

암반지하수 저류지 개발 전망

이기철, 한정상*, 부성안, 장준영**, 박종철
농업기반공사 농어촌연구원, *연세대학교, **삼표산업
toong1@karico.co.kr, yykim@cau.ac.kr*, eepenee@karico.co.kr

요 약 문

When the United Nation classified as Korea is the one of the water deficit country. The consensus was made that the water is the one of the precious national resources. Government increases their R/D budget trying to get more clean water bodies. For instances, 'Sustainable Water Resources Development' project is the one of major title in '21 Century Frontier Research project and there are several small research projects are undergoing by the Ministry of Agriculture and KARICO. However, when the environmental preservation issue has been get more emphasis, construction of the Surface Dam met the blockage from the environmentalists due to the problem of the their water buried area. Since the most fitting site for surface dam had been used in the past, some engineer move their focus on modification of the existing Dam's height to enlarge its capacity or dredging the bottom of the reservoir recently. However dredging evoke water quality problem in return by accumulated materials at the bottom. Last year the Dong Gang Dam plan has been canceled by environmental problem in water buried area of the reservoir.

With the point of this view, ground water gets more focus for the one of the useful alternative for clean water bodies. Underground dam technique which had widely applied once in the early nineteen eighties by the KARICO and attenuated due to engineering insufficiency. The technique is newly studied with the advanced engineering technique. Still groundwater usage rate in Korea is much lower comparing with the advanced countries and has many rooms to develop. Wells, under ground dam and radial collector wells are typical facilities up to now.

There is little application in Korea for the Recharge Dam, which had been widely used in the advanced countries. The Recharge Dam is technique to conjunct surface water and groundwater body together. This technique had developed to increase

groundwater recharge at the beginning. This research is the result of the study on the possibility of the development of the new technology, 'Groundwater Reservoir' which was modified from Recharge Dam. Groundwater Reservoir is like a deep artificial lakes trenched in hard rock aquifer to get groundwater. The advantage of the Groundwater Reservoir is followings

- 1) It can be developed at the plains area, not in the deep valley
- 2) Huge water body can be developed without dam
- 3) Small buried area comparing surface water dam makes the least environmental effect.
- 4) Trenching cost can be substitute by the income of the selling rock debris
- 5) Outfit of the reservoir can be modified to match with the site prospect
- 6) Rock debris can be used as constructing materials
- 7) It can be used as groundwater recharge system when the heavy rains comes
- 8) The reservoir looks like scenery lake with huge clean water bodies.

1. 서론

수자원은 국가자원이라는 인식과 함께 우리나라는 21C 물부족국가로 분류되면서 이에 대처하고자 관련부처에서는 수자원 확보를 위해 많은 연구와 투자를 하고 있다. 예를 들면, 21C Frontier 과제 중에서도 '수자원의 지속적 확보기술 개발 사업'이 대과제로 추진중이며, 농림부와 농업기반공사에서는 농업용수 확보를 위한 노력을 계속하고 있다. 하지만 최근 환경문제가 크게 대두되면서 지표수 댐 건설은 수물지 문제에 대한 해결없이 신규모 건설 부지 확보에 어려움을 겪고 있다. 기술적으로도 그동안 전국에 댐 적지는 대부분 이미 댐이 건설되었고, 최근에는 기존 댐 체체를 증축하여 높이를 승상시키거나 기존 저수지 바닥을 준설하여 저류량 증대하거나, 또는 차적지에 보조댐 건설, 지수처리 등이 수반됨으로서 건설비가 증대되고있는 추세이다. 하지만 저수지 바닥 준설은 바닥의 오염물질의 교란으로 인하여 수질 오염 위험이 있어 이를 해결하기 위한 연구도 진행 중이다.

최근 정부차원의 청정한 수자원 확보노력은 신규 저수지 축조시 수물지구에 대한 환경단체의 반대로 어려움을 겪고 있다. 수물지 환경문제 사례로는 수자원공사에서 추진하였던 동강댐 계획이 수물지 환경문제로 계획 자체가 취소된 바 있다. 따라서 향후에는 환경피해를 최소화할 수 있는 환경친화적 수자원 확보 방안을 다방면으로 연구하고 있다.

이러한 상황은 지하수에 대한 관심을 높이게 하고 있으며 과거 80년대 추진되다가 시공 기술 미흡 등의 원인으로 확대가 중단되었던 지하댐 사업에 대한 공법 개선 및 확대 추진 방안이 최근 다시 검토되고 있다. 우리나라에서 지하수는 외국에 비교할 때 아직 그 저장량에 비하여 이용율이 낮아 개발 전망은 밝은 편이다. 지하수 이용시설은 주로 관정을 개

발하거나 지하댐 및 방사상 집수정을 설치하여 이용하거나 용출수나 지하 구조물에서 용출되는 지하수를 이용하는 공법을 주로 이용하였다.

