

조건의 변화에 따른 수중 환경 내에서의 철 용해 분석

Analysis of aqueous environment iron dissolution in different conditions.

배연욱* · 민지은** · 박재우***

Yeunook Bae · Jee-eun Min · Jae-woo Park

Abstract

Permeable reactive barriers containing Zero-valent iron (ZVI) are used to purify ground-water contaminants. One of the representative contaminant is trichloroethylene (TCE). ZVI can act as a reducing agent of TCE. When ZVI is oxidized to Ferric iron, TCE reduced to Ethene, which is non-harmful matter. As a ZVI becomes ferric iron, the reducing effect decreases and iron becomes unavailable. So, constant reduction of TCE requires the regular supply of reducing agent. So, we use Iron-reducing bacteria(IRB) to extend the TCE degrading ability. We perform three experiment DI water, DI water with medium, and DI water with medium and IRB. By the experiment we try to found the dissolve ability.

Key word : ZVI, TCE, IRB, Iron dissolution

요지

영가철(ZVI)를 사용하는 투수성 반응벽체(PRB, Permeable reactive barrier)는 TCE(Trichloroethylene)와 같은 난분해성 유기물질이 포함된 지하수를 처리하는데 사용될 수 있다. 여기서 ZVI(Zero-valent iron)가 Ferric iron으로 산화되면서 TCE를 ethene으로 환원시킨다. Ferric iron으로 변화된 iron은 환원과정을 통해 Ferrous iron으로 다시 재생을 시켜야 PRB의 처리수명을 연장시킬 수 있다. Ferric iron을 Ferrous iron으로 환원시키기 위해서 철환원 박테리아(IRB, Iron-reducing bacteria)를 이용한다. 이번 연구에서는 IRB가 Ferric iron을 환원시키기 위해서 Ferric iron을 용해를 한다는 concept으로 실험을 해보았다. 실험은 증류수(DI water, De-ionized water), DI-water에 배지를 포함한 용액, 그리고 DI-water에 배지 및 IRB가 포함된 용액, 이 3가지 조건으로 수행했다. 실험결과 Fe^{3+} 의 용해가 IRB가 포함된 용액, 배지가 포함된 용액, 증류수 순으로 잘 되는 것으로 나타났다.

키워드 : 영가철, TCE, IRB, 철 용해

1. 서론

TCE는 반도체 표면의 세정, 세탁 용매 등으로 사용되어왔다. 최근에는 TCE(Trichloroethylene)가 인체에는 물론 전 생태계에 치명적으로 작용할 수 있다는 것이 일반에게 널리 알려져서, TCE의 사용이 예전보다 더 조심스러워졌고, 사용 후 TCE 처리에 대한 인식도 많이 좋아졌다. 하지만, 지하수 등으로 유출된 TCE는 여전히 문제가 되고 있고, 이에 대한 노력이 과거부터 지금까지 지속되고 있다.

지하수 내의 TCE 처리에 대한 연구가 많은 곳에서 활발히 진행되고 있다. 최근에 활발하게 이루어

* 비회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · 공학사 · E-mail: asimov1.84@gmail.com

** 비회원 · 한양대학교 토목공학과 Post-Doctor · 공학박사 · E-mail: iseeiget@yahoo.com

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: jaewoopark@hanyang.ac.kr

지는 연구 중 하나가 투수성 반응벽체(PRB, Permeable Reactive Barrier)를 사용하여 TCE를 제거하는 방법이다. 이 PRB에는 오염물질을 화학적 혹은 물리적으로 처리에 직접적으로 관여하는 매질이 포함된다. 즉 어떤 물질을 매질에 사용하는에 따라 PRB가 다양한 효과를 나타낼 수 있다. 이 중 대표적인 것이 영가철(ZVI, Zero-valent iron)을 PRB의 매질로 사용하는 경우이다. ZVI는 가격이 저렴해서 규모가 큰 PRB의 매질로 사용하는데 유리하고, 또한 인체 및 생태계에 미치는 직접적, 간접적 독성이 적다는 장점 때문에 각광을 받고 있다. PRB의 ZVI(Fe^0)가 Ferric iron(Fe^{3+})로 산화가 되면서 TCE를 Ethene으로 환원시킨다. 하지만 ZVI가 Ferric iron이 되면 제거능력을 잃게 된다. PRB 내의 ZVI 양이 한정되어 있기 때문에 산화된 Ferric iron을 환원시켜서 수명을 연장시키는 것이 중요하다. 이러한 이유 때문에 PRB의 수명을 연장시키는 연구는 상당히 중요하다고 평가되고 있다. Fe^{3+} 의 환원에 사용되는 매개체 중 하나가 철 환원 박테리아(IRB, Iron Reducing Bacteria)이다. IRB는 Ferric iron을 전자수용체로 이용함에 따라 Ferric iron을 Ferrous iron(Fe^{2+})으로 환원시킨다.

