

## 유리용해로 가스처리 건식 Bag Filter의 개선에 관한 연구

이성진\* · 서만철

한국산업기술대학교 지식기반기술에너지 대학원 생명화학공학과

### A Study on the Improvement of Dry Bag Filter Treatment System Regarding harmful gas of Glass Recuperator

Sung-Jin Lee\* · Man-Chul Seo

*Korea Polytechnic University*

*Graduate School of Knowledge-based Technology & Energy*

*Department of Chemical Engineering & Biotechnology*

### Abstract

This study was conducted to develop a system that processes harmful gases and dust, which being generated in the production of micro-inorganic fabric. This can be obtained by melt spinning raw materials such as agalmatolite, fluorspar, limestone, silica under high temperature at 1500-1600°C in a glass recuperator using a dry method by Cyclone Reactor or Envelope Type (ET) type Bag Filter. If the number of the members of Korea Glass Industry Association reaches up to 45, the damage of the harmful gas being generated in recuperator should not be small. In addition, research of existing facilities showed the most of harmful gas treatment facilities which adopt wet treatment or semi-dry treatment process. This was caused the problems for wastewater and the second pollutive materials.

Moreover, in the dust collecting facility behind recuperator, it is also problematic that electric dust collector requires enormous initial investment. We have researched various methods to show both economic and efficient new processes for the preventive facilities of recuperator.

As the result of the experiments, the removal efficiencies of HF and SO<sub>x</sub> were 99% and 87%, respectively. Although it was insignificant reaction, a pretty much interesting result that NO<sub>x</sub> showed an absorption reaction with Ca(OH)<sub>2</sub> (removal efficiency was more than 25%) was obtained.

**Key words** : glass recuperator, semi-dry process, pre-coating bag filter

---

\* Corresponding author E-mail : jinlove1004@hanmail.net

## I. 서론

유리공업은 다른 산업에 비하여 먼지 및 가스발생량이 적은 편이다. 유리공업은 80년대 이후 다세대 공동주택건설, 대형건축물 건축, 실내 디자인 및 난방 시스템 개선과 주류, 음료, 식품산업 발달에 따라 수요가 증가하여, 공장규모가 증가하면서부터 대기오염배출 업종으로 주목을 받게 되었다.<sup>1)</sup>

Soda-Lime Glass는 값이 싸서 창문유리, 판유리, 자동차유리, 병유리, 그릇, 전구 등 다양한 용도로 사용되며, 유리수요의 대부분을 차지하고 있다. 또한 유리의 장식유는 장치산업 및 기술집약적 산업으로서 국내산업 발전에 기여도가 큰 소재산업으로 미국, 일본, 유럽 등 구미 선진국들이 전 세계생산량의 85% 이상을 생산하고 있는 만큼 기술적 측면에서 환경 친화적 설비를 구축하여 생산량을 늘려나갈 필요가 있다.<sup>2)</sup>

유리공장에서 배출되는 대표적인 대기오염물질은 HF이며, 공장주변 녹지, 농작물, 과수원 등의 식물에 심각하게 피해를 입힌다. 즉, 농작물의 성장을 억제하고 품위를 저하시키고, F화합물이 침착된 풀을 먹은 젖소나 양의 우유생산량이 감소하고 불소증을 앓으며, F화합물이 침착된 빵잎을 먹은 누에의 비단생산량이 감소한다.

유리공업 배출가스의 HF제거공법으로는 배출가스에 약품을 투입하여 전기집진이나 bag filter로 처리하는 습식 및 반 건식법이 개발되어 이용되고 있다.<sup>3)</sup> 일반적으로 전기집진기의 경우 [유리용해로]→[폐열보일러]→[stabilizer]→[전기집진기]→[I.D fan]→[stack]의 공정으로 구성되고, 여과집진기의 경우 [유리용해로]→[폐열보일러]→[stabilizer]→[여과집진기]→[I.D fan]→[stack]의 공정으로 구성된다.

전기집진은 안정적으로 처리되고 효율이 높은 반면, 초기투자비와 유지관리비가 건식 bag filter system에 비하여 약 3~4배

소요된다. 따라서 국내 대부분의 유리공장에는 bag filter system이 설치되어 가동되고 있으며 약품은 tubular type으로 공급되고 있다.

본 연구에서는 유리공업의 배출가스를 효율적으로 처리하기 위해  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 하부에서 투입하여 pre-coating하는 기존의 tubular type bag filter(이하 pre-coating TT-B/F)의 몇 가지 단점을 개선하기 위하여,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 상부에서 투입하여 pre-coating하는 envelope type bag filter(이하 pre-coating ET-B/F)공정을 도입하여 성능을 평가하고 적정운전조건을 제시하고자 한다.

이를 위하여 filter재질에 따른  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  부착량, 여과속도에 따른  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  부착율을 조사하고,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  부착량과 여과속도에 따른 압력손실을 조사하였으며, pilot plant 실험에서는 연속운전에 의한 dust, HF,  $\text{SO}_2$  및  $\text{NO}_x$ 의 제거율 및 적정  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  투입율을 조사하였다.

## II. 이론적 배경

### 1 유리

#### 1.1 유리제조

유리는 나트륨유리, 경질유리, 납유리, 크라운유리, 석영유리, 안전유리 및 유리섬유 등으로 구분된다.

나트륨유리는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  및  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 을 주원료로 하고, 청징제로서  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 을 넣는다. 원료를 분쇄, 배합한 것을 batch라고 하며 여기에 판유리 등을 가하여 용해조에서  $1,500^\circ\text{C}$ 로 용해한 것을 청징조를 거쳐 천천히 냉각하여 로울러로 연속 인출하면 판유리가 된다.

