

## 담배꽂초 재활용을 위한 필터 선별공정 개발 및 셀룰로오스 아세테이트의 추출

박민선<sup>a</sup>, 정민정<sup>a</sup>, 이노섭<sup>a</sup>, 이수철<sup>b</sup>, 이남훈<sup>†</sup>

### Development of Filter Sorting Process for Cigarette Butt Recycling and Extraction of Cellulose Acetate

Minseon Park<sup>a</sup>, Minjung Jung<sup>a</sup>, Noh-sup Lee<sup>a</sup>, Soochul Rhee<sup>b</sup>, Namhoon Lee<sup>†</sup>

(Received: Mar. 18, 2024 / Revised: Apr. 15, 2024 / Accepted: Apr. 16, 2024)

**ABSTRACT:** A study approached the development of a process for efficiently recycling discarded cigarette butts, reported as a major source of microplastic pollution in aquatic environments. Cigarette butts were sorted to extract filters, and cellulose acetate, the raw material of the filters, was extracted to a high degree of purity. The sorting of filters from cigarette butts was conducted through both wet and dry processes, each with optimized sorting conditions. Wet stirring sorting considered factors such as solid-liquid ratio, stirring speed, and stirring temperature. The highest efficiency of wet stirring sorting, at 46.21%, was observed with a solid-liquid ratio of 1:45, stirring speed of 200 rpm, and stirring temperature of 50°C. Dry wind power sorting took into account moisture content and residence time. The filter sorting efficiency reached its peak at 57.10% with a moisture content of 20% and a residence time of 5 minutes. There was no significant difference in the recovery rate of cellulose acetate between the two sorting processes. Dry wind power sorting was deemed a more advantageous process in terms of energy and environmental considerations within the scope of this study.

**Keywords:** Cigarette Butt, Recycling, Sorting, Cellulose Acetate, Cigarette Filters

**초록:** 본 연구에서는 수계 미세플라스틱의 주요염원으로 보고되고 있는 버려진 담배꽂초로부터 필터를 선별하고, 필터의 원료물질인 셀룰로오스 아세테이트를 고순도 추출하여 효율적인 재활용공정을 개발하고자 하였다. 담배꽂초로부터 필터 선별 공정을 습식과 건식으로 구분하여 각 공정별 최적 선별조건을 도출하고, 선별된 필터로부터 셀룰로오스 아세테이트를 추출하여 재활용 가능성 및 선별공정별 효율을 평가하였다. 습식교반선별 인자로는 고액비, 교반속도, 교반온도를 고려하였다. 습식교반선별 효율은 고액비 1:45, 교반속도 200rpm, 교반온도 50°C에서 선별효율이 46.21%로 가장 높게 분석되었다. 건식풍력선별 인자는 함수율과 체류시간을 고려하였다. 필터 선별효율은 함수율 20%, 체류시간 5분에서 선별효율이 57.10%로 가장 높았다. 셀룰로오스 아세테이트의 회수율은 습식교반선별에 의한 필터에서 48.68%, 건식풍력선별공정에서 47.68%로 두 공정의 차이는 없는 것으로 나타났다. 건식풍력선별의 선별효율이 57.10%로 습식교반선별에 비하여 10.89% 높으며, 습식교반선별의 경우 교반 후에 발생하는 폐수와

<sup>a</sup> 안양대학교 환경에너지공학과 대학원생 (Graduate Student, Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University)

<sup>b</sup> (주)미래엔바이런 대표 (CEO, Mirea Environ)

<sup>c</sup> 안양대학교 환경에너지공학과 교수 (Professor, Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University)

† Corresponding author(e-mail: nhlee@anyang.ac.kr)

폐기물, 교반 및 가열 시 필요한 에너지를 고려하였을 때 건식풍력선별이 환경 및 에너지 요구량 측면에서 더 유리한 공정으로 판단된다.

**주제어:** 담배꽂초, 재활용, 선별, 셀룰로오스 아세테이트, 담배필터

## 1. 서론

담배꽂초는 흔하게 볼 수 있는 폐기물이지만, 소비되는 담배꽂초의 30~60%가량은 고형폐기물 관리 시스템에서 처리나 재활용되지 않고 환경에 그대로 노출되고 있다<sup>1)</sup>. 세계적인 담배의 소비, 정책, 연관 질병 등의 자료를 제공하는 Tobacco Atlas의 6차 출판 보고서에 따르면 전 세계적으로 연간 약 60억 개의 담배가 소비되고 그중 75%인 1,250만 개의 담배꽂초가 무단투기 되고 있다<sup>2)</sup>. 무단투기 된 담배꽂초는 빗물에 의해 배수구로 씻겨나가 해변, 강, 항구 등으로 유입되며<sup>3,4)</sup>, 전 세계 해변에서 수거되는 해양폐기물의 40%가량을 차지하고 있다<sup>5)</sup>.

