



지하수 환경영향평가

3차시

1. 터널개발에 따른 지하수환경영향평가

터널 공사 등의 지반굴착을 수반하는 개발사업에 있어서 1) 사업부지 주변의 지하수를 주 용수공급원으로 의존하는 취락 및 농업지구가 존재하여 용수공급에 영향을 주는 경우, 2) 사업시행에 의해 발생하는 지하수유출로 주변 생태계에 영향을 주는 경우, 또는 3) 사업부지 주변에 지하수오염유발시설이 위치하여 지반굴착으로 인해 지하수오염의 확산가능성이 있는 경우 사업시행으로 인한 지하수 환경영향평가를 수행하여야 한다.

터널개발사업의 경우 지하수영향평가의 가장 근본적인 목표는 지반 굴착에 따른 지하수유출을 최소화 시킬 수 있는 저감대책을 세우는 것이다.

1.1. 지하수환경영향평가 절차

■ 터널개발사업의 지하수환경영향평가 절차는 지하수개발사업과 유사하게 사업부지의 수리지질학적 자료 등 기초자료 수집을 목적으로 지하수환경현황 조사와 지반굴착에 인한 유출지하수량, 지하수위 강하량과 공사에 의한 지하수 오염 확산 가능성 등을 평가하고 이에 대한 저감대책을 마련하여야 한다. 저감대책에도 불구하고 1일 300톤 이상의 유출지하수가 발생할 경우에는 지하수법에 따라 유출지하수 재이용계획을 수립하여 제시한다.



<터널개발사업의 지하수환경영향평가 절차>

1.2. 주요 평가내용

■ 터널개발사업의 지하수환경영향평가에서는 터널공사 등 지반굴착으로 인한 사업지구 내 유출지하수량, 평가대상지역의 지하수위 변화(주변에 하천이 있는 경우, 하천수위 변화도 포함)를 평가하고, 저감대책 적용에 따른 지하수 유동 변화를 정량적으로 예측, 평가하여 저감대책의 적정성을 평가한다. 또한, 지반굴착에 따른 잠재오염원의 확산에 의한 오염 개연성을 평가한다.

1) 지하수위 강하, 유출지하수량 평가

- ① 터널공사 등의 지반굴착에 따른 사업부지 내로의 지하수 유출 및 지하수위 강하 등을 예측, 평가한다. 평가대상지역 내에 하천 또는 호소가 있는 경우 하천(호소 등)수위 변화를 평가한다.
- ② 지반굴착을 수반하는 개발사업의 경우에는 차수공법 등의 유출지하수 저감기술 적용 전, 후의 지하수 유출량 및 지하수위를 지하수유동모델링을 통하여 평가한다. 그리고 유출지하수, 지하수위 평가 시에는 물수지분석을 수행하여 지하수유출 저감기술 적용 전, 후의 모델링 결과를 분석하여 적정한 저감대책이

마련되었는 지에 대해 검토한다.

- ③ 평가대상지역 내에 자연공원 등의 생태보호가 필요한 지역이 있는 경우에는 지하수위 강하가 육상 생태계에 미치는 영향을 예측한다.

2) 지하수오염 확산 가능성 예측

■ 평가대상지역(사업부지와 그 주변) 내에 잠재오염원이 있을 경우에는 사업부지 내 지하수 유출로 인해 오염물질이 평가대상지역 내에서 확산될 수 있는 가능성을 평가한다.

- ① 평가대상지역에 기존 이용 중인 지하수관정이 있는 경우, 지반굴착으로 인해 오염물질이 확산되어 사업부지 내 유출지하수로 유입되거나 평가대상지역 내에 사용 중인 지하수관정으로 유입될 수 있는 가능성을 평가한다.
- ② 오염물질의 확산에 따른 지하수관정으로의 유입 가능성에 대한 평가는 지하수 유동 모델링에서 입자추적기법을 사용하거나 오염물질 거동 모델링을 이용하여 수행한다.

3) 저감방안 마련

지하수환경영향평가에서는 저감기술(대책) 마련, 유출지하수 이용계획, 지하수오염 방지대책 등의 저감방안을 마련, 제시하여야 한다.

■ 저감기술(대책) 마련

- 터널 및 지반굴착으로 발생하는 지하수 유출 저감대책은 공사 시와 운영 시로 나누어 수립, 제시한다. 공사 시 터널지하수 유출 저감대책은 차수공법의 적용이고, 운영 시 터널지하수 유출 저감대책으로는 터널 내 지하수유출을 감소시키는 방수기술 선정과 함께 터널배수 계획이다. 지하수환경영향평가에서는 차수 및 방·배수 등 저감대책 적용에 따른 유출지하수량, 지하수위강하량에 대한 평가를 통해 저감대책의 적정성을 평가, 제시하여야한다.

차수계획 (공사 시)

- 공사 시, 굴착된 지반으로 유출되는 지하수를 저감하기 위해서는 차수공법을 시행한다. 특히 물리검층이나 시추조사로 파악한 단층 파쇄대 등의 지질구조선이 있는 경우에는 지반의 강도와 지수성을 증진시키기 위한 방법으로 차수공법을 적용한다.

