

실리콘 잉곳 절삭시 발생하는 폐 PEG 색도 개선에 관한 연구

조윤경* · 정경열*,† · 심민석** · 이기호**

*공주대학교 화학공학부
330-717 충남 천안시 부대동 275
**(주)실파인
336-862 충남 아산시 음봉면 신수리 374-2
(2011년 6월 13일 접수, 2011년 7월 16일 채택)

Chromaticity Improvement of PEG Waste from Wire Sawing of Silicon Ingot

Yun-Kyeong Cho*, Kyeong-Youl Jung*,†, Min-Seok Sim** and Gi-Ho Lee**

*Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 275 Budae-dong, Cheonan-si, Chungnam 330-717, Korea

**SILFINE Co., Ltd, 374-2 Shinsu-ri, Eumbong-myeon, Asan-si, Chungnam 336-862, Korea

(Received 13 June 2011; accepted 16 July 2011)

요 약

활성탄소 분말과 탄소필터를 이용하여 실리콘 페슬러리에서 회수한 폴리에틸렌글리콜(polyethylene glycol, PEG) 폐액의 색도 개선연구를 수행하였다. 활성탄소의 사용량, 흡착온도 및 흡착시간 변화에 따른 색도 변화를 관찰하였다. 탄소필터를 사용할 경우 충전된 활성탄소의 재생에 따른 성능 저하 여부를 검증하였다. 활성탄소의 표면적은 색도 개선에 큰 영향을 주지 않았다. 흡착제 함량에 따른 색도 변화 결과로부터 흡착제의 최적 사용량은 100~150 mg-C/g-PEG이었다. 흡착제 양을 고정하고 흡착 온도를 상온에서 100 °C까지 변화시키면서 PEG의 APHA(American Public Health Association) 색 값을 관찰한 결과 폐 PEG의 색도 개선을 위해서는 40~50 °C 온도에서 운전하는 것이 가장 효과적이었다. 활성탄소필터의 운전 조건별 APHA 특성을 관찰하였고 APHA=53인 폐 PEG를 APHA≤10로 정제 가능함을 확인하였다. 흡착에 사용된 활성탄소필터는 증류수를 순환시켜 세척함으로써 큰 성능 저하 없이 효과적으로 재생됨을 확인하였다.

Abstract – The chromaticity of polyethylene glycol (PEG) generated from the recycling of a silicone slurry waste was improved by using activated carbon powder and a carbon filter. The color change of the PEG waste was investigated by changing the amount of adsorbent, adsorption time and temperature. The surface area of activated carbon did not have a significant impact on improving the color of the PEG waste. According to the results for the APHA color variation of the PEG waste changing the amount of the carbon adsorbent, the optimal usage to achieve the low APHA value was 100~150 mg-C/g-PEG. From the investigation on the effect of the adsorption temperature range from 25 °C to 100 °C, it was found that the optimal temperatures were 40~50 °C in terms of achieving the lowest APHA value. The variation of the APHA color was investigated by changing the operation condition of the activated carbon filters. The use of ACF was a good way to enhance the chromaticity of the PEG waste. As a result, the APHA value of the PEG waste (APHA=53 at the initial waste) was reduced to be 10 through the ACF purification. It was also confirmed that the performance of the used carbon adsorbent can be recovered by the washing with purified water.

Key words: Polyethylene Glycol, Silicon Slurry Waste, Carbon, Recycling, APHA Color

1. 서 론

실리콘 웨이퍼는 컴퓨터, 전자제품, 산업용기계, 인공위성, 태양전지 등 다양한 산업분야에서 그 수요가 증가하고 있다[1]. 웨이퍼는 실리콘 잉곳(silicon ingot)을 줄톱으로 절삭하여 제조하는데 절삭 효율을 높이기 위해 절삭유와 연마제가 섞인 슬러리를 공급하면서 톱

질을 한다. 절삭유는 폴리에틸렌글리콜(polyethylene glycol, PEG)이 주로 이용되고 SiC를 연마제로 사용된다. 이러한 실리콘 잉곳의 절삭 과정에서 발생한 폐슬러리는 절삭유, 연마제 및 절삭된 실리콘 분말이 섞여있고 높은 점성을 가지고 있어 단순한 물리적 조작으로는 고형분 분리가 힘들기 때문에 특수폐기물로 분류되어 전량 소각 또는 매립 처리되고 있다. 이러한 소각/매립 방법은 처리비용이 높고 처리설비는 환경혐오시설로 분류되어 시설유치가 매우 어렵다. 또한, 소각하거나 매립할 경우 배출되는 가스 또는 침출수로 인하여 주위

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: kyjung@kongju.ac.kr

환경을 심각하게 오염시키는 문제점이 있다.

실리콘 페슬러리를 재활용하기 위해서는 먼저 슬러리 내에 있는 고형분을 물리적인 회수 및 정제과정을 거친 후 재활용되고, 제거되지 않은 고형분을 함유한 PEG 폐액은 다시 정제과정을 거쳐야 한다 [2]. 폐 PEG를 정제 후 재사용하기 위해서는 미세 고형분의 제거, 수분율 및 색도를 제어해야 한다. 잔존하는 미분체의 제거 및 색도를 개선하기 위해 화학적 시약을 사용하는 경우 제 2차 환경오염원을 발생시키는 단점이 있다. 따라서 환경친화적인 폐 PEG 정제기술 개발이 중요하다. 그럼에도 불구하고 PEG 폐액의 정제에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있다. 본 연구에서는 폐 PEG 내에 있는 고형분이 1차 제거된 폐액을 가지고 색도를 개선하기 위한 기초 연구를 수행하였다. 색도 개선에 있어 화학적인 방법이 아니라 물리적인 흡착을 통해 효과적으로 색도를 개선시킬 수 있는지 확인하는 것이 본 연구의 목적이다. 또한 다양한 흡착 조건에 대한 영향을 파악하고 실리콘 폐 슬러리로부터 나온 폐 PEG의 색도 개선을 위한 기초 정보를 제공하고자 한다.

