

춘천 서상리 계곡부 샌드댐 설치를 위한 수문학적 예비 설계

정일문* · 이정우**

Chung, Il-Moon*, Lee, Jeongwoo**

Preliminary Hydrological Design for Sand Dam Installation at the Valley of Seosang-ri, Chuncheon

ABSTRACT

Sand dams are structures that can be used as auxiliary water resources in case of drought as sand accumulates due to barriers crossing valley rivers and valley water is stored in the voids, increasing the water level. This structure, which is mainly used in arid regions such as Africa, has not been installed in Korea. In Korea, there are only a few cases where water is taken from debris barriers that prevent debris flow. The purpose of this study is to evaluate the effect of water supply when the sand dam is installed downstream of the existing intake barrier in Seosang-ri valley, Chuncheon. For this purpose, modeling was performed by linking the basin hydrologic model and reservoir routing model. Changes in the water level, storage and discharge in the sand dam reservoir according to the size and intake of the sand dam are presented on a case-by-case basis. As a result of application, it was found that the water supply capacity due to the sand dam installation was improved at 95% reliability. Especially, when the size is $L \times B \times H_o = 25 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ and the pumping rates from intake barrier and sand dam are $(Q_1, Q_2) = (30, 20), (35, 15) \text{ m}^3/\text{day}$, the efficiency was the best for water supply of $50 \text{ m}^3/\text{day}$.

Key words : Sand dam, SWAT, Long term discharge, Reservoir routing

초 록

샌드댐(Sand dam)은 계곡하천을 가로지르는 보에 의해 모래가 쌓이고 그 공극속으로 계곡수가 저장되어 수위가 높아지면서 가뭄때 보조 수자원으로 활용토록 하는 구조물이다. 주로 아프리카 지역 등 건조지역에서 활용되는 이 구조물은 우리나라에는 설치된 사례가 없으며 계곡토석류를 방지하는 일부 사방댐에서 취수를 하는 경우는 찾아볼 수 있다. 본 연구에서는 춘천 서상리 계곡부를 대상으로 기존 취수보 하류부에 샌드댐을 설치하였을 때 물공급 효과를 평가하고자 한다. 이를 위해 유역수문모형과 저수지 추적 모형을 연계한 모델링을 수행하였으며 샌드댐의 규모와 취수량 등에 따른 댐체 내의 수위, 저류량, 방류량의 변화를 케이스별로 제시하였다. 적용 결과 샌드댐 설치로 인한 물공급 능력이 95% 신뢰도에서 제고되는 것을 알 수 있었다. 특히 하루 50톤의 물공급을 목표로 하였을 경우 $L \times B \times H_o = 25 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 규모로 설치하고, 상류 취수보와 하류 샌드댐 취수량을 $(Q_1, Q_2) = (30, 20), (35, 15) \text{ m}^3/\text{day}$ 로 운영할 때가 가장 효율적인 것으로 나타났다.

검색어 : 샌드댐, SWAT, 장기유출량, 저수지 유출추적

1. 서론

샌드댐(Sand dam)은 중소규모의 모래하천에 설치된 횡단구조물로 유송토사를 축적하고 그 공극속에 물이 저장되어 가뭄시 이를 사용하기 위해 건설된다(Sivils and Brock, 1981). 샌드댐을 설치하게 되면 흐름에 저항이 일어나 유속이 감소하고 이로 인해 조립질

* 정희원 · 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 선임연구위원 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · imchung@kict.re.kr)

** 종신희원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 연구위원

(Corresponding Author · Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology · lhw2961@kict.re.kr)

Received October 10, 2019/ revised October 23, 2019/ accepted October 30, 2019

하상토사가 제체상류부에 퇴적되고 이로써 하상이增高되어 댐높이에 이르게 된다. 이처럼增高된 하상의 공극속으로 지하수가 저장되도록 인위적 함양을 유도하는 것이 이 구조물의 목적이라고 할 수 있다(Hoogmoed, 2007). 이러한 목적에 부합하려면 가장 중요한 것이 위치선정인데 특히 자연적인 물의 흐름을 크게 방해해서는 안되는 친환경성이 중요하고 하류부의 침식이 가중되거나 댐체가 홍수로부터 안전해야 하며(Ryan and Elsner, 2016), 이수효과를 고려하여 저류용량을 확보하는 등 적절한 규모로 설계·시공되어야 한다.

이러한 샌드댐에 저장된 물은 증발로부터 보호되고 겨울철의 결빙으로부터도 일부 보호될 수 있어 전천후 물공급이 가능하다는 장점을 가진다. 저장되는 물은 우기의 잉여수로 채워지며 채워진 물이 갈수시에 활용됨으로써 효율적인 물이용이 가능하다. 증발로부터 자유롭다는 장점 때문에 아프리카지역의 케냐 등 반건조 및 건조지역에 주로 활용된다(Sivils and Brock, 1981). 또한 장기간 저장된 물은 채워진 모래의 높이와 직접적인 관련이 있으며 모래의 비산출율은 저장된 인공지하수의 정량적 평가에 매우 중요하다(Hanson and Nilsson, 1986). 현재까지 밝혀진 모래의 물 저장능력은 최대 40 %로 알려지고 있으며 모래를 통해 여과된 물을 이용하게 되면 특별한 처리 없이도 오염으로부터 안전한 물을 생활용, 관개용으로 사용할 수 있다는 장점 또한 보유하고 있다(Ertsen and Hut, 2009; Hatem, 2016). 국내에서는 차수 및 저류를 위한 제체를 지하 땅속에 설치한 지하수댐을 운영하거나 사방댐을 소규모 수자원공급시설로 개조하여 활용한 일부 사례가 있으나, 전형적인 샌드댐의 설계, 시공, 운영 사례가 전무하다.

