

## 사용종료매립지 정비를 위한 흙-시멘트 연직차수벽의 차수성능 평가

이동건<sup>1</sup> · 안조환<sup>1</sup> · 권기욱<sup>1</sup> · 구자공<sup>2</sup> · 배우근<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 건설환경공학과, <sup>2</sup>중원대학교 에너지자원공학부

## Evaluation of Leachate Containment by Soil-cement Walls for a Closed Landfill

Donggeon Lee<sup>1</sup> · Johwan Ahn<sup>1</sup> · Kiwook Kwon<sup>1</sup> · Ja-Kong Koo<sup>2</sup> · Wookeun Bae<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

<sup>2</sup>School of Energy & Resources Engineering, Jungwon University

### ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the performance of soil-cement walls (SCWs) to control leachate from a leaking landfill site. Tracer tests revealed that the SCW was effective to control groundwater seepage. Approximately two-months of curing period appeared to be sufficient to ensure thorough containment of landfill leachate, although a three-week period was not enough. The water quality of the monitoring wells after construction of the SCWs met the groundwater quality standard of the Korean Waste Management Act, except for bacteria and coliform groups. Also an analysis of a spring water around the landfill showed that the concentrations of ammonia, inorganic nitrogen and soluble manganese which had been common contaminants in the spring water decreased dramatically after constructing the walls. Therefore, the results suggested that a SCW can be an attractive method to control leachate from a leaking landfill site.

**Key words :** Closed landfill site, Groundwater advection, Leachate, Soil-cement wall (SCW), Tracer analysis

### 1. 서 론

주변지역의 상황을 고려한 사용 종료된 폐기물 매립지의 새로운 활용방안에 관심이 집중되고 있으나 관련법규와 맞물려 토지활용에 많은 어려움이 있다. 현행 사용이 종료된 매립장은 폐기물관리법 제54조 규정에 의해 사용이 종료된 폐기물매립장이 침출수 누출, 제방유실 등으로 인해 주변 환경에 심각한 위해를 가져올 우려가 없는 시설은 폐기물 매립지의 토지활용이 가능하다. 그러나 기존 사용이 종료된 매립지의 토지활용을 위해서는 차수시트의 안정성, 제방 및 기초지반 등에 대해 면밀한 조사·분석을 거쳐 문제점이 발생하지 않도록 필요한 조치 이행이 필요하며, 매립부지의 가치 및 이용도를 높이기 위해서는 적절한 정비도 필요하다. 사용이 종료된 매립지의 정비방안으로는 이적처리, 선별이적처리, 현지안정화 방법 등이 있으며, 국내에서 선별이적처리가 적용된 지구는 광주시 일곡 택지개발사업지구, 전남 해남군 비위생매립장, 충남

부여군 비위생매립장, 경남 진주시 초전쓰레기매립장 등이 있다(광주시, 2001). 자체안정화가 적용된 지구는 서울시 난지도매립장, 전북 전주시 서곡택지개발지구, 전남 완도군 죽청매립장 등이 있으며, 악취·조기안정화 후 선별이적처리가 적용된 지구는 충북 옥천군 비위생매립장, 인천시 경서동 매립장, 부산시 화명동 매립장 등이 있다(한강수계관리위원회, 2001). 한편 침출수 차단방법으로는 grout curtain, slurry wall, sheet pile, permeable reactive barrier 및 grouting 등이 있다(Tchobanoglous et al., 1993), 국내에서는 grouting 공법의 일종인 흙-시멘트연직차수벽(Soil-cement wall, SCW)이 널리 사용되고 있는데 공사기간이 짧고 벽체 강성 확보가 용이하며, 토류벽으로 사용실적이 많아 높은 수준의 기술축적이 이루어진 공법이다. 이에 본 연구에서는 비위생매립지 구간과 위생매립지 구간이 혼재해 있는 사용종료매립장의 토지이용을 위해 비위생매립지 구간의 폐기물 이적처리에 필요한 신규매립지를 위생매립지 구간의 상부에 조성하기 위한 기존 위생

