

다중상 추출조건에서 L-NAPL의 토양이동 특성

김성용, 이인원*, 이승우*, 장운영

광운대학교 환경공학과 · *(주)에코솔루션 (yychang@daisy.kw.ac.kr)

<요약문>

Multi-phase extraction of LNAPLs not only floating on groundwater but also captured in soil pores was studied in a simulated soil system. The extraction rate of LNAPL under the MPE conditions was much higher than the rate under usual hydraulic gradient conditions. The MPE might be especially useful for recovery of oils in fine-textured soils such as clay-dominant soils. The vacuum-enhanced transport of LNAPL in soils also depended on the properties of LNAPL such as viscosity and density as well as soil textures.

key word : Multi-phase extraction, LNAPL, groundwater, soil textures.

1. 서론

NAPL (Non Aqueous Phase Liquids)은 물이나 공기와 접촉할 때 혼합되지 않는 탄화수소화합물을 일컫는 용어로서 물과 NAPL의 물리적 특성 및 화학적 특성의 차이 때문에 두 액체 사이에는 물리적 경계면이 형성되어 혼합이 이루어지지 않는다. NAPL은 물의 밀도보다 작은 LNAPL과 DNAPL로 구분되며 가솔린, 경유, 등유, 벙커C유 등 일반적인 유류화합물들이 LNAPL에 포함되며 DNAPL에는 TCE 등의 유기용제 등이 포함된다. LNAPL은 용해도와 휘발도 그리고 점성 등 특성이 서로 다른 다양한 여러 화합물로 이루어진 복합성분의 유기화합물로 토양에 침입되면 토양중에 잔류하는 residual 성분과 공극중에 휘발되어 있는 VOC, 그리고 지하수층에 도달한 경우에 지하수 수면에 부유하는 free oil과 지하수중에 용존하는 soluble 성분으로 분포되게 된다. 일반적으로 LNAPL은 지하수의 이동과 함께 광범한 지역으로 확산되어 장기간 토양에 잔류하면서 지속적으로 토양과 지하수를 오염시키게 된다. 최근에 토양의 불포화 층과 지하수 표면에 고농도로 분포되어 있는 LNAPL을 동시에 추출제거하기 위하여 기존의 토양증기추출 기술의 공정에서 추출 정 내부에 토양증기 추출 관과 별도로 오염 지하수 추출 관을 설치하고 각각 다른 추출 펌프에 연결하여 오염토양 증기와 오염 지하수를 개별적으로 추출하는 Dual-Phase Extraction (DPE) 공정과, 고 진공의 단일펌프를 사용하여 하나의 추출 관을 통해 토양증기와 지하수를 동시에 추출하는 Two-Phase Extraction(TPE) 공정이 소개되고 있다. 이와 같은 MPE(Multi-Phase Extraction) 공정을 사용하여 토양 및 지하수층에 분포되어 있는 LNAPL을 효과적으로 추출하기 위해서는 먼저 토양내 NAPL의 거동특성을 파악해야 한다.

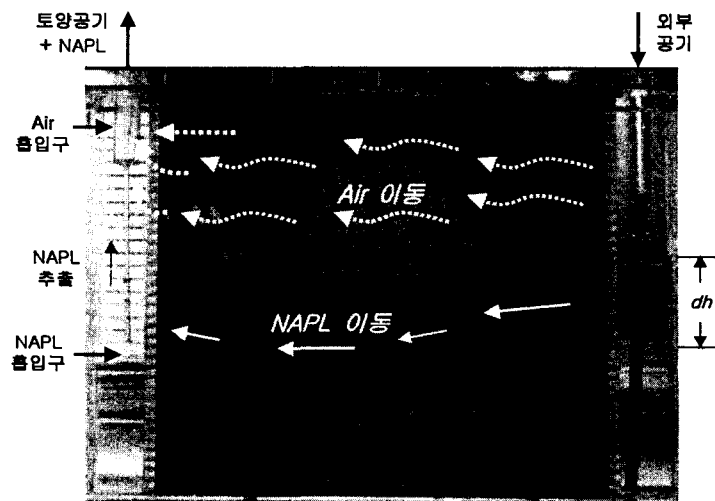
본 연구에서는 토양내 진공조건에 따른 NAPL의 이동속도 변화에 대하여 알아보았다. NAPL 시료는 일반 주유소에서 시판되는 가솔린(gasoline), 등유(kerosene), 경유(diesel)를 구입하여 실험에 사용하였다. 인공 지하수는 일반 수돗물을 사용하였다.

