

추적자시험에 의한 폐기물매립장 침출수 누출조사

Investigation of Leachate Leakage in Waste Landfill by Tracer Test

이 광 열¹ Lee, Kwang-Yeol
이 영 준² Lee, Young-Jun
장 삼 식³ Jang, Sam-Sik

Abstract

Tracer tests were conducted to investigate leachate outflow through damaged parts on HDPE liner subject to puncture loads in a closed landfill. Natural gradient tracer test was used with two different types of tracers, Iodide and Rhodamine WT. Tracers were selected under careful consideration of chemical components of leachate. Five injection wells with fourteen detection points were installed and operated throughout the test site. In this study, it is found that Iodide and Rhodamine WT are applicable and effective for leachate leakage investigation on waste landfills. Also, it is concluded that considerable amount of leachate was leaked through the rain water drain box and side wall of drain box.

요 지

본 연구에서는 추적자시험을 이용하여 매립종료된 폐기물매립장에서 꿰뚫림하중에 의해 파손된 차수재를 통한 침출수의 누출 여부를 조사하였다. 추적자시험은 자연구배형식을 채택하였으며, 추적자로는 Iodide and Rhodamine WT를 사용하였다. 이 두 추적자는 침출수의 화학적 성분과 반응성을 충분히 고려하여 선정하였다. 시험에서는 매립장 전체를 통하여 5개의 주입정과 14개의 관측공을 설치하여 운영하였다. 본 연구의 결과에 의하면, Iodide and Rhodamine WT 추적자는 매립장 침출수 누출조사에 적용 가능하며 효과적임을 확인하였으며, 다량의 침출수가 우수관로와 우수관로의 외측 벽면을 통하여 누출되었던 것으로 추정된다.

Keywords : Leachate, Soil pollution, Tracer test, Waste landfill

1. 서 론

본 연구의 대상인 폐기물 매립장은 사면부 차수시설에 점토차수층이 시공되어 있지 않았으며, 절토사면 위에 부직포, HDPE 순으로 시공하고 상부에 보호층 없이 쓰레기를 매립한 상태였다. 이렇게 보호층 없이 시공한 매립장에 과도한 매립하중이 발생하여 차수재(HDPE)에 천공파괴가 발생하게 된 것으로 추정된다. 차수재는

폐기물 매립장에서 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 사용중인 HDPE파손을 확인하는 방법으로는 매질의 전기적 물성차이에 의한 전위차를 측정함으로써 지하구조를 조사하는 능동적 탐사인 전기비저항탐사와 필요한 장비나 현장 탐사작업상 가장 저렴하면서도 간단한 물리 탐사인 자연전위(SP)탐사 그리고 지하매질의 관심 지점간의 연결성을 확인하거나 대수층의 용질 이동 특성을 반영하는 물리, 화학, 생물학적 변수를

1 정회원, 동서대학교 건설공학부 부교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Dongseo, civklee@gdsu.Dongseo.ac.kr)

2 동서대학교 응용생명공학부 부교수 (Non-member, Prof., Dept. of Environ. Engrg., Univ. of Dongseo)

3 동서대학교 토목공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Dongseo)

추정하고자 할 때 수행하는 시험인 추적자시험 등이 있다. 추적자 시험은 정수장 단위공정의 수리학적 특성을 파악하기 위해 널리 이용되고 있다(김정현, 2000). 또한 지층을 흐르는 지하수의 유동속도와 유동방향을 개략적으로 파악하기 위하여 누수되는 제방 등에서 염료, 소금 등을 이용하여 시행되어왔다. 그러나 근래에는 지하수의 유동속도, 방향은 물론이고 지하수 연령, 지하수의 지질학적 및 지구화학적 기원, 대수층 내 물의 양, 수리전도도 등 대수층에 관한 물리적, 화학적 특성과 오염물질의 분산, 이송, 확산, 흡착 등을 파악하고, 수질모델링의 자료 취득 수단으로 시행된다(정형재외, 1996).

따라서 본 연구에서는 추적자 시험을 이용하여 침출수 유출의 원인인 차수재 파손 및 그로인한 침출수 누출 여부를 진단하고자 하였다.

