

지형공간자료를 이용한 지하수 인공함양 적지 선정 방안

A Method of Site Selection for the Artificial Recharge of Groundwater Using Geospatial Data

이재원¹⁾ · 서민호²⁾ · 한 찬³⁾
Lee, Jae One · Seo, Minho · Han, Chan

Abstract

This study aims to select an optimal site for the development of small-scaled artificial ground water recharge system with the purpose of 50ton/day pumping in dry season. First of all, the topography shape satisfying the numerous factors of a hydraulic model experiment is defined and an appropriate pumping efficiency is calculated through the model experiment of injection and pumping scenario. In next step, GIS(Geographic Information System) database are constructed by processing several geospatial data to explore the optimal site. In detail, watershed images are generated from DEM(Digital Elevation Model) with 5m cell size, which is set for the minimum area of the optimal site selection. Slope maps are made from DEM to determine the optimal hydraulic gradient to procure the proper aquifer undercurrent period. Finally, the suitable site for artificial recharge system is selected using an integration of overall data, such as an alluvial map, DEM, orthoimages, slope map, and watershed images.

Keywords : Artificial Recharge, GIS, DEM, Watershed, Slope Map, Orthoimage

초 록

본 연구는 건기에 1일 50ton 규모의 지하수 양수를 목적으로 하는 소규모 인공함양(Artificial Recharge) 지하저수지 설치를 위한 적지선정 기법을 모색한다. 먼저 수리모델 실험결과 다양한 인자에 부응하는 적지 후보지 형상을 정의하고, 주입과 양수모델링 실험을 수행하여 적합한 양수효율을 산정하였다. 다음으로는 최적 후보지 선정을 위하여 각종 지형공간정보를 처리하여 GIS(Geographic Information System) DB를 구축하였다. 구체적으로 설명하면, 5m 격자의 DEM(Digital Elevation Model)으로부터 유역분할 영상을 생성하여 적지의 최소단위로 정의하며 경사도를 이용하여 일정기간의 대수층 저류 기간을 확보하기 위한 적정 수두구배를 결정한다. 최종적으로 유역 분할 영상과 경사도, 정사영상 및 DEM 자료 등을 종합 이용하여 최적 형상에 준하는 영역을 인공함양의 최종 후보지로 선정한다.

핵심어 : 인공함양, GIS, DEM, 유역분할, 경사도, 정사영상

Received 2015. 10. 01, Revised 2015. 10. 15, Accepted 2015. 10. 27

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Donga University (E-mail: leejo@dau.ac.kr)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Donga University (E-mail: seomino0301@naver.com)

3) GeoGreen21 Co., Ltd. Research Center (E-mail: hahngg21@gmail.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

세계적으로 물의 수요가 증가하는 한편 기후 변화와 사막화로 인한 물 부족 지역, 물 기근 지역이 지속적으로 확대되는 상황이다. 또한, 근래의 이상 기후와 지구 온난화 현상 등으로 지구환경 변화는 광역 및 지역적으로 물 환경 변화에 부정적 영향을 초래하고 있다. 특히 지표수에 의존도가 높은 우리나라의 수자원 공급시스템은 지구환경 변화에 의한 강우 분포의 시간적, 공간적 불균질성에 취약한 단점을 가지고 있기 때문에 기후 변화에 변동성이 상대적으로 적은 지하수자원 및 지하 공간을 활용한 수자원 공급방안이 수자원 공급시스템의 보조 수단으로 활용될 가능성이 높아지고 있다(Seo *et al.*, 2011). 수자원 공급시스템으로써 지하수의 활용은 풍수기의 여유 수자원을 지하에 저류시킨 후 갈수기에 양수를 통해 활용하는 기본적인 구조를 가진다. 이러한 기본적인 물 순환 구조를 이용한 지하수 인공함양 기술은 현재 세계적으로 유럽, 미국, 호주, 이스라엘, 일본과 같은 선진국뿐만 아니라 건조 기후나 반 건조기후대의 이란, 인도, 이집트, 쿠웨이트와 같은 개발도상국 및 후진국에서도 다양한 방법으로 활용되고 있다(Kim and Kim, 2009).

지하수 인공함양(artificial charge)은 강우가 하절기에 집중되는 우리나라의 경우 이상적인 대체수단으로 활용될 수 있으며 수자원 관리측면에서도 전 세계적으로 논의가 되고 있는 기후의 이상 변화에 대처할 수 있는 유용한 방법으로 여겨지고 있다(Kim and Kim, 2010). 인공함양의 목적은 크게 지하수 저장을 통한 수자원의 확보, 지하수위회복, 지반 침하 방지, 지하수 염수화 방지, 대수층 축열 이용, 수온 조절 등의 물리적 분야와 관개용수 개선, 수질 개선, 지하오염원 제어의 화학적 분야로 나누어지며 그 활용도가 매우 높다. 특히 풍수기의 여유 수자원을 인위적으로 강제로 지하에 함양 시키고 지하수위를 회복시킨 후 갈수기에 부족한 수자원을 확보해 주고, 해안 대수층의 염수 침입을 방지하고 도심지역의 지반 침하를 방지하기 위한 목적으로 인공함양은 널리 이용될 수 있다(Bu *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008).

