활성탄과 금속 코팅 모래를 이용한 BPA의 최적 제거법 탐색

박서경 권이찬 이희원 정민재
세종과학고등학교

Investigation of BPA Elimination Method Using Activated Charcoal and Metal-Coated Sand

Seokyung Park. Leechan Kwon, Heewon Lee, Minjae Jung
Sejong Science High School

국문 초록

BPA는 플라스틱 합성에 흔히 사용되는 물질이나, 환경호르몬으로서 생물체에게 악영향을 끼친다는 연구 결과가 나오고 있으며, 이에 BPA 제거를 위해 활성탄 흡착을 이용하는 방법이 활발히 연구되고 있다. 이번 연구에서는 금속으로 코팅한 모래와 활성탄을 혼합하여 사용할 때 금속 종류별로 흡착률이 증가하는 폭을 연구하였다. 연구 결과 금속 코팅 모래(MCS; Metal Coated Sand)를 이용하는 것이 실제로 BPA 제거에 효과적임을 알 수 있었고, 철, 코발트, 아연 중 철로 코팅했을 때 가장 제거율이 높았으나 유의미한 차이를 보이지는 않았다. 각 금속이 이루는 결정 구조를 분석하여 최상의 흡착률 달성을 위한 방법을 알아낼 연구가 추가로 진행되어야 할 것이다.

주제어: BPA, 활성탄, MCS(Metal Coated Sand), 흡착

Ⅰ. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

비스페놀-A(Bisphenol A, BPA)는 우리 생활에 많이 쓰이고 쉽사리 접할 수 있는 물질이다. BPA는 에폭시수지 및 방염제의 중간체, 코팅제와 포장제 등 다양한 용도로 사용되고 있으며, 1998년에 환경부에서 유통량을 조사한 결과, 산업용 합성수지 용도로 84,082(톤/'98년)이 사용되고, 세계적으로도 180만 톤이 사용되었다.

그러나 BPA는 생물체에 좋지 않은 영향을 끼치는 위험한 물질임이 밝혀졌다. BPA는 쉽게 분해되는 물질이 아니며, 자극성 및 과민성 물질, 생식독성 및 기형 유발 가능성이 있는 물질로서 모체에 투여량 0.1 ppb 정도로도 차세대 생태계에 지대한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 저수조를 BPA가 함유된 수지로 방수처리한 다음 사용하였을 때 물로부터 용출될 가능성이 우려된다. 따라서 이들 물질에 의해 환경이 오염될 가능성이 매우 크며, 특히 수질 중에 극미량의 수준으로 검출될지라도 인체 및 생태계 등의 환경에 악영향을 끼칠 수 있다.

따라서 정수 처리 등에서 BPA를 물속에서 제거하는 기술을 연구할 필요성이 부각되기 시작하였다. BPA에 대한 환경 중 잔류실태를 조사한 결과, 식수의 수원인 상수원수에서 67%가 ND~1.172 μg/L의 농도 범위로 검출되어, 환경부에서는 이를 관찰 대상 물질로 분류하여 관리하고 있다. 보다 안전하고 신뢰도 있는 식수를 확보하기 위해서는 정수장에서 정수 처리 시 BPA에 대한 처리효율 도출을 위한 다양한 조사 연구가 필요하나,

국내에서는 이들에 대한 조사 연구가 매우 미흡한 실정이다. 특히, 정수 처리 과정 중 활성탄 흡착에 의한 BPA의 처리 효율에 대한 조사 연구는 다소 있으나 BPA를 응집시켜 처리하는 응집 혼화 공정에 의한 BPA의 제거에 대한 연구는 거의 없으며, 그 중에서도 BPA 제거 효율도 매우 작다고 보고되었다.

1.2 연구 목적

BPA 등의 유해한 물질을 제거할 때 다공성의 활성탄을 이용하는 경우가 많다. 활성탄의 공극에 유해 성분이 흡착되는 원리를 이용하는 것이다[1][2]. 또한 수용액 상의 중금속을 제거할 때 금속으로 코팅한 모래와 활성탄을 혼합하여 사용하기도 하는데, 금속이 코팅되면서 생기는 결정 구조 사이의 공극 표면적이 더욱 커져 흡착율이 높아지기 때문이다[3][4]. 이에 이번 연구에서는 금속으로 코팅한 모래와 활성탄을 혼합하여 사용하는 방법으로 BPA 또한 제거할 수 있는지 알아보고자 한다. 또한 모래에 코팅하는 금속의 종류별로 흡착률이 달라질 수 있는지도 연구하였다.

BPA 제거는 인류의 건강과 환경 보전에 매우 중요한 작업이다. 실제 BPA 제거가 확실히 이루어지기 위해서는 이 공정 과정의 비용을 최대한 줄이고 효율을 좋게 하는 것이 중요하다. 따라서 이번 연구를 통해 BPA의 제거 효율을 최대화할 수 있는 조건을 찾아 실질적인 환경의 변화를 이끌어낼 수 있는 방법을 알아내고자 한다.

