

Characteristics of Groundwater Level Fluctuation Due to Groundwater Reservoir for Water Dispute Resolution in Ulsan, Korea

Jun Oh Oh[#], Jong Jin Lee⁺, Sang Mi Jun

Department of Civil and Urban Engineering, Inje University, 197 Inje-ro, Gyeongsangnam-do, Gimhae, Korea

Abstract

In the Ulsan area, dam development was actively promoted for large-scale industrial and population growth, but the conflict between cultural property preservation and securing water supply security became a longstanding social issue since the discovery of the Bangudae petroglyphs in the Sayeon dam submerged area. This study aims to analyze groundwater level fluctuation in the surrounding area of the Ulsan Teahwa river to evaluate if the groundwater reservoir installed at the mid-stream of the river can resolve water shortage problem in the Ulsan Metropolitan city while preserving the Bangudae petroglyphs. The results show that a water intake facility with the capacity of 30,000m³/day installed in groundwater reservoir is expected to ensure water intake all year long. It is also estimated that the groundwater level decreases by at least 0.3m in an area within a radius of about 650m from the facility. The groundwater reservoir installed at the mid-stream of the Teahwa river is expected to make up the shortage amount of water due to the reduction of water level for preserving the Bangudae petroglyphs, which could resolve the existing water disputes in Ulsan, Korea.

Key words: groundwater reservoir, Bangudae petroglyphs, water dispute, Ulsan

1. 서론

1. 연구목적 및 배경

1960년대 울산지역은 대규모 공업단지 조성 및 소규모 댐 개발이 활발히 진행되었고 식수원 확보를 위한 사연댐이 건설되었다. 이후 1970년대 사연댐 수몰 지역에서 문화재 가치가 큰 반구대 암각화(Bangudae petroglyphs)가 발견되었다. 반구대 암각화는 현재 국

보 제 285호로 울산광역시 울주군 언양읍 대곡리의 대곡천 중류에 새겨진 암각화이며 선사시대 수렵생활과 관련한 내용을 담고 있다. 암각화에는 소, 호랑이, 표범, 사슴 등의 육지 동물뿐만 아니라 귀신고래, 범고래, 흰수염고래 등의 해양생물이 많이 그려져 있는데 이는 선사시대의 포경활동을 보여주는 중요한 문화재이다. 세계적으로 문화적 가치가 충분한 선사유적인 반구대 암각화를 보존하는 문제와 울산광역시 수자원

[#] The 1st author: Jun Oh Oh, Tel. +82-55-320-3432, Fax. +82-55-321-3410, e-mail. symmoh@inje.ac.kr

⁺ Corresponding author: Jong Jin Lee, Tel. +82-55-320-3432, e-mail. jongjin2@inje.ac.kr

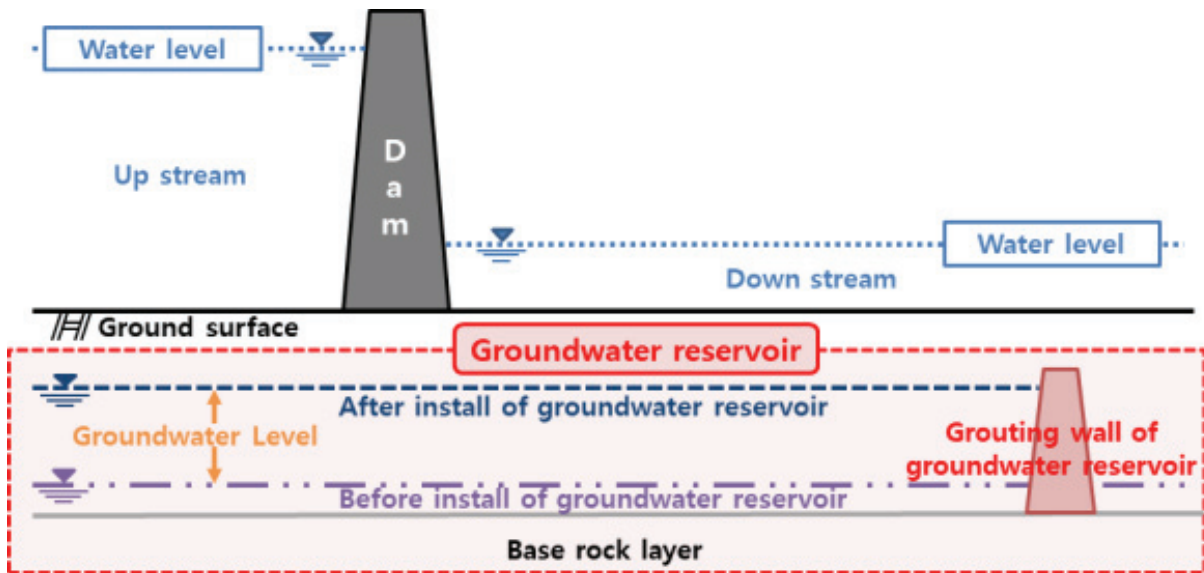


Figure 1. Concept of dam and groundwater reservoir

확보 문제가 부딪혀 수십 년 간 울산지역의 사회문제가 되었다. 반구대 암각화는 사연댐 운영수위에 따라 침수와 출연을 반복하고 있으며 암각화가 새겨져 있는 셰일(Shale)층은 침식에 취약한 암석의 특성상 때문에 물에 잠길 때 마다 침식이 발생하고 있다.

반구대 암각화 침수가 발생하지 않는 사연댐의 운영수위는 EL. 52m로 알려져 있으며, 이 수위 이하로 내려 운영할 경우 울산광역시 약 30,000m³/일 정도 부족해 용수공급에 차질이 발생할 것으로 예상된다. 반구대 암각화 훼손을 방지하고 울산광역시의 용수공급 문제를 해결하기 위하여 2003년부터 사연댐 수위 조절 및 차수벽 설치 등 다양한 의견들이 제시되었는데 2008년에는 유로변경(안), 2013년에는 임시가물막이 형식의 카이네틱 댐(Kinetic dam) 설치(안)을 검토하였으나, 안정성 문제를 이유로 설치가 중단되어 반구대 암각화 보존문제와 울산지역의 수자원 확보 문제를 해결하기 위한 새로운 대안이 필요한 실정이다.

국내에서 대체수자원을 확보하기 위한 방안으로 해수담수화(Seawater desalination), 강변여과수(Riverside filtration), 지하수저류지(Groundwater reservoir) 또는 지하댐(Groundwater dam), 인공강우(Artificial rainfall) 등에 대한 연구 및 적용이 이루어지고 있다. 과거에는 지하댐이라는 단어를 많이 사용하지만 현재는 지하수

저류지 명칭을 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 위 대체수자원 확보 방안 중 지하수저류지를 설치해 용수를 확보하는 경우 태화강의 갈수량 변화, 현재 고시된 하천유지유량 확보 여부, 구조물 주변부 지하수위 변화에 대한 분석을 실시하였다.

