

핫멜트 Web spray법을 이용한 고기능성 복합 화학필터의 제조 및 흡착특성

최용재 · 신경섭¹ · 황택성[†]

충남대학교 바이오응용화학과, ¹충남대학교 화학공학과
(2009년 6월 3일 접수, 2009년 8월 27일 수정, 2009년 8월 27일 채택)

Preparation of High Performance Hybrid Chemical Filter using Hot Melt Adhesive by Web Spray and Their Adsorption Properties

Yong Jae Choi, Kyoung Sub Shin¹, and Taek Sung Hwang[†]

Department of Chemical & Biological Engineering, College of Engineering, Chungnam National University, 220 Gung Dong Yuseong-Gu, Daejeon 305-764, Korea

¹Department of chemical Engineering, College of Engineering, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

(Received June 3, 2009; Revised August 27, 2009; Accepted August 27, 2009)

요약: 본 연구는 web spray 분사방식으로 핫멜트 접착제를 이용하여 high performance hybrid chemical filter (HPHCF)를 제조하였다. HPHCF은 이온교환 수지와 PP 부직포를 사용하였고, HPHCF의 제조 시 최적 조건은 핫멜트의 온도는 170°C에서 분사압력은 50 psi일 때 최적의 제조 조건을 나타내었다. 제조된 HPHCF의 특성 및 암모니아 흡착성능을 측정하였다. HPHCF 이온교환용량은 수지 부착량이 증가함에 따라 증가하였으며 단일 수지와 이온교환섬유의 이온교환용량보다 크게 나타났다. 또한 암모니아의 제거율은 HPHCF의 충전 밀도가 증가할수록 증가하였으며 흡착 파과시간은 13 min으로 단일 섬유나 수지에 비해 길게 나타났고 최대 암모니아 흡착량은 98%이었다. 또한 암모니아 흡착 파과시간은 유량 및 농도가 증가함에 따라 빠르게 진행되었다.

Abstract: In this study, the high performance hybrid chemical filter (HPHCF) was prepared by web spray using hot melt adhesive. The material of HPHCF was conditionally made of ion exchange resin and PP non-woven fabric. The optimum temperature and pressure for manufacturing of HPHCF conditions were such as 170°C and 50 psi, respectively. The characteristics of prepared HPHCF and their adsorption properties of ammonia gas were investigated. The ion exchange capacity (IEC) of HPHCF was increased with increasing the resin contents and their values were higher than pure resin and ion exchange fabrics. The removal efficiency for ammonia gas increased with the increase of packing density of hybrid ion exchange fabrics in the column. It showed 13 min which the adsorption breakthrough time was slower than resin and fibers. The maximum value of adsorption for ammonia gas was 98 percent. And also, the velocity was increased with increasing concentration and flow rate of ammonia gas.

Keywords: hybrid chemical filter, web spray, ammonia gas, adsorption

1. 서 론

최근 반도체산업의 발전과 더불어 고품질의 제품생산을 위한 정화시설인 클린룸설비가 필수적이다. 이러한 클린룸 정화설비는 크게 외부 공기를 물리화학적 방법으로 정화하여 폐쇄공간에 주입시켜 실내 공기를

정화시키는 설비로 외부의 미세입자 등과 같은 불순한 입자를 여과하는 prefilter와 ULPA, HEPA 필터를 이용한 물리적 여과 설비와 이온교환방식에 의한 외부 화학가스를 제거하는 화학필터로 구성되어있다. 이들 중 화학필터용 소재로는 주로 이온교환섬유를 일정한 형태로 성형하여 규격화한 제품을 사용하고 있는데 이들은 성능은 우수하나 섬유형태로 부피가 크

[†]Corresponding author: Taek Sung Hwang (tshwang@cnu.ac.kr)

Table 1. Basic properties of ion exchange fiber and resin

Type	Functional group	Ion exchange capacity (meq/g)	pH working range
Resin	-SO ₃ H ⁺	1.9	0~14
IEF	-SO ₃ H ⁺	3.0	0~14

