

ARABON과 CARBON 섬유 여과포의 코팅에 의한 내열성 향상에 관한 연구

이경옥[†] · Chikao Kanaoka · 황우현* · 박영옥**

Kanazawa University

*동양공업전문대학

152-714 서울시 구로구 고척동 62-160

**한국에너지기술연구원

305-343 대전시 유성구 장동 71-2

(2001년 10월 27일 접수, 2002년 8월 22일 채택)

Improvement of Thermal Resistant for Fabric Filters of ARABON and CARBON by Coating

Kyung-Ok Lee[†], Chikao Kanaoka, Woo-Hyeon Hwang* and Young Ok Park**

Department of Civil Engineering-Environmental Section, Kanazawa University, 62-160, Kochuc-dong, Kuro-gu, Seoul 151-714, Korea

*Department of Automation Systems, Dongyang Technical College, 2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa 920-8667, Japan

**Clean Energy Technology Department, Korea Institute of Energy Research, 71-2, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received 27 October 2001; accepted 22 August 2002)

요 약

고온에서 집진 성능이 우수하고 저렴하게 사용할 수 있는 합성섬유 여과포의 코팅기술을 개발하기 위한 내열성 코팅 실험을 수행하였다. 코팅된 여과포의 내열실험을 300 °C 및 400 °C에서 수행한 후, 여과포의 무게변화, 두께변화, 수축률을 측정하여, 내열 특성을 측정하였다. 가열 전후의 무게 변화를 측정한 결과 ARABON 여과포는 300 °C에서 36.3% 감소하였고, CARBON 여과포는 38.9%로 감소하였으며, 수축현상은 ARABON이 13.7%로 약간 변화되었지만 CARBON 여과포는 21.7%로 조금 더 변화되었다. 고온에서 합성섬유 여과포의 내열성능을 나타내기 위하여 변화지수, CI를 정의하여 사용하였다. 300 °C와 400 °C에서 CARBON 여과포의 가장 우수한 코팅물질은 $\text{Al}(\text{NO}_2)_3$ 이었다.

Abstract – This study has been accomplished by the coating experiments to develop the synthetic fabrics with thermal resistance, which are the economic and efficient filter at high temperature. The thermal resistance of the fabric filter was experimentally determined by the changes of the weight, thickness, and contraction of the coated and non-coated filters. The tested temperatures were 300 °C and 400 °C. The weight losses of the ARABON and CARBON fabrics are 36.3% and 38.9%, and the contractions are 13.7% and 21.7% at 300 °C compared to 400 °C respectively. The change index, CI, was defined and used for providing the thermal resistant information of the tested fabrics. The most coating material is $\text{Al}(\text{NO}_2)_3$ for CARBON fabrics at 300 °C and 400 °C.

Key words: Fabric Filter, Coating, Change Index, Thermal Resistant

1. 서 론

여과포 집진은 사용방법에 따라 작업장 등 대기 중의 부유 분진을 대상으로 하는 저온용과 굴뚝에서 배기가스와 함께 배출되는 오염원 분진을 처리하기 위한 고온용으로 나눌 수 있다[1]. 저온용 여과포는 대부분이 국산화되어 저렴한 가격에 이용되고 있으나 300 °C 이상의 고온용은 국내에 개발되어 상용화된 제품이 아직은 없는 실정이다. 미국의 BGF Industries Inc., BP Chemical, Air Purator Co., Thermal Material System Inc., Burlington Glass Fabrics Co., Du Pont, Gore-Tex 호주의

