



관개용수로의 자동수위측정 자료를 활용한 농업용 저수지 공급량 산정 및 분석

Assessing Irrigation Water Supply from Agricultural Reservoir Using Automatic Water Level Data of Irrigation Canal

방재홍^a · 최진용^{b,†} · 윤푸른^a · 오창조^c · 맹승진^d · 배승종^e · 장민원^f · 장태일^g · 박명수^h
Bang, Jehong · Choi, Jin-Yong · Yoon, Pureun · Oh, Chang-Jo · Maeng, Seung-Jin · Bae, Seung-Jong ·
Jang, Min-Won · Jang, Taeil · Park, Myeong Soo

ABSTRACT

KRC (Korea Rural Community Corporation) is in charge of about 3,400 agricultural reservoirs out of 17,240 agricultural reservoirs, and automatic water level gauges in reservoirs and canals were installed to collect reservoir and canal water level data from 2010. In this study, 10-minute water level data of 173 reservoir irrigation canals from 2016 to 2018 are collected, and discharge during irrigation season was calculated using rating curves. For estimation of water supply, irrigation water requirement was calculated with HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System), and the summation of reservoir water storage decrease was calculated with daily reservoir storage data from RAWRIS (Rural Agricultural Water Resource Information System). From the results, the total yearly amount of irrigation water supply showed less than 10% difference than the irrigation water requirement. The regional analysis revealed that reservoirs in Jeollanam-do and Chungcheongnam-do supply greater irrigation water than average. On the contrary, reservoirs in Gyeongsangnam-do and Chungcheongbuk-do supply less than others. This study was conducted with a limited number of reservoirs compared to total agricultural reservoirs. Nevertheless, it can indicate irrigation water supply from agricultural reservoirs to provide information about agricultural water use for irrigation.

Keywords: Irrigation water supply; canal water level; agricultural reservoir; irrigation canal

1. 서론

최근 농업 분야 ICT (Information and Communications Technology) 인프라 및 시스템의 발전을 기반으로 한 농업용

저수지의 수위 자료를 포함한 수문 자료의 축적이 활발하게 이루어지고 있으며, 이를 활용한 농업용 저수지의 운영 특성 분석 등 물관리를 위한 자료 활용에 대한 요구가 증가하고 있다. 우리나라 논 농업의 용수 공급에 중요한 역할을 하는 농업용 저수지의 용수공급량 산정은 효율적인 물관리를 위해 기본적으로 측정되어야 하지만 예산과 인식의 부족과 더불어 기록 주기의 불규칙성, 수위-유량 곡선 작성, 자료의 관리의 부실 등 다양한 한계로 인해 공급량 산정을 위한 자료의 확보와 활용이 제한적이었다. 또한, 17,240개소, 8,723개소에 이르는 주요 농업생산기반시설인 저수지와 양수장은 전국에 분포해있으며 (MAFRA, 2018), 지방자치단체 관리 수원공의 경우 저수지 물관리를 위한 자료 확보와 보관은 아직 어려운 곳이 대부분이다.

이러한 상황에도 불구하고 농업용수 분야에서는 제한적인 자료를 활용해 과학적인 방법으로 농업용수 공급량과 같은 물관리 자료를 생성하기 위해 다양한 연구가 진행되었다. Choi et al. (2000)은 귀석 양수장 간선 용수로 지점에 수위계를 설치, 유속을 측정하여 양수장을 통해 공급되는 농업용수 공급량 산정과 수질 모니터링을 동시에 진행하였다. Im et al. (2000)은 일별 저수율 자료를 보정 자료로 활용해 DIROM

^a PhD Student, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

^b Professor, Department of Rural Systems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Institute of GBST, Seoul National University

^c Director, Safety Inspection Headquarter, KRC

^d Professor, Department of Agricultural & Rural Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungbuk National University

^e Research Professor, Institutes of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

^f Associate Professor, Department of Agricultural Engineering (Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University

^g Associate Professor, Department of Rural Construction Engineering, Institute of Agricultural Science & Technology, Jeonbuk National University

^h Deputy Director, Water Resources Management Office, KRC

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-1111, Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

Received: August 7, 2020

Revised: October 28, 2020

Accepted: October 28, 2020

(Daily Irrigation Reservoir Operation Model) 모형의 방류 계수를 조절해 한강수계의 농업용 저수지의 공급량을 추정한 바 있다. Choi et al. (2001)은 중평저수지 통관 출구 지점에 수위계를 설치해 수위-유량 관계식 유도를 통해 농업용 저수지의 공급량을 산정한 결과 1,186 mm의 단위면적당 사용량을 도출하였으며, DIROM 모형으로 계산된 필요수량의 127%를 공급하는 것으로 나타났다. Kang et al. (2014)은 기존 DIROM 모형으로부터 작부시기를 세분화시킨 수정 DIROM 모형을 제시하여 관행 물관리를 더 잘 반영한 결과를 도출하였다. Cho et al. (2020)은 경상북도 경천지구의 예천용수간선수로 지역을 대상으로 용수공급량과 수로 손실량을 산정해 송수 손실 및 배분관리 손실을 분석하였다.

