

폐기물 매립지 침출수가 주변 지하 가스 저장 시설에 미치는 영향에 대한 수리공학적 연구

임종세*, 노정용, 강주명
서울대학교 공학연구소*, 서울대학교 지구환경시스템공학부

Hydraulic Evaluation of Underground LPG Storage Caverns Affected by Seepage Water from Waste Disposal Site

Jong-Se Lim*, Jeongyong Roh, and Joe M. Kang
Research Institute of Engineering Science*, Seoul National Univ.,
Division of Civil, Urban, & Geosystems Eng., Seoul National Univ.

1. 서론

울산시 남구 용잠동 일대에 울산환경개발(주)가 산업 폐기물 매립장을 건설하였고 이로부터 수평거리 약 300-400m 떨어진 곳에 (주)SK가스가 LPG 지하비축시설을 운영 중에 있다(Fig. 1). 이 두 시설들은 모두 국가 기간 산업에 반드시 필요한 시설이지만 폐기물 매립장 건설로 인해서 LPG 지하비축시설의 운영에 문제가 생길 가능성을 면밀히 검토할 필요가 있다. 따라서, 지하매질의 수리공학적 연결성과 오염물질의 이동 가능성을 판단할 수 있는 현장 수리시험을 통하여 매립장 설치로 인하여 LPG 지하비축시설에 미칠 수 있는 영향을 알아보고자 한다.

이 연구는 대상지역의 지하수 배경수질을 분석함으로써 향후 침출수에 의한 지하수 오염의 판단 근거로 사용할 수 있도록 하며, 순간수위변화시험과 양수시험, 주입시험, 그리고 구간별 주입시험 등을 통하여 수리상수를 구하고 파쇄대의 수리공학적 연결성 분석과 지하수 흐름 및 용질 이동 해석을 수행하였다. 그리고, 오염물 이동에 대한 지하매질 특성에 대한 정보를 얻기 위하여 추적자시험을 실시하였다.

2. 지하수 관측시설

조사 대상지역에는 기존 관정 다섯 개(BH-1, BH-2, BH-3, BH-4, BH-5)와 새로 설치된 관정 두 개(PW, BHN) 등 총 일곱 개의 관정이 설치되어 있다. 각각의 관정 케이싱은 BH-1 45m, BH-2 46m, BH-3 76m, BH-4 66m, BH-5 73.5m, PW 110m, BHN은 50m 깊이까지 설치되어 있다. 각 관정의 수평적 배치 현황은 Fig. 2와 같다.

3. 현장 수리시험

3.1 시험 방법

조사시점의 지하수 수질을 분석하여 조사지역 지하수의 수질 특성을 파악하고 향후 지하수 오염판단의 기준을 마련하기 위해 관측정의 지하수 시료를 채취하여 분석하였다. 시료는 관측공 PW, BH-2, BH-3, BH-4, BH-5 등에 대해서 채취하였으며, 분석항목은 pH, EC, 주요 양이온,

음이온 및 알카리도 등이다.

수리상수를 측정하기 위해 순간수위변화시험과 양수시험, 주입시험, 그리고 구간별 주입시험을 수행하였으며, 오염물 이동에 대한 지하매질 특성에 대한 정보를 얻기 위하여 추적자시험을 실시하였다.

3.2 시험 결과

지하수 수질 분석 결과, 현재 시점에서는 특별한 오염원은 없는 것으로 판단된다. 따라서, 향후 매립이 시작되고 침출수가 누출되어 인근지역으로 확산된다면 지하수 조성변화가 달라지게 될 것이기 때문에 이들 수질자료와 비교하여 침출수 누출여부를 판단할 수 있을 것이다.

