

제 3 장

지하수 영향조사·심사

제 3 장 지하수 영향조사·심사

3.1. 개 요

3.1.1. 배경 및 목적

- ☐ 지하수개발·이용의 허가시 지하수개발·이용이 주변지역에 미치는 영향을 조사하여 주변지하수의 고갈과 오염을 예측하고 이를 사전에 방지함으로써 지하수의 보전과 합리적인 이용을 도모하고자 지하수영향조사 제도를 도입, 시행하고 있음
- ☐ 이에, 지하수 영향조사서의 작성과 심사 및 지하수 영향조사업무에 필요한 기준과 업무처리 요령을 개정된 법령을 반영하여 작성하여, 지하수영향조사업무 종사자 및 지하수담당 공무원에게 영향조사서 작성 및 심사 등의 업무처리에 주교자 함

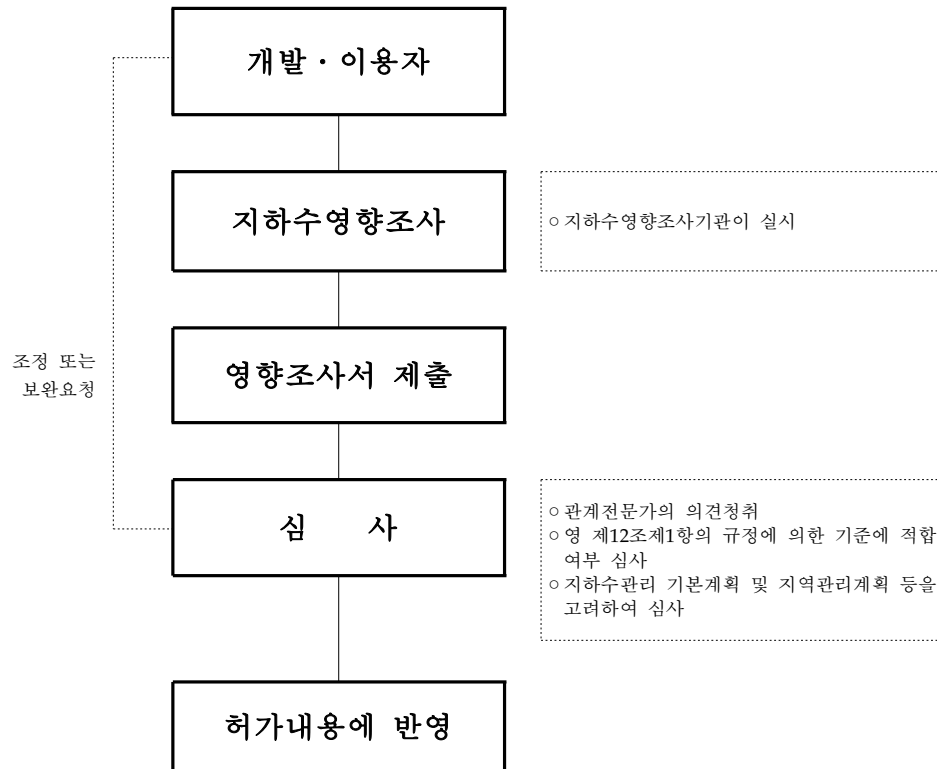
3.1.2. 적용대상

- ☐ 지하수개발·이용의 허가를 신청하고자 하는 자는 사전에 지하수영향조사기관에 의뢰하여 영향조사를 실시한 후 지하수영향조사서를 시장·군수에게 제출하여야 하며 시장·군수는 영향조사서를 심사하여 허가내용에 반영

3.1.3. 관련법규

- ☐ 지하수법 : 제7조(지하수개발·이용의 허가)제2항 및 제7항
- ☐ 시 행 령 : 제9조(지하수영향조사의 심사), 제12조(지하수영향조사의 항목·조사방법 등)

3.1.4. 업무흐름도



3.2. 지하수 영향조사 방법

3.2.1. 수문지질 현황 및 원수의 개발가능량

가. 조사대상지역의 선정

조사대상지역은 개발예정지점을 중심으로 반지름 0.5킬로미터를 기준으로 하되, 지역여건에 따라 시·도의 조례가 정하는 바에 의하여 2분의 1의 범위 안에서 가감할 수 있다. 다만, 지하수의 영향범위가 조사대상지역을 초과하는 경우에는 그 영향범위까지를 조사대상지역으로 한다.

지하수영향조사의 대상지역은 개발예정지점을 중심으로 반경 0.5km를 기준으로 하고 있다. 그러나 지하수영향조사의 목적이 지하수 개발·이용으로 인한 영향을 파악하는 것이므로 각종 조사결과를 토대로 산출한 1일 적정취수량으로 취수시 영향이 미치는 범위까지를 조사지역으로 하여야 한다. 한편, 특별히 지하수의 보전 관리가 필요한 지역이거나 지하수의 개발·이용이 요구되는 지역에서는 1/2범위 내에서 시·도의 조례에 따라 조사대상지역을 변경할 수 있다. 그러나 이 경우에도 조사대상 지역을 결정할 때에는 지하수의 영향범위가 우선적으로 고려되어야 한다.

HELP

- ✓ 여러 개의 정호에서 지하수를 동시에 개발하는 경우에는 각 방향 최외곽의 개발 예정지점을 기준으로 조사대상 지역을 선정하여야 한다.
- ✓ 지하수 개발로 인한 영향범위는 정확하게 수식화하기 어려운 자연현상이므로 산술적으로 그 범위를 규정하기 어렵다. 따라서 법에서 규정된 조사범위보다 영향조사 결과 산출된 영향범위를 더욱 중요시 하여야 한다.

나. 수문 및 수리지질 현황조사

조사지역의 기존자료를 수집·검토하고 현지답사를 통하여 아래의 수문 및 수리지질현황을 조사한다.

- (1) 우물, 샘, 유출지하수 등의 이용 현황
- (2) 하천의 현황
- (3) 잠재오염원 분포 현황

조사대상지역에 분포하는 우물이나 샘, 용천 등에 관한 현황조사를 실시하여 물 수요량 예측, 대수층 특성, 개략적인 지하수 부존량 등의 기초자료를 얻는다.

□ 우물, 샘, 유출지하수 등의 이용 현황

- 우물, 샘 유출지하수 등의 현황을 조사하는 방법으로는 현장 실사, 설문조사, 청취조사 등이 있으며 지하수영향조사의 경우에는 현장실사를 실시하는 것을 원칙으로 한다. 현장실사는 조사 지역 내에 분포하는 지하수 개발·이용시설현황을 기존자료를 토대로 직접 조사하여 지하수 이용특성을 분석하는 방법으로 자료의 신뢰도가 높고 지역의 정밀조사 시에 유용하다.
- 조사내용은 크게 구분하여 관리현황, 위치현황, 이용현황, 시설현황, 불용공 및 수질현황으로 구분되며 표 3.1과 같은 지하수 이용실태 현장조사표를 이용하여 각 우물마다 조사를 실시한다.
- 조사된 우물, 샘 및 유출지하수 등의 현황을 가능한 상세하게 목록화하고, 도면에 기재한다. 이때 우물, 샘 및 유출지하수 등의 사용량을 추정에 의해 산정하는 경우에는 그 산정방법을 기재하여야 한다.

□ 하천현황조사

- 조사대상지역 내에 분포하는 하천의 현황을 조사하여 목록화하고, 도면에 기입한다. 지하수법 제7조의2에 의한 하천인근에서의 지하수개발·이용허가에 해당하는지 여부를 확인한다.

□ 잠재오염원 분포현황조사

- 조사대상지역의 지하수 수질에 영향을 줄 수 있는 잠재오염원에 관한 자료를 체계적으로 수집, 분석한다. 특히 표 3.2의 잠재오염원 분류에서 주요 오염원으로 분류된 항목들을 중점적으로 조사하여 잠재오염원의 위치, 규모, 오염방지시설 여부 및 관리상태 등을 조사한다.

표 3.1 지하수 이용실태 현장조사표

조사일 : _____, 조사자 : _____

① 관리현황

허가형태	허가시설(), 신고시설(), 경미한 시설()	허가(신고/경미)번호	
관련법률		소관부서	

- 허가형태는 ○ 또는 ✓ 으로 표시
- 관련법률은 지하수법, 농어촌발전특별조치법, 국방군사시설사업에관한법률, 제주도개발특별법, 온천법, 민방위법, 수도법, 먹는물관리법, 하천법, 주택건설관리등에관한규정, 폐기물관리법, 기타법률 등 개발이용, 허가 및 신고업무와 관련된 해당 법령명을 기재
- 소관부서는 개발이용의 허가, 신고 등의 업무를 담당한 시군구의 해당부서

② 위치현황

정호 위치	시도	시군구	(구)	읍면동	리	번지
	지명/건물명		사용자명		전화	
	상호명		소유자명		전화	

- 정호위치는 시설이 위치한 지점에 대한 조사임
- 지명/건물명은 시설이 위치한 지명, 건물명 등을 기록하고, 상호명은 지하수를 사용하는 사업체의 명칭을 기록함
- 소유자명은 사용자와 소유자가 다른 경우에 기입함

③ 이용현황

용 도	세 부 용 도					
생활용()	○가정용(), 일반용(), 학교용(), 민방위용(), 국군용(), 공동주택용(), 간이상수도(), 상수도(), 농업생활용(), 기타()					
공업용()	○국가산업단지(), 지방산업단지(), 농공단지(), 자유업지업체(), 기타()					
농업용()	○전작(), 답작(), 원예(), 수산업(), 축산업(), 양어장(), 기타()					
기 타()	○온천수(), 먹는샘물(), 기타()					
공공시설(), 사설시설()		사용기간	연중사용(), 일정기간 사용(월부터 월까지)			
			연사용일수(일간)			
음용(), 비음용()		사용가구수	가구	사용인구	명	1인당급수량 ℓ/일/인
농업관정종리면적	ha	정수처리여부	정수처리함(), 정수처리하지 않음()			
일사용량	m³/일	월사용량	m³/월	연사용량		m³/년
사용량산정기준	계측기의 수치기록(), 하수도요금부과시설의 인정수량(), 사용자의 의견청취(), 토출구경/사용시간에 근거하여 추정(), 개발당시의 취수계획량 인용()					

- 해당란에 ○ 또는 ✓ 으로 표시
- 사용량 기재시 하수도요금 부과시설은 월사용량을 우선 기입하여 이를 토대로 일사용량과 연사용량을 추정하고, 기타 시설은 일사용량을 파악하여 월사용량과 연사용량을 추정

④ 시설현황

정호형태	관정 (), 인력관정 (), 집수암거 (), 지하댐 (), 재래식우물 (), 기타()							
총적관정 (), 암반관정 ()		개발년도		년	월	일	시공업체명	
심도	m	구경	mm	펌프마력	HP	양수능력	m³/일	토출관구경
								mm
시설유무 : 유량계 (), 출수장치 (), 그라우팅 (), 상부보호공 (), 수위측정관 (), 케이싱 (), 전기가설 ()								

- 시설의 설치유무는 ○ 또는 ✓ 으로 표시

⑤ 불용공 및 수질현황

불용 공 현황	사용중지원인 (불용공원인)	수량부족(), 수질악화(), 상수도대체(), 토지형질변경(), 소유주변경(), 용도변경(), 사용중지(), 염분증가(), 기타()					
	불용공발생일	년	월	일	불용공처리일	년	월
	불용공처리방법	케이싱제거및시멘트슬러리·몰탈되메움(), 케이싱미제거및시멘트슬러리·몰탈되메움() 점토되메움(), 일반토사되메움(), 기타()					
수질 현황	수질검사유무		연간수질검사횟수		회	신청인	
	수질검사종류		수질검사결과		수질검사기관		수질검사일자
	1차: 2차:		합격(), 불합격() 합격(), 불합격()				

- 불용공 및 수질현황자료 조사는 해당되는 시설에 대해서만 실시함
- 수질검사기관, 기준, 결과, 항목, 일자 등 검사내역에 관한 사항은 검사 횟수별로 기록

표 3.2 지하수의 잠재오염원(지하수의 수질보전 등에 관한 업무처리지침, 환경부, 1997)

종 류	공간적 형 태	시간적 형 태	중 요 오염원						
<input type="checkbox"/> 배출, 방류목적에 의해 설치된 오염물질	Ph P D.P	Y Y,S S							
<ul style="list-style-type: none">- 지하침투식(정화조, 구정물웅덩이)- 주입정(폐기물, 염수)- 지상살포(관개용 살포, 슬러지와 축산폐수의 농업용 지상살포, 폐기물 살포)									
<input type="checkbox"/> 오염물질의 처리 및 저장 또는 처분설비로부터 누출된 오염물질	Ph Ph Ph Ph Ph Ph Ph Ph Ph Ph P Ph	S S S S S S S S S R R R S Y.S.R							
<ul style="list-style-type: none">- 매립지(특정폐기물, 일반폐기물)의 침출수- 폐기물의 불법투기- 주거지에서 폐기물의 무단폐기- 지표저류시설)- 폐광석의 보관장- 폐기물의 야적장- 제품, 원료 등의 야적장- 공동묘지- 죽은 가축의 매장지- 지상탱크(유류, 유해화학물질)- 지하탱크(유류, 유해화학물질)- 저장용기(컨테이너)- 야외소각장 및 폭파현장- 방사능 폐기물 처분장									
<input type="checkbox"/> 운송, 배관시설에서 누출된 오염물질				Ph Ph	R R				
<ul style="list-style-type: none">- 배관(폐기물, 송유관, 하수관)에서 누출- 운송·운반과정에서 누출									
<input type="checkbox"/> 기타 활동에서 배출 및 살포된 오염물질				D D D Ph F P.D.F P.D.F D	S S S Y S S S S				
<ul style="list-style-type: none">- 관개용수의 재순환- 농약살포- 비료살포- 가축사육장의 가축분뇨 및 폐수- 제설·제빙제 살포- 도시지역의 강수 유출- 광산개발에 따른 광산폐수- 대기오염물질의 지하침투									
<input type="checkbox"/> 지하수 유동로 변경에 따른 오염원							P P P.D.F	Y Y S	
<ul style="list-style-type: none">- 채취정(유정, 가스정, 지열, 취수정)- 기타목적의 관정(관측정, 시험정)- 공사용 지하굴착									
<input type="checkbox"/> 인간 활동에 의해 자연적으로 발생된 오염원									
<ul style="list-style-type: none">- 지표수와 지하수의 연관관계- 자연적인 침출- 대수층내로 해수침입과 해수의 역상승현상									
P : 점오염원 D : 비점오염원 F : 전면오염원 h : 국지오염원 Y : 연간 S : 계절 R : 불규칙적									

다. 지하수 개발가능량(함양량) 산정

지하수관리 기본계획 등 기존자료를 활용하여 조사지역의 지하수 함양량과 개발가능량을 산정한다.

지하수 개발가능량이란 수문순환계가 파괴되지 않고 지하수 장해를 일으키지 않는 범위 내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하수량으로 정의할 수 있다. 여기서 수문순환계의 파괴란 자연계에서 물이 강수, 지표수, 지하수, 증발산 등의 형태로 순환하는 체계의 균형이 파괴되는 것으로, 지하수의 과잉 취수로 인하여 발생하는 지하수원의 고갈 또는 인근 하천의 건천화 등을 말한다.