판유리는 창유리, 병유리에 쓰이고, 경질유리는 나트륨유리의  $\text{Na}_2\text{O}$ 대신  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  등을 사용한 것으로 이화학용으로 사용되며, 납유리는  $\text{PbO}$ 를 다량 함유한 것으로

광학용, 공예용에 적합하다. 크라운유리는 CaO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 함유한 것으로 광학용으로 사용되고, 석영유리는 SiO<sub>2</sub>만을 고온, 용융하여 만든 것으로 내열성이 강하고 열팽창율이 작아서 이화학용으로 쓰이며, 안전유리는 유리 중간에 플라스틱, 셀룰로이드 등을 가미하여 탄성을 부여한 것이고, 유리섬유(glass wool)는 섬유상으로 만들어져 보온재 등으로 사용된다.

1.2 유리용해로

용해로(recuperator)는 생산하는 유리제품에 따라 다르지만 보통 B-C유 약 1,200Kg/hr를 연소시켜 내부온도를 1,500~1,600℃로 유지하며, 온도는 유리원료에 따라 달라진다. 이때 부산물로서 SO<sub>2</sub> 약 400ppm이 발생되고, burner 사용으로 인하여 NO<sub>x</sub> 약 500ppm 이 발생된다.

항공소재, 건축자재, 자동차부품, 스포츠용품 등에 사용되는 장섬유는 용해로에서 미세한 무기질 섬유를 용도에 따라 수백 분씩 집속 처리하여 만든 유기재료와 결합시켜 만들어진다.<sup>3)</sup>

2 오염물질의 생성 및 배출량

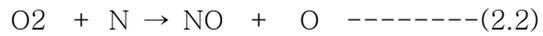
2.1 대기오염물질의 생성

용해로에서 발생하는 대기오염물질은 용융, 서냉 및 제품생산 공정에서 발생하는 부산물과 연료로서 사용되는 B-C유가 연소될 때 생성되는 가스상 및 입자상 물질이다. 가스상 물질은 HF, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> 등이고, 입자상 물질은 fume, 금속염, 검댕 등이며, 원료에 따라 특정유해물질이 배출될 수 있다.<sup>4)</sup>

2.2 가스상 물질

HF는 용해로에 원료로서 투입된 형석(CaF<sub>2</sub>) 때문에 부산물로 발생되고, SO<sub>2</sub>는 원료 중에 포함된 황산염의 분해와 연료 중에 함유된 황의 산화 등으로 생성되며, CO

는 연료의 불완전연소로 생성되며, NO<sub>x</sub>는 연료 내 질소화합물의 산화와 용융로의 고온에 의하여 연소 공기 중의 질소가 산화되어 생성되는데 대부분 NO형태로 배출된다.



2.3 입자상 물질

Fume은 silica sand, soda ash, limestone, cullet 등으로 조합된 원료 중에서 납과 같이 용점이 낮은 금속이 용해로의 고온으로 인하여 증기화한 것이고, 금속염은 연료 중의 황산염이 금속과 결합하여 생성된 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHSO<sub>4</sub> 등이며, 검댕은 연료가 불완전 연소될 때 생성된다.

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>는 용점이 880℃로서 안정되어 있으나, NaHSO<sub>4</sub>는 용점이 170℃이기 때문에 대단히 점착성과 부식성이 강하다.

Table 1, 2에 용해로에서 배출되는 입자상 물질의 정상 및 입경분포를 나타내었다. 용해로 배출먼지는 부착성, 응집성, 흡습성 및 부식성이고, 입경은 0.1~0.5μm이며, 입경 0.3~0.5μm범위의 먼지가 50%이다.<sup>6)</sup>

Table1. Characteristics of dust

먼지 성상	부 착 성	응 집 성	흡 습 성	마 모 성	전 도 성	폭 발 성	연 소 성	부 식 성
구 분	대	대	대	중	중	소	소	대

Table 2. Distribution of the dust diameter

먼지입경	분포도 (부피%)
0.5 $\mu$ m이상	25
0.3~0.5 $\mu$ m	50
0.1~0.3 $\mu$ m	20
0.1 $\mu$ m이하	5
합계	100

2.4 대기오염 배출량

유리공장의 대기오염 배출량은 사용하는 원료, 제품 및 연료의 종류와 양 등에 따라 달라진다.

유리공장의 대기오염 배출량을 줄이기 위해서는 먼저 용해로를 적절하게 운영하고 연료의 연소에 의한 오염물질발생을 최소화하고 대기오염방지시설을 효율적으로 관리하는 것이 중요하다.<sup>5)</sup>

3 Pre-coating ET-B/F의 원리와 특징

3.1 원리

Fig. 1에 기존의 pre-coating TT-B/F의 단면도(a)와 하부유입흐름(b)을 나타내고, Fig. 2에 TT-B/F의 몇 가지 단점을 보완한 pre-coating ET-B/F의 단면도(a)와 상부유입흐름(b)을 나타내었다.

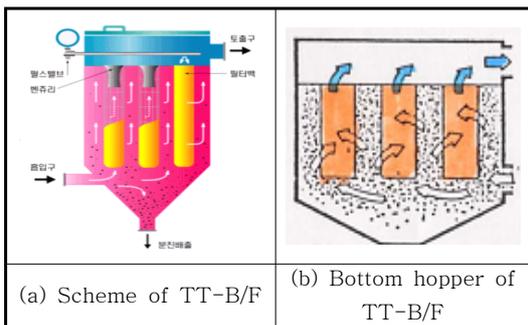


Fig. 1. Scheme of tubular type bag filter(a) and bottom hopper.

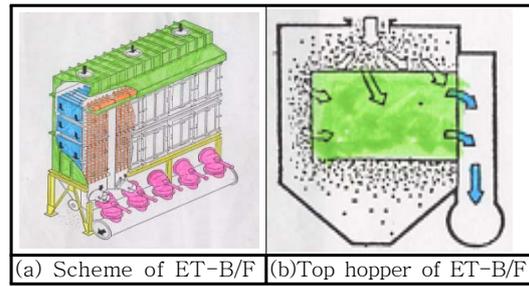


Fig. 2. Scheme of envelope type bag filter(a) and Top hopper(b).