지하수 개발과 관련하여 원격탐사 및 GIS 기술을 활용한 국내 연구 사례로는 Lee *et al.*(2011)가 포항시의 지하수 부존 잠재 가능성을 작성하기 위해 해당 지역의 지질 및 지표 특성을 고려한 다수의 수문지질 특성인자에 대한 공간 데이터 베이스를 구축하고, GIS 공간분석 기법을 이용하여 수문지질 특성평가를 수행하여 지하수 부존 가능성이 높은 지역을 지도화 하였다. Seo *et al.*(2011)는 우리나라의 인공함양 개발 유망지역 분석을 위해 대상지역을 인공함양 가능지역과 필요지

역으로 나누어 수문특성, 토양특성 및 지하지질 등의 요소를 고려한 인공함양 가능지역을 우선 선정할 후 강수량, 상수도 보급현황, 상습 가뭄 재해 지역 등의 사회 인문학적 요소를 고려한 인공함양 필요지역을 선정하여 최종적으로 광역지역에 대해 인공함양 개발 유망지역을 선별하였다. 한편, Park(2012)은 기후변화, 재난, 수질사고를 방지하고 수질 자연정화기능과 저수량을 갖춘 청정 지하저수지의 설계, 구축, 운영 및 유지 관리에 대한 핵심 원천기술 개발과 검증에 필요한 국가 연구 개발사업 도출을 위한 기획과제를 수행한바 있다. 그리고 Lee *et al.*(2015)는 토양도, DEM 및 Watershed 분할영상 등을 중첩하여 지형인자를 고려한 소규모 지하저수지 적지선정을 기본 방안을 제시하였다.

국외의 경우 Chaudhary and Kumar(1996)는 인도 Haryana 지역을 대상으로 IRS 위성영상과 항공영상으로부터 제작된 선구조도, 지질도, 경사도 및 배수도 등을 GIS 중첩기법으로 수리형상지질도(hydromorphogeological map)를 작성하여 지하수 잠재가능 지역을 선별한바 있다. Taheri(2008)는 지하수의 수리전도도는 대상지역의 층적층 분포와 지층의 압질적 요소에 기인한다는 가정 하에 이란의 서부 지역 세 곳을 선별하여 전기비저항 시험을 거쳐 후보지를 선정한 바 있다. Burnett *et al.*(2011)는 ASTER 영상으로부터 DEM을 추출하고 LANDSAT 7 ETM+ band7 영상으로부터 선 구조를 추출한 후 영상으로부터 파쇄지역에 대해 우물정의 설치가 용이한 지점을 찾은 바 있다. 이상의 연구는 주로 위성영상을 이용한 광역지역에 대한 지하수 개발과 부존지역 탐색을 위주로 하고 있어 소규모 지하 저수지 인공함양 적지 기법과는 다소 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 인공함양에 유리한 조건을 가지는 지역을 가능한 지형 조건과 GIS 자료를 이용하여 선정하는 방법을 모색하며 향후 인공함양 설비 구축 시 후보지 선정 방안으로 활용될 것으로 기대한다.

2. 인공함양 기술과 적지선정 수리모형 실험

2.1 인공함양 기술

지하수 인공함양 기술은 강우, 지하수 및 하수 처리수 등의 잉여 수자원을 관정, 인공함양 분지 및 습지, 수로, 지하댐, 우수 침투시설 등의 인공 시설물을 이용하여 강제로 수원을 지하 대수층까지 주입시킨 후 자연 정화 과정을 거쳐 양질의 수자원을 확보하는 기술이다. 최근 들어 인공함양이란 용어는 관개나 개간에 의하여 우연히 함양량이 증가하는 효과와 대비하여 계획적으로 관리된 함양이라는 뜻으로 대수층 함양 관리(MAR: Management of Aquifer Recharge)로도 불리우

고 있다(Kim and Kim, 2010). 전 세계적으로 활용되고 있는 대수층 함양관리 기술의 종류를 도시하면 Fig. 1과 같으며, 이러한 기술들에 대한 정의를 요약하여 정리하면 Table 1과 같다(Dilon, 2005).

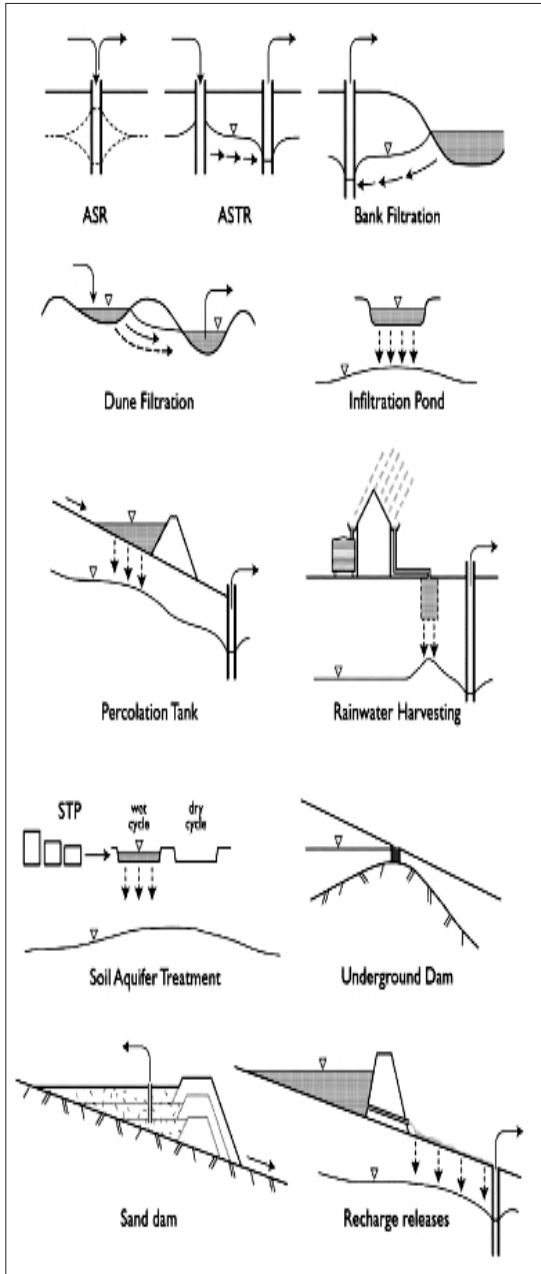


Fig. 1. Schematic types of management of aquifer recharge (Dilon, 2005)