COLAN Inc. 등에서 다양한 재질의 여과포를 개발하여 생산하고 있다 [2]. 이들 선진국의 경우에서도 고온에서 연속적으로 사용할 수 있는 합성섬유 여과포를 개발하기 위한 연구는 계속적으로 진행되고 있지만 아직까지도 고온용 여과포를 개발하여 상용화에 성공한 예를 찾기가 어렵다. 고온에서 난연을 위해 사용할 수 있는 여과포를 개발하여 상용화한 업체는 있지만 이들 여과포의 용도가 국내의 실정과 맞지 않기 때문에 국내로 도입하여 바로 사용하기가 힘든 형편이다. Table 1에는 외국에서 생산되어 사용되고 있는 대표적인 여과포들을 비교 검토하였지만, 연속적으로 사용 가능한 온도는 대부분 중간 정도의 온도에서 운전이 가능하며, 특히 glass 계열의 여과포들은 고압의 공기를 이용하여 순간적으로 먼지를 이탈시킬 때 고온에서 충격에 매우 약하기 때문에 미세한 먼지들을 이탈시키기 어려워 사용할 수 없는 실정이다[3].

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: klee@kinst.ac.kr

Table 1. Fabrics for medium and high temperature

Product	Weight (kg/m ²)	Usage Temp.(°C)		Differential pressure (mmH ₂ O)
		Cont.	Max.	
Huyglas 1607-S felt	0.640	260	310	66.0
Huyglas 1701 felt	0.379	260	310	70.1
Woven fiberglass	0.522	260	290	128.0
Woven fiberglass	0.379	260	290	125.7
Goretex/glass	0.403	260	270	60.7
P-84 felt	0.379	260	290	78.5
Nomex felt	0.332	190	220	85.6
Ryton/rastex felt	0.379	190	230	85.9

난연제의 역사는 제2차 세계대전 중 미국이 군용 비행복의 난연화 연구과정에서 할로젠화 파라핀과 산화안티몬이라는 획기적인 난연제를 발견하면서부터 급속히 발전하게 되었다[4]. 그 후 할로젠 화합물과 산화안티몬의 시너지 효과에 대한 반응 메커니즘이 밝혀짐으로써 할로젠 화합물은 유기재료의 대표적인 난연제로 알려지게 되었다. 난연제는 첨가형, 반응형 및 조합형으로 나누며 반응형 난연제는 난연 부여성분이 플라스틱에 화학적으로 결합되어 있어 외부 조건에 관계없이 부루밍(blooming) 현상이 없이 난연성이 지속되며 주로 열경화성 플라스틱에 응용되고 있다. 이에 반하여 첨가형 난연제는 플라스틱에 물리적으로 분산되어 있는 것으로서 주로 열가소성 플라스틱에 사용되고 있다. 이 경우 플라스틱과 어느 정도 상용성이 있을 경우 가소화 역할을 하게 되며 그렇지 못한 경우는 충전제로 작용한다. 첨가형 난연제는 반응형 난연제와는 달리 구조 및 외부 조건에 따라 플라스틱 표면으로 부루밍이 되는 경우가 있어 사용시 주의를 요한다. 조합형 난연제의 경우 조합 형태에 따라 난연 상승효과 또는 저해효과를 나타낸다. 그러나 난연 상승효과가 나타나는 경우 생산 원가가 절감되고 제반 물성이 동시에 향상되므로 가장 유용한 방법이 된다[5].

고분자 섬유를 난연화 하려면 고분자 재료에 난연제를 물리적으로 첨가시키거나 난연 단량체를 공중합하여 고분자에 난연 원소들을 포함시키도록 한다. 고분자 재료의 난연화는 각종 고분자 재료의 물성이 저하되지 않게 난연 원소들 간의 난연 상승효과를 이용, 가능한 적은 양의 난연제를 사용하여 최대의 난연 효과를 얻어야만 한다. 인과 할로젠 화합물, 안티몬과 할로젠 화합물 등은 난연 원소간의 난연 상승효과를 이용한 대표적인 조합이다[6, 7]. 난연화시 인과 난연원소들을 병용하면 난연 상승효과가 있어 적은 양을 사용하고도 소기의 성과를 거둘 수가 있어, 최근 이들 난연 상승효과를 이용하면서 저분자보다는 고분자의 안정화된 난연 재료들을 개발할 수 있어 인과 할로젠의 난연 원소들을 함유하는 난연 고분자 재료에 관한 연구들이 이루어지고 있다[8-10].

