

비포화대에서의 샘플링 기법 소개

박준범*1, 오명학*2

1. 머리말

산업활동의 증가에 따른 오염물질의 지반내 유입 사고는 비포화대와 주요 식수원인 지하수면 아래의 포화대의 오염을 유발하여 심각한 환경문제를 야기시키고 있다. 우리나라에서는 지반오염문제에 대한 법적인 근거를 마련하고자 1996년에 토양환경보전법을 제정하여 시행하고 있다.

지반오염이 발생하면 먼저 정확한 지반조사를 통하여 지반내 오염물질의 종류와 오염범위와 농도 등을 파악하고, 그 결과를 토대로 그 지반과 오염물질의 특성에 가장 적합한 정화처리방법을 이용하여 지반을 복원시켜야 한다. 지반의 오염물질은 지하수를 타고 광범위한 지역으로 확산되며, 일단 오염이 되면 정화처리에는 엄청난 시간과 비용이 소요된다. 따라서 신속하고 정확한 지반조사를 통하여 오염여부를 조기에 발견하여 더 넓은 지역으로 확산되는 것을 막고 적절한 정화조치를 취하기 위해서는 지반조사기법에 대한 충분한 지식이 필요하다고 할 수 있다.

일반적으로 비포화대는 포화대 위에 위치하므로 지표면에 오염물질이 유입되면 비포화대를 지나 포화대에 이르게 되어 지하수 오염을 유발하게 된다. 따라서 비포화대에서의 오염물질 거동 파악과 예측뿐만 아니라 비포화대, 포화대에 대한 오염도를 조사하기 위해서도 비포화대에 대한 특성조사가 반드시

필요하다.

본 글에서는 비포화대의 수리지질학적 분포특성을 파악하고 비포화대에 존재하는 간극수와 간극기체의 샘플링 기법과 장비에 대하여 알아보았다.

2. 비포화대 분포특성

비포화대(unsaturated zone)는 지표면에서 포화대의 최상단면인 지하수위 상단면까지의 구간으로 "vadose zone"이라고도 불린다. 비포화대는 고온다습한 지역에서는 몇 m이내의 얇은 층으로 형성되거나 건조한 지역에서는 그 두께가 수백m에까지 이르기도 한다. 비포화대의 간극은 물과 공기가 공존하고 비포화대의 간극 내에 들어 있는 물과 흙 사이에는 표면장력이 작용하기 때문에 항상 대기압보다 낮은 압력을 갖는다. 그림 1.은 포화대와 비포화대의 지층 단면을 개략적으로 나타낸 그림이다. (1998, 한정상)

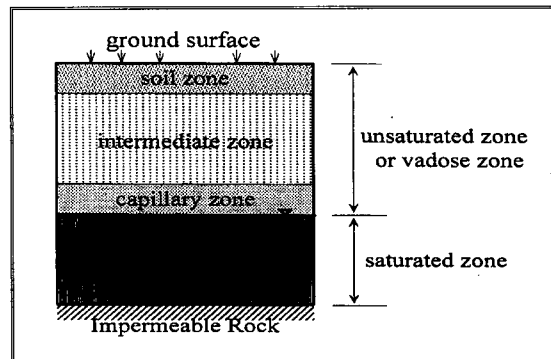


그림 1. 포화대와 비포화대의 지층 단면도

*1 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수

*2 정희원, 서울대학교 대학원 토목공학과 석사과정

■ 기술기사 ■

비포화대는 토양대, 중간대, 모관대의 세 부분으로 나뉘며 각각의 특성은 다음과 같다.

토양대(soil zone)는 지표면으로부터 식물의 뿌리대가 서식하는 구간을 말한다. 그래서 "root zone"이라고도 한다. 토양대는 흙의 종류나 토양대 내에서 서식하고 있는 식물의 종류에 따라 그 두께가 달라진다. 지표가 잡목이나 식생으로 덮여 있을 때는 토양대의 깊이가 불과 몇 cm밖에 되지 않지만 임야지역에서는 매우 두텁게 나타나는 것으로 알려져 있다.

토양대 내에 존재하는 물을 토양수라 하며, 토양수의 양은 주로 강우에 의해 침투되는 물의 양에 의해 결정되며 식물이나 흙 자체의 모세관 현상에 의해 상당량이 대기중으로 증발한다.

토양대와 모관대 사이의 구간을 중간대(intermediate zone)라 하며 중간대 내에서 비포화상태로 간극 내에 들어 있는 물을 중력수라 한다. 이 중간대만을 가리켜 "vadose zone"이라고 구분하기도 한다. 많은 양의 물이 토양대 내로 침투해 들어오면 침투된 물은 지구중력작용에 의해 점차 하부로 흘러 내려간다. 하강한 물이 중간대에 들어오면 토양대에서와 마찬가지로 흙 입자 사이의 인력이나 모관압력에 의해 간극 내에 잔존하여 부유수를 이루게 된다.

