

## 폐 LCD 유리 재활용을 위한 용매 별 유기물 제거 효율에 대한 연구

강유빈 · 최진주 · 박재량 · §이찬기

고등기술연구원 융합소재연구센터

### A Study of Organic Impurity Removal Efficiency for Waste LCD Touch Panel Glass by Solvents Types

Yubin Kang, Jin-Ju Choi, Jae Layng Park and §Chan Gi Lee

*Institute for Advanced Engineering(IAE), Yongin, Korea*

#### 요 약

본 연구에서는 LCD 터치 패널 유리의 재활용을 위해 기계적 방법과 화학적 용해법을 혼용하여 OCA 및 유기 불순물을 제거하는 실험을 진행하였다. 터치 패널의 기계적 파쇄를 위해 cut mill과 oscillation mill을 이용하였으며, OCA와 유기 불순물의 제거를 위해 물, 에탄올, 디클로로메탄을 이용하여 터치 패널 파쇄물을 세정하였다. 세정 이후 TGA를 통해 유기 불순물의 제거 효율을 평가한 결과 디클로로메탄 단일 용매를 사용한 경우 세정 효과가 가장 뛰어났으며, 세정 온도가 증가함에 따라 유기 불순물의 제거 효과가 증가함을 확인하였다. 제타 전위 측정을 통해 터치 패널 유리 파쇄물의 용매 내 분산도를 평가한 결과, 세정 효과가 가장 낮은 물의 제타 전위 절대값이 타 용매에 비해 낮았으며, 유기물의 제거 효과는 화학적인 용해 특성뿐 아니라 용매 내 물리적인 분산 특성에 의해서도 영향을 받을 수 있음을 확인하였다.

**주제어** : 폐 디스플레이, LCD 터치 패널, OCA, 유리, 재활용

#### Abstract

In this study, removal of OCA and organic impurities for recycling LCD touch panel glass was conducted by mechanical and chemical dissolution method. Cut mill and oscillation mill were used for mechanical crushing of touch panel, and water, ethanol, dichloromethane were used to remove OCA and organic impurities. As a result of TGA, when applied only dichloromethane in the process, the efficiency of organic removal was to be best. In addition, removal effect of organic impurities increased as the cleaning temperature increased. As a result of zeta potential analysis to confirm the dispersion degree of touch panel glass in the solvent, the absolute value of the zeta potential of water with the lowest cleaning effect was lower than other solvents, and it was confirmed that efficiency of organic removal is affected not only by the chemical dissolution properties but also the physical dispersion properties in the solvent.

**Key words** : Waste display, LCD touch panel, OCA, Glass, Recycling

· Received : November 6, 2020 · Revised : December 8, 2020 · Accepted : December 15, 2020

§ Corresponding Author : Chan Gi Lee (E-mail : cglee@iae.re.kr)

Materials Science and Chemical Engineering Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17180, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

국내 디스플레이 산업은 1995년 LCD(Liquid Crystal Display)를 시작으로 꾸준히 발전하여 2017년 수출 규모 275억 달러, 우리나라 전체 수출액의 4.80 %에 달하는 핵심 산업중 하나이다<sup>1,2)</sup>. 전 세계 시장 점유율은 2015년 기준 39.20 %에 달하며 생산량과 투자비용 측면에서도 세계 최고 수준으로 스마트폰, 태블릿 등 휴대기기의 보급과 앞으로의 수요를 예상하면 국내 디스플레이 생산량은 꾸준히 증가할 것으로 예측된다<sup>3)</sup>.

이러한 디스플레이 산업의 특징은 자본집약적 장비투자, 다양한 기술과의 융합, 짧은 경기 사이클, 전후방 산업과의 높은 연관 효과 등으로 요약될 수 있다. 특히 산업 사이클이 3~4년 내외로 반복되며 제품 주기가 짧음에 따라 사용 후 디스플레이 폐기물량도 급속히 증가하고 있는 추세이다<sup>4)</sup>. 국내 폐 디스플레이 발생량은 2015년부터 매년 200~300만 대 정도로 추측되며, 이는 앞으로의 수요 증가와 맞물려 더욱 증가할 것으로 예측된다<sup>5)</sup>.

그러나 국내 폐 디스플레이 재활용 기술은 선진국 대비 낮은 수준으로 제품을 구성하는 단일부품 및 모듈에 대해서 극히 일부만 진행 중에 있다<sup>6)</sup>. 특히 LCD 폐유리의 경우 디스플레이 특성 상 일반 유리에 비해 고품위의 유리로서 제조 방법이 복잡하고 단가 또한 높으나, 전량 매립에 의존하고 있는 실정이다<sup>3,5)</sup>. LCD 제품 내 중량 기준 유리의 비중이 5.80 %를 차지한다고 가정할 때<sup>5,6)</sup>, 연간 발생하는 LCD 폐유리는 460,000 톤에 달하며 경제적, 환경적 측면을 고려할 때 재활용 방안 마련이 시급하다.