방수 및 배수계획 (운영 시)

- 운영 시에는 유출지하수 저감대책으로 방배수계획을 수립, 운영한다. 방배수계획은 지반조건, 지하수위, 굴착지반 주변 시설물, 경제성, 방수기술 수준을 고려한 방·배수 기술을 선택, 적용하여야 한다.
- 터널공사의 일반적인 방·배수 기술은 다음과 같다.
 - ① 터널의 방수형식은 일반적으로 부분배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분하는데, 실제로 완전방수는 기술적으로 어렵고 누수발생시 처리가 곤란하기 때문에, 국내 설계 및 시공여건상 부분배수형 방수형식 터널과 비배수형 방수형식 터널의 방수방법에는 큰 차이가 없다.
 - ② 부분배수형 방수터널의 경우에는 숏크리트와 내부라이닝 사이에 방수층을 설치하여 터널내로 유입되는 물을 배수관으로 도수해서 터널밖으로 유도하며 국내 대부분의 터널은 부분배수형 방수형식을 적용한다.

■ 유출지하수 이용계획

- ① 유출지하수 이용계획을 수립하기 위하여 공사 시 지하수가 유출되는 시점부터 터널공사 완료시까지 유량계를 설치하여 지속적인 모니터링을 통해 지하수 발생량을 파악하고, 이 자료를 토대로 지하수법 제9조의 2에서 정하는 유출지하수 이용 해당시설 여부를 검토한 후 이에 해당될 경우 유출지하수 이용계획을 수립하여 해당 지자체에 신고하여야 한다.
- ② 유출지하수는 일반적으로 지반 굴착시 장비사용수 및 세척수, 토공구간 비산먼지 저감을 위한 살수용수, 성토다짐을 위한 노면살수용수, 그 외 조경용수 및 청소수 등으로 이용한다.

■ 지하수오염 방지대책

- 공사 시 사용하지 않는 지하수관정에 의한 지하수오염방지를 위하여 ‘지하수의 수질보전 등에 관한 규칙’에 준하여 폐공처리하도록 하고, 폐공처리는 불투수성재료를 주입하여 다짐하면서 되메움을 시행하여 관정을 폐쇄한다.

4) 사후환경영향조사 계획 수립

- 터널개발 및 지반굴착 공사에 대한 사후환경영향조사는 지하수수질과 지하수위 모니터링을 위주로 한다. 일반적으로 지하수 수질조사는 공사 시 또는 운영 시에 일반적으로 분기 1회 실시하고, 지하수위 조사는 공사 시 최초 1년간에는 월 1회 주기로 실시하며 그 후부터 공사완료, 운영 시에는 분기 1회로 지하수위 모니터링을 실시한다.

- 사후환경영향조사 시 조사된 지하수 수질과 공사 시, 운영 시 수위, 수질을 공사 전후 비교, 분석할 수 있도록 ‘지하수 수위 및 수질 비교 분석표’를 작성하도록 한다.

- 이 외에도 유출지하수량을 분기 1회 주기로 지속적으로 모니터링하여 유출지하수 이용계획에 반영하도록 한다.

돌발퀴즈

1. 다음 중 지하수 개발을 수반하는 사업의 지하수환경영향평가 시 필요한 내용이 아닌 것은?

- ① 지하수환경현황조사 ② 지하수 취수에 의한 영향반경 산정
- ③ 지하수 수질적정성 평가 ④ 지하수보전구역 지정

정답 : ④

해설 ➡ 지하수보전구역은 지하수의 수량(水量)이나 수질을 보전하기 위하여 필요한 구역으로 지하수법에 의해 지정한다. 이는 주요용수원으로 지하수가 이용되거나 할 경우 이를 보전관리하기 위한 것으로 개발사업에 대한 지하수환경영향평가와는 거리가 있다.

2. [사례] 철도의 건설사업의 지하수환경영향평가

본 장에서는 장항선 개량 2단계 철도건설사업(남포~간치)의 사례를 살펴보고자 한다. 본 장의 목적은 특정사업에 대한 설명이 아니라 이와 유사한 터널개발 및 지반굴착 사업에 대한 지하수환경영향평가의 전반적인 내용을 사례를 이용하여 설명하고자 하는 것이다. 본 사례는 환경영향평가시스템(EIASS)에서 자료공개를 동의한 사업을 대상 중 지하수개발과 관련이 있는 사업을 임의 추출한 것으로 지하수개발의 지하수환경영향평가를 이해하는 데에 도움이 될 것이다.

2.1. 사업개요

1) 본 사업은 환경영향평가법 제22조제2항 및 시행령 제31조제2항 별표3에 의거하여 철도의 건설사업 중 4km 이상인 사업에 해당되므로 환경영향평가대상사업이며 총 길이 7.169km의 터널설치계획을 포함하고 있음

2) 터널 설치 계획: 6개소, 총길이 7.169km

① 본 사업은 남포에서 간치까지 총 14.19km 노선(그림 1) 중 6개소(남포 제1, 제2, 제3, 웅천, 대창, 간치)에 총 길이 7.169km의 터널을 설치하도록 계획하였다.

구분	터널명	위 치(천기(현))		연장 (m)	비 고
		시 점	종 점		
1	남포제1	91km178.00	91km247.30	69.30	개착터널
2	남포제2	92km015.00	92km480.00	465.00	
3	남포제3	92km590.00	97km470.00	4,880.00	
4	웅천	99km500.00	99km650.00	150.00	
5	대창	99km780.00	101km085.00	1,305.00	중간개착(L=40m)
6	간치	102km380.00	102km680.00	300.00	

■ 조사대상지역 선정

- ☞ 골프장 예정부지를 포함하는 지하수 광역분수령을 설정하여 광역분수령 내의 집수유역면적을 지하수영향조사 대상지역으로 선정

1) 지하수환경 현황 조사

- ① 수질(하천, 호소, 지하수) 현황조사
 - 수질 측정망 활용: 하천수와 농업용수의 수질은 충청남도, 금강유역환경청, 한국농어촌공사에서 운영 중인 수질측정망 3개 지점에서 2009년~2013년까지 5년간 연평균 자료를 수집, 분석하였고 지하수의 경우 환경부에서 운영 중인 지하수 수질측정망 1개 지점의 2011년, 2012년 상하반기 지하수 수질측정자료를 분석하였다. 분석 결과, 계획노선 주변 하천수의 수질은 BOD 기준 대천천 II-IV 등급, 웅천천은 1a~1b등급으로 조사되었다.