일반적으로 지하수면이 높은 곳에서는 이 대가 존재하지 않으며, 미국의 아리조나(Arizona)주나 뉴멕시코(New Mexico)주 같은 곳의 건조한 지역에서는 100m 이상이 되기도 한다.(1998, 한정상 · 1994, Bedient, Rifai, Newell)

포화대의 지하수위 위쪽에 지하수가 모세관 현상으로 중간대 쪽으로 상승해서 만들어진 구간이 모관대(capillary zone)이며, 이 모관대를 포화대와 비포화대의 경계로 보기도 한다. 모관대 내에 들어 있는 물을 모관수라고 한다. 모세관 현상에 의하여 상승할 수 있는 물의 높이는 간극의 크기에 반비례하므로 모관대의 두께는 흙입자의 직경과 입도분포에 따라 서로 다르다. 일반적으로 구성입자의 직경이 큰 경우에는 모관대의 두께가 얇고 직경이 작을 때는 그 두께가 상당히 두껍다. 모관대의 높이는 구성매질의

간극 크기에 따라 좌우되는데 미세한 자갈(fine gravel)의 경우 2.5cm에서부터 실트질 토양에서는 200cm 이상이 되기도 한다.(1998, 한정상 · 1972, Lohman, Ground-water)

3. 비포화대에 존재하는 여러 상(phase)

비포화대의 요소는 크게 고체상(solid phase)과 비고체상(nonsolid phase)으로 나눌 수 있다. 비고체상 물질의 경우 다시 물(water), 기체(vapor), 섞이지 않는 액체(immiscible liquid)로 나뉜다.(1991 Nielsen)

3.1. 고체상 (solid phase)

비포화대에서의 고체상은 액상을 흐를 수 있게 하거나 저류시키는 역할을 하는 영구적인 구조체로 정의된다. 여기에 포함되는 것은 움직이지 않는 입자인 암반, 자갈, 모래, 실트, 점토 등을 들 수 있으며 식물의 뿌리나 잎, 유기 폐기물 등의 유기물질 역시 포함된다. 입자에 고정되어 있거나 떠도는 미세유기물질(microorganism) 역시 고체상태로 분류된다.

고체상의 구성 요소 중 움직이지 않는 입자를 묘사할 때는 입도분포, 간극비, 마모도(angularity) 등이 사용되는데 그 특성은 서로가 연관되어 있을 뿐 아니라 액체상 물질의 영향도 받게 된다.

3.2. 비포화대의 물 (vadose zone water)

비포화대에 들어온 물 입자는 비포화대의 입자 크기와 이동 특성에 따라 짧게는 몇 분에서부터 길게는 몇 년동안 비포화대에 머무르게 된다. 비포화대로 물이 들어가는 과정은 강수에 의한 물의 공급에서 시작된다. 강수가 일어나면 강수에 의해 포화된 층으로부터 비포화대로 물이 흘러 들어간다. 비포화대로 들어온 물은 표면에서 증발하거나 포화대로 흘러들어가게 되며, 비포화대 내부에서의 생·화학적 반응에 의해 소산되기도 한다.

비포화대의 물을 나타내는데 필요한 특성으로는

밀도, 비중, 점성, 부피탄성계수, 증기압, 표면장력 등을 들 수 있다. 특히, 고체상에 대한 액상의 성질을 규명하기 위해 가장 중요한 특성으로는 습윤성(wettability)이라는 것이 있는데, 이는 두 종류의 서로 다른 액체, 또는 액체와 기체가 하나의 고체표면을 두고 작용하는 상대적인 표면력이라고 정의할 수 있다.

다상구조(multiphase system)에서는 습윤성(wettability) 유체가 고체입자의 표면을 적시고 비교적 작은 간극을 채우며, 비습윤성(non-wettability) 유체는 보다 큰 간극으로 밀려나게 된다.(1996, 권호진, 박준범, 박규홍)

3.3. 비포화대에 존재하는 기체상

(gas/vapor phase in the vadose zone)

비포화대에서는 간극 사이에 물과 공기가 공존하기 때문에 흡입자 사이의 물 뿐만 아니라 간극기체에 대한 특성을 잘 이해하는 것이 중요하다. 물과 간극기체 사이에서는 항상 상호교환이 일어난다. 다시 말해, 비포화대의 간극사이로 물이 들어오게 되면 간극기체는 빠져 나가게 되고, 비포화대의 물이 포화대로 배수되면 간극은 증발작용에 의해 마르게 된다. 간극기체의 특성은 흙 사이에 존재하는 물의 특성과 유사하다.

만약 휘발성 오염물질이 비포화대 근처에 존재한다면 간극기체에는 이로부터 증발된 휘발성 화학물질들도 포함되어 있을 것이다. 이런 경우 오염물질의 확인을 위해 기체상 샘플을 추출하여 오염물질의 종류를 확인할 수 있다.

