VOCs를 회수하는 흡·탈착율이 우수한 폐모노머 활용 고분자 흡착제 개발

박태선† · 김윤섭* · 조성곤**

㈜이엔켐텍

*전남대학교 화학시스템공학과

**순천제일대학교 산업안전관리과

Development of Polymer resin using Spent monomer excellent a absorption and desorption rate recovered of VOCs

Tae-Seon Park† · Youn-Sop Kim* · Seong-Gon Cho**

E&Chem TEC Co., Ltd.

**Department of Chemical System Engineering, Chonnam National University*

***Department of Industrial Safety Management, Suncheon First College*

Abstract

This study is designed for the polymeric absorbent as to absorb nonpolar aromatic VOCs well while sustaining nonpolar property at most cases as well as allow a microwave heating in case moisture is provided by adding polar hydroxyl groups properly.

The hydroxyl group is very polar and a hydrophile feasible to form hydroxyl group with water. After forming the bead by adding the vinylacetate besides styrene or DVB, hydroxyl group is introduced to the surface of the bead through hydrolysis.

Overall(general) physical properties, specific surface area($540m^2/g$), the size of pore(53Å), density(0.24g/ml), and thermostability(thermal decomposition temperature, over than 300℃) are outstanding.

The Absorption Efficiency of formed absorbent was 80%, higher than one of existing commercialized Optipore V503 on benzene(50%). In case of the Absorption Efficiency, it was 75%, similar to one of Optipore of V503.

Keywords : Microwave, Hydroxyl group, Absorption rate, Desorption rate, Specific surface area

1. 서 론

마이크로파에 의해서 흡착된 VOCs가 탈착되기 위해서는 VOCs 자체가 마이크로파를 흡수하여 가열되거나 아니면 흡착제가 마이크로파로 가열 되어야 한다. 하지만 비극성 VOCs는 마이크로파를 흡수하지 못하기 때문에 고분자흡착제가 마이크로파에 의해서 가열되어야 한다. 그러나 방향족계 비극성 VOCs를 흡착하기 위해서는 흡착제도 비극성

†Corresponding author E-mail: tspark0422@hanmail.net

방향족계로 이루어져야 하지만, 순수한 방향족계 고분자 흡착제는 마이크로파를 흡수하지 못한다는 문제점을 안고 있다. 따라서 본 사업에서는 고분자 흡착제가 대체적으로 비극성을 유지함으로써 비극성 방향족계 VOCs를 흡착하여 동시에 극성 작용기(예:히드록실기, 카르복실기)를 적절히 삽입함으로써 수분을 흡수하여 마이크로파 가열이 가능하도록 한다.

본 연구에서 개발된 제법을 활용하여 흡착제 성능지표인 비표면적이나 안정성 등의 요소기술이 확보되어 향후 타제품의 개발 등에 활용이 가능하다. 개발이 성공적으로 수행될 경우, 아파트 등의 주거지역에서 운영되는 세탁소를 비롯하여 주유소 및 자동차정비센터 등의 소규모에서 산업단지의 중· 대규모의 시설에 이르기까지 다양하게 적용이 가능하여 VOC의 처리비용의 감소로 인한 도장시설, 세정시설, 저장시설 등의 산업시설의 활성화를 기대하며 무엇보다도 대기환경개선에 대한 국민의 건강과 사회부대비용이 매우 저감될 것으로 기대한다.

2. 국내외 · 관련 기술현황

2.1. 국내

고분자 흡착제를 사용한 마이크로파 탈착의 장점에 대해서는 90년대 말에 문헌에 발표된 바가 있지만, 구체적으로 VOCs 부류에 따른 적합한 고분자 흡착제에 대한 구체적인 연구결과는 아직까지 발표된 바가 없다. 지금까지 상품화되어진 고분자 흡착제는 비극성 방향족계이거나 극성 아크릴계로서, 마이크로파 탈착 시스템에 활용하기 어렵다. 국내에서 상품화된 고분자 흡착제를 확인할 수 없는 반면, 국내외에서 널리 사용되어 지고 있는 국외의 흡착제로써 DOWEX사의 OPTIPORE가 존재한다.

(주)테크원 환경에너지사업부 및 한국에너지기술연구원 에너지저장연구센터에서는 고분자 흡착제 OPTIPORE를 사용하여 Toluene, MEK, Cyclohexanone 및 수분의 흡착평형에 대한 연구를 수행한 바 있다.