Ⅱ. 선행 연구 검토 및 이론적 배경

[1] 임보라(2013). 활성탄과 오존을 이용한 Bisphenol A의 제거 특성. 숭실대학교 대학원 석사학위논문.
- 위 연구는 활성탄과 오존을 이용하여 BPA의 제거 특성을 평가하였다. 서로 다른 세 종류의 활성탄을 이용하여 등온흡착실험을 통해 BPA에 대한 흡착능을 확인하였다. 또한 BPA를 오존 처리하는 경우, 오존 농도와 NOM의 농도, 알칼리도, pH를 변화시켜 BPA의 제거율에 미치는 영향을 확인하였다.

[2] 정진호, 조아영(2015). TiO_2 나노입자 광촉매 반응에 의한 비스페놀 A의 분해 제거 및 독성 저감. Ecology and Resilient Infrastructure, 2(4), 330-336.
- 위 연구에서는 회분식 반응 시스템을 이용하여 광촉매 반응에 대한 BPA의 제거 효율을 평가하였다. 순수한 광촉매 반응에 의한 BPA의 분해 제거를 평가하기 위해 광분해 반응, 가수분해 반응, 흡착 반응에 의한 영향도 함께 고려했다. 광촉매 반응의 동역학을 유사 1차 반응으로 해석하고 초기 반응 속도 상수를 산출하였다. 그러나 TiO_2의 광분해 반응를 이용하여 BPA를 분해 제거 시 생기는 급성 독성을 해결하기 위해서는 다른 방안이 필요하다는 것을 느끼게 되었다.

[3] 김석준 외(2009). 3가 철 함유 흡착제를 이용한 수용액 상의 중금속 및 페놀 제거 연구. 대한환경공학회지, 31(7), 541-548.
- 위 연구는 중금속 제거 시에 나타나는 물질 별 흡착력을 비교하였다. 각각 불가사리와 모래, 입상 활성탄에 3가 철을 코팅 및 첨착하여 중금속의 흡착 정도를 관찰 및 도식화 하였다. 또한, 그 결과는 불가사리>활성탄>모래 순서로, 공극의 정도가 비록 중금속 한정이지만 흡착력을 어느 정도 좌우한다는 점을 알 수 있었다. 또한 등온 흡착 실험 결과를 평가하기 위해 Langmuir 등온흡착식이 사용되었다. 이 식을

통해 철을 첨착한 입상 활성탄이 어느 정도의 어떤 중금속을 얼마나 흡착하는지를 수치상으로 알 수 있었다.

[4] 김광철 외(2007). 금속 침적 처리에 따른 입상 활성탄의 페놀 흡착. 분석과학, 20(3), 193-197.
-위 실험에서는 금속 침적의 전과 후에 따른 페놀 및 요오드의 흡착량을 나타내었다. 이 연구 결과에 따르면, 금속이 활성탄에 침전된 상황에서 흡착이 더 잘 되었고, 이는 코발트의 중기공 영역의 확장으로 인해 흡착용량이 커진 것이라고 판단하였다. 그리고 흡착 조건에 있어서는 pH는 7일 때, 유기물이 가장 잘 흡착됨을 밝혔다. 그리고, 일반 활성탄보다는 금속이 침전된 활성탄이 작용기의 발생으로 인한 비표면적은 감소했지만 페놀의 흡착량이 일반적인 경우보다 1g당 12mg을 더 흡착한다고 밝혔다.

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

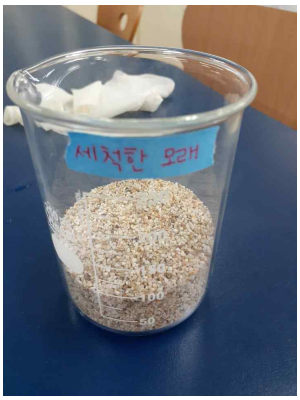
1. 금속 코팅 모래 제조 과정

1. 500 mL 비커 3개에 각각 모래를 100 g씩 담고, 각각 약 150 mL의 60.0 % 질산을 혼합하고 유리 막대로 젓는다.
2. 질산을 버린 다음, 약 150 mL의 증류수로 다시 질산을 세척하는 과정을 5회 실시한다. 이후 모래를 핫플레이트에서 건조시킨다.
3. 모래를 50 g씩 3번 취해 각각 500 mL 비커에 넣고, 각각에 $FeCl_3$ $6H_2O$, $CoCl_2$ $6H_2O$, $ZnCl_2$를 37.5 mmol씩 (각각 10.14 g, 8.93 g, 5.12 g) 넣는다.
4. 각각에 증류수 250 mL씩을 넣고 금속 염화물을 잘 녹인 후, 항온수조에 넣고 주기적으로 흔들어 기포를 제거하는 작업을 하루에 5시간씩 2회 진행한다. 비커가 식은 후 증류수로 세척하고 건조시키면 금속 코팅 모래를 얻을 수 있다.
5. 모래에 금속이 코팅된 모습은 주사 전자 현미경(SEM)을 이용해 관찰한다.

