

국가 수자원계획의 가뭄빈도별 물 부족량 추정

Water Shortage Estimation by Drought Frequencies in National Water Plan

문장원 Moon Jangwon	한국건설기술연구원 수석연구원(제1저자) Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology(Primary Author) (jwmoon@kict.re.kr)
이동률 Lee Dongryul	한국건설기술연구원 연구위원(교신저자) Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology(Corresponding Author) (dryi@kict.re.kr)
최시중 Choi Sijung	한국건설기술연구원 수석연구원 Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology (sjchoi@kict.re.kr)

목 차

I. 서론

II. 연구의 시공간적 범위 및 이용 자료

1. 연구의 시공간적 범위
2. 이용 자료

III. 분석 방법

1. 물 수급 네트워크 구축 및 검증
2. 가뭄빈도별 물 부족량 추정

IV. 분석 결과

1. 5대강 권역의 물 수급 네트워크 검증
2. 농업용 저수지 공급 가능량 제외에 따른 물 부족량 추정
3. 소유역별 가뭄빈도에 따른 물 부족량 추정

V. 결론

I. 서론

한정된 수자원을 효과적으로 관리하고 활용하기 위해서는 물 수요와 공급의 관계를 고려하여 장기적인 관점에서 물 수급 평가를 수행하는 것이 필요하다. 물 수급 평가를 통해 시공간적인 물 부족의 분포를 판단하여 제시하는 것은 수자원 개발계획의 수립이나 수자원 관리의 기반 정책을 수립하는 데 있어 매우 중요한 요소다. 그러나 계획의 수립 범위와 관계없이 단일 가뭄기준 물 부족량의 산정은 과다 또는 과소 추정될 위험이 있어 계획 수립 범위에 따른 적정 수준의 물 부족 평가 결과의 제시가 필요하다. 그러므로 물 수요와 공급에 대한 물수지 분석을 통해 물 부족의 시공간적인 분포를 제시하고자 할 경우 가뭄빈도에 따른 물 부족량 추정 결과를 제시하고 계획 수립 당사자 또는 수자원 개발 의사결정자가 적절한 수준의 결과를 활용하도록 유도할 필요가 있다.

현재까지 많은 국내외 연구자들에 의해 빈도에 따라 가뭄의 크기를 정의하고자 하는 노력이 이루어져 왔다(Kim et al. 2002; Bonaccorso et al. 2003; Salas et al. 2005; Kim et al. 2006; 김대하·유철상. 2006; 김보경 외. 2006; 유철상 외. 2006; 장연규 외. 2006; 연제문 외. 2007; Yoo et al. 2008). 그러나 지금까지의 연구 결과는 가뭄을 나타내기 위한 지표로 가뭄지수를 이용하고 있으며, 가뭄지수에 대한 빈도 연구를 진행한 것으로 물 수요와 공급을 기반으로 가뭄 빈도를 평가한 후 물 부족량을 추정하기 위한 연구는 거의 전무한 실정이다. 다만 2011년에 수립된 수자원장기종합계획(국토해양부. 2011)에서는 이러한 점을 고려하여 5대강 권역에 대해 네 가지 가뭄빈도(과거 최대가뭄, 20년, 10년, 5년)에 대한 물 부족 추정 결과를 제시하고 있다. 하지만 물 부족량을 추정하는 과정에서 농업용 저수지 및 지하수에 대한 공급 가능량을 빈도와 관계없이 적용하는 등의 한계를

포함하고 있으며, 권역을 구성하는 중권역에 대한 가뭄빈도별 물 부족량이 아닌 권역 전체에 대한 빈도별 물 부족량을 제시하고 있어 지자체나 소규모 유역 단위의 계획을 수립하기 위한 기반 정보로는 충분치 않은 것이 현실이다.

이에 본 논문에서는 국가 수자원계획 수립 과정에서 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하는 방법에 대한 대안을 검토하여 제시하고자 하였다. 먼저 가뭄에 대한 대응능력이 상대적으로 낮은 농업용 저수지의 공급 가능량을 고려하지 않을 경우의 물 부족량을 산정하여 검토하였다. 최예환·최중대(2002)는 우리나라에 10년 빈도의 가뭄이 발생하게 될 경우 전체 농업용 저수지의 절반 이상이 고갈되어 관개용수 공급에 어려움을 겪게 될 것으로 제시하고 있으며, 한국농어촌공사의 농촌용수종합정보시스템에 의하면 시스템에 등록된 전국 1만 7,531개소의 저수지 중 가뭄대응을 위한 설계빈도 1년인 저수지가 8,985개소, 3년 2,662개소, 5년 737개소, 7년 480개소, 8년 1개소, 10년 4,655개소, 20년 9개소, 그리고 100년 2개소인 것으로 나타나고 있다. 그러므로 우리나라의 농업용 저수지는 10년 빈도를 초과하는 크기의 가뭄이 발생할 경우 대부분 공급능력을 상실하여 용수 공급에 어려움을 겪는 상황이 발생할 것으로 예상할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 과거 최대가뭄 및 20년 빈도의 가뭄에서는 농업용 저수지의 공급능력이 상실되는 것으로 가정하고 그에 따른 물 부족량이 어떻게 나타나는지를 분석하였다. 산출된 결과는 수자원장기종합계획(국토해양부. 2011)의 동일 빈도별 물 부족량과 비교하였다. 두 번째로 권역을 구성하는 중권역의 빈도별 물 부족량을 산정하여 제시하고 중권역별 결과를 합산한 값이 권역 전체의 물 부족량에 대한 빈도별 결과를 도출하였을 경우와 어떠한 차이를 보이는가를 검토하였다. 이때 중권역별 물 부족량의 산정은 수자원장기종합계획(국토해양부. 2011)의 권

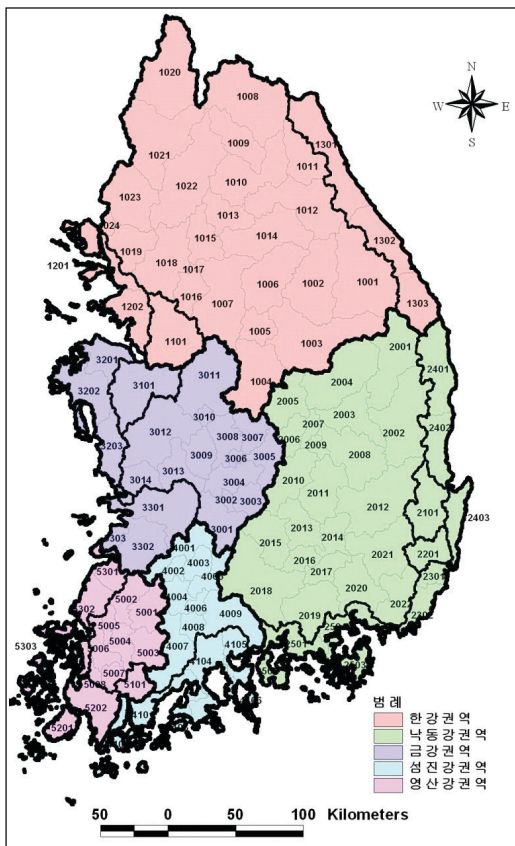
역별 결과와 비교하기 위해 농업용 저수지의 공급 가
능량을 고려하여 산정하였다. 본 논문의 결과는 향후
국가 및 지역 수자원계획 수립 과정에서 참고할 수 있
는 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단되며,
더욱 효과적인 수자원계획 수립을 지원하기 위한 기
반 정보의 역할을 수행할 수 있을 것이다.