Microwave를 이용한 흡·탈착 농축 설비는 기존의 활성탄 탈착 시 hot steam, hot air 보다 에너지 효율 측면 및 탈착효율시 우수함을 측정하였다. 또한 마이크로웨이브를 이용한 흡·탈착설비의 장점으로 마이크로웨이브 가열은 피 가열물 자체가 발열하기 때문에 열전도에 의하지 않고 내부의 온도를 높일 수 있으므로 가열에 요하는 시간을 크게 단축시킬 수 있고 예열과정이 필요없기 때문에 열효율 및 처리효율이 비교적 높다는 점을 확인하였다. 그러나 VOCs 흡착제로서 그 동안 많이 사용해온 활성탄소는 열적안정성이 좋지않기 때문에(200℃ 이상에서 가연성) 마이크로파를 이용한 탈착 및 회수에는 적합지 않은 것으로 알려졌고 제올라이트는 탈착하는 과정에서 발화하거나 탄화하는 특성이 관찬되었다. 그러므로 유기물 흡착성이 우수하며, 가교시킬 경우에는 열안정성도 우수한 고분자 흡착제를 마이크로파를 이용한 VOCs 처리에 사용한다면 높은 효율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 아직까지 고분자 레진을 사용한 연구발표는 문헌에서 거의 찾아 볼 수 없다. 그러나 단량체들을 잘 조합하면 극성과 비극성 VOCs을 각각 흡착할 수 있는 다양한 종류의 고분자 bead 제조가 가능할 뿐만 아니라, 제조비용도 높지 않다. 따라서 본 과제를 수행하게 되면, 마이크로파를 이용한 VOCs 처리에 활용할 수 있는 고분자 bead들이 처음으로 개발될 것이다. 또한 설비의 단순화를 꾀할 수 있고 전력의 제어가 용이하므로 응답이 빨라 작업의 개시, 종료로부터 가열온도 조절 등을 쉽고 빠르게 할 수 있다는 강점이 있다. 뿐만 아니라 마이크로웨이브 시스템 설치 비용들은 전체 시스템 소요 비용들 중에서 비교적 작은 부분이며, 효율적인 운전을 통하여 회수 시스템과 후처리 시스템

의 비용을 줄일 수 있을 것으로 본다. 그러므로 마이크로웨이브에 의한 흡·탈착 농축 시스템은 도정공정은 물론 중소규모 및 대규모 산업 현장에 적용이 가능할 것으로 사료되며, 적용성 검토에 있어 회수 대상물질의 경제적 가치 및 유해성이 높을수록 좋으며, 특정한 조건에서 매우 합리적인 요구 기술이 될 수 있다.

2.2. 국외

마이크로웨이브를 흡·탈착공정에 이용하기 위한 연구로는 각 물질별로 흡·탈착하여 응축시켜 제거하는 방법이 주로 연구되어 실용화 단계에 있으며, 최근 동시에 처리할 수 있는 건식방법이 많이 연구되어지고 있다. 미국 등 선직국에서 실용화를 위한 기술향상에 주력을 하고 있고 건조 등 일부분야에서 산업화가 진행되어지고 있으나 기술이 아직은 도입단계에 있는 공정기술인 만큼 매우 고가의 기술료 및 장치비를 요구하고 있어 널리 보급되어지지는 않은 상태이다. 일본과 중국에서도 마이코로웨이브를 이용한 연구가 활발하게 진행되어지고 있으나 아직은 실용화에 이르지 못했다.

미국의 Wyoming대학이 주축으로 “Ground Surface Pollutants”를 처리하기 위한 기술개발 연구가 진행되었고 현재 실용화를 위하여 연구가 진행되어 지고 있다. 또한 메사추세츠대학의 Turner 등은 메탄올(극성분자)과 싸이클로 헥산(비극성분자)의 제올라이트에 대한 흡착에서 마이크로웨이브를 조사하였을 때 흡착과 탈착현상에 대한 연구를 실시하였는데, 메탄올과 같은 극성분자는 마이크로웨이브에 의하여 활성화되어 쉽게 탈착이 일어나고 비극성분자인 싸이크로 헥산의 탈착현상은 마이크로웨이브에 거의 영향을 받지 않는 것으로 보고하였다.

