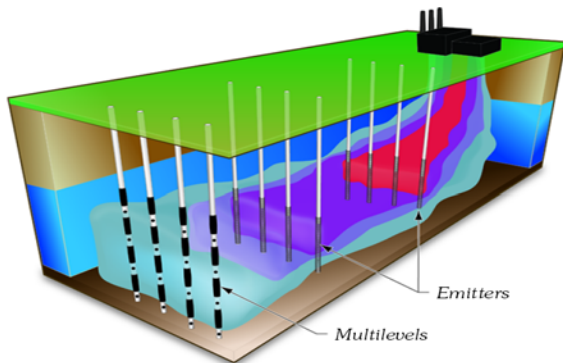


Waterloo Emitter™



워털루 이미터는 유독화합물질로 오염된 지하수를 생물학적으로 치유하고 복원시키는 일종의 산소공급 장치이다.

모든 공해물질은 자연계에서 정도의 차이는 있으나 나름대로 정화되어 간다. 이것이 바로 자연의 복원 치유력이다

그러나 자연의 치유력은 시간이 너무 걸린다. 그러므로 자연의 치유 정화능력을, 인공적 기술로 극대화시킨다면 복원에 걸리는 시간이 매우 짧아진다. 워털루 이미터의 경우, 오염된 대수층에 치유제(주로 산소)를 불어 넣고, 이것을 효율적으로 확산시켜서 호기성 박테리아를 크게 증식하여 오염물질을 먹여치우게 한다.

특허를 받은 이 기술은 공기(산소)를 실리콘 또는 LDPE로 제조된 특수한 튜빙을 통하여 오염된 대수층에 불어넣어 확산시킨다. 튜빙 표면은 적당한 압력을 받으면 확장되어 수많은 미세한 공기통로가 생긴다. 이 공기통로를 통하여 산소는 가장 안정되고 연속적으로 대수층에 확산된다. 이 튜빙은 프레임에 치밀하게 감겨 있는데, 이 프레임에 샘플링/모니터링 장치를 부착하면 오염된 지하수를 모니터링하거나 복원을 할 수 있다.

워털루 이미터는 산소의 확산작용을 이용하여 BTEX와 MTBE를 생물학적 방법으로 복원을 하는데 이상적인 방법이다. 산소가 대수층에서 확산되면 산소의 분자는 즉시 호기성 미생물을 활성화시켜서 공해 화합물을 분해하기 시작한다. 이때 산소는 공기의 거품이나 방울과 같은 물리적 형태를 만들지 않고 극미한 산소분자의 상태로 확산하기 때문에 산소의 손실 없이 높은 효율을 갖는다. 워털루 이미터는 또한 비생물학적인 반응 즉 pH 조절, 가수분해(hydrolysis) 등에도 문제해결에 큰 역할을 한다.

워털루 이미터용 시뮬레이션 계산기 (Simulation Calculator)는 Microsoft Excel에서 사용할 수 있으며, 이것은 Solinst의 website에서 download 할 수 있다. 이 계산기는 사용자가 원하는 적용분야의 특정치를 입력(input)하면 대수층에서 산소의 확산량과 산소의 소모율을 계산해 준다.

간단하고 유연성 있는 기술

워털루 이미터는 2인치(50mm), 4인치(100mm) 그리고 6인치(150mm) 구경의 관정에 맞는 3가지 크기로 만들어져 있다. 이것들은 케이싱이 있거나 없거나 관계없이 아무 관정에나 설치할 수 있다.

대수층 전체 두께에 걸쳐 오염대(contaminated plume)가 분포할 경우 1공에 여러 개의 이미터를 상하로 연결하여 설치한다. 복원해야 할 오염대의 범위에 따라서 이미터의 수량을 결정한다. 이미터는 팩커(packer), 또는 순환 펌프(circulating pump)와 함께 사용하여 산소의 확산을 증가시키거나 오염대의 처리 범위를 높일 수도 있다. 이미터는 또한 관정 여러 개를 서로 연결하여 산소 공급을 더욱 쉽게 운영할 수 있다.

워털루 이미터는 산소 외에 적절한 용제(가스 또는 액체)를 사용할 수 있다. 어떤 종류의 공해 화학물질로 오염됐는가에 따라서 치유효과가 가장 큰 화학적 용제를 쓸 수 있는 것이다.

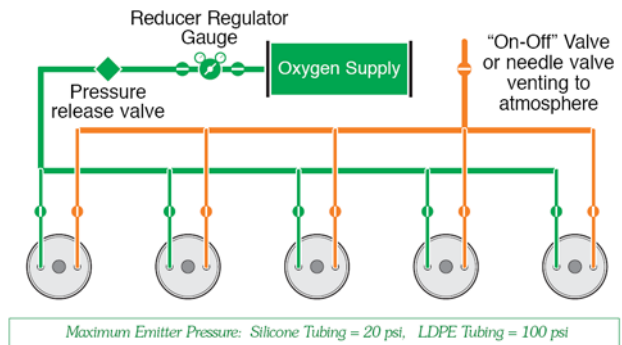
새로 나온 1.8인치(46mm) 이미터는 기존의 2인치(50mm) 구경의 관측정에 잘 맞는다. 오염대의 깊이가 얇은 토양을 대상으로 할 때는 케이싱을 직접 삽입한 후 이미터를 설치하면 경제적으로 다른 어떠한 생물학적 처리방법 보다 훨씬 비용이 적게 든다.



