

## 지하수 오염 정화에서 ORC (Oxygen Release Compound)의 적용성 연구

배광옥 · 임인규 · 차장환 · 정형재, 이강근\*  
농업기반공사 농어촌연구원, \*서울대학교 지구환경과학부  
gobea@karico.co.kr

### 요 약 문

물만 주입한 1군과 물-토양을 주입한 2군, 물-ORC를 주입한 3군, 물-토양-ORC를 전부 주입한 4군의 4개군으로 조건을 차별화하여 20℃ 항온 OER시험을 실시하였다. 1군은 약4mg/L, 2군은 3mg/L, 3군은 12~13mg/L, 4군은 11~12mg/L의 DO를 나타내었다. ORC를 투여하지 않은 1군과 2군은 20℃ 용존산소 포화선인 8mg/L에 크게 못미치는 것으로 나타났고 ORC를 투여한 3군과 4군은 포화선보다 3~4mg/L 높은 수치를 나타내었다. 토양을 주입한 2군과 4군에서는 토양 미생물의 영향을 받아 DO가 감소하나 ORC를 투입한 4군에서는 그 영향이 미미하게 나타난다. TCE 분해능 시험은 15℃에서 항온으로 30일간 시험하였다. 초기 농도 5000ppb가 30일 경과 후 약 4000ppb로 약20%의 분해율을 나타내었고, 메탄을 첨가했을 때 더 잘 분해됨을 보여주었다.  
주제어 : ORC, MgO<sub>2</sub>, TCE, Bioremediation

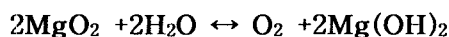
### 1. 서론

#### 가. 현황

미국에서는 현재 지하수를 식수원으로 사용하고 있는 시설 가운데 약 22%가 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds)에 오염된 것으로 보고되고 있다. 이러한 VOCs중 tetrachloroethylene(PCE), trichloroethylene(TCE)는 가장 흔히 검출되는 유기 오염물질로, 인간이 접촉하게 되면 신체의 일부에 축적되어 분해되지 않은 상태로 남아 있게 되어, 인체에 발암물질로 규정되어있다. 국내에서도 폐기물 매립지 주변의 지하수에서 PCE의 경우 0.24 mg/L까지, TCE의 경우 83.04 mg/L까지 검출되어 그 오염도가 점차 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 시점에서 ORC를 활용한 생저감(Bioremediation)의 연구는 불가피한 것이라 하겠다.

#### 나. 이론

ORC의 일종인 MgO<sub>2</sub>는 불용성이며, 물과 반응하여 Magnesium Hydroxide로 바뀌면서 산소를 배출한다. 발생된 산소가 호기성 미생물을 도와 생저감 능력을 향상시킨다. 즉 발생한 산소는 미생물에 의해 소비되고 오염물질의 분자로부터 소비된 전자를 붙잡거나 받아드려서 mitochondrial electron transport chain의 밑바닥에 놓여진다. 반응물인 Magnesium Peroxide와 생성물인 Magnesium Hydroxide는 환경적으로 문제가 없으며, Magnesium Hydroxide는 의약품 생산제로도 사용된다.



