

지하댐 개발 현황과 전망

정상욱 (경북대학교 농업토목공학과 교수)

박기중 (경북대학교 농업토목공학과 박사과정)

1. 서 론
 2. 지하댐의 개요
 3. 지하댐 시공사례
 - 3.1 국내
 - 3.2 국외
 4. 지하댐 조사 설계 및 관리 방안
 - 4.1 조사
 - 4.2 설계
 - 4.3 관리 방안
 - 4.4 지하댐의 문제점
 5. 앞으로의 전망
 6. 맺음말
- 결 론
- 참고문헌

1. 서론

몬순 기후에 속하는 우리나라는 봄가뭄에 의한 피해가 빈번한 편이며, 특히 2001년의 경우 6월 상순까지 강수량이 평년의 12%(충주, 이천)~74%(서귀포)로 인천과 부산의 경우 1904년 관측이 시작된 이래로 98년만의 기록적인 봄가뭄을 기록하는 등 3월부터 6월 중반까지 전국 72개 관측 지점 중 58개 지점에서 관측 이래 최소 강수량을 기록하였다. 이러한 봄가뭄은 1939, 1968, 1978, 1982, 그리고 1994년에도 나타난바 있으며 막대한 피해를 동반하였다.

건설교통부와 한국수자원공사(2001)에 따르면 우리나라의 연간 1,276억m³의 수자원 총량 중 증발산 및 홍수시 유출로 손실되는 양이 전체의 74%를 차지하며, 이용가능수량은 불과 26%에 불과하고, 이 이용가능수량의 12%인 40억m³만이 지하수자원에 의해 공급된다(그림 1). 이는 미국 22.4%(1995), 대만 22%(1983), 프랑스 18.9%(1981), 일본 14.1%(1998)에 비하여 지하수 이용율이 낮음을 알 수 있다.

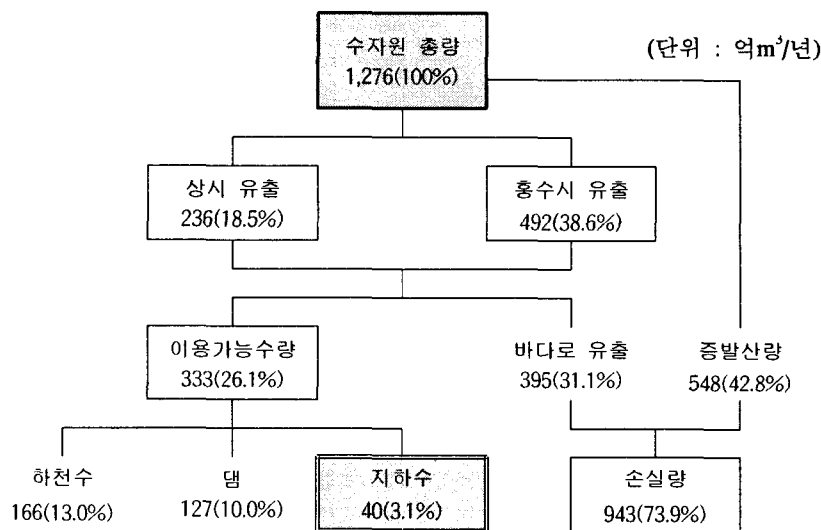


그림 1. 우리나라의 수자원 현황(건설교통부, 한국수자원공사, 2001)

지하수 개발가능량이란 여러 가지 지하수 장애가 발생하지 않는 범위 내에서 가능한 최대 지하수 양수량을 말한다. 박(1996)은 지하수 개발가능량 산정방법인 물수지 방법, 지하수 관리 분석 방법, 해석적 방법, 기저유출 분석 방법 등에 대한 장·단점을 들었다. 대개 물수지 방법에 의하여 산정하는 우리나라의 지하수 개발가능량 추정값에 대한 자료는 여러 가지가 있으나, 최(1992)와 이(1994)는 연간 지하수 함양량의 70%를 지하수 개발가능량

으로 보고 각각 143억 m^3 /년와 160억 m^3 /년을 제시하였다. 따라서 현재의 지하수 이용량인 40억 m^3 /년은 지하수 개발가능량의 25% 내지 28%에 지나지 않으므로 앞으로 개발의 여지가 많다고 하겠다.

우리나라의 지하수 조사 사업은 1965년에 토지개량조합연합회에서 과학적인 지하수 조사기법을 도입하여 1967년까지 42,700ha에 대한 농업용 지하수 기본조사를 실시한 것이 처음이다. 이 후 1980년대 초반부터 가뭄에 대한 대응책으로써 지하수 이용에 관한 연구가 진행되었지만 보조수자원으로써의 인식으로 인하여 소극적인 연구개발만이 이루어지고 있는 실정이다.

가뭄기 물부족 문제에 대한 안정적 용수확보를 위한 방안으로 1980년 초반에 취수원의 다변화를 목적으로 한 지하댐 개발이 처음으로 논의되기 시작하였다. 우리나라의 지하댐은 농업용수 개발을 위하여 1983년에 준공된 경상북도 상주군 이안지하댐을 시작으로 1986년 충남 공주시 옥성지하댐, 경북 영일군 남송지하댐, 전북 정읍군 고천지하댐, 전북 정읍군 우일지하댐 등 4개 지구에 추가로 시공하였다. 강원도 속초시는 생활용수 공급을 위하여 1998년 쌍천지하댐을 개발하였다. 그러나 지하댐에 대한 수리·수문 현상의 복잡성으로 인하여 지금까지 지하수의 유효저수량과 개발가능량 결정에 관한 이론정립이 안되어 있으며, 지하댐 조사 설계 기준도 마련되어 있지 않다.

국내·외 연구개발 실적을 기술하면 아래와 같다.

먼저 국내의 지하수 전반에 대한 기초연구자료인 지하수문제의 연구로써 이 등(1995)은 1983년 실시한 경기도 여주군 가남면의 대수층 수직탐사 해석에 의해 구해진 각 층의 비저항과 두께를 통하여 투수량 계수와 비저항과의 관계식, 수리전도도와 비저항 사이 관계식 등을 구하였다. 최(1996)는 1971~1997년 기간 중 조사한 전국 기설 관정 127개소에 대한 지하수 조사 자료를 기초로 하여 지하수위 강하와 함양을 및 비산출을 등 대수층의 특성과의 관계를 연구하였다. 또한 최와 안(1997)은 지하수 양수시 부정적 영향이 발생하지 않는 범위 안에서 항구적으로 양수에 이용할 수 있는 안전 채수량을 구하기 위해 기초 물수지 분석의 한계를 극복하는 SCS-CN 방법을 이용하여 그 타당성을 검토하였으며, 최(1997)는 지하수위 강하율을 도입한 지하수위 함양을 결정 방법의 적용성을 SCS-CN 방법과의 비교를 통하여 검증하였다. 최(1998)는 단공 양수시험 자료의 해석을 통하여 대수층 저류계수의 추정방법을 소개하고 그 적용성에 대하여 검토하였다.

지하댐에 관한 연구자료는 국내에 극히 드물어, 1982년에서 1985년 사이 우리나라에 건설된 지하댐인 이안, 옥성, 고천, 남송, 우일 지하댐에 대한 사업계획서 등의 형태가 대부분이며, 이 외에 김(1988)은 일본의 지하수 핸드북의 일부분에서 지하댐 전반에 관하여 해석하였다. 농어촌진흥공사(1996)는 “소유역 지하댐 개발에 관한 기술개발 연구보고서”를 발표하였으며, 신 등(1996)은 지하댐 차수효과 해석을 위한 3차원 지하수 흐름 분석 모형을 개발 연구하였다. 또한 박(2000)은 속초시 쌍천지하댐의 운영실태를 조사 분석하였다.

국외의 연구로는 Nissen-Peterson(1997)이 케냐의 반건조지역 및 사막지역을 흐르는 하상이 모래인 하천의 수자원 이용을 최대화하기 위하여 기존 하천바닥의 굴착을 통해 설치하는 지표댐 병용형 모래 저장댐의 타당성을 연구하였으며, Print(1997)는 아프리카 Somaliland의 연간 430mm의 강우에 비하여 1,300mm의 증발산량에 의한 손실량에 대한 대처방안으로 설치된 지하댐이 비슷한 건설비용으로 설치한 일반 저류지에 비하여 이용가능수량을 약 4배 증가시켰다고 보고하였다. Gupta 등(2000)은 지하수 유동에 MODFLOW 모형을 이용하여 타일랜드 Phuket 섬의 지하댐 설치 유무에 따른 지하수 채수량의 비교를 통하여 지하댐 설치시의 채수량이 미설치시보다 약 1.3배 증가하였음을 증명하였고, Osuga(2001)는 1990년부터 The Japan Agricultural Land Development Agency(JALDA, 현 Japan Green Resources Corporation)에 의해 시공된 일본 미야코지마의 지하댐에 관하여 연구하였다.