Table 3. Preparation conditions of HPHCF

Adhesive	Linear velocity (cm/s)	Temperature (K)	Layer no	Pressure (psi)	Resin
APAO	3.2~49.9	433, 443, 453	1~4	20~60	SCR-BH

고 값이 비싼 단점이 있어 최근 들어 이온교환수지를 화학적으로 안정한 섬유에 고정시켜 사용하고 있다. 그러나, 이들은 비드형태로 충전밀도는 높으나 유로에서 공기의 저항이 크고 일정량 이상의 성능발휘를 위해 사용한 비드량의 증가로 무거워 사용에 많은 문제점이 있다.

또한 256 MRAM 이상의 반도체 생산에 필수적인 클린룸의 경우 공정 중에 발생하는 암모니아와 같은 극히 저농도의 미량 유해가스를 제거하기 위해서는 기존 사용하는 소재의 성능을 현저히 개선할 필요성이 있다[1,2]. 현재까지 이 부분에 대한 연구결과를 살펴보면 Egawa 등은 전자선 조사에 의해 이온교환섬유를 합성하고 이들의 흡착성능을 평가하였으며, Okamoto 등도 방사선 조사방법으로 PP 섬유를 기재로 사용하여 styrene을 그래프트 시키고 술폰산기를 도입하여 양이온교환섬유를 합성하였고 이들의 금속이온에 대한 흡착성능을 통하여 선택흡착성이 우수하다고 보고하였다. 한편 Soldatov 등은 방사선 조사방법과 가수 분해법을 이용하여 polyacryl 고분자 기재에 styrene, acrylic acid 등을 그래프트 시키고 관능화하여 양, 음이온교환섬유를 합성하였고 이들의 암모니아와 같은 기체와 중금속에 대한 선택흡착성을 시험하였고 가스 스크리버에 적용시켜 상업화하였다고 보고한바 있다.

또한 최근 들어 Nho, Hwang 등은 core와 shell의 구조가 서로 다른 polyolefin 섬유를 기재로 방사선, 전자선 및 UV조사선을 이용하여 다양한 관능기 구조의 이온교환섬유를 합성하였으며 이들의 유해가스에 대한 흡착성능을 시험한 바 있다[3-6].

그러나 지금까지의 연구결과는 주로 이온교환섬유에 국한한 연구로 이를 반도체 클린룸에 적용하기 위해서는 상기에서 언급한 바와 같이 섬유의 단점을 극복해야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 이온교환섬유의 장점과 수지의 장점을 살려 성능이 우수한 새로운 클린룸용 고성능 복합 화학필터 소재를 제조하기 위하여 작업공정이 간편하고 공정 부생가스 발생으로 인한 2차 오염

Table 2. Physical properties of hot melt adhesive

Type	Melt viscosity at 180°C (cps)	Softening point (°C)	Color
APAO ¹⁾	2400~3500	118~123	White

¹⁾APAO : Amorphouse α -polyolefin

이 없는 핫멜트를 이용한 web spray법으로 이온교환수지와 이온교환섬유가 이상적으로 결합된 HPHCF를 제조하고 이들의 부착강도, 이온교환용량, morphology 등 기본성질을 확인하였고 유속, 가스농도 등을 변수로 암모니아 가스에 대한 흡착특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 재료 및 시약

본 연구에 사용된 이온교환섬유는 (주)시온텍에서 공급받은 Table 1과 같은 물성을 지닌 강산성 이온교환섬유를 사용하였다. 한편 이온교환수지는 (주)삼양사 제품의 양이온 교환 수지(SCR-BH)를 사용하였으며 이들의 기본물성은 Table 1에 표시하였다. 또한 핫멜트 점착제는 빅솔(주)의 Table 2와 같은 물성을 지닌 polyolefin (APAO)계 점착제를 사용하였다. 암모니아 가스는 (주)대한표준가스에서 생산된 순도 99.9%의 표준가스를 구입하여 농도기준에 따라 고순도 질소로 일정비율 희석하여 사용하였다.

