

## 발포기술을 이용한 폐 LCD유리 여재의 수질정화능력 평가

### Evaluation of the Water Purification Efficiency of Waste LCD Glass Media by Using Foaming Technology

안태웅<sup>1</sup> · 최이송<sup>2</sup> · 오종민<sup>2\*</sup>

Tae-Woong Ahn<sup>1</sup> · I-Song Choi<sup>2</sup> · Jong-Min Oh<sup>2\*</sup>

1 경희대학교 대학원 환경응용과학과, 2 경희대학교 공과대학 환경학 및 환경공학과·환경연구센터

(2010년 5월 13일 접수 ; 2010년 7월 23일 수정 ; 2010년 7월30일 채택)

#### Abstract

The purpose of this study is to reprocess Waste-LCD(Liquid Crystal Display), to widely increase specific surface-area by foaming agent in the process of reprocessing and to use as a substrate of water treatment which is increased the ability of biological treatment, as well as to control non-point source pollutants produced by surface run off during rainfall with using this substrate, and to improve water quality of public watershed as developing substrate for water treatment to be able to purify second treated water which is exhausted at the wastewater treatment plant. The average removal efficiency of Waste-LCD that using the foaming technology was SS 71.2%, BOD 55.7%, COD 58.4%, T-N 29.5% and T-P was 50.3%. Almost Media, early stage showed low removal efficiency of SS and BOD. However, it became high when the microorganism adhered the Media. The variation of SS removal efficiency was high by inflow concentration of SS. The reason for the Media 4 showed high SS removal efficiency is that it has wide specific surface-area, and also it has a pore. All in all, it shows floating matter treatment ability not only inside but it also works outside of the substrate.

**Key words** waste-LCD(Liquid crystal Display), removal efficiency, biological treatment, foaming technology

**주제어** : 폐 LCD(Liquid crystal Display), 제거효율, 생물학적 처리, 발포기술

#### 1. 서론

최근 들어 전자제품 산업의 성장과 함께 버려지는 전자제품의 양도 같이 증가하고 있다(안기철, 2002). EU(European Union)는 전기전자제품 폐기물의 발생을 억제하기 위한 지침과 동 제품의 유해폐기물 사용 억제를 위한 지침, 양 지침의 도입을 동시에 추진 중이다. 양 지침은 현재 EU 이사회와 유럽의회의 공동결정 절차를 남겨놓고 있

어 조만간 도입할 것으로 예상 된다.

사람들의 소득이 증가하고 전자제품의 가격이 하락하면서 점점 더 많은 사람들이 각종 전자제품을 구입하고 있는 것도 전자폐기물 증가의 원인이다. 게다가 급격한 기술 발달로 전자제품의 종류가 늘어난 반면, 제품의 평균 수명은 짧아져 제품을 더 빠르게 폐기하고 있는 실정이다. 이렇게 늘어나는 전자폐기물은 독성화학물질 배출, 국가 간의 이동, 자원 고갈 등 또 다른 위험과 문제점을 일으키고 있다.

\* Corresponding author Tel:+82-31-201-2461, Fax:+82-31-203-4589, E-mail: jmoh@khu.ac.kr(Oh, J.)

특히 잘못된 혹은 부적절한 방식으로 처리된 전자폐기물은 우리에게 악영향을 미치는 위험물질로 되 돌아온다.

폐 LCD의 배출원은 크게 가정, 기업, 공공기관으로 나눌 수 있으며, 비율의 높기는 가정 > 기업 > 공공기관의 순이다. 이 중 기업과 공공기관은 동시에 다량의 컴퓨터가 배출되는 특성이 있다. 기업의 경우 최신형의 모델을 필요로 하기 때문에 교체주기가 짧는데, 이렇게 발생한 컴퓨터 폐기물은 주로 재사용된다. 가장 많은 양이 배출되고 있는 컴퓨터는 배출시기와 배출량, 배출되는 장소가 불규칙적이다. 배출되는 컴퓨터는 본체, 모니터, 프린터, 스캐너 등 주변기기이며, 이 과정에서 LCD도 다량 배출되고 있다. 배출된 폐 LCD는 자치단체, 민간수집상인, 생산자가 수거하고, 기업이나 공공기관에서 다량의 컴퓨터를 민간수집상에 넘길 경우 입찰이나 경매를 이용하기도 하며, 가정에서 배출되는 폐 LCD는 여러 경로를 통해서 수거된다. 이러한 폐 LCD는 수거는 되고 있지만, 재활용은 미흡한 실정이다(황용우, 2002).

