

춘천 물로리 지역 샌드댐의 수요 대비 공급 가능량 평가

김일환¹ · 김지태² · 이치형³ · 오동환³ · 장선우¹ · 김민규¹ · 정일문^{1,†}

¹한국건설기술연구원

²SDM ENC

³인텔리지오

Assessment of available supply against demand for sand dam in Mullori, Chuncheon

Il Hwan Kim¹ · Ji-Tae Kim² · Chi-Hyung Lee³ · Dong-Hwan Oh³ · Sunwoo Chang¹ · Min Gyu Kim¹ · Il-Moon Chung^{1,†}

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Republic of Korea

²SDM ENC, Seoul 08502, Republic of Korea

³Intellegeo Co., Ltd., Seoul 08390, Republic of Korea

요 약

우리나라의 광역 상수도 미보급지역 중 춘천시 물로리에 샌드댐을 설치하였다. 설치된 샌드댐의 효과 분석을 위해 대상 지역의 물 수요 대비 샌드댐의 공급 가능량을 평가하였다. 연구지역은 상수도 미보급지역으로 현장에서 관측이 가능한 값을 이용하여 물 수요량을 산정하였다. 수요량은 마을로 공급 중인 물탱크의 유입량, 월류량, 체적의 변화를 통해 산정하였다. 공급 가능량은 샌드댐으로부터 물탱크로 유입되는 양과 샌드댐 내부 채움재의 저류량을 합산하여 산정하였다. 수요 대비 샌드댐의 공급 가능량을 평가한 결과 수요량의 평균은 85.63 m³/day으로 나타났고, 갈수기인 동절기의 평균 공급 가능량은 287.70 m³/day로 용수 수요량보다 약 336% 공급이 가능한 것으로 나타났다. 샌드댐 설치에 대한 효과를 평가하는데 축적된 자료가 많지 않았으나 추후 자료가 축적된다면 분기별, 월별 등 상세한 시간 단위에 대한 수요 대비 공급가능량을 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 춘천시 물로리에 설치된 샌드댐의 기술을 이용하면 상수도 미보급지역에 신규 수원으로 가용 수자원의 양을 확보하고, 가뭄 피해에 대해서 대비할 수 있다.

주요어: 샌드댐, 춘천 물로리, 물 수요량, 물 공급 가능량

ABSTRACT: A sand dam was installed in Mullori, Chuncheon, which is an area without water supply in Korea. Amount of sand dam supply availability compared to the local water demand in the target area was assessed to analyze the effect of the installed sand dam. The study area was an area without water supply, and water demand was calculated using values that could be observed in the field. The water demand was calculated through changes in the inflow, overflow, and volume of the water tank supplied to the village. The amount of available supply was calculated by adding into the water tank from the sand dam and the amount stored in the filling material inside the sand dam. As a result of assessing the sand dam's supply capacity against demand, the average demand was 85.63 m³/day, and the average supply amount in winter drought season was 287.70 m³/day, which was about 336% of the demand for water. There were not much accumulated data to assess the effect of sand dam installation. If data are accumulated later, it can be possible to more accurately assess the available supply versus demand for detailed time units such as quarterly and monthly. In addition, it can be used as a countermeasure against drought and securing plan for a new water source in areas without water supply, using the sand dam technology installed in Mullori, Chuncheon.

Key words: sand dam, Chuncheon Mullori, water demand, water available supply

[†]Corresponding author: +82-31-910-0334, E-mail: imchung@kict.re.kr

1. 서론

전 세계적으로 가뭄은 기후 위기의 영향 등으로 피해가 증가하고 있다. 우리나라는 2020년 기준 99.4%의 높은 상수도 보급률을 나타내고 있지만, 중산간지역에는 아직 광역 상수도가 보급되지 않은 미급수지역이 존재한다. 광역 상수도 미보급지역은 소규모 수도시설에 의존하며, 가뭄시에는 취수중단, 제한급수 등 물 복지 사각지역으로 남아있다(Kim *et al.*, 2020). 특히, 소규모 수도시설이 집중된 산간지역 등에서는 강우 발생시 지표 유출이 빠르게 발생하고 하천 등을 통해 흘러나가고, 건기시 가용 수자원이 부족하여 가뭄이 빈번하게 발생하고 있다(Ryan and Elsner, 2016). 우리나라의 산간지역의 가뭄은 고온, 무강우에 의해 발생할뿐만 아니라 하천 등 용수 공급원의 결빙으로 인해 발생하기도 한다. 최근 2016년 강원도에서는 계곡수의 결빙으로 인해 3,817명이 급수차에 의한 물 공급을 받는 등 피해가 발생하였다.