\*Corresponding author : wkbae@hanyang.ac.kr

원고접수일 : 2010. 11. 4 심사일 : 2010. 11. 18 게재승인일 : 2011. 2. 24

질의 및 토의 : 2011. 4. 30 까지

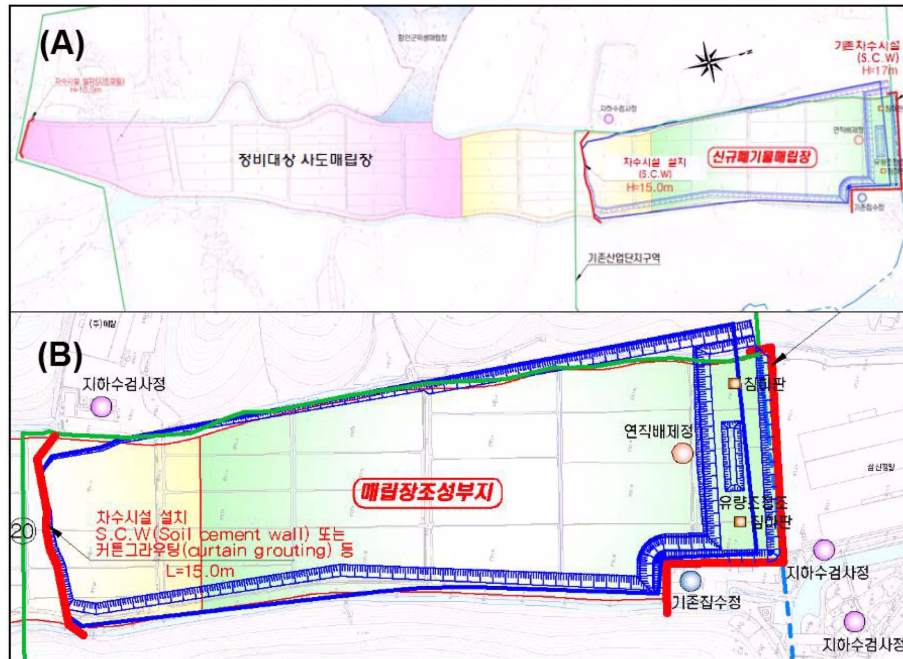


Fig. 1. Sado closed landfill site: (A) unsanitary (left) and sanitary (right) landfills (B) plan for the construction of a new sanitary landfill.

매립지 구간의 주변을 SCW로 오염물질 차단능력을 보장하고 그 안전성의 평가를 지하수 유동해석과 지하수 및 침출수의 수질분석을 통해 수행 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 대상 매립지

경상남도 함안군에 위치한 사용 종료된 사도매립장으로 1991년 1월부터 1995년 7월까지 약 4년 7개월간 총 4단계에 걸쳐 생활 쓰레기가 매립되었다(Fig. 1). 매립장의 총 매립면적은 225,400 m<sup>2</sup>으로 최종복토를 포함해 평균 매립고는 6m이며, 매립면적 86,504 m<sup>2</sup>의 3단계 및 4단계 구간(Fig. 1(A)의 오른쪽 부분)에만 1.5 mm의 고밀도 폴리에틸렌수지가 침출수 차수용으로 포설되었다. 한편 1단계 및 2단계에서 조성된 비위생매립지 구간의 매립 폐기물 이적처리를 위해 신규매립지를 조성하되 이를 3단계 및 4단계 위생매립지 구간의 상부에 조성토록 계획하였다. 예정부지 정비방안으로 지하수 유입을 차단하기 위해 상류부에 위치한 신규매립장 경계부에서 7.5 m 북쪽으로 이동한 지점(Fig. 1(B)의 오른쪽 끝)과 기존매립장 내부 침출수가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위해 하류부에 설치된 시트파일 부근(Fig. 1(B)의 왼쪽 끝)에 암반까지 차수 및 토류벽 기능을 갖는 SCW의 설치가 계획되었다.

### 2.2. 연직차수시설(SCW)의 설치

연직차수시설은 SCW 조성 벽체주변의 지반투수성, 지하수 등의 상황을 고려하여 SIM고화제 15%와 물 15% 그리고 현지 실트질점토 토사 70%를 혼합하여 배합한 후, 총 902톤을 투입하여 시공하였다. 상류부 지점에는 외부 지하수가 기존매립장으로 유입되는 것을 차단하기 위해 암반까지 차수 및 토류벽 기능을 갖는 SCW를 길이 182.0 m, 높이 11.5 m, 두께 0.55 m로 설치하였으며, 하류부 지점에는 기존 매립장 내부 침출수가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위해 시트파일 부근에 암반까지 차수기능을 갖는 SCW를 길이 238.0 m, 높이 15.7 m, 두께 0.55 m로 설치하였다.

### 2.3. 지하수 유동해석

지하수 유동해석에서는 Visual Modflow Pro(ver. 3.0)을 이용하여 폐기물매립시설 일대 지하 굴착공사로 인한 주변 지하수 유동계에 미칠 영향을 분석하고 굴착에 따른 지하수 발생량을 예측·분석하였다. 본 연구의 지하수 모델링은 지하수 흐름 방향 및 굴착에 따른 유량 계산에 초점을 두어 간략한 개념모델로 접근하였다(이동률, 윤용남, 1996). 모의영역은 사용종료매립지를 중심으로 동쪽으로 하천이 위치하도록 하여 2,620 m × 3,090 m로 구성하였으며, 모의영역의 격자망은 10 m × 10 m, 매립폐기물 굴

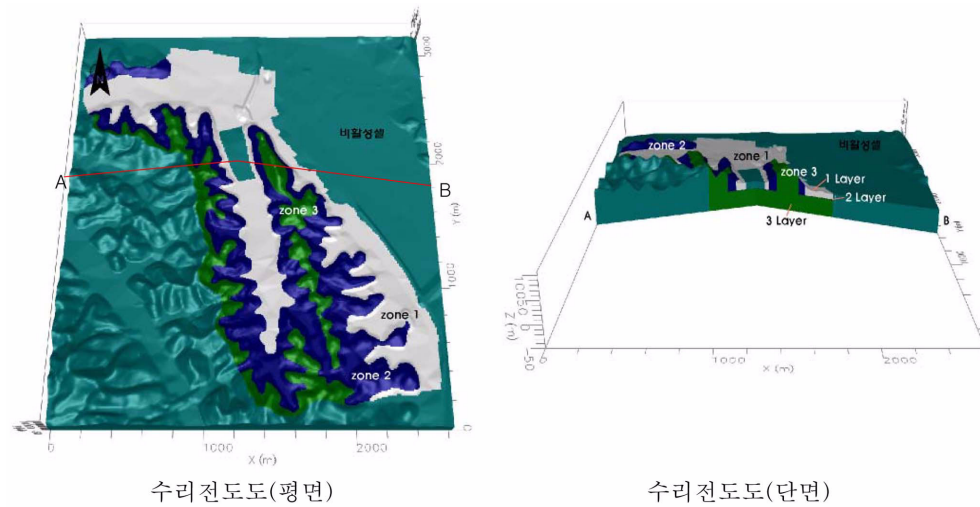


Fig. 2. Hydraulic conductivity zonation.

