



Estimation and evaluation of irrigation water need using net water consumption concept in Jeju Island

Kim, Chul Gyum^{a*} · Kim, Nam Won^a

^aHydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Paper number: 17-041

Received: 8 May 2017; Revised: 12 June 2017; Accepted: 12 June 2017

Abstract

In order to estimate the demand for water resources planning and operation, methodology for determining the size of water supply facilities has been mainly applied to agricultural water, unlike living and industrial water, which reflects actual usage trends. This inevitably leads to an overestimation of agricultural water and can lead to an imbalance in the supply and demand of each use in terms of the total water resources plan. In this study, the difference of approaches of concept of net consumption was examined in comparison with the existing methodology and the characteristics of agricultural water demand were analyzed by applying it to whole Jeju Island. SWAT model was applied to estimate the amount of evapotranspiration, which is a key factor in estimating demand, and watershed modeling was performed to reflect geographical features, weather, runoff and water use characteristics of Jeju Island. For the past period (1992~2013), demand of Jeju Island as a whole was analyzed as 427 mm per year, and it showed a relatively high demand around the eastern and western coastal regions. Annual demand and seasonal variation characteristics of 10 river basins with watershed area of 30 km² or more were also analyzed. In addition, by applying the cultivated area of each crop in 2020 in the future, it is estimated that the demand corresponding to the 10-year frequency drought is 54% of the amount demanded in the previous research. This is due to the difference in approach depending on the purpose of the demand calculation. From the viewpoint of water resource management and operation, additional demand is expected as much as the net consumption. However, from the actual supply perspective, it can be judged that a facility plan that meets the existing demand amount is necessary. In order to utilize the methodologies and results presented in this study in practice, it is necessary to make a reasonable discussion in terms of policy and institutional as well as engineering verification.

Keywords: Irrigation water need, Net water consumption, Evapotranspiration, Jeju Island

순물소모량 개념에 의한 제주도 농업용수 수요량 산정 및 평가

김철겸^{a*} · 김남원^a

^a한국건설기술연구원 수자원하천연구소

요 지

수자원 계획 및 운영을 위한 수요량을 추정하는데 있어, 실제 이용 추세를 반영한 생활용수나 공업용수와 달리 농업용수는 용수공급시설의 규모를 결정하기 위한 방법론이 주로 적용되어 왔다. 이는 불가피하게 농업용수의 과다추정으로 이어질 수 있으며, 전체 수자원 계획의 관점에서 각 용도별 용수 공급계획의 불균형을 초래할 수 있다. 본 연구에서는 기존 방법론과 비교하여 순물소모량 개념의 접근방법의 차이에 대해 고찰하였으며, 이를 제주도 전역에 적용하여 농업용수 수요량 특성을 분석하였다. 수요량 산정에 핵심적인 인자인 증발산량의 정확한 추정을 위하여 SWAT 모형을 적용하고, 제주도 지역의 지형 및 기상, 유출, 물이용 특성을 반영한 유역 모델링을 수행하였으며, 기존 물수지 결과와 비교하여 모델링 자료의 신뢰성을 평가하였다. 과거기간(1992~2013년)에 대해 제주도 전체의 수요량은 연간 427 mm로 분석되었으며, 동부와 서부 해안지역을 중심으로 상대적으로 높은 수요량을 나타내었다. 유역면적 30 km² 이상인 10개 하천유역에 대해서도 연평균 수요량 및 계절별 변화 특성을 분석하였다. 또한, 장래 2020년 지역별 작물재배면적을 적용하여 10년 빈도 가뭄에 대응한 수요량을 산정한 결과 기존 제시된 수요량 대비 54% 수준으로 나타났다. 이는 수요량 산정목적에 따른 접근방법의 차이로 인해서 나타난 결과로서, 수자원 관리 및 운영의 관점에서 보면 순물소모량만큼의 추가적인 수요가 예상되지만, 실제 공급의 관점에서는 기존 수요량만큼의 시설계획이 필요하다고 판단할 수 있다. 본 연구에서 적용된 방법론 및 결과의 실무 활용을 위해서는 공학적인 검증은 물론이고 정책적·제도적인 측면에서의 합리적인 논의가 필요할 것이다.

핵심용어: 농업용수 수요량, 순물소모량, 증발산, 제주도

*Corresponding Author. Tel: +82-31-910-0545
E-mail: cgkim@kict.re.kr (C. G. Kim)

1. 서론

현재 일반적으로 적용되고 있는 생활용수 수요량 산정방법은 급수인구, 1인당 급수원단위, 급수보급률, 유수율, 침투부하율 등을 적용하여 산정하고 있으며, 농업용수는 공단 부지면적에 업종별 원단위, 가동률 등을 적용하여 산정하고 있다(ME and MLTMA, 2008). 이때 생활용수 급수원단위 및 농업용수 업종별 원단위는 충분한 과거의 사용실적을 근거로 추정하고 있으며, 급수보급률, 유수율, 침투부하율, 부지면적, 가동률 또한 현실적인 장래의 계획이나 과거의 추세를 근거로 적용하고 있기 때문에 실제 사용량과 큰 차이를 나타내지 않는다.

