

발간등록번호

11-1611000-000425-01

유출지하수 관리 요령

2 0 0 9

국 토 해 양 부

목 차

제 1 장 총론	1
1.1. 목적 및 배경	1
1.2. 기본 방향	2
1.3. 주요 내용	3
제 2 장 행정 절차 및 제도규정	5
2.1. 개요	5
2.1.1. 배경 및 목적	5
2.1.2. 적용 범위	5
2.2. 관련 법조문	6
2.3. 업무흐름도	8
2.4. 업무처리 요령	9
2.4.1. 지하수 유출 감소대책 수립 및 시행	9
2.4.2. 유출지하수 이용계획 수립 및 신고	9
2.4.3. 개선명령	13
제 3 장 유출지하수 감소를 위한 업무요령	17
3.1. 개요	17
3.1.1. 배경 및 목적	17
3.1.2. 적용 대상	18
3.2. 유출지하수 감소를 위한 업무처리 개요	18
3.2.1. 지하수 유출량 평가	20
3.2.2. 물순환 건전성 평가	20

3.3. 지하수 유출량 평가	21
3.3.1. 신규 시설물에서의 유출량 예측	21
3.3.2. 기존 시설물에서의 유출량 측정	26
3.4. 물순환 건전성 평가	27
3.4.1. 광역단위 물순환 건전성 평가	27
3.4.2. 지점단위 물순환 건전성 평가	28
3.5. 감소 대책	38
3.5.1. 신규시설 누수방지공법	38
3.5.2. 기존시설 누수방지공법	40
제 4 장 유출지하수 이용을 위한 업무요령	45
4.1. 개요	45
4.2. 유출지하수 이용을 위한 업무처리 개요	45
4.2.1. 시설물별 지하수 유출 특성	45
4.2.2. 이용현황	46
4.2.3. 이용원칙	46
4.3. 유출지하수 이용 평가	49
4.4. 유출지하수 이용	51
4.4.1. 일반적인 이용 방법	51
4.4.2. 유출지하수 인공함양	55
4.5. 유출 지하수 모니터링	59
4.5.1. 설계단계	59
4.5.2. 시공단계	60
4.5.3. 운영단계	60
4.5.4. 유출지하수 관측시스템 운영	61

제 1 장 총 론

1.1. 목적 및 배경

- 본 요령의 목적은 지하 시설물에서 발생하는 유출지하수를 효과적으로 감소시키고 효율적으로 이용하기 위한 구체적인 절차와 방법을 제시함으로써 지하수 및 지표수 순환체계의 건전성을 제고시키고 수자원으로서 지하수를 보다 체계적으로 관리함에 있다.
- 본 요령을 제정하게 된 배경은 유출지하수와 관련한 지하수법 규정이 있음에도 불구하고 이를 감소 또는 이용한 실적이 매우 저조하여, 이에 「유출지하수 관리 요령」을 제정하여 일선 행정기관 및 관계자에게 배포함으로써 유출지하수 감소 또는 이용을 활성화하고 수자원으로서 효용성을 증대시키고자 함에 있다.
 - 2001년 지하수법 개정시 유출지하수 감소 또는 이용을 법제화하여 터널, 지하철, 대규모 건축물 등 지하시설물에서 유출되는 지하수를 감소시키기 위한 대책을 수립·시행토록 하였으며 그럼에도 불구하고 일정 규모 이상으로 지하수가 유출되는 경우에는 이를 적극 이용토록 규정하고 있다.
 - 그러나 지하철 이외의 시설물에서는 유출지하수 현황을 제대로 파악하지 못하고 있으며, 실질적인 감소 대책이 수립·시행된 경우도 찾아보기 어려울 뿐더러 일부 유출지하수는 하천 유지용수 등으로 이용되고 있으나 이용도가 그다지 높지 않은 실정이다.
 - 또한, 지하수법에서는 유출지하수의 감소 또는 이용 대책 미이행자에게 벌금을 부과하도록 되어 있으나 이 또한 현재까지 부과된 실적이 없는 실정이다.

1.2. 기본 방향

- 본 요령에서는 유출지하수가 수자원 체계에 미치는 영향을 평가하여 그 영향이 미미할 때에는 유출지하수 감소 대책을 수립·시행토록 하며, 특히 지하수가 과도하게 개발되고 있는 지역에서는 개별적 지하시설물의 유출지하수 영향의 정도에 관계없이 지하수 유출을 억제하는 것을 기본 방향으로 설정하였다.
- 지하시설물에서 지하수가 유출되면 그 영향은 시설물에만 국한되지 않고 해당 지역의 지표수와 지하수 순환체계를 교란시킨다. 따라서 지하시설물이 위치한 구역의 물 순환건전화를 위하여 유출지하수는 원칙적으로 유출이 방지되어야 한다.
- 감소 대책의 시행에도 불구하고 유출지하수가 발생하는 경우에는 이용 방안을 수립, 적극적으로 이용토록 하며 이 경우 기본원칙은 구역의 물순환 건전성 제고에 두었다.
- 과거 개발위주 시대에서는 환경측면에서 하천 등 지표수체의 역할은 무시되어 현재의 하천 수량고갈, 습지 축소, 생태계 파괴, 수질 오염 등의 갖가지 문제점들을 야기하였다. 소득수준이 높아지고 환경의 중요성이 더욱 부각됨에 따라 지표수체의 중요성은 잘 인식되고 있으나 이미 지표수체의 건강성은 심하게 훼손된 상태이며 회복을 위해서 막대한 비용이 지출되고 있는 실정이다.
- 한편, 지하수는 상대적으로 양호한 상태를 유지하고 있으나 난개발 등으로 그 사정이 악화되고 있으며 일부 지역에서는 수위저하에 따른 수원고갈, 수질오염, 지반침하 등 다양한 지하수 장애가 지속적으로 발생하고 있다.
- 이러한 측면에서 지표수-지하수 순환을 고려한 물순환 건전성 문제는 매우 중요한 사안이라 볼 수 있다.

- 유출지하수는 대수층에서 지하수를 배출한다는 점에서 지하수 우물과 동일하나 지하수를 이용 목적으로 배출함이 아니라는 점에서 우물과 상이하다. 지하 시설물에서 유출되는 지하수는 이용 목적이 아니고 시설물의 비용 절감을 위하여 배출되고 그대로 버려지는 경우가 많다. 따라서 시설물의 편익을 위하여 절감된 비용의 일부는 지하수 순환계의 건전성을 회복시키는데 투자되어야 할 것이며 유출지하수도 이러한 기본방향에 맞추어 그 이용 방안을 모색하였다.

1.3. 주요 내용

- 본 요령서는 크게 총론, 행정절차 및 제도 규정, 유출지하수 감소를 위한 업무수행 부문 그리고 유출지하수 이용을 위한 업무수행 부문 등으로 구성되어 있으며 유출지하수와 관련된 업무를 수행하는 데 필요한 행정처리 요령과 기술적인 정보를 찾아볼 수 있도록 구성하였다.
- **제1장 총론**에서는 유출지하수 감소 또는 이용방안과 관련한 요령 제정의 목적 및 배경, 요령 제정의 기본 방향에 관하여 언급하였다.
- **제2장 행정절차 및 제도 규정**에서는 지하수법 중 유출지하수 관련 조항의 연혁, 지하수 행정의 흐름, 관련 행정업무별로 배경 및 목적과 적용범위 등을 규정하였다.
- **제3장 유출지하수 감소를 위한 업무요령**에서는 지하수법 제9조의2 제1항에 의한 유출지하수 감소 업무를 수행하는 데 필요한 기술적인 사항을 제시하였다.
- **제4장 유출지하수 이용을 위한 업무요령**에서는 지하수법 제9조의2 제2항에 의한 유출지하수 이용 업무를 수행하는 데 필요한 기술적인 사항을 제시하였다.

제 2 장 행 정 절 차 및 제 도 규 정

2.1. 개요

2.1.1. 배경 및 목적

- 국가 산업경제의 발달로 인해 대형 토목공사가 전국 각지에서 이루어지고 있으며, 이에 따른 대형 지반굴착으로 인하여 양질의 지하수가 다량 유출되고 있으나 수자원으로 이용할 수 있는 관련 규정이 없는 실정이었다.
- 이에 따라 지하수법 제3차 개정시(2001년)에는 지하철·터널·건축물 등의 공사를 시행하는 경우 굴착 공사로 인하여 유출되는 지하수가 최소화될 수 있도록 대책을 수립·시행토록 하고, 공사 완료 후에도 계속 유출되는 지하수에 대하여는 그 이용을 의무화함으로써 지하수 이용을 극대화하도록 규정한 바 있다.
- 따라서 본 장에서는 지하수법에서 규정하고 있는 유출지하수 관련 법 조항에 대하여 상세히 살펴보고, 이에 근거한 효율적인 유출지하수 관리방안을 제시하고자 한다.

2.1.2. 적용 범위

- 유출지하수 관련 업무는 크게 감소대책과 이용방안으로 구분되며 각각에 대한 적용범위는 다음과 같다.
 - 지하수의 유출 감소대책을 수립·시행하여야 할 대상은 다음과 같다.
 - 지하철·터널 등의 지하시설물을 설치하고자 하는 자
 - 특별시 또는 광역시에 층수가 21층 이상이거나 연면적이 10만㎡이상인 건축물을 설치하고자 하는 자

- 또한, 유출지하수 이용계획을 수립·시행하여야 할 대상은 상기 시설물의 준공 후에도 다음과 같이 지하수가 유출되는 경우이다.
 - 지하철역사 1개소에서 1일 300톤 이상 유출되는 경우
 - 터널 1개소에서 1일 300톤 이상 유출되는 경우
 - 건축물 1동에서 1일 30톤 이상 유출되는 경우

2.2. 관련 법조문

지하수법

제9조의2 (유출지하수의 이용 등)

①지하철·터널 등의 지하시설물을 설치하고자 하는 자 또는 국토해양부령이 정하는 규모 이상의 건축물 그 밖의 시설물을 설치하고자 하는 자는 이로 인하여 지하수가 유출되는 경우 이를 감소시킬 수 있는 대책을 수립·시행하여야 한다.

②제1항의 규정에 의한 대책에도 불구하고 당해 시설 또는 건축물 등의 준공후 국토해양부령이 정하는 규모 이상으로 지하수가 유출되는 때에는 국토해양부령이 정하는 바에 따라 이를 대통령령이 정하는 용도로 이용할 수 있도록 이용계획을 수립하여 시장·군수에게 신고하여야 한다.

③시장·군수는 제1항의 규정에 의한 지하수의 유출감소대책을 시행하지 아니하는 자 또는 제2항의 규정에 의한 유출지하수의 이용계획을 시행하지 아니하거나 이용률이 현저히 낮다고 인정되는 자에 대하여는 국토해양부령이 정하는 바에 따라 기간을 정하여 그 개선을 명하여야 한다.

지하수법 시행령

제14조의2 (유출지하수의 용도)

법 제9조의2제2항에서 "대통령령이 정하는 용도"라 함은 다음 각 호의 용도를 말한다.

1. 생활용수 중 소방용·청소용·조경용 또는 공사용
2. 그 밖에 시장·군수가 필요하다고 인정하는 용도

□ 지하수법 시행규칙

제9조의2 (유출지하수의 이용 등)

①법 제9조의2제1항에서 "국토해양부령이 정하는 규모 이상의 건축물"이라 함은 특별시 또는 광역시에 건설하는 건축물로서 그 층수가 21층 이상이거나 연면적이 10만제곱미터 이상인 건축물을 말한다.

②법 제9조의2제2항에서 "국토해양부령이 정하는 규모"라 함은 다음 각 호의 구분에 의한 지하수 유출량의 규모를 말한다.

1. 지하철 역사 1개소 : 1일 300톤
2. 터널, 전력구, 통신구 각 1개소 : 1일 300톤
3. 제1항의 규정에 의한 건축물 1동 : 1일 30톤

③법 제9조의2제2항의 규정에 의하여 유출지하수의 이용계획을 수립하여 신고하고자 하는 자는 별지 제12호의2서식의 유출지하수이용계획신고서에 다음 각호의 서류를 첨부하여 시장·군수에게 제출하여야 한다.

1. 유출지하수의 유량측정자료 및 수질검사서
2. 유출지하수의 이용계획

④제3항의 규정에 의하여 신고를 받은 시장·군수는 신고인에게 별지 제12호의3서식의 유출지하수이용계획신고증을 교부하여야 한다.

⑤시장·군수는 법 제9조의2제1항의 규정에 의한 지하수의 유출감소대책을 시행하지 아니하는 자 또는 동조제2항의 규정에 의한 유출지하수의 이용계획을 시행하지 아니하거나 이용률이 현저하게 낮다고 인정되는 자에게 동조제3항의 규정에 의하여 그 개선을 명하고자 하는 때에는 그 사유·이행기간 등을 명백히 하여 문서로 통보하여야 한다.