폐 LCD 시장은 재사용 시장과 재활용 시장으로 나누어지며, 보통 폐 LCD 유통 및 처리에 관여하고 있는 업체의 경우 이 두 가지를 모두 겸하고 있다. 업체들은 직접 폐 LCD를 수거하기도 하고 중간 수집원에 일정금액을 지불한 후 폐 LCD를 구입하기도 한다. 폐 LCD 재활용사업은 폐 컴퓨터를 파쇄하여 물성별로 재활용하는 일이다. 재활용은 용융

이나 파쇄 등 재사용보다 복잡한 공정을 거쳐야 하기 때문에 투자비용이 높아 제도권 내에서 영업을 하는 업체는 국내에 서너 개 회사에 불과하며, 따라서 재활용되지 못하는 폐 LCD는 폐기처분된다. 따라서 폐 LCD를 재활용 할 수 있는 기술 개발이 시급한 실정이다. 이에 수질정화의 효과를 얻을 수 있는 기능성 수처리 여재를 개발하여 폐 LCD에 의한 오염을 줄이고, 동시에 공공수역의 수질을 개선하고자 하였다.

따라서 본 연구의 목적은 폐 LCD를 재가공하고, 재가공하는 과정에서 발포제에 의해 비표면적을 크게 향상시켜 생물학적 처리기능을 향상시킨 수질정화용 여재로 활용하는 것이며, 또한 본 여재를 이용하여 하수처리장에서 배출되는 2차 처리수를 정화할 수 있는 수처리 여재를 평가함으로써 공공수역의 수질을 개선하는데 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 이용된 Lab plant의 시스템을 Fig. 1에 나타내었으며, 예비침전지는 160 ℓ 용량의 플라스틱 용기를 이용하였으며, 침전지에서 조류의 성장을 억제하고 대기중의 비산먼지로부터 유입을 막기 위하여 뚜껑을 설치하였다. 반응조의 체원은 길이 0.52 m, 폭 0.30 m, 높이 0.30 m 크기

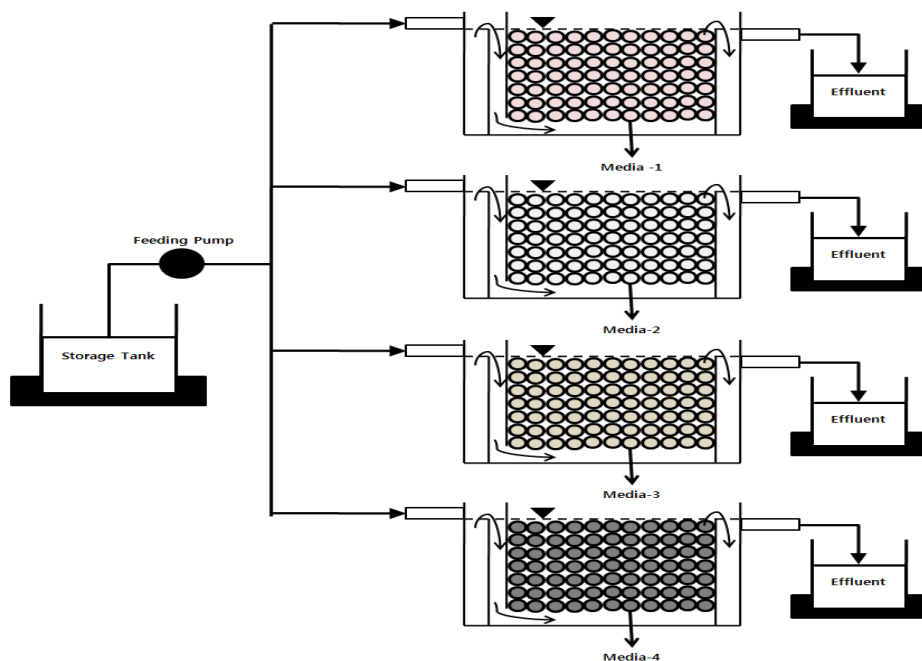


Fig. 1. Schematic diagram of experimental facility

(총용량 46.8 l)이고 반응조의 두께 10 mm의 투명 아크릴판으로 4개조를 제작하여 실험하였다. 반응조에서 채널링(channeling)에 의한 단회로(Short circuiting)를 방지하기 위하여, Fig. 1에 나타난 바와 같이 반응조에 정류벽(Baffle)을 설치하여 3개의 독립된 지를 두어 분할하여 운전하였다. 수심은 유출구의 막힘과 유입폐수 펌프의 사고 등에 대비하여 여유고 0.02 m를 고려하여 0.28 m로 하였고, 반응조의 총 유효용량은 43.6 l이다. 또한, 반응조로 유입된 시료는 여재와 충분히 접촉할 수 있고, 접촉산화지내에서의 SS 유입량을 저감시킬 수 있으며, 균일한 흐름을 확보할 수 있도록 상향류(上向流) 방식을 채택하여 본 실험을 실시하였다.

