

지하수 환경영향평가

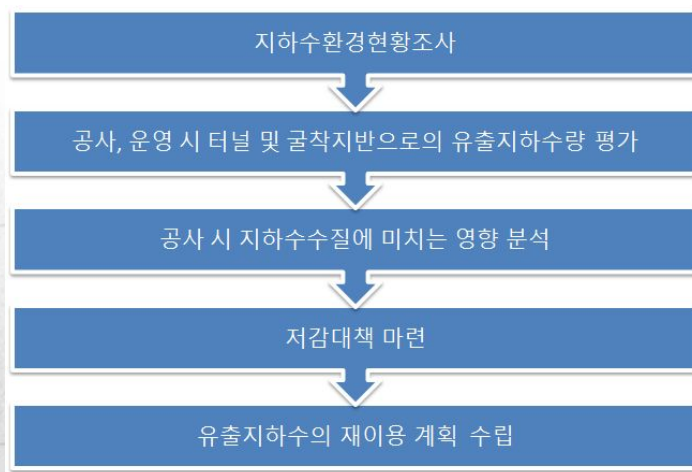
12. 지반굴착과 환경영향평가

1. 지반 굴착에 따른 지하수환경영향평가 절차

터널 공사 등의 지반굴착을 수반하는 개발사업에 있어서 사업부지 주변의 지하수 수자원을 주 용수공급원으로 의존하는 취락 및 농업지구가 존재하는 경우, 해당사업의 공사 또는 운영 시 지하수 유출로 인해 취락 및 농업지구 용수공급에 영향을 주거나 주변 생태계에 영향을 주는 경우, 또는 사업부지 주변에 지하수오염유발시설이 위치하여 지반굴착으로 인해 지하수오염의 확산가능성이 있는 경우 지반굴착으로 인한 지하수 환경영향평가를 수행하여야 한다.

이 경우 지하수영향평가를 수행하는 가장 근본적인 목표는 지반 굴착에 따른 지하수유출을 최소화 시킬 수 있는 저감대책을 세우는 것이다. 이 때 지하수 환경영향평가는 다음의 절차를 따라 수행한다.

지하수법에는 지반 굴착에 의한 지하수 배출지역과 지하수 개발이용과의 관계를 규정하고 있지는 않으나, 제12조의 2의 하천 인근에서의 지하수 개발이용허가에 관한 규정을 적용하여 지반굴착예정 구간으로부터 300m 이내에 분포하는 모든 지하수 관정의 이용현황 및 지하수오염유발시설 현황 등을 조사하는 것이 바람직하다. 그리고 현장 대수성시험을 통한 사업지구 부지의 수리지질학적 자료를 충분히 획득, 사업구간의 지하수 영향조사의 기본자료로 사용하는 등 지하수환경현황 조사를 수행한다. 그 후 지하수유동모델링을 이용하여 지반굴착으로 인한 사업지구 내 유출지하수량과 함께 평가대상지역의 지하수 관정에서의 지하수위강하를 정량적으로 예측, 평가하고 유출지하수로 인해 지하수위강하가 심하게 발생할 것으로 예상되는 지하수 관정에 대한 저감방안을 수립한다. 이 외에도 지하수-암석의 화학반응에 의해 산성지하수가 발생하거나 공사구간의 오탐수로 인한 지하수오염 확산에 대해 평가하고 이를 저감할 수 있는 대책을 마련하도록 한다. 저감대책에도 불구하고 1일 300톤 이상의 유출지하수가 발생할 경우에는 지하수법에 따라 유출지하수 재이용계획을 수립하여야 한다 (그림1).



<그림 1> 지반굴착에 따른 지하수환경영향평가 절차

●쉬어가기 퀴즈(학습 중에 학습자가 쉽게 풀어 볼 수 있는 O, X 퀴즈 1문항을 제시해 주세요. 정답과 해설도 함께 제시해 주셔야 하고, 해당 주제 다음에 넣어주세요.)

