

해안지역 지하수댐 염수침입 방지기술 개선 방안 Countermeasure to Prevent Seawater Intrusion on Coastal Area

분성안 · 이기철 · 김진성, 정교철*, 고양수**

농업기반공사 농어촌연구원 지하수연구실

*안동대학교 자연과학대학 지구환경과학과

**한국수자원공사 조사기획처 지하수사업부

booh2700/ toong1/ geo-kjs@karico.co.kr, jeong@andong.ac.kr, YSKO@kowaco.or.kr

ABSTRACT

Groundwater Dam is one of the reliable techniques to get huge amount of groundwater abstraction for municipal, agricultural, drinking, industrial water supply system. It can be a major technique to solve water shortage problems when it based on the sufficient watershed, proper topology, and adequate aquifer distribution and pollution control.

It is suggested that the two consecutive underground wall in the coastal area to prevent seawater intrusion beneath a single wall.

Key word : groundwater dam, subsurface dam, underground wall, seawater intrusion,

1. 서 론

지하수의 다량 저류와 안정적인 취수에 가장 큰 역할을 할 수 있는 지하수댐을 개발·이용할 경우 주변환경에 미치는 영향에는 어떠한 것이 있으며, 해안지역에 지하수댐을 설치할 경우 효과적으로 염수침입을 방지할 수 있는 방안을 제시해 보고자 한다.

2. 지하수댐의 정의 및 분류

가. 지하수댐의 정의

우리나라에서 지하댐이란 용어는 농업진흥공사가 1982년 이안지하댐 조사시험 보고서에서 처음 사용하였으며, 이러한 어원은 일본에서 사용된 것과 마찬가지로 지상에 설치하는 지상댐과 대비하여 물막이벽을 지하에 설치하기 때문인 것으로 추정된다.

Hanson과 Nillson(1986)은 「인공적인 차수벽 시설을 통해 지하수를 저장하는 모든 방식」을 지하수댐(groundwater dam)이라 하였다. 일본 농업토목기술사전에는 「지하의 공극을이 큰 지층에 지수벽을 설치하여 지하수의 흐름을 정지시켜 저류하고, 지하수를 안정적으로 이용가능하게 하는 시설」을 지하댐(subsurface dam)으로 정의하고 있다(吉田健治, 2000).

지하수댐을 구성하는 주 요소는 물막이벽과 대수층의 두 가지가 있다. 본 연구에서는 지하수댐을 물막이벽은 물론 지하수를 공급하는 유역 및 대수층, 취수와 배수시설 등을 포괄적으로 포함시키고자 한다. 또한, 지표상에 설치하여 지표수를 사용하고 있는 댐(혹은 저수지)에 대비되는 용어로 지하댐이라 하는 것보다는 주로 지하수를 이용하는 댐이므로 「지하

수댐」으로 정의하고자 하며, 취수시설을 제외하고 물막이벽 구간만을 지칭할 경우를 지하댐(underground dam, subsurface dam)이라 하고자 한다.

나. 지하수댐의 분류

Table. 1. Classification of groundwater dam

Item	Classification
Storage type	Subsurface, Semi-subsurface, Surface/Subsurface convertable
Water usage	Drinking, Agricultural, Multipurpose
Purpose	Increase storage, Prevent Seawater Intrusion, Combination
Wall type	Spill way, Retention
Technique for constructing wall	Replacement, Injection, Soil & cement mixing, Hammering