산간지역의 상수도 미보급지역의 가뭄에 대비하기 위하여 샌드댐을 개발하였으며, 강원도 춘천시 북산면 물로리에 적용하였다(Chung *et al.*, 2022). 기존의 샌드댐은 계곡부 혹은 하천을 이용하여 차수벽을 설치하고 투수성이 좋은 매질을 통해 물을 저장하고 취수관을 통해 수자원을 확보하는 방안이다(Sivils and Brock, 1981; Hanson and Nilsson, 1986; Lasage *et al.*, 2008; De Trinchieria *et al.*, 2016). 춘천시 물로리에 설치한 샌드댐은 유역 상류부의 가파른 경사로 인해 풍수기의 범람 및 홍수 피해를 고려하여 주변의 계곡부 혹은 하천을 직접 막지 않고, 우회하여 설치하였다(Chung and Lee, 2021; Yifru *et al.*, 2022). 설치된 샌드댐을 이용하여 증발에 대한 손실을 막고, 동절기에는 결빙을 억제하는 효과를 최대한 활용하여 수자원을 확보하고자 하였다(Quinn *et al.*, 2018; Ritchie *et al.*, 2021).

본 연구에서는 춘천시 물로리에 설치된 샌드댐의 설치 효과 분석을 위해 지역의 수자원 수요 대비 공급 가능량을 평가하였다. 지역의 수요량을 산정하기 위해서는 일반적으로 통계치를 이용하여 추정하였으나, 춘천시 물로리는 상수도가 보급되지 않은 지역으로 일 용수 이용량에 대한 통계치가 존재하지 않아 현장에서 관측이 가능한 값을 이용하여 수요

대비 공급 가능량을 평가하고자 한다. 수요량은 현재 공급중인 물탱크의 유입량, 물탱크의 월류량, 제적의 변화 등을 이용하여 산정하였고, 공급 가능량은 샌드댐으로부터 물탱크로 유입되는 양과 샌드댐 내부 채움재에 저장된 수량을 이용하여 산정하였다.

2. 연구지역

연구지역인 춘천시 물로리 지역은 2016년 극심한 가뭄이 발생하였으며, 최근 겨울 가뭄시 취수원 고갈 등으로 인해 급수차에 의존하는 등 물 부족으로 인해 피해가 발생하였다. 대상지역은 물로천 최상류 유역에 위치하며, 하천은 물로천의 제1 지류가 위치한다. 물로리 양지말은 22가구(49명)의 취수인구가 있으며, 유역의 물은 일부분 기존 취수조를 통해 물탱크로 유입되어 마을로 공급된다. 기존 마을 상수도 공급 용량은 $30 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, 기존 취수조는 자갈 등으로 부유물질 및 유사 등을 필터링하며, 자갈 안쪽의 취수구를 통해 물탱크로 취수된다. 물탱크에서는 염소 소독 등이 진행되어 자연 유하 방식을 통해 각 가정에 공급되며, 최종적으로 소양호로 유출된다. 용수 수요를 만족하고, 가뭄시 안정적인 물 공급을 위해 그림 1과 같이 기존 취수조를 유지하며, 샌드댐을 신규로 건설하여 물 공급 체계를 개선하고자 하였다.