3.4. 비포화대에서의 섞이지 않는 액체

(immiscible fluids in the vadose zone)

비포화대에는 물과 증기 외에도 다른 종류의 유체가 발견된다. 비포화대에서 다른 유체와 잘 섞이는 액체는 비포화대의 물과 비슷한 특성을 가지게 되지만 NAPL(nonaqueous phase liquid)과 같은 비수용성 유기화합물은 물과 섞이지 않고 물과는 다른

특성을 보인다. 따라서 비포화대의 물과 특성이 상이한 액체를 섞이지 않는 액체, 즉 비교반 액체(非攪拌液體, immiscible fluids)로 분류하게 된다. 예를 들면, 비포화대에 들어온 침출수는 그 온도가 주변 액체의 온도와 같아지기 전까지는 섞이지 않는 액체로 남게 된다. 보통 소수성(hydrophobic) 액체가 잘 섞이지 않는 액체로 분류된다.

4. 비포화대의 수리특성 시험방법

4.1. 비포화대에서의 수두

일반적으로 전체수두는 압력수두, 위치수두, 속도수두의 합으로써 나타내어지는데 지중 내에 있는 물은 잘 흐르지 않거나 속도가 매우 작으므로 속도수두는 거의 0이다. 따라서 비포화대에서의 수두는 보통 압력수두와 위치수두의 합으로 나타내며 흙이 포화 상태에 있지 않기 때문에 포화도와 함수관계에 있다. 비포화대의 압력수두는 soil tension 또는 suction에 의해서 부(-)의 값을 갖는다.

비포화대에서의 흐름을 분석하기 위해서는 함수비-압력수두, 투수계수-압력수두 관계를 명확히 산출하는 것이 중요하다. 함수비-투수계수-압력수두의 관계를 구한 그래프를 '특성곡선'이라고 하며 이 곡선을 구하는 방법으로 다공판법(porous plate method)이 많이 사용된다.(1998, 장연수, 정하익)

4.2. 비포화대에서의 현장 함수비 측정

현장에서의 함수비는 일반적으로 현장에서 흙을 채취하여 실내 오븐에서 건조시켜 측정한다. 또 다른 방법으로는 Tensiometer를 이용하여 현장 또는 실내에서 흙의 부간극수압을 측정 후 함수비-압력수두의 특성곡선을 이용하여 함수비를 유추하는 방법도 있다.

최근에는 현장에서 흙시료를 채취하여 건조시키는 기존 방법의 불편하고 시간이 소요되는 단점을 해소한 현장 함수비 측정법인 중성자 산란법(neutron scatter method)을 사용하기도 한다. 이 방법은 불포화도의 함수비 변화를 신속하게 파악할 수 있게 하며

■ 기술기사 ■

포화대에서는 간극수를 구할 수도 있다.(1998, 장연수, 정하익)

5. Soil Gas 샘플링

간극기체 채취기법은 1980년대 이후부터 본격적으로 시작된 지중 내 오염 조사법이다. 간극기체를 채취하는 목적은 화학성분의 유출이 일어난 지역을 확인하고, 존재하는 휘발성 화학물질의 종류를 결정하여, 지하수 오염 상태를 파악하고, 샘플 채취를 위한 보링공과 관측정의 위치를 결정하기 위해서이다.

그림 2.는 휘발성의 유기화합물질인 VOC(Volatile Organic Compounds)에 의해 오염되는 상황을 나타낸 그림이다. 지중으로 VOC가 유입되면 지하수대를 오염시키고 비포화대를 통하여 간극기체가 휘발된다. 따라서 지반내에 포함되어 있는 간극기체를 채취하여 성분 분석을 하는 것은 비포화대내에 포함된 VOC에 의한 오염도를 파악하는데 매우 중요하다. 지반 내 간극기체 샘플링을 통하여 화학성분의 유출이 일어난 지역을 확인하고, 존재하는 휘발성 화학물질의 종류를 결정하여, 지하수가 VOC에 의해 오염되었는가를 조사한다.

대상이 되는 VOC 오염원이 지하수면 아래에 있을 때는 불포화대의 VOC 최대 농도는 지하수위면 직상부에 형성되며 휘발성 오염물이 모관대를 벗어나게 되면 급속히 지반 내 기체 간극으로 확산되어

없어진다. 따라서 간극기체 관측이 목적인 경우에는 모관대 직상부에 흡입구가 설치되는 것이 좋다. 간극기체의 분석결과로서 지하에 존재하고 있는 NAPL 오염물의 위치를 파악할 수 있는데 VOC 기체상 농도가 가장 높은 부분이 오염원이 있는 곳일 가능성이 크다. 따라서 이를 정확히 하기 위한 지반 내 간극기체 채취의 위치도 이에 최대한 근접하여 설치하는 것이 좋다.(1998, 장연수, 정하익)

간극기체의 분석은 간극이 많아 간극기체의 이동이 쉬운 지반에서는 효과적이거나 점토와 같이 간극기체의 투과력이 작은 흙에서는 신뢰성이 낮다. 또한 휘발성이 없는 화학성분이나 중금속과 무기물에는 사용할 수 없다.

5.1. 가스채취 방법

간극기체를 조사하는 방법에는 크게 능동적(active) 방법과 수동적(passive) 방법이 있다.