활성탄소는 가장 범용적으로 사용되는 다공성 흡착제로 큰 표면적을 가지고 있다. 또한 상대적으로 무극성인 표면을 가져 유기 화합물 제거에 많이 이용되어 왔다[3]. 활성탄소의 원료는 석탄계 및 식물계가 있고 일반적으로 석탄을 많이 사용하지만 재생 및 회수가 용이하여 대체에너지 자원으로 각광을 받고있는 왕겨, 코코넛 및 땅콩 껍질과 같은 바이오매스 자원을 이용한 제조가 활발히 연구되고 있다. 활성탄소는 활성화 과정을 통해 분자크기의 마이크로기공이 형성되어 500~1,700 m²/g 정도의 큰 표면적을 가지게 되는데 다양한 표면 기능기를 가질 수 있다. 따라서 활성탄소의 흡착 용량은 전체 표면적뿐만 아니라 내부 다공성 구조와 기공 표면의 기능기에 따라 결정된다[4-6]. 활성탄을 이용하여 폐 PEG의 색도개선에 대한 연구는 전혀 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 이러한 활성탄소를 흡착제로 이용하여 실리콘 잉곳 절삭 시 발생하는 폐 PEG의 색도를 개선 연구를 수행하였다. 활성 탄소분말의 사용량과 흡착온도에 대한 영향을 조사하였고, 활성탄소필터(activated carbon filter)의 적용 연구를 수행하였다.

2. 실험

2-1. 재료

실리콘 잉곳으로부터 나온 폐 용액에서 고형분이 제거된 PEG 폐액은 (주)실리콘으로부터 수급받아 추가적인 정제없이 사용하였다. 분말상의 활성탄소와 활성탄소 여과기(activated carbon filter, ACF, Humman Co.)를 PEG 폐액 색도 개선을 위해 사용하였다. 사용한 분말상의 탄소는 표면적이 다른 활성탄소(activated carbon powder, ACP, 재생화학)와 차콜(Charcoal, Adrich)이다.

2-2. 회분식(batch) 흡착 실험

먼저 ACP 및 차콜 분말의 양에 따른 색도 변화를 회분식 흡착 실험을 통해 관찰하였다. 500 mL 플라스크에 폐 PEG 200 g과 적정량의 분말 탄소를 넣고 90분 간 혼합시킨 후 2.5 µm 여과지를 이용해서 탄소 분말을 제거하고 정제된 PEG의 색도 및 수분율을 측정하였다. 이때 넣어 준 탄소 분말의 함량을 X mg-C/g-PEG으로 표기하였다. 여기서 폐 PEG 단위 무게당 넣어 준 탄소의 무게(X)를 25에서 200까지 변화시켜 주었다. 흡착 온도에 따른 영향을 보기 위해 ACP

양을 고정하고 온도를 상온에서 100 °C까지 변화시키면서 색도 변화를 관찰하였다.

2-3. 활성탄소여과기를 이용한 흡착 실험

상용으로 시판되는 외경 5 cm, 길이 30 cm의 활성탄소여과기(ACF, activated carbon filter, Humman Co.)를 사용하여 순환 회분식 흡착 실험을 실시하였다. 이 때 폐 PEG의 총 무게는 1,500 g, 순환 유속은 200 g/min으로 고정하였다. 운전시간을 2시간으로 고정된 상태에서 ACF의 개수를 1개에서 3개까지 직렬로 연결하여 흡착 실험을 수행하였다. 운전 시간에 따른 색도 변화를 관찰하기 위해 ACF 3개를 직렬로 연결하고 매 시간마다 100 mL 씩 회수하여 색도와 수분율을 측정하였다. 이러한 ACF를 이용한 순환 회분식 흡착은 상온과 50 °C에서 각각 실시하고 그 영향을 관찰하였다. 사용한 ACF의 재생에 대한 정보를 확보하기 위해 흡착에 사용한 ACF 내에 있는 탄소를 회수하여 증류수로 세척하여 흡착된 유기물을 제거한 후 120 °C 오븐에서 건조하였다. 건조된 탄소 465 g을 자체 제작한 실린더형 흡착 관(직경 55 mm, 길이 300 mm)에 채우고 증류수를 30분 동안 순환시킨 후 자연 건조시킨 다음 상온에서 폐 PEG를 유속 200 g/min 으로 2시간 동안 흡착시켜 색도 및 수분율을 측정하였다.