3. 연구방법

강원도 춘천시 북산면 물로리 지역의 용수 수요량에 대비하여, 샌드댐의 공급 가능량을 평가하였다. 대상 지역의 수요량을 산정하기 위해서는 일반적으로 상하수도 시설계획과 같이 계획 급수인구의 추정이 필요하다. 수요량은 추정된 인구에 일일 용수 사용량을 곱하여 산정할 수 있다. 그러나 춘천시 물로리는 광역 상수도가 보급되지 않은 지역으로 일 용수 이용량에 대한 계측값이 없어 급수량 통계는 사용할 수 없다. 따라서, 대상 지역의 용수 수요량을 분석하기 위해, 물탱크에서 마을로 공급되고 있는 양을 측정하였다. 연구에 적합한 샌드댐의 공급 가능량은 물탱크에 확보가 가능한 유량으로 정의하였으며, 현장에서 계측한 샌드댐 유출량, 마을공급량, 물탱크 월류량을 합산하여 산정하였다. 샌드댐 현장

에서 측정이 가능한 항목은 그림 2에서와 같이 ① 물탱크의 수위, ② 물탱크 월류량, ③ 물탱크 유입량, ④ 샌드댐의 유출량이 있다. 물탱크에서 마을로 공급되는 양은 유량계를 이용하면 되지만, 물탱크가 지중형으로 설치되어 있으며 연결 관로의 교체 등은 마을로의 물 공급중단 우려가 있어 유량계 설치가 불가하였다. 따라서, 마을로 공급되는 유량은 그림

3a와 같이 표척을 이용하여 물탱크의 수위 변화를 측정하여 산정하였다. 물탱크의 월류량은 그림 3b와 같이 적산식 유량계를 이용하여 측정하였으며, 물탱크의 유입량은 그림 3c와 같이 전자식 유량계를 이용하여 측정하였다. 샌드댐의 유출량은 샌드댐 내의 저류량을 산정하기 위해 측정하였으며, 그림 3d와 같이 샌드댐의 유지관리용 파이프에 적산식