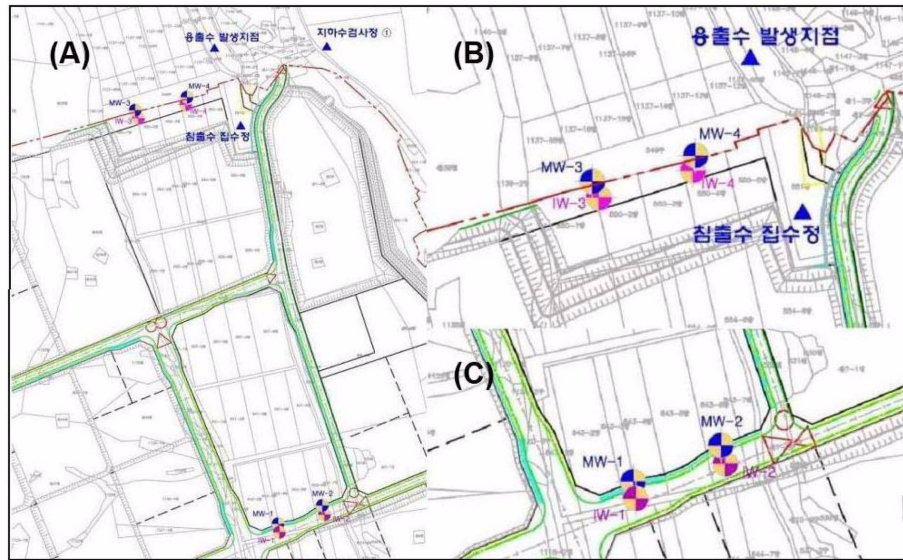
Table 1. Hydraulic conductivity and specific storage

Layers and zones			Hydraulic conductivity (cm/sec)		Specific storage ( $m^{-1}$ )
			$K_x = K_y$	$K_z$	
Layer 1	Zone 1	Landfill covering soil and solid waste	$2.41 \times 10^{-3}$	$2.41 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
	Zone 2	Weathering soil	$6.70 \times 10^{-4}$	$6.70 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
	Zone 3	Soft rock	$8.90 \times 10^{-5}$	$8.90 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
Layer 2	Zone 2	Subsoil	$6.70 \times 10^{-4}$	$6.70 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
	Zone 3	Soft rock and landfill liner	$8.90 \times 10^{-5}$	$8.90 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
Layer 3	Zone 3	Soft rock	$8.90 \times 10^{-5}$	$8.90 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$

착공사로 인해 굴착되는 부지 주변 지역은  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 로 더욱 세분하여 입력하였다. 유역 내 북쪽과 남쪽의 산 능선을 지하수 분수령으로 고려하여 불투수 경계(no flow boundary)로 두었으며, 모의영역 동쪽으로 하천이 지나므로 이를 동쪽의 모델의 경계조건으로 설정하였다. 모델의 수직 레이어 구성은 주변지역의 지반조사 결과에 따른 수직 종단면도를 참조하였으며(한국농어촌공사, 2009), Fig. 2에 나타낸 것과 같이 모델 구성에서 대수층 설정 시 3개 층으로 나누었다. 굴착이 이루어지는 층은 1층으로 지표면으로부터 상부 복토층과 폐기물층을 포함하도록 구성하였다. 2층은 치수시트와 바닥 토사층으로 설정하였으며, 3층은 연암층으로 구성하였다. 한편, 수리상수 추정 및 추적자 시험을 위해 설치한 신규 시추공의 지하수위는 지표 하  $1.5 \sim 5.4\text{ m}$ 에 걸쳐 위치하였으며, Table 1에 나타낸 것과 같이 수리전도도 및 비저류계수와 공극율 등은 문헌(Anderson and Woessner, 1992; Domenico and Schwartz, 1990) 및 현장수압시험 결과를 참고하여 지하수 배출량 및 물수지 분석 등의 모형보정을 실시하였다(문상기외, 2002).

#### 2.4. 추적자 조사

연직치수시설의 치수능력을 검토하기 위해 지하수 흐름 하류부에서 추적자 검출여부를 모니터링 하였다. 본 추적자 조사에서는 염료 추적자인 로다민(Rhodamine WT)과 우라닌(Uranine)을 사용하였다. 로다민은 핑크색을 띄는 형광물질로서 최소 검출능력, 광화학적, 미생물학적 분해 비율, 흡착성 등에서 가장 유용한 추적자이며, 추적자 시험에 사용되는 염료 중 가장 보존성이 높다. 우라닌은 녹색 형광물질로 광분해는 비교적 큰 편이나 지하수 추적자 시험에는 거의 문제가 되지 않고 염료 중 생물학적으로 안전한 물질이다(Sutton et al., 2001). 채취한 시료는 추적자 분석 장비인 10-AU-005-CE Field Fluorometer (Turner Designs, USA)를 이용하여 측정하였다. Fig. 3에 나타낸 지점에 추적자 시험을 위해 주입정 및 관측정을 매립시설 시점부와 종점부 4곳에 설치하였으며, 설치시점은 SCW로 시설을 보강한 직후로 하였다. 시점부 연직차수벽 바깥쪽의 IW-1, IW-2을 상부 주입정으로 선정하였으며, 연직차수벽 안쪽의 MW-1, MW-2를 관측정으로 선



**Fig. 3.** Tracer analysis: (A) total well locations, and (B) wells in the downstream and (C) wells in the upstream of the landfill site (IW: injection well and MW: monitoring well).