점점 심각하게 되는 물부족 문제를 해결하기 위해서는 지표수자원 확보도 중요하겠지만 개발여지가 많은 지하수자원의 개발 및 이용과 특히 지하댐 개발에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 고에서는 국내·외 지하댐의 개발실적을 소개하였으며, 국내 지하댐의 관리·운영 현황에 대하여 알아보고, 설계 및 관리 방안에 대하여 기초적인 사항을 제시하였다. 또한 지하댐의 문제점과 앞으로의 전망에 대하여 소개하였다.

2. 지하댐의 개요

지하수댐(groundwater dam)은 지하수가 유동하는 대수층내에 인공적인 차수벽을 설치, 지하수를 저류하거나 함양시키고, 집수정 등을 통하여 취수·이용하는 시설을 말하며, 일일 만m³ 이상의 중·소규모 수자원 확보 방안으로서 필히 검토하여야 할 시설이다.

지하수댐은 지하댐(subsurface dam)과 모래 저장댐(sand storage dam)으로 구분한다. 지하댐은 지표면 하부에 차수벽을 시공하여 지하수를 저장하고 이를 양수하여 사용한다. 지하댐은 저류형이 많으며, 우리나라에는 이안, 옥성, 고천, 남송, 우일 지하댐 등이 농업용수 개발을 위한 저류형 지하댐이다. 한편 해안지방에서는 해수 침입을 방지하기 위한 목적으로 지하댐이 건설된다.

모래 저장댐은 계곡과 같이 주변에 비해 낮은 지표면 위나 하천을 가로질러 댐을 시공한 후 댐에 의해 확보된 공간을 모래와 같은 투수성 물질로 채운 후 물을 저장하고 이용하는 방식을 말하며, 대개 사막지역과 같이 증발에 의한 손실이 큰 건조지역에 주로 건설된다.

지하댐은 사용목적, 저류형태 및 시공방식에 따라서 그림 1과 같이 분류할 수 있고, 각 방식별 특징은 표 1과 같다.

표 2는 지표저수지와 지하댐에 대한 장·단점의 비교를 보여주고 있다. 지하댐의 주요 장점은 수몰지역이 없어 지상공간 활용이 가능하며, 증발손실이 적은 것이다.

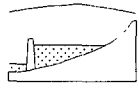
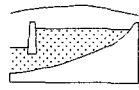
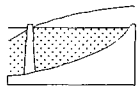
구분	종 류		
	저류형	유출억제형	염수침입방지형
사용목적			
저류형태	완전지하저류형	일부지표저류형	지표댐병용형
시공방식	주입공법형	연속벽공법형	타입공법형

그림 1. 지하댐 분류

표 1. 지하댐 분류 및 특징

구분	종 류	특 징
사용 목적	저 류 형	지하수가 유하지 못하도록 설치하여 최대한 지하 매체에 많은 지하수를 저장하는 방식, 지하수의 유역이 적거나 저류수량이 부족할 때 지하 불투수성 기반암까지 물막이벽 시공
	유 출 억제 형	어느 정도의 지하수 이용을 허용하지만 유출에 걸리는 시간을 지체시켜 필요한 시기에 지하수를 이용하고자 하는 방식, 지하수위 일정수준 유지, 지하수 유역이 크던가 지하수 함양이 양호한 지역에 적합
	염수침입 방지 형	해안에서 담수체에 대한 바닷물 유입을 최소화하고 담수의 유출을 억제하기 위한 목적으로 설치, 완전 지하저류형으로 물막이벽을 기반암까지 시공하고 상부는 최고 조위까지 감안하여 시공
저류 형태	완전지하저류 형	지하수의 지표노출이 없는 형태로 지하수댐의 정부가 지표면 하부에 위치하도록 설치하는 방식, 지상 농경지로 이용가능, 지하수위 상승에 의한 지표 침수 고려
	일부지표저류 형	대부분의 지하수를 지표면 하부에 저장시키지만 상대적으로 낮은 지표부위에 지하수가 지표로 방출되는 것을 허용하는 방식
	지 표 댐 병 용 형	일반적인 지표댐과 같이 평상시에는 지표의 저수지에 물을 저류시켜 사용하고 지표저수지의 물이 고갈되면 지하수를 이용하는 방식으로 주로 사막 인근지역에서 사용
시공 방식	주 입 공 법 형	보통 그라우팅이라고 말하는 방식으로 완벽한 차수라기 보다는 지반 개량에 따른 투수성 저감을 통해 지하수의 유동을 최대한 억제하는 방식
	연 속 벽 공 법 형	특정 구간에 대한 굴착 후 이 부분을 콘크리트 벽 등을 타설하는 방식으로 높은 차수 효과를 기대할 수 있으나 경제적으로 불리
	타 입 공 법 형	판상 파일(sheet pile)이나 강재를 이용하여 지하수 유동을 차단하는 방식으로 지층 조건에 의해 시공에 많은 제한, 완전 지수를 위해서는 주입공법 겸용이 바람직

표 2. 지표저수지와 지하댐의 비교

구 분	장 점	단 점
저수지	<ol style="list-style-type: none"> 1. 자연 흐름을 이용 2. 다목적 기능보유 3. 광물질 함양량이 적음 4. 조사 평가가 쉬움 5. 일시에 다량의 용수사용가능 6. 유지관리비가 저렴 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 증발손실이 큼 2. 수몰면적이 큼 3. 댐 붕괴시 위험이 큼 4. 수질오염 가능성이 높음 5. 긴 용수로 시설 필요 6. 신규적지가 드물 7. 공사비가 비쌘 8. 토사유입으로 인한 저수지 내용적 감소
지하댐	<ol style="list-style-type: none"> 1. 증발손실이 적음 2. 수몰 면적이 없음 3. 구조물 붕괴 위험이 없음 4. 일정 수온유지 5. 수질오염이 적음 6. 공사비가 비교적 싼 7. 지상 공간 활용가능 8. 설치 후 천재의 위험이 없음 9. 하천수나 지표수가 없는 지역에도 설치 가능 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 별도의 양수시설이 필요 2. 관개시 수온상승 시설 필요 3. 광물성 함량이 비교적 높음 4. 조사 평가가 비교적 어려움 5. 일시에 다량의 용수 사용 불가 6. 유지관리비가 비교적 높음 7. 수질오염시 회복비용 및 기간 소모 8. 지하수위 상승으로 인한 지표 침수 9. 저류량의 정확한 추정이 곤란

3. 지하댐 시공사례

지하댐에 대한 연구논문은 소수만 발표되었다. 대부분의 지하댐은 대규모가 아니며, 독립된 수자원 구조물이기보다는 지하 차수시설, 양수시설 등의 시설물들의 조합으로 구성된다. 지하댐과 관련된 자료는 주로 차수 그라우팅, 차수 타입벽, 대형 정호, 수평 집수관 등에 대한 기술적인 사항 및 관리 방안에 대한 보고서 및 설계서 등이 있다. 본 고에서는 주로 농어촌진흥공사(1996)의 「소유역 지하댐 개발에 관한 기술개발 연구」 보고서를 참고하였다.

3.1 국내

국내의 지하댐은 주로 농업용수 공급을 위하여 개발되었으며, 속초시의 생활용수 공급용 지하댐을 포함하여 지금까지 6개 지구에 지하댐이 건설되었다. 우리나라 지하댐 개발 현황은 표 3과 같다.