LCD 터치 패널은 최근 대형 TV뿐 아니라, 태블릿 PC, 핸드폰 등 중·소형 전자기기까지 널리 사용되고 있는 디스플레이로, 단순 디스플레이와 달리 사람의 손이나 펜 등의 외부 자극을 통해 신호 전달과 시각 정보를 동시에 전달하는 특수 디스플레이로 널리 사용되고 있다. Fig. 1과 같이 ITO 필름, 강화유리, FPCB(Flexible Printed Circuit Board), OCA(Optically Clear Adhesives) 등의 부품으로

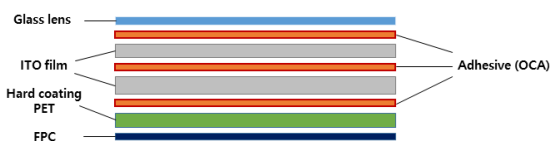


Fig. 1. Cross-sectional view of LCD touch panel.

이루어져있으며 부품의 원가 비중이 높음에도 불구하고 생산 공정 중 불량 발생 시 재사용이 어려워 전량 폐기되고 있는 실정이다.

터치 패널의 구성품 중 control IC나 FPCB는 열을 가하여 기계적인 방법으로 탈거 및 재생이 가능하다. 그러나 OCA로 전면이 접착되어 있는 강화유리와 터치 필름은 기계적인 방법으로 탈거 및 분리가 어려우며, OCA와 유기물이 유리나 필름으로 전이되기 때문에 고품위 유리 분말 제조를 위해선 이를 제거하기 위한 별도의 공정이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 태블릿 PC에서 발생하는 폐 터치 패널의 재활용을 위해 기계적인 방법과 함께 화학적 용해법을 혼용하여 OCA 필름 및 유기 불순물을 제거하는 연구를 진행하였다. 터치 패널의 기계적 파분쇄를 위해 cut mill과 oscillation mill을 이용하였으며, OCA와 유기물의 제거를 위해 물, 에탄올, 디클로로메탄을 이용하여 터치 패널 파쇄물을 세정하였다. 이후 용매 조건에 따른 세정 효과를 관찰하기 위해 TGA 분석을 진행하였으며, 최종적으로 세정 용매와 세정 조건에 따른 유기 불순물의 제거 효과에 대해 고찰하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용된 폐 터치 패널은 S사의 소형 태블릿 PC에 포함된 것으로 터치 패널의 기계적 파분쇄를 위해 먼저 태블릿 PC를 분해 후 터치 패널을 추출하였다. 추출된 터치 패널은 Fig. 2의 공정도와 같이 cut mill(Pulverisette 19, Fritsch)을 이용하여 1차 파쇄를 진행하였으며, oscillation mill(한국기계엔지니어링)을 이용하여 2차 분쇄를 실시하였다. 1차 공정인 cut mill의 경우 400 RPM으로, 2차 공정인 oscillation mill의 경우 1,500 RPM 조건으로 30분간 파분쇄를 진행하였다.

터치 패널 유리의 파분쇄 이후 파쇄물의 형상 및 파쇄물에 부착된 유기물의 관찰을 위해 FE-SEM(Mira 3, Tescan) 분석을 실시하였으며, 파쇄물을 전도성 테이프에 접착 후 백금 코팅하여 500, 1000, 3000 배율로 분석을 진행하였다. Table 1은 터치 패널 유리 파쇄물의 세정 실험 조건을 나타낸다. 터치 패널 폐유리에 존재하는 유기물은 PVA(Polyvinyl alcohol), T-Butyl Acrylate, TAC(Triacetyl Cellulose) 등이 대표적인 것으로 알려져 있으며<sup>7,8)</sup> 이들은 각기 다른 용해성을 가지고 있기 때문에 물(Sigma Aldrich,