2. 추적자 현장시험

2.1 매립장 시설 및 매립현황

2.1.1 차수구조

사면부 차수구조는 그림 1과 같으며, 사면의 범면고르기를 실시하였으나, 돌출암석편의 크기가 너무 크고 표면에 돌출되어 있으며, 소단부에서의 차수재는 전사면에 걸쳐 연속적으로 설치하였다(그림 2). 특히 소단부와 사면 상단부에서의 차수재 정착은 전혀 이루어지지 않았다.

2.1.2 폐기물 및 침출수 성분

폐기물 성분을 조사하기 위해 폐기물 매립시기 및 매립상태를 고려하여 매립이 완료된 지역에서 3개 채취공(G-1~G-3), 매립이 진행중인 지역에서 2개 채취공(G-4, G-5)을 선정하였다. 그리고 폐기물 성상분석을 위

한 방법으로 물리적 성상과 각 지점에 따른 3성분 분석, 그리고 용출시험을 하였다.

표 1은 물리적 성상분석을 나타낸 결과이다. 매립경과 년수가 오래된 시료의 경우 매립심도에 관계없이 유기물질인 음식물류, 섬유류, 종이류는 거의 관찰되지 않았으며, 난분해성 유기물질인 비닐, 플라스틱, 목재, 고무류가 약 22%로 무기성 물질인 자갈 및 토사층과 혼재되어 있는 것으로 조사되었다. 한편 최근 매립된 폐기물에서는 섬유류, 종이류가 약 15~24% 잔존하고 있었으며, 난분해성 유기물질인 비닐, 플라스틱 및 목재류의 증가도 두드러졌다. 특히 고무류는 5~6배 이상의 증가율을 보이고 있고 총 유기물질의 비율은 58.4~65.9%로 나타나므로 물리적 성상이 매립당시를 고려하더라도 상당한 변화가 발생된 것으로 생각된다. 표 2에서는 매립경과 년수가 오래된 폐기물의 경우 회분은 6.5~8.2%, 가연분은 62.9~70.8%이었고, 최근 매립된 폐기물의 경우 회분은 13~17.9%, 가연분은 44.3~54.4%로 나타났다. 최근 매립된 폐기물가연분이 오래된 폐기물의 경우보다 상대적으로 낮게 나타난 것은 함수율이 높게 차지하기 때문이다. 따라서 상대적 비교는 어려운 것으로 나타났다. 용출시험결과 폐기물관리법 시행규칙의 지정폐기물에 함유된 유해물질로 판명되었다(표 3).

침출수 성분 조사는 총 21개 지점에서 채취한 시료에 대하여 성분분석시험을 수행하였으며, 침출수 성분분석 시험 결과는 표 4, 5와 같으며, 침출수의 생물분해성비(BOD5/CODcr)는 0.26으로 나타났다.

2.2 추적자 시험개요

추적자 시험은 크게 4가지 유형으로 나눌수 있다. 첫째는 단일 우물에서의 순간 주입후 회수시험법으로 우물에 추적자를 주입후 변화하는 농도를 측정하고 일정

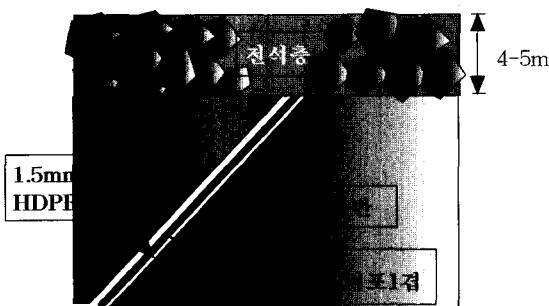


그림 1. 사면부 차수구조

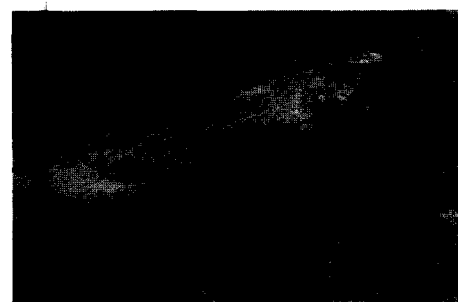


그림 2. 사면부 차수구조 현황

표 1. 10성상 분석결과

(단위: %)

