

현장추적자시험에 의한 폐기물매립장 침출수 유출경로 규명

강동환, 정상용, 이광열*, 김병우, 김태형

부경대학교 환경지질학과, *동서대학교
(e-mail : ak1k1k1@mail1.pknu.ac.kr)

<요약문>

폐기물매립장에서의 침출수 유출을 확인하고 경로를 파악하기 위해 추적자시험이 실시되었다. 추적자는 요오드와 Rhodamine WT를 이용하였으며, 추적자는 T-2, 4, 5공에서 주입하였다. 관측지점으로는 매립장내 우수관 출구와 측면배수구에서 모니터링 하였으며, 또한 주입공 하부의 9개 지하수공에서 모니터링 하였다. T-4, T-2와 T-5 지하수공에서 요오드와 Rhodamine WT 용액을 주입한 추적자시험 결과 매립장의 바닥 차수막이 파손되어 침출수가 우수관내로 유출되고 있음이 입증되었으며, 또한 매립장내의 투수성이 매우 높아 일반적인 자연상태에 비해 매립장에서 우수관내로의 침출수 유입이 매우 빠름을 알 수 있었다. T-4와 T-2 지하수공에서 실시된 추적자시험에서 매립장의 차수벽 하부에 위치한 B-5와 B-6공에서 다량의 추적자가 관측되어 하부차수벽을 통해 침출수가 유출되고 있음이 확인되었다. 본 현장에서 실시된 추적자시험을 통해 매립장에서의 침출수 유출은 매우 빠른 속도로 발생하고 있으며, 또한 주 유출경로로는 T-4와 T-5 지하수공 주변의 바닥차수막과 매립장의 하부차수벽을 통해 유출되어지고 있음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 추적자시험, 폐기물매립장, 침출수 유출경로

1. 서론

현재 국내에서 실시된 현장추적자시험은 일반적인 지질매체의 수리상수 추정, 댐안정성 검토, 유류오염지역에서의 토양오염복원을 위한 포화대와 불포화대내에서의 수리분산특성 등이 연구되었다(이진용 외, 2001; 농업기반공사, 2002). 또한 자연 상태의 지하수 수질성분을 모니터링 하여 수리분산 모델링을 통한 해수침투 범위와 경로를 규명하는 연구도 수행되어 진 바 있다(심병완, 2003; 심병완 외, 2002, 2003). 추적자시험을 이용한 지질매체내에서의 수리분산특성 연구는 다양한 방법과 목적으로 모든 지질 환경에 적용되어 질 수 있다.

추적자시험은 시험기간 동안 추적자 주입공에서 자연지하수위의 변화에 따라 강제구배추적자시험(forced gradient tracer test)과 자연구배추적자시험(natural gradient tracer test)으로 나뉘어 지며, 또한 추적자 주입의 연속성에 따라 순간주입추적자시험(instantaneous injection tracer test)과 연속주입추적자시험(continuous injection tracer test)으로 구분되어 진다. 자연구배를 유지하기 위해서는 추적자를 순간적으로 주입하는 것이 일반적이며, 자연구배추적자시험 자료를 이용하여 대수층내에서의 수리분산특성

을 정량화 할 수 있다. 연속적으로 추적자를 주입하여 주입공의 지하수위를 일정한 높이로 상승시키는 강제구배추적자시험은 짧은 시간에 대수층에서 오염물의 유출 경로 및 범위 등을 파악하기에 적합하며, 자연구배추적자시험에 비해 고비용이지만 높은 성공율을 가진다(이상호 외, 2001). 실제 현장에서는 추적자시험의 목적과 현장여건에 따라 연속주입과 순간주입이 혼합된 상태의 추적자시험 결과에 대한 적합한 해석이 요구되어 진다.

본 연구에서는 폐기물매립장에서의 침출수 유출로 인한 주변 환경의 오염이 심각해짐에 따라 침출수 유출 원인을 규명하기 위해 추적자시험을 실시하였다. 추적자시험의 결과를 해석하여 매립장 바다면에 설치된 차수막과 매립장 하부차수벽의 안정성을 평가하고, 침출수 유출 경로와 정도를 파악하였다.

