

## 연안 석탄회 처리장에 대한 환경지구화학적 연구: 예비연구결과

김강주 (kangjoo@kunsan.ac.kr) · 여성구 · 박성민 · 윤성택\* · 황갑수  
군산대학교 토목환경공학부  
\*고려대학교 지구환경공학부

### 요 약 문

국내 대부분의 회처리장은 연안에 위치하고 또한 해수를 석탄회 이송수로 사용하고 있다. 따라서 석탄회-염수의 상호작용에 의하여 석탄회가 풍화가 진행되고 석탄회내의 독성 미량원소 용출특성도 육상처리장과는 다르게 나타날 것으로 예상된다. 그러나, 염수와 석탄회의 반응에 의한 독성미량원소의 용출 및 거동, 그리고 석탄회의 풍화 진행양상에 대한 연구는 국내·외적으로 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 연안 석탄회 매립장에서의 염수-석탄회 반응에 의한 독성미량원소의 용출 및 거동, 그리고 석탄회의 풍화 진행양상에 대한 연구를 수행하였다.

### 1. 서론

석탄회는 유리상의 구형으로 이루어져 있고 약간의 결정성 물질과 미연소 탄소를 함유하고 있으며, 모래보다는 비중이 약간 작고, 점토질에 상당한 입도를 가지고 있다. 또한 석탄회는 60~90% 정도의 유리상을 함유하고 있으며, 광물조성은 일반적으로 석영, 물라이트, 적철광, 그리고 자철광으로 구성되어 있는 것으로 알려지고 있다.

우리나라에서는 석탄화력발전소들이 냉각수확보를 위하여 해안에 건설되는 관계로 발전소로부터 발생하는 석탄회도 주로 해안에 매립되고 있다. 또한 우리나라의 석탄화력발전소에서는 발생하는 회를 물(slurry water; 이송수)과 함께 혼합하여 pipeline(이송관)을 통하여 처리장으로 이송, 매립하고 있다. 따라서, 우리의 회처리장은 대부분 회와 이송수가 함께 처리되는 ash pond 형태라고 할 수 있다 (그림 1). 회와 함께 처리장에 처리된 이송수는 처리장 한편에 고여 연못을 이루게 되며, 이 연못의 물은 간단한 침전처리 후 발전소로 송수되어 다시 이송수로 재이용된다. 그런데, 우리의 연안회처리장에서는 보통 해수가 이송수로 이용된다. 이와 같은 해안매립은 외국과는 다른 상황으로, 이를 통하여 해안갯벌의 점토층을 차수층으로 활용할 수 있다는 잇점이 있을 수 있다. 그러나, 해안매립은 염수와 같은 무기화학종의 농도가 매우 높은 물, 즉, 해수(염수)와의 반응(예; 염소이온과의 complex 형성, 산화환원반응 촉진<sup>1)</sup>)으로 인하여 담수와 반응이 주로 이루어지는 육상처리장에서와는 다른 지구화학적 특성을 보일 수 있다. 일반적으로 물속의 염소이온농도가 높아지면 염소이온은 미량원소들과 complex를 형성하여 물 속의 용존 미량원소농도를 증대시키고 미량원소의 활동성을 증가시키는 효과가 나타나게 된다. 또한, 염수(brine water)는 높은 전기전도도를 갖기 때문에 전자전달을 용이하게 하여 전이금속의 산화환원반응을 촉진시키는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 이에 따라, 염수와 접촉하는 석탄회는 담수에서보다 빠르게 풍화될 것으로 예상된다.



그림 1. 국내의 한 회처리장(ash pond)에서 석탄회 이송관을 통하여 이송수(slurry water)와 함께 석탄회를 처리장에 처리하고 있다. 사진의 저수지는 이송수가 고인 물이며, 처리장이 연안에 위치하는 관계로 보통 해수를 이송수로 이용한다.

## 2. 국내의 연구비교

외국의 경우는 육상매립이 주종을 이루고 있으며, 석탄회 매립에 관련된 대부분의 기존연구들도 담수와 석탄회의 반응에 중점을 두고 있다. 실제로 지금까지 외국에서 수행된 많은 실험연구는 대부분 증류수나 산성수를 매개로한 미량원소 용출정도를 규명하는 것들이었으며(예: Brown et al.<sup>2)</sup>, Theis and Wirth<sup>3)</sup>, Hansen and Fisher<sup>4)</sup>, Dubas<sup>5)</sup>, Ainsworth and Rai<sup>6)</sup>, Hjelmar<sup>7)</sup>, Seidel and Zimmels<sup>8)</sup>, Schreurs et al.<sup>9)</sup>), 현장연구, 역시, 담수와 반응이 중요한 육상매립장을 대상으로 하는 것들이었다(예; Simsiman et al.<sup>10)</sup>, Sakata<sup>11)</sup>, Rehage and Holcombe<sup>12)</sup>, Lee and Spears<sup>13)</sup>, Zevenbergen et al.<sup>14)</sup>). 해안매립으로 인한 미량원소의 용출특성 및 석탄회의 풍화양상 등에 정보는 외국의 사례에서도 거의 찾아보기가 힘들다. 그 동안 국내에서도 석탄회 매립과 관련된 몇 건의 연구가 수행되었으나, 이들은 모두 외국 의 경우처럼 증류수나 산성수를 이용한 미량원소 용출실험이었거나, 단지 석탄회나 석탄회 처리장 인근의 토양 및 지하수에 함유된 미량원소 농도를 조사하는 것들이어서 염수에 의한 독성 미량원소 용출특성변화나 석탄회의 풍화진행양상 등에 대한 직접적인 정보는 제공하여 주지는 못하고 있다.