지하수 개발가능량을 산정하기 위해서는 기상·수문, 식생, 토양, 지질 등과 같은 지하수 관련 자료가 필요하나, 관련 자료의 부족으로 정확한 지하수 개발가능량 산정은 현실적으로 어렵다. 지하수 개발가능량 산정의 대표적인 방법으로는 물수지분석 방법, 기저유출 분리방법, 지하수 수위자료분석 방법, 수학적 모델분석 방법 등이 있다. 이러한 방법은 각각 필요한 자료가 다르고 나름대로의 장단점을 가지고 있으므로 개발가능량 산정시 가용자료를 파악하여 적절한 방법을 선정하여야 한다.

□ 물수지분석 방법

수문학적 물수지분석은 물의 순환과정에서 모든 수문요소의 양을 평가하여 지하수의 함양량을 추정하는 방법이다. 이 방법은 장기간에 걸친 평균적 평형 상태를 가정하므로 중간과정에서의 동적인 수문·수리 상태를 고려하지 못하는 결점이 있으나 계획단계에서 수자원의 지역적인 부존량 정도를 파악하고 대수층의 초기 및 경계조건을 설정하는데 필수적인 방법이다.

물수지 방법을 이용하여 지하수 함양량을 산정하는 공식은 다음과 같다.

$$I = P - DR - ET \pm IU$$

I : 지하수 함양량, P : 총 강수량, DR : 지표수의 직접유출량

ET : 증발산량, IU : 타 유역으로부터 지하수의 유출입량

한편, 위 식에서 타 유역으로부터 지하수의 유입, 유출이 없다고 가정하면

$$I = P - DR - ET \text{ 와 같이 간단히 된다.}$$

물수지 방법을 이용하여 지하수 함양량을 산정하기 위해서는 강수량, 증발산량, 직접유출량 등을 구하여야 하는데, 각 인자별로 산정방법을 설명하면 다음과 같다.

○ 강수량 분석

강수량은 지하수 함양량 평가의 가장 근간이 되는 인자로서 관측소 분포, 장기 관측자료의 보유 유무에 따라 강수량 분석의 정도가 좌우된다. 어떤 시기동안 해당지역의 강우자료가 결측되었거나 기기의 교체, 설치 장소의 이동 등으로 자료의 일관성이 결여된 경우에는 주변 관측소의 관측자료를 이용하여 이를 보완하여야 한다.

또한, 기상관측소의 관측자료는 점우량자료이므로 이들 자료로부터 해당지역의 면적을 대표할 수 있는 면적 평균강수량을 산정할 필요가 있는데, 그 방법으로는 산술평균법, Thiessen법, 등우선법, 삼각형법 등이 있다.

○ 증발산량 산정

증발산(Evapotranspiration)은 수면으로부터의 증발(Evaporation)과 식물로부터의 증산(Transpiration)을 합한 것으로, 수분이 기체 상태로 대기로 환원되는 모든 것을 포함한다. 증발산량을 추정하는 방법으로는 측정에 의한 방법, 이론적 방법, 기후 인자와의 상관관계에 의한 방법 등이 있다. 이중 널리 이용되는 기후 인자와의 상관관계에 의한 방법은 주로 경험공식에 의하여 식물의 소비수량을 계산하는 방법으로 Blaney-Criddle법, Thornthwaite법, Penman법 등이 있다.

○ 직접유출량 산정

지상에 도달한 강수의 일부는 지하로 침투하거나 증발, 증산작용으로 손실되고 그 초과분은 지표면으로 흘러 유출하게 된다. 흙의 초기 함수 상태는 침투량에 직접적으로 영향을 주기 때문에 강수에 의해 발생하는 유출량을 결정하는 요인이 된다. 강수량에서 침투와 증발산에 의한 손실을 제외한 값을 초과 강수량 또는 지표유출(run-off)이라 하며, 지표유출량 계산방법으로는 Φ 지표법, W지표법, SCS 방법 등이 있다. Φ 지표법이나 W지표법은 대상 유역에서 호우로 인한 유출량 측정 자료가 있는 경우에만 적용이 가능하며, 유출량 측정자료가 없는 경우에는 미국 토양보존국(US Soil Conservation Service)에서 개발한 SCS방법을 이용하여 유역의 토질특성과 식생피복상태 등의 자료에서 초과강수량 혹은 직접유출량을 산정한다.

□ 기저유출(base flow) 분리법

강수로 인하여 지표에 침투된 물은 지표유출(surface flow), 중간유출(inter flow) 및 기저유출(base flow)의 형태로 유출된다. 국지적인 지하수 흐름계에서 기저유출의 근원은 지표면에서 침투한 물로서 기저유출량을 강우에

의한 지하수 함양량과 같다고 가정할 수 있다.

수문곡선(Hydrograph)은 시간에 따른 하천의 유량 또는 수위변화를 종합적으로 표현한 그래프로서 수문곡선상의 지표수 유출은 크게 직접유출과 기저유출로 구성되어 있다. 따라서 수문곡선상에서 기저유출량을 분리함으로써 지하수 함양량을 산정할 수 있다. 수문곡선의 분리방법으로는 직선분리법(straight line method), 고정기저분리법(fixed base method), 가변기울기 분리법(variable slope method) 등이 있는데, 이들 모두 부분적으로 주관성을 내포하고 있어 근사방법에 해당하며, 직선분리법이 가장 널리 사용된다.

□ 지하수 수위자료 분석 방법

지하수 수위자료 분석방법은 해당 지역 또는 유역내의 지하수 관측정에서 장기간 측정된 지하수위자료를 이용하여 지하수 개발가능량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 장기간의 자연 상태의 수위자료를 도시하여 최저수위를 찾아 기준수위로 설정하고 지하수위가 기준수위 이하로 내려가지 않는 범위 내에서 지하수를 개발할 수 있다는 가정에 기초한 것으로, 다음식에 의하여 주어진 기간에 대한 개발가능량을 산정할 수 있다.

$$\text{지하수 개발가능량} = \sum (\text{주어진 기간의 평균 지하수위} - \text{최저수위}) \\ \times (\text{하나의 관측정 지배 면적}) \times (\text{유효공극율})$$

이 방법에 의한 산정치는 안전한 개발가능량을 제시할 수 있지만, 갈수기와 홍수기의 개발가능량을 다르게 설정하여야 하고 많은 관측정에서 신뢰성 있는 장기간의 수위관측자료가 필요하며, 대수층의 불균질성과 이방성으로 인한 각 관측정의 지배 면적 결정의 어려움 등이 있다.

□ 수학적 모델분석 방법

이 방법은 강우의 침투, 지하수의 유동, 증발산 등을 수학적인 모형으로 표현하고 대상지역에 대한 개념 모델을 설정한 후 수치해석 방법으로 지하수 함양량과 대수층에서 지하수의 유출량을 산정하는 방법이다. 그러나 복잡다양하며 불확실성이 많은 자연현상을 정확하게 모사한다는 것이 불가능하므로 해당지역에 대한 많은 실측자료가 있으며 복잡 다양한 자연현상을 단순화시킬 수 있는 경우에만 적용 및 해석이 가능하다.

□ 기존자료를 이용하는 방법

지하수영향조사시 대상지역에 대한 가용자료가 충분한 경우에는 전술한 방법 중 적절한 방법을 선택하여 지하수 개발가능량을 산정할 수 있으나, 가용 자료의 부족으로 개발가능량의 산정이 곤란 경우에는 기존 자료의 이용이 불가피하다.

그간 여러 연구자 또는 기관에서 우리나라의 지하수 개발가능량을 산정한 바 있다. 특히, 건설교통부에서는 1996년에 지하수법에 의한 법정계획인 지하수관리 기본계획을 수립하면서 하천유량 관측자료를 토대로 기저유출 분리법을 사용하여 우리나라의 지하수 개발가능량을 산정, 제시하였으며 2002년도에는 동 계획을 보완하면서 지하수 관측자료를 토대로 지하수 개발가능량을 재산정하였다.

동 보완계획에서는 국가지하수관측소의 지하수위 측정자료를 분석하여 관측소별 지하수 함양계수를 산정하고 지하수 함양계수와 이에 큰 영향을 미치는 인자(토양, 토지이용 및 기반암) 간의 상관성을 분석하였으며, 이를 토대로 소유역별 지하수 함양계수를 구하여 소유역별 지하수 개발가능량을 산정하였다. 또한 이와 아울러 소유역별 지하수 개발가능량을 토대로 행정구역별 지하수 개발가능량도 제시하였다.

따라서 지하수영향조사에서 기존 자료를 이용하여 개발가능량을 산정할 경우에는, 가장 최근의 자료로서 우리나라 지하수 개발·이용 및 보전관리의 기본 틀인 지하수관리 기본계획에서 산정, 제시된 자료를 이용하는 것이 바람직하다.

라. 신규 개발가능량 산정

위에서 산정된 조사지역의 지하수 개발가능량을 토대로 기존 지하수 이용량 등을 고려한 지하수 신규 개발가능량을 산정한다.

지하수 신규 개발가능량은 조사공이 위치한 유역 내의 총 지하수 개발가능량에서 기존에 이용하고 있는 지하수 이용량을 제외한 양이다. 허가신청량은 이 신규 지하수 개발가능량 이내이어야 한다.

3.2.2. 적정취수량 및 영향범위 산정

가. 대수성시험

대수성시험을 통하여 대수층의 특성 및 지하수산출특성을 파악한다.

(1) 단계대수성시험

- (가) 단계대수성시험은 최소 3단계 이상 실시하여야 하며, 각 단계별 시험의 소요시간은 1시간 이상이어야 한다.
- (나) 양수정안에 수중모터펌프를 설치하여 각 단계별로 양수율을 일정하게 유지하면서 양수정에서의 양수시간에 따른 지하수 수위의 강하를 측정한다.

(2) 연속대수성시험

- (가) 단계대수성시험의 완료 후 지하수의 수위가 회복된 다음에 일정양수율 조건에서 양수정 및 관측정에서의 양수시간에 따른 지하수 수위의 강하를 측정한다. 다만, 관측정이 없는 경우에는 양수정에서만 지하수 수위의 강하를 측정할 수 있다.
- (나) 연속대수성시험기간은 16시간 이상 연속으로 함을 원칙으로 한다.
- (다) 양수시간에 따른 지하수 수위강하를 측정한 자료를 통하여 대수층의 특성을 나타내는 수리상수인 수리전도도·투수량계수·저류계수·비양수량 등을 조사한다.

(3) 수위회복시험

- (가) 연속대수성시험의 종료와 동시에 펌프의 작동을 중지시키고 양수시간에 따른 회복수위를 2시간 이상 측정한다.
- (나) 양수시간에 따른 회복수위를 측정한 자료를 통하여 수리상수를 조사하고 연속대수성시험의 결과와 비교한다.

(4) 양수정과 관측정에서의 지하수 수위의 측정 시간간격은 다음과 같다.

- (가) 시험시작 후 5분까지 : 1분 간격
- (나) 시험시작 후 5분부터 1시간까지 : 5분 간격
- (다) 시험시작 후 1시간부터 2시간까지 : 15분 간격
- (라) 시험시작 후 2시간부터 6시간까지 : 1시간 간격
- (마) 시험시작 후 6시간부터 종료시까지 : 2시간 간격

□ 대수성시험

대수성시험은 양수실시 여부, 관측정의 설치여부, 일정 양수율인지 여부 등의 조건에 의하여 단계대수성시험, 연속대수성시험(양수시험), 순간수위 변화시험 등으로 구분된다. 지하수법에서는 대수성시험 방법으로 단계대수성시험과 연속대수성시험(양수시험)과, 양수시험의 검증을 위한 수위회복시험을 실시하도록 하고 있다.

○ 단계대수성시험(Step-drawdown Test)

양수정에서 정호 및 대수층 특성에 따른 지하수위의 수두 손실을 평가하기 위하여 실시하는 대수성시험으로서 초기에는 작은 양수율로 양수하다가 점차 단계적으로 양수량을 증가시켜 일련의 시간-수위강하 자료를 얻는 시험방법으로 일반적으로 정호의 효율, 정호에서의 적정취수량 등을 파악하기 위하여 연속대수성시험과 병행하여 실시한다. 기타 자세한 설명은 다. 적정취수량 및 영향범위 결정을 참조한다.

○ 연속대수성시험(양수시험)

연속대수성시험은 일정시간 동안 동일한 양수율로 양수를 하고 이에 따른 지하수위의 강하를 측정하는 시험으로 일반적으로 양수시험이라 부른다.

영향조사를 위해 설치된 정호 또는 기존 정호를 시험정으로 양수시험을 실시하여 대수층의 수리특성 (수리전도도, 투수량계수, 저류계수, 비양수량 등) 및 정호 특성을 분석한다. 동 시험시 인근에 기존 정호가 있는 경우에는 이를 관측정으로 활용하여 수위변화를 함께 측정, 분석한다.

대수층의 특성(자유면/피압대수층, 미고결층/암반층), 경계면의 분포, 우물의 심도, 형태 및 조건(우물저장효과, 스킨효과, 스크린구간) 등에 따라 분석방법이 달라지므로 각 분석법을 이용할 때는 분석법에 대한 조건 및 가정에 대해 세심한 주의가 필요하다. 양수시험 결과는 양수시험 결과도, 시험결과표, 해석방법 등에 대해 보고서에 수록하여야 한다.

- 일반사항

- 양수정과 관측정을 설치하고, 양수정에서의 지하수 배출로 인하여 발생하는 관측정에서의 수위변화를 측정하고, 이들로부터 수리상수를 계산한다.
- 양수시험은 기본적으로 16시간 이상 연속적으로 실시함을 원칙으로 하고 있으나, 자유면 대수층의 경우에는 충분한 양의 배수를 위하여 그 이상의 시간이 요구되는 경우도 있다.

- 양수시험시 측정하는 사항은 양수전의 자연수위, 양수 시작과 종료 시간, 양수량, 양수 중의 일정시간별 수위, 양수량 변화시간 등이다.
- 양수시험시 양수되는 수량은 V-Notch, 유량계 등 유량측정장치로 점검하고, 양수정 및 관측정에서 수위변화를 계속 측정, 기록한다.
- 양수시험 도중에 펌프의 고장 등으로 시험이 중단된 경우에는 수위가 원래의 상태로 완전히 회복된 후 처음부터 다시 양수시험을 실시하여야 한다.
- 양수시험에는 수위측정기, 수위기록대장, 유량측정장비 등이 필요하며, 관측요원 및 보조인부가 측정 기록한다.
- 양수시험 순서
 - 양수정 굴착 후, 양수시험을 실시하기 전에 착정시의 지하수 산출 상태에 대한 정보를 이용하여 양수량과 수위강하량의 상관관계를 개략적으로 파악한 후 양수펌프의 규모를 결정한다.
 - 시험양수량을 결정하여 제반 양수시험용 장비를 설치한 후 펌프, 수위측정장비 등을 가동하여 시험을 시작한다.
 - 양수시험 중에는 V-Notch에서의 일류수심 측정, 유량계의 확인 등을 통하여 양수량이 일정하게 유지되고 있는지를 계속 관찰한다.
 - 양수시험 동안 양수정 및 관측정에서의 수위강하량을 주어진 시간간격에 따라 측정한다. 자동관측장비에 의하여 관측하는 경우에는 관측장비의 시간간격을 설정한다.
 - 양수시험을 시행하는 동안 양수된 지하수가 주변을 통하여 지하로 재유입되지 않도록 각별히 주의한다.
- 수위회복시험
 - 양수시험 종료시에는 양수기의 가동을 중지하고 각 시험정 및 관측정에서 수위가 회복될 때까지 회복수위를 측정하여야 한다.
 - 회복시험 결과를 분석하여 양수시험 분석 결과와 비교 검토한다.
- 기타 대수성시험
 - 대수층의 수리적 특성에 관한 추가 정보가 필요한 경우나 현장사정에 의하여 양수시험이 불가능한 경우에는 슬러그 시험, 추적자 시험, 지하매질 실내시험 등의 대수성시험 방법이 있다.

