

Evaluation of water drainage according to hydraulic properties of filling material of sand dam in Mullori, Chuncheon

Chung, Il-Moon^a · Lee, Jeongwoo^{b*} · Kim, Min-Gyu^c · Kim, Il-Hwan^d

^aSenior Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Govang, Korea

^bResearch Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Govang, Korea

^cResearch Specialist, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

^dPostdoctoral Researcher, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

Paper number: 22-090

Received: 6 October 2022; Revised: 17 October 2022; Accepted: 17 October 2022

Abstract

The Chuncheon Mullori area is an underprivileged area of water welfare where local water supply is not supplied, and it is supplying water to the villages with small water supply facilities using lateral flow and groundwater as water sources. This is an area with poor water supply conditions, such as relying on water trucks due to water shortages during the recent severe drought. Therefore, in order to solve the problem of water shortage during drought and to prepare for the increasing water demand, a sand dam was installed along the valley, and this facility has been operating since May 2022. In this study, repeated simulations were performed according to the hydraulic conductivity of the filler material and the storage coefficient value for the inflow condition for about two years from mid-March 2020 to mid-March 2022. For each case, the amount of discharge through the perforated drain pipe was calculated. Overall, as the hydraulic conductivity increased, the amount of discharge increased and then decreased as the hydraulic conductivity of the third floor increased. This is considered to be due to the fact that the water level was kept low due to the rapid drainage compared to the net inflow into the third floor because the water permeability of the third floor and the drainage coefficient of the drain pipe were large. As a result of simulating the flow of the open channel in the upper part of the sand dam as a hypothetical groundwater layer with very high hydraulic conductivity, the decrease in discharge rate was slower than the increase in the hydraulic conductivity of the virtual layer increased.

Keywords: Water drainage, Filling material, Sand dam, Groundwater modelling

춘천 물로리 지역 샌드댐 채움재 수리특성에 따른 배수량 평가

정일문^a · 이정우^b* · 김민규^c · 김일환^d

*한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 선임연구위원, *한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 연구위원, *한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 전임연구원, *한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 박사후연구원

요 지

춘천 물로리 지역은 지방상수도가 보급되지 않은 물복지 소외지역으로 복류수 및 지하수를 수원으로 하는 소규모 급수시설로 마을에 물을 공급하고 있다. 최 근 극심한 가뭄 발생시 물부족으로 인해 급수차에 의존하는 등 물공급 여건이 열악한 지역이다. 따라서 가뭄시 물부족 문제를 해결하고 증가하는 물수요에 대 비하기 위해 계곡에 연하여 샌드댐을 설치하였으며, 2022년 5월부터 이 시설을 운영하고 있다. 본 연구에서는 2020년 3월 중순부터 2022년 3월 중순까지 약 2년 동안의 유입량 조건에 대해 채움재의 수리전도도와 저류계수 값 조건에 따라 반복 모의를 수행하였고, 각각의 경우에 대해 유공배수관을 통한 방류량 을 산정하였다. 전반적으로 수리전도도가 증가할수록 방류량과 그 비율이 증가하나, 2층의 수리전도도가 상대적으로 가장 낮은 경우에는 3층의 수리전도도 가 증가할수록 방류량이 증가하다가 작아지는 특이한 양상을 보였다. 이는 3층의 투수성과 배수관의 배수계수 값이 커서 3층으로의 순유입보다 빠른 배수로 인해 수위가 낮게 유지된데서 기인한 것으로 판단된다. 샌드댐 상부 개수로 흐름을 수리전도도가 매우 큰 가상의 지하수층으로 모사한 결과 가상층 수리전도 도 증가율에 비해 방류량 감소는 둔화되지만, 가상층 수리전도도가 커짐에 따라 상대적으로 방류량이 줄어드는 양상은 명확하게 나타났다.

