

A Study on Groundwater Level Fluctuation in Surroundings by Operational Water Level of Hapcheon-Changnyeong Weir

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

The construction of weirs in Nakdong River has altered the farming methods and cultivated crops of the surrounding farmland and the conflict among residents is increasing due to the opening of weir gates. In this study, the characteristics of groundwater fluctuations in the surrounding area due to the opening of the Hapcheon-Changnyeong weir gate were analyzed, focusing on the area of Gaekgi-ri, Ugok-myeon, Goryeong-gun in Gyeongsangbuk-do. The simulation scenario was based on the river water level, recharge characteristics, and the conditions for groundwater use. In all scenarios, it is found that the groundwater level was determined according to the level of Nakdong River and some groundwater levels changed by the characteristics of quarterly recharge characteristics and groundwater use conditions. This study found that fluctuations in the groundwater level in the upstream region are inevitable due to the gate opening of Hapcheon-Changnyeong weir and problems in groundwater use could occur in some areas with shallow groundwater facilities.

Key words: Hapcheon-Changnyeong weir, groundwater level, operational water level

1. 서론

우리나라는 낙동강, 한강, 금강, 영산강, 섬진강을 중심으로 5대강 유역으로 구분해 유역 물 관리를 실시하고 있다. 2008년부터 한국형 녹색 뉴딜 사업의 일환으로 수질개선, 수자원 확보, 홍수예방, 생태구역 조성, 국민 여가문화 수준 및 질 향상 등을 목적으로 하는 '4대강 사업'을 실시하였다. 4대강 사업 내 주요 공정이었던 보 건설로 인하여 4대강에는 총 16개 보가 건설되었

다. 보 건설과 더불어 준설사업이 시행되었는데 하천공사 이후 급격한 단면적 변화, 상·하 단절로 인하여 생태계 변화가 발생하고, 하천 수위 상승으로 보 주변 지역의 지하수위가 이전과는 다른 양상을 보여 지역의 주요 재배 작물이 변화하거나 농업방식이 바뀌었다.

특히 4대강 사업으로 총 8개보가 직렬로 건설된 낙동강은 강원도 태백시 황지동 '황지연못'에서 발원하여 부산광역시 사하구 하단동 '낙동강하굿둑'에 이르기까지 유로연장 총 511 km, 유역면적 23,384 km²(우리나라

[#] 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

국토 약 24 %)의 우리나라에서 두 번째로 큰 하천이다.

4대강 중 보가 가장 많이 건설된 낙동강에는 많은 환경변화가 발생하였는데 그중 낙동강 주변 지역의 농업특성이 변화하면서 과도한 지하수 이용으로 지하수 고갈과 같은 문제가 발생하고 있다. 또한 낙동강 주변 지역의 농민들은 각자의 농업방식 및 재배작물에 따라 수문개방 여부와 관련하여 첨예한 갈등을 빚고 있다.

4대강 사업에 따른 지하수 영향에 대한 선행연구를 살펴보면 Koo & Kim(2019)은 2017년 6월부터 시행되고 있는 보 개방이 보 주변 농경지 지하수 이용에 미치는 영향에 대해 분석하였으며, 보 개방으로 인하여 지하수 이용 장애가 발생하는 지역에 대해 용수공급 대책 마련을 촉구하였다. Kim(2019)은 창녕함안보 상류에 위치한 광암들을 대상으로 Visual-MODFLOW를 활용하여 보 개방에 따른 지하수 이용 장애 원인에 대하여 분석하였는데 광암들의 경우 개발 관정의 지하수 공급능력 저하에 의한 것으로 판단하였다. Cha, et. al.(2015)은 낙동강 지류인 신천-백천 하류를 대상으로 하천수위와 지하수위의 관계에 대하여 연구하였는데 이는 지형적 조건과 지역 내 양수조건에 따라 상호작용에 차이가 발생함을 밝혔다. Cha, et. al.(2014)은 창

녕함안보 주변에 설치된 지하수 관측정의 시계열 자료를 이용하여 분석한 결과 분석대상 지하수 관측정의 약 45%가 낙동강 하천수위 변동 특성과 유사하게 나타났으며 나머지 관측정들은 주변 양수 및 배수 영향, 계절적 변동 특성에 의해 지하수위가 변화하고 있다고 판단하였다. Jeon(2016)은 낙동강 주변 지하수 관측정을 대상으로 지하수위 영향인자들간의 상관분석을 실시하였는데 대상 관측정의 약 34%가 하천수위 변동 특성과 유사한 지하수위 변동 특성을 보였으며 약 30%의 관측정은 강수량과의 상관성을 보였으며 약 36%의 관측정은 주변 양수 또는 배수 상황과 상관성을 보이는 것으로 분석하였다.

본 연구에서는 낙동강의 합천창녕보 건설로 인한 주변부 지하수위 상승에 대한 분석과 보 수문을 개방하여 하천수위가 하강하였을 경우 지하수위 변동을 Visual-MODFLOW를 이용하여 분석하였다.