따라서, 주로 해안에 위치하고 있는 국내 석탄회 매립장의 안정성을 평가하기 위해서는 해수와 반응으로 인한 미량원소 용출특성 규명과 해수에 대한 석탄회의 화학적 안정성을 규명을 위한 환경지구화학적 연구가 시급하다고 할 수 있다. 본 연구는 바로 그러한 목적을 가지며, 본 연구의 결과는 국내 회처리 방식에 의한 환경적 안정성검토에 크게 기여하게 될 것으로 예상된다.

### 3. 예비 연구결과 및 진행상황

#### 3. 2. 연구내용 및 목적

표 2. 실험실 및 현장 연구 내용

	현장 연구	실험실 연구
내용	1. 석탄회 분화진행에 따른 미량원소의 함량 및 존재형태 규명 2. 석탄회 분화에 따른 광물종 및 함량변화 규명. 3. 석탄회 분화에 따른 공극수(pore water) 화학성분의 지구화학적 진화관계 규명 4. 석탄회 이송수(slurry water)의 순환에 따른 수질의 지화학적 특성변화관계 규명	반응 용액의 화학적 특성(염분농도) 및 분화정도 변화에 따른 미량원소의 용출특성 변화양상 규명
대상	· 석탄회 (weathered ash, fresh ash) · 석탄회 공극수 (pore water) · 석탄회 이송수 (slurry water)	· 석탄회 (weathered ash, fresh ash)

- 해수와의 접촉에 의한 석탄회로부터의 무기화학종(독성 미량원소 포함) 용출 특성규명
- 해수와의 의한 석탄회 분화진행 양상 규명(광물함량변화, 물성변화)
- 분화 진행에 따른 석탄회내 미량원소의 존재형태 변화 및 석탄회 침출수의 지구화학적 진화 특성 규명
- 처리장의 입지특성에 따른 미량원소의 거동양상 규명 및 환경적 안정성 규명

#### 3. 3. Sampling

분석 대상 시료는 석탄회처리장의 석탄회(weathered ash, fresh ash), 석탄회 공극수(pore water), 석탄회 이송수(slurry water) 및 바닷물(sea water)을 채취하였다. 분화된 석탄회는 이미 매립되어진 석탄회로써 매립시기별 독성미량원소의 존재형태를 관찰하기 위하여 기 매립된 석탄회(weathered ash)를 처리장별로 2-3개 씩 비교란 코아(undisturbed core)의 형태로 시추하였다. 신선한 석탄회 (fresh ash)는 pulverized coal이 연소된 후 처리장으로 이송하기 위한 이송수와 혼합되기 직전의 석탄회로 직접 채취하였다. 공극수(pore water)는 석탄회 매립장에서 매립된 석탄회의 공극을 채우고 있는 물로써 원심분리법을 이용하여 시추된 석탄회 코아로부터 깊이별(30-50cm 간격)로 채취한다.

#### 3. 3. 연구진행 상황

본 연구는 현장 연구와 실험실 연구로 구분하여 실시하고자 한다 (표 1). 현장연구에서는 석탄회의 분화진행에 따른 미량원소의 함량 및 존재형태 규명, 석탄회 분화에 따른 광물종 및 함량변화 규명, 석탄회 분화에 따른 공극수(pore water) 화학성분의 지구화학적 진화관계 규명 및 석탄회 이송수(slurry water)의 순환에 따른 수질의 지화학적 특성변화관계를 규명하고자 하였다. 그리고 실험실 연구는 반응 용액의 화학적 특성(염분농도) 및 분화정도 변화에 따른 미량원소의 용출특성 변화양상을 알아보려고 한다.

### 3. 4. 예비 연구결과

- 무연탄 석탄회 처리장 에 대하여 깊이별 석탄회 코아 시추
- 깊이별 공극수 채취를 위한 시설 설치
- 이송수의 순환에 따른 pH와 alkalinity의 변화가 관찰됨.
- 매립이 완료된 후 복토된 처리장과 매립이 진행중인 처리장의 공극수는 염도차이에 따라 어느 정도 구분이 되는 화학적 특징을 보여주고 있음.

### 4. 참고문헌

- 1) Stumm W., Morgan J.J. 1995. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. (3rd ed.) John Wiley & Sons. 1024p.
- 2) Brown J., Ray N.J., Ball M. 1976. Water Research. v. 10, 1115-1121.
- 3) Theis T.L., Wirth J.L. 1977. Environmental Science and Technology. v.11, 1096-1100.
- 4) Hansen L.D., Fisher G.L. 1980. Environmental Science and Technology. v.14, 1111-1117.
- 5) Dudas M.J. 1981. Environmental Science and Technology, v. 15, 840-843.
- 6) Ainsworth C.C., Rai D. 1987. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, EPRI Report EA-5321.
- 7) Hjelm O. 1990. Water Management and Research, v. 8, 429-449.
- 8) Seidel A. Zimmels Y. 1998. Chemical Engineering Science, v. 53, 3835 - 3852.
- 9) Schreurs J.P.G.M, van der Sloot H.A., Hendriks Ch. 2000. Waste Management. v. 20, 193-202.
- 10) Simsiman G.V., Chesters G., Anderson A.W. 1987. Water Research. v. 21, 417-426.
- 11) Sakata M. 1987. Environmental Science and Technology. v. 21, 771-777.
- 12) Rehage J.A., Holcombe L.J., 1990. Electric Power Research Insitute, Palo Alto, CA, EPRI-EN-6532
- 13) Lee S., Spears D.A., 1997. Applied Geochemistry. v. 12, 367-376.
- 14) Zevenbergen C. Bradley J.P., Reeuwijk L.P., van Shyam A.K., Hjelm O.C., Rob N.J. 2000. Environmental Science and Technology. v. 33, 3405 - 3409.