표 3. 우리나라 지하댐 개발 현황

지구명	위치	준공 년도	유역 면적 (ha)	관개 면적 (ha)	지하댐 길이(m)	차 수 벽 공 법	계획양수량 (m ³ /d)	집수정 개 수	'95년 사후평가조사(m ³ /h)	
									계획 양수량	'94년 양수실적
이 안	경북 상주	1983	2,130	120	230	연속벽공법(철근콘크리트:36m) + 주입(규산소다) 공법(194m)	24,000	4	1,000	857
남 송	경북 영일	1986	15,300	155	89	주입(시멘트) 공법	27,000	4	1,125	1,008
옥 성	충청 공주	1986	27,500	146	482	주입(시멘트) 공법	27,900	4	1,162	1,158
고 천	전북 정읍	1986	2,700	134	192	연속벽(철근콘크리트) 공법	25,100	5	1,046	902
우 일	전북 정읍	1986	2,200	99	778	연속벽(점토) 공법	16,200	4	675	230
쌍 천	강원 속초	1998	6,533	생 활 용수용	800	주입(시멘트, 벤토나이트) 공법	27,000	4	501	212~500*

* : 1998년 완공부터 2001년까지 실적

3.1.1 경상북도 상주군 이안지구 지하댐

이안지구의 지하댐은 우리나라에서 최초로 시공된 지하댐으로 1981년 기초조사 실시,

1983년 완공하여 교촌, 지산 및 양범리 일대의 관개면적 120 ha에 대하여 일일 24,000m³의 용수를 공급할 목적으로 시공하였다(그림 3). 충적층의 두께는 평균 5m정도이나 하상지역에서는 이보다 다소 두꺼운 평균 7m정도이다. 이 지하댐 사업의 주요 사업 내용은 지하 차수벽, 취수공, 양수시설 및 용수로 등을 포함한다. 지하 차수벽은 총 230m로 이 중 194m 구간에 대해서는 SGR 공법(특수약액 주입공법)이, 36m구간에 대해서는 콘크리트 타설공법이 적용되었다. SGR 공법에 의한 차수 처리는 약 $2.5 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 의 투수계수를 갖던 지층을 약 $3.9 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 의 지층으로 개량하는 효과를 보여주었다. 콘크리트 타설공법이 시행된 구간은 기반암까지 완전 절개한 후 두께 30cm, 평균심도 5m의 콘크리트벽이 구축하였다. 취수공은 내경 3.5m, 외경 4.0m, 심도 약 7.5m의 방사상 집수정이 4개소, 그리고 직경 20cm의 정호 3개공으로 구축되었다. 방사상 집수정의 수평공은 집수정당 최소 6개에서 최대 20개가 시공되었으며, 10cm 수평 착정기에 의한 수평 착정 후, 6.3cm pvc 집수관을 삽입하였다.

이안지구의 지하댐은 준공 다음 해에 사후 평가 조사가 수행되어 계획 수량에 대한 지속적인 채수가 가능한지 여부가 검토되었다. 그 결과 실제 양수량이 계획양수량의 72%로 나타났으며, 그 원인은 당초 계획에 비해 수평공 연장이 약 13%정도 적게 시공되었으며, 수평집수관이 약 6도 정도 상향 굴착되었으며, 대수층의 두께가 얇아 지하 물막이벽의 효과가 미흡하였기 때문인 것으로 판단되었다.

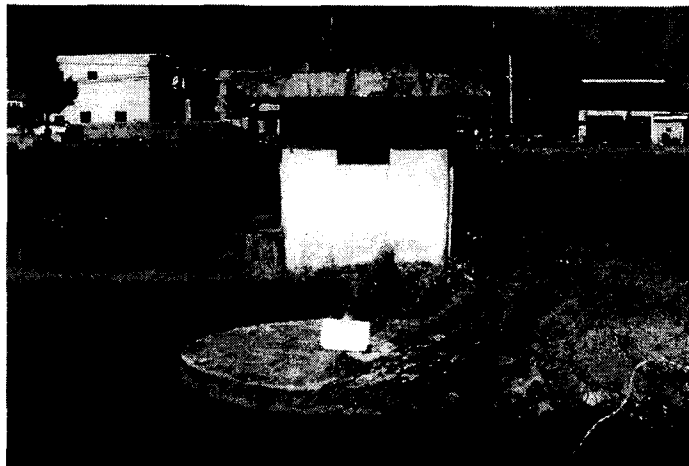


그림 3. 이안지구 양범 1 양수장 집수정 및 펌프장(2001. 6. 5)

3.1.2 경상북도 영일군 남송지구 지하댐

경북 영일군 흥해읍 남송동 일대에 위치한 남송지구는 영일농지개량조합 구역 1,400ha 중 수리불안전담 155ha의 관개를 위하여 1984년 3월부터 10월까지 수리지질조사를 시행한

결과 지하댐 개발 가능지구로 평가되어 1986년 완공하였다(그림 4).



그림 4. 남송지구 전경(2001. 7. 2)

남송지구의 지형은 분지형이고 수계는 곡강천으로 유역면적은 15,300ha로서 구릉지에서 발원하는 세곡천들이 수지상(樹支狀)을 이루고 갈수기에는 대부분 건천이 된다. 곡강천은 이들 수지상의 세곡천이 합류하여 하폭 40m, 연장 5km로 동해에 유입된다. 이 일대의 분포지질은 대부분 제 3기의 퇴적암 미고결층에 해당되며, 충적층의 발달은 10~15m 내외로 비교적 두꺼운 편이나 세립질 사층이 전반적으로 발달하여 있다. 지하수조사 결과 대수층의 평균 투수량계수는 $300\text{m}^2/\text{day}$ 이상으로서 양호하게 나타났다.

곡강천의 동해 유입부의 협곡에서 영일농지개량조합에서 집수암거시설로 월 $952,000\text{m}^3$ 양수하여 유역 밖의 관개구역 175ha를 관개하고 있었는데, 물수지분석 결과 유역 내 수리불안전담 155ha의 관개용수를 추가로 확보하기 위해서 지하 물막이벽을 시공하여 일일 $27,000\text{m}^3$ 를 취수할 수 있을 것으로 검토되었다.

지하 물막이벽은 연장 89m, 심도 12.3m~22.4m로 시멘트 주입재에 의한 그라우팅 공법으로 시공하였으며, 방사상 집수정은 개소당 $3,000\sim 8,000\text{m}^3/\text{day}$ 의 양수량을 가지며, 4개소를 설치하였다.

1992년에서 1994년 사이 실시한 사후 평가 조사시 이 지구의 평균 양수시간은 900시간을 초과하며, 당초 계획양수량의 90%까지 양수 가능한 것으로 나타났다. 그림 5는 남송지구 제 2 양수장을 나타낸다.



그림 5. 남송지구 제 2 양수장(2001. 7. 2)

3.1.3 충청남도 공주시 옥성지구 지하댐

옥성지구의 지하댐은 146ha 관개면적에 대한 용수 공급을 위해 설계, 1986년 완공되었다. 총저층의 평균 두께는 10m정도이며, 분포지질은 호상편마암으로 지하수 부존성은 비교적 양호하며, 모래, 자갈, 사력혼전석으로 구성된 대수층의 투수량계수는 약 150m²/day 정도이다.

이 지구의 기설 수원공으로 동천보가 있으나 용수부족지가 184ha인 것으로 나타나 이를 보충할 목적으로 총길이 482m, 일일 계획양수량 27,900m³의 지하 차수벽을 설치하였다. 지하 차수벽 시공방식은 시멘트 주입재에 의한 그라우팅 공법이 적용되었으며, 4개의 방사상 집수정이 시공되었고, 수평집수관은 직경 65mm pvc 관 75개로 총길이는 1,812m이다.

이 지구는 유역면적 27,500ha의 대유역으로 사후 평가 조사시 평균 양수시간은 1,100시간으로 이용효율이 뛰어나며, 당초 계획양수량의 99%까지 양수가능한 것으로 나타났다.

3.1.4 전라북도 정읍군 고천지구 지하댐

이 지구는 전북 정읍군 태인면 고천리, 증산리, 오봉리에 위치하며 동고 서저형의 지형으로 수지상의 소계곡류가 합류하여 유역 2,700ha의 중심부에 있는 본 지구를 관통하고 있다. 분포지질은 중생대의 편상 화강암류이며 총저층의 발달은 평균 6~7m로 두껍지는 못하나 이 중 4m정도가 투수성이 양호한 모래층으로 이루어져 있어 지하댐 개발이 가능한 것으로 조사되어 1986년 완공하여 가동중이다.

고천지구의 개발 대상면적은 134.3ha로서 기존시설이 미흡하므로 지하 물막이벽을 시공

하여 일일 25,110m³/day의 양수량을 5개의 방사상 집수정에서 취수하도록 시공하였으나, 사후 평가시 평균 양수시간은 500시간 정도에 불과하며, 양수가능량은 계획량의 88%에 불과한 것으로 나타나 당초 계획에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

3.1.5 전라북도 정읍군 우일지구 지하댐

우일지구는 전북 정읍군 정우면 우일리 일대의 평야부로서 주위에 표고 100m내외의 비교적 낮은 지대로 소계곡류가 수지상으로 합류하여 한교천을 이루며 지구 중앙을 북류하고 있다. 한교천의 연장은 8km, 하폭은 30m, 하상경사는 1/300, 유역면적은 3,000ha이다.