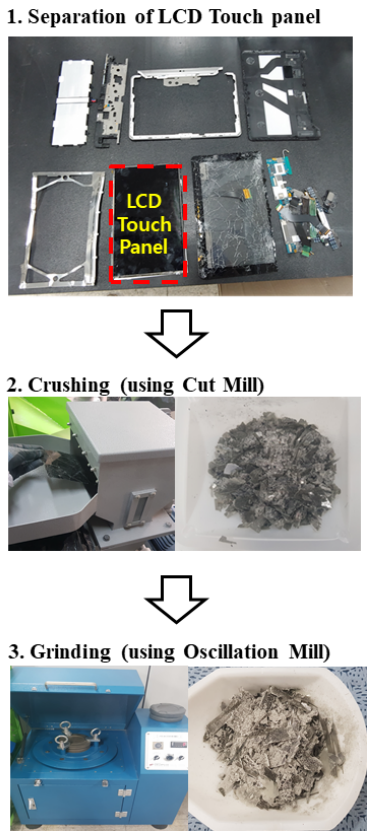


Fig. 2. Separation of waste touch panel and mechanical crushing.

99.9 %), 에탄올(Sigma Aldrich, 99.9 %), 디클로로메탄 (Sigma Aldrich, 99.9 %) 3 종의 용매를 이용하여 세정 실험을 진행하였다. 터치 패널 유리 파쇄물과 용매의 pulp density는 5 g/100ml를 유지하였으며, 각 용매별 세정 시간을 3시간으로 고정하여 300 rpm 속도로 교반하며 세정 하였다. 세정 시간에 따른 세정 효율 확인 실험은 디클로로메탄 용매 조건과 pulp density를 조건을 고정한 상태로 교반 시간을 1시간부터 6시간까지 1시간 간격으로 제어 하여 실험하였으며, 9번 시료를 제외한 나머지 모든 실험의 반응 온도는 실온으로 유지하여 실험을 진행하였다. 단일 용매에 따른 터치 패널 파쇄 입자의 용매 내 분산성을 확인하기 위해 제타 전위 측정기(Zeta Potential Analyzer, Photal)를 이용하여 제타 전위를 측정하였으며, 용매 별 총 7회 측정을 진행한 후 평균값을 도출하여 분산성을 확인하였다.

터치 패널 유리 파쇄물의 세정 이후 TGA(DTG-60H, SHIMADZU) 분석을 통해 용매 및 세정 조건에 따른 유기 불순물의 잔류율을 평가하였다. 20 mg의 시료 장입 후 10 °C/min으로 승온하여 600 °C까지 시료를 가열하였으며, 600 °C 도달 이후 상온까지 로냉하여 평가를 진행하였다. 가열 과정에서 파쇄물 표면의 유기물의 제거로 무게 감량이 발생하였으며, 초기 무게 대비 감소율을 기준으로 세정 후 잔류 유기물의 함량을 측정하였다.

Table 1. Experimental conditions for washing touch panel glass

Specimen	Reaction time (hour)	Pulp density (g/100mL)	Temperature (°C)	Solvent
1	3	5	25	Water
2	3	5	25	Ethanol
3	3	5	25	Dicloromethane
4	3	5	25	Water + Ethanol
5	3	5	25	Ethanol + Dicloromethane
6	3	5	25	Water + Ethanol
7	3	5	25	Ethanol + Ethanol + Dicloromethane
8	3	5	25	Dicloromethane -> Water
9	3	5	50	Water -> Ethanol
10	1	5	25	Dicloromethane
11	2	5	25	Dicloromethane
12	4	5	25	Dicloromethane
13	5	5	25	Dicloromethane
14	6	5	25	Dicloromethane

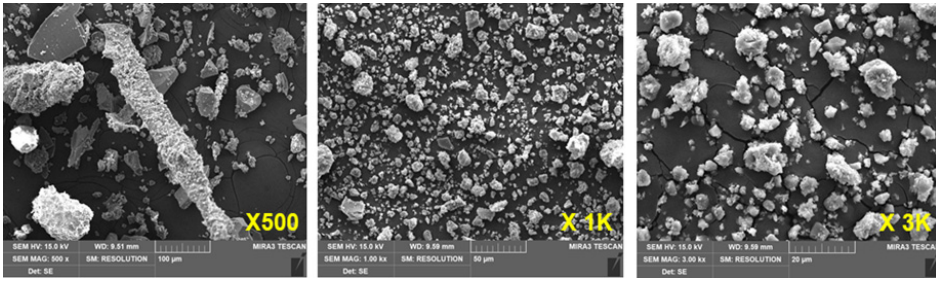


Fig. 3. SEM images of touch panel glass after mechanical crushing.