II. Visual-MODFLOW

지하수 유동 해석을 위한 여러 가지 모형과 방법들이 있지만 본 연구에서는 전 세계적으로 지하수 유동 해석에 가장 많이 이용되고 있는 모형인 Visual-MODFLOW

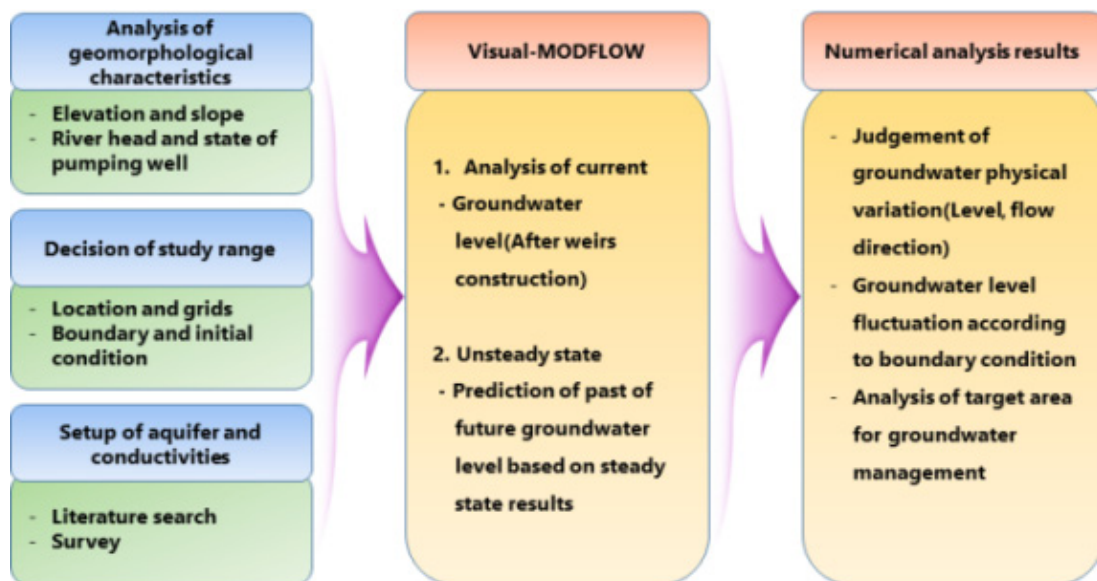


Figure 1. Analysis flow of groundwater model

를 이용하였다.

지하수 유동 해석 모델인 Visual-MODFLOW의 해석 흐름을 위해 <Figure 1>과 같이 연구영역에 대한 지형특성 분석, 연구영역 설정 및 격자망 구성, 대수층 설정 및 투수계수 결정, 경계조건 입력과 같은 입력자료 구축 후 정류상태(Steady state)에 대한 지하수 유동 해석을 실시한다. 정류상태 결과를 바탕으로 부정류상태(Unsteady state)에 대한 지하수 유동 해석을 실시하여 과거 또는 미래 지하수 유동에 대한 예측을 수행한다.

Visual-MODFLOW는 수치해석을 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(Oh, et. al., 2020).

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 투

수계수(수리전도도)이며, 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(L^3T^{-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(L^3) 및 h 는 수두변화이다(Hur, et. al., 2018).

III. 모델링 구성

1. 연구대상지역

본 연구에서 설정한 연구대상지역은 <Figure 2>와 같이 합천창녕보 상류 약 2.5km에 위치한 경상북도 고령군 우곡면 객기리 일대로 합천창녕보 건설 이후 지