Table 1. Types of management of aquifer recharge

Technology	Definition
ASR (Aquifer Storage and Recovery)	injection of water into a well for storage and recovery from the same well
ASTR (Aquifer Storage Transfer and Recovery)	injection of water into a well for storage and recovery from a different well, generally to provide additional water treatment
Bank filtration	extraction of groundwater from a well or caisson near or under a river or lake to induce infiltration from the surface water body thereby improving and making more consistent the quality of water recovered
Dune filtration	infiltration of water from ponds constructed in dunes and extraction from wells or ponds at lower elevation for water quality improvement and to balance supply and demand
Infiltration ponds	ponds constructed usually off-stream where surface water is diverted and allowed to infiltrate (generally through an unsaturated zone) to the underlying unconfined aquifer
Percolation tanks	a term used in India to describe harvesting of water in storages built in ephemeral waddies where water is detained and infiltrates through the base to enhance storage in unconfined aquifers and is extracted down-valley for town water supply or irrigation
Rainwater harvesting	roof runoff is diverted into a well or a caisson filled with sand or gravel and allowed to percolate to the water-table where it is collected by pumping from a well
SAT (Soil Aquifer Treatment)	treated sewage effluent, known as reclaimed water, is intermittently infiltrated through infiltration ponds to facilitate nutrient and pathogen removal in passage through the unsaturated zone for recovery by wells after residence in the aquifer
Sand dams	built in waddies in arid areas on low permeability lithology, these trap sediment when flow occurs, and following successive floods the sand dam is raised to create an "aquifer" which can be tapped by wells in dry seasons
Underground dams	in ephemeral streams where basement highs constrict flows, a trench is constructed across the streambed keyed to the basement and back filled with low permeability material to help retain flood flows in saturated alluvium for stock and domestic use
Recharge releases	dams on ephemeral streams are used to detain flood water and uses may include slow release of water into the streambed downstream to match the capacity for infiltration into underlying aquifers, thereby significantly enhancing recharge

2.2 적지선정 수리모형 실험

2.2.1 인공함양 수리모형

지하수 인공함양 적지선정 기법은 수리지질학적으로 인공 함양에 유리한 입지를 선정하여 홍수기 여유 수자원의 주입과 갈수기 양수를 통해 양질의 수자원을 확보하는 기술이다. 이때 양수의 효율을 증대시키기 위해 주입지역의 입지조건을 고려하여 함양설비가 구축되어야 하므로 주입이 이루어지는 유역의 형상과 적절한 저류 기간을 확보하기 위한 수두구배, 지질 조건 등 다양한 인자가 고려되어야 한다. 우선 인공함양에 유리한 입지를 선정하기 위한 유역 모델 설정을 위한 수리모형 실험을 Fig. 2와 같은 조건으로 수행하였다. 즉 지하수 흐름이 발생하는 경로의 길이와 폭, 대수층 두께를 기본 인자로 하여 인공함양 설비가 설치될 유역의 지형 형상을 정의하고, 다음 단계에서는 이를 토대로 주입과 양수를 위한 모의실험을 수행하였다. 인공함양의 효과는 주입이 없는 일반적인 상태의 양수량에 비해 인공적인 함양이 이루어진 이후의 양수량의 증가로 표현될 수 있으며 이러한 효율을 결정짓는 요소를 판별하기 위해 상기 인자 중 지하수 전달능력을 결정하는 대수층의 수리전도도 및 형상과 관련된 폭을 변화시켜며 모의실험을 수행하였다. 이때 사용된 수리지질 인자들의 기본 값은 고성지역지하수기초조사(Jeong *et al.*, 2013)의 자료를 기반으로 설정하였다.

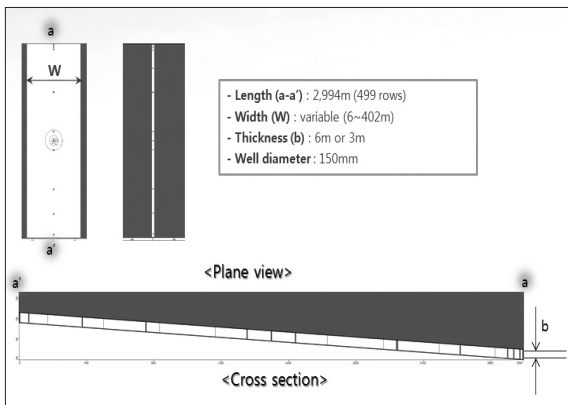


Fig. 2. Artificial recharge hydraulic model

여기서, a-a'는 대수층의 길이로써 고정수두경계가 우물(모델 중심점에 위치)의 산출량에 미치는 영향을 최소화하기 위해 약 3km 정도로 충분히 길게 설정하였으며, W는 대수층의 전체적인 폭으로 6m~402m 너비 변화량을 가진다. 대수층의 포화 두께는 6m로 고정하였으며 우물 내의 수위변화량은 이

의 2/3에 해당하는 4m로 하였다. a와 a'에 설정된 고정수두경계의 지하수위차는 9m로 설정하였다. 이는 고성지역지하수 기초조사(Jeong *et al.*, 2013)에서 파악된 곡간층적층의 지면 경사와 유사한 값이다.