지 점	G-1		G-2		G-3		G-4		G-5	
	0~4m	4~8m	0~4m	4~8m	0~4m	4~8m	0~4m	4~8m	0~4m	4~8m
음식물류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
비닐/플라스틱류	5.8/7.2	3.2/8.1	6.2/5.7	4.9/4.9	5.5/4.5	7.3/6.4	8.4/8.4	10.4/9.9	11.3/12.2	12.3/6.4
섬유류	-	-	-	-	-	-	12.4	10.9	9.5	12.3
목재류	6.7	2.0	8.1	1.5	5.5	2.7	10.9	8.4	6.8	10.8
종이류	-	-	-	-	-	-	7.9	11.4	5.9	11.8
고무류	2.4	-	2.4	-	2.3	-	10.4	14.9	13.6	8.4
유리류	-	-	-	-	-	-	2.0	1.5	1.4	3.0
도자기류	-	-	-	-	-	-	4.0	0.5	3.2	1.0
금속류	-	-	-	-	-	-	9.9	7.4	6.8	5.9
자갈류	21.6	24.2	22.4	29.1	21.8	23.6	2.5	4.0	2.3	7.9
토사류	56.3	62.5	55.2	59.6	60.5	60.0	23.2	20.8	27.1	20.2
가연성분	22.1	13.3	22.4	11.3	17.8	16.4	58.4	65.9	59.3	62.0
비가연분	77.9	86.7	77.6	82.3	82.3	83.6	41.6	34.1	40.7	38.0

표 2. 3성상 분석결과

지 점	항 목	회분(%)	함수율(%)	가연분(%)	계(%)
G-1	0~4m	7.8	28.9	63.3	100
	4~8m	6.5	22.7	70.8	100
G-2	0~4m	8.2	28.9	62.9	100
	4~8m	7.8	24.6	67.6	100
G-3	0~4m	7.9	28.2	63.9	100
	4~8m	7.9	25.0	67.1	100
G-4	0~4m	16.3	33.8	49.9	100
	4~8m	12.3	34.6	53.1	100
G-5	0~4m	17.9	37.8	44.3	100
	4~8m	13.0	32.6	54.4	100
평 균	0~4m	11.6	31.5	56.9	100
	4~8m	9.5	27.9	62.6	100
	평 균	10.6	29.7	59.7	100

표 3. 용출시험결과

지 점	항목	pH	수분(%)	유기물함량(%)	Cu(mg/L)	Cd(mg/L)	Pb(mg/L)	Hg(mg/L)	Cr ⁺⁶ (mg/L)
G-1	0~4m	8.3	26.8	4.9	0.023	0.010	0.120	0.005	0.123
	4~8m	8.4	19.0	2.5	0.016	0.008	0.072	불검출	불검출
G-2	0~4m	8.2	24.4	4.6	0.026	0.017	0.115	불검출	불검출
	4~8m	8.0	19.2	2.7	0.013	0.010	0.069	불검출	불검출
G-3	0~4m	8.2	26.0	5.1	0.030	0.014	0.136	불검출	불검출
	4~8m	8.4	19.5	3.0	0.016	0.010	0.109	불검출	불검출
G-4	0~4m	8.9	18.7	5.7	0.697	0.038	0.570	불검출	0.007
	4~8m	9.4	18.3	5.1	0.566	0.032	0.276	불검출	0.021
G-5	0~4m	8.5	22.4	6.2	0.042	0.040	0.027	불검출	불검출
	4~8m	9.0	18.7	5.3	0.192	0.038	0.020	불검출	불검출
지정폐기물유해 물질함유기준		-	-	-	3	0.3	3	0.005	1.5

- Phenol, CN, 유기인, PCB, As은 불검출(불검출: 검출한계 이하, 단위 : mg/L)

표 4. 침출수 수질검사

(단위:mg/L 단 색도는 제외)