2. 본 론

본 연구에서는 기존의 NAPL 추출기술에서 자연 구배에 의해서 추출정 내로 유입된 NAPL을 제거하는 방법과는 달리 토양내에 진공상태를 형성하여 NAPL 추출과 동시에 토양공기를 흡입하도록 설계한 시스템에서 토양내에서 추출정내로의 NAPL 유입속도가 어떻게 변화되는지를 알아보았다.

본 실험은 Picture 1에 나타낸 바와 같이 현장토양을 축소하여 모사한 길이 50cm, 높이 40cm, 폭 5cm 크기의 아크릴 반응조로 제작한 장치에서 장치 중앙을 토양으로 가득 채우고 상부를 뚜껑으로 덮은 후 토양층 좌우에 있는 NAPL 충전부 상부에 외부공기가 유입될 수 있는 유입부와 NAPL 및 공기가 추출되는 다중상 추출관을 설치하고, 추출관의 경우 장치외부에 있는 송풍기에 연결하여 이 blower 작동에 의하여 다중상 추출이 이루어지도록 하였다. 동수구배조절은 추출관의 흡입구 위치를 상하 조절하여 실시하였다. 각 조건에서 NAPL의 이동속도는 펌프로 연속적으로 NAPL을 주입하여 일정 높이로 NAPL의 수위를 조절해주는 유입부에서 시간에 따라 감소된 NAPL의 양을 측정하여 계산하였다.

Figure 1에 나타난 실험결과에서 보듯이 모든 실험조건에서 NAPL의 이동속도는 자연구배조건에 비하여 진공조건을 토양중에 적용하였을 때가 매우 높은 값을 나타내었으며 진공압이 증가함에 따라 이동속도도 증가되었다. 여기서 특이한 사항은 자연구배조건에서는 동수구배가 높을수록 NAPL의 이동속도가 증가하나 진공조건에서는 동수구배가 높을수록 진공조건에 따른 이동속도의 증가가 오히려 둔화되었다. 이러한 현상은 토양공기 흡입구가 상부에 위치하여 진공조건에 의한 NAPL의 이동추진 효과가 장치의 좌상 방향으로 높게 나타나므로 NAPL의 동수구배가 작을수록 NAPL층에 미치는 진공영향이 크게 나타나기 때문인 것으로 추정된다. 진공조건에서 각 유체별 이동속도를 비교해 보면 낮은 동수구배조건에서는 gasoline의 경우가 가장 높은 이동속도를 나타내었으며 높은 동수구배조건에서는 물의 경우가 가장 높게 나타났다. 그 외 유체에서는 동수구배의 전 범위에서 diesel의 이동속도가 가장 낮게 나타났으며 다음으로 kerosene이 낮게 나타났다. 그러나 진공추출에 의한 NAPL의 이동속도 향상효과는 kerosene의 경우에 가장 크게 나타났으며 동수구배가 0.15 이상인 조건에서는 진공효과에 의한 NAPL의 이동속도 증가 효과는 매우 작게 나타났다. 본 실험을 통하여 NAPL의 자연 이동이 매우 어려운 미세토양 조건에서도 진공 조건에 의해 NAPL의 이동속도가 크게 향상될 수 있음을 알 수 있다.



