

## 浮選에 의한 PVC와 PET의分離

金眞賢 · J.D. Miller · 李在天\* · 鄭文泳\*\*

美國 Utah大學校 金屬工學科, 韓國資源研究所 資源活用素材部\*, 世明大學校 資源環境工學科\*\*

### Separation of PVC and PET by Froth Flotation

Jin Hyeon Kim, J.D. Miller, Jae Chun Lee and Moon Young Jung

Department of Metallurgical Engineering, University of Utah, SLC, UT 84112, USA

Korea Institute of Geology, Mining and Materials

Department of Resources & Environmental Engineering, Semyung University

#### 요 약

페플라스틱은 종류가 다양하고 분리가 어려워 재활용이 상당히 제한되어 있다. 본 연구에서는 페플라스틱의 재활용을 위하여 PVC/PET 혼합물에서 두 물질을 분리하는 연구를 수행하였다. PVC/PET 표면의 물리화학적 성질을 변화시킨 후 두 물질을 용이하고 경제적으로 분리할 수 있었다. NaOH 용액이 PVC/PET 표면성질의 변화에 미치는 영향을 관찰하였으며 두 물질의 분리시 NaOH 농도, 조건부여 온도 및 시간, 부선용액의 pH 및 온도, PVC의 조성비 등이 분리도에 미치는 영향을 조사하여 최적의 조건을 얻었다. NaOH 용액으로 조건부여하고 소수성인 PET 표면을 친수성으로 개질한 후 부선법을 이용하여 두 물질을 약 95~100%까지 분리하였다.

주제어: 페플라스틱, 재활용, 부선, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 폴리염화비닐

#### ABSTRACT

Recycling of used plastics is rather restricted due to their variety and difficulties in their separation. In this study, a reliable and economical method for the separation of PVC and PET which utilizes an appropriate control of surface chemistry of particles was suggested. This method consists of modification of PET surface from hydrophobic to hydrophilic by NaOH solution and subsequent separation by a froth flotation technique. Flotation results were in terms of NaOH concentration, digestion temperature and time, temperature and pH of solution, PVC concentration. They could be separated up to 95~100% by this method.

Key words: recycling, separation, PVC, PET, flotation.

#### 1. 서 론

플라스틱은 금속 또는 세라믹 등 다른 소재에 비하여 가볍고 가공이 쉽고 부식에 강하며, 그 자체의 단열특성 등의 장점으로 인하여 광범위하게 사용되고 있다. 우리나라의 경우 플라스틱 수요량은 1991년의 2,593천톤에서 1995년에는 3,488천톤으로 약 170% 정도 증가하였다.<sup>1)</sup> 현재 한국에서 가장 많이 소비되는 플라스틱은 열가소성 플라스틱인

LDPE, HDPE, PVC, PP, ABS 그리고 PS 등의 6대 범용수지로서 이들이 전체 플라스틱 생산량의 약 80~90%를 차지하여 산업용 및 가정용으로 사용되고 나머지는 열경화성 플라스틱으로 이루어져 있다.

플라스틱 사용량의 증가는 필연적으로 페플라스틱 발생량의 증가로 이어지며 이의 처리가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 우리나라에서 6대 범용수지를 중심으로한 페플라스틱의 발생량은 1990년도의 1,012천톤에서 1996년에는 2,313천톤으로 약 230% 정도 증가하였으며 앞으로도 사용량의 증가에 따라 발생량도 급격히 증가할 것이다.<sup>2)</sup> 그러

\* 1998년 5월 12일 접수, 9월 29일 수리

\* E-mail: jhkim64@hotmail.com

나 국내의 폐플라스틱 재활용율은 발생량의 10~15% 정도에 불과한 실정이며 플라스틱은 다른 폐기물과 달리 중량비는 작지만 부피비가 크다는데 그 문제가 있다.<sup>3)</sup>

일반적으로 폐플라스틱의 처리방법으로는 I) 원료로의 재자원화(再資源化), II) 연소에 의한 에너지회수, III) 고형화, 액화 그리고 가스화에 의한 연료화 등이 있는데, 이 중에서 원료로의 재자원화가 가장 바람직한 방법으로 활발한 연구가 수행되고 있다.<sup>4)</sup> 그러나 대부분의 경우 재자원화 과정을 거쳐 만들어진 플라스틱은 순수 플라스틱과 비교하였을 때 여러 성질들이 떨어진다. 다른 종류의 플라스틱, 종이, 금속, 접착제 등과 같은 불순물이 미량으로 함유되어 있어도 식품분야에서는 사용되지 못하기도 하며 또한 PET에 PVC가 불순물로 존재할 경우 PVC의 가공온도에서 PET는 용해되지 않아, 그 결과 제품의 변색에 영향을 미친다.