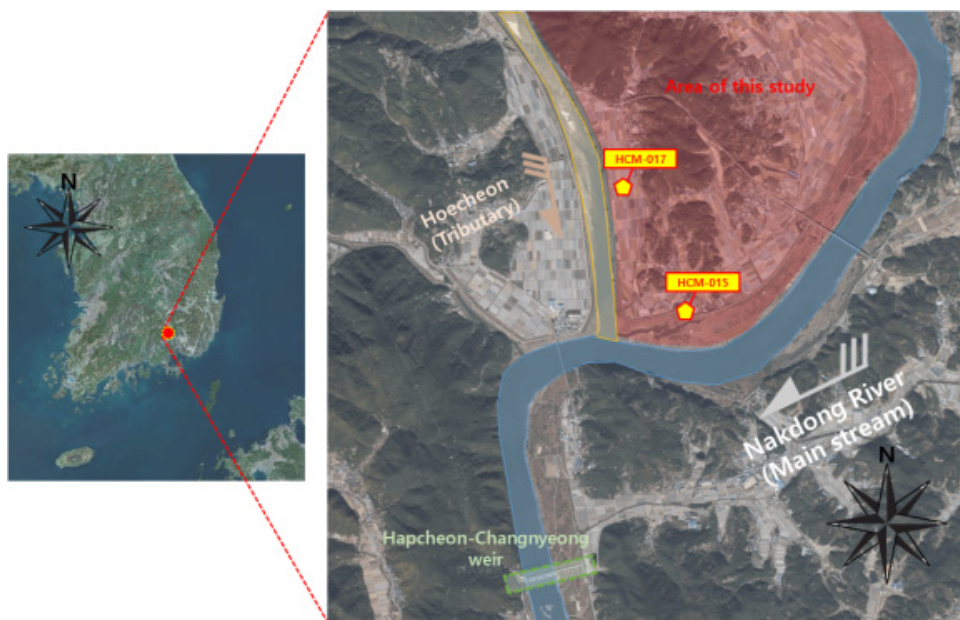


Figure 2. Map of study area

하수위 상승으로 주민들의 민원이 많이 제기된 지역이며 현재까지도 수문개방 여부로 주민들 간 갈등을 빚고 있는 지역이다.

연구대상영역은 가로 5,100m, 세로 4,600m 이다. 국토지리정보원에서 제공하고 있는 1:5,000 수치지형도를 이용하여 연구대상지역의 표고 및 경사를 분석한 결과 <Figure 3>과 같이 연구대상지역 전체의 68 %가 해발표고 20.0m 이하이며, 53%가 경사 10°이하의 낮고 평탄한 지형인 것으로 분석되었다.

2. 격자망구성

본 연구에서 설정한 격자망은 아래 <Figure 4>와 같이 지하수 분수령을 경계로 하여 유역 내 구간을 활성 격자로 설정하였고, 연구대상지역의 중심부는 10m × 10m로 최외곽부에는 50m × 50m로 적용하였다. 격자망 분할은 X(Column)축 방향으로 302개, Y(Row)축 방향으로 288개, Z(Layer)축 방향으로 5개, 총 434,880개의 격자로 설정하였다.

3. 모델 입력자료 구축 및 적용

연구대상지역의 낙동강 본류와 지류하천인 회천은 고정수두경계(CHB; Constant head boundary)를 적용하

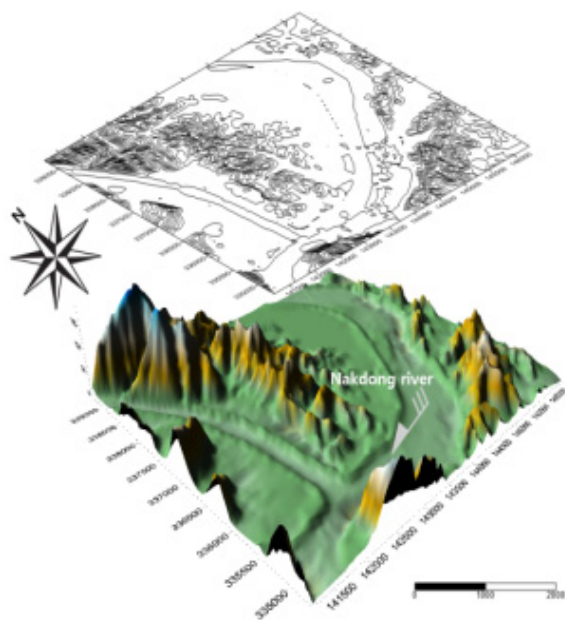


Figure 3. Digital elevation analysis using digital maps

였으며 지하수 이용량 적용을 위해 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>)에서 제공하는 자료를 바탕으로 현장조사를 실시하였다. 그 결과 대부분 농업용 관정으로 사용 중이며 농번기(4월 ~ 6월 논농사, 10월 ~ 12월 밭농사)에 주로 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 지하수 이용량을 현장조사 결과를 바탕으로 국가지하수정보센터 자료 내 일사용량의 30%를 적용하였다. 지하수 함양량 적용을 위해서 합천창녕보와 가장 인접한 강수량관측소인 합천 강수량관측소의 최근 15년 강수량 자료를 활용하였으며 Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017)에서 제시한 합천창녕보 유역의 함양률 13.9 %를 적용하였다. 연구대상지역의 대수층 및 투수계수는 Gyeongsangnam-do(2011)자료를 바탕으로 <Figure 5>와 같이 적용하였다.

4. 정류상태 모의

합천창녕보 수문 개방 시나리오에 따른 주변부 지하수위를 예측하기 위해서는 먼저 정류상태에 대한 지하수 해석이 선행되어야 한다. 이 과정에서 측정된 지하수위(Observation head)와 계산된 지하수위(Calculated head)를 비교하여 모델에 적용된 경계조건, 수리상수를 보정한다. 정류상태 지하수 해석 결과는 <Figure 6>과 같이 지하수