2. 본 론

2.1. 추적자시험 개요

본 연구지역에서 실시된 추적자시험은 주입공에 따라 반복적으로 실시되었으며, 추적자는 요오드와 Rhodamine WT가 이용되었다. Fig. 1에 도시되어진 지하수공중 T-1공은 본 시험에서는 사용되지 않았다. 추적자 주입공으로는 T-4, T-2와 T-5 지하수공이 이용되었다. 관측공으로는 B-1, B-3, B-4, B-5, B-6, BH-6, BH-7, W-2, T-2, T-3 지하수공들이 1일 1회 간격으로 모니터링 되었으며, 주 관측지점인 우수관 출구와 측면배수구에서는 1시간 간격으로 모니터링 하였다. T-2 지하수공에서의 추적자 주입시에는 T-2공과 T-3공은 관측공에서 제외되었다. T-5 지하수공에서의 추적자주입 시험시에는 우수관 출구와 측면배수구, 그리고 우수를 집수하여 우수관으로 보내는 맹암거가 위치한 두개 지점(RD-4, RD-6)에서 1시간 간격으로 모니터링 하였다. Fig. 1에는 현장추적자시험의 주입공, 관측공 및 관측지점들의 위치가 도시되어 있다. Table 1에는 현장추적자 시험시 이용된 주입공, 추적자의 종류, 주입농도와 주입량 등을 정리하였다.

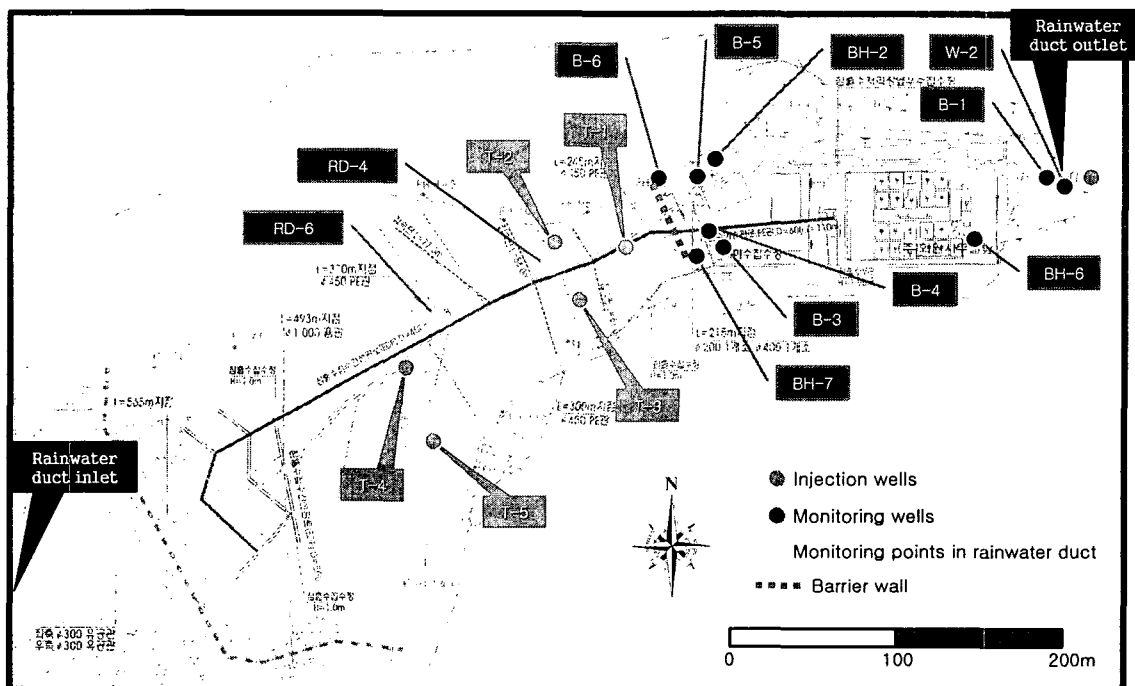


Fig. 1. Location map of injection wells and monitoring wells in the waste landfill.