분포지질은 중생대의 편마상 화강암이 유역 전체에 분포되어 있으며 총적층 두께는 평균 6.5m이고, 그 중 모래층 두께가 평균 4.0m이며, 투수량계수는 평균 133m²/day로 지하댐 지구로서는 양호한 조건은 아니나 이 지구의 수리불안전담 99ha에 대한 별도의 용수대책이 없으므로 지하 물막이벽을 시공하여 저류된 지하수를 최대한 이용하도록 계획하여 1986년 완공하였다.

물막이벽은 연장 778m 구간을 평균 높이 4.4m의 점토다짐벽을 시공하였으며 제정은 지표면의 침수를 방지하고자 지표면에서 1.0m 아래에 오도록 시공하였다. 방사상 집수정은 개소당 양수량을 2,200~5,800m³/day의 범위에서 4개소를 시공하여 16,200m³/day를 취수하도록 하였다. 그림 6은 우일지구 제 2 양수장을 나타낸다.

1992년에서 1994년까지 실시한 사후 평가 조사에서 이 지구는 당초 계획양수량의 34%만을 양수하는 것으로 나타나는데, 이는 설계수량이 부적합하게 계획된 것으로 판단된다.



그림 6. 우일지구 동진 2 양수장

3.1.6 강원도 속초 쌍천지구 지하댐

쌍천지구는 설악산 국립공원 북동부에 위치하며, 년평균 강수량은 1,310mm이며, 지하수 함양률은 평균 22% 정도로 다소 높은 편이다. 쌍천의 하류부는 속초시와 양양군의 경계부를 흐르고 발원지인 저항령에서 하구까지 길이는 약 17km에 달하며, 상류부의 급격한 경사가 하구부근 약 6km를 전후하여 완만해지는 형태를 보이고 있다.

쌍천지구는 속초시의 가장 주요한 급수원으로 현재 일일 약 27,000m³의 용수 공급을 하고 있으며, 2011년 계획인구 135,000명에 대한 일일 수요량 43,000m³의 용수를 확보하고자 일일 16,000m³의 추가공급 계획을 추진하였다. 본 지구의 대규모 수자원 개발을 위한 조사는 1992년부터 시작하여, 1995년부터 1998년까지 800m의 지하차수벽 방식 지하댐 공사가 수행되었다. 또한 추가증설에 대한 필요성이 대두되어 1998년에 지하수 추가 개발을 위한 연구용역이 수행되어 지하 차수벽의 증설 여부 등이 검토되었다.

쌍천지구에서 차수벽 시설 등의 보완을 통해 공급할 수 있는 양은 일일 40,000m³ 이상으로 현재까지는 국내에서 시행된 지하댐을 이용한 취수량 중 가장 많은 양에 해당된다. 1992년 최초 조사부터 1999년 추가개발을 위한 준비기간까지 투입된 개략적인 총 사업비는 약 160억원 정도이다. 특히, 이 지역은 지하댐 건설 이전에는 약 50일 무강우일이 지속되는 경우 심한 용수공급에 압박을 받았으나, 현재는 충분히 용수공급이 가능하여 지하댐을 이용한 수원개발 성공사례라고 할 수 있다.

지하댐 차수벽의 길이는 800m, 굴착폭은 80cm, 굴착심도는 연암선 이하 0.5m 까지로 최소 3.5m에서 최대 26.8m의 범위를 갖는다. 차수벽 시공 방식은 시멘트와 벤토나이트 혼합 슬러리(slurry)를, crumshell로 굴착한 절토 부위에 주입하여 벽을 형성하는 방식이 채택되었으며, 차수벽 공사에 투입된 사업비는 약 45억원이다. 차수벽은 추후 시료를 채취하여 실내 분석한 결과 이 지역 연암의 투수 계수(10-5~10-6cm/s)보다 10배정도 적은 10-6~10-7 cm/s로 나타나 충분한 차수효과가 있는 것으로 나타났다. 차수벽 공사 이외에 1994년부터 1998년 쌍천 지구에서 시행된 공사의 주요 개요는, 집수정, 취수관로, 취수펌프장, 송수관로, 전기 및 부대 공사 등이며, 집수정은 3개소가 신설되었고 1개소가 보완되었다. 방사상 집수정은 내경이 6m이고 깊이가 약 15~19m이다. 수평집수관은 65mm 관으로 4개의 집수정에 총길이 1,600m가 시공되었다. 이 지하댐을 이용한 취수 시설 건설과 관련된 민원 사항 및 보상은 매우 미미한 경우에 국한되었으며, 건설이 완료된 후에는 취수정 시설을 제외하고는 거의 자연적인 하천의 상태가 유지되고 있다. 그림 7은 쌍천지구 지하댐의 지구평면도를 나타낸다.

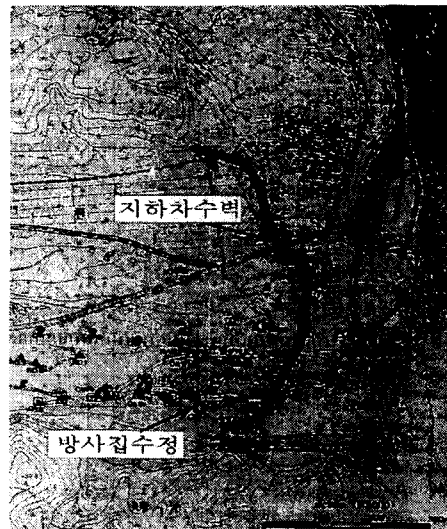


그림 7. 쌍천지구 지하댐 지구평면도

3.2 국외

3.2.1 인도 Palghat Gap 지역 지하댐

이 지역의 지하댐은 평균 저류량이 15,000m³ 정도의 소규모 관개용 지하댐으로 1962~1964년 사이 민간 주도로 만들어진 제 1댐과, 1979년 정부 주도로 시설된 제 2댐이 있다. 계곡부 130m에 대해 차수벽으로 석고 벽돌을 기반암부터 평균 높이 5~9m로 쌓아올렸으며, 지하수위 상승으로 인한 지표의 침수 방지를 위해 지표면 하부 1m에 차수벽의 정부가 위치하도록 설치하였다. 대부분의 대수층은 모래이며 유효공극률은 7.5 %정도이다.

3.2.2 에디오피아 Bombas 지역 및 Gursum 지역 지하댐

에디오피아 최초의 지하댐은 Ethiopian Water Works Construction Authority(EWWCA)에 의해 1981년에 건설되었다. Bombas 지역의 지하댐은 매우 소규모의 모래 저장댐으로 심도 3m의 기반암까지 굴착한 후 콘크리트 블록을 이용하여 지표면보다 0.8m 높게 댐을 만든 형태이다. 이 지하댐은 주민 500명에 대한 소규모 상수원으로 충분한 효과를 발휘하고 있으나 지표부에 물이 모여 인근 짐승들에 의한 오염이 문제가 된다.

Gursum 지역은 인구 5,000명에 대한 생활용수 공급을 목적으로 모래 저장댐을 건설하였다. 그러나 이 지역 대수층은 투수성이 불량하여 충분한 물을 공급하지 못하여 지반에 대한 부분적인 개량과 댐 상류부에 위치한 수원에 유공 PVC관을 연결하여 보완하였다.

3.2.3 콜롬비아 산타 마르타시의 지하댐

산타 마르타시는 남미의 최북단 카리브해안에 인접한 도시로 이 지역의 대수층은 자유면 대수층이고 주로 조립질 모래로 이루어져있다. 이 대수층은 투수계수 4~20m/day 정도의 양호한 투수성을 보인다. 특히, 기반암은 화강암 또는 변성암으로 이 기반암의 형태가 해안부에서 돌출된 모양을 가지고 있어 해안에서의 염수 침입 억제 역할 또한 병행하고 있다(그림 8).