정하였다. 또한 중점부의 연직차수벽 안쪽 IW-3, IW-4를 주입정으로 선정하였으며, 연직차수벽 바깥쪽 MW-3, MW-4를 관측정으로 선정하였다. 주입정 IW-1과 2의 굴착심도, 굴착직경, 스크린과 케이싱은 각각 15 m, 200 mm, 10.5 m와 4.5 m이고 IW-3과 4는 각각 7 m, 200 mm, 4.5 m와 2.5 m이었다. 또한 관측정 MW-1과 2는 3 m, 100 mm, 3 m(케이싱은 무설치) 이고 MW-3는 10 m, 100 mm, 7.5 m, 2.5 m, MW-4는 16 m, 200 mm, 12 m, 4 m이었다. IW-3과 4 그리고 MW-1과 2의 굴착심도는 바다차수벽의 손상방지를 위하여 쓰레기 매립부까지만 굴착하였다.

## 2.5. 수질조사

매립장 주변 지하수의 오염여부를 검토하기 위해 3개의 지하수 검사정(MSGW-1~3)에 대해 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 별표4에 따른 20개 지하수 수질조사 항목(pH, 대장균군수,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Cl}^-$ , 일반세균, Cd, As, CN, Hg, 유기인, 페놀, Pb,  $\text{Cr}^{6+}$ , TCE, PCE, 1,1,1-TCE, benzene, toluene, ethyl benzene, xylene)과 4개의 추가 항목(BOD,  $\text{COD}_{\text{cr}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N)을 분석하였으며, 연직차수시설의 침출수 차단능력을 검증하기 위해 2곳의 침출수 수질조사지점(MSLW-1~2)에서 13개 침출수 수질조사 항목(SS, pH, phenol, s-Fe, Zn, 유기인, s-Mn, F, 색도, 대장균군수,  $\text{NH}_3$ -N, 무기질소, T-P)을 분석하였다(환경부(a), (b), 2010). 지하수 및 침출수의 수질조사지점을 Fig. 4에 나타내었다.



**Fig. 4.** Sampling locations for groundwater and landfill leachate analyses.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1. 지하수의 유동

본 연구의 대상 매립지인 사동매립지 주변의 지하수 유동을 분석하기 위해 지하수 정류 상태를 모의한 결과, 모의영역에서의 구체적인 지하수 흐름 방향과 지하수위 분포는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 AB 단면에서는 동측으로의 지하수 흐름이 관찰되었고 CD 단면에서는 북측으로의 지하수 흐름이 관찰되었다. 전반적인 지하수 흐름은 크게 하천 및 지류로 유출되는 형태를 보여주었다. 산 능선을 이루는 산지는 지형의 경사를 반영하여 등수위선이 비교적 조밀하게 나타났으며, 평지의 충적층에 다다를수록 지형의 특성을 그대로 반영하여 완만한 수두구배를 보였다.