이에 반해 작물을 대상으로 하고 있는 농업용수의 경우, 인위적인 요소뿐만 아니라 기후나 토양 등의 자연적인 영향에 크게 좌우되므로 지역별·계절별 편차가 심하게 나타나며, 적용조건이나 분석방법에 따라 실제 사용량 또는 적정 수요량과 큰 차이를 보일 수가 있다. 농업용수 수요량은 논과 밭 등에서 작물재배에 필요한 용수량이라 정의할 수 있으며, 좀 더 정확하게 의미를 구분한다면 작물재배에 소요되는 전체 용수량에서 강우에 의해 공급되는 양을 제외한 수량으로 볼 수 있다(Kim et al., 1994).

수요량을 산정하는 방법은 계측 및 추정여부에 따라 직접 계측하는 방법, 특정시험지구 및 대표작물을 대상으로 계측한 결과를 일반화하여 확장하는 방법, 그리고 증발산 이론에 의하여 추정하는 방법 등 크게 3가지로 구분할 수 있다(KOWACO and KRC, 2009; Kim and Kim, 2015). 이 중에서 증발산 이론에 의한 추정방법이 다양한 기상조건을 반영할 수 있고 전국적으로 일관된 수요량을 추정할 수 있다는 장점으로 인해 과거부터 널리 적용되고 있다.

또 다른 구분으로는 수요량을 추정하는 목적 및 접근방법에 따라 필요수량 개념과 순물소모량 개념으로 나눌 수 있다(Kim et al., 1994). 필요수량 개념은 작물의 생산성을 극대화하기 위하여 경작지 물관리의 관점에서 취수-도수-급수과정에 필요한 수량을 산정하는 것으로(Lee, 1988), 수자원 시설의 규모 및 제원 등을 결정하는데 적합한 방법이다. 산정과정은 작물 및 영농방식에 따라 차이가 있으나 기본적으로는 경작지에서 유효수량을 고려한 순용수량을 산정하고, 여기에 도수손실이나 관리손실 등을 고려하여 조용수량을 산정하며, 이 조용수량에 지역별 관개면적을 적용하여 수요량을 산정하고 있다. 이 방법은 1965년에 처음 수립된 수자원장기종합계획에서부터 현재까지 농업용수 수요량을 추정하는데 널리 적용되어 왔으며, 제주도 수자원관리종합계획(JSSGP, 2013b)에서도 적용된 바 있다(Kim and Kim, 2015).

반면, 순물소모량 개념은 경작지에서의 물 사용으로 인하여 유역에서 증가된(또는 하천에서 감소된) 물 소모량을 산정하는 것으로서, 농경지의 물 소모량에서 경작이전의 물 소모량을 제외한 것을 순물소모량이라 볼 수 있다(MOC, 1977). 통상 자연상태(경작이전)의 하천유량과 경작이후의 하천유량간의 차이로 순물소모량을 산정할 수 있다. 이 방법은 낙동강 유역하구조사 기술보고서(MOC, 1977)를 통해 처음으로 우리나라에 도입되어 유역단위의 농업용수 수요량을 추정해 왔으며, 이후 미래의 용수수급 전망에 몇 차례 활용된 바 있다(KOWACO, 1990, 1993b; MOCT and KOWACO, 1996).

낙동강유역 하구조사 기술보고서(MOCT, 1977), 21세기를 바라보는 수자원 전망(KOWACO, 1993b), 수자원 계획의 최적화 연구(I) (MOCT et al., 1997), 농촌용수 수요량 조사 종합보고서(MAF and RDC, 1999), 수자원장기종합계획(2006-2020) (MOCT and KOWACO, 2006), 농업용수 수요량 추정 및 공급량 평가 보고서(KOWACO and KRC, 2009), 수자원장기종합계획(2011-2020) (MLTMA, 2011) 등에서 제시하는 농업용수 수요량 분석결과를 보면, 필요수량 개념에 의한 연간 수요량이 수리안전답에서 1,200 mm 이상, 관개전에서 400~500 mm인 반면, 순물소모량 개념에 의한 수요량은 수리안전답에서 750 mm 내외, 관개전에서 200~300 mm로서 두 방법간에 큰 차이를 보이고 있다.

제주도 지역을 대상으로 수행되었던 제주도 농업용수 종합계획 수립(Jeju Province and KARICO, 2004), 제주지역 용수 수요 전망과 수자원 보전·관리계획에 관한 연구(JDI, 2009), 제주특별자치도 농업용수 관리계획(2013-2022) (JSSGP, 2013a)에서도 필요수량 개념에 의한 수요량을 1,200 mm 내외로 제시하고 있는 반면, Kim and Kim (2015)은 제주도 내 4개 하천유역(한천, 천미천, 강정천, 외도천)에서의 순물소모량을 약 550~660 mm로 분석한 바 있다.