본 연구에서는 춘천 서상리지역을 대상으로 샌드댐의 저류용량을 설계하고 수자원 확보효과를 분석하기 위해서 유역수문모형 SWAT-K (Kim et al., 2009)로 모의한 장기유출량과 방류구, 위어 등을 고려한 저수지 유출추적을 수행하고자 한다. 이때 샌드댐의 형태, 규모, 취수량 조건 등에 따른 댐내 수위, 저류량, 방류량 등의 변화를 분석하여 설치 부지에 대한 적정 설계 인자를 도출하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상 유역

샌드댐 설치 검토지역은 춘천시 서면 서상리 일대(Fig. 1)로 직선형 V자 계곡으로 이뤄져있으며, 다른 후보지에 비해 유역면적(2.39 km²)이 넓고 하천연장(1.1 km)이 길어 저류 및 취수에 유리한 지역이다. 또한 계곡수를 음용수로 활용하고 있어 수질도 매우 양호한 편이다. 주변 여건은 가덕산(해발 858 m) 등 산악지형에 둘러쌓여 특이한 오염원은 없으며, 댐 후보지 하류에 규모가 큰

산매저수지가 위치한다(Chung et al., 2018). Fig. 1과 같이 최초 샌드댐 설치 후보지점 3개소를 선정하였고, 현장 시공성, 국유지 활용성, 수질 등을 고려하여 우선적으로 Site 1에 설치하는 것으로 계획하였다.

2.2 SWAT-K 모형의 구축

샌드댐의 적정 규모를 결정하기 위해서는 장기간의 유량 자료를 바탕으로 유입량, 방류량, 저류량 등의 변화를 분석해야 한다. 샌드댐 설치 지역은 유량 관측자료가 없기 때문에 유역수문모형 SWAT-K를 이용하여 장기간 유량 자료를 모의, 생성하였다.

SWAT-K 모형은 미국 농무성에서 개발된 SWAT 모형(Arnold and Fohrer, 2005)을 우리나라 유역에 적합하도록 국내 통양통 DB 탑재, 유출량 모의 구조 개선, 다른 모형과의 결합 등을 통해 수정한 한국형 유역수문모형이다(Kim et al., 2008; Kim et al., 2009). 모형의 기능으로 증발산량, 지표면유출량, 침투량, 중간

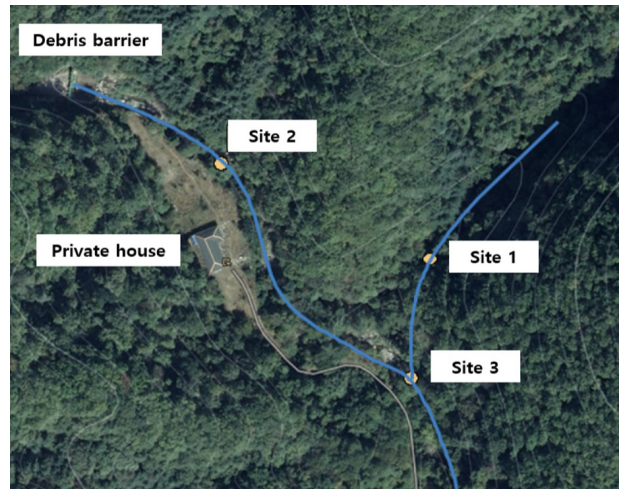


Fig. 1. Study Area (Chung et al., 2018)

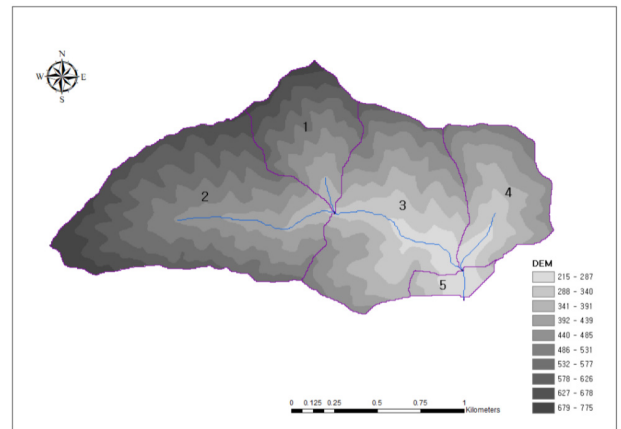


Fig. 2. DEM and Catchment Delineation for Study Area

및 지하수유출량, 함양량 등의 수문성분량뿐만 아니라, 유사량, 비점오염부하량도 모의할 수 있다. 또한 토지이용도와 토양도를 중첩하여 생성한 HRU (Hydrologic Response Unit)를 수문 연산의 기본 단위로 하는 준분포형모형이기 때문에 유역의 비균질적인 공간 특성을 반영할 수 있는 장점이 있다. HRU별로 계산된 지표면 중간, 지하수 유출량은 지체를 고려하여 해당 소유역 주하도로 유입되고 분할된 소유역에 따라 하도 유출추적과정을 거쳐 유역출구까지의 하천유출량이 산정된다.

모형의 구동을 위해서는 수치표고모델(DEM), 토지피복도, 토양도 등의 공간정보자료와 강우량, 기온, 습도, 풍속 등의 기상자료가 필요하다. 수치표고모델은 Fig. 2와 같이 수치지도로부터 5 m × 5 m 격자크기로 가공하여 구축하였고, 토지피복도는 환경부에서 제공하는 1:25,000의 중분류 토지피복도를 이용하였으며, 토양도는 국립농업과학원에서 제공하는 1:25,000의 정밀토양도를 이용하였다. 소유역은 지형고도와 계곡합류부 등을 고려하여 5개로 분할하였다. 토지피복은 계곡부를 제외하고 전지역이 혼효림으로 구성되었다. 토양통은 외산토양통이 77.8 %로 분포하는 것으로 나타났으며, 이어서 덕산 21.3 %, 춘천 0.9 %를 차지하는 것으로 나타났다. 기상자료는 대상유역 인근에 위치한 춘천 기상대와 가평 북면 기상대 자료를 이용하여 2010년 1월부터 2019년 5월까지 구축하였으며, 티센망을 구축하여 소유역별로 일단위로 입력하였다. 공간정보 및 기상자료에 관한 자세한 사항은 Chung et al.(2018)의 논문을 참조할 수 있다.