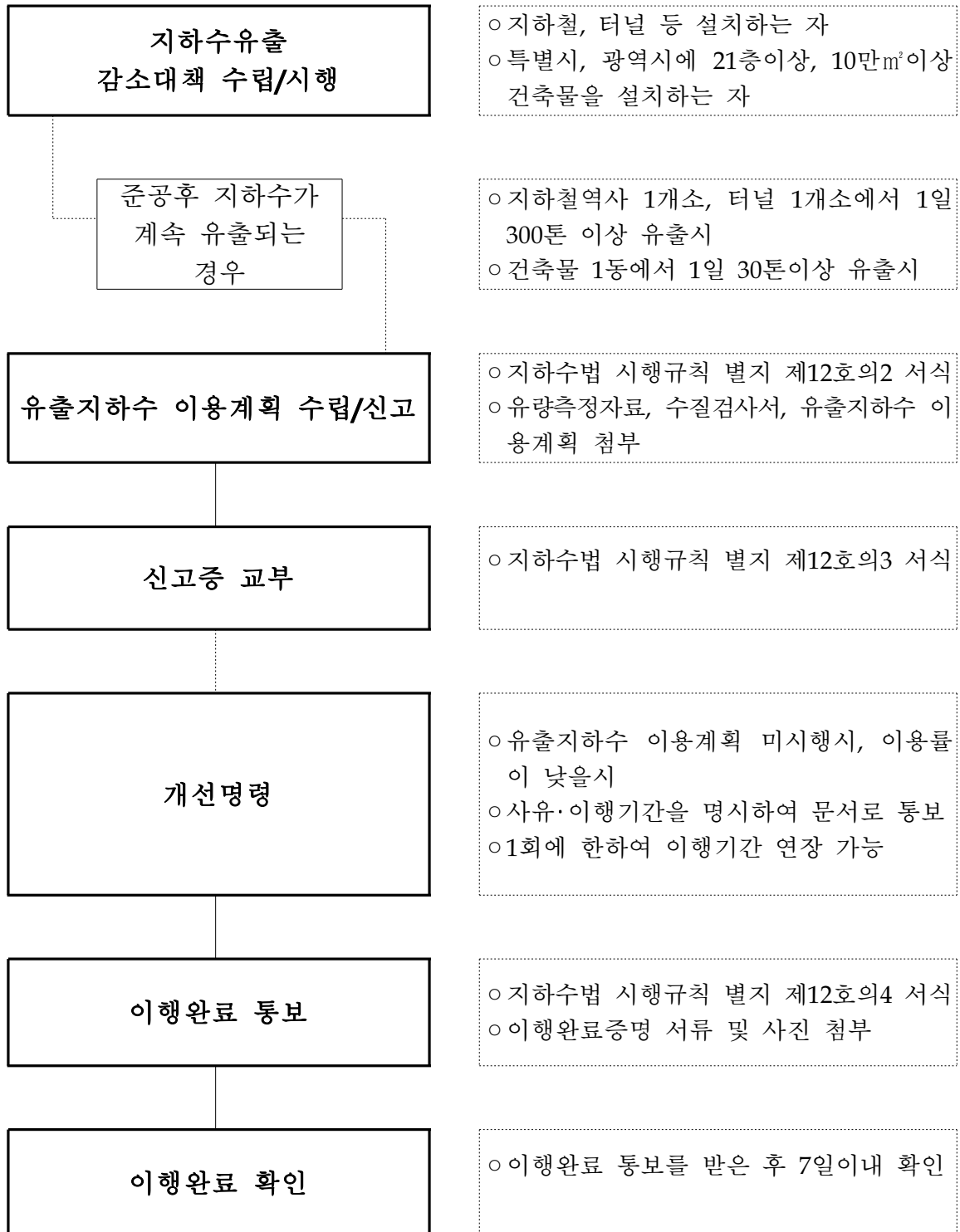
⑥시장·군수는 천재·지변 그 밖의 부득이한 사유로 인하여 제5항의 이행기간내에 개선의 명령을 이행하지 못한 자에 대하여 1회에 한하여 당초의 이행기간의 범위내에서 이를 연장할 수 있다. 이 경우 이행기간을 연장받고자 하는 자는 당초의 이행기간이 만료되기 3일전까지 시장·군수에게 기간연장을 신청하여야 한다.

⑦제5항의 규정에 의하여 통보를 받은 자가 그 개선의 명령을 이행한 경우에는 그 이행한 날부터 15일 이내에 별지 제12호의4서식의 개선명령이행완료통보서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 시장·군수에게 제출하여야 한다.

1. 개선명령의 이행완료를 증명할 수 있는 서류
2. 현장사진

⑧시장·군수는 제7항의 규정에 의한 개선명령이행완료통보서를 제출받은 경우에는 그 제출받은 날부터 15일 이내에 그 이행완료 여부를 확인하여야 한다.

2.3. 업무흐름도



2.4. 업무처리 요령

2.4.1. 지하수 유출 감소대책 수립 및 시행

- 지하철, 터널 등 지하시설물을 설치하거나 특별시 및 광역시에 설치되는 대형 건축물의 경우, 공사시 지하수가 유출되거나 예상되는 경우 대상 시설물의 사업자는 유출지하수가 환경 등에 미치는 영향을 조사하고 그 영향 정도에 따라 적절한 유출지하수 감소대책을 수립하여야 한다(세부사항 제3장 참조).
- 지하수 유출량은 기존시설의 경우 측정되어야 하며 신규시설의 경우 보수적으로 예측되어야 한다.
- 지하수 유출 영향 평가는 시설물이 설치되는 지역의 지질특성, 지하수 현황, 지하수위 변동특성, 시설물의 규모, 공법별 유출지하수 발생량 예측 또는 측정치, 지표수 또는 지하수 환경에 미치는 영향, 지반환경에 미치는 영향 등의 항목을 포함하여야 한다.
- 모든 지하수 유출시설에 대한 적정한 관측시설이 필요하며 시장·군수·구청장(이하 “시장·군수”라 함)은 사업자에게 이를 시행토록 조치한다.

2.4.2. 유출지하수 이용계획 수립 및 신고

- 현행 지하수법에서 유출지하수 이용 의무가 부과되는 대상 및 유출 지하수의 양은 다음과 같다.
 - 지하철 : 1일 300톤 이상
 - 터널 : 1일 300톤 이상
 - 특별시 또는 광역시에 건설하는 건축물로서 그 층수가 21층 이상이거나 연면적이 10만㎡ 이상인 건축물 : 1일 30톤 이상

HELP

✓ 건축물의 경우에는 유출지하수의 양이 지하철, 터널 등에 비하여 상대적으로 적으며 유출 지하수를 이용하기 위해서는 기존 저수조 및 배관과는 별도의 설비 설계 및 공사가 요구됨에 따라 국민 부담을 감안하여 지하수법에 의하여 유출지하수 이용 의무가 부과되는 건축물을 건축법 제8조제1항의 규정에 의하여 특별시장 또는 광역시장의 건축허가를 받아야 하는 대형건축물로 한정한다.

□ 유출지하수 감소대책을 수립, 시행함에도 불구하고 지하수법에서 규정하고 있는 유출지하수 이용 의무가 부과되는 지하수 유출량이 발생할 경우 유출지하수를 이용할 수 있도록 이용계획을 수립한 후 다음의 서류를 구비하여 시장·군수에게 신고하여야 한다.

- 지하수법 시행규칙 별지 제12호의2 서식 ‘유출지하수이용계획신고서’
- 유출지하수 유량측정자료 및 수질검사서
- 유출지하수의 이용계획

HELP

✓ 유출지하수 신고는 유출지하수 감소대책을 수립·시행함에도 불구하고, 유출되는 지하수의 이용에 한한 것이며, 당 시설물이나 건축물에서 지하수를 이용하기 위하여 지하 굴착 후 집수정을 설치하는 등 지하수를 개발하는 경우에는 시설 용량에 따라 신고 또는 허가를 받도록 하여야 한다.

✓ 지하수 유출량은 최종적으로 집수되어 배출되는 수량을 의미한다. 예를 들어 지하철의 경우 일정 구간에서 유출되는 지하수가 집수되어 A역사로 배출될 경우 그 수량을 A역사의 유출량으로 하며, 터널의 경우 입출구부로 배수되는 유량을 본 시설물의 지하수 유출량으로 한다. 따라서 지하수 유출량을 확인하기 위해서는 당해 공사의 관리자로 하여금 최종 배출지점에 노치(Notch) 등과 같이 유량을 측정할 수 있는 장치를 설치토록 유도하는 것이 바람직하다.

□ 유출지하수의 이용용도

- 생활용수 중 소방용·청소용·조경용 또는 공사용
- 그 밖에 시장·군수가 필요하다고 인정하는 용도

□ 유출지하수이용계획 신고를 받은 시장·군수는 신고증을 교부한다.

- 지하수법 시행규칙 별지 제12호의3 서식 ‘유출지하수이용계획신고증’

유출지하수 관리 요령

[별지 제12호의3서식] <신설 2002.1.4.>

신고번호 제 호 유출지하수이용계획신고증					
신고인	상호 또는 명칭				
	대표자 또는 성명(개인)		법인등록번호 (주민등록번호)		
	소재지 또는 주소(개인)	(전화 :)			
위치					
지하수유출량	m ³ /일	이용계획량	m ³ /일	용도	
<p style="text-align: center;">지하수법 제9조의2제2항의 규정에 의하여 유출지하수의 이용계획을 신고하였으므로 이 증을 교부합니다.</p> <p style="text-align: right; margin-right: 100px;"> 년 월 일 시 장 군 수 인 구 청 장 </p>					

210mm×297mm(일반용지 60g/m²(재활용품))

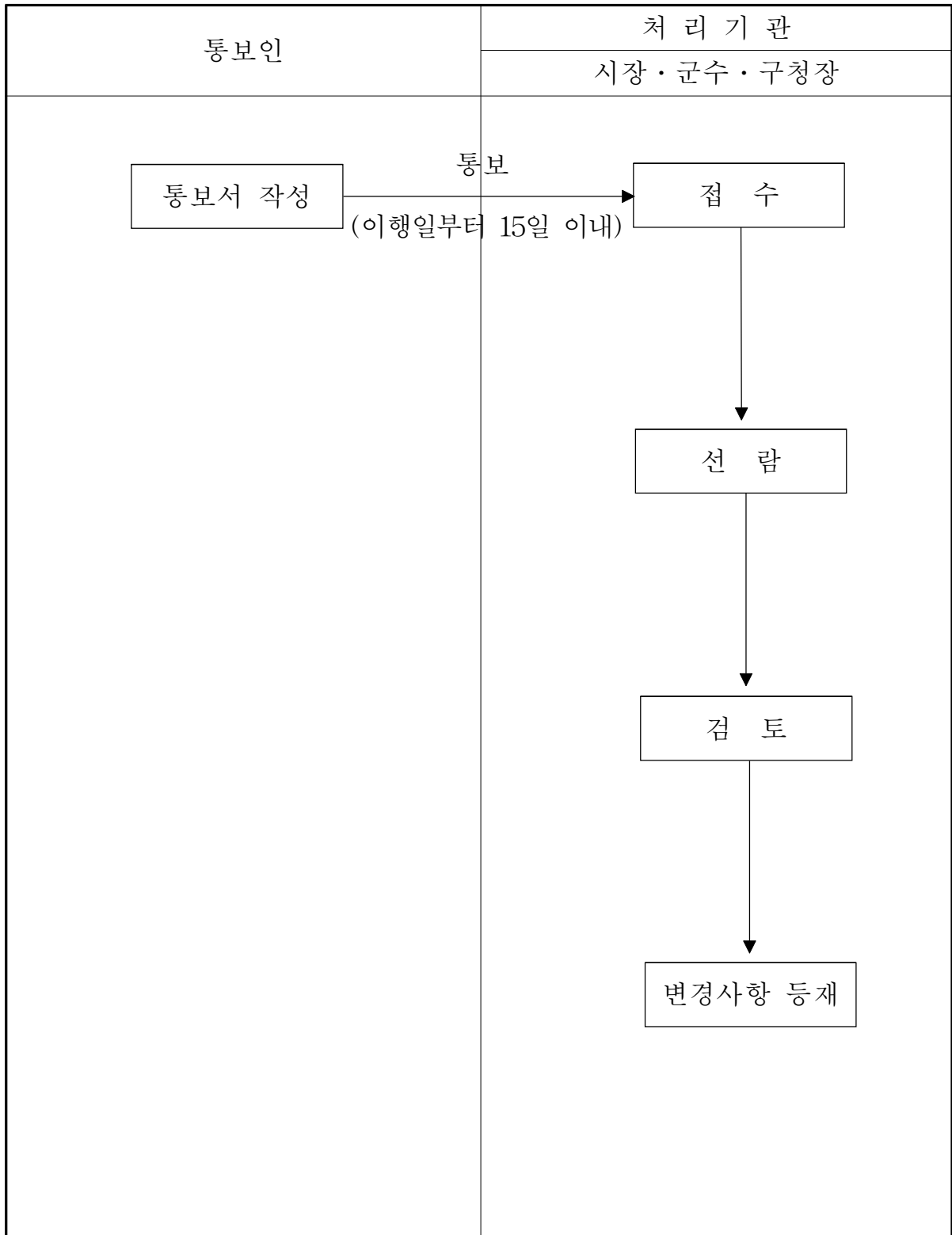
- 지하수법 제9조의2 제2항의 규정에 의한 이용계획의 신고를 하지 아니한 자는 동법 제39조 규정에 의하여 500만원 이하의 과태료를 과한다.

2.4.3. 개선명령

- 시장·군수는 사업자가 유출 감소대책을 시행하지 않은 경우 또는 유출 지하수 이용계획을 시행하지 아니하거나 이용률이 현저하게 낮다고 인정되는 경우에 기간을 정하여 개선명령을 내려야 한다. 이 때 사유, 이행기간 등을 명백히 하여 문서로 통보하여야 한다.
- 천재지변이나 기타 부득이한 사유로 이행기간 내 개선명령을 이행하지 못한 경우에는 1회에 한하여 이행기간을 연장할 수 있으며, 이 경우 이행기간 만료 3일전까지 기간연장을 신청하여야 한다.
- 개선명령을 이행한 경우에는 15일 이내에 개선명령 이행완료 증명할 수 있는 서류와 현장사진을 첨부하여 시장·군수에 제출하여야 한다.
- 개선명령이행완료통보서를 받은 때에는 15일 이내에 그 이행완료 여부를 확인하여야 한다.

(뒤 쪽)

이 통보서는 아래와 같이 처리됩니다.



제 3 장 유출지하수 감소를 위한 업무요령

3.1. 개요

3.1.1. 배경 및 목적

- 본 장에서는 지역의 물순환 체계의 건전성 제고 측면을 고려하여 신규 또는 기존 지하 구조물의 지하수 유출의 영향을 평가하고 적절한 감소 대책을 수립하고 시행하는 방법을 제시하고자 한다.
- 터널, 지하철, 건축물에서 유출되는 지하수는 지하수 순환체계에 영향을 미친다는 점에서 지하수 우물과 동일하지만 교란의 정도를 비교하면 지하수 우물에 비하여 훨씬 크다. 즉, 지하수 우물은 수평 공간에서 점형(點形) 강하에 불과하지만 터널이나 지하철은 선형(線形) 강하, 그리고 대규모 건축물 굴착현장은 면적형(面積形) 강하에 속하므로 같은 대수층 조건에서는 지하구조물에서 훨씬 더 많은 지하수가 유출된다.
- 따라서 지하구조물에서는 원칙적으로 지하수 유출을 방지하는 것이 원칙이다. 다만 구조물의 안전에 위협이 되거나, 시공 및 유지관리비가 과다하게 소요되는 등의 부득이 한 경우에는 지하수 유출을 배제할 수 없는 경우도 있으나 이러한 경우에도 그 부담이 전적으로 지하수 순환체계로 전가되는 것은 바람직하지 못하다. 특히 비용 절감 차원에서 지하수를 배출시킨다면 절감된 비용의 상당 부분을 지하수 순환체계를 복구 시키는 데 환원되어야 할 것이다.
- 지하 시설물에서 지하수 유출은 우물에서의 통상적인 지하수 이용과 마찬가지로 지하수 순환체계에, 더 나아가 유역의 지하수-지표수 순환 체계에 영향을 미친다. 지하수위 저하로 인한 부정적 영향은 수원고갈, 식생고사, 수질악화, 지반침하 등이 있다.