3. 지하수댐의 입지조건

- 1) 물막이벽의 길이가 짧고 깊이가 얕아야 공사비가 적게 소요된다.
- 2) 유역면적이 넓고 지형경사가 완만하고 유역상류부의 임상상태가 양호하여야 지하수의 함양이 많아진다.
- 3) 지하수를 저류하는 대수층이 깊게 발달하여 있고 유효공극율과 분급도가 좋고 투수성이 양호한 지역이어야 저장과 산출이 용이하다.
- 4) 지하수가 안정적으로 공급될 수 있도록 연간 강우량이 많고 지속적인 곳이어야 한다.
- 5) 현재의 지하수위가 낮은 곳이라야 물막이벽 시공 후 수위상승효과가 커 유리하다.
- 6) 대수층에 점토층이 혼재되어 있지 않거나 두께가 얇은 곳이어야 저류 및 취수가 유리하며, 지반의 침하도 방지할 수 있다.
- 7) 해안부에서 담지하수층으로의 염수침입이 없었거나 있었더라도 그 규모가 작은 곳이라야 댐 건설 후 저류역 내에 남아 있는 염수의 제거가 쉽다.
- 8) 물막이벽 상하류부에서 현재 지하수 이용이 적은 곳이어야 유리하다. 지하수 이용이 많은 곳이면 관정 소유자와 분쟁 가능성이 크며, 물막이벽의 하류에서는 주로 지하수위의 저하에 의해, 해안변에서는 주로 염수침입으로 인하여 지하수 사용이 어려워지기 때문이다.
- 9) 지하수위 상승에 의해 기존 지하구조물에 침수 등의 영향이 일어나지 않는 지역이어야 한다.
- 10) 물막이벽 상류부에 대규모 오염원이 없거나 향후에도 오염배출시설이 설치되지 않는 곳이어야 지하수의 수질을 보전할 수 있다.

4. 지하수댐 개발로 인한 주변환경에 미치는 영향

가. 바다로 유출되는 담수차단에 의한 해양생물에의 영향

담수는 하천이나 기반암을 통하여 바다로 유출되는데 물막이벽의 설치로 인하여 그 지역에서는 담수가 바다로 유입되지 못하므로 해안 인근에 서식하는 해양생물의 생태계에 변화가 있을 수 있다.

나. 상류부 및 물막이벽 주변에서의 지하수 수질 악화

물막이벽 상류부에 대규모 오염원이 있거나, 소규모라도 지속적으로 오염물질이 배출되는 경우 저류된 지하수가 오염되어 이를 음용수나 농업용수로 이용할 경우 위해한 경우가 발생될 수 있다.

다. 수위상승 및 과다양수로 인한 주변영향

지하수위의 상승으로 인하여 물막이벽 설치 전에 축조하였던 지하구조물이 침수될 수 있으며, 함양량보다 많은 양의 지하수를 계속적으로 취수할 경우 지반의 침하도 예견할 수 있다.

특히 물막이벽을 협곡부에 설치할 경우 집중호우시 지하수위가 급격히 상승함으로써 배제가 순조롭지 못함에 따른 침수피해가 예상된다. 일본의 가바지마(樺島) 지하댐의 경우 3개 취수정에서 1977년 10월부터 1년 사이에 약 20~45cm의 지반 침하가 있었는데 이는 양수로 인한 풍화대의 압밀이 원인인 것으로 보고되어 있다(건설산업조사회, 1980).

라. 농작물의 피해와 서식형태 변화

우리나라는 일본과 달리 충적층의 두께가 평균 10m 내외로 얇은 편인 반면 지하수위는 높게 유지되고 있다. 그러므로 물막이벽에 의한 수위상승효과를 보기 위하여 지하수위를 과다하게 상승시키면 농작물에 나쁜 영향을 줄 수 있으며, 지표 얇은 곳까지 포화되므로 육상생물의 서식형태가 변화할 수 있다. 지하수위가 지표에서 1m 이내인 경우 그 영향이 대단히 크므로 지하수위를 무조건 높일 수 없다.

5. 해안지역에서의 염수침입 방지기술 개선 방안

가. 물막이벽의 누수원인

물막이벽은 지반을 스스로 지지해야 할 필요가 없기 때문에 높은 강도는 불필요하나 어느 정도의 내구성과 지수성을 유지하기 위한 강도는 필요하다. 일본에서는 벽체 최저강도를 10 kgf/cm² 정도로 설계기준 강도가 설정되어 있다. 그러나, 우리나라에서는 현재까지 물막이벽에 대한 강도, 벽두께, 지수목표 등의 기준이 정해져 있지 않으며, 시공 후 투수계수가 1.5×10^{-5} cm/sec 이내이면 가능한 것으로 시공되고 있다.