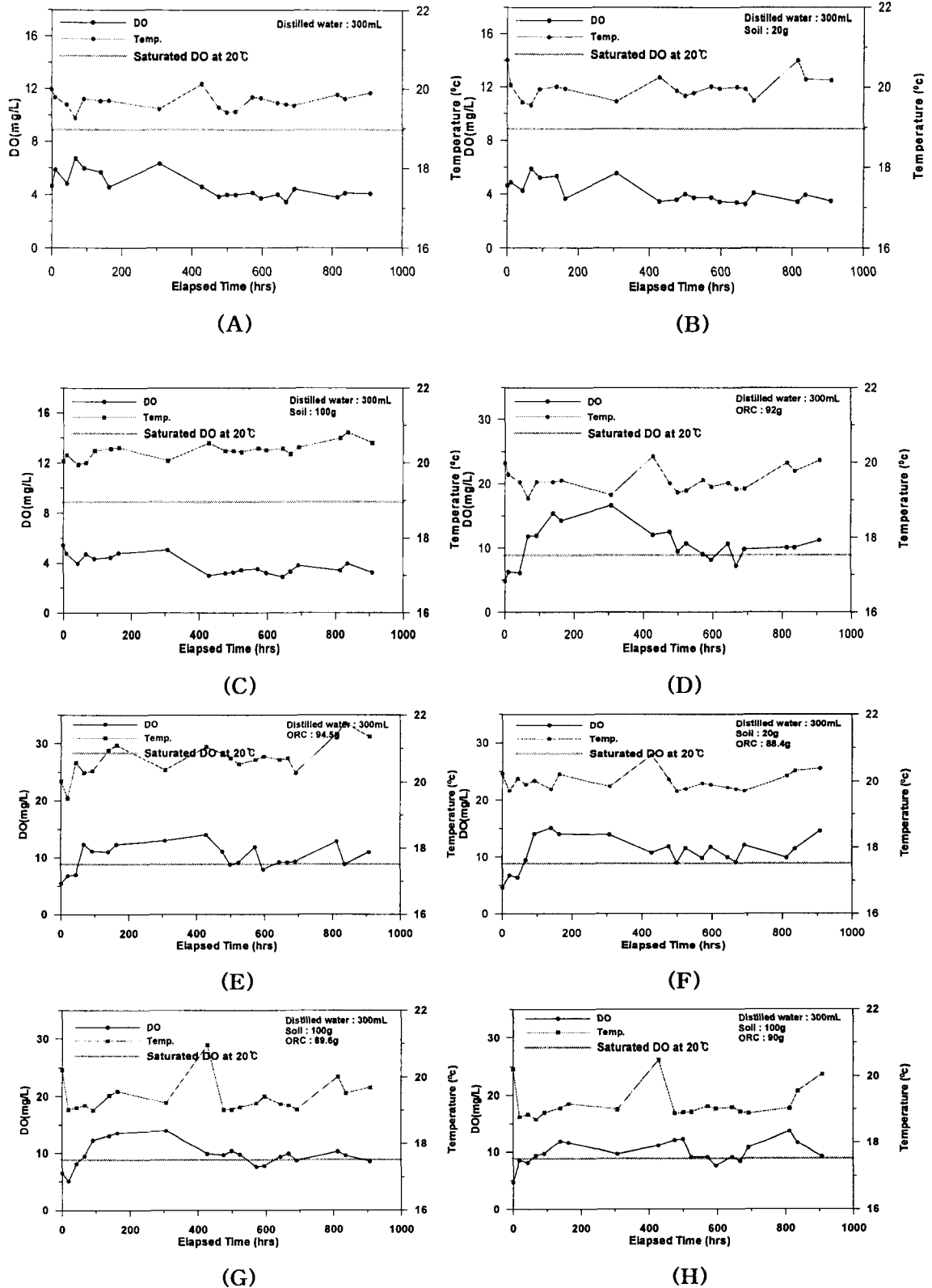
MgO<sub>2</sub>(ORC의 일종)의 특성은 인산염이 Magnesium Peroxide 결정으로 스며들어 물의 투과(transmission)를 억제하고 그 영향으로 결정이 수화(hydration)되는 비율이 제어되며 산소가 장시간에 걸쳐 지속적으로 배출된다. 따라서 subsurface의 개선(remediation)에 알맞은 양의 생성물

을 만들어낸다. 이러한 원리에 의해 ORC가 생성물의 저감에 따른 위해성 없이 현장에 공급될 수 있는 것이다.(S. Koenigsberg, 2001)  $MgO_2$ 는 다른 것에 비해 저렴하고, 회석되는 시간이 단축되며, 현장 적용과 처리가 안전하다. 이뿐만 아니라 다양한 오염 환경에 적용이 가능하다는 장점이 있다.

## 2. 본론

### 가. OER(Oxygen Evolution Rate) 실험

지하수는 수온의 변동폭이 작은 특성을 가지고 있다. 이러한 점을 고려하여 20℃ 항온에서 38일간 DO생성능 실험을 실시하였다. 시료는 총 4개군으로 1군은 300mL 증류수 시료 1개(A), 2군은 300mL 증류수에 토양 20g을 첨가한 시료(B), 300mL 증류수에 약 100g의 토양을 첨가한 시료(C), 3군은 300mL 증류수에 약 90g의 ORC를 원주형으로 제조하여 투여한 시료(D)와 94.5g을 투여한 시료(E)로, 4군은 토양 20g에 ORC를 88.4g 첨가한 시료(F), 모래10g, ORC 89.6g인 시료(G), 모래 10g, ORC 90g인 시료(H)로 구성된다. (그림 1)은 실험결과를 도시한 결과로 1군인 시료(A)는 약 4mg/L의 값으로 안정된 결과를 나타내고, 2군인 시료(B)와 (C)는 첨가된 토양에 부착된 미생물의 산소 소비 양상을 보인다 약 3mg/L에서 안정된 양상을 보인다. ORC를 투여하지 않은 1군과 2군의 시료는 20℃ 용존산소 포화선인 8mg/L에 크게 미치지 못하는 3~4mg/L정도에서 하향안정화 추세를 보인다. 물과 ORC만이 첨가된 3군은 상온측정과 산소가스의 방출의 오차를 감안해도 약12~13mg/L로서 20℃ 용존산소 포화선을 크게 상회한다. ORC가 더 많이 투여된 (E)시료가 더 적게 투여된 (D)시료에 비하여 DO가 낮은 이유는 상기의 이유에 기인한다고 추측된다. 물, 토양, ORC가 모두 투여된 4군은 약 11~12mg/L의 DO치를 나타내어, 서로 큰 차이를 보이지 않는다. 생성된 산소가 토양 미생물에 의해 소비되고 있으나, 소비되는 산소의 양보다 생성되는 산소의 양이 더 많음을 알 수 있다. 일반적으로 발생하는 산소의 양은 ORC의 양과 상관관계가 있음을 가만할 때 현장주입시 미생물의 대사에 필요한 충분한 양의 산소를 공급할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 ORC에 의한 DO 생성이 매질특성에 크게 영향을 받는 것은 아니며, 반응 자체가 매우 안정적이므로 현장에 매우 적합한 것으로 평가할 수 있다.