### 2.2 실험재료

폐 LCD 유리여재의 공극조건에 따른 오염제거 능력을 평가하기 위해 4종류의 여재(Fig. 2)를 준비하여 반응조

에 의한 실내실험을 실시하였다. Media-1, 2는 일반적인 폐유리를 이용하여 제작된 수처리여재이며(Fig. 2), Media-3은 플라스틱을 이용한 수처리여재이고, Media-4는 발포기술이 적용된 폐 LCD 유리 여재를 이용하여 오염물질 제거 능력을 평가하였다.

### 2.3 실험방법

본 실험에 사용된 시료는 K 대학교 하수처리장의 최종 침전조로부터 정량펌프를 사용하여 유입시켰으며, 매일 일정한 시간에 채수를 실시하였다. 또한, 실험장치의 운전 초기에 정상화시킬 수 있도록 접촉 여재를 반응조에 15일 동안 침지시킨 후, 부착조류에 의한 부착막이 형성된 여재를 이용하였고, 유출수가 안정된 시점부터 30일간 실시하였다. 수질분석은 일정시간에 반응조의 4개조에서 유입수와 유출수를 채취하여, Table 1에 나타난 분석항목과 분석방법에 따라 실험하였다.

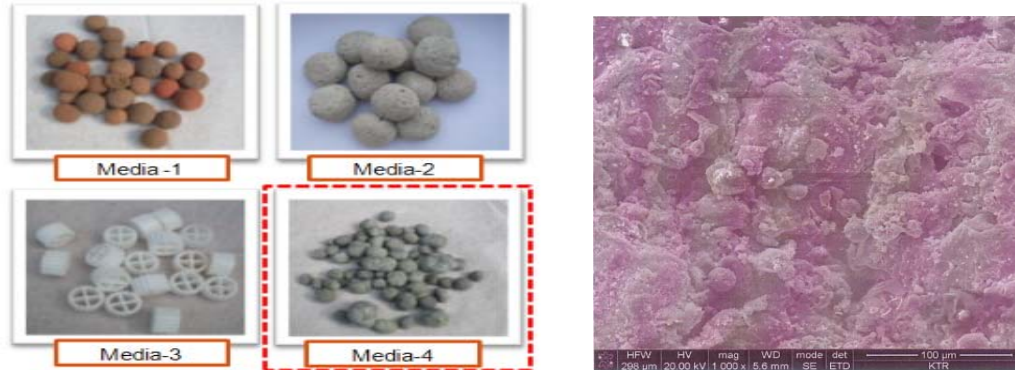


Fig. 2. The system uses four types of Media and SEM

Table 1. Water analysis items and methods

Items	Analytical methods
Temperature(°C)	Mercury thermometer
pH	Portable pH Meter 330)
EC(μm/cm)	Portable pH Meter pH 330
SS(mg/l)	EC Meter (HANNA)
BOD(mg/l)	Azide Modification
COD(mg/l)	Closed Reflux, Titrimetric Method
T-N(mg/l)	Ultraviolet Spectrophotometric Method
NO <sub>2</sub> -N(mg/l)	Standard Methods
NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	Standard Methods
NH <sub>3</sub> -N(mg/l)	Standard Methods
T-P(mg/l)	Ascorbic Acid Method
PO <sub>4</sub> -P(mg/l)	Standard Methods

본 연구에서는 각 지점에 대하여 수질 측정 항목 중 수온, pH, EC는 현장 실험을 실시하였으며, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P는 실내 실험을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수온, pH, DO 및 EC 변화 특성

실험기간 동안의 수온, pH, DO 및 EC 평균값을 Table 2에 나타내었다. 유입수에 비해 유출수의 pH가 모든 Media에서 높은 수치를 나타내었는데, pH의 상승은 Media 내외부에 부착되었던 조류가 실험기간동안 광합성 활동을 하여 수중에 CO<sub>2</sub>를 소비하기 때문에 공기 중에서 물속으로 유입되는 CO<sub>2</sub>량 보다 조류에 의한 소모량이 크기 때문이다. 수중 CO<sub>2</sub>는 조류의 광합성 활동이 극대화되면서 점차 감소하게 되는데, 이러한 CO<sub>2</sub> 감소는 물속의 알칼리도 형태를 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>에서 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 과 OH<sup>-</sup> 형태로 변화시키고, pH를 상승시키는 요인이 된 것으로 판단된다.