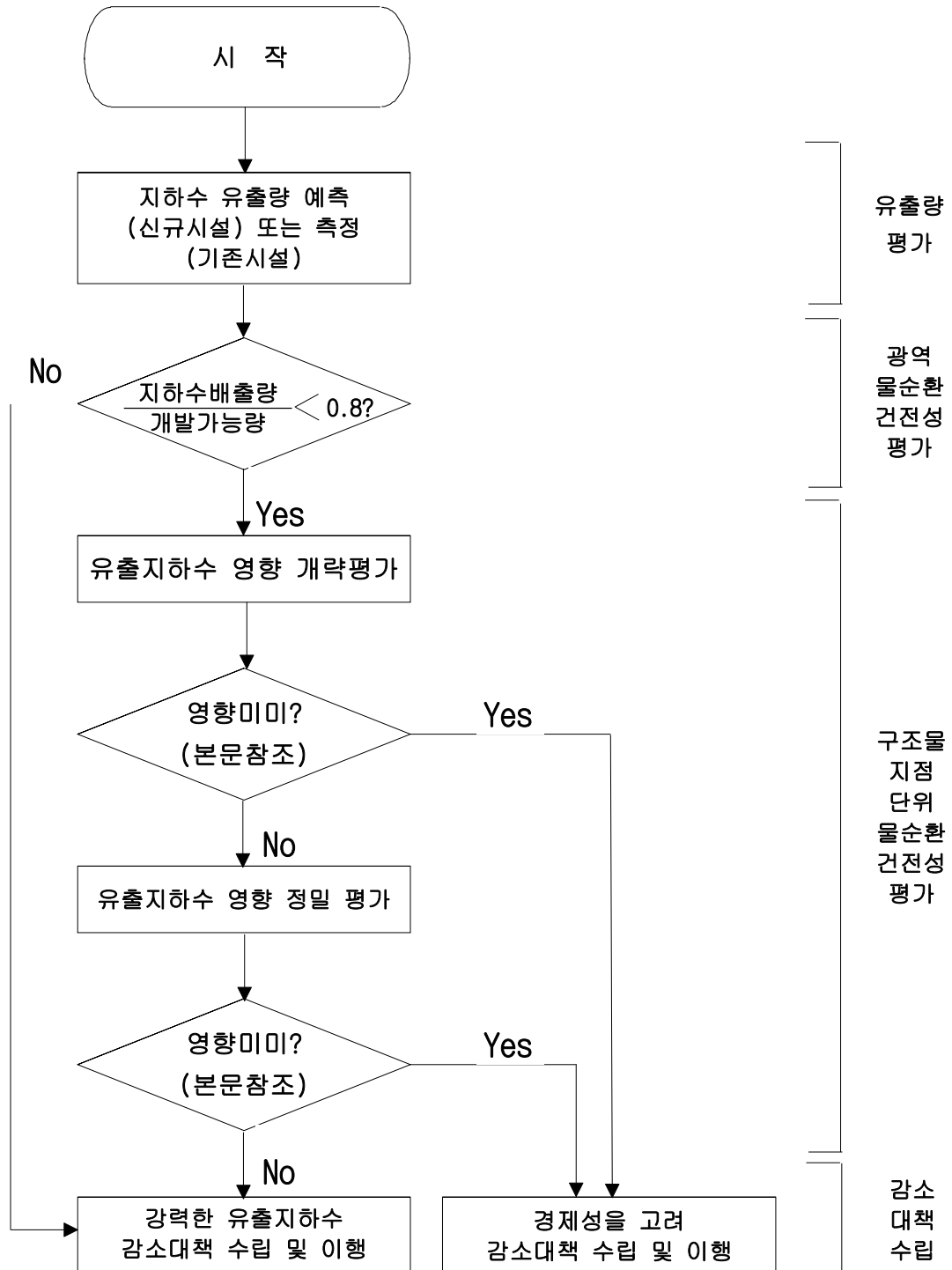
3.1.2. 적용 대상

- 유출지하수 감소대책을 수립·시행하여야 하는 적용대상은 다음과 같다.
 - 지하철·터널 등의 지하시설물을 설치하고자 하는 자
 - 특별시 또는 광역시에 층수가 21층 이상이거나 연면적이 10만 m² 이상인 건축물을 설치하고자 하는 자

3.2. 유출지하수 감소를 위한 업무처리 개요

- 유출지하수 감소를 위한 업무수행 흐름은 다음과 같다.
 - 신규시설인 경우는 지하시설물에서 발생하는 지하수 유출량을 예측하여야 하고 기존시설인 경우는 실측하도록 한다.
 - 유출지하수 발생시설이 위치한 지역의 지하수 사용량이 적정 지하수 개발가능량의 80%를 초과하면 유역의 물건전성에 문제가 발생하므로 지하수 과다 개발을 방지하기 위하여 지하수 유출을 원천적으로 억제할 수 있는 유출 감소대책을 수립하여야 한다.
 - 지하수계에 대한 유출지하수 영향이 미미할 경우 경제성을 고려한 최소한의 유출을 허용하는 감소대책을 수립하도록 한다.
 - 지하수계에 대한 유출지하수 영향이 큰 것으로 판단될 경우 유출지하수에 대한 정밀평가를 시행하고 그에 따라 감소대책을 수립한다.

□ 유출지하수 감소 업무 상세 흐름 순서도는 다음과 같다.



【 유출지하수 감소를 위한 업무 흐름도 】

3.2.1. 지하수 유출량 평가

- 지하수 유출량의 평가는 신규 시설물과 기존 시설물 경우로 구분하여 평가한다.
 - 신규 시설물
신규 시설물을 설치할 경우 경제성을 고려하여 선정된 시공방법에 대하여 유출량을 예측 평가한다. 유출량 예측절차의 개요는 다음과 같다.
 - 우선 '3.3.1 신규 시설물에서의 지하수 유출량 예측' 방법에서 제시된 지하수 유출량 개략 평가방법에 따라 보수적으로 산정된 매개변수와 해석해를 이용하여 개략적으로 평가한다.
 - 필요한 경우 '3.3.1 신규 시설물에서의 지하수 유출량 예측' 방법에서 제시된 지하수 유출량 정밀 평가방법에 따라 상세 조사와 수치모델을 이용하여 정밀하게 평가한다. 이 때 불확실성을 고려하여 최대 보수적으로 평가하여야 한다.
 - 기존 시설물
시설 형태에 적합한 방법으로 지하수 유출량을 측정하여 '4.5. 유출 지하수 모니터링' 방법에서 제시된 방법에 의해 기존 시설물의 지하수 유출량을 측정한다.

3.2.2. 물순환 건전성 평가

- 유출지하수가 발생하는 시설물을 설치할 경우 이 시설물이 유역 내 지하수계에 미치는 영향과 지표수와 의 물순환구조에 미치는 영향을 분석하여 유역내 물순환 건전성을 평가하여야 한다. 이 때 지하시설물이 위치한 인접지역 외에 지하시설물이 입지한 유역의 광역적 물순환 건전성에 미치는 영향을 함께 평가한다. 물순환 건전성 평가와 관련된 상세한 내용은 '3.4 물순환 건전성 평가'에 서술되어 있다.

□ 광역단위 물순환 건전성 평가

- 광역단위 물순환 건전성 평가는 유출지하수 시설이 위치한 유역 또는 지역에 대해 광역적으로 지하수 사용이 유역의 전체 물순환 건전성에 어떠한 영향을 주는지 평가하는 것이다.
- 이는 해당 유역 전체를 대상으로 산정된 적정 지하수 개발가능량과 실제 개발된 지하수량의 과다 여부로 물순환 건전성을 평가하게 된다. 만약 유출 지하수 시설이 설치되는 지역에서 지하수가 과다하게 개발되었을 경우 강력한 유출 감소 대책을 수립하여야 한다.

□ 지점단위 물순환 건전성 평가

- 지점단위 물순환 건전성 평가는 광역단위에서 지하수가 적정 지하수 개발가능량 대비 이용량이 과다하지 않을 경우에 평가하는 것으로 지하 구조물 인접지역에서 물순환 건전성을 평가하는 것이다.
- 이 경우 유출지하수가 인근의 우물, 지표수체, 지반침하 등에 미치는 부정적 영향 등을 평가한다. 만약 부정적 영향이 큰 경우 강력한 유출지하수 감소 대책의 수립이 필요하며 또한 부정적 영향이 크지 않은 경우에는 경제성 등을 고려하여 감소대책을 수립하여야 한다.

3.3. 지하수 유출량 평가**3.3.1. 신규 시설물에서의 유출량 예측**

□ 지하수 유출량 개략 예측 방법

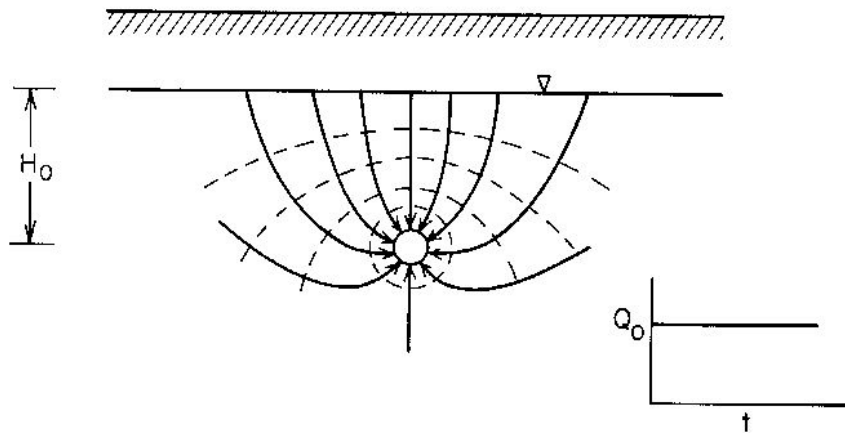
- 터널식 지하공동에서 지하수 유출량
 - 다공질 매질에 설치된 경우
 - 터널이나 지하철 등은 지하에 형성된 공동으로 이루어진다. 터널

내의 기압은 대기압이며 지하수위가 터널보다 높으면 지하수는 터널내로 유입되려는 성향을 갖는다. 터널은 한 방향 길이가 나머지 방향 길이보다 훨씬 더 큰 선형 강하의 특성을 가진다.

- Goodman 등(1965)은 반경 r 인 터널이 정상상태의 배수거로 거동을 할 때 터널의 단위길이 당 지하수 유입량이 다음과 같다고 제시하였다.

$$Q_0 = \frac{2\pi KH_0}{2.3\text{Log}(2H_0/r)} \quad (\text{식 3-1})$$

여기서 K 는 투수계수(수리전도도), H_0 는 터널 상부에서 측정한 지하수위이다. 상기 식은 터널의 지하수 유출에도 불구하고 지하수위에 변동이 없을 때 적용이 가능하므로 유출량의 보수적 평가에 적합하다.



【지하공동내 정상상태에서의 지하수 유출 모식도】

- 열극 암반에 설치된 경우

HELP

✓ 열극은 암석이 서로 떨어져 생긴 틈을 말한다. 암석이 강도를 넘는 힘을 받으면 파괴되어 어느 면을 따라 깨어지는데 이러한 깨어진 면을 열극이라 한다. 파단면, 균열 또는 단열이라고도 한다.

- 터널이 암반층을 관통할 때에는 열극에 의하여 지하수 흐름이 좌우되는 경우가 많다. 열극내의 지하수 흐름은 열극의 기하학적 특성과 연결성을 파악하기 전에는 정확하게 예측하는 것이 불가능하다. 터널이나 지하철 등과 같은 구조물을 위한 기본조사에서는 열극에 대한 정밀조사를 수행하는 것이 현실적으로 불가능하다. 따라서 제한적으로 조사된 열극 자료를 이용하여 지하수유출량을 예측하기 위해서는 열극망을 등가다공질(equivalent porous medium) 매질로 취급하는 것이 현실적 방법이다.
- Snow (1968)는 열극이 3방향에서 상호 직교하는 열극암반의 경우 등방성(isotropic) 매질로 취급할 수 있다고 하였다. 이 때 투수계수는 다음과 같다.

$$K = \frac{\rho g N b^3}{6\mu} \quad (\text{식 3-2})$$

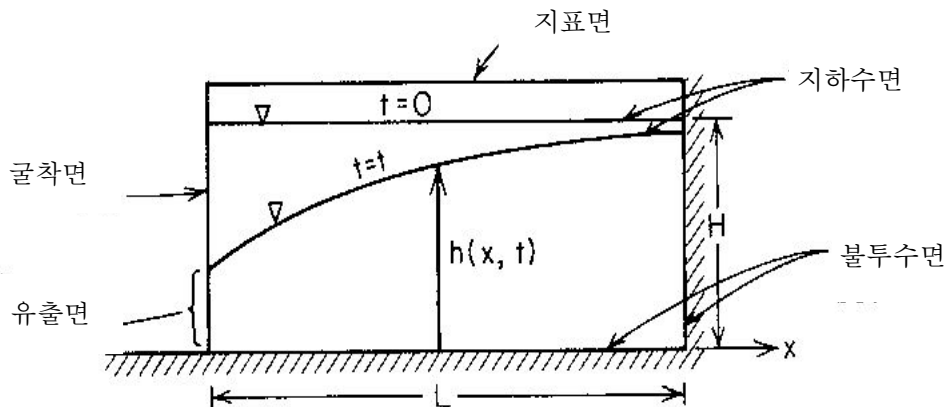
여기서, ρ 는 물의 밀도, g 는 중력가속도, μ 는 물의 점성계수, N 은 암반 절개면의 단위 길이 당 열극의 수, b 는 열극 간격이다. 이 열극 시스템의 공극율은 $n=3Nb$ 이다.

- 따라서 열극암반 내 터널의 지하수 유출량(Q_0)은 아래 식으로 산정할 수 있다.

$$Q_0 = \frac{2\pi K H_0}{2.3 \text{Log}(2H_0/r)} \quad (\text{식 3-3})$$

○ 굴착면에서 지하수 유출량 평가방법

- 건축물이나 터널을 개착식으로 시공하는 경우에는 유출 지하수의 특성이 터널식의 경우와 상이하다. 지반을 지하수면보다 낮은 심도로 굴착하면 지하수가 굴착면으로 유출되며 이 상황은 다음 그림과 같이 단순화시켜 나타낼 수 있다.