<계획노선 주변 수질측정망 현황>

측정소명	주소	상세지점	조사기관	수계		
				지류	분류	
하천수	대천천	보령시 대천동	계획노선 주변	충청남도	-	대천천
	웅천천2	보령시 웅천읍 노천리	계획노선 주변	금강유역환경청	-	웅천천
농업용수	남포저수지	보령시 남포면 옥서리	계획노선 통과	한국농촌공사	-	-
지하수	J-3-04	보령시 남포면 창동리 636-1	계획노선 주변	지방자치단체	-	-

- 현지조사에서는 계획노선의 호소수 1개 지점, 하천수 6개 지점, 지하수 4개 지점을 대표지점으로 선정하여 하천수질 및 호소수질 18개 항목, 지하수질 22개 항목에 대해 4차례(1,2차는 갈수기; 3,4차는 평수기)에 걸쳐 조사, 분석하였다.

<수질 조사항목>

구분	조사항목	항목수
하천수질 호소수질	수온, pH, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P, Cd, Cr ⁶⁺ , Pb, As, Hg, 유기인, PCB, ABS, Cu, CN, 유황, TOC	20개 항목
지하수질	pH, 색도, 탁도, 냄새, 맛, KMnO ₄ 소비량, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , 경도, NH ₃ -N, NO ₂ -N, F, Cu, Fe, As, Hg, Cr ⁶⁺ , Cd, 페놀, Al, 총대장균군, 일반세균	22개 항목

지하수 수질 분석은 먹는물 시험방법에 의하여 실시하였으며 조사 결과, 지하수 수질은 4차례 모두 지하수 수질기준을 만족하였다.

② 정천현황조사

- 터널 인근(보령시 남포면, 웅천읍, 주산면)에 분포하는 지하수 관정 신고 현황 조사 결과, 남포면 1,717개소, 웅천읍 903개소, 주산면 804개소가 신고되어 있으며 지하수 이용량은 웅천읍, 남포면, 주산면 순으로 웅천읍에서 가장 많은 지하수를 사용하고 있는 것으로 나타남. 개발된 지하수는 주로 농업용, 생활용으로 이용됨.

<계획노선 주변 정천현황>

구 분		보 령 시			
		남포면	웅천읍	주산면	계
시설수 (개소)	생활용	1,220	163	275	1,658
	공업용	8	9	2	19
	농업용	489	731	527	1,747
	합계	1,717	903	804	3,424
이용량 (㎥/년)	생활용	665,873	386,143	300,171	1,352,187
	공업용	58,910	134,600	16,400	209,910
	농업용	1,654,266	3,724,775	1,696,651	7,075,692
	합계	2,379,049	4,245,518	2,013,222	8,637,789
공당 이용량	생활용	545.8	2,369.0	1,091.5	4,006.3
	공업용	7,363.7	14,955.5	8,200.0	30,519.2
	농업용	3,383.0	5,095.5	3,219.5	11,697.0
	합계	11,292.5	22,420.0	12,511.0	46,233.5