2.3 저수지 유출추적 모형의 구축

샌드담 유입량과 방류량, 그리고 샌드담내 저수위 변화를 모의하기 위해서 Eq. (1)과 같은 저류방정식을 이용한 저수지 유출추적 모형을 구축하였다.

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (1)$$

여기서, S 는 샌드담내 저류량; t 는 시간; I 는 샌드담으로의 유입량이며, O 는 샌드담에서 배출되는 방류량으로 Eqs. (2)~(4)와 같이

웨어일류량 O_1 , 오리피스 방류량 O_2 , 취수량 O_3 의 합이다.

$$O = O_1 + O_2 + O_3 \quad (2)$$

$$O_1 = C_1 b h_0 \sqrt{2gh_0} \quad (3)$$

$$O_2 = C_2 A_2 \sqrt{2g(h - H_{or})} \quad (4)$$

여기서, b 는 광정웨어의 길이, 즉, 샌드담 횡방향 길이이고, h_0 는 광정웨어 상단부에서 수면까지의 거리, g 는 중력가속도, H_0 는 샌드담 높이, h 는 저수위로 샌드담 바닥으로부터 수면까지의 거리로 h_0 와 H_0 의 합이며, H_{or} 은 샌드담 바닥으로부터 오리피스 중심까지의 거리이다. C_1 은 광정웨어계수로 완전월류인 경우 Eq. (5)와 같으며, C_2 는 샌드담 방류구인 오리피스계수로 0.8의 값을 사용하였다.

$$C_1 = 0.31 + 0.23 \frac{h_0}{H_0} \quad (5)$$

Eqs. (3) and (4)와 같이 웨어 및 오리피스 방류량 모두 수위의 함수이고 샌드담 저류량 또한 수위의 함수이기 때문에 저류방정식 Eq. (1)을 미지수 h 에 대해 나타낼 수 있으며, 이를 시간에 대해 이산화하여 수치적으로 해를 구할 수 있다. 수위의 함수로 표현된 저류방정식이 음함수 형태이므로 Newton Rapson 방법을 이용하여 수치 근사해를 구하였다. 계산된 수위를 Eqs. (3) and (4)에 대입하여 웨어일류량, 오리피스 방류량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모형의 검보정

대상유역 출구부에서 2018년 9월부터 월 1회 측정된 유출량 자료를 이용하여 모형의 검보정을 수행하였다. 모의유량과 관측유량을 적합시키기 위해서 증발보상계수 ESCO, 증산보상계수 EPCO, 유출곡선지수 CN2, 함양지체계수 GWDELAY, 기저유출감수상

Table 1. Calibrated Model Parameters

Parameter	Definition	Default value	Used value
ESCO	Evaporation soil compensation factor	0.95	0.8
EPCO	Plant uptake compensation factor	1.0	0.1
CN2	AMC-II runoff curve number	-	-10 %
GWDELAY	Delay of groundwater recharge	31	6.1
ALPHABF	Baseflow recession constant	0.048	0.017
CH_N	Manning's n value	0.014	0.028

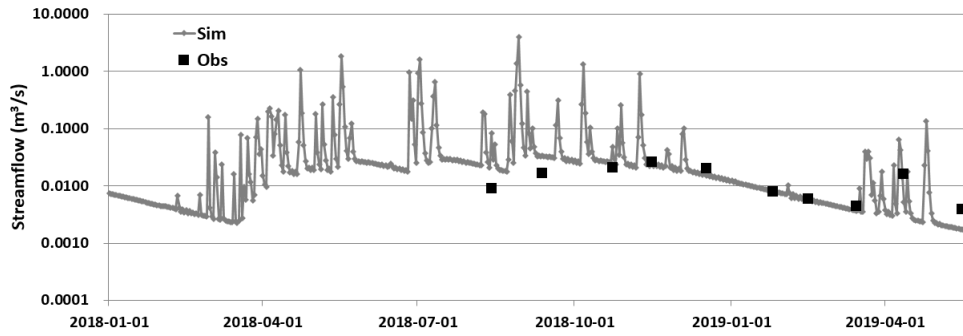
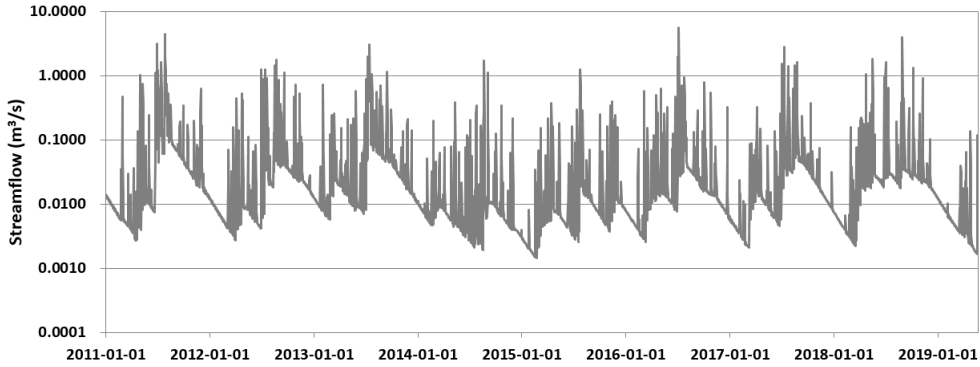
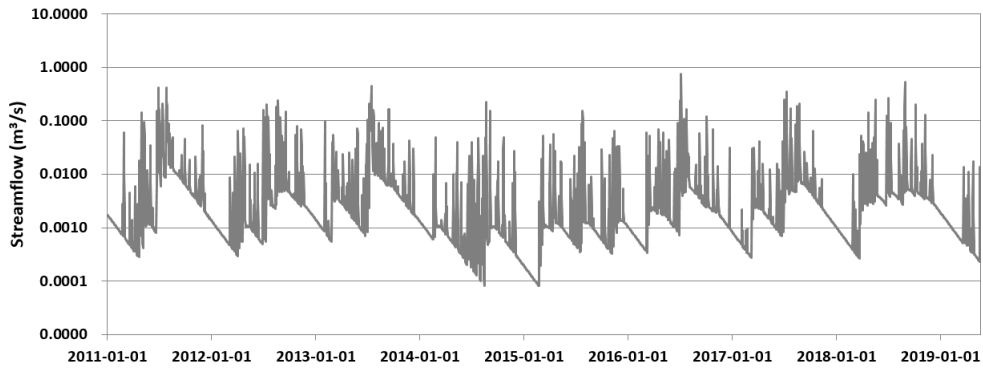


Fig. 3. Comparison of the Simulated and Observed Streamflows



(a) Catchment Outlet



(b) Sand Dam Site

Fig. 4. Simulated Long-Term Streamflow

수 ALPHA_BF, 하도의 조도계수 CH_N 등을 Table 1과 같이 보정하였다.

