서 보여주는 것과 같은 장치에 설치하여 분진이 제공되지 않은 상태에서 여과속도를 변화시키면서 측정되었다. 그림 10은 여과층 내 SiC 입자의 사이즈를 변화하여 제조된 RBSC 필터들의 압력손실 특성을 나타낸 것으로써 전반적으로 상용 탄화규소 필터보다 압력손실이 크게 나타났다. 또한, 여과층 내 SiC 입자 크기 및 지지체 내 SiC 입자 크기 변화에 따른 RBSC 필터의 압력손실은 일정한 경향성을 갖지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 아직까지 여과층 코팅을 위한 spray

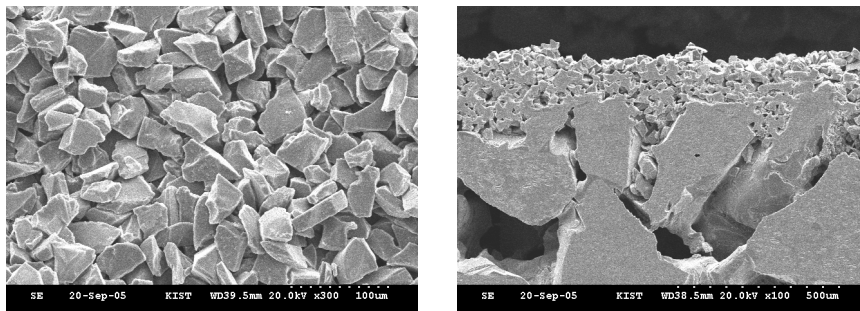
coating 기술 및 여과층 형성 기술의 표준화가 이루어지지 않아 여과층의 미세구조 제어 및 계면구조 제어 기술의 미 확보에 따른 것으로 생각된다.



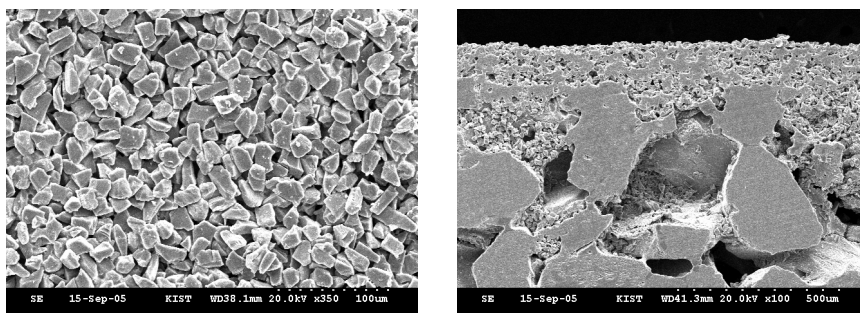
(a)



(b)

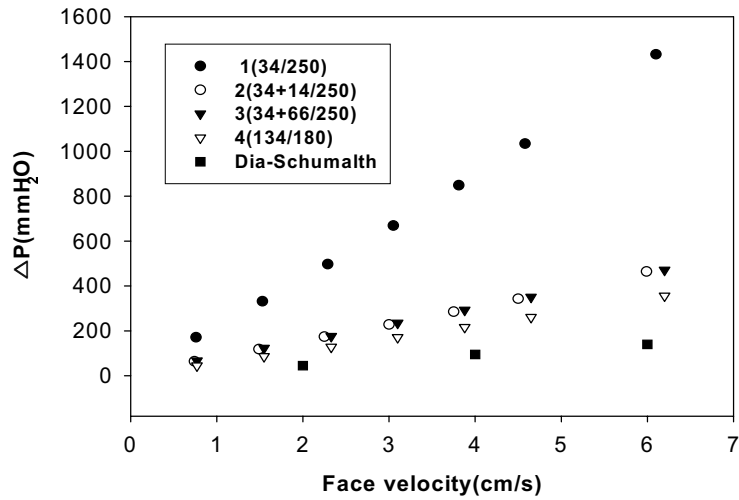


(c)



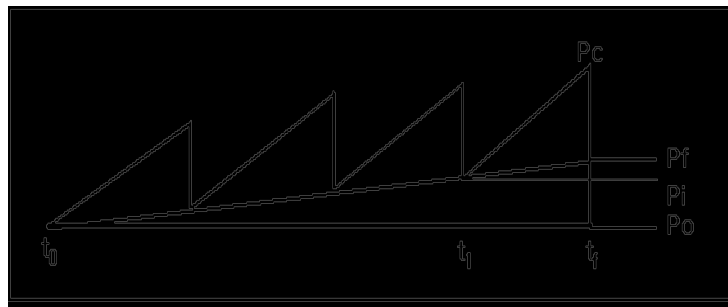
(d)