문제> 지하수법에 따르면 지반굴착으로 인해 지하수 유출이 발생하는 모든 경우에 유출지하수 이용계획을 수립하도록 한다.

정답> X

해설> 지하수법 제9조의 2에 따르면 지반굴착으로 인해 지하수유출이 발생하면 이에 대한 저감방안을 수립하고 그럼에도 불구하고 1일 300톤 이상의 유출지하수가 발생할 경우에는 지하수법에 따라 유출지하수의 이용계획을 수립하도록 되어 있다.

2. 지하수 유출에 따른 영향 평가

지하수유동모델링을 이용하여 지반굴착으로 인한 사업지구 내 유출지하수량과 함께 평가대상지역의 지하수 관정에서의 지하수위 변화, 그리고 지하수유출 저감기술 적용에 따른 지하수 유동 변화를 정량적으로 예측, 평가한다. 또한, 지반굴착에 따른 잠재오염원의 확산에 의한 오염 개연성을 평가한다.

영향평가항목

지반굴착을 수반하는 개발사업의 경우 굴착에 따른 지하수 개발이용의 영향범위를 예측, 평가하여야 한다. 지반굴착에 따른 영향평가에서는 다음의 세 가지 항목을 평가한다.

- 1) 지반(또는 터널)굴착에 따른 유출지하수량 예측:
- 2) 지하수위 강하: 산정된 영향반경 내에 기존 지하수이용시설이 있는 경우 지하수 유출이 기존 지하수이용시설물의 지하수위에 미치는 영향을 검토한다.
- 3) 지하수오염 확산 평가: 산정된 영향반경 내에 잠재오염원이 있을 경우에는 지하수 유출로 인해 오염물질이 개발예정인 지하수관정으로 유입될 수 있는 가능성을 평가한다.

영향평가방법

지반굴착에 의한 지하수 영향범위는 지하수 모델링을 이용하여 평가한다. 영향범위 평가항목에 따른 평가방법은 다음과 같다.

1) 지반굴착에 의한 지하수유출과 지하수위 강하

터널공사 등의 지반굴착에 따른 지하수 유출 및 지하수위 강하 등을 예측 및 분석하는 가장 일반적이고 적절한 방법은 MODFLOW와 같은 지하수유동 모델을 이용하는 것이다. 예를 들어, MODFLOW의 경우에는 터널 등의 지반굴착을 시행하는 구간에는 DRAIN 패키지를 이용하여 구간 내로 유입되는 지하수유출량을 정량적으로 예측, 평가할 수 있다(아래 그림). 지반굴착을 수반하는 개발사업의 경우에는 차수공법 등의 유출지하수 저감기술 적용 전, 후의 지하수 유출량 및 지하수위를 지하수유동모델링을 통하여 평가한다. 그리고 지하수유출 평가 시에는 물수지분석을 수행하여 지하수유출 저감기술 적용 전, 후의 모델링 결과를 분석하여 적절한 평가가 이루어졌는지에 대해 검토할 필요가 있다.



자료:

<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/tunnel/pubs/nhi09010/06b.cfm>에서 재구성

<터널과 Drain 패키지>

2) 지하수오염 확산 평가

굴착공사 주변 지역에 지하수 잠재오염원이 있을 경우에는 지반굴착으로 인해 오염물질이 확산되어 현재 사용 중인 지하수관정으로 유입될 수 있는 가능성을 평가한다. 오염물질의 확산에 따른 지하수관정으로의 유입 가능성에 대한 평가는 지하수 유동 모델링에서 입자추적기법을 사용하거나 오염물질 거동 모델링을 이용하여 수행한다.

3. 저감대책과 사후영향조사 계획

지하수유출 저감대책

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 계획, 유출지하수의 이용 계획 등을 수립해야 한다.

공사 시

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

운영 시

운영 시에는 지하수 유출을 저감하기 위한 기술적 방법을 적용하는데, 저감기술의 선정은 지반조건, 지하수위, 굴착지반 주변 시설물, 경제성, 방수기술 수준을 고려하여 방·배수 계획을 수립, 적용하여야 한다.

