

요 약 문

제목 : 낙동강 수계 및 토양에서의 Perchlorate의 자연저감에 관여하는 토착 미생물과 그 특성 연구

ClO_4^- 가 물에 대한 용해도와 화학적 안정성이 높은 점을 고려해볼 때 토착미생물에 의한 ClO_4^- 의 생분해는 ClO_4^- 의 자연 저감에 기여도가 상당히 클 것으로 여겨진다. 그래서 본 연구에서는 낙동강 수계 및 토양에서 perchlorate(ClO_4^-)로 오염된 것으로 보고되었거나 오염가능성이 있는 지역에서 토착 PRB(ClO_4^- -reducing bacteria)의 존재여부와 생분해능 및 그 특성을 조사하고, 순수분리된 PRB를 분석하는 것이다. 본 연구의 결과는 환경오염사고에 대비하여 생분해에 의한 ClO_4^- 제거를 촉진하기위한 전략마련에 도움을 줄 것이다. 또한 본 연구는 향후 ClO_4^- 로 오염된 물이나 토양을 복원하기위한 처리기법을 개발할 때 활용할 수 있도록 이들 토착미생물에 대한 정보를 제공하고자한다.

낙동강 수계 및 유역 토양에서 물과 토양시료를 채취하여 본 연구에 사용하였다. 시료채취 지점은 낙동강 본류의 중류와 하류는 물론이고 부산시와 구미시의 하천과 그 유역에서 채취하였다. 이들 하천은 낙동강 본류와 합류하여 낙동강 본류를 오염시킬 우려가 있는 것들이었다. 부산시내는 산업단지, 농지, 일반하천으로 구분하여 시료를 채취하였으며 그 지점들은 ClO_4^- 오염의 우려가 있거나 오염된 것으로 보고된 지역들이었다. 한편 ClO_4^- 의 주요 발생원으로 알려진 구미시내는 산업단지내의 하천 또는 그 유역에서 시료를 채취하였다.

부산의 산업 단지 내 하천유역의 토양시료들은 pH 4.90 - 7.79 범위를 나타냈으며 농지 토양시료는 pH 5.18 - 5.62를 나타내었다. 일반 하천의 토양시료는 pH 6.93이었다. 유기물함량이 공단 토양시료들은 2.39 - 21.02% 범위를 나타내었으며 농지 토양시료들은 1.64 - 3.63%를 나타내었다. 일반하천의 토양시료는 0.55%의 유기물 함량을 나타냈다. 한편 수분함량은 15.25 - 64.38% 범위이었다. 낙동강 본류유역의 토양시료들은 pH 6.09 - 6.51 범위를 나타냈었다. 유기물함량은 0.13 - 2.24%의 범위를 나타냈고 수분함량은 17.65 - 25.32%의 범위를 나타내었다. 한편 구미의 토양시료들은 pH 5.40 - 7.45의 범위를 나타내었고, 유기물함량은

0.27~1.45%의 범위를 나타내었으며, 수분함량은 12.72 - 26.98%의 범위를 나타내었다.

부산시의 산업단지의 물 시료의 경우 산업단지 물시료들의 pH는 6.78 - 7.43의 중성범위에 있었고, 농지와 일반하천 에서 채취한 물 시료의 pH는 각각 7.70와 7.35를 나타내었다. 시료를 채취한 현장에서 측정한 DO는 산업단지 시료의 경우 아주 낮은(0.40 - 4.4 mg/L), 농지와 일반 하천의 물은 7.90 - 9.01 mg DO/L가 측정되었다. 한편 일반하천을 제외한 모든 물 시료의 BOD₅가 비교적 높은(152.52 - 223.49 mg/L) 것으로 나타났다. 낙동강 본류의 물시료의 경우 pH는 7.20 - 8.60의 중성에서 약알칼리성 범위에 있었으며 BOD₅가 비교적 낮은(7.75 - 17.72 mg/L)것으로 나타났다. 구미시의 물시료의 경우 pH는 7.49 - 8.91의 범위를 나타냈고 거의 모든 시료가 DO 8.10 - 8.40mg /L으로 높은 값을 나타내었다. 그리고 시료의 BOD₅가 아주 낮은(0.45 - 0.81 mg/L)것으로 나타났다.