또한 이 지역에는 염수의 침입으로 폐공된 정호가 해안가에 많이 있으며, 노후된 하수처리 저장조 및 배관으로 인해 대수층내 담수의 오염문제가 심각하다. 특히 이 지역은 위치 및 시기에 따라 현저한 강수량 차이를 보여 수자원 이용 측면에서 매우 불리한 조건을 가지고 있다. 해안지역의 경우 연간 500mm의 강수량을, 대수층이 발달한 내륙지역의 경우 연간 2,000mm의 강수량을 보인다. 또한 계절적으로도 우기와 건기의 차이가 매우 뚜렷하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 소규모의 다단계 콘크리트 및 모래주머니 댐(sand sacks dam)과 이 댐 상류부의 주입정호를 연계한 인공함양 방식(그림 9) 및 양수 조절 방식에 의한 유도 함양 정호를 이용하여 지하 대수층에 담수를 저장하여 사용하고 있다.

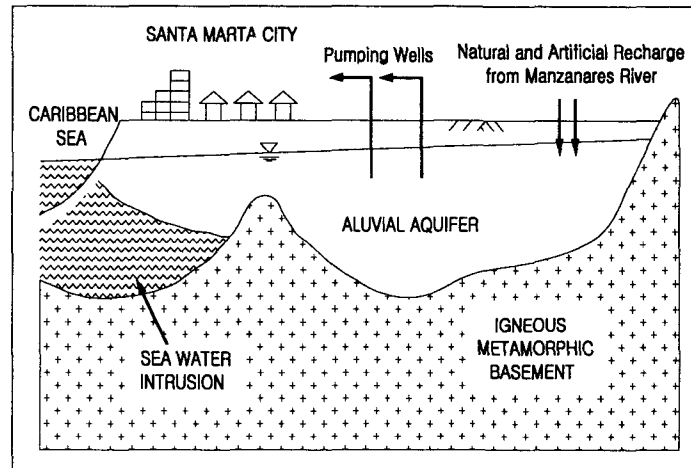


그림 8. 산타 마르타시 지하댐 설치지점 단면도

3.2.4 중국의 후빙 지하댐 및 롱코우 지하댐

후빙 지하댐은 위하의 지천인 석천 하곡에 설치된 댐이다. 후빙 지역은 원래 지하수위가 높은 지역이었으나, 오랜 기간 용수 이용이 증가되면서 지하수위가 지표면 아래 30m까지 강하한 지역으로 더 이상의 지하수위 강하를 막고 지하댐에 의한 용수를 확보하고자하는

목적으로 지하댐 건설이 계획되었다. 이 지역 대수층은 두께가 최대 80m, 평균 30m이며, 유효공극을 20%로 연간 0.7억m³의 양수가 가능하고 대수층의 저수용량도 약 5억m³에 달하는 지하댐의 적지이다. 지하댐의 총길이는 3,850m이며, 이 중 대수층의 심도가 20m미만인 1,200m구간 중 830m구간을 점토 충전공법으로 시공하였다.

황하의 하류인 산둥 반도 범람원에 설치된 롱코우 지하댐은 지표유출수에 대한 시간적, 공간적 재분배를 통해 최대한의 수자원 이용을 도모하는 방식으로, 실제 지표댐에 의한 저수지와 함께 운영되는 지표댐 병용형이라 하겠다. 이 지역의 대수층은 주로 모래와 자갈 및 소량의 점토질로 이루어진 제 4기 충적층이며, 두께는 약 10~60m 정도로 중심부에서 가장 두꺼운 분지형태를 가지고 있다.

대수층의 투수계수는 21~237m/day, 공극률은 6~25% 정도의 범위를 갖는다. 이 지역의 범람원 중앙으로는 자연수로 정리한 인공수로가 있으며, 이 수로의 바닥은 3~17m 두께의 낮은 투수계수의 점토층이 존재하는 구간이 약 5.8km로 지하수 함양에 매우 불리한 여건을 가지고 있다. 이 지역의 만성적인 수자원 문제는 홍수기에는 수로가 범람하여 대부분의 지표수가 바다로 유출되며, 평상시에는 안전 채수량 이상의 양수로 지하수위가 현저히 강하될 뿐 아니라 해수의 침입이 심각하다는 점이다. 이러한 문제의 해결 방안으로 수로 바닥에 주입식 정호를 설치하여 지하수를 인공함양하고 바다로의 유출을 최소화하기 위해 해안 인접 부분에 지하수 차단벽 역할을 하는 지하댐을 건설한다는 계획을 세웠다. 현재까지 1,218개의 주입정을 통해 함양시킬 수 있는 양은 약 155,000m³/day 정도이다.

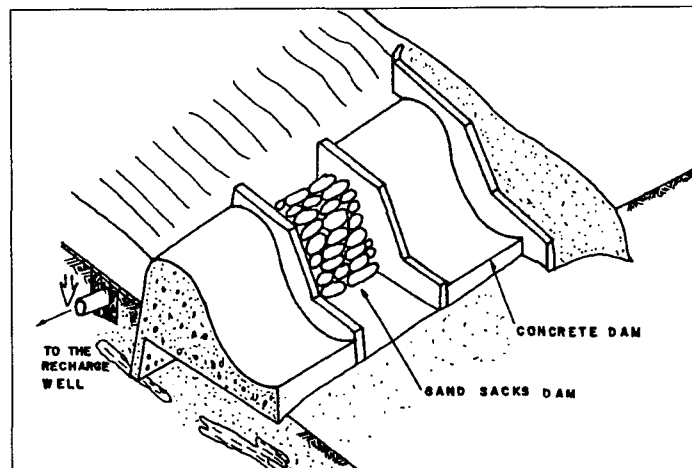


그림 9. 산타 마르타시 지하댐 개요

3.2.5 일본의 가바지마 지하댐, 미야코지마 지하댐 및 오키나와섬 남부 지하댐

가바지마는 나카사키 남단에 위치한 면적 2.21km^2 의 작은 섬으로 주민의 수는 약 1,400여 명이고 주로 섬의 계곡부에 인구가 집중되어있으며, 이용가능한 지표수가 거의 없다. 이 섬에서는 1974년에 물막이벽을 건설하고 용수를 이용하였으나 갈수기 급수에 문제가 있어 지하댐에 대한 검토가 1977년부터 1980년까지 수행되었다. 이 섬의 계곡부를 이용한 지하댐의 저장 용량은 약 $9,340\text{m}^3$ 정도인 것으로 평가되었고, 이는 일체의 지하수 함양이 없는 경우에도, 1일 200m^3 의 취수로 약 45일 이상을 건널 수 있는 양으로 평가되었다. 가바지마 지하댐은 주입공법을 이용하여 사력층의 투수계수를 $3\sim 5\times 10^{-2}\text{cm/s}$ 에서 $8\times 10^{-6}\text{cm/s}$ 로 개량하였으며, 일일 400m^3 를 취수할 수 있는 시설을 갖추었다.

관개면적 $8,400\text{ha}$ 에 농업용수 확보를 위한 오키나와 제도의 남서쪽에 위치한 미야코지마는 면적이 159km^2 이며 연평균 강우량이 $2,200\text{mm}$ 이다. 그러나 대부분의 강우는 표면유출과 빠른 지하수 흐름으로 바다로 유출하고 단지 강우량의 10%만이 이용된다. 이러한 수자원 이용의 불리한 여건에 대한 대처방안으로 정부가 1984년에 농업용수 개발을 위하여 “National Land Improvement Project in Miyako Region” 사업을 시작하여 연간 총 저수용량 2.4억m^3 의 수나가와 지하댐(그림 10)과 푸쿠자토 지하댐(그림 11)을 2001년 완공하였다. 이 개발사업으로 약 $2,000\text{ha}$ 의 농경지에 안정적인 용수공급이 가능하게 되었다.



그림 10. 수나가와 지하댐 지구



그림 11. 푸쿠자토 지하댐 지구

“Okinawa Hontoh-Nanbu National Irrigation Project”가 추진 중인 지구는 오키나와섬 남단의 이토만시와 구시카미 계곡의 일부를 포함하는 관개면적 1,420ha로써 연평균 강우량 2,000mm이다. 그러나 대수층이 큰 공극률을 가지는 석회암으로 이루어져 있어 강우의 대부분이 바다로 유출되며, 일부 지역은 해수면의 높이가 지하수위보다 높아 해수의 침입이 예상되어 지하수의 이용 또한 주의가 필요하다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 지하수 저류기능의 나시로와 기자 지하댐 및 해수침입 방지기능의 코메주 지하댐을 설치하여 연간 약 4.1백만 m^3 의 용수를 공급하기 위하여 1982년 착공하여 2003년 완공을 목표로 하고 있다 (그림 12). 그림 13는 차수벽을 설치하기 위한 케이싱 보링 장면을 보여주며, 그림 14은 차수벽 시공단계를 보여주고 있다.