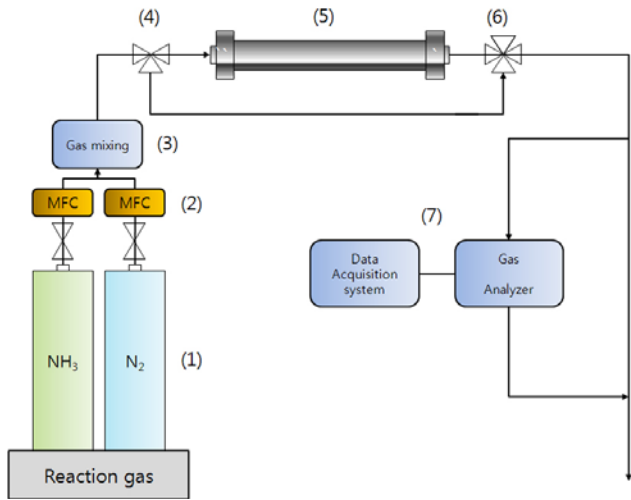
3. 실험방법

3.1. HPHCF (High Performance Hybrid Chemical Filter)의 제조

자체 제작한 spray 장치를 이용하여 핫멜트 web spray 분사방법으로 이온교환수지와 섬유가 결합된 HPHCF를 제조하기 위하여 술폰형 이온교환섬유를 40 cm × 400 cm 크기로 절단하고 증류수로 세척, 건조한 후 건조된 시료의 무게를 측정하였다. 이들을 web spray 장치에 고정하고 일정량의 APAO 핫멜트를 분사후 여기에 각기 다른 양의 수지를 부착시켜 HPHCF를 제조하였다. 본 실험의 구체적인 실험 조건을 Table 3에 나타내었다.

3.2. HPHCF의 물성

점착제의 함량에 따라 제조한 이온교환섬유의 수지



(1) gas (2) mass flow controller (3) gas mixing chamber (4) 3-way valve (5) adsorption column (6) 6-port valve (7) Analyzer.

Figure 1. Schematic diagram of gas analyzer system.

부착강도를 측정하기 위하여 직경 50 mm의 아크릴 컬럼에 섬유를 고정하고 일정 유속에서 시간에 따른 무게변화를 측정하여 수지의 섬유 부착강도를 측정하였다. 한편 HPHCF의 수지 부착에 따른 압력강하를 직경 50 mm의 아크릴 컬럼에 고정하고 유속을 0.7~1.7 m/s로 변화시켜 압력 변화로 HPHCF 내 수지 부착강도를 측정하였다.

3.3. SEM 관찰

HPHCF의 수지 접착상태 및 기공 변화를 관찰하기 위하여 JEOL사의 Model JSM-840A 전자현미경을 이용하여 시편을 홀더에 붙인 뒤 ion sputter 내에서 ion current 5 mA로 gold coating한 후 100~250 배의 배율로 관찰하였다.

3.4. 이온교환용량

HPHCF의 이온교환용량을 측정하기 위하여 1 N HCl과 NaOH 수용액으로 세척하고, 이를 다시 세척수의 pH가 중성이 될 때까지 증류수를 이용하여 세척한 후, 60°C의 진공 오븐에서 건조하였다. 건조된 화학필터 소재를 정량하여 250 ml 삼각플라스크에 넣은 후 0.1 N NaOH 수용액 100 ml를 가하고 24 h 교반하여 평형에 도달하도록 하였다. 교반 후 0.1 N HCl 용액으로 적정한 후, 다음의 식 (1)을 이용하여 이온교환용량을 측정하였다. 또한 각각의 이온교환용량은 5회 측정하여 그 결과 값의 평균치를 구하였다.