#### 3.2 부유물질 처리 특성

Fig. 3은 실험기간 동안의 유입수와 Media 1~4의 SS 농도 변화에 대해 나타낸 그림이다. 유입수 평균 19.2 mg/L(범위 17.5~23.2 mg/L), Media 1 평균 5.9 mg/L(범위 2.1~18.5 mg/L), Media 2 평균 13.7 mg/L(범위 12.2~18.2 mg/L), Media 3 평균 7.4 mg/L(범위 3.9~18.7 mg/L), Media 4 평균 5.6 mg/L(범위 2.7~17.5 mg/L)로 나타났다. Media 4가 높은 SS처리효율을 보이는 이유는 기존 다른 접촉여재와 비교해서 비표면적이 크고, 내부에 공극을 가지고 있는 특성을 가지고 있어 여재 외부뿐만 아니라 내부에서도 부유물질 처리효율을 보일 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

#### 3.3 유기물질 처리 특성

##### 3.3.1 BOD 제거효율 검토

실험기간 동안의 유입수와 Media 1~4의 BOD 농도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 유입수 평균 6.6 mg/L(범위 6.2~6.8 mg/L), Media 1 평균 3.7 mg/L(범위 3.2~6.0 mg/L), Media 2 평균 4.1 mg/L(범위 3.5~5.8 mg/L),

Table 2. Characteristics of influent and effluent during operating period

구분	Inflow	Media 1	Media 2	Media 3	Media 4
수온 (°C)	21.8 (17.9~24.0)	21.8 (18.0~22.6)	21.9 (18.2~23.4)	21.9 (18.2~23.9)	21.9 (17.9~22.6)
pH	7.15 (7.06~7.21)	7.20 (7.12~7.29)	7.24 (7.11~7.35)	7.23 (7.06~7.34)	7.22 (7.05~7.35)
EC (ms/cm)	0.724 (0.696~0.771)	0.717 (0.694~0.757)	0.718 (0.695~0.742)	0.721 (0.693~0.748)	0.724 (0.687~0.744)
DO (mg/L)	7.9 (7.3~8.4)	7.3 (6.7~8.2)	7.8 (7.1~8.6)	7.7 (7.0~8.4)	7.5 (6.8~8.3)

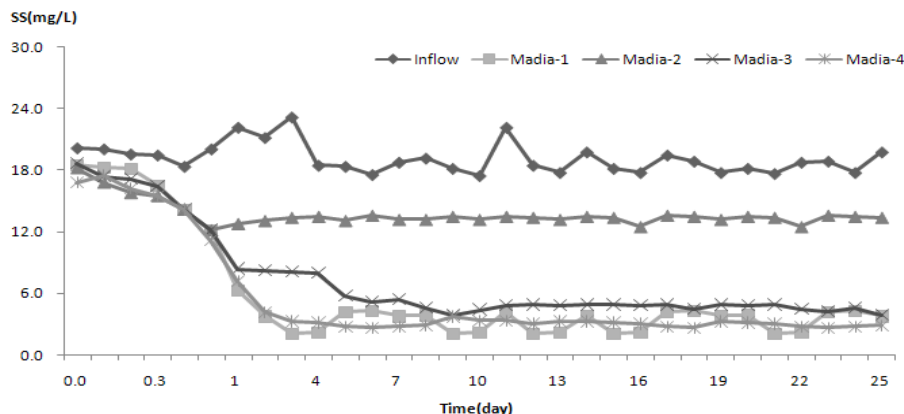


Fig. 3. Variation of SS concentration in influent and effluent on media reactor during operating period