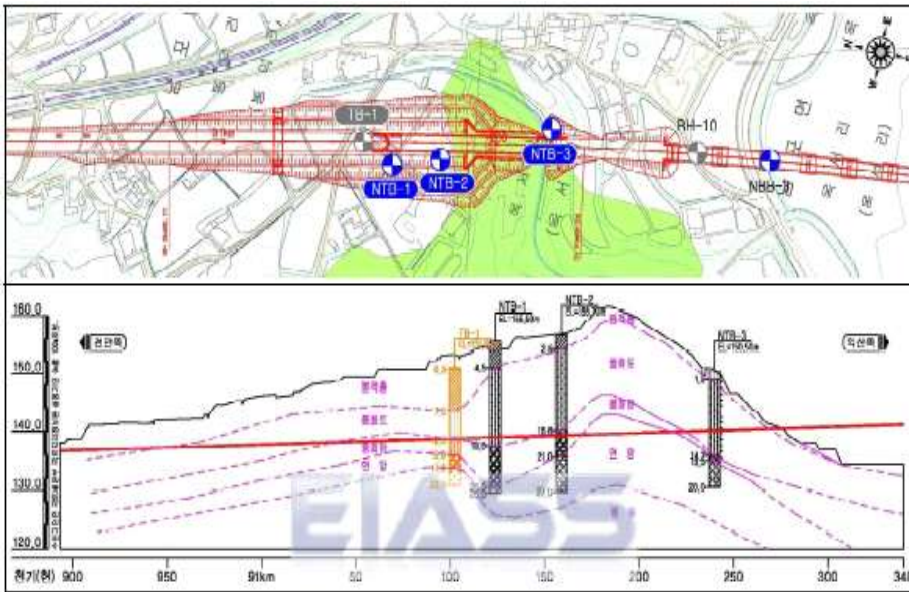
자료 : 지하수조사연보, 2013, 국토교통부·한국수자원공사

③ 취수장 현황

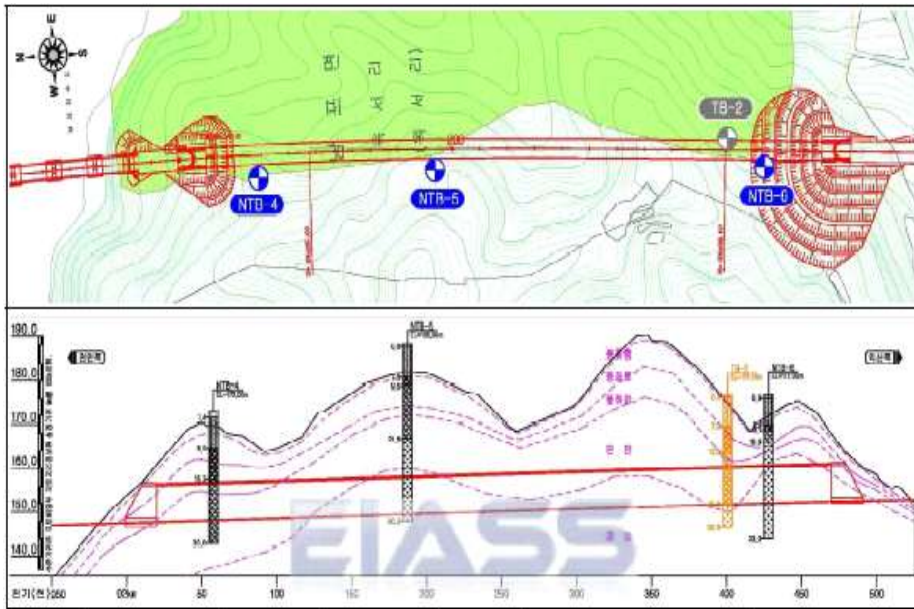
- 계획노선이 통과하는 지역에는 총 3개의 취수장이 위치하며 그 중 2개 취수장의 수원은 하천복류수, 즉 하천과 인접한 지하수인 것으로 조사되었다. 이들은 모두 계획노선과 상이한 수계이거나 상류에 위치하는 것으로 조사되었음.

④ 지반·지질조사

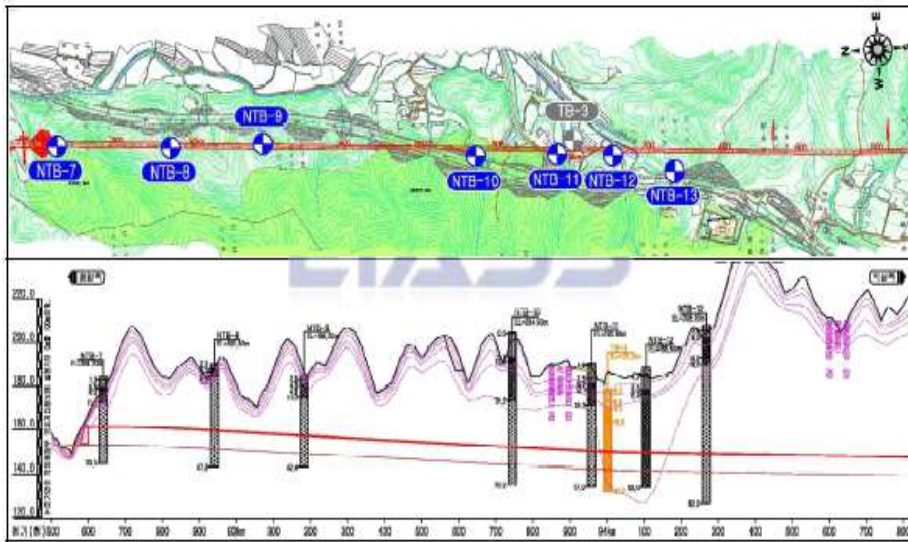
- 계획노선 및 인근의 지반현황을 파악하기 위하여 시추조사를 실시하였다. 시추조사에서는 각 지점에서의 지층의 수직분포와 지층의 구성상태, 심도, 두께 등을 조사하였다. 일부 터널에서의 시추결과를 도시하면 다음과 같다.



<남포1터널 시추조사 결과>



<남포2터널 시추조사 결과>



<남포3터널 시추조사 결과>

- 계획노선은 선캠브리아기의 화강편마암이 시점부와 종점부에 걸쳐 넓게 분포하고 웅천읍을 중심으로 쥬라기의 퇴적암류가 북동방향으로 분포하고 있음. 계획노선의 인근 지역은 습곡작용과 단층운동 등으로 인해 복잡한 지질구조가 형성되었음. 계획노선을 중심으로 총 42개 지점에 대해 지표지질조사를 실시하였으며 그 조사 결과는 다음 표와 같다.

<지표지질조사 지점 및 조사결과>



2) 터널굴착에 따른 지하수위 영향

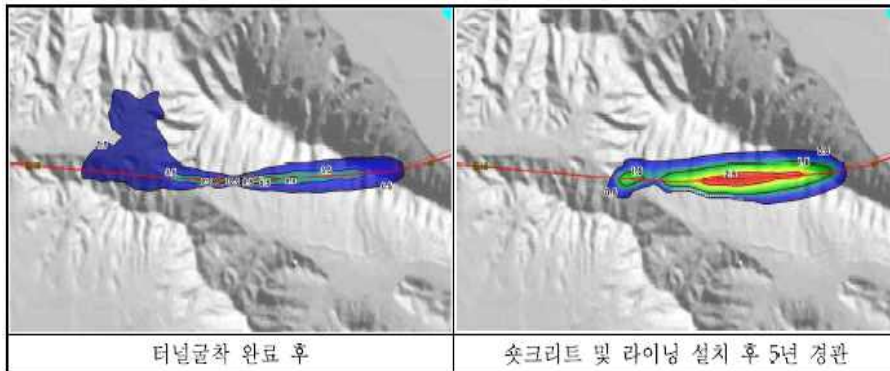
■ 계획노선의 터널 중 장대터널인 남포 제2,3터널과 대창터널에 대해 지하수환경영향평가를 검토하였고, 짧은 터널인 응천, 간치 터널은 산지를 통과하는 터널로 노선 인근에 지하수관정이 없는 것으로 조사되어 평가에서 제외하였음.