기존 수자원장기종합계획을 비롯하여 제주도 수자원관리 종합계획(JSSGP, 2013b) 등에서 적용되었던 필요수량 개념의 농업용수 수요량은 용수 공급을 위한 시설의 규모(시설용량 등)를 결정하기 위해 월 또는 순단위의 최대 물 소모시점을 기준으로 산정되었기 때문에 실제 사용량과 큰 차이를 나타낸다. 이는 2011년 기준 제주도의 지하수 관정에서의 실제 이용량이 시설용량 대비 28.4% 수준(JSSGP, 2013b)에 불과한 것을 보면 알 수 있다. 반면, 순물소모량 개념은 필요수량 개념과 달리 유역 수자원의 관점에서 경작지에서의 물 사용으로 인해 소모된 수량을 산정하기 때문에, 유역 규모의 수자원 부족량 해석 및 장래 용수이용에 따른 수자원의 과부족 해석, 수자원 계획 및 평가 등에 적합한 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 제주도의 물수지 및 용수이용 특성을 고려한 제주형 수요량 산정모형을 이용하여 순물소모량 개념의 수요량을 산정함으로써 제주도 전역에 대한 수요량의 시·공간적 특성을 평가하고자 한다. 아울러 기존 방법론에 의해 산정된 수요량과의 비교를 통해 방법론에 따른 수요량의 지역별 차이를 고찰하고, 향후 제주도의 수자원 관리 및 평가, 계획을 위한 합리적인 수요량 산정방법을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 제주형 수요량 산정모형

제주도의 수자원계획 및 평가를 위한 농업용수 수요량 산정방법과 관련해서는 Kim and Kim (2015)의 연구에서 아래와 같이 제시된 바 있다.

$$\Delta = CU - E_n \quad (1)$$

여기서, Δ : 순물소모량, CU : 소비수량(작물의 최대증발산량), E_n : 자연상태의 실제증발산량이다.

즉, 실제증발산량과 잠재증발산량의 관계를 통해 작물 생산량을 극대화하기 위해 필요한 용수량을 결정할 수 있으며 (Pidwirny, 2006), 이 방법은 이미 낙동강유역하구조사 기술보고서(MOC, 1977), 제3차 수자원장기종합계획(1991-2000) (KOWACO, 1990), 21세기를 바라보는 수자원전망(KOWACO, 1993b), 수자원개발 가능 지점 및 광역배분계획 기본조사(MOCT and KOWACO, 1996)에서 농업용수 수요량 추정 에 활용된 바 있다.

상기 Eq. (1)에서 최대증발산량은 최근 많이 활용되고 있는 FAO Penman-Monteith 식(Allen et al., 1998)을 적용하여 기상자료로부터 산정할 수 있다. 그러나, 실제증발산량을 산정하기 위해서는 토양내 가용수분이나 작물생장과 같은 복잡한 요인이 고려되어야 한다.

통상 장기간의 물수지에서 유역의 증발산량(E)은 아래와 같이 강수량(P)과 유출량(Q)의 차이로부터 추정할 수 있다.

$$E = P - Q \quad (2)$$

그러나, 이는 강우로 인해 발생된 직접유출을 제외하고 토양으로 침투된 대부분의 수량이 단기 또는 장기간에 걸쳐 하천으로 회귀한다는 가정 하에 성립할 수 있는 것으로서, 제주도 와 같이 강수량의 45%에 이르는 수량이 지하수로 함양되는

상황에서는 Eq. (3)과 같이 지하수 함양량(GW)에 대한 추가적인 변수가 고려되어야 한다.

$$E = P - Q - GW \quad (3)$$

또한, 제주도의 하천은 간헐적 유출 특성과 불규칙한 하상 단면으로 인하여 정확한 유출량의 파악이 쉽지 않다. 따라서, 강수량으로부터 유출량, 지하수 함양량, 잠재증발산량 및 실제증발산량 등을 해석할 수 있는 모델링 기법이 필요하며, 여기에 제주도의 지역적 특성을 고려한 정교한 모델링이 필요하다.

본 연구에서는 유역모형인 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1993)을 기반으로, 한계유출모의 기법(Chung et al., 2011) 및 간헐하천모의기법(Kim et al., 2013) 등을 적용함으로써 제주도의 독특한 유출특성을 모의할 수 있도록 하였다. 또한, 증발산량의 계절적 변화뿐만 아니라 한라산에 의한 고도 영향을 반영하기 위하여 Kim et al. (2012)이 활용한 PRISM기법에 의해 강수량, 최고/최저기온, 상대습도, 풍속에 대한 격자별 기상자료를 생산하여 모형에 적용하였다. 태양복사량은 기존 Kim and Kim (2015)과 같이 4개 기상대(제주, 고산, 성산, 서귀포)의 관측일조시간으로부터 Angstrom 공식(Allen et al., 1998)을 이용하여 환산하여 적용하였다.

SWAT 모형을 이용하여 각 지역별 토양 및 토지이용 특성을 반영하고, 작물에 대한 생육과정과 토양수분의 변화를 모의함으로써, 일별 최대증발산량(CU)과 가용수분을 고려한 실제증발산량(E_n)을 산정하였으며, Eq. (1)에 의해 순물소모량에 의한 수요량(Δ)을 산정하였다.

2.2 대상유역 및 분석방법

대상유역으로서 하천과 연계되지 않은 일부 해안지역을 제외하고 제주도 전역에 대해 모델링을 구축하였다. 분석기간은 Kim and Kim (2015)과 동일하게 1992~2013년(22년)을 대상으로 하였으며, 모델링 적용을 위해 제주도를 총 299개 소유역으로 구분하였다.

수요량을 산정하기 앞서, 과거기간에 대한 증발산량 및 지하수 함양량, 유출량 모의결과를 기반으로 물수지 분석을 수행하여, 기존 타 연구를 통해 분석된 물수지 결과와 비교함으로써 모델링 결과의 신뢰성을 평가하였다.

Fig. 1은 제주도 내 142개 하천 중 유역면적 30 km² 이상인 하천유역의 위치를 나타낸 것이며, GIS 프로그램을 통해 분석한 각 유역별 면적 및 평균고도, 토지이용 현황은 Table 1과 같다.