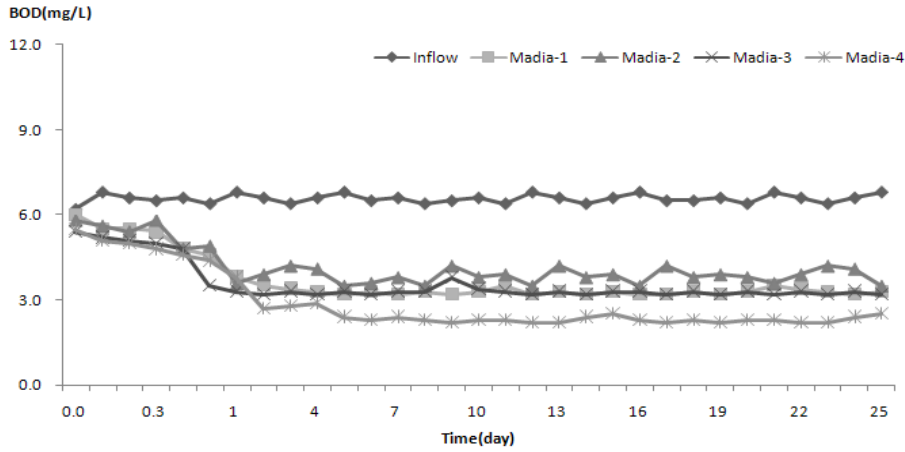


Fig. 4. Variation of BOD concentration in influent and effluent on media reactor during operating period

Media 3 평균 3.6 mg/L(범위 3.2~5.4 mg/L), Media 4 평균 2.9 mg/L(범위 2.2~5.5 mg/L)로 나타났다. 반응초기에는 여재별 BOD 농도 변화가 거의 없었지만 12시간이 지나면서 오염물질의 제거가 일어나는 것으로 나타났다. 특히 Media 4에서는 1일 이후로 지속적으로 오염물질의 저감이 크게 일어나는 경향을 보였는데, 이는 내부공극으로 인해 오염물질을 처리하는 기능이 극대화되었을 것으로 사료되며, 여재 내부 뿐 만 아니라 외부에서의 생물막 형성 등으로 인해 부유물질에 대한 처리가 양호한 것으로 나타났다.

### 3.3.2 COD 제거효율 검토

실험기간 동안의 유입수와 Media 1~4의 COD 농도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 유입수 평균 9.8 mg/L(범위 8.8~11.2 mg/L), Media 1 평균 6.9 mg/L(범위 6.4~8.2

mg/L), Media 2 평균 7.4 mg/L(범위 7.1~8.6 mg/L), Media 3 평균 5.9 mg/L(범위 5.2~8.0 mg/L), Media 4 평균 4.0 mg/L(범위 3.4~8.2 mg/L)로 나타났다. 특히 Media 4에서 다른 여재보다 더 많은 오염물질의 제거가 일어나는 경향을 보였는데, 이는 충전된 여재에 의한 유기물 흡착과 유입수내의 미생물의 생물학적 산화·분해에 의한 것으로 사료되며, Media 4는 미생물이 서식할 수 있는 담체로서의 역할을 충분히 하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.4 영양물질 처리 특성

오염수 중의 유기물과 질소(N), 인(P) 등은 생물막을 형성하고 있는 호기성 미생물에 의하여 분해되며, 이것은 생물막의 반응이 영양원인 BOD와 DO에 의하여 지배됨을 의미한다. 용존산소(DO)가 침투될 수 있는 생물막의 두께는

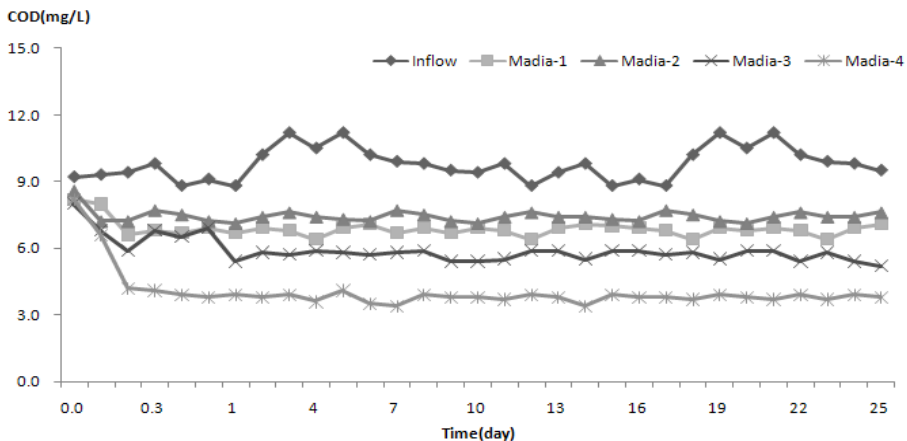


Fig. 5. Variation of COD concentration in influent and effluent on media reactor during operating period