Table 2. Comparison of the tensile properties of the fabrics

Fiber type		Density (g/cm ³)	Tensile strength		Tensile elasticity		Elongation (%)
			g/de	kg/mm ²	g/de	kg/mm ²	
Reinforced thermal resistance fiber	ARABON (S)	1.39	28	350	590	7,400	4.6
	PPTA(reg)	1.44	22	285	460	6,000	3.8
	PPTA(HM)	1.45	22	285	1,000	13,000	2.4
	MPIA	1.38	5.6	70	60	800	38
Steel	Tire cor	7.85	3.4	240	280	20,000	1.7
Glass	E-Glass	2.54	9.6	220	300	7,000	4.0
Carbon	PAN(HT)	1.80	26	420	1,400	24,000	1.7
	PAN(HM)	1.81	15	250	2,400	40,000	0.6
	Pitch(G.P)	1.65	5.0	75	200	3,000	1.3
Polyester	Tire yarn	1.38	9.2	115	100	1,300	13
Nylon 6	Tire yarn	1.14	9.4	100	50	500	19

본 연구에서는 금속필터나 세라믹필터와 달리 성능이 우수하면서도 저렴한 합성섬유 여과포를 대상으로 고온에서 장시간 사용할 수 있게 하기 위하여 인과 브롬, 알루미늄, 보론 등을 이용하여 코팅물질을 제조하여 합성섬유 여과포에 난연성을 갖도록 만들고자 한다. 우선, 기존에 개발된 ARABON 여과포와 CARBON 여과포에 대한 성능 평가 및 분석을 통하여 여과포의 내열 특성을 알아본 후 합성섬유 여과포의 내열 성능을 향상시키기 위한 코팅실험을 수행하여, 고온에서 장시간 사용하면서 강도가 크게 감소하지 않는 합성섬유 여과포의 코팅 조건을 제안하고자 한다.

2. 실험

2-1. 합성섬유 여과포의 내열성 실험

Table 2와 같은 인장특성을 가지고 있는 ARABON 여과포와 CARBON 여과포를 대상으로 기초적인 내열성을 측정하기 위하여 고온에서 여과포의 가열 전후의 무게, 두께, 수축, 표면 색상 등의 변화를 관찰하여 내열성을 측정하였다[11].

ARABON과 CARBON 여과포의 내열성을 시험하기 위하여 각 샘플을 일정한 크기로 준비하여 가열하기 전의 기초 물성을 측정하였다. 그리고 ARABON과 CARBON을 300 °C와 400 °C의 가열로에 각각 넣고 3시간 동안 등온으로 유지하였다. 가열 후에 각 여과포의 물성을 다시 측정하여 Table 3에 나타내었다. 300 °C에서 가열 전후의 무게 및 크기 변화를 측정한 결과를 보면 ARABON과 CARBON 여과포의 무게변화는 12.3% 및 19.4%로 각각 감소하였고, 크기변화도 6.9% 및 9.6%로 각각 수축하였으며, 400 °C에서 무게변화는 48.6% 및 58.3%이고 크기변화는 20.6% 및 31.3%로 각각 변화되었다. 300 °C 및 400 °C에서 가열 전후의 상대적인 무게 변화를 측정하여 살펴보면 ARABON과 CARBON 여과포는 각각 36.3%(12.3→48.6) 및 38.9%(19.4→58.3)로 무게가 감소하였고, 여과포의 크기는 ARABON이 13.7%로 변화되었지만 CARBON 여과포는 21.7%로 약간 더 변화되었다.

합성섬유 여과포의 내열성능의 상대적인 변화 크기를 Fig. 1에 나타내어 비교하였고, 내열 실험을 수행하기 전후 샘플의 크기와 색상 등을 확인할 수 있는 사진을 Fig. 2에 나타내었다.