Fig 3은 일단위로 모의한 유출량과 월 1회 측정된 관측 유출량을 함께 도시한 것으로 모의치가 관측치에 비교적 잘 적합하고 있으며 특히 갈수기 모의 능력이 우수한 것을 확인할 수 있다. 관측 횟수가 작지만 관측값과 모의값간의 통계적 적합성(홍수기 첫번째 관측결과 제외)을 평가해보면, 상대제곱근오차(Relative Root Mean Square Error, RRMSE)가 약 20 %로 검보정 결과가 양호한 것으로 분석되

었다. 모형 검증을 위해서 지속적인 유량관측을 통해 통계적 표본 확충이 필요할 것이다.

3.2 유황 특성

유역 출구지점과 샌드댐 설치지점에서의 2011년 1월부터 2019년 5월까지 모의한 유출량을 Fig. 4와 같이 나타내었고, 갈수량(355일), 저수량(275일), 평수량(185일), 풍수량(95일)의 유황 특성과 평균, 최저, 최대 유량을 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Characteristics of Simulated Flow

Flow	Sand dam site		Outlet of study area	
	m ³ /s	t/d	m ³ /s	t/d
Abundant (95d)	0.0051	439.0	0.0369	3184.5
Normal (185d)	0.0020	170.1	0.0146	1258.6
Low (275d)	0.0009	73.1	0.0070	607.5
Drought (355d)	0.0002	18.0	0.0026	226.3
Avg	0.0101	868.1	0.0727	6284.2
Min	0.0001	7.0	0.0014	124.5
Max	0.7654	66132.4	5.6255	486043.7

모의기간동안 유역 출구지점에서의 평균유량은 0.0727 m³/s, 최저유량이 0.0014 m³/s로 산정되었으며, 샌드댐 설치지점에서는 이보다 각각 7.2배 및 17.9배 작은 평균유량 0.0101 m³/s, 최저유량 0.0001 m³/s로 산정되어 평균유량은 소유역 면적비를 따르고 있으나 극히 작은 유량은 비유량에 있어 큰 차이를 나타내고 있다. 비유량의 차이는 유역 상류부의 급한 경사로 인해 지표 및 중간유출 성분이 차지하고 있는 비율이 크기 때문인 데서 기인하는 것으로 보인다. 유황 특성으로 유역출구지점의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량은 각각 0.0369 m³/s, 0.0146 m³/s, 0.0070 m³/s, 0.0026 m³/s로 산정되었다. 반면에 샌드댐 설치지점에서는 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 각각 0.0051 m³/s, 0.0020 m³/s, 0.0009 m³/s, 0.0002 m³/s로 산정되어 유역출구에 비해 풍수량과 평수량은 약 7.3배 작고, 저수량은 8.4배, 갈수량은 12.6배 작으며 갈수량에 가까울수록 상대비를 차이가 커지는 것으로 분석되었다. 특히 샌드댐 설치지점의 자연상태 갈수량이 0.0002 m³/s (18 t/d)로 서상리 일대 용수수요량 약 35 t/d (346 l / 일×100인)을 만족시키는데 한계가 있으며, 최소유량 0.0008 m³/s (7 t/d)이 발생했던 2015년처럼 가뭄이 심할 경우에는 더욱 더 물부족 현상이 발생할 수 있다. 모의기간 3,063일 동안 일일 35 t/d의 물공급을 만족하지 못하는 날짜수는 257일로서 물공급 신뢰도가 약 84 %이다. 연구대상지역의 물공급 신뢰도를 높이기 위해서는 샌드댐과 같은 저류시설물 구축이 필요하다.

3.3 샌드댐 적정 규모 선정

샌드댐 설치 후보지역은 계곡 상류부로 저류공간이 협소하고 경사가 급해 단일 취수구조물로는 저류량 확보가 어렵다. 따라서 계단형으로 2개의 취수구조물을 연속해서 계단식 구조로 설치하는 것이 저류효과 및 유로 굴착 등의 시공 측면에서 유리하며, 이에 따라 상류쪽 구조물은 기존 취수보의 규모를 늘리고 하류쪽 구조물은 샌드댐 형식으로 설계하였다. 즉, Fig. 5와 같이 제1 취수구조물은 채움재가 없는 취수보, 제2 취수구조물은 채움재가 있는 샌드댐이다.

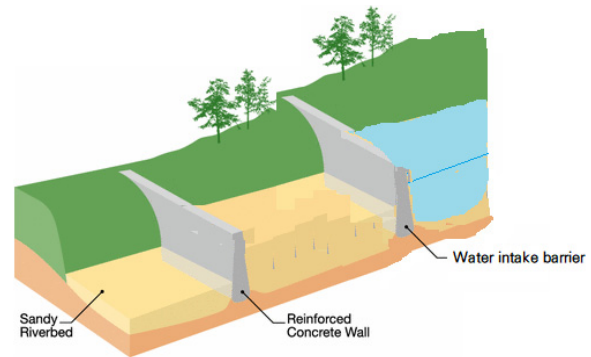


Fig. 5. Schematic Diagram for Multiple Sand Dam (Modified from Ryan and Elsner, 2016)