II. 연구의 시공간적 범위 및 이용 자료

1. 연구의 시공간적 범위

본 논문에서 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하기 위한
시간적인 범위로 1967~2007년까지 총 41년을 대상
으로 하였다. 이때 각 연도는 수문년을 기준으로 전년

그림 1 _ 5대강 권역 및 중권역 구분도



도 10월부터 당해 연도 9월까지를 1년으로 설정하였
으며(예를 들어, 1967년은 1966년 10월부터 1967년
9월까지의 기간임), 물 부족량 산출을 위한 물수지 분
석의 최소 시간 단위는 반순(5일 간격) 단위로 고려하
였다. 이는 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)
의 시간적 범위를 고려하여 설정한 것임을 밝혀둔다.

이와 함께 연구의 공간적 범위는 수자원단위지도
의 중권역을 최소 단위로 고려하였으며, 우리나라의
주요 하천을 중심으로 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영
산강 등 5대강 권역으로 구성하였다. 본 논문에서 고
려된 중권역은 총 113개 중권역이며, 5대강 권역별
로 한강권역은 30개 중권역, 낙동강권역 33개 중권
역, 금강권역 21개 중권역, 섬진강권역 15개 중권역,
그리고 영산강권역은 14개 중권역으로 구성되어 있
다. <그림 1>은 본 논문에서 고려한 5대강 권역 및 이
를 구성한 중권역에 대한 현황을 나타낸 것이다.

2. 이용 자료

물 수요 및 공급에 기반을 둔 물 수급 평가를 수행하
기 위해서는 기본적으로 물 수요량과 공급 관련 자
료가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 수자원장
기종합계획(국토해양부, 2011)에서 제시한 목표연
도 2020년 기준 중권역별 수요량(기준수요 시나리
오)과 자연유출량 자료를 수집하여 이용하였다. 이와
함께 권역 내에서 운영되고 있는 다목적댐(이수 및
치수 등 다목적으로 운영되고 있는 댐), 용수전용댐
(한국수자원공사에서 운영 중인 생활 및 농업용수 공
급 목적으로 운영되고 있는 댐)의 상시만수위, 홍수
기 제한수위 등 운영 기준은 댐운영 실무편람(한국수
자원공사, 2011)을 이용하여 수집하였으며, 광역상
수도의 공급 현황 및 계획을 반영하기 위해 수도정비
기본계획(국토해양부, 2009)의 자료를 이용하였다.

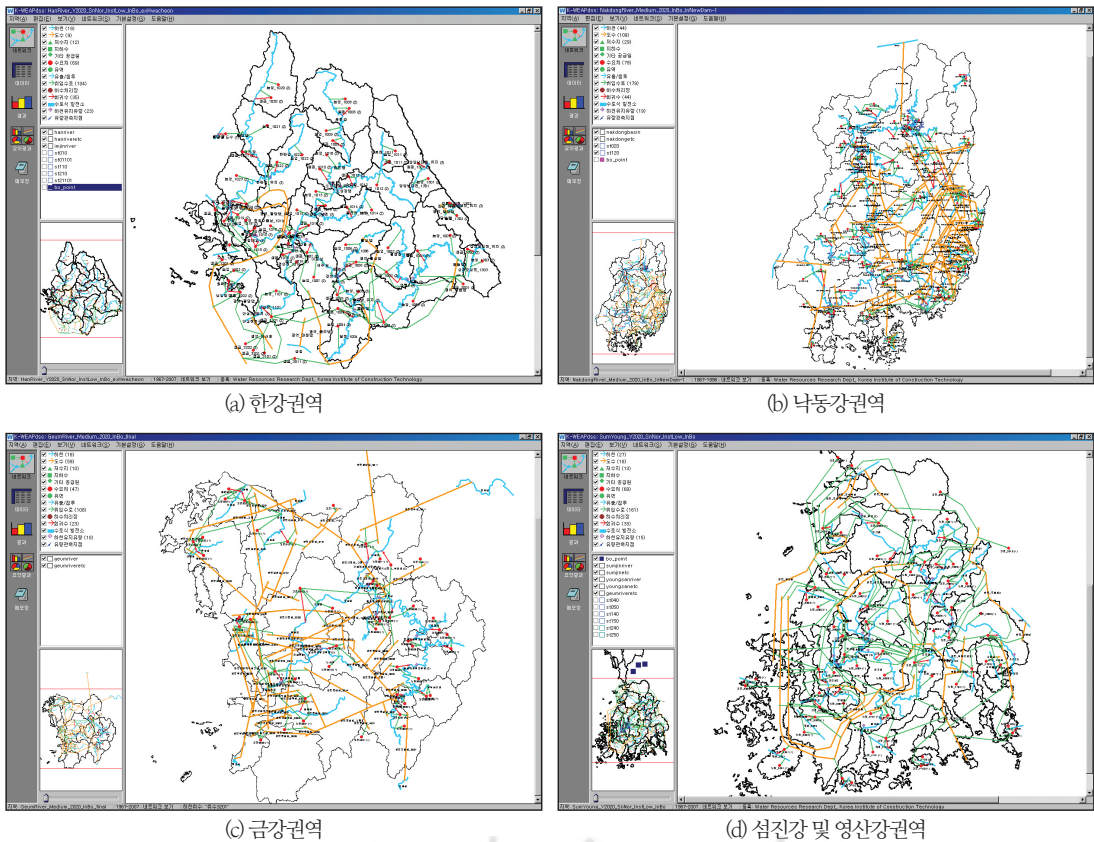
III. 분석 방법

가뭄빈도별 물 부족량 추정을 위해 먼저 분석 대상 권역별로 물수지 분석을 위한 물 수급 네트워크를 구성하였다. 물 수급 네트워크의 구성은 한국형 통합수자원평가계획 모형인 K-WEAP(Korea Water Evaluation and Planning System)을 이용하였으며, 수집된 물 수요량과 공급 관련 자료를 입력한 후 1967~2007년까지 연속 모의를 수행하였다. 모의 결과를 이용하여 연도별 물 부족량을 산출하였으며, 그 결과를 이용하여 가뭄빈도별 물 부족량을 5대강 권역별로 추정하였다. 단계별 세부적인 분석 방법은 다음과 같다.

1. 물 수급 네트워크의 구축 및 검증

물수지 분석을 위한 물 수급 네트워크 구축은 K-WEAP 모형을 이용하였다. K-WEAP은 하도를 기준으로 물 수급 네트워크를 구성하게 되어 있는 모형으로 화면을 통해 실제와 유사한 물 수급 구조를 반영하여 네트워크를 구축할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 연구 대상 지역인 5대강 권역(한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강)에 대해 K-WEAP을 이용한 물 수급 네트워크를 구축하였으며, <그림 2>는 그 결과를 나타낸 것이다. 물 수급 네트워크 구축 시 광역상수도 등 유역 간 물 공급이 이루어지는 체계는 유역 간 도수로 반영하였으며, 최소 공간 단위인 중권역 내에 생활 및 공업용수 수요처 1곳과 농업용수 수요

그림 2_K-WEAP을 이용한 5대강 권역의 물 수급 네트워크 구축



처 1곳을 설정하고 하천수 취수를 통한 공급체계를 설정하였다. 만약 광역상수도를 통해 물 공급이 이루어지는 중권역의 경우에는 하천수 취수를 통한 공급과 함께 광역상수도를 통한 공급이 함께 이루어질 수 있도록 구성하였다.