먼저 지표댐과 지하수저류지에 대한 개념을 살펴보면 <Figure 1>과 같이 일반적인 지표댐은 하천상류부나 계곡부에 인공구조물 또는 인공 차수벽을 설치하여 지표수 흐름을 차단 및 저류하지만 지하수저류지는 지하에 인공적인 댐, 차수벽을 설치하여 지하수의 흐름을 차단하여 저류된 지하수를 양수하여 사용하는 방법이다. 과거엔 지하댐 또는 지하수저류지라는 이름으로 불리다 최근에는 댐이 환경에 악영향을 준다는 부정적인 인식에서 벗어나고자 지하수저류지라는 이름으로 사용되고 있다. 일본, 중국, 인도, 에티오피아 등 해외에서 1970년대부터 본격적으로 개발하여 농업용수와 생활용수 공급에 활용하고 있다(The Korean Agriculture and Fishery News, 2018).

2. 연구동향

국내에서는 대체수자원으로서 지하수저류지에 대한 관심이 지속적으로 증가하여 이에 대한 연구가 꾸준히 늘어나고 있고, 최근에는 지하수저류지를 도서

Table 1. Dominic status of groundwater reservoirs

Groundwater reservoir name	Daeijakdo	Anmado	Ssangchun	I-an	Namsong	Oksung	Gochun	U-il
Location	Incheon Ongjin	Jeonnam Yeonggwang	Gangwon Sokcho	Gyeongbuk Sangju	Gyeongbuk Pohang	Chungnam Gongju	Jeonbuk Jeongeup	Jeonbuk Jeongeup
Well length (m)	60	460	800	230	89	482	192	778
Well height (m)	1~13	3~35	-	5.0	18.8	9.2	7.5	6.7
Watershed area (ha)	35	1,170	6,533	2,130	15,300	27,500	2,700	2,200
Water usage	Drinking	Drinking	Drinking	Agricultural	Agricultural	Agricultural	Agricultural	Agricultural
Abstraction rate (m ³ /day)	110	300	27,000	24,000	27,000	27,900	25,110	16,200
Completion year	2021	2020	1998	1983	1986	1986	1986	1986

※ Source: Park, et. al.(2006).

지방 또는 산간지방의 수자원 확보를 위한 방안으로 이용하고 있다. 국내에는 <Table 1>과 같이 현재 총 6개의 지하수저류지가 운영 중에 있으며 대부분 농업 용수 공급을 담당하고 있다. 2014년에는 지하수저류지 시범사업 후보지 2개소(영광군 안마도, 웅진군 대이작도)를 선정하고 2019년 3월 착공하여 현재 설치 중에 있다. 또한 강원도 속초시는 취수원인 쌍천의 유로연장이 짧고 하상경사가 급해 물이 하천에 머무르는 시간이 짧아 해마다 갈수기가 되면 급수난이 발생하였다. 이에 쌍천 제2지하수저류지 사업을 추진하여 2021년 준공을 목표로 추진하고 있다.

지하수저류지에 대한 선행연구를 살펴보면 해외에서는 과거부터 연구가 진행되어 왔으나 현재는 국내에서도 많은 연구가 진행되고 있다. 국내 연구동향을 살펴보면 Park, et. al.(2006)은 지하수저류지의 정의, 종류 및 기능에 대한 설명과 지하수저류지 설치를 위한 입지조건 및 조사계획을 설명하였으며 국내·외 지하수저류지 개발 및 이용현황을 조사하였다. Kim, et. al.(2011)은 지하수저류지 설치 예정지인 경상북도 영덕군 오십천 유역에 대한 지표수 및 지하수 연계해석 모형인 SWAT-MODFLOW를 이용하여 지하수저류지에 의한 지하수위 변화 및 한국형 지하수저류지 설치에 대한 타당성을 평가하였다. Kim, et. al.(2014)은 SWAT-MODFLOW를 이용하여 지하수저류지 설치에 의한 지하수 증가량을 계산하고 지표수에 미치는 영향을 검토하였으며 지하수저류지가 지표수 환경에 영향을 주지 않으며 대체수자원으로서 충분한 역할을

할 수 있음을 제시하였다. Kim, et. al.(2009)은 SWAT-MODFLOW를 이용하여 지하수저류지 설치 예정지인 경상남도 하동군 황천강 일대에 대한 지표수 및 지하수 연계해석 및 지하수위 변화를 평가하였다. Kim (2017)은 지하수저류지에 의한 수자원 개발량을 평가하는 방법론을 제시하였는데 우물 수위가 대수층 바닥에 도달하거나 지하수위가 대수층 표면을 상회하여 지표수 흐름이 발생하는 유입량을 추정하였다. Suk, et. al.(2012)은 전라북도 남원시 산동면에 지하담 설치 후보지 3개소를 대상으로 Visual-MODFLOW를 이용해 최적 후보지를 선정하였고 지하담의 저류 용량을 결정하는 매개변수를 알아보기 위하여 차수벽의 위치, 두께, 수리전도도 등에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 그 결과 최적 지하담 설계를 위해서는 차수벽의 위치가 가장 중요한 매개변수인 것을 밝혔다.

해외에서 수행된 지하수저류지에 대한 연구를 살펴보면 Ahmet(2009)는 터키에서 처음으로 적용된 Malibogazi 지하수저류지를 대상으로 중부에 지하수저류지를 대상으로 지하수저류지 설치 전·후 지하수위를 비교하였다. 지하수저류지 설치 후 지하수위가 지하수저류지 설치 전 지하수위보다 약 2.0m 높은 것으로 분석되었고, 좁은 계곡에 설치된 Malibogazi 지하수저류지가 향후 터키 신규 지하수저류지 사업 분야에 모델이 될 것으로 전망하였다. Ishida, et. al.(2011)은 일본 미야코 섬에 있는 지하담을 재해방지 목적을 위해 장기간 모니터링 하였으며 지하담 계획을 위해 개발된 모델에 변수로 사용하여 향후 정확한 지하담