Table 4. Adsorption conditions of ammonia gas by using HPHCF

Ratio		NH ₃ (ppm)	Flow rate (l/min)
Resin (g)	IEF (g)		
0	10	20~200	5~30
10	30	20~200	5~30
20	50	20~200	5~30
30	70	20~200	5~30
40	90	20~200	5~30

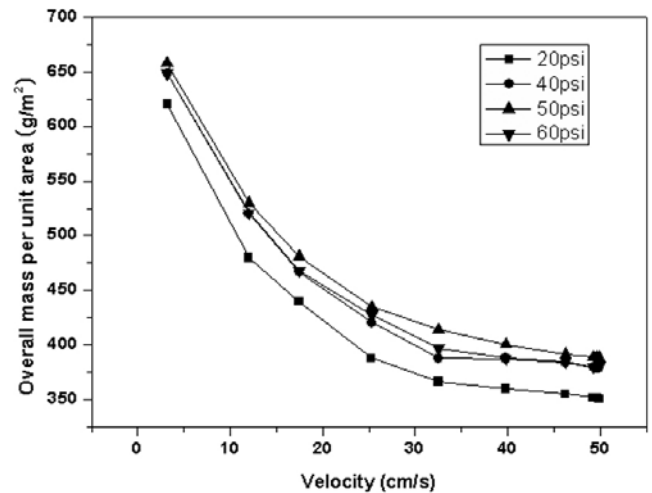


Figure 2. Effects of velocity and pressure on overall mass (170°C).

$$IEC (meq/g \cdot dry) = \frac{(V_{NaOH} \times N_{NaOH}) - (V_{HCl} \times N_{HCl})}{Weight\ of\ sample} \quad (1)$$

여기서 IEC는 이온교환용량을 나타내며 V_{HCl} 와 V_{NaOH} 은 HCl과 NaOH의 전체 부피이며, N_{HCl} 와 N_{NaOH} 은 노르말 농도이다.

3.5. 흡착가스 분석

HPHCF의 암모니아 흡착 성능을 시험하기 위하여 Figure 1과 같은 Sierra Instruments사의 모델 600 series를 flow sensor 및 Thermo Electron Co. Ltd., Genesis 및 Interscan co. Ltd.,의 Gas analyzer 4000 series를 이용하여 Table 4와 같은 조건하에서 암모니아 흡착실험을 행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. HPHCF의 제조

HPHCF 제조 시 핫멜트를 분사시키는 압축공기의 분사 압력과 수지 부착량의 관계를 측정한 결과를

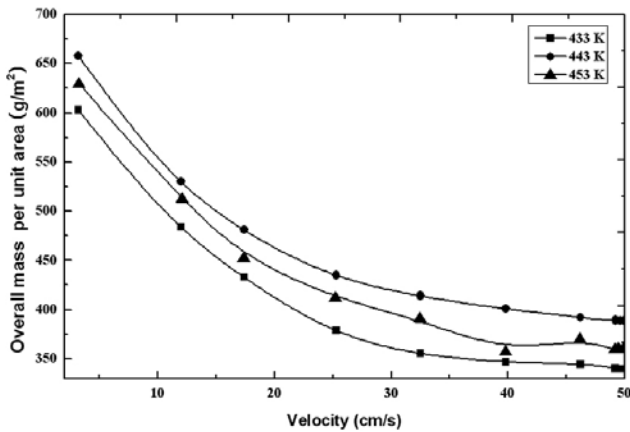


Figure 3. Effects of velocity and temperature on overall mass per unit area (pressure : 50 psi).

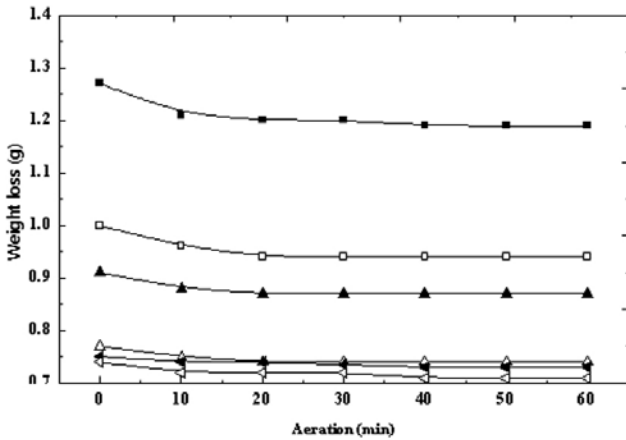


Figure 4. Effect of Adhesive force and aeration time to HPHCF (■: 3.20 cm/s, ▲: 17.45 cm/s, ◀: 38.81 cm/s, □: 12.00 cm/s, △: 32.51 cm/s, ◁: cm/s, pressure : 50 psi).