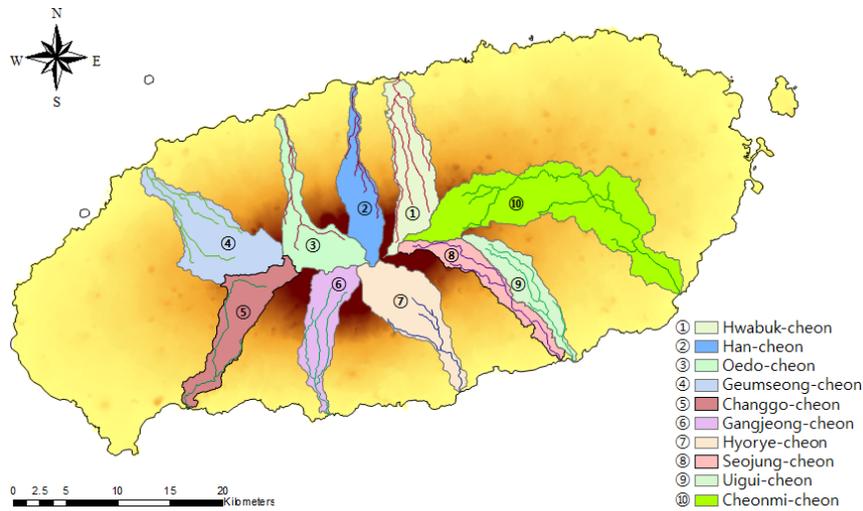


Fig. 1. Map of Jeju Island and several stream watersheds

Table 1. Geomorphological characteristics of several watersheds

Watershed	Area (km ²)	Altitude (EL.m)	% of landuse type				
			Forest	Pasture	Cropland	Orchard	Urban
Hwabuk-cheon	49.10	491	51.1	7.7	18.3	18.5	4.4
Han-cheon	34.60	700	69.0	16.3	8.0	4.3	2.4
Oedo-cheon	43.46	875	68.8	21.7	2.3	7.2	-
Geumseong-cheon	63.10	440	37.8	34.1	25.5	2.6	-
Changgo-cheon	45.46	472	53.0	22.0	11.7	13.3	-
Gangjeong-cheon	37.56	744	75.1	9.2	3.0	12.7	-
Hyorye-cheon	52.27	730	71.7	9.5	-	16.8	2.0
Seojung-cheon	31.68	501	70.5	5.9	3.5	20.1	-
Uigui-cheon	31.61	294	47.9	20.9	4.5	26.7	-
Cheonmi-cheon	128.56	359	39.4	45.1	10.8	4.7	-

제주도 전역 및 주요하천유역에 대한 순물소모량의 산정을 통해 수요량의 공간적 특성을 검토하였으며, 계절별 분석 및 빈도분석을 통해 시간적 특성에 대해서도 분석하였다.

3. 연구결과

3.1 물수지 분석

Fig. 2는 분석기간(1992~2013년)에 대한 연간 강수량, 실제증발산량, 유출량, 지하수 함양량의 소유역별 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이, 고도에 따른 영향으로 강수량, 유출량, 지하수 함양량은 중심부에서 높게 나타나고 해안지역에서 낮게 나타났다. 반면, 증발산량은 저고도 해안 지역을 중심으로 높은 경향을 보이면서, 동부와 서부보다는

남부와 북부 해안지역에서 상대적으로 높게 분석되었다. 증발산량은 Kim and Kim (2015)의 연구에서 분석한 바와 같이, 일정고도(200~400 m)까지는 고도에 따라 증가하는 경향을 보이지만 한라산 중심부 등 높은 고도에서는 기상조건이나 식생 등의 영향으로 인해 감소하는 것으로 나타났다.

고도에 따른 강수량의 변화는 1,286~3,503 mm, 증발산량은 474~842 mm, 유출량은 3~1,368 mm, 지하수 함양량은 234~2,118 mm로 분석되었다.

Fig. 3은 강수량 대비 유출량, 증발산량, 지하수 함양량의 비율을 연도별로 나타낸 것이다. 분석기간 중의 제주도 전체에 대한 연평균 강수량은 2,046 mm, 유출량은 446 mm, 증발산량은 698 mm, 지하수 함양량은 902 mm로 나타났으며, 강수량 대비 비율은 유출량 21.8%, 증발산량 34.1%, 지하수 함양량 44.1%로 분석되었다. 이는 Table 2에 제시한 것처럼 타