검사항목 시료번호	COD	BOD	암모니아성질소	무기성질소	페놀류	용해성철	색도
YS - 1	291.3	240	0.052	1.044	ND	1.137	21
YS - 2	25.6	3.6	0.064	3.42	ND	0.772	79
YS - 3	23.4	4.4	ND	1.923	ND	0.188	36
YS - 4	1720	960	315.05	357.878	0.651	18.955	1338
YS - 5	651.7	540	217.3	247.143	0.345	9.19	536
YS - 6	1990	1140	655.1	745.188	1.353	12.102	1131
YS - 7	23.7	6.3	1.65	15.306	ND	0.044	21
YS - 8	474	41.5	196.85	208.815	ND	2.118	269
YS - 9	716.7	80	428.45	446.381	ND	2.644	533
YS - 10	94	7.1	0.103	1.393	ND	1.515	257
YS - 11	10	2.1	ND	0.828	ND	0.121	31
YS - 12	48	6.0	0.121	2.119	ND	2.11	344
YS - 13	267.3	45.5	86.46	93.105	ND	2.031	273
YS - 14	148	9.3	78.46	92.061	ND	0.081	202
YS - 15	960	38.5	525.6	591.541	0.148	2.932	1139
YS - 16	387	27	276.9	291.878	ND	1.364	295
YS - 17	177.2	13.8	39.88	47.35	ND	0.320	118
YS - 18	199	25.2	159.36	169.723	ND	1.339	351
YS - 19	848	675	311.04	343.59	0.538	18.457	978
YS - 20	72	4.1	26.385	32.319	ND	5.235	271
YS - 21	33.3	6.2	0.432	5.535	ND	1.053	151

표 5. 생분해성 항목별 농도

구 분	1차	2차	3차	평 균
BOD5	1158	270	577	668
BODu	3282	480	2460	2,074
CODcr	4520	931	2766	2,739
NBDCOD	1238	451	306	665
NBDCOD/CODcr	0.27	0.48	0.11	0.29
BOD5/CODcr	0.26	0.29	0.21	0.25

시간이 경과한 다음 양수하여 농도를 측정하는 방법이 있고, 둘째는 자연구배 시험법으로서 지하수가 자연상태에서 수두구배를 갖는 경우 지하수 흐름의 교란없이 대수층 내에 추적자를 주입하고 하나 혹은 그 이상의 지점에서 관측하는 방법이 있다. 셋째 재순환 시험법으로서 하나의 우물에서 추적자가 흐름대로 주입되고 다른 우물에서 양수가 이루어지며, 주입-양수 시스템을 통해 순환이 이루어진다. 넷째 두개 이상의 우물을 이용한 단공주입-다공관측 시험법으로서 수위 변화가 발생하는 주위 또는 양수 영향권 내의 다른 한개 우물에 추적자가 주입되며, 영향권 내의 다른 우물에서 관측한 농도 변화를 이용하여 분산도를 구하는 방법이 있다. 따라서 본 연구에서는 본 연구에서는 현장상황을 고려하여 자

연구배방식(natural gradient tracer test)으로 수행하였다.

2.2.1 추적자의 선정

이온추적자로는 염소(Cl⁻), 브롬(Br⁻), 리튬(Li⁺), 암모늄(NH₄⁺), 마그네슘(Mg²⁺), 칼륨(k⁺), 요오드(I⁻), 유기 음이온(Organic anions) 등이 있다. 리튬(Li⁺), 암모늄(NH₄⁺)은 추적자시험동안 이온교환반응에 의해 상당량이 손실되어 나타난다. 하지만 염소(Cl⁻)는 밀도에 대한 영향이 없고 점토의 분산이 있어서, 보이지 않는 곳에서 추적자로서 만족스럽게 사용될 수 있다. 그리고 브롬(Br⁻)은 염소(Cl⁻)에 비해 주입 농도를 낮게 할 수 있으므로 이온 추적자로서 흔하게 사용된다. 위에 언급한 염소(Cl⁻)와 브롬(Br⁻)보다 요오드(I⁻)는 배경 농도가 일반적

으로 0.01ppm이하로서 매우 낮으며, 분석 방법은 비교적 단순하지만 요오드는 브롬(Br)이나 염소(Cl)에 비해 상당한 양까지 흡착되며 미생물 활동에 의해서도 영향을 받는다. 뛰어난 검출 능력 때문에, 형광성 염료는 비형광성 염료보다 더 많이 사용된다. 비형광성 염료 중에는 Congo Red, Malachite Green 등이 있으며, 이들을 종종 토양 연구에 이용해 왔다. 가장 흔하게 사용되는 추적자 염료는 플루어레시언(fluorescein), 피라닌(pyranine), 리사민(lissamine) B 등이다. 형광성 염료가 뜬짐(suspended sediment load), 온도, pH, CaCO₃ 농도, 염농도 등에 의해 변할 수 있지만, 이상적인 추적자로서의 특성을 많이 가지고 있다. 또한 매우 높은 검출 능력과 신속한 야외 분석이 가능하며, 비교적 저렴한 가격으로 추적자 시험에 이용될 수 있다. 본 연구에서는 현장 침출수 성분의 화학적 특성과 경제성, 매립장 조사지역의 지질조건등을 고려하여 이온추적자의 하나인 요오드(I)와 육안으로 관찰이 가능하고 다른 형광성 염료보다 흡착성이 낮기 때문에 좀 더 정확한 농도를 측정할 수 있는 Rhodamine WT를 선정하였다.