Figure 2에 나타내었다. Figure 2에서 보는 바와 같이 HPHCF 제조 시 핫멜트를 분사시키는 압축공기의 분사압력이 증가할수록 수지 부착량이 증가하다가 50 psi일 때 가장 높은 수지 부착량을 나타내었으며 그 이상의 압력에서는 오히려 수지부착량이 감소하는 결과를 나타내었는데, 이로써 화학필터 소재의 제조시 핫멜트의 분사압력은 50 psi가 최적임을 알 수 있었다.

또한 HPHCF 제조 시 점착제와 압축공기의 온도에 따른 영향을 알아보기 위하여 온도를 변화시켜 가면서 온도에 따른 영향을 측정하여 Figure 3에 나타내었다. Figure 3에서 보는 바와 같이 온도가 증가하면 도포되는 점착제의 양도 증가하고 수지 부착량도 증가하였음을 알 수 있다. 그러나 453 K에서는 점착제의 양은 증가하였으나 수지 부착량은 감소하는

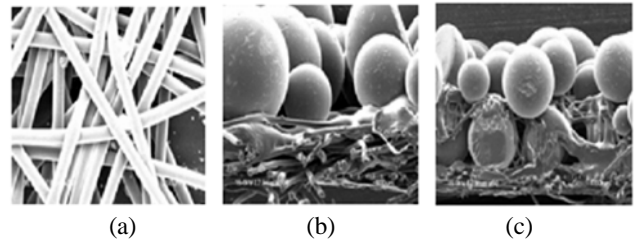


Figure 5. SEM photographs of HPHCF according to ply number; (a) ion exchange fabrics (IEF) (b) 1 ply (c) 2 plies.

Table 5. Ion exchange capacities of Ion exchangers.

Ratio		IEC (meq/g)
Resin (g)	IEF (g)	
10	-	2.20
-	5.0	2.40
10	5.0	2.31
20	5.0	2.37
30	5.0	2.45
40	5.0	2.63

것을 볼 수 있는데 이는 APAO계 점착제의 점도가 453 K에서 2500 cps로 흐르는 성질이 강해 뭉침 현상이 일어나기 때문에 점착제의 양은 증가하지만 수지 부착량은 감소하는 것으로 판단된다.

4.2. HPHCF의 물성

제조된 화학필터 소재의 부착강도를 측정한 결과를 Figure 4에 나타내었다. Figure 4는 제조조건에서 최적 조건으로 규명된 분사압력 50 psi에서 시간을 변수로 소재의 무게변화를 나타낸 것으로 Figure 4에서 보는 바와 같이 이온교환섬유의 무게는 유속별로 처음 10 min까지 0.05 g 감소하였고 그 이후에서는 무게 변화가 없었다. 따라서, 본 연구에서 web spray법을 이용하여 제조한 HPHCF의 부착강도는 우수한 것으로 판단 되었다.

4.3. Morphology 관찰

HPHCF 내에 섬유기재와 수지간의 계면 결합력 및 형태를 관찰하기 위하여 전자현미경 사진을 관찰하여 Figure 5에 나타내었다. Figure 5는 섬유와 수지의 결합을 위해 도포한 점착제의 분포와 이로 인한 표면의 형태를 관찰한 SEM사진으로 Figure 5(a)은 이온교환섬유의 SEM 사진이며 Figure 5(b)는 single layer의 단면, (c)는 double layer의 단면을 관찰한 SEM사진이다. 이온교환섬유에 핫멜트 점착제를 분사하고 거기에 이온교환수지가 점착된 형태의 SEM 사진으로 Figure 5(b),