【굴착면 지하수 유출 모식도】

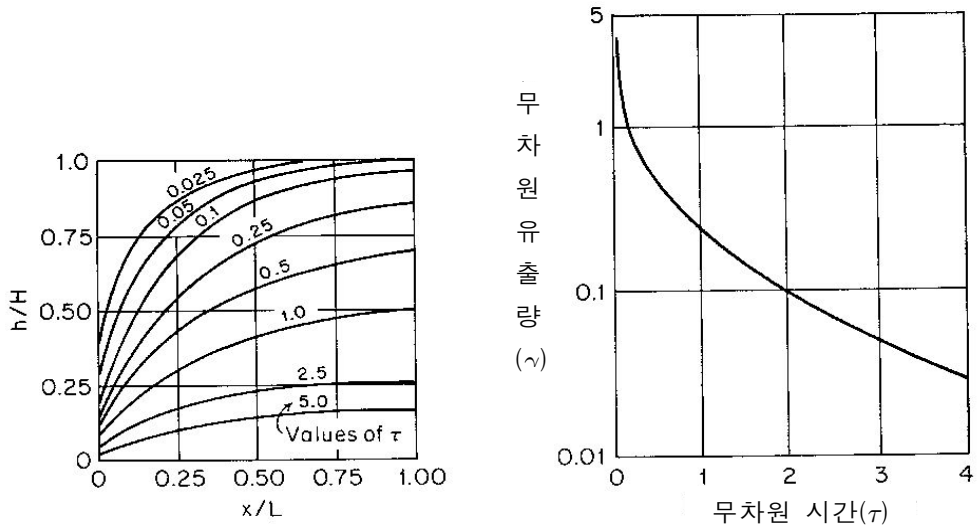
- 여기서 H 는 굴착 이전의 기반암으로부터 측정된 지하수면의 높이, L 은 굴착면과 연직 차수층 사이의 거리이다. 연직 차수면이 없는 현장의 경우에는 큰 L 값을 사용하여 차수면의 영향을 최소화할 수 있다. $h(x,t)$ 는 유출 지하수로 인한 지하수위의 변화를 나타낸다.
- Ibrahim과 Brutsaert (1970)은 실험실 모델을 이용하여 유출 현상을 해석하였다. 무차원 지하수위 분포 h/H 는 무차원 공간 좌표 x/L 의 함수와 무차원 시간 τ 의 함수로 아래 그림에 제시되었다.

$$\tau = \frac{KH}{S_y L^2} t \quad (\text{식 3-4})$$

굴착면의 단위 폭당 지하수 유출량 $q[L^2/T]$ 는

$$q = \frac{\gamma KH^2}{S_y L} \quad (\text{식 3-5})$$

여기서 γ 는 무차원 유출량으로 다음 그림과 같다.



【굴착면 유출로 인한 지하수위 및 지하수 유출량의 시간적 변화】

- 상기 결과는 굴착면의 단위길이당 유출량(q)이므로 굴착면의 전체거리(W)를 곱하면 총 유출량(Q_0)을 구할 수 있다.

$$Q_0 = q \cdot W \quad \text{(식 3-6)}$$

이 때, 유출량의 보수적 평가를 위하여 무차원 시간 $\tau=0.1$ 시간의 유출량을 정상상태 값으로 사용한다.

□ 지하수 유출량 정밀 예측 방법

- 실제 현장의 경우 지층이 등방성 균질 매질로 보기 어려운 경우가 많다. 또한 시설물 인근에 지하수 흐름에 영향을 미치는 관정이나 지표수체 등이 존재할 수도 있으므로 전술된 단순한 모델을 보수적으로 적용하여 산출된 결과가 지하수 유출량을 지나치게 과대 평가 되었다고 생각되는 경우에는 현장 여건을 잘 반영할 수 있는 수치모형을 이용하여 지하수 유출량을 정밀하게 평가함이 필요하다.
- 지하수 흐름을 모의하는 수치모형은 매우 많으나 여기서는 보편적으로 사용되는 범용 지하수 흐름모형을 제시한다.

- 지반이 다공질 매질인 경우에는 미국 지질조사소(USGS)에서 개발하여 무상으로 제공하는 MODFLOW(McDonald and Harbow, 1988)가 가장 보편적으로 사용되는 프로그램이다.

HELP ✓ MODFLOW는 3차원 지하수 유동 및 다공질 포화 매질 내에서의 지하수 유동을 모사하는 프로그램이다.
✓ 유한차분법에 기초한 수치해석을 수행하여 지하수대의 수두에 관한 해를 구하여 해당 영역에 대한 수두분포를 파악한다.
✓ 다양한 수리조건에 대한 모사가 가능하다.

- 지반이 열극 암반일 경우에는 선택할 수 있는 수치모델이 그다지 많지 않다. 산악 암반 지역의 터널 굴착 시 예상되는 지하수 유출량을 평가하기 위하여 MAFIC을 이용할 수 있다.

HELP ✓ MAFIC은 유한요소법을 이용하여 열극암반 내의 지하수 흐름과 용질의 수송 현상을 모의하는 수치모델이다.
✓ MAFIC은 열극을 삼각형 유한요소 또는 1차원 관로 모델로 나타낼 수 있다.
✓ 열극 암반 매질을 이중 다공질 매질로도 나타낼 수 있다.
✓ 용질의 수송과 열전달에서는 입자추적 방법을 사용하며, 확산은 무작위 방법으로 해석된다.
✓ Matrix 분산, 지연 그리고 흡착 등이 고려된다.

3.3.2. 기존 시설물에서의 유출량 측정

- 도로나 철도 터널의 경우와 같이 터널 내 측구를 이용하여 유출지하수를 자연배수 하는 경우에는 유출 종말 지점에 위어(weir)를 설치하여 월 1회 유출량을 측정하도록 한다.
- 지하철 등 유출 지하수를 집수정에서 모아서 강제 배수할 경우, 펌프가 간헐적으로 가동되는 경우에는 자동 지하수위 측정기나 펌프 가동-정지(on-off) 측정 횟수를 이용하여 유출 지하수를 측정하고, 펌프가 상시 가동되는 경우에는 유량계나 계량기를 이용하여 측정하도록 한다.

- 유출지하수 모니터링 시에는 '4.5. 유출지하수 모니터링'을 따른다.
- 시설 관리기관에 대한 지하수 유출량 보고는 년 1회로 한다.

3.4. 물순환 건전성 평가

3.4.1. 광역단위 물순환 건전성 평가

- 물순환 건전성 평가는 광역단위와 지점단위로 구분하여 평가한다. 광역단위는 유역단위의 평가이며 지점단위는 지하시설물 인접지역에 대한 평가이다.
- 광역단위 물순환 건전성 평가는 다음의 방법으로 수행한다.
 - 지역지하수관리계획이 수립되어 있는 지역에서는 지하 시설물 소재지의 지하수 이용량과 적정 지하수 개발가능량을 조사한다.
 - 지역지하수관리계획이 수립되어 있지 않은 지역에서는 지하 시설물 소재지의 허가 또는 신고된 지하수 이용량을 집계하고 적정 지하수 개발가능량을 평가한다.
 - 적정 지하수 개발가능량은 '지하수업무수행지침(국토해양부, 2006)' 중 '제3장 지하수영향조사·심사'에 의거하여 평가한다.

HELP

- ✓ 지하수 개발가능량은 지하수의 함양과 유출이 평형을 이루는 상태에서 지속적으로 개발·이용 가능한 지하수 함양량을 의미한다(지하수관리 기본계획, 2007, 국토해양부).
- ✓ 지하수 개발가능량을 산정하는 방법은 물수지분석법, 기저유출(base flow) 분리법, 지하수 수위자료 분석 방법, 수학적 모델분석 방법 등이 있다.

- 지하수 이용량과 지하수 유출량의 합이 개발가능량의 80%를 초과할 경우에는 해당유역 및 지역의 지하수 배출이 과다하여 3.4.2절에 제

시된 부정적 영향이 심각한 수준으로 나타나거나 향후 추가 지하수 개발이 불가능하게 될 수 있으므로 강력한 유출지하수 감소대책의 수립 및 이행이 필요하다.

3.4.2. 지점단위 물순환 건전성 평가

□ 지하수 유출로 인한 부정적 영향 평가

- 지하수 유출로 인하여 발생할 수 있는 부정적 피해 유형 및 각 유형별 영향평가 방법은 다음과 같다.

【유출 지하수로 인한 부정적 영향 평가 방법 개요】

구 분	피해유형	개략 평가	정밀평가
수 량	- 지하수 고갈(불용공 발생)	- 우물방정식을 이용하여 지하수위 강하량을 보수적으로 평가	- 지하수 흐름 수치 모델링
	- 하천 유량감소 및 건천화 - 늪, 습지, 저수지 수위강하		- 하천 및 저수지의 상호작용을 고려한 지하수 수치모델링
생태계	- 식생고사		- 지하수위 변동과 식생관계 정밀분석
수 질	- 오염 지하수/지표수 유입으로 수질악화	- 포획구간과 경로추적 방법을 이용한 수질 변화 보수적 평가	- 용질 수송에 대한 수치모델링
지 반	- 지반침하	- 실트 또는 점토층의 존재 여부로 평가	- 전문 해석프로그램 이용

- 유출지하수가 인근에 미치는 부정적 영향을 평가하고 그 정도에 따라 유출을 허용하거나, 불허하도록 한다. 지하 구조물의 지하수 유출로 인하여 다음의 경우 중 하나라도 해당하면 부정적 영향이 발생하는 것으로 판정한다.

- ① 인근 관정의 지하수위가 관정 바닥보다 낮아지는 경우
- ② 인근의 저수지, 늪, 습지 지점에서 지하수위 강하가 최대 0.1m 이

상인 경우

- ③ 인근의 지표수나 지하수체의 오염이 가중되는 경우
 - ④ 지반 침하가 발생하는 경우
- 부정적 영향이 기준 이상인 경우 신규시설은 비배수공법을 적용하여 시공하고, 기존시설은 누수 방지 대책을 수립·시행하거나 유출지하수를 인공함양 시키는 방법으로 그 부정적 영향을 축소시켜야 한다.

HELP

【 유출지하수 무해성을 평가하기 위한 방법】

- ✓ 유출 지하수가 야기하는 부정적 영향을 정밀하게 판정하는 데에는 많은 노력과 시간이 소요되며, 대부분의 경우 정밀한 해석을 필요로 한다. 그러나 경우에 따라서는 유출지하수의 무해성을 쉽게 판정할 수 있다.
- ✓ 이러한 경우 간편하고 개략적이지만 보수적인 판정 방법을 이용하여 유출지하수의 무해성을 평가하며 평가는 다음 절차에 따른다.
 - ① 터널, 지하철 또는 건축물 현장에서 발생하는 유출량을 수직관정 하나로 나타낸다. 이 때 수직관정은 소재 지역중에서 영향을 받는 시설(예: 인근의 관정, 하천, 저수지 등)에 가장 가까운 지점에 위치시킨다. 그러나 필요하다면 유출량을 다수의 분포된 수직관정으로 나타낼 수 있다.
 - ② 대수층에 대한 투수계수는 지하구조물 소재 지역의 최소투수계수와 최대 투수계수를 이용하여 지하수위 강하량을 평가하고, 영향 평가 항목 별로 더 큰 지하수위 강하량을 이용한다. 또한 영향을 받는 시설이 하천이나 저수지와 같이 유한한 크기를 가진 경우에는 최대 수위강하량을 사용한다.

□ 지하수위 강하로 인한 인근의 기존관정 지하수 고갈 여부 평가

- 지하구조물에서 지하수가 과도하게 유출되면 인근 양수관정에서 지하수의 고갈이 발생할 수 있다. 지하수 유출은 인근의 지하수위를 낮추며 이 때 지하수위 강하량은 시설물 지점에서 가장 크고 구조물에서 멀어질수록 수위 강하량은 감소한다. 구조물 인근에 지하수 양수 관정에서 지하수위가 관정 심도보다 더 내려가면 해당 관정에서 지하수가 고갈된다. 따라서 지하구조물의 지하수 유출이 인근 지하수관정에서 지하수를 고갈시키는 것은 방지되어야 한다.

- 유출지하수로 인하여 인근 관정에서 지하수가 고갈되는 지에 대한 평가절차는 다음과 같다.
 - ① 인근 관정의 지하수위 (A) 및 관정 바닥 표고 (B) 조사
 - ② 유출 지하수로 인한 지하수위 강하량 예측 (C)
 - ③ 만약 C가 A-B보다 크면 유출지하수가 인근 관정의 지하수를 고갈시키는 것으로 판정
- 유출지하수로 인한 지하수위 강하량을 평가하는 방법은 개략적 평가법과 정밀 평가법이 있다.

- 개략적 평가법

- 유출지하수로 인한 지하수위 강하량을 개략적으로 평가하는 데에는 정상상태 지하수 흐름과 등방 균질 대수층을 가정하여 유도된 Thiem의 식을 이용할 수 있다. 수평방향으로 제한이 없는 대수층에서 단일 수직 관정에서 Q로 양수할 때 나타나는 수위강하량 분포는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (\text{식 3-7})$$

여기서 R은 영향반경, T는 투수량계수이다. 영향반경은 '지하수 업무수행지침(국토해양부, 2006)'에 제시된 방법으로 산정할 수 있다.

HELP

✓ 우물에서 지하수를 양수할 때 우물 주변은 지하수위가 강하하여 원추를 뒤집어 놓은 모양의 영향추(cone of depression)가 형성된다. 영향반경은 우물중심으로부터 지하수위의 강하가 일어나지 않는 영향추의 가장자리까지의 수평거리를 의미한다.

- 터널, 지하철 또는 건축물의 지하수 유출로 인한 지하수위 강하 분포는 단일 관정과 다르다. 그러나 개략적 해석을 위해서는 구조물을 복수의 수직 관정들로 나타낼 수 있다. 일반적으로 많은 관정을 사용하면 구조물의 유출지하수 영향을 더욱 잘 나타

낼 수 있다. 그러나 보수적인 해석이 가능한 경우에는 단일 관정으로 구조물을 나타내는 것도 무방하다. 단일 관정으로 구조물을 나타낼 때에는 악영향이 우려되는 인근의 관정이 가장 가까운 구조물 부분에 단일 관정을 위치시킨다.

- 또한 보수적 평가를 위하여 실제 대수층에서 나타나는 가장 큰 투수계수와 가장 작은 투수계수를 사용하여 더 큰 지하수위 강하값을 사용하는 것이 바람직하다. 다수의 관정이 존재하는 경우의 수위강하량 분포는 중첩의 원리를 이용하여 상기 식을 확장할 수 있다.

$$\Delta h = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_i} \quad (\text{식 3-8})$$

여기서, N 은 영향반경 R 이내에 존재하는 인근의 지하수 관정과 지하구조물을 나타내는 데 사용된 가상관정의 수를 포함한다.