SWAT-K로 모의한 유량이 상류쪽 취수보로 유입되고, 이 유입량이 저수지 유출추적을 통해 방류되고 다시 이 방류량이 하류쪽 샌드댐으로 유입되어 취수보와 마찬가지로 저수지 유출추적을 통해 샌드댐내 수위와 방류량이 산정된다. Fig. 6은 취수보와 샌드댐 제원으로 길이 5 m, 폭 5 m, 높이 1 m이고, 샌드댐에서만 35톤/일을 취수하였을 경우 2018년 10월 1일부터 2019년 5월 18일까지 모의한 샌드댐내 유입량과 방류량, 그리고 수위 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 샌드댐 취수로 인해 점차 수위가 낮아져 방류량 또한 감소하고 있다. 특히 4월부터 유입량 감소 및 지속적인 취수 영향이 두드러지게 나타나고 있으며, 5월에 들어서면서부터 수위가 바닥까지 떨어져 목표 취수량 30톤/일을 만족할 수 없는 상태에 도달하고 있다. 따라서 취수 불가 또는 목표 취수량 불만족 일수를 파악하고 수문학적 설계인자를 도출하기 위해서 다양한 취수구조물의 제원 및 취수량 조건에 따른 저수지 유출추적 과정이 필요하다.

취수보-샌드댐의 적정 규모를 선정하기 위해서 폭, 높이, 길이 등의 구조물의 제원을 변경해가면서 물공급 신뢰도를 95 % 이상 만족할 수 있는지 평가하였다. 여기서 물공급 신뢰도는 분석기간 동안 물공급 계획량을 만족하는 비율이다. 물공급 신뢰도 분석에 기반하여 댐의 이수안전도 평가를 할 경우 일반적으로 분석 단위기간을 5일, 10일로 하고 있으나, 본 연구에서는 유역면적이 작고 유역반응시간이 짧기 때문에 물부족의 경향을 정밀하게 파악할 수 있도록 분석 단위기간을 1일로 설정하였다. 따라서, 전체 분석기간 2011년 1월1일부터 2019년 5월18일까지 총 3,063일 중에서 5 %인 153일(연간 약 18일)의 물공급 부족이 발생하는 95 %의 신뢰도를 기준으로 물수지 분석을 수행하였다.

취수구조물의 제원으로 흐름방향으로 길이 5, 10, 15, 20, 25, 30 m, 광정웨어폭 5, 10, 15, 20 m, 광정웨어상단고(취수보 및 샌드댐 높이) 1, 1.5, 2, 2.5, 3 m로 하여 각각의 조합에 따라 6 × 4 × 5 = 120가지 조건에 대해 저수지 유출추적을 수행하였다.

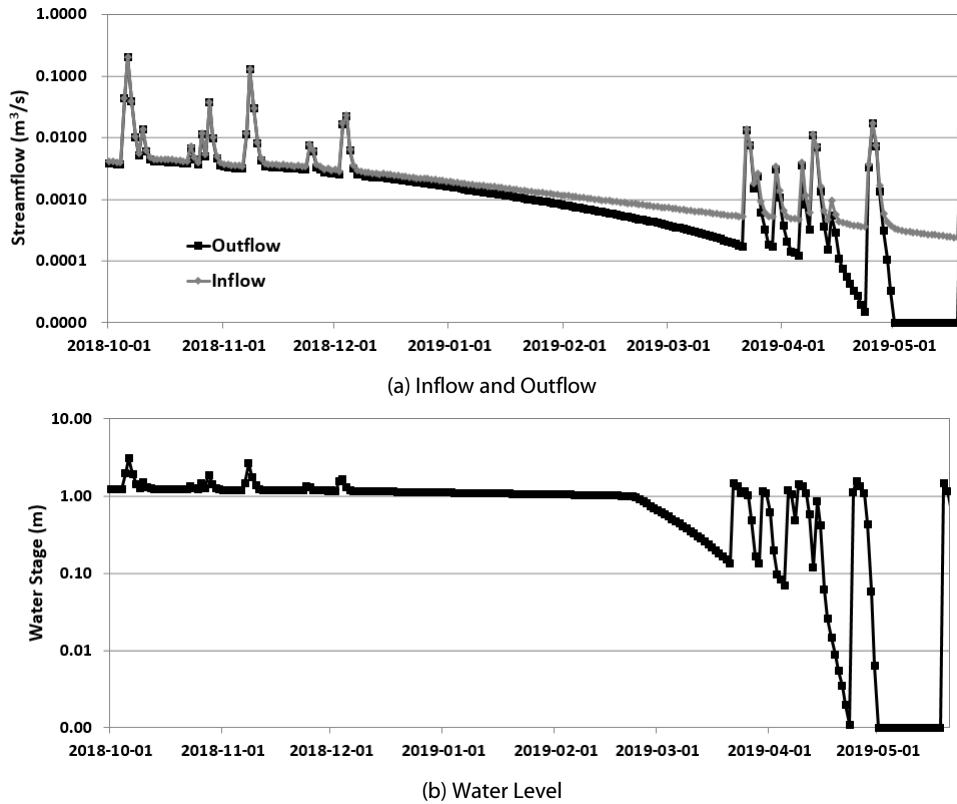


Fig. 6. Flow from/to Sand Dam ($L \times B \times H_0 = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, $Q_1 = 0 \text{ t/d}$, $Q_2 = 30 \text{ t/d}$)

그리고, 기타 제원으로 취수보 및 샌드댐 하부 방류구 직경은 0.1 m, 샌드댐 채움재 공극률은 0.3로 설정하였다. 연구대상지역의 물수요량은 35톤/일로 추정되었으나, 이를 포함하는 범위인 20 ~ 50톤/일까지 10톤/일 간격으로 4가지 취수계획량 조건을 부여하였고, 또한 5톤/일 간격으로 취수보와 샌드댐의 분할 취수도 고려하였다. 예를 들면, 취수계획량이 30톤/일인 경우 제 1 취수구조물인 취수보에서 10톤/일을 취수하면 나머지 제 2 취수구조물인 샌드댐에서 20톤/일 취수하는 것이다. 따라서 취수계획량이 20톤/일이면 취수보와 샌드댐에서 0+20톤/일, 5+15톤/일, 10+10톤/일, 15+5톤/일, 20+0톤/일로 5가지, 취수계획량이 30톤/일이면 마찬가지로 5톤/일 간격으로 7가지, 공급계획량이 40톤/일이면 9가지, 취수계획량이 50톤/일이면 11가지로 취수량 조건 32가지를 고려하였고, 여기에 구조물 제원 120가지 조건으로 하여 총 3,840 가지 경우에 대해 물수지 분석을 수행하였다.