핵심용어: 배수량, 채움재, 샌드댐, 지하수 모델링

*Corresponding Author. Tel: +82-32-910-0529

E-mail: ljw2961@kict.re.kr (Lee, Jeongwoo)

^{© 2022} Korea Water Resources Association. All rights reserved.

1. 서 론

2016년 이상기후 보고서에 의하면 2014년 강원, 경기 충청 일부 지역 생활용수 제한급수, 2015년 충남 서북부 8개 시·군 에 제한급수가 실시된 바 있다. 우리나라의 광역상수도 보급 률은 98%에 이르나 아직 물공급 소외지역의 주민들이 존재하 는 것은 시사하는 바가 크다. 산간지역에는 장기적으로도 상 수도 보급계획이 없는 곳이 많아 물공급에 매우 취약하며 하 천 상류 지역에서의 물 확보 수단이 계곡수(전국의 계곡수 이 용 시설: 622개소)와 암반 지하수에 의한 마을상수도 등으로 제한되어 있어 가뭄에 대응하기 위해서는 수원의 다변화가 절실하다(Kim *et al.*, 2020).

본 연구는 국내 최초로 유역상류부 가뭄 취약지역에 대해 모래저장형 댐을 통해 연속적인 물공급을 가능케하는 시도로 서 춘천 북산면 물로리 지역을 대상으로 테스트베드를 건설하 고 이에 대한 실증 테스트의 일환으로 채움재 수리특성에 따 른 배수량을 평가하고자 한다.

샌드댐이란 계곡이나 하천의 불투수성 기반암 위에 댐이나 보 등을 설치하고 확보된 공간에 모래와 같은 투수성 재료를 채운 후, 그 공극에 물을 저장하여 사용하기 위한 구조물로 제 체가 부분적으로 지상에 노출된 지하댐의 한 종류이다. 샌드댐 은 아프리카 지역과 같은 건조지역에서 연간 드물게 발생하는 홍수류를 저류시켜 토립자를 침전시킨 후, 그 속에 저장된 물을 건조시에 활용하는 시설로 우리나라에는 아직 적용된 바 없으 며, 아프리카 우간다나 케냐에서 홍수를 저류시켜 갈수시 침전 된 토사속의 물을 이용하는 단순한 형태의 샌드댐이 이용되어 왔다(Aerts *et al.*, 2007; Hoogmoed, 2007; Lasage *et al.*, 2008; Quilis *et al.*, 2009; Quinn *et al.*, 2019; Yifru *et al.*, 2018).

본 연구사업에서는 가뭄시 물부족 문제를 해결하고 증가 하는 물수요에 대비하기 위해 계곡하천의 옆부분으로 우회 (bypass)하는 물흐름이 있는 곳에 샌드댐을 설치하였으며, 2022년 5월부터 이 시설을 운영하고 있다. 본 연구에서는 2020 년 3월 중순부터 2022년 3월 중순까지 약 2년 동안의 유입량 조건에 대해 채움재의 수리전도도와 저류계수 값 조건에 따라 반복 모의를 수행, 각각의 경우에 대해 유공배수관을 통한 방 류량을 산정하였고, 상부 고투수성의 가상 대수층이 존재한 다고 가정한 상태에서의 다양한 방류량 모의를 수행하였다. 이와 같은 결과는 차후 다른 지역의 샌드댐 설계시 활용할 수 있는 민감도 분석 결과로 활용될 수 있을 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상 지역

춘천시 북산면 물로리 궁병골에 위치한 45세대 주민의 식 수원 지역에 대해 테스트베드를 건설하였다. Fig. 1에 나타낸 유역면적은 1.6 km²으로 계곡하천의 옆쪽에 위치한 샘이 기존 수원에 해당하며 이 샘 옆에 샌드댐을 설치하여 기존 수원을 확대하였고, 증발과 결빙에 견디게 하기 위해 모래속에 물을 저장하고 유공관을 통해 기존관로에 연결시켜 물공급을 증대 시키도록 하였다(Fig. 2).