이와같이 재생 플라스틱들은 재료의 불일치, 변색, 품질저하 등으로 인하여 물리적 성질이 저하되어 순수 플라스틱과의 가격경쟁에서 떨어지게 되고 결과적으로 폐플라스틱의 재자원화를 방해하는 요소가 된다.<sup>5)</sup> 따라서 순수 플라스틱과 같은 수준의 물질분리가 중요하데, 산업계에서 이에 대한 연구가 진행중이며 공기 분류, 하이드로 사이클론, 부선, 탈중합/정제/재중합, 분리용해, 적외선 분석 및 레이저 주사를 이용한 폐플라스틱의 분리방법들이 개발되었지만 아직 상업적인 시도는 극히 제한적이다.<sup>6)</sup>

폐플라스틱의 재자원화를 위한 분리는 주로 비중차 또는 수작업에 의한 방법을 이용하여 수행되지만 PET(1.32~1.37 g/cc)와 PVC(1.33~1.37 g/cc)의 비중은 서로 중첩하여 분리가 불가능하며 수작업은 경제적이 못하며 비효율적이다.

PVC와 PET의 물리화학적 성질비교<sup>7)</sup>에 따라 이들의 표면성질을 조사해 본 결과, 두 물질의 소수성(疎水性; hydrophobicity)이 거의 비슷하였으며 PET와 PVC의 표면과 증류수간의 접촉각(plastics surface-water contact angle)이 각각 약 82±2도로 중첩하였다.<sup>8)</sup> 그리고 상온에서 PVC에 대한 표면장력(surface tension)과 습윤표면장력(surfac tension of wetting)이 각각 42 dyne/cm, 39 dyne/cm 이었으며, PET의 표면성질도 거의 비슷하여 각각 45 dyne/cm, 43 dyne/cm 이었다.<sup>9)</sup> 이와같은 현상으로부터 두 물질 중 어느 한 물질에 대한 표면성질을 개질함으로써 이들의 분리가 가능함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 PET/PVC 혼합물을 NaOH 용액으로 표면 개질한 후에 부선법<sup>10)</sup>으로 PVC를 선택적으로 분리하는 연구를 수행하였다. PVC와 PET를 NaOH 용액으로 처리한 뒤 접촉각을 측정하여 표면개질에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 NaOH 용액으로 표면개질한 PET/PVC 혼합물의

부선실험을 행하였으며 NaOH 용액의 농도, 처리온도 및 시간, 부선용액의 pH, PET/PVC 혼합물의 조성비가 회수율과 분리도에 미치는 영향을 조사하여 PET/PVC 혼합물의 분리를 위한 최적조건을 얻고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험 재료

본 실험을 위하여 PVC(>99wt%)는 세제명을, PET는 청량음료병 또는 플라스틱 제조회사에서 일정한 크기의 재생 플라스틱 시료를 구입하여 실험목적에 따라 10×10 mm 이내로 절단하여 시료로 사용하였다.

PET/PVC의 가소제(plasticizer)로서 Rou Kobler社의 diisodecyl phthalate를 사용하였으며 부선실험을 위한 기포제로 Rhone-Poulenc社의 Rhodasurf 91-6(C9-11 ethoxylated alcohols)을 사용하였다. PET/PVC 표면의 알칼리처리에 사용한 NaOH는 Aldrich社의 시약급이며, 그 이외의 모든 시약은 특급 및 일급 시약이었다.