2.2.2 주입 및 양수 시나리오

인공함양의 가장 큰 장점은 홍수기의 여유 수자원을 강제로 지하로 침투시켜 갈수기에 이를 회수할 수 있다는 것이다. 이는 주입 없는 자연 상태의 양수에 비해 다량의 수자원을 확보할 수 있으며 일정기간의 대수층 저류를 통한 자연 정화능력을 이용할 수 있게 된다. 따라서 Fig. 3과 같이 주입이 없는 경우의 양수량 대비 Fig. 4와 같이 주입을 시행한 경우에 양수의 효율을 산정하였다. 우선 정의된 인공함양 수리 모델을 기반으로 유역 폭과 길이, 수두구배 및 대수층 두께를 변경하여 최적의 유역 형상을 정의하였다. 그 후 P0을 자연 상태의 양수량으로, P1을 주입을 통한 양수량으로 설정하여 주입과 양수 실험을 반복 수행하였다. 그 결과 폭이 좁고 길이 긴 유역(W=40m, a-a'=3,000m)에 대해 Fig. 5와 같이 최대 30% 정도의 양수량이 증가한 것으로 확인 되었다.

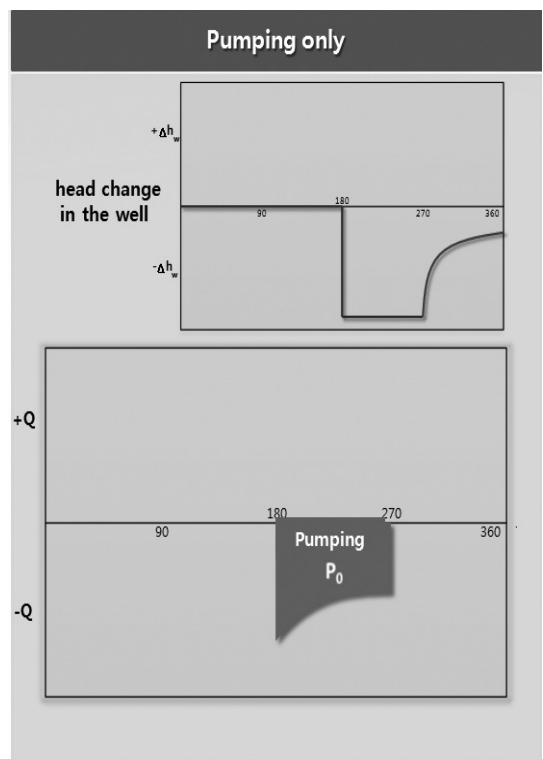


Fig. 3. Pumping scenario of artificial recharge model

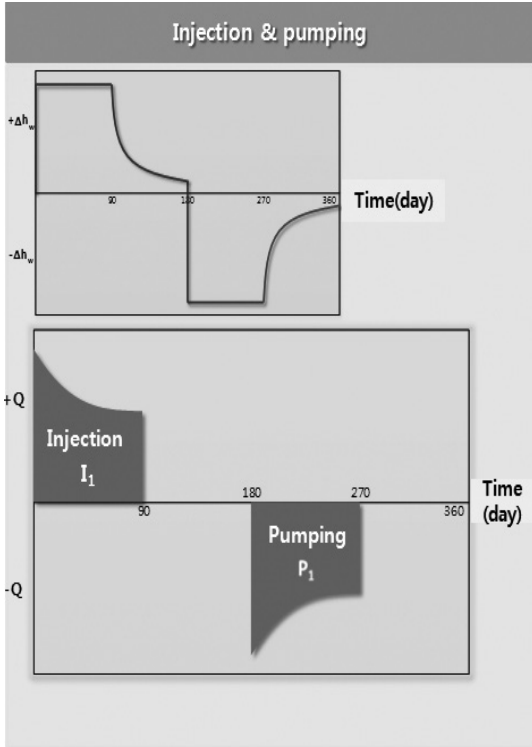


Fig. 4. Injection & pumping scenario of artificial recharge model

야할 사항이다. 즉, 일정 유역이 형성되고 능선과 계곡사이의 삼면은 암반으로 둘러 싸여 있으며, 계곡을 따라 지하수 흐름 경로가 있을 경우 그 사이 인공함양 설비가 설치되면 주입 대비 양수의 효율이 최대가 됨을 수리 모델링 결과를 통해 확인할 수 있었다.



Fig. 6. Topographic shape of optimal site

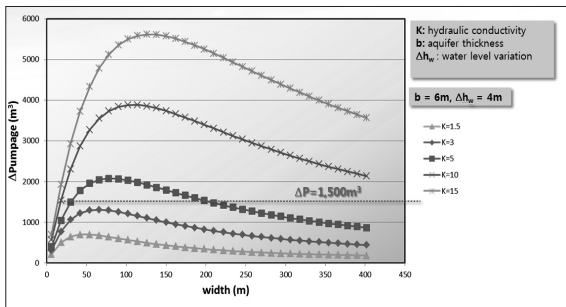


Fig. 5. Relationship between the width of the model aquifer and the increase of the pumping of groundwater caused by injection

2.2.3 최적 후보지 형상

주입과 양수 모델링을 수행한 결과 특정 지형조건에서 주입 대비 양수량이 최대로 나타남을 알 수 있었다. 이러한 지형적 조건은 Fig. 6와 같이 길이가 길고 폭이 좁으며 삼면이 막혀 있는 단한 형상의 구조를 가질 경우 인공함양 시 양수량이 최대가 되어 인공함양 설비구축 시 우선적으로 고려되어