Fig. 1. Study area of the Namgan (Riv.) basin



Fig. 2. Test bed and water supply system in this village

2.2 모형의 구축

샌드댐 채움재 수리특성에 따른 배수량을 모의하기 위해 서 국내외적으로 널리 사용되고 있는 3차원 지하수 유동모형 MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988)를 이용하였 다. 이 모형에서는 질량보전을 나타낸 연속방정식과 지하수 유 동속도는 수리전도도와 수리경사의 곱으로 나타낸 Darcy's law를 결합하여 Eq.(1)과 같은 편미분 방정식을 지배방정식 으로 하고 있으며, 이를 유한차분법으로 이산화하고 경계 및 초기조건을 부여하여 시공간적으로 변하는 지하수위(수두) 를 모의한다.

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

여기서, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}는 각각 수평방향 x, y 방향 수리전도도 및 연직방향 z 의 수리전도도이며, h는 구하고자 하는 값인 수위(수두), W는 단위체적당 유입 또는 유출량, S_s는 매질의 비저류계수, 그리고 t는 시간을 나타낸다. MOFLOW 모형에 서는 대수층(aquifer)으로부터 지하수 양수나 증발산, 대수층 으로의 함양, 하천수위와 지하수위 차이를 고려한 유입 및 유 출, 배수관을 통한 유출 등을 모의할 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 샌드댐이 차지하고 있는 면적 92 m²를 지하수 유동 모델링 영역으로 설정하고, 수평방향으 로 격자 한 개의 크기를 1 m×1 m로 이산화하고 연직방향으로 는 3개의 층으로 구분하였다. 가장 상부에 위치한 첫 번째 층(1 layer)은 EL. 298.1 m의 저면고를 가지는 자유면대수층으로, 그 하부의 2개층(2 layer, 3 layer)은 각각 0.8 m 두께를 가지는 피압/자유면대수층 변환층으로 구성하였다. 경계조건으로 서 샌드댐 외곽부와 3층 저면은 no-flux 경계조건을 부여하였 고, 각 층의 초기 수위 및 수두는 1층 저면고의 값과 같게 부여 하였고 각 층에서 수리전도도는 균질하다.

샌드댐 3층에 설치되는 2개의 유공 배수관(이하 배수관)을 모사하기 위해서 MODFLOW의 DRN 패키지(DRaiN pack-age)를 이용하였다. DRN 패키지에서는 대수층에서 배수되는 $\mathfrak{S}(Q_d)$ 이 대수층의 수두(h)와 배수관 표고(d)와의 차이에 비 례한다는 가정하에 등가전도계수(equivalent conductance), C_d 와 수두차(h - d)의 곱으로 배수량이 계산된다. 배수관 표 고 보다 계산 수두가 작으면 배수가 되지 않는 것으로 처리한 다. 배수관의 등가전도계수 C_d (이하 배수전도계수)는 배수 관주변의 수리전도도 및 수두분포, 여과제 부설 두께 및 수리 전도도, 스크린 개공수 등의 배수관 여과력 등에 따라 그 크기 가 달라진다. 본 연구에서는 단위길이당 배수전도계수값이 가장 아래층인 3층 수리전도도 값과 같다고 가정하였다.

샌드댐 제체내 수위가 일정 높이를 넘어가면 샌드댐 밖으로 자연 방류되로록 1층에 위어(weir)가 설치되며, 이를 모사하 기 위해서 배수관과 마찬가지로 DRN 패키지를 이용하였다. 계산 수위와 위어 높이차에 비례하여 위어 방류가 되도록 하 였고, 위어의 등가전도계수 C_w (이하 위어전도계수)는 배수 관에서처럼 단위길이당 위어전도계수가 가장 윗층의 1층 수 리전도도 값과 같다고 가정하였다.