터널공사의 경우 방·배수 계획은 다음과 같이 수립한다.

(1)터널공법

방수형식은 일반적으로 부분배수형 방수형식과 비배수형 방수형식으로 구분한다. 각 방수형식에 대한 설명은 다음 표와 같다.

<표> 부분배수형과 비배수형 방수형식의 비교

구분	부분배수형 방수형식 터널	비배수형 방수형식 터널
단 면		
개 요	<ul style="list-style-type: none"> • 숏크리트와 내부라이닝 사이에 방수층을 설치하여 터널내로 유입되는 물을 배수관으로 도수해서 터널밖으로 유도하는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> • 터널 전단면의 숏크리트와 내부라이닝 사이에 방수층을 설치하여 지하수의 유입을 완전히 차단하는 방법
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 무근콘크리트 라이닝으로도 가능 • 특수 대단면 시공이 가능 • 누수시 보수가 용이 • 공사비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리비 저렴 • 터널내부가 청결하며 관리가 용이 • 지하수위에 따른 주변환경에 영향을 주지 않음
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 유지관리비 고가 • 주변 지반의 침하나 지하수 이용에 문제 우려 	<ul style="list-style-type: none"> • 공사비 고가 • 특수 대단면에서는 단면이 커져서 비경제적 • 누수가 발생하면 완전보수가 곤란 • 경우에 따라 철근콘크리트 시공이 필요
적 용 사 례	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 대부분 터널형식에 적용됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 : 하천통과구간에만 일부 적용 • 독일 : 도심지하철에 적용(지하수고갈방지)
방 수 공 법	<ul style="list-style-type: none"> • 1겹 방수막+ 보통 콘크리트 라이닝 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내(배수터널과 동일) <ul style="list-style-type: none"> - 1겹 방수막+ 보통콘크리트라이닝 • 외국 <ul style="list-style-type: none"> - 2겹 방수막+ 보통콘크리트라이닝 - 1겹 방수막+ 수밀고강도콘크리트라이닝

완전방수는 사실상 어려우며 누수발생시 처리가 곤란하기 때문에, 실제로 국내 설계 및 시공여건상 배수형 방수형식 터널과 비배수형 방수형식 터널의 방수방법에는 큰 차이가 없다.

(2) 개착 터널

개착터널은 일반적으로 터널 개착부에서의 지하수위가 구조물 하단에 위치하여 지하수 영향이 작은 구조물에 적용하는데, 이 경우에는 공사비가 저렴하면서도 시공성이 용이한 아스팔트 방수공법을 적용하는 것이 가장 일반적인 방수공법이다. 지하수위가 구조물보다 높은 곳에 위치하여 지하수 영향이 클 것으로 예상되고 지하수 용출 등 배수조건이 불리

한 구간에는 시트방수를 적용한다.

유출지하수 이용 계획

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.

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

사후영향조사 계획

지반굴착 공사에 대한 지하수영향평가의 사후환경영향조사 시에는 지하수수질과 지하수위 모니터링을 주로 한다. 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. 이 외에도 유출지하수량을 분기 1회 주기로 지속적으로 모니터링하여 유출지하수 이용계획에 반영하도록 한다.

사후환경영향조사 시에는 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.

4. 지반굴착에 의한 지하수환경영향평가 시 주안점

지하수환경현황조사

지역현황조사 시 사업지역 중 터널 등의 지반굴착이 계획되어 있는 지역은 굴착구간의 지반상태, 터널의 경우 굴착구간 상부의 자연환경 상태 등 다음의 사항에 대해 정밀히 조사하여야 한다.