물막이벽의 누수는 어느 정도 지하수가 유출되는 것을 허용하는 유출억제형 지하수댐에서는 크게 문제가 되지 않는다. 그러나, 완전차수를 목적으로 하거나 염수침입방지형 지하수댐에서는 벽체가 누수되면 저류효과 및 수질 면에서 문제가 발생된다. 차수형 물막이벽이 누수되면 저류량이 감소하므로 갈수기에 용수공급이 원활해지지 못하게 되며, 염수침입방지형은 해안쪽에서 염수가 침입하게 되므로 용수사용이 제한되거나 불가능하게 될 수 있다. 이처럼 지하수댐의 효능을 저하시키는 물막이벽에서의 누수 원인은 다음과 같다.

첫째, 물막이벽 시공부실로 인하여 당초부터 균열 등이 형성되어있어 차수효과가 떨어질 때, 물막이벽 시공재료의 내구성이 적어 단기간에 차수재가 용탈되어 버려 투수성이 커질 때, 물막이벽과 하부 기반암이 밀착되지 못하여 그 사이로 지하수가 유출될 때, 기반암의 풍화, 균열, 파쇄가 심하여 이 곳으로 지하수가 유동함

나. 취수정으로의 염수침입

해안지역 인근에 설치한 물막이벽의 상류부에 위치하는 취수정으로 염수가 침입하는 이유는 Fig. 1과 같다. 벽체 설치 후 상류부의 지하수위는 W.L.1에서 W.L.2로 높아졌지만 벽체

직 하류부의 지하수위는 설치 전보다 많이 낮아지게 된다. 이는 물막이벽 설치로 인하여 지하수의 흐름이 막혔으므로 지표수 혹은 복류수의 수위가 당초보다 많이 낮아져 해수준면에 근접하게 되기 때문이다. 또한 해안지역의 충적층에서는 담수와 염수의 밀도 차에 의해 자연적으로 유지되고 있던 담수렌즈체가 지하수위의 하강으로 인하여 점차 얇아지게 되므로 염수는 내륙쪽으로 점점 밀려오게 되고 물막이벽까지 도달하게 된다.

Fig. 2에서 물막이벽 상류부 취수정에서 지속적인 취수가 이루어질 경우 풍수기에는 하류부에 별 영향을 주지 않을 것이지만 갈수기에는 유역에서 함양되는 수량이 적어지면서 W.L.2에서 W.L.3로 지하수위의 하강이 급속히 일어나게 되고 양수에 의해 지하수위가 더욱 낮아지게 된다. 이로 인하여 벽체 하류부의 지하수위는 해수면에 근접하거나 해수면 아래로 떨어지게 되는데 이 때 벽체와 하부 기반암에서의 차수가 완벽하다면 상류부로 염수가 유입될 수 없으나 그렇지 못한 경우에는 염수의 유입이 가속화 될 것이며 한번 유입된 염수는 담수로 정수되기 쉽지 않게 된다.