담배 필터에 주로 사용되는 소재인 셀룰로오스 아세테이트는 합성폴리머 플라스틱으로, 담배꽂초 한 개비는 15,000개 이상의 플라스틱 섬유 다발로 구성되어 물속에서 하루에 약 100개의 미세섬유(<0.2mm)를 방출하므로 담배꽂초는 해양미세플라스틱의 주요 원인으로 꼽힌다<sup>6-8)</sup>. 담배꽂초에서 방출된 미세플라스틱은 해양생물의 섭취로 먹이사슬을 통해 전달되므로<sup>9)</sup> 다양한 생태계 문제를 일으킬 수 있고, 지역이나 국가 차원의 문제만으로 간주할 수 없다. 담배꽂초는 발생지를 특정할 수 없고 적절한 처리방안이 없는 실정으로 담배꽂초의 관리 및 처리에 대한 구체적인 계획이 필요하며, 지속가능한 발전을 위한 폐기물 재활용이 더욱 중요해지고 있다.

국내외적으로 담배꽂초의 재활용에 관한 연구는 건축공학, 환경공학, 에너지공학 등 다양한 분야에서 이루어졌다. 재활용은 첫째, 담배꽂초 자체를 원료로 사용하여 다른 물질과 혼합하는 방식으로 (1) 소성점토 벽돌에 혼합, (2) 아스팔트 콘크리트에 혼합, (3) 퇴비화, (4) 활성탄 제조 등의 연구가 이루어졌으며, 둘째, 필터를 선별한 후 용매에 추출하여 셀룰로오스 아세테이트를 원료로 활용하는 방식으로

(5) 셀룰로오스 펄프생산, (6) 생물막 담체, 에 관한 연구가 진행<sup>10)</sup>되었다. 재활용에 있어서 담배꽂초를 그대로 사용하여 건축자재 등으로 활용하는 경우 짧은 전처리과정과 담배꽂초를 대량소비할 수 있는 장점이 있으나 활용처가 한정적이고 강도가 약해지는 단점이 있으며, 퇴비화나 활성탄의 경우 시간과 에너지가 많이 들어가는 단점이 존재한다. 반면 셀룰로오스 아세테이트를 추출하여 원료로 활용하는 재활용은 전처리 과정이 늘어나지만, 3차원 물체, 섬유, 필름, 멤브레인 등 다양한 형태로 가공할 수 있어 다방면에 고부가가치 물질로 재활용이 가능하므로 필터를 선별하여 원료물질을 추출하는 것이 재활용 측면에서 더 유리할 것으로 판단된다. 그러나 현재의 담배꽂초 재활용 관련 연구에서는 실험실 규모에서 소량으로 실험이 이루어져 수선별을 통해 필터를 선별하였고 담배꽂초로부터 재활용 원료물질인 셀룰로오스 아세테이트를 고순도로 추출하기 위해 필터와 종이를 분리하는 선별에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 담배 필터의 소재인 셀룰로오스 아세테이트를 버려진 담배꽂초로부터 선별하여 고부가가치 재생원료 생산을 위한 선별공정의 적용 가능성을 판단하고, 선별공정의 최적조건 도출을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 실험방법

필터의 선별효율 평가를 위해 습식교반과 건식풍력 두 가지 방식에 의한 선별공정을 구분하여 각각의 최적 선별조건을 도출하였다. 각 공정에서 선별된 필터를 용매에 녹여 셀룰로오스 아세테이트를 추출함으로써 공정별 셀룰로오스 아세테이트 회수율을 비교하였다. 실험에 관한 공정도는 Fig. 1에 나

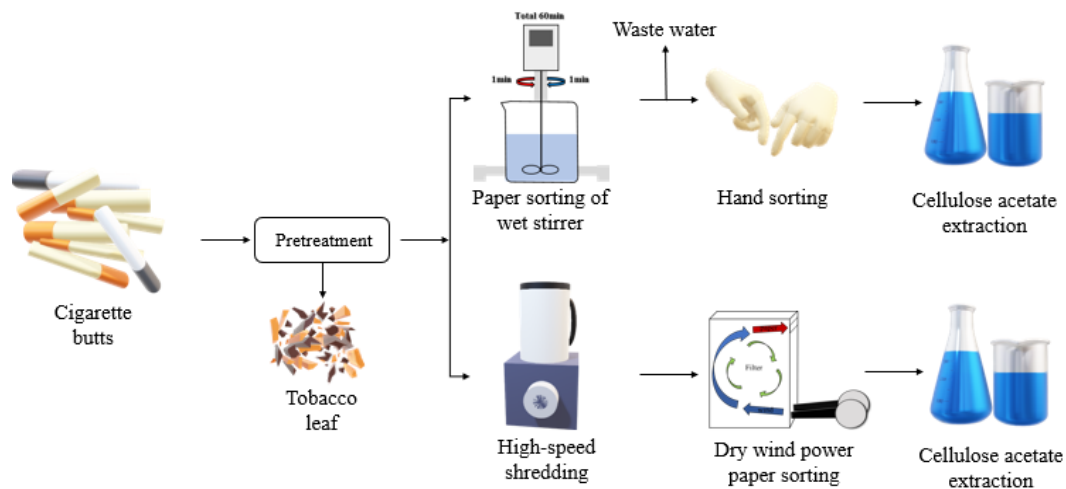


Fig. 1. Schematic diagram of experimental process.

