

개발도상국에 적용 가능한 물수요 예측 방법 연구

김성욱¹ · 전계원^{2*} · 피완섭³ · 최종호⁴

¹강원대학교 방재전문대학원 박사과정, ²강원대학교 방재전문대학원 교수, ³(주)유신 수자원부 전무, ⁴(주)유신 수자원부 대리

A Study on Water Demand Forecasting Methods Applicable to Developing Country

Sung-Uk Kim¹, Kye-Won Jun^{2*}, Wan-Seop Pi³, and Jong-Ho Choi⁴

¹Ph.D. Course, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

²Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

³Senior Managing Director, Ministry of Water Resources, Yooshin Engineering Corporation

⁴Assistant Manager, Ministry of Water Resources, Yooshin Engineering Corporation

요약

대다수의 개발도상국은 물수급 계획을 위한 수문 자료 부재로 장기유출량 산정이 불가능하며, 물 분배 의사결정을 진행하는데 합리적인 물수급 계획을 수립하기가 어려운 상황이다. 연구대상지역인 인도네시아 반둥지역은 급격한 도시화 및 인구집중으로 심각한 상수부족 상황이며 물수지 예측 방안이 구축되어 있지 않아 상수도 보급률이 약 20% 정도 수준이다. 이에 본 연구에서는 개발도상국에서의 물수지 예측 접근방안을 제시하기 위해 MODSIM(Modified SIMYLD) 네트워크 모형 활용한 이수안전도 및 용수공급 가능량을 분석하였다. MODSIM 모형의 적정성을 검토하기 위해 비유량법을 적용하여 Pataruman 관측소의 19개년(2002~2020년) 유출량 자료를 기준으로 장기유출량을 산정하고 물수지 분석을 수행하였다. 분석결과 기존 월별 최적운영곡선과 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 발전소의 발전용량을 분석한 결과 0.30~0.50% 정도 차이가 났으며, Pataruman 지점 이수안전도는 Q95% 유량 기준 1.64%, Q355 유량 기준 0.47% 높게 나타났다. 기존 저수지 최적운영곡선과 비교한 운영효율이 1% 내외로 유사하게 계속되어, 이를 통해 MODSIM 네트워크 모형을 이용한 용수공급 평가 가능성과 용수공급시설의 필요성을 확인할 수 있었다.

핵심용어: 개발도상국, 물수지, 장기유출량, 이수안전도, 용수공급

ABSTRACT

Many developing countries face challenges in estimating long-term discharge due to the lack of hydrological data for water supply planning, making it difficult to establish a rational water supply plan for decision-making on water distribution. The study area, the Bandung region in Indonesia, is experiencing rapid urbanization and population concentration, leading to a severe shortage of freshwater. The absence of water reservoir prediction methods has resulted in a water supply rate of approximately 20%. In this study, we aimed to propose an approach for predicting water reservoirs in developing countries by analyzing water safety and potential water supply using the MODSIM (Modified SIMYLD) network model. To assess the suitability of the MODSIM model, we applied the unit hydrograph method to calculate long-term discharge based on 19 years of discharge data (2002-2020) from the Pataruman observation station. The analysis confirmed alignment with the existing monthly optimal operation curve. The analysis of power plant capacity revealed a difference of approximately 0.30% to 0.50%, and the water intake safety at the Pataruman point showed 1.64% for Q95% flow and 0.47% for Q355 flow higher. Operational efficiency, compared to the existing reservoir optimal operation curve, was measured at around 1%, confirming the potential of using the MODSIM network model for water supply evaluation and the need for water supply facilities.

Keywords: Developing countries, Water balance, Long-term discharge estimation, Water safety index, Water supply

*Corresponding author: Kye-Won Jun, kwjun@kangwon.ac.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0399-1412>

Received: 11 December 2023, Revised: 28 December 2023, Accepted: 28 December 2023



1. 서론

극한 가뭄, 인구 증가, 도시화, 물 소비 패턴 등의 변화로 담수 자원의 부족 문제가 심화되고 있다. 그 결과 전 세계 인구의 약 2/3에 해당하는 약 40억 명이 매년 최소 한 달 이상 물 부족 문제를 겪고 있으며, 특히 이러한 물 부족 문제는 경제, 산업 및 기술 등에서 비교적 진척되지 않은 아시아 및 아프리카 등의 개발도상국에 집중되어 있다(Salehi, 2022). 현재 지구촌 다수의 개발도상국에서는 2025년까지 취수량이 50% 증가할 것으로 전망 되지만(WWAP, 2006), 사회기반시설의 부족과 물관리 체계의 부재로 상수도 보급률이 30%에도 미치지 못하고 있는 실정이다(K-water, 2014). 아울러 안전한 식수공급이라는 기본적인 요구와 더불어 지난 수십 년간 경제성장을 목표로 관개용수 등의 수자원 확보를 위한 국가 차원의 노력에도 불구하고 아직 많은 사람들이 안정적인 용수공급을 받지 못하고 있다.