샌드댐 채움재의 수리특성에 따른 배수량 변화를 분석하 기 위해서 층별로 수리전도도 값과 저류계수 값을 바꿔가며 지하수 모의를 수행하였다. 자유면/피압대수층인 2층과 3층 의 수리전도도는 10, 20, 50, 100, 150, 200 m/d의 값을 사용하

EL. 298.1 m의 지연고를 가지는 자유현대적 김 2개층(2 layer, 3 layer)은 각각 0.8 m 두께를 Weir 1 layer K₁ = 5000, 10000, 20000, 50000 m/d







Fig. 3. Discretization of sand dam domain

였고, 자유면 조건일 때 비산출율은 0.2, 0.3, 0.4의 3가지로, 피압조건일 때는 저류계수는 비산출률 보다 100배 작은 0.002, 0.003, 0.004의 값을 사용하였다. 최상부층인 1층은 모래층 위로 ponding되어 개수로가 되었을 때를 모사하기 위해 가상 의 층을 설정한 것으로 수리전도도 값을 매우 큰 값인 5000, 10000, 20000, 50000 m/d, 저류계수를 1.0의 값을 부여하였다. 이와 같이 수리전도도와 저류계수(비산출율) 값 조합에 따라 총 432 가지 조건에 대해 샌드댐의 배수량을 모의 분석하였다.

기존 취수원내 수위가 일정 수위를 넘으면 월류되어 샌드 댐으로 유입된다. 2020년 3월 중순부터 기존 취수원내 수위 를 1시간 단위로 자동관측하였고, 이를 월류량으로 환산하여 샌드댐 유입량 경계조건으로 부여하였다. 샌드댐 유입량은 MODFLOW의 RCH 패키지(ReCHarge Package)를 이용하 여 샌드댐 유입부에서 거리에 반비례하여 활성 최상부층 셀에 분포시켜 입력하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 채움재 수리특성에 따른 배수량 평가

2020년 3월 중순부터 2022년 3월 중순까지 약 2년 동안의 유입량 조건에 대해 채움재의 수리전도도와 저류계수 값 조건 에 따라 반복 모의를 수행하였으며, 각각의 경우에 대해 유공배 수관을 통해 배수되는 방류량을 산정하였다. 일례로 Fig. 4는 비산출률 0.2(저류계수 0.002)이고, 1층의 수리전도도 K1 = 5000 m/d, 2층의 수리전도도 K2 = 10 m/d, 3층의 수리전도도 K3 = 10 m/d 일 때의 방류량 모의치(Drain)를 유입량(Inflow) 과 함께 도시한 것이다. 기존 취수조에서 잉여수량이 발생하 지 않아 신설 샌드댐으로의 월류량이 없어 유입량이 zero인 경우도 보인다. 7~8월 우기에 비가 많이 내렸지만 지체되어 9월 이후에 유입량이 많으며, 2월 유입량이 가장 작다. 그림에 서와 같이 유공관을 통한 방류량은 30톤 규모의 물탱크로 집 수되어 민가에서 활용되는 것으로 이 양이 많고 단속적이지 않을 때 물공급 측면에서 유리한 것이다. 유입량은 zero 이지 만 제체내 저류효과로 배수관 방류량은 zero 보다 큰 값을 나 타내고 있으며, 이는 중단없이 지속적으로 물공급이 가능함을 의미한다. 모의기간동안 배수관을 통해 연평균적으로 전체 유입량의 8.4%인 255.7 m³/d 만큼의 물 공급이 가능하고, 동 절기 1-2월에 평균적으로 69.6 m³/d 만큼 공급 가능한 것으로 분석되었다.