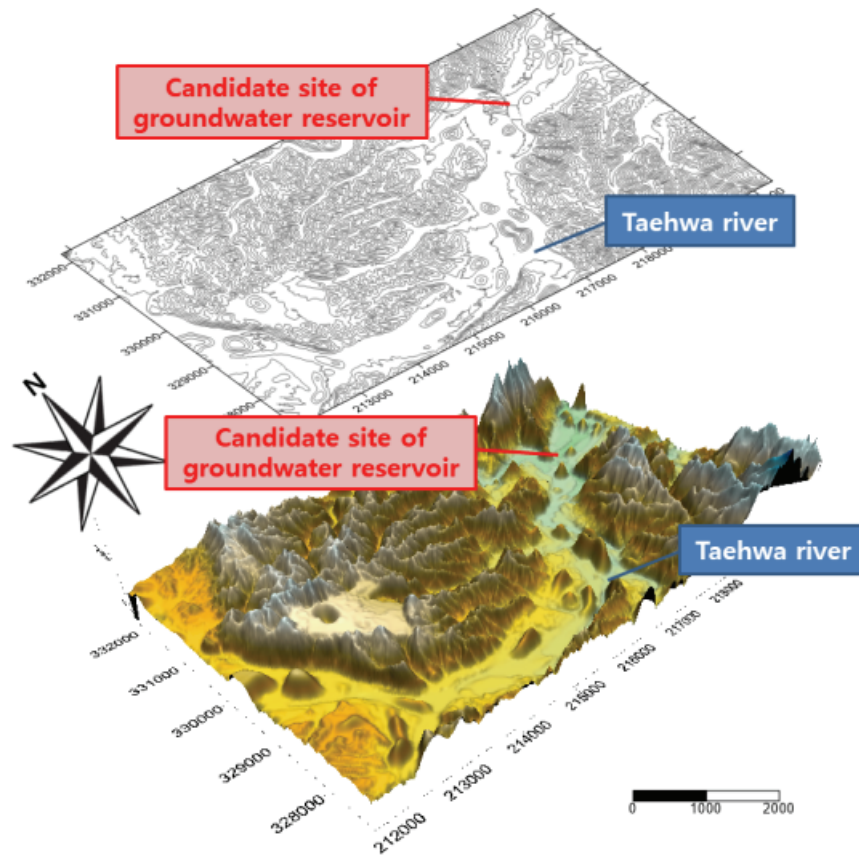


Figure 2. Digital elevation analysis using digital maps

계획 및 개발이 가능할 것으로 판단하였다. Hanson & Nilsson(1986)은 지하수저류지를 체계적으로 연구하고 적절한 설계 및 시공방법을 개발하려고 하였고 개발도상국 내 원활한 농업용수 공급을 위해 지하수저류지가 적절한 방법임을 밝혔다. Muhammed, *et. al.* (2016)은 지하댐의 특성과 개발역사에 대해 소개하였는데 건조한 기후 조건을 가지고 있는 파키스탄과 같은 지역에서는 수자원 확보를 위해 지하댐을 활용할 것을 추천하였다.

II. 모델링영역

모델링 영역을 설정하기 위하여 국토지리정보원에서 제공하는 1:5,000 수치지형도(Digital map)를 이용하여 지하수저류지 설치 예상지점에 대한 수치표고분석(Digital elevation analysis)을 <Figure 2>와 같이 실시하고, 지하수저류지로 인한 지하수 수위변화를 평가

할 수 있는 지하수 분수경계령을 모델링 영역을 설정하였다. 본 연구에서 설정한 모델링영역은 <Figure 3>과 같이 가로 8,500m, 가로 5,000m이다.

연구영역 중심에는 태화강이 서쪽에서 동쪽으로 흐르고 있으며 북쪽에는 대곡천과 사연댐, 남쪽에는 둔기천과 대암댐이 위치하고 있다.

기 조사된 울산광역시 지하수 관리기본계획 보고서(Ulsan Metropolitan City & Korea Water Resources Corporation, 2007)를 살펴보면 충적층의 심도가 2.4~12.5m로 매우 다양한 것으로 조사되었다. 연구영역과 인접한 울산 강우량관측소의 1946~2016년까지 강우량 자료를 살펴본 결과 최고 강우량은 1991년 2,058.9mm, 최소 강우량은 1995년 693.0mm, 평균 강우량은 1,274.1mm인 것으로 분석되었다. 본 연구에서 대상유역에 대한 함양률(Recharge)을 산정하기 위하여 <Figure 4>와 같이 SWMM(Storm Water Management Model)을 이용하여 장기유출 모의를 실시하였다. 최

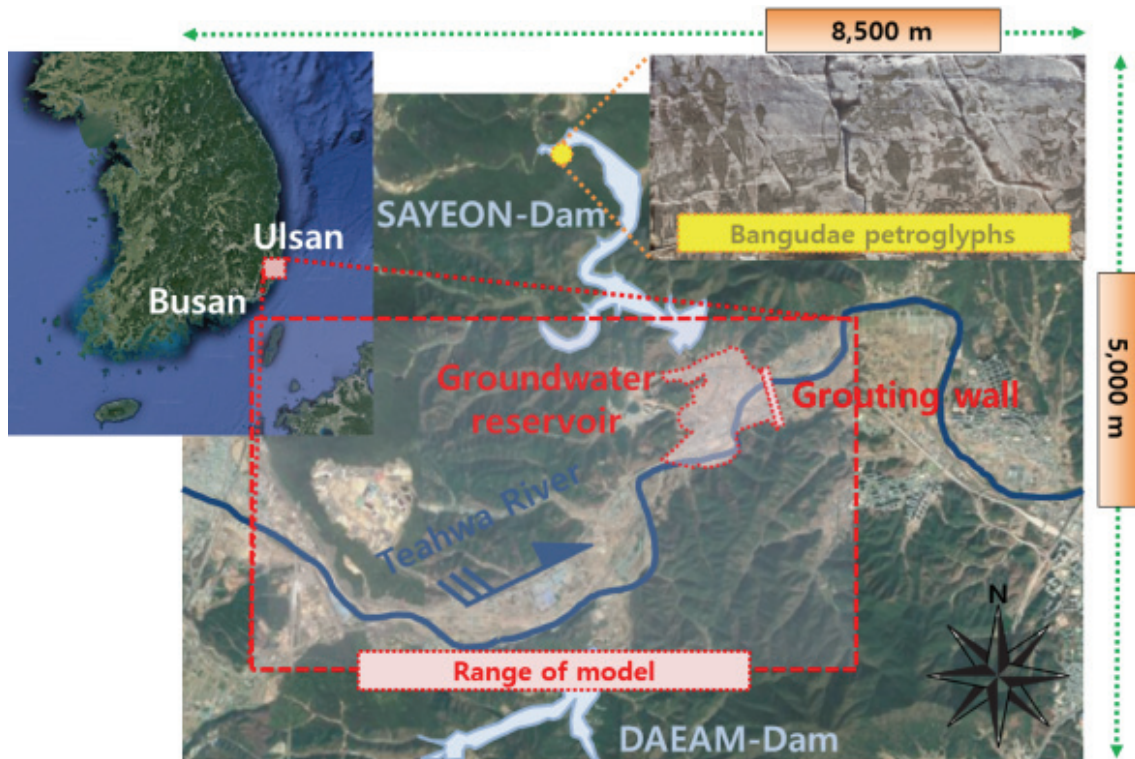


Figure 3. Map of this study area and candidate site of groundwater reservoir

근 10년간 장기유출 모의에 따른 물수지 분석 결과 직접유출률(Ratio of direct runoff)과 기저유출률(Ratio of baseflow)의 합은 53.2%인 것으로 분석되었으며 직접유출률은 38.9%, 기저유출률은 14.3%인 것으로 분석되었다. 위 결과를 바탕으로 본 연구에서 적용한 지하수 함양률(Recharge)은 14.3%이다.

III. 모델링 구성

지하수 유동 해석을 위한 여러 가지 모형과 방법들



Figure 4. SWMM setup for long-term runoff analysis

이 있지만 본 연구에서는 전 세계적으로 지하수 유동 해석에 가장 많이 이용되고 있는 모형인 Visual-MODFLOW를 이용하였다. Visual-MODFLOW는 수치 해석을 위한 방법 중 가장 보편적인 유한차분법(Finite difference method)을 이용하고 있다. 유한차분법은 수직전개과정이 간단명료하다는 장점을 가지고 있으나 불규칙한 경계면을 정확히 표현하고 취급할 수 없다는 단점이 있다.