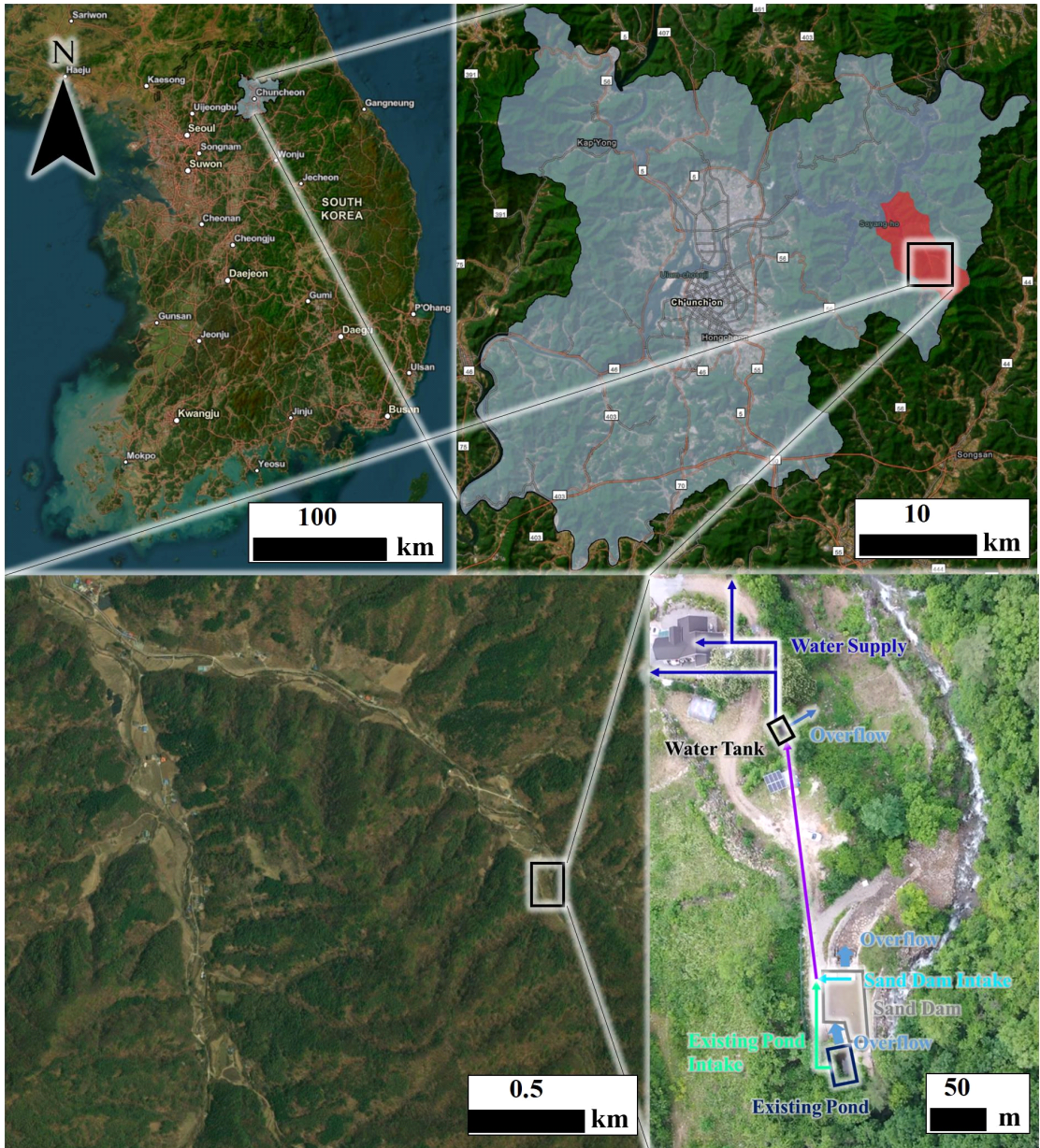


Fig. 1. Location of sand dam in Mullori, Chuncheon and flow direction.

유량계를 설치하여 측정하였다.

3.1 용수 수요량 산정 방법

본 연구에서는 두 가지 방법을 이용하여 용수 수요량을 산정하였다. 첫 번째는 물탱크로 유입되는 양에서 월류되는 양을 제외하고는 모두 마을로 공급된다는 가정하에 산정하였다. 그림 2에서 나타나는 ③ 기존 취수원과 샌드댐에서 물탱크로 유입되는 유량을 측정하고, ② 물탱크에서 월류되는 양을 제외하는 방법이다. 두 번째 방법으로는 물탱크의 유입을 차단하고, ① 물탱크의 수위 하강을 측정하여 유량으로 환산하는 방법이다. 첫 번째 방법은 마을로 공급을 차단 없이 상시 측정할 수 있지만, 적산식

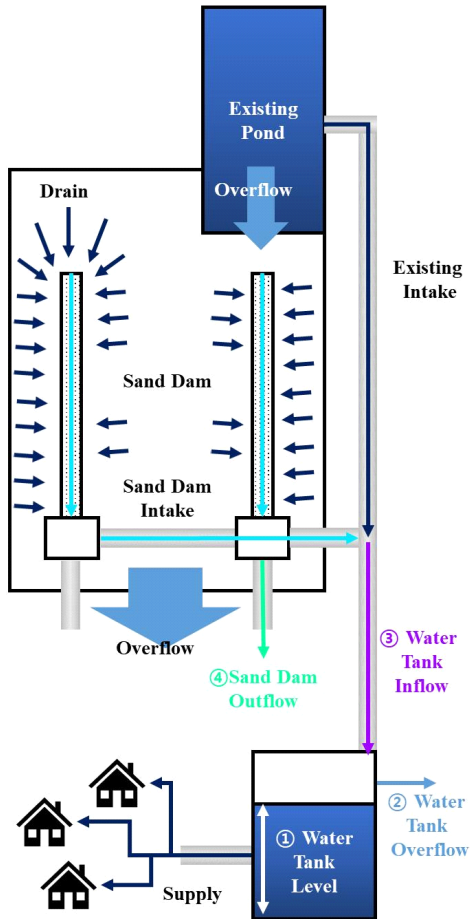


Fig. 2. Sand dam operation schematic diagram and location of measurement (① Water tank level, ② Water tank overflow rate, ③ Water tank inflow rate, ④ Sand dam outflow rate).

유량계를 사용하여 시간에 대한 변화에 대해서 차이를 알기 어렵다. 두 번째 방법은 물탱크 용량의 제한과 시간적 제약이 있지만, 물탱크의 용적에 대한 차이로 시간에 대한 변화가 명확하고 정밀한 양의 변화를 파악할 수 있다.