2.2.2 주입공 및 관측공 위치 결정

현장 추적자 시험을 하기 위해 착정된 공은 총 5개공(T-1, T-2, T-3, T-4, T-5)이다. 최상부에 위치한 T-5 지하수공과 T-4 지하수공 중 우수관에 근접하여 있는 T-4 지하수공을 첫번째 주입공으로 선정하였다. 그리고, 하부의 T-2 지하수공과 T-3 지하수공 중에서는 역시 우수관에 근접하여 있는 T-2 지하수공을 두번째 주입공으로 선정하였다. 세번째로, 최상부의 T-5 지하수공에서 추적자시험을 실시하였다. 관측공으로는 B-1, B-3, B-4, B-5, B-6, BH-6, BH-7, W-2, T-3 지하수공들이 1일 1회 간격으로 모니터링 되었으며, 주 관측지점으로 우수관

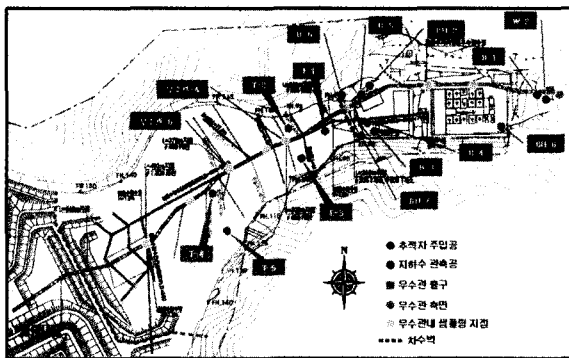


그림 3. 추적자시험 주입공과 관측공 위치도

출구와 측면 지점에서는 1시간 간격으로 모니터링 되었다. T-2 지하수공에서의 추적자 주입시에는 T-2공과 T-3공은 관측공에서 제외되었다. T-5 지하수공에서의 추적자주입시험시에는 우수관 출구와 측면 지점 그리고, 우수관 내 두개 지점(우수관-4, 우수관-6)에서 1시간 간격으로 모니터링 되었다. 아래 그림 3은 추적자시험 주입공과 관측공의 위치를 나타낸다.

2.2.3 추적자 시험방법 및 측정

현장추적자 시험시 이용된 주입공, 추적자의 종류, 주입농도, 주입량 등을 표6에 정리하였다. T-4 지하수공에서 1000ppm의 요오드 용액을 9일 사이에 4회에 걸쳐 6톤을 주입하였고, 처음 요오드 용액을 주입한 후에 현장수 1톤을 다시 주입하였는데 이는 T-4 지하수공의 저면이 자연지하수위면의 상부 2m 정도에 위치하기 때문에 불포화대에 잔류되어 있을 추적자를 포화대로 보내기 위함이다. T-4 지하수공에서 요오드 용액을 주입한 다음날 T-2 지하수공에서는 Rhodamine WT 용액 100ppm을 1톤 주입하였으며, 다음날 Rhodamine WT 용액과 요오드 용액을 각 1톤씩 동시에 주입하였다. Rhodamine WT 용액과 요오드 용액을 동시에 주입한 지 10일 후 T-5 지하수공에 1000ppm 농도의 요오드 용액을 2톤 주입하였다. 요오드 추적자용액은 우수관 출구와 측면 유공관에서 샘플링하여 현장에서 pH/ISE meter(모델 750P, ISTEK)를 이용하였고, 샘플링된 시료 100ml당 질산니켈(Ni(NO₃)₂)용액 1ml를 혼합하여 요오드이온전극을 안정화 시킨 후 측정하였다. Rhodamine WT 추적자용액은 Quartz cell에 넣어 일정 범위의 파장으로 분석하여 가장 선명하게 구분할 수 있는 즉, 최대 흡광도를 나타내는 파장(wavelength)인 555.4nm의 파장을 선택하였다. 실험에 사용한 용액의 최대농도가 100ppm이지만,