3. 자료처리

3.1 연구대상 지역

적지선정 기법은 불특정 다수의 지역인 전국을 대상으로 수행되어야 하나 GIS 기법을 적용할 수 있도록 모든 지형자료를 처리하고 DB화하기에는 시간적으로나 물리적으로 불가능한 현황이다. 또한 현재 전 세계적으로도 광범위한 지역을 대상으로 세밀한 지형자료를 구축하여 자동화기법으로 적지를 선정하는 기술이 존재하지 않는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대상지역을 비교적 소규모 지역인 경남 고성군으로 제한하여 적지선정 기법을 적용하고자 한다. 연구대상 지역인 고성군은 Fig. 7에서 GSD(Ground Sample Distance) 25cm로 제작된 항공정사영상으로부터 쉽게 알 수 있듯이 일부 평야 지역을 제외하면 대부분 산악지형으로 분류된다. 평야지역은 논, 밭 등으로 이루어져 있으며, 1인당 급수현황은 1인 1일 기준 약 127리로 대한민국 평균 급수량인 282리의 절반에 못 미친다. 해당 지역은 산악지형이 많고 상수도 직수의 공급이 어려

워 대부분 마을 상수도를 이용하고 있다. 따라서, 인공함양을 통한 수자원의 수요가 많을 것으로 예상하고 있으며, 인공함양 후보지로써 우선순위가 높다.

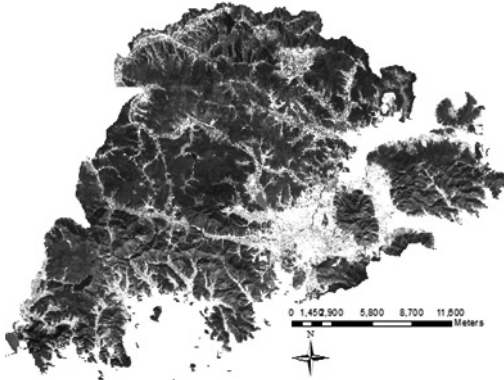


Fig. 7. Orthoimage of Go-seong province

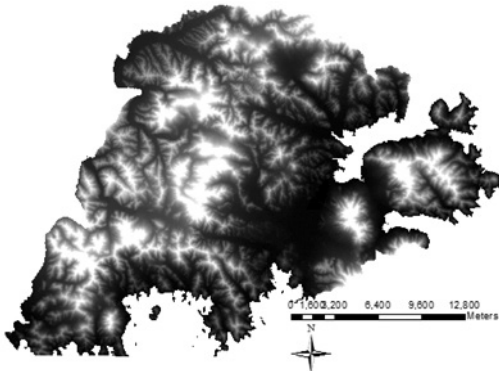


Fig. 8. DEM of Go-seong province

3.2 Watershed 분할 영상

Watershed는 각 하천의 유역이 접한 경계를 나타내는 가상의 선으로 수문학적 경계 내에 포함되는 모든 영역을 나타낸다. 일반적으로 하천 상류부의 산간지에서는 명확하지만 하류부의 평지 부분에서는 불확실한 경우가 많다. 인공함양의 적지는 평야보다 산간지역에 설치되는 경우가 많으며, 하나의 Watershed 분할 단위를 후보지 최소 단위로 설정하였다. 분할 파라미터는 고성군 또는 리 단위 행정 경계에 접하는 결과를 최적치로 산정하였다. 우선 고성군 1:5000 수치지형도 111 도엽에 대해 Fig. 8과 같이 DEM을 추출하였다. 추출된 DEM으로부터 Fig. 9와 같은 절차(Djokic, 2012)로 Watershed 분할 영상을 생성하였으며 결과는 Fig. 10과 같다.

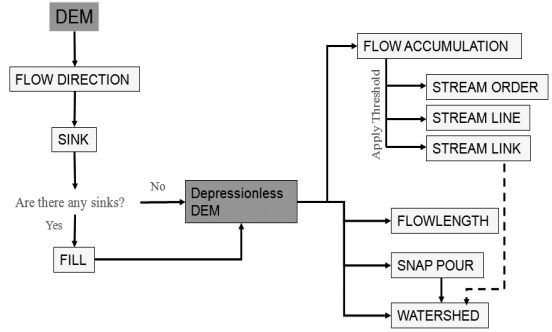


Fig. 9. Flowchart for the generation of watershed segmentation image

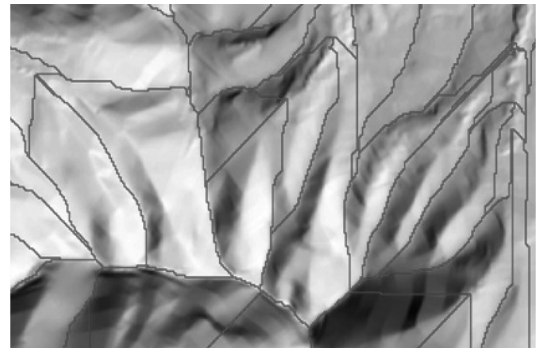


Fig. 10. Watershed segmentation image

3.3 경사도

수리적인 특성을 고려하면, 지하저수지의 형상은 산간지역에 곡간형태로 좁고 긴 형태가 유리하다. 상류와 하류의 지하수면 차이가 크면, 지하저수지에 저장되어야 할 지하수가 상대적으로 빠른 유동속도로 인해 하류방향으로 흘러 지하저수지에 저장될 가능성이 낮아지게 된다. 따라서 지하수저수지는 상·하류간의 지하수면 차가 작을수록 유리하므로 지하수면과 유사하게 분포하는 지면경사 또한 작을수록 지하저수지 적지가 될 수 있다고 가정하였다. 일반적으로 지하수면의 경사는 지형경사보다 작으므로, 고성지역의 지형경사와 지질도에 기재된 층적층간의 관계를 살펴본 결과, 지형경사 2° 이상인 경우는 구릉지나 산지에 해당되어 지하저수지 적지에 대한 지형경사 조건은 2° 이하로 설정하였다. 이를 위해 DEM으로부터 2° 이하의 지면 경사를 가지는 영역을 탐색하기 위해 경사도를 생성하였다. 경사도는 aspect map으로도 불리며, 일반적으로 특정 영역에 대한 높이 변화율을 나타내는 것으로 포인트 대신 특정 영역에 대해 일정한 경사 값을 부여한다. DEM상의 각 cell과 이웃하는 화소간의 최대 변화율을 산정