구축된 물 수급 네트워크가 현재의 물 수요-공급 체계를 적절히 반영하고 있는가를 판단하기 위해 이에 대한 검증을 수행하였다. 검증 방법은 2007년 물 수요량과 공급 관련 자료를 입력하고 모의를 수행한 후 권역별 주요 유량 관측지점의 관측자료와 비교하는 방법을 고려하였다. 유량 비교를 위한 기준 지점으로는 한강권역 2개 지점(여주, 한강대교), 낙동강 권역 2개 지점(왜관, 진동), 금강권역 1개 지점(공주), 섬진강권역 1개 지점(송정), 영산강권역 1개 지점(나주) 등 총 7개 지점을 선정하였다. 7개 지점은 각 권역을 대표하는 유량 관측지점으로 대하천 본류 구간에 위치하는 유량 관측지점 중 자료의 품질관리가 지속적으로 이루어져 신뢰도가 상대적으로 높은 지점에 해당한다. 선정된 지점에 대해 2007년 관측유량 자료와 동일 기간 모의유량을 비교하였으며, 체적비(ROV)와 NSE(Nash-Sutcliffe Efficiency) 및 상관계수를 산정하여 그 결과를 검토하였다. <식 1, 2>는 체적비(ROV)와 NSE에 대한 산정 관계식을 나타내고 있다.

$$ROV = \frac{\sum_{t=1}^N q_t^{sim}}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t^{sim})^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_{mean}^{obs})^2} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

여기서, q_t^{obs} 는 관측유량, q_t^{sim} 은 모의된 계산유량, q_{mean}^{obs} 는 관측유량 평균값을 의미한다.

2. 가뭄빈도별 물 부족량 추정

5대강 권역에 대한 물수지 분석을 수행한 후 도출된 연도별 물 부족량을 이용하여 가뭄빈도별 물 부족량을 산정하였다. 일반적으로 빈도분석은 자료 계열에 대한 이론적인 확률 분포를 결정하고 확률 분포에 따라 빈도에 따른 수문량을 결정하는 과정이다. 그러나 물 수요-공급 기반 분석을 통해 얻어지는 물 부족량은 일반적인 빈도분석을 적용하기 어렵다. 물 부족이라는 결과는 물 수요와 공급 간의 상호작용으로 얻어지게 되며, 인위적인 물 공급시설의 운영에 따라 그 정도가 결정된다. 따라서 단순히 물 부족량에 대한 빈도분석은 큰 의미가 없다고 할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 41개년에 대한 연도별 물 부족량을 이용하여 크기순으로 나열한 후 순위에 따른 결과를 바탕으로 가뭄 빈도별 물 부족량을 도출하였다. 즉, 41개년 중 가장 많은 물 부족을 나타낸 연도가 과거 최대가뭄년이 되며, 2순위에 해당하는 연도는 20년 빈도 가뭄년에 해당한다. 동일한 방법으로 4순위에 해당하는 연도는 10년 빈도가 되며, 8순위에 해당하는 연도는 5년 빈도 가뭄년이 된다. 이러한 방법을 이용하여 5대강 권역에 대해 가뭄빈도별 물 부족량을 산정하였으며, 이와 같은 가뭄빈도별 물 부족량 산정 방법은 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)에서 고려한 방법과 동일한 방법임을 밝혀둔다.

IV. 분석 결과

1. 5대강 권역의 물 수급 네트워크 검증

한강 등 5대강 권역에 대해 구축된 물 수급 네트워크의 적정성을 판단하기 위해 검증을 수행하였다. 물 수급 네트워크에 대한 검증을 위해 5대강 권역의 2007년 물 이용량과 자연유출량 자료를 이용하여 물수지

분석을 수행한 후 5대강 권역의 7개 유량 관측지점의 관측유량과 계산유량을 비교하여 네트워크의 적정성을 평가하였다. <그림 3~9>는 7개 지점의 관측유량과 계산유량 시계열을 함께 도시하여 나타낸 것이다.

시계열 비교에서 알 수 있는 바와 같이 7개 지점 모두 관측유량과 계산유량이 유사한 변동 패턴을 나

타내고 있다. 7개 지점 중 한강권역의 한강대교 지점의 결과가 상대적으로 큰 차이를 보이고 있으나 이는 조수의 영향을 받는 해당 지점의 특성에 따른 저수량 부분의 부정확성으로 인한 결과로 판단되며, 그 외 6개 지점의 결과에서는 저수량 부분에 있어 관측유량과 계산유량의 변동 양상이 매우 정확하게 일치하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 비교 결과를 보다 정량

그림 3 _ 여주지점 관측 및 계산유량 시계열 비교

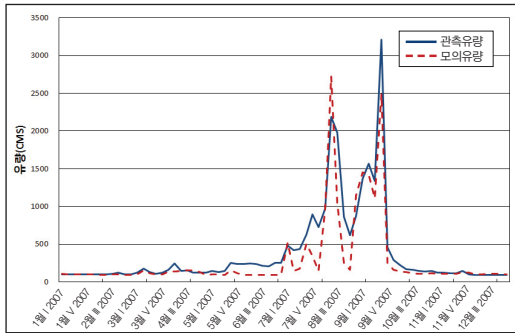


그림 4 _ 한강대교지점 관측 및 계산유량 시계열 비교

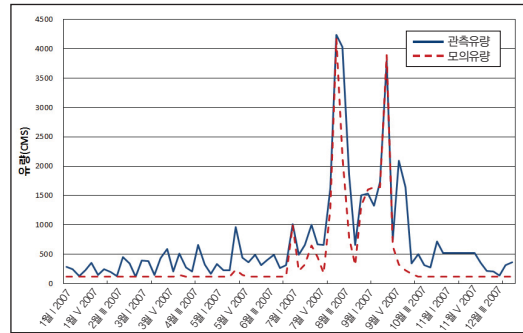


그림 5 _ 왜관지점 관측 및 계산유량 시계열 비교

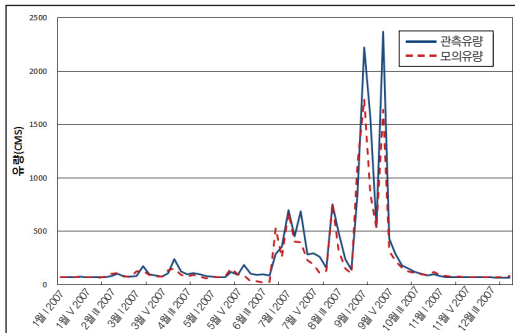


그림 6 _ 진동지점 관측 및 계산유량 시계열 비교

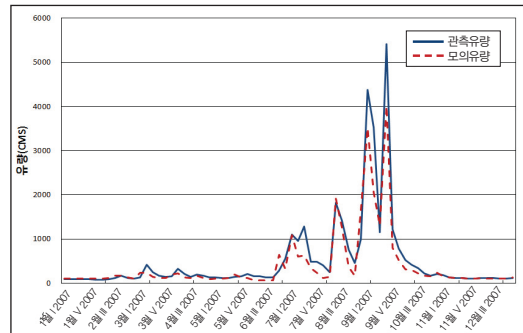


그림 7 _ 공주지점 관측 및 계산유량 시계열 비교

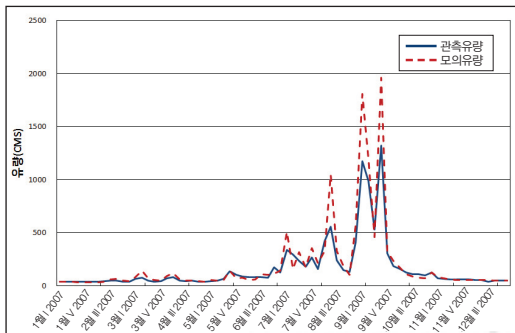
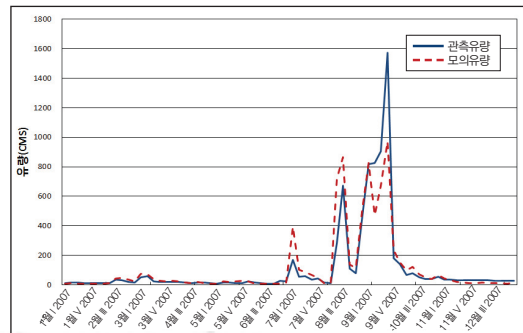
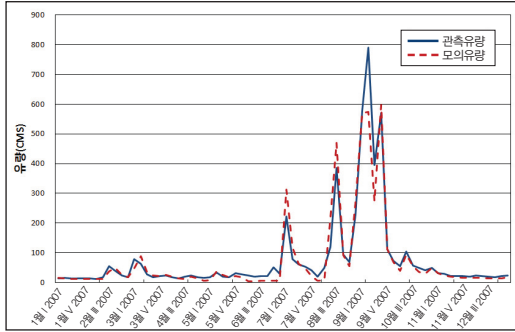