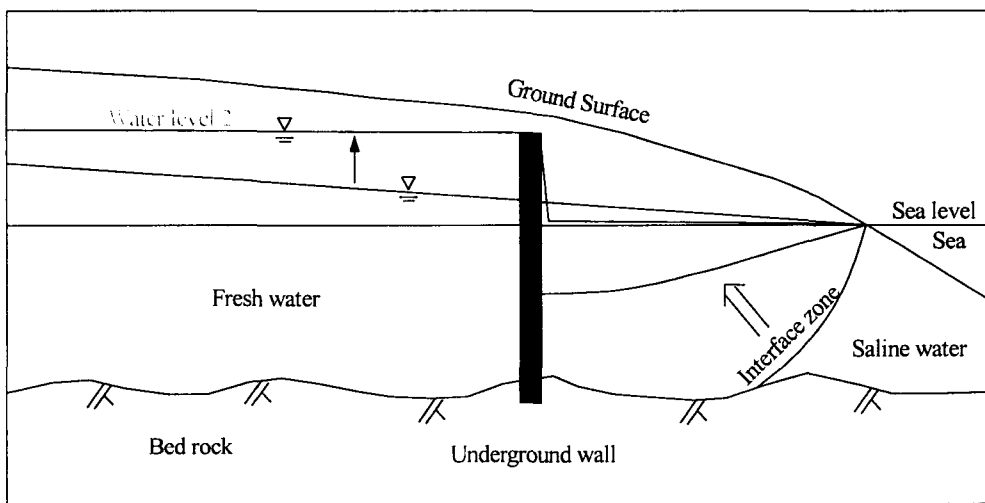


Fig. 1. Groundwater table movement after construct underground wall

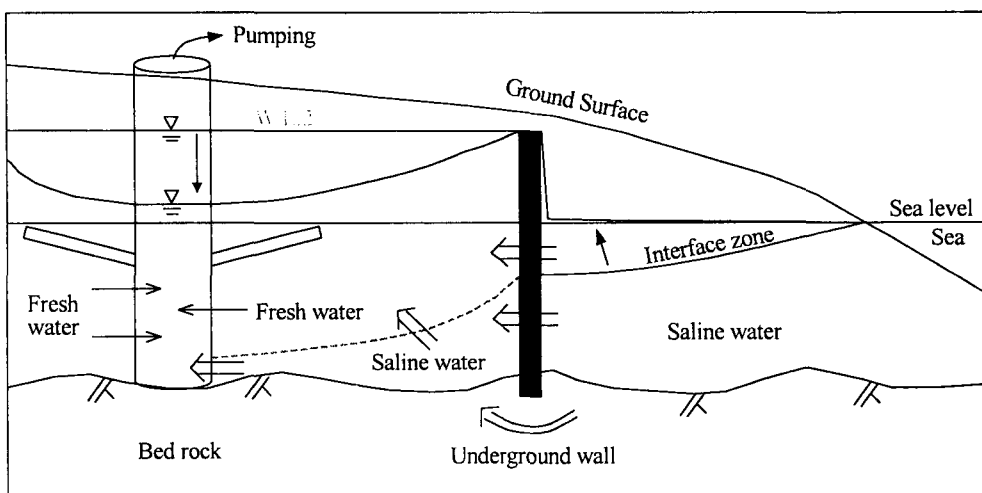


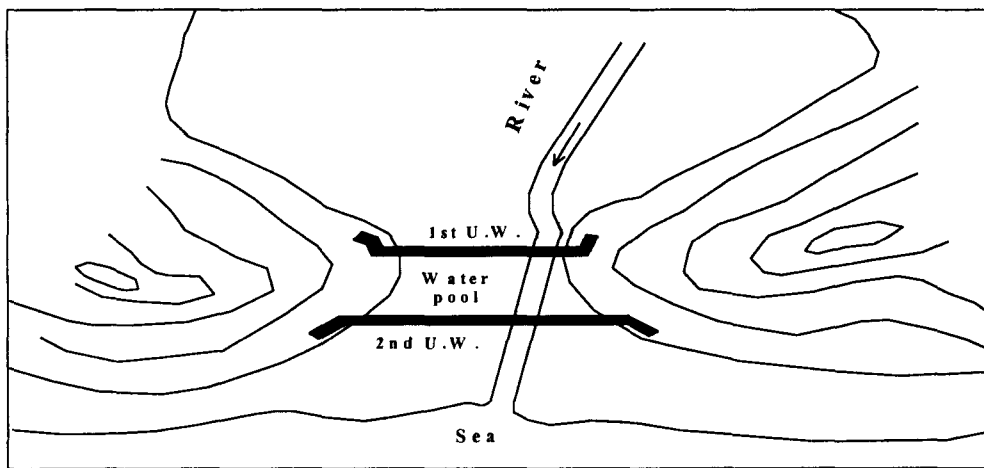
Fig. 2. Seawater intrusion with groundwater abstraction and lowered groundwater table