이처럼 대부분의 연구에서 한정된 자료로 소규모 혹은 단일 수원공에 대한 측정 자료를 활용하여 농업용수 공급량을 추정 및 분석해왔으나 시시각각 변화하는 물관리 패러다임에 대응하기 위해서는 개별 수원공 차원보다 국가 차원의 농업용수 공급량에 대한 자료 생성이 요구되는 상황이다. 한편 한국농어촌공사(KRC, Korea Rural Community Corporation)에서는 적은 자료를 활용해 거시적 농업 수문 자료 생성 시 생길 수 있는 불확실성을 줄이기 위해 2010년 전후를 기점으로 일정 규모 이상의 주요 농업용 저수지의 저수지 수위와 용수로 수위를 실시간으로 측정 및 기록할 수 있는 자동수위측정 센서를 설치해오고 있다. 2019년 기준 유효저수량 10만 m³ 이상의 저수지 1,750개소와 유효저수량 50만 m³ 이상의 저수지 수로부 1,177개소에 센서가 설치되어 자료를 축적하고 있으며 현재 이를 이용한 용수공급량 평가가 필요한 시점에 이르고 있다.

한편 지속적으로 제기되었던 유역차원의 통합물관리를 위하여 정부조직법 개정과 더불어 물관리기본법 및 물기술산업법이 제정되어 과거 국토교통부(수량)와 환경부(수질)로 나뉘어 이루어진 물관리 권한이 환경부로 통합 이전되었다(ME, 2018). 농어촌용수의 경우 물관리기본법에 포함되어 있지 않으나 통합물관리 체계에 대응해 수리권 보장, 비용부담 여부, 물관리위원회 참여와 더불어 농업용수 공급량 산정 등의 방안 마련을 위한 논의의 필요성이 떠오르고 있다(Jang, 2019). 특히 농어촌용수 이용량은 159억 m³/년 정도로 연평균 수자원 이용량 255억 m³/년 중 약 62%를 차지하므로(MLTMA, 2011) 통합물관리가 국가수자원관리를 위한 명제로 추진되는 상황에서 이용 가능 수자원량 중 큰 비율로 이용되고 있는 농업용수 공급량에 대한 자료의 확보 및 제공이 불가피할 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 첫째로 기존 연구에 활용된 적 없던 173개 농업용 저수지의 수로부 수위 실측 자료 기반 실제 용

수공급량을 산정하고, 둘째로 해당 수원공의 용수수요량을 산정해 공급량 평가를 실시하여 통합물관리에 대응한 농업용 저수지의 공급량에 대한 신뢰성 있는 정보를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 한국농어촌공사에서 설치한 저수지 수로부 자동수위측정기의 10분 단위 측정 자료를 활용하여 최근 3년간의(2016-2018년) 농업용수 공급량을 산정하였다. 해당 수위 자료는 10분 단위로 기록되어 저장되므로 기존의 일별 기록에 대비해 상세한 결과 도출이 가능하며, 실측 자료를 기반으로 하므로 신뢰성 높은 농업용수 공급량을 산정할 수 있다. 수위 자료는 한국농어촌공사에서 품질 관리된 자료를 활용하였다. 본 연구에서는 농업용수 공급량 산정 결과를 활용해 연도별, 지역별로 비교 및 분석하고자 하였다. 또한, 기존의 농업용수 수요량 산정방법을 이용하여 계산된 수요량과 농업용수 공급량을 비교, 평가하는 것에 초점을 맞추어 진행되었다. 본 연구의 전체적인 흐름은 자료 구축, 공급량 및 수요량의 계산, 결과 도출 및 평가의 세 단계로 진행하였으며 이를 그림으로 설명하면 Fig. 1과 같다.

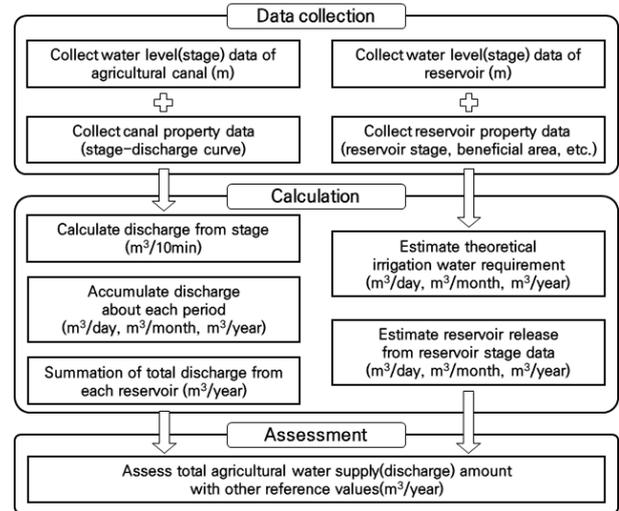


Fig. 1 The flowchart of irrigation water supply amount calculation and assessment

1. 대상 저수지 선정 및 자료 구축

가. 대상 저수지 선정 및 특성 자료 구축

본 연구의 대상 저수지는 전국에 존재하는 농업용 저수지 중 유효저수량이 50만 m³ 이상인 저수지 중 173개소를 무작위로 선별하였으며 이는 Fig. 2와 같다. 또한, 농업용수 공급량

및 수요량의 산정에 필요한 시계열 수위, 저수지 특성, 수로 특성 등의 자료를 저수지별로 구축하였으며 자세한 수집자료 목록은 Table 1에 나타내었다.