개발도상국에서의 수자원 부족량 평가와 합리적으로 수자원을 배분하기 위해서는 물수지 분석이 선행되어야 한다(Heo et al., 2016). 그러나 개발도상국의 경우 수문순환과 관련된 일련의 과정을 모의하기 위한 수문·기상 자료 및 GIS 공간자료가 부족한 실정(Kim and Bae, 2018; Koh et al., 2021)으로 물수지 분석에 있어 중요한 인자인 장기유출량 산정이 불가능한 경우가 많다. 더불어 물 분배 의사결정에 필요한 자료부족과 경험에 의존하는 시설물 운영으로 물 공급 과잉 및 부족이 반복되고 있다(Kim et al., 2017; KOICA, 2019). 이에 국내 물 관련기관에서는 개발도상국의 물수급 계획을 수립하기 위해 가용 수자원량을 예측하고 이수안전도를 평가하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 개발도상국의 열악한 데이터 확보수준과 더불어 현실적인 이수문제 해결을 위해 현 수준에서 확보 가능한 자료들을 활용한 제한적인 조건에서의 가용수자원을 평가하고 물수지를 예측할 수 있는 연구가 필요하다(Pi, 2023).

개발도상국에서의 지속적인 물관리를 위해서는 하천유역 및 저수지의 물공급 현황을 고려한 물수지 분석이 필요하며, 이를 활용하기 위해서는 물수지 분석 결과를 표출할 수 있는 시스템이 필요하다. 하지만 개발도상국의 대부분 지역은 자연유출량 자료가 없어 강우-유출 분석시 미계측유역으로 가정하여 분석하는 방안밖에 없다. 비유량법은 계측유역들 중 대표유역을 선정하고 계측유역 및 미계측유역에 대한 면적비를 계측유역 유출량에 적용하여 미계측유역의 유출량을 추정하는 방법이다. 방법이 비교적 간단하고 유역특성에 관한 정보가 부족한 경우에도 적용이 가능하다.

본 연구는 개발도상국과 같이 수문·기상 자료 및 GIS 공간자료가 부족할 경우에 적용 가능한 물수지 분석 방법을 제시하고 기존 운영방안을 비교·검토하고자 하였다. 이를 위해 인도네시아 주요 상수원 중 하나인 찰상쿠이(Cisangkuy) 유역을 대상으로, 연구대상지역의 특성을 고려한 물수지 분석 시나리오를 설정하였고, 비유량법을 통해 추정된 장기유출량을 MODSIM 네트워크 모형에 적용하여 이수안전도 및 용수공급 가능량을 분석하였다.

2. 연구방법

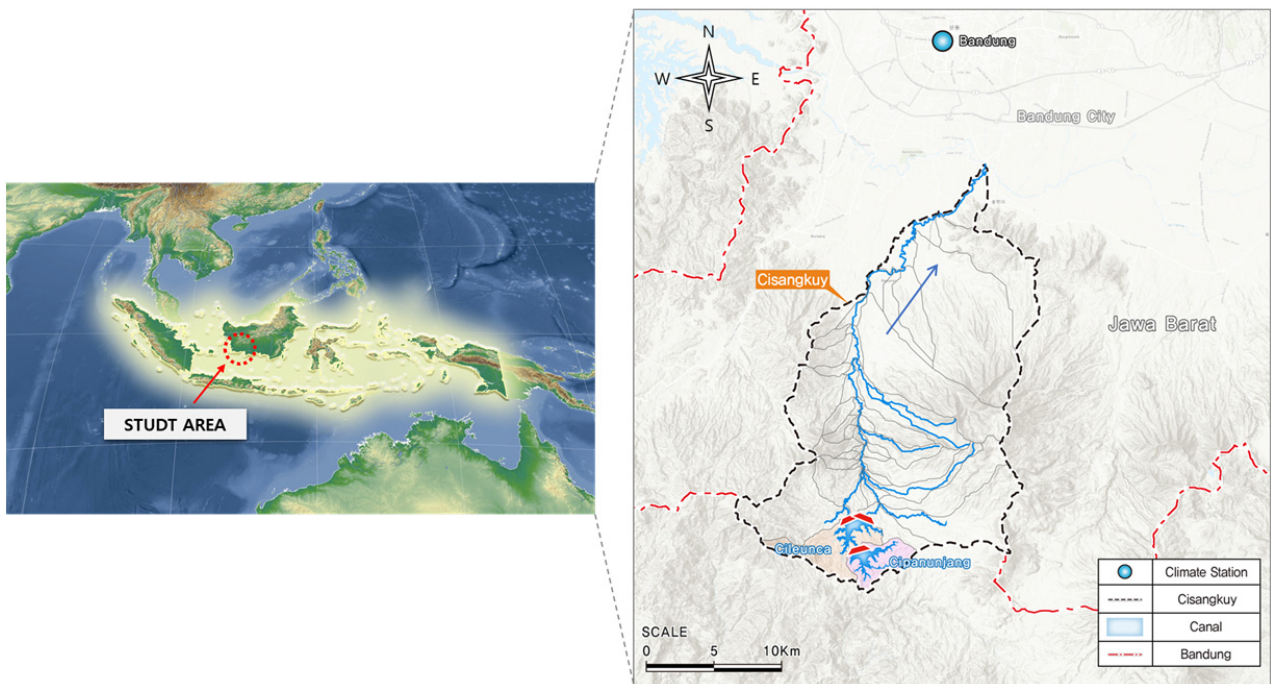
2.1 연구대상지역 현황분석

본 연구대상지역은 반둥시의 주요 식수공급원인 찰따룸(Citarum)강의 제1지류인 Cisangkuy강 유역을 대상으로 하였다. 이 유역은 수자원을 활용하기 위한 다양한 시설을 계획중인 지역으로 기존 저수지와 발전소, 취수장 등이 있고, 강우와 수위 유량 등 수자원 기초데이터를 관측하는 지점 등이 많아 타 유역에 비해 연구를 수행하기에 상대적으로 유리한 지역으로 판단하였다.