2. BPA 제거 실험 과정

1. 0.1 g의 BPA를 약 100 mL의 에탄올로 녹이고, 물 150 mL와 혼합한다.
2. 물에 중탕시켜 에탄올만 증발시킨다.
3. 농도를 분석한다.[1)]
4. 10 ppm의 BPA 수용액을 만들고, 이 수용액 500 mL에 활성탄과 활성탄과 금속 코팅 모래의 혼합물을 각각 섞고 15시간 가량 기다린다. 대조군은 활성탄 50 g, 나머지 실험군은 활성탄 25 g과 금속 코팅 모래 25 g을 혼합하여 BPA 수용액에 첨가한 것이다.
5. 각각의 실험군에서 용액을 일부 취해 UV-vis와 고성능액체크로마토그래피 (HPLC)를 이용해 BPA 제거 정도를 측정한다. 정량 분석을 위한 검량선 작성을 위해 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm의 BPA 표준용액을 추가로 제조하였다.

1) 자외선-가시광선 분광기(UV-vis)를 사용했으나, 10^6g/L라는 의미 없는 결과가 나왔다. 따라서 실린더로 부피를 측정하여 농도를 구했다. 1.22g/L의 고농도 BPA 수용액을 얻을 수 있었다.









3. HPLC 분석 과정

1. BPA의 분석 방법 탐색

BPA를 분석하기 위한 가장 대표적인 방법은 HPLC의 FLD detector를 사용해 분석하는 것이다. GC와 달리 LC는 유도체화 과정이 없어 더 간단하고 피크 분리능이 좋아 LC를 이용하는 경우가 많다. 그러나 HPLC를 이용할 경우 이성질체로 인해 peak가 여러 개로 나누어져 검출될 수도 있고, BPA의 간섭 물질이 검출되는 경우도 있으므로 HPLC를 이용해 FLD detector로 우선 정량 분석한 후에 LC/MS나 GC/MS를 사용하여 물질을 다시 확인하기도 한다[10]. 이에 이번 연구에서도 HPLC/FLD를 이용하여 분석을 시도해 보았다.

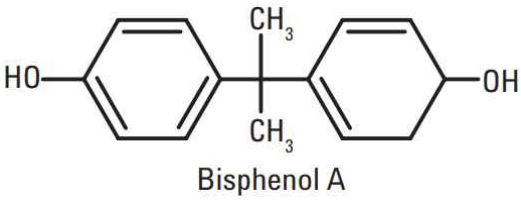


Fig.1. Bisphenol A의 구조식

2. HPLC 분석 조건

Agilent 1200 series를 사용했으며, 분석 조건은 선행 연구[11]를 참고하였다. 구체적인 method는 Fig. 2와 같고, 선행 연구에서 제시하는 결과 예시는 Fig. 3과 같다. 이번 연구에서는 Fig. 3에서 Bisphenol A의 peak 검출 타임을 참고하였다.

Column:	Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18 4.6×100 mm 5 µm	
TCC temperature:	40 °C	
FLD:	Ex: 230. Em: 316	
FLD acquisition rate, gain:	9.26 Hz, 15	
Sample thermostat:	4 °C	
Mobile phase A:	10 mM monobasic potassium phosphate in water	
Mobile phase B:	100% Acetonitrile	
Gradient:	Time (min)	%B
	0	5
	2	5
	2.1	35
	12.5	35
	12.6	70
	17	70
	18.1	5
	23	5
Flow:	0.9 mL/min	
Injection volume:	20 µL. 5 sec needle wash at flush port for 5 sec, using mobile phase A	