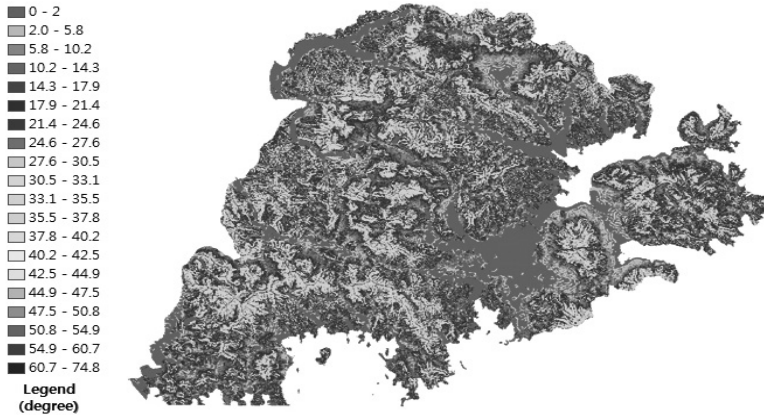


Fig. 11. Slope map

하여 경사를 구하는 원리를 적용하는 ArcGIS의 3D Analyst의 slope 함수를 이용하여 생성하였고, 결과는 Fig. 11과 같다.

3.4 토양도

토양도는 토양 조사결과를 토대로 개별 토양의 분포 실태를 토양 부호를 통해 사용자가 알기 쉽도록 분포 토양의 종류와 특성, 토양 분류 등이 언급되어 있는 지도이다. 수리모형 실험 결과를 만족하는 단한 형상의 지형은 실제에서는 삼면이 암석으로 둘러싸인 지역이다. 이는 지하수의 흐름이 한쪽으로 발생하여, 주입되는 수자원의 흐름이 다방면으로 발생함으로써 나타나는 주입 수원의 유실을 막아 양수의 효율을 증대시키는 역할을 한다. 따라서 삼면이 암석으로 형성되어 있는 지

형을 토양도(Fig. 12)를 통해 확인하였으며, 토양 부호 Ro(암석)로 정의되는 영역을 타원으로 표시하였으며, 이를 확대하여 Fig. 12에 나타내었다. 한편, 고성군의 토양도에서 확인한 암석 지역은 수리모형 실험 결과에 준하는 삼면이 단한 형상과 일치하는 영역은 연구대상지인 고성군에서는 확인하지 못하였으나 대상지역을 변경할 경우 해당 조건에 부응하는 지역의 존재 유무에 대한 확인이 필요하다.

3.5 총적 분포도

총적층은 비교적 최근의 하천활동에 의해 생겨난 자갈, 모래, 진흙 따위가 오랜 기간 동안 쌓여 이루어진 미고결 퇴적층이다. 총적층은 지하수의 흐름 경로가 되는 지층으로 지하수