3.2 공급 가능량 산정 방법

샌드댐의 공급 가능량은 상시 물탱크로 유입되는 양과 샌드댐 채움재 내의 저류량을 포함한다. 상시 물탱크로 유입되는 양은 그림 2에서 ③ 물탱크 유입량 관측을 통해 산정이 가능하고, 샌드댐 채움재 내의 저류량은 그림 2에서 ④ 샌드댐 유출량을 통해 산정이 가능하다. 각각의 양을 합산하여 공급 가능량을 산정하였으며, 샌드댐의 유출량은 저류 가능한 수량을 하천으로 유출시키는 방법으로 상시 측정이 불가능하다.

4. 연구결과

4.1 춘천시 물로리 용수 수요량 산정 결과

춘천시 물로리 용수 수요량의 정량적인 분석을 위해 두 가지 방법을 이용하여 산정하였다. 첫 번째는 적산식 유량계를 이용하여 물탱크 유입량과 물탱크에서 월류되어 나가는 양을 측정하여 마을로 공급되는 유량을 산정하는 방법이다. 적산식 유량계를 이용하여 매월 1일과 말일에 측정하여 월 평균 유량을 산정하였다. 적산식 유량계를 사용하는 방법은 월평균을 산정함에 있어 시간에 따라 공급하는 양의 변화 없이 양에 대한 정량적인 산정이 가능하였다. 순간적으로 많이 사용하는 시기에 대한 분석은 불가능하였으며, 일별로 필요한 최소량의 산정이 가능하였다. 현장의 특성상 많은 변수로 인해 2021년 5, 6월, 2022년 7월에 측정할 수 있었으며, 시기적으로는 7월은 풍수기에 속하며, 5, 6월은 농업용수 등에 대한 수요가 늘어나는 시기이다. 측정된 결과로는 2021년 6월의 사용량이 106.31 m³/day로 가장 크게 나타났으며, 2021년 5월, 2022년 7월 순으로 나타났다. 표 1은 첫 번째 방법으로 산정된 수요량을 나타냈다.

두 번째는 물탱크의 유입 파이프를 차단하고, 마을로 공급되는 파이프 유출됨에 따라 물탱크 하강

하는 수위를 측정하여 양을 산정하였다. 물탱크의 수위가 하강함에 따른 마을 공급량의 산정은 하루 중 특정 시간에 대한 수요량을 산정할 수 있으며, 물을 이용하는 낮시간에 중점적으로 측정하였으며, 일 단위 사용량으로 환산하면 물을 사용하지 않는 밤 시간대의 사용량이 포함되지 못하여 다소 과다하게 산정될 수 있다. 측정 시기는 2021년 9월 2일 13:30~15:00, 2022년 2월 10일 13:00~22:00, 2022년 3월 16일 13:00~16:00, 2022년 5월 26일 13:00~16:00에 측정하였다. 2월과 3월은 갈수기로 농업용수로 사용되는 양은 거의 없지만, 생활용수가 대부분인

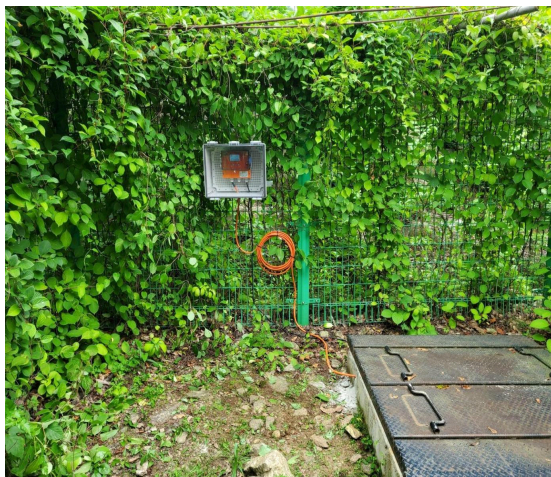
시기이고, 9월과 5월은 용수 수요가 늘어나는 시기라고 판단된다. 사용량이 가장 크게 나타난 시기는 2021년 9월 2일 13:30~15:00로 물 사용량이 증가하는 시기에 짧은 시간 측정하여 121.68 m³/day로 상대적으로 크게 나타났다. 2022년 2월 10일 13:00~22:00는 갈수기이고, 대부분의 사용량이 생활용으로 물 사용이 대부분 일어나는 오후에서부터 밤 시간까지 측정하여 가장 작은 64.08 m³/day로 나타났다. 측정시간은 9시간으로 가장 길게 측정이 되었지만, 물이 사용되는 시기에 대해서 측정이 이뤄졌으며, 오전의 사용량을 제외한다고 하더라도 농업용수



(a) Water tank level measurement using staff



(b) Water tank overflow rate measurement using flow meter



(c) Water tank inflow rate measurement using flow meter



(d) Sand dam outflow rate measurement using flow meter

Fig. 3. Measurement method and equipment for calculating sand dam supply availability.

