

# 기후변화를 고려한 한강유역의 미래 물 부족 평가

## The Evaluation of Future Water Deficit Considering Climate Change in the Han-River Basin

김수전 \* , 전환돈 \*\* , 김병식 \*\*\* , 김형수 \*\*\*\*

Soo Jun Kim, Hwan Don Jun, Byung Sik Kim, Hung Soo Kim

### 요 지

본 연구의 목적은 기후변화를 고려하여 한강유역의 미래 물부족 정도를 평가하는 것이다. 하지만 미래 기후변화의 영향을 평가한다는 것은 많은 불확실성을 포함하고 있기 때문에 그만큼 예측이 어려운 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 미래에 예상되는 기후변화와 물수요 시나리오를 바탕으로 기후변화-물수요 시나리오를 구성하였고 각 시나리오에 대한 불확실성의 범위 내에서 미래 이수부문의 수자원평가를 실시하였다. 이를 위해 기후변화 시나리오는 RegCM3 기후모형의 A2 시나리오에 의해 모의된 90년(2001-2090년)의 기상자료의 50 Set을 이용하여 SLURP 강우-유출 모형으로 50 Set의 일유출량 계열을 작성하였다. 또한 물수요 시나리오는 수자원장기종합계획 보완(2006, 건설교통부)의 물수요 시나리오를 바탕으로 고수요, 기준수요, 저수요의 3개 시나리오를 구성하였다. 따라서, 기후변화-물수요 시나리오는 150개 case로서 구성되며 물 수지 기반의 수자원평가계획모형(K-WEAP)에 의해 미래 기간에 대한 물 부족량을 검토하였다.

검토 결과 미래에 한강유역의 물 부족량은 장기적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 한강유역의 소유역별 물부족량을 검토한 결과 특정 소유역에서 물 부족이 가중되고 장기적으로 한강유역 전체로 물부족이 예상되는 소유역이 증가함을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 : 기후변화-물수요 시나리오, K-WEAP 모형, 물 부족**

### 1. 서 론

기후시스템의 온난화는 현재 관찰되는 지구 평균기온과 해수면의 상승, 광범위한 눈과 빙하의 용해 및 지구 평균 해수면 상승의 관측 자료에서 명백히 나타나고 있으며 2050년까지 중앙아시아, 남아시아, 동아시아, 동남아시아에서 특히 큰 강의 부근에서는 사용 가능한 담수가 줄어들 것으로 예측된다(the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report, 2007). 사실 세계 곳곳에서 지난 수십년 동안 기후변화의 증거가 있으며 이는 홍수와 가뭄의 발생빈도와 크기가 증가되고 있음을 많은 연구에서 밝혀지고 있다.

실제 기후변화에 의한 수자원의 영향 평가에 대하여 세계적으로 활발히 각국의 수자원시스템에 기후변화가 미치는 영향을 평가하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 우리나라의 경우도 기후변화에 의한 물순환의 예측 및 영향을 평가하고자 기후모형인 SNURCM을 개발한 사례(환경부, 2006)가 있으며, 21세기 프론티어 연구개발사업(과학기술부, 2007)의 일환으로 기후변화에 의한 수

\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : soojuny@empal.com  
\*\* 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수 · E-mail : hwjun@snut.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 · E-mail : hydrokbs@kict.re.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr

자원 영향 평가체계를 구축한 바 있다. 하지만, 수자원분야에서 대부분 국내 연구는 기후변화 자체에 집중되어 있어 전지구적인 기후모형을 대상으로 기상요소의 변화를 예측하는 기법에 치중되어 있는 것이 사실이다. 따라서 기후변화가 수자원시스템에 미치는 영향에 대한 정량적인 평가가 미흡한 실정이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 한강유역을 대상으로 기후변화를 고려하여 미래 물부족 정도를 평가하고자 기후변화와 물수요를 조합하여 시나리오를 구성하고 각 시나리오별로 미래 물 부족량을 예측하였다.