2-2. CARBON 여과포의 내열코팅 실험

앞 절에서 실험한 결과에 의하면 고온에서 코팅을 하지 않은 CARBON 여과포가 THFC(tetrahydrofuran)로 코팅된 ARABON보다 내열 성능이 나쁘게 나타났지만 동일한 조건에서 두 종류의 여과포를 대상으로 내열성 실험을 했을 경우 CARBON 여과포의 내열성이 더 좋을 것으로 해석되어, 본 연구에서는 CARBON 여과포를 기본 원단으로 선정하여

Table 3. Experimental results of thermal resistant fabrics

Unit		Weight		Thickness		Contraction		Color	Etc
		g	%	mm	%	mm ²	%		
ARABON 300 °C	Before	0.814	12.3	3.40	4.4	2,500	6.9	Black	3hr
	After	0.714		3.25		2,328			
ARABON 400 °C	Before	0.809	48.6	3.40	27.9	2,500	20.6	Black	"
	After	0.416		2.45		1,985			
CARBON 300 °C	Before	1.646	19.4	6.55	29.8	2,500	9.6	Not change	"
	After	1.326		4.60		2,259			
CARBON 400 °C	Before	1.605	58.3	6.55	43.5	2,500	31.3	"	"
	After	0.670		3.70		1,718			

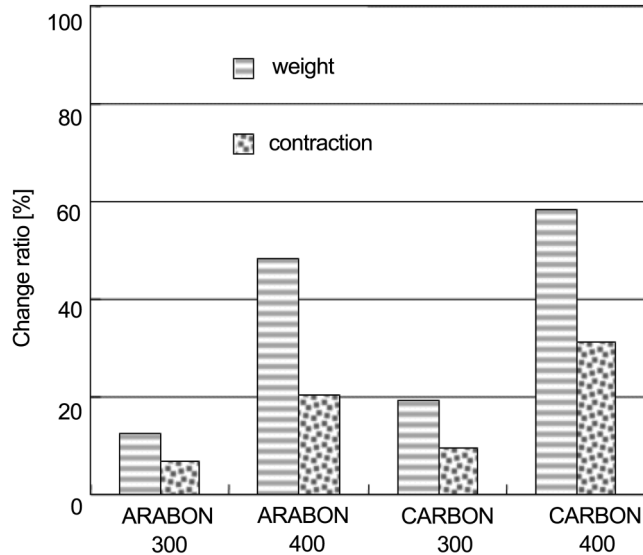


Fig. 1. Experimental results: the weight change and contraction of the test filter.

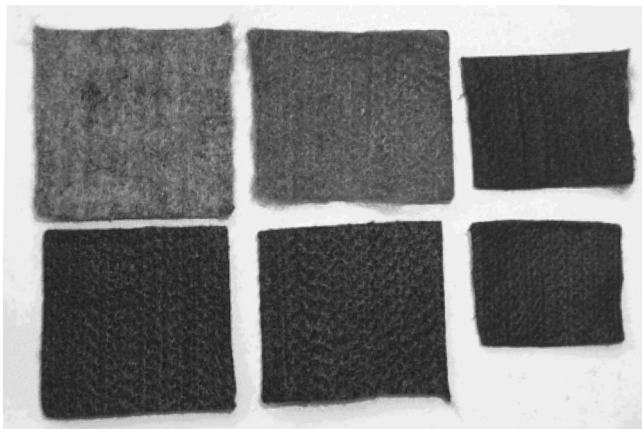


Fig. 2. Shapes of the ARABON (top) and CARBON (bottom) fabrics.

내열성능을 향상할 수 있는 코팅물질을 개발하고자 한다. CARBON 여과포의 내열성을 향상하기 위하여 본 연구에서는 내열성이 우수한 무기물질과 고분자 화합물을 대상으로 코팅실험을 수행하였다.

2-2-1. 실험절차

1) 독성이 거의 없고 용매에 잘 녹으며 열에 강한 무기물과 고분자 화합물을 선정한다.