취수보와 샌드댐의 제원 및 취수계획량에 따른 물공급 부족일수를 산정하여 Figs. 7~10에 나타내었다. 그림에서 가로축은 구조물 제원으로 L 은 길이, B 는 폭, H_0 는 높이이며, 세로축의 Q_1 과 Q_2 는 각각 취수보와 샌드댐의 취수량이다. 그리고, 취수계획량을 만족하지 못하는 날을 누가하여 산정한 물부족일수의 범위에 따라 청색과 적색 계열로 나타내었다. 물공급 신뢰도 95 % (약 150일)을

기준으로 150일보다 작아 신뢰도가 95 % 보다 높으면 청색 계열로 이하이면 적색 계열로 나타내었다. 즉, 이수안전도를 확보하면 청색으로 나타내었다.

Fig. 7은 취수계획량이 20톤/일인 경우 제원에 따른 물부족일수를 나타낸 것으로 Fig. 7(a)는 상류쪽 취수보에서의 물부족일수, Fig. 7(b)는 하류쪽 샌드댐에서의 물부족일수, Fig. 7(c)는 취수보 또는 샌드댐 어느 한 곳 이상에서 취수계획량 공급을 만족시키지 못한 일수를 나타낸 것이다. Fig. 7에서와 같이 제원 및 취수량 배분 조건에 상관없이 모든 경우에 대해 물부족일수가 150일 미만으로 이수안전도를 확보하고 있다. 구조물의 규모를 가장 작게 할 수 있는 가장 경제적인 조건은 $L \times B \times H_0 = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 인 것으로 분석되었다.

Fig. 8은 취수계획량이 30톤/일인 경우 제원에 따른 물부족일수를 나타낸 것으로 규모가 증가할수록 물부족일수가 감소하는 양상이 명확히 나타나고 있으며, 일부 제원을 제외하고는 취수량 조건 및 제원과 상관없이 물공급 신뢰도 95 %를 만족하고 있다. 규모 측면에서 가장 경제적인 조건은 $(Q_1, Q_2) = (0, 30)$ 톤/일로 샌드댐에서만 취수하고 $L \times B \times H_0 = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 인 경우이다. 그러나 이는 취수량 배분에 제약이 있다. 따라서 경제적 측면에서는 차순위이지만 취수량 배분이 보다 유연하고 높이를 최소화할 수

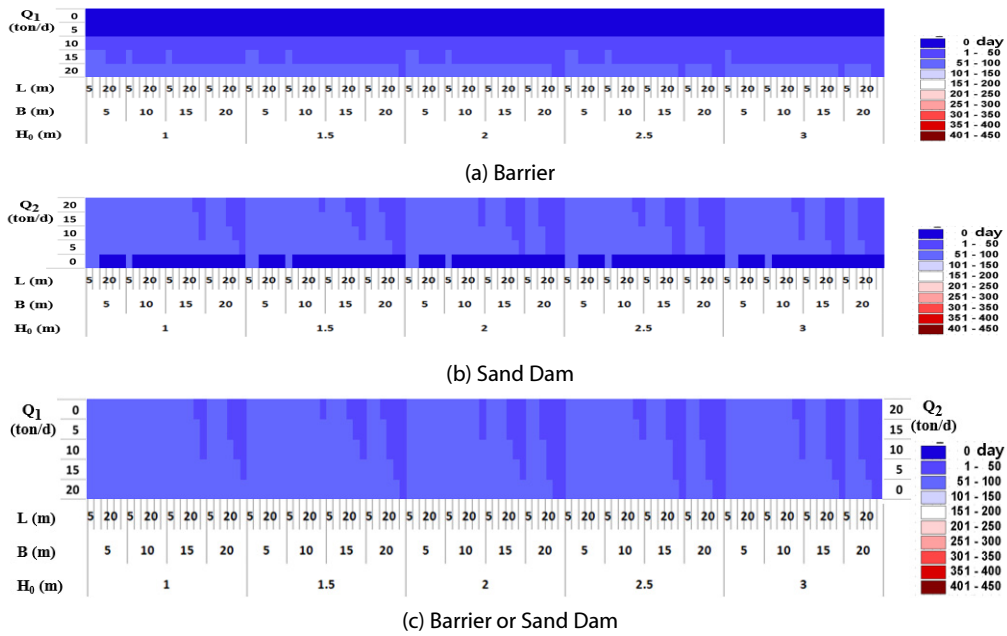


Fig. 7. Insufficient Days of Water Supply (Intake = 20 m³/day)