## 2. 시나리오 구성과 적용 모형의 개요

### 2.1 기후변화-물수요 시나리오

본 연구에서는 RegCM3 모형에 의한 A2 기후변화 시나리오를 바탕으로 수자원장기종합계획(2006 - 2020)에서 제시한 미래 전망에 대한 물 수요 시나리오를 구성하여 표 1과 같이 기후변화와 미래 물 수급 전망에 따른 3개의 시나리오를 재구성하였다.

표 1. 기후변화와 미래 물 수급 전망에 따른 시나리오 구성

기후변화 시나리오	물 수요 시나리오			기후변화-물 수요 시나리오	
	시나리오	용도	용도별증감		
A2	고수요	생활용수	↓	↑↑	A2-고수요 ( ↑ )
		공업용수	↑↑↑		
		농업용수	-		
	기준수요	생활용수	↓↓	↓	A2-기준수요 ( - )
		공업용수	↑↑		
		농업용수	↓		
	저수요	생활용수	↓↓↓	↓↓↓	A2-저수요 ( ↓ )
		공업용수	↑		
		농업용수	↓↓		

### 2.2 SLURP 모형을 이용한 장기 유출 모의

SLURP 모형은 일 단위 유출 모형으로 지상학적 매개변수, 시계열 자료, 그리고 물리적 매개변수를 입력자료로 활용한다. SLURP 모형의 유출모의는 ASA라는 소유역별로 연직방향 물수지 분석을 실시한 후 각각의 ASA들에 대하여 하도추적을 통해 전체유역의 출구지점에서 유출량을 얻게 된다(김병식 등, 2004). 본 연구에서는 한강 유역에 대하여 모형 구축과 보정이 완료된 SLURP 모형에 미래 토지이용과 식생 변화 자료를 반영하고, KMA RCM과 축소기법으로 추출한 경우와 온도 총 50 set를 입력하여 기후변화시나리오에 따른 미래 유출변화시나리오를 작성하였다.

### 2.3 K-WEAP 모형

물수지 분석의 기본 원리를 기반으로 운영되는 K-WEAP은 분석대상 지역으로서 도시 지역과 농업 지역, 단일 소유역이나 복잡한 하천 유역의 물 수요-공급 시스템에 적용할 수 있다. 또한 K-WEAP은 용수목적별 수요량 분석, 물 절약, 수리권과 배분 우선순위, 지하수와 하천유량 모의, 저수지 운영, 수력발전, 오염물질 추적, 생태계 필요수량 분석과 같은 광범위한 부문의 문제들을 다룰 수 있다(과학기술부 2006).

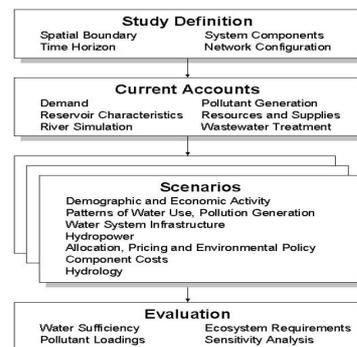


그림 1. K-WEAP 모형의 수자원계획평가과정

### 3. 적용 및 분석

본 연구에서는 한강유역에 대한 가뭄 및 이수부문의 취약성 평가를 위하여 기후변화-물수요 시나리오를 구성하였다. 그리고 기후변화에 대한 불확실성의 한계를 극복하기 위하여 기후변화 시나리오에 따라 SLURP 모형으로부터 모의된 유출량 자료(2001-2090년) 50 Set을 입력자료로 수자원평가 및 계획 모형인 K-WEAP 모형에 적용하였다. 그리고 한강유역의 소유역(수자원단위지도상의 중권역) 별로 물부족량을 시나리오별-목표기간별로 검토함으로써 이수부문에 대한 수자원 평가를 실시하였다.



그림 2. 연구의 흐름과정

#### 3.1 대상유역 및 물수급 네트워크

한강유역의 미래 물 수급 예측을 위하여 물 수지 기반모형인 K-WEAP 모형을 이용하였다. K-WEAP 모형을 구축하기 위해서는 한강유역의 미래 물 수급 예측을 위한 범위 설정이 필요하다. 본 연구에서는 한강분류 유역으로 대상유역의 범위를 설정하고 모의단위로는 수자원단위지도상의 중권역으로 설정하여 한강 유역에 대한 입력자료를 구성하였다.