- 정밀 평가

- 유출지하수를 발생시키는 구조물의 형태는 구조물에서 멀리 떨어진 지점의 수위강하량을 평가할 때에는 그다지 중요하지 않으나 인근 지역의 수위강하량을 결정하는 데 있어서는 그 영향이 클 수 있다. 구조물의 형태가 복잡한 경우에는 전술한 단순한 방법으로 수위강하량 분포를 계산하면 과대 평가가 될 수 있다. 또한 방수구조물의 경우 지하수는 시공단계에서 주로 발생한다. 그런데 유출이 정상상태를 유지한다는 가정은 수위강하량을 실제보다 과도하게 평가한다. 따라서 지하수위 강하의 정확한 평가를 위해서는 유출 지하수의 시공간 분포를 정확하게 고려하는 것이 필요하다. 이러한 경우에는 지역의 지하수 흐름 특성에 적합한 수치모형을 이용해야한다.
- 복잡한 대수층 특성과 다양한 지하수 강하요인에 대하여 발생하는 지하수위 강하분포는 보편적인 지하수 수치모형을 이용하여

쉽게 구할 수 있다. 다공질 매질의 경우에는 미국지질조사소에서 공급하는 MODFLOW를, 열극암반의 경우에는 MAFIC 등을 이용할 수 있다.

□ 유출지하수가 하천, 저수지, 늪 등에 미치는 영향

- 지하수가 유출되는 구조물 인근에 하천이 있는 경우 지하수위 강하로 인하여 하천 유량감소 등 하천에 부정적 영향을 미칠 수 있다. 지하수위가 내려가면 이득하천의 경우 기저유출량이 감소하고, 손실하천의 경우 침투량이 증가하므로 두 가지 종류의 하천에서 모두 유량이 감소한다. 이 때 유량 감소가 과다하면 일부 구간은 건천이 될 수도 있다. 따라서 유출지하수가 하천에 미치는 영향인 유량 감소 또는 건천화 가능성을 평가하여 유출지하수 감소대책을 수립할 필요가 있다.
- 지표수체에 미치는 영향의 개략적 평가
 - 하천 구간에서 유출지하수로 인하여 예상되는 최대 지하수위 강하량을 평가한다. 이 때 지하수위 강하량은 균질한 대수층의 경우 구조물에서 가장 가까운 지점에서 최대가 되지만 대수층이 비균질이거나 인근에 다른 지하수 관정 등이 존재하면 그 위치가 바뀔 수도 있으므로 주의해야 한다. 여기서도 개략적 평가에서는 보수적인 결과를 위하여 관련 매개변수를 최악의 경우에 대하여 산정해야한다.
 - 지하수위 강하에 대한 지표수체의 반응은 어느 정도의 지연시간 (time lag)을 두고 일어난다. 지연시간의 크기는 하상의 조건 등에 의하여 결정된다. 최악의 상황은 지연시간 없이 하천수위가 지하수위에 즉각 반응하여 수위가 낮아지는 것이다. 따라서 지하수위 변화(하강의 경우)가 즉시 하천수위 변화로 연결된다고 여기는 것은 가장 보수적인 평가라고 할 수 있다.
 - 단일 양수정의 양수로 인하여 발생하는 피압대수층의 지하수위 강하량은 다음의 Thiem식으로 나타낼 수 있다.

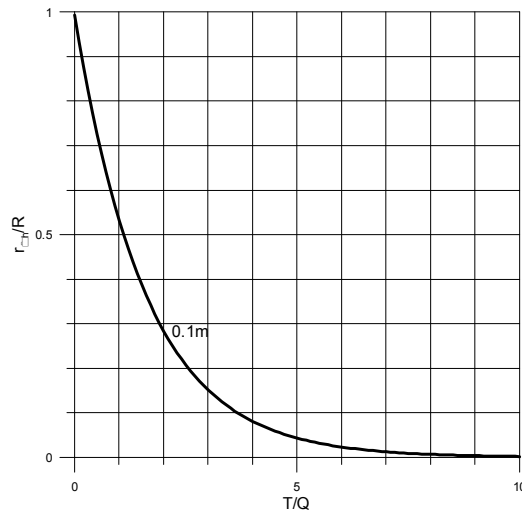
$$\Delta h = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r} \quad (\text{식 3-9})$$

상기 식은 수위강하량이 지정된 값(Δh)이하가 되는 지점까지의 거리 (r/R)를 구하는 식의 형태로 정리될 수 있다.

$$\frac{r}{R} = \exp\left(-\frac{2\pi T \Delta h}{Q}\right) \quad (\text{식 3-10})$$

지정된 수위강하량에 대한 최소 이격거리(L_{\min})를 상기 식으로부터 구할 수 있다. 만약 지하구조물과 하천 사이의 최단거리가 최소 이격거리보다 더 크면 지하구조물에서의 지하수 유출로 인한 하천 지점의 최대 지하수위 강하량이 Δh 를 초과하지 않음을 의미한다.

- 지하수위 강하가 하천에 미치는 영향을 정밀하게 평가하기 위해서는 지역의 수리지질학적 특성이 고려되어야한다. 따라서 허용할 수 있는 지하수위 강하량 기준은 별도의 연구에 의하여 수행되어야 하지만 본 요령에서는 0.1m를 기준으로 제시한다. 실제 하천 수위가 0.1m 낮아진다면 이는 매우 큰 영향이다. 그러나 수위 강하량을 매우 보수적으로 산정하므로 상당한 안전율이 이미 반영되어 있다고 볼 수 있으므로 0.1m가 그다지 지나친 값은 아니라고 판단된다.
- 다음 그림은 단일 관정에서 양수가 이루어질 경우 수위강하량이 0.1m가 되는 지점까지의 무차원 거리($r_{\Delta h}/R$)를 투수량계수와 양수량의 비(T/Q) 함수로 도시하였다. 여기서 $r_{\Delta h}$ 는 수위강하량이 Δh 가 되는 지점까지의 거리를, R 은 관정의 영향반경을, T 는 대수층의 투수량계수, Q 는 양수량을 나타낸다. 여기서 T/Q 의 단위는 1/m이다. 다음 그림은 양수량이 증가하면 수위강하량이 0.1m 이하가 되기 위한 최소 이격거리가 증가함을 보여준다.



【수위강하량이 0.1m이하가 되는 데 필요한 무차원 최소이격거리】

- 보수적 평가를 위하여 터널이나 건축물 굴착현장에서 발생하는 지하수 유출량을 하나의 수직관정으로 나타내는 경우에는 상기 곡선을 이용하여 유출지하수가 하천에 미치는 영향을 개략적으로 평가할 수 있다.

- ① 보수적으로 평가한 대수층의 투수량계수와 지하수 유출량의 비를 계산한다.
- ② 위 곡선 또는 식에서 최소 이격거리를 구한다.
- ③ 지하 구조물과 하천 또는 저수지까지 최단거리가 최소 이격거리보다 크면 유출지하수로 인한 수위 강하량이 0.1m보다 작으며 따라서 유출지하수의 영향이 그다지 크지 않다고 판정한다.

○ 지표수체에 미치는 영향의 정밀 평가

- 지하수 흐름과 하천이나 저수지 등의 지표수체와의 상호관계는 적절한 모의기능을 갖춘 수치모델과 지역의 수리, 수문, 지질 특성을 이용하여 규명하여야 한다. 수치모델은 기본적으로 하천 및 저수지 등의 지표수와 지하수 흐름을 모의할 수 있어야 한다. 세부적인 기능에는 다음이 포함된다.

- ① 지표수-지하수 흐름 모델링

- ② 지표수 수위 변동 추적기능
- ③ 기저유출량·손실량 평가 기능
- 영향 평가 항목에는 다음이 포함된다.
 - ① 하천 또는 저수지 기저유출의 감소량 또는 손실의 증가량
 - ② 하천 건천화 구간 발생 여부 및 구간의 길이
 - ③ 저수지, 습지 등의 수위 감소량 및 수면적 감소량
 - ④ 식생에 미치는 영향
- 상기 평가항목에 대한 결과를 종합적으로 고려하여 유출지하수의 위해성을 판단하고 적절한 감소대책을 수립한다.

□ 수질 악화 여부 평가

- 지하수 유출은 흐름 방향을 변동시키거나 지하수위를 저하시켜 지하수 수질에 영향을 미칠 수 있다. 지하구조물로의 지하수 유출은 지역의 지하수 흐름을 교란시키므로 경우에 따라 흐름 방향에 커다란 영향을 미칠 수 있다. 이는 불량한 수질의 지하수나 지표수가 구조물 방향으로 유입될 수 있음을 의미하며 그 경로에 있는 지하수 관정이나 지표수에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.
- 포획구간을 이용한 수질 변동의 개략적 판정
 - 지하수 수질 변화를 정확히 예측하려면 지하수 흐름과 용질 이동에 대한 복잡한 수치모델링이 필요하지만 모든 경우에서 고도의 수치모델링이 필요하지는 않다. 수질에 미치는 영향을 예비 평가하고 수질 오염이 우려되는 경우에는 더 정밀한 흐름 및 용질수송 모델링을 수행하는 것이 바람직하다. 수질 영향을 예비 평가하는 데에는 포획구간(capture zone) 해석이 적합하다. 포획구간은 지하수가 양수되는 경우에 관정으로 유입되는 지하수의 공간적 범위를 가리킨다. 미국의 환경청(EPA)에서 제공하는 포획구간해석을 위한 간단한 전산모델인 WHPA를 이용하여 산정한다.

- 지하구조물의 지하수 유출로 인하여 인근의 지하수의 수질을 악화시켰는지 판단하는 개략적 절차는 다음과 같다.

- ① 지하수 유출 전 지하수 흐름과 유출 후 지하수 흐름에 대한 정상상태 포획구간을 구한다. 여기서 정상상태 포획구간은 보수적 평가를 위하여 필요하다. 포획구간은 최소한 20개의 유선을 이용하여 구한다.
- ② 지하수 유출 전 포획구간 자료를 이용하여 인근의 관정에 도달하는 유선 중 오염원을 경유하는 유선의 수를 조사한다.
- ③ 지하수 유출 후 포획구간 자료를 이용하여 인근의 관정에 도달하는 유선 중 오염원을 경유하는 유선의 수를 조사한다.
- ④ 오염원을 경유하여 인근 관정에 도달하는 유선의 수가 증가하였으며 유출지하수 인하여 인근 관정의 지하수 수질을 오염시킬 확률이 크다.

○ 정밀 평가

- 지하수 수질에 대한 정밀 평가는 통상 수치 모델링을 통하여 수행된다. 오염물의 농도가 지하수 밀도에 영향을 미치지 않는 정도인 경우에는 지하수 흐름에 대한 수치모델을 먼저 구축하고 그 결과인 지하수위 분포 또는 유속장을 지하수 용질 수송모델에 이용한다. 그러나 용질의 농도가 지하수 밀도에 영향을 미치는 경우에는 지하수 흐름식과 용질 수송식이 상호 종속적이므로 연립하여 풀어야 한다.
- 수질 모델링을 위한 수치모델은 다음과 같다.

【오염물별 수질모델링 수치모델】

오염물	특징	대표적 수치모델	개발기관
저농도 오염물	- 1상 흐름 - 지하수흐름과 용질수송 별도 - MODFLOW와 연계	MT3D	미국 지질조사소
해수	- 1상 흐름 - 지하수흐름과 용질수송 동시 - 농도 및 밀도의 연속적 변화	SUTRA	미국 지질조사소
기름류	- 2상 흐름 - 지하수흐름과 기름흐름 동시 - 기름과 물	NAPL Simulator	미국 환경청

□ 지반침하 평가

- 자연상태의 개발되지 않은 대수층은 함양과 배출이 평형을 이루고 있으나 이곳에 인공적인 양수가 가해지면 평형이 파괴되어 침하를 일으킬 수 있다. 일정 두께를 가진 비교적 덜 압밀된 실트나 점토층을 함유한 층적 대수층은 장기간의 지하수위 하강 발생 시 압밀수의 방출을 초래하여 대수층내의 공극률을 감소시키며, 결과적으로 지반 침하를 일으킨다.
- 지반침하의 개략적 평가방법
 - 유출지하수가 발생하는 지하구조물 인근 지역 지층에 실트층이나 점토층이 존재하면 지반침하 가능성이 있다. 이 때 인근 지역의 범위는 유출지하수로 인한 지하수위 강하량이 0.1m 이상인 지역을 의미한다.
- 지반침하의 정밀 평가방법
 - 지하 굴착과 지하수 유출에 기인하는 제반 수리역학적 현상들의 보다 정확한 해석을 위해서는 지하수 유동과 지질매체 변형을 별도로 고려하는 기존의 재래식 수리학적 유동이론이나 역학적 변형 이론

보다는 상기한 지하수 유동과 지질매체 변형을 함께 동시에 고려하는 수리역학적 연동 이론의 적용이 필연적이다.

- 지하수 양수에 의한 지반침하를 모델링하기 위한 프로그램으로, 지반거동해석에 널리 쓰이는 FLAC 3D 등의 프로그램을 이용하여 수리-역학 상호작용에 의한 해석을 수행할 수 있다. FLAC 3D는 포화된 다공질 매질에서의 지하수 유동을 모사할 때 지하수 유동은 역학 계산과 동시에 이루어질 수 있어 유체와 고체의 상호작용에 관해 근사가 가능하다.

3.5. 감소 대책

3.5.1. 신규시설 누수방지공법

- 지하구조물의 누수 방지를 위해 적용되는 방수 공법으로는 크게 복합계, 시트계, 도막계로 분류할 수 있다. 아래 표에 제시된 각각의 공법들은 건설신기술, 기술특허, 지하구조물 시공실적 등 지하구조물의 방수에 관해서는 우수한 기술력 및 경험을 보유한 재료 및 공법이다.

【방수 공법의 구분】

구분	공법명	주 방수 재료
복합계	- 도막재와 시트재의 복합방수공법	- 점착유연형 도막 방수재 + 아스팔트시트 등
	- 특수금속방식시트를 이용한 복합공법	- 특수경질시트, 방식특수시트, 조인트 보강재
시트계	- 자착식 고무 아스팔트시트 방수공법	- 자착력을 보유한 고무 아스팔트시트
	- 미가황 고무시트 방수공법	- 상온 가황형 고무시트(미가황 고무 시트)
도막계	- 초속경화 뿔칠형 도막 방수공법	- 초속경 폴리우레아 수지

□ 복합계 방수공법

○ 도막재와 시트재의 복합방수공법

- 지하구조물의 현장 환경을 고려하여 시공성을 크게 개선한 새로운 방수 소재로서 방수 시트의 일면에 접착성을 크게 부여한 특수 고무화 아스팔트계 도막 방수재를 콘크리트 표면에 도포한 후 일반 아스팔트계 또는 합성고분자계 시트재를 이중방수층으로 구성하는 형태의 복합방수공법이다.
- 이 공법은 기존의 시트 및 도막 방수공법에서 사용하는 프라이머, 접착제, 가열도구 등을 사용하지 않고 방수층을 구성할 수 있는 것으로서 시공성과 품질관리가 우수한 방수공법이다. 본 시트 도막 복합 방수공법은 도막형의 접착 유연성 도포 방수재와 시트로 구성되어 있다.