Fig.2. HPLC 분석 조건

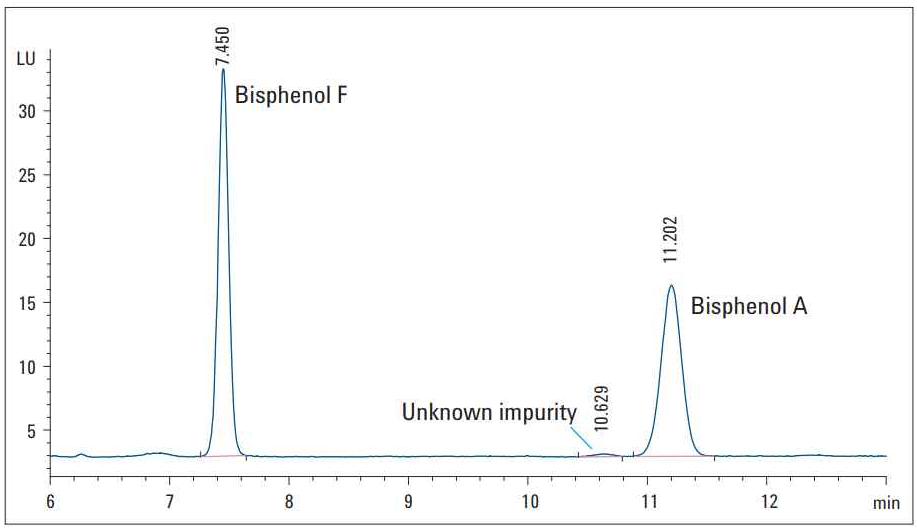


Figure 3
Separation of 30 ng/mL solution of bisphenol F and bisphenol A using an Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18 column. The chromatogram was collected using FLD settings of excitation at 230 and emission at 316 nm.

3. 분석 시도 결과

HPLC의 분석을 위해 충분한 점검과 이동상 주문 및 제작, BPA 표준 용액 제작 등의 과정을 모두 세밀히 거쳤고, 2020년 8월 말에 2회, 11월에 2회 시도하였으나, 30여 분의 시간 동안 어떤 peak도 검출되지 않았다. 8 ~ 11월 중에 method의 일부 변화나 환경설정의 변화 등 다양한 시도를 했음에도 불구하고, 세 가지 서로 다른 농도의 표준 물질에서뿐만 아니라, MCS와 활성탄의 흡착을 거친 sample 군에서도 전혀 peak가 관찰되지 않아, HPLC를 이용한 분석 결과를 제시할 수 없었다.

Ⅳ. 연구 결과

1. UV-Vis 분석 결과

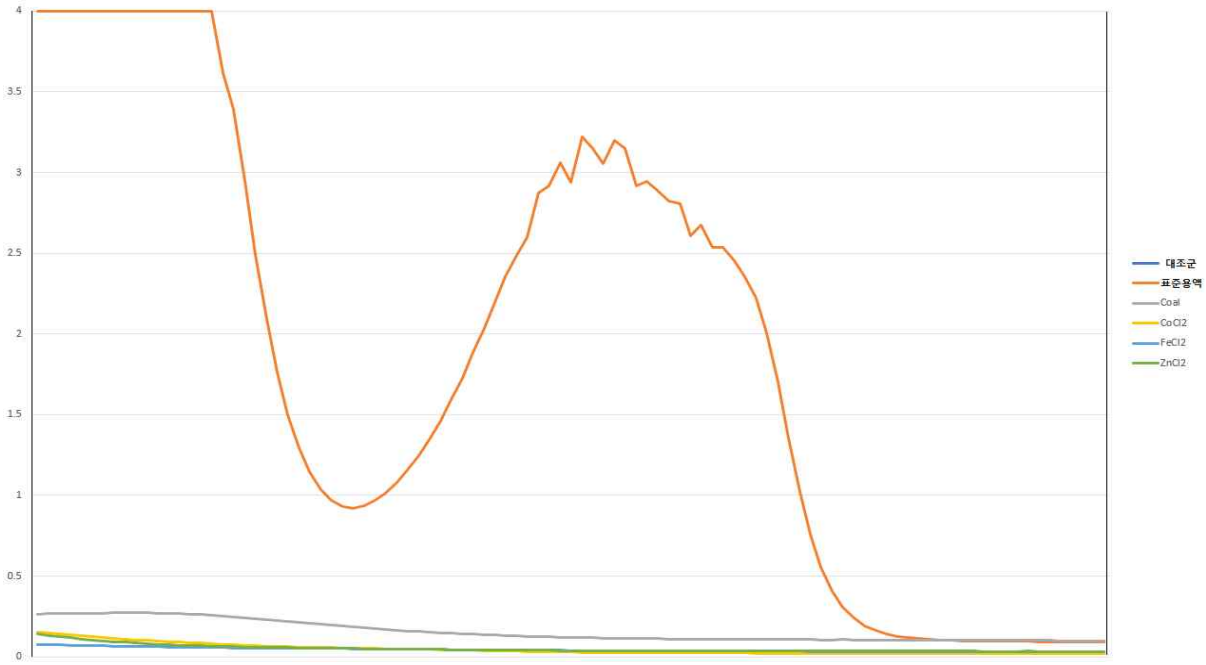


Fig. 4. 실험군별 파장에 따른 흡광도 곡선. 주황색은 10ppm 표준용액에서의 흡광도 곡선임.