능동적인 시료 채취 방법은 원하는 깊이까지 중공 파이프를 지반 속으로 관입하고 진공펌프로써 간극기체를 추출하여 실내에서 가스 크로마토그래피(GC)나 organic vapor analyzer와 같은 검출기기로 분석하거나 현장 지반에 샘플튜브를 박아 모아진 간극기체를 바로 현장에서 분석하는 것이다. 그림 3.은 간극기체의 채취와 분석과정을 보여주는 그림이다.

수동조사 방법의 장비로는 흡수가 뛰어난 물질, 주로 활성탄을 함유한 튜브가 사용되는데, 이것을

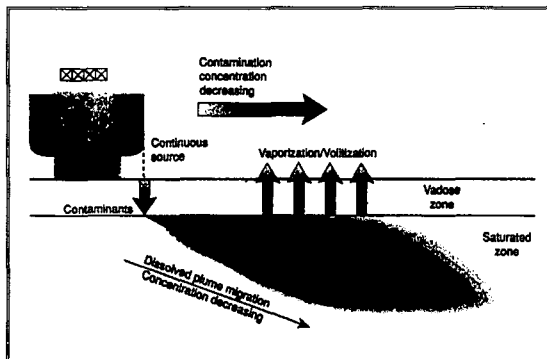


그림 2. VOC에 의한 오염 (LaGrega et al., 1994)

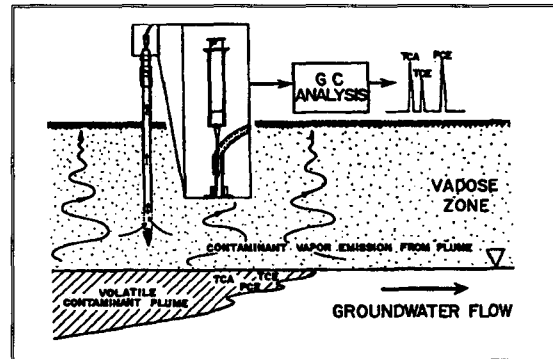


그림 3. 토양가스 채취와 분석 (Nielsen, 1991)

일정시간 흡 속에 넣었다가 빼내어 화학분석함으로써 조사를 수행하게 된다. 최근 사용되는 장치로는 다공질의 GORE-TEX라는 것이 있는데, 이것은 활성탄으로 가득 채워진 폴리테트라플루오르에틸렌 (polytetrafluoroethylene) 물질이다. 이 흡착기를 흡 속에 대략 수일에서 2주 정도 유지시켜 흡 사이를 떠도는 휘발성·반휘발성 화학물질을 흡착기에 흡착시킨다. 또 다른 방법으로 EMFLUX라는 기체 추적 탐지 시스템이 있다. 이 시스템은 흡착을 위해 여러 다른 물질들, 예를 들면 할로젠화물과 탄화수소를 사

용하여 열탈착을 시킨 후 GC나 MS를 통해 성분 분석을 수행한다.(1996, Stephens)

지금까지 가장 널리 사용되는 방법은 능동적인 (active) 방법으로, 이는 흡의 증기를 진공펌프를 이용해 뽑아내어 바로 화학분석기로 보내어 분석하기 때문에 수동적인 방법에 비해 빠른 속도로 조사를 진행시킬 수 있다.