2~3 mm 정도라고 알려져 있는데, 생물막이 계속 성장함으로써 막이 두터워지면 DO가 생물막의 심부까지 침투하지 못하여 혐기성층이 형성되게 된다. 혐기성층에서는 미생물이 혐기성의 신진대사를 하므로 유기산과 황화수소가 발생한다. 이 때문에 생물막이 두터워지면 혐기성층도 두터워지고 유기물이 혐기성적으로 분해되어 악취가 발생된다. 혐기성층에서 증식된 미생물의 일부는 혐기성으로 분해되며, 이러한 분해가 진행되면 생물막은 기반에서 탈리되고 새로운 생물막이 형성되기 시작한다. 혐기성층이 현저하게 증대하는 것은 호기성처리에서는 도움이 되지 못하므로 생물막을 갱신하는 것이 바람직하며, 최근에 이러한 연구들이 활발하게 진행 중에 있다.

### 3.4.1 T-N 제거효율 검토

Fig. 6은 실험기간 동안의 유입수와 Media 1~4의 T-N

농도 변화에 대해 나타낸 그림이다. 유입수 평균 24.7 mg/L(범위 22.2~27.5 mg/L), Media 1 평균 17.5 mg/L(범위 14.8~20.5 mg/L), Media 2 평균 17.3 mg/L(범위 16.6~18.4 mg/L), Media 3 평균 15.8 mg/L(범위 14.2~20.2 mg/L), Media 4 평균 15.3 mg/L(범위 14.2~18.8 mg/L)로 나타났다. Media 4에 생물막이 잘 생성되어 생체 전환율이 높고, 여재 표면에서는 호기성 미생물의 부착과 여재 내부에는 혐기성 미생물의 부착이 이루어지는 특징으로 인해 질산화 미생물에 의한 질소의 제거가 나타나는 것으로 사료된다.

### 3.4.2 T-P 제거효율 검토

실험기간 동안의 유입수와 Media 1~4의 T-P 농도 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 유입수 평균 7.4 mg/L(범위 7.1~7.7 mg/L), Media 1 평균 4.8 mg/L(범위 4.0~6.6 mg/L), Media 2 평균 4.7 mg/L(범위 3.8~6.8 mg/L),

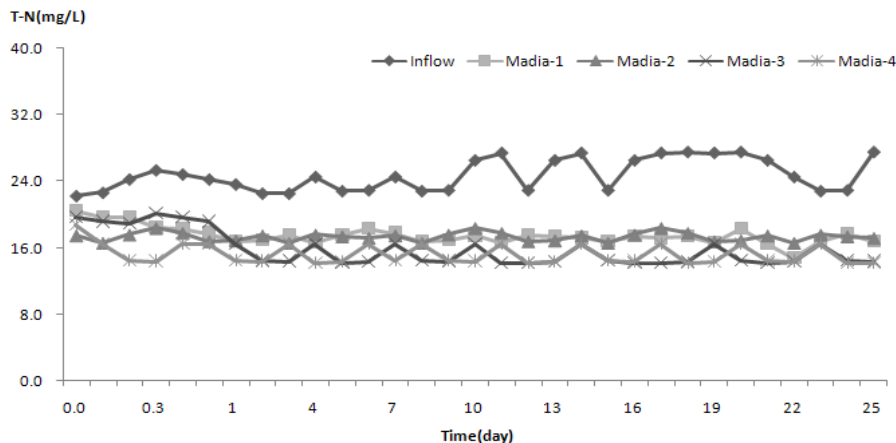


Fig. 6. Variation of T-N concentration in influent and effluent on media reactor during operating period

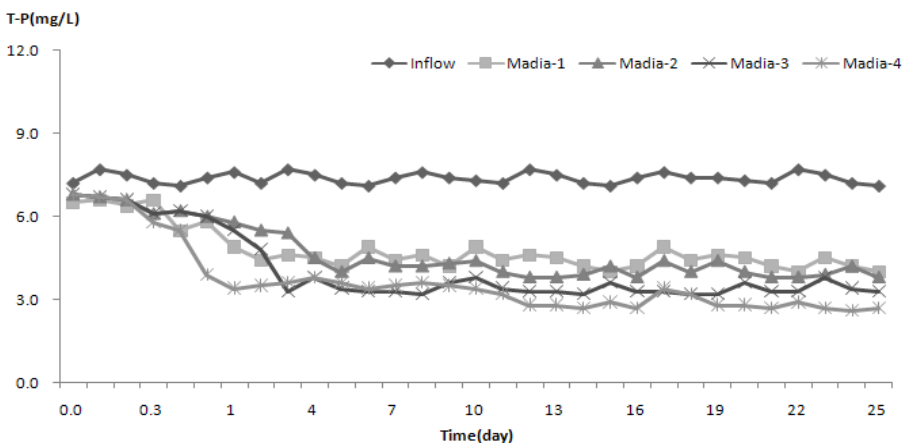


Fig. 7. Variation of T-P concentration in influent and effluent on media reactor during operating period