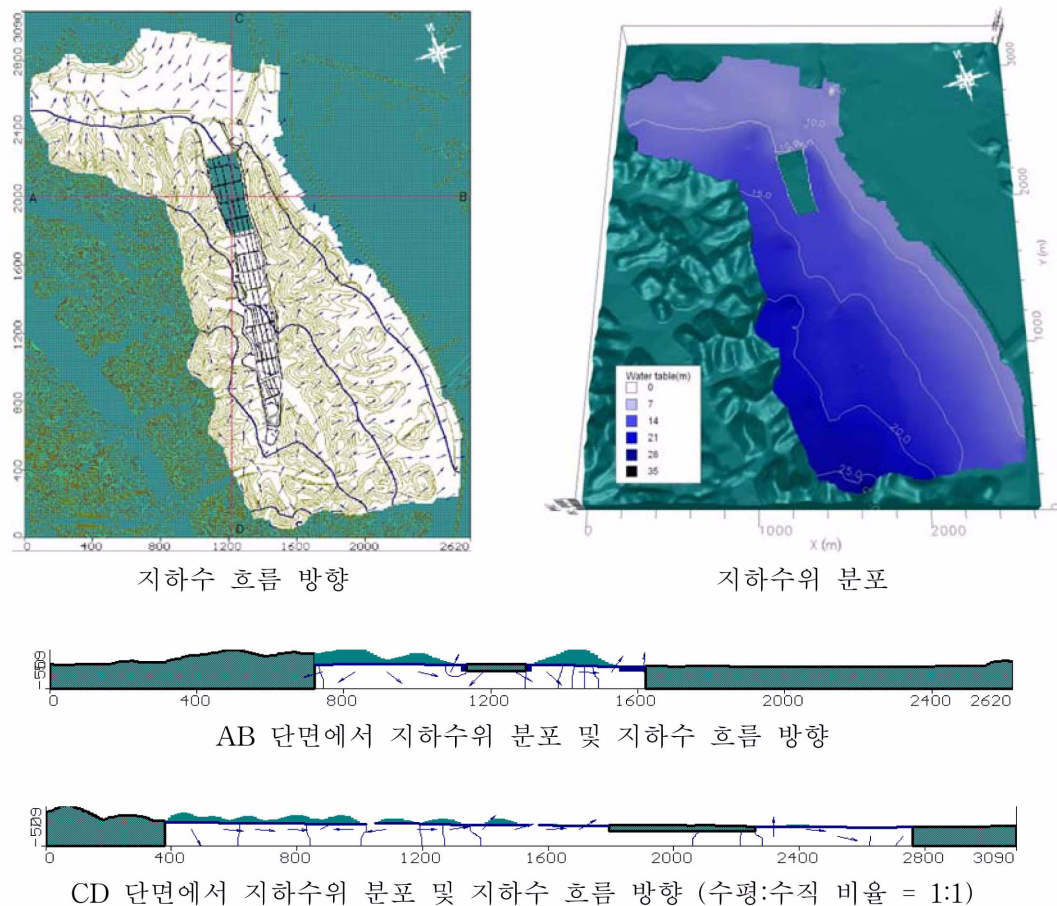


Fig. 5. Distribution of ground water level and direction of ground water flow at a steady state.

### 3.2. 추적자 조사

#### 3.2.1. 1차 추적자 조사

본 연구에서는 신규 위생매립지의 예정부지인 기존 위생매립지에서 발생하는 침출수의 누출로 인한 오염물질 확산을 방지하기 위해 설치한 연직차수시설의 차수능력을 평가하기 위해 추적자 시험을 실시하였다. 1차 추적자 시험은 연직차수시설 설치 직후인 콘크리트 양생 중(20일 경과 후)에 실시하였으며, 주입정 4곳과 관측정 4곳, 주변 관정 및 용출수 발생지점(MSLW-2)에서 시료를 채수하였다. 추적물질 주입 전 로다민, 우라늄 및 탁도에 대한 배경농도를 조사하였으며, 추적물질 주입 후 추적자 검출여부를 확인하기 위하여 39일 동안 10회의 모니터링이 이루어졌다. 시점부의 추적자 시험은 연직차수벽 외부에서 내부로 유입되는 지하수의 차수효과를 파악하기 위해 우라늄 5.662 g 용액을 주입하였으며, 주입정(IW-1, IW-2)과 관측정(MW-1, MW-2) 사이의 거리는 9 m 정도 이격되어 있다. 한편 종점부의 추적자 시험은 연직차수벽 내부에서

외부로 유출되는 지하수의 흐름을 파악하기 위해 로다민 용액(20%)을 주입하였으며, 주입정(IW-3, IW-4)과 관측정(MW-3, MW-4)사이의 거리는 각각 7.2 m, 5.4 m 정도 이격되어 있다. 우라늄을 추적자로 사용한 1차 추적자 시험결과는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 시점부의 주입정 IW-1과 IW-2의 추적자 농도는 급격히 감소하여 5일 이내에 검출되지 않았고 종점부의 관측정 MW-1과 MW-2에서도 배경농도 보다 낮은 농도의 추적자가 검출되어 외부에서 위생매립지 구간 내로 유입되는 지하수는 없는 것으로 확인되었다.

그러나 Fig. 7에 나타난 것과 같이 로다민을 사용한 시점부의 주입정 IW-3과 IW-4는 10일 이내에 추적자 농도가 검출하기 어려운 농도까지 감소하였고 종점부의 관측정 MW-3의 추적자 농도도 배경농도와 같은 농도를 보였다. 그러나 관측정 MW-4의 경우 추적자 주입 후 농도가 급격히 증가하여 배경농도의 최대 약 3.3배 까지 증가한 것을 나타나 관측정 MW-4 주변의 차수시설 손상으로 인