나. 대수층 수리상수의 산정

□ 정류상태(Steady-State Condition)

양수시 지하수위가 일정하게 유지되어 시간에 따른 수위변화가 없을 때의 지하수 흐름을 정류상태라 하며, 정류상태에서의 지하수 흐름방정식을 평형방정식(Equilibrium Equation) 또는 티엠방정식(Thiem Equation)이라 한다. 피압대수층과 자유면대수층에서의 평형방정식은 다음과 같다.

○ 피압대수층

피압대수층에서 양수정으로 집수가 일어날 때 지하수의 흐름은 방사상으로 되며 이 경우 다시의 법칙(Darcy's Law)을 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$Q = (2\pi rb)K \left(\frac{dh}{dr} \right), \quad Q = 2\pi rT \left(\frac{dh}{dr} \right), \quad dh = \frac{Q}{2\pi T} \frac{dr}{r}$$

여기서 Q 는 양수량, b 는 대수층의 두께, h 는 수두, r 은 양수정에서의 거리, T 는 투수량계수이다.

만일, 관측공이 2개 있고 양수정으로부터 r_1 , r_2 의 거리만큼 떨어진 관측공의 수위를 h_1 , h_2 라고 하고, 이를 경계조건으로 하여 위의 식을 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\int_{h_1}^{h_2} dh = \frac{Q}{2\pi T} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}$$

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

따라서 투수량계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$T = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)

Q : 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)

h_1 : 양수정에서 r_1 만큼 떨어진 지점의 수위(m)

h_2 : 양수정에서 r_2 만큼 떨어진 지점의 수위(m)

○ 자유면대수층

자유면대수층에서 지하수의 방사상 흐름은 Dupuit의 가정(우물에서 지하수를 취수할 때 수위강하 구역 내에 형성되는 지하수위는 전 대수층 구간에서 고르게 형성되며, 지하수위를 해발고도로 나타낼 수 있다)이

성립될 경우 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Q = (2\pi rh)K \left(\frac{dh}{dr} \right) \text{ 또는 } h \, dh = \frac{Q}{2\pi K} \frac{dr}{r}$$

만일, 관측공이 2개 있고 양수정으로부터 r_1, r_2 의 거리만큼 떨어진 관측공의 수위를 h_1, h_2 라고 하고, 이를 경계조건으로 하여 위의 식을 적분하면 다음과 같다.

$$\int_{h_1}^{h_2} h \, dh = \frac{Q}{2\pi K} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}$$

$$\frac{h_2^2 - h_1^2}{2} = \frac{Q}{2\pi K} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

따라서, 수리전도도는 다음과 같다.

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

K : 수리전도도(m/일)
 Q : 양수율(m³/일)
 h_1 : 양수정에서 r_1 만큼 떨어진 지점의 수위(m)
 h_2 : 양수정에서 r_2 만큼 떨어진 지점의 수위(m)

□ 부정류상태(Non Steady-State Condition)

- 타이스법(Theis Method) - 피압대수층에서 지하수의 방사상 흐름

타이스 방정식(Theis Equation) 또는 비평형방정식(Nonequilibrium Equation)은 다음과 같다.

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

위의 적분식을 무한급수로 표현하면 다음과 같다.

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.577216 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} - \frac{u^4}{4 \times 4!} + \dots \right]$$

한편, $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ 이고 위의 식의 괄호안의 부분을 우물함수 $W(u)$ 로 정의하면 다음 식과 같이 간단히 표시된다.

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

위 식을 변환하여 투수량계수와 저류계수를 구하는 식은 다음과 같이

표시된다.

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u), \quad S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)

S : 저류계수

Q : 양수율($\text{m}^3/\text{일}$)

$h_0 - h$: 수위강하(m)

t : 시간(일)

r : 양수정에서 관측정까지의 거리(m)

Theis식은 형태상 직접 풀 수는 없다. 따라서 Theis는 특성곡선(type curve)을 이용하는 그래프방법을 고안하였다. 이 방법을 적용하려면 수위강하 대 시간(또는 수위강하 대 t/r^2)의 도표를 $W(u)$ 대 $1/u$ 의 특성곡선에 중첩시키고 임의의 한 지점에서 s , t (또는 t/r^2), $W(u)$, $1/u$ 의 값을 읽는다(그림 3.1). 이 값을 위의 식에 대입하여 투수량계수와 저류계수를 구한다. 한편, 수리전도도는 위의 방법으로 구한 투수량계수 값으로부터 다음과 같은 식에 의하여 계산할 수 있다.

$$T = K \cdot b$$

T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)

K : 수리전도도($\text{m}/\text{일}$)

b : 대수층의 두께(m)

표 3.3 우물함수 $W(u)$ 와 u 의 관계표

u	$W(u)$	u	$W(u)$	u	$W(u)$	u	$W(u)$
1×10^{-10}	22.45	7×10^{-8}	15.09	4×10^{-5}	9.55	1×10^{-2}	4.04
2×10^{-10}	21.76	8×10^{-8}	15.76	5×10^{-5}	9.33	2×10^{-2}	3.35
3×10^{-10}	21.35	9×10^{-8}	15.65	6×10^{-5}	9.14	3×10^{-2}	2.96
4×10^{-10}	21.06	1×10^{-7}	15.54	7×10^{-5}	8.99	4×10^{-2}	2.68
5×10^{-10}	20.84	2×10^{-7}	14.85	8×10^{-5}	8.86	5×10^{-2}	2.47
6×10^{-10}	20.66	3×10^{-7}	14.44	9×10^{-5}	8.74	6×10^{-2}	2.30
7×10^{-10}	20.50	4×10^{-7}	14.15	1×10^{-4}	8.63	7×10^{-2}	2.15
8×10^{-10}	20.37	5×10^{-7}	13.93	2×10^{-4}	7.94	8×10^{-2}	2.03
9×10^{-10}	20.25	6×10^{-7}	13.75	3×10^{-4}	7.53	9×10^{-2}	1.92
1×10^{-9}	20.15	7×10^{-7}	13.60	4×10^{-4}	7.25	1×10^{-1}	1.823
2×10^{-9}	19.45	8×10^{-7}	13.46	5×10^{-4}	7.02	2×10^{-1}	1.223
3×10^{-9}	19.05	9×10^{-7}	13.34	6×10^{-4}	6.84	3×10^{-1}	0.906
4×10^{-9}	18.76	1×10^{-6}	13.24	7×10^{-4}	6.69	4×10^{-1}	0.702
5×10^{-9}	18.54	2×10^{-6}	12.55	8×10^{-4}	6.55	5×10^{-1}	0.560
6×10^{-9}	18.35	3×10^{-6}	12.14	9×10^{-4}	6.44	6×10^{-1}	0.454
7×10^{-9}	18.20	4×10^{-6}	11.85	1×10^{-3}	6.33	7×10^{-1}	0.374
8×10^{-9}	18.07	5×10^{-6}	11.63	2×10^{-3}	5.64	8×10^{-1}	0.311
9×10^{-9}	17.95	6×10^{-6}	11.45	3×10^{-3}	5.23	9×10^{-1}	0.260
1×10^{-8}	17.84	7×10^{-6}	11.27	4×10^{-3}	4.95	1×10^0	0.219
2×10^{-8}	17.15	8×10^{-6}	11.16	5×10^{-3}	4.73	2×10^0	0.049
3×10^{-8}	16.74	9×10^{-6}	11.04	6×10^{-3}	4.54	3×10^0	0.013
4×10^{-8}	16.46	1×10^{-5}	10.94	7×10^{-3}	4.39	4×10^0	0.004
5×10^{-8}	16.23	2×10^{-5}	10.24	8×10^{-3}	4.26	5×10^0	0.001
6×10^{-8}	16.05	3×10^{-5}	9.84	9×10^{-3}	4.14		

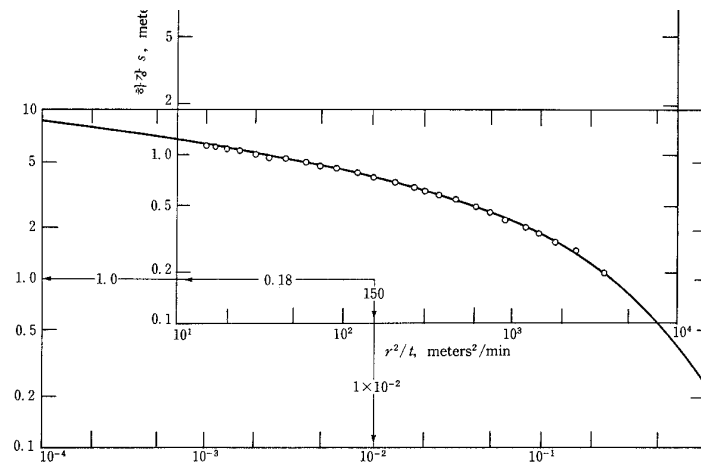


그림 3.1 Theis 방법을 이용하여 수리상수를 구하는 법

○ 제이콥의 직선법(시간-수위강하법)

Jacob과 Cooper는 u 값이 작을 경우 무한급수로 표현되는 우물함수 $W(u)$ 가 최초 2개 항만 이용하여 근사적으로 표현할 수 있는 점을 이용하여 Theis의 방정식을 다음과 같이 표현하였다.

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} \left[-0.577216 - \ln\left(\frac{r^2 S}{4Tt}\right) \right]$$

이를 상용로그로 표현하면 다음과 같다.

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi(h_0 - h)} \log\left(\frac{2.25Tt}{r^2 S}\right)$$

양수로 인한 관측점에서의 수위강하는 그림 3.2에서 보는 바와 같이 반대수 그래프에서 일직선으로 나타난다. 시간-수위강하 그래프가 준비되면 수위강하는 Y축에, 시간은 X축에 표시한다. 이 직선의 경사는 양수율과 투수량계수에 비례하며 Jacob은 여기에서 투수량계수와 저류계수를 계산하는 공식을 유도하였다.

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s}, \quad S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

- Q : 양수율($\text{m}^3/\text{일}$)
 Δs : 시간 1로그주기 동안의 수위변화(m)
 t_0 : 직선의 연장과 수위강하가 0인 선과의 교차점에서의 시간(일)
 r : 양수정에서 관측점까지의 거리(m)

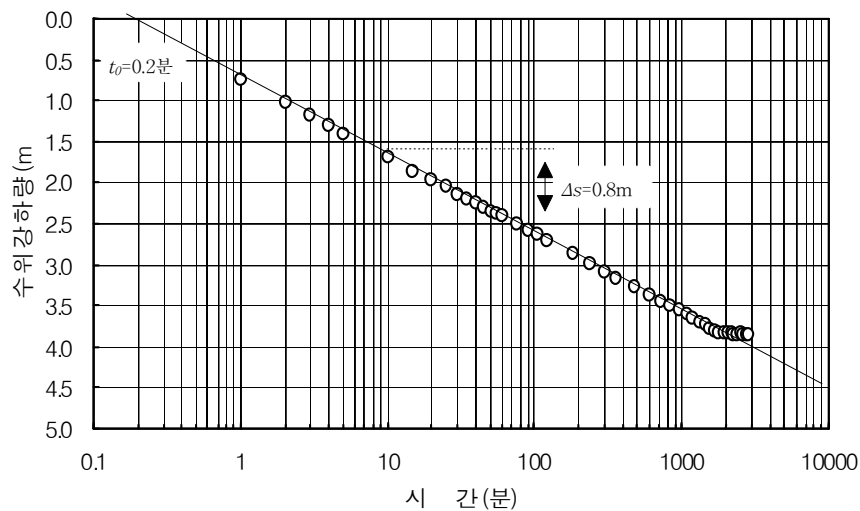


그림 3.2 시간-수위강하법에 의해 수리상수를 구하는 방법

○ 제이콥의 직선법(거리-수위강하법)

양수정에서 각기 다른 거리에 위치하는 3개 이상의 관측정으로부터 동시에 측정된 수위강하는 Theis식과 특성곡선을 이용하여 대수층의 투수량계수와 저류계수를 결정할 수 있다. 시험이 장시간 계속된다면 각 관측정의 자료로부터 시간-수위강하 자료를 이용하거나 다른 관측정에서 동시에 측정된 수위강하 자료를 이용한 거리-수위강하 그래프를 이용하여 Jacob의 방식으로 분석할 수 있다.

Jacob의 거리-수위강하법에서는 수위강하는 Y축에, 거리는 X축에 도시한다. 만일 대수층과 시험 조건들이 Theis의 기본가정과 Jacob 방법의 조건을 만족시킨다면 다른 관측정에서 동시에 측정된 수위강하는 일직선상에 도시되어야 한다(그림 3.3). 이 직선의 경사는 양수율과 투수량계수에 비례한다. 그러므로 Jacob은 거리-수위강하 그래프로부터 투수량계수와 저류계수를 계산하는 공식을 유도하였다.

$$T = \frac{2.3Q}{2\pi\Delta s}, \quad S = \frac{2.25Tt}{r_0^2}$$

Q : 양수율($\text{m}^3/\text{일}$)

Δs : 거리 1로그주기 동안의 수위변화(m)

t : 수위강하가 측정된 시간(일)

r_0 : 직선을 연장하여 수위강하가 0인 선과 교차하는 지점까지의 거리(m)

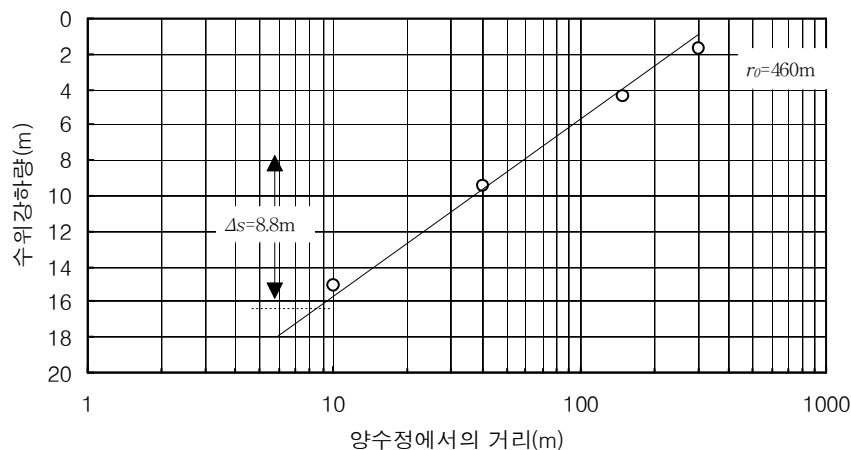


그림 3.3 거리-수위강하법에 의해 수리상수를 구하는 방법

□ 왈튼의 특성곡선 분석법(Walton Graphical Method)

준피압대수층 또는 누수가 일어나는 대수층(leaky aquifer)은 완전히 포화된 대수층으로 상부에는 반대수층이 분포하고 하부에는 불투수층 또는 반대수층이 분포한다. 반대수층은 수리전도도는 낮으나 수직적인 지하수 유동이 어느 정도 가능한 층으로 정의된다. 이와 같은 지하 대수층의 상태에서 수리상수를 구하는 방법은 왈튼에 의하여 개발되었으며, 수리상수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u, r/B)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

$$r/B = r/(Tb'/K')^{1/2}$$

$$K' = [Tb'(r/B)^2]/r^2$$

Q	: 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)
T	: 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)
t	: 양수후 경과시간(일)
S	: 저류계수
r	: 양수정에서 관측정까지의 거리(m)
K'	: 반대수층의 수직 수리전도도($\text{m}/\text{일}$)
b'	: 반대수층의 두께(m)
B	: leakage factor($Tb'/K')^{1/2}$ (m)

수리상수를 구하는 과정은 다음과 같다.