타내었다.

### 2.1. 습식교반에 의한 필터 선별 실험

습식교반에 의한 최적의 필터 선별조건을 도출하기 위하여 종이의 물풀립성을 고려하였다. 종이의 해리는 펄퍼(Pulper)의 전단력과 타격으로 인한 섬유 사이의 마찰력으로 해섬(Defibration)되는 원리이고, 섬유의 해리에 영향을 주는 인자로 온도가 있기 때문에<sup>11,12)</sup>, 고액비, 교반속도, 교반온도를 인자로 선정하였다. 담배꽂초는 전처리과정으로 재와 담뱃잎을 분리하여 건조한 시료 10g을 시료로 하였으며, 교반은 1L 비커에서 수행하였다. 고액비는 실험 여건상 교반이 원활히 이루어지는 비율인 1:35, 1:40, 1:45, 1:50, 1:100으로 구분하여 진행하였으며, 교반속도는 100rpm, 200rpm, 300rpm, 400rpm, 500rpm, 600rpm으로 구분하였고, 교반속도를 600rpm 이상으로 올리는 경우 영킴과 교반기 흔들림으로 인해 실험 진행이 불가능하여 최대 600rpm에서 실험을 진행하였다. 교반온도는 실온인 30°C를 시작으로 물이 끓기 시작하는 온도인 100°C까지 30°C, 40°C, 50°C, 70°C, 100°C로 나누어 실험을 진행하였다. 교반 이후 시료는 원형을 유지한 필터(MF:Maintained Filter), 원형이 유지되지 않은 필터(UMF:Unmaintained Filter), 종이로 구분되었다. UMF의 경우, 재활용 대상인 필터가 종이 등과 혼합되어 필터만을 별도로 분리하는

것이 어렵다. 또한 필터를 종이 및 이물질로부터 분리하기 위한 추가 공정이 필요하므로 재활용 시스템 관점에서 전체적인 공정이 복잡해질 수 있다. 따라서 교반 후 MF만 회수대상 물질로 판단하여 식 (1)의 Worrell식에 따라 선별효율을 도출하였다.

### 2.2. 건식풍력에 의한 필터 선별 실험

건식풍력에 의한 선별 인자는 담배꽂초의 원시료 특성과 수거특성을 고려하였으며, 시설의 용량과 시료의 주입량을 결정할 수 있도록 함수율과 체류시간으로 설정하였다. 담배제품의 수분함량은 7.9%~25%이고<sup>13)</sup>, 우기와 건기시 수거되는 담배꽂초의 차이를 반영하여 함수율을 0%, 10%, 20%, 30%, 40%로 구분하였다. 수분함량이 40% 이상이 될 경우, 분쇄 시 수분에 의하여 필터와 종이가 선별기 벽면에 붙는 현상이 심해져 최대 40%로 범위를 설정하였다. 체류시간은 소형 선별장치의 용량과 블로워 풍속을 고려하여 3분, 5분, 10분으로 구분하였다. 담배꽂초는 전처리과정으로 재와 담뱃잎을 분리한 후 건조된 시료를 1,500W, 24,000rpm의 고속 분쇄기로 5초간 분쇄하였다. 선별실험은 최대풍속 5.9m/s인 소형 블로워와 아크릴 재질의 소형 선별장치를 이용하였으며, 시료량은 선별기 용량을 고려하여 3g으로 하였다. 선별효율은 식 (1)의 Worrell식에 대입하여 도출하였다.

$$\text{선별 효율}(E) = \frac{R_c}{R_i} \times \frac{W_o}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $R_c$  : 선별 분리된 회수대상 폐기물

$R_i$  : 선별장치로 들어오는 회수대상 폐기물

$W_o$  : 선별장치에서 나가는 기타 폐기물

$W_i$  : 선별장치로 들어오는 기타폐기물

### 2.3. 선별공정에서 발생하는 폐수 특성

건식풍력에 의한 필터 선별공정의 경우 선별공정에서 별도의 폐수가 발생하지 않는 반면, 습식교반에 의한 필터 선별공정의 경우 교반 이후 폐수가 발생하게 된다. 처리공정 개발 시 폐수처리시설의 도입을 고려하여 발생하는 폐수의 특성을 파악하기 위한 수질분석을 실시하였다. 분석항목은 SS, TOC, 색도 및 pH이다. TOC는 TOC-L Series(SHIMADZU, Japan)를 사용하여 분석하였고, 색도는 UV-1601(SHIMADZU, Japan)를 이용하여 분석하였다.