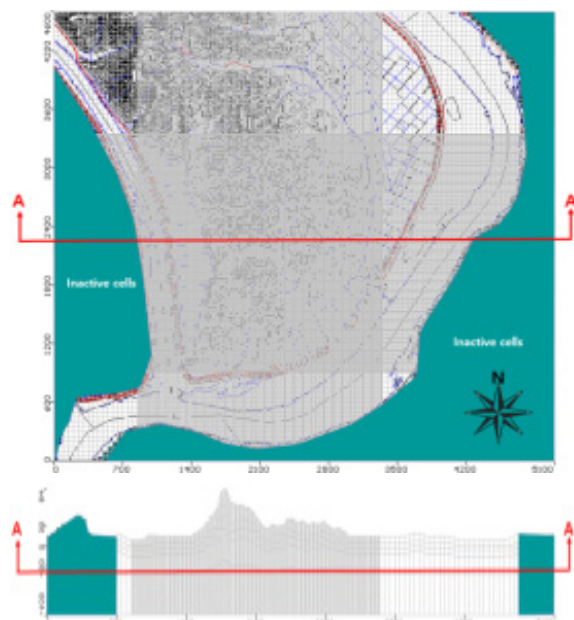


Figure 4. Consist of grids

흐름은 지형적으로 고지대에서 저지대쪽으로 이동하는 양상을 보이고 있으며 연구대상지역인 경상북도 고령군 우곡면 객기리 일대의 지하수위가 낙동강 하천수위와 비슷하게 형성되고 있는 것으로 분석되었다. 또한 물수지 분석결과 연구대상지역으로의 유입량은 강수 및 자연유

입으로 6,059m³/day이 발생하는 것으로 분석되었으며 유출량은 낙동강 및 배수조건에 의해 6,072m³/day이 발생하는 것으로 분석되었다. 유입량과 유출량의 차는 13m³/day로 분석되었으며 이는 유입량대비 0.21 %로 정류상태에 대한 모의가 성공적이라고 볼 수 있다.