관측정에서 시간에 따른 수위강하를 log-log scale로 도시하여 수위관측자료 그래프를 특성곡선(그림 3.4)에 중첩한다. 중첩된 그래프의 한 점을 선택하여 $W(u, r/B)$, u , r/B , s , t 를 읽은 뒤 다음의 식을 이용하여 투수량계수, 저류계수 및 반대수층의 수리전도도를 계산한다.

$$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u, r/B)$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

$$K' = (r/B)^2 \frac{Tb'}{r^2}$$

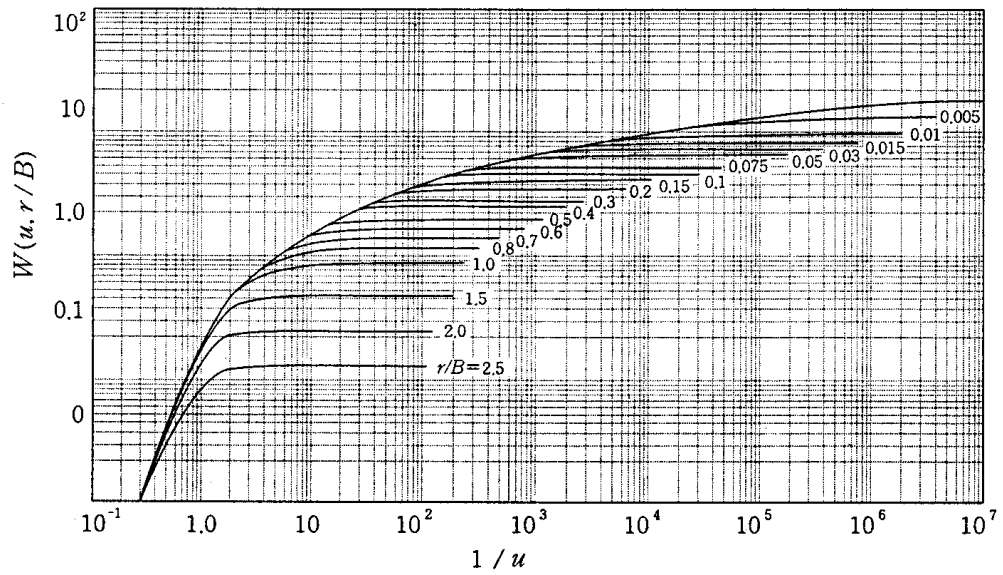


그림 3.4 Walton의 누수대수층 표준곡선

이상과 같이 대수층 수리상수의 산정방법은 대수층의 조건과 수리상수 산정방법을 고안한 사람에 따라 다양한 방법이 있으며, 이를 정리하면 표 3.5와 같다.

표 3.4 우물함수 $W(u, r/B)$ 와 u 의 관계표

$u \backslash r/B$	0.002	0.004	0.006	0.008	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	4	6	8
0	12.7	11.3	10.5	9.89	9.44	8.06	6.67	5.87	5.29	4.85	3.51	2.23	1.55	1.13	0.842	0.228	0.0223	0.0025	0.0003
0.000002	12.1	11.2	10.5	9.89	9.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.000004	11.6	11.1	10.4	9.88	9.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.000006	11.3	10.9	10.4	9.87	9.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.000008	11.0	10.7	10.3	9.84	9.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00001	10.8	10.6	10.2	9.80	9.42	8.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00002	10.2	10.1	9.84	9.58	9.30	8.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00004	9.52	9.45	9.34	9.19	9.01	8.03	6.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00006	9.13	9.08	9.00	8.89	8.77	7.98	6.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00008	8.84	8.81	8.75	8.67	8.57	7.91	6.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.0001	8.62	8.59	8.55	8.48	8.40	7.84	6.67	5.87	5.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.0002	7.94	7.92	7.90	7.86	7.82	7.50	6.62	5.86	5.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.0004	7.24	7.24	7.22	7.21	7.19	7.01	6.45	5.83	5.29	4.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.0006	6.84	6.84	6.83	6.82	6.80	6.68	6.27	5.77	5.27	4.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.0008	6.55	6.55	6.54	6.53	6.52	6.43	6.11	5.69	5.25	4.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.001	6.33	6.33	6.32	6.32	6.31	6.23	5.97	5.61	5.21	4.83	3.51	-	-	-	-	-	-	-	-
0.002	5.64	5.64	5.63	5.63	5.63	5.59	5.45	5.24	4.98	4.71	3.50	-	-	-	-	-	-	-	-
0.004	4.95	4.95	4.95	4.94	4.94	4.92	4.85	4.74	4.59	4.42	3.48	2.23	-	-	-	-	-	-	-
0.006	4.54	-	-	-	4.54	4.53	4.48	4.41	4.30	4.18	3.43	2.23	-	-	-	-	-	-	-
0.008	4.26	-	-	-	4.23	4.25	4.21	4.15	4.08	3.98	3.36	2.23	-	-	-	-	-	-	-
0.01	4.04	-	-	-	4.04	4.03	4.00	3.95	3.89	3.81	3.29	2.23	1.55	1.13	-	-	-	-	-
0.02	3.35	-	-	-	3.35	3.35	3.34	3.31	3.28	3.24	2.95	2.18	1.55	1.13	-	-	-	-	-
0.04	2.68	-	-	-	2.68	2.68	2.67	2.66	2.65	2.63	2.48	2.02	1.52	1.13	0.842	-	-	-	-
0.06	2.30	-	-	-	2.30	2.29	2.29	2.28	2.27	2.26	2.17	1.85	1.46	1.11	0.839	-	-	-	-
0.08	2.03	-	-	-	-	2.03	2.02	2.02	2.01	2.00	1.94	1.69	1.39	1.08	0.832	-	-	-	-
0.1	1.82	-	-	-	-	-	1.82	1.82	1.81	1.80	1.75	1.56	1.31	1.05	0.819	0.228	-	-	-
0.2	1.22	-	-	-	-	-	1.22	1.22	1.22	1.22	1.19	1.11	0.996	0.857	0.715	0.227	-	-	-
0.4	0.702	-	-	-	-	-	0.702	0.702	0.701	0.700	0.693	0.665	0.621	0.565	0.502	0.210	-	-	-
0.6	0.454	-	-	-	-	-	0.454	0.454	0.454	0.453	0.450	0.436	0.415	0.387	0.354	0.177	0.0222	-	-
0.8	0.311	-	-	-	-	-	0.311	0.310	0.310	0.310	0.308	0.301	0.289	0.273	0.254	0.144	0.0218	-	-
1	0.219	-	-	-	-	-	-	-	-	0.219	0.218	0.213	0.206	0.197	0.185	0.114	0.0207	0.0025	-
2	0.049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.049	0.048	0.047	0.046	0.044	0.034	0.011	0.0021	0.0003
4	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0038	0.0037	0.0037	0.0036	0.0031	0.0016	0.0006	0.0002
6	0.0004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0
8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

표 3.5 대수층 수리상수의 산정

구 분		산 정 방 법	비 고
정 류 상 태	피압대수층	$T = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$	-평형방정식 (또는 Thiem 방정식)
	자유면대수층	$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$	-평형방정식 (또는 Thiem 방정식)
부정류 상 태	타이스법	$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u)$ $S = \frac{4Ttu}{r^2}$	-비평형방정식 -타이스의 특성곡선을 이용하여 수리상수 산정
	제이콥법 (시간-수위강하법)	$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s}$, $S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$	-양수시간과 수위강하를 반대수 그래프에 표시함으로써 수리상수 산정
	제이콥법 (거리-수위강하법)	$T = \frac{2.3Q}{2\pi\Delta s}$, $S = \frac{2.25Tt}{r_0^2}$	-양수시간과 관측점의 거리를 반대수 그래프에 표시함으로써 수리상수 산정
특성곡선 분석법		$T = \frac{Q}{4\pi(h_0 - h)} W(u, r/B)$, $S = \frac{4Ttu}{r^2}$, $K' = (r/B)^2 \frac{Tb'}{r^2}$	-Walton의 특성곡선 분석 -준피압대수층 또는 누수대수층에 적용

다. 적정취수량 및 영향반경 결정

각각의 대수성시험 결과를 이용하여 예정된 지하수개발·이용시설로부터 1일 적정취수량 및 영향반경을 결정한다.

□ 적정취수량의 산정

적정취수량이란 지하수 고갈, 오염물질의 유입, 지반침하 등과 같이 지하수 장애를 일으키지 않으면서 우물에서 지하수위 강하를 가능한 범위 내에서 최대한 크게 하였을 때의 취수 가능한 지하수량을 의미한다.

적정취수량은 단계양수시험 결과와 연속대수성시험 결과를 이용하여 결정한다.

단계양수시험은 양수정에서 우물 및 대수층 특성에 따른 지하수위의 수두 손실을 평가하기 위하여 실시하는 대수성시험의 한 종류로서, 초기에는 작은 양수율로 양수하다가 점차 단계적으로 양수량을 증가시켜 일련의 시간-

수위강하 자료를 얻는 시험방법이다.

○ 시험방법

- 단계양수시험은 양수량을 최소한 3단계 이상 나누어 실시하되, 각 단계별로 최소 1시간이상 지속적으로 양수하여야 한다(단, 수량에 따라 불가피한 경우에는 3단계이하 실시 가능).
- 양수량은 단계별로 점차 증가시키며 각 단계별로 양수량을 일정하게 유지시켜야 한다.
- 단계양수시험시 각 단계에서 수위강하 증분 Δs 는 거의 동일한 시간 간격으로 결정한다.

○ 적정취수량 산정

단계양수시험을 시행할 때 양수량 증가에 따른 수위강하량의 균형이 깨져 급격한 수위강하가 일어나는 시점을 한계취수량이라 한다. 적정취수량은 한계취수량을 초과하지 않는 범위 내에서 정하여야 하며 지하수 함양조건, 인근 우물에 의한 수리간섭, 잠재오염원의 영향, 정호효율, 영향권, 양수시간 등을 고려하여 결정한다. 단계양수시험의 결과는 그림 3.5와 같이 각 단계별로 시간에 따른 수위의 강하를 나타낸 그림으로 표현할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 각 단계별로 양수량을 변화시키면 일정한 수위강하가 일어난 후 수위가 안정되는 경향을 보이지만 어느 단계에서는 수위가 안정되지 못하고 계속 낮아지는 시점이 있다. 이 때 마지막으로 수위가 안정된 단계의 양수량(그림 3.5의 경우에는 $90\text{m}^3/\text{일}$)을 한계취수량으로 설정한다.

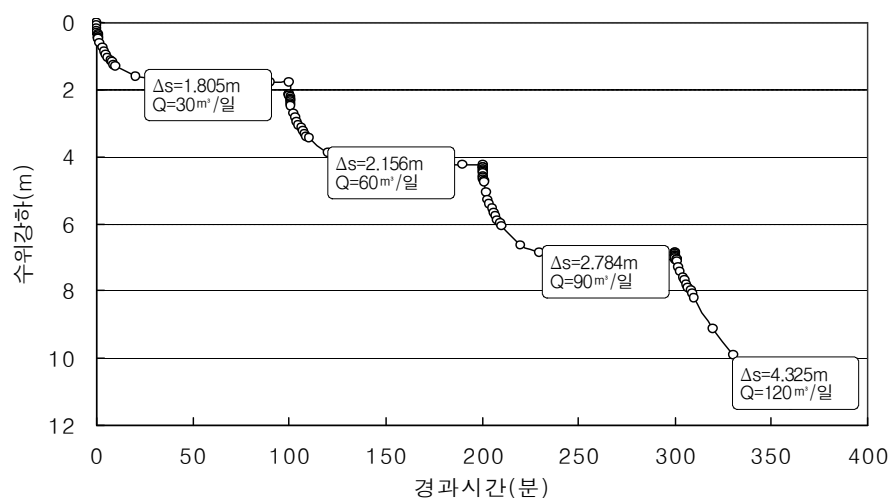


그림 3.5 단계별 양수량에 따른 수위변화

단계양수시험의 결과는 그림 3.6과 같이 양수량 Q 와 양수에 따른 수위강하 Sw/Q 의 관계로 살펴볼 수 있다. 단계양수시험 기본식 $Sw = BQ + CQ^n$ 에서 n 값을 2로 하고 양변을 Q 로 나누어주면 $Sw/Q = B + CQ$ 의 형태가 되며 이는 X축과 Y축을 각각 양수량 Q 와 양수에 따른 수위강하 Sw/Q 로 할 경우 절편이 B 이고 기울기가 C 인 직선으로 표현된다. 이 때 직선의 변곡점, 즉 직선의 기울기가 변하는 지점의 양수량 (그림 3.6에서는 $500\text{m}^3/\text{일}$)을 한계취수량으로 설정한다.

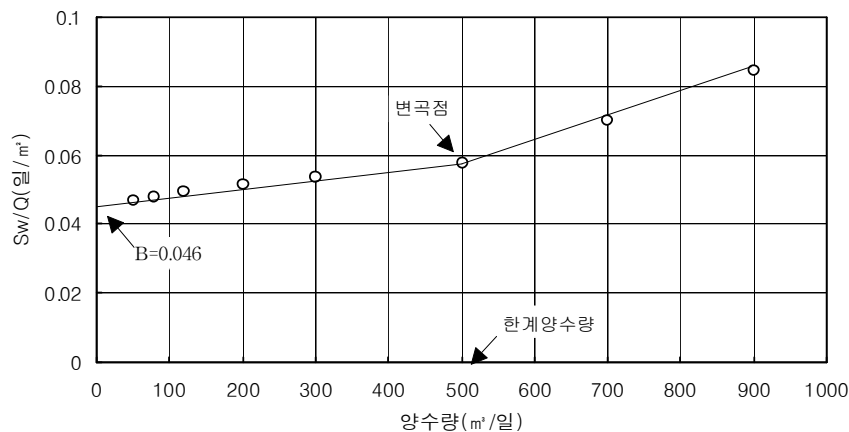


그림 3.6 양수량과 비수위강하의 관계

□ 영향범위 산정

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 의미하며 대수층이 균질하고 등방성일 경우에는 완전한 원형으로 나타나지만 지하수면이 경사를 이루고 있거나 불균질하고 이방성일 경우에는 타원이나 불규칙한 모습으로 나타난다. 이와 같이 양수에 의하여 영향을 받는 실제의 범위를 영향권 또는 영향구역(ZOI ; Zone of Influence)이라고 한다.