다. 이중물막이벽에 의한 염수침입 방지 방안

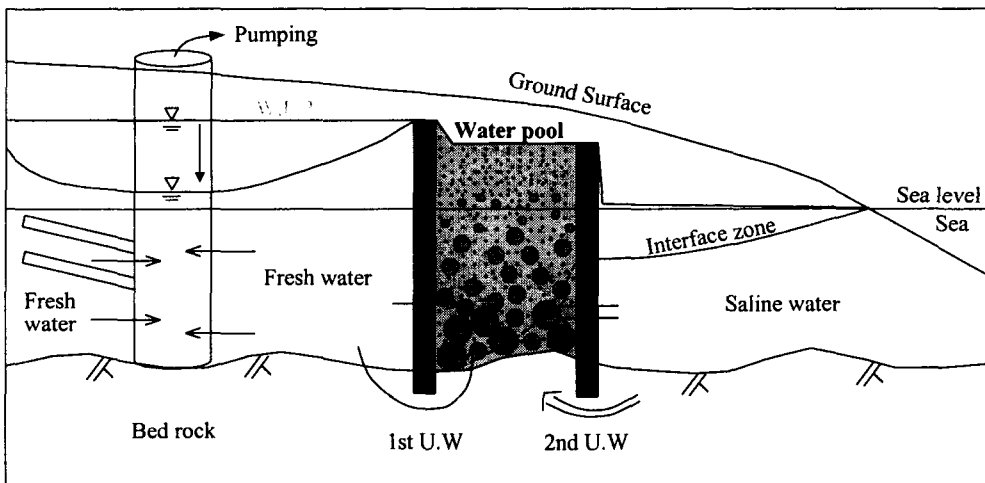
지하수댐을 설치하여 저류시킨 용수를 사용할 경우, 농업용수처럼 계절적·한시적으로 사용하는 경우와 상수도용으로 1년 내내 용수를 공급하는 경우에는 건설계획부터 다른 각도에서 분석해야 한다.

농업용수용 지하수댐의 경우 대부분 영농기에만 용수를 공급하며 용수는 저류역내의 경작지(대부분 논)에 급수되므로 증발되어 손실되는 양보다 지하로 침투되어 재사용 되는 양이 훨씬 더 많아 용수의 재이용율이 높은 등의 이유로 해안지역에서의 염수침입 현상에 대해서 아직까지 보고된 바 없다.

상수도용 지하수댐에서는 연중 취수하여 저류역 밖으로 용수를 공급하게되는데 이 경우에는 용수의 재이용율이 "0" 이 되므로 물 수지분석 시 장기 분석에 철저를 기하여야 한다. 만약 지속적인 용수이용으로 인하여 물막이벽이나 하부 기반암을 통하여 염수침입이 가속화 된다면 다음과 같은 방법으로 이를 방지할 수 있을 것이다.



(A)



(B)

Fig. 3. Two consecutive underground wall to prevent seawater intrusion. (A)Plan view (B)Cross section (U.W. ; Underground Wall, W.L. ; Water Level)

Fig. 3에서처럼 저류역 하류부에(물막이벽이 해안에 근접하여 있다면 상류부에) 2차 물막이벽을 하나 더 설치한 후 그 사이 대수층을 담지하수로 채워두면 수위가 W.L.2에서 W.L.4로 떨어지더라도 수압 및 토압에 의하여 하류부에서의 염수침입 현상을 방지할 수 있을 것이다. 이 경우 공사비의 증가와 물막이벽 사이에 갇힌 지역에서 지하수 수질악화가 예상되지만, 급수중단으로 인한 피해 해결이 가능하므로 시도해 볼 필요가 있다. 그리고 하류측 물막이벽 하단부에 여러 개의 배수공을 설치한 후 풍수기나 홍수 시 급수에 지장이 없는 범위 내에서 물을 수시로 배제하여 준다면 수질악화 문제는 자연히 해소될 것이다.

6. 결 론

지하수댐은 대용량의 지하수를 효과적으로 확보할 수 있는 시설로서 국내에서는 1980년대 초부터 설치하였다가 최근에 다시 대용량의 취수가 가능한 방안으로 주목받기 시작하였다. 저류수는 유역조건과 대수층조건, 상류부 오염원 분포와 수질에 따라 상수도용, 중수도용, 농업용 또는 공업용 등으로 다양하게 이용할 수 있으며, 이용목적과 수질여건에 따라 간단하게 정수처리 하여 사용할 수 있으므로 적절한 지하수댐 설치 방법은 용수부족을 해결할 수 있는 주요 기술의 하나이다.

지하수댐이 활성화되지 못하고 중단되었던 주요한 문제는 첫째, 물막이벽 시공기술 미흡, 둘째, 대수층 수리 분석 미흡, 셋째, 물수지 및 수문분석 미흡, 넷째, 지속적인 유지관리와 모니터링 결여, 다섯째, 정부예산 부족, 여섯째, 해안지역에서 염수침입에 대한 대응기술 미흡, 일곱째, 대용량 취수정에 대한 개발·이용기술 부족 등이었다.