이 조사지역에서의 수리시험은 BH-1, BH-2, BH-3, BH-4, BH-5, PW, BHN 관정에서 실시하였다. 각 관정에서의 수리전도도는 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ m/sec 정도의 값을 가지나, BH-3은 10^{-9} m/sec 정도로 주위의 다른 관정에 비해 월등히 작은 값을 보여주고 있다. 장기수위간섭시험에 의해 추정된 수리상수 값은 투수량계수의 경우 각 관정과 관계없이 10^{-5} m²/sec 정도의 값을 가지며, 저유계수는 PW 관정을 제외한 관정에서 10^{-5} 정도의 아주 작은 값을 보여주고 있다. 주입시험은 BH-2, BH-4, BH-5 관정에 대해서 실시하였고, 장기수위간섭시험에서 구한 수리상수 값과 같게 나타났다. 추적자시험은 PW 관정에서 수행하였으며, 초기농도는 100mg/L이다. 추적자시험 결과는 양수된 지하수 시료에서 추적자 용액의 농도는 주입량의 2배 이상이 배출되었음에도 초기 농도의 약 10% 정도밖에 회수되지 않았다. 그리고 주입량의 약 5배를 회수한 후에도 4.4mg/L 정도의 농도를 나타낸다. 따라서 PW관정 근처의 매질에 대한 분산도는 비교적 큰 것으로 판단된다.

4. 지하수 및 침출수 이동에 대한 전산 모델링

산업 폐기물 처리시설 부근에서 행해진 양수시험, 주입시험, 순간수위변화시험 등에서 얻어진 현장수리시험 결과를 통해서 파악한 수리상수와 기존 자료를 이용하여 파쇄대의 존재를 인지하고 파쇄대가 존재할 가능성이 있는 지역을 추정하여 지하수 유동 및 오염물 이동에 관한 전산모형실험을 실시하였다.

4.1 입력 자료

모델은 폐기물 매립지와 LPG 지하저장시설인 프로판 PC-4 저장공동간의 최단거리 수직단면 배치도를 고려한 3차원 영역으로 설정하였고 모델 차원, 경계 조건 및 초기 조건 등의 전산모형 실험을 위한 입력자료는 Table 1과 같다.

폐기물 매립장과 LPG 지하저장공동 사이에 파쇄대를 고려할 때, 폐기물 매립장 설치에 따른 지하수의 유동양상 변화가 LPG 지하저장공동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음의 세 가지 경우에 대하여 지하수 유동해석 및 침출수 확산 해석을 실시하였다.

- 경우 1 : 폐기물 매립장과 지하저장공동 사이를 가로지르는 남북방향으로 파쇄대가 존재
- 경우 2 : 폐기물 매립장과 지하저장공동 사이를 연결하는 동서방향으로 저장공동 바로 앞까지만 파쇄대가 존재
- 경우 3 : 폐기물 매립장과 지하저장공동 사이를 연결하는 동서방향으로 저장공동을 포함한 전 영역에 파쇄대가 존재

4.2 지하수 유동 분석

추정 파쇄대 고려시 저장공동 주위의 포텐셜 분포는 추정파쇄대의 존재방향과 형태에 상관없이 거의 변화가 없으며 매립장 하부의 포텐셜 분포는 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 폐기물 매립지와 LPG 지하저장공동 사이에 남북 또는 동서방향으로 추정파쇄대를 고려할 때 지하저장공동의 기밀성 유지가 어려운 상태는 발생하지 않을 것으로 판단된다(Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5).

4.3 침출수 이동 분석

전산모형에 의한 침출수 이동해석은 침출수 집배수시설이 부분적으로 파손되어 오염물이 암반을 통하여 이동할 경우를 고려하여 수행하였다. 폐기물 처리시설과 LPG 지하저장공동 사이에 추정파쇄대를 고려할 경우 전산모형실험에 의한 오염물 이동분석 결과, 매립지 하부에서 침출수의 유출이 발생할지라도 LPG 지하저장공동에 영향을 미치지까지는 오랜 시간이 걸릴 것으로 판단된다(Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8). 위의 결과는 현장시험자료를 분석하여 얻어진 자료를 근거로 하여 가장 가능성이 있는 상황을 모사하여 얻어졌다. 이번에 행해진 현장시험은 폐기물 매립지와 저장공동을 직접 연결하는 쪽으로의 시험은 미흡하므로 이러한 부분의 정확한 결과를 얻기 위해서는 차후에 장기적인 관측과 연구가 필요할 것이다.