K-WEAP 모형에 의한 한강 유역의 물 수급 네트워크는 각 요소별로 하천(17개), 도수(38개), 저수지(4개), 수요처(67개), 취입수로(100개), 회귀수(63개) 등의 기타 자료로 구성되어 그림 3과 같다.

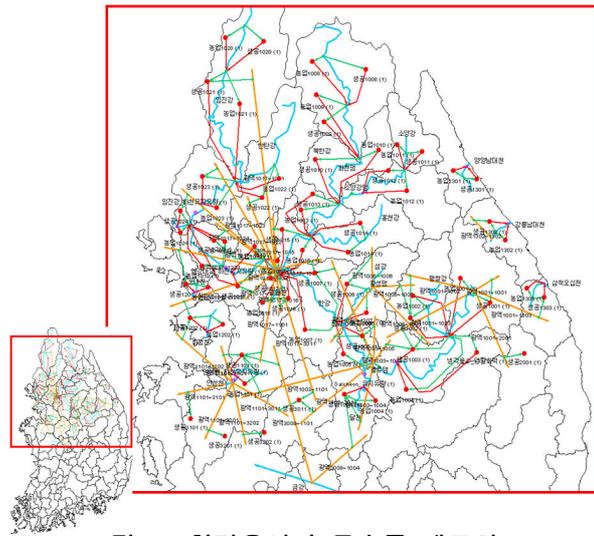


그림 3. 한강유역의 물수급 네트워크

#### 3.2 기후변화를 고려한 미래 물 부족량 예측

미래 물 부족량을 검토하기 위하여 2020년부터 2090년 까지 약 70년 동안의 기간을 모의하였다. 아래의 물 부족량 추이 그래프를 통하여 모의 시작년도인 2020년부터 2090년 까지의 물 부족량의 변화 추이와 편차의 범위, 평균을 확인할 수 있다. 여기에서 범위(Range)는 물 부족량 50 Set에 의해서 산정된 물 부족량 범위라고 할 수 있으며 평균(Average)은 매년 50 Set의 물 부족량을 평균하여 산정한 값이다. 물 부족량이 기준년도와 비교하여 장기적인 변동추세가 있는지 확인하기 위하여 모의된 물 부족량의 매년 평균값에 대하여 이동평균방법을 고려하였다. 점진적으로 10년씩 이동평균한 결과 A2-고수요 시나리오에서 한강 유역의 물 부족량은 장기적으로 증가하는 추세에 있는 것으로 나타났다.

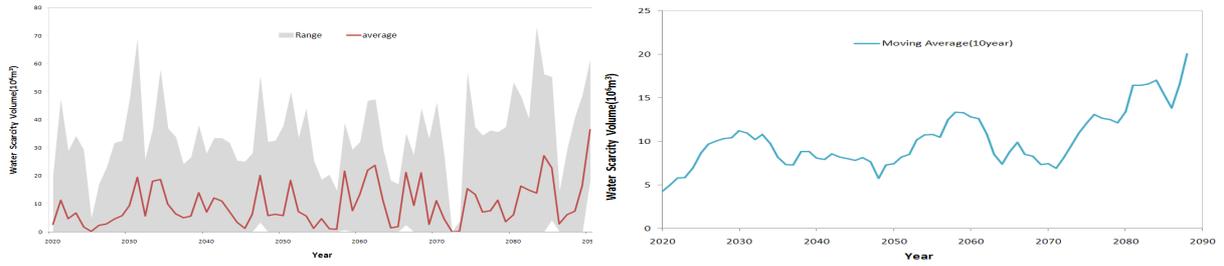
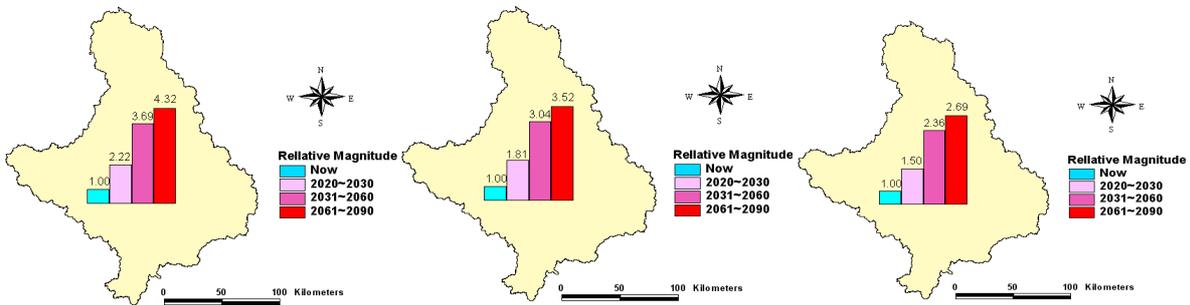