2-4. 분석

흡착제인 탄소의 기공 크기 및 부피, 그리고 표면적을 질소 흡착/탈착 실험(Micromeritics, ASAP 2000)을 통해 측정하였다. 흡착제의 형상관찰과 크기 분포는 주사전자현미경(field emission scanning electron microscopy, FE-SEM, TESCAN, MIRA LMH)과 입도분석기(laser scattering particle size analyzer, OTSUKA Co. ELS-Z2)을 통해 분석하였다. 폐 PEG에 잔존할 수 있는 고형분 함량을 확인하기 위해 열중량분석(thermal gravimetric analysis, SHIMADZU Co. TGA-50)를 실시하였고, 흡착 전 후 PEG에 대한 FT-IR(PerkinElmer, Spectrum GX)를 통해 기능기 변화를 측정하였다. 폐 PEG의 색도를 나타내는 APHA 값을 Lovibond사의 PFX 995를 이용하여 측정하였다. 수분율 측정은 칼피셔법(한신테크, MKC-510N)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 흡착제 및 폐 PEG 물성 평가

흡착제의 기본 물성을 확인하기 위해 Fig. 1에 흡착제의 질소 흡착/탈착 등온선과 기공크기 분포를 나타내었다. 그리고 Table 1에는 비표면적과 기공크기 및 부피에 대해 정리하였다. Fig. 1(a) 결과에 의하면 ACF 내 탄소는 흡착/탈착 이력곡선(hysteresis curve)이 관찰되지 않는 전형적인 미세 기공체이다. 반면 ACP 및 차콜은 상대압력(P/P₀) 0.4 이상에 메조기공체에서 관찰되는 이력곡선이 관찰되는데 이는 나노기공뿐만 아니라 메조기공이 상당량 있기 때문이다. Fig. 1(b)에서 알 수 있듯이 탄소 종류에 상관없이 3.8 nm 피크가 관찰되지만 2 nm 이하의 마이크로 기공으로 되어 있다. ACP에 비해 차콜은 상대적으로 메조기공이 많이 관찰된다. 표면적은 ACF 내 탄소 > 차콜 > ACP 순서로 660~900 m²/g 범위이다. 기공부피는 ACP와 ACF내 탄소는 비슷하지만 차콜이 상대적으로 큰 기공부피를 가진다. Fig. 2는 탄소 입자의 전자현미경 사진과 입자 크기 분포를 나타낸 것이다. 사용할 탄소 모두는 불규칙적인 형상을 가진다. ACF 내

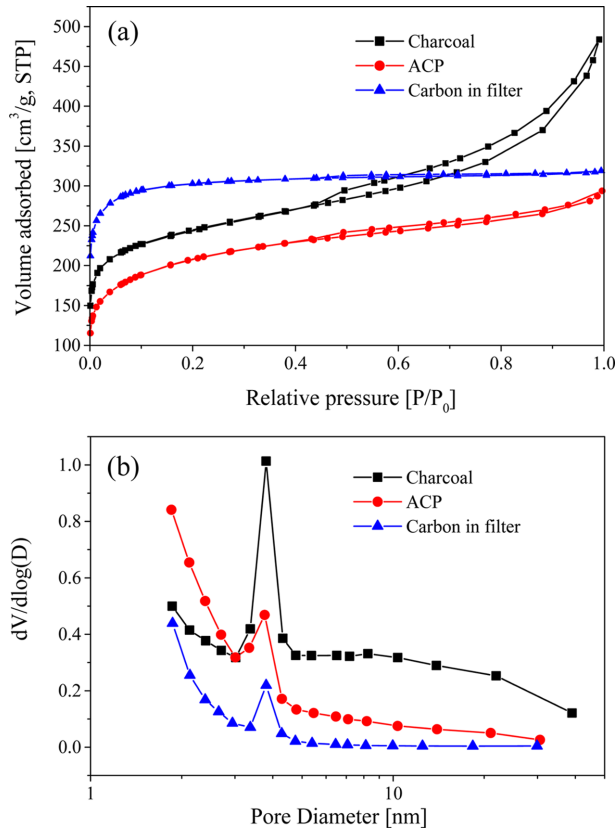


Fig. 1. (a) Nitrogen adsorption/desorption isotherms and (b) pore size distribution for carbon powders.

Table 1. Summary of the texture properties for charcoal, ACP, and carbon in filter

	S_{BET} [m²/g]	V_p [cm³/g]	d_{BJH} [nm]
Charcoal	772	0.750	5.5
ACP	661	0.450	3.3
Carbon in filter	907	0.494	2.6

탄소의 입자 크기는 약 0.5~1 mm 크기이고, ACP는 다분산 분포를 가지며 수 마이크론 크기의 큰 입자들이 일부 있지만 163 nm 및 447 nm의 미세 입자들로 구성되어 있고, 차콜도 수십 μ m의 큰 입자가 일부 있지만 대부분 616 nm의 미세 입자들이다.

폐 PEG와 순수한 PEG의 FT-IR 스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었다. 대부분의 흡수 피크는 폐 PEG가 순수한 PEG와 잘 일치하였다. 1,500 ~1,750 cm^{-1} 사이의 피크와 3,500 cm^{-1} 전후의 넓은 피크는 물의 진동하는 O-H 및 H-O-H 결합에 기인한 것이다. 이러한 수분에 대한 피크들은 순수한 PEG보다 폐 PEG에서 크게 나타나는데 이는 폐 PEG의 수분량이 6~8 wt%로 순수한 PEG보다 많기 때문이다. 폐 PEG는 순수한 PEG에 비해 2,100~2,500 cm^{-1} 사이에서 약한 흡수 피크들이 관찰된다. 이것이 폐 PEG의 색을 띄게하는 유기물에 기인한 것으로 추측된다. Fig. 4에는 폐 PEG의 TGA 결과이다. 폐 PEG는 350 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서 완전히 연소되어 잔류하는 무기물은 없었다. FT-IR과 TGA 결과로부터 폐 PEG의 색도를 띄게하는 것이 특정 무기물 입자에 기인한 것이라기 보다는 PEG와 유사한 유기 화합물인 것으로 판단하였다.