그림 8 _ 송정지점 관측 및 계산유량 시계열 비교



www.kci.go.kr

그림 9 _ 나주지점 관측 및 계산유량 시계열 비교



적으로 판단하기 위해 체적비(ROV), NSE, 상관계수의 세 가지 지표를 이용하여 관측 및 계산유량에 대한 비교를 수행하였다. <표 1>은 7개 지점의 관측유량과 계산유량에 대한 세 가지 지표와 평균 및 표준편차를 산정한 후 그 결과를 정리한 것이다.

<표 1>의 결과를 통해 한강대교를 제외한 나머지 6개 지점에서 양호한 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 체적비의 경우 대부분 0.7 이상의 결과를 나타내고 있으며, 섬진강권역의 송정 지점은 체적비가 1.0으로 가장 좋은 결과를 나타내고 있다. NSE의 결과에서는 영산강권역 나주 지점에서 0.93으로 가장 좋은 결과를 나타내고 있으며, 한강대교를 제외한 6개 지점에서 0.7 이상의 결과를 나타내고 있다. 마지막으로 상관계수의 경우에는 모든 지점에서 0.9 이상의 결과를 보이고 있어 계산유량이 관측유량의 변동

패턴을 매우 정확하게 재현하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 본 논문에서 구축한 물 수급 네트워크가 실제 물 수요-공급 체계를 적절히 반영하여 구축되었으며, 물 수급 체계를 기반으로 실제 유역의 유출 양상을 비교적 정확하게 재현할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 함께 생활, 공업, 농업용수의 회귀율에 대한 가정(생활 및 공업용수 65%, 농업용수 35%)이 비현실적으로 설정된 것이 아니라 어느 정도 타당성을 갖고 있음을 의미하는 결과라 하겠다.

2. 농업용 저수지 공급 가능량 제외에 따른 물 부족량 추정

1) 가뭄빈도별 물 부족량 추정 결과

5대강 권역에 대해 구축된 물 수급 네트워크를 이용하여 1967~2007년의 기간에 대해 물수지 분석을 수행하고 농업용 저수지의 공급 가능량이 모두 상실되었다고 가정한 후 권역별 물 부족량을 산출하였다. 2011년 수립된 수자원장기종합계획에서는 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하는 과정에서 네 가지 빈도별 가뭄에 대해 농업용 저수지의 공급능력을 동일하게 적용하고 있다. 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)에서 반영된 농업용 저수지의 공급능력을 권역별로

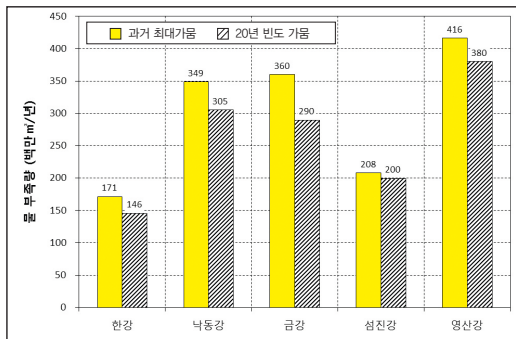
표 1 _ 7개 지점의 관측 및 계산유량 통계량 비교

권역명	지점명	평균(m ³ /sec)		표준편차(m ³ /sec)		ROV	NSE	상관계수
		관측	모의	관측	모의			
한강	여주	375	289	553	501	0.77	0.84	0.93
	한강대교	696	406	831	755	0.58	0.69	0.90
낙동강	왜관	253	209	423	322	0.83	0.87	0.96
	진동	502	400	919	709	0.80	0.88	0.97
금강	공주	159	193	241	352	1.22	0.70	0.98
섬진강	송정	108	108	257	217	1.00	0.82	0.91
영산강	나주	76	71	140	133	0.93	0.93	0.96

살펴보면, 한강권역 3.5억 m^3 , 낙동강권역 6.4억 m^3 , 금강권역 7.3억 m^3 , 섬진강권역 3.0억 m^3 , 영산강권역 5.1억 m^3 등 총 25.3억 m^3 에 이른다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 농업용 저수지는 대부분 최대 10년 빈도가뭍에 대응할 수 있도록 설계되었으므로 10년 빈도를 초과하는 가뭍에 대한 수자원장기종합계획의 공급능력 반영 방법은 과다하게 고려되었을 가능성이 있다. 이에 본 논문에서는 10년 빈도를 초과하는 과거 최대가뭍과 20년 빈도 가뭍에 대한 물 부족량을 있어 농업용 저수지 공급능력 상실에 따른 검토를 수행하였다. <그림 10>은 5대강 권역에 대해 41개년의 모의 기간 중 가장 많은 물 부족이 발생했던 연도, 즉 과거 최대가뭍 시의 물 부족량과 2순위에 해당하는 20년 빈도 가뭍 시의 물 부족량을 권역별로 도시하여 나타낸 것이다.

<그림 10>의 결과를 통해 농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않을 경우 과거 최대가뭍 발생 시 물 부족은 한강권역 1.7억 m^3 , 낙동강권역 3.5억 m^3 , 금강권역 3.6억 m^3 , 섬진강권역 2.1억 m^3 , 영산강권역 4.2억 m^3 으로 나타나고 있다. 이와 함께 20년 빈도 가뭍이 발생하였을 경우에는 한강권역 1.5억 m^3 , 낙동강권역 3.1억 m^3 , 금강권역 2.9억 m^3 , 섬진강권역 2.0억 m^3 , 그리고 영산강권역에서 3.8억 m^3 의 물 부족이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다.

그림 10 _ 농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않을 경우 5대강 권역의 빈도별 물 부족량



2) 수자원장기종합계획 결과와의 비교

농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않을 경우의 빈도별 물 부족량 분석 결과와 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)의 동일 가뭍빈도에 대한 결과를 비교하였다. 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)의 결과는 연도별로 물 부족량을 산출한 후 농업용 저수지의 공급능력을 빈도에 관계없이 일정하게 고려하여 물 부족을 감한 후 제시된 결과이며, 앞서 언급한 바와 같이 이는 10년 빈도 이상의 가뭍에서 농업용 저수지의 공급능력이 과다하게 반영되었을 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 10년 빈도를 초과하는 가뭍에 대해 농업용 저수지의 공급능력이 모두 상실된 것으로 가정한 후 결과를 도출하였으며, 두 가지 결과를 비교하여 어느 정도 물 부족이 증가할 가능성이 있는가를 판단하고자 하였다. <표 2>는 본 논문의 결과와 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)의 결과를 정리한 후 권역별 물 부족량 증가 정도를 비교하여 나타낸 것이다.

