

# 연안오염저질의 생물정화를 위한 생물활성촉진제의 효능 평가 : 현장 컬럼실험

우정희\* · † 송영채 · 수바

\*한국해양대학교 원전기자재연구센터 연구교수, † 한국해양대학교 환경공학과 교수

## Column experiment for contaminated coastal sediment bioremediation using biostimulating agent

Jung-Hui Woo\* · † Young-Chae Song · Bakthavachallam Subah

\*Nuclear Power Equipment Research Center, Korea Maritime and Ocean University, Pusan 606-791, Korea

† Department of Environmental Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Pusan 606-791, Korea

**요 약** : 생물활성촉진제를 이용하여 연안 오염저질의 정화 효율을 평가하기 위하여 해역에서 컬럼 실험을 수행하였다. 오염도가 낮은 해양 저질에 황산염, 질산염 및 아세테이트 등의 생물활성물질들을 첨가하여 작은 볼 형태로 만들었으며, 생물활성촉진물질의 용출율을 조절하기 위하여 볼 표면을 폴리머(Cellulose acetate, CA and Polysulfone, PS)로 코팅한 생물활성촉진제를 제작하였다. 생물활성촉진제를 연안에서 채취한 오염저질과 혼합한 후 컬럼에 주입하여 연안의 수중에 침지시켰으며, 시간에 따른 오염물질의 변화특성을 평가하였다. pH는 실험 종료일 까지 큰 변화 없이 약 7.6~8로 유지되었으며, COD, TP, TN농도변화는 생물활성촉진제를 투여한 컬럼에서 더 낮게 평가되었다. 중금속(Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu) 분포는 생물활성촉진제를 투여한 컬럼에서 매우 안정적인 형태로 변환되었으며, PS 코팅 생물활성촉진제를 투여한 컬럼이 유무기 오염물질 정화에 더 효과적인 것으로 평가되었다.

**핵심용어** : 해양오염저질, 생물활성촉진제, 생물정화, 중금속, 유기물

**Abstract** : This study evaluated the effectiveness of biostimulating agent in contaminated coastal sediment. The study was conducted via column tests in coastal sea wherein two separate columns were employed for two different polymers used and another column for a blank. The biostimulating agent was made by mixing sea sediment with biostimulants viz acetate, nitrate, sulfate. The biostimulating agent was then rolled into balls, dried and coated with either Cellulose Acetate (CA) or Polysulfone (PS) to control the release of the biostimulants. The pH was around 7.6~8 for 4 months while COD, TP and TN were significantly lower in the column containing biostimulating agents. Heavy metal(Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu) was converted to stable forms and PS coated biostimulating agent had a high efficiency of heavy metals distribution.

**Key words** : Contaminated coastal sediment, Biostimulating agent, Bioremediation, Heavy metal, Organic material

### 1. 서 론

현장생물정화기술(In-situ bioremediation)은 오염된 연안퇴적토를 처리하기 위하여 육상으로 이동시키지 않고 해양에 자생하는 미생물의 활성을 촉진시키고자 미생물의 성장에 필요한 영양분과 환경조건을 인위적으로 제공하여 해양 퇴적토의 오염물질을 정화시키는 방법이다. 생물정화기술은 오염물질이 정화되는 동안 자생미생물에게 지속적으로 영양분을 공급하는 것이 중요하다. 고체상영양물질의 용출을 제어하는 방법은 육상 식물에 영양분을 일정 기간 동안 지속적으로 공급하기 위하여 연

구되어 왔는데, 주로 표면을 폴리에틸렌, 왁스, 셀룰로스 아세테이트 및 폴리설펜과 같은 고분자물질로 코팅하는 방법이다(Jarosiwicz and Tomaszewska, 2003, Jacobs et. al., 2005). 영양물질이 높은 농도로 주입되는 것은 주변 환경이나 미생물 자체에 악영향을 미칠 수 있으므로, 본 연구팀의 이전연구에서 황산염, 질산염, 아세테이트의 적정 농도를 결정하고 자생미생물의 생리활성을 촉진시킬 수 있음을 실험실 규모의 회분식 실험으로 확인하였다(Song, 2013).

본 연구에서는 폴리머로 코팅한 생물활성촉진제를 오염저질에 투입하고 실제 해저에서 설치하였다. 폴리머 코팅 종류에 따

† 교신저자 : 종신회원, soyc@kmou.ac.kr 051)410-4417

\*정회원, sky-woo@hanmail.net

른 생물활성촉진제의 용출특성을 평가하고, 용출된 생물활성물질들이 해양오염저질의 유·무기물의 분해 및 자생미생물의 활성 등에 미치는 영향을 평가하였다.