Media 3 평균 4.1 mg/L(범위 3.2~6.8 mg/L), Media 4 평균 3.7 mg/L(범위 2.6~6.8 mg/L)로 나타났다. Media 4는 미생물체 유기물로의 전환에 의한 제거 기전 유리되는 무기 인산염 즉  $PO_4^{3-}$ 가 여재에 함유 유리되는 Fe, Ca, Mg 등 양이온과 반응, 난용해성 염을 형성하고 이 염이 미생물 막 또는 여재에 흡착 흡수되어 제거될 수 있는 제거 기전이 동시에 발생할 수 있는 다공성 여재의 특성에 의하여 양호한 처리효율 나타내는 것으로 사료된다.

### 3.5 여재별 처리효율 검토

여재별 평균 처리효율을 Table 3에 나타내었다. 대부분의 Media에서 초기에는 SS, BOD 제거효율이 낮았지만 미생물이 Media에 부착되는 시점부터는 제거효율이 높아지는 것으로 나타났다. SS의 제거효율은 유입수의 SS 농도에 따라 변화폭이 크게 나타났다. 이처럼 Media 4가 다른 Media보다 높은 SS 처리 효율을 보이는 이유는 기존 다른 접촉여재에 비해 비표면적이 크고, 내부에 공극을 가지고 있는 특성을 가지고 있어 여재 외부 뿐 만 아니라 내부에서도 부유물질 처리효율을 보일 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

Media 4를 이용한 경우 여재에 생물막이 잘 생성되어 생체 전환율이 높은 것으로 판단되며, 여재 표면에서는 호기성 미생물의 부착과 여재 내부에는 혐기성 미생물의 부착이 이루어지는 특징으로 인해 질산화 미생물에 의한 질소의 제거가 나타나는 것으로 판단된다. T-N과 마찬가지로 T-P도 Media 4에서 50.3%의 양호한 처리효율을 보여주고 있는데, 이는 미생물체 유기물로의 전환에 의한 제거, 유리되는 무기 인산염 즉  $PO_4^{3-}$ 가 여재에 함유 유리되는 Fe, Ca, Mg 등 양이온과 반응, 난용해성 염을 형성하고 이 염이 미생물 막 또는 여재에 흡착 흡수되어 제거될 수 있는 제거 기전이 동시에 발생할 수 있는 Media 4의 특성에 의한 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구는 폐 LCD를 재가공하고, 재가공하는 과정에서 발포제에 의해 비표면적을 크게 향상시켜 생물학적 처리기능을 향상시킨 수질정화용 여재로 활용하기 위한 평가를 실시하였다. 또한 본 여재를 하수처리장에서 배출되는 2차 처리수를 정화할 수 있는 수처리 여재를 개발함으로써 공공수역의 수질을 개선 가능성을 평가하였으며, 수질오염 특성 평가를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 본 연구 결과, 실험기간 동안의 유입수와 Media 1~4의 오염물질의 농도변화를 조사하였으며, SS 평균 농도는 유입수가 19.2 mg/L, Media 1이 5.9 mg/L, Media 2가 13.7 mg/L, Media 3이 7.4 mg/L, Media 4가 5.6 mg/L로 나타났으며, SS 유입농도에 따른 유출농도는 Media 4에서 가장 낮게 나타나 오염물질의 제거가 가장 잘 일어나는 것으로 나타났다. 또한, BOD 평균 농도 변화는 유입수가 6.6 mg/L, Media 1이 3.7 mg/L, Media 2가 4.1 mg/L, Media 3이 3.6 mg/L, Media 4가 2.9 mg/L로 나타났으며, T-N 평균 농도는 유입수가 24.7 mg/L, Media 1이 17.5 mg/L, Media 2가 17.3 mg/L, Media 3이 15.8 mg/L, Media 4가 15.3 mg/L로 나타났다.
- (2) 본 연구에서 발포기술이 적용된 폐 LCD 유리여재의 평균 제거효율은 SS 71.2%, BOD 55.7%, COD 58.4%, T-N 29.5%, T-P 50.3%로 나타났으며, 대부분의 Media에서 초기에는 SS, BOD 제거효율이 낮았지만 미생물이 Media에 부착되는 시점부터는 제거효율이 높아지는 경향을 보였다.
- (3) SS의 제거효율은 유입수의 SS 농도에 따라 변화폭이 크게 나타나는 경향을 보였으며, 이처럼 Media 4가 Media 1~3 보다 높은 SS 처리 효율을 보이는 이유는 기존에 사용되고 있는 접촉 여재에 비해 비표면적이