<표 2>를 통해 모든 권역에서 농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않을 경우 물 부족량이 증가하고 있음을 알 수 있으며, 5대강 권역의 물 부족량 합계를 기준으로 과거 최대가뭍에서 약 3.5배, 20년 빈도 가뭍에서 4.2배의 증가를 나타내고 있다. 권역별로 살펴보면, 5대강 권역 중 금강권역의 물 부족량 증가가 가장 크게 나타나고 있으며, 20년 빈도 가뭍에서는 13.8배 증가하는 것으로 나타나고 있다. 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)에서 반영된 농업용 저수지의 공급능력에 있어 금강권역이 가장 크게 나타나고 있으며, 이는 금강권역에 포함된 대규모 농업지역인 만경강과 동진강유역으로 인한 영향인 것으로 보인다. 만경강과 동진강유역은 많은 양의 농업용수 수요가 존재하나 유역 규모가 작은 관계로 하천유량이 충분치 못하며, 유역 내 대규모 댐도 존재하지 않

표 2_ 농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않을 경우의 권역별 물 부족량 변동

(단위 : 백만m³/년)

권역명	과거 최대가뭄			20년 빈도 가뭄		
	수장기 (①)	본 연구 (②)	증가비율 (②/①)	수장기 (①)	본 연구 (②)	증가비율 (②/①)
한강	37	171	4.63	36	146	4.05
낙동강	86	349	4.05	47	305	6.50
금강	54	360	6.67	21	290	13.80
섬진강	105	208	1.98	75	200	2.66
영산강	152	416	2.74	136	380	2.79
합계	434	1,504	3.47	315	1,321	4.19

아 상대적으로 농업용 저수지에 대한 의존도가 높은 지역이라 할 수 있다. 따라서 금강권역은 다른 권역에 비해 농업용 저수지의 공급능력에 대한 의존도가 높은 지역이라 할 수 있으며, 농업용 저수지 공급능력 상실에 따른 물 부족 증가가 가장 크게 나타나게 되는 것으로 판단된다. 그러므로 10년 빈도를 초과하는 큰 가뭄이 발생할 경우 농업용 저수지의 공급능력 상실에 따른 물 부족 피해는 금강권역에서 가장 크게 나타날 가능성이 있음을 의미하는 결과라 하겠다.

이와 같은 결과로부터 가뭄빈도별 물 부족량 추정 시 농업용 저수지의 공급능력을 적절히 반영할 수 있는 방안 마련이 중요함을 알 수 있다. 또한 가뭄빈도에 관계없이 농업용 저수지의 공급능력을 반영하는 현재의 수자원계획 수립 방식 개선을 위해 농업용 저수지를 물 공급 네트워크에 반영하여 운영함으로써 물수지 분석 과정에서 가뭄빈도에 따라 저수지별 공급능력을 적절히 고려할 수 있는 체계로 수자원계획 수립 과정의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

3. 소유역별 가뭄빈도에 따른 물 부족량 추정

1) 가뭄빈도별 물 부족량 추정 결과

수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)에서는 5대

강 권역에 대한 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하기 위해 권역 전체에 대한 물 부족량 합계를 이용하고 있다. 권역 전체에 대한 물 부족량 합계를 연도별로 산정하고 그 결과를 이용하여 물 부족량 크기 순위에 따라 과거 최대가뭄, 20년 빈도 가뭄, 10년 빈도 가뭄, 5년 빈도 가뭄에 대한 결과를 제시하고 있다. 하지만 이러한 방법으로 빈도별 물 부족량을 제시하게 될 경우 권역을 구성하는 중권역에 대한 물 부족량 빈도는 권역 전체의 빈도와 상이하게 나타날 가능성이 있다. 즉, 우리나라와 같이 물 부족이 어느 정도 해소된 상황에서 특정 중권역에서 상대적으로 많은 물 부족이 나타나게 되면 해당 연도가 과거 최대가뭄이나 20년 빈도 가뭄 등 심각한 가뭄연도로 판단될 수 있음을 의미한다. 이러한 영향으로 과거 최대가뭄과 20년 빈도 가뭄에서의 물 부족 크기가 서로 역전되어 나타나는 중권역이 존재할 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 한계를 확인하기 위해 권역을 구성하는 중권역별로 동일한 가뭄빈도별 물 부족량을 산출하는 방법을 적용하였다. <표 3~7>은 5대강 권역의 중권역별로 가뭄빈도별 물 부족량을 산출하여 정리한 것이다.

먼저 한강권역에 대한 결과를 살펴보면, 중권역별로 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 산출할 경우 앞서 언급한 바와 같은 빈도별 물 부족량의 역전 현상은

표 3 _ 한강권역 중권역의 가뭄빈도별 물 부족량

중권역	가뭄빈도별 물 부족량(백만 m^3)			
	과거 최대가뭄	20년 빈도 가뭄	10년 빈도 가뭄	5년 빈도 가뭄
1001	-	-	-	-
1002	-	-	-	-
1003	-	-	-	-
1004	6.4	5.4	0.4	-
1005	-	-	-	-
1006	-	-	-	-
1007	-	-	-	-
1008	-	-	-	-
1009	-	-	-	-
1010	-	-	-	-
1011	1.5	0.5	-	-
1012	0.9	-	-	-
1013	-	-	-	-
1014	-	-	-	-
1015	-	-	-	-
1016	0.4	-	-	-
1017	-	-	-	-
1018	-	-	-	-
1019	-	-	-	-
1020	-	-	-	-
1021	5.9	4.9	1.9	-
1022	5.3	3.3	0.3	-
1023	-	-	-	-
1024	-	-	-	-
1101	-	-	-	-
1201	30.2	27.2	16.2	13.2
1202	-	-	-	-
1301	-	-	-	-
1302	-	-	-	-
1303	-	-	-	-
합계	50.7	41.3	18.8	13.2

표 4 _ 낙동강권역 중권역의 가뭄빈도별 물 부족량

중권역	가뭄빈도별 물 부족량(백만 m^3)			
	과거 최대가뭄	20년 빈도 가뭄	10년 빈도 가뭄	5년 빈도 가뭄
2001	30.6	18.6	16.6	10.6
2002	-	-	-	-
2003	-	-	-	-
2004	2.0	-	-	-
2005	-	-	-	-
2006	15.5	14.5	12.5	9.5
2007	-	-	-	-
2008	2.9	-	-	-
2009	-	-	-	-
2010	21.8	7.8	3.8	-
2011	-	-	-	-
2012	-	-	-	-
2013	-	-	-	-
2014	-	-	-	-
2015	16.8	9.8	-	-
2016	-	-	-	-
2017	-	-	-	-
2018	-	-	-	-
2019	-	-	-	-
2020	-	-	-	-
2021	-	-	-	-
2022	-	-	-	-
2101	6.0	-	-	-
2201	-	-	-	-
2301	-	-	-	-
2302	-	-	-	-
2401	-	-	-	-
2402	13.9	11.9	8.9	1.9
2403	-	-	-	-
2501	-	-	-	-
2502	-	-	-	-
2503	-	-	-	-
2504	3.8	0.8	-	-
합계	113.1	63.3	41.7	21.9

나타나지 않음을 확인할 수 있다. 과거 최대가뭄에서 5년 빈도 가뭄으로 가뭄의 크기가 감소함에 따라 물 부족량도 함께 감소하는 결과를 보이고 있다. 중권역 별로 추정된 과거 최대가뭄 시 한강권역의 물 부족량

합계는 0.5억 m^3 인 것으로 나타나고 있으며, 1201 중 권역에서 가장 많은 물 부족이 나타나는 것으로 분

표 5 _ 금강권역 중권역의 가뭄빈도별 물 부족량

중권역	가뭄빈도별 물 부족량(백만 m^3)			
	과거 최대가뭄	20년 빈도 가뭄	10년 빈도 가뭄	5년 빈도 가뭄
3001	-	-	-	-
3002	-	-	-	-
3003	-	-	-	-
3004	-	-	-	-
3005	1.0	-	-	-
3006	-	-	-	-
3007	4.0	1.0	-	-
3008	-	-	-	-
3009	-	-	-	-
3010	-	-	-	-
3011	-	-	-	-
3012	-	-	-	-
3013	20.1	17.1	8.1	-
3014	-	-	-	-
3101	-	-	-	-
3201	-	-	-	-
3202	-	-	-	-
3203	-	-	-	-
3301	-	-	-	-
3302	46.1	1.1	-	-
3303	4.8	-	-	-
합계	76.0	19.2	8.1	-

석되었다.