IRB가 Ferric iron을 어떤 경로로 환원을 하는지는 정확하게 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 철의 용해가 Ferric iron의 환원에 중요한 영향을 끼칠 것이라 보고, IRB가 철의 용해에 어떻게 영향을 미치는지는 물론, 다른 여러 가지 요인들이 철 용해에 어떤 영향을 미치는가의 연구에 초점을 맞추었다. 이 연구에서는 증류수(DI water, De-ionized water), DI-water에 배지를 포함한 용액, 그리고 DI-water에 배지 및 IRB가 포함된 용액으로 3가지 조건으로 실험을 수행했다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 Batch Experiment

실험은 증류수(DI water, De-ionized water), DI-water에 배지를 포함한 용액, 그리고 DI-water에 배지 및 IRB가 포함된 용액 등 세 가지 조건으로 나누어 수행하였다. Ferric iron은 Goetite ($FeOOH$)를 사용하였다. Goetite 0.3g을 25ml vial에 넣고, DI-water를 head space가 생기지 않도록 채워 넣었다. 각 3가지 종류의 Vial들은 일정한 시간에 따라 triplicate로 분석했다. 각 vial 들은 incubating shaker에서 27.5°C의 조건으로 교반시켜주었다.

2.2 Analysis Method

Vial의 철을 분석하기 위해 Ferrozine Method를 통해 철이 포함된 용액을 발색시켜서 철의 농도를 측정하였다. Ferrozine Method를 통해서는 용액상의 Ferrous iron의 농도와 Total iron(Ferric iron + Ferrous iron) 농도를 구분해서 분석했다. Ferrozine Method로 발색시킨 용액은 UV-VIS spectrophotometer(HACH 2010; U.S.A.)로 흡광도를 측정하여 농도로 환산했다. 이 때 UV의 파장은 562 nm로 맞추어 측정하였다. Ferric iron의 농도는 Total iron 농도에서 Ferrous iron 농도만큼의 차이를 계산하여 측정했다.

2.3 IRB 배양 및 응용

DI-water에 배지 및 IRB가 포함된 용액 실험에서는 실험에 사용되는 모든 실험기구들은 살균시켜 사용했다. 살균은 Auto Clave에서 121°C, 15min에서 고온 및 고압 조건으로 멸균시켰다. 본 연구에서 사용된 IRB는 *Shewanella algae* BrY로서 American Type Culture Collection(ATCC)에서 분양받았다. 분양 받은 IRB를 tube에 넣고 증류수와 tryptic soy broth와 함께 섞어준 후, 28°C, 150 rpm, aerobic condition으로 약 11시간 동안 배양하여 증식했다. 증식된 IRB 덩어리를 일부만 채취해서, ferric citrate medium이 들어있는 500ml Serum bottle에 주입했다. IRB 주입은 anaerobic chamber에서 수행되었다. 이후 이를 주기적으로 계대배양 하였다.

IRB의 군집형성 개체수(Colony Forming Unit, CFU)를 측정하기 위해서 Profile-1 Reagent Kit을 분석시료로 사용하여 ATP Bioluminescence Assay를 이용하여 분석하였다. ATP Bioluminescence Assay를 이용하여 상대흡광 개체수(Relative Luminescence Unit, RLU)의 값을 측정한 후, 변환식을 통해 이를 CFU 값을 산출하였다.