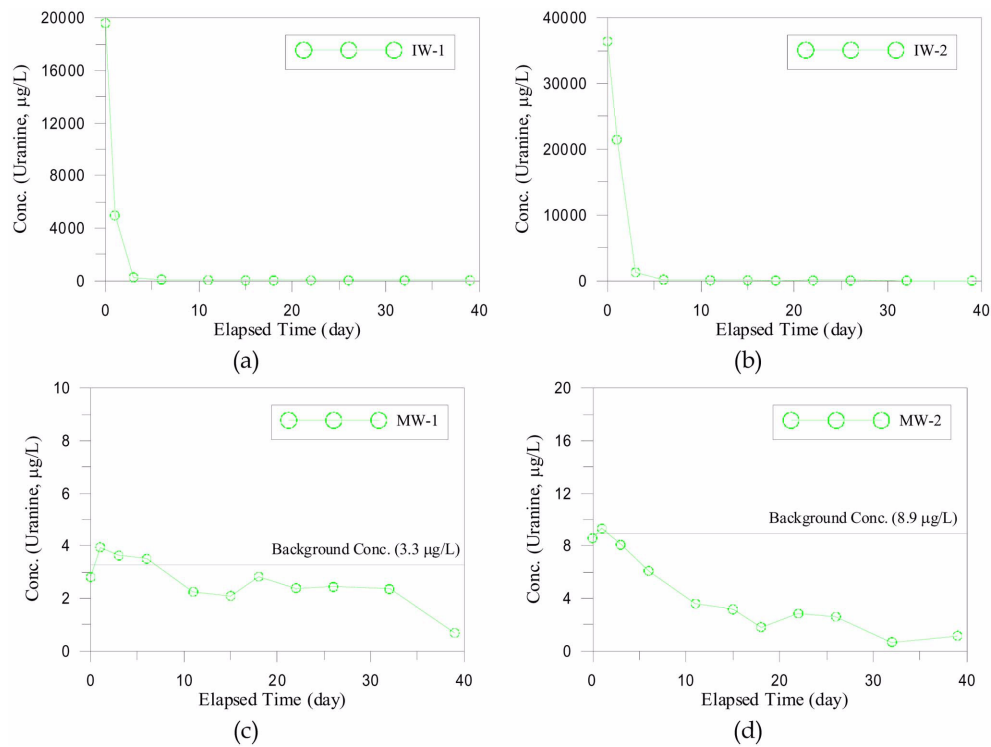


Fig. 6. Variation of uranine concentration in samples from (a) IW-1, (b) IW-2, (c) MW-1 and (d) MW-2 (First tracer study).

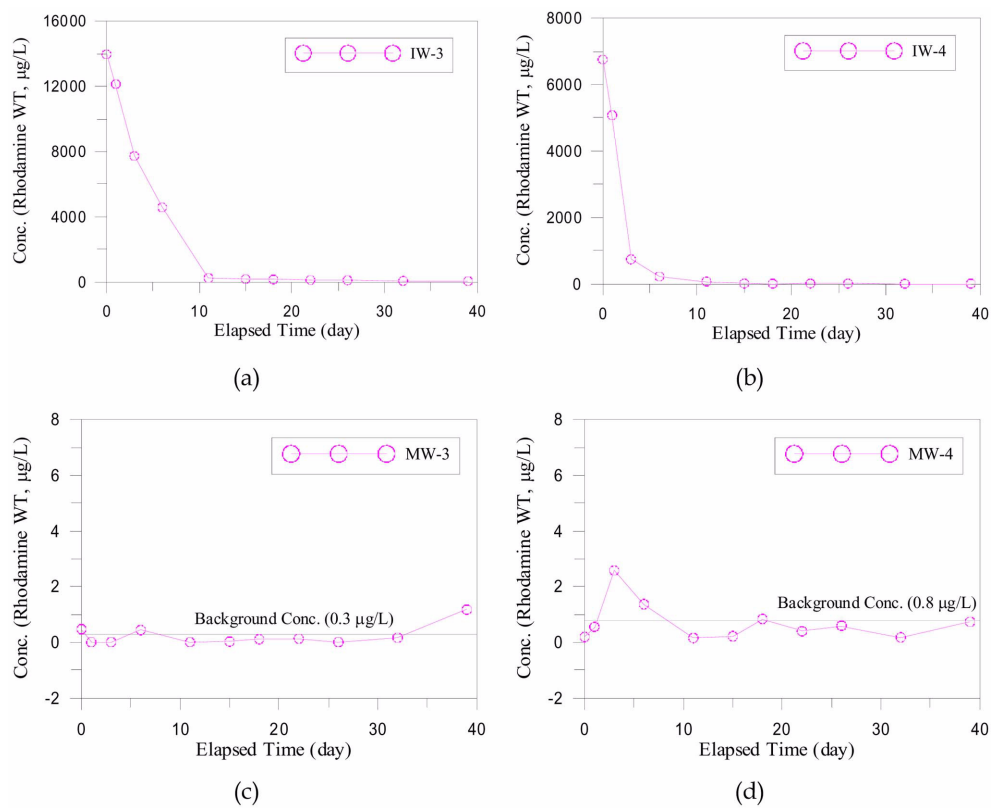


Fig. 7. Variation of rhodamine WT concentration in samples from (a) IW-3, (b) IW-4, (c) MW-3 and (d) MW-4 (First tracer study).

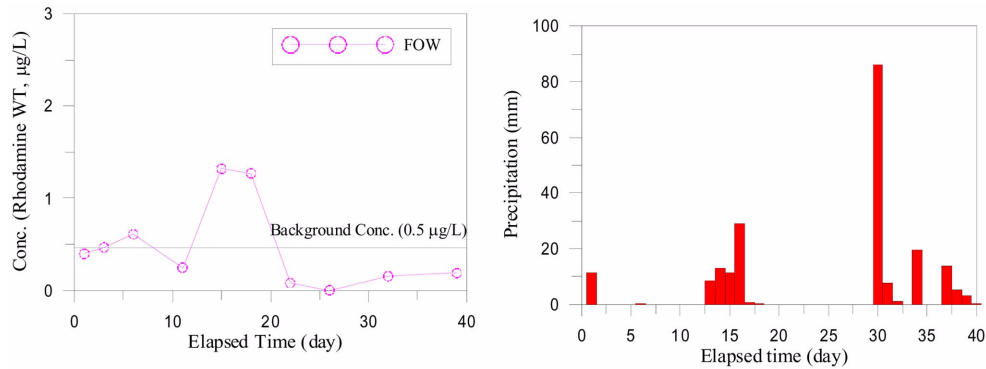


Fig. 8. Variation of rhodamine WT concentration in spring water and daily precipitation.