우리나라에서는 그 이용사례가 적지만 외국에서는 지하수를 개발 이용할 뿐 아니라 인공함양 기술을 이용하여 호우시 지하 대수층으로 주입하고 건기시 활용하는 기술도 활용하고 있다. 인공함양기술 중에는 관정을 통하여 대수층으로 강수를 주입하는 방법과 상류부에 모래댐을 이용하는 방법, 지하댐과 방사상 집수정을 시공하고 모래를 채워 인공함양을 시키는 방법 등이 있다.

본 연구에서는 지하수를 기본으로 지표수도 함께 이용하는 지하수 저류지에 대한 개발 방안을 검토하였다. 지하수 저류지란 선진국에서 인공함양기법으로 활용중인 Recharge Dam을 변형시킨 암반지하수 저류지이다. 이는 지표수 댐이 계곡부 입구에 댐을 건설하여 지표수를 저류하는 형태를 평지에 지하 암반을 심부까지 발과 굴착하여 깊은 저류지를 만들고 이곳에 지하수가 채워지도록 하는 형태이다. 댐 축조가 필요 없고 수몰지가 없으며, 지하수가 풍부한 암반 대수층 지역에 개발 할 경우 지하수로 채워지는 인공 호수라 할 수 있다. 또한 지표수도 유입할 수 있도록 수로를 개발하면 지표수와 지하수대수층이 연결되어 호우시 지표수를 지하 대수층으로 함양시키는 효과도 있다. 그림에서와 같이 평지에 지하로 굴착하여 저수지를 개발하는 것으로 과거 경북궁, 비원 중국의 궁전에서처럼 인공호수 형태를 상상하면 된다. 다만 그 심도를 깊게하고 지하수 부존량이 많은 지역을 선정하여 지하수위 이하 심부까지를 굴착하는 인공 지하수 저수지이다.

본 지하수 저수지의 장점으로는

- 1) 산아래 또는 평지에 개발이 가능하며,
- 2) 댐 건설이 필요 없이 막대한 수량 확보가 가능하다.
- 3) 수몰지가 없어 환경피해를 최소화 할 수 있으며,
- 4) 지하 암반 굴착 비용 상당부분은 채굴되는 골재를 매각하여 충당함으로써 건설비가 저렴하며,
- 5) 저수지 형태를 주변 경관에 맞추어 아름답게 설계하여 농촌의 아름다운 경관을 연출하여 농촌 특화가 가능하며
- 6) 골재는 주변 건축자재로 활용 가능하다.
- 7) 호우시 지표수를 지하 대수층으로 인공함양 시킬 수 있다.
- 8) 수자원은 농업용, 공법용 등으로 다양하게 활용할 수 있다.

2. 지하수 저류지 개발 전망

지하수저류지는 현재 H 군에 위치한 S 사 골채 채취장에서 우연히 지하 심부까지 골재를 채취하다가 지하수면을 만나게 되고 막대한 지하수가 굴착된 웅덩이에 고임으로서 본 타당성 검토를 수행하게 되었다. 본 사례지구 검토결과 지하수에 대한 처리계획 없이 굴착시에는 현재의 S사 의 경우처럼 심부 굴착에 어려움이 있으나 본 연구에서는 그러한 어려움을 타개할 수 있는 굴착방법을 제시하였다. 주변지역에 지하수환경영향 검토가 가장 우선시 되며 환경피해가 미세할 경우 철저한 계획으로 추진할 시 국내 암반 대수층 분포지역에서의 지하수 저류지는 개발 가능한 것으로 판단된다.

지하수 저류지는 대용량 암반대수층 개발 공법으로 용수이용량 계획에 따라 사전에 지하수 부존량 및 유로파악을 위한 정밀지하수조사 과정을 거치고 타당성이 확인되면 지하수 환경영향조사를 실시하여 주변지역 지하수 및 환경에 미칠 영향을 분석하여 최종 개발 여부를 결정해야 한다.

2-1. 수량 확보를 위한 저류지 크기

지하수 부존성이 큰 지역에 성공적인 개발이 될 경우, 가로x세로x깊이를 200x200x100m 규모에서 4,000,000 m³의 수자원 확보가 가능하다. 이 경우 지표에서는 주변 도로를 포함 40,000 m² 정도만이 소요되며, 저수지 축조 비용은 골재 판매시 굴착비용은 삭감되고 수자원 이용을 위한 펌프시설과 안전시설과 주변경관 건설비만이 소요되어 매우 경제적인 수자원 확보방안이라 할 수 있다.