2) 비이커에 물을 넣고 Table 4와 같은 용액상의 코팅 물질을 제조한다. 샘플 번호 1과 9는 용매가 물이며 11과 12는 메탄올을 용매로 사용하였다.

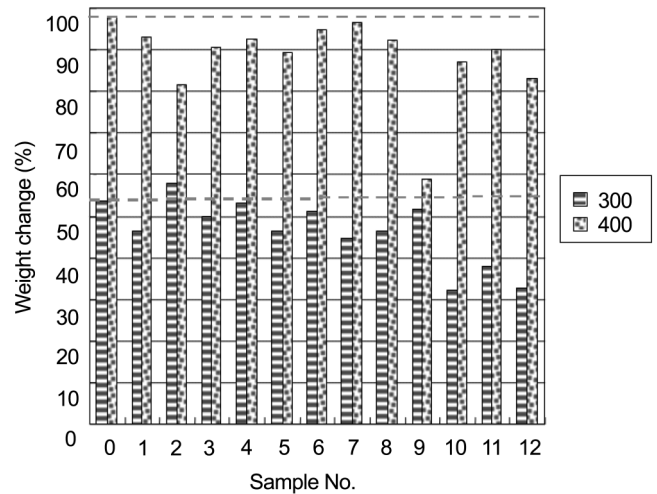


Fig. 3. The weight loss of the coated CARBON filters at 300 and 400 °C.

3) 제조된 액상 코팅 혼합물에 CARBON 여과포 시료를 30초간 충분히 담근 후 건져서 상온에서 종이필터를 깔고 유리접시에서 건조시킨 후 테시케이터에서 완전히 건조시킨다.

4) 무게와 샘플의 크기를 잴 후 300 °C와 400 °C에서 3시간 보존한 후 무게를 측정한다.

2-2-2. 무게변화

코팅하지 않은 CARBON 여과포 샘플의 번호를 0이라 하고 코팅 전후의 무게변화를 관찰하기 위하여 무게변화율은 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$\text{무게변화율} = \frac{\text{가열전무게} - \text{가열후무게}}{\text{가열전무게}} \times 100 \quad (1)$$

코팅하지 않은 샘플을 400 °C에서 3시간 노출하였을 때 무게변화율은 98% 이상으로 매우 크게 나타났다. 코팅 샘플 9번인 water glass로 코팅한 경우가 무게의 변화율이 가장 적지만 코팅 후 색상의 변화와 더불어 CARBON 여과포의 유연성을 상실하였다. 샘플 2와 12번은 코팅 전 CARBON 여과포에 비해서 20%정도의 무게변화가 줄어들었다. 또한, 300 °C에서 3시간 방치한 샘플 중 10, 11, 12번이 코팅하지 않은 샘플의 무게변화를 20%이상 개선시켰다.

2-2-3. 수축률 변화

합성섬유 여과포를 고온에 노출하기 전과 후의 샘플 크기를 상대적으로 비교할 수 있도록 수축률을 정의하여 여과포의 내열성능을 측정하였다. Fig. 4는 코팅물질에 따라 CARBON 여과포의 수축률을 나타낸다. 코팅을 전혀 하지 않은 0번 샘플은 300 °C에서 15%, 400 °C에서 75%정도 수축하나 400 °C에서 3시간 노출시킨 경우에는 샘플 10, 11, 12번은 코팅하지 않은 경우보다 30% 정도의 개선을 보였다. 그러나

Table 4. Coating materials for non-flammable filter

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Borax	3.5	2.35			2.5			0.75	3.5			
Boric acid	1.5	1.0	2.5	2.5	1.75			2.35	1.5			
Diammonium phosphate		1.65		2.5		1.25						
Sodium phosphate dodecahydrate			2.5		0.75			0.9				
Ammonium sulfamate						3.75						
Ammonium bromide							5					
Sodium tungstate dihydrate								1.0				
Water glass									25			
Aluminum nitrate nonahydrate										2		
Poly vinyl acetate											4	
Boron nitrate												1