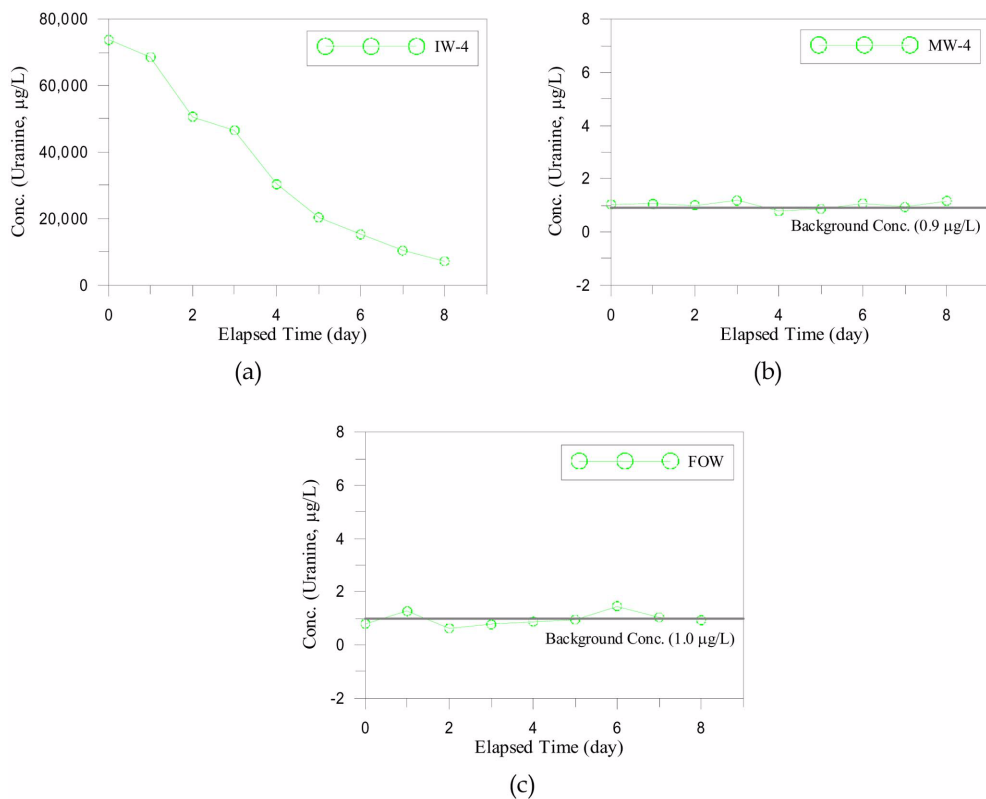


Fig. 9. Variation of uranine concentration in samples from (a) IW-4, (b) MW-4 and in (c) spring water (Second tracer study).

해 매립지 내 침출수의 외부 누출이 확인되었다.

또한 Fig. 8에 나타난 것과 같이 실험기간 중 약 15 mm에서 30 mm의 강우가 있었던 15일 전후에 용출수 발생지점의 로다민 농도가 배경농도의 약 2.5배 까지 증가한 것으로 나타나 관측정 MW-4 주변 치수시설의 손상이 넓은 영역에 걸쳐 영향을 미치고 있는 것이 확인되었다.

### 3.2.2. 2차 추적자 조사

1차 추적자 시험 후, 약 1개월의 시차를 두고 2차 추적

자 시험을 수행하였다. 2차 추적자 시험은 연직치수시설의 양생과정이 끝나 치수시설의 역할이 기대되는 시점(53일 경과 후)에 이루어졌다. 1차 추적자 시험에서 로다민이 검출된 관측정 MW-4 지점과 가장 가까운 주입정인 IW-4에 추적자를 주입하였으며, 추적자는 1차 추적자 시험과 구분될 수 있도록 우라닌을 사용하였다. 주입정 IW-4에 추적물질을 주입한 후, 추적자 검출여부를 확인하기 위하여 1일 1회씩 8일간 모니터링을 실시하였다. 2차 추적자의 농도변화를 Fig. 9에 나타내었다. 주입정 IW-4의

우라닌 농도는 초기 약 73,700  $\mu\text{g/L}$ 에서 7,110  $\mu\text{g/L}$ 까지 약 10% 수준으로 감소하는데 8일이 소요되었으며, 관측정의 MW-4 및 용출수 발생지점에서는 주입 후 8일이 경과할 때까지 우라닌의 농도가 배경농도와 유사해 추적자의 검출은 없었다. 주입정의 농도 감소속도가 약 1/2 수준으로 느려진 것으로 보아(1차 시험에서는 90% 감소에 약 4일 소요) 주입정 주변의 지하수 흐름속도가 줄어든 것으로 생각된다. 1차 추적자 시험결과와 달리 2차 추적자 시험에서 추적자가 관측정 및 용출수에서 검출되지 않은 것은 흙-시멘트 연직차수시설이 양생에 의해 차수능력이 향상되었기 때문으로 판단된다.

### 3.3. 수질분석

연직차수벽 시공 2개월 후 매립장 주변지역의 지하수 수질조사 지점에서 채취한 지하수에 대해 생활용수 수질기준항목을 분석하였다. 분석결과, 지하수 수질조사 지점인 MSGW-1에서 일반세균과 대장균군수 항목이 그리고 MSGW-2와 MSGW-3에서 일반세균 항목이 생활용수 수질기준항목을 초과하였고 기타 용해성 항목들은 기준치 이내인 것으로 나타났다. 이는 장기간에 걸쳐 지속되었던 침출수 누출영향으로 성장한 일반세균이나 대장균이 상당기간 생존하면서 토양공극 내에 다른 용해성 수질항목에 비해 감소속도가 느렸기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 비위생매립지 구간의 굴착·이적이 이루어지고 양질토의 매립·성토가 완료될 경우 서서히 감소될 것으로 예상된다. 한편 일반세균과 대장균군 항목을 제외한 나머지 모든 용해성 오염물질항목들이 지하수 수질기준 이내로 나타나 상류부 및 하류부에 설치한 연직차수시설이 침출수의 외부 누출을 차단할 뿐 아니라 지하수의 흐름에 의한 용해성 물질의 회석, 이동, 확산이 활발히 일어나고 있는 것으로 판단된다.