또한 기존의 지하수댐 시공시 개발로 인하여 주변환경에 미치는 영향—연안지역 해양식물, 저류역내 서식지 변화, 물막이벽 상·하류부의 수질 악화 등—을 간과하고 넘어감으로 인하여 일본에서도 여러 가지 문제점들이 나타나고 있다.

이러한 주요 문제점에 대한 해결방안으로는

- 가. 대수층 위치 및 토질에 맞는 적절한 차수공법의 선택과 정밀한 물막이벽 시공
- 나. 정확하고 정밀한 대수층 구조 분석, 수문 분석, 물수지 분석 등의 시행
- 다. 장기적인 지하수 이용계획 및 저류역내 수질보전대책 수립
- 라. 지속가능한 대용량 취수기술에 대한 조속한 연구
- 마. 수위·수질에 대한 장기 모니터링 실시로 지속적인 유지관리 시행
- 바. 지하수댐 개발로 인한 주변환경에 미치는 영향에 대한 철저한 분석 및 대책 수립 등이 요구된다.

또한 해안지역 지하수댐에서 염수침입을 방지하는 방안으로 이중물막이벽 설치 등의 방법이 있으므로 이에 대한 많은 연구로 지하수를 효과적으로 이용할 수 있는 방안을 강구해야 할 것이다.

사사(Acknowledgement)

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 농업기반공사 및 한국수자원공사의 연구비지원(과제번호#3-4-1)에 의해 수행되었습니다.

This research was supported by a grant(code#3-4-1) from Sustainable Water Resources Research Center, KARICO and KOWACO of 21st Century Frontier Research Program.

7. 참고문헌

건설산업조사회(石崎勝義 외), 1980, 地下水ドブック, pp1375~1384

농업진흥공사, 1982, 이안지하댐 조사시험 보고서

吉田健治, 2000, 地下ダムの技術的特徴と課題について, JIID연구보고서, 제21호, pp61~74

Hanson, G., Nilsson, A., 1986, Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries, GROUND WATER, Vol.24, No.4, pp497~506

Table. Selected sites of Groundwater Dam in Korea

Item	Ssangcheon	I-an	Namsong	Okseong	Gocheon	U-il
Storage type	Subsurface	Subsurface	Subsurface	Subsurface	Subsurface	Subsurface
Water usage	Drinking	Agricultural	Agricultural	Agricultural	Agricultural	Agricultural
Purpose	Combination	Increase storage	Combination	Increase storage	Increase storage	Increase storage
Wall type	Spill way	Retention	Spill way	Spill way	Spill way	Spill way
Technique for constructing wall	Replacement (CBSW)	Injection & Replacement (SGR+Concrete)	Injection (JSP)	Injection (Microcement)	Replacement (Ferroconcrete)	Replacement (Clay)
Wall length(m)	800	230(194+36)	89	482	192	778
Well type (number)	R.C.W. (4)	R.C.W. (4)	R.C.W. (4)	R.C.W. (4)	R.C.W. (5)	R.C.W. (4)
W.A.(ha)	6,533	2,130	15,300	27,500	2,700	2,200
Ave. alluvial layer thick(m)		4.5~7	10~15	10 ±	6~7	6.5
Coefficient of transmissibility (m ² /D)		268~403	300	113~183		133
S.C.(1000m ³)		4,143	4,017	2,850	1,534	2,457
S.C./W.A. (m ³ /ha)		1,945	262	103	568	1,116
Abstraction rate(m ³ /D)	27,000	24,000	27,000	27,900	25,110	16,200
Geology		Granitic gneiss (Age unknown)	Uncemented Sedimentary rocks (Tertiary)	Banded gneiss	Schistose granite (Mesozoic)	Gneissose granite (Mesozoic)
Completion	1998	1983	1986	1986	1986	1986

* W.A. ; Watershed Area, Ave. ; Average, R.C.W. ; Radial collector well,
S.C. ; Storage capacity, CBSW ; Cement Bentonite Slurry Wall