Visual-MODFLOW의 지하수유동 기본이론은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

여기서, K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} 는 x , y , z 좌표축에 따른 투수계수이며, h 는 대수층 내 수두, W 는 단위체적당 유입량, S_s 는 비저류율 t 는 시간이다.

하지만 Eq.(1)의 해석적 해를 얻는 것이 현실적으로 불가능하므로 지하수의 밀도가 일정하고 격자내로 유입 또는 유출되는 총유량은 격자 내 저류량의 변화와

일치한다는 가정 하에 Eq.(2)와 같이 변화시켜 사용한다.

$$\sum Q_i = S_s \frac{\nabla h}{\nabla t} \nabla V \quad (2)$$

여기서, Q 는 셀로 유입되는 흐름율(L3T-1), S_s 는 유한차분 형태에서 비저류율이며, Eq.(1)에 대한 S_s 로써, 대수층에 있어 단위 수두변화에 따른 단위 체적당 유입되는 물의 체적(L-1)을 나타내고, V 는 셀의 체적(L3) 및 h 는 수두변화이다(Hur, et. al., 2018).

1. 지표수 유출

본 연구에서는 암구대 반각화를 보존과 울산지역 물 분쟁 해결을 위한 방안으로 태화강 하천유지유량을 고려한 지하수 저류지 개발 가능량을 평가하였다.

먼저 본 연구영역과 가장 가까운 조동수위관측소의 유량자료를 이용하여 유황곡선을 산정하였으며 조동수위관측소 지점에서 확보해야 할 하천유지유량은 0.09m³/s인 것으로 평가되었다. 태화강 하천유지유량을 고려한 개발가능량을 평가한 결과 <Figure 5> 및 <Table 2>와 같이 30,000m³/day을 개발할 경우 태화강에 0.44m³/s의 유량이 필요하고 365일 취수가 가능한 것으로 평가되었다. 개발목표량을 40,000m³/day을 개발할 경우 태화강에 0.55m³/s의 유량이 필요하여 연중 15일 취수가 불가능할 것으로 예상되며 개발목표량을 일 50,000m³/day을 개발할 경우 태화강에 0.67m³/s의 유량이 필요하여 연중 98일은 취수가 불가능하여 물 공급에 차질이 발생할 것으로 예상된다.

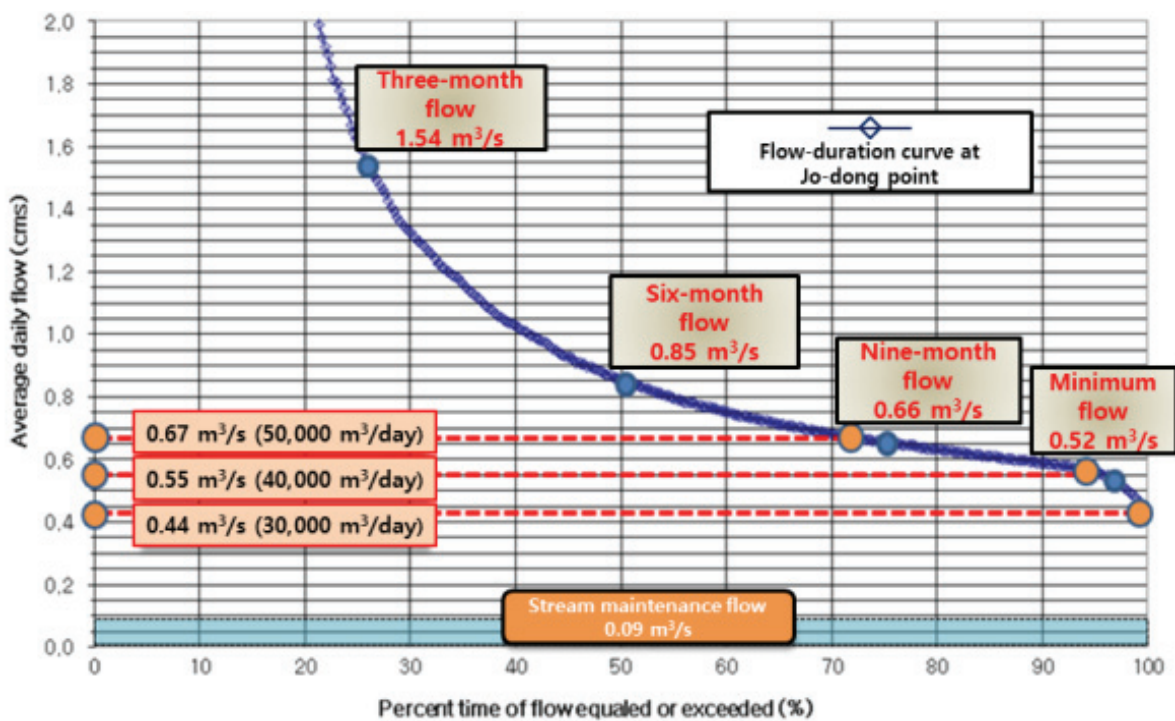


Figure 5. Assessment of potential groundwater development considering stream maintenance flow

Table 2. Development target flow considering stream maintenance flow

Development target flow		Stream maintenance flow (m ³ /s)	Development target flow considering stream maintenance flow (m ³ /s)	Note
(m ³ /day)	(m ³ /s)			
30,000	0.35	0.09	0.44	Possible intake in 365 days
40,000	0.46	0.09	0.55	Impossible intake in 15 days
50,000	0.58	0.09	0.67	Impossible intake in 98 days

※ Source: Korea Water Society(2017).

2. 격자망구성

Visual-MODFLOW 내 격자망 구성은 모델링 중점 부에서 외곽으로 1.5배에서 2.0배까지 커지도록 격자망을 구성하는 것이 일반적이다. 하지만 본 연구에서의 연구영역은 일반적인 지하수 모델링영역보다 넓어 시행착오법(Trial and error)으로 가장 안정적으로 모델링 수행이 가능한 격자망을 선정하였다. 그 결과 본 연구에서 적용한 격자망은 <Figure 6>과 같이 행(Row)과 열(Column)이 동일한 20m*20m로 설정하였으며 격자망 분할은 횡방향 250개, 열방향 425개, 층방향은 문헌조사결과를 바탕으로 7개, 총 743,750개의 격자로 구성하였다.