Price, D.W., 와 P.S. Schmidt 등은 VOCs의 회수시험을 microwave와 카본계열이 아닌 흡착제를 이용하여 수행하였다.

흡착제로는 molecular sieves 5A, 13X, UOP Molsiv High-silica Zeolite, Dowex Optipore 등을 사용하였으며, 용매로는 물, MEK(methyl ethyl ketone), toluene, n-propyl acetate 등을 이용하여 탈착시험 장치를 이용하여 각각의 흡착에 대한 탈착실험을 수행하였다. 중요결과로 microwave에 의한 전체적인 탈착효율이 기존의 탈착방법에 비하여 비교적 매우 높게 나타냈고 탈착율은 흡착제뿐만 아니라 용매의 유전손실의 계수(dielectric loss factor)와 매우 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 또한 그들은 회분식 및 연속식의 반응공정을 설계하여 반응의 운전요소 등에 대하여 연구하였으며, 흡착제로 낮은 유전손실계수인 polymeric 계열의 흡착제와 반응탑이 진공유지상태(약 5 torr absolute pressure)에서 가동하는 것이 유리하다고 발표하였다.

2.3. 기존 흡착제의 문제점

기존 고분자 흡착제는 단순히 비극성 방향족계이거나 극성 아크릴계이다. 비극성 방향족계 흡착제는 비극성 VOCs 흡착 효율은 높지만, 비극성 VOCs와 흡착제 모두 마이크로파를 흡수하지 못하고 투과시키기 때문에 흡착된 비극성 VOCs가 마이크로파에 의하여 탈착될 수 없다. 반면에, 극성 아크릴계 흡착제는 마이크로파를 매우 약하게 흡수할 수는 있지만, 극성과 낮은 친화도로 인하여 비극성 VOCs를 효율적으로 흡착하지 못한다. 고분자 흡착제를 사용하는 마이크로파 탈착의 장단점에 대한 내용은 문헌에 있지만, 마이크로파 탈착용 고분자 흡착제를 연구결과는 찾아보기 힘들다. 특히, 고분자 흡착제를 이용하여 비극성 VOCs에 대한 마이크로파 탈착 연구는 아직까지 문헌에 보고된 바가 없다. 즉, 지금까지 개발되어 상품화된 고분자 흡착제는 비극성 VOCs에 대한 마이크로파 탈착용

고분자 흡착제로 활용할 수가 없다.

3. 연구방법

본 연구에서는 고분자 흡착제의 주원료인 Styrene Monomer(순도 99% 이상)를 기존 폴리머 공장에서 폴리스타일렌 제조 시 부생하는 폐자원 혼합물(순도 약 70%)를 사용하여 흡·탈착 효율이 기준 제품대비(순수 SM 사용) 동등이상이며, 저렴한 제조원가의 가격경쟁력이 있는 고분자 흡착제를 연구하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 폴리스틸렌 제조공정에서 부생하는 폐스틸렌 혼합물의 특성

폴리스틸렌 제조 공정시 부생하는 폐자원을 재활용하기 위하여 두 지점의 공정에서 나오는 시료를 2개의 시료를 선택하여 원료로서 사용여부를 평가하기 위하여 시료를 GC-Mass를 사용하여 분석하였다(Fig. 1-Fig. 2). Fig. 1에서 체류시간이 4.58 min에서 스틸렌 모노머 값이 높은 피이크 면적으로 많이 검출되었으나 Fig. 2에서는 거의 나타나지 않았다. 또한 Fig. 3-Fig. 6은 2개의 시료를 사용하여 고분자 중합 실험으로 제조한 시료를 DSC와 TGA 열분석 결과로서 Fig. 3의 DSC 결과에서 보면 150-200 ℃의 유기물의 화학반응에 의한 발열 피이크가 보이지만 Fig. 5에서는 거의 나타나지 않았다. Fig. 4의 TGA 곡선에서도 성분이 비슷한 물질이 400 ℃ 부근에서 열중량 감소가 일어나지만, Fig. 6은 200 ℃와 400 ℃ 부근에서 열중량 감소가 일어났다.

이것은 SM-2가 중합반응이 일어날 수 있는 불포화 결합이 있는 스틸렌 모노머가 아주 적어 중합이 일어나지 않았기 때문에 200 ℃ 부근에서 저분자 유기물이 낮은 온도에서 중량감소가 일어났다.