수집된 자료의 종류는 저수지 기본 정보, 저수지 특성, 계산을 위한 입력자료와 평가를 위한 참고자료로 이루어져 있다. 저수지 기본 정보, 특성 정보 및 참고자료와 계산에 필요한 입력자료는 한국농어촌공사의 농촌용수종합정보시스템 (RAWRIS, Rural Agricultural Water Resource Information System)로부터 수집하였다. 농업용수 공급량 산정을 위한 수

로부 자동수위측정 자료는 10분 단위 자료를 사용하였으며, 수위유량 곡선은 한국농어촌공사에서 작성한 것을 이용하였다.

Fig. 2는 본 연구에 포함된 대상 저수지 지역 분포를 나타낸다. 지역별 개소 수는 경상북도에 37개소로 가장 많았으며, 충남, 전남, 전북, 강원, 경기, 경남, 충북의 순서로 29, 25, 21, 17, 16, 15, 13개소이다. 본 연구에 포함된 농업용 저수지의 총 유효저수량은 42만 3천 m³이며 수해면적은 49천 ha, 유역면적은 234천 ha 이다. 지역별 유효저수량은 저수지 개소가 가장 많은 경상북도 지역이 94천 m³로 최대이며 경기도 지역

Table 1 Data description for irrigation water supply estimation

Category	Purpose	Data list
Basic information	Reservoir code and location	- Facility code - Facility name - Regional office - Branch - Address
Reservoir characteristics	Estimation of irrigation water requirement	- Watershed area (ha) - Beneficial area (ha) - Dominated meteorological station - Effective storage (m ³) - Infiltration (mm) - Loss (%)
Input data	Calculation of discharge at irrigation water supply canal	- Stage-discharge curve equation - Time series data of canal water level with 10 min duration
Reference data	Estimation of reservoir release	- Daily reservoir water level from RAWRIS

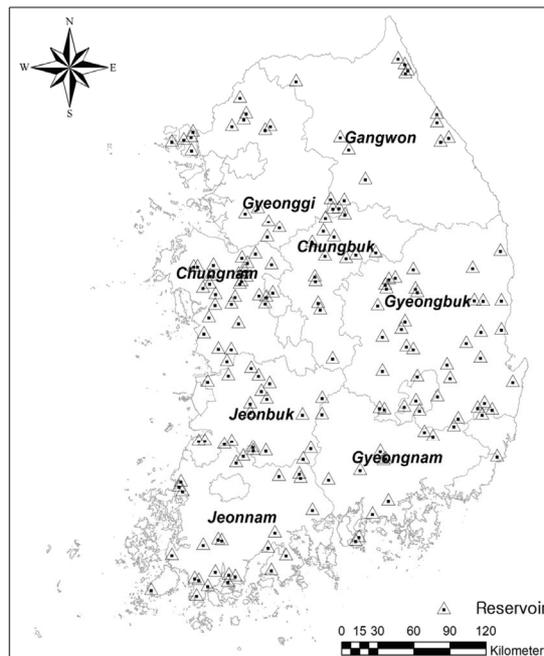
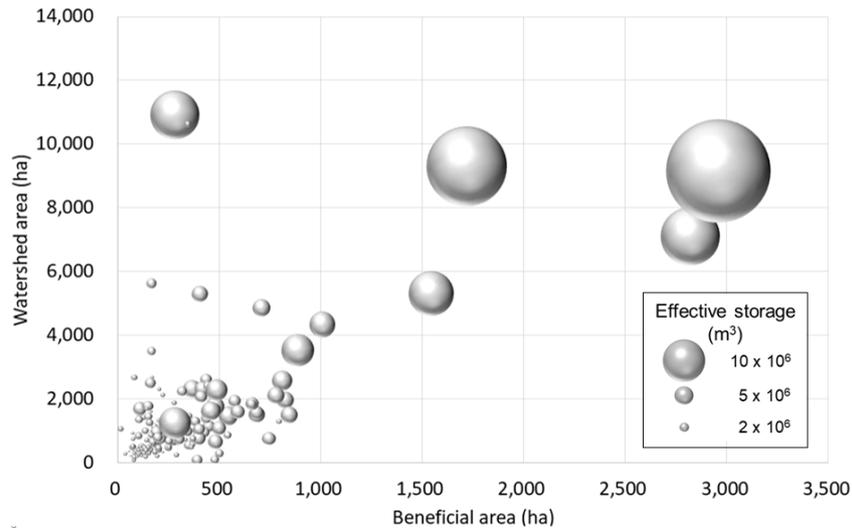


Fig. 2 Distribution map of study reservoirs

Table 2 Properties of study reservoirs in different regions

Region	Count	Effective storage ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Beneficial area ($\times 10^3 \text{ ha}$)	Watershed area ($\times 10^3 \text{ ha}$)
Total	173	423.27	49.83	234.56
Gangwon	17	40.84	4.03	33.85
Gyeonggi	16	69.83	7.10	31.63
Gyeongnam	15	27.44	3.43	12.77
Gyeongbuk	37	94.31	9.19	57.36
Jeonnam	25	50.14	6.74	25.27
Jeonbuk	21	40.69	6.67	27.07
Chungnam	29	68.57	9.54	34.50
Chungbuk	13	31.44	3.14	12.11

**Fig. 3** Bubble scatter plot of beneficial, watershed area and effective storage

의 경우 고삼, 이동 저수지가 속해있어 16개소지만 유효저수량이 70천 m^3 로 나타났다. 자세한 내용은 Table 2와 같다.