○ Beer-Lambert 법칙에 따라, 특정한 파장에서 흡광도는 용질의 몰농도에 비례한다. 이를 이용해 실험 결과를 예측할 경우 순수한 BPA에서의 흡광도 곡선을 y축을 따라 축소시킨 그래프가 나와야 했을 것이다. 하지만 위 결과에서 5개의 그래프는 모두 개형이 서로 다르다. 이는 금속 코팅 모래 혹은 활성탄에서 특정한 성분이 녹아 들어간 것으로 설명할 수 있다.

○ Blank를 제외한 4개의 실험군 중 활성탄만 넣은 대조군(파란색)에서 흡광도가 가장 높음을 알 수 있다. 이는 금속 코팅 모래를 이용하는 것이 BPA 흡착에 도움을 주었음을 의미한다. 순수한 BPA에서 흡광도가 최대인 235nm 부근을 비교했을 때, $CoCl_2$, $FeCl_3$, $ZnCl_2$를 코팅한 모래를 이용한 경우에서 순서대로 흡광도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이를 토대로 볼 때는 $ZnCl_2$로 코팅한 모래를 이용한 것이 가장 BPA 흡착이 잘 일어났다고 유추해 볼 수 있다.

○ 더욱 정량적인 비교를 위해 앞서 측정한 1ppm의 BPA 표준 용액의 흡광도 곡선을 이용하여 각 용액들의 농도를 계산하고자 시도하였다. 원래 분광광도계를 이용해 농도를 구하고자 할 때, 최대흡광도가 나타나는 파장에서 Beer-Lambert Law를 이용하여 계산한다. 하지만 이번 실험에서는 각 실험군에서 흡광도 곡선의 개형이 모두 다르게 나타나 하나의 파장만을 이용해 농도를 구하는 것이 적합하지 않다고 생각하였고, 이에 모든 파장대의 흡광도를 고려하기 위해서 흡광도 곡선의 밑면적을 이용해 각 실험군에서 BPA의 농도를 계산하여 표준 용액의 흡광도 곡선의 밑면적과 비교하는 방식을 사용하였다. 이 방식으로 농도를 구하여도 그래프의 X축과 Y축이 모두 동일하여 그래프 밑면적이 각 용액의 농도와 비례하기 때문에 BPA가 얼마나 제거되었는지에 대한 결과를 얻을 수 있을 것이라고 판단하였다.

○ 제거율은 (제거된 농도 / 원래 농도)× 100 (%)로 정의하여 구하였다.

