

현장공기분사공정법(IAS)을 이용한 공기 영향반경과 흐름 양상 연구

이준호 · 박갑성

한국의국어대학교 자연과학대학 환경학과 (e-mail : 96hanul@hanmail.net)

<요약문>

Laboratory scale study for an area of influence and flowing aspect of groundwater saturated zone was conducted for three sediment grains. On the AMG(Average Modal diameter Grains) 0.34, 1.38, 3.89mm diameter samples, the affected area of the aquifer were 15.2, 37.0, 30.0%/m² each. Air flow for AMG 0.34mm diameter grain size provides indication of pattern of channelized air flow in saturated zone and expansion state in above saturated zone. For AMG of 1.38, 3.89mm diameter grains, air flow are pervasive air flow, forming a symmetrical cone of influence around the injection point. And also AMG 1.38, 3.89mm diameter samples show onset of collapse and approach to steady state in above saturated zone, respectively. In this study, optimal sites for in situ air sparging, may be grain diameters between about AMG 1.5~2.5mm diameter.

key word : In situ Air Sparging(IAS), Average Modal diameter Grains(AMG), Groundwater saturated zone, Air flow, Area of influence

1. 서론

급속한 경제발전과 산업화로 유류소비가 비약적으로 증가하였으나 군부대, 주유소, 공단지역과 산업시설에서의 지하저장탱크(Underground Storage Tanks : UST)의 노후화 와 결함에 의해 유류 및 유해화학물질의 누유(漏山)가능성에 대한 인식이 고조되고 있다. 오염원들은 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs)을 다량 포함하고 있는데, 이러한 화합물은 약 95%가 석유(石油)에서 생산된 물질들이다.

1980년대 중반 이후부터 지하수층에 오염된 물질을 복원하기 위한 현장공기분사공정(In situ Air Sparging : IAS)은 오염된 지하 포화대수층, 불포화층의 오염물질을 처리하는 방법이다. 이 공법은 지하 포화대수층에 있는 휘발성 유기화합물, 석유계 탄화수소류(Total Petroleum Hydrocarbon : TPH)와 NAPLs(Non-Aqueous Phase Liquids)층에 포함하고 있는 물질을 효과적으로 처리하며 지하 포화대수층(토양층)으로 직접 압을 가해 강제적으로 공기 주입하는 방법이다. 지하 포화대수층 내의 휘발성 유기화합물은 공기흐름에 의해 기상으로 전이되어 상부의 불포화층으로 운반되어 지상으로 배출되면서 생분해가 이루어진다. 현재까지도 현장 경험적 지식에 의존하는 부분이 많으며 포화대내에서의 주입 공기

의 채널링 현상(channel, channeling, channelized air flow), 주입공기의 압력 및 공극의 크기(porosity)에 따라 효율이 상당히 영향을 받는다.

이 실험은 현장공기분사공정을 이용하여 오염된 지하수·토양을 복원할 경우 지하 포화대수층의 토양입자 크기에 따른 공기분사 영향반경과 분사공기의 흐름 양상을 규명하는데 연구의 목적을 둔다.

2. 본 론

경기도 용인시 M사 건물을 중심으로 반경 10~80m 거리에 15개의 지하수 모니터링 측정 well(지름 1 inch) 지하 토양을 채취하였으며, 채취 시기는 2002년 7월이다. 실험 과정 중에 토양과 산소가 접촉 되는 면적을 구하기 위해 지시약(indicator)으로 Fe시약을 사용했다.

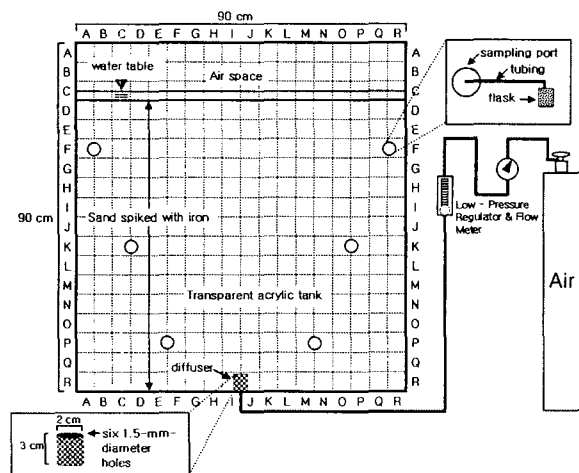
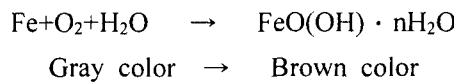


Fig 1. Schematic illustrating experimental apparatus.