3.2 특징

Pre-coating ET-B/F의 집진원리는 일반적인 bag filter와 같지만, top-inlet 방식으로 pre-coating의 효과를 향상시켰다. 즉 상부 유입방식은 물체가 위에서 아래로 떨어지는 원리를 이용한 것으로 기존 pre-coating TT-B/F의 bottom hopper inlet방식의 1단계 처리보다 다단계 방식(최대 3단)인 pre-coating ET-B/F는 소석회를 bag 입구에서 분무하므로 pre-coating효과가 향상된다.

Pre-coating ET-B/F는 탈진효율이 높기 때문에 유리용해로뿐만 아니라 소각로후단, 폐열보일러후단의 탈황, 탈질 및 dioxin을 제거하기 위한 대기오염방지시설로서 도입되고, 탈취목적의 악취방지시설로도 설계되고 있다.

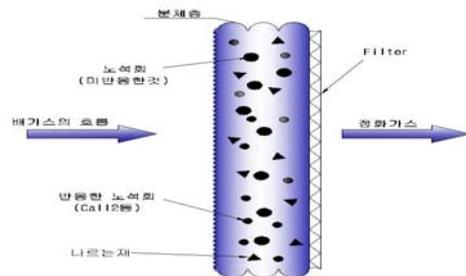


Fig. 3. Principles of dust collection in pre-coating ET-B/F.

Pre-coating ET-B/F는 외면여과방식이 고, bag의 규격이 450W×1500L×50H인

봉투형(평판형)으로 설계되어 기존 pre-coating ET-B/F보다 경제성 및 여과효율이 향상되었다.



Fig. 4. Comparison of the filter bag.

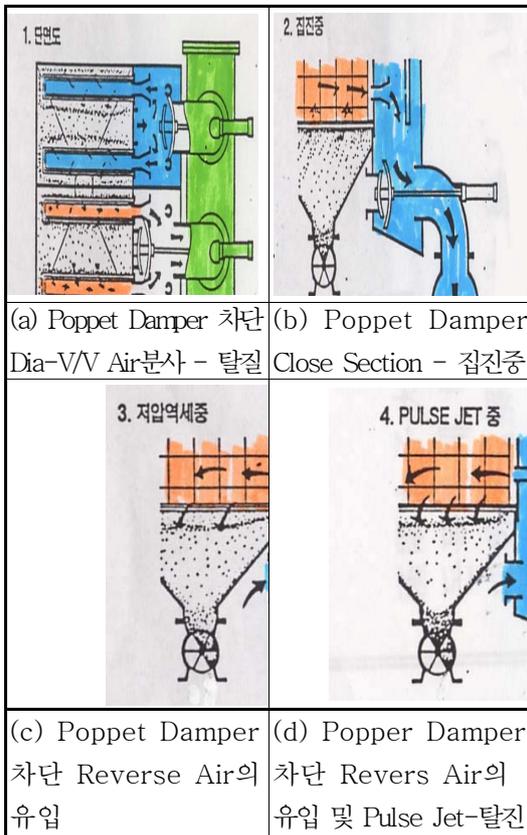


Fig. 5. Role of the Poppet Damper.

탈진방법은 진동형(shaking type)으로, 여과기류 차단하고 반대방향으로 기류를 통과시키는 역압방식(collapse type)과 역풍방식(reverse air type)이 있다. 그리고 요즘 많이 사용되고 있는 외면여과방식으로

여포에 venturi 및 nozzle을 이용해서 압축공기를 분사하는 pulse jet방식이 있다.

Pre-coating ET-B/F의 탈진방법은 낮은 압력으로 탈진되도록 역기류형인 reverse air방식과 pulse jet방식을 조합하여 사용하였다. 즉 filter 외부표면에 포집된 먼지를 pulse jet에 의하여 탈진하므로 suction되는 chamber와 pulse되는 chamber가 구분되어 pulse air 압력이  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  이하로 낮아져도 먼지 케이크층이 확실하게 탈락된다.

또한 cylinder에 의하여 작동되는 Poppet Damper의 Air소모량은 기존 pre-coating TT-B/F의 50%정도이다. Pre-coating TT-B/F의 여포교체는 casing 상부에서 작업이 이루어지기 때문에 상승하는 배출가스로 인하여 작업여건이 불리하고 위험한 반면, pre-coating TT-B/F는 청정공기의 측방에서 교체하므로 유지보수가 용이하다. Filter의 길이가 짧기 때문에 보수 및 교체가 용이하다.

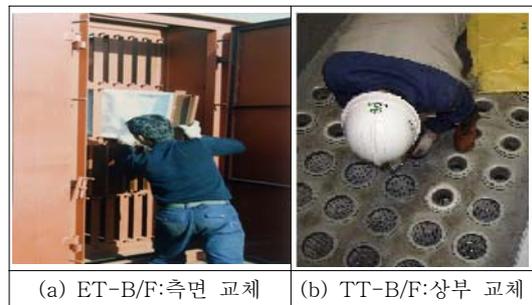


Fig. 6. Comparison of the entrance of the gas including dust.

또한 Pre-coating ET-B/F는 생산라인의 운전 중에도 filter를 점검하거나 교체할 수 있어서 작업능률이 향상되고, dead space가 없고 용량에 따라 1, 2, 3단의 다단설계가 가능하기 때문에 설치면적을 50%이하로 좁힐 수 있다. 다단계로 설치하기 때문에 대용량일수록 공간이용률이 높아지고, 좁은 공간에 대형집진기 설치가 가능하다.

Filter의 길이가 짧고 낮은 압력으로 먼지탈락 효과가 크므로 bag의 수명이 연장되고 여과효율이 증대된다.

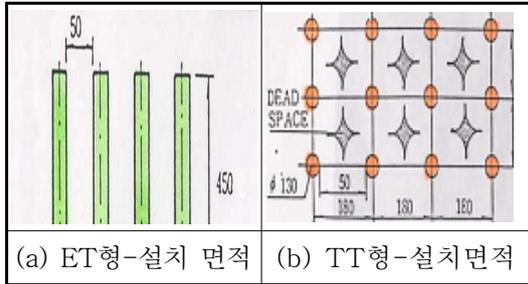


Fig. 7. Installation area of the filter bag.