Picture 1 진공추출조건에서 토양 내 NAPL 및 토양공기의 흐름

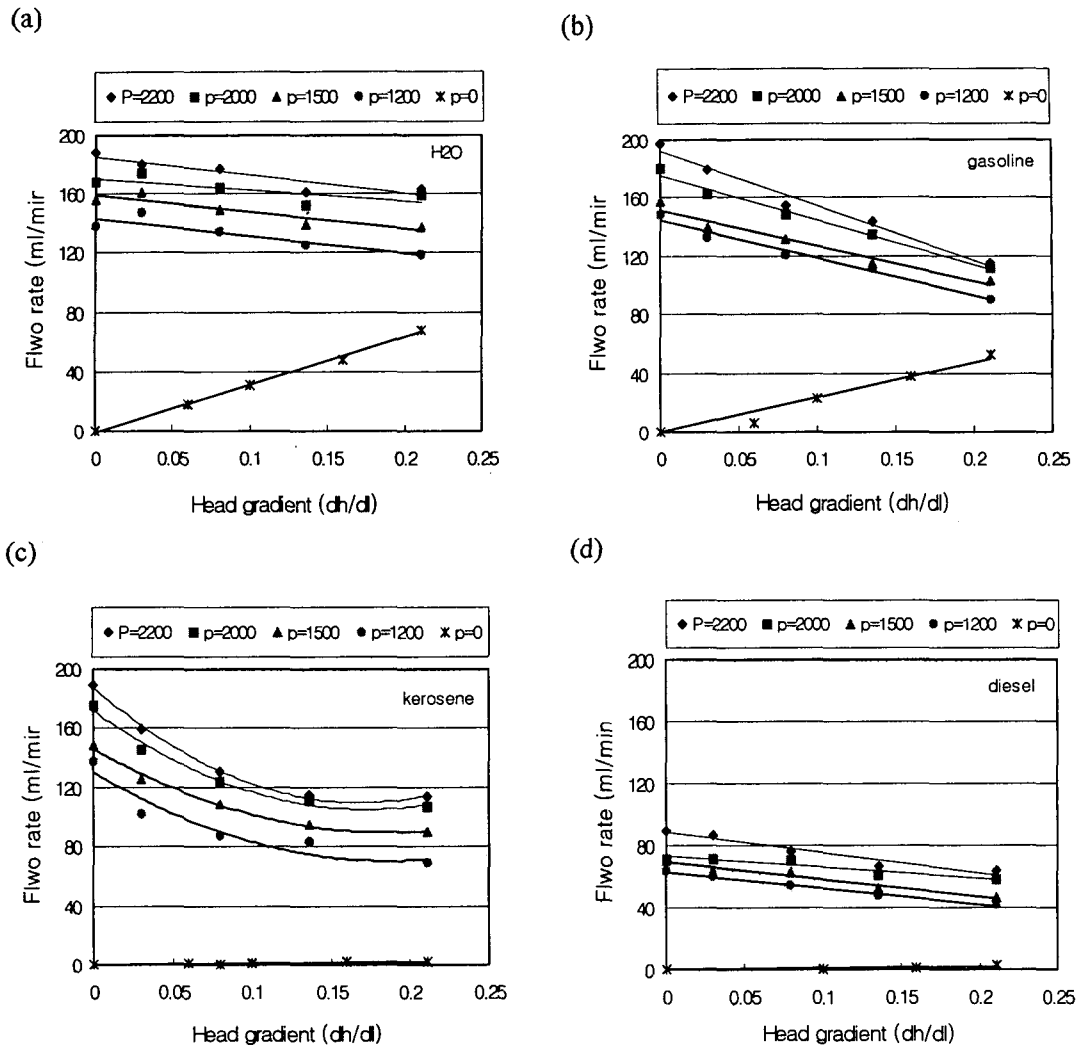


Figure 1. 동수구배와 추출 진공압의 크기에 따른 (a) 물, (b) gasoline, (c) kerosene, (d) diesel의 이동속도 변화 (사용된 토양의 입경분포는 0.3~0.5 mm)

감사의 글

본 연구는 중기청 기술혁신사업의 연구과제로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

3. 참고문헌

1. EPA, How To Effectively Recover Free Product At Leaking Underground Storage Tank Sites, EPA510-R-96-001, Sep., 1996.
2. Place, M.C, Coonfare, C.T., Chen, A., Hoepfel, R., Rosansky, S., Principles and Practices of Bioslurping, Battelle Press, Columbus, 2001.