Cisangkuy강 유역은 Citarum강의 제1지류로써, 반둥시 남측에 위치한다. 유역면적은 약 279.21 km²이며, 유로연장은 49.78 km로 발원지로부터 Cisarua 방향으로 유하하여 Cisangkuy강에 합류되고 반둥시 방향으로 흐르면서 Citarum강으로 유입된다. 유역특성은 Table 1과 같으며, 연구대상지역의 현황은 Fig. 1과 같다.

Table 1. Watershed characteristics

Classification	Watershed area (km ²)	Watershed length (km)
Cisangkuy river watershed	279.21	49.78
Cipanunjang dam	76.36	7.67
Cileunca dam	20.62	12.95
Pataruman flow observation point	133.80	23.95

**Fig. 1.** Research target area

연구대상지역 내의 주요 시설물로는 댐 2개소(Cipanunjang, Cileunca), 소수력발전소 3개소(Plengan, Lamajan, Cikalong), 취수장 1개소(Cikalong) 및 인공터널 2개소(Salruran, Cilaki Beet)로 구성되어 있다. 상류에 위치한 2개의 댐은 발전을 주목적으로 하며, Cisangkuy 상류 및 인근 Cilaki 유역으로부터 터널 2개소를 통하여 유입된 유량을 저류하여 하류 발전소 3개소의 발전용수와 취수장의 용수를 공급하는데 사용되고 있다.

2.2 물수지 분석 시나리오 설정

인도네시아의 경우 수자원을 관리 기관하는 있지만, 복잡한 이해관계가 얽혀있어 현지 관리기관 중 단독으로 물수지 분석 시나리오를 수립하기에는 많은 어려움이 있어 현재까지 물수지 분석을 시행한 자료가 없었다. 이에 현지 Cisangkuy 유역 용수공급 현황 및 장래 계획 등을 파악하고 있는 인도네시아 정부 산하 수자원연구기관인 PUSAIR(Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air Pusair)를 통해 제공받은 자료를 기반으로 물수지 분석시나리오를 수립하였다.

연구대상지역은 저수지 하류 및 하천을 중심으로 발전소, 취수장 및 농경지가 조성되어 있다. 용수 이용의 대부분은 하천과 저수지를 연결하여 필요한 용수량을 취수하여 이용할 수 있도록 인공·자연 수로가 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 그러나 상류부에 위치한 저수지는 발전용수 전용으로 운영중인 댐으로 댐 하류부의 공공용수, 농업용수 공급과 연계한 효율적인 운영체계가 미흡하다. 이에 따라 연구대상지역 시설물의 용수공급능력 검토를 통해 Cikalong 취수장의 현재 및 장래 용수량에 대한 용수공급 및 물 부족 상황 검토와 용수공급능력을 평가하는 물수지 분석이 필요하다.

기존 저류지 시설물의 용수공급능력 검토를 통해 Cikalong 취수장의 현재 및 장래 용수량에 대한 용수수급 및 물 부족 상황 검토가 우선되어야 할 것으로 판단하였으며, 이와 동시에 신규 저수지 시설물 계획에 따른 용수공급능력을 검토하는 물수지 분석이 필요하다. 이에 Cipanunjang과 Ciluenca 저수지에 요구되는 용수공급량에 대한 효율적인 운영곡선을 도출하고, 현재 운영과 비교하여 물수지 가능성에 대한 검토를 수행하였다.

최적화 운영곡선을 산정하기 위해서는 저수지의 패턴과 하류측의 수요량을 알아야 한다. 저수지의 패턴은 현 운영결과를 토대로 대표 운영곡선과 같이 분석되었다. 검토방법은 Cipanunjang과 Ciluenca 저수지의 패턴을 기초로 하여 월별로 용적곡선의 반응을 체크하면서 하류측 수요량이 최대가 되는 용적을 기준으로 산출하였다.

2.3 비유량법

연구대상지역의 장기유출량 산정을 위해 유역별 유출량은 Pataruman 유량관측소의 실측자료(2002~2020)를 이용하여 유역 면적별 비유량법으로 자연유출량을 산정하였다. Pataruman 관측소의 유출량 자료는 Saluran 터널과 Cilaki Beet 터널로 인하여 Cilaki 및 주변 유역의 유출량이 포함되어 있다. 또한, 상류부에 위치한 2개의 저수지에 의해 조절된 유량이기 때문에 순수한 자연유출량이라고 보기에는 어렵다. 따라서, Pataruman 지점의 자연유출량을 산정하기 위해 Cileunca 저수지의 방류량 및 관개용수를 고려하여 산정하였다. Table 2는 Pataruman 지점 월평균 유출량이다.

Table 2. Pataruman branch monthly average leakag

Year	Monthly average flow (m ³ /s)	Year	Monthly average flow (m ³ /s)
2002	64.9	2012	222.8
2003	36.6	2013	159.1
2004	54.7	2014	109.2
2005	66.2	2015	66.4
2006	91.7	2016	106.9
2007	72.9	2017	89.3
2008	62.0	2018	65.4
2009	52.1	2019	54.8
2010	243.7	2020	88.0
2011	199.1	Average	103.7

Pataruman 지점의 2002~2020년의 관측자료(일자료) 분석결과, 평균 갈수량(Q355)인 4.16 m³/s 보다 작은 유출량 발생 일 수는 2,381일로 조사되었으며, 이수안전도는 65.69%로 검토되었다. Fig. 2는 Pataruman 지점 자연유출량 자료이다.