① 지하수위 강하량 분석

남포 제2,3터널

- 굴착완료 시 0.5m 이상 지하수위 강하가 발생하는 최대영향 범위는 터널 좌측방향으로 최대 852.8m로 나타남

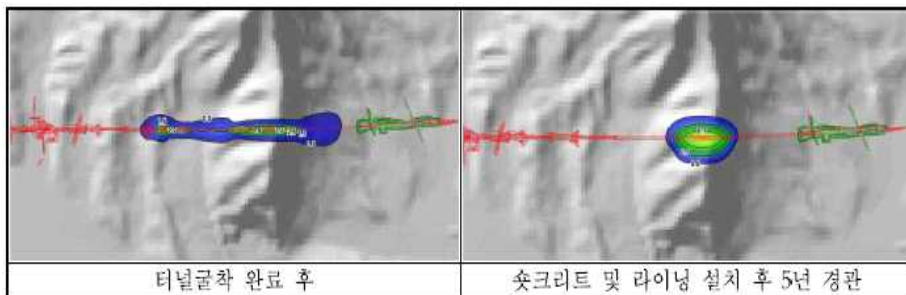
- 슛크리트 및 라이닝 후 5년 경과된 시점에서 0.5m 이상 지하수위 강하가 발생하는 최대영향범위는 터널 우측방향으로 최대 280.3m가 나타남. 지보재 타설 이후에도 터널 내로의 지하수 유출량은 감소하여 최대 강하량 및 영향반경 범위도 감소하는 것으로 분석됨.



<남포2,3터널 굴착에 따른 지하수위 강하 예측>

대창터널

- 굴착완료 시 0.5m 이상 지하수위 강하가 발생하는 최대영향 범위는 터널 좌측방향으로 최대 78.9m로 나타남
- 슛크리트 및 라이닝 후 5년 경과된 시점에서 0.5m 이상 지하수위 강하가 발생하는 최대 영향범위는 터널 우측방향으로 최대 105.1m가 나타남. 지보재 타설 이후에도 터널 내로의 지하수 유출량은 감소하여 최대 강하량은 감소하나 영향반경 범위는 약간 증가하는 것으로 분석됨



<대창터널 굴착에 따른 지하수위 강하 예측>

② 구간별 유출지하수량 평가

남포 제2,3터널

- 남포 2터널 대상구간(연장 약 0.47km)에 대해 100m 간격으로 구간(zone)을 구분하여 구간별 단위길이당 유출지하수량을 분석함
- 남포 3터널은 대상구간(연장 약 4.8km)에 대해 200m 간격으로 구간을 구분하여 총 25개 구간에 대해 단위길이당 유출지하수량을 분석함
- 그 결과 남포 2터널 굴착종료시 평균 단위길이당 유출지하수량은 터널 전 구간에 걸쳐 0.085m³/min/km로 산정되었으며 평균 단위길이당 유출지하수량보다 구간별 단위길이당 유출량이 매우 높게 나타나는 구간에 대해서는 차수그라우팅 및 보강공법을 적용하고 터널 내 유출지하수량을 감소시킬 수 있는 저감방안을 마련하여 터널 내 안정성을 확보할 필요가 있음.

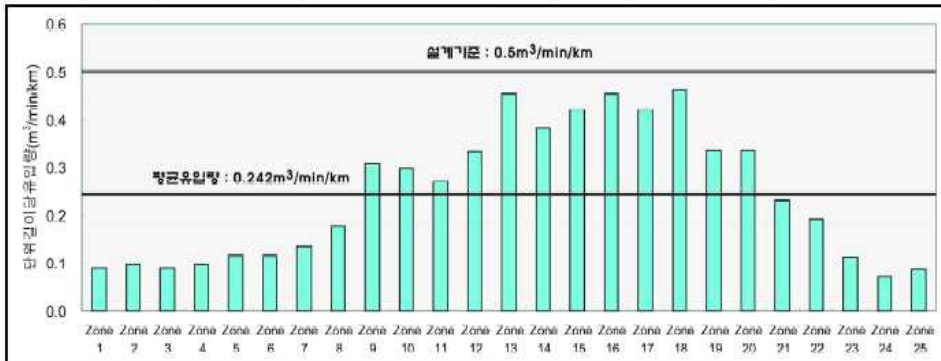


A. 남포2터널

- 남포 3터널 굴착종료시 평균 단위길이당 유출지하수량은 터널 전 구간에 걸쳐 0.242m³/min/km로 산정되었으며 평균 단위길이당 유출지하수량보다 구간별 단위길이당 유출량이 매우 높게 나타나는 구간에 대해서는 차수그라우팅 및

보강공법을 적용하고 터널 내 유출지하수량을 감소시킬 수 있는 저감방안을 마련하여 터널 내 안정성을 확보할 필요가 있음.