Table 6. Adsorption breakthrough data of HPHCF for 100 ppm NH₃ gas in 5 L/min ; Ply of Ion exchange resin (1 ply: 1.25 g, 2 plies: 1.9 g, 3 plies: 2.5 g, 4 plies : 3.4 g)

ply	Adsorption time (min)											
	0	5	10	15	20	25	30	50	80	100	120	140
1	1.00	0.36	0.32	0.33	0.37	0.42	0.45	0.57	0.66	0.71	0.80	0.90
2	1.00	0.35	0.28	0.31	0.37	0.42	0.45	0.62	0.71	0.73	0.80	0.90
3	1.00	0.34	0.27	0.25	0.27	0.28	0.31	0.41	0.60	0.64	0.65	0.68
4	1.00	0.04	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.20	0.37	0.58	0.62	0.65

Table 7. Adsorption breakthrough data of HPHCF for 100 ppm NH₃ gas in 5 L/min ; Mass of HPHCF (3.4 g, 10.2 g, 17.0 g, 34.0 g)

Mass of HPHCF (g)	Adsorption time (min)										
	0	10	12.5	13	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100
IEF	1.00	0.21	0.23	0.27	0.43	0.63	0.83	0.84	0.85	0.85	0.86
3.4	1.00	0.011	0.13	0.24	0.38	0.52	0.65	0.73	0.81	0.82	0.83
10.2	1.00	0.12	0.09	0.19	0.35	0.44	0.61	0.63	0.68	0.69	0.70
17.0	1.00	0.08	0.07	0.17	0.24	0.40	0.48	0.54	0.62	0.63	0.64
34.0	1.00	0.04	0.04	0.02	0.11	0.15	0.24	0.36	0.44	0.47	0.50

(c)에서 보는바와 같이 이온교환섬유 표면에 점착제가 거미줄 형태로 분산되어있고 여기에 수지가 부착되어 있는 형태로 점착제에 의한 수지 표면에 필름이 형성되지 않아 점착제에 의한 수지의 기능저하가 없는 것으로 판단되었다. 또한 수지를 2층 이상으로 적층하였을 경우에도 Figure 5(c)에서 보는바와 같이 점착제에 의한 수지의 표면에 완전히 코팅되어 있지 않아 수지와 섬유 이온교환체 본래의 기능저하가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

4.4. 이온교환용량 측정

수지 및 섬유와 이들을 조합한 HPHCF의 이온교환용량을 측정하였는데 그 결과가 Table 5에 나타나 있다. Table 5에서 보는바와 같이 HPHCF의 이온교환용량은 수지 부착량이 증가함에 따라 증가하였으며 단일 수지와 이온교환섬유의 이온교환용량과 거의 비슷한 경향을 보였다. 이는 이온교환섬유에 수지를 결합시키기 위한 점착제가 섬유와 수지의 일부분을 감싸고 있어 이온교환 용량이 작게 나타나는 것으로 사료되었다.

4.5. 암모니아 흡착

HPHCF의 염기성 가스에 대한 흡착성능을 확인하기 위하여 흡착가스의 농도, 유속 및 흡착소재의 양에 따른 흡착실험을 한 결과가 Tables 6~9에 나타나 있다.

Table 6은 상온에서 100 ppm NH₃를 5 L/min으로 고

정하고 이온교환섬유에 수지의 적층량을 달리하여 제조한 HPHCF의 암모니아에 대한 흡착실험을 행한 결과로 Table 6에서 보는바와 같이 암모니아 가스에 대한 흡착율은 수지의 적층량이 증가함에 따라 증가하였으며 R-4 소재의 경우 최대 94%의 흡착율을 보였으며 이들의 흡착율은 동일 조건하에서 수지나 섬유에 비해 높게 나타났다. 이들 소재에 대한 흡착과과 시간 또한 적층량이 증가할수록 증가하였으며 이들 결과는 앞에서 설명한 이온교환용량과 잘 일치하는 경향을 보였다.