5. 결론

대상지역 관정의 지하수 수질분석을 수행한 결과, 현재는 특별한 오염 현상이 관찰되지 않았으며 대상지역 각 관정간의 수리적 연결성 파악을 위해 실시한 수리간섭시험과 주입시험 결과로부터 BH-3관정을 제외한 나머지 관정들간의 상호 간섭현상을 확인하였고, 순간수위변화시험과 양수시험, 주입시험, 그리고 구간별 주입시험 등을 통하여 수리상수를 구하고 절리대의 수리적 연결성 분석하였다. 이를 근거로 추정 파쇄대를 고려하여 폐기물 매립장에서 침출수가 누출된다고 가정하였을 때 오염물질의 이동과 농도 분포를 계산한 결과, LPG 지하저장공동이나 수장막 시설 주변의 지하수가 침출수에 의해 수십 년 내에는 오염될 가능성은 크지 않다고 파악된다. 그러나 BH-2와 BH-3 관정은 지하저장공동에 가장 가까운 것으로 이곳의 수리적 상태는 침출수의 이동으로부터 지하저장공동의 안정성을 파악하는데 매우 중요하다. 따라서 BH-2와 BH-3 관정 사이의 향후 장기적인 관측이 필요하다고 사료된다.

지금까지의 분석결과와 예상결과들을 종합적으로 볼 때, 향후 수 십년 내에 지하비축시설 주변의 지하수가 폐기물 매립장 침출수의 지하 누출로 인해 오염될 가능성은 희박하다고 판단된다.

참고문헌

1. 서울대학교 에너지자원신기술연구소: 산업폐기물처리시설 건설 및 운영에 따른 지하수 환경영향조사 (1997)
2. 한국자원연구소: 울산 유공가스 지하저장시설 주변지역의 지반조사 (1997)
3. 서울대학교 기초과학연구원 지질환경연구소: 울산환경개발(주)의 산업폐기물 매립장이 인근(주)유공가스 LPG 지하저장시설에 미치는 영향 연구 (1997)
4. Earlougher, R.C.: Advances in Well Test Analysis. Monograph Vol. 5, SPE of AIME, Dallar, Texas (1977)
5. Barker, J.A.: "A Generalized Radial Flow Model for Pumping Tests in Fractured Rock", Water Reso. Res., Vol. 24, pp.1796-1804 (1988)