### 2.2. 실험 방법

#### 2.2.1. 플라스틱 시료의 알칼리처리

시료표면의 알칼리처리는 Denver 교반기(직경 2.5inch, 각도 45도, 3방향의 프로펠러, 교반속도 800 rpm)를 사용하여 행하였다.<sup>11)</sup> Denver 교반기가 설치된 비이커(용량: 4 liter)에 2 liter의 0.5~4.0 wt% NaOH 용액과 PET/PVC 혼합시료 100~500 g을 장입한 후 온도를 일정하게 유지하면서 5~60분간 교반하여 알칼리 처리를 하였다. 알칼리 처리후 시료로부터 과잉의 NaOH를 제거하기 위해 물로 수차례 세척하였으며 시료는 건조를 방지하기 위해 물 속에 보관하여 사용하였다.

#### 2.2.2. 플라스틱 시료의 가소제 용액처리

PET 표면의 친수성과 PVC 표면의 소수성을 증가시키기 위한 가소제 용액처리를 행하였다. 먼저 70~80°C의 물 500 ml에 5~40 mg/l 농도로 diisodecyl phthalate를 첨가한 뒤 high-density homogenizer를 이용하여 2분간 균질화하여 가소제 용액을 제조하였다. 이 용액을 알칼리 처리한 시료와 함께 혼합한 후 Denver 교반기를 사용하여 각각 일정한 온도와 시간에 따라 시료의 가소제 용액처리를 행하였다.

#### 2.2.3. 플라스틱 표면/물의 접촉각(plastics surface-water contact angle) 측정

플라스틱 표면과 물의 접촉각을 측정하기 위하여 미국 Rame-Hart社의 NRL goniometer를 사용하였다. 플라스틱 시편을 직사각형의 유리판 위에 고정시킨 후 시편표면에 이온

화 처리된 증류수를 U자 형태의 미세 주사기(micro-syringe)로 한 방울씩 떨어뜨려 직경 5~10 mm의 물방울을 만들었다. 그리고 주사기를 이용하여 증류수의 양을 증가(advancing) 및 감소(receding)시키면서 시편과 시편표면에 형성된 증류수간의 접촉각을 30~60초 간격으로 측정하였다.

#### 2.2.4. PVC/PET의 부선실험 및 분석

플라스틱의 부선실험은 2 liter의 Denver flotation cell에서 행하였다. NaOH용액으로 표면처리된 PET/PVC 혼합물 100~500 g을 20~90°C의 물 1.8 liter에 넣은 후 기포제인 Rhodasurf 91-6(C9-11 ethoxylated alcohols)을 15~30 mg/l의 농도로 첨가하여 2분간 조건부여하였다. 그리고 1300 rpm의 속도로 1~8분간 교반하여 거품과 함께 부유하는 물

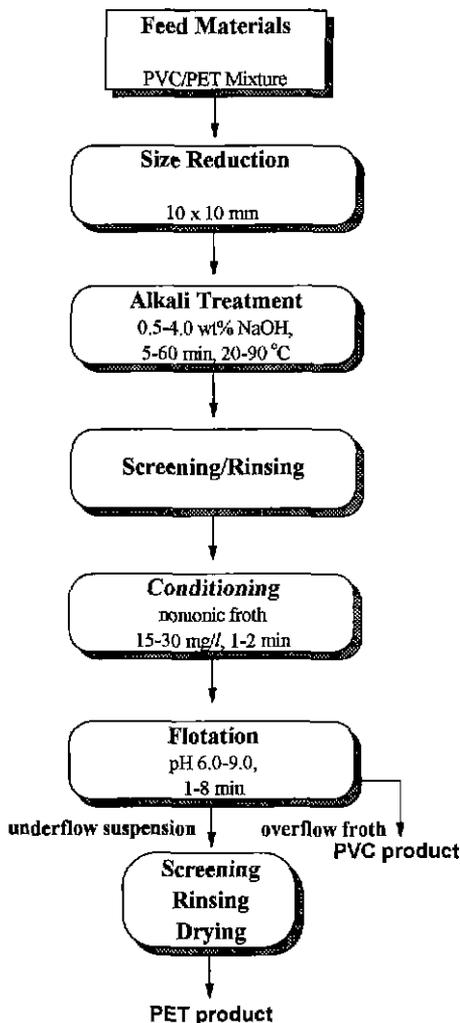


Fig. 1. Schematic diagram for separation of PVC and PET.