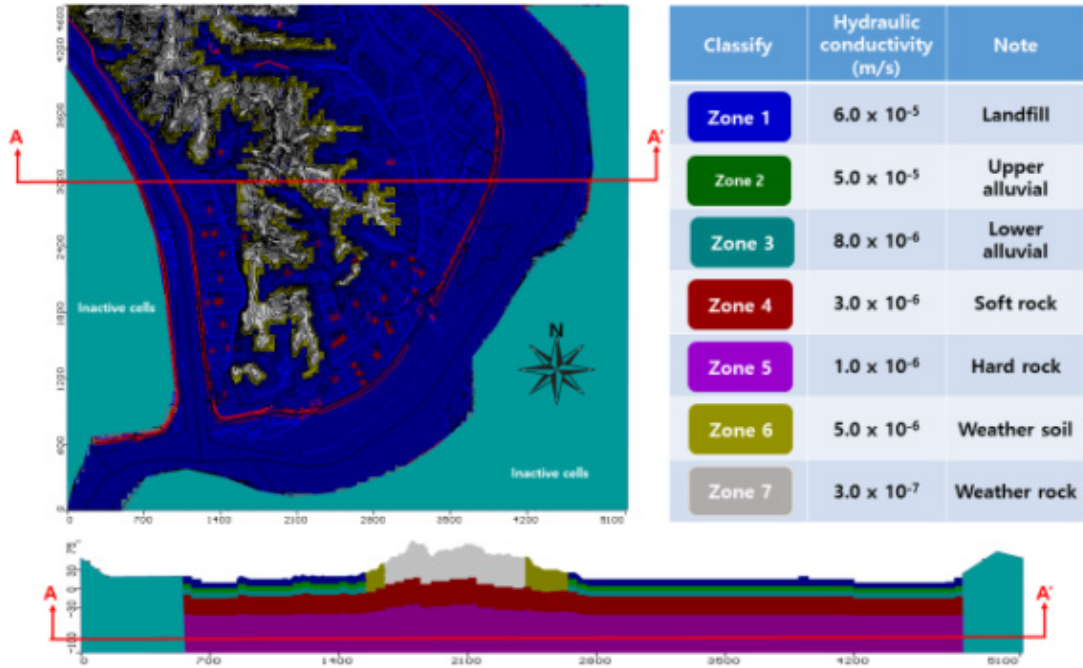


Figure 5. Hydraulic conductivity

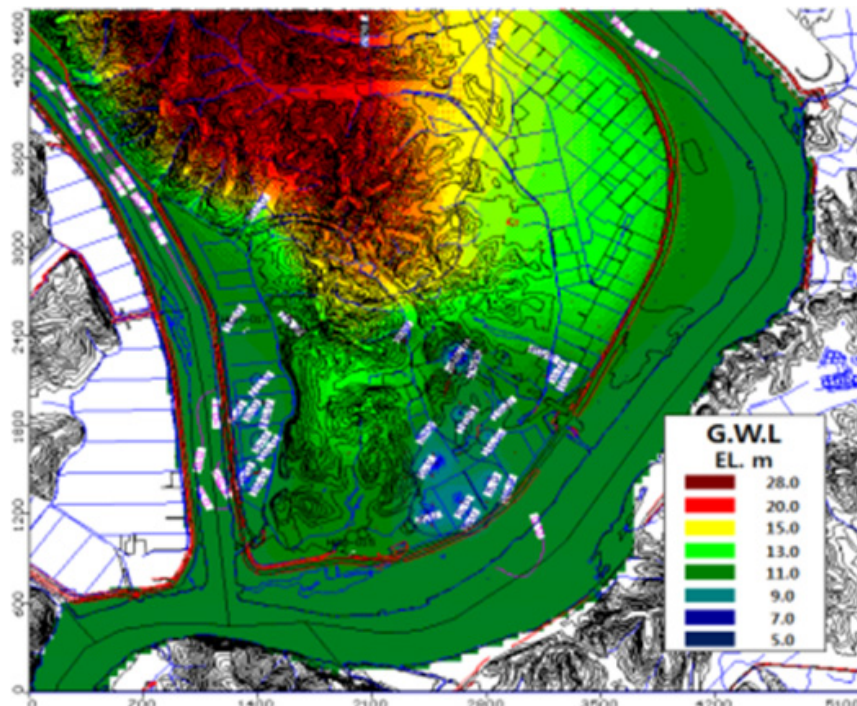


Figure 6. Diagram of contour groundwater level at steady state

5. 부정류 모의

합천창녕보 보 개방에 따른 연구대상지역의 지하수위 변화를 알아보기 위해 정류상태 지하수 해석 결과를 바탕으로 <Table 1>과 같은 함양특성 및 하천수위 변화 시나리오에 대하여 부정류 모의를 실시하였다. 부정류 모의 시나리오는 크게 하천수위에 대한 경계조건, 함양조건, 지하수 이용 조건으로 구성하였다. 하천수위에 대한 경계조건은 보 건설 후 수위 조건부터 보 건설 전 수위조건까지 1.0m간격으로 설정하였으며 분기별 함양량은 합천 강수량관측소의 최근 15년간 월 강수량 자료를 이용하여 분기별 평균강수량을 산정하고 앞에서 설정한 함양률을 적용하였다.

부정류 모의 결과 정류상태 모의 결과와 같이 지형

적으로 고지대에서 저지대쪽으로 이동하는 양상을 보이고 있으며 연구대상지역인 경상북도 고령군 우곡면 객기리 일대의 지하수위가 낙동강의 하천수위와 비슷하게 형성되고 있는 것으로 분석되었다. 특히 하천수위 조건이 같은 시나리오에 대한 결과를 살펴보면 함양조건과 지하수 이용 조건에 따라 연구대상지역의 분기별 지하수위가 약 1.19m ~ 1.75m가량 변동하는 것으로 분석되었다. 특히 연구대상지역의 지하수위는 기본적으로 낙동강 하천수위 조건 또는 합천창녕보 수문개방 조건에 따라 변동하는 것으로 분석되었다.

<Table 1>의 부정류 모의 시나리오별 지하수위 모의 결과를 살펴보면 <Figure 8>과 같고 하천수위가 가장 높은 시나리오(10.6)의 경우 분기별 지하수위 편차