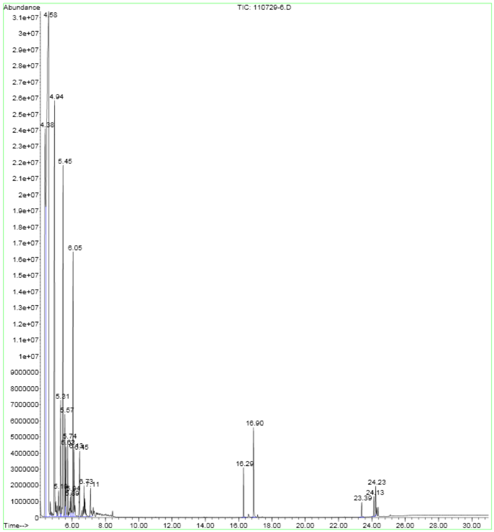

Fig. 1. The GC/MS plot of the Spent SM-1.

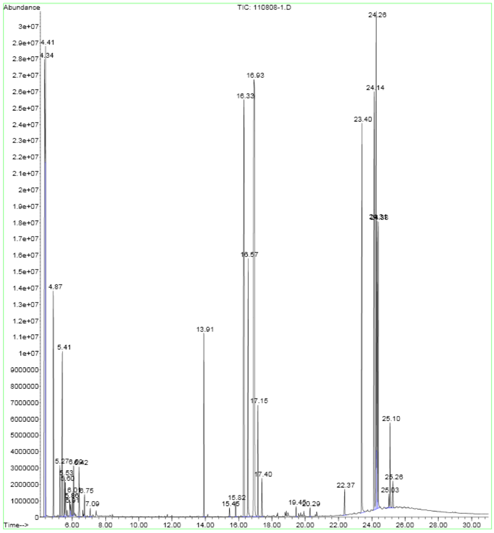

Fig. 2. The GC/MS plot of the Spent SM-2.

실제 SM-1과 SM-2의 시료를 사용하여 중합실험을 할 경우 SM-2는 중합반응중 심한 악취가 나고 수율이 낮아서 본 연구의 시료로서는 적당하지 않은 것으로 판단되어 본 실험에서는 SM-1를 중합시료로 사용하였다. SM-1과 SM-2의 시료의 GC-Mass 크로마토그램의 결과로 부터 얻어진 각 피이크의 검색성분 분석결과를 Table 1에 나타내었다.

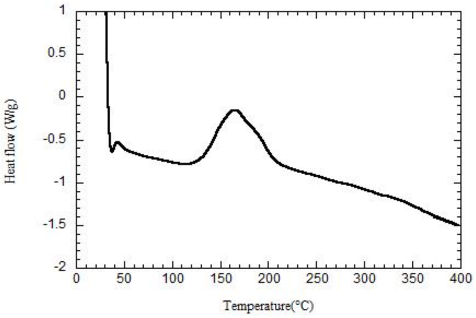

Fig. 3. The DSC curve of the Spent SM-1.

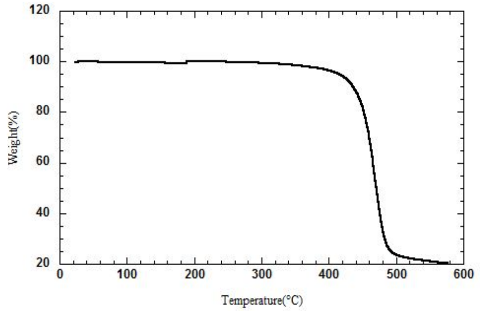

Fig. 4. The TGA curve of the Spent SM-1.

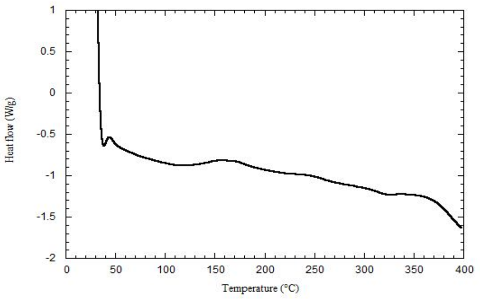

Fig. 5. The DSC curve of Spent SM-2.