대상 저수지 173개소의 수혜면적-유역면적-유효저수량 분포를 직관적으로 알 수 있도록 거품 산포도를 Fig. 3에 도시하였다. 가로축이 수혜면적, 세로축이 유역면적이며 원의 크기가 유효저수량 부피를 나타낸다. 대다수의 저수지가 수혜면적 500 ha, 유역면적 2,000 ha 이내의 범위 안에 있었으며, 수혜면적, 유역면적이 증가할수록 유효저수량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

나. 기상 자료

본 연구에서는 2016, 2017, 2018년의 저수지별 농업용수 공급량을 산정하였으며, 공급량 과의 비교 평가를 위해 용수 수요량을 산정하였다. 용수수요량 산정 과정 중 논벼의 작물

소비수량 계산 및 유효우량 산정에 필요한 기상 자료는 일별 강수량, 일별 최고기온, 일별 최저기온, 일별 평균기온, 일별 평균 상대습도, 일별 평균풍속, 일별 일조시간 자료였으며, 이를 위하여 전국에 있는 93개 종관관측소 (ASOS, Automated Surface Observing System)의 2016년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지의 일별 기상 관측 자료를 수집하였다.

2. 저수지별 수로부 수위-유량 관계식을 고려한 용수 공급량 산정

저수지별 농업용수 공급량은 간선 수로의 시계열 자동수위 계측 자료와 수로 특성 정보를 활용하여 산정할 수 있다. 수로 특성 정보 중 수위-유량 곡선은 일반 지수식 Eq. (1), 자연 상수를 활용한 지수식 Eq. (2), 다항식 Eq. (3) 등 3개 종류의 곡선식으로 표현할 수 있다. 해당 식은 한국농어촌공사에서

수위계가 위치한 지점에서 저수위, 중수위, 고수위별 유속 측정을 통해 얻은 유량 값을 참고해 유도한 계수를 활용한 식을 제공받았으며, 형태는 다음과 같다.

$$Q = a(x - h)^b \quad (1)$$

$$Q = ae^{(b-h)x} \quad (2)$$

$$Q = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (3)$$

이때, Q 는 유량 (m^3/s), a, b, c, d 는 회귀분석으로 얻어지며, x 는 측정수위 (m), h 는 영유량 수위 (m)를 의미한다. 영유량이란 측정 자료에서 매우 낮은 수위를 보이지만 실제 유량은 없는 경우의 수위를 의미한다 (Rantz, 1982). 본 연구에서는 수위 증가시 기하급수적인 유량 증가를 보이는 Eqs. (2), (3)을 배제하고 자연하천과 다른 농업용 수로의 형태를 고려할 때 적합하다고 판단된 일반지수식 Eq. (1)을 활용하여 유량을 산정하였다. 선정된 수위-유량 곡선을 이용하여 10분 단위 수위에서 산정된 유량을 누적하여 일별, 순별, 월별 누적 용수공급량을 산정하였다.

3. 수원공별 용수공급량 평가

산정된 용수공급량이 적절한 범위에 속하는지 확인하기 위해 한국농어촌공사에서 개발한 수리시설물 모의조작 시스템 (HOMWRS, Hydrological Operation Model for Water Resources System)을 활용해 산정한 용수수요량, 농촌용수종합정보시스템 일별 저수율 자료를 이용해 산정한 저수량 감소량과 동일 기간 누적 강우량을 산정하여 비교하였다.

가. HOMWRS를 활용한 용수수요량 산정

HOMWRS는 한국농어촌공사에서 관계계획을 수립하기 위한 유역 유입량 및 관계 필요수량의 산정, 저수지 물수지 분석 및 단위용수량 산정이 일련의 통합된 시스템 안에서 구현되도록 개발한 Windows용 프로그램이다 (MAF, 1997). HOMWRS는 세 가지 모형으로 구성되어 있다. 저수지 유역의 유출량을 산정하는 강우-유출 모형은 Tank 모형으로 Kim and Park (1986)이 제안한 매개변수를 활용한다. 최근 모형의 개선을 위한 다수의 연구가 진행되고 있으나 (Kang et al., 2016; Song et al., 2017; Song et al., 2019) HOMWRS에는 반영되지 않은 상황이다. 필요수량 산정 모형은 일별 물수지 모형 (Kim et al., 2003)을 활용한다. 해당 모형은 논의 저류량을 일별로 모의하며, 유효우량, 순용수량, 조용수량 등을 산정한다. 저수지 모의 조작은 Kim and Park (1988)이 제안한 DIROM 모형

을 활용한다. 해당 프로그램은 농업수리 연구 및 저수지 설계 실무 등에서 사용되어왔으며 매년 기상자료를 업데이트해 사용자 편의성을 고려하는바, 본 연구에서는 공급량 평가를 위해 논의 일별 물수지 모형을 활용한 조용수량 산정 과정을 용수수요량 산정에 사용하였다.