○ 특수금속 방식시트를 이용한 복합방수공법

- 지하구조물의 현장 환경을 고려하여 폴리에스터 라미네이팅 된 특수금속시트를 방식특수시트로서 샌드위치형태로 이중 보강 처리하는 공법이다. 특수금속시트는 알칼리, 산에 부식되지 않고 충격, 진동에 강하고 연성 및 가공성이 우수하여 현장 시공이 간편하다.

□ 시트계 방수공법

○ 자착식 고무 아스팔트시트 방수공법

- 지하구조물의 현장 환경을 고려하여 시공성을 크게 개선한 새로운 방수 소재로서 방수시트의 일면에 접착성을 크게 부여한 고무화 아스팔트층을 두고, 그 일면에 보호 보강재로서 섬유질 시트 등을 조합한 방수 시트재를 이용한 방수공법이다. 자착식 고무 아스팔트시트는 용제형 접착제나 토오치를 이용한 가열 방식이 아닌 자체의 접착력으로 부착이 가능한 시트 방수재로서 현장 시공이 간편하여

품질관리 및 평가가 쉽다.

○ 미가황 고무시트 방수공법

- 지하구조물의 현장 환경을 고려하여 시공성을 크게 개선한 방수재로서 120일 전후로 자연 가황되도록 가황제, 가황조제 등을 첨가하여 배합 제조된 합성고무방수시트를 방수재로 사용하여 바탕콘크리트에 미가황고무 프라이머를 사용하여 접착 시공 후 외부 면에 시멘트 모르타르로 보호층을 설치하며, 시공 후 보호 모르타르의 양생과 함께 자연상태에서 가황고무로 전환하는 메카니즘을 이용한 방수공법이다.

□ 도막계 방수공법

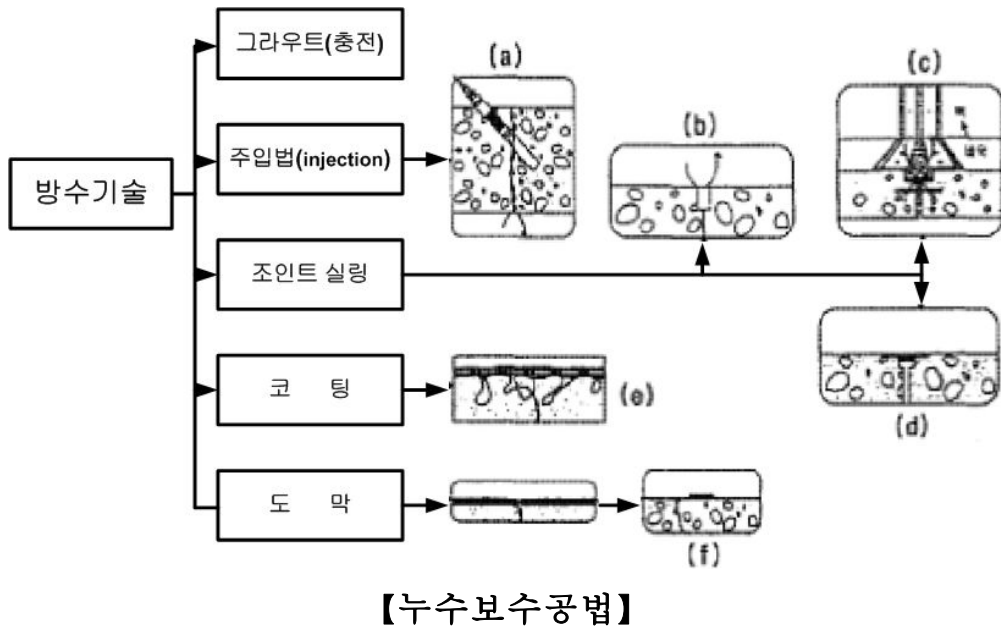
○ 초속경화 뿔칠형 도막 방수공법

- 이 공법은 기존의 로울러, 주걱 등으로 벽체에 도포하는 도막방수공법의 시공개념을 스프레이 뿔칠형으로 전환하여 시공성을 개선한 방수공법이다. 이 때 사용하는 재료는 도포 후 20초 이내에 순간 경화하여 흘러내림이 없이 방수층의 두께를 형성한다. 현재 고무 아스팔트계, 폴리우레탄계, 폴리우레아계 등이 있으나 가장 우수한 성능을 나타내고 있는 소재가 폴리우레아 수지계이다.

3.5.2. 기존시설 누수방지공법

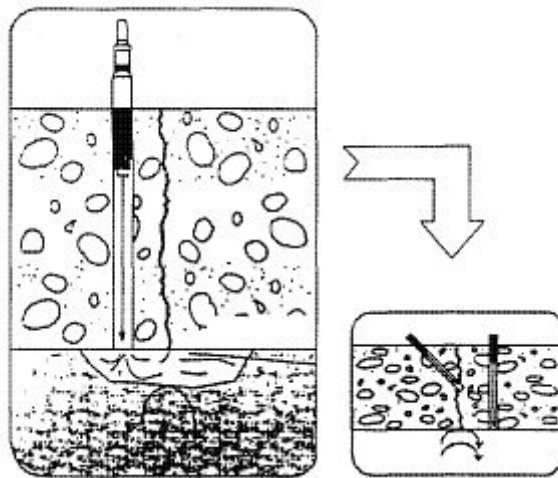
- 콘크리트 누수는 구조물의 기능 장애와 열화의 원인이 되므로 누수방지 및 방수대책을 수립할 경우에는 가능한 모든 인자를 고려하여 공법을 선정하는 것이 중요하다.

- 누수 보수공법에는 아래 그림과 같이 주입공법, 줄눈실링공법, 표면도막공법, 배수공법, 쉬트방수공법 등이 있다.



○ 주입공법

- 주입공법에는 누수부위에서 압력을 증가 시키면서 주입을 시행하는 직접 주입법과 수압이 작용하는 축으로부터 물의 흐름에 따라 주입하여 물의 경로를 정수압 상태에서 막히게 하는 간접 주입법이 있다.
- 직접 주입법 시공 시에는 반드시 표면 실링을 하여 주입된 수지나 그라우트재의 유출을 방지하여야 한다. 주입 공법으로 누수원을 차단하면 콘크리트의 미세한 경로에 물이 유입되는 것을 방지할 수 있고 물이 콘크리트 내에서 새로운 경로를 찾는 것도 방지할 수 있어 비용이 절감된다. 사용재료는 친수성·소수성의 우레탄겔 및 기포, 친수성 아크릴레이트, 에폭시, 친수성 초미세 시멘트 등이 있다.
- 다음 그림은 2단계 주입공법을 도입한 공법으로 1단계에서 구조물 배면에 주입하여 물의 흐름을 막은 후, 2단계에서 균열에 주입재를 주입하는 공법으로 효과적인 누수 보수공법이다.



【2단계 주입공법】

○ 줄눈실링 공법

- 줄눈에는 지수관을 가진 신추줄눈, 수축줄눈, 시공줄눈, 콘드조인트, 하중 전달기능을 가진 줄눈 등이 있고, 이들의 누수방지공법도 목적에 따라 상이하다. 지수관을 가진 줄눈에서는 조사나 보수를 위한 접근이 어려워 누수원을 찾기 힘든 경우가 많다.
- 적용공법에는 압력주입, 고무계 방수 쉬트 공법이 있다. 대책을 수립할 때에는 압력수두, 압력방향, 줄눈에서의 이동, 줄눈의 구조적 연속성, 기존 지수관의 종류, 줄눈의 결함 형태, 줄눈 폭, 보수 후 수명, 전면과 배면의 접근성 등을 고려해야 한다. 이 공법에는 압력 실링공법과 신축이음장치의 방수에 사용하는 줄눈실링공법 등이 있다.

○ 표면도막공법

- 균열부나 결함부에 각종 화학 도료를 코팅하는 공법으로 다음과 같은 순서로 시공한다.
 - ① 표면준비공
 - ② 표면 결함부분에 수지계 그라우팅 충전
 - ③ 프라이م 코팅 시행
 - ④ 도막도료 도포

- 특히 보수에 앞서 충분한 준비공을 실시하여야 하는데 레이탄스 및 오염된 곳은 고품질의 재료를 사용하여도 원하는 접착 효과를 얻을 수 없으므로 브ラスト 처리 및 전동 와이어 부러쉬 등으로 콘크리트 표면을 깨끗이 처리한 후 후속작업을 하여야 한다.

○ 슈트방수 공법

- 균열을 가진 콘크리트면 위에 탄성고무슈트를 부착시키는 공법으로서 제품슈트와 액체재료 모두가 사용된다. 이 공법은 이동균열과 줄눈을 연결시키는 역할을 하는 것이므로 재료의 선택 시 신장능력, 두께 균열위의 비부착 길이 등을 검토해야 한다.

□ 누수보수공법 적용 후의 확인방법

- 보수된 균열은 사용하중 상태에서 물이나 기타 액체에 의한 투수성 평가를 해야 한다. 완전한 방수를 확보하기 위해서는 균열이 100% 채워져야 한다. 한편 물과 기타 액체의 삼투압이 적은 경우에는 95% 이상의 충전이 적당하다.
- 또한 보수의 효과를 확인하기 위해서는 보수재료가 균열을 잘 채웠는지 여부를 판단할 수 있는 보수재료 침투깊이와 표면균열의 보수를 위한 덧씌우기의 부착강도가 충분히 확보되었는지 여부가 평가되어야 한다.

제 4 장 유출지하수 이용을 위한 업무요령

4.1. 개요

- 본 장에서는 현행 법제도와는 별도로 지하철, 터널, 대형 건축물 등에서 방류되는 유출 지하수의 수량과 수질특성을 종합적으로 파악 분석하여 하천유지용수, 친수용수(자연형 소하천, 분수, 연못 등), 살수·소방용수(도로청소, 수목살수, 소방용수 등), 농업·공업·비상 용수 등으로 이용할 수 있는 방안을 제시함으로써 수자원으로서 유출지하수의 효율적인 이용을 도모하고자 한다.
- 특히, 지하수 유출이 과도하여 이용량을 포함한 지하수 배출량이 지하수 개발가능량을 초과하는 경우에는 지반 침하, 지하수 고갈, 수질오염 등 심각한 지하수 장애를 유발시키고 물순환 건전성을 파괴하는 경우 까지 이르게 됨으로 이러한 경우에는 가장 적극적인 방법인 인공함양을 시키는 방안을 제시코자 한다.

4.2. 유출지하수 이용을 위한 업무처리 개요

4.2.1. 시설물별 지하수 유출 특성

- 지하수가 유출되는 주요 시설물로는 도로터널, 전력구, 통신구, 대형건축물, 지하철 등이 있으며 각각의 지하수 유출 특성은 다음과 같다.
 - 도로터널에서 유출되는 지하수는 대부분 펌프가동 없이 연결된 도로의 배수구로 자연 배수되므로 유출 유무가 파악되지 않는 경우가 많다.
 - 대형 건축물의 공사과정에서는 광범위한 굴착 면적의 발생으로 많은 지하수가 유출될 수 있지만, 공사완료 후에는 대부분 그 양이 많지

않다.

- 지하철, 전력구 또는 통신구 등의 도심지의 지하시설물의 경우 대부분 집수정이 설치되어 있으며 펌프로 강제 배수되므로 유출량 측정이 상대적으로 용이하다. 터널의 경우 배수방식으로 시공되면 준공 이후에도 많은 양의 지하수가 유출될 수 있다. 도심지의 경우 수질이 불량한 경우가 많다.

4.2.2. 이용현황

- 2008년 현재 지하철의 경우 6개 특·광역시 유출지하수 이용률은 20~70%로 큰 편차를 보이고 있다. 적극적인 이용을 위해서는 저장 및 배관시설이 필요하고, 수질이 불량한 경우에는 수처리가 필요한 데, 비용문제가 발생하여 많이 이용하지 않는 것으로 보인다.
- 건축물의 경우 대부분의 유출지하수는 하천으로 방류되거나 유지용수로 이용되고 있으며, 일부가 화장실, 청소 및 조경용수로 이용되는 것으로 나타났다. 역시 적극적인 이용을 위해서는 저장시설 및 배관시설이 필요하고, 수질이 불량한 경우에는 수처리가 필요한데, 비용문제가 발생하여 적극적인 이용이 이루어지지 않고 있다.

4.2.3. 이용원칙

- 유출지하수 이용의 기본 원칙은 다음과 같다.
 - 지하수 이용량과 지하수 유출량의 합인 지하수 배출량이 적정 지하수 개발가능량의 80% 이내이거나 인근에 미치는 영향이 크지 않을 때에는 지하수법에 따라 명시된 용도로 이용한다.
 - 지하수 배출량이 과도하거나 인근에 미치는 영향이 매우 큰 경우에는 물순환 건전성을 제고하기 위하여 인공함양을 실시한다. 이 때,

수리지질학적, 사회적 및 경제적 여건 고려하여 인공함양 방식을 결정한다.

- 신규 시설물이나 기존 시설물에서도 유출지하수의 하수관거 직접방류는 최대한 억제한다.
- 유출지하수의 수질을 분석하고 각종 용수기준(음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수)의 수질에 대하여 평가하여야 하며, 수질이 불량한 경우에는 수처리한 후에 이용토록 한다.