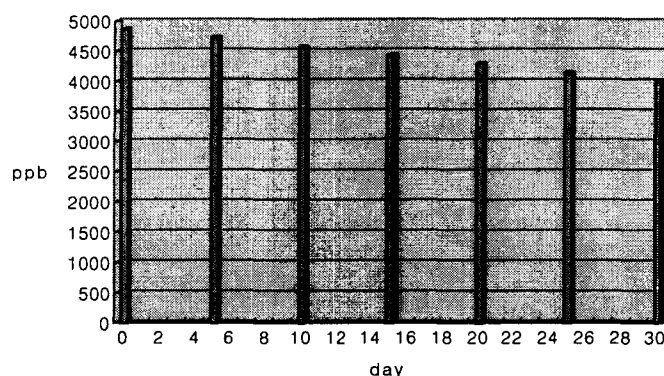


(그림 1) 20°C 항온 OER 실험 결과(Opened System).

#### 나. TCE(Trichloroethylene)분해능 실험

호기성 자연저감 촉진제인 ORC를 이용하여 Trichloroethylene(TCE)의 분해 효율을 검토하였다. 1L 시료병에 매질과 함께 Powder phase의 ORC를 혼합한 후 TCE에 오염된 물을 주입하여

1개월간 측정하였다. 이 실험은 15°C 항온으로 실시하였으며, 충청북도 증평의 혐기성 지하수를 이용하였다. 별도의 미생물은 첨가하지 않았으나, 미생물의 탄소원으로는 메탄을 첨가하였다. 시료분석은 5일 간격으로 총 6회를 실시하였다. (그림 2)는 시험기간동안의 TCE의 분해를 보여주는 그래프이다. 초기에 약 5000ppb였던 TCE의 농도가 30일 경과후 4000ppb정도로 떨어져, 약 20%의 분해효율을 보이고 있다. 메탄을 첨가하지 않았을때의 분해율은 약 10% 정도였다. 이것은 ORC가 Cometabolism을 촉진시킨다는 증거의 하나이다. 발생되었음을 알 수 있다. 또한 ORC의 Oxygen Release는 완전히 소비될 때까지 일정한 비율로 산소를 방출하여 분해함을 보여 준다. TCE의 분석은 서울대학교 농업생명과학대학 부설 농업과학공동기기센터(NICEM)에서 수행하였다.



(그림 2) 15°C 항온 TCE 분해능 실험 결과

### 3. 결론

지하수중의 난분해성 유기오염물질인 TCE의 효과적인 정화처리를 위해, 호기성 자연저감 촉진제 Oxygen Release Compound를 이용하여 산소발생능 및 분해능 시험을 실시하였다. ORC는 매질의 영향을 거의 받지 않으나 수온변동에 취약함을 나타내어, 총적관정을 이용한 저감에서는 계절적 영향이 있을 것으로 예상된다. ORC로의 TCE 분해는 발생하는 산소의 양에 따라 다양하게 발생하나, 미생물의 cometabolic activity에 의한 저감이 가장 우세하였다. ORC의 산소발생능을 실험하기 위해 물, 물-토양, 물-ORC, 물-토양-ORC의 4개군으로 나뉘 20°C 항온에서 약 1000여 시간동안 실험한 결과, ORC를 투여하지 않은 1군과 2군은 약 3~4mg/L에서 DO가 안정되어 20°C 용존산소 포화선인 8mg/L에 미치지 못하였고, ORC를 투여한 3군과 4군에서는 포화선을 약 3~4mg/L 초과하는 수치를 나타내었다. 2군과 4군에서는 토양미생물에 의한 영향이 나타나지만, 4군에서는 그 영향이 훨씬 작음을 알 수 있다.

ORC는 염소계유기화합물(VOCs) 뿐만 아니라 석유계 탄화수소(Petroleum Hydrocarbons)등의 분해에도 뛰어난 효과를 갖는다. ORC는 안정적이며 장기적인 산소방출능력으로 최근 국내 및 해외에서 많이 연구되어지고 있는 미생물을 이용한 생물복원기술(Bioremediation)에 많은 역할을 할 것으로 기대된다.

### 4. 참고문헌

1. National Institute of Environmental Research's Homepage
2. Troy Schmidtke, Daniel White, Craig Woolard, Oxygen release kinetics from solid phase oxygen in Arctic Alaska : Journal of Hazardous Materials B 64 (1999) 157-165
3. S. S. Koenigsberg, C. A. Sandefur, The Efficacy of Oxygen Release Compound : A six year review : Sixth Annual In-site and On-site Bioremediation Conference, San

Diego, CA, June 3-7, 2001

4. R. T. Wilkin, M. S. McNeil, C. J. Adiar, J. T. Wilson, Field measurement of dissolved oxygen : A comparison of Methods : Fall 2001 GWMR, 124-132

사사 : 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-5-1)과 농림부 농림기술개발사업(농업환경오염 복원기술 개발)의 일부 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.