#### 4 중화제의 투입량 및 반응이론

##### 4.1 산성가스의 중화제

반건식 반응로(SDR)에서는 산성가스의 중화제로서 NaOH 수용액이나 Ca(OH)<sub>2</sub> 분말 또는 슬러리가 사용되는데, 주로 Ca(OH)<sub>2</sub> slurry가 많이 사용된다.<sup>6)</sup>

Ca(OH)<sub>2</sub> 용액은 산성가스를 잘 흡수하므로 제거효율이 높지만 폐수발생, CaCO<sub>3</sub> 생성에 의한 이송관로의 폐색 및 동절기 결빙 등 관리상 문제점이 많아서 거의 사용되지 않고 있다.<sup>7)</sup>

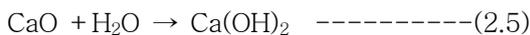
Table 3. Characteristics of neutralizer of acidic gas

항목 \ 중화제	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaO	NaOH
Formula weight	74.9	100	56.08	40
Mole weight	37	50	28	40
Specifi gravity	2.24	2.93	3.37	2.13
Bulk density( ton/m <sup>3</sup> )	-	1.11	-	-
Resolition temperature(°C)	580	898	-	-
Melting point(°C)	-	-	2.572	318.4
Size of prticle(μm)	50~100	4~44	100이상	-
Solubility(at20°C)	0.179 g/mg	0.065 g/mg	-	52.2 g/100g
Impact of human	-	low	low	large
반응효율	85% 이상	-	-	90% 이상
경 제 성	good	-	-	poor

##### 4.2 소석회

###### 4.2.1 제조법

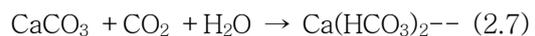
소석회는 석회석(CaCO<sub>3</sub>)을 900°C로 열분해하여 생성되는 CaO를 수분과 반응시켜 생산한다.



###### 4.2.2 소석회의 성질

소석회는 백색 분말로서 물에 잘 녹지 않으나, 물에 녹으면 쉽게 이온화하여 강한 염기성을 나타낸다. 석회수에 CO<sub>2</sub>를 주입하면

처음에는 흰색 앙금(CaCO<sub>3</sub>)이 생성되고, 나중에는 물에 녹아 Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>로 변하여 맑은 용액이 된다.



20°C에서 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)의 용해도는 0.121이며, 온도가 낮을수록 용해도가 작아진다.

Table 4. Characteristics of Ca(OH)<sub>2</sub>

Size	특 성	Chemical Composition			비 고
		CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	
325 mesh	비표면적: 23400 cm <sup>2</sup> /g	71.33	0.88	1.05	-비중: 0.33 -가격: 20만원/Ton
	순도: 97% 백색도: 96.5%				69.88

4.2.3 반응탑내의 소석회 반응

소석회는 산성가스와 0.1~0.2sec에 반응하며, 또 Duct내 유속이 빠를수록 기류 중에 균일하게 확산하여 산성가스와 잘 혼합된다.<sup>8)</sup> 와류식 반건식반응탑(이하 SDR)에 투입된 소석회 slurry는 반응탑의 입구유속이 18~22 m/sec이므로 산성가스와 신속하게 반응하고 유입속도를 그대로 유지하면서 하강하게 된다.<sup>9)</sup>

SDR 하부 Hopper에는 출구 duct가 있어서 suction fan의 압력손실에 의해 와류현상이 일어나 slurry가 분리된다. 미반응 산성가스는 bag filter로 유입되어 pre-coating된 분말상태의 Ca(OH)<sub>2</sub> 와 2차적으로 반응한다.<sup>10)</sup>

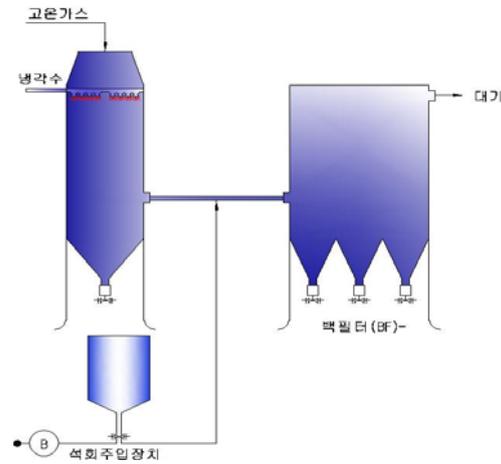
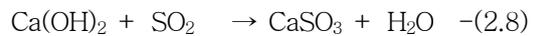


Fig. 8. Scheme of Ca(OH)<sub>2</sub> pre-coating bag filter.

소석회는 HCl, SO<sub>2</sub>, HF 등 산성가스와 반응하여 CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub>와 같은 Calcium염을 생성한다.



위 식2.7~9을 근거로 계산한 중화에 소요되는 이론적 Ca(OH)<sub>2</sub> 의 양은 HCl 1mol에는 37g, SO<sub>2</sub> 1mol에는 74g, HF 1mol에는 37g 이지만, 현장에서는 산성가스 제거율을 높이기 위해 Ca(OH)<sub>2</sub> slurry를 이론양의 2배 이상 투입한다.

Table 5. Comparison of input volume for Ca(OH)<sub>2</sub>

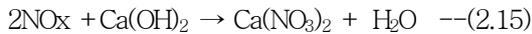
분류		항목	1월	2월	3월	4월	5월	6월	평균
				소석회투입량(설계) kg/hr					
방지 시설	# 1호기 Stabilizer + 전기집진기		48	50	45	42	40	44	44.8
	# 2호기 와류식반응기 + Bag Filter		51	50	44	45	43	45	46.3

**Table 6. Capability of the facility of recuperator**

분류		항목	배출가스	DUST	HF	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
			량(Nm <sup>3</sup> /hr)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
환경 규제치			-	50	3	400	350
발생량			32,000	250	250	500	500
방지 시설	1호기	Stabilizer + 전기집진기	28,000	12	1.5	43	310
	2호기	와류식반응기 + Bag Filter	28,000	12	1.8	53	300
# 2호기-Bag Filter 유해가스 제거율(%)			-	96	99.2	87	41

배출가스 중의 NO<sub>x</sub> 처리법으로는 건식과 습식법이 있다. 건식은 접촉분해법, 흡착법, 접촉환원법, 무촉매환원법, 전자선조사법, 용융흡수법 등이 있고 습식은 석회수 흡수법이 있다.