질(PVC)과 침강된 물질(PET)을 각각 모아서 체로 거른 다음, 세척/건조/가열시킨 후 수작업으로 두 물질을 분리, 분석하여 회수율을 계산하였다. 두 물질에 대한 분석은 PVC의 용융점을 이용한 것으로, 분리된 두 물질을 oven에서 약 150°C로 1~2시간 가열하면 PVC의 색깔이 무색에서 갈색으로 변하지만 PET는 변화하지 않는 점을 이용하여 두 물질을 분리, 분석할 수 있었다.<sup>13)</sup> Fig. 1은 본 연구의 흐름도를 나타낸 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. NaOH용액 처리에 의한 PVC/PET의 표면개질

PVC 및 PET 표면과 물의 advancing/receding 접촉각은 각각  $80 \pm 2$ ,  $58 \pm 3$ 도로 두 물질의 소수성은 거의 일치하였다.<sup>13)</sup> 접촉각 측정으로부터 알 수 있듯이 PVC/PET 혼합물의 선택적인 분리는 두 물질 중 한 물질의 표면성질을 변화시키지 않고서는 불가능하다. 따라서 공정이 용이하고 분리 효율이 우수한 부선법으로 두 혼합물을 분리하기 위하여 NaOH 용액으로 알칼리 처리하여 PVC와 PET의 표면성질을 개질하고자 하였다.

Fig. 2는 세제병과 음료수병에서 각각 취한 시편을 상온에서 4.0 wt% NaOH 용액으로 처리하고 세척한 뒤 증류수와의 접촉각을 측정하여 그 결과를 NaOH용액의 처리시간에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 처리시간이 10분 이내일 때 advancing 접촉각의 변화는 거의 없었다. 처

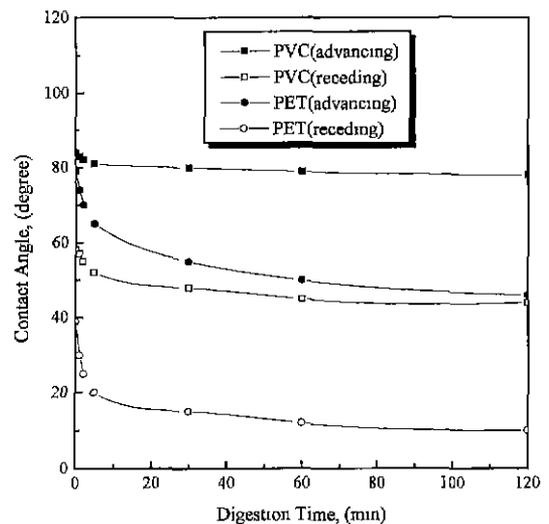


Fig. 2. Advancing and receding contact angles on PET and PVC treated with 4.0 wt% NaOH solution at 20°C.

리시간이 10~30분으로 증가함에 따라 접착각은 30분까지 약 간씩 감소하였으며 그 이상의 시간에서는 거의 일정하였다. Receding 접착각은 30분까지 급속히 감소하였지만 그 이상의 시간에서는 감소율이 미미하였다. NaOH용액 처리에 의한 PET의 advancing/receding 접착각이 각각 약 79⇒46도, 39⇒10도로 크게 감소하였으나 PVC의 경우 각각 약 84⇒78도, 58⇒44도로 그 영향이 작았다. 이로부터 NaOH용액의 처리시간이 길어짐에 따라 PET 표면의 소수성은 크게 감소하였으나 PVC는 상대적으로 영향이 작았다.<sup>14)</sup>

**3.2. PET/PVC의 부선실험**

PET/PVC 혼합물(무게비 = 95% : 5%)을 2.0 wt% NaOH용액으로 20~90°C에서 5분간 처리한 뒤 상온에서 부선실험을 행하여 그 결과를 처리온도의 함수로 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 PVC의 경우 NaOH용액 처리시 처리온도가 높아짐에 따라 회수율이 증가하였다. PVC의 회수율은 상온에서 97% 정도이었으며 60°C이상의 온도에서는 99%이상을 나타내었다. PET의 경우에는 PVC와 반대의 경향을 나타내었다. PET는 상온에서 약 28% 정도가 부유하여 회수되는 PVC에 혼입되었지만 온도증가에 따라 부유율이 급격히 감소하여 60°C에서는 2%이하로 감소하였다. 이것은 NaOH용액 처리시 처리온도가 높아짐에 따라 PET 표면에서 가수분해의 반응속도가 빨라져 소수성이 감소되었기 때문이다. 따라서 PET/PVC 혼합물의 NaOH용액 처리시 처리온도가 80°C이상일 때 99%이상 분리할 수 있었다.