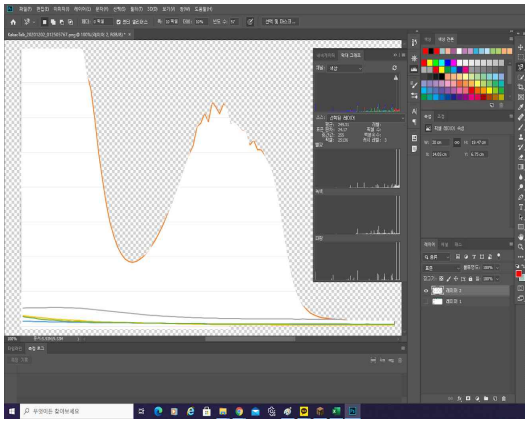


Fig. 5. 표준용액의 밑넓이 계산 과정

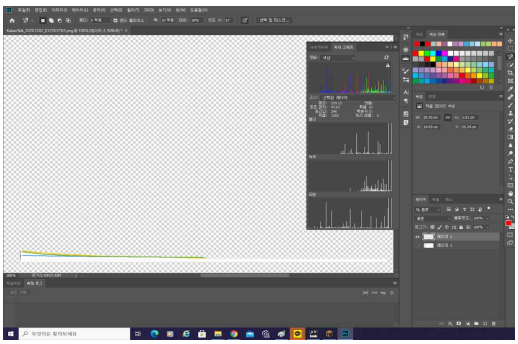


Fig. 6. $CoCl_2$ 실험군의 밑넓이 계산 과정

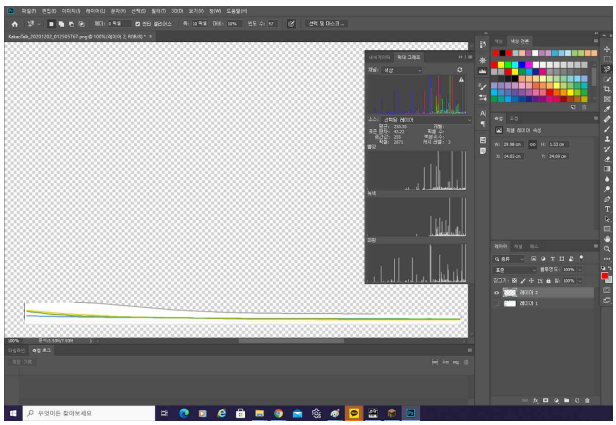


Fig. 7. 대조군에서의 밑넓이 계산 과정

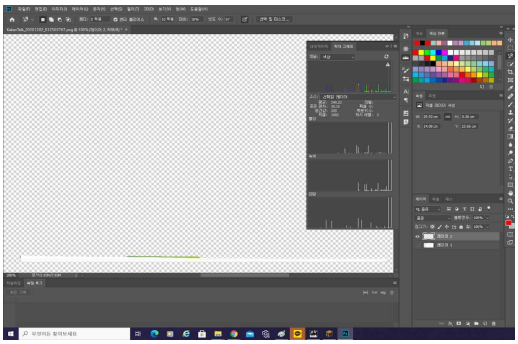


Fig. 8. $FeCl_3$ 실험군의 밑넓이 계산 과정

Table 1.

	BPA 표준용액	BPA+활성탄 (대조군)	BPA+$CoCl_2$	BPA+$FeCl_3$	BPA+$ZnCl_2$
픽셀 수	24751	2871	1262	1082	1261
농도 (ppm)	1	0.116	0.051	0.044	0.050
제거율(%)		88.4	94.9	95.6	95.0

2. Metal-Coated Sand

모래에 $FeCl_3$, $CoCl_2$, $ZnCl_2$를 코팅하여 금속 코팅 모래(MCS; Metal Coated Sand)를 제작하여 사용하였는데, 이들이 제대로 코팅되었는지를 확인해 보기로 하였다. 방법은 일반 모래와 코팅한 모래를 SEM(주사 전자 현미경)을 이용해 관찰하여 분석, 비교해 보았다. 대조군(일반 모래)을 포함하여 총 4가지의 모래를 SEM으로 관찰하였다.

2.1 일반 모래 SEM 촬영 (대조군)