Ca(OH)<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 반응식은 다음과 같다.



NO<sub>x</sub>의 제거율은 높은 편이며, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>는 ‘죽’ 상태로 회수된다.

또 NO<sub>x</sub>와 Ca(OH)<sub>2</sub> slurry의 반응은 fuel NO<sub>x</sub>의 대부분이 반응성이 낮은 NO이기 때문에 기술적으로 어려움이 많다. NO를 제거하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있지만 실용성 있는 방법은 요소수(urea water)를 사용하

는 선택적 접촉환원법이다. 그러나 농도가 높은 가스에 대해서는 기술적, 경제적 문제점이 많다.<sup>14)</sup>

4.3 Pre-coating ET-B/F의 소석회 반응시간  
소석회 slurry는 배출가스를 이송하는 흡기 Duct에 분무한다. 그러나 duct 유속이 20m/sec정도의 고속이므로 ET-B/F입구로부터 20m이상 떨어진 지점에 Ca(OH)<sub>2</sub> slurry를 주입하여야 반응시간이 1sec이상 확보된다.<sup>11)</sup>

신코판테크 회사는 가스 유속이 9,100~9,600 Sm<sup>3</sup>/hr일 때, 반응시간 1~2sec동안에 HCl은 90.8~95.8%, SO<sub>2</sub>는 88.9~90.0% 제거되었다고 보고하였다.<sup>12,13)</sup>

**Table 7. Experimental result**

가스량 (Sm <sup>3</sup> /Hr)	가스온도 (°C)	Dust			HCl			SO <sub>2</sub>		
		입구 (g/Sm <sup>3</sup> )	출구 (g/Sm <sup>3</sup> )	제거율 (%)	입구 (ppm)	출구 (ppm)	제거율 (%)	입구 (ppm)	출구 (ppm)	제거율 (%)
9600	440	7.2	0.01	99.9	710	65	90.8	180	20	88.9
9100	490	8.1	0.02	99.8	110	57	94.8	150	15	90.0
9400	470	6.9	0.01	99.9	960	40	95.8	110	12	89.1

보고에 의하면 소석회 분말은 duct 유속이 빠를수록 기류 중에 균일하게 확산하여 배출가스와 잘 혼합된다. 따라서 duct에 vane을 설치하여 소석회 분말과 배출가스의 접촉빈도를 늘리는 것이 제거율을 향상시키는 방법이다.<sup>14)</sup>

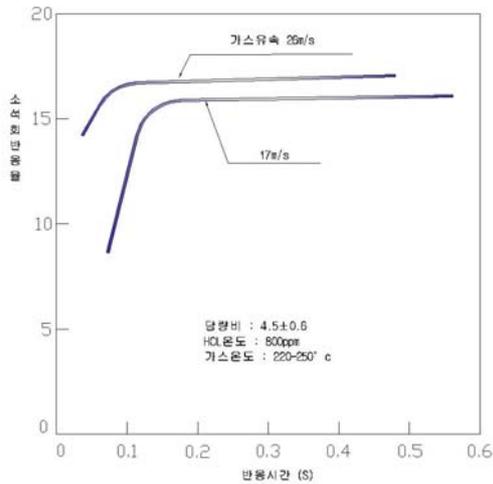


Fig. 9. Relation between speed in duct & reaction time.

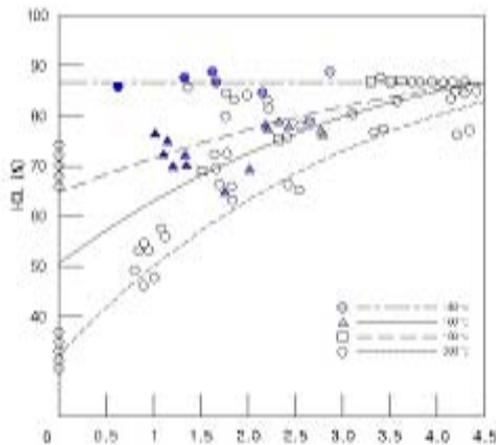


Fig. 10. Reaction time between  $\text{Ca(OH)}_2$  and HCl.

$\text{Ca(OH)}_2$  pre-coating 관련인자는 filter의 재질 외에도 여과속도, 집진기의 구조 등에 따라 달라진다. Bag filter의 dust제거율은 일반적으로 가동기간에 따라 2년 후 82%, 3년 후 75%, 4년 후 66% 및 5년 후 60%로

저하되는데,  $\text{Ca(OH)}_2$ 를 pre-coating함으로써 처리효율이 향상되고, filter의 수명이 크게 연장될 것으로 사료된다.

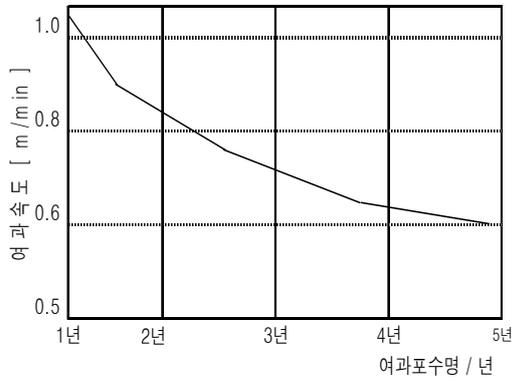


Fig. 11. Life of filtering velocity and Filter Bag.