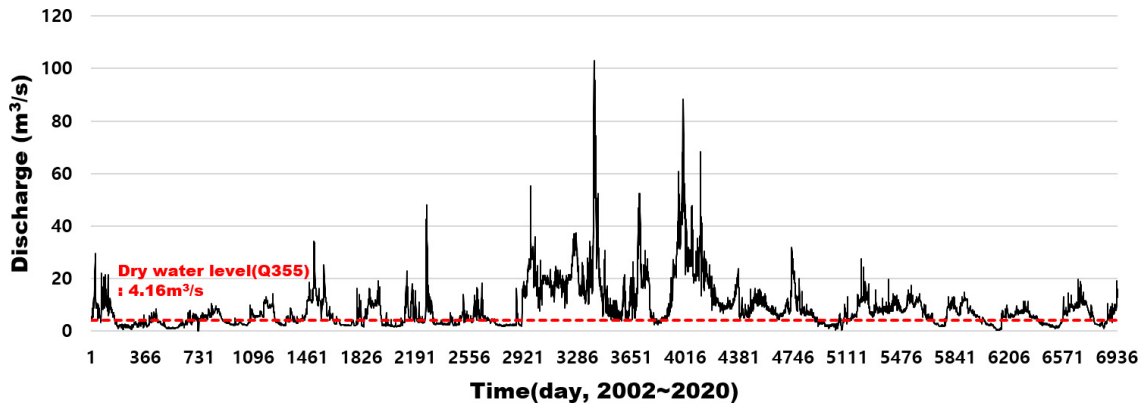


Fig. 2. Long-term discharge data at the Pataruman site (2002 to 2020, Based on Q355)

2.4 MODSIM 모형 구축

MODSIM 모델은 물리적, 수문학적 유역관리에 따라 물순환이 될 수 있도록 네트워크 최적화 알고리즘에 적용하여 복잡한 유역을 모의할 수 있으며, MODSIM 모형은 평균 흐름조건 하에서 모델화가 가능하며 지표수와 지하수를 연계하여 모의할 수 있는 특징이 있다. 유역 또는 하천체계에 대한 월별·주별·일별 기간으로 모의가 가능하며, 주요 입력자료는 저수지침투수, 관개침투, 수로손실수, 관정, 회귀수량, 양수에 의한 하천체류, 지하수 저류 등이 있다.

MODSIM 모형 구축을 위한 입력자료는 Cisangkuy 유역 내 물관리시설물(저수지, 발전소, 취수장 등)을 고려하였다. 상수시설 및 공업시설이 전무한 연구대상의 특성상 생활용수 및 공업용수는 제외하였으며, 관개 및 발전용수와 취수장의 취수량만을 고려하였다. PUSAIR에 의하면 기존 Cipanunjang과 Cileunca 저수지의 경우 운영효율이 존재하지 않는다. 이에 기존 저수지 시스템의 운영효율 개선에 따른 용수공급 가능량 평가에 대해 분석하였다.

현재 용수체계에 대한 Cisangkuy 유역의 물수지 평가를 수행함에 있어 구축된 MODSIM 모형의 적정성을 검토하기 위해 Pataruman 관측소의 19개년(2002~2020년) 일 유출량 자료와 Cikalong 취수장의 1.9 m³/s 용수수요량을 기준으로 물수지 모의를 수행하였다. 이때 저수지의 경우 기존 운영체계(저수지 관측수위 적용)를 유지하였으며, 소수력발전소 3개소는 19개년(2002~2020년) 월평균 발전량 자료를 적용하였다. 모형의 검토조건은 아래와 같다.

- 모의기간 : 2002~2020년(19개년, 일자료)
- 기존 저수지 대표 운영곡선 및 최적화 운영곡선 적용
- Cikalong 취수장의 취수량 1.9 m³/s 적용(현재 취수량 조건)
- 발전소 3개소 운영 조건 : 월평균 발전용수 적용(19개년, 2002~2020년)

연구대상지역 내 주요 시설물(저수지, 발전소, 취수장) 및 지류유입, 취수지점, 관개용수 등을 고려하여 Cisangkuy 유역을 32개의 소유역으로 구분하였다. 아울러, 해당유역에 소유역간 물 이동이 있을 경우 추가 노드를 통하여 유역간 물순환이 이루어지도록 하였으며, 구분된 소유역을 토대로 MODSIM 모형의 네트워크를 Fig. 3과 같이 구축하였다.