나. 농촌용수종합정보시스템 (RAWRIS) 일별 저수율 자료를 활용한 저수량 감소 산정

농업용수종합정보시스템에는 목측 기록을 시작한 이래로 농업용 저수지의 일별 저수위, 저수율 자료가 누적 기록되고 있으나 목측의 불확실성, 기상여건 등에 따른 결측과 같은 자료 관리 한계로 인해 신뢰성 확보가 요구되었다. 한국농어촌공사에서 상황의 개선을 위해 자동수위측정 센서를 도입, 자료 신뢰성 향상을 도모하고 있음을 고려해 본 연구 결과의 비교, 평가를 위해 농업용수종합정보시스템 자료를 추가로 활용하였다.

농업용수종합정보시스템상의 일별 저수율 자료는 유효저수량과 곱하여 일별 저수량으로 환산할 수 있으며, 2일 자료를 비교해 일별 저수량 변화를 추정할 수 있다. 일별 저수량 변화는 증가와 감소 두 가지 경우로 나타나는데, 증가하는 경우는 용수 공급이 이루어지지 않거나, 용수공급량보다 유역의 유출량이 더 많은 경우이며 감소하는 경우는 용수 공급이 이루어지거나, 용수공급량이 유역의 유출량보다 더 많은 경우이다.

대부분의 농업용 저수지는 유역 출구 관리가 이루어지지 않고 있으며, 유입량의 측정이 이루어지지 않고 있다. 유입량이 미지수로 존재하는 상황에서는 저수량 감소만을 용수공급량으로 추정할 수 있으며, 본 연구에서는 수위-유량 곡선을 활용해 산정한 용수공급량의 하한값 (lower limit)으로 참고하였다.

다. 유효저수량 대비 용수공급량 비의 산정

유효저수량은 저수지 계획 단계에서 장기간의 과거 기상 자료, 유역 유출량, 수해면적 필요수량 등을 활용해 10년 설계빈도의 내한 능력을 갖출 수 있도록 한 설계값으로 대부분의 농업용 저수지 용량 설계에 동일한 설계 방법으로 계산한다 (1998, MAF). 유효저수량은 저수지에서 10년 빈도 이내의 한발에 대응해 운영할 수 있도록 기상 자료 및 과학적, 확률론적 방법론에 기반하여 도출한 저수지 용량이므로 용수공급량 값의 평가 기준으로 충분하다고 판단하였다. 본 연구에서는 지역별로 산정된 용수공급량을 유효저수량으로 나눈 값을 용수공급량 계산 결과와 동시에 제시해 지역별 비교에 활용하였다.

III. 농업용수 공급량 산정 및 분석 결과

1. 대상 저수지 총 용수공급량 산정 및 분석

본 연구에서는 173개 농업용 저수지 수로부의 10분 단위 자동수위측정 자료와 수위-유량 관계식을 이용하여 수로를 통해 필지에 공급되는 농업용수 공급량을 산정하였다. 저수지별 10분 단위 유량 산정 결과를 순별, 월별, 연별로 누적해 기간에 따른 용수공급량을 산정하였으며, 동일 기간의 농업용수 수요량, 농업용수종합정보시스템 저수율 감소량과 강우량을 공급량 결과와 비교 평가하였다 (Table 3).

173개 대상 저수지의 2016년의 용수공급량은 7억 45백만 m^3 , 용수수요량은 7억 42백만 m^3 로 나타나 두 값이 1% 미만의 차이를 보였으며 이론적으로 계산된 수요량만큼의 용수가 필지에 공급된 것으로 나타났다. 농업용수종합정보시스템 자료의 저수율 감소량 값인 3억 99백만 m^3 대비 약 1.86배, 유효저수율 대비 1.76배 정도의 용수를 공급하였다. 2017년의 용수공급량은 6억 55백만 m^3 , 용수수요량은 5억 98백만 m^3 로 나타나 수요량 대비 9.5%인 57백만 m^3 정도의 용수를 추가로 공급한 것으로 나타났다. 농업용수종합정보시스템 자료의 저수율 감소량 값인 3억 76백만 m^3 대비 1.74배, 유효저수율 대비 1.55배 정도의 용수를 공급하였다. 2018년 용수공급량은 7억 33백만 m^3 , 용수수요량은 7억 60백만 m^3 로 나타나 수요량 대비 3.7%인 28백만 m^3 정도의 용수를 적게 공급한 것으로 나타났다. 농업용수종합정보시스템 자료의 저수율 감소량 값인 4억 46백만 m^3 대비 1.64배, 유효저수율 대비 1.73배 정도의 용수를 공급하였다. 전국 연도별 강수량은 2016년부터 2018년까지 각각 1,272.5 mm, 967.7 mm, 1,386.9 mm였으며 유효저수율 비는 1.76, 1.55, 1.73로 강수량이 높은 경우 용수공급량도 높게 나타났다.