### III. 실험장치 및 방법

#### 1. Pre-coating 실험장치

연구에 사용한 실험장치는 ET-B/F(ECO사)이며, 8개의 chamber로 구성되고, 그 중 하나는 예비 chamber이다. 일정한 시간동안 운전한 후, pulsing 및 bag filter상태를 점검할 수 있게 제작하였다.

그리고 반응물 분리공정인 와류식 반응기(cyclone reactor : ECO사)에서 반응이 완료된 건조 생성물은 선회류에 의해 분리되어 dust bunker로 떨어지고, 미반응 폐가스와 미세먼지는 후단의 pre-coating bag filter에 유입되어 2차 처리되는데, dust bunker에 분리된 반응물을 채취하여 소석회의 반응상태를 확인한다.

#### 2. Pilot plant 실험장치

Table 8과 Fig. 12에 나타난 실증플랜트 실험장치는 보일러, 소석회 투입장치, 와류식 반응기, bag filter, ID fan 및 stack으로 구성되며, 운전성능 및 data분석을 수행하였다.

Table 8. Summary of the equipment used in experiment

NO	구분	기기명칭	기기사양	비고
1	보일러	폐열보일러 (WHB)	Model No : RH-3500-G 스팀용량 : 150 PSIG 입구 : 450°C /출구230°C	美 DONEY社 수입
2	소석회 투입	Lime Silo Table Feed Area Pad Exen Blaster Bin Vent Slide Gate V/V Level Sensor Buffer Tank Ejector Roots Blower	Φ 3,800 × 980H 20kg/hr - 120 kg/hr 135W × 280H 130L 15m <sup>3</sup> /min Φ 300 Paddle Type 130L 100A 18m <sup>3</sup> /min × 2000mmAq 11kw	SS + 보온  SUS/수량 : 24ea 일본수입 Bin Bent용 집진기  수량: 3ea  SUS Nozzle 수량 : 2대
3	와류식 반응기	Cyclone Rotary Valve Air Pipe Nozzle	SIZE : Φ 2600 × 10300H Φ 300 × 1HP 65A	와류발생 Air분무
4	Bag Filter (ET형)	Casing(3단) Rotary Valve Screw C/V Pulse Valve Filter Bag	740L × 4050W × 15,220H Φ 300 × 1HP U-45 (3P × 4P) 40A 1500 × 455 50/ Tafron	Top-Inlet방식 수량 : 8ea 수량 : 2대 국산 : 64ea 수량 : 768ea
5	ID fan	Fan Motor	1000m <sup>3</sup> /min × 450mmAq × 440V 200HP × 4P	VVVF Motor
6	Stack	Stack	Φ2,000 ~ Φ1200 × 40M	SS41

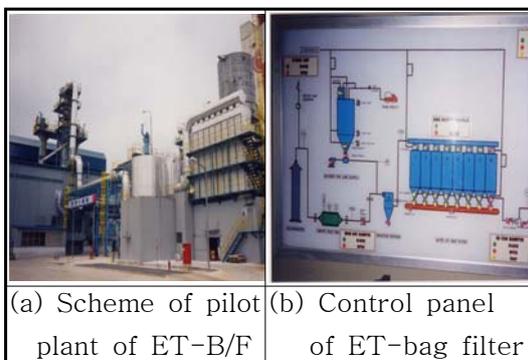


Fig. 12. Pilot plant(a) and control panel(b) of ET-bag filter.

### 3. 실험방법

#### 3.1 Ca(OH)<sub>2</sub> pre-coating 실험

ET-B/F chamber마다 각각 다른 재질의 filter를 장착하여 용해로 가스를 통과시킨 후 filter의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 pre-coating상태, 가스 처리효율, 부식 및 여과수명 등을 평가하였다.

##### 3.1.1 Ca(OH)<sub>2</sub> 부착량 측정

용해로 가스에 적합한 filter의 재질을 선정하

기 위한 실험으로서, 여포에 부착된  $\text{Ca(OH)}_2$  의 중량은  $\text{Ca(OH)}_2$  를 pre-coating한 후 탈진하고 여포의 중량을 측정하여 여과전후의 중량차로서 구하였다.

3.1.2  $\text{Ca(OH)}_2$  부착률 측정

$\text{Ca(OH)}_2$  부착률은 가스공급량에 대한 filter에 부착된  $\text{Ca(OH)}_2$  의 비율이며,  $\text{Ca(OH)}_2$  의 filter 부착량은 pre-coating한 후 bag filter의 bottom hopper를 청소하여 다이아프램밸브에 의한 탈진을 실시하고 여포에서 낙하한 소석회량을 측정하였다.

3.1.3 여과속도에 따른  $\text{Ca(OH)}_2$  부착률 측정

$\text{Ca(OH)}_2$ 의 부착률을 측정하기 위해 I.D fan에 설치된 inlet damper로 풍량을 조절하며  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 부착량을 측정하였다.

3.2. 산성가스 제거실험

$\text{Ca(OH)}_2$  pre-coating에 의한 용해로 가스의 HF,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  제거효율을 측정하였으며 성분분석은 대기오염공정시험방법에 의해 수행하였다.

3.3. 여과속도와  $\text{Ca(OH)}_2$  부착량에 따른 압력손실

Filter에 pre-coating하는  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 양을  $30\sim 75\text{g/m}^2$ , 여과속도를  $2\sim 8\text{m/min}$ 로 변화시키면서 압력손실을 측정하였다. 여포의 압력손실은 Fig. 13의 압력계로 측정하였다.



Fig. 13. Variation of pressure loss per Chamber.

IV. 결과 및 고찰

1. Filter재질에 따른  $\text{Ca(OH)}_2$ 부착량

Table 9에 filter 4종에 부착된  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 중량을 나타내었다. Filter별  $\text{Ca(OH)}_2$ 의 부착량은 테페아  $33\text{g/m}^2$ , 테프론  $28\text{g/m}^2$ , P-84  $22\text{g/m}^2$  및 유리섬유  $18\text{g/m}^2$ 으로서, tefare가 가장 많으며 테프론보다 1.18배 많았다.