본 지하수저수지는 수자원 확보뿐 아니라 시장 개방을 앞두고 농촌소득 증대방안을 통한 농촌지키기 방안의 하나이다. 즉 농촌중 일부 지역을 특성화된 농업 작물과 도시인을 위한 휴양지로서의 기능을 복합시켜 도시 농촌 이어주기 방안의 하나로 제시하고자 한다. 따라서 인공 호수 형태로 모양을 농촌 주변 지형과 어울리게 설계하고 누각 설치와 저수지 변 외곽부를 조경도로, 자전거 도로 또는 승마도로를 건설하여 도시인들이 주말에 농촌 휴양지로 놀러와서 아름다운 자연환경에서 주말을 보내고 산지의 농산물을 저렴한 산지가격으로 구입토록 하는 방안이다.

현재 스위스가 가장 쾌적한 자연환경을 유지하며, 낙농국으로서, 또한 관광지로서 고급화된 농업관광국으로 성공하였음을 교훈으로 하고자 한다.

동 지하수 저수지는 지하수면 이하를 굴착할 경우, 웅덩이 내부로 유입되는 지하수를 양수로 처리하는 등, 심도 50-100m까지 굴착하는 공법이 어려운 문제라 할 수 있으며, 지하수 조사를 통하여 부존량이 풍부한 적지 선정도 해결되어야 한다. 이러한 지하수위 이하 심부 굴착문제가 쉽게 해결될 경우, 즉 지하수 부존량은 많으나 지하수 유입 속도가 느릴 경우, 심도는 50m 로 제한되지 않고 100m 까지도 굴진이 가능할 수 있다. 이 경우 지표 면적

은 그대로 이면서 골재와 수자원 확보량 만이 증대 될 수 있다.

○관계 법령 및 제도

현재 관계 법령에는 지하수 저수지에 관련된 부분이 없다고 볼 수 있다. 저수지라면 상부유역이 필요하고 제당이 필수적인 시설물 이고 수몰지역 등이 있으나 지하수저수지에서는 지하수 부존량과 암반이 필요할 뿐 제당은 없다.

따라서 지하수 저수지를 시설화하기 위하여는 관련 법령에 항목으로 삽입되거나 별도로 제도화 함이 필요하다.

○외국의 사례

외국에서는 지하수 이용량 증대로 지속적인 지하수위 강하현상이 있는 지역의 상류부에 Recharge Dam을 설치하는 사례가 있다.

미국 Idaho 주의 Snake 강 하류부에 샘 또는 용출수 량이 50년대 이후 점차 감소현상을 보이고 지하수위도 해마다 낮아지자 상류부에 Recharge Dam을 건설하였다. , South Cansas City의 Equus Beds 대수층에서는 상류부 관정을 통하여 대수층을 함양시키고 있다.

2.2 지하수 저류지 개발 적지 조건

- 1) 평지이거나 소류지거나 무관하나 표토가 10 -15m 이내가 적합하며 그 이하 심부는 암반으로 신선한 지역
- 2) 지하수 부존량이 풍부하고 지표수 유역도 충분한 지역.
- 3) 지하 암반은 화성암, 변성암, 퇴적암 무관하며 다만 골재로 사용이 가능한 강도 높은 암석 분포지대.
- 4) 주변 경관이 수려하여 농촌 휴양단지로 조성 적합지대.
- 5) 골재 수요가 부근에 있는 지역

2.3 지하수 저류지 개발 과정

- 1) 개발 적지 선정
 - 지질분포 조사, 물수요 조사, 농업환경조사,
- 2) 지하수 조사 및 지하수 환경영향조사
- 3) 지하수 저수지 설계 : 수위 강하 관정, 관측정 등
- 4) 지하 굴착 : 계단식 굴착
- 5) 양수시설 및 주변 경관 조성

주변의 안전시설은 경치에 맞는 높은 휨스 등으로 처리토록 한다.

2.4 지하 심부 굴착 공법

지하수면 이하 굴착시는 대수층 발달 상태에 따라 다르지만 별도의 조치 없이 굴착할 경우 지속적으로 지하수가 유입됨으로서 심부 굴착이 곤란해진다. 따라서 굴착 이전에 지하수 영향조사 과정을 통하여 지하수 부존량과 유로를 파악하고 지하수위를 강하시키기 위한 조치를 취한 후에 심부 굴착을 해야 한다.