영향범위를 산정하는 방법은 경험식에 의한 방법, 거리-수위강하량을 해석하는 방법 및 지하수 흐름방정식을 이용하는 방법 등이 있다.

- 경험식에 의한 영향반경의 산정(자유면대수층에 적용가능)

$$R = C\Delta h\sqrt{K} \quad (\text{Sichart})$$

- R : 영향반경(m)
- Δh : 수위강하량(m)
- K : 수리전도도(m/일)
- C : well point system에서는 1,500~2,000 우물에서는 3,000

$$R = \sqrt{6 \cdot \Delta h \cdot K \cdot \frac{t}{S}} \quad (\text{Shultz})$$

- R : 영향반경(m)
- Δh : 수위강하량(m)
- K : 수리전도도(m/일)
- t : 양수시간(일)
- S : 저류계수(자유면지하수의 경우 유효공극율(n_e) 적용)

$$R = a\sqrt{\Delta h \cdot K \cdot \frac{t}{S}} \quad (\text{Weber})$$

- a : 상수로서 1.9 ~ 3의 범위
- R : 영향반경(m)
- Δh : 수위강하량(m)
- K : 수리전도도(m/일)
- t : 양수시간(일)
- S : 저류계수(자유면대수층의 경우 유효공극율(n_e) 적용)

$$R = \sqrt{\frac{12 \cdot t}{S} \sqrt{\left(\frac{Q \cdot T}{\pi}\right)}} \quad (\text{Kozeny})$$

- R : 영향반경(m)
- Δh : 수위강하량(m)
- K : 수리전도도(m/일)
- t : 양수시간(일)
- S : 저류계수(자유면지하수의 경우 유효공극율(n_e) 적용)
- Q : 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)

○ 대수층 구성물질에 의한 영향반경 추정

대수층의 구성물질	평균입경(mm)	영향반경(m)
세립 ~ 조립질	10	1,500
조립모래 ~ 세립력	2 ~ 10	500 ~ 1,500
중립모래(1)	1 ~ 2	400 ~ 500
중립모래(2)	0.5 ~ 1	200 ~ 400
세립모래(1)	0.25 ~ 0.5	100 ~ 200
세립모래(2)	0.1 ~ 0.25	50 ~ 100
실트 ~ 세립모래	0.05 ~ 0.1	10 ~ 50
실트	0.025 ~ 0.05	5 ~ 10

○ 거리-수위강하 해석법

정상류상태(steady state)에서 양수시험시 2개 이상의 관측공에서 평형 상태에 도달했을 때의 수위강하량을 측정하여 양수정으로부터 관측공의 거리와 수위강하량을 반대수지상에 표시하면 영향반경을 구할 수 있다(그림 3.7).

그림에서와 같이 양수정에서 관측공까지의 거리와 수위강하량을 표시하면 직선으로 나타나며 직선이 수위강하량($s=0$)과 만나는 지점의 거리가 영향반경이다.

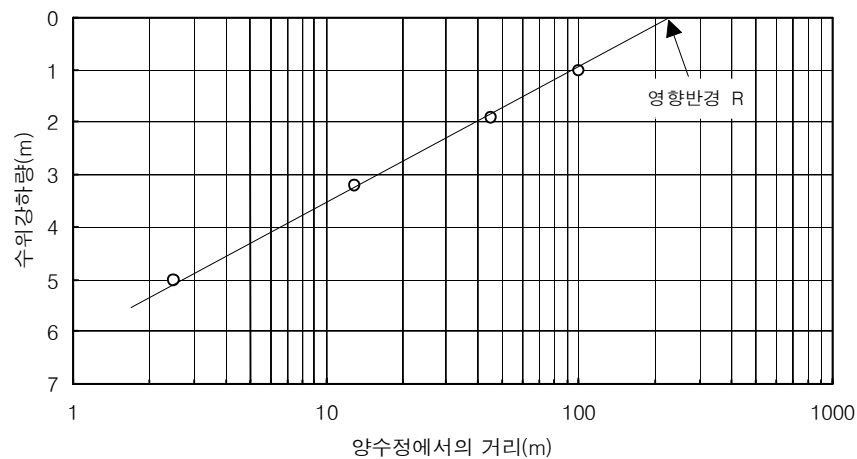


그림 3.7 거리-수위강하 해석으로 영향반경을 구하는 방법

○ 지하수의 흐름방정식을 이용한 영향반경의 산정

- 정류상태의 평형방정식을 이용한 영향반경 산정

피압대수층의 평형방정식으로부터 영향반경을 산정하면 다음과 같다.

$$\ln R = \frac{2\pi T(H - h_i)}{Q} + \ln r_i$$

R : 영향반경(m)
 T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)
 H : 최초 지하수위(m)
 h_i : 양수정으로부터 r_i 만큼 떨어진 지점의 지하수위(m)
 Q : 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)

자유면대수층의 평형방정식으로부터 영향반경을 산정하면 다음과 같다.

$$\ln R = \frac{\pi K(H^2 - h_i^2)}{Q} + \ln r_i$$

R : 영향반경(m)
 K : 투수계수(m/일)
 H : 최초 지하수위(m)
 h_i : 양수정으로부터 r_i 만큼 떨어진 지점의 지하수위(m)
 Q : 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)

- 부정류상태의 비평형방정식을 이용한 영향반경 산정

Theis 식에 의한 영향반경 산정은 다음과 같다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad , \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

s : r 만큼 떨어진 지점의 수위강하량(m)
 T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)
 S : 저류계수
 t : 수위강하가 s 만큼 일어나는데 걸리는 시간(일)
 $W(u)$: 우물함수(Well Function)

투수량계수 T , 양수량 Q 와 수위강하량 s 를 대입하여 $W(u)$ 를 구한다. 이 때 수위강하량 s 는 영향반경 맨 끝의 수위강하량이므로 적정한 값(0.1m 또는 0.01m)을 설정하여 대입한다. 그러나 투수량계수가 큰 지역($T > 100 \text{m}^2/\text{일}$)에서는 수위강하량 $s=0.01\text{m}$ 를 기준으로 하면 영향반경이 과다하게 산정될 수 있으므로 $s=0.1\text{m}$ 를 기준으로 영향반경을 산정하는 것이 바람직하다.

다음은 구해진 $W(u)$ 를 이용하여 우물함수표에서 u 를 구한다.

$$\text{이제 Theis의 식을 변환하면, } r = 2\sqrt{\frac{T \cdot t \cdot u}{S}}$$

여기서 r 은 수위강하가 거의 일어나지 않는 지점까지의 거리이므로 영향반경(R)과 같다.

Jacob식에 의한 영향반경은 다음과 같다.

$$s = \frac{2.30Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

- s : r 만큼 떨어진 지점의 수위강하량(m)
 Q : 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)
 T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)
 S : 저류계수
 t : 수위강하가 s 만큼 일어나는데 걸리는 시간(일)
 r : 양수정에서의 거리(m)

이 때 수위강하량 s 가 0이 될 때의 반경을 영향반경이라 하면

$\frac{2.25Tt}{r^2 S} = 1$ 이 되어야 하며, 따라서 영향반경 R 은 다음과 같다.

$$R = \sqrt{\frac{2.25Tt}{S}}$$

이상과 같이 지하수의 영향반경을 산정하는 방법은 매우 다양하며, 이를 정리하여 요약하면 표 3.6과 같다.

표 3.6 지하수 영향반경의 산정

구 분		산 정 방 법	비 고
정 류 상 태	자유면대수층	$\ln R = \frac{\pi K(H^2 - h_i^2)}{Q} + \ln r_i$	평형방정식
	피압대수층	$\ln R = \frac{2\pi T(H - h_i)}{Q} + \ln r_i$	평형방정식
	경험식	$R = C\Delta h\sqrt{K}$	Sichart의 경험식
부정류 상 태	Theis의 방법	$R = 2\sqrt{\frac{T \cdot t \cdot u}{S}}$	
	Jacob의 방법	$R = \sqrt{\frac{2.25Tt}{S}}$	
	그래프 이용	거리-수위강하 그래프를 이용하여 수위강하가 0이 되는 지점의 거리를 영향반경으로 설정	
	경험식	$R = \sqrt{6 \cdot \Delta h \cdot K \cdot \frac{t}{S}}$	Shultze의 경험식
		$R = \alpha \sqrt{\Delta h \cdot K \cdot \frac{t}{S}}$	Weber의 경험식
		$R = \sqrt{\frac{12 \cdot t}{S} \sqrt{\left(\frac{Q \cdot T}{\pi}\right)}}$	Kozeny의 경험식

다. 수리간섭현상

한 우물의 영향범위 내에 다른 우물이 있고 이들이 동일한 대수층을 대상으로 지하수를 취수하고 있으면 서로 상대편 우물의 수위와 양수량에 영향을 미치게 되며 이러한 현상을 수리간섭현상이라 한다. 따라서 같은 지역 내에서 여러 개의 우물을 동시에 이용하게 될 경우에는 수리간섭을 최소화할 수 있도록 우물의 배치, 양수량의 배분, 우물별 양수시간 조절 등 적절한 이용관리 계획이 수립되어야 한다.

대수층이 수평으로 넓게 분포하며 구성물질은 균질하고 등방일 때 각 우물의 수위강하량은 중첩의 원리(Principle of Superposition)를 이용하여 계산할 수 있다. 즉, 임의의 우물에서의 수위강하량은 각 우물별로 이 지점에 미치는 영향에 의한 수위강하량의 합이다.

$$s_p = s_1 + s_2 + s_3 + \dots = \sum_{i=1}^n s_i$$

s_p : p 지점에서의 수위강하량

s_i : i 번째 우물에서 양수시 p 점에 나타나는 수위강하량

s_i 를 피압대수층의 우물집수공식으로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$s_i = \frac{2.3Q_i}{2\pi T} \log \frac{R}{r_i}$$

Q_i : i 번째 우물의 양수량($\text{m}^3/\text{일}$)

T : 투수량계수($\text{m}^2/\text{일}$)

R : 영향반경(m)

r_i : p 점에서 i 번째 우물까지의 거리(m)

또한, Jacob공식을 사용하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$s_i = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{Sr_i^2}$$

만약 p 점의 위치에 시험정을 굴착하고 양수시험을 시행하여 투수량계수(T)와 저류계수(S) 및 영향반경(R)을 구하였다면, 이들 대수층 수리상수를 이용하여 시험정 양수시 영향반경 안에 있는 다른 우물에 미치는 영향을 추정할 수 있고 인근 우물을 동시에 양수시 시험정에 미치는 영향을 산정할 수 있다.

라. 영향범위 분석

본 조사에서 결정된 1일 적정취수량으로 지하수를 취수할 때에 5년 후의 영향범위를 적절한 분석기법을 이용하여 분석·제시한다.
산정된 영향범위 안에 기존시설물이나 잠재오염원이 있을 경우 기존시설물이나 취수정에 미칠 수 있는 영향을 검토·제시한다.

□ 오염영향평가

○ 오염영향구간

잠재오염원에 의한 오염영향구간은 포획구간(Capture Zone)으로 부르기도 하며, 이는 지하수 함양구역(ZOC ; Zone of Contribution)과 같은 의미로 볼 수 있다. 엄밀하게 보면 함양구역은 시간과 무관하게 지하수 유동경계까지의 고정된 구역을 의미하며 포획구간은 함양구역 중 오염물질의 거동시간에 따라 구분한 구간이므로 시간에 따라 그 범위가 커진다.

또한 함양구역(ZOC)과 영향구역(ZOI)은 흔히 혼동되는 용어이지만 영향구역(ZOI)은 양수에 의한 영향추가 형성되어 수위강하의 영향이 미치는 범위이며, 함양구역은 지하수 유동을 기준으로 양수정으로 지하수가 함양되는 구역을 의미한다. 영향구역은 함양구역에 포함되는 경우가 많으나 부분적으로 함양구역을 벗어나는 경우도 있다. 함양구역과 영향구역의 차이점을 그림으로 표현하면 그림 3.8과 같다. 그림에서 보듯이 영향구역은 양수로 인하여 지하수위의 강하가 일어나는 지점까지로 표시되며 함양구역은 지하수 수리구배(hydraulic gradient)에 따라 상류쪽으로 확장되어 형성됨을 알 수 있다.

포획구간은 지하수 개발 예정지를 중심으로 장기적인 오염물질 유입가능성을 예측하기 위하여 설정하는 것으로서 3년 이후의 포획구간을 설정하도록 한다.

잠재오염원에 의한 지하수 오염영향평가를 실시할 경우에는 영향구역(ZOI), 함양구역(ZOC), 포획구간(capture zone)을 도면에 표시하여 잠재오염원이 본 구역에 존재하는지 여부를 확인하고, 잠재오염원 중 중요오염원이 분포하고 있는 경우 적절한 분석 기법을 적용하여 오염가능성 예측 및 오염저감방안 수립을 위한 분석을 실시하여야 한다.

○ 취수정보보호구역의 선정 기준

정호 주변의 오염원에 의한 지하수 오염에 대비한 취수정보보호구역(WHPA; Well Head Protection Area)의 설정기준(미국, EPA)은 다음과

같다.

- 거리기준

취수정에서 보호대상 지점까지의 거리와 반경으로 취수정보호구역을 설정한다.

- 수위강하량 기준

주변지역의 수위강하량을 측정하여 특정수치까지 수위가 강하한 지역을 취수정보호구역으로 설정한다.

정호에서 양수시 정호주변에서 수위강하가 일어나는 구간을 취수정보호구역으로 지정하는 것으로 ZOI(Zone of Influence), 양수영향반경 또는 원추형 수위강하지역(Cone of Depression)과 같은 개념이다.

- 오염물질의 이동시간(TOT : Time of Travel)에 따른 기준

오염물질이 대수층 내에서 취수정까지 이동하는데 소요되는 시간을 기준으로 취수정보호구역을 설정한다. 오염물질 이동시간(TOT)은 지하수 유속에 좌우되며, 지하수 유속은 수리지질환경에 따라 달라진다.

- 흐름경계에 따른 기준

지하수의 흐름을 지배하는 분수령이나 물리적으로 또는 수문학적으로 이미 결정된 위치를 사용하는 개념이다. 수리지질 환경의 흐름경계 중에서 지표면의 특징으로는 산맥, 강, 운하와 호수들이 있고 그 외에 대수층과 지하에 고정된 광역지하수계 등이 있다.

- 동화능력에 따른 기준

동화능력에 따른 기준은 오염물질이 취수정으로 이동할 때 오염물질의 이동경로에 분포된 포화 및 비포화대의 동화능력에 따라 오염물질의 농도가 허용기준이하로 저감되는 능력을 이용한 개념이다.