Fig. 5는 비산출률 0.4(저류계수 0.004)이고, 1층의 수리전 도도 K1 = 5000 m/d, 2층의 수리전도도 K2 = 50 m/d, 3층의 수리전도도 K3 = 50 m/d 일 때의 배수관을 통한 방류 수문곡선 을 나타낸 것이다. 연평균적으로는 전체 유입량의 21.8%인 666.1 m³/d 만큼, 1-2월 평균은 177.5 m³/d 만큼 배수관을 통 해 방류되는 것으로 모의되어 Fig. 4 조건에 비해 채움재의 투 수성 증가로 배수관을 통한 방류량이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 첫 번째층의 수리전도도가 5000 m/d 이고 두 번째 및 세 번째 층의 비산출율(저류계수)이 0.2(0.002) 일 때 두 세 번째 층의 수리전도도값에 따른 배수관을 통한 연평균 방류량 및 유입량에 대한 상대비를 나타낸 것이다. 방류량이 클수록 물공급 측면에서 유리하고, 유입량에 대한 방류량의 비율이 크다는 것은 위어방류를 통한 잉여수량을 줄여 더욱 효과적인 시설임을 의미한다. 전반적으로 수리전도도가 증가할수록 방 류량과 그 비율이 증가하고 있다. 그러나, 2층의 수리전도도 가 10 m/d로 상대적으로 가장 낮은 경우에는 3층의 수리전도 도가 증가할수록 방류량이 증가하다가 다시 작아지는 특이한 양상을 보이고 있다. 이는 3층의 투수성과 배수관의 배수계수 값이 커서 3층으로의 순유입에 비해 빠른 배수로 인해 수위가 낮게 유지된데서 기인한 것으로 판단된다. 2층 수리전도도가 100 m/d 이상에서는 3층 수리전도도 증가에 따른 양상이 비슷 하다. 따라서 2층 수리전도도를 100 m/d를 넘게 하고 가급적



Fig. 4. Simulated drain rates from sand dam (K1 = 5000 m/d, K2 = 10 m/d, K3 = 10 m/d, Sy1 = 1.0, Sy2 = 0.2, S2 = 0.002, Sy3 = 0.2, S3 = 0.002)



Fig. 5. Simulated drain rates from sand dam (K1 = 5000 m/d, K2 = 50 m/d, K3 = 50 m/d, Sy1 = 1.0, Sy2 = 0.4, S2 = 0.004, Sy3 = 0.4, S3 = 0.004)



Fig. 6. Simulated mean drain rates from sand dam according to hydraulic conductivities of 1st and 2nd layers (K1 = 5000 m/d, Sy2 = 0.2, S2 = 0.002, Sy3 = 0.2, S3 = 0.002)

3층 수리전도도를 크게 하는 것이 물공급 측면에서 유리하다 할 수 있다. K3 = 10 m/d와 같이 K3가 클수록 방류량의 편차가 증가하고 있다. Fig. 5에서 K2 = 2 m/d, K3 = 5 m/d 일 때 방류 량은 415 m³/d, K2 = 5 m/d, K3 = 2 m/d 일 때 방류량은 254 m³/d, 그리고 K2 = 1 m/d, K3 = 10 m/d 일 때 방류량은 460 m³/d, K2 = 10 m/d, K3 = 1 m/d 일 때 방류량은 144 m³/d 로 산정되는 등 상대적으로 3층 수리전도도가 그 위의 2층 수리



Fig. 7. Simulated mean drain rates from sand dam according to hydraulic conductivities of 2nd and 3rd layers (K1 = 5000 m/d, Sy2 = 0.4, S2 = 0.004, Sy3 = 0.4, S3 = 0.004)

전도도 보다 클 때 배수량이 더 증가하여 물공급 측면에서 더 유리한 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 Fig. 6에 비해 비산출률(저류계수)를 2배 증가시켰 을 때의 결과로서 Fig. 6과 양상이 거의 비슷하며, 저류성이 증 가했음에도 불구하고 평균적인 방류량의 증가는 미미한 것으 로 나타났다. 따라서 배수관의 연평균 방류량은 저류계수보 다는 수리전도도 값에 보다 더 민감한 것으로 평가되었다.