지하수 저수지는 국내에 시공사례는 없으며 현재 H시에 소재한 S 산업 골재 채취장에서 단순하게 골재채취를 위하여 지하 심부로 굴착한 사례가 있으며 지하수위 이하로 40여 미터를 굴진하여 지하수가 저류되어 있다. 동 호수에는 지표수도 유입되어 있다. 하지만 동 저류지는 지하수 영향조사가 없었고 지하수에 대한 대책을 수립치 않고 심부 굴착을 시행하여 다량의 지하수가 유입되어 현재는 더 이상 심부 굴착이 곤란한 형편이다.

H 시의 S 산업 석산 골재채취장의 사례를 검토한 결과 지하수면 이하 심부굴착 방법에 대하여 다음과 같은 공법을 제시할 수 있다.

- 지하수면 이하 굴착 시는 외곽에 일렬로 심부 관정을 개발하고 취수하여 지하수위를 낮은 상태에서 굴착한다.
- 굴착은 적절한 크기로 분할하여 계단식으로 굴착한다.
- 지하수 저수지가 완공되고 담수 시작 전까지는 지표수 유입을 억제시킨다.

S 산업 골재 채취장은 이러한 지하수 처리계획 없이 굴착된 사례로서 2개 구역으로 분할 계단식 굴착을 시행 하였다. 분할 굴착시 한 개 구역의 물을 나머지 구역에 양수한 상태에서 굴착하였고, 심도가 깊어지면, 다시 이전 구역의 물을 금회 굴착된 곳으로 양수하고 그곳을 굴착하였다. 하지만 분포지역이 워낙 넓었으며 단지 2개 지역으로 구분하였으며 호우시 주변의 지표수까지 유입하여 고인물의 양이 점점 늘어 지하수가 함양되어 현재는 대용량 양수기를 다수 동시에 가동하기에도 많은 량의 물이 저수된 상태로서 추가 심부 굴진에 어려움을 겪고 있는 상태이다. 따라서 지하수위 이하 굴진은 사전에 계획을 수립하여 주변 지하수를 하강시키고 굴착 면적을 소규모 여러 개소로 분할하여 지하수를 이동시키며 굴진하면 해결이 가능하다.