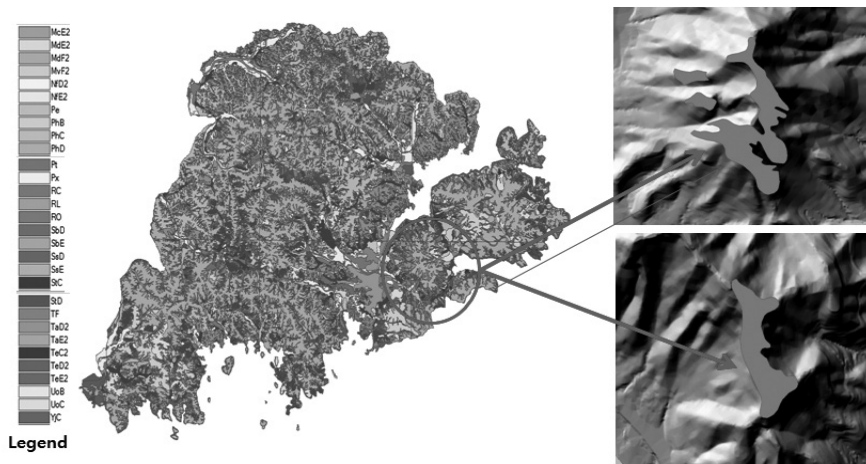


Fig. 12. Soil map of Go-seong province

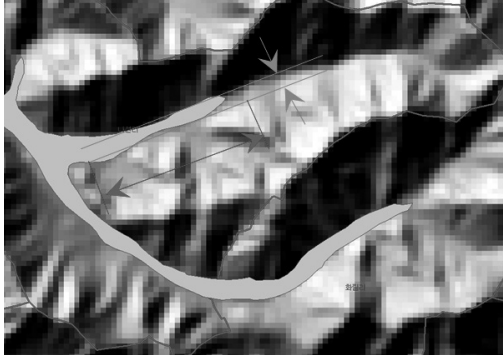


Fig. 13. Alluvial map overlaid with watershed segmentation image



Fig. 14. Orthoimage compared with alluvial map

개발에 있어 중요한 정보로 활용된다. 충적층을 중심으로 지하수 흐름이 발생하고 지하수원의 이동 경로를 나타냄으로써 인공함양의 후보 지역으로 가장 가능성이 높은 지역이다. Fig. 13은 고성군의 충적층 일부를 나타내고 있으며, Fig. 14는 해당지역에 대한 정사영상이다. 인공함양은 지형학적으로 충적층 기반의 지형에서 이루어져야 하므로 수리모형 실험 결과와 일치하는 조건을 가진 영역을 고성군 충적분포도로부터 확인하고 다수의 후보지를 선정하여 그 길이와 폭 등을 정량적으로 계산하였다. 충적층은 주로 논, 밭으로 활용되며 주로 계곡을 따라 발달하였으므로 DEM 및 Watershed 분할 영상을 중첩하여 이를 표시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 후보지 선정

폭이 좁고 길이가 길며 삼면이 단한 형상을 가지는 영역을 대상으로 충적층 분포도, Watershed 분할영상, 경사도 및 토양도 등을 이용하여 수리모형과 지형학적 조건을 모두 만족

하는 지역을 탐색하였다. 이를 통해 Fig. 15와 같이 고성군 개천면 북평리, 영현면 봉발리 및 하이면 와룡리의 3개 후보지를 선정하였다. 이들 후보지들에 대한 지형적 특성을 요약하여 설명하면 Table 2와 같다. 북평리는 곡간 충적층으로 분류되며 길이는 약 1.3km에 폭은 83m이며 주변에 작은 하천이 존재한다. 봉발리는 하천 충적층으로 분류되며 길이는 약 1.0km 이고 폭은 78m이며 주변에 작은 저수지가 존재한다. 와룡리의 경우 북평리와 마찬가지로 곡간 충적층으로 분류되며 길이는 약 0.9km, 폭은 66m정도이다.

한편 인공함양은 상수도 시스템의 구축이 어려워 적절한 수자원의 공급을 받지 못하는 지역을 우선 대상지역으로 한다. 따라서 세 지역 중 급수 현황이 가장 낮은 지역을 인공함양의 우선지역으로 선별하기 위해 고성군 상수도 보급 현황과 인구 통계 자료를 기반으로 1인당 급수 현황을 조사하였다. Fig. 16은 고성군의 1인당 급수현황과 지형 조건을 토대로 선정된 후보지역의 1인당 급수현황을 나타낸다.

하이면의 경우 고성군의 평균 급수량과 비슷한 결과를 나타내었지만 나머지 두 지역에 비해 매우 낮은 급수량을 나타

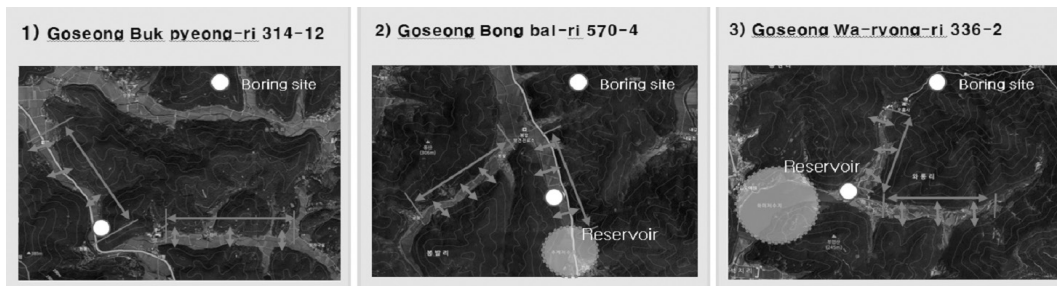


Fig. 15. Selected optimal sites for artificial recharge system installation

Table 1. Selected optimal sites and their characteristics

Proposed Sites	Characteristics
BukPyeong-ri	Length: 1.3km, width: 83.6m, rill alluvium, small-scaled rivers exists
BongBal-ri	Length: 1.0km, width: 78.5m, river alluvium, reservoir exists
WaRyong-ri	Length: 0.9km, width: 66m, rill alluvium, small-scaled rivers exists

낸다. 인공함양의 후보지로는 현재까지 하이먼이 가장 적합한 것으로 판단되며 현지 조사를 통해 후보지를 보다 작은 영역으로 세분하여 인공함양 적지를 선정할 필요가 있다.

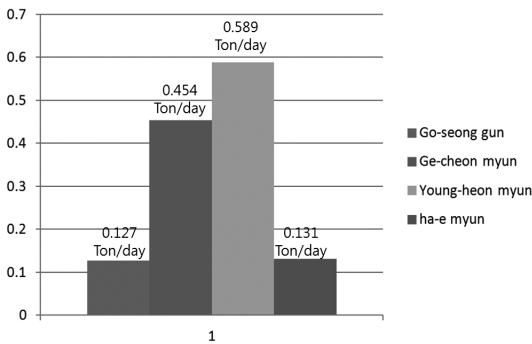


Fig. 16. Water supply situation of Go-seong province

4.2 고찰

인공함양 수리 모형에 준하는 조건으로 양수의 효율을 최대한으로 하는 영역은 유입 수원의 손실을 막고 지하수의 흐름이 한쪽으로 발생하도록 삼면이 암반으로 둘러싸여 있으며, 양수의 효율이 최대가 되도록 폭이 좁고 길이가 길며 지하수의 흐름 경로가 되는 충적층 기반으로 정의된다. Watershed 분할을 통해 강우 및 지표의 수원이 모이는 최소 단위인 유역을 설정하고 분할된 유역을 기준으로 충적층이 계곡을 따라 발달한 지역을 인공함양 후보지 우선순위로 정의하였다. 이후 고성군 일대 해당 조건을 만족하는 지형을 탐색하였으며, 다수의 후보지를 선정하였다. 한편 고성군의 1인당 급수현황을 토대로 선정된 후보지 중 급수현황이 가장 나쁜 지역을 최종 후보지로 결정하였으며, 향후 과제로 선정된 후보지에 대해 현장 조사를 통한 시료 채취를 통해 주입 대비 양수 시나리오의 실험결과에 준하는 실제 인공함양 양수 실험을 수행하여 최종적인 인공함양 적지선정 절차의 검증이 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 다수의 수리 수문 인자와 GIS 자료를 이용