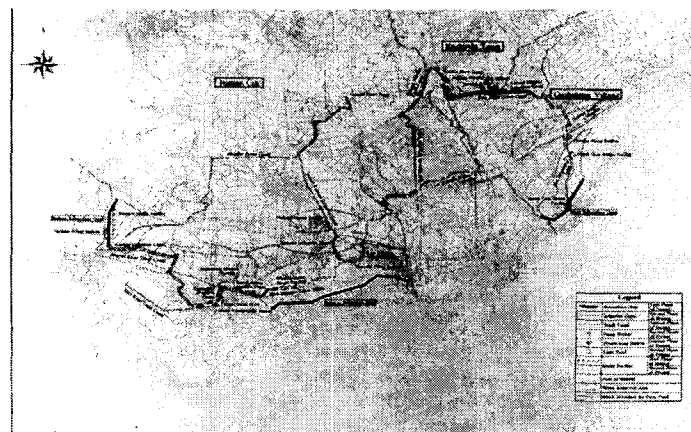


그림 12. 오키나와 본섬 남부사업지구 계획평면도

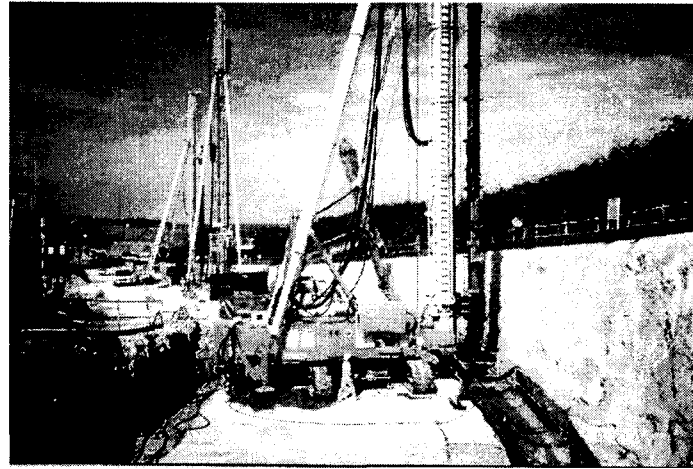


그림 13. Triaxial 보링

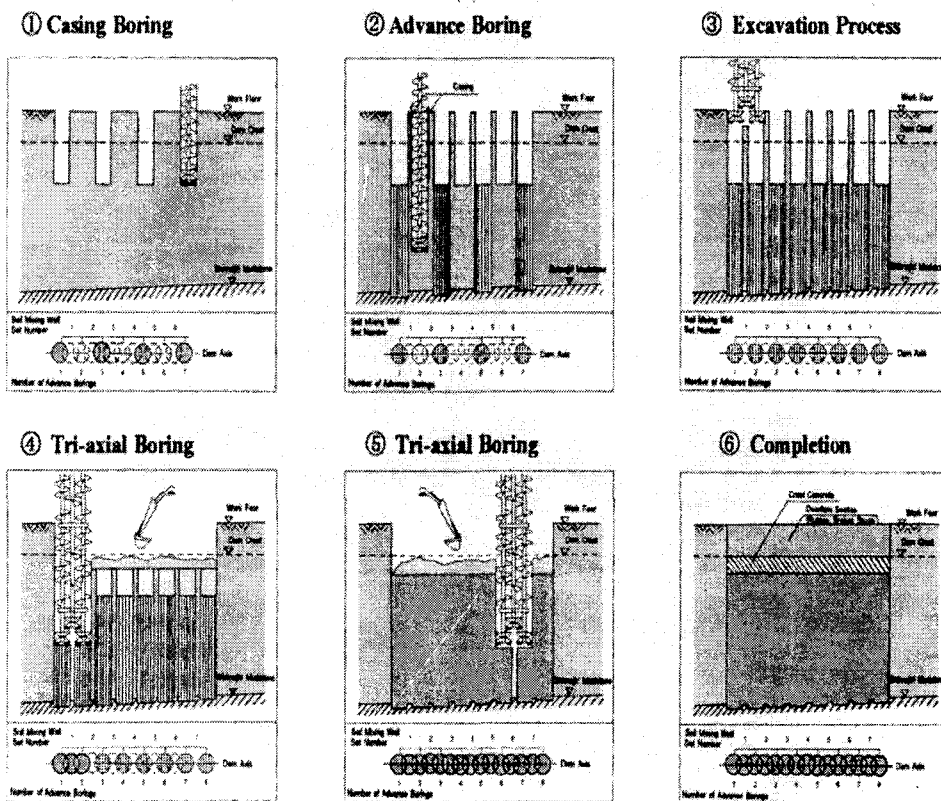


그림 14. 오키나와 본섬 남부지역 지하댐 차수벽 시공순서

3.2.6 타일랜드 푸켓섬의 방타오 지하댐

푸켓섬은 타일랜드 남단 벵골만 동부의 앤다만 제도에 위치하는 지역으로 면적은 543km²이며, 연평균 강수량 2,200mm의 80%가 5월에서 10월 사이 집중한다. 연간 일정하지 않은 강우와 적절하지 않은 물관리 및 관개·배수 시설의 낙후로 인하여 용수의 대부분이 유출로 손실되어 물수요량을 충족시키지 못한다. 1995년 푸켓섬의 방타오 구역에서는 1.7백만m³의 용수요구량 중 1.1백만m³만 공급 가능하였다. 이러한 여건으로 인하여 갈수기 물수요를 충족시키기 위하여 1997년부터 지하댐 사업을 시행하고 있는 중이다.

이외 아프리카 마우리타니아의 사막화 방지를 위한 Sahil Greenbelt Plan의 Sahil 지하댐, 산 안토니오의 Quintana Drainage Project의 일환인 켈리댐, 호주 Murray-Darling 구역의 지하댐, 일본의 전진댐과 키카이댐 등이 있다.

4. 지하댐 조사 설계 및 관리 방안

4.1 조사

가. 수문지질학적 조사

지하댐 설치지점의 선정을 위해서 설계자는 사전에 지형도, 지질도, 집수정이나 수원의 위치도 등의 기존 획득 자료를 모아야 하고, 수문지질학적 특성에 기초하여 대수층과 기반암의 지질학적 범주를 분류하여야 하며, 지하계곡의 크기와 위치를 조사하여야 한다.

나. 지하수 조사

지하댐 설치 예정지점의 지하수면의 시간의 경과에 따른 변동이나 형태 및 지하수 부존량을 조사하여야 하며, 특히 염수 침입 방지를 위한 지하댐의 설계를 위해서는 기존 지하수의 염도를 측정하여야 한다.

공정별 조사방법으로는 지표지질 조사를 통하여 지질분포와 구조, 조사 구역 내 하상퇴적물, 기설 우물의 분포와 이용현황 등을 획득하여야 하며, 양수량 확인을 요하는 위치의 기설 관정을 조사하여야 하고, 대수층의 지하수량 및 수문현황을 파악하기 위한 전기비저항 수직탐사를 실시하여야 한다.

다음으로 조사 지구 내 수위등고선 작성을 위하여 수위관측공 조사를 실시하여야 하며, 시추조사를 통하여 개략적인 대수층의 성질을 파악하고, 대수층의 지하수 부존상태와 이용가능량을 파악하기 위하여 적정위치에 착정을 통한 양수시험을 실시하여야 하며, 설치 예정지점의 지하수위 높이 및 기반암의 위치등을 파악하기 위한 횡단면도를 작성하여야 한다.

다. 수문기상학적 조사

지하댐의 물수지 분석을 위한 강우, 증발산량, 침투량, 지표면 유출량 등에 대하여 조사하여야 한다.

라. 지하수 흐름 모델링 분석

이상의 조사를 통해 획득한 자료를 이용하여 지하댐 건설 후 양수가능량 및 함양량, 지하수위 강하 범위 및 주변에 미치는 영향 등의 파악이 선행되어야 한다. 이러한 분석은 여러 가지 수치모형을 이용하여 할 수 있다. 이를 통하여 지하댐 설치의 적정성 판단의 기준을 제시하고, 설치 후 지하수계의 실제 흐름양상과 비교·분석을 통하여 지하댐의 유용성과 적합성을 판단하며, 추후 지하댐 설계의 기준을 마련하게 된다.