취수정보호구역(WHPA)의 설정 (다공질매질내 양수정을 설치할 경우)

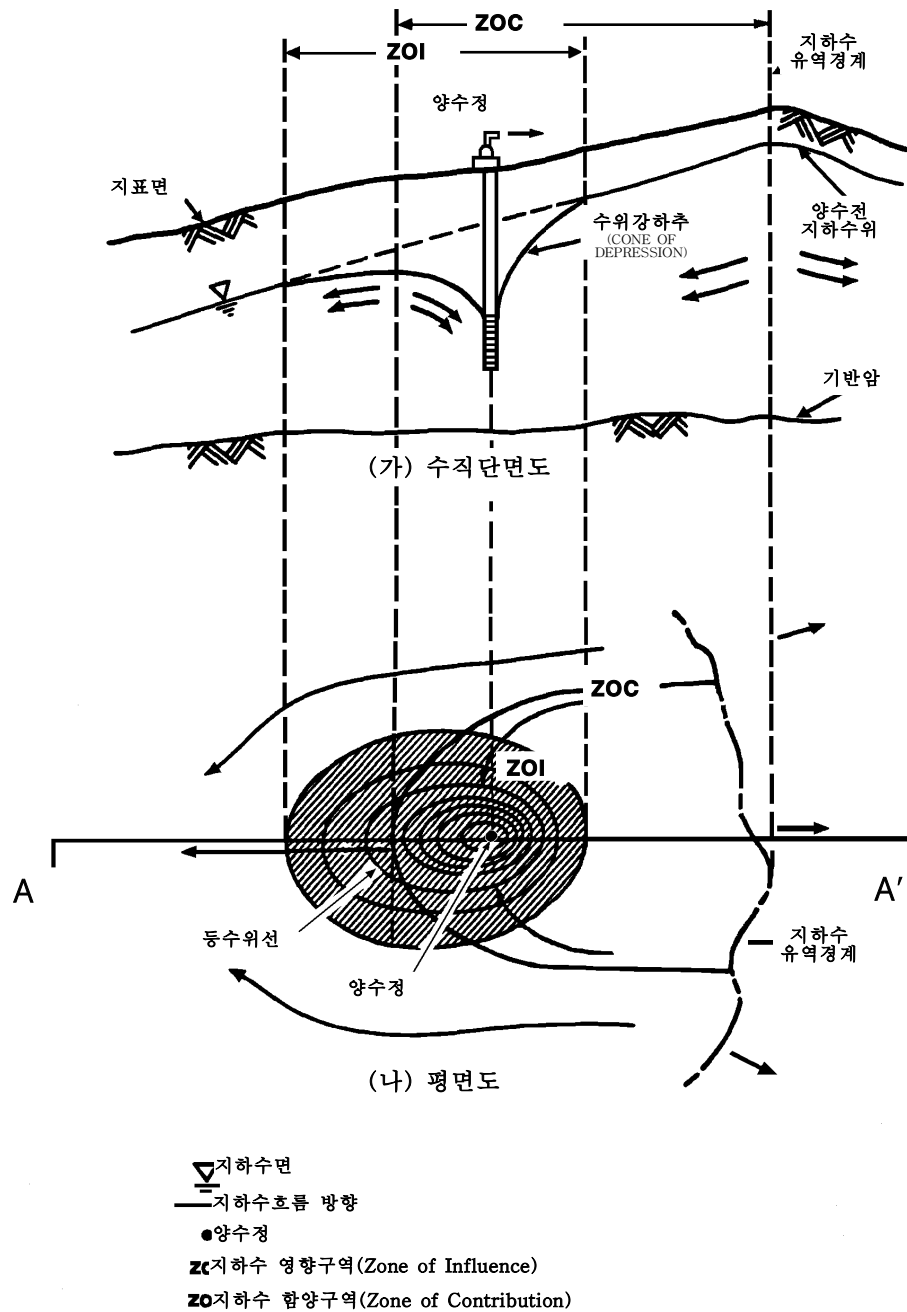


그림 3.8 지하수 영향구역(ZOI)과 함양구역(ZOC)의 경계

○ 취수정보호구역의 도형작업

- 임의의 고정반경

취수정을 중심으로 일정거리의 지역을 원을 그려 취수정 보호구역을 설정한다.

- 계산된 고정반경

특정 TOT 기준한계치에 따른 취수정을 중심으로 원을 그려 반경을 설정한다. 즉, 일정기간동안 취수정에서 지하수를 양수할 때 배수된 지하수의 양을 수식으로 계산하여 반경을 구한다. 이 때 사용되는 인자는 양수율, 공극율, 수리전도도, 소요시간 등이며 소요시간은 오염물질이 취수정에 도달하기 전에 오염된 지하수를 정화시킬 수 있는 충분한 시간과 오염물질이 분산되거나 희석되는데 소요되는 시간을 사용한다.

예1) 대수층의 두께가 평균 91.5m이고 공극율이 0.2인 자유면대수층에서 3,819m³/일의 양수량으로 5년간 장기적으로 취수할 경우 고정반경을 계산하는 방법은 다음과 같으며, 계산된 고정반경은 348m 이다.

풀이) $Qt = \pi r^2 nH$

Q : 양수량(3,819m³/일)
 H : 정호스크린의 길이(91.5m)
 t : TOT(5년)
 r : 계산된 고정반경(m)
 n : 공극율

또한, 수위강하의 한계기준치가 규정되어 있는 경우에는 다음과 같은 방법으로 고정반경을 구한다.

예2) 수위강하의 한계기준치가 1.5cm로 규정되어 있는 경우 대수층의 $T=18.6\text{m}^2/\text{일}$, $t=1\text{일}$, $S=0.02$, $Q=138\text{m}^3/\text{일}$ 일 때 고정반경을 계산하는 방법은 다음과 같으며, 계산된 고정반경은 96m이다.

풀이) Theis 식에서

$$W(u) = \frac{4\pi Ts}{Q} = \frac{4 \times 3.14 \times 18.6 \times 0.015}{138} \doteq 0.025$$

이 경우 $u=2.48$ 이므로

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$$r = \left(\frac{4Ttu}{S} \right)^{1/2} = \left(\frac{4 \times 18.6 \times 1 \times 2.48}{0.02} \right)^{1/2} = 96m$$

- 단순화시킨 여러 종류의 표준모형

해석적인 모델을 이용하여 해당 취수정과 우물장의 수리지질과 양수 조건에 따라 적절한 표준모형을 작도하고 각 취수원에 대해 대표적인 여러 개의 표준모형을 중첩시켜 취수정보보호구역을 선정하는 방법이다. 표준모형을 이용하여 취수정보보호구역을 설정하는 방법은 다음과 같다.

① 1단계 : 대수층의 종류와 양수량에 근거하여 표준형을 설정한다.

- 대표적인 수리지질특성 인자를 이용한 해석학적 지배식으로 여러 가지 표준형을 작도
- 상류구배구간은 TOT를 이용하여 범위를 구하고, 하류구배구간은 균일흐름식을 이용하여 범위를 정한다.

② 2단계 : 대수층 종류에 따라 취수정에 표준모형을 적용한다.

- 해석학적 방법

지하수 흐름이 경사흐름인 경우에 취수정보보호구역을 설정하는 방법은 균일 흐름장에서 지하수의 흐름과 오염물질 거동식을 이용하여 ZOC(Zone of Contribution)와 ZOI(Zone of Influence)를 결정할 수 있다. 또한 상류구배구간의 취수정보보호구역 경계선은 TOT나 흐름경계를 기준으로 구한다. 이 때 수리지질학적인 경계지점은 지하수의 분수령이나 지질경계선을 이용한다.

- 수리지질도와 병행한 모형화

흐름경계와 TOT는 수리지질조사와 지구물리탐사 및 추적자조사를 실시하여 작도할 수 있으며 수리지질도 작성시 등수위선도를 작성하여 지하수 분수령을 확인할 수 있다.

- 수치모델

지하수의 흐름이나 오염물질거동을 수치적으로 근사화시킨 전산모델을 사용하여 WHPA를 설정한다.

이와 같이 여러 가지 방법으로 취수정보보호구역을 설정할 수 있으며 그 결과를 서로 비교하여 보면 그림 3.9와 같다.

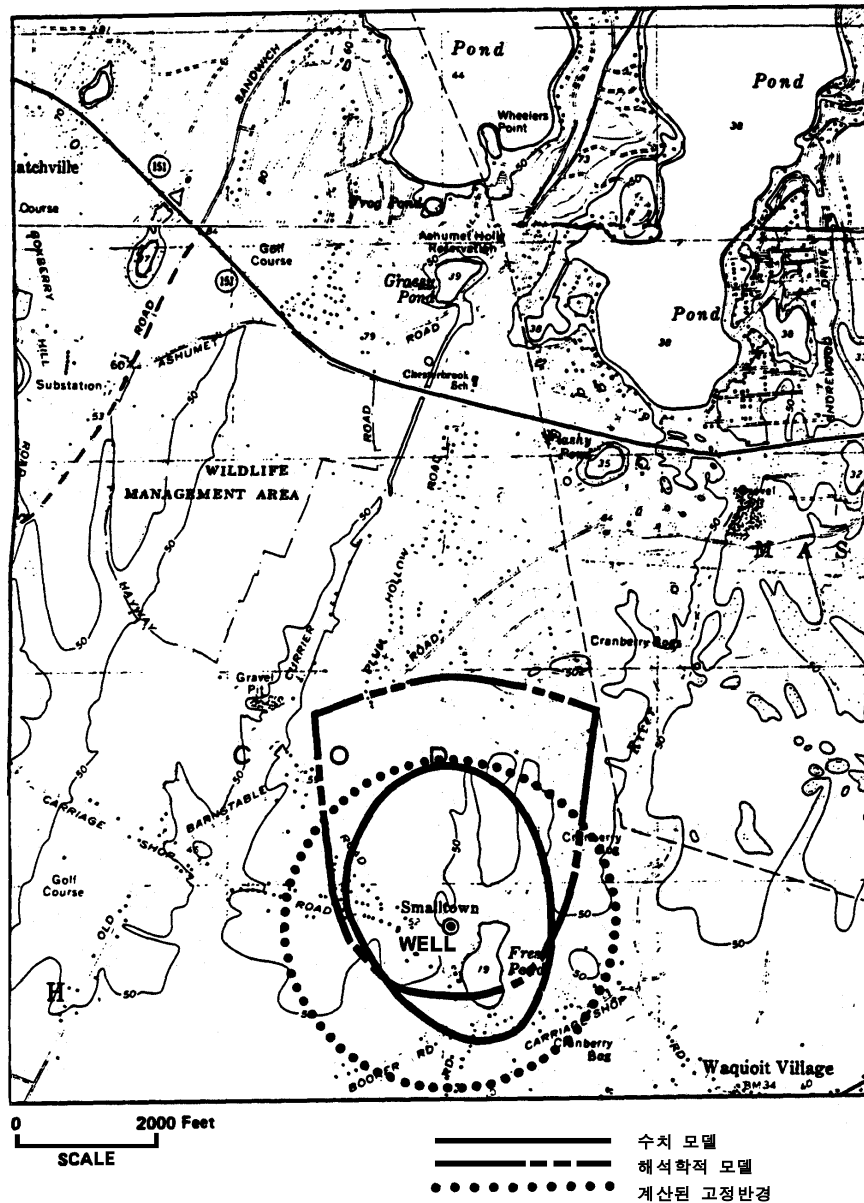


그림 3.9 여러 가지 방법으로 설정한 WHPA

○ WHPA 프로그램

미국 환경청(EPA)이 취수정보보호구역(WHPA)을 설정하기 위하여 개발한 프로그램으로서 4개의 모듈(module) 중 MWCAP(Multiple Well Capture Zone Module)이 많이 이용되고 있다.

이 프로그램은 5가지 취수정보보호구역 설정기준 중에서 오염물질 유동 시간 기준(TOT)과 지하수 유역경계 기준(ZOC) 등 2가지 기준을 적용할 수 있으며 반 해석적 방법(semi-analytic method)을 채택하고 있다.

포획구간의 형태는 정상류상태 포획구간, 시간관련 포획구간, 혼합형 포획구간 등이며 우물 주변의 하천경계 또는 불투수층 경계를 반영할 수 있다. 지하수의 흐름은 정상류상태이어야 하며 여러 개 정호의 포획구간 설정시에는 우물간섭은 고려되지 않는다.

MWCAP의 입력자료는 지구 전체 좌표(x, y), 양수우물의 수, 양수율, 우물좌표, 대수층 두께, 경과시간, 포획구간 형태, 최대 스텝 길이, 수두 경사, 지하수흐름의 방향, 유효공극율, 대수층 투수량계수, 경계조건, Pathline 수 등이다.

WHPA 프로그램을 이용하여 산정된 포획구간의 예는 그림 3.10과 같다.

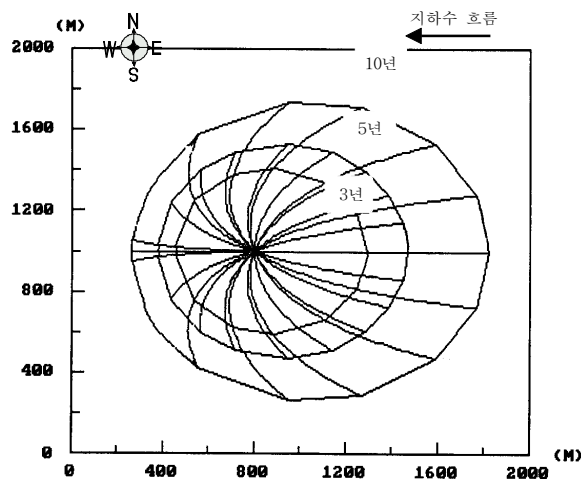


그림 3.10 WHPA프로그램에 의한 포획구간 설정 예

마. 종합분석

상과 같은 방법으로 적정취수량을 산정하고 적정취수량으로 취수시 영향범위와 잠재오염원에 의한 오염영향평가를 토대로 지하수 개발·이용공의 개발가능량 및 산출특성을 분석·제시한다.

3.2.3. 지하수 수질

현장조사를 통하여 원수의 수질상태를 조사하여야 하며, 수질검사항목과 방법은 시행령 제31조의 규정을 준용한다.

- ☞ 수질검사 항목·절차·방법, 시료채취방법, 수질검사기관 등에 관한 자세한 사항은 **2.10. 수질검사**를 참조한다.

3.2.4. 기타사항

- 지하수개발·이용시설에 대한 변경허가를 신청하는 경우에는 적정취수량 및 영향범위에 관한 사항으로 조사항목을 한정할 수 있으며, 지하수법시행령 제 11조제1항제2호에 해당하는 경우(음용수 사용여부의 변경을 포함하여 지하수의 개발·이용 용도를 변경하는 경우)에는 지하수영향조사서에 갈음하여 시행령 제30조제1항의 규정에 의한 수질검사전문기관이 작성한 수질 검사서로 대체할 수 있다.