### 2.4. 선별된 필터로부터의 셀룰로오스 아세테이트 추출 실험

추출실험은 셀룰로오스 아세테이트의 용매인 아세톤을 이용하였다<sup>14,15</sup>. 추출에 앞서 선별된 필터에 흡착된 유기물 및 니코틴 제거를 위하여 에탄올 및 메탄올로 세척 한 후 아세톤에 녹여 활성탄에 여과하였다<sup>16</sup>. 필터 2g을 에탄올 200mL에 담가 1시간 동안 교반한 후 증류수로 3회 세척, 메탄올 200mL에 담가 45°C에서 1시간 교반 및 증류수 세척을 진행하였다. 추출한 셀룰로오스 아세테이트는 FTIR 분석을 통해 반응기를 확인하였다. 분석은 FT-IR(Vertex 70, Bruker Optics, USA) 장비를 이용하여 ATR Mode에서 ABS단위로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 습식교반에 의한 필터 선별효율

#### 3.1.1. 고액비에 따른 필터 선별효율

고액비에 따른 선별효율을 Fig. 2(a)에 나타내었

다. 고액비 1:45에서 선별효율이 46.2%로 가장 높게 나타났으며, 고액비 1:50일 때 34.3%로 가장 낮았고, 그 이후 비슷한 수준을 유지하여 1:45를 최적 고액비로 선정하였다.

#### 3.1.2. 교반속도에 따른 필터 선별효율

교반속도가 높아질수록 UMF의 양이 늘어나는 특성을 보여 원형을 유지하는 필터의 선별효율을 높이기 위해서는 교반속도를 낮추어야 할 것으로 사료된다. Fig. 2(b)를 보면 선별효율은 100rpm에서 18.7%로 가장 낮았으며, 200rpm에서 46.2%로 가장 높고 300~600rpm에서 31.8%~39.6% 범위로 나타났다. 따라서 200rpm을 최적 교반속도로 선정하였다.

#### 3.1.3. 교반온도에 따른 필터 선별효율

교반온도는 실온인 30°C부터 끓는점인 100°C까지 범위 내에서, 30°C, 40°C, 50°C, 70°C, 100°C로 구분하여 실험을 진행하였다. Fig. 2(c)를 보면 선별효율은 30°C에서 8%, 40°C에서 18.8%로 증가하였고, 50°C, 70°C, 100°C에서 선별효율은 각각 46.2%, 49.4%, 49.5%로 비슷한 경향을 보였다. 온도가 100°C일 때 선별효율이 가장 높았으나 온도가 50°C 이상으로 유지되는 경우 종이와 필터의 풀어짐 현상으로 인하여 UMF의 양이 늘어났다.

온도 50°C에서 100°C까지의 선별효율은 최대 3%밖에 차이가 나지 않는 반면 소요되는 에너지는 물을 상온(25°C)에서부터 50°C까지 가열하는 데는 11,250cal (13.08Wh), 70°C까지는 20,250cal (23.55Wh), 100°C까지는 33,750cal (39.25Wh)로 3배가량 차이 나게 되므로 경제적이거나 에너지적인 측면으로 보았을 때 50°C가 가장 적합한 것으로 판단된다.

### 3.2. 건식풍력에 의한 필터 선별효율

#### 3.2.1. 함수율에 따른 필터 선별효율

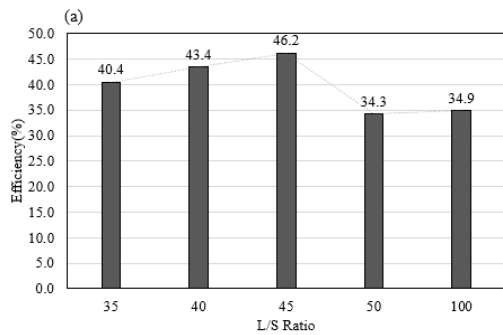
함수율에 따른 필터 선별 실험은 Fig. 3(a)를 보면 선별효율은 함수율 0%는 48.9%, 함수율 20%에서 57.1%로 가장 높았으며, 함수율 30%에서 30.5%로 가장 낮게 나타났다. 본 선별기의 특성상 유출구가 상단에 위치하기 때문에 가벼운 필터가 바람에 의

해 위로 높게 올라올수록 선별이 더 잘되는 특징을 가진다. 함수율별로 선별과정에서, 함수율이 0%에서 20%는 위아래로 움직이는 높이가 전체적으로 높았으나, 그 이후의 함수율에서는 무게에 의하여 최대 2/3지점의 높이에서만 움직였다. 따라서 우기에 회수되는 담배꽁초로부터 필터를 선별하기 위해서

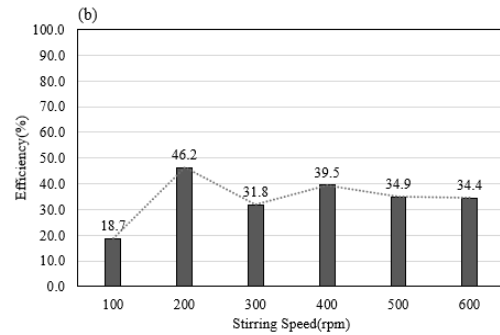
는 풍건 등의 건조과정을 추가할 필요가 있다.