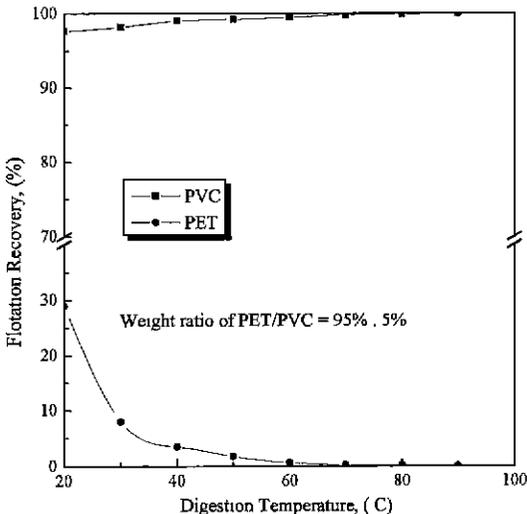


Fig. 3. The effect of digestion temperature on flotation separation of PVC/PET mixtures at 20°C.

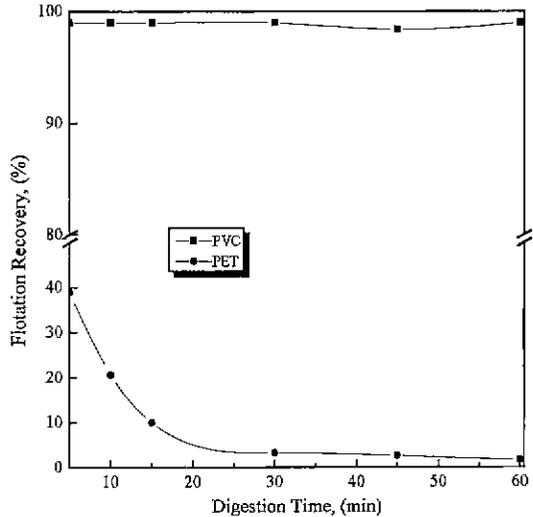


Fig. 4. The effect of digestion time on flotation separation of PVC/PET mixtures at 20°C.

Fig. 4는 PET/PVC 혼합물을 상온에서 2 wt% NaOH용액으로 5~60분간 처리한 후 상온에서 부선하였을 때 NaOH용액의 처리시간에 따른 PVC와 PET의 부유율을 나타낸 그림이다. PVC는 처리시간에 관계없이 거의 모든 조건에서 95%이상 회수되었다. NaOH용액의 처리시간이 증가함에 따라 PET의 부유율은 급격히 감소하였다. 처리시간이 10분 이하일 때 PET는 20%이상 부유되어 두 물질의 분리도가 감소하였으며, 30분이상 처리시 PET의 부유율이 3% 이하로 감소하여 두 물질의 분리도가 증가함을 알 수 있었다. 이것은 PET를 NaOH용액으로 10분 이상 처리할 때 소수성이 저하되어 접착각이 급격히 감소하는 Fig. 2의 실험결과와 잘 일치하였다.

NaOH용액의 농도가 PET/PVC의 분리에 미치는 영향을 조사하기 위하여 PVC/PET 혼합물을 0.5~4 wt% NaOH용액으로 20°C 및 80°C에서 각각 15분간 처리한 후 상온에서 부선하였다. PET는 80°C에서 약 0.1%이하의 부유율을 보였으며 PVC는 20°C 및 80°C에서 99%이상의 회수율을 나타내어 Fig. 5에서는 이들의 부유율을 나타내었다. 따라서 NaOH의 농도가 증가함에 따라 PET표면에 대한 친수성이 증가하여 PET의 부유율이 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 PET의 부유율은 0.5~1.0 wt% NaOH일 때 약 28~35%였으나, NaOH가 2.0 wt%에서 4.0 wt%로 증가하였을 때 부유율은 약 12%에서 5%로 감소하였다. 이것은 진한 NaOH 용액으로 처리함에 따라 PET의 소수성이 감소하였기 때문이다.<sup>15)</sup> 본 실험에서는 NaOH의 농도와 처리온도가