HELP

- ✓ 지하수법시행령 제30조제1항의 규정에 의한 수질검사전문기관
 1. 지하수조사전문기관
 2. 「먹는물관리법」 제35조의 규정에 의한 검사기관
 3. 「수도법」 제3조제20호의 규정에 의한 일반수도사업자
 4. 농촌진흥청 농업과학기술원
 5. 「지방자치단체의 행정기구와 정원기준 등에 관한 규정」에 의한 도농업기술원
 6. 국방·군사시설사업에 의하여 설치된 시설에서 지하수를 개발·이용하는 경우에는 환경부령이 정하는 수질검사기관

- 지하수개발·이용시설의 유효기간 연장허가를 신청하는 경우에는 이전 허가시 수행한 대수성시험자료를 활용할 수 있는 경우에 한하여, 조사항목 중 연속대수성시험과 수위회복시험을 생략할 수 있다.

3.3. 지하수영향조사서의 작성지침과 작성내용

- 지하수영향조사서는 본 지침에서 제시한 조사항목에 대하여 조사방법과 조사결과 등 핵심적인 내용에 대하여 간결, 명확하게 기술한다. 특히, 조사방법에 대한 일반적인 해설과 조사·분석의 이론적인 배경 등 영향조사 결과에 영향을 미치지 않는 내용과 영향조사서의 평가, 심사 등에 불필요한 내용은 수록하지 않도록 하여 인적·물적 낭비를 방지한다.
- 보고서의 내용은 체계적이고 논리적이어야 하며, 조사자료를 활용하여 최종 결론을 유도하는 과정이 합리적이고 이치에 맞도록 하여 심사자가 영향조사서를 평가할 때 정확한 판단을 할 수 있도록 하여야 한다.
- 조사자료의 분석결과를 토대로 적정양수량, 영향범위, 원수수질의 적정성 등 평가기준에 대한 분명한 의견을 제시하여야 한다.
- 조사대상지역, 우물 및 샘, 잠재오염원 등의 위치도, 대수성시험일보, 수질 검사성적표, 영향범위 분석에 사용된 기초자료 등을 참고자료로 첨부한다.

【별표 3】

지하수영향조사서의 작성지침과 작성내용(제12조제2항관련)

1. 작성지침

- 가. 조사방법에 따라 수집·분석한 내용을 조사항목별로 체계적·논리적으로 기술한다.
- 나. 평가기준에 대한 조사자의 분석결과를 기술한다.
- 다. 그 밖의 참고자료를 첨부하되, 착정, 수위, 대수성시험, 수질 등 현장조사자료는 건설교통부장관이 배포한 프로그램에 입력하여 제출한다.

2. 작성내용

가. 서론

- (1) 지하수개발이용계획의 개요
- (2) 조사결과의 요약
- (3) 지하수개발·이용방안

나. 수문지질현황 및 원수의 개발가능량

- (1) 수문 및 수리지질현황조사
 - 우물, 샘, 유출지하수 등의 이용현황
 - 하천의 현황
 - 잠재오염원 분포현황

- (2) 조사지역의 지하수 함양량, 개발가능량 조사
- (3) 신규 지하수 개발가능량 산정

다. 적정취수량 및 영향범위 산정

- (1) 대수성시험 성과를 토대로 1일 적정취수량 및 영향반경을 기술
- (2) 5년 이후의 영향범위 분석성과를 기술
- (3) 지하수개발시 주변 잠재오염원에 의한 영향 검토성과를 기술
- (4) 지하수의 개발로 인하여 주변지역에 미치는 영향의 범위 및 정도를 기술

라. 수질의 적정성 평가

수질분석성과를 토대로 수질의 적정성을 기술

마. 시설설치계획

시설의 설계내용 및 설치계획을 기술

바. 그 밖의 사항

- (1) 그 밖의 영향조사시 굴착한 관정의 활용계획·오염방지계획과 활용하지 아니하는 관정 처리계획 등을 기술
- (2) 우물 및 샘과 잠재오염원의 위치를 표기한 축척 5천분의 1의 지형도, 관정의 지질주상도와 구조도, 지하수의 수질분석자료, 현장사진 등을 첨부

3.4. 지하수영향조사서 심사

3.4.1. 개 요

시장·군수는 지하수 개발·이용의 허가를 신청한 자로부터 지하수영향조사서를 제출받은 때에는 지하수법 시행령 제12조제1항 별표1의 지하수영향조사의 항목·조사방법 및 평가기준에 적합한지 여부를 심사하여야 한다.

또한 지하수법 시행령 제9조제3항의 규정에 의하여 시장·군수로부터 지하수영향조사서 심사에 필요한 의견 제시를 요청받은 지하수 관련 전문가도 지하수영향조사서 검토시 동일한 심사 항목과 내용을 평가하여야 한다.

3.3.2. 세부 심사방법

가. 서론

- (1) 지하수개발·이용계획의 개요
- (2) 조사결과의 요약
- (3) 지하수개발·이용방안

- ☐ 조사를 실시한 지역의 범위가 개발예정지점 중심으로 반경 0.5km 또는 시·도 조례가 정하는 바에 따라 적절하게 선정되었는지를 검토한다. 특히 조사대상지역내에 지하수의 영향범위가 완전히 포함되었는지를 검토한다. 만일 영향범위가 본 영향조사를 실시한 지역을 벗어난 경우에는 조사대상 지역의 범위를 더 넓혀 조사를 실시하여야 한다. 또한, 지하수 영향범위는 취수량에 따라 그 범위에 차이가 발생하므로 허가 신청시 제시한 취수계획량으로 지하수를 이용하는지 지속적으로 감시, 감독하여야 할 것이다.
- ☐ 영향조사의 결과는 본 지하수영향조사 실시 결과를 토대로 하여 그 성과를 종합하여 기재하여야 한다.
- ☐ 개발·이용계획을 검토하여 본 영향조사에서 도출된 적정취수량에 합당한 지하수 이용계획을 수립하였는지 확인한다. 시설설치계획이 지하수 개발·이용 허가신청서에 작성된 시설설치계획과 일치하는지 확인한다.

나. 수문지질현황 및 원수의 개발가능량

(1) 수문 및 수리지질현황조사

- 우물, 샘, 유출지하수 등의 이용 현황
- 하천의 현황
- 잠재오염원 분포 현황

(2) 조사지역의 지하수 함양량, 개발가능량 조사

(3) 신규 지하수 개발가능량 산정

- ☐ 조사대상지역 내에 분포하는 모든 우물, 샘 및 유출지하수의 현황이 표 3.1에 제시된 조사 수준으로 조사, 목록화되었는지와 적절한 축척의 도면에 정리, 수록되었는지를 검토한다.
- ☐ 조사대상지역 내에 분포하는 하천의 현황이 모두 조사되었는지 검토한다. 특히, 지하수법 제7조의2에 의한 하천인근에서의 지하수개발·이용허가에 해당하는지 여부를 확인한다.
- ☐ 조사대상지역 내에 분포하는 잠재오염원의 분포와 종류, 규모가 조사, 목록화되었는지와 적절한 축척의 도면에 정리, 수록되었는지 검토한다.
- ☐ 지하수 함양량이 국가지하수관리 기본계획 등에서 제시하고 있는 소유역별 함양계수를 사용하여 산정된 결과와 과다한 차이를 보이는지 검토하고, 차이가 많이 나는 경우, 타당한 이유가 제시되어야 한다.
- ☐ 원수의 개발가능량 산정 방법이 타당한지를 검토한다. 특히 수문학적인 방법으로 산정한 개발가능량은 지하수개발 대상지점을 기준으로 정한 소유역의 면적에 비례하여 증가하게 되는데, 특별한 경우를 제외하고는 지하수영향조사에서 지하수의 소유역 경계를 명확히 규명할 수 없으므로 일반적으로 지표수 분수령을 기준으로 소유역 경계의 타당성을 검토하여야 한다.
- ☐ 신규 지하수 개발가능량 산정이 지하수 개발가능량과 기존이용량 등을 고려하여 적정하게 산정되었는지 검토하고, 허가신청량을 포함한 지하수이용량은 개발가능량 이내이어야 한다.

다. 적정취수량 및 영향범위 산정

- (1) 대수성시험 성과를 토대로 1일 적정취수량 및 영향반경을 기술
- (2) 5년 이후의 영향범위 분석성과를 기술
- (3) 지하수개발시 주변 잠재오염원에 의한 영향 검토성과를 기술
- (4) 지하수의 개발로 인하여 주변지역에 미치는 영향의 범위 및 정도를 기술

- ☐ 양수시험과 회복시험 자료를 정리하여 대수성시험 성적서를 수록하였는지를 확인한다.
- ☐ 대수성시험 성적서를 토대로 시험 실시시간, 일정 양수율의 유지 여부, 수위측정 시간의 간격 등 대수성시험 방법의 적정성을 확인한다.

HELP

✓ 시험기간 중 양수율을 변동시키는 단계양수시험의 경우에도 각 단계별로 양수율은 일정하게 유지되어야 한다.

- ☐ 양수시험기간 중 일정시간 단위(분 · 시간)로 수소이온농도 · 수온 · 전기전도도를 측정하였는지 확인한다. 한편, 시험 종료시까지 측정치가 안정을 이루지 못하고 변화하였을 경우에는 그 원인이 적정하게 분석되었는지를 검토한다.
- ☐ 투수량계수, 저류계수, 비양수량 등의 수리상수 산정 방법이 타당한지를 검토하고, 양수시험 해석 결과와 회복시험 해석 결과가 적정하게 비교되었는지를 확인한다.
- ☐ 1일 적정취수량의 산정 내용이 적정한지를 검토한다. 단계양수시험을 통하여 적정취수량을 산정한 경우에는 양수량(Q)과 비수위강하(S_w/Q)의 관계를 나타내는 그래프에서 변곡점을 적절히 산정하였는지 확인하고, 공식을 이용하여 산정한 경우에는 적정한 공식을 사용하였는지 확인한다.
- ☐ 허가신청량이 1일 적정취수량 범위 내에 있는지 확인하고, 1일 적정취수량으로 취수할 때에 미치는 영향범위를 합리적으로 설정하였는지를 검토한다.
- ☐ 양수정에 의한 영향범위(영향반경 혹은 영향권) 산정 방법이 타당한지를 검토한다. 영향범위를 양수시험에 의하여 산정하고 경험공식을 이용한 비교 검토가 이루어졌는지 확인한다.

HELP

✓ 부정류 상태의 영향반경 산정 공식을 이용한 경우에는 양수시간을 얼마로 보느냐에 따라 영향 반경이 달라진다. 따라서 양수시험 자료에서 평형상태에 도달한 시간이 얼마인지를 확인하여 이 값과 영향반경 산정시 적용한 양수시간이 부합되는지 확인하여야 한다.

- ☐ 양수정에 의한 영향범위 내에 기존의 지하수 개발 · 이용시설이 분포하고 있는 경우에는 우물간의 수리간섭 현상이 적정한 방법으로 해석되었는지를 검토한다.
- ☐ 장기적인 지하수 취수에 따른 인근 잠재오염원의 영향을 고려하기위하여 취수 5년 이후의 영향범위(포획구간)를 적절한 방법으로 산정하고, 영향범위 내에 잠재오염원이 분포하는 경우에는 그 영향 분석과 대책이 적정하게 제시되어 있는지 검토한다.

HELP

- ✓ WHPA프로그램을 이용한 영향범위(포획구간)의 산정은 『3.2.2. 적정취수량 및 영향범위 산정』의 해당 내용을 참고하되, 인접 지역에서 두 개공 이상 개발시에는 인근관정과의 상호수리간섭 현상을 고려할 수 있는 GPTRAC 모듈(module)을 이용한 분석을 실시한다.

라. 수질의 적정성 평가

수질분석 성과를 토대로 수질의 적정성을 기술

- ☐ 원수에 대하여 지하수의 이용목적에 해당하는 수질검사항목의 수질검사 실시 여부와 수질기준 적합 여부를 확인한다.

마. 시설설치계획

시설의 설계내용 및 설치계획을 기술

- ☐ “개발·이용시설 설치기준” 및 “오염방지시설 설치기준”에 적합하게 설계되었는지 확인한다.
- ☐ 굴착방법, 규모, 케이싱 및 우물자재설치 등이 적합하게 설계되었는지 확인한다.
- ☐ 양수시설의 설계가 허가신청량에 적합하게 설계되었는지 확인한다.

바. 그 밖의 사항

- (1) 그 밖의 영향조사시 굴착한 관정의 활용계획·오염방지계획과 활용하지 아니하는 관정 처리계획 등을 기술
- (2) 우물 및 샘과 잠재오염원의 위치를 표기한 축척 5천분의 1의 지형도, 관정의 지질주상도와 구조도, 지하수의 수질분석자료, 현장사진 등을 첨부

- ☐ 영향조사시 굴착한 관정의 활용계획과 오염방지계획이 적합한지 확인한다. 영향조사시 굴착한 관정을 활용하지 않을 경우 원상복구계획은 적정하게 수립되었는지 확인한다.
- ☐ 그 밖의 조사성과를 축척 1:5,000이상의 지형도에 표시하여 제출하고 지질주상도, 관정구조도, 수질자료(수질검사성적서 포함) 및 현장사진 등을 첨부하였는지 확인한다.