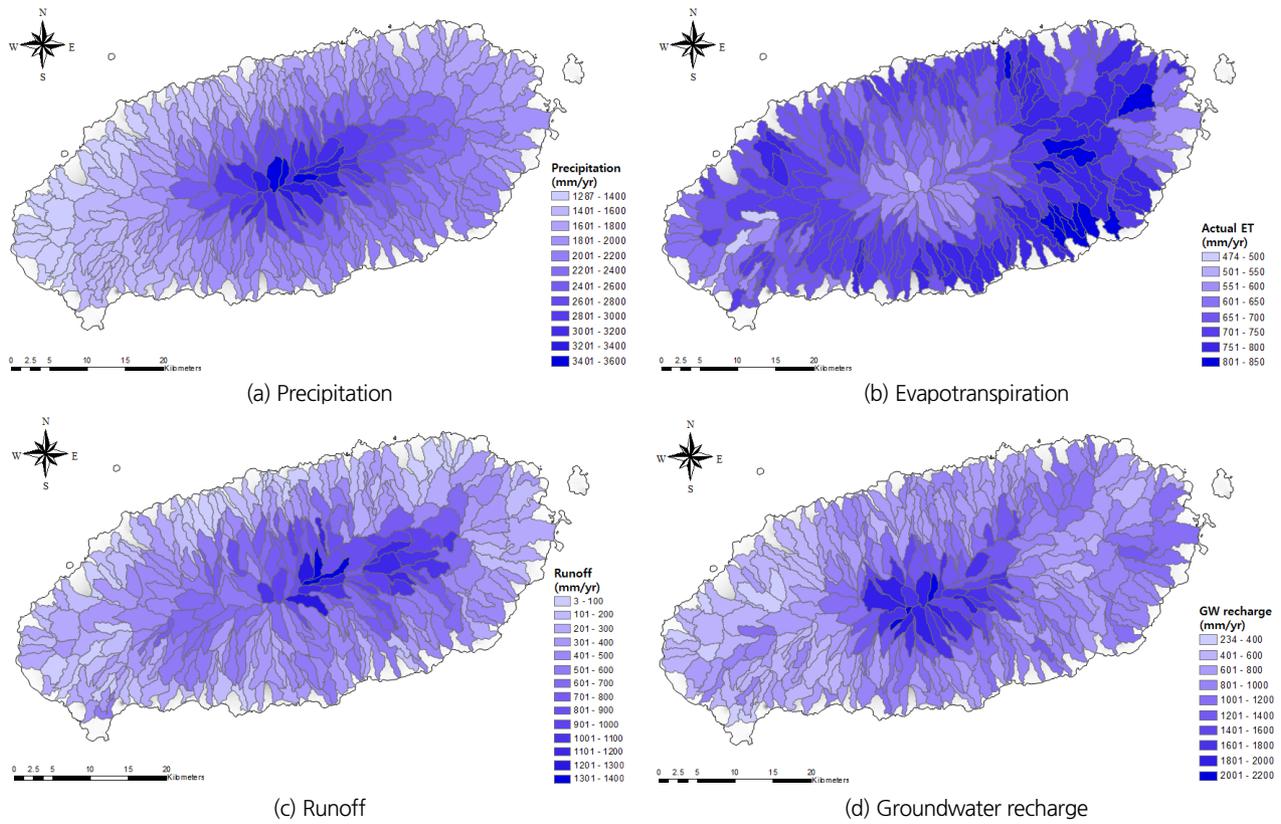


Fig. 2. Spatial distribution of annual precipitation, evapotranspiration, runoff, and groundwater recharge

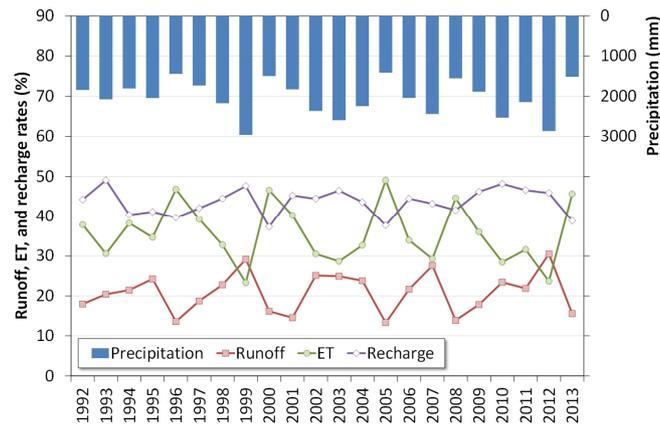


Fig. 3. Rates of runoff, evapotranspiration, and groundwater recharge to precipitation from 1992 to 2013

Table 2. Comparison of researches on water balance analysis of Jeju Island

Literature	Area-averaged annual value (mm)			
	Precipitation	ET	Runoff	Recharge
This research	2,046	698	446	902
JSSGP (2013b)	2,061	689	456	916
Jeju Province and KOWACO (2003)	1,975	656	408	911
KOWACO (1993a)	1,870	693	352	825

연구에서 수행한 제주도 물수지에 대한 분석결과들과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 분석기간 및 방법론, 사용된 자료가 상이한 것을 감안한다면 지역별 계산결과의 차이가 있을 수 있으나 전반적인 제주도 지역의 물수지 모의결과가 기존 연구결과에 부합하며, 특히 1992~2011년을 대상으로 분석한 JSSGP (2013b)의 값과 매우 유사한 점으로 보아, 본 연구에서 활용하고자 하는 모델링 자료에 충분한 신뢰성이 있다고 판단할 수 있다.

3.2 수요량 분석

Fig. 4는 모의된 증발산량을 적용하여 Eq. (1)에 의해 소유역별 수요량을 산정한 것으로서 분석기간(1992~2013년) 동안의 연평균 값을 나타낸 것이다. 고도가 높은 한라산 중심부 등 산간지역에서는 수요량이 거의 없는 것으로 나타났으며, 고도가 낮은 해안지역에서의 수요량이 높게 나타났다. 특히

동부와 서부 해안지역을 중심으로 600 mm 이상의 높은 수요량을 나타내었다. 제주도 전체를 대상으로 한 수요량은 평균 연간 398 mm로 나타났으나, 실제 경작이 이루어지는 지역이 대부분 고도 200 m 이하의 해안지역이기 때문에 이 지역만을 대상으로 수요량을 산정하면 연간 345~509 mm (평균 427 mm)로 분석되었다.