표 6. 주입공과 주입추적자 개요

주입공	주입시간	추적자	주입추적자 농도	주입량
T-4	1시간	Iodide	1000ppm	1톤
T-4	1시간	현장수		1톤
T-4	1시간	Iodide	1000ppm	1톤
T-4	1시간	Iodide	1000ppm	2톤
T-4	1시간	Iodide	1000ppm	2톤
T-2	1시간	RhodamineWT	100ppm	1톤
T-2	1시간	RhodamineWT	100ppm	1톤
T-2	1시간	Iodide	1000ppm	1톤
T-5	2시간	Iodide	1000ppm	2톤

측정농도의 정확성을 높이기 위해 증류수로 1, 5, 10, 25ppm의 Rhodamine WT 표준용액(standard solution)을 제조하여 농도에 따른 흡광도 검량선을 작성하였으며, 제조된 표준용액은 샘플 분석시 이용하였으며 이때 각각의 검량선을 이용하여 농도를 계산하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 요오드 추적자

그림 4는 추적자 주입 후 우수관 출구와 측면지점에서 조사된 시간에 따른 요오드용액의 농도그래프이다. T-4공에서 4차에 걸쳐 요오드 용액을 주입하여 실시한 추적자시험 기간동안 우수관 출구와 측면 지점에서는 주입 후 약 5~6시간 경과 후 요오드가 관측되었다. T-2

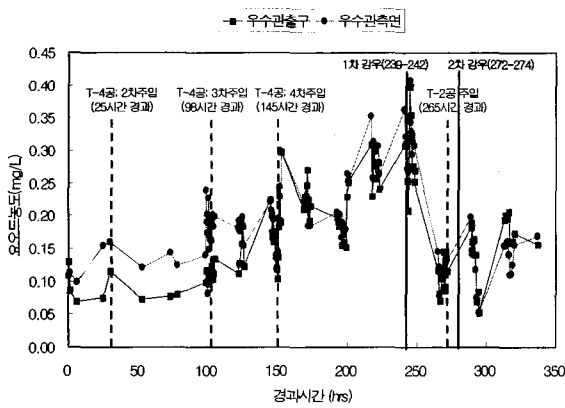


그림 4. 추적자 주입후 우수관 출구와 측면에서의 경과시간에 따른 요오드농도

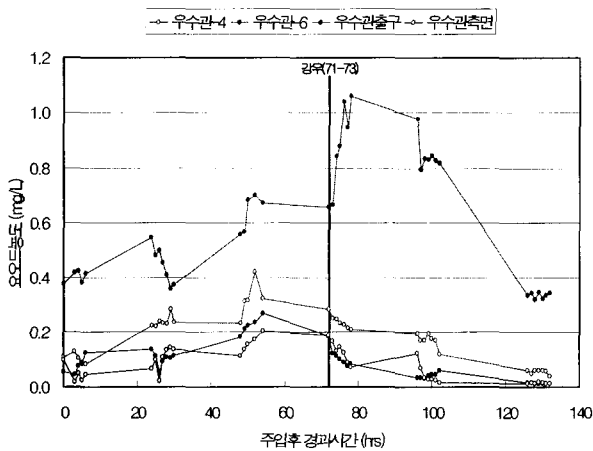


그림 5. 추적자 주입후 우수관 내부와 출구 및 측면에서의 경과시간에 따른 요오드농도(T-5에서 주입)

공에서 요오드용액을 주입한 결과 우수관 출구와 측면 지점에서 요오드농도가 약간씩 증가하였다. 그리고 그림 5에서는 우수관-4지점과 우수관 출구 및 측면에서 관측된 요오드의 변화 양상은 전반적으로 유사하지만, T-5공에 가장 근접해 있는 우수관-6지점에서 상부 유입구를 통해 떨어지는 지하수 중에 가장 높은 농도는 1.06ppm으로서 초기농도의 약 3배에 가까운 값을 나타내었다. 그림 6에서는 추적자시험기간 동안의 각 관측공별 요오드 농도변화그래프가 도시되어 있다. 관측공별 요오드농도의 변화는 우수관 출구와 측면에서 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 측면에서 관측된 농도와는 차이가 나지만, 전체적인 변화 양상이 매우 유사하기 때문에 HDPE 차수막 상부에서의 침출수 유동이 원활하게 이루어지고 있는 것을 파악할 수 있다.