구 분	연장 (m)	단위길이당 유입량(m ³ /min/km)		구 분	연장 (m)	단위길이당 유입량(m ³ /min/km)	
		굴착완료 시	굴착완료 5년 후			굴착완료 시	굴착완료 5년 후
Z1	200	0.089	0.065	Z14	200	0.381	0.070
Z2	200	0.097	0.036	Z15	200	0.420	0.061
Z3	200	0.088	0.011	Z16	200	0.453	0.053
Z4	200	0.096	0.023	Z17	200	0.421	0.040
Z5	200	0.116	0.015	Z18	200	0.463	0.027
Z6	200	0.116	0.025	Z19	200	0.333	0.013
Z7	200	0.134	0.018	Z20	200	0.336	0.006
Z8	200	0.176	0.013	Z21	200	0.232	0.005
Z9	200	0.307	0.010	Z22	200	0.193	0.017
Z10	200	0.296	0.040	Z23	200	0.114	0.034
Z11	200	0.270	0.070	Z24	200	0.072	0.048
Z12	200	0.332	0.071	Z25	90	0.087	0.050
Z13	200	0.452	0.076				



B. 남포3터널

<터널 구간별 단위길이당 유출지하수량(지하수유입량)>

대창터널

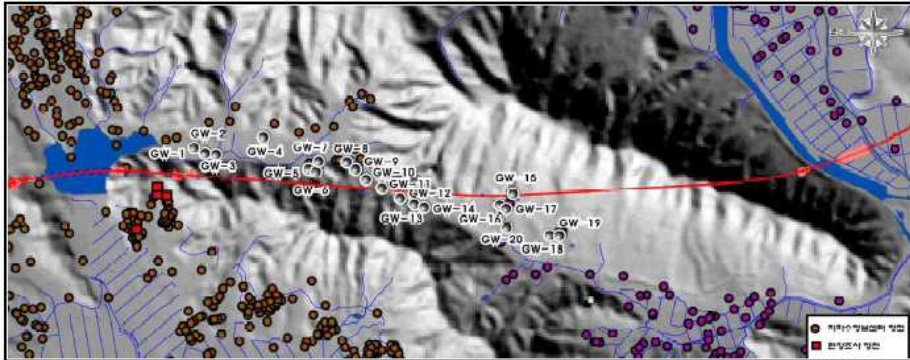
- 대창터널은 NATM공법을 적용하는 총연장 1,325m의 터널구조물로 전 구간에 대해 구간별 유출지하수량을 분석함
- 대상구간(연장 약 1.3km)에 대해 100m 간격으로 구간을 구분하여 총 13개 구간에 대해 단위길이당 유출지하수량을 분석함

- 그 결과 굴착종료시 평균 단위길이당 유출지하수량은 터널 전 구간에 걸쳐 $0.192\text{m}^3/\text{min}/\text{km}$ 로 산정되었으며 평균 단위길이당 유출지하수량보다 구간별 단위길이당 유출량이 매우 높게 나타나는 구간에 대해서는 차수그라우팅 및 보강공법을 적용하고 터널 내 유출지하수량을 감소시킬 수 있는 저감방안을 마련하여 터널 내 안정성을 확보할 필요가 있음.

③ 터널 인근 관정에 미치는 영향 분석

남포 제2,3터널

- 남포 2,3 터널이 통과하는 행정구역 내에 분포하는 기존 신고관정은 국가지하수정보센터의 자료에 따르면 2,620개소이고 현지조사 결과 14개소의 지하수 관정이 발견됨
- 이 중 터널 노선에 근접해 터널굴착 영향을 받을 것으로 판단되는 대표관정 20개소를 선정하여 지하수 수리수문 영향분석을 실시하였음.
- 그 결과 터널 노선과 인접한 관정에서 지하수위 강하량이 크게 나타나고 터널 굴착 완료시점에서 남포 제2터널은 $0.127\text{m}\sim 0.203\text{m}$, 제3터널은 $0.204\text{m}\sim 22.258\text{m}$ 의 수위강하가 나타나다가, 그라우팅을 시행한 후 점진적으로 지하수위가 상승함.
- 특히, 남포3터널 GW-15관정에서 약 22m의 수위강하가 예측되므로 필요하다면 농경지 분포, 지하수이용시설 등을 종합적으로 고려하여 대체관정의 개발여부를 판단할 필요가 있음.