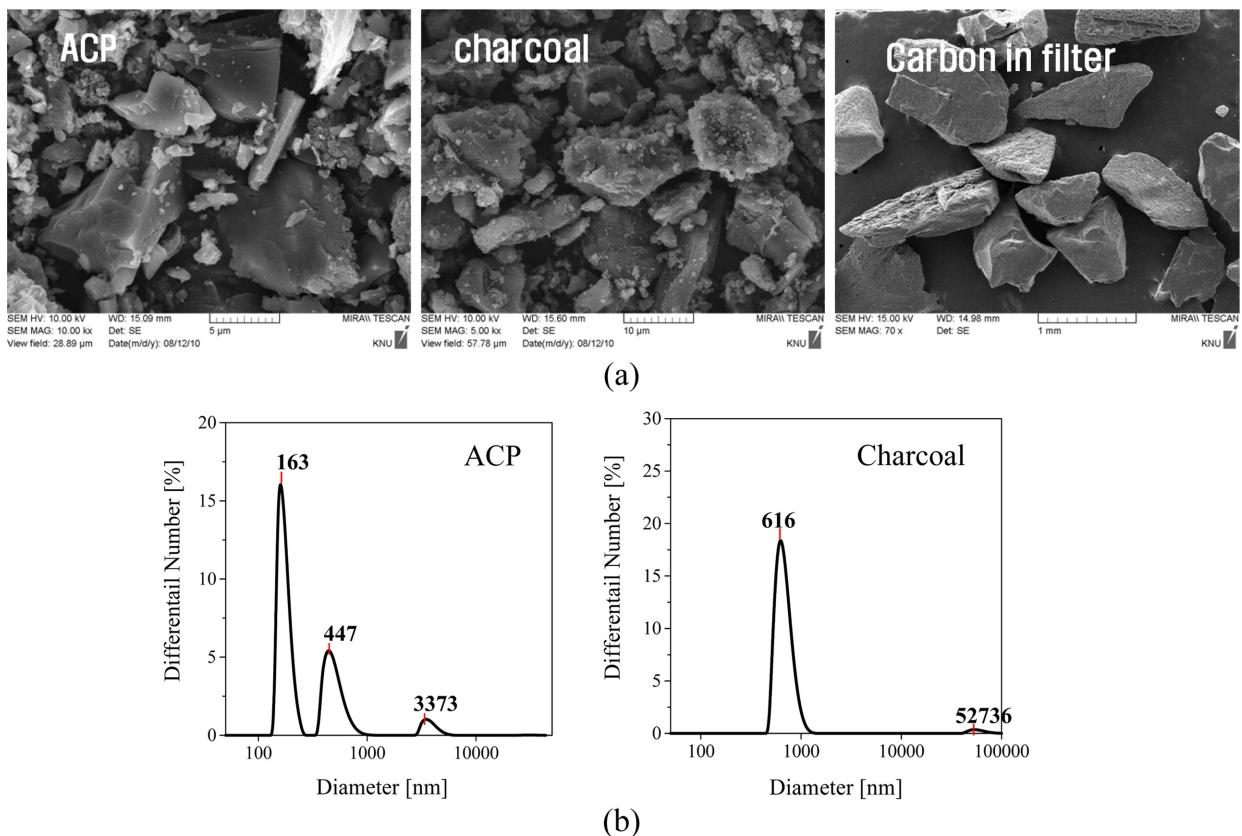


Fig. 2. (a) SEM photos and (b) particle size distribution of ACP, charcoal, and carbon in filter.

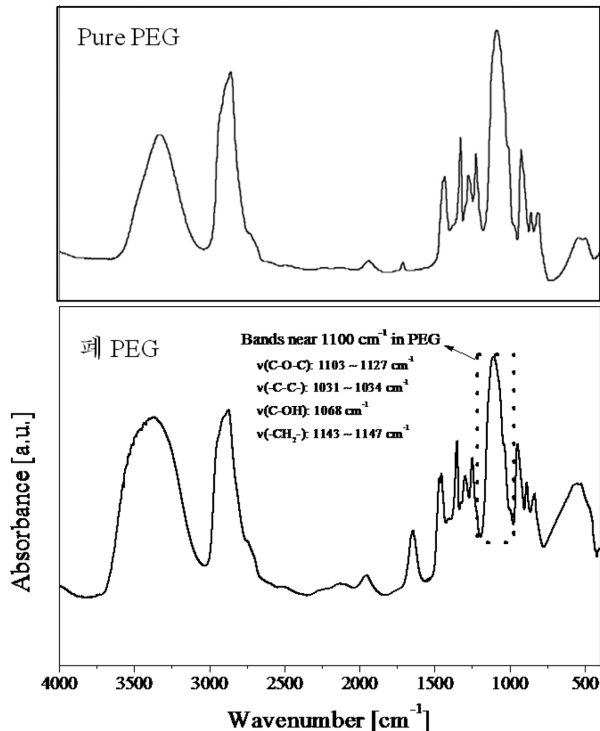


Fig. 3. FT-IR spectra of pure and wasted PEG.

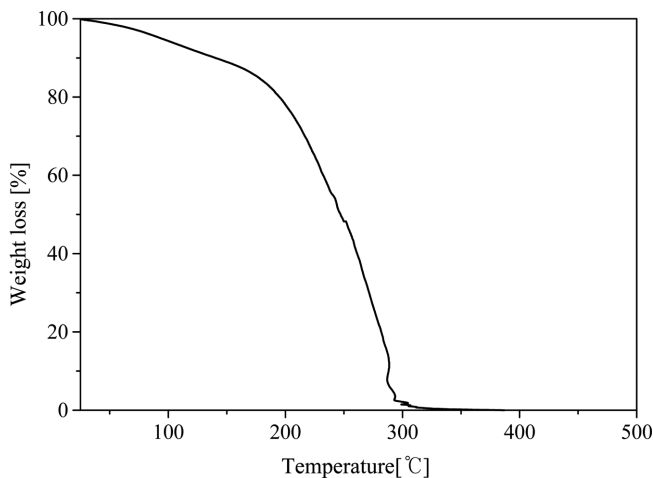


Fig. 4. TGA of PEG waste.