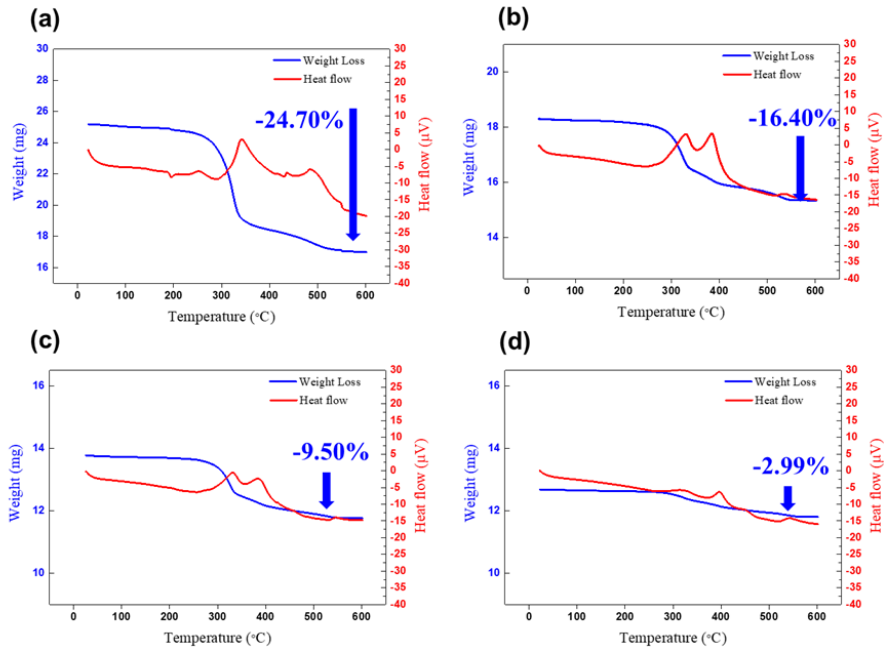


Fig. 4. Removal efficiency of organic impurities using solvents; (a) as-received, (b) water, ion; (a) water, (b) ethanol, (c) dichloromethane.

### 3. 실험결과 및 토론

#### 3.1. 터치 패널 폐유리의 파분쇄

Fig. 3는 Cut Mill과 Oscillation Mill을 이용하여 파분쇄한 터치 패널 폐유리 분쇄물의 FE-SEM 분석 사진을 나타낸다. 물리적 처리를 거친 분쇄물들은 5  $\mu\text{m}$ 에서부터 수 mm까지 다양한 크기의 파편 조각들로 존재하였으며, 날카롭고 불규칙한 다각형 형태를 띠는 것을 확인할 수 있다. 유기물로 예상되는 흰색의 미세 불순물들이 유리 표면에 단단하게 접착되어 있었으며, 기계적인 파쇄로는 유리와 유기물의 분류가 불가능한 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2. 단일 용매를 이용한 터치 패널 유리 파쇄물의 유기 불순물 제거

단일 용매(물, 에탄올, 디클로로메탄)를 통한 터치 패널 유리 파쇄물의 유기 불순물 제거 효율을 확인하기 위해 3 시간 동안 세정 후 완전 건조한 시료에 대해 TGA 분석을 실시하였다. Fig. 4에 나타난 것처럼 단순 파쇄 처리한 터치 패널 유리 파쇄물의 경우 300  $^{\circ}\text{C}$  부근에서 약 24.70%의 급격한 중량 감소가 일어나는 현상을 확인할 수 있으며, 이는 PVA, TAC, T-butyl acrylate의 분해점을 고려하였을 때, 유기물의 분해로 인한 중량감소임을 예상할 수 있다<sup>9-11)</sup>. 단일 용매로 세정한 유리 파쇄물 역시 300  $^{\circ}\text{C}$  부