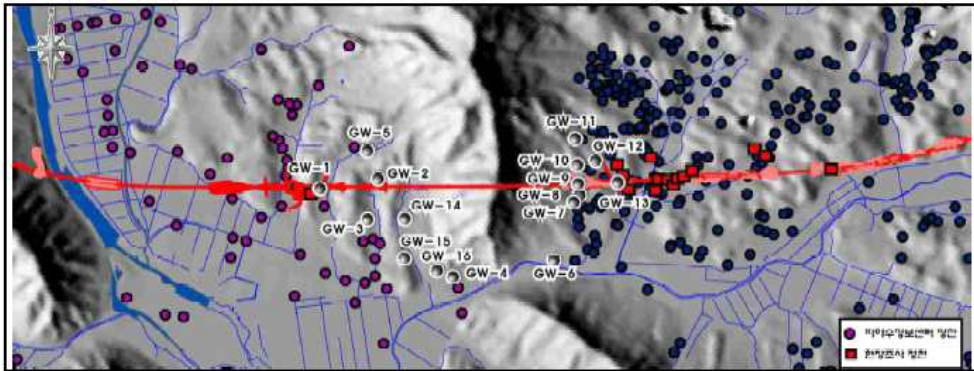
인근 관정의 지하수위 변화		공 변	초기수위 (EL.m)	최저수위 (EL.m)	최대강하량 (m)	비고	터널
		GW-1	63.000	62.713	0.287		남포3
		GW-2	64.233	63.802	0.431		
		GW-3	65.943	65.391	0.552		
		GW-4	72.042	71.540	0.502		
		GW-5	75.643	74.568	1.074	현장조사	
		GW-6	75.916	74.841	1.074	현장조사	
		GW-7	76.106	75.126	0.980	현장조사	
		GW-8	77.461	76.579	0.882	현장조사	
		GW-9	77.882	76.787	1.095	현장조사	
		GW-10	78.172	76.787	1.385		
		GW-11	78.520	76.650	1.870		
		GW-12	88.126	85.914	2.212	현장조사	
		GW-13	87.963	86.423	1.540	현장조사	
		GW-14	81.259	80.266	0.994		
		GW-15	106.228	83.971	22.258	현장조사	
		GW-16	86.803	84.430	2.373	현장조사	
		GW-17	77.053	76.591	0.462	현장조사	
		GW-18	73.763	73.555	0.207		
		GW-19	73.429	73.226	0.204	현장조사	
		GW-20	75.703	75.429	0.274		
		GW-21	54.477	54.350	0.127		남포2
		GW-22	54.580	54.398	0.182	현장조사	
		GW-23	54.582	54.379	0.203	현장조사	

<남포2,3터널 인근 지하수관정에서의 지하수위 변화>

대창 터널

- 대창터널이 통과하는 행정구역 내에 분포하는 기존 신고관정은 국가지하수정보센터의 자료에 따르면 1,707개소이고 현지조사 결과 23개소의 지하수 관정이 균집성 높게 분포하고 있음.
- 이 중 터널 노선에 근접해 터널굴착 영향을 받을 것으로 판단되는 대표관정 16개소를 선정하여 지하수 수리수문 영향분석을 실시하였음.

- 그 결과 터널 노선과 인접한 관정에서 지하수위 강하량이 크게 나타나고 터널 굴착 완료시점에서 0.008m~0.348m의 수위강하가 나타나다가, 그라우팅을 시행한 후 점진적으로 지하수위가 상승함.
- 터널 노선에 인접한 관정 모두 0.5m 이하의 수위강하를 보이므로 터널굴착에 따른 수위저하의 영향은 미미한 것으로 판단됨.



인근 관정의 지하수위 변화		공 번	초기수위 (EL.m)	최저수위 (EL.m)	최대강하량 (m)	비 고
<p>Head vs. Time</p>	GW-1	23.412	23.399	0.014	현장조사	
	GW-2	39.736	39.388	0.348	현장조사	
	GW-3	24.632	24.573	0.060		
	GW-4	26.199	26.184	0.015	현장조사	
	GW-5	43.673	43.636	0.037		
	GW-6	34.447	34.439	0.008		
	GW-7	39.082	39.021	0.061		
	GW-8	39.583	39.521	0.062	현장조사	
	GW-9	40.128	40.054	0.074	현장조사	
	GW-10	40.426	40.355	0.071	현장조사	
	GW-11	44.068	44.049	0.019		
	GW-12	41.554	41.532	0.023	현장조사	
	GW-13	38.473	38.461	0.011	현장조사	
	GW-14	27.954	27.814	0.141	응천석재	
	GW-15	25.041	25.007	0.035	전문화산	
	GW-16	25.665	25.648	0.017	업단지	

<대창터널 인근 지하수관정에서의 지하수위 변화>

3) 지하수 오염 확산 가능성 평가

- ① 터널공사 시 폐수발생에 따른 지하수수질 영향
 - 터널공사 시 발생하는 폐수배출량은 장비급수량과 터널 내로 유출되는 유출지하수량으로 구분되나, 장비급수량은 적기 때문에 대부분 유출지하수에서 기인됨.
 - 터널굴착에 따른 지하유출수는 그 자체로는 특별한 오염을 일으키지 않으나 지하수관정 천공시 발생하는 석분, 버력 등에서 세립토가 혼입되어 부유물질의 농도가 높은 탁수가 발생되며 이런 탁수가 외부로 유출될 경우 인근 수계의 오염가중이 우려되므로 적절한 저감대책이 요구됨.

- ② 폐공으로 인한 지하수오염 가능성
 - 본 계획노선 내 지하수로의 오염물질 유입이 우려되는 관정은 농업용 폐쇄 관정 및 인근마을의 생활용 폐공, 그리고 지반조사에 사용된 시추조사공 등이다.
 - 폐공에서의 지하수 수질을 조사, 폐공으로 인한 오염확산 가능성을 평가한다.

4) 지하수환경영향 저감방안

■ 공사 시

- ① 터널지하수 유출에 의한 지하수위 영향 저감방안
 - 차수공법 적용: 전기비저항 이상대 및 단층파쇄대 등 막장 불안정 구간의 누수가 예상되는 구간에 지반강도가 저하될 우려를 저감하고 지수성을 증진하기 위해 차수공법을 적용할 계획임
 - 지하수위 모니터링: 지하수위 강하가 0.5m 이상으로 크게 나타날 것으로 예측되는 남포3터널의 경우 공사 시 사후환경영향조사와 연계하여 터널공사 시부터 지속적인 지하수위 모니터링을 시행하도록 하며 필요시 모니터링 관정을 개발하도록 한다.