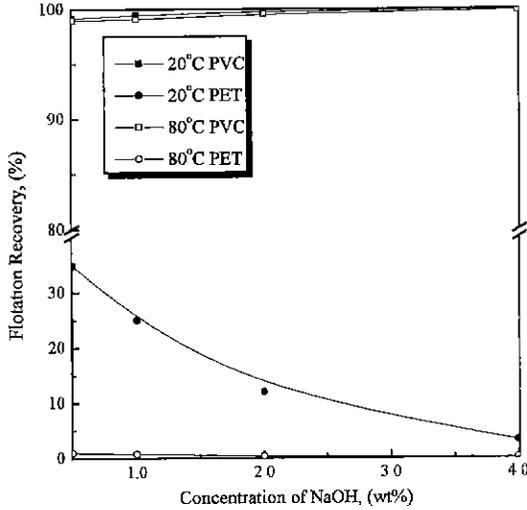


Fig. 5. The effect of NaOH concentration on flotation separation of PVC/PET mixtures at 20°C.

증가할수록 PET/PVC의 분리도가 증가하였다.

PVC의 조성이 5~50 wt%로 변하는 PET/PVC 혼합물에서 조성이 두 물질의 분리에 미치는 영향을 알아보기 위해 상온에서 2.0 wt% NaOH용액으로 30분간 처리한 후 부선하였을 때 분리결과를 Fig. 6에 나타내었다. PVC의 회수율은 PVC의 조성비를 50 wt%까지 증가시켜도 99% 이상이었다. 그러나 PET는 PVC의 농도증가에 따라 부유량이 증가하여 두 물질의 분리도가 급격히 감소하였다. 이는 상

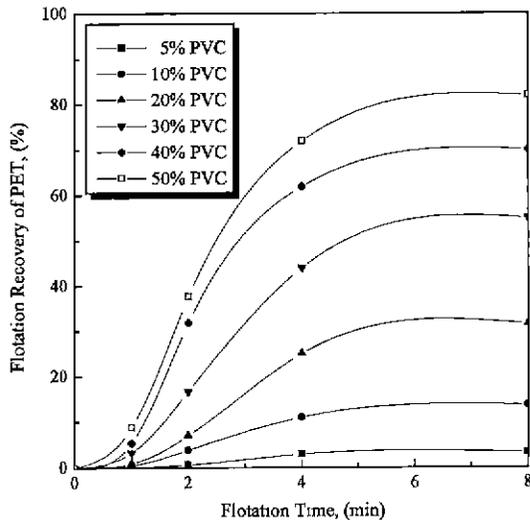


Fig. 6. The effect of PVC concentration on flotation separation of PET from PVC/PET mixtures at 20°C.

온에서 PET의 NaOH용액 처리가 제대로 이루어지지 않거나 회수되는 PVC에 기계적인 혼입이 발생했기 때문으로 생각된다.

### 3.2. 가스제(可塑劑: plasticizer)용액으로 처리한 PVC/PET의 부선실험

가스제는 PVC와 같은 딱딱한 열가소성 플라스틱에 첨가하여 고분자 상호간의 강한 인력을 약하게 하여 마이크로 브라운 운동을 하기 쉽게 만든다. 따라서 가공온도를 저하하여 열가소성을 증대시킴으로써 고온에서의 성형가공을 용이하게 하는 것으로 종류에 따라 내연성, 친수성, 내후성 등 플라스틱의 성질을 변화시킨다.<sup>16)</sup> 본 실험에서는 PVC의 가스제로 사용되는 diisodecyl phthalate를 첨가하여 그 영향을 조사하였다.

PET/PVC 혼합물에서 PVC의 조성비가 5 wt%일때는 상온에서 두 물질의 분리가 가능했으나 PVC의 조성비가 증가함에 따라 두 물질의 분리도가 감소하였다. 따라서 높은 PVC 조성비에서도 두 물질의 분리도를 향상시키기 위하여 PET에 대한 가스제 용액의 처리를 하였다.