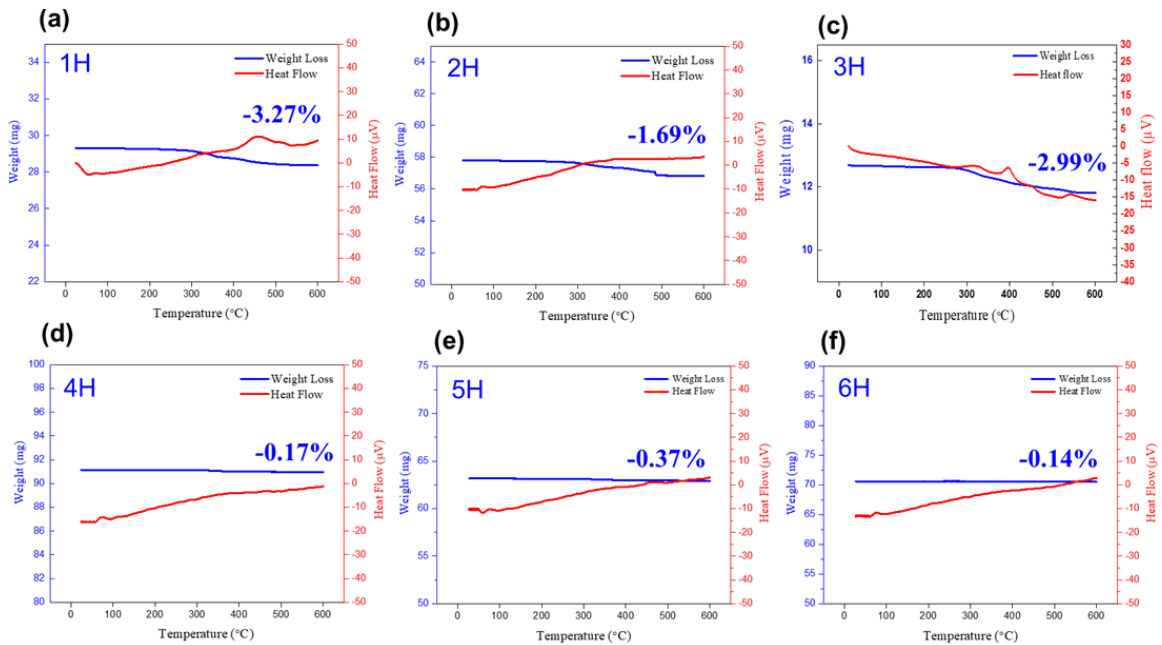


Fig. 5. Removal efficiency of organic impurities according to washing time (in dichloromethane) : (a) 1 H, (b) 2 H, (c) 3 H, (d) 4 H, (e) 5 H, (f) 6 H.

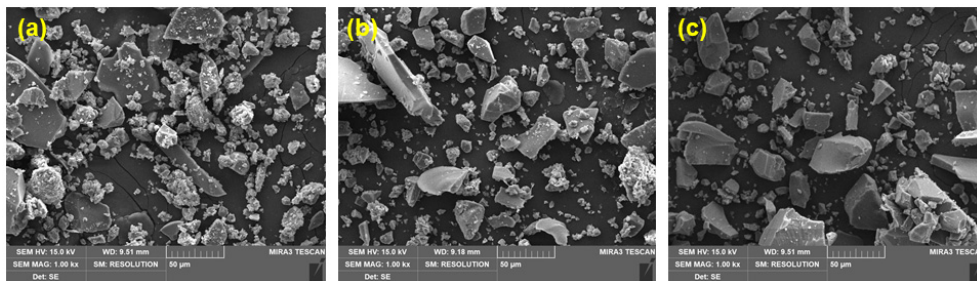


Fig. 6. SEM images of touch panel glass according to solvent condition; (a) water, (b) ethanol, (c) dichloromethane.

근에서 열분해 반응이 일어나는 것을 확인할 수 있으며, 물의 경우 16.40 %, 에탄올의 경우 9.50 %, 디클로로메탄의 경우 2.99 %의 중량 감소 현상이 관찰되었다. 이에 따라 동일 조건에서 단일 용매를 이용한 터치 패널 파쇄물의 세척 시 디클로로메탄이 가장 우수한 세정력을 가짐을 확인할 수 있다. Fig. 5는 디클로로메탄 단일용매를 이용하여 세척시간에 따른 TGA 분석 결과를 나타낸다. 세척 시간 1시간부터 3시간의 경우 1~3 %의 유기물이 존재하였으며, 4시간 이상 세척하였을 때 유기물 1 % 이하의 세정 효과를 확인하였다. 따라서 세정 시간이 증가할수록 폐유리 분말의 용매 노출 시간 증가로 인하여 세정 효과가 증

가 될 수 있음을 예상할 수 있으며, 결과적으로 디클로로메탄 단일용매를 이용하여 4시간 이상 세척하였을 때, 가장 우수한 세정효과를 기대할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 6은 단일 용매를 이용한 터치 패널 유리 파쇄물의 세척 후 SEM 분석 결과를 나타낸 것이다. 모든 용매 조건에서 세척 처리를 하지 않은 파쇄물에 비해 유기 불순물이 용해되고 접착제에 의해 강제 응집되어 있는 분말이 탈리되는 것을 관찰할 수 있다. 가장 우수한 세정 특성을 보였던 디클로로메탄의 경우 파쇄물 표면의 유기 불순물이 거의 존재하지 않는 것을 확인할 수 있으며, 물과 에탄올 또한 파쇄물 표면의 유기물이 상당 부분 제거된 것을 관찰할 수 있다.