표 7은 T-5공에서의 요오드 주입시험 이전의 요오드 농도와 시험기간 동안 각 관측공별로 관측된 요오드농도가 정리되어 있다. T-3공을 제외하고는 모든 관측공에서 0.07ppm이하의 값으로서 추적자가 거의 도달하지 않은 것으로 나타났다. 하지만 T-3공에서는 최고 2.09ppm의 요오드농도가 나타났는데, 이는 T-5공에서 T-3공까지 투수성이 좋고, 수리적인 연결성이 뛰어나 침출수의 유동이 원활할 뿐만 아니라 T-5공과 T-3공의 거리가 상대적으로 다른 관측공보다 가깝기 때문에 다른 관측공에서는 농도가 작게 측정될 수 있을 것으로 판단된다.

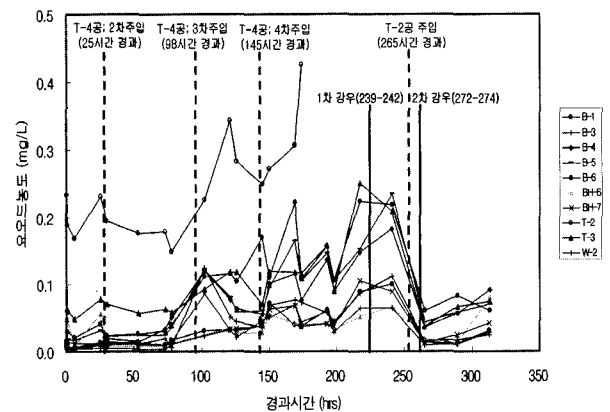


그림 6. 추적자 주입후 관측공별 경과시간에 따른 요오드농도

표 7. T-5공에서의 추적자 주입후 지하수 관측공별 요오드용액 농도

추적자	B-1	B-3	B-4	B-5	B-6	BH-2	BH-6	BH-7	T-3	W-2
원 수	0.0226	0.0134	0.0117	0.0072	0.0112	0.0020	0.0028	0.0016	0.2610	0.0682
요오드	0.0134	0.0035	0.0042	0.0034	0.0038	0.0027	0.0018	0.0008	0.7520	0.0097
	0.0032	0.0009	0.0009	0.0006	0.0013	0.0003	0.0003	0.0001	1.3700	0.0001
	0.0742	0.0009	0.0011	0.0007	0.0023	0.0004	0.0015	0.0004	1.8220	0.0002
	0.0050	0.0013	0.0012	0.0003	0.0023	0.0004	0.0009	0.0004	2.0900	0.0002
	0.0025	0.0006	0.0007	0.0003	0.0018	0.0002	0.0008	0.0002	1.2200	0.0007

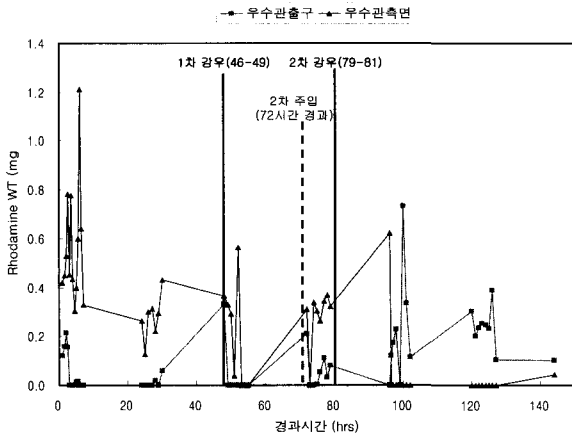


그림 7. 추적자 주입후 우수관 출구와 측면에서의 경과 시간에 따른 Rhodamine WT농도(T-2에서 주입)