3-2. 흡착제 함량 영향

ACP와 charcoal의 사용량을 달리하여 폐 PEG의 색도 및 수분을 변화를 관찰하였다. Fig. 5는 PEG의 색도와 수분을 사용한 흡착제의 양의 함수로 나타낸 것이다. ACP와 charcoal의 양을 증가함에 따라 PEG의 APHA 값은 급격하게 감소하였고 약 100 mg-C/g-PEG 이상에서는 APHA 값이 더 이상 줄어들지 않았다. 일반적으로 수분이 증가하면 APHA의 상대값이 감소한다. 수분을 변화에 대한 결과로부터 흡착제의 사용량에 따른 수분을 변화는 없는 것으로 판단된다. 따라서 흡착제 증가에 따른 폐 PEG의 APHA 값 감소는 수분을 감소에 기인한 것이 아니며, 색을 띄는 유기물이 흡착 제거된 결과이다. 표면적이 차이가 있는 ACP와 charcoal을 비교해 볼 때, 표면적은 색도 개선에 큰 영향을 주지 않았다. 흡착제 함량에 따른 색도 변화 결과로부터 폐 PEG의 색도 개선에 필요한 흡착제의 사용량은 100~150 mg-

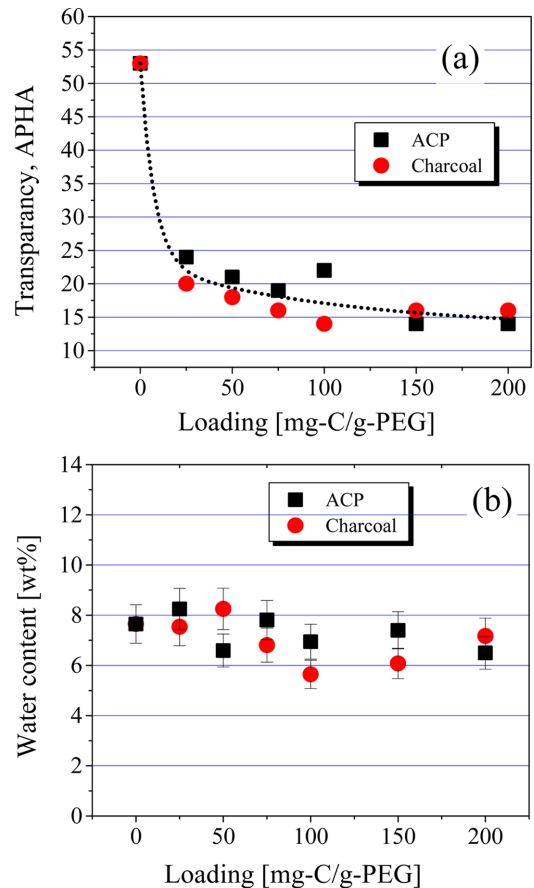


Fig. 5. (a) APHA and (b) water content of purified PEG using ACP and charcoal at several carbon contents.

C/g-PEG으로 하는 것이 가장 바람직한 것으로 결론지었다.

Fig. 6은 사용한 ACP와 폐 PEG의 색도 개선에 사용한 ACP 분말의 FT-IR 스펙트럼과 정제하기 전 폐 PEG 원액과 정제된 PEG 용액의 FT-IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. Fig. 6(a)에 보인 것과 같이 ACP 분말의 사용 전/후 스펙트럼에서 $1,057\text{ cm}^{-1}$ 에서 피크가 사용 후 크게 증가하였다는 것 이외에는 특별한 변화가 관찰되지 않았다. 만약 AC 흡착이 PEG 자체에 기인한 것이라면, $800\sim 1,500\text{ cm}^{-1}$ 사이의 PEG 특성 피크들이 관찰되어야 된다. 하지만 사용 후 ACP의 FT-IR에서는 그러한 PEG 특성 피크는 관찰되지 않았다. 따라서 이 $1,057\text{ cm}^{-1}$ 피크는 PEG 내에 있는 C-OH 결합과 같은 위치에 있는 것으로 C-OH 결합을 가진 유기물이 흡착된 것으로 판단된다. Fig. 6(b)는 ACP를 사용하여 폐 PEG를 정제한 후 얻은 용액의 FT-IR이다. 정제하기 전의 폐 PEG의 APHA=53이다. 그리고 정제 후 APHA=14로 떨어졌고, 수분율은 6.0 wt%(정제 전)에서 24.0 wt%(정제 후)로 증가하였다. 폐 PEG의 정제 전/후의 FT-IR 스펙트럼의 차이가 있는 위치를 각각 'A', 'B', 그리고 'C'로 Fig. 6(b) 내에 표시하였다. 'C' 피크는 수분에 기인한 것으로 정제 후 수분의 상승에 기인한 것으로 보인다. 'A'와 'B'는 정제된 후 피크의 강도가 감소하였다. 이로부터 폐 PEG가 순수한 PEG에 비해 $2,100\sim 2,500\text{ cm}^{-1}$ 사이에서 약한 흡수 피크들이 색을 띄게하는 유기물에 기인한 것임을 확인하였다.