Table 1. Monthly water usage measurement using flow meter (Unit: m³/day).

	Water tank intake	Overflow	Water usage
2021.05.	135.68	73.05	62.63
2021.06.	145.02	38.71	106.31
2022.07.	180.84	132.02	48.82
Average	153.85	81.26	72.59

Table 2. Water usage measurement using water tank level.

	Water tank area (m ²)	Water tank level change (m)	Time (hr)	Water usage (m ³ /day)
2021.09.02. 13:30 ~ 15:00	15.21	0.50	1.5	121.68
2022.02.10. 13:00 ~ 22:00		1.58	9	64.08
2022.03.16. 13:00 ~ 16:00		0.78	3	94.91
2022.05.26. 13:00 ~ 16:00		0.83	3	100.99
Average				95.42

로 사용되지 않는 시기인데 비하여 다소 과다하게 산정된 것으로 판단된다. 적산식 유량계로 산정된 2022년 7월의 사용량인 48.82 m³/day보다도 크게 산정된 것으로 나타났다. 표 2는 두 번째 방법으로 산정된 수요량을 나타냈다.

상대적으로 사용량이 증가하는 5, 6, 7월의 적산식 유량계를 통해 산정된 값에서는 평균적으로 72.59 m³/day로 나타났다. 월별로 나타나는 사용량의 편차가 57.49 m³/day로 나타나고 있으며, 강수량, 온도, 발작물의 종류 등에 따라 사용하는 물의 양은 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 물탱크의 수위로 산정된 이용량은 95.42 m³/day로 나타났으며, 하루 중 물 사용량이 증가하는 시기에 집중적으로 측정하여 일 단위로 환산하였을 때 다소 과다하게 산정될 수 있다.

4.2 샌드댐 공급 가능량 산정 결과

샌드댐의 공급 가능량은 물탱크로 유입되는 양과 샌드댐의 유출량을 합한 값으로 산정하였다. 샌드댐의 유출량이란 샌드댐에서 유지관리 및 기타 시험 목적으로 설치된 관을 통해 샌드댐 외부로 배출되는 양을 의미한다. 현장 시험을 위해 시설 운영 중에 강제로 샌드댐 하부에서 배출한 유량으로 평상시 모래에 저류된 양은 마을로 공급이 가능하다. 물탱크 유입량과 샌드댐 유출량은 적산식 유량계를 이용하여

매월 1일과 말일에 측정하여 월평균을 사용하였다. 샌드댐 공급가능량 산정 결과 가장 큰 공급 가능량은 2021년 12월로 405.00 m³/day로 나타났다. 가장 적게 공급이 가능한 시기는 2022년 2월로 나타났으며, 샌드댐 유출량은 0이고, 물탱크 유입량이 102.00 m³/day로 나타났다. 측정이 진행된 시기는 동절기가 시작되는 10월부터 동절기가 끝나는 2월까지로 중산간지역 특성상 동결 및 강수량 감소 등으로 인해 공급가능량이 감소하는 시기이다. 지표수 혹은 주변의 수원은 모두 동결 혹은 고갈로 인해 물이 없는 상황에서도 샌드댐 내부에는 일정량 이상의 수원을 확보하며 공급이 가능한 것으로 나타났다. 2022년 2월의 샌드댐 유출량은 0으로 모래 내부에 저장하고 있던 수원을 모두 소진하였지만, 물탱크로의 유입은 가능한 것으로 나타났다. 1월부터는 샌드댐 내부의 수량도 소모되어가지만 동절기의 필요 용수량 이상의 공급은 가능한 것으로 나타났다.