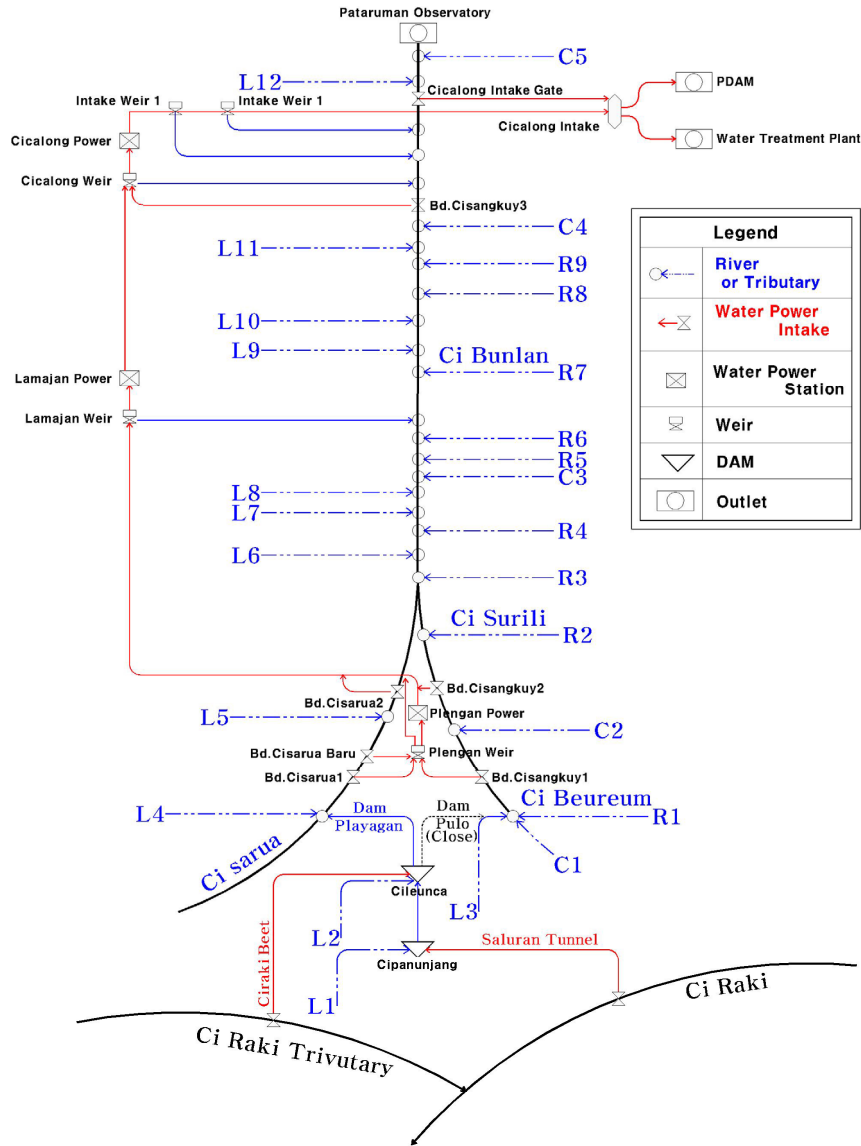


Fig. 3. Watershed network schematic

3. 모형 적용 분석

현 용수체계에 대한 물수지 분석결과, Pataruman 관측지점의 이수안전도는 Q95% 유량 기준 76.09%, Q355 유량 기준 66.55%를 나타내고 있다. Pataruman 관측지점의 2002~2020년 일자료의 실측치와 모의치를 비교한 결과 결정계수(R²)는 0.985, 모형 효율성 계수(ME)는 0.969, 평균계급근 오차(RMSE)는 127.47 m³로 검토됨에 따라 Cisangkuy 유역에 대한 MODSIM 모형이 적정하게 구축됨을 확인하였다. 현재 용수체계에 대한 분석 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Assessment results of the suitability of the MODSIM model

Classification	Coefficient of determination (R ²)	Efficiency coefficient (ME)	Root mean square error (RMSE)
Pataruman (2002~2020)	0.985	0.969	127.47 m ³

현재 용수체계에 대해 수기로 기록된 저수지 수위 검토자료를 기준으로 도출된 연평균 대표 운영곡선과 물수지 분석을 통해 수정된 운영곡선을 적용했을 때의 검토를 수행하였으며, 모의기간은 2002년부터 2020년까지 19개년의 일 자료를 사용하였다. 최대 건기 발생 시 저수지 이수안전도 100% 달성과 최대 에너지 생산을 위한 가능한 많은 물을 유지할 수 있는 최적 운영곡선을 시행착오법을 통해 검토하였고, 검토된 운영 곡선을 적용했을 때의 물수지 변화를 분석하였다. 이때 적용된 저수지 운영곡선은 Fig. 4와 같다.