## 2. 실험방법

해양오염퇴적토는 유기물 및 중금속으로 상당히 오염된 것으로 알려진 부산시 N항 해역에서 Van Veen Grab sampler로 채취하였으며, 물리화학적 특성을 분석하였다. 오염되지 않은 퇴적토는 새로운 항구를 개발하기 위하여 준설한 퇴적토를 모아 놓은 적치장에서 채취하여 물리화학적 특성을 분석하였으며, 중금속 함량(Cu, Cr, Zn, Pb, Cd, Fe)은 총량분석방법으로 분석하였을 때, 미국해양기상청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 기준과 비교 시 오염기준치 이하로 평가되었다. COD는 해양환경공정시험기준에 따라 분석하였으며, 총질소, 총인, 질산염, 인산염, 황산염 및 pH는 Standard methods에 따라 분석하였다. 입도분석은 건식 체질법으로 분석하였으며, 중금속(Cd, Cu, Cr, Pb, Zn)은 Standard methods에 의해 총량분석방법(nitric acid & perchloric acid digestion)과 단계추출법으로 전처리한 후 ICP를 이용하여 분석하였다.

생물활성촉진제 제조는 오염되지 않은 해양퇴적토 1kg에 생물활성촉진 물질로 황산염 0.5M, 질산염 1M 및 아세테이트 0.5M을 완전히 섞은 후 실온에서 48h 건조 후 불형태로 만들었다. 생물활성촉진제의 1개 무게는 약 1g이며, 건조 후 셀룰로스 아세테이트(CA)와 폴리설펜(PS) 2가지 폴리머로 코팅하여 50°C에서 건조 후 실험에 이용하였다.

생물활성촉진제 효능검증을 위한 칼럼준비는 1L의 칼럼에 오염퇴적토를 채우고 폴리설펜 코팅 생물활성촉진제(P SB) 30g과 셀룰로스 아세테이트 코팅 생물활성촉진제(CAB) 30g을 각각 오염퇴적토 내에 골고루 첨가하였다. 바탕시험(오염퇴적토), 오염퇴적토에 PSB 30g 첨가한 칼럼 4개, 오염퇴적토에 CAB 30g을 첨가한 칼럼 4개 총 9개의 칼럼을 준비하였다. 준비된 칼럼을 스테인레스 트레이에 고정하여 인근 해안에 침지시켰으며, 1개월후, 2개월후, 4개월 후 마다 칼럼을 꺼내어 오염저질의 N, P, S, 유기물 함량 및 분포, 중금속 함량 및 분포, 미생물 개체수 등을 분석하여 생물활성촉진제의 효능을 평가하였다.

## 3. 실험결과

칼럼 내 미생물 개체수는 실험시작 1개월 및 2개월 후 바탕시험군에 비해 CAB와 PSB적용 칼럼이 증가하기 시작하였으며, 4개월 후 급격하게 증가하여 PSB적용 칼럼의 경우, 약 6배 이상 높았다. 또한, PSB적용 칼럼 미생물 개체수가 CAB적용 칼럼 보다 약 2배가량 많았으며, 폴리설펜 폴리머 코팅은 염분과 온도 등의 외부환경조건에 내성이 있는 것으로 알려져 있으므로 셀룰로스 아세테이트 코팅에 비해 서서히 용출될 수 있었기

때문으로 평가되었다(Jarosiesicz and Tomaszewska, 2003). 오염저질 내의 pH 변화는 크지않았으며, COD 농도변화는 2개월 후부터 급격하게 감소하여 4개월 후 PSB 및 CAB적용 칼럼에서 각각 2.6g/kg 및 2.5g/kg으로 바탕시험군 6.9g/kg에 비해 크게 감소한 것으로 평가되었다. TP농도변화는 4개월 후 바탕시험군, CAB와 PSB적용 칼럼에서 각각 0.6, 0.5, 0.53g/kg으로 바탕시험군에 비해 다소 낮았고, 초기 TP농도 약 1g/kg에 비해 크게 감소한 것으로 평가되었다. 중금속 분포변화는 초기에 비해 바탕시험, CAB와 PSB에서 Residual 형태가 크게 증가하였으며, 4개월 후 Fe, Zn, Cd, Cr, Pb, Cu의 Residual형태가 CAB의 경우 79%, 60%, 78%, 44%, 68%, 69% 보다 PSB에서 83%, 74%, 91%, 58%, 74%, 75%로 각각 증가하였다. Metal oxide와 Organic fraction은 대체적으로 모든 중금속 종류에서 초기에 비해 2개월 및 4개월 후에서 크게 감소하였다. 이는 CAB와 PSB가 자생미생물의 활성을 향상시켜 해양오염저질 내에 함유된 중금속의 존재 형태를 변화시킬 수 있으며, 안정한 형태로 변화된 중금속은 다른 형태로 변화될 수 없고 자연환경에 독성이 없는 것으로 평가되었다.

## 후 기

이 논문은 2011년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발)

## 참 고 문 헌

- [1] Jarosiewicz, A. and Tomaszewska, M. (2003), "Controlled-release NPK fertilizer encapsulated by polymeric membranes", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 51, No. 2, pp. 413-417.
- [2] Jacobs, D. F., Salifu, K. F. and Seifert, J. R. (2005), "Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled-release fertilization at outplanting", *Forest Ecology and Management*, Vol. 214, pp. 28-39.
- [3] Song, Y. C., Senthilkumar, P. and Woo, J. H. (2013), "Effect of biostimulation on growth of indigenous microorganisms in contaminated marine sediments", *The Korean Society for Marine Environment & Energy*, pp. 49-50.