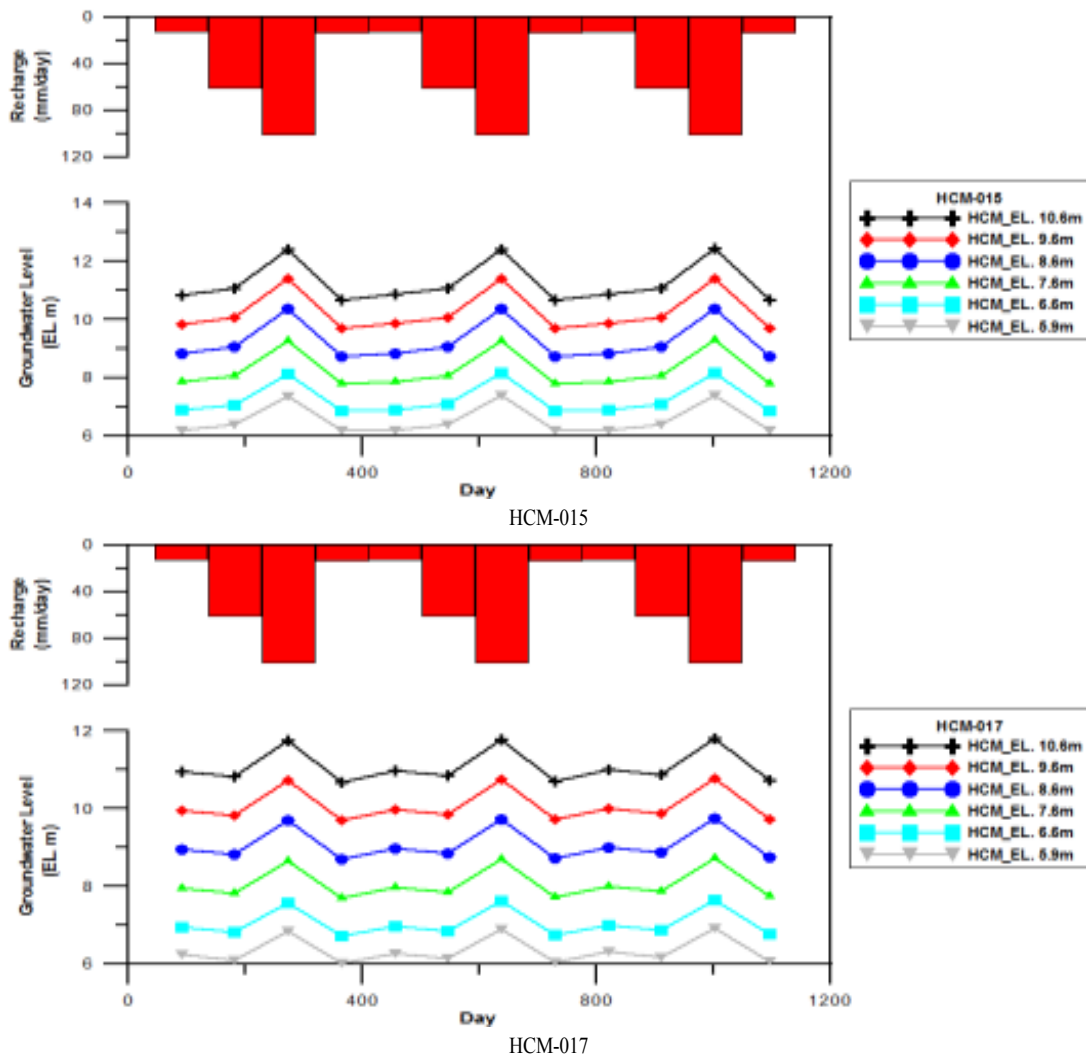


Figure 7. Groundwater levels by the quarterly scenarios

가 1.75m인 것으로 분석되었고, 하천수위가 가장 낮은 시나리오(5.9)인 경우 분기별 지하수위 편차가 1.19m인 것으로 분석되었다.

IV. 결론

4대강 사업으로 건설된 보로 인해 하천 주변 농경지의 재배작물 및 농업방식이 변화하였고 보 개방여부에 대한 주민들의 갈등이 매우 심각한 상황이다. 본 연구에서는 합천창녕보 개방에 따른 지하수위 변동 모의를 위해 경상북도 고령군 우곡면 객기리 일대를

Visual-MODFLOW를 이용해 분석하였다.

1) 정류상태 모의 결과 지하수 흐름방향은 지형적으로 고지대에서 저지대쪽으로 이동하는 양상을 보이고 있으며, 연구대상지역인 경상북도 고령군 우곡면 객기리 일대의 지하수위가 낙동강 하천수위와 비슷하게 형성되고 있는 것으로 분석되었다. 물수지 분석결과에서 유입량은 강수 및 자연유입으로 6,059 m³/day이 발생하는 것으로 분석되었으며 유출량은 낙동강 및 배수조건에 의해 6,072 m³/day이 발생하는 것으로 분석되었다.

2) 보 수문개방에 따른 하천수위 변동조건과 함양

Table 1. Scenarios of unsteady state numerical analysis

Scenario Name	Applied river water level	Quarterly recharge(mm/year)		Groundwater use apply or not	Note
10.6-1st	EL. 10.6 m	1st. quarter	50.8	Not	Water level for Hapcheon-Changnyeong weir management (MWL)
10.6-2nd.		2nd. quarter	245.6	Apply	
10.6-3rd.		3rd. quarter	405.2	Not	
10.6-4th.		4th. quarter	54.0	Apply	
9.6-1st	EL. 9.6 m	1st. quarter	50.8	Not	MWL-1.0m
9.6-2nd.		2nd. quarter	245.6	Apply	
9.6-3rd.		3rd. quarter	405.2	Not	
9.6-4th.		4th. quarter	54.0	Apply	
8.6-1st	EL. 8.6 m	1st. quarter	50.8	Not	MWL-2.0m
8.6-2nd.		2nd. quarter	245.6	Apply	
8.6-3rd.		3rd. quarter	405.2	Not	
8.6-4th.		4th. quarter	54.0	Apply	
7.6-1st	EL. 7.6 m	1st. quarter	50.8	Not	MWL-3.0m
7.6-2nd.		2nd. quarter	245.6	Apply	
7.6-3rd.		3rd. quarter	405.2	Not	
7.6-4th.		4th. quarter	54.0	Apply	
6.6-1st	EL. 6.6 m	1st. quarter	50.8	Not	MWL-4.0m
6.6-2nd.		2nd. quarter	245.6	Apply	
6.6-3rd.		3rd. quarter	405.2	Not	
6.6-4th.		4th. quarter	54.0	Apply	
5.9-1st	EL. 5.9 m	1st. quarter	50.8	Not	Water level of before construction the Hapcheon-Changnyeong weir
5.9-2nd.		2nd. quarter	245.6	Apply	
5.9-3rd.		3rd. quarter	405.2	Not	
5.9-4th.		4th. quarter	54.0	Apply	