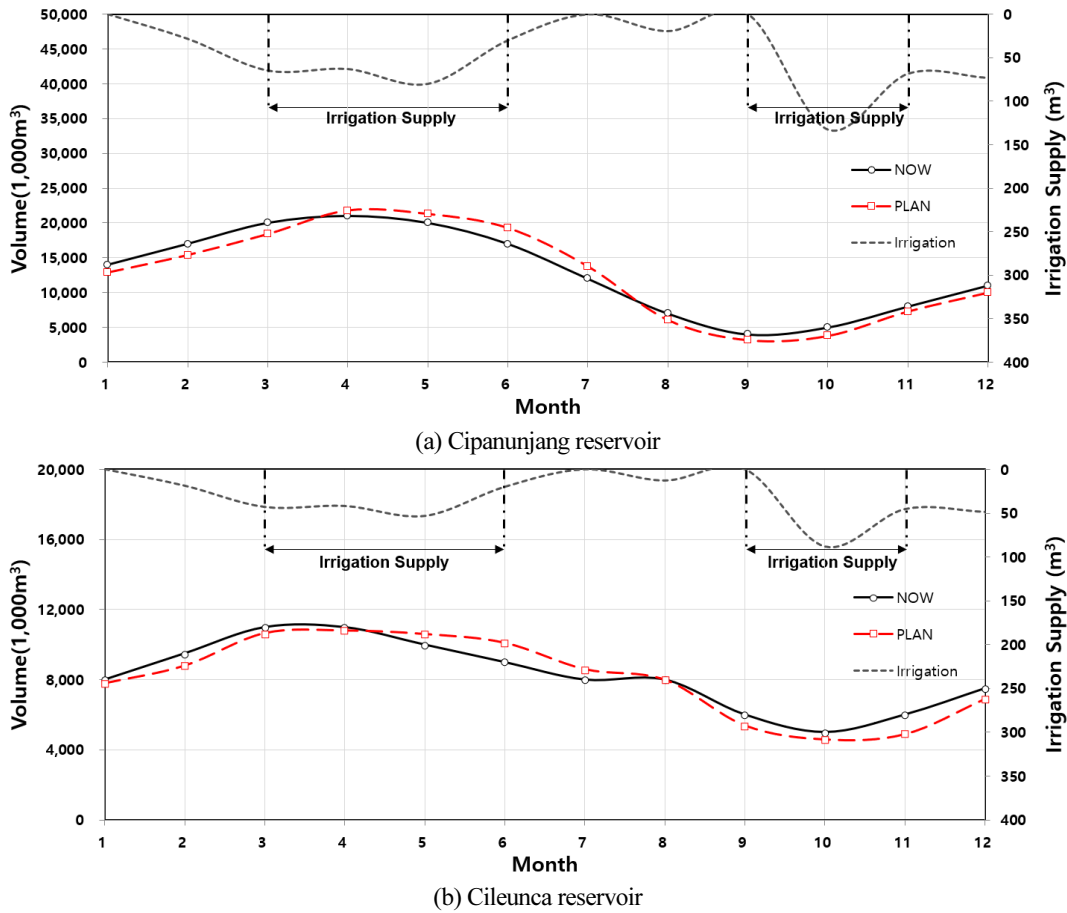


Fig. 4. Reservoir (2 locations) current operation and optimization operating curves

PUSAIR에 의하면 기존 Cipanunjang과 Cileunca 저수지의 경우 운영효율이 존재하지 않는다. 이에 기존 저수지 시스템의 운영효율 개선에 따른 용수공급 평가에 대해 분석하였다. Cipanunjang 및 Cileunca의 운영 수위를 분석한 결과, 건기와 우기에 따라 일정한 패턴을 나타냈다. 대체로 12월부터 2월까지 저수지의 수위를 최대한 끌어올려 이전 건기에 방류했던 유량을 확보하고, 이렇게 확보한 저수량을 5월까지 건기에 대비하여 최대한 보존되도록 운영하고 있는 것으로 확인되었다.

이와 반대로 건기인 6월부터 11월까지는 우기에 확보한 저수량을 목적별로 방류하는 시기인 것으로 검토되었다. 검토대상 Cipanunjang 및 Cileunca 저수지는 최초로 수력발전 단일목적으로 계획된 만큼, 에너지 생산을 위한 최적 운영 측면에서는 대체로 만족스러운 결과를 보이는 것으로 판단되나, 하류 지역의 필요 관개용수 공급측면에서는 9월부터 12월까지 부족한 것으로 확인되었다.

현재 운영중인 저수지의 경우 주로 하류부 수력발전소의 발전용수 공급을 위해 운영하면서 발전뿐만 아니라 하류부 용수 공급 및 관개용수 측면에서도 다각적으로 활용이 가능한 최적운영곡선을 시행착오법을 통해 검토하였으며, 검토 결과는

Fig. 5, Fig. 6과 같다. MODSIM을 이용한 최적운영곡선 분석 결과, 3개의 발전소의 발전용량은 935,316~1,084,042 m³으로 약 0.30~0.50%로 과대 산출되었고, Cikalong 취수장의 이수안전도는 0.13% 증가되는 것으로 검토되었다. 아울러 Pataruman 관측지점의 이수안전도는 Q95% 유량 기준 1.64%, Q355 유량 기준 0.47% 증가하였으며, Ciherang 관개용수의 이수 안전도는 0.41% 증가되며, 연구대상지의 19년간 물부족 일수가 346일에서 318일로 감소하는 것으로 분석되었다.