4.3 수요대비 샌드댐 공급 가능량 평가

춘천시 물로리 마을의 수요 대비하여 샌드댐 공급 가능량을 평가한 결과이다. 그림 4를 보게 되면 수요량의 평균은 85.63 m³/day로 나타나는데, 이는 앞서 설명한 것과 같이 물탱크 수위 측정을 통해 다소 과다 산정된 사용량 값을 모두 포함하여 나타낸 값이다. 또한, 공급 가능량을 산정하기 위해 측정하

Table 3. Amount of sand dam available supply (Unit: m³/day).

	Water tank intake	Sand dam outflow	Amount of available supply
2021.10	164.10	223.70	387.80
2021.11	159.90	222.50	382.40
2021.12	151.30	253.70	405.00
2022.01	138.50	22.70	161.20
2022.02	102.00	0	102.00
Average	143.16	144.52	287.68

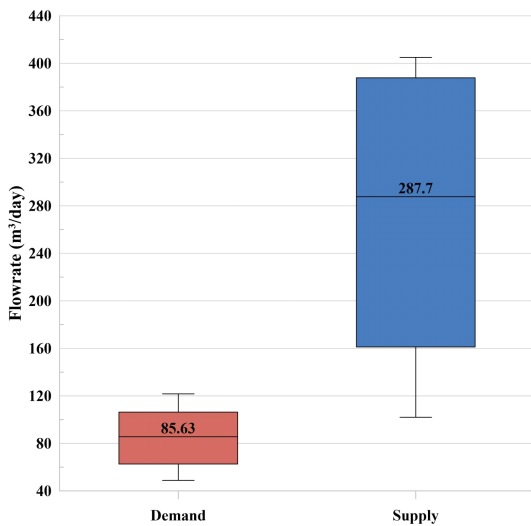


Fig. 4. Study area water demand & supply.

시기는 동절기가 시작되는 시점부터 동절기의 종점까지로 가장 수량이 적은 시기이다. 이 때의 평균 공급 가능량은 287.70 m³/day로 용수 수요량보다 약 336% 공급이 가능한 것으로 나타났다. 가장 큰 사용량은 2021년 9월 2일 13:30~15:00가 121.68 m³/day로 공급 가능량이 가장 적었던 2022년 2월의 102.00 m³/day보다 크게 나타났지만, 계절적 특성에 따라 사용량이 많은 9월에는 샌드댐의 공급 가능량이 늘어나 수요량을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

내륙지역의 가뭄은 대부분 상류 또는 지류의 소규모 용수공급시설이 위치한 지역에서 발생하고 있다. 가뭄이 발생하면 광역 상수도가 보급되지 못한 지역에서는 지속적으로 피해가 발생하고 있다. 하천

상류지역에서의 물 확보 수단은 계곡수와 암반 지하수에 의한 마을상수도 등으로 제한되어 있어 가뭄에 대응하기 위해서는 수원의 다변화 및 저류시설이 필요하다. 물 복지 사각지대에 대한 단기 가뭄에 안정적으로 공급할 수 있는 용수확보 기술 연구가 지역 맞춤형으로 수행되어야 한다.

광역 상수도가 보급되지 않은 지역 중 춘천시 물로리 일대에 샌드댐을 적용하였다. 적용한 샌드댐은 지역 특성에 맞춰 경사 및 유량을 고려하여 주변의 계곡부 혹은 하천을 직접 막지 않고, 우회하여 설치하였다. 설치된 샌드댐을 이용하여 저류된 물은 증발에 대한 손실을 막고, 동절기에는 결빙을 억제하여 가용 수자원량을 증가시키고, 가뭄에 대비하고자 하였다.

본 연구에서는 춘천시 물로리에 설치된 샌드댐의 수요 대비 공급 가능량을 평가하고자 하였다. 광역 상수도가 미보급된 지역으로 일 용수 이용량에 대한 계측값이 없어 현장에서 관측이 가능한 값을 이용하였다. 수요량은 현재 공급중인 물탱크의 유입량, 물탱크의 월류량, 체적의 변화 등을 이용하여 산정하였고, 공급 가능량은 샌드댐으로부터 물탱크로 유입되는 양과 샌드댐 내부 채움재에 저류된 수량을 이용하여 산정하였다. 마을 용수 수요에 따른 샌드댐의 공급 가능량을 평가한 결과 수요량의 평균은 85.63 m³/day으로 나타났고, 산간 지역의 갈수기인 동절기의 평균 공급 가능량은 287.70 m³/day로 용수 수요량보다 약 336% 공급이 가능한 것으로 나타났다. 수요 대비 샌드댐의 공급 가능량을 평가한 결과 용수 최대 수요량과 샌드댐의 최소 공급 가능량을 비교해보면 용수 최대 수요량은 121.68 m³/day로 나타났으며, 최소 공급 가능량은 102.00 m³/day로 약 19.68 m³/day정도 부족한 것으로 나타났다. 용수