최근 지하수계의 거동을 해석하는데 많이 사용하는 모형으로는 2001년 Boss International

사에서 개선한 GMS version3.1, 1991년 윈도우용으로 개선된 Visual MODFLOW, 1995년 J. Simunek 등이 개발한 Hydrus-2d, 그리고 1987년 L.F. Konikow 등이 개발한 MOC 등을 들 수 있으며, 또한 ASM, PRINCE, TRAFRAP, PATHS, SWIP/SWIPR/SWENT 등이 있다.

마. 사회여건 조사

지하댐 설치로 인한 주변 환경에 대한 파급효과를 알아보기 위하여 물가격, 지하구조물, 포장 이용현황, 수질, 법규 등의 조사가 선행되어야 한다.

4.2 설계

가. 기본지침

지하댐 설계와 관련하여 가장 기초가 되는 기준은 지하댐 설치의 목적을 달성할 수 있는 저류가능량과 양수가능량 자료의 획득에 있다. 이러한 점을 고려하여 지하댐 건설비용과 유지관리비용을 가능한한 최소로 하기 위해서는 대수층 상부의 지표 침식이 발생하지 않는 범위 내에서 최고 지하수위와 저류용량을 결정하여야 하며, 양수비용의 경제성을 고려하는 요구수량을 만족하는 범위의 최소 지하수위와 저류용량을 결정하여야 한다. 그리고 댐체 정부의 높이는 최대저류량 뿐만 아니라 지반 침수의 악영향도 고려하여 지하댐 시스템 구성 요소 상호간의 관계를 명확히 규명하여 결정하여야 한다. 또한 양수시설의 지속적인 모니터링을 통하여 유지관리비용의 절감을 모색하여야 한다.

나. 댐체 설계

지하댐체 설계의 선행과제는 먼저 목표하는 투수능의 한계값을 구하는데 있다. 그리고 구하여진 투수계수를 토대로 댐체의 두께, 관입깊이 등을 구하여야 하며, 지하수위의 상승으로 인한 대수층 상부의 지반 침식을 방지하기 위한 댐높이를 결정하여야 한다.

저류수를 효과적으로 이용하기 위해서는 저류수의 누수와 염수의 침입을 방지하여야 한다. 따라서 댐체의 적정 시공방법을 채택하여야 하며, 목표하는 투수능에 도달하기 위한 시공방법별 최적의 두께를 결정하며, 댐 누수의 가능성이 높은 댐체와 기반암과의 경계부의 밀폐성 향상을 위하여 적정 관입깊이를 선정하여야 한다. 또한 지반 침수를 고려한 댐 높이를 결정함으로써 과잉수의 배제를 위한 배수시설의 규모와 부족수 함양을 위한 인공 함양 시설의 크기를 결정하며, 양수를 위한 관정이나 방사상 집수정의 규모를 결정한다.

다. 댐체 시공 방법

댐체의 시공방법은 관입깊이, 기존 지하수위, 기반암의 지질학적 특성 등을 고려하여 slot vertical drilling method, large-diameter drilling method, chain-saw type narrow-trench

excavation method, steel sheet piling method, bucket excavation method, horizontal multi-axis rotary excavated method, in-situ churning method 등의 방법들 중에서 가장 경제적인 방법을 채택하여야 한다.

4.3 관리 방안

지하댐은 지표저수지에 반하여 지하에 매설됨으로써 지하댐은 관리에 특히 주의하여야 한다. 과도한 양수로 인하여 최소지하수위 이하로 낮아져 지하수위가 회복불능 상태에 도달하거나, 자연함양에 의하여 최대지하수위 이상으로 지하수위가 상승하여 지표의 습지화가 진행됨에 따라 작물에 심각한 피해를 초래하기도 하며, 부적절한 양수로 인한 지반의 침하는 지표 구조물의 파괴를 야기할 수도 있다.

또한 수평집수관의 막힘 및 침하로 인하여 양수량이 감소하거나, 지표 오염물질의 침투로 인하여 지하수질 개선에 막대한 비용이 소모될 수도 있다. 그러므로 지속적인 지하수위의 모니터링, 적절한 양수 및 배수시설을 이용한 저류량의 조절, 에어써징을 통한 수평집수관의 기능 향상 및 지하댐 상류 지역의 관찰을 통한 가능오염물질의 지하침투 방지 등의 관리방안을 수립하여야 할 것이다.

4.4 지하댐의 문제점

지금까지 지하댐은 지하수문의 복잡성으로 인하여 아직까지 지하수의 유효저수량과 개발이용량 설계 등에 대한 이론정립이나 지하댐 조사설계의 기준정립 및 관리·운영의 지침이 정립되지 않은 실정에서 현지 여건이나 설계 및 시공자의 경험에 의하여 임의로 설계되었다(최윤영, 2001).

이러한 여건 하에서 나타나는 설계·시공상의 문제점과 1995년 4월부터 10월까지 농어촌진흥공사에서 실시한 기존 시설물에 대한 사후 평가를 기초로 하여 문제점을 요약하면 아래와 같다.

가. 설계·시공상의 문제점

- ① 우일 및 고천지구와 같이 소규모 유역면적으로 인하여 당초 계획저류량에 훨씬 못미치는 양수 실적에서 나타나는 바와 같이 기존 물수지 분석 및 SCS-CN 방법에 의한 저류량 및 함양량 산정에 대한 이론적 체계의 정립이 불확실하다.
- ② 지하댐의 설치로 인하여 하부의 하천의 수위의 감소를 초래하거나, 기존 관정 설치 지구의 지하수위의 강하로 인한 양수량의 감소를 초래할 수도 있다.
- ③ 기초자료 및 연구성과 자료의 미흡으로 인하여 신규 지하댐의 설계에 어려움이 있

며, 설계된 구조물의 적정성 판단에 대한 비교대상이 없다.

- ④ 지하댐 설계를 위한 조사에는 첨단 장비 및 설비에 많은 비용과 시간이 요구되므로 어려움이 많으며, 전문연구인력의 확보에 어려움이 많다.
- ⑤ Grouting 공법으로 차수벽을 시공한 후에 Grouting재의 파손으로 인한 저류효과의 감소를 초래할 수도 있다.

나. 관리·운영상의 문제점

- ① 이안 및 우일지구에서와 같이 수평집수관의 침하, 집수공의 막힘 및 지하수위의 변동에 따른 집수관의 경사도의 변동 등에 의한 양수량의 감소가 초래될 수 있으므로 지속적인 모니터링뿐만 아니라 에어써징 혹은 수평집수관의 교체 등의 정비작업이 필요하다.
- ② 지하수위의 강하로 인하여 지반 침하 현상이 나타나기도 하며, 지표면의 습지화가 이루어져 지반 활용성이 떨어질 수 있으므로 지하수위의 지속적인 관측이 필요하다.
- ③ 연평균 강우량의 크기에 따라서 지하수 유입량이 변화하므로 시기별로 적정한 가능양수량의 산정을 통하여 최소지하수위와 최대지하수위의 범위 내에서 지하수의 양수가 필요하다.
- ④ 오·폐수의 지하유입에 따른 지하수질 오염시 막대한 비용뿐만 아니라 기존 설치한 시설물이 무용하게 될 우려가 있다.
- ⑤ 구조물의 건설 후 지하수위 및 지하수질 등에 대한 지속적인 모니터링에 소요되는 예산과 인력의 확보가 어렵다.
- ⑥ 현재 지하수의 이용목적에 따라 적용법규가 달라 종합적인 지하수관리에 어려움이 있는 바 먼저 지하수에 관한 법체계의 일원화가 필요하다.
- ⑦ 기존 지하수문 조사자료의 신뢰성이 시간의 경과에 따라 떨어짐으로 인하여 시급한 재조사 및 항구적인 조사가 병행되어야 하지만 만족할 만한 조사가 이루어지지 않음으로 인하여 지하수문계의 변동에 대한 대처능력에 약하다.

앞에서 제시한 여러 가지 문제점에도 불구하고 과학적인 이론의 정립, 적절한 설계지침 및 시공 후 지속적인 모니터링이 이루어진다면 지하댐 건설이 최근 이상기후로 인한 가뭄 피해, 물부족 문제, 물수요자 상호간의 갈등과 환경문제 및 좁은 국토의 적극적 활용 등에 대한 적극적인 해결방안이 될 수 있을 것이다. 특히 해안 가까운 지구에 지하댐을 건설하면 하류의 지하수위 저하에 따른 문제점도 없을 뿐만 아니라 바다로 흘러갈 담수를 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

5. 앞으로의 전망

우리나라의 용수수요 전망은 2011년 전국 용수수요가 1988년 기준보다 50%증가한 370억 m^3 /년으로 추정되나 용수확보 추정량은 318억 m^3 /년으로 52억 m^3 /년이 부족할 것으로 예상된다. 이러한 물부족 문제의 해결방안으로 다목적댐의 건설, 댐 연계 운영, 수중보 건설, 광역 상수도 건설, 중수도 도입, 도수로 정비, 강변여과수 개발 및 지하댐 건설 등을 들 수 있다.