따라서 본 연구에서는 filter로서 테페아를 사용하였으며, 다른 장치에서도 테페아를 4년 이상 교체하지 않고 사용해 오고 있다.

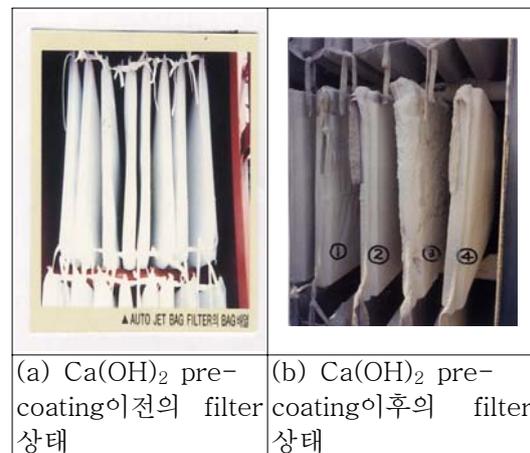
Table 9. Adhesion weight of  $\text{Ca(OH)}_2$  in each filter

실험 번호	여포의 종류	신폼여포 중량(g)	부착후 여포중량(g)	부착량 (g)
1	Fiver Glass	750	768	18
2	Teflon	750	775	28
3	Tefare	750	783	33
4	P-84	750	772	22

1. 실험기간 : 2007. 7 .1 ~ 7 . 30

2. 실험장소 : 경북김천 "H" 사

3. Bag Filter 압손 : 50 ~ 80mmAq



(a)  $\text{Ca(OH)}_2$  pre-coating이전의 filter 상태

(b)  $\text{Ca(OH)}_2$  pre-coating이후의 filter 상태

Fig. 14. Adhesion experiment of  $\text{Ca(OH)}_2$ .

**2. 여과속도에 따른 Ca(OH)<sub>2</sub> 부착율**

I.D fan에 설치된 inlet damper로서 풍량을 0.75, 1.0 및 1.5 m/min로 조절하며 Ca(OH)<sub>2</sub>의 부착율을 측정한 결과, 여과속도 1.5 m/min에서는 95%, 1.0m/min에서는 75%, 0.75 m/min에서는 60%가 부착되었다.

여과속도가 증가할수록 Ca(OH)<sub>2</sub> 부착율이 높은 이유는 bag filter에 투입하는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 확산속도가 여과속도가 증가함에 따라 빨라지고 bag filter의 체류시간 동안 filter표면에 도달하지 못한 Ca(OH)<sub>2</sub>는 filter에 부착되지 못하고 함진가스와 함께 배출되기 때문이다.

한편 이와 같이 filter에 부착되지 않은 Ca(OH)<sub>2</sub>는 함진가스와 함께 배출되므로 효율저하의 요인이 된다.

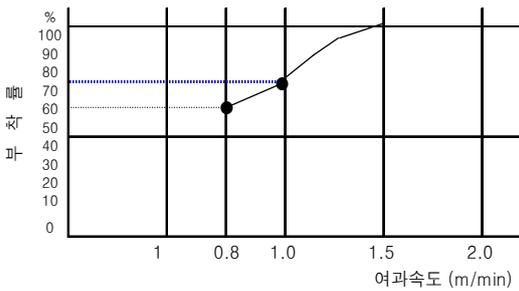


Fig. 15. Filtering velocity and Adhesion rate of Ca(OH)<sub>2</sub>.

**3. 여과속도, Ca(OH)<sub>2</sub> 부착량에 따른 압력손실**

Bag filter운전에 있어 여과속도를 빠르게 하면 처리속도가 빨라져서 방지시설의 규모를 작게 하거나 많은 양을 처리할 수 있는 반면, 배출가스의 오염성분과 filter에 coating된 Ca(OH)<sub>2</sub>와 반응하는 체류시간이 줄어들어 제거효율이 저하된다.

Filter에 coating된 Ca(OH)<sub>2</sub>의 부착량이 증가하고 여과속도가 증가함에 따라 압력손실이 증가함을 알 수 있다.

이 후 실험에서는 압력손실과 오염물질의 제거효율을 고려하여 filter에 pre-coating하는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 양을 50 g/m<sup>3</sup>를 적용하였다.

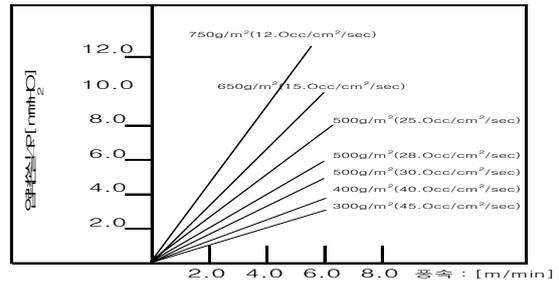


Fig. 16. Variation of pressure loss according according to Ca(OH)<sub>2</sub> adhesion amount and filtering velocity in filter bag.

**4. Pilot plant 실험**

**4.1 NO<sub>x</sub> 제거율**

Fig. 17에 pilot plant에서 2007년 1월부터 6개월 동안 수행한 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입량에 따른 NO<sub>x</sub> 제거실험결과를 나타내었다.

Pre-coating에 사용한 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입량에 따른 NO<sub>x</sub> 제거율은 초기 운전 시 Ca(OH)<sub>2</sub>를 0.6 ton/day 투입하였을 경우 출구의 NO<sub>x</sub>농도는 330 ppm이었다. 같은 조건에서 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입량을 100% 증가시켜 1.2 ton/day 투입한 결과 출구의 NO<sub>x</sub>농도는 260 ppm 으로서, 제거효율이 0.6 Ton/day 투입한 경우에 비해 79% 증가하였다.

그러나 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입량을 지속적으로 증가시켜 실험한 결과 1.4 ton/day에는 NO<sub>x</sub> 제거율이 둔화되었다.