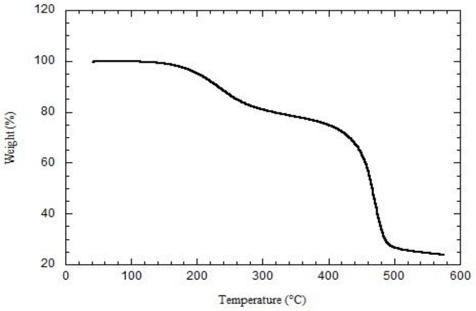

Fig. 6. The TGA curve of the Spent SM-2.

Table 1. The componential analysis of Spent Styrene compounds from the manufacturing process of PS(Polystyrene)(%)

성분 / 시료	스틸렌 모노머	메틸에틸 벤젠	프로필 벤젠	기타
폐 SM-1[1)]	72	11	7	21
폐 SM-2[2)]	28	3	3	76

1) 폴리스틸렌 제조공정중 제1부산물
2) 폴리스틸렌 제조공정중 제2부산물

4.2. 시료 제조

4.2.1. 고분자 흡착제 비드 제법의 기초 기술 확립

고분자 비드는 현탁중합(suspension polymerization)을 통하여 제조될 수 있다. 본 연구에서는 우선 상품화되어 구입할 수 있는 styrene-divinylbenzene(ST-DVB) 고분자 비드를 제조하는데 필요한 기초기술을 확립하고자, 문헌조사와 여러 번의 실험을 통하여 Fig. 7에 나타낸 바와 같은 고분자 비드 제법을 확립하였다. 간략히 설명하면, 증류수, tricalcium phosphate(TP), polyvinyl alcohol(PVA)를 반응기에 넣고 교반하면서 40 ℃로 가열하여 수용액을 만든다. 이어서 ST, DVB(55%, m-/p-isomers), 톨루엔, n-헵탄, polystyrene(PS), 2,2'-azobisisobutyronitrile(AIBN), benzoyl peroxide(AIBN), benzoyl peroxide(BPO) 혼합물을 용액으로 제조하여 100 rpm으로 교반하면서 위의 수용액에 (40 ℃) 1 시간 동안 첨가하고, 80 ℃에서 2시간 교반 후에, 200 rpm으로 교반하면서 24시간 동안 반응시키고 실온으로 냉각한다. 침전된 고분자 비드는 여과 후에 톨루엔으로 세척하고 실온에서 24시간 건조한 후, 80 ℃ 진공오븐에서 24시간 건조하였다. 건조된 비드들은 sieve를 이용하여 크기별로 분류하였다.

비드의 제반 물성은 DVB 함량, 희석제의 존재 여부와 종류 및 함량, 오일상과 수용액

상의 비율 등에 의하여 영향을 받는다. 본 실험에서 제조된 입자들은 모두 투명한 구형의 비드로 관찰 되었다. 또한 교반 속도와 첨가제들의 함량을 변화시킴으로써 비드크기를 어느 정도 조절할 수 있었다. 그러나 비드가 투명하게 보인다는 것은 기공과 비표면적이 매우 작기 때문에 흡착제의 역할을 효율적으로 하지 못한다는 것을 의미한다. 고분자 수지 입자에 세공을 형성시키기 위해서 보통 단량체 혼합물과 함께 세공형성제를 같이 사용하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이러한 세공 형성제로는 일반적으로 유기용매 혹은 유기용매와 PS와 같은 선형 고분자의 혼합물을 사용하기도 한다. 따라서 세공과 비표면적의 형성을 위하여 세공형성제로서 toluene, n-heptane을 사용하여 비드를 제조하였다. 제조된 비드들의 SEM 사진을 확인한 결과, 세공 형성제를 사용하지 않은 경우에 비하여 표면이 거칠고, 단면에는 많은 작은 알갱이들이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 많은 기공이 생성되어 비표면적이 향상되었음을 나타낸다. 세공형성제로서 PS와 같은 고분자를 첨가하면 기공이 더 커진다고 알려져 있다. 따라서 세공형성제로서 톨루엔과 헵탄 외에 PS를 첨가하여 비드를 제조하고, SEM 사진을 확인한 결과 내부에 알갱이 크기가 PS 함량에 따라 증가하는 것을 관찰하였다. 이들의 BET 비표면적을 측정한 결과 기대와

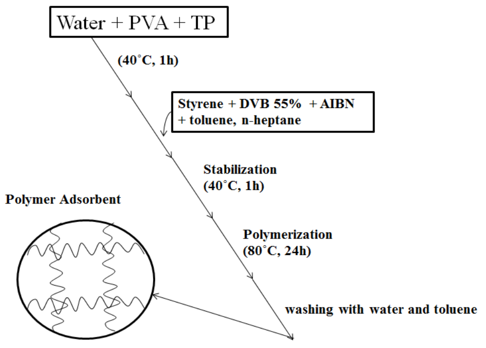

Fig. 7. The manufacturing process of polymer resin.