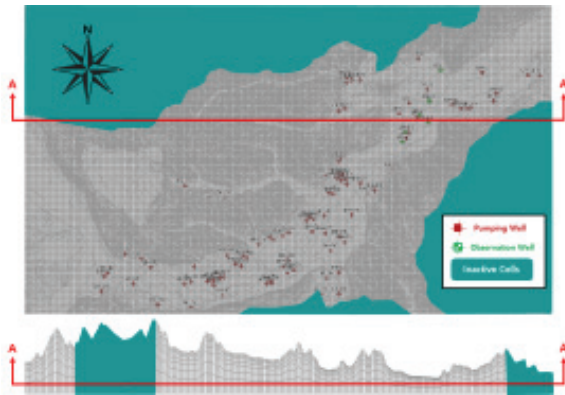


Figure 6. Consist of grids in this study

3. 경계조건

본 연구에서 연구영역에 적용한 경계조건은 <Figure 7>과 같이 연구영역에 대한 지하수 유동을 파악하기 위하여 지하수 분수령을 경계로 하여 유역 내 구간은 활성격자(Active cells)로 구성하였으며 유역 외 구간, 사연댐 및 대암댐 영역은 비활성격자(Inactive cells)로 설정하였다. 태화강 및 지하수 분수령에는 기 조사된 하천 갈수위(Droughty water level)를 이용하여 고정수두경계(Constant Head Boundary, CHB)를 적용하였고, 계곡부에는 바닥표고(Bottom elevation)를 기준으로 하천경계(River Boundary, RB)를 적용하였다. 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr/>)의 지하수 이용량 현황을 바탕으로 현장조사 하였고, 대부분 농업용으로 사용되고 있다. 지하수 이용실태 조사 및 보고요령(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2015)에 의하면 대상지인 울산시 울주군의 지하수 실사용량을 총양수능력의 10~15%로 추정하고 있다. 하지만 미신고, 누락 신고공 및 허가공에 대한 부분을 고려하기 위해 지하수 사용량을 총양수능력의 20%로 적용하였다.

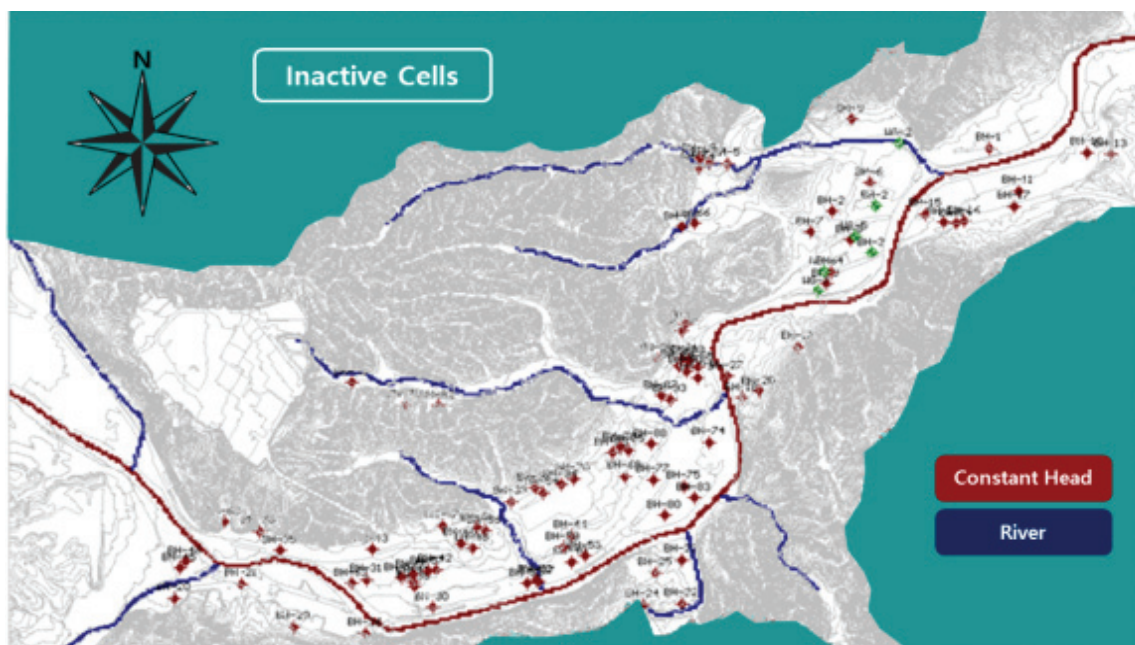


Figure 7. Applied boundary conditions in model

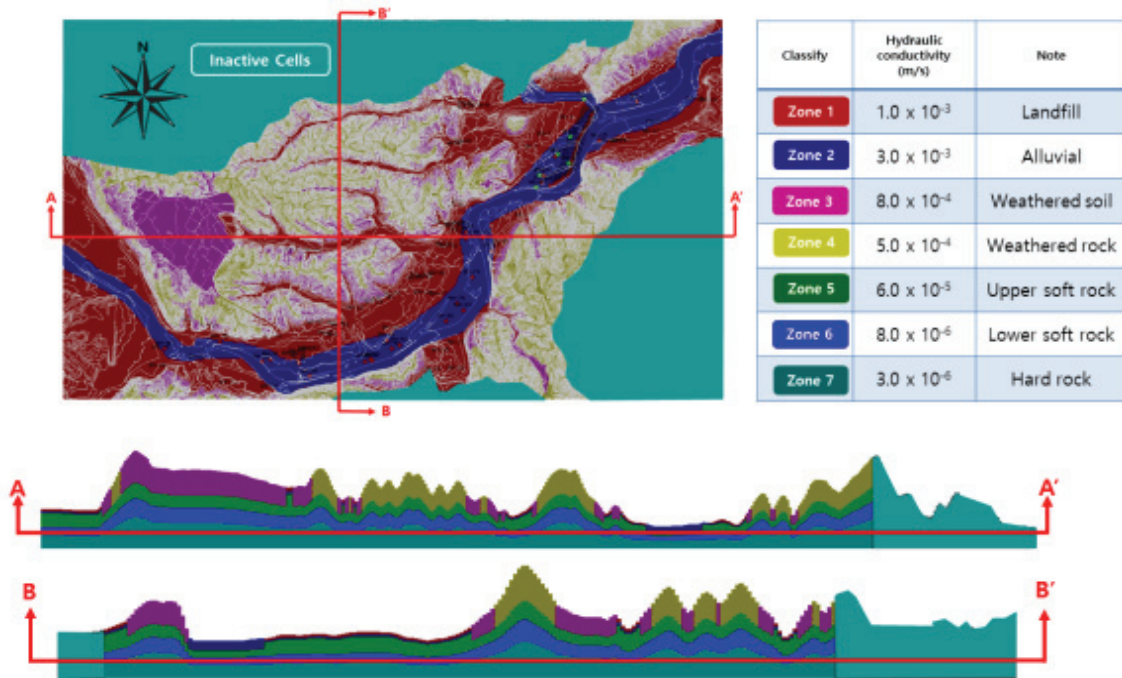


Figure 8. Applied hydraulic conductivity in model

연구영역에 대한 지층 및 투수계수는 참고문헌과 현장 조사 자료를 바탕으로 <Figure 8>과 같이 적용하였다.