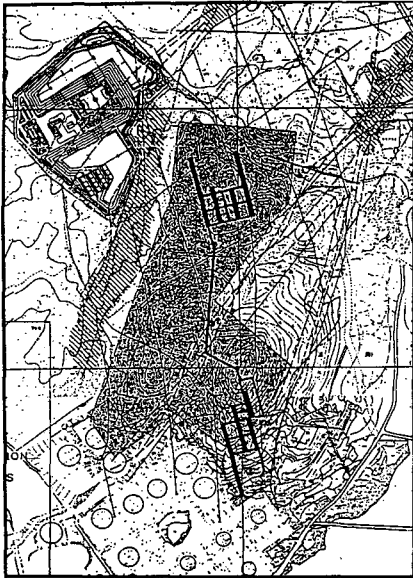


Fig. 1. 폐기물 매립지와 LPG 지하저장 시설사이의 개략도

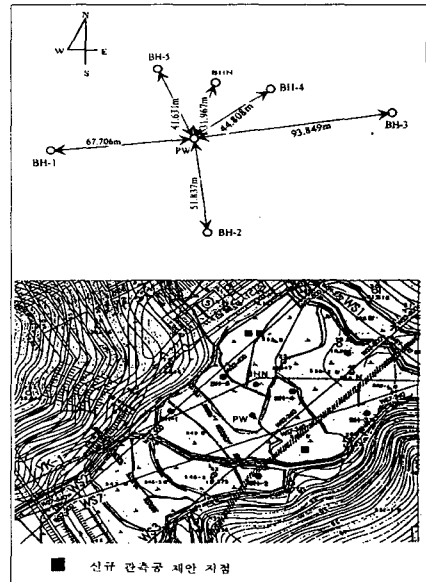


Fig. 2. 수리시험 현장의 관정 배치 현황 및 신규 관측공 제안 지점

Table 1. 전산모형실험 모델 개요 및 입력자료

Model Summary	
Model Area	3 Dimension Area Between Waste Disposal Site and Propane PC-4 Storage Cavern, Underground LPG Storage Facility ◇ Depth : 15 m ~ -200 m ◇ Cross distance : 470 m ◇ Horizontal distance : 600 m
Boundary Condition	◇ Outer Boundary : Upper - Constant Head, Side - No Flow Head ◇ Storage Cavern, Water Curtain System : Constant Head
Recharge Rate	30% of Total Seepage Water
Input Data	
Parameters	Value
Permeability	1.0×10^{-8} m/sec
Anisotropy	1
Porosity	1 %
Longitudinal Dispersivity	20 m
Transverse Dispersivity	1 m
Molecular Diffusion	1.0×10^{-7} m ² /sec
Operating Pressure of Cavern	6 bars
Hydraulic Head of Water Curtain	0 m/s.l.

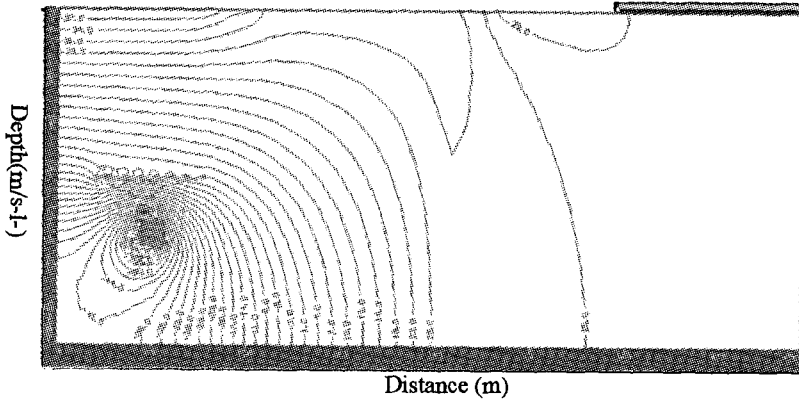


Fig. 3. 포텐셜 분포(폐기물 매립지와 LPG 저장공동 사이를 가로지르는 방향으로 파쇄대 고려)

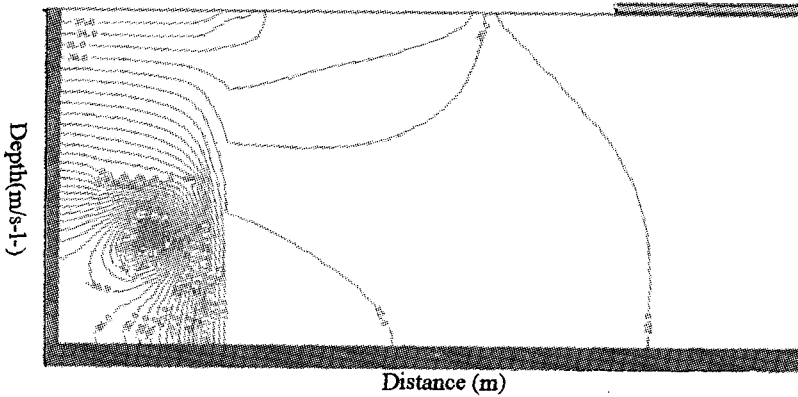


Fig. 4. 포텐셜 분포(폐기물 매립지와 LPG 저장공동 사이를 연결하는 방향이 더 넓은 범위 바운더리까지만 파쇄대 고려)

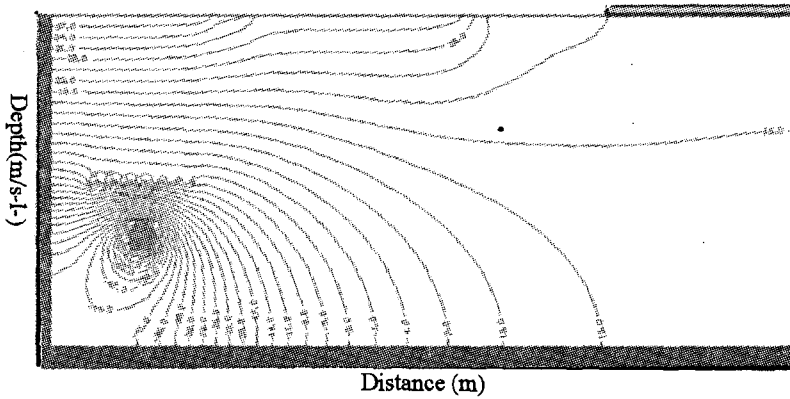


Fig. 5. 포텐셜 분포(폐기물 매립지와 LPG 저장공동 사이를 연결하는 방향이 더 넓은 범위에 포함 전 영역에 파쇄대 고려)