3-3. 흡착 온도 영향

흡착 온도에 따른 탄소 흡착제의 흡착 능력을 조사하였다. 폐 PEG g

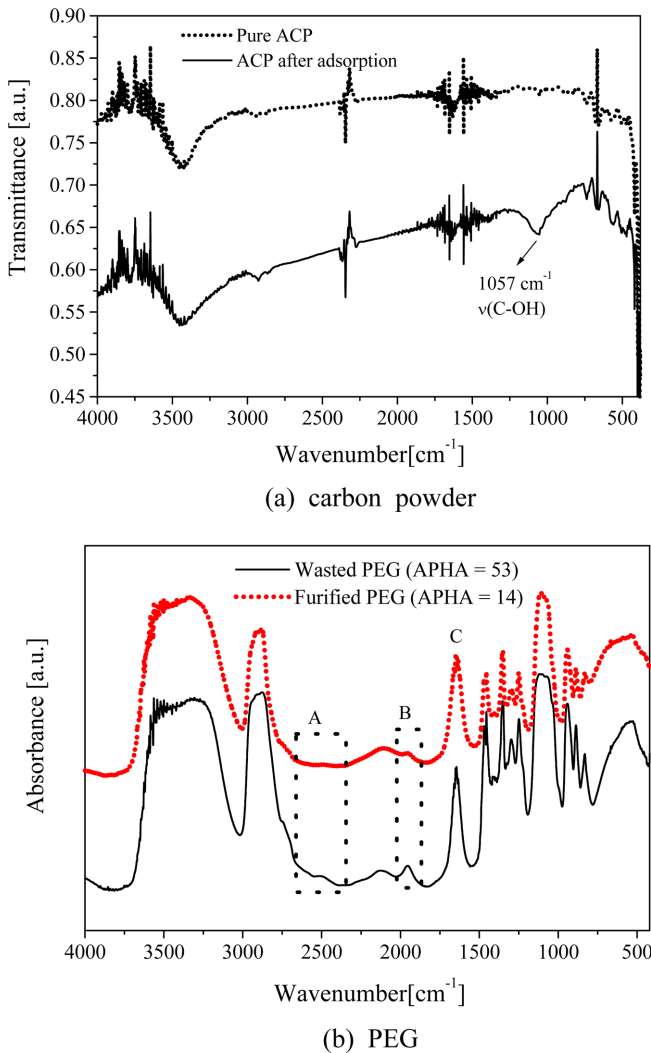


Fig. 6. FT-IR spectra of carbon powders and PEG before and after the purification.

당 사용한 탄소의 양을 100 및 150 mg-C/g-PEG로 하고 흡착 온도를 상온에서 100°C까지 변화시켜 주었다. 온도 변화에 따른 APHA 및 수분율 변화를 Fig. 7에 도시하였다. 20°C에서 40°C까지는 온도가 증가함에 따라 APHA 값은 감소하였다. 그러나 APHA 값은 50°C 이상에서는 다시 증가하였다. 수분율은 60°C까지는 변화가 없다가 70°C 이상에서 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 고온에서 APHA 값이 다시 증가하는 이유는 수분율의 감소와 AC의 물리흡착 능력이 급격하게 감소하기 때문이다. 수분율 변화가 미비한 20~50°C 범위에서 흡착온도에 따른 APHA 값의 감소는 폐 PEG 내에 색을 띄게 하는 미량의 유기물(이하 색도체라고 함)이 단순한 물리흡착만으로 제거되는 것이 아니라 탄소 표면에 화학흡착되어 제거가 되기 때문이다. 또한 온도 증가는 물리 흡착능은 감소하지만 PEG의 점도를 감소시켜 미량 있는 색도체가 탄소 표면으로 확산되는 것을 돕는 효과가 있고 그 결과 색도체의 흡착을 증가시켜 용액의 APHA 값이 되는 결과를 가져온 것으로 판단된다. 온도에 따른 APHA 결과로부터 탄소 흡착제를 이용하여 폐 PEG의 색도 개선을 위해서는 40~50°C 온도에서 운전하는 것이 가장 효과적이라고 결론지었다.

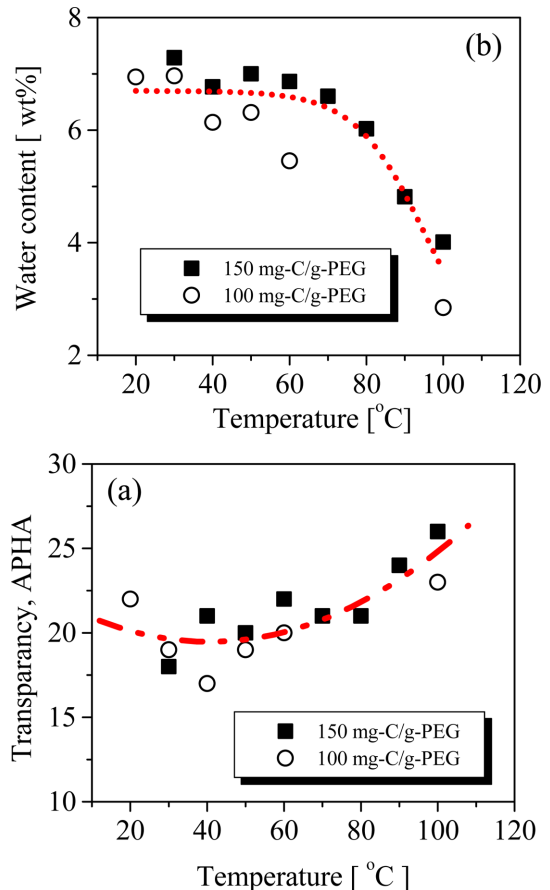


Fig. 7. Changes in (a) APHA value and (b) water content of PEG purified with changing the operation temperature.