### 3.2.2. 체류시간에 따른 필터 선별효율

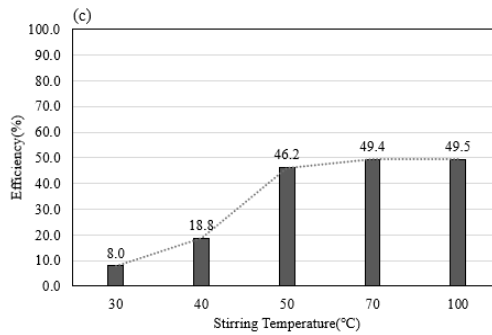
함수율 20% 조건에서 체류시간은 각각 3분, 5분, 10분으로 구분하였다. 실험 진행상 체류시간이 10분 이상이 되면 필터 덩어리가 배출구를 막기 때문에



(a) according to liquid/solid ratio,

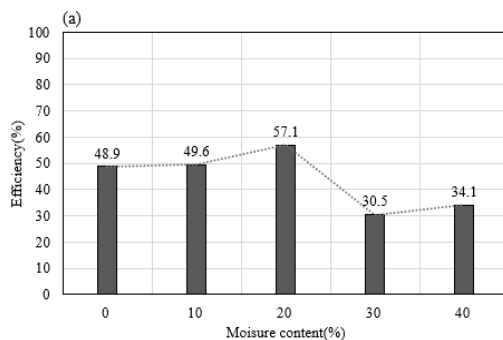


(b) according to stirring speed,

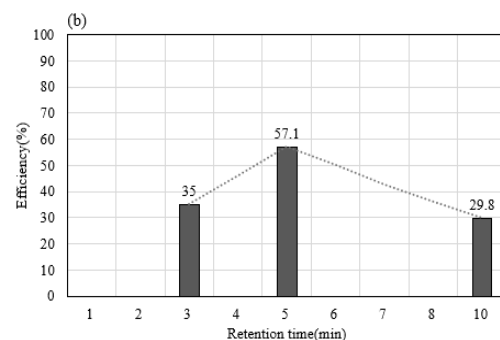


(c) according to stirring temperature

Fig. 2. Sorting efficiencies in wet stirring sorting process. (a) according to liquid/solid ratio, (b) according to stirring speed, and (c) according to stirring temperature.



(a) according to moisture content



(b) according to retention time.

Fig. 3. Sorting efficiencies in dry wind power sorting process. (a) according to moisture content, and (b) according to retention time.

그 이후 시간의 선별을 측정하는 것은 의미가 없으므로 최대 시간을 10분으로 설정하였다. Worrel식에 대입하여 선별효율을 도출한 결과를 Fig. 3(b)에 나타내었는데, 선별효율은 5분에서 57.1%로 가장 높게 나타나 5분을 최적의 체류시간으로 판단하였다.

### 3.3. 선별공정에서 발생하는 폐수 특성

모든 조건에서 교반 후 pH농도는 중성으로 큰 변화가 없었다. Fig. 4(a)를 보면 고액비 실험에서의 TOC 농도와 색도 사이의 결정계수( $R^2$ )가 0.8266으로 높은 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 이는 담뱃잎에 존재하는 탄수화물과 단백질이 흡연 시 반응하여 Maillard 반응으로 갈색색소를 생성하고, 그 중간물질로 Melanoidin을 형성하는데 이 물질은 용존 유기탄소 함량이 높고 색이 짙은 특징을 가지고 있다<sup>17)</sup>. 흡연 시 생성된 갈색색소 및 Melanoidin이 교반 시 마찰로 인해 용출되어 색도와 TOC농도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 교반속도 실험에서 TOC농도와 색도의 결정계수( $R^2$ )는 0.1758로 상관성이 거의 없으며, 교반온도에 따른 TOC농도와 색도의 결정계수( $R^2$ )는 0.9342로 매우 높은 상관관계를 나타냈다. TOC와 색도는 고액비가 낮을수록, 온도가 상온보다 높아질수록 용출에 영향을 미치는 것을 알 수 있고 온도 50°C 이상에서는 비슷한 수준을 유지하는 특성을 보였다.

Fig. 4(b)에 나타난 바와 같이 고액비 실험에서의 SS농도와 TOC농도는 결정계수( $R^2$ ) 0.8996로 상관성

을 보였다. 교반속도 실험에서 SS농도와 TOC농도의 결정계수( $R^2$ )는 0.0647로 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 교반온도 실험에서 SS농도와 TOC농도의 결정계수( $R^2$ )도 0.1867로 상관성이 낮게 분석되었다. 따라서 SS농도는 고액비에 주로 영향을 받는 것으로 나타났다.

TOC농도는 고액비 1:100일 때 938mg/L, 고액비 1:35에서 2,053mg/L으로 분석되었고, SS농도는 고액비 1:100에서 253mg/L, 고액비 1:35에서 907mg/L로 분석되었다. 「물환경보전법시행규칙」의 폐수처리시설 방류수 수질기준의 TOC농도는 15~25mg/L이고, SS농도는 30~80mg/L으로 공정상 발생하는 폐수는 적절한 수처리 공정을 거쳐 처리될 필요가 있다.