전체 대상 저수지의 3개년 용수공급량을 용수수요량과 비교한 결과 연별로 수요량 대비 적게 공급한 경우와 많이 공급한 경우가 모두 존재하였으나, 그 차이는 10% 미만으로 비교적 작은 것을 확인하였다. 본 결과는 한국농어촌공사 물관리 실무자가 제시한 기준인 연간 유효저수율의 1.5배에서 2배 정

도를 공급한다고 알려진 관행적 명제에 부합하였으며, 거시적인 관점에서 수요량 대비 적절한 용수량을 공급하는 것으로 사료되었다.

2. 지역별 용수공급량 산정 결과

농업용 저수지 용수공급량의 지역별 특성 분석을 위해 대상 저수지를 전국 8도로 분리해 지역별, 연도별 강수량 및 용수공급량 산정 결과를 Fig. 4에 그래프로 도시하였다.

총 용수량 산정 결과 비교 분석 항목과 같이 유효저수율, 용수공급량, 용수수요량, 농업용수종합정보시스템 자료 저수율 감소량을 지역별로 비교 분석하였다. 대상 저수지는 지역별로 다르게 분포하기 때문에 부피 단위로 산정된 용수공급량을 비교하는 것은 같은 기준으로 간주할 수 없다. 따라서 지역별 비교를 위한 기준을 위해 용수공급량을 유효저수율로 나눈 값 (이하 유효저수율 비)을 추가로 제시하였다. 2016년의 유효저수율 비 전국 평균은 1.76이었으며 충청남도과 전라남도에서 2.31, 2.27로 최솟값, 경상남도과 경상북도에서 1.36, 1.37로 최솟값을 보였으며 Fig. 4(a)에 나타내었다. 2017년의 유효저수율 비 전국 평균은 1.55로 전라남도에서 1.84로 최솟값, 경상남도에서 1.01로 최솟값을 보인 것을 Fig. 4(b)에서 확인할 수 있으며, 2018년도에는 Fig. 4(c)에 나타난 것과 같이 전국 평균 1.73, 충청남도에서 2.28로 최솟값, 경상남도에서 1.16으로 최솟값을 가졌다.

3개년 결과에서 유효저수율 비는 충청남도와 전라남도의 대상 저수지에서 타 지역 대비 큰 값, 경상남도에서 작은 값을 보였다. 즉, 충청남도와 전라남도는 상대적으로 다량의 용수공급을 하는 편이며, 경상남도는 비교적 적은 양의 용수를 공급하는 것으로 이해할 수 있다. 단, 해당 결과에서는 유효저수율 비가 높은 것이 용수를 낭비하는 것이 아님을 인지하고 결과 해석에 참고할 필요가 있다. 용수공급량은 시설별 공급 특성, 수로 연장, 시설관리 상태 및 유역 특성 등에 따라 편차가 클 수 있으므로 정확한 해석을 위해서는 시설별로 서로 다른 용수공급 체계를 고려한 판단이 필요하다.

Table 3 Summary of nationwide irrigation water supply assessment

(unit: $10^6 m^3$)

Year	Effective storage	Water supply	Water requirement	RAWRIS	Water supply to effective storage	Precipitation (mm)
2016	423.27	745.41	742.11	398.82	1.76	1,272.5
2017	423.27	655.31	597.94	375.79	1.55	967.7
2018	423.27	732.68	760.61	445.86	1.73	1,386.9