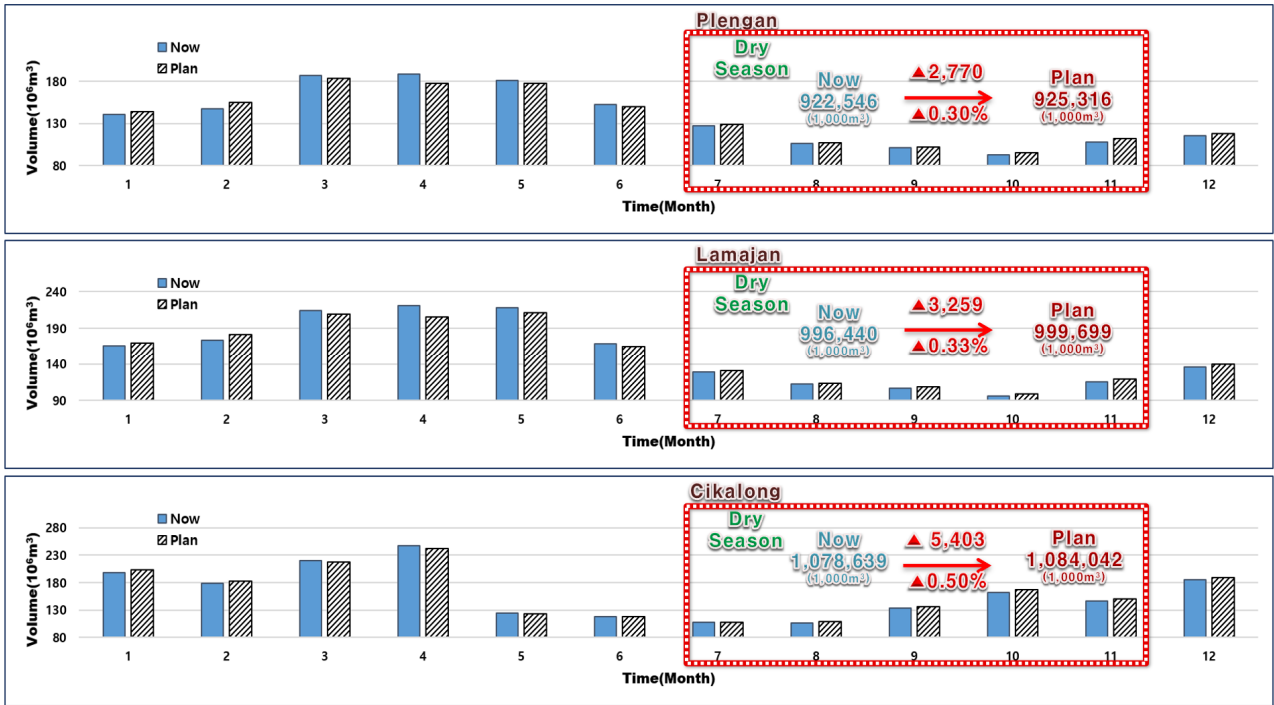


Fig. 5. Evaluation of capacity improvement effects for small hydropower plants (3 locations)

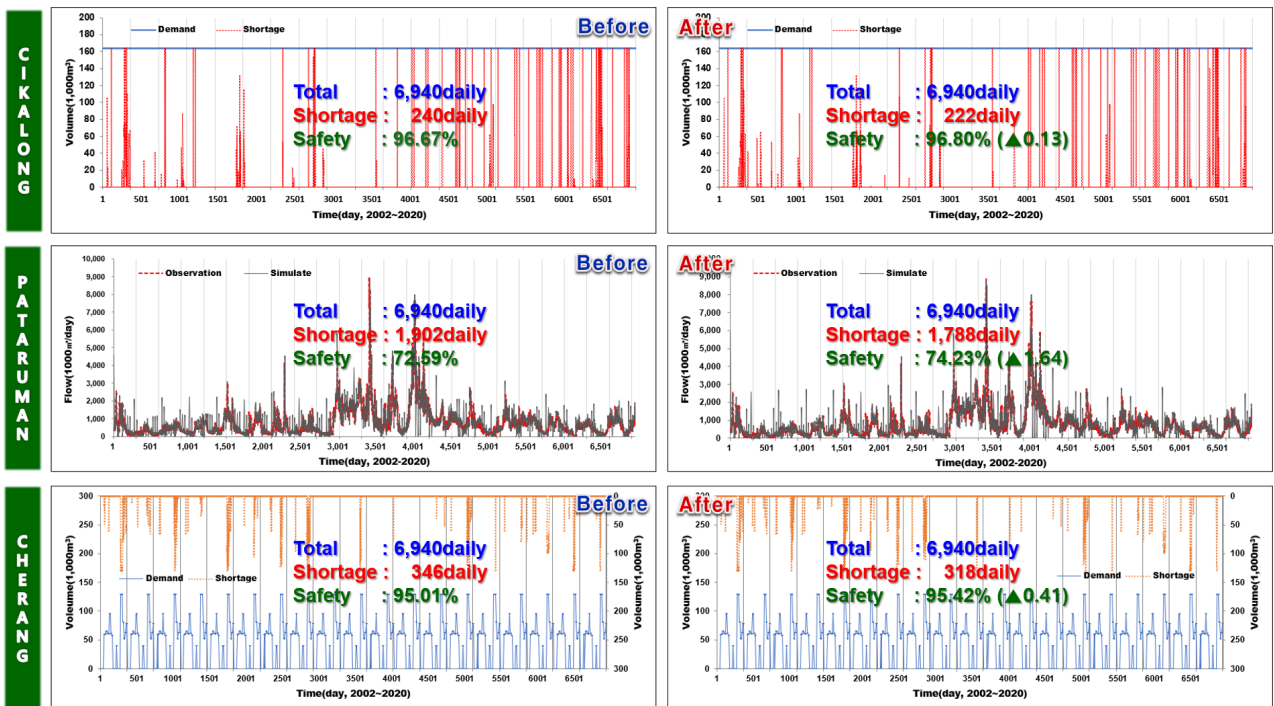


Fig. 6. Assessment of the agricultural impact on Cikalong water intake facility, Pataruman, and Ciherang

위와 같이 MODSIM을 이용한 최적운영곡선 추정시 현재 운영과 유사하게 예측할 수 있는 것으로 확인된다. 하지만 이수 안전도에 대한 개선효과가 크지 않은 것으로 확인되는데, 이러한 이유는 기존 저수지의 용수공급량 부족에 따른 방류량 저하의 영향으로 판단되며, 이를 해결하기 위해서는 적절한 규모의 추가 용수공급 시설계획이 필요함을 시사한다.