한편 Table 7은 R-4 흡착소재의 칼럼 충전량을 달리하여 일정한 농도와 유속에서 흡착실험을 행한 결과로 Table 7에서 보는 바와 같이 흡착소재의 충전량이 증가할수록 흡착 파과시간은 증가하였으며 소재를 10겹 충전한 실험결과 흡착 파과시간이 13 min으로 느려지는 것을 확인할 수 있었다. 이렇게 흡착시간이 길어지는 원인은 흡착제 양의 증가로 인하여 암모니아의 소재 내부 확산에 의한 접촉시간이 증가하기 때문이며 이로 인한 흡착효율도 증가하여 흡착과과 시점에서 최대 98%의 흡착율을 보였다.

Table 8은 100 ppm의 NH₃의 유량 변화에 따른 흡착 파과시간을 알아본 결과로 Table 8에서 보는 바와 같이 암모니아 흡착 파과시간은 유량이 증가함에 따라 동일조건 하에서 빠르게 진행되었으며 유량 30 l/min에서 흡착과과는 약 8분에서 이루어 졌으며 5 l/min로 낮은 유량에서 흡착 파과시간은 20 min으로 길게

Table 8. Effects of gas flow rate and adsorption time on the removal efficiency (100 ppm NH₃ gas, 3 plies: 10.2 g)

Flow rate (ℓ /min)	Adsorption time (min)							
	0	8	10	13	20	30	40	50
5	1.00	0.17	0.11	0.10	0.09	0.13	0.15	0.16
10	1.00	0.11	0.08	0.13	0.21	0.40	0.48	0.61
20	1.00	0.12	0.10	0.17	0.35	0.64	0.81	0.83
30	1.00	0.13	0.14	0.27	0.57	0.81	0.82	0.83

Table 9. Effects of gas concentration and adsorption time on the removal efficiency (flow rate : 20 L/min, 3 plies: 10.2 g)

Conc. (ppm)	Adsorption time (min)											
	0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	125	150	175
25	1.00	0.14	0.13	0.18	0.22	0.26	0.29	0.32	0.36	0.41	0.44	0.45
50	1.00	0.12	0.13	0.23	0.30	0.32	0.41	0.42	0.44	0.50	0.62	0.67
75	1.00	0.11	0.17	0.23	0.31	0.42	0.50	0.52	0.54	0.62	0.71	0.80
100	1.00	0.05	0.31	0.37	0.61	0.64	0.63	0.69	0.71	0.73	0.78	0.82

나타났다. 이렇게 유량이 낮을 때 흡착 파과시간이 길어지는 이유는 암모니아의 농도가 낮아 동일 유속에서 복합소재 내부까지 내부 확산이 용이해져 흡착 파과 시간이 길어지는 것으로 사료되었다.

한편 Table 9는 암모니아의 농도를 달리하여 흡착 실험을 한 결과로 Table 9에서 보는 바와 같이 암모니아의 농도가 증가함에 따라 흡착 파과시간은 짧아졌으며 흡착효율은 95%로 높게 나타났다. 반면 암모니아의 농도가 낮을 경우 흡착 파과 시간은 길어졌으나 흡착율은 낮아 암모니아의 농도가 25 ppm일 경우 파과 시간은 25 min이었으며 흡착율은 87%로 낮은 경향을 보였다. 따라서 본 연구결과 흡착소재의 암모니아에 대한 흡착효율의 증가와 흡착 파과시간을 줄이기 위해서는 농도를 50 ppm 이상으로 유지하는 것이 바람직하다고 사료된다[10-14].

5. 결 론

Web spray방법을 이용하여 HPHCF의 제조 특성 및 암모니아 가스에 대한 흡착거동을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) HPHCF의 제조 시, 핫멜트와 비드상 이온교환수지의 최적 제조 조건은 분사압력 50 psi, hot melt 온도 170°C에서 가장 최적의 제조 조건을 나타냈다.