이 중 지하댐은 일반적인 지표댐에 비하여 동·식물 서식지 훼손 및 유수 체류시 댐 내 오염문제와 같은 환경적 부작용이 적으며, 공사비가 저렴하고, 지상공간을 최대한 활용할 수 있으며, 양질의 수량을 지속적으로 확보할 수 있는 장점이 있다.

건설교통부와 한국수자원공사(2001)에 따르면, 1999년 말 연간 지하수 개발가능량은 133억 m^3 으로 추정하고 있다. 그러나 이용량은 이의 30%인 40억 m^3 이고 70%인 93억 m^3 은 개발되지 않고 있는 실정이다.

지하댐은 안정적인 주수원으로써의 역할뿐만 아니라 수질확보, 해수 침입 방지 및 하류 유량 조절을 통한 홍수피해의 경감 및 겨울가뭄에 대하여 용수를 확보할 수 있는 이·치수의 기능을 동시에 가지는 구조물로써 앞으로 적극적으로 개발하여야 하겠다.

6. 맺음말

안정적인 용수공급을 위하여 우리나라는 11개의 다목적댐 및 33개의 광역상하도 및 공업용수도를 개발·운영중이다. 하지만 최근의 기상이변으로 인한 가뭄 및 산업발달에 따른 요구량을 충족시키기에는 부족한 형편이다.

1980년 초반부터 물부족 문제의 해결을 위하여 지하댐의 개발이 논의되기 시작하여 현재 5개의 농업용수용 지하댐과 1개의 생활용수용 지하댐을 운영중이다. 건설교통부와 한국수자원공사(2001)에 따르면 우리나라 지하수 개발가능수량 133억 m^3 중 30%인 40억 m^3 만이 지하댐 및 집수정 등을 통하여 이용되고 나머지 93억 m^3 은 개발되지 않고 있는 실정으로 앞으로 지하수 개발 여지가 크다고 하겠다.

물부족 문제는 이미 지역적으로 나타나고 있는 사실이며, 2004년부터 전국적으로 물부족이 발생하여 2011년에는 약 52억 m^3 의 물이 부족할 것으로 예상된다. 이러한 여건 하에서 공사비가 저렴하며, 지상공간을 최대한 활용할 수 있으며, 양질의 수량을 지속적으로 확보할 수 있는 지하댐의 연구·개발은 지속적으로 이루어져야 할 과제이다.

본 고에서는 지하댐의 개요와 국내·외 연구사례를 들어 지하댐의 이론적 배경을 설명하였고, 시공사례와 사후 평가 조사 자료를 통하여 기존 지하댐의 설계·시공 및 관리·운영상의 문제점을 검토함으로써 대안을 제시하였으며, 지하댐 시공을 위한 개략적인 설계 기준 및 관리 방안을 제시함으로써 향후 지하댐 개발의 방향을 제시하였다.

참고문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사, 2001, 물, 생명 그리고 환경 : III. 우리나라의 물, http://www.kowaco.or.kr/pages/main_st/waterday/waterday_3.html, pp. 26-33.
2. 김주범, 1988, 지하댐, 대한토목공학회지, 4(2), pp. 68-73.
3. 농어촌진흥공사, 1990, 방사상 집수정 수리조사 연구보고서, pp. 228.
4. 농어촌진흥공사, 1996, 소유역 지하댐 개발에 관한 기술개발 연구보고서, pp. 218.
5. 대구지리교사홈페이지, 2001, 함창 교촌리 지하댐, <http://tggeo.com/field/field412.htm>, pp. 2.
6. 박영석, 2001, 일본의 지하수 이용과 관리 실태, <http://ysgeo.yonsei.ac.kr/ip03-03-05.htm>.
7. 박창근, 1996, 지하수 개발가능량 산정기법, 건설기술정보, 통권 147호, pp. 24-30.

8. 박창근, 2000, 속초시 쌍천 지하담과 그 의미, 한국수자원학회지, 33(6), pp. 85-90.
9. 백건하, 2001, 지하수 인공함양 기법, 한국수자원공사,
http://www.kowaco.or.kr/pages/main_su/su_03/su_03_05/co20-3.htm, pp. 19.
10. 신방웅, 최기봉, 김희성, 1996, 3차원 흐름모형을 이용한 지하담의 차수효과 해석, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 163-166.
11. 안경환, 2001, 암반지하수 조사 및 평가, 한국수자원공사,
http://www.kowaco.or.kr/pages/main_su/su_03/su_03_05/co20-4.htm, pp. 19.
12. 이기화, 최병수, 한원석, 1995, 가남지역 대수층의 전기적, 수리적 특성사이의 관계, 지하수환경학회지, 2(2), pp. 78-84.
13. 이천복, 1994, 한국의 지하수자원과 개발방향, 지하수 개발과 농어촌용수 심포지엄 발표집, 농어촌진흥공사, pp. 123-170.
14. 최병수, 1992, 지하수 개발의 현황과 문제점, 물관련 정책토론회, 건설부·한국수자원공사, pp. 157-170.
15. 최병수, 1996, 자유면 대수층 지역에서 지하수위 변동자료 해석에 의한 대수층 특성분석, 농공기술, 통권 51호, pp. 3-13.
16. 최병수, 안중기, 1997, 소유역의 지하수 함양량 산정에서 SCS-CN 방법의 적용, 농공기술, 통권 56호, pp. 11-20.
17. 최병수, 1997, 자유면 대수층 지역에서 지하수위 강하곡선 해석에 의한 자연 함양을 산정 방법, 농공기술, 통권 57호, pp. 14-23.
18. 최병수, 1998, 단공양수시험에 의한 대수층 조사방법 I, 농공기술, 통권 60호, pp. 101-110.
19. 최윤영, 2001, 우수침투에 의한 지하수 함양, 2000년도 한국수자원학회 기초과제 연구보고서, pp. 345-357.
20. Batchelor C., Lovell C., Chilton J., 1996, Development of collector well gardens, 22rd WEDC Conference, Reaching the Unreached : Challenges for the 21st Century, pp. 172-174.
21. Cook P.G., Herczeg A.L., Mcewan K.L., 2001, Groundwater recharge and stream baseflow : Atherton Tablelands, Queensland, CSIRO Land and Water Technical Report 08/01, pp. 84.
22. Cunningham W.L., Bair E.S., Yost W.P., 1995, Hydrogeology and Simulation of Groundwater Flow at the South Well Field, Columbus, Ohio,
<http://www-oh.er.usgs.gov/report/Abstracts/wrir.95-4279.html>, pp. 2.
23. Gupta A.D., Babel M.S., Das R.K., 2000, Assessment of Groundwater Potential with Underground Dam In Phuket Island of Thailand, Water Engineering & Management Program, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Thailand, pp. 8.
24. Harrington G.A., Herczeg A.L., Cook P.G., 1999, Groundwater Sustainability and Water

- Quality in the Ti-Tree Basin, Central Australia, CSIRO Land and Water Technical Report 53/99, pp. 13.
25. Japan Green Resources Corporation, 1999, Basic Information on the Investigation and Design of Subsurface Dam, JGRC, pp. 94.
26. Leaney F.W.J., Herczeg A.L., 1999, The Origin of Fresh Groundwater in the SW Murray Basin and its Potential for Salinisation, CSIRO Land and Water Technical Report 7/99, pp. 74.
27. Nissen-Petersen E., 1997, Water from sand-rivers, 23rd WEDC Conference, Water and Sanitation for All : Partnerships and Innovations, pp. 394-396.
28. Osuga K., 2001, The development of groundwater resources on the Miyakojima Islands, <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/uu02fe0c.htm>, pp. 10.
29. Print C., 1997, Subsurface dam for a pastoral environment, 23rd WEDC Conference, Water and Sanitation for All : Partnerships and Innovations, pp. 401-403.
30. UNEP International Environmental Technology Centre, 1997, The Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean : 5.3 Underground dams in Brazil, Organization of American States Washington, D.C., <http://www.oas.org/usdc/publications/Unit/oca59e/begin.htm#Contents>, pp. 6.