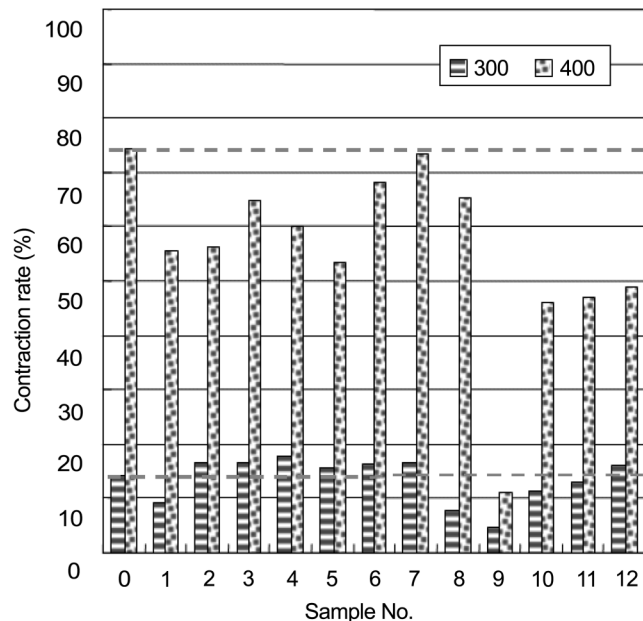


Fig. 4. The contraction of coated CARBON filter at 300 and 400 °C.

300 °C에서 3시간 방치한 경우에는 코팅하지 않은 경우에 비해서 뚜렷이 나타나는 현상이 관찰되지 않았다. 이는 용매에 적셔진 후 말려진 샘플은 직조 형태에 다소의 변화가 있으며 이는 현재 실험에서 채택한 코팅방법의 문제점으로 지적 될 수 있다.

3. 결과 및 고찰

고온에서 장시간 견딜 수 있는 코팅물질을 개발하기 위하여 무기막으로 이루어진 용액을 제조하여 합성섬유 여과포에 코팅을 수행한 후 고온에 노출하기 전과 후의 여과포의 무게, 수축, 유연성을 측정하였다. 먼저, 합성섬유 여과포의 특성을 조사하기 위하여 300 °C 및 400 °C에서 섬유를 가열 전후의 상대적인 무게 변화를 각각 측정해서 비교한 결과를 보면 ARABON 여과포는 36.3%(12.3→48.6), CARBON 여과포는 38.9%(19.4→58.3)로 비슷하게 무게가 감소하였지만, 여과포들의 수축은 ARABON이 13.7%로 변화되었지만 CARBON 여과포는 21.7%로 약간 더 변화되었다.

앞 절에서 실험한 코팅물질의 내열성능을 절대적으로 비교하기 위하여 변화지수를 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$CI = CW \times CC \quad (2)$$

여기서 CI는 변화지수, CW는 무게변화율, CC는 수축률을 나타낸다.

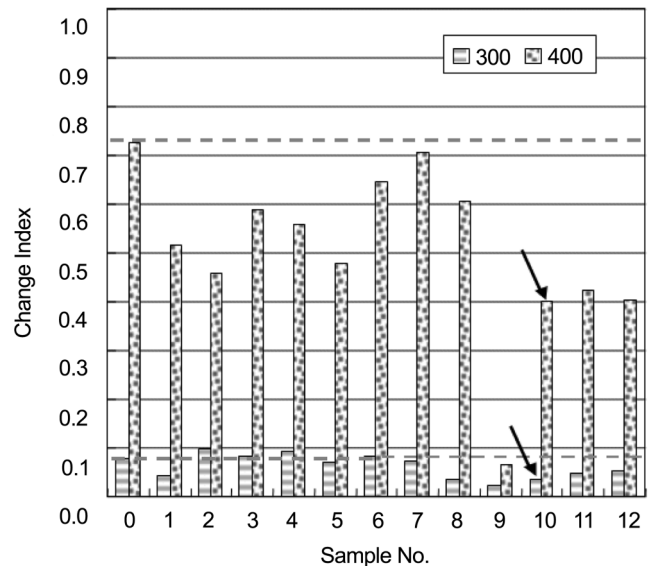


Fig. 5. The change index of coated CARBON filter at 300 and 400 °C.