한강을 제외한 나머지 4대강 권역의 결과에서도 한강권역과 마찬가지로 가뭄의 크기가 감소함에 따라 산정된 물 부족량 또한 감소하는 것으로 나타나고 있다. 낙동강권역의 경우에는 안동댐 상류에 해당하는 2001 중권역에서 가장 많은 물 부족량이 나타나는 것으로 분석되었으며, 금강권역에서는 동진강유역에 해당하는 3302 중권역과 논산천 유역인 3013 중권역의 물 부족량이 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 섬진강권역에서는 보성강 상류(4007 중권역)와 해안지역(4101 중권역)의 물 부족량이 상대적으로 크게 나타나는 것으로 분석되었으며, 영산강권

표 6 _ 섬진강권역 중권역의 가뭄빈도별 물 부족량

중권역	가뭄빈도별 물 부족량(백만 m^3)			
	과거 최대가뭄	20년 빈도 가뭄	10년 빈도 가뭄	5년 빈도 가뭄
4001	0.5	-	-	-
4002	13.1	3.1	-	-
4003	-	-	-	-
4004	-	-	-	-
4005	-	-	-	-
4006	-	-	-	-
4007	18.3	16.3	9.3	0.3
4008	-	-	-	-
4009	-	-	-	-
4101	37.5	10.5	3.5	-
4102	9.3	7.3	5.3	4.3
4103	0.4	-	-	-
4104	-	-	-	-
4105	1.2	-	-	-
4106	49.5	45.5	42.5	39.5
합계	129.8	82.7	60.6	44.1

역의 경우에는 도서 및 해안지역인 5302 중권역과 5303 중권역의 물 부족량이 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 5대강 권역별로 중권역의 과거 최대가뭄 시 물 부족량을 합산하면 한강권역 0.5억 m^3 , 낙동강권역 1.1억 m^3 , 금강권역 0.8억 m^3 , 섬진강권역 1.3억 m^3 , 영산강권역 1.6억 m^3 로 나타나고 있으며, 전국적으로 과거 최대가뭄에서 약 5.3억 m^3 의 물 부족량이 추정되었다. 다만, 본 논문에서 추정하 바와 같은 물 부족량은 모든 중권역에서 동일한 심도의 가뭄이 발생하였을 경우를 가정한 후 산출한 결과이므로 이러한 상황이 실제로 발생하기 어려울 수 있다. 하지만 본 논문에서 제시한 결과는 중권역과 같은 소규모 유역 단위로 물 수급 계획이나 수자원 관리 정책을 수립하고자 할 경우, 지자체 등에서 유용하게 활용할 수 있는 정보가 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 논문에서 제시한 중권역별 가뭄빈도에 따른 물 부족량

표 7 _ 영산강권역 중권역의 가뭄빈도별 물 부족량

중권역	가뭄빈도별 물 부족량(백만 m^3)			
	과거 최대가뭄	20년 빈도 가뭄	10년 빈도 가뭄	5년 빈도 가뭄
5001	-	-	-	-
5002	-	-	-	-
5003	-	-	-	-
5004	-	-	-	-
5005	10.0	8.0	4.0	1.0
5006	-	-	-	-
5007	-	-	-	-
5008	-	-	-	-
5101	-	-	-	-
5201	11.9	10.9	3.9	-
5202	-	-	-	-
5301	2.8	0.8	-	-
5302	75.2	62.2	39.2	23.2
5303	55.3	54.3	53.3	51.3
합계	155.2	136.2	100.4	75.5

추정 결과는 목적에 따라 적정 빈도를 선택하고 그에 따른 정책이나 계획을 수립하고자 할 경우 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

2) 수자원장기종합계획 결과와의 비교

중권역별로 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 추정본 논문의 결과와 수자원장기종합계획(국토해양부, 2011)의 결과를 비교하였다. <그림 11~15>는 5대강 권역에 대해 가뭄빈도별 물 부족량을 비교하여 도시한 것이다.

비교 결과, 가뭄빈도가 커질수록 중권역별로 가뭄빈도별 물 부족량을 산정한 후 합산한 본 논문의 결과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 가뭄빈도가 낮아질 경우 수자원장기종합계획의 결과가 오히려 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 큰 가뭄에 해당하는 과거 최대가뭄과 20년 빈도 가뭄에서

그림 11 _ 한강권역 가뭄빈도별 물 부족량 비교

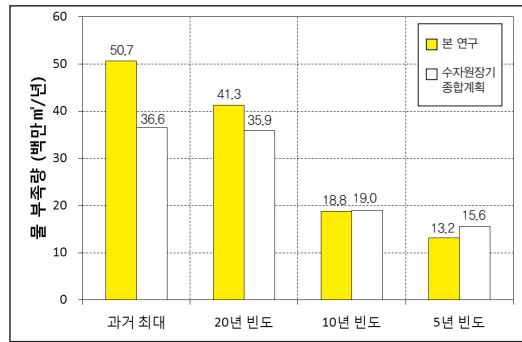


그림 12 _ 낙동강권역 가뭄빈도별 물 부족량 비교

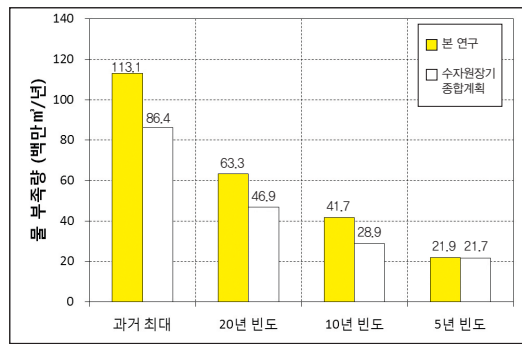
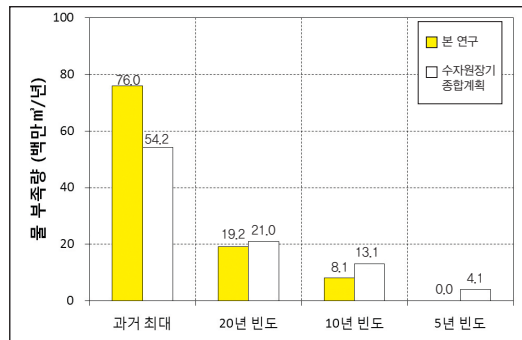


그림 13 _ 금강권역 가뭄빈도별 물 부족량 비교



는 현재의 수자원계획에서 고려하고 있는 방법에 따른 물 부족량 추정 결과가 더욱 과소 추정될 가능성이 있음을 알 수 있으며, 반대로 약한 가뭄에서는 과다 추정될 가능성이 있다고 판단할 수 있다. 그러나 두 가지 방법 간 물 부족량 차이는 크지 않으므로 우리나라의 물 공급 안전도의 공간적인 분포는 일부 산