Fig. 1와 같이 투명 아크릴 탱크 실험조의 크기는 90cm×90cm×2cm(아크릴 두께는 10mm)이다. 주입된 공기가 물로 포화된 토양 아래쪽 방향에서 위 방향(air space)으로 빠지기 위한 공기확산기(diffuser) 설치 위치는 [I, R] 1곳이다([I, R] = [가로 영문자명 I, 세로영문자명 R] 교차 지점). 공기 배출구 설치 위치는 가로 A층 방향 아크릴 덮개에 6개의 공기 hole이 있으며, 산소가 제거된 물을 주입하기 위한 투입구 설치 위치는 [A, A] 1곳이고 물을 배출하기 위한 배출구 설치 위치는 [R, R] 1곳이다. 공기에 불포화되는 토양의 산소 농도(Dissolved Oxygen : DO)를 측정하기 위한 sampling port는 [A, F], [C, K], [E, P], [M, P], [O, K], [Q, F]로서 총 6곳이다. 또한 공기에 포화되는 토양의 산소 농도를 측정하기 위해 1개의 sampling port는 아크릴 뒷면의 [I, I] 1곳이다.

U.S. standard mesh sieves를 사용하여 American society of Testing Materials(ASTM specification E-11)의 분류법에 따라 각각 직경 < 0.71mm(AMG 0.34mm diameter), 1.18~2.00mm(AMG 1.38mm diameter), 2.36~5.6mm(AMG 3.89mm diameter)의 3가지로 형태로 분류한 후에 미국농무성의 USDA(U.S. Department of Agriculture)의 토양삼각도(Calgon test)를 이용하여 토성을 특정하였으며 토양에 대한 기초적 물리·화학특성 실험결과는 Table 1과 같다.

3가지의 토양입자에 불포화대수층 DO는 평균 3.2mg/L로 측정되었으며, 포화대수층의 DO는 평균 6.7mg/L로 측정되었다. 공기 압력은 3.5~5.5kPa, 공기유량은 0.81~1.0L/min이었다. 실험 샘플당 실험이 종료되기 까지 공기 투여 시간은 각각 총 120hour이다.

Table 1. Characteristics of soil

Soil samples		Original sample	First sample <0.71mm	Second sample 1.18 ~ 2.00mm	Third sample 2.36 ~ 5.6mm
Particle size distribution	Sand (%) (0.05 ~ 2mm)	41.4	40.8	76.6	-
	Silt (%) (0.002 ~ 0.05mm)	15.2	59.2	23.3	-
	Clay (%) (<0.002mm)	43.4	0.0	0.0	-
Soil texture(USDA)		Clay	Silt Loam	Sandy Loam	Fine gravel (2.00 ~ 12.7mm)
Density(g/m ³)		1.22	1.17	1.16	1.17
Porosity		0.48	0.49	0.48	0.47
d ₅₀ (mm)		1.45	0.31	1.63	3.06
Uniformity coefficient		1.58 ^a	2.92 ^a	3.29 ^a	2.18 ^a
Grain size(mm)		1.76 ^b	0.34 ^b	1.38 ^b	3.89 ^b

※ USDA ; United States Department of Agriculture, d₆₀ ; sixty drawdown, d₅₀ ; fifty drawdown, d₁₀ ; ten drawdown, ^a ; d₆₀/d₁₀, ^b ; AMG(Average Modal diameter Grains)