표 3.7 지하수영향조사서 심사 의견서 양식

지하수영향조사서 심사 의견서

1. 개요

- ☐ 영향조사명 :
☐ 위 치 :
☐ 조 사 자 :

2. 심사항목별 검토내용

조사항목	조 사 방 법	검 토 의 건
1. 수문지질현황 및 원수의 개 발가능량	가. 조사대상지역의 선정	
	나. 수문 및 수리지질현황조사 1) 우물, 샘, 유출지하수 등의 이용 현황 2) 하천의 현황 3) 잠재오염원 분포현황	
	다. 지하수함양량과 개발가능량	
	라. 지하수 신규 개발가능량 산정	
2. 적정취수량 및 영향범위 산정	가. 대수성시험을 통한 대수층 특성 및 지하수 산출특성 파악 1) 단계대수성시험 2) 연속대수성시험 3) 수위회복시험	
	나. 1일 적정취수량 및 영향범위 결정	
	다. 5년 후의 영향범위	
	라. 잠재오염원 등에 의한 영향 검토, 제시	
3. 수 질	용도에 대한 수질의 적정성 등	
4. 기 타		

3. 종합검토의견

심사위원 ○ ○ ○ (인)

○○ 시장(군수) 귀하

3.5. 영향조사 자료 입력방법

3.5.1. 개 요

- ☐ 지하수법 시행령 별표2의 규정에 따라 지하수를 개발·이용하고자 하는 자는 지하수개발·이용 허가신청시 영향조사보고서와 함께 영향조사자료 파일(영향조사명.txt와 영향조사명.zip)을 제출하여야 함
- ☐ 기존의 허가신청서 접수 및 수질검사 자료입력시 이용함으로써 업무처리의 효율성 및 정확성 제공

3.5.2. 영향조사자료 사용법

가. 허가신청서 파일 변환

- ☐ 지하수개발·이용허가신청서 접수시 개발이용허가신청서접수및처리 화면에서 **txt파일변환** 버튼을 클릭해서 영향조사명.txt 파일을 선택

그림 3.11 허가신청서 파일 변환 화면

- ☐ 지하수 개발이용 허가신청서의 주소, 좌표, 용도, 음용여부, 굴착깊이, 굴착지름, 취수계획량, 동력장치, 설치깊이, 토출관 안쪽지름 및 양수능력 등의 항목이 자동 입력됨

나. 수질검사에서 파일 변환

- 수질검사신청 등록화면에서 **txt파일변환** 버튼을 클릭 후 영향조사명.txt 파일을 선택하면 수질검사 내역이 자동 입력됨

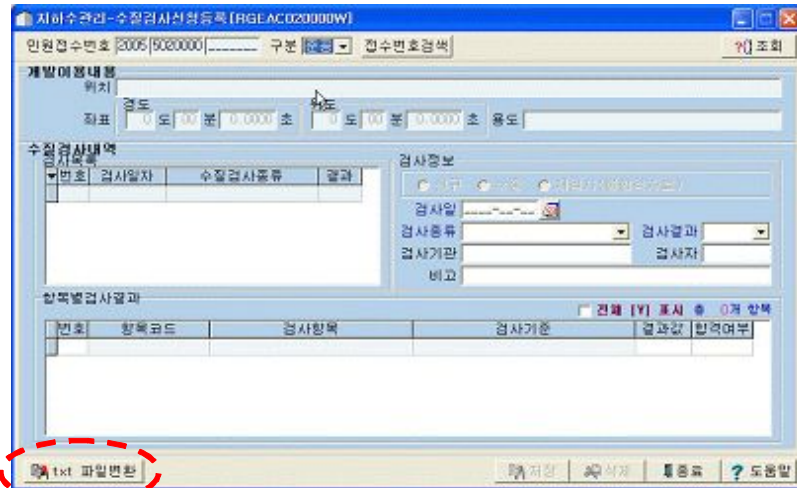


그림 3.12 수질검사에서 파일 변환 화면

3.5.3. 자료전송방법(지자체→국가지하수정보센터)

- 개발이용허가신청서접수및처리 화면에서 **영향조사자료업로드** 버튼을 클릭하면 영향조사자료 업로드 화면이 나타남

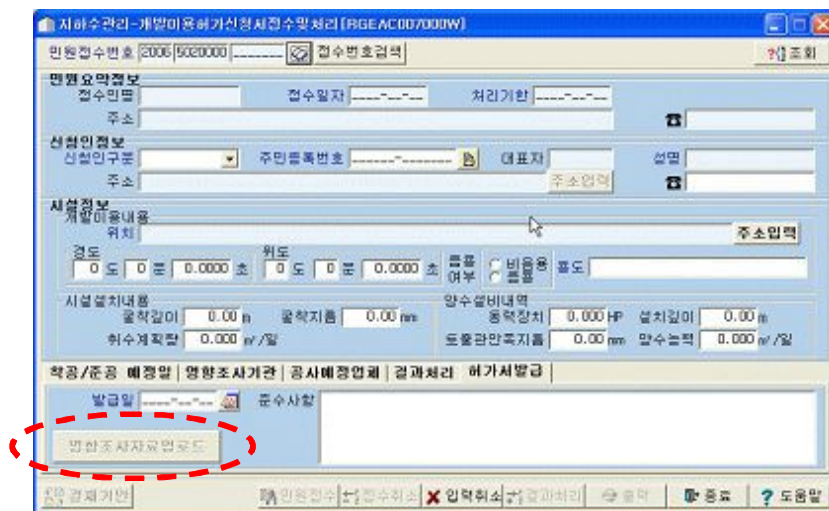


그림 3.13 영향조사자료 전송 화면

- 찾아보기 버튼을 클릭하여 영향조사기관에서 보고된 영향조사명.zip파일을

선택, 추가 버튼을 클릭하여 업로드 목록에 추가한 후, 저장 버튼을 클릭하여 보고자료를 국가지하수정보센터로 전송

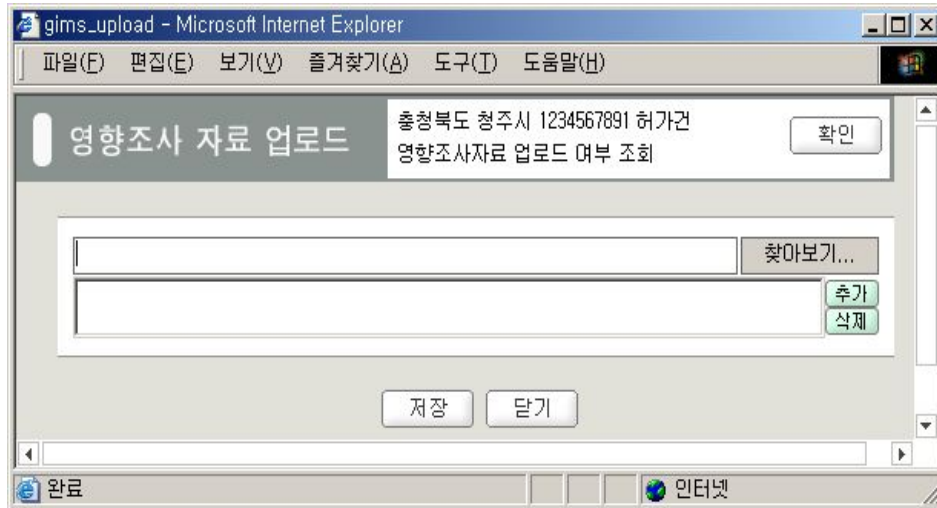


그림 3.14 영향조사 자료 업로드 화면

3.6. 지하수 영향조사 비용

3.6.1. 신규로 영향조사를 실시하는 경우(시행령 별표1의 모든 항목에 대한 조사 실시)

구 분	단 위	수 량	단 가	금 액	비 고
조 사 비				12,485,050	
1. 기존자료 수집 및 현지답사				818,826	산출근거1
특급기술자	인	1.02	196,337	200,263	
고급기술자	인	0.16	164,387	26,301	
중급기술자	인	2.67	139,232	371,749	
초급기술자	인	1.18	98,848	116,640	
보통인부	인	1.88	55,252	103,873	
2. 대수성시험				2,442,828	
1) 단계대수성시험(4단계기준)				287,725	
중급기술자	인	0.24	139,232	33,415	
중급기능사	인	0.48	97,468	46,784	
보 링 공	인	0.48	77,400	37,152	
특별인부	인	0.48	70,264	33,726	
보통인부	인	1.48	55,252	81,772	
경 유	ℓ	26.0	1,125	29,250	
잡 유	%	20.0		5,850	
발전기손료	시간	4	3,203	12,812	
수중모터펌프손료	시간	4	1,370	5,480	
수량계손료	시간	4	371	1,484	
2) 연속대수성시험(16시간기준)				1,150,909	
중급기술자	인	0.96	139,232	133,662	
중급기능사	인	1.92	97,468	187,138	
보 링 공	인	1.92	77,400	148,608	
특별인부	인	1.92	70,264	134,906	
보통인부	인	5.92	55,252	327,091	
경 유	ℓ	104.0	1,125	117,000	
잡 유	%	20.0		23,400	
발전기손료	시간	16	3,203	51,248	
수중모터펌프손료	시간	16	1,370	21,920	
수량계손료	시간	16	371	5,936	
3) 회복시험				232,849	
중급기술자	인	0.24	139,232	33,415	
중급기능사	인	0.48	97,468	46,784	
보 링 공	인	0.48	77,400	37,152	
특별인부	인	0.48	70,264	33,726	
보통인부	인	1.48	55,252	81,772	
4) 해석				771,345	
특급기술자	인	1	196,337	196,337	
중급기술자	인	2	139,232	278,464	
초급기술자	인	3	98,848	296,544	
3. 적정취수량분석 및 오염영향평가				2,372,779	산출근거2
특급기술자	인	2	196,337	392,674	
고급기술자	인	3	164,387	493,161	
중급기술자	인	5	139,232	696,160	
초급기술자	인	8	98,848	790,784	
4. 수질검사	회	1	253,400	253,400	
5. 제경비	직접인건비*1.1			4,774,302	
6. 기술료	(직접인건비+제경비)*0.2			1,822,915	

- 주) 1. 지하수영향조사의 조사항목은 지하수법 시행령 별표 1을 기준으로 하였으며, 기타 필요한 조사(전기비저항탐사, 지하수위 관측조사, 원격탐사 등)는 추가하여 실시할 수 있다.
2. 조사지역은 반경 0.5km의 면적을 기준으로 하였다.
3. 조사비는 실비정액가산방식에 의하여 산출하였으며 시추 및 착정비용은 별도 계상한다.
4. 기존자료 수집 및 현지답사비용은 지질조사품셈의 지표지질조사 단가를 적용하였다.
5. 양수시험 비용은 2005건설공사표준품셈의 양수시험단가를 적용하였다.
6. 수질검사비용은 수질검사기관이 위치한 행정구역을 관할하는 지방자치단체의 조례로 정하는 바에 따르며, 본 지침에서는 국립환경연구원의 고시단가(2005.2.22) 중에서 먹는물 수질검사(46개 항목) 비용을 적용하였다.
7. 현지여건에 따라 변경될 수 있음

산출근거 1. 기존자료 수집 및 현장답사(축척 1:10,000 도면이용조사)

가. 조사내용

- 기존자료 수집, 현장답사
- 수집자료의 정리 및 해석

나. 투입인력

구 분	현장답사		해 석		계
	산정기준	투입인력	산정기준	투입인력	
특급기술자	1.2인/km ² ×0.785km ²	0.94	0.1인/km ² ×0.785km ²	0.08	1.02
고급기술자	-	-	0.2인/km ² ×0.785km ²	0.16	0.16
중급기술자	2.4인/km ² ×0.785km ²	1.88	1.0인/km ² ×0.785km ²	0.79	2.67
초급기술자	-	-	1.5인/km ² ×0.785km ²	1.18	1.18
보통인부	2.4인/km ² ×0.785km ²	1.88	-	-	1.88

☞ 반경 0.5km의 조사대상지역 면적은 0.785km²

산출근거 2. 적정취수량 분석 및 오염영향 평가

가. 조사내용

- 적정취수량 분석
- 오염영향평가 분석

나. 투입인력

구 분	적정취수량 분석	오염영향 평가	계
특급기술자	1	1	2
고급기술자	1	2	3
중급기술자	2	3	5
초급기술자	4	4	8

3.6.2. 변경허가(개발·이용기간유효기간의 연장허가 제외)를 신청하는 경우

□ 지하수 개발·이용시설의 깊이·지름 및 취수계획량과 양수설비를 변경하는 경우로서 적정취수량 및 영향범위와 수질에 대한 조사 실시

구 분	단 위	수 량	단 가	금 액	비 고
조 사 비				10,579,496	
1. 대수성시험				2,442,828	
1) 단계대수성시험(4단계기준)				287,725	
중급기술자	인	0.24	139,232	33,415	
중급기능사	인	0.48	97,468	46,784	
보 링 공	인	0.48	77,400	37,152	
특별인부	인	0.48	70,264	33,726	
보통인부	인	1.48	55,252	81,772	
경 유	ℓ	26.0	1,125	29,250	
잡 유	%	20.0		5,850	
발전기손료	시간	4	3,203	12,812	
수중모터펌프손료	시간	4	1,370	5,480	
수량계손료	시간	4	371	1,484	
2) 연속대수성시험(16시간기준)				1,150,909	
중급기술자	인	0.96	139,232	133,662	
중급기능사	인	1.92	97,468	187,138	
보 링 공	인	1.92	77,400	148,608	
특별인부	인	1.92	70,264	134,906	
보통인부	인	5.92	55,252	327,091	
경 유	ℓ	104.0	1,125	117,000	
잡 유	%	20.0		23,400	
발전기손료	시간	16	3,203	51,248	
수중모터펌프손료	시간	16	1,370	21,920	
수량계손료	시간	16	371	5,936	
3) 회복시험				232,849	
중급기술자	인	0.24	139,232	33,415	
중급기능사	인	0.48	97,468	46,784	
보 링 공	인	0.48	77,400	37,152	
특별인부	인	0.48	70,264	33,726	
보통인부	인	1.48	55,252	81,772	
4) 해석				771,345	
특급기술자	인	1	196,337	196,337	
중급기술자	인	2	139,232	278,464	
초급기술자	인	3	98,848	296,544	
2. 적정취수량분석 및 오염영향평가				2,372,779	산출근거2
특급기술자	인	2	196,337	392,674	
고급기술자	인	3	164,387	493,161	
중급기술자	인	5	139,232	696,160	
초급기술자	인	8	98,848	790,784	
3. 수질검사	회	1	253,400	253,400	
4. 제 경비	직접인건비*1.1			3,987,854	
5. 기술료	(직접인건비+제 경비)*0.2			1,522,635	

주) 1. 지하수영향조사의 조사항목은 지하수법 시행령 별표 1을 기준으로 하되, 기존자료 수집 및 현지답사를 제외하였으며 기타 필요한 조사(전기비저항탐사, 지하수위 관측조사, 원격탐사 등)는 추가하여 실시할 수 있다.

2. 그 외 사항은 3.5.1. 신규로 영향조사를 실시하는 경우와 동일한다.

3.6.3. 개발·이용유효기간의 연장허가를 신청하는 경우

☐ 연속대수성시험과 수위회복시험을 생략하는 경우

구 분	단 위	수 량	단 가	금 액	비 고
조 사 비				9,191,116	
1. 기존자료 수집 및 현지답사				818,826	산출근거1
특급기술자	인	1.02	196,337	200,263	
고급기술자	인	0.16	164,387	26,301	
중급기술자	인	2.67	139,232	371,749	
초급기술자	인	1.18	98,848	116,640	
보통인부	인	1.88	55,252	103,873	
2. 대수성시험				542,936	
1) 단계대수성시험(4단계기준)				287,725	
중급기술자	인	0.24	139,232	33,415	
중급기능사	인	0.48	97,468	46,784	
보령공	인	0.48	77,400	37,152	
특별인부	인	0.48	70,264	33,726	
보통인부	인	1.48	55,252	81,772	
경유	ℓ	26.0	1,125	29,250	
잡유	%	20.0		5,850	
발전기손료	시간	4	3,203	12,812	
수중모터펌프손료	시간	4	1,370	5,480	
수량계손료	시간	4	371	1,484	
2) 해석				255,211	
특급기술자	인	0.3	196,337	58,901	
중급기술자	인	0.7	139,232	97,462	
초급기술자	인	1.0	98,848	98,848	
3. 적정취수량분석 및 오염영향평가				2,372,779	산출근거2
특급기술자	인	2	196,337	392,674	
고급기술자	인	3	164,387	493,161	
중급기술자	인	5	139,232	696,160	
초급기술자	인	8	98,848	790,784	
4. 수질검사	회	1	253,400	253,400	
5. 제경비	직접인건비*1.1			3,765,456	
6. 기술료	(직접인건비+제경비)*0.2			1,437,719	

- 주) 1. 지하수영향조사의 조사항목은 지하수법 시행령 별표 1을 기준으로 하되, 적정취수량 및 영향범위에 대한 조사를 제외하였으며 기타 필요한 조사(전기비저항탐사, 지하수위 관측조사, 원격탐사 등)는 추가하여 실시할 수 있다.
2. 그 외 사항은 **3.5.1. 신규로 영향조사를 실시하는 경우**와 동일하다.