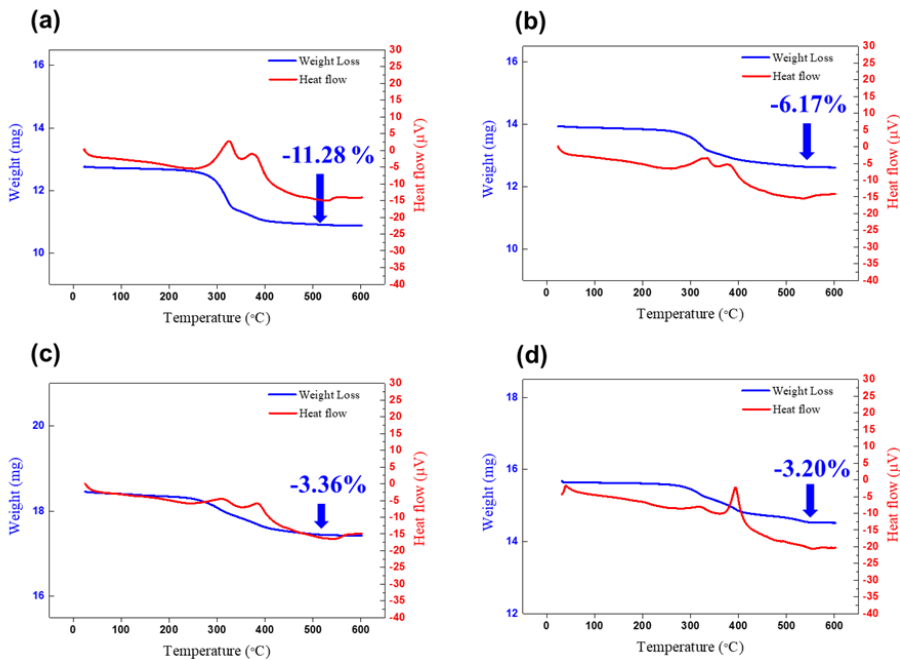


Fig. 7. Removal efficiency of organic impurities using mixed solvents; (a) water + ethanol, (b) ethanol + dichloromethane, (c) water + dichloromethane, (d) water + ethanol + dichloromethane.

### 3.3. 혼합 용매를 이용한 터치 패널 유리 파쇄물의 유기 불순물 제거

단일 용매로서 유기 불순물의 세정 효과가 우수한 디클로로메탄의 경우 휘발성이 크고 생산 단가가 높은 단점이 존재한다. 또한 CI기를 포함한 유독성 유기용매로서 대용량의 세정 작업 시 작업자의 안전과 환경적 문제가 발생할 확률이 높다. 이에 따라 무독성 용매와의 혼합을 통해 디클로로메탄의 사용량을 줄이거나, 무독성 용매 조건에서 세정 온도를 높이는 등 공정 변수 변화를 통하여 디클로로메탄 단일 용매에 준하는 세정력을 기대하도록 추가 실험을 진행하였다.

Fig. 7은 각각의 단일 용매를 1:1 비율로 섞은 혼합 용매를 이용하여 세정한 터치 패널 유리 파쇄물의 TGA 분석 결과를 나타낸 것이다. 물+에탄올 혼합용매를 이용하여 세정 시 유기 불순물의 잔류율은 11.28%로 관찰되었으며, 에탄올+디클로로메탄 조건에서는 6.17%, 물+디클로로메탄 조건에서는 3.36%의 잔류율을 나타냈다. 세 용매를 모두 1:1:1 비율로 혼합한 물+에탄올+디클로로메탄 조건에서는 3.20%의 잔류율을 나타냈다. 물과 에탄올의 경우 혼합 용매 조건에서 단일 용매 대비 더 높은 세정력

을 나타냈으며, 디클로로메탄이 혼합된 용매의 경우 디클로로메탄 단일 용매만 사용하여 세정한 조건과 비슷한 효과를 보임을 확인하였다.

터치 패널 파쇄물 내 유기물에 대한 세정력을 높이기 위해 세정 온도 제어나 세정 순서 변경에 대한 공정이 고려될 수 있다. 세정 순서에 대한 유기 불순물의 제거 효과를 관찰하기 위해 디클로로메탄에 1.5시간 동안 세정 후 물로 추가 세정을 1.5시간 동안 진행하였다. 또한 무독성 용매 조건에서 세정 온도의 영향을 관찰하기 위해 물로 1.5시간 세정 후 에탄올로 추가 세정을 1.5시간 동안 진행하였으며, 공정 온도를 50 °C로 가온하여 실험을 진행하였다.