3.2 가상층 수리특성에 따른 배수량 평가

샌드댐으로의 과다한 유입량으로 인해 모래 채움재의 저 류능력을 초과(ponding)하여 모래층 위로 개수로 형태의 수 면이 형성될 수 있다. 이 경우 샌드댐 상단부에 위어부를 설치 하여 배수관을 통해 방류되지 못하고 남는 잉여수량을 방류하 게 된다. 이러한 양상을 모사하기 위해서 투수성과 저류성이 매우 큰 가상의 최상부층을 설정하였으며, 일정 수위를 넘으 면 위어를 통해 방류되도록 DRN 패키지로 배수경계조건을 부여하였다. 위어의 단위길이당 배수계수는 가상층의 수리 전도도값과 같다고 가정하였다.

Fig. 8은 가상층 1층의 수리전도도 값과 2층과 3층의 수리 전도도 값에 따른 배수관의 연평균 방류량을 나타낸 것으로, Fig. 8(a)는 K1 = 5000 m/d, Fig. 8(b)는 K1 = 10000 m/d, Fig. 8(c)는 K1 = 20000 m/d, 그리고 Fig. 8(d)는 K1 = 50000 m/d 일 때의 결과이다. K2 = 10, 20 m/d 과 같이 상대적으로 작은 경우를 제외하고는 K3가 증가할수록 배수량이 증가하는 양

Table 1. Decrease rates relative to the results for the case of K1 = 5000 m/d

K1 = 10000 m/d						
K2 K3	10	20	50	100	150	200
10	15.8	15.3	15.7	15.7	14.5	14.8
20	16.7	20.7	14.7	15.1	15.0	20.2
50	18.3	21.9	13.6	13.7	13.6	13.5
100	20.5	30.8	14.0	12.0	11.7	11.8
150	32.5	41.6	13.6	11.2	11.1	10.4
200	25.2	62.5	13.2	10.8	9.8	9.3
K1 = 20000 m/d						
K2 K3	10	20	50	100	150	200
10	25.6	24.7	25.2	23.6	22.2	15.1
20	30.0	25.8	23.9	25.1	23.6	23.0
50	29.7	28.6	23.3	22.6	22.5	22.3
100	48.7	36.6	24.0	20.8	20.1	19.9
150	72.8	54.6	25.2	20.1	18.8	17.8
200	47.2	76.0	25.3	19.9	17.4	16.9
K1 = 50000 m/d						
K2 K3	10	20	50	100	150	200
10	34.9	32.1	31.5	31.3	30.7	30.5
20	42.5	34.2	28.5	31.1	28.0	27.1
50	61.2	44.6	31.9	29.5	29.6	29.2
100	77.8	83.4	36.7	29.3	27.4	26.6
150	82.7	85.7	43.0	29.7	26.6	24.9
200	43.7	85.3	43.8	29.0	26.5	23.6

상은 유사하며, 전반적으로 K1이 증가할수록 배수관 방류량 이 작아지고 있다. Table 1은 K1 = 5000 m/d를 기준으로 이에 비해 K1 이 2, 4, 10배 증가함에 따라 연평균 배수관 방류량 감 소율을 나타낸 것이다. 각각 9.3 - 62.5% (평균 17.8%), 15.1 -76.0% (평균 28.3%), 27.1 - 85.7% (평균 39.8%) 만큼 감소하 는 것으로 분석되었다. K1 증가율에 비해 방류량 감소량의 폭 은 둔화되지만 K1이 커짐에 따라 상대적으로 방류량이 줄어 드는 양상은 명확하게 나타났다. 즉, K1 증가는 가상층을 통한 위어 방류량의 증가 및 채움재 충진 감소를 초래하며 결국 배 수관 방류량의 감소로 이어짐을 의미한다. K2 가 상대적으로 작을 때 K3 증가에 따라 배수량이 증가하다 다시 감소하기 시 작하는 K3 임계점도 K1이 클수록 채움재로의 순유입 감소로 인해 작아지는 것으로 나타났다. 샌드댐내 수위가 모래층 위 에 형성된 개수로 흐름을 수리전도도가 매우 큰 가상의 지하 수층으로 모사하였기 때문에 관측수위와 모의수위의 적합과 정을 통해 적절한 K1의 값을 산정해야 할 것이다.