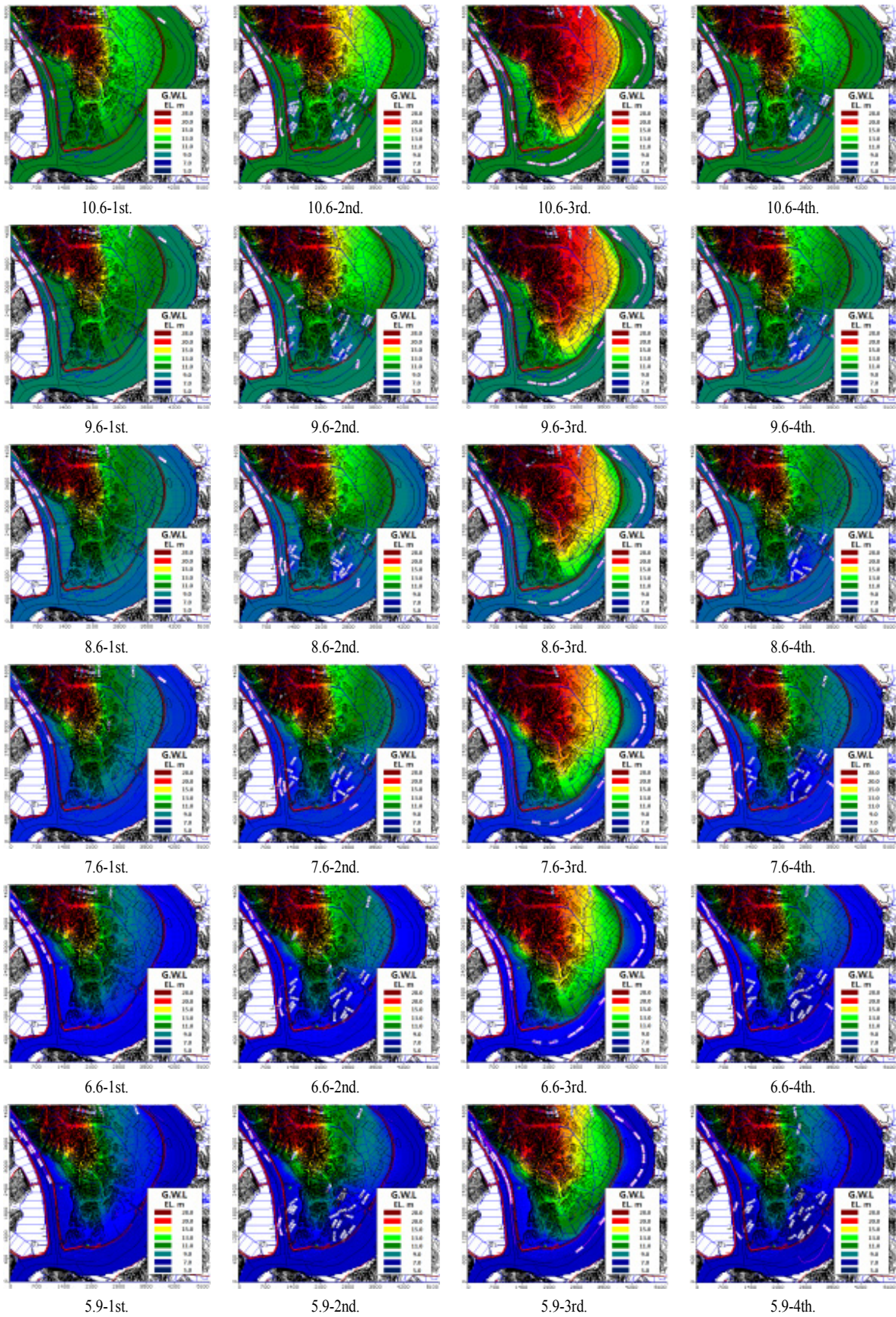


Figure 8. Diagram of contour groundwater level by scenario

특성 및 지하수 이용 조건을 이용하여 부정류 모의 시나리오를 작성하였다. 시나리오별 모의 결과에서 지하수 이동특성은 정류상태 모의 결과와 마찬가지로 고지대에서 저지대쪽으로 이동하는 양상을 보이고 있으며 각 시나리오에 대한 지하수위는 낙동강 하천수위와 비슷하게 형성되고 있는 것으로 분석되었다.

3) 하천수위 조건이 같은 시나리오에서는 함양조건과 지하수 이용 조건에 따라 연구대상지역의 분기별 지하수위가 약 1.19m ~ 1.75m 가량 변동하는 것으로 분석되었다. 특히 연구대상지역의 지하수위는 기본적으로 낙동강 하천수위 조건 또는 합천창녕보 수문개방 조건에 따라 변동하는 것으로 분석되었다.

4) 결과를 종합하면 합천창녕보 수문개방에 따른 상류 지역의 지하수위 변동이 불가피하고 일부 지하수 시설의 깊이가 얕을 경우 지하수 이용 장애가 발생할 것으로 판단된다.