이러한 결과는 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입량과 NO<sub>x</sub> 제거율 간에는 비례관계가 성립하지 않으므로 과도한 Ca(OH)<sub>2</sub> 투입은 비경제적이라는 연구 보고와 일치한다.<sup>16)</sup>

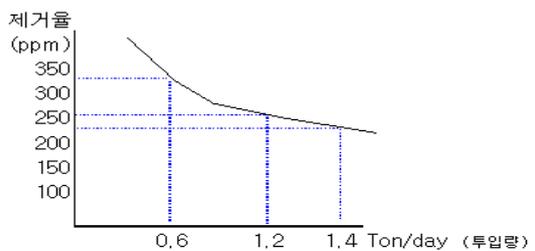


Fig. 17. Input volume of Ca(OH)<sub>2</sub> and removal rate of NO<sub>x</sub>.

4.2. 연속운전의 dust, SO<sub>2</sub>, HF 및 NO<sub>x</sub> 제거율

Fig. 18에 pilot plant에서 2008년 1월부터 5개월 동안 수행한 Ca(OH)<sub>2</sub> pre-coating에 따른 dust, SO<sub>2</sub>, HF 및 NO<sub>x</sub> 제거실험결과를 나타내었다.

Dust, SO<sub>2</sub> 및 HF는 대기환경보전법 배출허용기준의 각각 30% 이하 수준이고, NO<sub>x</sub>는 265 ~ 340ppm으로 기준인 350ppm보다는 낮지만 꽤 높게 배출되었다. 이와 같이 NO<sub>x</sub>가 높게 배출되는 원인은 고온연소과정에서 공기 중의 N<sub>2</sub>가 산화되어 높은 농도의 thermal NO<sub>x</sub>로 전환되었기 때문이다.

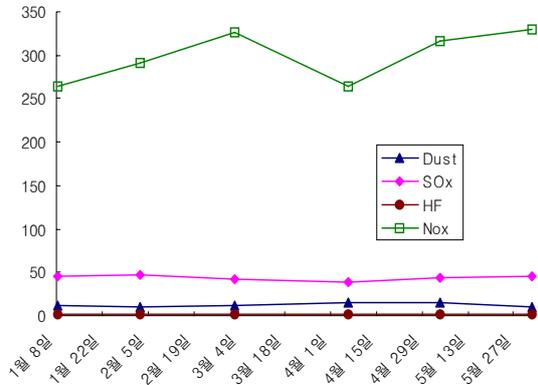


Fig. 18. Graph of operation Data.

4.3. Pre-coating에 소요되는 Ca(OH)<sub>2</sub> 주입율

Pre-coating에 소요되는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 이론주입량은 HF제거 시 13.04 kg/hr, SO<sub>2</sub> 제거 시 10.56 kg/hr이므로 두 가지 가스제거에 필요한 이론주입량은 23.6 Kg/hr이지만, 반응시 안전율을 고려하여 Ca(OH)<sub>2</sub> 48 Kg/hr를 주입하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

V. 결 론

유리공업의 배출가스를 효율적으로 처리하기 위해 Ca(OH)<sub>2</sub>를 상부에서 투입하여 pre-coating하는 envelope type bag filter 공정을 도입하여 성능을 평가하고 적정운전 조건을 모색하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. Filter재질에 따른 Ca(OH)<sub>2</sub> 부착량은 테페아 33g/m<sup>2</sup>, 테프론 28g/m<sup>2</sup>, P-84 22 g/m<sup>2</sup>

및 유리섬유 18g/m<sup>2</sup>로서, tefare가 가장 많으며 teflon보다 1.18배 많았다.

2. 여과속도에 따른 Ca(OH)<sub>2</sub>부착율은 1.5 m/min에서는 95%, 1.0m/min에서는 75%, 0.75 m/min에서는 60% 부착되었으며, 여과속도가 증가함에 따라 Ca(OH)<sub>2</sub>부착율이 증가하였다.

3. Pilot plant실험의 Ca(OH)<sub>2</sub> pre-coating에 따른 dust, SO<sub>2</sub>, HF 및 NO<sub>x</sub> 제거효과가 우수하여 dust, SO<sub>2</sub> 및 HF는 대기환경보전법 배출허용기준의 각각 30% 이하 수준이고, NO<sub>x</sub>는 265 ~ 340ppm으로 기준인 350ppm 보다는 낮게 배출되었다.

4. Pre-coating에 소요되는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 이론주입량은 HF제거 시 13.04 kg/hr, SO<sub>2</sub> 제거 시 10.56 kg/hr이므로 두 가지 가스제거에 필요한 이론주입량은 23.6 Kg/hr이지만 반응시 안전율을 고려하여 Ca(OH)<sub>2</sub> 48 Kg/hr를 주입하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 첨단환경기술, 여과집진의 신기술동향.
2. 한국산업기술센터, 사업장 대기환경 처리 및 유지보수 기술.
3. 국립노동과학연구소, 유해 위험 물질편람, 1988.
4. 약취, 탄화수소 배출 방지기술(일본/기술지원)
5. 집진의 이론과 실제.(일본/大野長太郎 著)
6. 이규성 대기오염제어공학, 형설출판사.
7. 사단법인 한국대기보전학회, 가스상 오염물질처리 신기술, 1995.
8. 박재규편저, 폐기물의 화학적처리기술. 도서출판그린테크노, 1994.
9. 유해물질연구회 편저, 유해화학물질편람, 동화기술, 1991.
10. 김창열역, 화학공학편람, 대광서림, 1989.
11. 환경기술연구협회, Pre-Coat식 Bag Filter에 의한 소각로 배가스 중의 염화 수소 등의 제거에 관하여, 1993.

12. 강주욱 역. Air Pollution Engineering Manual. 대신기술.
13. Anthony J.Buonicore Wayne T.Davis. *Air Pollution Engineer in Manual.*
14. LarryRicci and the Staff of Chemical Engineering Gas, Loquid, SoliaSystems. Separation Techniques2
15. 한국전력공사, Interaction Workshop Onutilization Of Fly Ash, 1996.
16. 한일산업기술협력재단, The Korea-Japan Joint Work-Shop On The Environmental Technology, 1998.