### 3.4. 선별된 필터로부터의 셀룰로오스 아세테이트 추출

#### 3.4.1. 필터로부터 셀룰로오스 아세테이트 회수율

1차 에탄올 및 2차 메탄올 세척과정을 거친 후 활성탄 여과를 통해 얻은 셀룰로오스 아세테이트의 회수율을 Table 1에 나타내었다. 습식교반에 의한 실험결과 필터 2.00±0.002g 중 회수된 셀룰로오스 아세테이트가 0.97±0.002g으로 48.69±0.02%의 회수율을 나타내었으며, 건식풍력선별에 의한 실험결과는 필터 2.09±0.001g 중 회수된 셀룰로오스 아세테이트는 0.99±0.001g으로 47.68±0.04%의 회수율을 나타내어 습식교반에 의한 실험결과가 회수율이 1.01% 높

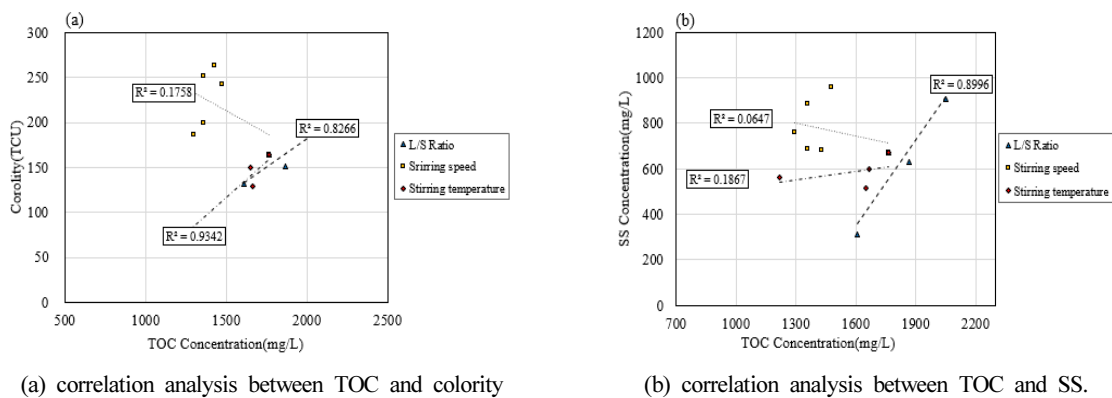


Fig. 4. Relationships between water quality parameters in wastewater from wet stirring sorting experiment. (a) correlation analysis between TOC and absorbance, and (b) correlation analysis between TOC and SS.

게 분석되었다. 두 가지 필터 모두 50%에 가까운 회수율을 보이는데, Ahlawat, Y 등<sup>18)</sup>은 400g의 필터 중 375.6g의 셀룰로오스 아세테이트를 회수하여 93.9%의 회수율을 나타내었고, 실험 과정에서 담배필터에 흡착된 유기오염물 제거를 위하여 에탄올, 디에틸에테르, 헥산 등으로 각각 3회씩 추출 과정을 거쳤다. 그러나 본 실험에서는 유기용매의 사용을 줄이며 유기오염물질을 제거하고자 활성탄을 사용한 차이점이 있었고, 활성탄에 아세톤과 함께 용해된 셀룰로오스 아세테이트가 흡착되어 회수율이 낮아진 것

으로 예상된다. 따라서 공정 도입 시 활성탄을 대체할 수 있는 공정의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

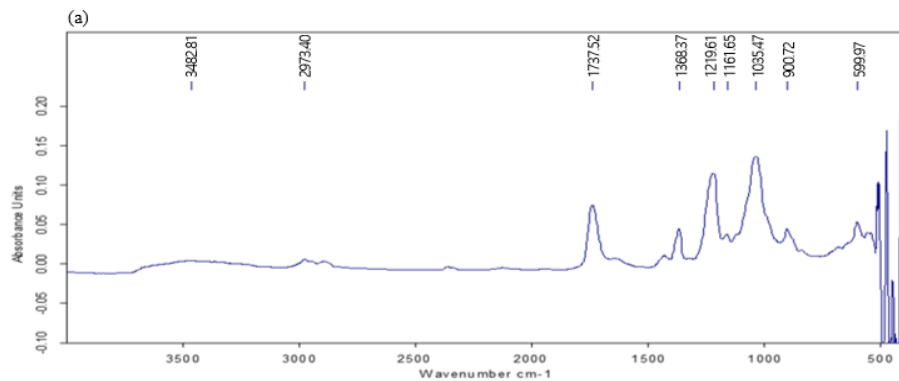
### 3.4.2. 반응기 분석을 통한 셀룰로오스 아세테이트 특성 비교

각 공정별로 선별된 필터에서 추출한 셀룰로오스 아세테이트를 FTIR 분석하여 회수된 물질이 셀룰로오스 아세테이트인지 검증하는 과정을 거쳤으며, 분석결과는 Fig. 5에 나타내었다.