Fig. 5는 각 샘플의 변화지수를 나타낸다. CI가 0에 가까울수록 고온에서 무게변화와 수축이 일어나지 않기 때문에 내열성이 있는 소재로 판단할 수 있으므로, 샘플 9번이 코팅하지 않은 샘플 0번에 비해 내열성을 크게 개선된 것으로 관찰되었다.

Fig. 5를 보면 300 °C 및 400 °C에서 CARBON 섬유를 코팅한 여러 가지 샘플 중에서 샘플 9번의 water glass를 코팅한 결과가 무게와 수축 변화가 최소지만 유연성이 없고 코팅 후의 무게가 커져 실용화에 문제점을 가질 것으로 판단된다. 샘플 10번의 CI가 9번 샘플을 제외하고 가장 낮은 값을 나타낸다. 실험 샘플 10이 원재료 샘플 0에 비해 300 °C와 400 °C에서 내열성이 향상된 것은 Al과 같은 무기물질이 내열성이 크고 합성섬유 여과포에 강하게 코팅되었기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 무기 용액 코팅물질과 일부 고분자 용액 코팅물질에 대한 실험을 수행한 결과는 수축율의 감소를 줄일 수 없었다[12].

실험을 수행한 결과 $Al(NO_3)_3$ 가 우수한 내열성능을 나타내었는데, 이러한 알루미늄 물질과 같은 불연 코팅물질로는 수산화 금속화합물인 $Al(OH)_3$ 와 $Mg(OH)_2$ 등이 있다. 수산화알루미늄과 수산화마그네슘은 연소시 유독가스를 내지 않고, 난연성과 함께 저발연 효과를 나타내는 장점이 있고, 반면에 다량으로 배합되지 않으며 화합물의 점도가 상승하여 성형가공성이 저하되고, 내수성, 기계적 성질이 저하되는 단점이 있다. 수산화 금속화합물에 UL94 V-0 클래스의 난연성을 부여하기 위해서는 첨가량이 필요해지는데 첨가량이 많으면 가공성과 물성이 저하되므로 첨가량을 줄이기 위하여 난연화를 돕는 난연 보조제를 사용한

다. 현재까지 효과가 확인되어 있는 난연 보조제로는 금속산화물, 적인, 실리콘 화합물, 적인인 화합물, 카본블랙 등이 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 고온에서 사용이 가능하면서 저가로 구입이 용이한 첨가형 코팅물질들을 개발하여 내열성능을 향상시키고자 여러 종류의 코팅 물질들을 이용하여 합성섬유 여과포에 코팅을 수행한 후 내열성을 조사하였다. 먼저, ARABON 및 CARBON 합성섬유 여과포를 300 °C 및 400 °C에서 가열하여 가열 전후의 여과포의 상대적인 무게 변화 및 크기 변화를 측정하여 여과포의 특성을 비교하였다. 또한, 300 °C 및 400 °C에서 CARBON 섬유를 여러 가지 물질들로 코팅실험을 수행하여 코팅성능을 측정한 결과, 300 °C 및 400 °C의 높은 온도에서 $\text{Al}(\text{NO}_2)_3$ 코팅용액이 우수한 내열성능을 나타내었고, 실용화 할 수 있을 것으로 판단된다.