4. 지하수위 보정

연구대상지에서 지하수저류지를 적용하고 변동된 지하수위를 예측하기 위해서는 먼저 현재 상태의 지

하수 유동해석이 선행되어야 한다. 이는 현장에서 취득한 지하수위(Observation head)와 계산된 지하수위(Calculated head)를 비교하여 모델에 적용된 경계조건, 함양률, 수리상수 등을 보정한다. 현재 상태에 대한 지하수위 보정 결과 <Figure 9>와 같이 지형적으로 서쪽의 고지대에서 저지대인 동쪽으로 지하수가 이동하는

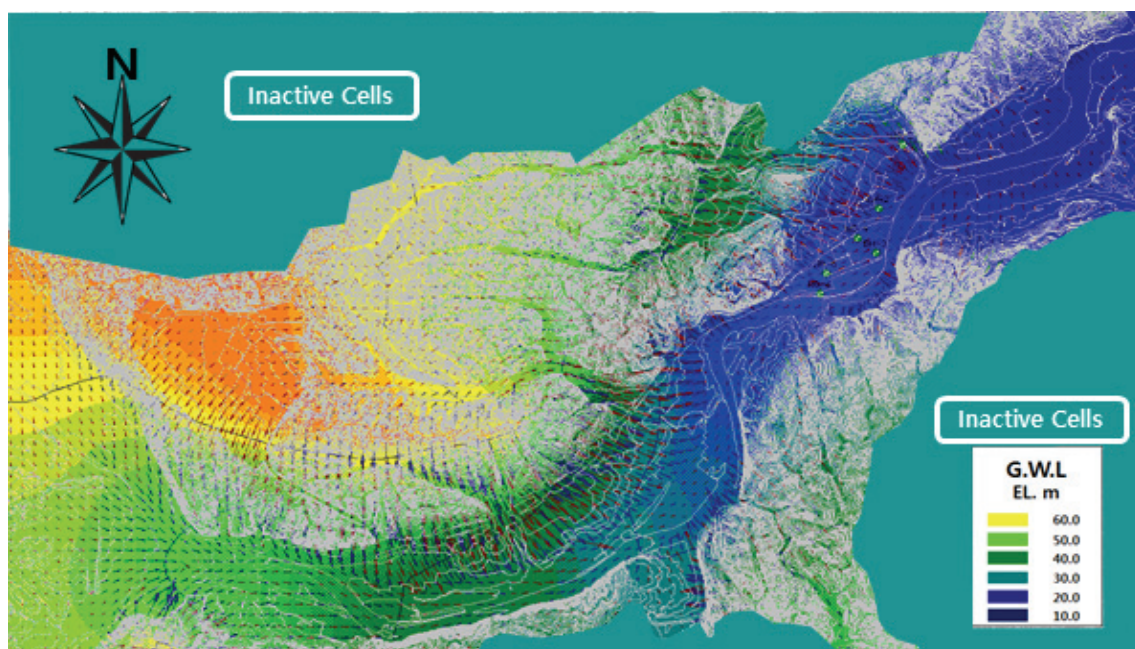


Figure 9. Results of groundwater flow direction and level(steady state)

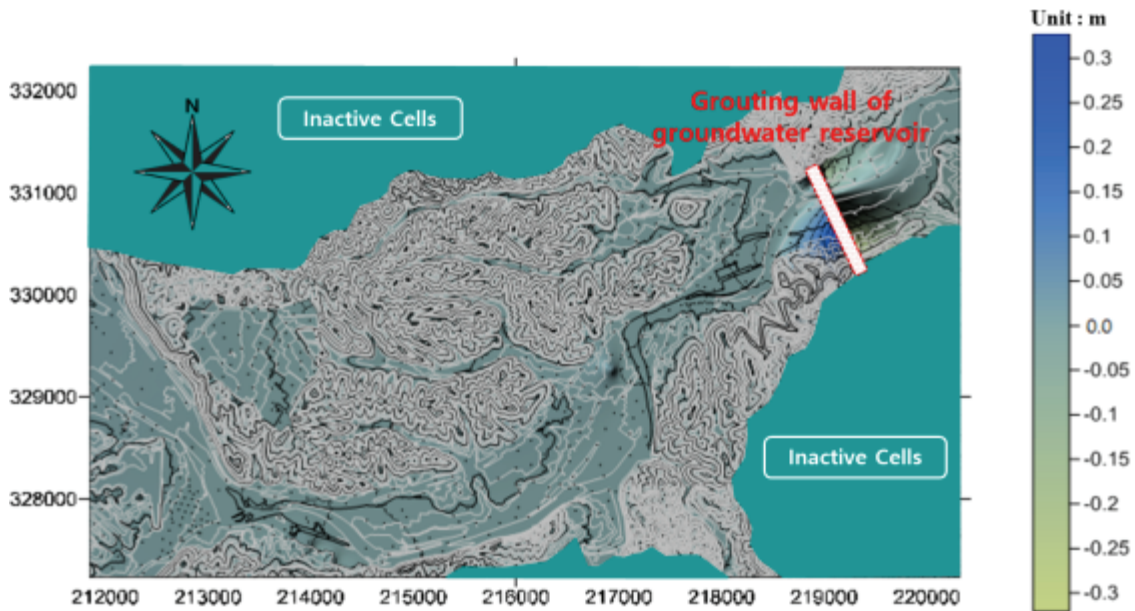


Figure 10. Results of groundwater level about install grouting wall of groundwater reservoir

양상을 보이며 지하수 흐름이 태화강 방향으로 잘 발달된 것으로 분석되었다. 또한 물수지 분석 결과 연구 영역으로 유입되는 유입량은 강수 등에 의한 함양으로 40,098 m³/day가 발생하는 것으로 분석되었으며 유출량은 태화강 및 배수조건에 의해 40,092 m³/day가 발생하는 것으로 분석되었다.

IV. 지하수저류지 설치에 따른 지하수위 비교

1. 지하수저류지 설치에 따른 주변부 지하수위 분석

현재 상태의 지하수 유동해석 결과에 수리상수를 이용하여 지하수저류지를 구현하였다. 지하수저류지는 지표 아래 -2.5m부터 상부 연암층까지 적용하였으며 지하수저류지 설치에 따른 주변부 지하수위 변화를 분석하였다.

현재 상태의 지하수위와 지하수 저류지 설치 후 지하수위 모델링 결과를 비교하면 <Figure 10>과 같이 지하수저류지 상류부에서는 최대 0.5m 지하수위 상승이 발생하며 하류부에서는 최대 4.0m 지하수위 하강이 발생하는 것으로 모사되었다. 지하수 유동 방향은 현재 상태의 지하수 유동해석 결과와 같이 태화강 상류에서 서쪽에서 하류인 동쪽으로 이동하는 양상을 보

이는 것으로 분석되었다. 물수지 분석결과에서 연구 영역으로 유입되는 유입량은 강수 등에 의한 함양으로 40,567 m³/day가 발생하는 것으로 분석되었으며, 유출량은 태화강 및 배수조건에 의해 40,566 m³/day가 발생하는 것으로 분석되었다.