[그림 9 : RBSC 필터 단면 및 여과층 표면의 SEM 미세구조. 여과층 SiC 입자크기/지지체 SiC입자 크기 (a)  $34\mu\text{m}/250\mu\text{m}$  (b)  $34\mu\text{m}+14\mu\text{m}/250\mu\text{m}$  (c)  $34\mu\text{m}+66\mu\text{m}/250\mu\text{m}$  (d)  $34\mu\text{m}/180\mu\text{m}$ ]



[그림 12 : Face velocity 변화에 따른 RBSC 필터의 압력 손실 변화]

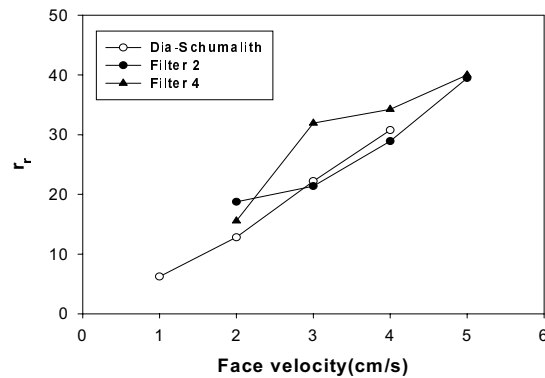
RBSC 필터 운전시에 분진이 필터 내부로 침투하여 필터의 기공을 막으면서 그림 11에의 모형에서 보인바와 같이, 필터를 통한 잔류층압력손실 속도( $r_r$ )가 증가된다. 이러한 현상을 관찰함으로써 필터의 상대적인 기공막힘 정도( $r_r$ )를 식 (1)에 따라 예측할 수 있다.



[그림 11 : 필터 운전시의 압력손실 모형도]

$$r_r = \frac{(P_f - P_0)}{(t_f - t_0)} \quad (1)$$

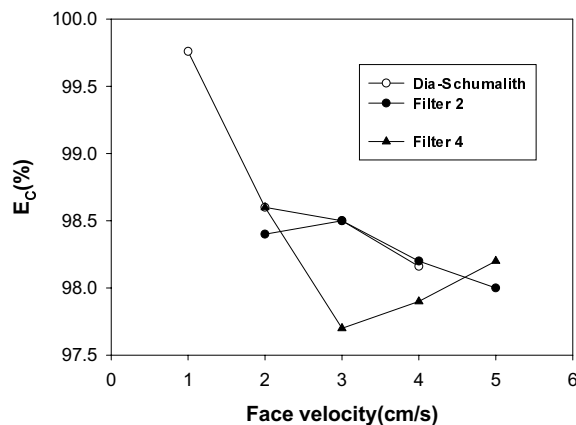
그림 12는 분진에 의한 RBSC 필터기공의 막힘특성을 관찰하기 위하여 Dia-Schumalith 필터에 따른 비교치를 보여주고 있으며, 분진의 평균입경은 2.4  $\mu$ m를 사용했다. 본 연구에서 제조된 RBSC 필터들(Filter 2와 Filter 4)의 기공막힘 특성이 Dia-Schumalith에 비하여 전반적으로 비슷한 특성을 보이는 것으로 나타났다.



[그림 12 : 여과속도에 따른 RBSC 필터의 기저압력손실 속도 변화.]

필터의 세척특성은 여과층 표면의 거칠기와 연관된 것으로 이해된다. 집진시에 분진케이크에 의해 형성된 압력손실이 역세정에 의하여 다시 원래로 회복되어야 하는데 세척특성이 좋지 못할 경우 100% 회복되지 못한다. 이와같은 세척특성을 식 (2)와 같이 정의하여 실험적으로 측정된다. 그림 13은 제조된 RBSC 필터 (Filter 2와 Filter 4)의 분진 세척특성을 보여주는 것으로 Filter 2의 경우 Dia-schumalith와 비슷하고 Filter 4의 경우 동일한 역세정 조건에서 상용필터보다 약간 뒤떨어지는 것을 알 수 있다.

$$E_c = \frac{(P_c - P_f)}{(P_c - P_i)} \quad (2)$$



[그림 13 : 여과속도에 따른 RBSC 필터의 세척 효율 변화.]