5.2. 가스 채취 장비와 설치

간극기체를 채취하기 위한 설치에는 영구적 관측

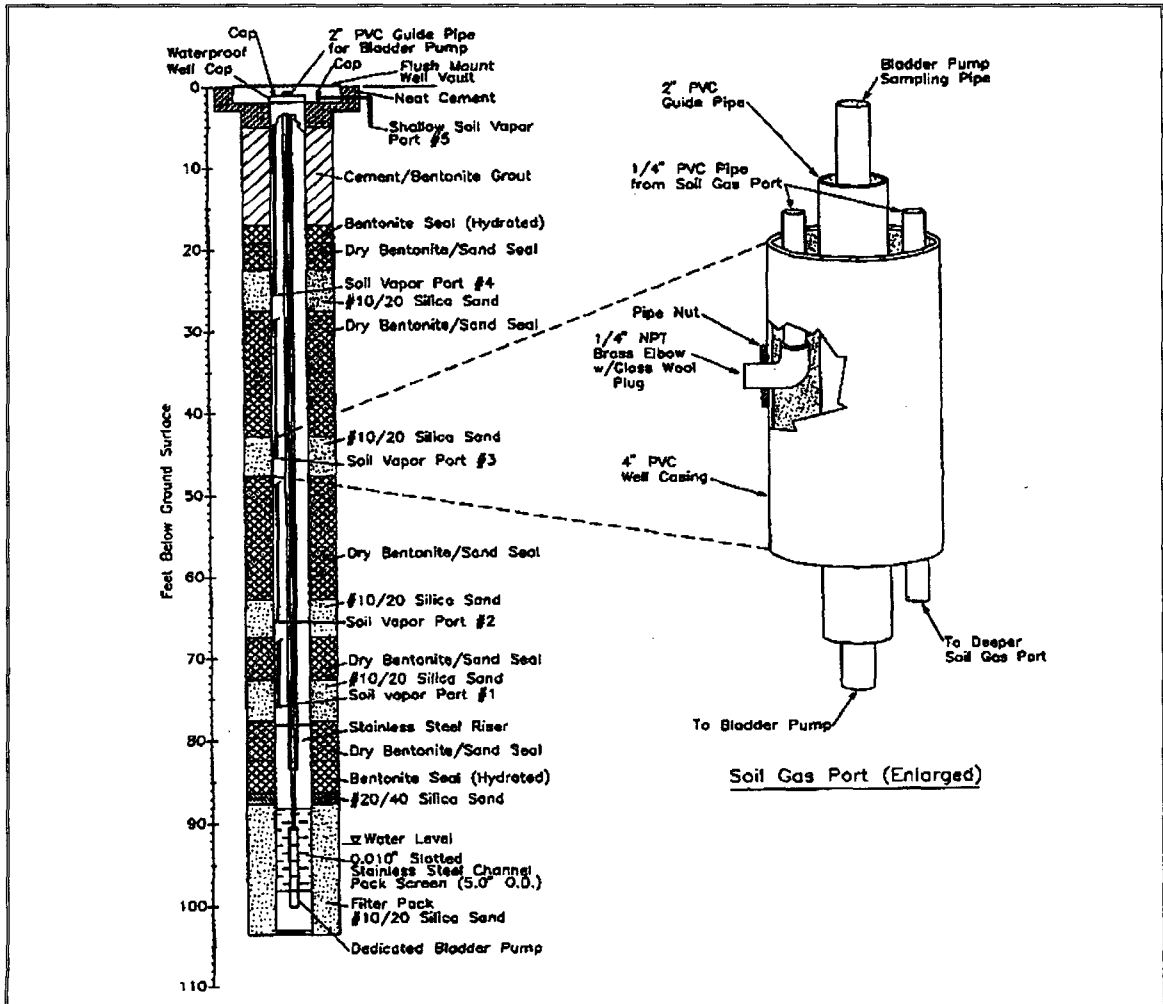


그림 4. 멀티포트 가스/지하수 관측정 설치 (Stephens, 1996)

기술기사

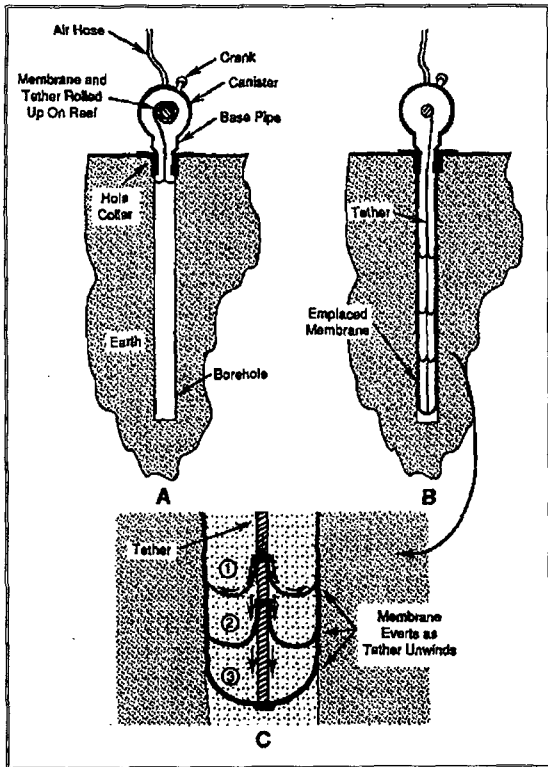


그림 5. SEAMIST (Stephens, 1996)

정, 반영구적 관측시스템, 간극기체 탐사법, 간극기체 단면분포 탐사법 등 여러 종류가 있다.

영구적 관측정의 설치는 근본적으로 일반적인 지하수 관측정 설치방법과 같다. 비포화대의 전 깊이에 걸쳐 각각 다른 깊이에서의 표본을 수집하는 이 방법은 각 깊이에 따른 관측정의 설치로 많은 비용이 드는 것이 문제가 된다. 그러나 한 관측정에 여러 포트를 설치하는 기술이 개발되어 이 문제를 해결하고 있다. 그림 4는 멀티포트 간극기체/지하수 관측정 설치의 세부 사항을 보여주는 그림이다.

5.3. 조사결과 분석

조사결과 분석은 채취된 간극기체의 화학적 특성, 흙의 성질, 현장의 수리지질학적 특성 등을 알아야만 제대로 이루어 질 수 있다.

일반적으로, 현장의 결과를 지도에 나타내면 높은

농도를 나타내는 곳에 오염원이 존재한다는 사실을 알게 된다. 하지만, 이때 여러 종류의 성분이 합쳐져 나타내는 농도라면 영향을 주는 부분이 어느 것인가 하는 문제 때문에 이를 분석하기가 어려울 것이다.