는 달리 매우 작게 측정되었다. 이러한 결과는 PS가 존재함으로 인하여 기공 크기가 너무 커져서 비표면적이 작아진 것으로 판단하고 세공형제로서 유기 용매만을 사용하기로 하였다. 즉, 세공형성제로서 톨루엔과 이소옥탄(혹은 헵탄)을 사용하여 제조한 결과 BET 표면적과 기공크기에 있어서 모두 만족스러운 결과를 얻음으로써 고분자 흡착제용 비드의 제조에 필요한 기초기술을 확립하였다.

4.2.2. 고분자 흡착제 비드의 극성 제어 : -OH 기

최적화된 실험 조건을 활용하여 다음과 같은 배합비를 갖는 -OH기의 고분자 흡착제를 최종적으로 제조하였는데, 오일상과 수용액상의 비를 1:2로 하였고 물을 충분히 사용하였다. 사용된 배합비는 Table 2에 나타내었다. 3구 둥근 플라스크에 2차 증류수, TP, 그리고 PVA를 투입하고, 교반하면서 40 ℃까지 승온한 다음 1시간 동안 PVA를 용해하여 수용액상을 만들었다. 둘째로 다른 3구 플라스크에 ST, DVB, toluene, n-heptane, VA, AIBN, BPO 50%를 투입하고 40 ℃에서 30분 동안 교반함으로서 오일상을 제조하였다. 제조된 오일상을 수용액상에 투입하여 40 ℃, 1시간 동안 100 rpm으로 교반하면서 액적을 안정화시킨 다음 80 ℃로 승온하여 2시간 동안 반응을 진행하고 다시 200 rpm 으로 교반속도를 높여 80 ℃에서 10시간 동안 유지하여 반응을 완료하였다. 그 후 KOH를 사용하여 24시간 동안 가수분해를 실시한 후, 속실렛(Soxhlet) 장치에서 dichloromethane을 사용하여 24시간 동안 추출하였다. 마지막으로 메탄올로 세척한 후 80 ℃ 진공오븐에서 24시간 이상 건조하였다.

가수분해 전후의 시료에 대한 Fig. 8의 FT-IR 스펙트럼에 의하면, 가수분해 후의 VA의 ester group은 거의 사라지고 대신에 -OH group이 생성되었음을 확인하였다. 즉 가수분해 전후에 변하지 않는 방향족 C=C 결합의

Table 2. The mixture ratio for the formation of Polymer Absorbent (Bead)

시 료	DVB (mL)	ST (mL)	BPO (g)	AIBN (g)	Toluene (mL)	Isooctane (mL)	TP (g)	PVA (g)	water (mL)
폐혼합물 시료	64	16	0.8	0.8	30	95	1.6	0.8	540

흡수피크(1450 cm^{-1} 부근)에 비교하여 흡수피크의 면적이 약 50% 감소하는 것으로 보아 가수분해되어 이온성 -OH로 전환되었음을 확인하였다.

제조된 비드의 열적 안정성은 Fig. 9의 TGA 열분석을 통하여 확인한 결과, 순수 스틸렌과 폐혼합물 스틸렌을 사용한 시료 모두 열분해는 약 300 ℃ 이상에서 일어나기 시작하였으며 열분해 곡선이 모두 유사하였다. 따라서 마이크로파 가열에 의한 고분자의 열적 분해 문제점은 거의 없는 것으로 판단된다.

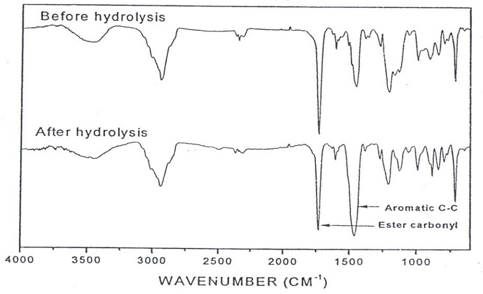

Fig. 8. IR-spectrum before and after hydrolysis of the polymer absorbent.