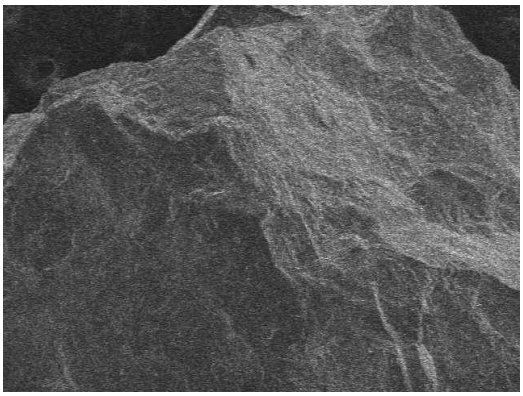


Fig. 9. 일반 모래의 600배 확대 사진

2.2 코팅된 모래의 SEM 촬영

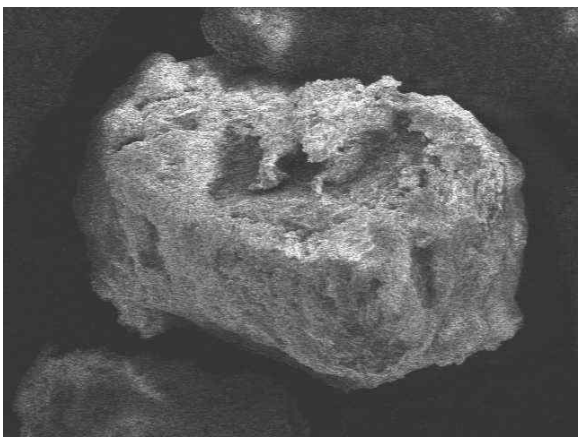


Fig. 10. $CoCl_2$ 코팅 모래 600배 확대 사진

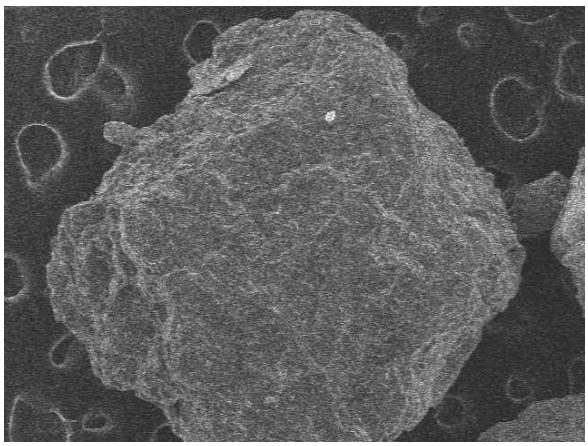


Fig. 11. $FeCl_3$ 코팅 모래 600배 확대 사진

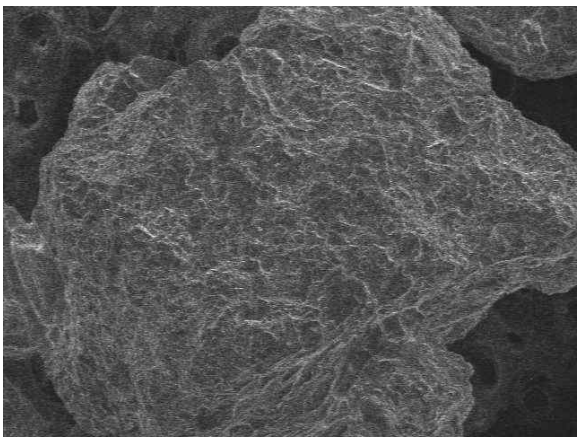


Fig. 12. $ZnCl_2$ 코팅 모래 600배 확대 사진

순서대로 $CoCl_2$, $FeCl_3$, $ZnCl_2$로 코팅하였을 때의 결과이다. 대조군 모래 입자의 경우 작은 굴곡이 있지만 비교적 매끈한 면에 듬성듬성 돌기가 난 형태를 띤다. 하지만 금속으로 코팅한 세 경우 모두에서 이보다 확연히 굴곡이 심해졌고, 특히 $CoCl_2$로 코팅한 경우 돌기가 매우 촘촘히 난 모습을 확인할 수 있다. 이를 종합하여 볼 때, 세 경우 모두에서 금속 코팅 과정이 잘 일어났다고 생각할 수 있다.

Ⅴ. 고찰

○ 활성탄과 금속 코팅 모래의 혼합이 BPA 제거에 미치는 영향

BPA를 포함한 다양한 유기 오염 물질을 제거하는 가장 효율적이고 광범위하게 적용 가능한 방법은 활성탄을 이용하는 것이며, 근본적으로 활성탄의 표면 성질이 큰 영향을 미치는 것이라고 볼 수 있다[12]. 그러나 리간드 치환 반응에 의해 중금속을 제거하는 효율을 높이는 방법으로 Fe(Ⅲ)의 이용이 제안되고 있다[13]. 또한 선행 연구에서 폐수에 들어있는 중금속과 페놀의 제거를 위해 철을 침착시킨 활성탄(Fe-AC)과 철을 코팅한 모래(ICS)를 다중층으로 사용하여 여과시키면 흡착률이 높아진다고 보고하였다[3]. 따라서 이번 연구에서도 활성탄과 금속 코팅 모래(MCS)를 혼합하여 사용한 것이 BPA의 제거에 효과적으로 작용했다고 해석할 수 있다. 페놀이나 BPA와 같은 유기물은 일반적으로 활성탄의 흡착이 주요한 영향을 끼치는 것으로 볼 수 있으나, 활성탄에 금속으로 코팅한 모래를 함께 사용하게 되면, 그 효과가 더욱 커질 수도 있다는 것이다.

모래에 금속을 코팅하였을 때, 금속 원자는 다공성의 결정을 형성하여 단순히 모래를 혼합했을 때에 비해 표면적을 넓히게 된다. 즉, BPA가 활성탄과 MCS와 만나서 흡착될 수 있는 영역이 넓어졌을 것이므로 흡착률이 높아졌을 것으로 생각할 수 있다.

○ 금속별 성능 차이의 원인

어떤 금속으로 모래를 코팅했느냐에 따라 흡착 성능에 차이가 있음을 알 수 있었다. 금속마다 이루는 결정 구조와 공극의 크기가 다르기 때문에, 어떤 금속을 코팅했느냐에 따라 MCS의 결정 구조도 다를 것이므로, 흡착력이 다르게 나타날 것이다. 즉, 금속이 코팅될 때 이루는 격자 구조의 차이점을 원인으로 들 수 있을 것이다. 금속 원자의 크기는 수십 옹스트롬 단위에서 차이가 나기 때문에 흡착 정도에 큰 영향을 미치지 못했을 것이다. 이보다는 입자가 이루는 결정 구조에 따라서 표면적과 공극의 크기, 흡착률이 더 큰 차이를 나타낼 것이다. 각 금속을 모래에 코팅시켰을 때 구조가 어떻게 나타나며, 이것이 어떻게 흡착률에 차이를 줄 수 있을지는 추후 연구가 필요할 것이다.

Ⅵ. 결론 및 제언

이번 연구를 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

○ 활성탄을 이용하면 BPA를 제거할 수 있으나, 금속으로 코팅한 모래를 혼합할 경우 제거 효율을 높일 수 있다.

○ 철, 코발트, 아연 중 철로 모래를 코팅했을 때 가장 BPA 흡착률이 큰 폭으로 증가했음을 관찰할 수 있었다.

○ 각 금속으로 코팅했을 때 어떤 결정 구조가 형성되며 표면적이 얼마나 증가하는지에 관해서는 추후 연구가 필요하다.

○ 앞으로 연구가 진행되어야 할 방향은 다음과 같다.