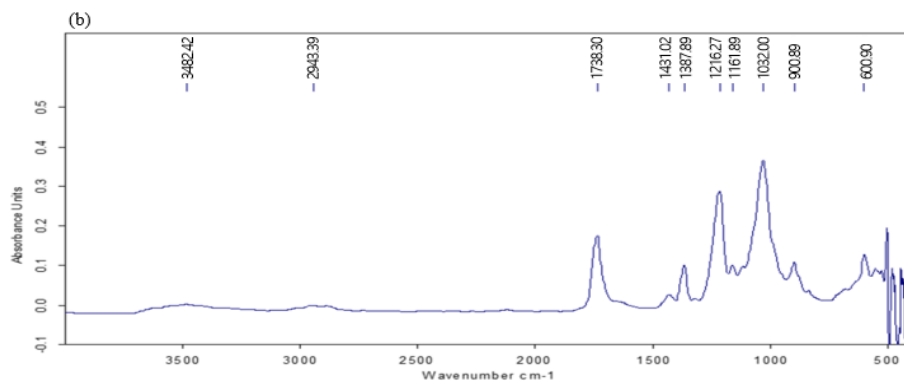
분석결과 Fig. 5(a)는 습식교반선별 필터에서 추출

Table 1. Cellulose Acetate Recovery Rates of Filters Recovered by Wet Stirring Sorting and Dry Wind Power Sorting

Sorting process	Filter(g)	Recovered cellulose acetate(g)	Recovery rate(%)
Wet stirring sorting	2.00±0.002	0.97±0.002	48.69±0.020
Dry wind power sorting	2.09±0.001	0.99±0.001	47.68±0.040



(a) wet stirring sorted filter



(b) dry wind power sorted filter.

Fig. 5. FTIR analysis results of extracted cellulose acetate. (a) wet stirring sorted filter and (b) dry wind power sorted filter.

한 경우, (b)는 건식풍력선별 필터에서 추출한 셀룰로오스 아세테이트이다. 습식교반선별공정, 건식풍력선별공정에서 추출한 경우 모두 유사한 파장 범위에서 피크를 나타내어 동일한 물질임을 알 수 있었으며,  $3,400\text{cm}^{-1}$ 대에서 넓고 완만한 곡선이 확인되었다. 이는 수산화기에 의한 신축진동을 나타내며, 이외에  $1,737\sim 1,740\text{cm}^{-1}$ 에서 카르보닐기 신축진동을 확인할 수 있었고,  $1,367\sim 1,369\text{cm}^{-1}$ 에서 아세틸기의 C-H 결합의 신축진동,  $1,216\sim 1,222\text{cm}^{-1}$ 에서 아세틸기의 C-O결합의 신축진동이 발견되었다<sup>19,20</sup>. 분석결과 문헌값과 유사한 곡선을 나타내고 있으며, 이를 근거로 추출된 물질이 셀룰로오스 아세테이트임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수계 미세플라스틱의 주요 원인으로 꼽히는 담배꽂초로부터 필터를 선별하고, 필터의 원료물질인 셀룰로오스 아세테이트를 추출하여 효율적인 재활용공정을 개발하고자 하였다. 습식교반에 의한 선별과 건식풍력에 의한 선별로 공정을 구분지어 필터를 선별하였으며, 각 공정으로부터 선별한 필터에서 재활용 대상물질인 셀룰로오스 아세테이트를 용매로 추출하여 회수율을 비교하는 등의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 습식교반 선별실험에 의한 필터 선별효율은 고액비 1:45, 교반속도 200rpm, 교반온도 50℃에서 46.2%로 가장 높았으며, 건식풍력선별에 의한 필터의 선별효율은 함수율 20%, 체류시간 5분에서 57.1%로 건식풍력선별이 습식교반실험에 비하여 선별효율이 더 높게 나타났다.
2. 셀룰로오스 아세테이트의 추출은 습식교반에 의해 선별된 필터에서 48.69%, 건식풍력에 의해 선별된 필터에서 47.68%로 두 공정의 차이는 없었다. 추출된 물질의 FTIR 분석 결과 각 공정별로 추출된 물질이 동일한 물질이며, 반응기를 비교했을 때 셀룰로오스 아세테이트로 확인되었다.

3. 100kg의 담배꽂초를 선별하여 셀룰로오스 아세테이트를 추출하는 경우 습식교반에 의한 선별공정은 회수되는 셀룰로오스 아세테이트의 양이 22.49kg이고, 건식풍력에 의한 선별공정은 회수되는 셀룰로오스 아세테이트의 양이 27.23kg으로 건식풍력에 의한 선별공정이 더 많은 양의 셀룰로오스 아세테이트를 회수할 수 있다.
4. 필터 선별공정에서 습식교반에 의한 필터 선별의 경우 100kg의 담배꽂초를 선별하여 22.49kg의 셀룰로오스 아세테이트를 회수하는데  $13.7\text{m}^3$ 의 폐수와 53.8kg 이상의 폐기물이 발생하고, 470.6kWh의 에너지가 요구되며 재활용 공정 도입 시 수선별을 대체하기 위해 별도의 선별공정이 추가되면 에너지 요구량 및 폐기물 발생량이 더 증가할 것으로 예상된다.
5. 건식풍력에 의한 필터 선별의 경우 후속 선별공정이 필요 없으며, 셀룰로오스 아세테이트를 추출할 때 발생하는 폐수  $11.4\text{m}^3$ 의 폐수와 42.9kg 이상의 폐기물이 발생하고 138.89kWh의 에너지가 필요하다. 따라서, 건식풍력선별 공정이 에너지요구량 및 환경적 측면에서 더 유리한 공정으로 판단된다.