그림 4. 물 부족량의 추이와 이동평균 추세 (고수요 : 50개 Set)

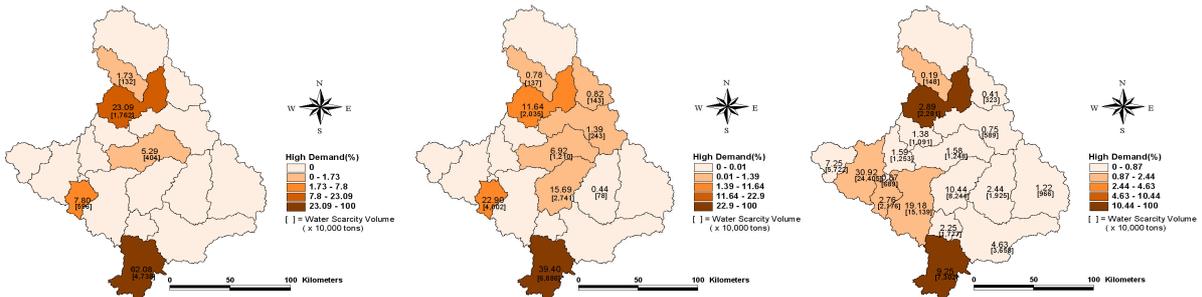
장기적으로 물 부족량이 증가 추세에 있다면 기준기간(수자원장기종합계획 상의 2020년)과 비교하여 목표기간(2020-2030년, 2031-2060년, 2061-2090년)에 어느 정도의 물 부족이 증가하는지에 대하여 다음과 같이 기준기간에 대한 상대크기로 목표기간의 물 부족량을 분석하였다.



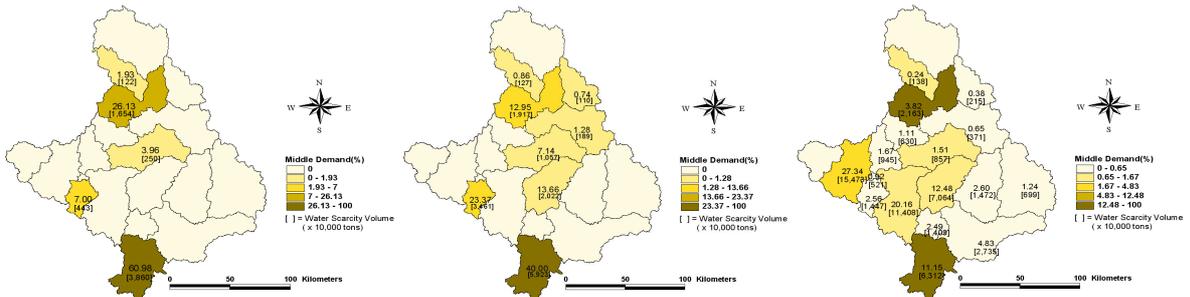
(a) A2-고수요(2020-2030) (b) A2-기준수요(2031-2060) (c) A2-저수요(2061-2090)