3. 결론

(1) AMG 0.34 mm diameter sediments

Fig. 2 (a)와 같이 공기 확산기로 투입된 공기는 air space 방향으로 상승할수록 수평방향으로 조금씩 확산되어가는 형태이며, 공기흐름의 형태는 한번 결정된 공기방향으로만 계속 흐르려고 하는 채널링 현상(channelized air flow)을 보였다. 토양과 함께 투입된 Fe시약은 공기에 의해 산화되어 흑갈색을 가짐과 동시에 공기흐름이 함께 관찰되는 지역도 있었고, 공기흐름이 이동되는 것은 관찰되지는 않고 Fe시약만 산화되어 약한 흑갈색을 띠었다. 공기 확산기로 투입된 공기는 계속해서 세로 I, J 방향으로만 공기가 배출되려고 하는 확장 모양(expansion state)을 가졌다.

(2) AMG 1.38 mm diameter sediments

Fig. 2 (b)와 같이 공기가 air space 방향으로 상승할수록 가로 E층까지 수평방향으로 일정하게 완전한 확산 형태를 가졌으며, 공기흐름의 형태는 일정한 규칙을 가지지 못하고 불규칙하게 흐르는 퍼지는 현상(pervasive air flow)을 보였다. 가로 D층에서의 sediment들은 지하수면 층에서 불규칙하게 흔들리는 현상이 관찰되었으며 세로 I와 J를 중심으로 수직 방향으로 대칭인 붕괴의 조짐 모양(onset of collapse)을 가졌다.

(3) AMG 3.89 mm diameter sediments

Fig. 2 (c)와 같이 공기 확산기로 투입된 공기가 air space 방향으로 상승할수록 가로 I층까지는 수평방향으로 일정하게 확산되어 가고, 가로 I층부터 가로 E층까지는 공기확산의 정도가 일정한 종의 모양을 보이며, 가로 D층에서 수평방향으로 비교적 넓게 확산되었다. 공기흐름의 형태는 pervasive air flow를 보였으며, 공기 확산기로 투입된 공기는 계속해서 세로방향 I와 J를 중심으로 안정한 상태로 퍼짐 모양(approach to steady state)을 가졌다.