담배꽂초로부터 회수된 셀룰로오스 아세테이트를 이용하여 섬유, 건축, 의학 등 여러 분야에 사용이 가능할 것으로 보이며, 용매로 추출하여 재활용하여 형태의 제약이 없으므로 다양한 업사이클링 제품을 제작하여 자원화 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### References

1. Araújo, M. C. B., & Costa, M. F., "A. critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments", *Environmental Research*, 172, pp. 137~149. (2019).
2. Cahn, Z., Drope, J., Hamill, S., Islami, F., Liber, A., Nargis, N., Stoklosa, M., *The Tobacco Atlas*, 6th ed., American Cancer Society and Vital Strategies, pp. 75. (2018).



3. Rebischung, F., Chabot, L., Biaudet, H., & Pandard, P., "Cigarette butts: A small but hazardous waste, according to European regulation", *Waste Management*, 82, pp. 9~14. (2018).
4. Conradi, M., & Sánchez-Moyano, J. E., "Toward a sustainable circular economy for cigarette butts, the most common waste worldwide on the coast", *Science of the Total Environment*, 847, pp. 157634. (2022).
5. Ranjkesh, Z., Nasouri, K. "Facile synthesis of novel porous nickel/carbon fibers obtained from cigarette butts for high-frequency microwave absorption", *J. of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), pp. 106969. (2021).
6. Conradi, M., & Sánchez-Moyano, J. E., "Toward a sustainable circular economy for cigarette butts, the most common waste worldwide on the coast", *Science of the Total Environment*, 847, pp. 157634. (2022).
7. Green, D. S., Tongue, A. D., & Boots, B., "The ecological impacts of discarded cigarette butts", *Trends in Ecology & Evolution*, 37(2), pp. 183~192. (2022).
8. Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress" *Scientific Reports*, 3(1), pp. 1~7. (2013).
9. Belzagui, F., Buscio, V., Gutiérrez-Bouzán, C., & Vilaseca, M., "Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern", *Science of The Total Environment*, 762, pp. 144165. (2021).
10. Lee, W. J., Lee, K. S., Kim, J. D., & Ryu, J. Y. "A study on the recycling of kraft carrier board by dry circular action pre-treatment and alkaline soaking", *Journal of Korea TAPPI*, 51(6), pp. 102~109. (2019).
11. Kim, S. K., Lee, J. K., & Sung, D. H., "A study on pulping process condition through design of experiments", *Applied Chemistry for Engineering*, 9(4), pp. 529~535. (1998).
12. Hać, P., Padariya, C., & Cieřlik, B. M., "Evaluation of mercury content in combustible tobacco products by employing cold vapor atomic absorption spectroscopy and considering the moisture content: a comprehensive study", *Monatsh Chem*, 153, pp. 829~836. (2022).
13. Kurmus, H., & Mohajerani, A., "The toxicity and valorization options of cigarette butts", *Waste Management*, 104, pp. 104~118. (2020).
14. Khoshnevisan, K., Maleki, H., Samadian, H., Shahsavari, S., Sarrafzadeh, M. H., Larijani, B., Abedin Dorkoosh, F., Haghpanah, V., Khorramizadeh, M. R., "Cellulose acetate electrospun nanofibers for drug delivery systems: Applications and recent advances", *Carbohydrate Polymers*, 198, pp. 131~141. (2018).
15. Nair, K., Sambhudevan, S., and Shankar, B., "Synthesis, characterization and dye absorbing properties of cellulose acetate from used cigarette buds", *Materials Today: Proceedings*, 18, pp. 5006~5011. (2019).
16. Mahto, A., Halakarni, M. A., Maraddi, A., D'Souza, G., Samage, A. A., Thummar, U. G., and Nataraj, S. K., "Upcycling cellulose acetate from discarded cigarette butts: Conversion of contaminated microfibers into loose-nanofiltration membranes for selective separation", *Desalination*, 535, pp. 115807. (2022).
17. Ahlawat, Y., Bhardawaj, A., and Bhardwaj, R. "An experimental study on the stability and flow characteristics of mastic asphalt mix using cigarette butt additive", *Materials Today: Proceedings*, 65, pp. 651~661. (2022).
18. Ministry of Environment, Enforcement Regulation of the Resource Saving and Recycling Promotion Act, Annex 7, Article 20-2: Quality Standards for Solid Fuel Products. (2020).
19. Rodrigues Filho, G., Monteiro, D. S., da Silva Meireles, C., de Assunção, R. M. N., Cerqueira, D. A., Barud, H. S., and Messadeq, Y., "Synthesis and characterization of cellulose acetate produced from recycled newspaper", *Carbohydrate Polymers*,

- 73(1), pp. 74~82. (2008).
20. Kim, Y. H., and Kim, H. S., "Preparation of surface-hydrolyzed cellulose acetate fibers and their applications to LCD rubbing cloth", *Polymer(Korea)*, 37(1), pp. 52~60. (2013).