향후 합천창녕보 수문 개방에 따른 주변지역 지하수 문제 파악을 위해 지역에 대한 정확한 지반조사 및 지하수 평가가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

References

Cha, Eun Ji, Gyoo Bum Kim, Deok Geun Kim, and Seung Hyun Lee. 2014. Groundwater Level Fluctuation According to Management of River Stage in the Middle-lower Reach of Nakdong River. Proceedings of the Geological Society of Korea. Jeongseon, Korea.

Cha, Eun Ji, Seung Hun Lee, and Gyoo Bum Kim. 2015. Changes in Shallow Groundwater Levels and Hydrochemistry according to Depositional Environment, River Water Level and Groundwater Pumping in the Riversides. *Journal of the Geological Society of Korea*. 51(1): 67-80.

Gyeongsangnam-do. 2011. Comprehensive Report on Damage Investigation on the Groundwater Level Rise in Surrounding Farmlands due to Hapcheon-weir.

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.

Jeon, Ju Young. 2016. Assessment of Groundwater Monitoring Wells for Groundwater Movement and Groundwater Level Variation Types. Master Dissertation. Catholic Kwandong University.

Kim, Jin Yeong. 2019. A Groundwater Flow Model Analyzing Effect of River-stage Decline by Weir Opening on Groundwater Use of Bedrock Wells. Master Dissertation. Gongju University.

Koo, Min Ho and Ji Wook Kim. 2019. Impacts of Weir Opening in Four Major Rivers on Agricultural Groundwater Use. Proceedings of the Korea Society of Agricultural Engineers. Hongcheon, Korea.

Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. 2017. Master Plan of Groundwater Management.

National Groundwater Information Center. <http://www.gims.go.kr/>

Oh, Jun OH, Jong Jin Lee, and Sang Mi Jun. 2020. Characteristics of Groundwater Level Fluctuation due to Groundwater Reservoir for Water Dispute Resolution in Ulsan, Korea. *Crisisonomy*. 16(5): 79-91.

Korean References Translated from the English

경상남도. 2011. 합천보로 인한 주변 농경지 지하수위 상승에 대한 피해조사 종합보고서.

구민호, 김지욱. 2019. 4대강 보 개방이 농경지 지하수 이용에 미치는 영향. 한국농공학회학술대회초록집.

국가지하수정보센터. <http://www.gims.go.kr>

국토교통부. 2017. 지하수관리기본계획 보고서.

김진영. 2019. 4대강 보 개방이 암반관정 지하수 취수량에 미치는 영향. 모델을 이용한 수치해석적 분석. 석사학위논문. 공주대학교.

오준오, 이종진, 전상미. 2020. 울산 지역 물 분쟁 해결을 위한 지하수저류지 설치에 따른 주변부 지하수위 변화 특성

분석 연구. Crisisonomy. 16(5): 79-91.

진주영. 2016. 지하수 관측정을 통한 지하수 유동 및 수위변화의 평가방법. 석사학위논문. 가톨릭관동대학교.

차은지, 김규범, 김덕근, 이승현. 2014. 낙동강 중하류 지역 하천 수위 관리에 따른 지하수 변동 특성. 대한지질학회 학술대회.

차은지, 이승현, 김규범. 2015. 퇴적환경, 하천수위 및 지하수

양수에 따른 수변지역 천부 지하수의 수위와 수질 변동. 지질학회지. 51(1): 67-80.

허영택, 박구영, 박진혁, 김형산. 2018. K-DRUM과 MODFLOW를 연계한 장기유출량 정확도 개선. 한국방재학회논문집. 18(7): 555-562.

Received: Jul. 29, 2020 / Revised: Aug. 18, 2020 / Accepted: Aug. 18, 2020

합천창녕보 운영수위에 따른 주변부 지하수위 변동 분석 연구

국문초록 4대강 사업으로 보가 건설되어 주변 농경지의 농업방식 및 재배작물이 변화하고 수문개방에 따른 주민들의 갈등이 격화되고 있다. 본 연구에서는 합천창녕보 상류에 위치한 경상북도 고령군 우곡면 잭거리 일대를 대상으로 합천창녕보 수문개방에 따른 주변지역 지하수위 변동 특성을 분석하였다. 모의 시나리오는 하천수위, 함양특성, 지하수 이용 조건을 기준으로 작성하였다. 모의 결과 모든 시나리오에서 기본적으로 낙동강 하천수위에 따라 지하수위가 결정되고 분기별 함양특성 및 지하수 이용조건에 따라 일부 지하수위가 변화하는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과 합천창녕보 수문개방에 따른 상류 지역의 지하수위 변동이 불가피하고 지하수 시설의 깊이가 얕은 일부 지역의 경우 지하수 이용 장애가 발생할 것으로 판단된다. 향후 합천창녕보 수문 개방에 따른 주변지역 지하수 문제 파악을 위해 지역에 대한 정확한 지반조사 및 지하수 평가가 필요하다고 판단된다.

주제어 : 합천창녕보, 지하수위, 운영수위

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 and weir(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).