Table 1. Conditions of tracer injection

Month/Day/Hour	Injecition well	Injection time (hours)	Tracer	Injection concentration	Injection volume (m ³)
10/03/09	T-4	1	Iodide	1000ppm	1
10/03/10	T-4	1	Field groundwater		1
10/04/10	T-4	1	Iodide	1000ppm	1
10/07/11	T-4	1	Iodide	1000ppm	2
10/09/10	T-4	1	Iodide	1000ppm	2
10/11/10	T-2	1	Rhodamine WT	100ppm	1
10/14/10	T-2	1	Rhodamine WT	100ppm	1
10/14/10	T-2	1	Iodide	1000ppm	1
10/25/10	T-5	2	Iodide	1000ppm	2

2.2. 우수관 출구와 측면배수구 모니터링

T-4공에서 4회에 걸쳐 요오드 용액을 주입하여 실시한 추적자시험 기간동안 우수관 출구와 측면배수구에서는 주입 후 약 5~6시간이 경과한 후에 추적자가 도달되어 진 것으로 나타났다. 추적자의 주입횟수가 증가할수록 전반적으로 요오드 농도가 높게 나타남을 보였다. 이는 매립장에 요오드가 집적되어 농도가 증가한 것으로 판단된다. 추적자시험 기간동안 전체적으로 우수관 출구와 측면배수구에서의 요오드 농도 변화양상이 거의 유사하게 나타났지만, 초기에 우수관 측면배수구에서의 농도가 약간 높게 검출되었다. 우수관 출구와 측면배수구에서의 추적자 검출은 HDPE 차수막 하부로 침출수가 유출되어 우수관 출구와 측면배수구로 유동하고 있음을 보여주는 것이다. T-5공에서의 요오드 주입추적자 시험 결과, T-5공에 가장 근접해 있는 RD-6 지점에서 상부유입구를 통해 떨어지는 지하수 내에서 요오드농도의 최고치가 1.06ppm 정도로서 초기농도의 약 3배에 가까운 값을 나타내었다. 우수관-4 지점과 우수관 출구 및 측면배수구에서 모니터링 되어진 요오드농도의 변화 양상은 전반적으로 유사하였다. 이는 쓰레기 매립장의 침출수가 파손된 HDPE를 뚫고 RD-4와 RD-6 지점의 상부유입구를 통해 유입되어 우수관 출구를 통해 흘러나오고 있다는 명확한 증거이다. T-2공에서의 Rhodamine WT 용액을 주입한 추적자 시험기간 동안 전반적으로 우수관 출구에 비해 측면배수구에서의 농도가 높게 나타났다. 우수관 출구와 측면배수구의 추적자농도는 주입 후 약 5시간이 경과한 후에 크게 증가하였으며, 그 이후에는 강우와 2차 주입에 의하여 증가하였다. 따라서 쓰레기매립장에서 발생된 침출수는 손상된 HDPE 차수막 하부로 유출되어 비교적 빠른 시간 내에 우수관 출구와 그 측면에 설치된 배수관을 통하여 흐르는 것으로 확인되었다.

2.3. 지하수공 모니터링

T-4공에서 요오드추적자를 이용하여 실시된 추적자시험 기간동안 가장 근접한 하부에 위치한 T-2공에서 요오드농도가 최고 0.43ppm까지 나타났다. 그리고 T-3, B-5와 B-6공에서는 0.20ppm 이상의 요오드농도가 관측되었다. 관측공별 요오드농도의 변화는 우수관 출구와 측면배수구에서 관측된 것과 유사하게 1차 주입 후 약 250시간까지는 요오드농도가 증가하다가 이 후부터는 감소하는 양상을 나타내었다. 따라서 T-2와 T-3공에서 측정된 요오드농도의 절대치가 우수관 출구와 측면배수구에서 검출된 농도와는 차이가 나지만 전체적인 변화 양상이 매우 유사하기 때문에, HDPE 차수벽 상부에서의 지하수 유동이 원활하게 이루어지고 있다는 것을 파악할 수 있었다. 그리고 차수벽 하부에 위치한 B-5와 B-6공에서 요오드가 검출되어 지는 것으로 보아 차수벽의 침출수 차수성에 문제가 있는 것으로 판단된다. T-5공에서의 요오드 주입추적자 시험 결과, 모니터링 기간동안 주입공에 가장 근접해 있는 T-3공을 제외하고는 모든 관측공에서 0.07ppm 이하의 값으로서 추적자가 도달하지 않은 것으로 나타났다. T-3공에서는 최고 2.09ppm의 요오드가 검출되었다. T-3 지하수공은 주입 후 약 24시간 내에 추적자가 도달