6", 3.8" & 1.8" Waterloo Emitters

적용 분야

- 산소를 이용하여 BTEX 와 MTBE를 생물학적 복원방법으로 제거할 경우
- 혐기성 미생물을 이용하여 Solvent 화합물을 환원방식으로 처리하기 위하여 수소(hydrogen)를 사용할 경우.
- 대수층의 오염경로를 추적하기 위하여 SF6, argon 등 tracer를 주입할 경우.
- pH를 조절하기 위하여 CO₂를 주입할 경우.
- MTBE를 대사 처리(Co-metabolic)하기 위하여 메탄계 탄화수소(alkane)를 사용할 때.
- 수평 관정의 경우



5개의 워터루 이미터를 직렬로 연결한 예

장 점

- 경제적 비용절감
- 지속적이고 안정적인 미생물 활성대를 형성. 산소의 손실을 일으키는 거품이나 미세한 방울이 형성되지 않는다.
- 장비의 설치와 제거가 매우 쉽다.
- 장비를 해체할 때 소독이 필요 없다.
- 운영비와 관리비가 매우 적다.
- 전력이 전혀 필요하지 않다.
- 용제의 슬러리(slurry)를 혼합하거나 주입 불필요
- 유독물질의 취급이 필요없다.
- 여러 종류의 지하수/토양 환경복원에 적합



작동 원리

워터루 이미터는 실리콘 또는 폴리에틸렌으로 제조된 튜빙이 프레임에 치밀하게 감겨서 만든 장치이다. 용제(fluids)를 튜빙에 집어넣으면 튜빙의 내부와 외부(지하수) 사이의 농도 변화의 차이가 생긴다.

이미터는 Ficks's Law를 따른다. 즉 튜빙의 내부와 외부가 화학적으로 평형이 이루어질 때까지 내부의 물질이 외부로 확산을 진행한다. 이미터 기술(Emitter Technology)에 의하면 산소나 다른 용제는 정규적으로 외부로 공급된다. 이미터(Emitter)의 영향반경에서 지하수는 계속적으로 흐르기 때문에 평형상태에는 도달하지 않는다. 결과적으로 계속적으로 흐르는 지하수는 산소를 공급 받아서 확산의 범위가 커진다. 이미터(Emitter)는 내부에서 외부의 오염된 지하수를 통제하는 것이다.

설 치

51인치(130cm)의 긴 워터루 이미터는 하나씩 또는 상하 연결하여 설치할 수 있다. 이미터의 연결 길이는 오염대의 두께를 충분히 감안하여 정한다. 복원되어야 할 오염대의 두께를 관통하고 전구간에 산소를 공급 확산하게끔 설치해야 한다.

복원 용재로 Gas를 사용하기 위하여 소형~중형 가스 실린더를 이용할 수 있다. 가스 사용량에 근거하여 공급압력(pressure)과 이미터 튜빙(Emitter tubing)을 선택해야 한다. 실린더 하나로 서로 연결된 여러 개의 이미터를 사용할 수 있다.

가스 재충진은 매주/2주간의 정기적인 퍼징(weekly/bi-weekly purging)에 의해 가능하며, 또는 이미터의 끝단에 위치한 작은 밸브(needle bleed valve)를 설치하여 가스가 천천히 재충진할 수도 있다.

현장 사례 : BTEX TPH 처리

2004년 5월, 캐나다 환경부의 인증 (Ministry of Environment Certificate of Approval)에 의하여 워털루 이미터(Waterloo Emitter)를 온타리오 주 구엘프(Guelph) 시의 한 식품공장 부지에 설치하였다. 이 공장의 땅속은 휘발유와 화학약품의 저장 탱크로부터 새어나온 유해화합물로 인하여 지하의 대수층이 오염된 상태였다.

충적층과 기반암에 존재하는 2개의 대수층은 주로 BTEX 와 TPH로 오염되었다. 오염대는 얇은 모래층(sands), 자갈층(gravels), 실트층 (silty tills)에 걸쳐 분포되어 있었다. 이러한 오염된 충적층의 하부 약 13m 깊이까지 돌로스톤(dolostone)의 풍화암으로 구성되어 있으며 하부층 역시 같은 성분으로 오염되었다. 산소의 확산작용을 이용하여 오염대의 BTEX와 TPH를 가장 효율적으로 저감하기 위해서는 이미터의 설치 지점을 잘 선택해야 한다. 그러기 위하여 수치모델(numerical modeling)이 도움이 되었다.

충적층에 있는 2인치 구경의 관정에는 10개의 이미터를, 그 하부 기반암에 있는 2인치 관정에는 12개의 이미터가 설치되었다. 1.8인치 크기의 실리콘 튜빙 이미터가 25 psi의 압력으로 4.1 L/day의 산소를 대수층에 공급하였다.

2004년 11월, 워털루 이미터를 사용한 결과는 다음과 같이 나타났다.

- 이미터 관정(Emitter wells)에서의 DO 농도는 평균 12mg/L(최대 43 mg/L)로 나타났는데, 이는 이미터를 설치하기 이전에 비하여 DO 농도가가 900% 증가한 것이다.
- 오염대의 면적 범위가 감소했다.
- 오염대 중심부에서의 BTEX 와 TPH 농도는 충적층에서 20%, 기반암 대수층에서는 39%가 각각 감소되었다.

이 오염현장 복원계획에서 워털루 이미터는 대단히 효과적이라고 판정되었고, 따라서 이 방법으로 복원 사업을 계속하도록 결정되었다.