그림 14 _ 섬진강권역 가뭄빈도별 물 부족량 비교

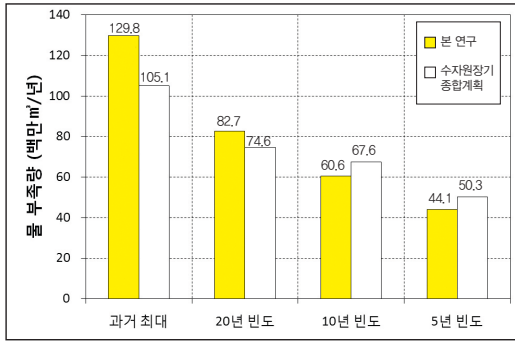


그림 15 _ 영산강권역 가뭄빈도별 물 부족량 비교

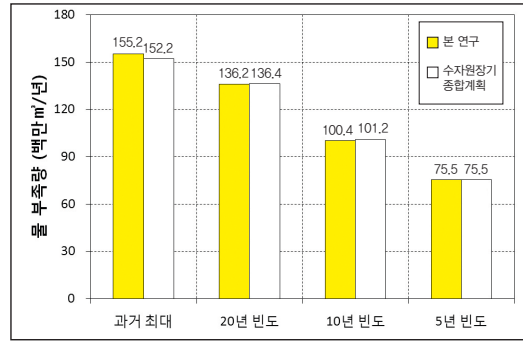


그림 16 _ 중권역별 산출방법에 따른 과거 최대가뭄 시 물 부족량 분포

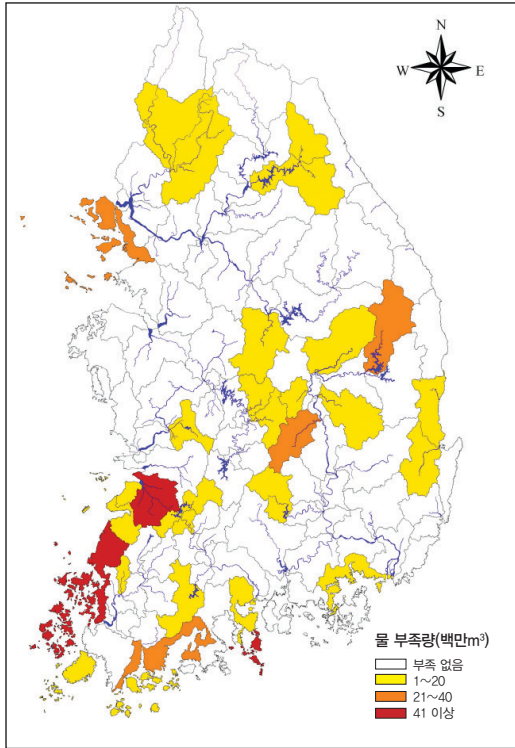
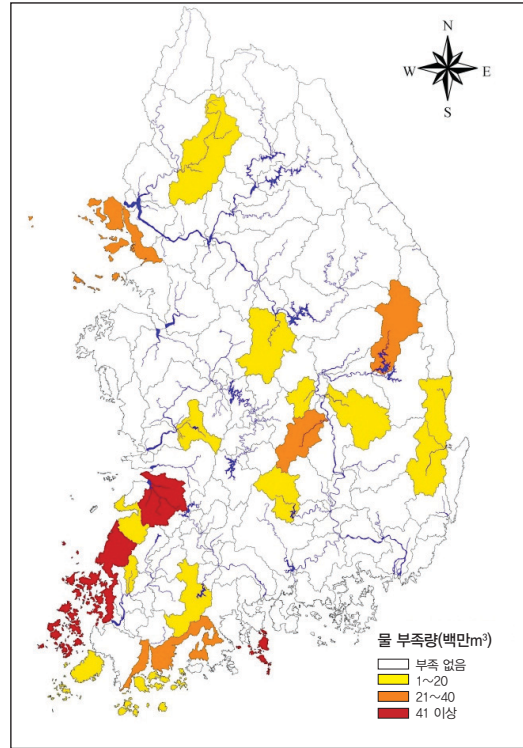


그림 17 _ 수자원장기종합계획의 과거 최대가뭄 시 물 부족량 분포



간지역이나 도서 및 해안지역을 제외하고는 충분한 수준으로 확보되었다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 <그림 16, 17>의 과거 최대가뭄 시 물 부족량 전국 분포를 확인할 경우 충분히 파악할 수 있다. <그림 16, 17>을 통해 전국적인 물 부족 지역을 살펴보면, 중권역별로 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 산출한 결과

(<그림 16> 참조)가 수자원장기종합계획에 의한 결과(<그림 17> 참조)에 비해 더욱 많은 지역에서 물 부족이 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 물 부족 발생 지역은 앞서 언급한 바와 같이 대부분 충분한 공급수원의 확보가 어려운 산간지역이나 도서 및 해안 지역에 해당하며, 주요 하천 본류 구간이나 수도권 등

물 공급 인프라가 잘 갖추어져 있는 지역에서는 물 부족으로 인한 문제 발생 가능성이 매우 낮은 것으로 나타나고 있다.

V. 결론

지금까지 한정된 수자원의 효율적인 관리와 개발을 유도하기 위한 방안으로 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하는 방법에 대해 검토하였다. 최근 수립된 수자원 장기종합계획(국토해양부, 2011)에서도 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 추정하여 제시한 바 있으나 물 수요와 공급의 관계를 기반으로 가뭄의 수준에 따라 물 부족을 추정하는 방법에 대한 연구는 상대적으로 매우 부족한 상황이다. 이에 본 논문에서는 우리나라의 수자원계획 수립 과정에서 이용되고 있는 가뭄빈도별 물 부족량 추정 방법을 세부적으로 검토하고 개선이나 추가 검토가 필요한 내용에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 농업용 저수지의 공급능력을 고려하는 방법에 대한 검토를 수행하였으며, 분석의 최소 유역단위로 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하고 기존 수자원 계획에서 고려하고 있는 방법에 따른 결과와 비교 검토하였다. 이를 통해 얻은 본 논문의 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

먼저 10년 빈도를 초과하는 가뭄에서 농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않았을 경우에 대한 물 부족량 추정 결과를 분석하였다. 분석 결과, 농업용 저수지의 공급능력이 상실되었다고 가정할 경우 기존 수자원장기종합계획의 물 부족량보다 2배에서 13배까지 증가하는 것으로 분석되었다. 하지만 본 논문의 결과는 농업용 저수지의 공급능력을 물수지 분석 과정에서 고려한 것이 아니다. 따라서 가뭄빈도별 물 부족 추정 과정에서 보다 정확하게 반영하기 위해서는 물 수급 네트워크에 농업용 저수지를 반영하고 이를 모의기간 동안 운영하는 방안을 강구할 필요가 있

다. 10년 빈도를 초과하는 가뭄에서도 저수량 조건에 따라 제한적이거나 농업용 저수지의 공급이 이루어질 수 있다. 그러나 본 논문에서 고려한 방법으로는 이러한 점을 반영할 수 없는 한계가 있으며, 이를 극복하기 위해서는 모의운영을 고려하는 방법이 보다 적절할 것으로 판단된다. 이와 함께 규모가 큰 농업용 저수지에 대해 제한적으로 이루어지고 있는 저수량 모니터링을 중소규모 저수지에도 확대하여 지속적으로 추진할 필요가 있으며, 이는 물 부족으로 인한 피해를 사전에 예방하기 위해 중요한 요소라 할 수 있다.