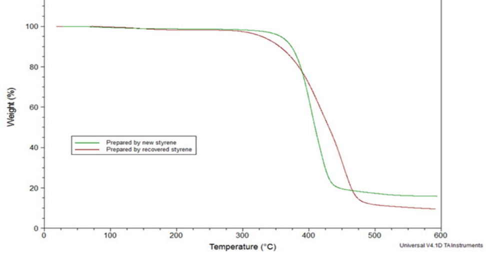

Fig. 9. TGA curves for the absorbent with polar hydroxyl group.

Fig. 10의 SEM 사진을 관찰하여 보면 (a) 순수한 원료, (b) 폐 스틸렌 혼합물을 사용하여 제조한 시료 모두가 많은 거친 균열이 발생하였다. 또한 BET 표면적, 다공성, 밀도 등을 측정하여 Table 3에 나타내었다. 측정값들은 모두 매우 우수한 것으로 나타났는데, 시료의 균열문제는 오일상과 수용액상의 혼합비율을 조절하면 해결될 수 있을 것으로 판단되나 이 부분의 연구내용은 향후에 좀 더 면밀하게 수행하여 보완하여야 할 것으로 보인다.

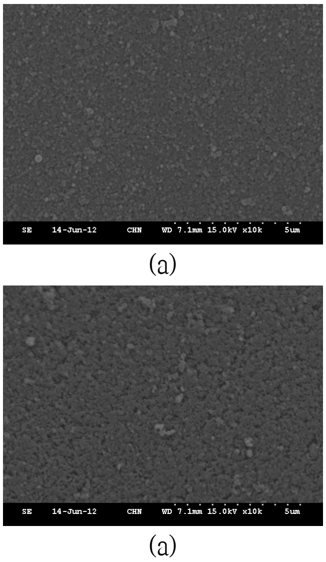

Fig. 10. The SEM of the Polymer Absorbent (a) Sample with fresh Styrene, (b) Sample with spent Styrene.

4.2.3. 고분자 흡착제 비드의 흡·탈착 특성 고찰

흡착실험은 비이커에 일정량의 흡착제를 넣어 무게를 측정하고 진공오븐에서 110 ℃

Table 3. The physical properties of the Polymeric Absorbent

Sample	Prepared using recovered styrene	Prepared using fresh styrene
BET surface area (㎡/g)	540	567
t-plot micropore area (㎡/g)	30	38
Total pore volume (㎖/g)	0.48	0.47
Micropore volume (㎖/g)	0.0146	0.0105
Average pore size (Å)	53	50
Density (㎖/g)	0.24	0.25

^{a}bead size : 1.7-300㎛

로 3시간동안 건조하여 무게의 변화가 없도록 수분과 잔존용제를 제거한다. 반응관 내에 건조된 흡착제를 충진한 후 마이크로파 오븐 내에 장착시킨다. 액상상태인 VOCs 물질은 주입부에 버블링이 가능한 밀폐된 비이커에 넣고 오븐 내에 장착하여 질소가스를 주입하여 증기화 한다. 증기화물질의 농도를 변화시키기 위하여 오븐의 온도 및 운반가스의 유량을 변화시키고 유량의 조절은 mass flow meter를 사용한다. 고분자 흡착제에 대한 탈착실험장치 및 마이크로파 및 Polymer bead를 이용한 흡·탈착 실험장치 흐름도 및 Microwave 오븐 내에 장착된 사진을 Fig. 11-Fig. 12에 나타냈다.

Table 4는 대표적인 VOCs인 벤젠에 대한 흡·탈착에 대한 실험결과를 나타내었는데 vinyl acetate를 사용한 흡착제의 경우 기존 상업화된 Optipore V503와 벤젠에 대한 흡착율은 약 50%이지만 제조된 흡착제의 흡착율은 80%로 높게 나타났고 카르복실기를 도입한 시료가 탈착효율도 75% 정도로 우수하였다. 이러한 결과는 극성기 함량이 증가함에 따라 비드의 수분 흡착율이 높아져서 마이크로파조사 시에 비드온도가 상승하고 온도하강이 더 느리게 일어나기 때문에 탈착효율이 높아지는 것으로 이해되고 있다. 실제로 비드의 극성기 함량이 증가할수록 마이크로파 조사 중 흡착제의 초기가 조금씩 더 높았으며 냉각속도가 더 느려지는 것으로 측정되었다. 특히 중요한 것은 현재 상업적으로 구입 가능한 DOWEX사 제품의 Optipore V503의 탈착율과 비슷하게 나타났다.