Fig. 5는 10개 하천유역에 대하여 강수량, 자연상태 증발산량, 소비수량, 수요량을 비교한 결과로서, 유역별 강수량이 1,662~2,280 mm로 큰 편차를 보이는데 비해, 수요량은 256~364 mm로 상대적으로 편차가 작게 나타났다. 외도천과 창고천을 제외하고는 대체로 남부지역(강정천, 효례천, 서중천, 의귀천, 천미천)의 수요량이 북부지역(화북천, 한천, 금성천)보다 높은 것으로 분석되었다.

Fig. 6은 10개 하천유역을 대상으로 월별 수요량의 변화를 나타낸 것이다. 유역별 값의 차이는 있으나, 대체로 4월과 5월

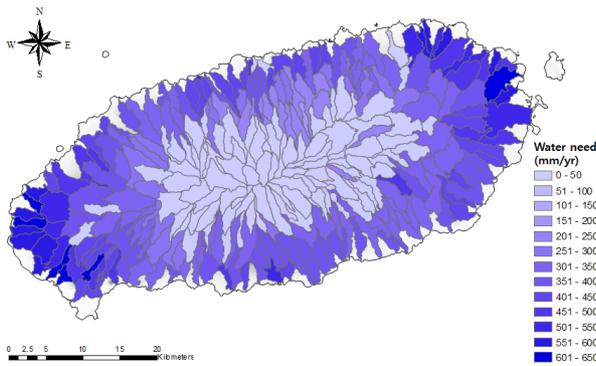


Fig. 4. Annual water need for each subbasin in Jeju Island

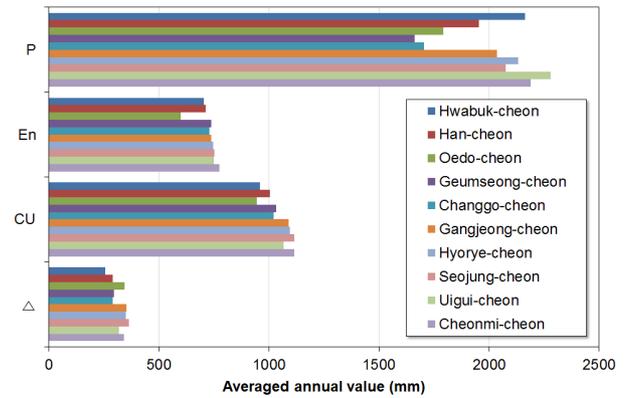


Fig. 5. Annual precipitation, natural evapotranspiration, consumptive use, and water need for several stream watersheds

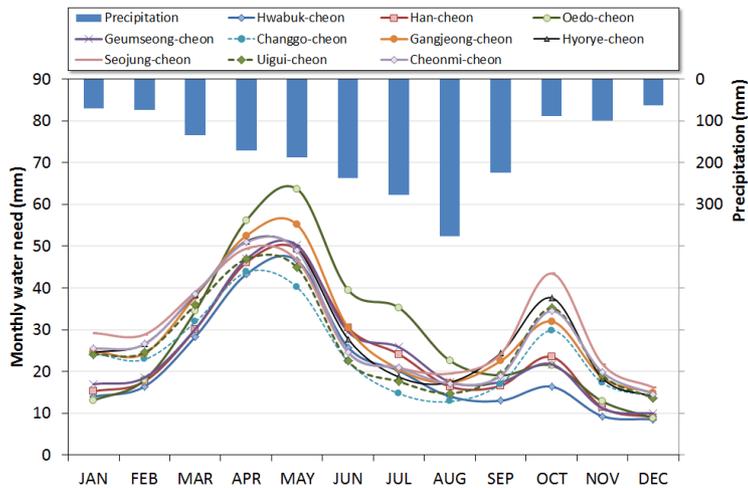


Fig. 6. Seasonal variation of water need for several stream watersheds

에 수요량이 높으며, 7~9월의 수요량이 낮고 다시 10월의 수요량이 높은 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구(Kim and Kim, 2015)에서도 기술한 것처럼, 강수량이 많은 여름철에는 경작이전인 자연상태의 물 소모량이 많았기 때문에 경작으로 인한 추가적인 수요량이 상대적으로 크지 않음을 의미하며, 오히려 강수량이 적은 봄철과 가을철의 순물소모량이 많음을 의미한다고 볼 수 있다.