2. 취수시설 적용에 따른 주변부 지하수위 분석

지하수 모델링에서 계획취수량 30,000 m³/day를 취수하기 위해 <Figure 11>과 같이 1,500 m³/day 용량의 수직정 23개소를 설치하는 것으로 모의하였다. 지하수저류지 취수시설에 의한 지하수위 하강 정도와 영향범위를 분석한 결과 <Figure 12>와 <Table 3>과 같이 취수시설 설치 지점에서부터 약 50m 이내, 전체면적 약 110,000 m²에서 1.8~2.0m 지하수위 하강이 발생한다. 1.5~1.8m 지하수위 하강이 발생한 지역은 취수시설 설치지점에서부터 약 90m 이내 지역이며 그 범위는 약 99,000 m² 이다. 1.2~1.5m 지하수위 하강이 발생한 지역은 취수시설 설치지점에서부터 약 150m 이내 지역이며 그 범위는 약 120,000 m² 이고, 0.9~1.2m 지하수위 하강이 발생한 지역은 취수시설 설치지점에서부터 약 250m 이내 지역이며 그 범위는 약 205,000 m² 이다. 0.6~0.9m 지하수위 하강이 발생한 지역은 취수



Figure 11. Apply to intake facility of groundwater reservoir

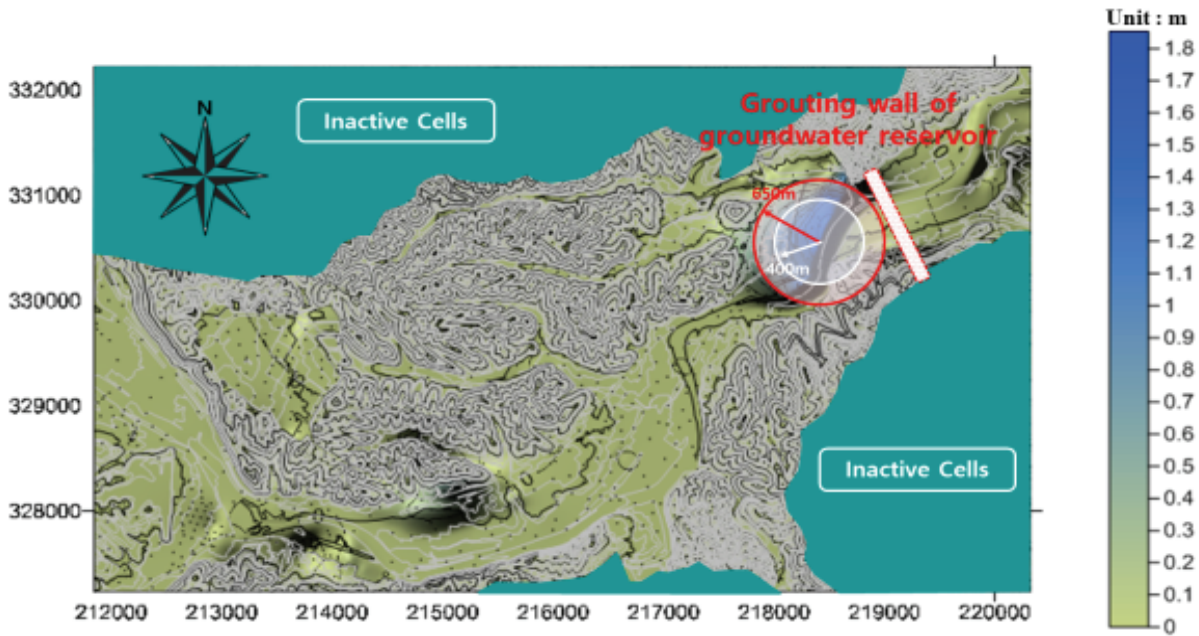


Figure 12. Radius of influence by intake facility of groundwater reservoir

Table 3. Results of groundwater level and range of influence along install groundwater reservoir

Drawdown groundwater level	Grounwater level drawdown influence distance by intake facility	Groundwater level drawdown influence range by intake facility
0.3m ~ 0.6m	650m	320,000m ²
0.6m ~ 0.9m	400m	263,000m ²
0.9m ~ 1.2m	250m	205,000m ²
1.2m ~ 1.5m	150m	120,000m ²
1.5m ~ 1.8m	90m	99,000m ²
1.8m ~ 2.0m	50m	110,000m ²

시설 설치지점으로부터 약 400m 이내 지역이며 그 범위는 약 263,000m³이고, 0.3~0.6 m 지하수위 하강이 발생한 지역은 취수시설 설치지점으로부터 약 650m 이내 지역이며 그 범위는 약 320,000m³인 것으로 분석되었다.

V. 결론

과거 대규모 공업단지 조성과 소규모 댐 개발이 활발히 진행되었던 울산지역에서 문화재적 가치가 큰 반구대 암각화가 발견되면서 문화재 보존문제와 수자원 확보 문제가 부딪혀 수십 년 간 사회문제가 되었다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 태화강 중류에 지하수저류지를 설치하는 경우 울산광역시 용수부족량 30,000m³/day 취수가능 여부와 지하 구조물 주변부 지하수위 변화를 Visual-MODFLOW 모델로 분석하였다.

1) 먼저 태화강 하천유지유량 확보를 고려한 개발가능량을 평가한 결과 30,000m³/day을 개발할 경우 365일 취수가 가능한 것으로 평가되었다. 일 40,000m³/day을 개발할 경우 연중 15일 취수가 불가능할 것으로 평가되었으며 일 530,000m³/day을 개발할 경우 연중 98일 취수가 불가능하여 물 공급에 차질이 발생할 것으로 평가되었다.

2) 현재상태에 대한 지하수위 분석결과 태화강 상류인 서쪽에서 하류인 동쪽으로의 지하수 흐름이 뚜렷하게 나타나는 것으로 분석되어 지하수저류지로 지하수 유입과 저류가 활발히 일어날 것으로 예상된다.

3) 지하수저류지 설치에 따른 주변부 지하수위 분석을 실시한 결과 지하수저류지 상류부에서는 최대 0.5m의 지하수위 상승이 하류부에서는 최대 4.0m의 지하수위 하강이 발생하는 것으로 분석되었다.

4) 지하수저류지에 취수시설을 적용하여 계획취수량 30,000m³/day을 취수할 경우 취수시설 설치 지점으로부터 최대 약 650m 반경 내 지역에서 최소 0.3m 이상 지하수위 하강이 발생하는 것으로 평가되었으며, 취수

시설 설치지점으로부터 약 50m 이내 지역에서는 1.8m 이상 지하수위 하강이 발생하는 것으로 평가되었다.