Table 3. Removal efficiency according to the variation of Media

구분	Media 1	Media 2	Media 3	Media 4
SS	69.7%	28.2%	61.9%	71.2%
BOD	43.6%	36.9%	45.4%	55.7%
COD	29.3%	23.7%	37.8%	58.4%
T-N	28.7%	35.5%	37.8%	29.5%
T-P	35.2%	36.5%	44.4%	50.3%



크고, 내부에 공극이 큰 특징을 가지고 있기 때문인 것으로 판단되었다. 또한, 여재의 외부 뿐만 아니라 내부에서도 부유물질에 대한 처리가 가능하기 때문에 기존의 여재보다 오염물질에 대한 처리가 높을 것으로 판단된다.

- (4) 본 실험적 연구를 통해 폐 LCD 유리를 재활용함으로써, 폐 LCD 유리를 발포기술을 이용하여, 수처리 여재로 적용 가능성을 확인할 수 있었으며, 추후 여재에 따른 오염물질의 제거능을 평가하는데 있어서 하수처리장의 2차 처리수 뿐만 아니라 Media 4를 비점오염원의 제어를 위한 여재로 활용가능성을 평가하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 서울장학재단 하이서울장학금의 지원 및 환경부의 폐기물에너지화·자원화 전문인력양성사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 고인범, 이용두(1997), 다공성 플라스틱 여재를 이용한 지하수 중 질산성질소의 제거특성, *한국환경과학회 발표논문집*, pp.47-51.
- 김주영, 남종현, 정다운, 조안나, 최승익, 안태석(2009), 저농도 영양염류를 농축하는 여재에서 총인과 부착세균의 변화, *미생물학회지*, 제45권 제2호 pp.133-139.
- 박동근, 장정국, 심문용, 류동춘, 노재순(2002), 섬유여재에 의한 부유물질 제거 특성 -섬유사 종류 및 충전 밀도-, *한국환경과학회 발표논문집*, pp.183-184.
- 서동철(2003), 자연정화공법에 의한 하수처리장에서 최적 여재 선정, *한국환경농학회지*, 제22권 제1호, pp.26-35.
- 안규홍, 송경근, 김태균, 조강우, 홍승관, 윤민혁(2009), 여재 특성에 따른 강우 유출수 내 오염물질 제거특성 평가, *대한환경공학회지*, 제31권 7호, pp. 483~490.
- 안기철(2002), EU 전기전자제품 관련 환경규제 논의와 우리의 대응 : 전기전자제품 폐기물지침 및 유해물질 사용제한 지침을 중심으로, *산업연구원*.
- 안태웅, 최이송, 오종민(2009), 에코크리트를 이용한 접촉산화 수처리조의 오염물질 정화능력 평가, *한국수처리학회지*, 제17권 제1호, pp.53-60.
- 이영신, 정상철, 홍성철(1997), 수처리용 다공성여재의 개발에 관한 연구, *한국환경위생학회지*, 제23권 제4호, pp.16-20.
- 이영신, 김동민, 정상철, 백명석(1996), 다공성 여재를 이용한 고정생물막 반응기 특성에 관한 연구, *한국환경위생학회지*, 제22권 제1호, pp.99-106.
- 황용우(2002), 환경성과 경제성을 통합한 폐가전제품 재질의 재활용 Potential 산정 방법론, *한국폐기물학회*, Vol. 19, No 8, pp.970-979.
- Takana, Miyajima, Funakosi and Chida(1995), Filtration of Munciple Sewage by Ring Shaped Floating Plastic Net Media, *Wat. Res*, 29(5), pp. 1387-1392.
- Thorsten D. Mosisch, Syuart E. Bunn, Peter M. Davies(1999), Effect of shade and nutrient manipulation on periphyton growth in a subtropical stream, *Aquatic botany*, Vol. 64, pp.167-177.
- W, G. CHARACKLIS(1981), Fouling Biofilm Development : A Process Analysis, *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 13, pp.1923-1960.
- 玉井 元治, 河合 章, 來田(1994), 生態系を考慮したコソクリート, *社團法人資源素材學會*, vol. 4, No. 1, pp.41-48.