합성섬유 여과포의 내열성을 시험한 결과를 보면 여과포 자체가 400 °C 이상의 고온에서 사용할 수 없지만, 고온에서 견딜 수 있는 코팅 용액을 제조하여 여과포의 표면을 코팅하여 내열성을 크게 향상할 수 있었다. 알루미늄과 같은 코팅물질은 녹는점이 높아 합성섬유 여과포에 코팅하여 내열성을 크게 개선시킬 수 있지만, 근본적으로 합성섬유 여과포의 이러한 한계를 해결하기는 어렵다. 그러므로 고온에서 연소가 일어나지 않고 수축하지 않는 원단을 개발하여 세라믹과 같이 내열성이 강하면서도 섬유 여과포와 같은 유연성을 유지할 수 있는 난연 여과포를 개발해야 한다. 또한, 합성섬유 원단의 재료 분자 내에 불연성 원소를 도입하여 불연화가 이루어지게 하거나 할로젠 난연제와 난연 보조제를 첨가하여 원재료 자체에 내열성을 향상시킬 수 있는 연구가 병행하여 이루어져야 한다.

감 사

본 연구는 환경부 환경기술개발사업(G7)의 일환으로 진행되었습니다. 한국에너지기술연구원의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, Y. O., Kim, S. D., Son, J. E., Rhee, Y. W. and Choi, W. S., "Demonstration of a KIER-type CYBAGFILTER Sytem at the Clin-ker Calcination Process," *Korean J. Chem. Eng.*, **17**(5), 579-584(2000).
2. Lee, K. O. and Hwang, W. H., "Development of the Synthetic Fabrics with Thermal Resistance," Annual Report of G7 Research(1999).
3. Park, Y. O., Ghim, Y. S., Son, J. E. and Chung, T. S., "Coal Fly Ash Collection by Glass Fabrics I. Growth of Dust Deposition and Pressure Drop Characteristics," *HWAHAK KONGHAK*, **29**(4), 463-469(1991).
4. Kuryla, W. C. and Papa, A. J., "Flame Retardancy of Polymeric Materials," V. 1-4, Marcel Dekker Inc., N.Y(1973-1978).
5. Nelson, G. L., "Fire and Polymers II," *ACS Symposium Series*, 599, Washington, D.C(1995).
6. Park, Y. R., Yoon, T. H., Yuck, J. I. and Lee, S. G., "Enhanced Flame Resistance of Epoxy Resin with Phosphorus Containing Polymer," *Polymer(Korea)*, **22**(6), 901-907(1998).
7. Seol, C. D., Lee, H. Y. and Park, I. H., "Polymeric Flame Retardants Containing Phosphorus and Halogen Components: 1. Preparation," *Polymer(Korea)*, **15**(2), 191-200(1991).
8. Kaspersma, J., Doumen, C. and Prins, A.-M., "Fire Retardant Mechanism of Aliphatic Bromine Compounds in Polystyrene and Polypropylene," *Polymer Degradation and Stability*, **77**(2), 325-331(2002).
9. Hale, R. C., Guardia, M. J. La, Harvey, E. and Mainor, T. M., "Potential Role of Fire Retardant-Treated Polyurethane Foam as a Source of Brominated Diphenyl Ethers to the US Environment," *Chemosphere*, **46**(5), 729-735(2002).
10. Kashiwagi, T., "Fire Retardant Materials," *Fire Safety J.*, **36**(7), 711-713(2001).
11. Lee, K. O. and Hwang, W. H., "Commercialize the Coating Materials for Fabric Filters to Used at Medium and High Temperature," Annual Report of G7 Research(2000).
12. Kwak, S. B., Jung, C. H., Nam, J. D., Kim, J. H., Choi, M. A. and Kong, J. H., "Fire Resistance and Thermal Stability Study of Fire-Retarded Polypropylene Systems by Using Cone Calorimeter and Thermogravimetry," *Polymer(Korean)*, **24**(6), 777-786(2000).

1. Park, Y. O., Kim, S. D., Son, J. E., Rhee, Y. W. and Choi, W. S., "Demonstration of a KIER-type CYBAGFILTER Sytem at the Clin-