10% PVC(pine oil bottle)와 90% PET(soft-drink bottle) 혼합물 150 g을 각각 2.0 wt% NaOH용액으로 80°C에서 30분간 표면개질을 한 다음, 가스제인 diisodecyl phthalate를 5~40 mg/l 농도로 조제하여 첨가한 후 80°C에서 30분간 조건 부여하였다. 그리고 25, 50 및 80°C에서 부선실험을 행하여 두 물질을 분리한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. PVC는 부

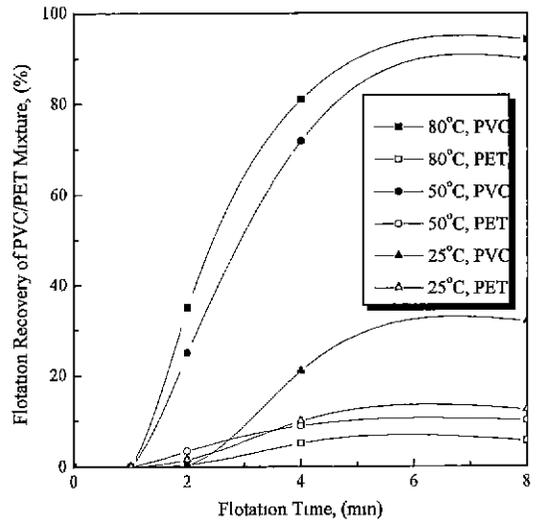


Fig. 7. The effect of flotation temperature on flotation separation of PVC/PET mixtures.

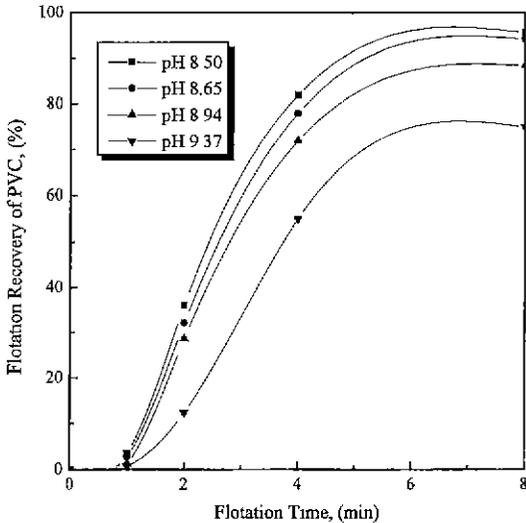


Fig. 8. The effect of pH of flotation solution on flotation separation of PVC from PVC/PET mixtures.

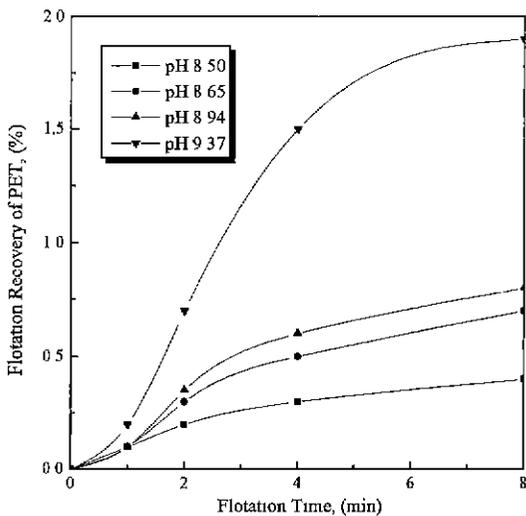


Fig. 9. The effect of pH of flotation solution on flotation separation of PET from PVC/PET mixtures.

선온도가 증가함에 따라 회수율이 증가하였으나 PET는 그 반대의 경향을 나타내었다. 이는 diisodecyl phthalate의 PVC표면에 대한 흡착에 의한 것으로 PVC만 선택적으로 소수성을 증가시키는 Kobler<sup>17)</sup>의 연구결과와 일치하였으며 특히 고온에서 이의 반응이 잘 이루어지고 있다.

Fig. 8과 9는 부선에 의한 분리실험에서 부선용액의 pH가 PVC/PET 혼합물의 분리에 미치는 영향을 알아보기 위해 pH변화에 따른 두 물질의 회수율을 각각 나타낸 것이

다. Fig. 7과 같은 실험조건과 과정에서 용액의 pH를 8.50~9.37까지 변화시키면서 부선하였을 때 pH의 증가에 따라 PVC의 회수율은 감소하지만 PET는 증가하였다. 이것은 OH<sup>-</sup> 농도가 높아짐에 따라 음(negative)으로 하전(charge)된 PVC 입자와 기포가 더 큰 음전위의 값을 갖기 때문이며 pH에 따른 이들 두 입자에 대한 가스계의 adsorption/deposition<sup>18)</sup>도 중요한 인자로 생각되며, PVC와 PET의 분리도를 향상시키기 위하여 pH 9.0이하에서 부선을 행하여야 한다. 그리고 입자/물/기포간의 명확한 화학적인 반응은 앞으로 많은 연구가 요망된다.