【지하수의 수질기준】

(단위: mg/L)

이용목적별		생활용수	농·어업용수	공업용수
항목	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0
일반 오염물질 (5개)	대장균군수	5,000 이하 (MPN/100mL)	-	-
	질산성질소	20 이하	20 이하	40 이하
	염소이온	250 이하	250 이하	500 이하
	일반세균	1mL 중 100CFU 이하	-	-
	카드뮴	0.01 이하	0.01 이하	0.02 이하
특정 유해물질 (15개)	비소	0.05 이하	0.05 이하	0.1 이하
	시안	불검출	불검출	0.2 이하
	수은	불검출	불검출	불검출
	유기인	불검출	불검출	불검출
	페놀	0.005 이하	0.005 이하	0.01 이하
	납	0.1 이하	0.1 이하	0.2 이하
	6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	0.1 이하
	트리클로로에틸렌	0.03 이하	0.03 이하	0.06 이하
	테트라클로로에틸렌	0.01 이하	0.01 이하	0.02 이하
	1.1.1-트리클로로에탄	0.15 이하	0.3 이하	0.5 이하
	벤젠	0.015 이하	-	-
	톨루엔	1 이하	-	-
	에틸벤젠	0.45 이하	-	-
	크실렌	0.75 이하	-	-

※출처 : 「지하수의 수질보전 등에 관한 규칙」 제11조 관련 지하수의 수질기준 [별표 4]

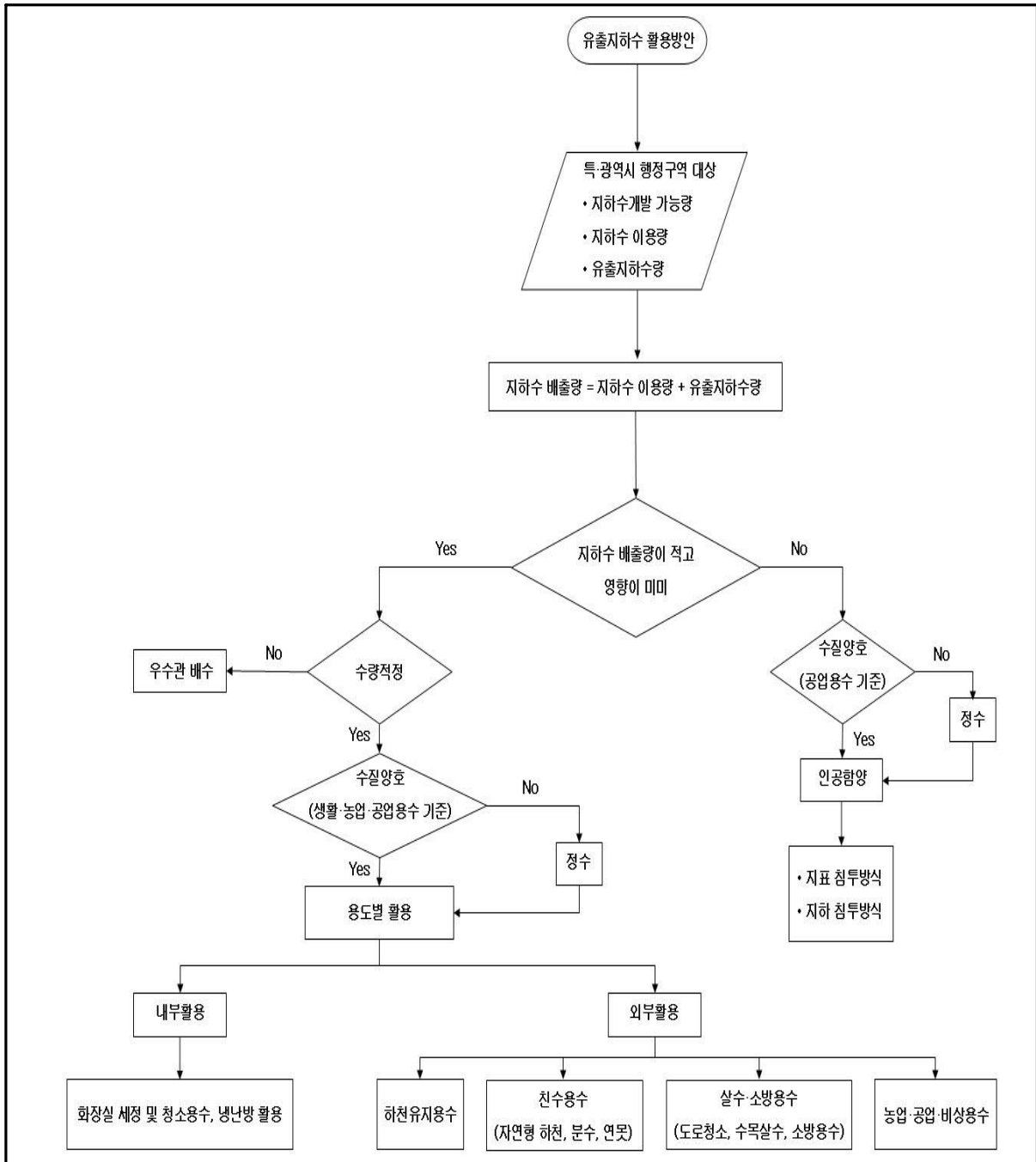
【 먹는물의 수질기준 】

분류	항목	기준	분류	항목	기준
1. 미생물에 관한 기준	일반세균	1mL 중 100CFU 이하	3. 건강상 유해영향 유기물질에 관한 기준	크실렌	0.5mg/L 이하
	총 대장균군	불검출/ 100mL		1,1-디클로로에틸렌	0.03mg/L 이하
	대장균·분원성 대장균군	불검출/ 100mL		사염화탄소	0.002mg/L 이하
	분원성 연쇄상구균·녹농균·살모넬라·쉬겔라	불검출/ 250mL		1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L 이하
	아황산환원침기성포자형성균	불검출/ 50mL		1,4-다이옥산	0.05mg/L 이하
	여시니아균	불검출/ 2L		잔류염소	4.0mg/L 이하
2. 건강상 유해영향 유기물질에 관한 기준	납	0.01mg/L 이하	4. 소독제 및 부산물에 관한 기준	총트리할로메탄	0.1mg/L 이하
	불소	1.5mg/L 이하		클로로포름	0.08mg/L 이하
	비소	0.01mg/L 이하		브로모디클로로메탄	0.03mg/L 이하
	셀레늄	0.01mg/L 이하		디브로모클로로메탄	0.1mg/L 이하
	수은	0.001mg/L 이하		클로랄하이드레이트	0.03mg/L 이하
	시안	0.01mg/L 이하		디브로모아세토니트릴	0.1mg/L 이하
	크롬	0.05mg/L 이하		디클로로아세토니트릴	0.09mg/L 이하
	암모니아성 질소	0.5mg/L 이하		트리클로로아세토니트릴	0.004mg/L 이하
	질산성 질소	10mg/L 이하		할로아세틱에시드	0.1mg/L 이하
	카드뮴	0.005mg/L 이하		경도	300mg/L 이하
	보론	1.0mg/L 이하		과망간산칼륨	10mg/L 이하
	브롬산염	0.01mg/L 이하		냄새, 맛	무미, 무취
	스트론튬	4mg/L 이하		동	1mg/L 이하
	3. 건강상 유해영향 유기물질에 관한 기준	페놀		0.005mg/L 이하	5. 심미적영향물질에 관한 기준
다이아지논		0.02mg/L 이하	세제	0.5mg/L 이하	
파라티온		0.06mg/L 이하	수소이온 농도	pH 5.8 ~ 8.5	
페니트로티온		0.04mg/L 이하	아연	3mg/L 이하	
카바릴		0.07mg/L 이하	염소이온	250mg/L 이하	
1,1,1-트리클로로에탄		0.1mg/L 이하	증발잔류물	500mg/L 이하	
테트라클로로에틸렌		0.01mg/L 이하	철	0.3mg/L 이하	
트리클로로에틸렌		0.03mg/L 이하	망간	0.3mg/L 이하	
디클로로메탄		0.02mg/L 이하	탁도	1NTU 이하	
벤젠		0.01mg/L 이하	황산이온	200mg/L 이하	
톨루엔		0.7mg/L 이하	알루미늄	0.2mg/L 이하	
에틸벤젠		0.3mg/L 이하			

※ 출처: 「먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙」 제2조 관련 먹는물의 수질기준 [별표 1]

4.3. 유출지하수 이용 평가

□ 유출지하수의 이용 업무흐름도는 다음 그림과 같으며 세부내용은 다음과 같다.



【특·광역시 유출지하수 이용방안 흐름도】

- 지하수 개발가능량과 배출량을 조사한다.
 - 국토해양부의 지하수관리 기본계획, 지하수 기초조사 보고서 등을 이용하여 지하수 개발가능량 자료를 수집한다.
- 지하수 이용량을 조사한다.
 - 이는 지하수개발·이용시설물에 부착된 계량기 자료를 이용하여 실제 사용하는 지하수 이용량을 산출하도록 한다. 이 때 국토해양부의 지하수 조사연보, 시·군·구 지하수이용실태 자료 등을 이용토록 한다.
 - 유출지하수 자료는 도심지 지하터널 관리기관(지하철공사, 한국통신, 한국전력공사 등)의 자료를 이용한다.
- 지하수 이용량과 지하수 유출량을 합산하여 지하수 배출량을 산정하고 이를 지하수 개발가능량과 비교한다.
- 지하수 배출량과 지하수 개발가능량의 비에 따라 이용계획을 수립한다.
 - 지하수 배출량이 지하수 개발가능량의 80% 이하이면 '4.4.1. 일반적인 이용 방법'에 따라 이용계획을 수립하고 이용토록 한다.
 - 지하수 배출량이 지하수 개발가능량의 80%를 초과하면 '4.4.2. 유출지하수 인공함양'에 따라 인공함양을 시킨다.

HELP

- ✓ 본 요령에서 지하수 인공함양은 유출지하수의 효율적인 이용을 위한 하나의 방안으로 제시한다. 따라서, 해당지역 지하수 관리를 위한 보다 효율적인 방안, 예를 들면, 지하수법에 의한 지역지하수관리계획 수립, 지하수 보전구역의 지정·관리 등이 시행되면 이를 우선적으로 따른다.
- ✓ 지하수 배출량이 개발가능량의 80%를 초과하지 않더라도 지하구조물 인근에 미치는 부정적 영향이 큰 경우에는 인공함양 계획을 수립·시행토록 한다.

4.4. 유출지하수 이용

4.4.1. 일반적인 이용 방법

- 지하수 배출량이 개발가능량의 80% 이내이며 구조물 인근에 미치는 부정적 영향이 미미할 때에는 아래 절차에 따라 유출지하수의 이용 계획을 수립한다.

단 계	주 요 사 항
유출지하수 발생 조	- 지하철, 터널, 대형건축물 건설시 또는 건설후 고려
↓	
기 초 조 사	- 유출지하수 발생량 조사 및 이용가능량 조사 - 이용용도의 사전 검토
↓	
이용가능 목적의 선	- 단일 목적 및 다목적 이용여부 확인 - 이용용도의 선정 · 내부공간 이용 : 화장실 세정 및 내부청소용 · 외부공간 이용 : 살수·하천유지·농업·친수용수 등
↓	
현 황 조 사	- 수질특성조사 - 관련법규조사 - 인근지역현황조사 : 자연, 사회, 문화적 환경조사
↓	
필요수량 산정	- 이용용도별 전체용수의 세부 필요수량 산정 - 유출지하수의 이용수량 산정 우수와 연계이용 및 중수도 이용가능량 - 저류조 및 용수 저장조의 용량 결정
↓	
수처리 수행여부 결	- 수질특성 분석 및 평가 : 직접/수처리 여부 - 하수처리장 방류여부 결정 · 이용목적별 목표수질 적정 여부 결정 · 목표수질을 만족하는 수처리 방안의 도출
↓	
수처리 방법선정 및 설	- 수처리 흐름도 결정 - 수처리 장치의 처리능력 선정 및 설계
↓	
설 비 설 계	- 계장장비·배관설비(관경/배관경로)·급수설비의 계획 및 설계
↓	
시 공	- 시공기준 선정
↓	
유 지 관 리	- 수처리 시설의 운전 및 유지관리 방안 확립

- 유출지하수의 수량과 이용의 수요, 비용 및 긴급성 등을 고려하여 이용방안을 결정한다. 신규 시설인 경우에는 유출지하수의 이용방안을 결정한 후, 시설물의 설계시에 이용시설을 반영하여 설계한다.
- 중·소규모 유출지하수는 주로 내부에서 이용하고, 세부 용도는 화장실 세정 및 청소용수, 그리고 냉난방에 이용한다. 외부용도로는 조경용수 등으로 이용될 수 있다.
- 대규모 유출지하수는 주로 외부에서 이용하고, 지역의 여건에 따라 하천유지용수, 친수용수(자연형 하천, 분수, 연못 등), 살수·소방 용수 등으로 이용토록 한다.

□ 수질관리

- 환경부에서 제정한 음용수, 생활용수, 공업용수, 농업용수 기준으로 유출지하수의 수질을 평가하고, 이용하고자 하는 유출지하수의 용도별 기준 이하인 경우에는 수처리를 하여 이용한다.
- 살수용수와 조경용수에 대하여는 중수도 수질기준을 따르고, 농업용수와 공업용수는 각각의 수질 기준을 따른다. 비상용수를 식수로 사용할 경우에는 음용수 수질을 따르고, 기타의 용수로 사용할 경우에는 중수도 수질 기준에 따라서 이용한다.
- 하천의 유지용수로 이용할 경우에는 하천의 수질기준을 따른다. 유출지하수가 주변 하천의 수질기준을 충족시키지 못할 경우에는 하천유지용수로 이용할 수 없으며, 수처리를 하여 사용하거나 타 용도로 사용토록 한다.

【중수도의 수질기준】

구 분	수세식 변소용수	살수용수	조경용수	세차·청소 용수
대장균군수	불검출/100ml	불검출/100ml	불검출/100ml	불검출/100ml
잔류염소 (결합)	0.2mg/ℓ 이상 일 것	0.2mg/ℓ 이상 일 것	-	0.2mg/ℓ 이상 일 것
외관	이용자가 불쾌 감을 느끼지 아 니할 것	이용자가 불쾌 감을 느끼지 아 니할 것	이용자가 불쾌 감을 느끼지 아 니할 것	이용자가 불쾌 감을 느끼지 아 니할 것
탁도	2NTU를 넘지 아니할 것	2NTU를 넘지 아니할 것	2NTU를 넘지 아니할 것	2NTU를 넘지 아니할 것
생물학적 산소요구량 (BOD)	10mg/ℓ를 넘 지 아니할 것	10mg/ℓ를 넘 지 아니할 것	10mg/ℓ를 넘 지 아니할 것	10mg/ℓ를 넘 지 아니할 것
냄새	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것	불쾌한 냄새가 나지 아니할 것
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
색도	20도를 넘지 아 니할 것	-	-	20도를 넘지 아 니할 것
화학적 산소요구량 (COD, Mn기준)	20mg/ℓ를 넘 지 아니할 것	20mg/ℓ를 넘 지 아니할 것	20mg/ℓ를 넘 지 아니할 것	20mg/ℓ를 넘 지 아니할 것

※출처: 「수도법 시행규칙」 제4조 관련 중수도의 수질기준 [별표 1]

【하천의 수질기준】

구 분	등급	상태 (캐릭터)	기 준						
			수소이온 농도 (pH)	생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)	용존 산소량 (mg/L)	대장균군(균수/100mL)		
							총 대장균군	분원성 대장균군	
생활환경	매우 좋음	Ia		6.5~8.5	1 이하	25 이하	7.5 이상	50 이하	10 이하
	좋음	Ib		6.5~8.5	2 이하	25 이하	5.0 이상	500 이하	100 이하
	약간 좋음	II		6.5~8.5	3 이하	25 이하	5.0 이상	1,000 이하	200 이하
	보통	III		6.5~8.5	5 이하	25 이하	5.0 이상	5,000 이하	1,000 이하
	약간 나쁨	IV		6.0~8.5	8 이하	100 이하	2.0 이상	-	-
	나쁨	V		6.0~8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠있지 아니할 것	2.0 이상	-	-
	매우 나쁨	VI		-	10 초과	-	2.0 미만	-	-
사람의 건강보호	카드뮴(Cd): 0.005mg/L 이하 시안(CN): 검출되어서는 안 됨(검출한계 0.01mg/L) 수은(Hg): 검출되어서는 안 됨(검출한계 0.001mg/L) 유기인: 검출되어서는 안 됨(검출한계 0.0005mg/L) 납(Pb): 0.05mg/L 이하 염이온계면활성제(ABS): 0.5mg/L 이하 1,2-디클로로에탄: 0.03mg/L 이하 디클로로메탄: 0.02mg/L 이하 클로로포름: 0.08mg/L 이하 안티몬: 0.02mg/L 이하 비소(As): 0.05mg/L 이하 안 됨(검출한계 0.0005mg/L) 6가크롬(Cr6+): 0.05mg/L 이하 사염화탄소: 0.004mg/L 이하 테트라클로로에틸렌(PCE): 0.04mg/L 이하 벤젠: 0.01mg/L 이하 디에틸헥실프탈레이트(DEHP): 0.008mg/L 이하								

- ※ 가. 매우좋음 : 용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과·살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 나. 좋음 : 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 다. 약간좋음 : 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용할 수 있음.
- 라. 보통 : 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 마. 약간나쁨 : 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 농업용수로 사용하거나, 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 바. 나쁨 : 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불편감을 유발하지 아니하며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 사. 매우나쁨 : 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어려움.
- 아. 용수는 당해 등급보다 낮은 등급의 용도로 사용할 수 있음.
- 자. 수소이온농도(pH) 등 각 기준항목에 대한 오염도 현황, 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 그에 맞는 처리방법에 따라 용수를 처리하는 경우에는 당해 등급보다 높은 등급의 용도로도 사용할 수 있음.