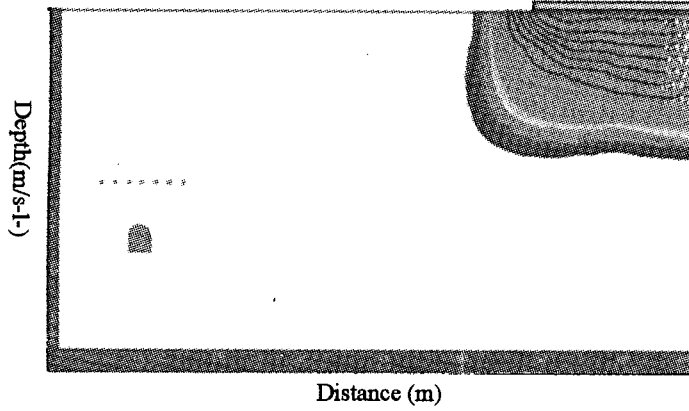


Fig. 6. 침출수 발생량의 30% 누출시 농도분포(폐기물 매립지와 LPG 저장공동 사이를 가로지르는 방향으로 파쇄대 고려, 최저농도: 최고치의 0.2%, 50년 모의)

Ranges to color

Max	0.700000	
	0.605882	
	0.500000	
	0.441176	
	0.335294	
	0.286235	
	0.194118	
Min	0.100000	

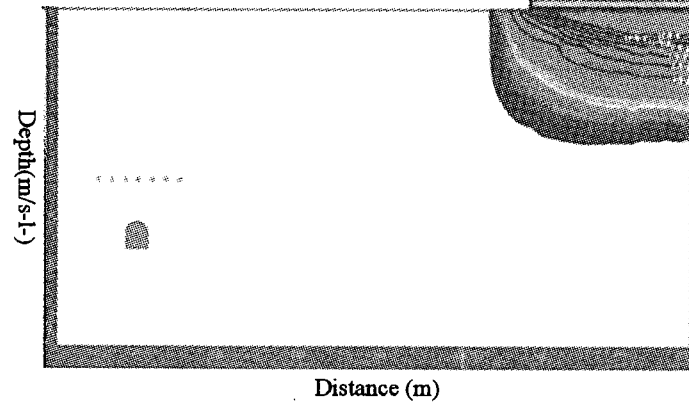


Fig. 7. 침출수 발생량의 30% 누출시 농도분포(폐기물 매립지와 LPG 저장공동을 연결하는 방향으로 공동 바로 앞까지만 파쇄대 고려, 최저농도: 최고치의 0.2%, 50년 모의)

Cut off levels

lower	0.100000
-------	----------

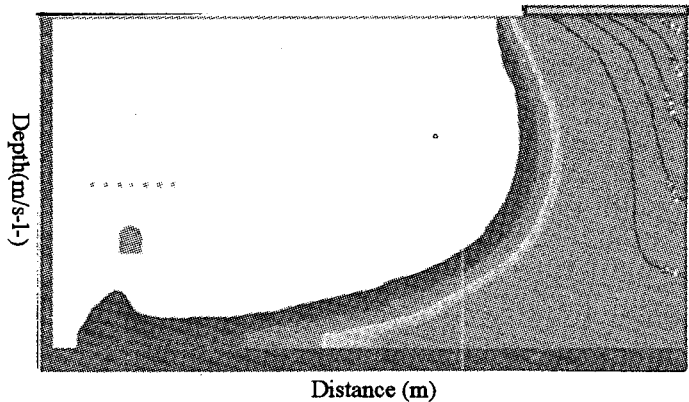


Fig. 8. 침출수 발생량의 30% 누출시 농도분포(폐기물 매립지와 LPG 저장공동을 연결하는 방향으로 전 영역에 파쇄대 고려, 최저농도: 최고치의 0.2%, 50년 모의)