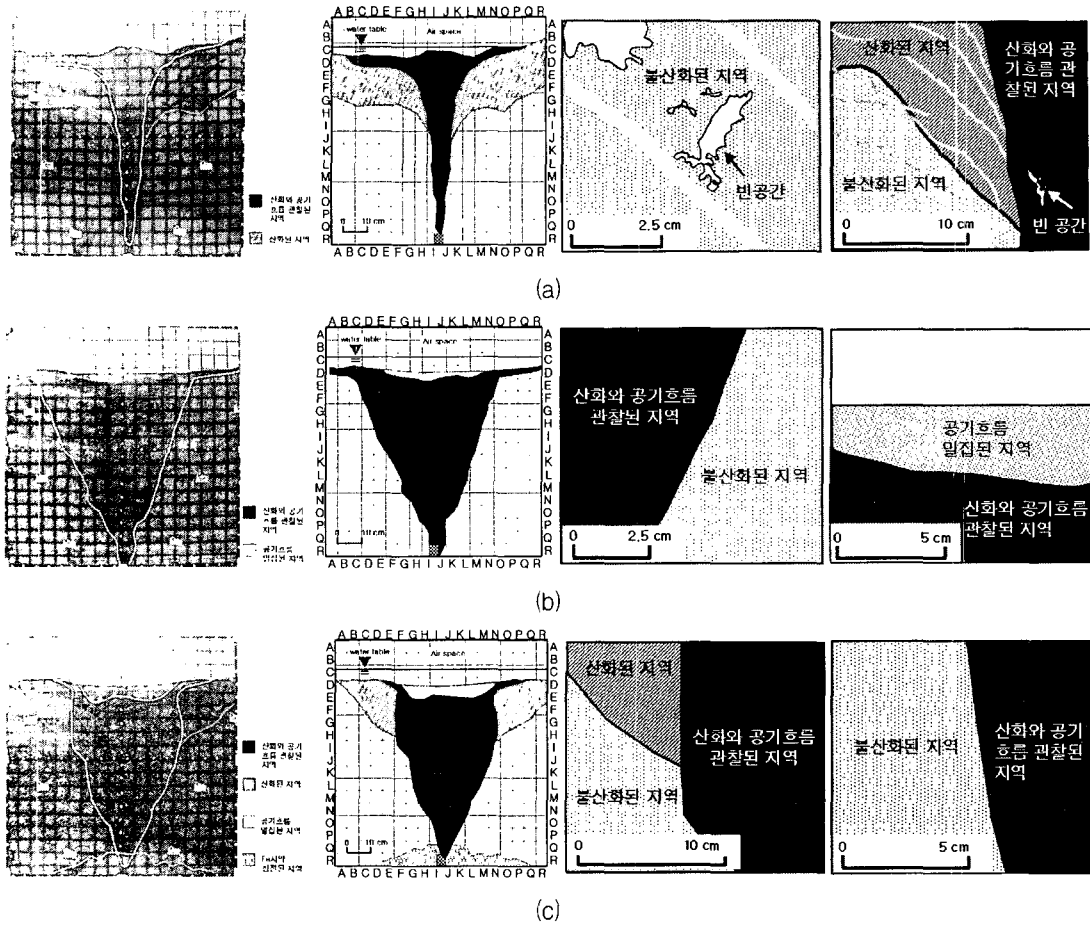


Fig. 2. Sketch of region illustrated photographically. : (a) Air flow in Silt Loam (AMG 0.34mm diameter) experiment after 50hour of air sparging. (b) Air flow in Sandy Loam (AMG 1.38mm diameter) experiment after 60hour of air sparging. (c) Air flow in Fine gravel (AMG 3.89mm diameter) experiment after 80hour of air sparging.

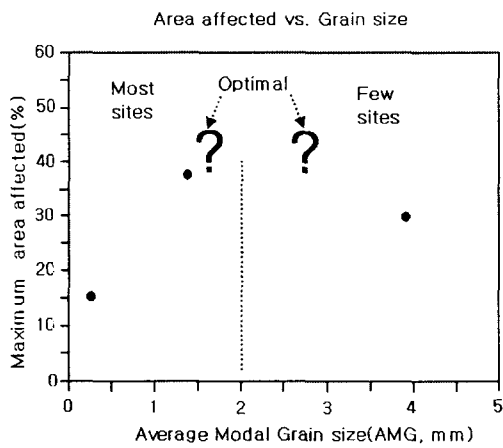


Fig. 3. Maximum percentage of soil column affected by sparging air as a function of grain size.

AMG 0.34 mm diameter에서는 영향반경이 1m^2 단 위면적당 15.2%로 환산 가능하다. AMG 1.38, 3.89mm diameter의 2가지 입자 크기로 실험한 결과 공기확산에 의한 토양·지하수의 영향반경은 1m^2 당 각각 37.0, 30.0%로 계산되었다. AMG 0.34, 1.38, 3.89mm diameter의 경우 공기흐름에 의해 Fe 시약이 산화되는 시작시간은 실험 시작 후 각각 약 54, 74, 81hour이었다. 실험 결과 최대효율을 얻을 수 있는 모래 입자의 크기(Fig. 3)는 AMG 1.5~2.5mm diameter로 사료 된다.

참고문헌

- (1) 박준석, 남궁완, 황의영, “공기공급이 토양내 폐놀화합물 제거에 미치는 영향”, 한국토양 환경학회지, 5(2), pp.3-12 (2000).
- (2) US EPA, “A Technology Assessment of Soil Vapor Extraction and Air Sparging”, EPA/600/R-92/173, 214p. (1992).
- (3) Peterson,J.W., Murray,K.S., Tulu,Y.I., and Peuler,B.D., “Air-flow geometry in air sparging of fine-grained sands”, *Hydrogeology Journal*, 9, pp.168-176 (2001).
- (4) Lundegard,P.D., amd LaBrecque,D.J., “Air spaging in a sandy aquifer (Florence, Oregon, U.S.A.) : Actual and apparent radius of influence”, *Journal of Contaminant Hydrology*, 19, pp.1-27 (1995).