두 번째로 권역별 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 추정하는 방법에 대해 검토하였으며, 권역을 구성하는 중권역별로 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 산출하는 방법을 검토하였다. 분석 결과, 현재의 수자원계획 수립 방식으로 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하고 전체 권역의 가뭄빈도를 기준으로 중권역별 물 부족량을 제시할 경우 과거 최대가뭄과 같은 극한 상황 발생 시 나타날 수 있는 물 부족량을 과소 추정할 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 그러므로 수자원계획을 수립하고 그에 따른 가뭄빈도별 물 부족량을 제시할 때 전체 권역 기준의 빈도별 물 부족량과 중권역별 결과를 함께 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다. 그러나 권역의 가뭄빈도별 물 부족량을 결정하는 과정에서 중권역별 동일 가뭄빈도를 고려할 것인지, 아니면 권역 전체에 대한 가뭄빈도를 고려할 것인가에 대해서는 추가적인 연구와 이에 대한 수자원 정책 담당자 및 전문가들의 의견 수렴이 필요할 것으로 판단된다.

가뭄의 크기에 따라 물 수급 평가 결과를 구분하여 제시하는 것은 효율적인 수자원 관리 및 개발계획 수립에 있어 중요한 요소다. 일률적인 물 수급 평가 결과의 이용은 목적에 따라 과다 또는 과소 추정을 초래할 수 있으며, 수자원 관리 또는 개발의 효율성 확보를 어렵게 할 수도 있다. 그러므로 가뭄빈도별

물 부족량을 제시함으로써 정부 및 지자체의 수자원 관리계획 수립 담당자나 수자원 개발 의사결정자가 목적에 맞게 선택하여 이용할 수 있도록 유도할 필요가 있다. 이러한 점을 고려할 때 본 논문의 결과는 가뭄빈도에 따른 물 수급 상황을 평가하고 물 부족량을 도출하는 방법을 정립하는 데 있어 유용한 기반 정보로 활용될 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서 제시한 중권역별 가뭄빈도에 따른 물 부족량은 소규모 유역에 대한 물 수급계획 수립 시 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌 •••••

국토해양부. 2009. 수도정비기본계획. 경기 : 국토해양부.
 _____. 2011. 수자원장기종합계획(2011~2020). 경기 : 국토해양부.
 김대하 · 유철상. 2006. “가뭄심도-지속기간-빈도해석을 통한 우리나라 가뭄의 공간분포 분석”. 한국수자원학회논문집 제39권 제9호, pp745-754.
 김보경 · 김상단 · 이재수 · 김형수. 2006. “가뭄의 시공간적 분포 특성 연구: 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성”. 대한토목학회논문집 제26권 제1B호, pp69-78.
 연제문 · 변성호 · 이정규 · 김태웅. 2007. “이차원 가뭄빈도해석을 통한 서울지역의 가뭄 평가”. 한국수자원학회논문집 제40권 제4호, pp335-343.
 유철상 · 김대하 · 김상단. 2006. “EOF 해석 및 다변량시계열 모형을 이용한 농업가뭄 대비능력의 평가”. 한국수자원학회논문집 제39권 제7호, pp617-626.
 장연규 · 김상단 · 최계은. 2006. “SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 시공간적인 특성 연구”. 한국수자원학회논문집 제39권 제8호, pp691-702.
 최예환 · 최중대. 2002. “농업용 저수지의 내한 능력에 대한 연구”. 한국수자원학회. 학술발표회. 인천대.
 한국수자원공사. 2011. 댐운영 실무편람. 대전 : 한국수자원공사.
 Bonaccorso, B., Cancelliere, B. and Rossi, G. 2003. “An Analytical Formulation of Return Period of Drought Severity”. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. vol.17. pp157-174.

Kim, T. W., Valdes, J. B. and Aparicio, J. 2002. “Frequency and Spatial Characteristics of Droughts in the Conchos River Basin, Mexico”. *Water International* vol.27, no.3. pp420-430.
 Kim, T. W., Valdes, J. B., Nijssen, B. and Roncayolo, D. 2006. “Quantification of Linkages between Large-Scale Climate Patterns and Precipitation in the Colorado River Basin”. *Journal of Hydrology* vol.321. pp173-186.
 Salas, J. D., Fu, C., Cancelliere, A., Dustin, D., Bode, D., Pineda, A. and Vincent, E. 2005. “Characterizing the Severity and Risk of Drought in the Powder River, Colorado”. *Journal of Water Resources Planning and Management*. vol.131, no.5. pp383-393.
 Yoo, C., Kim, D. and Hwang, K. N. 2008. “Quantification of Drought Using a Rectangular Pulses Poisson Process Model”. *Journal of Hydrology* vol.355. pp34-48.
 전국 농업용 저수지 현황. 한국농어촌공사 농촌융수종합정보시스템(<http://rawris.ekr.or.kr>). [2013. 8. 28].

-
- 논문 접수일: 2013. 6. 20
 - 심사 시작일: 2013. 7. 22
 - 심사 완료일: 2013. 9. 6

Water Shortage Estimation by Drought Frequencies in National Water Plan

Keywords: Water Shortage, Water Balance Accounting, Water Resources Development, Drought, K-WEAP

Water shortage estimation by drought frequencies is an important factor for establishment of efficient water resources development and management planning. However, the research on the method to estimate water shortage by drought frequencies based on water supply and demand is not enough and it is necessary to establish a methodical approach. In this research, the way to estimate the water shortage based on drought frequency in the process of national water plan is studied. Firstly, the effect of water supply capacity of agricultural reservoir on water shortage is analyzed in the frequency of droughts over 20 years. In addition, the way to calculate water shortage based on drought frequency for each sub-watershed is examined. As a result, water shortage has increased if water supply capacity of agricultural reservoir is not considered and this can be mostly observed in Geum River basin. Also, it is confirmed that improvements of the existing method for estimating the water shortage of national water plan is required. The results of this study can be used as useful information for water resources planning and management of the central and local governments in the future.

국가 수자원계획의 가뭄빈도별 물 부족량 추정

주제어: 물 부족, 물수지, 수자원 개발, 가뭄, K-WEAP

가뭄빈도에 따라 물 부족량을 추정하는 것은 효율적인 수자원 개발이나 관리 계획의 수립을 위해 중요한 요소다. 그러나 아직 물 수요와 공급을 기반으로 가뭄빈도별 물 부족을 추정하는 방법에 대한 연구는 미흡한 상황으로 이에 대한 방법 정립이 필요하다. 이에 본 논문에서는 국가 수자원계획을 수립하는 과정에서 가뭄빈도별 물 부족량을 추정하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 먼저 가뭄 대응 능력이 상대적으로 낮은 농업용 저수지에 대해 20년 빈도 이상의 가뭄 시 공급능력을 고려하지 않았을 경우에 대한 분석을 수행하였다. 이와 함께 중권역별로 가뭄빈도에 따른 물 부족량을 산출하는 방법에 대해서도 검토하였다. 연구 결과, 농업용 저수지의 공급능력을 고려하지 않을 경우 물 부족량이 크게 증가하였으며, 이는 금강권역에서 가장 크게 나타나고 있음을 확인하였다. 또한 중권역별로 빈도에 따른 물 부족량을 추정하는 방법에서도 기존 수자원계획의 방법에 대한 추가 검토 및 개선이 필요함을 확인하였다. 가뭄빈도별 물 부족량 추정에 대한 결과는 향후 국가 및 지자체의 수자원계획 수립 과정에서 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.