위 결과들을 바탕으로 태화강 중류에 지하수저류지를 설치할 경우 사연댐 수위저하로 인한 부족량 30,000m³/day 공급이 가능해 반구대 암각화 보존과 관련된 갈등 문제를 해결 할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 지하수저류지 설치 주변에 발생하는 지하수위 하강문제는 정확한 현황과약을 위해 장기적인 지하수 관측이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

References

- Ahmet, Apydin. 2009. malibogazi Groundwater Dam: An Alternative Model for Semi-arid Regions of Turkey to Store and Save Groundwater. *Environmental Earth Sciences*. 59(1): 339-345.
- Hanson, Goran and Ake Nilsson. 1986. Groundwater Dams for Rural Water Supplies in Developing Countries. *Ground Water*. 24(4): 497-506.
- Hur, Young Teck, Gu Young Park, Jin Hyeog Park, and Hyung San Kim. 2018. Improvement of the Long-term Discharge Simulation Linked with K-DRUM and MODFLOW. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 18(7): 555-562.
- Ishida, Satoshi, Takeo Tsuchihara, Shuhei Yoshimoto, and Masayuki Imaizumi. 2011. Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 45(1): 51-61.
- Kim, Jong Tae, Gyo Bum Kim, Il Moon Chung, and Gyo Cheol Jeong. 2014. Analysis of Flow Duration and Estimation of Increased Groundwater Quantity due to Groundwater Dam Construction. *The Journal of Engineering Geology*. 24(1): 91-98.
- Kim, Jong Tae, Il Moon Chung, Nam Won Kim, and Gyo Cheol Jeong. 2011. Feasibility Study of a Groundwater Dam in

- Osibcheon, Using SWAT-MODFLOW. *The Journal of Engineering Geology*. 21(2): 179-186.
- Kim, Jong Tae, Man Il Kim, Il Moon Chung, Nam Won Kim, and Gyo Cheol Jeong. 2009. An Analysis of Groundwater Level Fluctuation Caused by Construction of Groundwater Dam. *The Journal of Engineering Geology*. 19(2): 227-233.
- Kim, Sung Jun. 2017. Assessment of Water Resources by the Construction of Subsurface Dam. *Journal of Korea Water Resources Association*. 50(11): 795-802.
- Korea Water Society. 2017. Report of Establishment of Basic Plan to Improve the Utilization of Water Resource Facilities in the Ulsan Area.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport and Korea Water Resources Corporation. 2015. Groundwater Usage Research and Reporting Tips.
- Muhammad, Farooq Ahed, Raza Muhammad, Yousif Omed, and Ismail Sadia. 2016. Groudwater Dams, General Characteristics and Historical Development. *Journal of Faculty of Engineering and Technology*. 23(1): 121-129.
- National Groundwater Information Management and Service Center. <http://www.gims.go.kr>
- Park, Chang Keun, Gyo Cheol Jeong, Jae Hyeon Park, and Sung An Bu. 2006. The Functions and Roles of Groundwater Dam. *Water for Future*. 39(5): 40-53.
- Suk, Hee Jun, Min Woo Seo, and Hyoung Soo Kim. 2012. Hydrogeological Modeling for Investigation of Factors Controlling the Storage Capacity of Groundwater Dam. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 16(6): 933-942.
- The Korean Agriculture and Fishery News. 2018. <http://www.agrinet.co.kr>
- Ulsan Metropolitan City and Korea Water Resources Corporation. 2007. Report of Groundwater Management Master Plan.
- Korean References Translated from the English*
- 국가지하수정보센터. <http://www.gims.go.kr>
- 국토교통부, 한국수자원공사. 2015. 지하수 이용실태 조사 및 보고요령.
- 김상준. 2017. 지하댐 설치에 의한 수자원 개발량 평가. 한국수자원학회논문집. 50(11): 795-802.
- 김종태, 김규범, 정일문, 정교철. 2014. 지하댐 건설로 인한 지하수 증가량 계산 및 유향 분석. 지질공학회논문집. 24(1): 91-98.
- 김종태, 김만일, 정일문, 김남원, 정교철. 2009. 지하댐 건설에 따른 유역 내 지하수위 변화 특성 해석. 지질공학회논문집. 19(2): 227-233.
- 김종태, 정일문, 김남원, 정교철. 2011. SWAT-MODFLOW를 이용한 영덕 오십천의 지하댐 타당성 연구. 지질공학회논문집. 21(2): 179-186.
- 대한하천학회. 2017. 울산권 수자원시설 활용성 제고방안 기본 계획 수립용역 보고서.
- 박창근, 정교철, 박재현, 부성안. 2006. 지하댐의 기능과 역할. 물과미래. 39(5): 40-53.
- 울산광역시, 한국수자원공사. 2007. 울산광역시 지하수 관리기 본계획 보고서.
- 한국농어민신문. 2018. <http://www.agrinet.co.kr>
- 허영택, 박구영, 박진혁, 김형산. 2018. K-DRUM과 MODFLW를 연계한 장기유출량 정확도 개선. 한국방재학회논문집. 18(7): 555-562.

Received: Apr. 16, 2020 / Revised: May 6, 2020 / Accepted: May 6, 2020

울산 지역 물 분쟁 해결을 위한 지하수저류지 설치에 따른 주변부 지하수위 변화 특성 분석 연구

국문초록 과거 대규모 공업단지 조성과 소규모 댐 개발이 활발히 진행되었던 울산지역은 사연댐 수몰지역에서 문화재적 가치가 큰 반구대 암각화가 발견되면서 문화재 보존문제와 수자원 확보 문제가 부딪혀 수십 년간 사회문제가 되었다. 이에 본 연구에서는 울산 태화강 중류에 지하수저류지를 설치하였을 경우 사연댐 수위저하로 발생하는 물 부족량 해결 가능여부와 이에 따른 주변부 지하수위 변화에 대해 분석하였다. 그 결과 태화강 하천유지유량을 유지하는 상태에서 30,000m³/day을 개발할 경우 365일 취수가 가능할 것으로 분석되었으며, 지하수저류지의 주변부 지하수위를 분석한 결과 지하수저류지 상류부에서는 최대 0.5m 지하수위 상승이 하류부에서는 최대 4.0m의 지하수위 하강이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 지하수저류지에 취수시설을 적용하여 30,000m³/day을 취수할 경우 취수시설 설치지점으로부터 약 650m 반경 내 지역에서 최소 0.3m 이상 지하수위 하강이 발생할 것으로 평가되었다. 향후 태화강 중류에 지하수저류지를 설치할 경우 반구대 암각화 보전을 위한 사연댐 수위저하로 발생하는 용수부족량 30,000m³/day을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 지하수저류지, 반구대 암각화, 물분쟁, 울산지역

Profiles **Jun Oh Oh** : He received his B.A., M.A., Ph.D. from Inje university, Korea in 2018. He researches subjects has urban flood, rainwater storage and drainage system and groundwater fluctuation. He published recently are increased pressure n rainwater storage and drainage system by undular bore, groundwater level fluctuation by tunnel construction(symmoh@inje.ac.kr).

Jong Jin Lee : He Obtained a doctor of engineering degree in "A Study on Spatio-Temporal Characteristics of Rainfall Distribution in Urban area"(August, 2018) from Inje University. He is a adjunct professor of the Department of civil and urban engineering at Inje University. The main areas of research are regional rainfall distribution, ecological flowrate and low impact development(jongjin2@inje.ac.kr).

Sang Mi Jun : She received his B.A., M.A. Ph.D. from Inje university, Korea in 2014. She is a adjunct professor of the Department of civil and urban engineering at Inje university. Her interesting subject and area of research is prevention of disasters, low impact development and alternative water resources(sm-jun@inje.ac.kr).