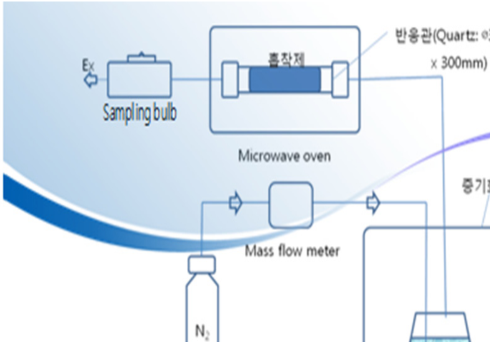

Fig. 11. The schematic diagram of experimental rig. for the absorption and deposition using microwave and polymer bead.

Fig. 12. The picture of 600W microwave oven, power generator and bead-charged reaction tube which is installed in microwave oven.

5. 결론

1) 기존 고분자 흡착제는 마이크로파를 흡수하지 않거나 마이크로파를 약간 흡수하는 경우에는 비극성 VOCs를 흡착하지 못한다는 단점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 고분자 흡착제가 대체적으로 비극성을 유지함으로써 비극성 방

Table 4. The Absorption[a] and Decomposition Efficiency[b] of polymer absorbent on the benzene by 600W microwave heating.

시 료	흡착율(%)	탈착율(%)
Optipore V503[c]	50	80
폐 스틸렌 혼합물 시료[d]	80	75

a. 흡착조건 : 벤젠에 2시간 침적 후 후드에서 자연 건조하고 무게 변화를 측정하여 계산 하였음.
b. 탈착조건 : power = 600 W, 탈착시간 = 30분, 탈착시에 수분공급
c. 사용된 비드의 직경 = 0.71-1.00 mm
d. 사용된 비드의 직경 = 대략 1.00 mm

향족계 VOCs를 잘 흡착하며, 동시에 극성 작용기인 히드록실기를 적절히 삽입함으로써 수분을 공급할 경우에는 마이크로파로 가열이 가능하도록 설계하였다. 또한 50 m^3/min의 유동상방식의 흡착탑을 설계 및 제작하여 도장시설에서 배출되는 VOCs 성분 중에 다루기 어려운 대표적 벤젠(Benzene)을 대상으로 하여 실험하였다.

2) 히드록실기(-OH)도 카르복실기와 마찬가지로 극성이 매우 크며 물과 수소결합을 할 수 있는 친수성기로 단량체로서 스틸렌과 DVB 외에 비닐아세테이트(vinyl acetate)를 추가하여 비드를 제조한 다음 가수분해 반응을 통하여 비드 표면에 히드록실기(-OH)를 도입하였다. 비표면적(540 m^2/g), 기공의 크기(53 Å), 밀도(0.24 g/mL) 및 열안정성 (열분해 개시온도: 300 ℃ 이상) 등 제반 물리적 특성은 우수하였다.

3) 히드록실기 함유 고분자 흡착제의 흡착특성은 기존 상업화된 Optipore V503의 벤젠에 대한 흡착율은 50%이지만 제조된 흡착제의 흡착율은 80%로 높게 나타났고 카르복실기를 도입한 시료의 탈착율은 75%로 Optipore V503와 유사하게 나타났다.

사 사

본 연구는 2011년도 중소기업청 산학연공동기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. D. W. Price, P. S. Schmidt(1998), J. Air & Waste Manage Association, 48, 1146 p.
2. S. H. Opperman, R. C. Brown(1999), Pollution Engineering, January, 58.
3. J. Seidl, J. Malinski, K. Dusek, W. Heitz (1967), Adv. Polym. Sci., 5, 113 p.
4. O. Okay(2000), Prog. Polym. sci., 25, 711 p.
5. K.A. Kun, R. Kunin, J. Polym(1968). Sci. Al, 6, 2689 p.
6. L. Li, J. Cheng, X. Wen, P. Pi, Z. Yang(2006), Chinese J. Chem. Eng., 14, 471 p.
7. D. W. Vankrerelen(2009), “properties & Dobymers“, 4th Ed. Elesevier.
8. 田崎裕人(2010), 架橋剤·硬化剤의 선택사용방법 노하우집, 技術情報協會(日本).