### 3. 결 론

본 연구는 3차년 연구중 1차년 연구가 진행되고 있으며, 1 차년도 연구에서는 반응소결 탄화규소 고온 가스 필터 제조를 위한 기반 연구가 수행되었다. 반응소결 탄화규소 다공질 지지체를 제조하기 위하여 SiC/C로 이루어진 성형체에 성형체 외부에서 용융 Si을 침윤시켜 반응소결로 반응소결 탄화규소 다공체를 제조하는 Si melt infiltration 방법 및 SiC/C/Si로 이루어진 성형체를 열처리하여 성형체 내부의 Si source에서 용융 Si이 생성되어 침윤 및 반응소결로 반응소결 탄화규소 다공체를 제조하는 Si embedding 방법이 개발되었다. Si melt infiltration 방법으로 제조된 반응소결 탄화규소 다공질 지지체의 파괴강도는 상용 탄화규소 필터 지지체의 파괴강도와 비교하여 최대 200% 정도 이상 증가하였으나, Si embedding 방법으로 제조된 RBSC 다공질 지지체의 파괴강도는 상용 탄화규소 필터의 파괴강도와 비슷하게 나타났다. 본 연구에서 제조된 반응소결 탄화규소 다공질 지지체 제조공정을 대형 고강도 반응소결 탄화규소 필터 개발에 적용하기 위해서는 최적 필터 지지체 미세구조를 확립하기 위한 성형체 제조공정 및 용융 Si 침윤 공정 기술의 최적화를 위한 추가적인 연구개발이 요구된다.

본 연구에서는 용융 Si의 침윤 공정을 이용하여 반응소결 탄화규소 여과층을 갖는 반응소결 탄화규소 필터 및 그 제조공정이 개발되었으며, 개발된 반응 소결 탄화규소 필터는 기존의 탄화규소 필터의 문제점을 일부 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서 개발된 반응소결 탄화규소 필터의 필터 특성은 상용 탄화규소 필터의 필터 특성과 비교하여 크게 다르게 나타나지 않았으나, 실용화가 가능한 반응소결 탄화규소 필터 미세구조 및 필터 특성을 확립하기 위해서는 반응소결 탄화규소 여과층 제조공정의 최적화에 의한 반응소결 탄화규소 필터 특성의 향상이 요구된다.

## 참 고 문 헌

1. Hoffman J., Proceedings of the Advanced Coal Fired Power System'95 Review Meeting Vol.II p. 519 (1995)
2. Grimethorpe PFBC Establishment: "Grimethorpe High-Temperature/High-Pressure Gas Filter Experimental Program, Vol. 1, TR-100499, Final Report, September (1992).
3. Renz, U.: "Assessment of PFBC Technology, Present and in Future. Internal Clean Coal Technology Symposium on PFBC, Kitakyusu International Conferenc e center, Japan July 26-28, p. 28 (1994).
4. Schifter, H.P., Laux, S., and Rent, U.: "High-Temperature Gas Filtration, Vol. 2, GS-6489, Final Report, October (1992).
5. DOE/EPRI: "Overview of Hot Gas Filter Experienc e at Tidd", Materials & Components in Fossil Energy Applications, No. 120, February 1, (1996).
6. Mitchell S.C.; "Hot Gas Particulate Filtration", IEA Coal research, 1997.
7. Alvin, M. A.: "High Temperature Filter Materials", EPRI DE-AC 21-88MC 25034, pp. 137-345 (1992).
8. Zakkay, V. and Gbordzoe, E.A.M.: "Combustion En Lechos Fluidizados," Zaragoza, 1989.
9. Alvin, M.A., Lippert, T.E, Bachovchin, D.M., Tressler, R.E., and Holcombe, T.N.: "High temperature filter materials", Proc. of the 9th annual coal-fueled heat engines, advanced PFBC, and gas stream cleanup systems contractors review meeting, METC Morgantown, West virgina, October 27 - 29, 186(1992).
10. Alvin, M.A.: "Material characterization of the clay bonded silicon carbide candle filter and ash formations in the W-APF system -after 500 hours of hot gas filtration at AEP",AEPSC control No C8014, April 5, 1993.
11. Propper P., Special Ceramics, Heywood, London, p.207 (1960)
12. Lim C.B., Ph.D. thesis, Tokyo Inst. of Tech. (1989)
13. Ness J.N. and Page T.F., J. Mater. Sci. , Vol. 21, p.1377 (1986)
14. Forrest C.W. et al., Special Ceramics, British Ceram Res. Asso., U.K., Vol. 5, p 99 (1972)