간극기체 조사를 통한 분석을 함에 있어서 오염원의 분포에 영향을 주는 여러 요소들을 염두해 둘 필요가 있다. 첫째로 휘발성의 문제를 들 수 있다. 예를 들어 끓는점이 150℃ 이하이고, 20℃에서의 증기압이 10 mmHg 이하인 물질은 표본추출점에 아주 가까이 있지 않다면

감지될만큼 충분한 양이 증발되지 않는다고 한다. 둘째, 수용성이 큰 물질도 이 조사방법에는 합당한 물질이라 할 수 없다. 왜냐하면 화학물질은 흙의 간극사이에 존재하는 물질중 액체화되는 것에 더 큰 경향성을 가지기 때문이다.

오염물질이 기체상태가 되면 이는 확산, 이송, 부력에 의해 이동하게 된다. 불포화 상태의 흙에서는 주로 확산에 의해 이동하게 되는데, 간극기체의 농도가 깊이에 따라 높아지게 된다면 오염원은 대부분 대수층에 존재한다. 간극기체 역시 불포화대에서 방사형으로 확산되므로 오염원으로부터 어느 정도 떨어진 거리에서는 거의 없어지게 된다. 건조한 모래의 경우 표면 가까이 있는 액체 상태의 물질은 금방 휘발되어 버리지만, 반대로 함수비가 높은 점토의 경우는 휘발성 물질도 천천히 확산되므로 빨리 사라지지 않는다.

이송(advection)은 간극기체를 분석하는데 매우 중요한 역할을 하게 된다. 이송은 흙의 간극사이에 형성된 압력차에 의해 간극기체가 이동하는 것을 말한다. 해안과 인접한 경우 조석현상 역시 이송에 영향을 주어 하루동안에도 간극기체의 농도를 크게 변화시킨다. 이송에 의한 간극기체의 이동은 지반의 가스에 대한 투과성, 간극의 연결성, tortuosity, 함수비 등에 의해 지배된다.

간극기체의 농도는 흙입자의 표면과 간극수와의 상호작용에 의해 결정된다. 휘발성 물질이 휘발되면 간극수에 용해되거나 흙입자의 표면에 붙게 된다. 산

소농도가 높은 입자의 표면에서는 오염물의 생물학적 분해도 이루어진다. 산소가 부족한 상태에서는 시간이 지남에 따라 유기화합물질이 새로운 형태의 화학물질로 바뀌어 추출된 간극기체의 분석을 매우 어렵게 하기도 한다.

6. 간극수의 샘플링

비포화 지반내 간극수의 샘플링 및 분석은 지표 오염원이 지반내를 이동하여 지하수층에 이동하는 것을 사전에 탐지하여 조치를 취하기 위해 필요하다. 비포화층에 있는 간극수의 종류는 앞에서 설명한 바와 같이 중력에 의하여 비포화대를 지나 하부로 이동하는 중력수(gravitational water), 0.1~30 bar 정도의 부의 모관압(negative capillary pressure)으로 고착되어 움직이지 않는 모관수(capillary water), 30 bar 이상의 suction으로 토양에 고착되어 있는 흡착수(hygroscopic water)의 세 가지로 분류된다. 여기서 오염지반 조사, 정확을 위한 샘플링은 중력수나 모관수를 채취하는 것이다. 모관수의 경우에는 진공을 이용하고 중력수의 경우에는 자연 배수를 이용하여 샘플을 채취한다.

모관수를 채취하는데 많이 사용되는 진공 샘플러는 다공질컵 진공 샘플러(porous cup vacuum sampler)와 다공질컵 진공압형 샘플러(porous cup pressure-vacuum sampler), 고압진공샘플러(high-pressure-vacuum sampler)이다.

그림 6.은 다공질컵 진공 샘플러를 나타낸 그림이다. 이것은 지표에 있는 플라스크에 진공을 가하여 하부 흡과 접촉하고 있는 다공질컵을 통하여 간극수를 흡입시킨다. 이때 다공질컵은 흡과 잘 접촉하고 있어야 한다. 플라스크에 가해야 할 진공의 크기를 사전에 결정하기 위하여 텐시오미터를 설치하여 suction pressure를 측정하기도 한다. 다공질컵 진공 샘플러는 보통 2m보다 얇은 곳에서 샘플링을 하고 suction pressure에 따라 8m까지 채취가 가능하기도 하다.

좀 더 깊은 곳에서 샘플링하기 위해서는 다공질컵 진공압형 샘플러를 사용해야 한다. 그림 7.에 나타난 바와 같이 다공질컵 진공 샘플러와 비슷하나 두 번째 라인이 다공질컵 상부의 공간에 설치되어 진공압을 가하여 간극수를 모은 다음 첫 번째 라인을 열어 배출시키는 진공압 라이지미터(lysimeter)이다. 1개의 시추공을 뚫고 여러층을 달리 샘플링할 수 있도록 고안되어 있다.

진공 샘플러 중에서 가장 깊은 곳까지 샘플링할 수 있는 것은 고압진공 샘플러로서 그림 8.과 같다. 다공질컵과 상부 튜브 공간 사이에 차단층을 설치하였다. 진공압을 가하여 간극수를 다공질 컵을 통해 상부 튜브 공간내로 흘러들여 압력(positive pressure)을 가하면 하부의 체크밸브가 닫혀 간극수가 상부 체크밸브를 열고 바깥으로 배출된다.