※출처: 「환경정책기본법 시행령」 제2조 관련 환경기준[별표 1].

4.4.2. 유출지하수 인공함양

□ 인공함양 원칙

○ 인공함양 시행기준

- 지하수 배출량이 지하수 개발가능량의 80% 이상일 때, 인공함양 계획을 수립한다. 또한 지하수 배출량이 지하수 개발가능량의 80% 이내일지라도, 지하수 유출이 인접지역의 지하수 수위와 수질에 미치는 영향이 국부적으로 큰 경우에는 인공함양 계획이 필요하다.
- 단, 지역지하수관리계획 수립·시행, 지하수 보전구역의 지정·관리 등 보다 효과적인 지하수 관리대책이 수립·시행되면 이에 따른다.

○ 인공함양 시기

- 인공함양에는 충분한 사전조사와 시설투자가 필요하다. 따라서 인공함양이 필요한 경우에도 지하수 배출량이 과도한 지역부터 우선적으로 시행하는 것이 바람직하다.

○ 인공함양지

- 도심지에서의 인공함양은 토지의 이용에 어려움이 있기 때문에, 공원 등 공공부지를 이용토록 한다. 지하철에서 방출되는 지하수는 상시 유출수이므로, 지속적인 함양이 필요하다. 지속적인 함양방법으로는 지하철 인근의 공원이나 운동장에 인공호수를 만들어 유출 지하수를 계속 공급하여, 지하철 주변으로 지하수를 함양시키도록 한다. 유출지하수를 지하철에서 인공호수로 보낼 때 도수로에 유공관을 만들면, 넓은 지역에서 지하수 함양이 이루어 질 수 있다.
- 지하수 유출이 많지는 않지만 유출지하수를 적극적으로 이용하고자 하는 지역에서는, 강수 이외에 추가적인 지하수 함양을 증가시키기 위하여 도로변의 가로수나 조경시설 등에서 지하수가 지하로 함양이 잘 이루어지도록 적절한 시설을 하는 것이 필요하다.

- 강수의 자연적인 인공함양을 증대시키기 위하여 도로 포장 시 투수성 아스팔트를 적극 사용토록 한다.

○ 인공함양 지하수의 수질

- 환경부에서 제정한 지하수 수질기준에 따라 수질을 평가하여, 수질이 공업용수 기준에도 미치지 못할 경우에는 수처리를 하여 인공함양을 한다.

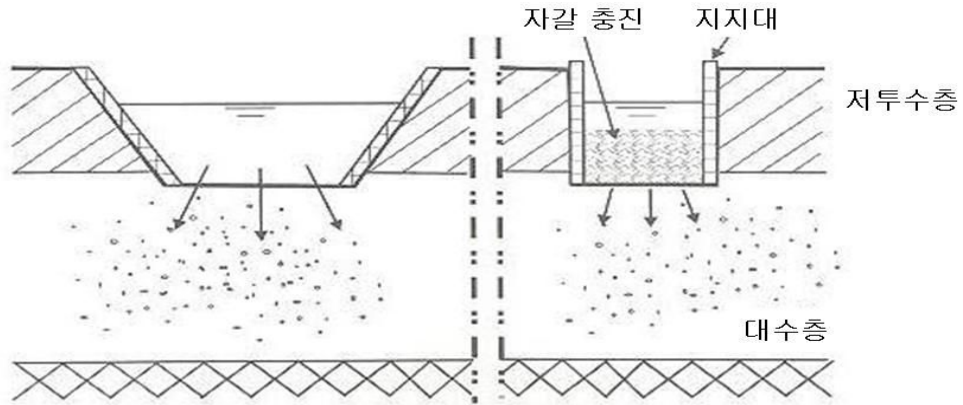
□ 인공함양 방식

- 함양지의 수리학적, 지질학적, 지형적, 사회적 및 경제적 특성을 고려하여 인공함양 방식을 결정한다. 일반적인 인공함양 방법에는 주입법과 확수법이 있다.

【직접 인공함양법】

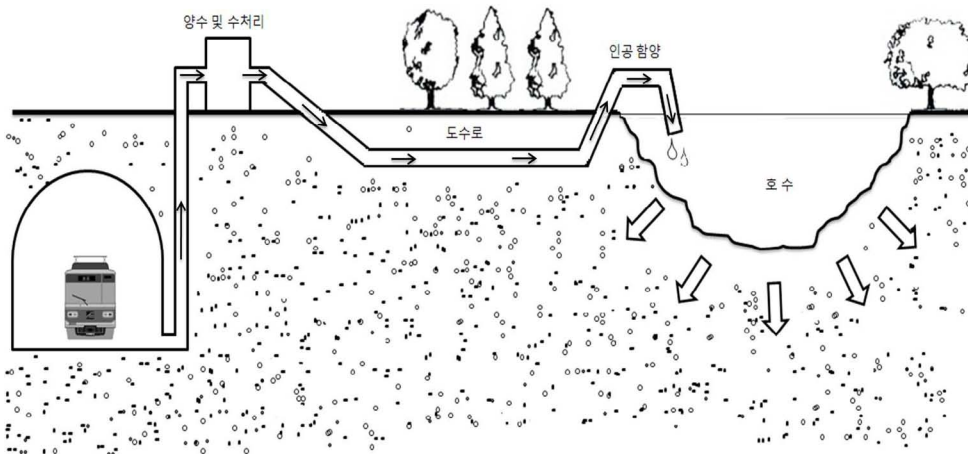
구분	세부유형	주요내용
주입법	습식형	지하수면까지 착정하여 대수층으로 직접주입
	건식형	불포화대에 착정하여 주입
확수법	함양지법	인공적으로 연못을 조성하여 함양
	하천-수로법	하상, 고수부지에 다수의 수로를 만들어 함양
	도랑 및 받고랑법	배수구나 도랑으로 물을 흘려보내 함양
	홍수법	홍수시 대량의 하천수를 범람원으로 흘려보내 침투시킴
	지하매관법	지하에 매관을 부설하여 물을 흘려보내어 함양

- 인공함양 방식 중에서 도심지에서 효과적으로 이용 할 수 있는 방식은 주입법과 확수법의 함양지법 및 지하매관법이다.



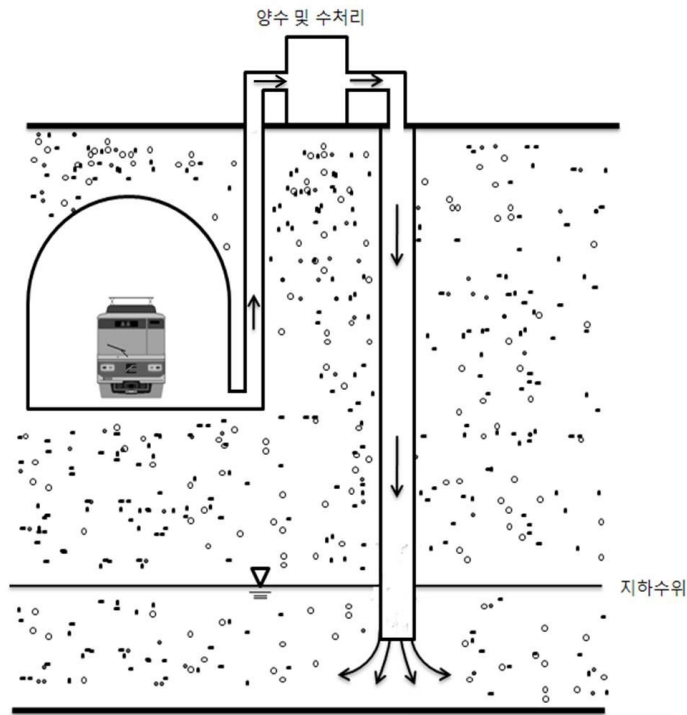
【지하매관을 이용한 인공함양】

- 충전대수층의 발달이 양호한 경우에는 공원이나 운동장에 인공호수를 만들어 유출지하수를 유입시켜서 함양 시킨다. 이 때 호수의 수생식물을 이용하면 유출지하수의 수질개선이 어느 정도 가능하다.



【공원내 인공호수를 통한 유출지하수 함양】

- 총적대수층의 발달이 미약한 경우에는 주입정을 개발하여 암반대수층에 유출지하수를 주입하여 함양 시킨다.
- 지하수위가 과도하게 저하되어 지하철 밑에 위치하는 경우에는 지하철 주변에 주입공을 개발하여 유출지하수를 인공함양 시킨다.



【지하수위 저하 지역에서 유출지하수를 이용한 인공함양】

- 지하수위가 지하철 주변에 위치하는 경우에는 지하철 주변에 직접적인 함양은 지하철에 부력을 일으킬 우려가 있으므로, 인근의 공원이나 운동장에 호수를 만들어 함양시킨다.

4.5. 유출 지하수 모니터링

4.5.1. 설계단계

- 터널 주변에 모니터링공을 100m 간격으로 좌우측 엇갈리게 설치하고 자동 수위·수질(온도, 전기전도도) 측정기를 삽입하여, 터널 공사지역의 초기 지하수위와 수질을 연속적으로 측정토록 한다.



A. 지하수 관측정 굴착



B. 자기압력식 지하수위계



C. 지하수위 및 전기전도도계



D. 현장 지하수위 측정

【현장 지하수위 모니터링】

4.5.2. 시공단계

- 설계단계에서 설치된 모니터링공에서 수위 및 수질을 연속적으로 측정하여 시공단계의 자료를 설계단계와 비교검토 하여야 한다.
- 지하수 유출량을 다음의 방법으로 측정한다.
 - 자연배수의 경우에는 위어(weir)를 이용하여 측정한다.
 - 집수정에서 강제배수하면서 펌프가 간헐적으로 가동되는 경우에는 자동 지하수위측정기나 펌프 가동-정지(on-off) 측정 횟수를 이용하여 측정하고, 펌프가 상시 가동되는 경우에는 유량계나 계량기를 이용하여 측정한다.



【적산유량계】

4.5.3. 운영단계

- 설계단계에서 설치된 모니터링공을 최소한의 개수로 유지시키고, 수위 및 수질을 연속적으로 측정한다.
- 유출지하수 집수정에 자동 수위·수질(온도, 전기전도도) 측정기를 삼입

하여 연속적인 자료를 수집하고, 운영단계의 지하수 유출량과 수질을 모니터링 한다.

- 주기적으로 설계 및 시공 단계의 자료와도 비교하여, 지하수 고갈, 수질오염, 지반침하 등의 지하수 장애에 대비하여야 한다. 필요시에는 지반변위도 측정하여 지반침하의 가능성에 대비해야 한다.
- 배출되는 지하수는 굴착 시 발생하는 토분을 함유하고 있어 유량계 오작동 또는 파손의 위험이 있기 때문에 프로펠라식 적산 유량계를 설치할 경우 이를 방지하는 제거 망을 설치하도록 지도한다. 수위센서에 의한 저류조 부피환산식 유량측정법을 이용할 경우 수위의 연속 측정이 누락되지 않도록 지도한다.
- 자연배수의 경우에는 위어(weir)를 이용하여 측정한다.

4.5.4. 유출지하수 관측시스템 운영

- 시장·군수는 지하수 유출이 물순환계에 미치는 영향을 보다 정량적으로 평가하기 위하여 시공 전, 시공 중, 그리고 운영 중 지하수위 등을 측정할 수 있는 관측시스템을 시설물 인근에 설치하고 자료를 수집토록 한다.

HELP ✓ 이는 보다 효율적인 유출지하수 관리를 위한 사항으로 지하수법에서 규정된 사항은 아님을 밝혀둔다.

- 관측시스템은 기본적으로 지하수 유출량 및 수질, 그리고 인근의 지하수위 등을 측정토록 한다. 인근에 유출에 영향을 미칠 수 있는 저수지 또는 하천 등의 지표수체가 있거나, 지반 침하의 우려가 있는 지역에서는 해당 영향을 감시할 수 있는 항목이 추가되어야 한다.
- 유출지하수 배수 형태에 따라 적당한 기기로 지하수 유출량을 측정

한다.

- 시설물 주변에 관측공을 설치하고 지하수위와 수질을 측정한다. 수질항목에는 수온과 전기전도도 등을 포함한다.
- 시설물사업자로 하여금 상기 항목들의 측정결과가 수록된 유출지하수 관측보고서를 지정된 서식에 따라 주기적으로 시장·군수에 보고토록 한다.
- 시장·군수는 유출지하수 관측보고서를 검토하고 유출지하수로 인한 부정적 영향 유무를 판단하고 필요한 경우 개선명령을 내린다.

주 의 사 항

1. 본 내용은 국토해양부가 발간한 「유출지하수 관리 요령」입니다.
2. 본 「유출지하수 관리 요령」의 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 발행처와 사전협의를 하여야 하며 무단복제를 금합니다.

발간등록번호

11-1611000-000425-01

유 출 지 하 수 관 리 요 령

- 발행기관 : 국토해양부
- 발 행 일 : 2009년
- 발 행 처 : 국토해양부 수자원정책과
경기도 과천시 관문로 88 정부과천청사 4동
TEL : (02) 2110-6312
FAX : (02) 503-7395