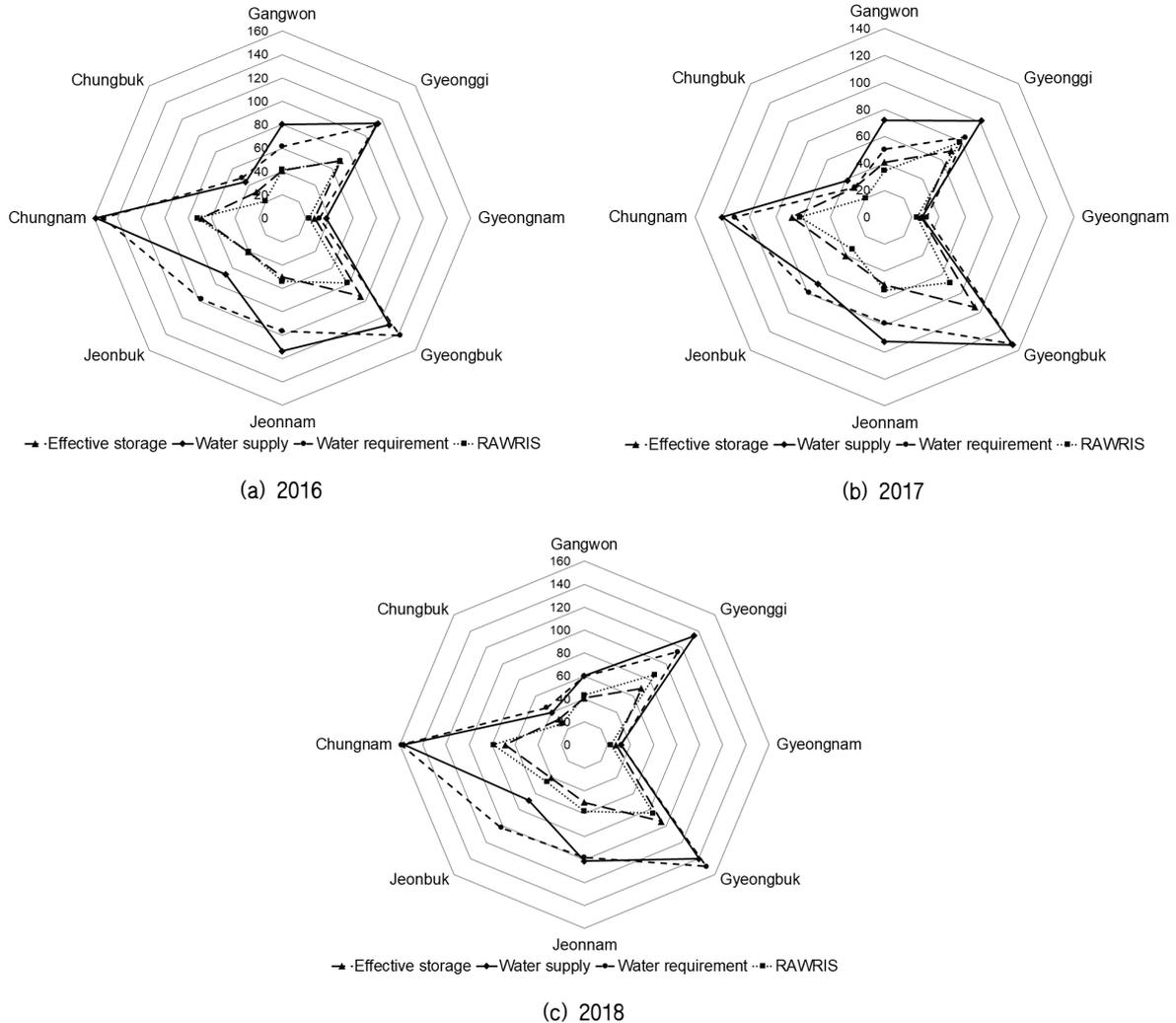


Fig. 4 Summary of regional irrigation water supply assessment

IV. 결론

본 연구에서는 다가오는 통합 물관리 체제의 대응 방안으로서 농업 분야의 ICT 시스템 적용 이후 축적된 자동계측자료를 활용해 농업용 저수지 용수공급량을 산정 및 분석하였다. 연구 대상으로는 전국에 분포한 농업용 저수지 중 50만 m³ 이상의 유효저수량을 가지는 173개소를 임의로 선정하였으며 해당 수원공의 2016-2018년의 10분 단위 자동수위계측 수로 자료와 수로별 수위-유량 곡선을 활용하여 유량을 산정하고 이를 누적하여 기간별 용수공급량을 산정하였다. 산정된 용수공급량의 검증에 위해 HOMWRS를 활용해 산정한 용수 수요량, RIMS의 저수율 자료로 계산한 용수 감소량, 저수지별 유효저수량 합산 자료와 비교하였다.

거시적 관점에서 살펴본 결과 173개 대상 저수지 기준 용

수공급량 총량은 수요량 총량 대비 10% 미만의 오차를 보였으며, 이를 통해 현재 농업용 저수지의 용수 공급이 적절한 수준으로 이루어지고 있다는 것으로 유추할 수 있었다. 우리나라 농업용 저수지는 2018년 기준 전국 17,240개소, 수해면적 427천 ha이며 본 연구의 173개 대상 저수지의 수해면적이 55.5천 ha이므로 개수로는 약 1%, 수해면적으로는 약 11.7%에 한정된 결과임을 염두에 두어야 한다.

지역별 용수공급량 산정 결과 전국 평균 유효저수량 비는 1.64로 나타났다. 지역별로는 경상남도, 충청북도 지역에서 유효저수량 대비 약 1.2배 정도의 비교적 적은 용수를 공급하였으며 전라남도, 충청남도 지역에서 유효저수량 대비 2배 이상의 용수를 공급하여 타지역 대비 용수 공급이 과다한 것으로 나타났다. 지역별 용수공급량 편차는 용수를 낭비하거나 아껴서 사용한다는 개념으로 구분할 수 있는 근거로는 부족