하여 지하수 인공함양에 유리한 지역을 선정하는 것을 목적으로 하였다. 우선 인공함양 수리모형을 토대로 지형학적으로 인공함양에 유리한 형상을 정의하였다. 수리모형 실험을 통해 삼면이 닫힌 형상이고 길이가 길며 폭이 좁은 지형이 인공함양에 적합하다는 결과를 도출할 수 있었으며, 충적층 분포도, DEM, Watershed 분할 영상, 경사도 및 토양도를 이용하여 이에 준하는 영역을 탐색하였다. 충적층의 경우 폭이 좁고 길이가 긴 지역을 선별하여 1차 후보지역으로 분류하였으며 경사도를 이용, 수두구배가 2° 이하인 영역을 중첩하여 재분류하였다. 이후 DEM을 이용하여 해당 지역의 지형정보를 확인할 수 있었으며, 토양도는 삼면이 닫힌 형상을 확인하는데 이용하였다. Watershed 분할 영상은 인공함양 후보지를 결정하는 최소 지역 단위로 활용되며, Watershed 분할 영상, DEM, 충적 분포도를 중첩하여 인공함양에 유리한 영역을 시각적으로 표현하였다. 이와 별도로 연구대상지인 고성군의 1인당 급수 현황을 조사하여 수원의 공급이 원활하지 않는 지역을 나타내었으며, GIS 자료를 이용하여 선정할 세 후보지 중 한 곳을 선정할 수 있었다. 결론적으로 다수의 GIS 자료를 활용하여 지하수 인공함양에 유리한 지역을 선정할 수 있었으며 향후 인공함양 설비의 설치에 앞서 인공함양에 유리한 지역을 도면상에서 확인할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물 관리 연구개발 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. (과제번호 13AWMP-B066761-02)

References

Burnett, D. (2011), Use of remote sensing for groundwater mapping in Haiti, *Earthzine*, New Jersey, <http://earthzine.org/2011/11/22/use-of-remote-sensing-for-groundwater-mapping-in-haiti> (last date accessed: 15 September 2015).
 Bu, S., Song, S., Lee, G., Kim, J., and Kim, H. (2005), *A Study on Prevent Seawater Intrusion and Artificial Groundwater*

- Recharge*, Research Report, Rural Research Institute, Korea Agriculture and Rural Infrastructure Corporation, Ansan, South Korea, pp. 39-42. (in Korean)
- Chaudhary, B. and Kumar, M. (1996), Applications of remote sensing and geographic information systems in ground water investigations in Sohna Block, Gurgaon District, Haryana (India), *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B6, pp. 19-22.
- Dillon, P. (2005), Future management of aquifer recharge, *Hydrogeology Journal*, Vol. 13, pp. 313-316.
- Djokic, D. (2012), Hydrologic and hydraulic modeling with ArcGIS, *ESRI*, San Diego, California, http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc14/tech-workshops/tw_195.pdf (last date accessed: 15 September 2015).
- Jeong, H., Kim, Y., Kim, N., Ahn, Y., Lee, J., Lee, M., Cha, J., Ju, J., Kim, C., Kim, N., Kim, H., Jeong, H., Kim, J., and Kang, W. (2013), *Groundwater Basic Investigation in Go-seong Province*, Government publications No. 11-1613000-000141-01, Korea Water Resources Corporation, Dae-jun, South Korea, pp. 3-64.
- Kim, Y. and Kim, Y. (2009), Groundwater artificial recharge technique corresponding to climate change, *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol. 42, No. 5, pp. 58-65. (in Korean)
- Kim, Y. and Kim, Y. (2010), A review on the state of the art in the management of aquifer recharge, *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol. 46, No. 5, pp. 521-533. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y., Kim, Y., Ko, G., and Moon, D. (2008), *Jeju-friendly Aquifer Recharge Technology*, Presentation Materials at the 7th Jeju Groundwater Symposium, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 1 April, Jeju, Korea.
- Lee, S., Kim, Y., and Won, J. (2006), Groundwater resources potential mapping and its verification using GIS and remote sensing in Pohang city, *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 14, No. 1, pp. 115-128. (in Korean with English abstract)
- Lee, J., Seo, M., and Han, C. (2015), The method of site selection for small-scaled groundwater development using topography factor, *Proceedings of 2015 KSGPC Annual Conference, KSGPC*, 23-24 April, Masan, South Korea, pp. 277-280.
- Park, N. (2012), *Aquifer Storage and Water Quality Enhancement*, Research Report, Dong-A University, Busan, South Korea, pp. 17-28.
- Seo, J., Kim, Y., and Kim, J. (2011), Site prioritization for artificial recharge in Korea using GIS mapping, *Journal of Soil and Groundwater Environment*, Vol. 16, No. 6, pp. 66-78. (in Korean with English abstract)
- Taheri, A. (2008), Site selection for artificial recharging of groundwater by application of geoelectrical method-a case study, *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, Vol. 54, pp. 63-69.