진공 샘플러의 장점은 비교적 현장에 설치하기 쉽고 진공압이 사용되는 샘플링 깊이에 제한이 없다는 것이나 샘플러 진공이 미치는 범위가 제한된 관계로 대상지반을 대표하는 샘플이 얻어지기 어렵다는 단

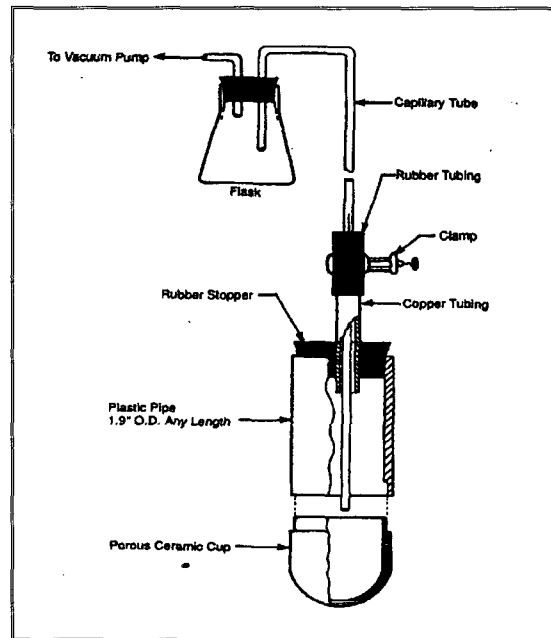


그림 6. 다공질컵 진공 샘플러 (Stephens, 1996)

기술기사

점이 있다.

이에 반해 중력수를 채취하는 데 많이 사용되는 자연배수형 샘플러의 경우는 비포화층에서 비교적 많은 양의 간극수를 받을 수 있어 대표성이 있는 간극수 시료를 채취할 수 있다. 그러나 설치가 어렵고 비용이 많이 들며 얇은 층에 한정되는 단점이 있다.

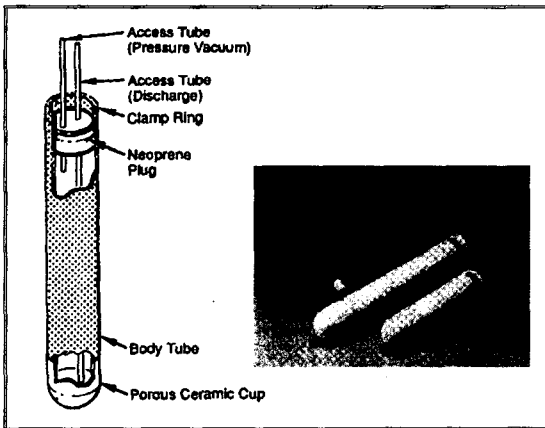


그림 7. 다공질집진진공압형 샘플러 (Stephens, 1996)

7. 맺음말

지금까지 비포화대의 분포특성과 샘플링 기법에 대하여 살펴보았다. 앞에서 설명한 바와 같이 비포화대는 지표에서부터 지하수면 위까지의 구간으로 토양대, 중간대, 모관대로 구분할 수 있다. 비포화대에는 여러 가지 상(phase)이 동시에 존재하는데 흡과 같은 고체상, 기체상, 물과 같은 액체상, 그리고 NAPL과 같은 물에 섞이지 않는 비교반액체상의 네 가지가 모두 존재한다. 따라서 포화대와는 달리 간극수나 간극기체를 샘플링하여 분석해야만 오염도를 파악할 수 있다. 간극수의 샘플링에 있어서 중력수는 자연배수를 이용하여 샘플링하고, 모관수의 경우에는 진공을 이용하여 샘플링한다. 간극기체 샘플링은 VOC 물질의 검출에 효과적이거나 중금속과 무기물의 검출에는 사용할 수 없다.