하며 시설별 공급 특성, 수로 연장 등의 다양한 요소를 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 강수량과 용수공급량이 비례 관계를 이루고 있음을 확인하였다. 기존 연구에서는 공급량을 실측할 수 있는 자료가 부족하여 용수공급량과 용수수요량이란 단어가 명확히 구분되지 않고 혼용되어 왔다. 농업용 저수지의 공급량을 산정해야 하는 실무 및 연구에서는 실측 자료의 부재로 인해 HOMWRS 모델을 통해 산정한 용수수요량을 공급량 자료로 사용해오는 경우가 다수 존재하였다. HOMWRS 모델의 용수수요량은 작물이 필요한 필요수량 총량을 기준으로 유효 강우를 배제한 값이므로 강우가 많으면 용수수요량이 적고 강우가 적으면 용수수요량이 많은 반비례 관계에 있음이 자명하다. 그러나 실측 자료를 활용한 용수공급량을 산정한 결과 강수량과 용수공급량은 서로 비례한 것으로 나타났다. 이는 강우가 적을 경우 실제 저수지 운영 측면에서 물이 충분히 모이지 않아 제한적인 공급이 이루어지는 것을 의미한다. 기후변화에로 발생하는 가뭄은 2, 3년 동안 지속되며 적은 저수량이 이월 (carryover)되면 관개기에 강우가 부족한 경우에도 필요수량을 충분히 공급하지 못하는 상황이 발생하게 된다. 이는 관행적인 연구 결과로 알려진 용수수요량과 강우량의 반비례 관계와 상이한 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 기상 자료 외에는 이론 적용만을 통해 이루어지던 관행적 농업용수 수요량 산정이 아닌 농업 용수로의 실측 자료를 활용해 용수공급량을 산정한 것에 그 의미가 있다고 할 수 있다. 농업 분야에서도 계속 자료로 활용할 수 있는 충분한 측정 기반이 마련되고 있으며 축적이 지속해서 이루어지고 있다. 실측 자료를 확보 및 사용 가능한 상황에서 농업 분야 과학적 기틀 마련을 위해 용수공급량과 용수수요량뿐 아니라 다양한 연구자들이 이를 활용해 연구를 진행할 수 있다면 연구 및 실무 현장에 의미 있는 다양한 결과가 도출될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017R1E1A1A01077413).

REFERENCES

1. Allen, O. B., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop

- water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
2. Blaney, H. F., and W. D. Criddle, 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington, D.C.: United States Soil Conservation Service.
3. Cho, G. H., J. K. Moon, and K. S. Choi, 2020. Analysis of channel water loss of the agricultural water supply in a Gyeongcheon drought area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 62(2): 53-62 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2020.62.2.053.
4. Choi, J. K., J. G. Son, J. W. Koo, K. S. Yoon, and Y. J. Kim, 2000. Monitoring of water supply and water quality from a pumping station. *KCID Magazine* 21(1): 19-26 (in Korean).
5. Choi, J. K., K. W. Han, J. W. Koo, and J. G. Son, 2001. Actual uses and water qualities of irrigation water from agricultural reservoir and pumping station. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 34(3): 205-212 (in Korean).
6. Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 (2nd Ed.). FAO, Rome.
7. Hargreaves, H. G., and A. Z. Samani, 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 1(2): 96-99. doi:10.13031/2013.26773.
8. Im, S. J., S. W. Park, and H. J. Kim, 2000. Methodology for estimating agricultural water supply in the Han river basin. *Journal of Korean Water Resources Association* 33(6): 765-774 (in Korean).
9. Kang, M. G., S. T. Oh, and J. T. Kim, 2014. Estimation of amounts of water release from reservoirs considering customary irrigation water management practices in paddy-field districts. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(5): 1-9 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2014.56.5.001.
10. Kim, H. Y., and S. W. Park, 1986. An evaluation of parameter variations for a linear reservoir (TANK) model with watershed characteristics. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 28(2): 42-52 (in Korean).
11. Kim, H. Y., and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs(III). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 30(3): 95-105 (in Korean).
12. Kim, S. J., S. J. Kim, C. G. Yoon, H. J. Kwon, and G.

- A. Park, 2003. Development and application of paddy storage estimation model during storm periods. *Journal of Korea Water Resources Association* 36(6): 901-910 (in Korean). doi:10.3741/JKWRA.2003.36.6.901.
13. Lee, S. H., M. Kim, J. Y. Choi, and J. Bang, 2019. Estimating reference crop evapotranspiration using artificial neural network and temperature-based climatic data. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61(1): 95-105 (in Korean). doi:10.5389/KSAE.2019.61.1.095.
 14. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1997. A Study on the water requirement variation with the farming conditions in the paddy field. 1031-7, Sa-dong, Ansan-si, Gyeonggi-do: Rural Research Institute (in Korean).
 15. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1998. Design standards of agricultural irrigation. Green-ro 20, Naju-si, Jeollanam-do: Korea Rural Community Corporation (in Korean).
 16. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2019. Statistical yearbook of land and water development for agriculture 2018. Ansan-si, Gyeonggi-do, Korea (in Korean).
 17. Makkink, G. F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists* 11: 277-288.
 18. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA), 2011. Water Plan 2020. 200 Sintanjin-ro, Daedock-gu, Deajeon, Korea: Korea Water Resources Corporation (in Korean).
 19. Pereira, A. R., N. Villanova, A. S. Pereira, and V. A. Baebieri, 1995. A model for the class-A pan coefficient. *Agricultural Water Management* 76: 75-82.
 20. Priestley, C. H. B., and R. J. Taylor, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Reviews* 100: 81-92.
 21. Rantz, S. E., 1982. Measurement and computation of streamflow: volume 2. computation of discharge. Geological survey water-supply paper 2175. 20402 Washington, D.C.