2) 제조된 HPHCF의 부착강도 측정 결과 HPHCF의 무게는 10 min까지 0.05 g 감소하였고 그 이후에서는 무게 변화가 없는 것으로부터 HPHCF의 기계적 물성 저하가 없는 것을 확인하였다. 또한 점착제가 이온교

환 섬유 표면에 거미줄 형태로 분산되어 고르게 이온교환 수지를 코팅하고 있어 점착제에 의한 이온교환용량의 저하가 없는 것을 확인하였다.

3) HPHCF의 이온교환용량은 수지 부착량이 증가함에 따라 증가하였으며 단일 수지와 이온교환섬유의 이온교환용량보다 크게 나타났다.

4) 암모니아 가스에 대한 흡착율은 수지의 적층량이 증가함에 따라 증가하였으며 최대 94%의 흡착율을 보였다. 또한 이들의 흡착율은 동일 조건하에서 수지나 섬유에 비해 높게 나타났다.

5) 흡착소재의 충전량이 증가할수록 흡착 파과시간은 증가하였으며 최대 흡착 파과시간은 13 min이었다. 또한 암모니아 흡착 파과시간은 유량이 증가함에 따라 빠르게 진행되었으며 유량 30 ℓ /min에서 흡착 파과는 약 8 min이었고 유량 5 ℓ /min에서 흡착 파과시간은 20 min이었다. 한편 암모니아의 농도가 증가함에 따른 흡착 파과시간은 짧아졌으며 흡착효율은 95%이었다. 그러나 농도 25 ppm일 경우 파과시간은 25 min으로 길어졌으며 흡착율은 87%로 낮게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2008년 중소기업청 산학공동기술개발(선도) 지원사업에 의하여 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Fritsch, O. F. Sankey, K. E. Schmidt, and J. B.

- Page, "Chemical Reactions of Ammonia with Polar and Non-polar Semiconductor Surfaces", *Surf. Sci.*, **427**, 298 (1999).
2. M. Sasaki, S. Sugawara, and S. Yamamoto, "Adsorption on to Compound Semiconductor Surfaces Studied by Pulsed Molecular-beam Scattering", *Surf. Sci.*, **433**, 811 (1999).
 3. Y. C. Nho, J. L. Garnett, P. A. Dworganyan, *J. Polym. Sci.*, **31**, 163 (1993).
 4. J. S. Park, Y. C. Nho, and T. S. Hwang, *Polymer (Korea)*, **21**, 701 (1997).
 5. J. S. Park, Y. C. Nho, and J. H. Jin, *Polymer (Korea)*, **22**, 39 (1998).
 6. J. S. Park and Y. C. Nho, *Polymer (Korea)*, **22**, 47 (1998).
 7. J. Netting, "North Carolina Reflects on Ammonia Controls", *Nature*, **406**, 928 (2000).
 8. K. H. Kim, "Performance characterization of the GC/PFPD for H₂S, CH₃SH, DMS, and DMDS in air", *Atmospheric Environment*, **39**(12), 2235 (2005).
 9. K. Sugasaka, S. Katoh, N. Taki, A. Takahashi, Y. Umezawa, *Sep. Sci. Technol.*, **18**(4) 307 (1983).
 10. V. S. Soldatov, G. I. Sergeev, and R. V. Martsinkevich, *Dokl. Akad. Nauk, USSR*, **28**, 1009 (1984).
 11. V. S. Soldatov, *Izvest. Acad. Nauk BSSR, Chem. Ser.*, **6**, 39, (1982).
 12. J. S. Kim, H. K. Park, S. D. Kim, H. S. Yu and K. I. Rhee, *J. Kor. Inst. of Met. & Mater.*, **30**, 600 (1992).
 13. C. S. Shin and T. H. Lee, *J. Kor. Inst. Chem. Eng.*, **27**, 588 (1989).
 14. T. Kawai, K. Saito, K. Sugita, T. Kawakami, J. Kanno, A. Katakai, N. Seko, and T. Sugo, *Radi. Phys. and Chem.*, **59**, 405 (2000).