우선, 실제 BPA를 제거하는 환경에서 연구를 진행할 필요가 있다. 이번 연구에서는 실험실 여건에 맞추어 실린더에 활성탄과 금속 코팅 모래를 다량 혼합하고 오랜 시간 방치하는 방법으로 실험을 진행하였다. 그러나 이는 실제 정수 처리 시설과는 확연히 다른 환경이기 때문에 실제와는 다른 결과가 나왔을 가능성이 많다. 따라서 BPA 제거에 실용적인 도움을 주기 위해서는 실제로 BPA를 제거하는 시설에 금속 코팅 모래를 이용한 다음 흡착률을 측정하는 실험을 수행해야 할 것이다.

또한, Co나 Fe, Zn과 같은 중금속을 코팅한 모래를 이용해 BPA를 제거할 경우 중금속의 이온이 일부 용해되어 더 큰 문제가 발생할 가능성도 있다. 따라서 BPA의 제거에 쓰이는 모래를 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 인체에 비교적 해를 끼치지 않는 금속으로 코팅하여 제거 효율을 측정하는 실험을 진행한다면 더욱 도움이 되는 결과를 얻을 수 있을 것이라 예상한다.

한편, 선행 연구에서 Fe-AC의 경우 페놀의 제거가 효과적이었으므로, MCS뿐만 아니라 다양한 금속 성분이 침착된 활성탄을 직접 제조하여 BPA의 제거 연구에 적용할 것을 제안한다.

○ 이번 연구에서는 HPLC를 이용한 BPA 정량 분석에 실패하게 되어, UV/Vis 분광광도계를 이용하여 피크의 넓이를 계산하고 비교하는 방식으로 제거율을 구하였다. 이 부분은 이 연구의 가장 큰 한계점이라고 볼 수 있다. 이를 개선하기 위해서는 보다 타당한 HPLC method를 제시하고 있는 문헌을 더욱 많이 찾아보며 지속적으로 BPA의 분석을 시도해 보거나, 신뢰할 수 있는 분석 연구소에 의뢰하여 정확한 데이터를 얻도록 노력해야 할 것이다. 또한 이번 연구에서 진행했던 UV/Vis 분광광도계의 데이터를 활용하는 독특한 방식이 타당한지를 구체적으로 입증하여 간단한 방법으로도 분석 결과를 얻을 수 있는 방안을 더욱 연구해 나가야 할 것이다.

Ⅶ. 참고문헌

[1] 임보라(2013). 활성탄과 오존을 이용한 Bisphenol A의 제거 특성. *숭실대학교 대학원 석사학위논문.*

[2] 정진호, 조아영(2015). TiO2 나노 입자 광촉매 반응에 의한 비스페놀 A의 분해 제거 및 독성 저감. *Ecology and Resilient Infrastructure*, 2(4), 330-336

[3] 김석준 외(2009). 3가 철 함유 흡착제를 이용한 수용액 상의 중금속 및 페놀 제거 연구. *대한환경공학회지*, 31(7), 541-548

[4] 김광철 외(2007). 금속 침적 처리에 따른 입상 활성탄의 페놀 흡착. *분석과학,* 20(3), 193-197

[5] *Electronic reference formats recommended by the American Psychological Association*. (2000, October 12). Retrieved October 23, 2000, from http://www.apa.org/journals/webref.html

[6] Mead, J. V. (1992). *Looking at old photographs: Investigating the teachers tales* (Report No. NCRTL-RR-92-4). East Lansing, MI: National Center for Research on Teacher Learning. (ERIC Document Reproduction Service No. ED346082)

[7] Pyryt, M. C. (2000). Finding "g": Easy viewing through higher order factor analysis. *Gifted Child Quarterly*, *44*(3), 190-195.

[8] Runco, M. A. (2007). *Creativity*. San Diego, CA: Elsevier Academic Press.

[9] Saywitz, K. J., Mannarino, A. P., Berliner, L., & Cohen, J. A. (2000). Treatment of abused children and adolescents. *American Psychologist*, *55*, 1040-1049.

[10] Park, S. J., Park, S. R., Choi, J. C., & Kim, M. K. (2017). The Analysis and Migration of Bisphenol A Related Compounds from Metal Food Cans. *Journal of Food Hygiene and Safety,* 32(4), 329-335.

[11] Syed Salman Lateef. (2017). Analysis of bisphenol A leaching from baby feeding bottles, Application Note. *Agilent Application Solution*.

[12] 감상규, 김명찬, 이민규 (2018). Adsorption Characteristics of Bisphenol A Using Activated Carbon Based on Waste Citrus Peel and Surface-Modified with P2O5. *Journal of Environmental Science International*, 27(11), 1095-1104.

[13] 장윤영, 김광섭, 정재현, 이승목, 양재규, 박준규 (2005). 철 코팅 모래 흡착제 제조 및 비소 흡착. *대한환경공학회지*, 27(7), 697-703.