#### 4. 결 론

본 실험은 PVC/PET 혼합물을 NaOH 용액으로 처리하여 각각 표면개질한 후, 부유선광법으로 PVC와 PET를 분리 회수하는 실험을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두 물질의 알칼리처리시 NaOH농도에 따라 PET와 물의 접촉각은 advancing/receding 접촉각이 각각 약 79 $\Rightarrow$ 46도, 39 $\Rightarrow$ 10도로 크게 감소하였으나, PVC의 경우 각각 약 84 $\Rightarrow$ 78도, 58 $\Rightarrow$ 44도로 그 영향이 작았다.
2. 알칼리용액의 플라스틱 표면개질시 NaOH의 농도와 용액온도 및 처리시간의 증가에 따라 PET표면에 대한 가수분해의 반응속도가 증가하였으나 PVC의 경우 그 영향이 작아 두 물질의 분리도는 증가하였다.
3. PVC의 조성비가 증가함에 따라 PET의 부유량이 증가하여 두 물질의 분리도가 감소하였으나 가스제 용액처리로 이를 높일수 있었다.
4. 고온의 부선용액에서 diisodecyl phthalate의 PVC표면에 대한 adsorption/deposition에 의한 반응으로 PVC는 회수율이 증가하였으나 PET는 그 반대의 경향을 나타내어 두 물질의 분리도가 증가하였다.
5. 부선용액의 pH가 증가함에 따라 음으로 하전된 PVC 입자와 기포가 큰 음 전위의 값을 가져 PVC의 회수율은 감소하지만 PET는 증가하여 두 물질의 분리에는 pH 9.0이하에서 행하는 것이 유리하였다.

#### 참고문헌

1. 나근배 : 폐플라스틱의 수거 및 재활용 현황, 자원리싸이클링, 6(2), 47-59 (1997).
2. 한국자원재생공사, 폐플라스틱 발생실태, 월간폐기물 50-57 (1996).
3. C.P. Rader & S.D. Baldwin, *et al.*, Plastics, Rubber, and Paper Recycling, American Chemical Society, Washington

- DC, 11-26 (1995).
4. T.E. Duston, *Recycling Solid Waste*, Quorum Books, London, 11-28 (1993).
  5. F.P. Boettcher : "Emerging Technologies in Plastics Recycling", ASC Symp. Ser. 513, Washington DC, 16-25 (1992).
  6. J. Leidner, *Plastic Wastes : Recovery of Economic Value*, Marcel Dekker, Inc., New York, 85-118 (1981).
  7. I.I. Rubin, *Handbook of Plastic Materials and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 551 (1990).
  8. J. Drelich, J.D. Miller & R.J. Good : *J. Colloid Interface Sci.*, 179, 37 (1996).
  9. J.R. Dann, *J. Colloid Interface Sci.*, 32, 302 (1970).
  10. J.S. Laskowski, *Frothing in Flotation*, Gordon & Breach Pub., New York, 25 (1988).
  11. M.H. Jones, *Principles of Mineral Flotation*, Australasian Inst. of Min. and Metal., Victoria, Australia, 1-29 (1984).
  12. S.H. Goodman, *Plastics Materials and Processes*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 258-259 (1982).
  13. E. Wolfram, *Kolloid Z.*, 211, 84 (1966).
  14. J. Drelich and J.D. Miller, 124th Ann. SME Meeting, Denver, March (1995).
  15. J. Drelich, J. Payne, J.H. Kim *et al* : *Polymer Eng. Sci.*, in press (1998).
  16. J.A. Brydson : *Plastics Materials*, 5th, Butterworths, London, 82-85 (1989).
  17. R.W. Kobler : PVC-PET separation process & product, U. S. Patent No. 5234110 (1993).
  18. J. Drelich, J.H. Kim, *et al* : *Separation Science and Technology*, in press (1998).