그림 5. 시나리오별 목표기간별 물 부족의 평균 증가율

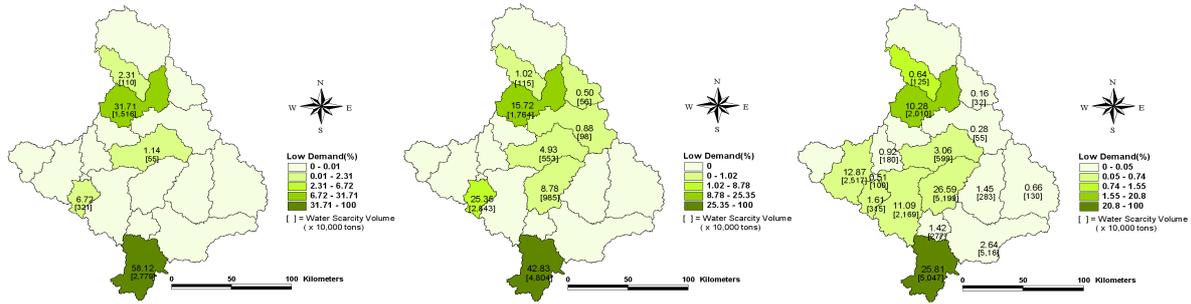
한강유역의 각 소유역 별 물부족량을 검토한 결과, 특정 소유역에서 물 부족이 가중되었고 장기적으로는 한강유역내 대부분의 소유역에서 물부족이 발생할 것으로 예상되었다. 목표기간의 한강유역에 대한 총 물부족량을 100으로 보았을 때 각 소유역이 차지하는 비율을 나타냈고 각 소유역별 물부족 용량을 [ ]로 표시하면 다음과 같다.



(a) A2-고수요 (2020-2030) (b) A2-고수요 (2031-2060) (c) A2-고수요 (2061-2090)



(d) A2-기준수요 (2020-2030) (e) A2-기준수요 (2031-2060) (f) A2-기준수요 (2061-2090)



(g) A2-저수요 (2020-2030)      (h) A2-저수요 (2031-2060)      (i) A2-저수요 (2061-2090)

그림 6. 한강유역의 소유역별 물 부족 비율

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기후변화를 고려하여 한강유역의 미래 물부족 정도를 평가하였다. 기후변화-물 수요 시나리오를 구성하고 기후변화 시나리오에 따라 SLURP 모형으로부터 모의된 유출량 자료를 이용하여 수자원평가 및 계획 모형인 K-WEAP 모형에 적용하였다. 모형의 결과를 통하여 한강유역의 물부족량을 정량적으로 예측하였으며 소유역별로 물 부족 정도를 검토하였다.

한강유역에 대하여 각 시나리오 별로 미래 물부족량의 변화 추이와 불확실성 정도를 확인하였으며, 물부족량의 장기적인 변화추세를 확인한 결과 한강유역은 장기적으로 물부족이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 한강유역의 소유역별 물부족량을 검토한 결과 특정 소유역에서 물 부족이 가중되고 장기적으로 한강유역 전체로 물부족이 예상되는 소유역이 증가함을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과에 의하면 미래에는 한강유역의 물 부족이 가중될 것으로 예상되었다. 따라서 기후변화에 의하여 예상되는 한강유역의 유출특성 변화에 대응할 수 있는 구조적 또는 비구조적인 대책이 요구된다고 할 수 있겠다. 그리고 이러한 결과와 같이 정량적으로 물 부족을 검토하여 수자원 정책을 뒷받침할 수 있는 연구들이 더 진행되어야 할 것이다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 일환인 「기후변화 대비 국가 물 안보 확보 방안」 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2006). 수자원장기종합계획(2006-2020) 보고서
2. 과학기술부 (2004). 21세기 프론티어연구개발사업 -수자원 지속적 확보기술개발사업- 유역통합물수지 분석 및 수자원 계획기술개발, 통합수자원평가계획모형 사용자 안내서
3. 과학기술부 (2007). 21세기 프론티어연구개발사업 -수자원 지속적 확보기술개발사업- 기후변화에 의한 수자원 영향평가 체계구축
4. 김병식, 김형수, 서병하 (2004). SLURP모형의 증발산 모형에 대한 평가, 한국수자원학회 논문집, 제37권 제9호 pp. 745-758.
5. 환경부 (2006). 국제환경현안 대응·해결기술, 기후변화에 의한 물순환의 예측 및 영향 평가
6. IPCC. (2007). "Climate Change 2007", the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change.