한편 폐기물관리법 시행규칙 별표11의 규정에 의한 항목 중 침출수의 누출여부를 확인하기 위해 침출수 처리장의 원수(MSLW-1)와 용출수 발생지점(MSLW-2)에 대해 침출수 항목을 분석하였다. MSLW-1 지점의 침출수 수질은 연직차수시설의 설치여부와 관계없이 큰 변화가 없었고 s-Fe,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 과 무기질소의 농도도 배출허용기준을 크게 초과하였다. 그러나 MSLW-2 지점은 매립장 하류부 집수정 인근 용출수로 연직차수시설 설치여부에 따라 커다란 수질변화를 보였다. Fig. 10에 나타난 것과 같이 연직차수시설 설치 전(2009년 11월까지)에는 s-Mn,  $\text{NH}_3\text{-N}$ 과 무기질소의 농도가 배출허용기준을 크게 초과하였지만 연직차수시설 설치 후에는 배출허용기준 이하로 크게 개

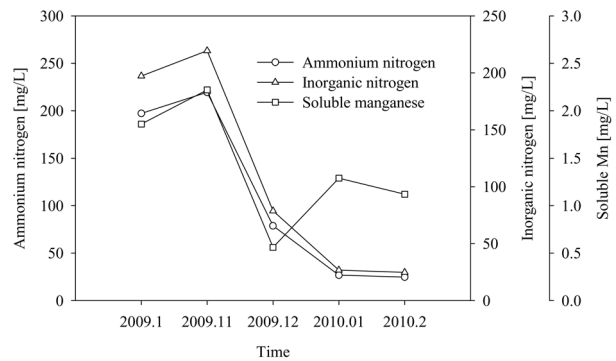


Fig. 10. Variation of ammonium nitrogen, nitrate and soluble manganese concentrations in spring water.

선되어 위생매립지 하류부에 설치한 연직차수시설의 침출수 차수효과를 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구는 사용 종료매립지의 토지이용을 위해 매립지 주변에 흙-시멘트계 연직차수벽을 설치하고 이의 침출수 차수기능을 추적자 조사 및 수질조사를 통해 평가하였다. 총 2회의 추적자 시험 중 연직차수벽 양생 도중(시공 후 20일 경과)에 실시한 1차 조사결과, 시점부의 관측정에서는 추적자가 검출되지 않았으나 중점부의 관측정과 용출수 발생지점에서 고농도의 추적자가 검출되었다. 그러나 연직차수벽이 충분히 양생된 후(시공 후 53일 경과)에 실시된 2차 추적자 시험에서는 관측정 및 용출수에서의 농도와 배경농도가 비슷해져 연직차수벽에 의한 매립지 차수기능의 회복이 확인되었다. 한편 매립장 주변에 설치된 지하수 검사정의 수질은 모든 용해성 물질항목이 지하수 수질기준을 만족시켜 침출수 누출로 인한 지하수 오염이 연직차수시설의 설치에 의해 크게 개선된 것으로 나타났으나 일반세균 및 대장균은 수질기준을 초과하였다. 이로 부터 매립지 주변 지하수 수질이 지하수 흐름에 의한 회석 및 확산작용으로 자연 저감되고 있는 것으로 판단된다. 용출수의 수질조사결과 또한 연직차수시설 설치 전에는 침출수배출허용기준을 초과하였던 항목들이 시설 설치 후에 배출허용기준 이내인 것으로 확인되었다. 이 결과들은 적절한 정비방안의 강구와 실행이 사용종료매립지의 토지활용을 가능케 할 수 있음을 보여주는 것이다.



## 참 고 문 헌

- 광주시, 2001, 광주시 2단계 비위생매립장 정비사업 타당성 조사.
- 이동률, 윤용남, 1996, 우리나라의 지하수 함양량 추정과 분석, 대한토목학회논문집, **16**(II-4).
- 문상기, 우남칠, 이광식, 2002, 지하수위 유형과 유역별 지하수 함양률의 관련성 연구: 국가 지하수 관측망 자료의 분석, 한국지하수토양환경학회지, **7**(3).
- 한강수계관리위원회, 2001, 사용종료매립장 개선방안 조사연.
- 한국농어촌공사, 2009, OO사용종료매립장 폐기물처리 및 토지 활용방안 타당성 연구보고서.
- 환경부(a), 2010, 폐기물관리법, 시행규칙 별표11.
- 환경부(b), 2010, 지하수법, 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 별표4.
- Anderson, M.P. and Woessner, W.W., 1992, Applied groundwater modeling, Academic Press, San Diego.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1990, Physical and chemical hydrogeology. John Wiley & Sons, New York
- Sutton, D.J., Kabala, Z.J., Francisco, A., and Vasudevan, D., 2001, Limitations and potential of commercially available rhodamine WT as a groundwater tracer, *Water Resources Research*, **37**, 1641-1656.