4. 결 론

춘천 물로리 지역은 지방상수도가 보급되지 않은 물복지 소외지역으로 복류수 및 지하수를 수원으로 하는 소규모 급수 시설로 마을에 물을 공급하고 있다. 가뭄시 물부족 문제를 해 결하고 증가하는 물수요에 대비하기 위해 계곡에 연하여 샌드 댐을 설치하였으며, 2022년 5월부터 이 시설을 운영하고 있 다. 본 연구에서는 2020년 3월 중순부터 2022년 3월 중순까지 약 2년 동안의 유입량 조건에 대해 채움재의 수리전도도와 저 류계수값 조건에 따라 반복 모의를 수행하였으며, 각각의 경우 에 대해 유공배수관을 통해 배수되는 방류량을 산정하였다. 전반적으로 수리전도도가 증가할수록 방류량과 그 비율이 증 가하나. 2층의 수리전도도가 상대적으로 가장 낮은 경우에는 3층의 수리전도도가 증가할수록 방류량이 증가하다가 다시 작아지는 특이한 양상을 보였다. 이는 3층의 투수성과 배수관 의 배수계수 값이 커서 3층으로의 순유입에 비해 빠른 배수로 인해 수위가 낮게 유지된데서 기인한 것으로 판단된다. 샌드 댐내 수위가 모래층 위에 형성된 개수로 흐름을 수리전도도가 매우 큰 가상의 지하수층으로 모사하였으며, 가상층 수리전 도도 증가율에 비해 방류량 감소량의 폭은 둔화되지만 가상층 수리전도도가 커짐에 따라 상대적으로 방류량이 줄어드는 양 상은 명확하게 나타났다. 이와 같은 결과는 차후 다른 지역의 샌드댐 설계시 활용할 수 있는 민감도 분석 결과로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수 요대응형 물공급 서비스사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (과제번호 146525).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Aerts, J., Lasage, R., Beets, W., de Moel, H., Mutiso, G., Mutiso, S., and de Vries, A. (2007). "Robustness of sand storage dams under climate change." *Vadose Zone Journal*, Vol. 6, No. 3, pp. 572-580.
- Hoogmoed, M. (2007). Analyses of impacts of a sand storage dam on groundwater flow and storage: groundwater flow modeling in Kitui district, Kenya. Master Thesis, VU University Amsterdam, pp. 20-28.
- Kim, G.B., Chung, I.-M., and Ha, G. (2020). "GW-SMART research project." *Water Journal*, July, 2020, pp. 32-39.
- Lasage, R., Aerts, J., Mutiso, G.C.M., and de Vries, A. (2008). "Potential for community based to droughts: sand dams in Kitui, Kenya." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 33, No. 1-2, pp. 67-73.
- McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. (1988). A modular threedimensional finite-difference ground-water flow model. Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, U.S. Geological Survey, Reston, VA, pp. 1-588.
- Quilis, R.O., Hoogmoed, M., Ertsen, M., Foppen, J.W., Hut, R., and de Vries, A. (2009). "Measuring and modeling hydrological processes of sand-storage dams on different spatial scales." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Vol. 34, No. 4-5, pp. 289-298.
- Quinn, R., Rushton, K., and Parker, A. (2019). "An examination of the hydrological system of a sand dam during the dry season leading to water balances." *Journal of Hydrology X*, Vol. 4, 100035.
- Yifru, B., Kim, M.G., Chang, S.W., Lee, J., and Chung, I.M. (2018). "Numerical modeling of the effect of sand dam on groundwater flow." *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, No. 4, pp. 529-540.