하였으며, 주입 후 5일이 경과한 후에는 농도가 급격하게 감소함을 보였다. 이는 T-5공에서 T-3공까지 투수성이 좋으며, 또한 수리적인 연결성이 뛰어나 침출수의 유동이 원활하기 때문인 것으로 판단된다. T-2공에서 Rhodamine WT 용액을 이용하여 실시된 추적자시험 기간동안 주입공인 T-2공에서 지하수의 주 흐름 방향으로 약 20m 지점에 위치한 B-6공에서 Rhodamine WT 농도값이 8.72ppm까지 나타났으며, 주 흐름 방향으로 약 30m지점에 위치한 B-5공에서는 4.04ppm까지 나타났다. 나머지 관측공들에서는 1.00ppm 이하의 매우 낮은 값을 보임으로써 시험기간 동안에는 소량의 추적자만이 도달한 것으로 보인다. Rhodamine WT 추적자시험 결과 차수벽 하부에 위치한 B-5와 B-6공에서 Rhodamine WT 농도가 높게 검출되었는데, 이것은 주입공 T-2공과 관측공 B-5와 B-6공 사이에 수리적으로 연결성이 매우 크다는 것을 의미한다. 따라서 관측공 B-5와 B-6공은 차수벽 하부에 위치하고 있으므로 차수벽의 침출수 차수성에 문제가 크다는 것이 확인되었다.

3. 결론

폐기물매립장에서 실시된 자연구배 추적자시험의 결과는 다음과 같다.

- 1) T-4, T-2와 T-5 지하수공에서 요오드와 Rhodamine WT 용액을 주입하여 매립장 바닥 차수막의 안정성을 평가한 결과, 모든 추적자 시험에서 매립장의 바닥 차수막이 파손되어 침출수가 우수관내로 유출되고 있음이 명확하게 입증되었다. 또한, 매립장내의 투수성이 매우 크고 일반적인 자연상태에 비해 매립장에서 우수관내로의 침출수 유입이 매우 빠름을 알 수 있었다. 이는 매립장 하부의 HDPE 차수막이 여러 곳에서 파손되어 있음을 의미하며, 또한 우수관 내로의 지속적인 침출수의 유입이 되고 있음을 나타낸다.
- 2) T-4와 T-2 지하수공에 요오드와 Rhodamine WT 용액을 주입하여 매립장 하부차수벽의 차수성을 평가한 결과, 매립장의 차수벽 하부에 위치한 B-5와 B-6공들에서 추적자가 관측되었으며, 이는 차수벽을 통해 침출수가 유출되고 있음을 보여주는 것이다. 차수벽을 통한 매립장내 침출수 유출이 매립장 주변 지하수의 오염원이 되고 있음을 확인하였다.
- 3) 본 현장에서 실시된 추적자시험 결과, 매립장내에서의 침출수 유출은 매우 빠른 속도로 발생하고 있으며, 주 유출경로로는 매립장내 T-4와 T-5 지하수공 주변의 바닥차수막을 통하여 우수관으로 유출되어지고 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 1) 농업기반공사, 2002, 육군 『구2정비창』 오염부지 정화사업 공법실증시험, 833p.
- 2) 심병완, 정상용, 2002, 지구물리 탐사자료의 지구통계학적 분석에 의한 부산 동남해안 지역의 해수침투 특성, 지하수도양환경학회지, 7(3), p.3-17.
- 3) 심병완, 정상용, 김희준, 성익환, 2002, 수리동역학적 모델링에서 분산지수에 따른 해수침투 범위의 변화, 지하수도양환경학회지, 7(4), p.59-67.
- 4) 심병완, 2003, 부산 동남해안 지역의 수리동역학적 해수침투 특성 연구, 박사학위논문, 부경대학교, 123p.
- 5) 이상호, 함세영, 우남철, 이철우, 2001, 지하수 추적자, 시그마프레스, 148p.
- 6) 이진용, 천정용, 이강근, 이민효, 윤정기, 2001, 다공질 천층 대수층에서의 추적자 이동 연구, 지질학회지, 제37권, 제2호, p.309-316.