Table 3 및 Fig. 7은 지역별 2020년도 작물재배면적(JSSGP, 2013a)을 적용하여 산정한 수요량과 기존 제주특별자치도 농업용수 관리계획(2013-2022) (JSSGP, 2013a)에서 제시하는 필요수량 개념의 수요량을 비교한 것으로, 두 값 모두 10년 빈

도 가뭄에 대한 수요량 예측치이다. 서론에서 언급한 것처럼 목적에 따라 수요량 산정방법이 다르기 때문에 직접적인 비교는 곤란하나, 단순히 값의 비교에서 보면, 순물소모량 개념에 의한 수요량이 필요수량 개념에 의한 기존 수요량의 54% 수준인 것으로 나타났다. 특히, 제주시 동지역(JD)과 조천읍(JC), 서귀포시 동지역(SD), 남원읍(NW) 등은 그 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 이에 대한 원인으로서는 각 방법별 사용된 기상자료, 지역별 기상특성 및 작물재배면적 등이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 두 방법간 값의 차이보다는 접근개념 및 적용목적의 차이가 더 중요하기 때문에 세부적인 비교는 제외하였다. 다만, 2011년 기준 제주도 지하수 관정의 시설용량대

Table 3. Comparison of irrigation water need by administrative area in 2020

Administrative district	Area code	Irrigation area (ha)	Water need (1,000 m ³ /d)		
			Net water consumption ¹⁾	Water requirement ²⁾	
Jeju-si	Dong area	JD	2,798	28.4	89.8
	Gujwa-eup	GJ	6,335	97.3	91.9
	Jocheon-eup	JC	2,475	26.9	74.3
	Aewol-eup	AW	4,786	55.4	98.3
	Hanrim-eup	HR	3,724	49.9	56.9
	Hangyeong-myeon	HG	5,213	87.8	100.5
Seoguiipo-si	Dong area	SD	4,386	51.1	180.4
	Seongsan-eup	SS	3,908	60.0	86.6
	Pyoseon-myeon	PS	2,661	32.2	57.3
	Namwon-eup	NW	4,809	54.6	182.0
	Andeok-myeon	AD	2,361	28.0	41.7
	Daejeong-eup	DJ	4,965	80.9	154.6
SUM		48,421	652.5	1,214.3	

¹⁾This research

²⁾JSSGP (2013a). The agricultural water management plan for Jeju special self-governing province (2013-2022)

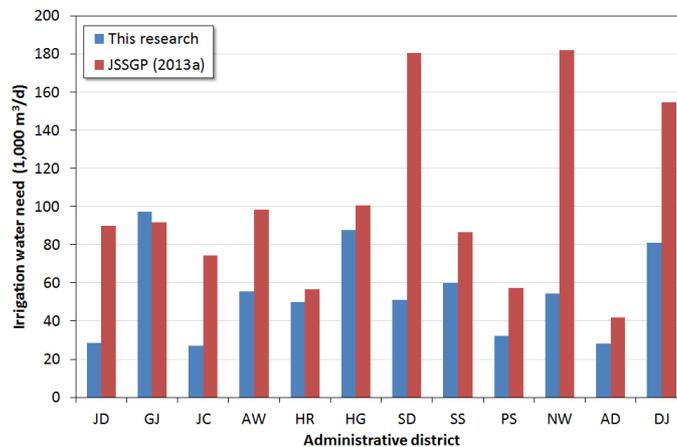


Fig. 7. Comparison of irrigation water need by administrative area by two methods

비 실제 이용량이 28.4% 수준임을 고려할 때(JSSGP, 2013b), 관정 설계를 위한 수요량과 물수지 관점에서의 수요량을 구분하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 제주도 수자원 계획 및 평가에 적합한 농업용수 수요량 산정방법으로서, 기존 제주특별자치도 수자원 관리종합계획(2013-2022) (JSSGP, 2013b)에서 적용한 방법과는 다른 순물소모량 개념(MOC, 1977; Kim et al., 1994; Pdiwirny, 2006; Kim and Kim, 2015)에 의한 접근방법을 적용하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

농업용수 수요량 산정에 핵심적인 인자인 증발산량의 추정을 위해 SWAT 모형을 기반으로 제주도 지역의 독특한 지형 및 기상, 유출, 물이용 특성을 반영한 유역 모델링을 수행하였다. 분석기간(1992~2013년)에 대한 장기 물수지를 분석한 결과 강수량 대비 유출량 21.8%, 증발산량 34.1%, 지하수 함양량 44.1%로서, 기존 보고서(KOWACO, 1993a; Jeju Province and KOWACO, 2003; JSSGP, 2013b)와 비교할 때 유사하게 나타남으로써 모델링 자료에 충분한 신뢰성이 있음을 판단할 수 있었다.

과거기간(1992~2013년)에 대해 분석한 제주도 전체에 대한 수요량은 연평균 398 mm이나, 실제 경작이 이루어지는 고도 200 m 이하 지역에 대한 수요량은 427 mm로 분석되었다. 특히 동부와 서부 해안지역을 중심으로 연 600 mm 이상의 높은 수요량을 보였다. 유역면적 30 km² 이상의 10개 하천유역을 대상으로 수요량을 분석한 결과, 대체로 남부지역(강정천, 효례천, 서중천, 의귀천, 천미천)의 수요량이 북부지역(화북천, 한천, 금성천)보다 높은 것으로 분석되었다.

월별 수요량 변화는 기존 연구(Kim and Kim, 2015)에서와 마찬가지로, 강수량이 많은 여름철(7~9월)의 수요량이 낮고, 강수량이 적은 봄철과 가을철의 수요량이 높은 것으로 나타났다.

장래 2020년 예상되는 지역별 작물재배면적을 적용하여 10년 빈도 가뭄에 대응하여 수요량을 산정한 결과, 기존 제주특별자치도 농업용수 관리계획(2013-2022) (JSSGP, 2013)에서 제시하는 수요량 대비 54%로 나타났다. 이는 수요량 산정 목적에 따른 접근방법의 차이로 인해 나타난 결과로서, 수자원 관리 및 운영의 관점에서 보면 순물소모량만큼의 추가적인 수요가 예상되지만, 실제 공급의 관점에서는 필요수량만큼의 시설 계획이 필요하다고 이해할 수 있다.