4. 결론

본 연구는 개발도상국과 같이 수문·기상 자료 및 GIS 공간자료가 부족할 경우에 적용 가능한 물수지 분석 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 인도네시아 주요 상수원 중 하나인 Cisangkuy 유역을 대상으로, 연구대상지역 특성분석 및 이수안전도 평가 기준 수립을 위한 MODSIM 모형의 입력자료 구축을 위한 수문·기상 자료, GIS 공간자료, 물관리 시설물 운영 현황에 대한 자료를 수집 및 분석하였다. 유출량은 수문·기상 자료 및 GIS 공간자료가 부족한 동남아 및 아프리카 지역에서 유역 내 또는 유역 인근의 실측자료를 활용한 비유량법에 의한 자연유출량을 산정하였으며, Cisangkuy 유역의 현재 용수체계에 대한 유역 네트워크 모형을 구축하고, 물수지 분석을 수행하여 MODSIM 모형의 적정성을 검증하였다. 마지막으로 물수지 분석 시나리오를 설정하여 이수안전도 및 용수공급 가능량을 분석하였다.

분석 결과 MODSIM 네트워크 모형을 이용한 분석시 기존 월별 최적운영곡선과 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 3개의 발전소의 발전용량을 분석한 결과 0.30~0.50% 정도 과대 산출되었으며, Pataruman 지점 이수안전도는 Q95% 유량 기준 1.64%, Q355 유량 기준 0.47% 높게 나타났다. 하지만 기존 저수지 최적운영곡선과 비교한 운영효율이 1% 내외로 유사하게 예측되며, 이를 통해 MODSIM 네트워크 모형을 이용한 용수공급 평가 가능성과 용수공급시설의 필요성을 확인할 수 있었다. 본 연구는 기존 저수지의 운영 기초자료를 제공함으로써 한정된 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 비구조적 관리기반을 제공하는데 의의가 있다고 사료된다.

Acknowledgments

This paper work was financially supported by Ministry of the Interior and Safety as Human Resource Development Project in Disaster Management.

References

- Heo, Jae-Young, Jae-Min So, and Deg-Hyo Bae. (2016). A Comparison on the Characteristics of Water Resources Development Planning in Asian Developing Countries. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Annual Conference*. 237.
- Kim, Seon-Ho and Deg-Hyo Bae. (2018). Evaluation of Applicability of Land Surface Model for Africa Region. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Annual Conference*. 36.
- Kim, Taewon, Moonyong Yang, Sungsoo Lee, Wanseop Pi, and Ickhwan Ko. (2017). A Study on Potential Discharge for Water Supply in Cisangkuy Basin of Indonesia. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*. 17(2): 471-480.
- Koh, Deuk-Koo, Chihun Lee, Jeibok Jeon, and Sukhyon Go. (2021). Establishment of Flood Forecasting and Warning System in the Un-Gauged Small and Medium Watershed through ODA. *Journal of Korea Water Resources Association*. 54(6): 381-393.
- Korea International Cooperation Agency. (2019). Development of Water Resources Management System on Hydraulic Works for Supporting Dam/Reservoir Safety Executive and Drought Prevention in Ma River Basin of Central Vietnam. Seongnam: KOICA.
- Korea Water Resources Corporation. (2014). The Evaluation Study on ODA Water Sector Projects. Daejeon: K-water.

- Pi, Wan-Seop. (2023). Assessment of Water Supply Reliability through Optimal Water Supply in Ungauged Basins. Doctoral Dissertation. Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University. 3.
- Salehi, M. (2022). Global Water Shortage and Potable Water Safety; Today's Concern and Tomorrow's Crisis. *Environment International*. 158: 106936.
- World Water Assessment Programme. (2006). The State of the Resource, World Water Development Report 2. Chapter 4; U.N. Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, France: WWAP.

Korean References Translated from the English

- 고덕구, 이지현, 전제복, 고석현 (2021). ODA사업을 통한 미계측 중소하천 유역 홍수예경보시스템 구축. *한국수자원학회 논문집*. 54(6): 381-393.
- 김선호, 배덕효 (2018). 아프리카 지역에 대한 지표수문해석 모델 적용성 평가. *한국수자원학회 학술발표회*. 36.
- 김태원, 양문용, 이성수, 피완섭, 고익환, 김유진 (2017). 인도네시아 Cisangkuy 유역 용수공급 가능량 연구. *한국방재학회 논문집*. 17(2): 471-480.
- 피완섭 (2023). 미계측유역의 용수공급 최적모의를 통한 이수안전도 평가. 박사학위논문. 강원대학교 방재전문대학원. 3.
- 한국국제협력단 (2019). 베트남 탕화성 Ma강 수자원 관리 시스템 구축사업. 성남: 한국국제협력단.
- 한국수자원공사 (2014). 수자원분야 ODA 종합평가 연구. 대전: 한국수자원공사.
- 허재영, 소재민, 배덕효 (2016). 아시아 개발도상국의 수자원개발 계획 특성 비교. *한국수자원학회 학술발표회*. 237.