3-4. ACF를 이용한 폐 PEG 색도 개선

Fig. 5에 나타난 탄소 분말을 이용한 회분식 결과에서 흡착제의 사용량은 100~150 mg-C/g-PEG으로 하는 것이 가장 바람직한 것으로 결론지었다. 그러나 회분식을 이용할 경우 탄소와 PEG를 다시 분리하는 후속 공정이 요구된다. 본 연구에서는 회분식 실험에서 얻은 결과를 기초로 ACF를 이용하여 순환 회분식 흡착공정을 구성하고 폐 PEG의 재생에 필요한 조건들을 탐색하였다. 폐 PEG 1,500 g을 기준으로 ACF의 개수를 1~3개까지 직렬로 연결하고 그 영향을 평가하였다. Fig. 8은 운전시간을 2시간으로 고정하고 ACF의 개수에 따른 APHA 값과 사용된 총 탄소의 양을 나타낸 것이다. 폐 PEG 1,500 g을 기준으로 ACF 1개가 가진 총 탄소 충전재의 질량은 대략 200 mg-C/g-PEG가 된다. 따라서 ACF 2개 및 3개를 직렬 연결한 경우 각각 400 및 600 mg-C/g-PEG이다. 이 양은 회분식 결과에서 얻은 최적의 흡착제의 사용량은 100~150 mg-C/g-PEG보다 큰 값으로 사용한 충전탄소의 양은 충분하다. Fig. 8에 나타난 것과 같이 ACF 한 개를 사용하는 것보다 직렬로 여러 개를 사용하는 것이 APHA 값을 줄이는데 효과적이다. 이는 사용한 폐 PEG g 당 탄소 흡착재량이 증가하여 운전 시간 내에 더 많은 색도체의 흡착 제거가 이루어졌기 때문이다. 재생 PEG는 APHA 값을 10 이하로 줄이는 것이 필요한데, 본 연구에서 얻은 결과(Fig. 8)를 기초로 볼 때 APHA가 대략 50~55 정도인 폐 PEG 원액의 경우 600 mg-C/g-PEG가 되도록 ACF를 설계하고 운전시간 2 정도면 충분히 낮은 APHA를 얻을 수 있었다. 그러나 폐 PEG 원액의 APHA 값이 높을 경우 PEG g 당 흡착 탄소의

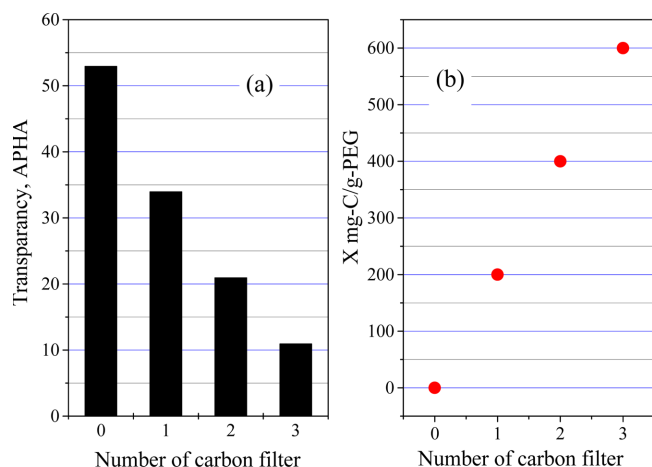


Fig. 8. (a) APHA of purified PEG and (b) carbon quantity as changing the number of ACF (circulation rate: 200 g/min and PEG total weight: 1500 g).

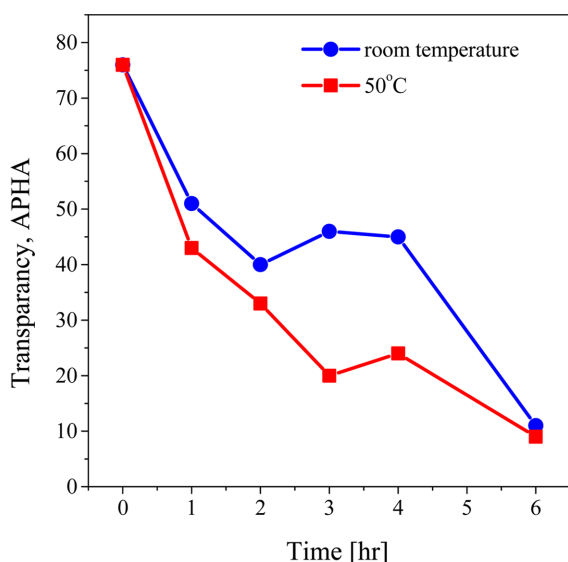


Fig. 9. Changes in the APHA value of purified PEG as a function of operation time at 50 °C.

양과 운전시간은 변화게 될 것이다. 이러한 폐 PEG의 초기 APHA 값이 다를 경우 비교 평가하기 위해 APHA가 75 정도인 폐 PEG를 이용하여 순환식 회분식 실험을 실시하였다.