Fig. 8에 세정 순서 및 세정 온도를 변화시켜 세정한 터치 패널 유리 파쇄물의 TGA 분석 결과를 나타냈다. 디클로로메탄으로 1차 세정 후 물로 추가 세정을 진행한 경우 유기 불순물의 잔류율은 5.09%로 관찰되었으며, 디클로로메탄 단일 용매를 이용하여 세정한 조건에 비해 세정 효과가 떨어짐을 관찰할 수 있다. 또한 50 °C의 온도에서 물로 1차 세정 후 에탄올로 2차 세정한 조건에서는 유기물 잔류율이 7.66%로, 물과 에탄올의 혼합용매 조건에서보

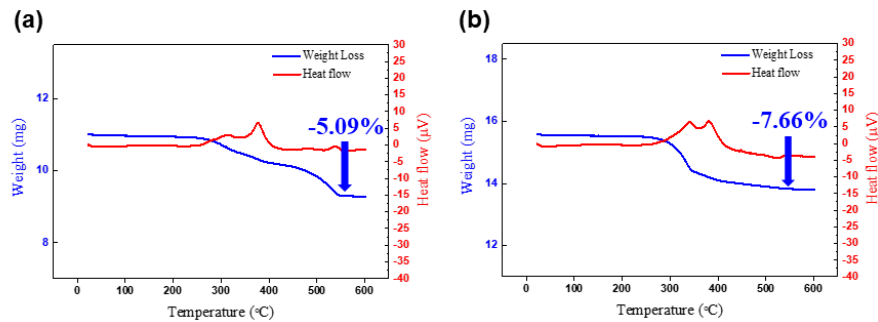


Fig. 8. Removal efficiency of organic impurities according to washing sequence and temperature; (a) water after dichloromethane (at R.T), (b) ethanol after water (at 50 °C).

Table 2. Zeta potential of touch panel glass according to solvent condition

Specimen	Average (mV)	Standard Deviation
Water	-0.52	0.38
Ethanol	19.27	2.12
Dicloromethane	9.07	1.09

다는 다소 높은 유기물 제거율이 확인되었다.

단일 용매로서 터치 패널 유리 파쇄물에 포함되어 있는 유기물의 세정 특성 차이는 용매 자체의 화학적 특성뿐 아니라 물리적인 분산 특성으로도 설명이 가능하다. Table 2는 터치 패널 유리 파쇄물의 용매 종류에 따른 제타 전위 측정 결과를 나타낸 것이다. 제타 전위는 절대값이 클수록 안정하여 분산이 잘되고 있는 상태를 뜻하며, 절대값이 작을수록 불안정하여 입자들이 응집되고 분산이 어려운 것을 의미한다<sup>12)</sup>.

물의 경우 폐유리 입자에 대한 제타 전위 절대값의 평균은 0.52 mV로, 에탄올이나 디클로로메탄의 제타 전위 절대값인 19.27 mV, 9.07 mV 대비 매우 작은 값을 나타낸다. 결과적으로 재료거동학적인 측면에서 터치 패널 유리 파쇄물은 물에서 분산이 어려워 상대적으로 유기물이나 불순물을 세정하는데 있어 물리적으로 더 많은 에너지가 필요하다는 것을 뜻하며, 세정액으로서 비효율적일 수 있음을 판단할 수 있다. 따라서 터치 패널 유리 파쇄물의 유기물 제거 특성은 용매의 화학적인 용해 특성이 주요 요소로 작용하나, 용매에 따른 물리적인 분산 특성에 의해서도 영향을 받을 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 폐 LCD 터치 패널 유리의 재활용을 위해 기계적 방법과 화학적 용해법을 혼용하여 흡착된 유기 불순물을 제거하고자 하였다. 터치 패널 유리에 존재하는 유기물은 PVA, T-Butyl Acrylate, TAC가 대표적으로 이들은 각기 다른 용해성을 가지고 있기 때문에 물, 에탄올, 디클로로메탄 3종의 용매를 이용하여 세정 실험을 진행하였다.