- ② 폐수처리수 & 유출지하수 재이용 계획
 - 터널 공사 시 지하수가 유출되는 시점부터 터널공사 완료 시까지 유량계를

설치하여 지속적인 모니터링을 통해 지하수 발생량을 파악하고, 이 자료를 토대로 지하수법이 정하는 유출지하수 이용 해당시설 여부를 검토하여 이에 해당될 경우 유출지하수 이용계획을 수립하고 해당 지자체에 신고할 계획임

- 터널공사 시 배출되는 유출지하수는 처리시설을 거친 후 터널굴착 시 장비사용수 및 세척수, 토공구간 비산먼지 저감을 위한 살수용수, 성토다짐을 위한 노면살수용수, 그 외 조경용수 및 청소수 등으로 적극 재이용할 계획임.

③ 지하수오염 방지대책

- 공사 시 지하수관정에 의한 지하수오염방지를 위하여 ‘지하수수질보전 등에 관한 규칙’에 준하여 폐공처리토록하며, ‘지하수법’에 의거하여 불투수성재료를 주입하여 다짐하면서 되메움을 시행하여 관정을 폐쇄토록 할 계획임.

■ 운영 시

① 터널지하수 유출 저감방안

NATM 터널

- NATM 터널을 계획하고 있는 노선은 지질조건이 양호하고 지형에 따라 자연배수가 가능한 지역으로 터널방수를 위해서 부분배수형 방수형식 터널을 계획하였다.

개착터널

- 터널 개착부는 지하수위가 구조물 하단에 위치하여 강우의 침투영향이 작으며 하단부 유공관을 통해 배수가 원활하므로 시트방수보다 경제성 및 시공성이 유리한 아스팔트 방수 공법을 적용하도록 한다.
- 차수갱구부 지하수위가 높은 구간과 중간 개착 터널부 및 지하수 용출 등 배수조건이 불리한 구간은 시트방수를 적용하도록 한다.

① 터널 배수계획

- 부분 배수형 방수형식을 채택함에 따라 터널구조물에 수압이 작용하지 않도록 하기 위해 슛크리트를 통과한 유입수를 원활하게 배수처리하고 양수압을 저하시키기 위해 저면으로부터의 용수를 처리할 계획을 수립하여야 한다.

- 주배수관 설치방식은 철도표준도를 준용하여 중앙하부 배수방식을 적용하였다.
- 누수로 인해 터널 내로 유입되는 지하수는 배수용량, 공동구 규격 등을 검토하여 배수구와 중앙배수관으로 유도배수되는 방식을 적용하였다.
- 철도터널은 오페수가 분리되지 않으므로 터널 세척 시 입출구부에 별도의 집수구간을 설치하여 터널 세척수를 수거 후 폐수처리하도록 함.

5) 사후환경영향조사 계획 수립

- ① 터널 공사에 의한 주변지역 영향 조사를 위한 지하수 관련 사후환경영향조사는 공사 시 최초 1년간에는 월 1회 주기로 지하수 모니터링을 실시하고 그 후부터 공사완료, 운영 시에도 분기 1회 지하수 모니터링을 실시한다.
- ② 본 사업에 대한 지하수 사후환경영향조사 계획을 공사 시, 운영 시로 구분하여 평가항목, 조사지점, 조사방법, 조사주기를 아래와 같이 수립한다.

구분	평가항목	조사지점	조사방법	조사주기
공사 시	- 지하수 수질	계획노선 인근 지하수이용지역 3개지점 (GW1,2,3)	-현지조사 -수질공정시험기준 -먹는물 수질공정시험기준	분기 1회
	- 터널 주변지역 지하수 모니터링(남포3터널, 대창터널)	터널 수위하강 관정(GW4, 5)	-현지조사 수질공정시험기준	분기 1회 (최초 1년 월1회)
	- 지하수 관정 처리: 지하수관정 되메움 여부 파악	공사시 발견된 지하수관정	-현지조사	분기 1회
운영 시	- 지하수 수질	계획노선 인근 지하수이용지역 3개지점 (GW1,2,3)	-현지조사 -수질공정시험기준 -먹는물 수질공정시험기준	분기 1회
	- 터널 주변지역 지하수 모니터링(남포3터널, 대창터널)	터널 수위하강 관정(GW4, 5)	-현지조사 수질공정시험기준	분기 1회

- ③ 사후환경영향조사에서는 환경영향평가 수행 시 조사된 지하수 수질과 공사 시, 운영 시 수위, 수질을 비교, 분석할 수 있도록 ‘지하수 수위 및 수질 비교 분석표’를 작성하도록 한다.

2.3. 정리

- 본 사례에서는 철도의 건설사업에서 터널을 설치할 경우 체계적인 지하수환경영향평가를 통하여 터널 개발이 주변 지하수환경에 미치는 영향을 예측, 분석하여 환경영향을 최소화하는 저감방안을 마련, 제시하였다.
- 터널개발이 수반되는 철도 건설사업의 경우, 지반굴착으로 인해 지하수가 유출됨으로써 주변 지하수 이용과 생태계나 하천유량 등에 영향을 끼치게 된다. 또한 지하수 유출 발생에 따른 지하수 유동변화로 지하수 오염이 확산될 수도 있다. 무엇보다도 터널개발 시에는 공사 시와 운영 시 차수 및 방배수 계획 등 터널개발에 따른 지하수영향저감대책을 적절하게 마련하여야 한다.
- 터널개발은 공사 및 이용 시 환경영향과 함께 안전 확보가 중요한 사안이므로 사업시행 후 지하수위와 수질, 터널유출지하수 등을 지속적으로 모니터링하는 사후환경영향조사 계획을 수립하여 철저히 관리하여야 한다.