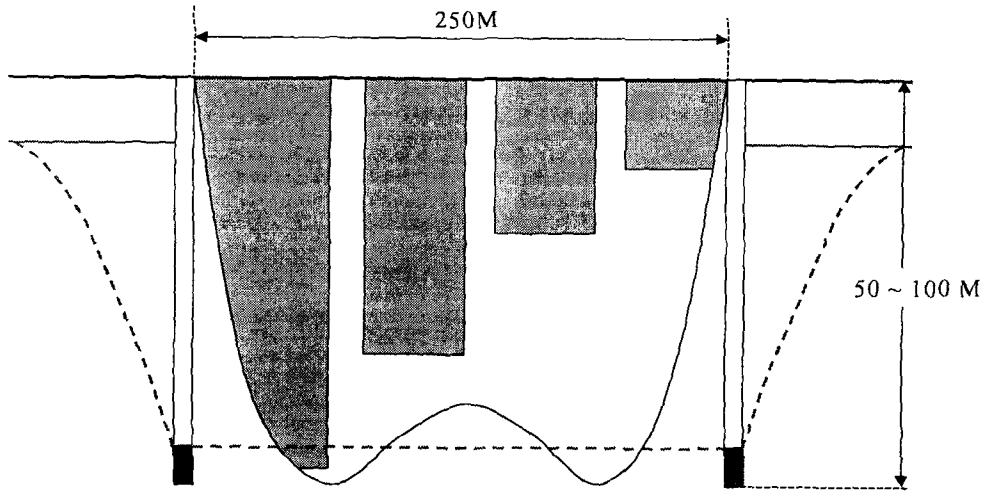


그림 1. 지하수위면 하부 굴착을 위한 지하수위하강을 위한 관정 개발 모식도

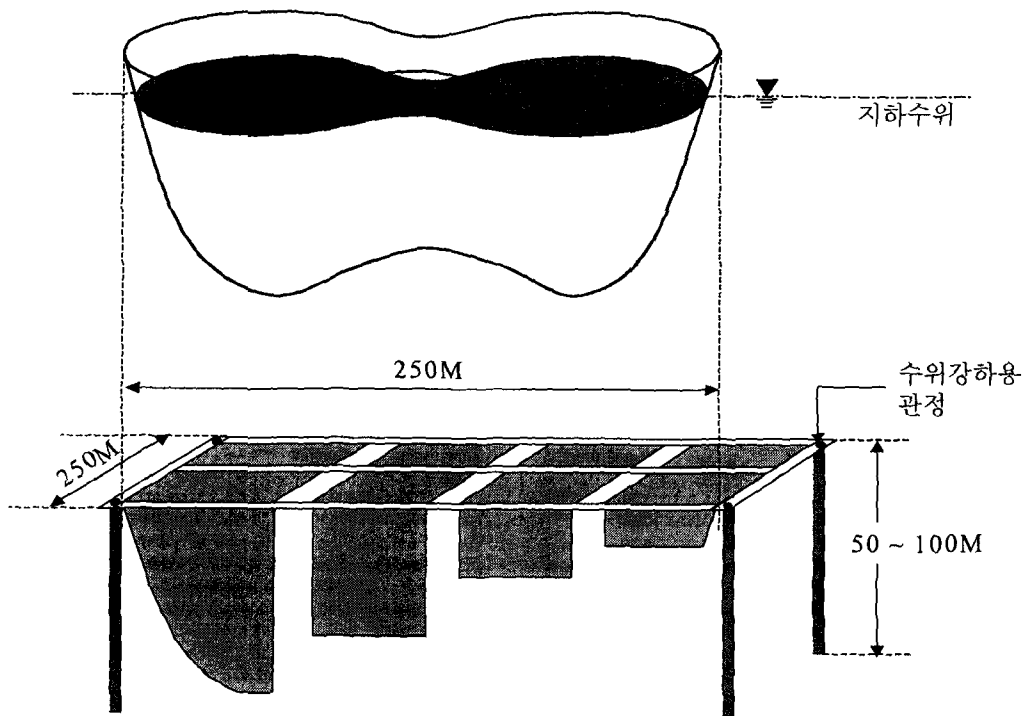


그림 2. 지하수위 하강을 위한 양수정 설치 및 단계식 굴착공법 모식도

동 지구를 지하수 저수지로 활용하기 위하여 관련 법령을 검토하고 있으며, 저수지로 활용하기 위하여는 주변지역에 지하수에 미치는 영향을 수량과 수질 모두 장기간 검토하여야 한다. 현재 본 논문 참여진과 관련 전문가들이 함께 본 연구를 추진 계획하고 있으며 관련 정부부처에도 제안 추진 중이다.

2.5 경제성 검토

지하수저류지의 경제성은 현재 농업기반공사에서 계획중인 소규모 지표수 댐중에서 규모가 비슷한 댐과 설계비와 비교하였다.

| 구 분 | 기준 저수용량 (백만 m^3 /일) | 추정 공사비 (백만원) | 만수면적 | 건설 기간 (년) | 비 고 |
|---------|--------------------------|-----------------|------|--------------|-----|
| 지표수 저수지 | 3 | 7,599 | 5 ha | 5 | |
| 지하수 저류지 | 4 | 3,900 | 4 ha | 4 | |

*. 지표수 저수지는 대곡저수지 참조

표에서 보는 바와 같이 저수용량으로부터 건설기간 까지 지하수저류지 개발이 훨씬 유리하며 특히 건설비 면에서 훨씬 경제적이다. 또한 본 지하수 저류지는 향후 세계시장으로의 시장개방과 더불어 위협 받고 있는 농업분야에 대한 대응책으로 도농 연계 및 농촌으로의 도시 소비 자본 유입 정책의 일환으로 활용될 수 있다. 주 5일제 근무와 더불어 지하수 저류지 시설을 농촌 풍치에 어울리게 호수형태로 조성하여 주말 휴양지화 하고, 도시민이 농촌 휴양지에서 주말을 보내면서 중간 유통과정 없이 현지 농산물을 직접 구입토록 하는 방안으로 활용될 수 있다.

3. 결론

우리나라 암반대수층 발달지역에 지하수저류지 개발 가능성을 검토하였다. 가장 기본이 되어야 하는 주변 지하수 환경영향조사를 추진중이며 이는 매 지역마다 대수층 분포 상태에 따라 그 결과가 다르다고 할 수 있다. 지하수면 이하 지하심부 굴착 공법을 제시하였으며, 경제성검토결과는 양호하였다. 수물면적 최소화가 가능하여 환경친화적으로 대용량의 수자원 확보 기술로 가능한 것으로 판단된다. 최근 환경의식 증대와 더불어 지표수 댐 건설 적지 선정에 어려움이 많아 동 지하수저류지 개발 기술을 차세대 수자원 확보기술로 제안한다.

4. 참고문헌

1. 미국 Idaho 주의 Snake 강 하류부 Recharge Dam 건설보고서.