최대 수요량과 최소 공급 가능량의 계절적 차이에서 나타나는 것으로 보여진다. 용수 최대 수요량이 관측된 시기는 2021년 9월 2일 13:30~15:00로 풍수기로 충분한 용수의 공급이 가능한 시기이며, 측정된 시간이 하루 중 용수의 수요가 많은 시간대로 일 평균 수요량으로 환산하였을 때는 과다하게 책정되었다고 판단된다. 샌드댐의 공급 가능량이 가장 적었던 시기는 2022년 2월로 산간 지역의 특성상 하천의 결빙 현상 및 강설 등으로 인해 갈수기에 해당하는 시기이다. 계절적 특성을 고려하면 충분히 공급할 수 있는 양이라고 판단된다.

기존의 연구가 많지 않은 산간지역의 샌드댐 설치에 대한 효과 분석은 아직 축적된 자료가 많지 않으며, 현재 진행 중에 있다. 추후 자료가 축적된다면 계절별, 월별 더 나아가 용수 수요가 많은 시간대에 충분한 공급 가능한 수량을 확보할 수 있는 정밀한 운영이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 현재 설치된 춘천시 물로리 샌드댐의 방법론을 활용하면 국내의 상수도 미보급지역에 새로운 용수 공급원으로 활용하여 단일 수원에 대한 의존도를 분산시킬 수 있으며, 가뭄에 대한 대응책으로 피해를 줄일 수 있다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술의 수요대응형 물공급서비스사업의 지원(과제번호 146515) 및 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 기후변화영향최소화기술개발사업의 지원(NRF-2020M3H5A1080735)을 받아 연구되었습니다.

REFERENCES

Chung, I.M. and Lee, J., 2021, Preliminary Analysis on Improvement of Water Supply Capacity of Sand Dam.

- KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research, 41, 29-37 (in Korean with English abstract).
- Chung, I.M., Lee, J., Kim, M.G., Kim, I.H. and Yifru, B.A., 2022, Analysis of Water Supply Capacity of a Sand Dam. *Water*, 14, 3039.
- De Trinchiera, J., Wibbing, J., Leal Filho, W. and Otterpohl, R., 2016, Practical recommendations to prevent, restore and rehabilitate silted-up sand storage dams in arid and semi-arid areas. In *RWSN Forum*, Abidjan, Cote d'Ivoire.
- Hanson, G. and Nilsson, Å., 1986, *Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries*. *Groundwater*, 24, 497-506.
- Kim, G.B., Chung, I.M. and Ha, G.C., 2020, GW-SMART research project. *Water Journal*, 32-39 (in Korean).
- Lasage, R., Aerts, J.C.J.H., Mutiso, G.C. and De Vries, A., 2008, Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33, 67-73.
- Quinn, R., Avis, O., Decker, M., Parker, A. and Cairncross, S., 2018, An assessment of the microbiological water quality of sand dams in Southeastern Kenya. *Water*, 10, 708.
- Ritchie, H., Eisma, J.A. and Parker, A., 2021, Sand dams as a potential solution to rural water security in drylands: existing research and future opportunities. *Frontiers in Water*, 3, 651954.
- Ryan, C. and Elsner, P., 2016, The potential for sand dams to increase the adaptive capacity of East African drylands to climate change. *Regional Environmental Change*, 16, 2087-2096.
- Sivils, B.E. and Brock, J.H., 1981, Sand dams as a feasible water development for arid regions. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 34, 238-239.
- Yifru, B.A., Chung, I.M., Kim, M.G. and Chang, S.W., 2022, Augmenting freshwater availability in mountain headwater streams: Assessing the sustainability under baseline and future climate change scenarios. *International Soil and Water Conservation Research*, 10, 293-307.

Received : November 22, 2022

Revised : December 22, 2022

Accepted : December 23, 2022