ACF 3개를 직렬로 연결하고 폐 PEG의 총량을 1,500 g, 유입속도를 200 g/min으로 고정하고 운전시간에 따른 정제된 PEG의 APHA 값을 조사하여 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 7의 결과에서 흡착 온도를 40 ~50 °C로 하는 것이 색도 개선에 가장 유리함을 증명하였다. 이를 기초로 ACF의 운전 온도를 상온과 50 °C에서 그 영향을 관찰하였다. Fig. 9에 보인 것과 같이 초기 APHA=75인 폐 PEG의 APHA 값은 운전시간에 따라 점차적으로 감소하였다. 약 6시간 이상 운전을 하면 초기 APHA 75인 폐 PEG를 10 이하로 색도를 개선시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 상온에서 운전하는 것보다 50 °C에서 운전하는 것이 APHA 값의 초기 감소 속도가 컸다. 이는 Fig. 7의 결과와 잘 일치한다. 운전시간이 짧을 때는 상온과 50 °C의 APHA 값이 큰 차이를 보이나 6시간에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한

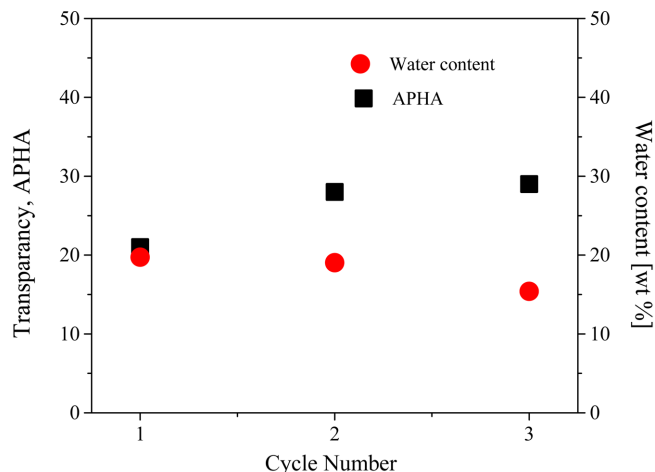


Fig. 10. Changes in APHA and water content for the recycle number of ACF.

결과로부터 ACF 개수와 운전 시간을 조절하면 폐 PEG의 색도를 개선시키는데 무리가 없다고 결론지었다. ACF 내에 있는 탄소의 재생 효과를 확인하기 위해 사용한 탄소를 증류수를 순환시켜 세척한 후 다시 사용하였다. ACF 2개를 연결한 것을 기준으로 재생 빈도에 따른 APHA 및 수분율을 측정하여 Fig. 10에 도시하였다. 재사용 횟수가 2일 때 1번 사용하였을 때보다 다소 증가하였지만 3번 사용한 것과 2번 사용한 것은 비슷한 APHA 값을 보인다. 재사용할 때 수분율 변화는 크지 않았다. 이로부터 증류수를 이용하여 ACF의 탄소 흡착제를 재생하여도 큰 수분율 변화 없이 폐 PEG의 정제를 효율적으로 사용가능함을 확인하였다.

4. 결 론

폐실리콘 슬러지에서 회수한 PEG의 색도 개선을 위해 분말 탄소와 탄소필터를 이용하여 회분식 및 순환회분식 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다. 폐 PEG와 순수한 PEG의 FT-IR 분석결과 색도 물질은 미세 무기 입자라기 보다는 2,100~2,500 cm^{-1} 사이에서 흡수 피크를 보이는 유기 색도체임을 확인하였다. 표면적이 차이가 있는 ACP와 차콜을 이용한 실험 결과 흡착제의 비표면적은 색도 개선에 큰 영향을 주지 않았다. 흡착제 함량에 따른 색도 변화 결과로부터 폐 PEG의 색도 개선에 필요한 흡착제의 최적 사용량은 100~150 mg-C/g-PEG였다. 온도에 따른 APHA 결과로부터 탄소 흡착제를 이용하여 폐 PEG의 색도 개선을 위해서는 40~50 °C 온도에서 운전하는 것이 가장 효과적이었다. ACF를 이용시 흡착제량은 600 mg-C/g-PEG, 순환속도 200 g/min, 그리고 운전 온도 50 °C에서 초기 APHA가 53인 폐 PEG의 경우 2시간, APHA가 75인 폐액은 약 6시간 이상 운전하면 APHA를 10 이하로 줄일 수 있었다. ACF 내에 있는 탄소는 증류수를 순환시켜 재생함으로써 수분율 변화 없이 폐 PEG의 효율적으로 정제시킬 수 있음을 확인하였다.

감 사

본 연구는 지식경제부에서 연구비를 지원받아 청정기반산업기술 개발사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kil, D.-S., Jang, H.-D., Kang, K.-S. and Han, H.-J., "Analysis of Patents on the Recycling Technologies for the Waste Silicon Sludge," *J. Korean Inst. Resources Recycling*, **17**, 66-76(2008).
2. Hur, M.-S., Lee, S.-G. and Rang, H.-I., "Method for Refining Silicon Slurry," *Korea Patent*, 10-0948612(2010).
3. Mudoga, H. L., Yucel, H. and Kincal, N. S., "Decolorization of Sugar Syrups Using Commercial and Sugar Beet Pulp Based Activated Carbons," *Bioresour. Technol.*, **99**, 3528-3533(2008).
4. Ahmedna, M., Marshall, W. E. and Rao, R. M., "Surface Properties of Granular Activated Carbons from Agricultural by-products and Their Effects on Raw Sugar Decolorization," *Bioresour. Technol.*, **71**, 103-112(2000).
5. Yang, C.-M., Choi, W.-H., Cho, B.-W., Cho, W.-I., Yun, K.-S. and Han, H.-S., "Application of Porous Activated Carbon-silica Gel Composite Electrodes for Capacitive Deionization Process," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **42**, 748-753 (2004).
6. Yun, Y.-J., "Synthesis of Carbon Electrode Materials Using Multiporosity Carbon with Mesoporous Structure," *J. Adv. Eng. Technol.*, **2**, 145-148(2009).