- 1) Cut mill 과 oscillation mill을 이용하여 기계적 파쇄를 거친 터치 패널 유리 파쇄물의 경우 유기물의 제거가 거의 이루어지지 않았으며, 기계적인 파쇄만으로는 유리와 유기물의 분류가 불가능하였다.
- 2) 물, 에탄올, 디클로로메탄 단일 용매를 이용하여 터치 패널 유리 파쇄물의 세정 결과, 디클로로메탄의 유기 불순물 잔류율이 6시간 세정시간 기준으로 최대 0.14%를 나타내어 가장 우수한 세정력을 나타냈다.
- 3) 2종 이상의 용매를 혼합하여 터치 패널 유리 파쇄물의 세정 결과, 디클로로메탄을 포함한 물+디클로로메탄, 물+에탄올+디클로로메탄 용매 조건에서 유기 불순물 잔류율이 각각 3.36, 3.20 %로 가장 우수한 세정력을 나타냈다.
- 4) 세정 순서 및 세정 온도를 변화시켜 공정 변수에 대한 영향을 평가한 결과, 세정 온도가 증가함에 따라 세정 효과가 증가하였지만 세정 순서의 경우 유기 불순물 세정 효과 향상에 큰 영향을 미치지 않았다.
- 5) 제타 전위 측정을 통해 용매 별 터치 패널 유리 파쇄물의 물리적 분산 특성을 확인한 결과, 세정 효율이 가장

낮은 물의 제타 전위 절대값이 에탄올, 디클로로메탄에 비해 현저히 낮은 것을 확인하였다. 따라서 터치 패널 유리 파쇄물의 유기물 제거 특성은 용매의 화학적인 용해 특성이 주요 요소로 작용하나, 용매에 따른 물리적인 분산 특성에 의해서도 영향을 받을 수 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 유용자원재활용기술개발사업단(글로벌탄환경기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다(No. 2016002250005).

### References

1. Yeong-Jun Park, 2019 : Display Technologies for Immersive Devices and Electronic Skin, Electronics and Telecommunications Trends, 34(2), pp.10-18.
2. Korea Customs Service, 10 major import and export items, [https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=2455](https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2455), November 2, 2020.
3. Seong-Kyun Kim, Il-Young Jang, 2018 : Application of LCD Waste Glass Fine Powder for High Performance Concrete Development, Magazine of RCR, 13(1), pp.14-20.
4. Hyun Seon Hong, Mansik Kong, Sungkyu Lee, et al., 2010 : Overview and Future Concerns for Recycling Display Wastes, Korean Industrial Chemistry News, 13(1), pp.10-19.
5. Dongyoon Shin, Leeseung Kang, Jae Layng Park, et al., 2015 : Current Research Trend on Recycling of Waste Flat Panel Display Panel Glass, Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 24(1), pp.58-65.
6. Sungkyu Lee, Leeseung Kang, Chan Gi Lee, et al., 2013 : Disassembly and Compositional Analysis of Waste LCD Displays, Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 22(2), pp.29-36.
7. Juhee Suh, Jungwoo Shin, Hyokap Kim, et al., 2010 : Effect of Poly(vinyl alcohol) Adhesives on the Dimensional Stability of LCD Polarizer, Polymer(Korea), 34(6), pp.560-564.
8. Chang Hyuk Lim, Yong Jae Jung, Ur Ryong Cho, et al., 2009 : A study on Synthesis of Acrylic Pressure Adhesive for Polarizer Film by Solution Polymerization, Elastomers and Composites, 44(2), pp.175-181.
9. M. S. N. Salleh, N. N. Mohamed Nor, N. Mohd, et al., 2017 : Water Resistance and Thermal Properties of Polyvinyl Alcohol-starch Fiber Blend Film, AIP Publishing LCC, 1809(1), pp.020045-1-020045-10.
10. J. R. Schaefgen, I. M. Sarasohn, 1962 : Observations on the Thermolytic Decomposition of Poly(*tert-butyl Acrylate*), Journal of Polymer Science, 58(166), pp.1049-1061.
11. Ahmed El Nembr, Safaa Ragab, Amany El Sikaily, et al., 2016 : Testing Zinc Chloride as a New Catalyst for Direct Synthesis of Cellulose di- and tri-acetate in a Solvent Free System Under Microwave Irradiation, Carbohydrate Polymers, 20(151), pp.1058-1067.
12. Yubin Kang, Soojung Son, Kun-Jae Lee, 2015: Dispersion Control and Characterization of the SiO<sub>2</sub>/PMMA Particles Using Surface Charge, Journal of Korean Powder Metallurgy Institute, 22(6), pp.403-407.

---

#### 강유빈

- 단국대학교 에너지공학과 석사
  - 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 연구원
  - 당 학회지 제27권 5호 참조
- 

---

#### 최진주

- 성균관대학교 신소재공학과 석사
  - 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 연구원
- 

---

#### 박재량

- 충남대학교 바이오응용화학학과 공학석사
  - 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 선임연구원
- 

---

#### 이찬기

- 일본 큐슈대 물질이공학과 공학박사
  - 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 수석연구원
  - 당 학회지 제26권 4호 참조
-