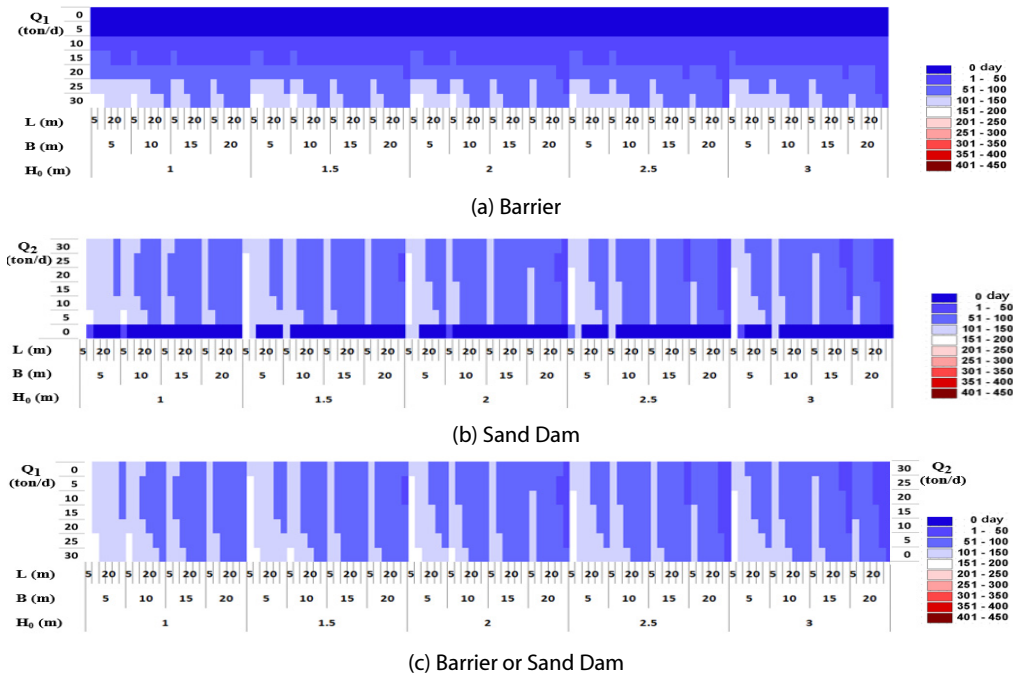


Fig. 8. Insufficient Days of Water Supply (Intake = 30 m³/day)

있는데 $(Q_1, Q_2) = (0, 30), (5, 25), (10, 20), (15, 15), (20, 10)$ 톤/일 일 때 $L \times B \times H_0 = 10 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1 \text{ m}, 5 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 인 조건이 보다 더 바람직한 것으로 분석되었다.

Fig. 9는 취수계획량이 40톤/일인 경우 제원에 따른 물부족일수를 나타낸 것으로 앞선 경우에 비해 물부족일수가 증가한 것을

확인할 수 있으며, 제체를 높게 하거나 높이가 1 m인 낮은 경우 폭 또는 길이를 충분히 길게해야 이수안전도를 확보할 수 있다. $L \times B \times H_0 = 30 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1 \text{ m}, 15 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 1 \text{ m}, 10 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 규모로 설치하고 취수량을 $(Q_1, Q_2) = (15, 25), (20, 20), (25, 15)$ 톤/일로 분배한 경우 경제적인 것으로 분석되었다.

춘천 서상리 계곡부 샌드담 설치를 위한 수문학적 예비 설계

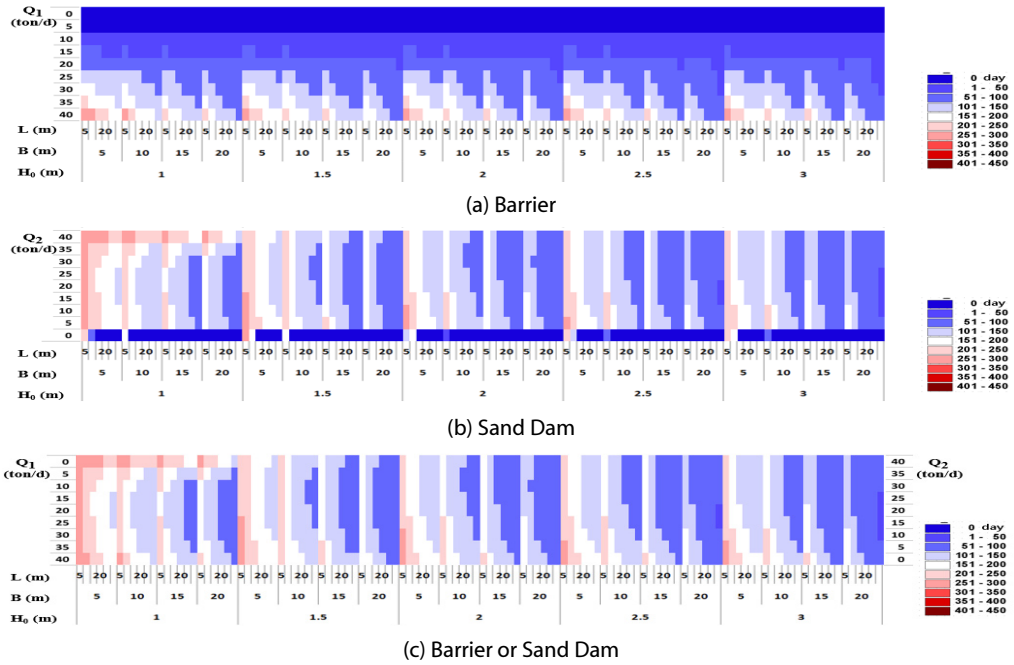


Fig. 9. Insufficient Days of Water Supply (Intake = 40 m³/day)