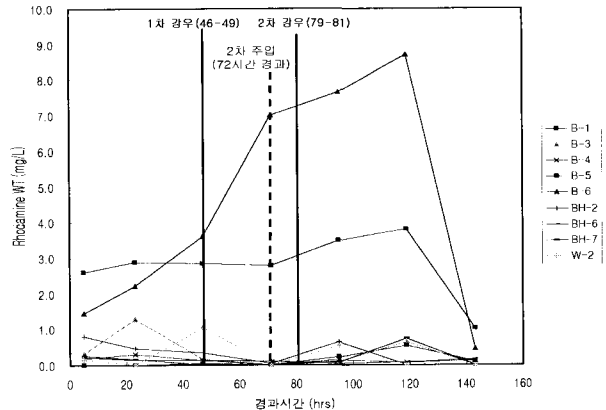


그림 8. 추적자 주입후 관측공별 경과시간에 따른 Rhodamine WT 농도(T-2에서 주입)

3.2 Rhodamine WT 추적자

그림 7은 T-2공에서의 Rhodamine WT 용액을 주입한 후 우수관 출구와 측면 지점에서 측정된 Rhodamine WT의 농도를 나타낸 것이다. Rhodamine WT 최초 주입 후 5시간 후의 침출수농도는 Rhodamine WT 주입 전 침출수 초기농도의 약 3배에 이른다. 우수관 출구에서는 주입후 약 2시간 후에 Rhodamine WT 용액의 농도가 0.21ppm으로 주입전 농도에 비하여 2배 정도 증가하였으나, 이후 농도가 감소하다가 1차 강우 후에 0.33ppm으로 농도가 급격히 증가하였다. 이후 감소하다가 2차 주입 후와 2차 강우후에 0.73ppm까지 증가하였다.

그림 8은 T-2공에서 Rhodamine WT를 이용한 추적자 시험 기간동안 각 관측공별로 측정된 추적자농도 변화 그래프가 도시되어 있다. 주입공인 T-2공에서 주흐름 방향에 위치해 있는 B-5공과 B-6공에서 상대적으로 높은 농도의 Rhodamine WT가 관측되었다. 하다가 1차 강우 후에 0.33ppm으로 농도가 급격히 증가하였다. 이후 감소하다가 2차 주입후와 2차 강우후에 0.73ppm까지 증가하였다.

B-5공에서는 주입후 5시간 이후부터 완만하게 계속 증가함을 보이고 있으며, B-6공의 초기도달농도는 B-5공보다 낮았지만 40시간 이후부터는 4.0ppm 이상의 농도로서 계속해서 증가하다가 120시간 이후부터는 급격하게 감소하였다. 추적자 시험기간동안 나머지 관측공들에서는 낮은 추적자 농도를 보이고 있으나, B-3공과 B-4공이 약간 높은 값을 나타내었다.

4. 결론

- (1) T-4, T-5공에서의 요오드 추적자 시험결과 HDPE 차수막 하부로 침출수가 유출되어 우수관 출구와 측면으로 유동하였으며, 침출수 유출은 우수관 출구보다는 측면에서 크게 나타나는 것으로 조사되었다.
- (2) T-2공에서의 Rhodamine WT 추적자시험결과 비교적 빠른 시간내에 우수관 출구와 그 측면에 설치된 배수관을 통하여 흐르는 것으로 보아, 침출수가 손상된 차수재(HDPE)의 차수막 하부로 유출되는 것으로 추정된다.

(3) 폐기물매립장에서 침출수의 누출여부를 진단하는 방법으로 추적자시험이 유용하게 사용될 수 있으며 추적자로는 요오드(I)와 Rhodamine WT가 적합한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 권봉기, 류성호, 이동우 (2000), “추적자 시험에 의한 정수장침전지 특성 연구”, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회, pp.103-106.

2. 김정현 (2000), “정수장 수리특성평가를 위한 추적자시험의 고찰”, *Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Treatment*, Vol.8, No.1, pp.19-28.
3. 농업기반공사 (2002), “육군 『구2정비창』 오염부지 정화사업 공법실증시험”, pp.833.
4. 정형재, 김은진, 이강근, 배광욱 (1996), “추적자 시험의 현장적용 연구”, 대한지하수환경학회 정기총회 및 학술발표회, pp.74-77.
5. John M. Reynolds, 번역 : 김지수, 송영수, 윤왕중, 조인기, 김학수 (2003) “물리탐사의 활용”, pp.415-482.

(접수일자 2004. 2. 11, 심사완료일 2004. 5. 17)