토양 및 물 시료의 생분해능 조사결과는 오염장소에 따라 ClO₄⁻ 제거효율이 다양하고(0 - 100%), ClO₄⁻ 제거효율 향상시키기 위해 첨가된 전자공여체의 종류에 따라 ClO₄⁻ 제거효율의 향상정도가 다른 것으로 나타났다. 낙동강 본류에서 채취한 물시료의 ClO₄⁻ 제거효율이 전체적으로 낮은 반면 낙동강 본류 유역의 토양은 상대적으로 ClO₄⁻ 제거효율이 높고 외부 전자공여체 첨가에 따른 ClO₄⁻ 제거효율향상도 관찰되었다. 그래서 본 결과는 오염장소에 따라 토착 PRB의 ClO₄⁻ 제거효율이 다르고, ClO₄⁻ 제거효율 향상시키기 위해 첨가할 외부전자공여체도 다르다는 것을 나타내었다.

부산시의 경우 물 시료보다는 토양시료에서 총생균수가 약 2차정도 더 많이 검출되었다. 토양 및 물 시료의 분석결과 총생균수와 ClO₄⁻ 생분해능은 상호비례관계를 나타내었다. 낙동강 본류유역의 시료는 물 시료보다 유역 토양에서 1 - 3차 더 검출되었다. 토양시료의 경우 약 5.4E+04 - 5.0E+06 CFU/g soil 농도 범위로 총생균수가 검출되었다. 낙동강 본류의 물 시료의 경우 비교적 낮은 농도의 총생균수 (1.1E+03 - 2.3E+03 CFU/ml)가 검출되었다. 이것은 낙동강 본류의 물 시료의 ClO₄⁻ 생분해능 조사결과 모두 낮은 제거효율을 보인 것을 뒷받침하였다. 구미시의 시료는 물시료와 토양시료가 거의 유사한 수준의 총생균수를 보였다. 토양시료는 약 5.9E+04 - 1.2E+06 CFU/g soil 농도 범위로 총생균수가 검출되었고 물시료는 약 1.0E+04 - 4.3E+05 CFU/ml 농도범위로 총생균수가 존재했다.

배양에 근거한 PRB 농도분석은 수개월이 소요되고 실험실 조건하에 배양이 되지 않는 환경미생물을 정량하는 데는 한계가 있다. 그래서 본 연구에서는 이 유전자의 일부인 *pcrA*를 표적으로 하여 qPCR을 실시하여 환경시료내의 이 유전자의 copy수를 정량하였고 그 copy 수를 근거로 간접적으로 PRB를 정량하였다. 토양시료내의 *pcrA* copy 수는 $8.03 \times 10^2 - 1.27 \times 10^5$ *pcrA* copy 수/g 토양으로 나타났다.

본 연구에 사용된 시료에서 추출된 DNA를 사용하여 t-RFLP로 미생물 군집을 조사하였다. 시료 s-14, s-2, 그리고 s-10은 HaeIII, HhaI, 그리고 MspI로 각각 처리했을 때 가장 많은 t-RF수를 생성하여 미생물군집분석에 사용된 12 토양시료 중 종 다양성이 비교적 큰 것으로 나타났다.

본 연구에 사용된 시료내의 토착 PRB총 20 균주를 분리하였다. 대부분의 PRB 균주의 집락은 투명하거나 연한 흰색을 나타내었다. 이 중에서 3 균주를 선별하여 16S rRNA 유전자의 염기서열을 분석한 결과 분리균 중 W1A3과 S18T8은 β -Proteobacteria 강에 속하였고 한편 W3A2 균주는 γ -Proteobacteria 강에 속하는 것으로 나타났다.

분리된 PRB의 ClO_4^- 생분해능 특성을 조사하기 위해 분리된 20 PRB 균주의 전자공여체 이용성에 대해 조사한 결과 thiosulfate를 이용하는 PRB 분리균은 총 11 균주, 한편 acetate를 이용하는 PRB는 총 9 균주이었다. 본 연구에서 분리된 PRB들은 불안정한 성장으로 말미암아 배양상의 어려움과 더불어 집락이 워낙 소형이고 투명하여 biomass를 획득하는데 어려움이 있었다. 그래서 제한된 연구기간 내에 다양한 조건하에 순수분리된 PRB의 생분해능의 특성을 조사하여 그들의 최적분해조건을 도출하는 데는 한계가 있었다. 순수분리된 PRB의 생분해능의 특성에 대한 연구는 더 진행될 필요가 있는 것으로 여겨진다.