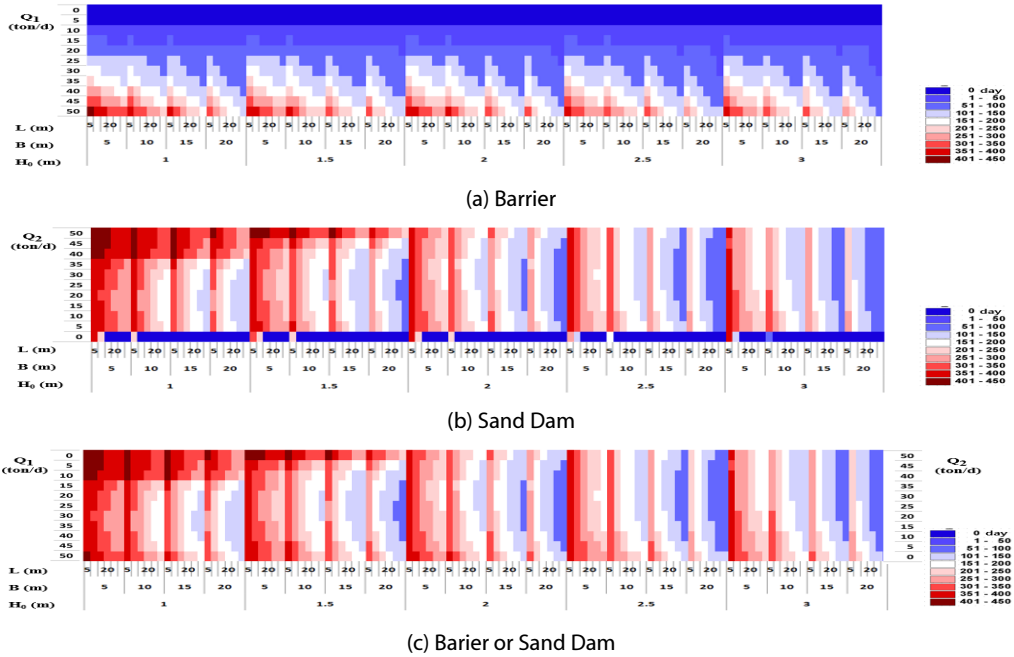


Fig. 10. Insufficient Days of Water Supply (Intake = 50 m³/day)

Fig. 10은 취수계획량이 50톤/일 때의 결과로서 과반수 이상 조건에서 이수안전도를 확보하지 못하는 것으로 나타났으며, 길이, 폭, 높이 모두 충분히 확보해야 취수계획량만큼의 물공급이 가능할 것으로 분석되었다. $L \times B \times H_0 = 25 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 규모로

설치하고 $(Q_1, Q_2) = (30, 20), (35, 15)$ 톤/일로 운영할 때 가장 경제적이며, 차순위로는 $(Q_1, Q_2) = (25, 25), (30, 20), (35, 15), (40, 10)$ 톤/일, $L \times B \times H_0 = 20 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 인 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 춘천 서상리 지역을 대상으로 샌드댐의 저류용량을 설계하고 수자원 확보효과를 분석하기 위해서 유역수문모형 SWAT-K로 모의한 장기유출량과 방류규, 위어 등을 고려한 저수지 유출추적을 수행하였다. 취수보-샌드댐의 적정 규모를 선정하기 위해서 폭, 높이, 길이 등의 구조물의 제원을 변경해가면서 물공급 신뢰도를 95 % 이상 만족할 수 있는지 평가하였다. 댐의 이수안전도 평가를 할 경우 일반적으로 분석 단위기간을 5일, 10일로 하고 있으나, 본 연구에서는 유역면적이 작고 유역반응시간이 짧기 때문에 불부족의 경향을 정밀하게 파악할 수 있도록 분석 단위기간을 1일로 설정하였다. 전체 분석기간 2011년 1월1일부터 2019년 5월18일까지 총 3,063일 중에서 5 %인 153일로 연간 약 18일의 물공급 부족이 발생하는 95 %의 신뢰도를 기준으로 하루 20-50 m³을 취수하는 경우에 대한 물수지 분석을 수행하여 취수보 및 샌드댐 제원에 따른 물공급 능력을 평가하였다. 길이 5~30 m, 폭 5~20 m, 높이 1~3 m 규모에 대해 물 공급 능력을 분석한 결과, 하루 20 m³ 취수시 모든 규모, 하루 30 m³ 취수시에는 길이 5 m, 폭 5 m, 높이 1 m를 제외한 모든 규모 조건에 대해 95 % 신뢰도를 만족하였다. 하루 40 m³에서 50 m³ 취수시에는 각각 약 전체 케이스의 3분의 2, 2분의 1 정도만 95 % 신뢰도를 만족하는 것으로 분석되었다. 각각의 취수 조건에서 신뢰도를 만족 하면서 규모를 가장 작게 하는 경제적 설계조건을 제시하였다. 결론적으로 물공급 능력은 취수보와 샌드댐의 연계 운영에 의해 주어진 신뢰도 범위에 제고될 수 있는 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 한국환경산업기술원의 수요대응형 물공급서비스 연구사업(과제번호: 146515)의 지원을 받아 연구되었습니다.

References

- Arnold, J. G. and Fohrer, N. (2005). "SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling." *Hydrological Processes*, Vol. 19, No. 3, pp. 563-572.
- Chung, I. M., Lee, J., Lee, J. E. and Choi, J. R. (2018). "The estimation of sand dam storage using a watershed hydrologic model and reservoir routing method." *The J. Eng. Geol.*, Vol. 28, No. 4, , pp. 541-552 (in Korean).
- Ertsen, M. and Hut, R. (2009). "Two waterfalls do not hear each other. Sand-storage dams, science and sustainable development in Kenya." *Phys. Chem. Earth*, Vol. 34, No. 1-2, pp. 14-22.
- Hanson, G. and Nilsson, A. (1986). "Ground-water dams for rural-water supplies in developing countries." *Ground Water*, Vol. 24, No. 4, pp. 497-506.
- Hatem, A. (2016). "Experimental investigation about the effect of sand storage dams on water quality." *J. Pure Appl. Sci.*, Vol. 28, No. 2, pp. 485-491.
- Hoogmoed, M. (2007). *Analyses of impacts of a sand storage dam on groundwater flow and storage: Groundwater flow modeling in Kitui District, Kenya, Msc.*, Thesis, VU University, Amsterdam.
- Kim, N. W., Chung, I. M., Kim, C., Lee, J. and Lee., J. E. (2009). *Development and applications of SWAT-K (Korea)*. In: *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Global Applications*, J. Arnold et al. Eds., Special Publication No. 4, World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok, Thailand.
- Kim, N. W., Chung, I. M., Won, Y. S. and Arnold, J. G. (2008). "Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model." *Journal of Hydrology*, Vol. 356, No. 1-2, pp. 1-16.
- Ryan, C. and Elsner, P. (2016). "The potential for sand dams to increase the adaptive capacity of East African drylands to climate change." *Reg. Environ. Chang.*, Vol. 16, No. 7, pp. 2087-2096.
- Sivils, B. E. and Brock, J. H. (1981). "Sand dams as a feasible water development for arid regions." *J. Range Manag.*, Vol. 34, No. 3, pp. 238-239.