현재 국내의 오염지반 조사에 대한 연구는 그 성과가 아직 미흡한 형편이다. 따라서 지금까지 개발되어

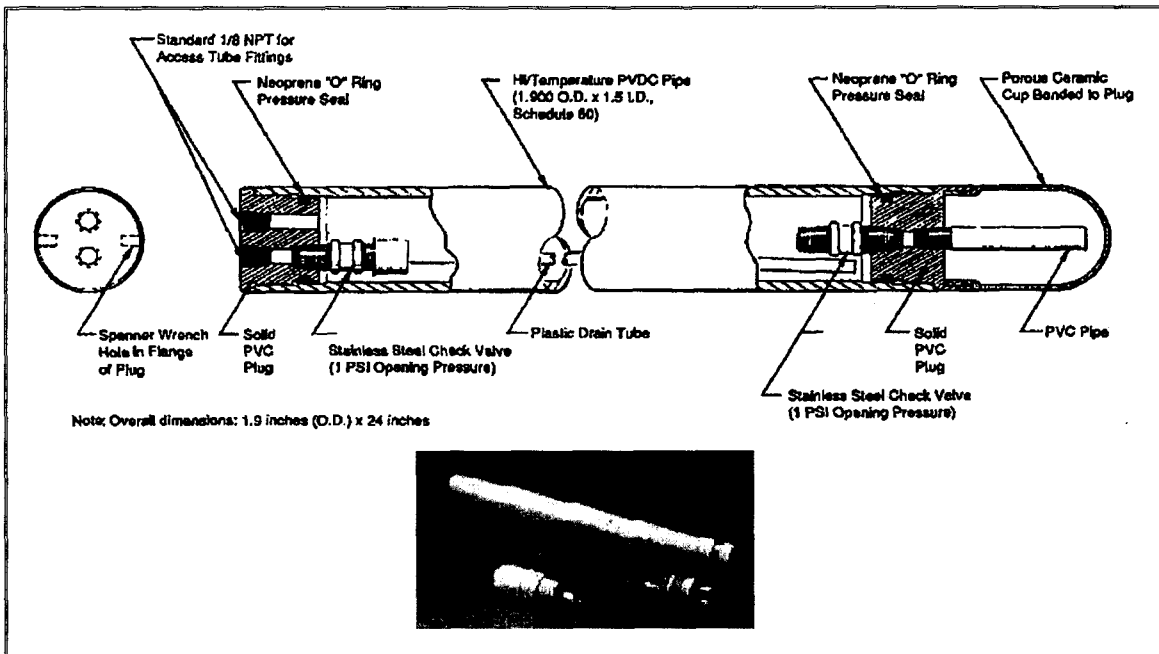


그림 8. 고압진공샘플러 (Stephens, 1996)

있는 샘플링 기법에 대하여 잘 연구하여 활용하는 한편 국내의 여건에 적합한 조사기법을 연구할 필요성이 있다. 뿐만 아니라 지금까지 주를 이루고 있는 조사법인 샘플을 채취한 후 실험실에서 분석하여 오염물질의 종류와 농도를 파악하는 방법은 비교적 정확하기는 하지만 샘플의 보관이나 운반에서 많은 주의를 요하고 시료의 채취에서 결과의 분석까지 비교적 많은 시간을 요구하는 단점이 있으므로 이를 개선하여 현장에서 빠르고 쉽게 오염물질과 농도 등을 조사할 수 있는 기법의 개발이 요구된다.

참고문헌

(1) 권호진, 박준범, 박규홍, **지반오염물질의 특성과 정화**(1), 대한토목학회, 1996
 (2) 장연수, 정하익, 토양 및 지하수 정화를 위한

지반조사, 대한토목학회, 1998
 (3) 한정상, **지하수환경과 오염**, 박영사, 1998
 (4) Bedient, P. B. , Rifai, H. S. , Newell, C. J. , **Groundwater contamination**, PTR Prentice Hall, 1994
 (5) Fetter, C. W. , **Contaminant hydrogeology**, Macmillan, 1993
 (6) LaGrega, M. D. , Buckingham, P. L. , Evans, J. C. , **Hazardous waste management**, McGRAW-HILL, 1994
 (7) Lohman, S. W. , **Ground-water Hydraulics**, 1972
 (8) Nielsen, D. N. , **Practical handbook of groundwater monitoring**, LEWIS, 1991
 (9) Stephens, D. B. , **Vadose zone hydrology**, CRC Press, 1996

도서판매 안내

- ① '94 봄 학술발표회 논문집 (5,000원)
 - ② '94 가을 학술발표회 논문집 (10,000원)
 - ③ 지반공학시리즈2 - 얇은 기초(구) (11,000원)
 - ④ '94 발포 폴리스티렌(EPS) 이용 성토공법 (10,000원)
 - ⑤ 한·일 합동 세미나 논문집 (7,000원)
 - ⑥ 지반공학 관련업체 소개서 (10,000원)
 - ⑦ '97 가을학술 (15,000원)
 - ⑧ 11차 ARC 개최전 초청강연 논문집:
Dr. R.H.G Parry, Prof. A.S. Bala (10,000원)
 - ⑨ 단기강좌 II : Ground Improvement Using Prefabricated Vertical Drains (20,000원)
 - ⑩ '98 가을학술발표회 논문집 (15,000원)
 - ⑪ 터널·암반역학(위) 박사학위 논문집 (10,000원)
 - ⑫ '98 토목섬유(위) 학술발표회 (10,000원)
 - ⑬ 강관말뚝의 설계와 시공가이드 (5,000원)
 - ⑭ '99 봄학술발표회 논문집 (15,000원)
 - ⑮ '99 지반조사(위) 학술발표회(5,000원)
 - ⑯ '99 터널분야 박사학위 논문집(10,000원)
 - ⑰ 김상규 교수 퇴임기념 심포지엄 논문집(10,000원)
- (각 우송료 별도)

회비 납부 안내

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있어오니 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

- ① 은행 무통장(타행) 입금
한국주택은행
계좌번호: 534637-95-100979
예금주: 한국지반공학회
- ② 우체국 무통장 입금(우편대체)
전국 각 우체국
계좌번호: 013755-31-2645950
예금주: 한국지반공학회

※ 입금시 보내시는 분의 성명, 회원번호, 송금명세를 기입해서 납부하시기 바랍니다.