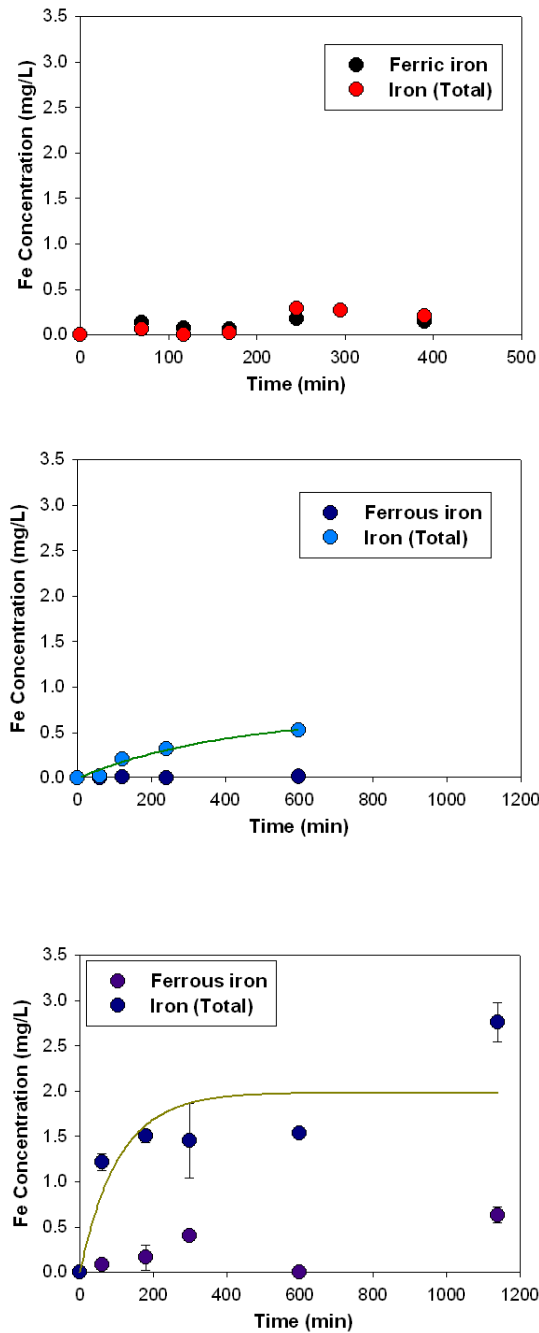


Fig. 1. (a) DI water, De-ionized water, (b) DI-water + Media, (c) DI-water + Media + IRB

3. 실험결과

아래의 결과(Fig.1)들은 증류수만 포함된 용액 (a), DI-water에 배지를 포함한 용액 (b), 그리고 DI-water에 배지 및 IRB가 포함된 용액 (c), 3가지 조건들에서의 철 용해도에 관한 그래프이다.

Ferrous iron의 용해도는 3가지 실험 모두에서 조건에 관계없이 용해되지 않는 것으로 나타났다. 이는 Goetite 자체가 Ferric iron으로만 이루어져 Ferrous iron 성분을 거의 포함하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 다만 실험(c)가 실험(a)와 실험(b) 비해 Ferrous iron의 농도가 약간 높게 나타난 것은 IRB가

영향을 준 것으로 판단된다.

Ferric iron의 용해도, 즉 Iron total 농도와 Ferrous iron의 농도 차이는 시간이 지남에 따라 점점 늘어나는 경향을 보여주었고, 또한 실험 조건에 따라서 그 차이가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 실험 (a)에 해당하는 증류수의 용해도는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 이는 증류수가 철 용해에 거의 영향을 주지 않기 때문인 것으로 판단된다. 실험 (b)에서는 Ferric iron의 용해도가 두 번째로 높았으며, 이는 배지의 PO_4^{3-} 등의 성분이 complex를 형성함으로써 고체상태의 철 용해도 증가에 기여했기 때문인 것으로 사료된다. 실험 (c), 즉, IRB와 배지를 포함한 증류수의 Fe^{3+} 의 농도가 가장 높은 것으로 나타났는데, 이는 IRB가 철을 용해시키는데 특정 역할을 했던 것으로 판단된다. IRB가 Ferric iron을 고체상태가 아닌 액체상태로 변환시킨 후 환원시킬 수도 있다는 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- 1) 채희훈, 배연욱, 박재우, “Shewanella algae BrY를 이용한 영가철 칼럼의 TCE 처리 수명연장, 한국지반환경공학회논문집 제8권 제2호(2007).
- 2) 신화영, “Shewanella algae BrY에 의해 환원된 철을 이용한 TCE 오염 제거 효율 향상에 관한 연구, 한양대학교 대학원(2005).