서론에서 언급한 바와 같이 수자원 계획 및 운영을 위한 수

요량을 추정하는데 있어, 실제 이용추세를 반영한 생활용수나 농업용수와 달리 농업용수는 용수공급시설의 규모를 결정하기 위한 방법론이 주로 사용되어 왔다. 이는 불가피하게 농업용수의 과다추정으로 이어질 수 있으며, 전체 수자원 계획의 관점에서 각 용도별 용수 수급계획의 불균형을 초래할 수 있다. 즉, 목적에 적합한 현실적이고 합리적인 농업용수 수요량 추정방법이 적용되어야 할 것이다.

본 연구에서 적용한 방법론은 전혀 새로운 것이 아니며 제한적으로나마 이미 적용된 바 있다. 다만, 본 연구에서는 제주도에게 기존 적용된 방법론과 비교하여 순물소모량 개념의 접근방법의 차이에 대해 고찰하였으며, 이를 통해 산정한 제주도 지역의 수요량 특성에 대해 제시하였다. 적용된 방법론을 비롯하여 모델링 과정에서의 여러 적용조건 및 가정들에 대해 공학적인 검증뿐만 아니라 정책적으로 합리적인 공감을 이룬다면, 향후 제주도 지역의 수자원 계획이나 평가 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술 지역특성화사업 「제주권 국토교통기술 지역거점센터」 연구과제(17RDRP-B07 6272-04)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture, Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Arnold, J. G., Allen, P. M., and Bernhardt, G. (1993). "A comprehensive surface-groundwater flow model." *Journal of Hydrology*, Vol. 142, pp. 47-69.
- Chung, I. M., Lee, J., Kim, J. T., Na, H., and Kim, N. W. (2011). "Development of threshold runoff simulation method for runoff analysis of Jeju Island." *Journal of the Environmental Sciences*, Vol. 20, No. 10, pp. 1347-1355.
- Jeju Development Institute (JDI) (2009). *A study on water demand forecast and water conservation management plan in Jeju area*.
- Jeju Province and Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation (KARICO) (2004). *Establishment of comprehensive plan for agricultural water in Jeju province*.
- Jeju Province and Korea Water Resources Cooperation (KOWACO) (2003). *Comprehensive investigation of hydrogeology and*

- groundwater resources in Jeju Island (III)*. Jeju Province.
- Jeju Special Self-Governing Province (JSSGP) (2013a). *The agricultural water management plan for Jeju special self-governing province (2013-2022)*.
- Jeju Special Self-Governing Province (JSSGP) (2013b). *The water management comprehensive plan for Jeju special self-governing province (2013-2022)*.
- Kim, C. G., and Kim, N. W. (2015). "Altitudinal pattern of evapotranspiration and water need for upland crops in Jeju Island." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 11, pp. 915-923.
- Kim, N. W., Chung, I. M., and Na, H. (2013). "A method of simulating ephemeral stream runoff characteristics in Cheonmi-cheon watershed, Jeju Island." *Journal of Environmental Science International*, Vol. 22, No. 5, pp. 523-531.
- Kim, N. W., Lee, D. R., and Hong, I. P. (1994). "Re-examination on estimation method of agricultural water need." *Proceedings of Water Engineering Research Presentation*, pp. 343-352.
- Kim, N. W., Um, M. J., Chung, I. M., and Heo, J. H. (2012). "Estimating the total precipitation amount with simulated precipitation for ungauged stations in Jeju Island." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 875-885.
- Korea Water Resources Corporation (KOWACO) (1990). *The long-term comprehensive plan for water resources (1991-2000)*.
- Korea Water Resources Corporation (KOWACO) (1993a). *Establishment of comprehensive development plan for water resources in Jeju province*.
- Korea Water Resources Corporation (KOWACO) (1993b). *Outlook for 21st century water resources*.
- Korea Water Resources Corporation (KOWACO) and Korea Rural Community Corporation (KRC) (2009). *Report on estimation of agricultural water demand and assessment of water supply*.
- Lee, N. H. (1988). *Simulating daily operation of water management systems of irrigation districts*. Ph. D. dissertation, Seoul National University.
- Ministry of Agriculture and Forestry (MAF) and Rural Development Corporation (RDC) (1999). *Comprehensive report on the demand for rural water*.
- Ministry of Construction (MOC) (1977). *Technical report on the Nakdong-gang estuary*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT) and Korea Water Resources Corporation (KOWACO) (1996). *Basic survey on the exploitable place and regional distribution plan of water resources*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT) and Korea Water Resources Corporation (KOWACO) (2006). *The long-term comprehensive plan for water resources (2006-2020)*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT), Korea Water Resources Corporation (KOWACO), Korea Institute of Construction Technology (KICT) (1997). *Research on optimization of water resources planning (I): development of water demand estimation system*.
- Ministry of Environment (ME) and Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2008). *Public water supply forecast business manual*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2011). *The long-term comprehensive plan for water resources (2011-2020)*.
- Pidwirny, M. (2006). *Actual and potential evapotranspiration*. Fundamental of Physical Geography, 2nd Edition, Date Viewed, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8j.html>