- 지반상태는 지구물리학적 조사, 지표지질조사 등을 적용하여 조사한 결과를 작성
- 터널의 경우 터널상부에 있는 습지, 천연샘과 인공샘, 자연하천 등의 현황을 정밀히 조사
- 수직갱의 설치 여부를 확인하고 설치 시에 공사방법, 진입도로의 계획을 작성
- 굴착 예정구간에서 이격거리 300m 이내에 분포하는 모든 지하수 관정에 대해 이용현황(위치, 관정굴착심도, 1일 채수량, 용도, 지하수위) 및 지하수오염유발시설 현황(지하유류탱크 및 유해화학물질 지하저장시설, 불법매립폐기물) 등을 조사

지하수환경영향평가 및 저감방안

- 지반굴착에 따른 지하수 영향이 있을 것으로 판단되는 경우 영향요소 추출 및 체크리스트를 작성한다.
- 시기적으로는 기존 자료조사와 현장조사를 환경영향평가 초안 단계에서 제시하도록 한다.
- 구간별 지하수위 저하의 정도, 저하기간, 회복기간 등을 예측
- 시추공 현장시험 등을 통한 사업지구 부지의 수리지질학적 자료(수리전도도, 저류계수, 증발산량, 강수량, 함양량, 지하수유출량, 하천분포 등)를 충분히 획득하여 터널예정구간 지하수영향조사의 기본입력자료로 사용
- 수치해석적 지하수유동모델링을 통하여 굴착예정 구간 내 지하수관정의 지하수위 하강량을 정량적으로 예측하고 지하수위 강하량이 해당 지하수 관정이용에 지장을 주는 것으로 나타날 경우 그에 따른 구체적인 저감방안을 수립
- 지하수-암석 상호화학반응으로 인해 산성지하수가 유출되는 굴착구간에서는 산성 지하수의 생성기작 및 이동시간, 오염범위 등을 구체적으로 예측하고 그에 따른 저감방안을 수립
- 터널의 경우에는 지반의 상태와 지하수영향을 정확히 예측하기 위한 수평시추 혹은 실험 시추계획의 타당성 여부를 검토(석회암이나 약대가 많은 지반인 경우 국내외 사례를 조사하고 그 성과를 비교, 검토)한다.

지하수유출량 평가

지하수 유출량 분석은 지하수유출 규모, 영향범위, 배수구 또는 양수시설의 계획 등의 실제 설계에 필요한 기본 자료로 사용되는 등 지반굴착에 따른 지하수환경영향 평가 시 가장 중요한 요소임을 인식하여야 한다. 뿐만 아니라, 지하수 유출량의 정확한 산정은 고압용수 돌출, 토사 유출 등을 사전에 예측가능하게 하므로 시공의 안전성 등에 매우 중요한 영향평가요소이다. 따라서 지하수유출량 평가의 신뢰도와 정확도를 확보하기 위해서는 기존 자료활용과 함께 현장조사를 통한 지하수환경현황조사가 충분하게 이뤄져야 한다.

5. 환경영향평가서 작성

터널공사 등과 같이 지반굴착을 수반하는 개발공사에 대한 지하수환경영향평가의 결과는 환경영향평가서의 수리·수문, 수질, 지형·지질 분야에서 정리, 작성한다.

지반굴착과 관련된 사업에 대한 환경영향평가서의 지하수 부문 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

가. 서론

- 1) 지반굴착 계획의 개요: 철도사업의 경우, 노선계획의 개요 등

나. 지역현황조사

- 1) 광역지질 및 지표지질 조사
- 2) 지질구조선 조사

3) 수문(水文) 및 수리지질(水理地質)현황 조사

가) 우물, 샘, 유출지하수 등의 이용현황

나) 하천의 현황

다) 잠재오염원 분포현황

4) 수리지질학적 특성 조사: 현장수리시험을 통해 수리상수 결정

5) 수질현황조사: 하천, 호소, 지하수의 수질현황 조사

다. 유출지하수량 및 지하수위 강하량 예측, 분석

1) 지반굴착에 의한 지하수유동 변화에 따른 지하수유출량 및 지하수위 강하량 예측

2) 저감대책 전,후의 지하수유출과 지하수위 강하량 비교 분석

라. 지하수 오염의 개연성 평가 - 지하수 유동의 변화와 잠재오염원의 분포, 공사구간의
오탁수 발생으로 인한 지하수오염의 개연성 평가

마. 저감대책과 사후영향조사 계획