

# 기후변화를 고려한 극한가뭄 전망 최신 연구 동향



**이 주 현 ▶▶▶**  
충부대학교 교수  
leejh@joongbu.ac.kr



**김 창 주 ▶▶▶**  
충부대학교 석사과정  
yubkipd@nate.com

해석기술, 하천 건천화 등과 관련된 기존의 연구결과와 국내외 기후변화 관련 가뭄 연구 성과 및 기술수준 등을 조사·분석하였다. 또한 기존의 연구 성과를 기반으로 한 기후변화 시나리오를 바탕으로 미래의 극한가뭄 전망기술 및 극한 가뭄 빈도해석 기술을 개발할 계획이며 전망결과를 바탕으로 한반도 가뭄의 시·공간적 변화 특성과 함께 유역별 수자원 전망 결과 및 유역별 하천건천화 빈도를 제시할 예정이다.

문헌조사는 최근의 기술 및 연구동향을 살피기 위해 2000년 이후의 자료를 우선적으로 검토하였다. 가뭄전망기술 연구는 지수(index), 전망(outlook), 예측(forecast), 빈도해석(frequency analysis)을 키워드로 조사하였으며 하천 건천화 관련 연구는 건천화 현황 및 원인조사, 건천화의 정의, 기준유량 및 평가기법과 건천화 방지대책 관련 연구에 대하여 조사하였다. 자료 수집을 위해서 국내외 검색사이트를 이용하여 기후변화와 가뭄관련 저널목록을 찾고 국회도서관 및 학회사이트 등을 통해 보고서와 저널을 내려 받아 Table 1에 정리하였다.

## 1. 머릿말

본 연구는 한반도의 기후변화 영향으로 발생할 수 있는 미래의 수문전망 시계열로부터 빈도해석을 통하여 가뭄의 지역별 변동성을 평가함과 동시에 극한 가뭄의 시공간적 전망기술을 제시하고자 한다. 따라서 선행적으로 가뭄모니터링, 가뭄전망, 극치사상 빈도

Table 1. Literature Review Scope

Journal/ Research Report	연도	2000~2010년 / 2001~2010년
	총 편수	약 43편 / 18편
	저널명 <sup>1)</sup>	대한토목학회, 한국수자원학회, 한국기상학회, 한국수문학회, 한국환경영향평가학회, 대한환경공학회, 한국지역지리학회, WRR, IJC, AG, CC, JGR(2)
주요 내용	기후변화 시나리오, 가뭄 지수, 가뭄 모니터링, 가뭄 전망, 가뭄 빈도해석, 하천 건천화, 평가지표, 평가기법, 방지대책, 물수지 분석flood, IDF 등	
키워드	climate change scenario, drought index, drought monitoring, drought outlook, forecast, drought frequency analysis, 등	

1) WRR: Water Resources Research (American Geophysical Union), IJC: International Journal of Climatology (Wiley InterScience), AG: Advances in Geosciences (ScientificCommons), CC: Climatic Change (SpringerLink), JGR: Journal of Geophysical Research (American Geophysical Union)

## 2. 국외 연구동향

### 2.1. 가뭄전망기술 연구동향

과거 가뭄전망기술과 관련된 연구는 실제 강수량이나 온도 등의 기상예측 자료를 활용하여 중장기 가뭄현상을 전망하기 위한 비시나리오 기반의 가뭄연구가 진행되었으나 최근 들어 기후변화를 고려하여 미래기후변화 시나리오를 기반으로 한 많은 연구가 진행되고 있다. 시나리오 기반의 연구는 IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) 에서 제시한 온실가스 배출시나리오를 바탕으로 GCM(Global Climate Model), RCM(Regional Climate Model)등의 기후모델과 지수를 이용하여 미래 가뭄을 전망하고 있다.

조사 결과, 기후변화를 고려한 대부분의 가뭄전망 연구의 경우 다원화 사회 시나리오인 A2 시나리오, 지역 공존화 시나리오인 B2 시나리오를 GCM 모델에 적용하여 중장기 미래 가뭄을 예측하고 있으며 지수의 경우 강수량을 사용하는 SPI 지수와 강수량, 기온, 유효토양수분량의 변수를 사용하는 PDSI(Palmer Drought Severity Index) 지수를 사용하였다.

### 2.2. 빈도해석기술 연구동향

조사한 문헌들 중 단일시나리오를 사용한 경우가 대부분이지만 최근 들어서 모델들 간의 불확실성이

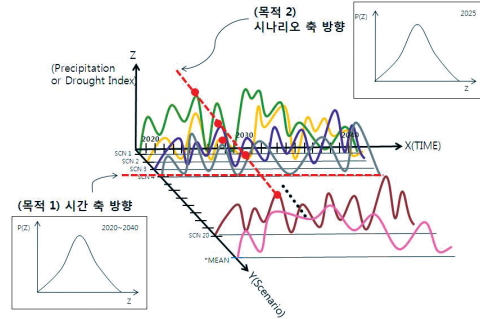


Fig. 1. 자료처리 목적 별로 분류한 가뭄빈도해석 연구동향의 일반론

제기되면서 MME(Multi Model Ensemble)와 같이 시나리오를 결합하여 불확실성을 줄이는 방법으로 연구가 진행되는 추세이다. 분석결과는 크게 시나리오 결합의 방법에 따라 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째는 시간 축 방향으로 자료를 조합 하는 방법이다. 일정기간동안 산출된 하나의 시나리오나 여러 개의 시나리오 혹은 시나리오의 평균값을 각각 시간 축 방향으로 적정한 확률분포를 선택하여 결합하는 것이다. 두 번째는 시나리오 축 방향으로 자료를 조합하는 방법이다. 일정기간 동안 산정된 여러 개의 시나리오를 시나리오 축 방향으로 결합하여 특정 시점의 가뭄 정도를 확률적으로 알 수 있다.

### 2.3. 하천 건천화 연구동향

국외의 경우 건천화 현상은 건천화 자체에 대한 학술적인 연구보다 현장 적용 측면의 연구가 대부분을 차지하고 있으며, 건천화에 대한 정의 및 기준유량에

Table 2. 하천유지유량 산정방법의 특징 및 장단점 비교

구분	특징	장점	단점
일본	- 유지유량이 하천보전의 기준 - 법적 보장보다 권고 사항에 가까움	- 이수유량을 고려한 정상 유량까지 산정	- 수질 고려방법 체계적이지 못함
미국	- 최소 유지유량으로 10년 빈도 7일 연속 갈수량을 사용	- 각 요소의 고려방법 다양(특히 어류의 경우)	- 미국의 하천 특성과 우리나라의 하천특성이 상이함
영국	- 주정부에 법적으로 보장되고 법정에 의한 판례도 있음	- 각 요소에 점수제를 도입하여 적용 용이	- 유지유량에 절대적으로 유리한 환경조건
호주	- 자연환경을 합법적 물 사용자로 인식 - 수자원법의 근거, 수행 방법으로 환경유량 가이드라인작성, 적용	- 생태계의 형태에 따라 서로 다른 환경 유량 적용가능	- 국내여건상 적용이 어려움 - 환경유량 설정에 많은 시간과 노력이 필요함

Table 3. 차년도 연구방향

주요 연구내용	구체적인 추진방안
1) 한반도 가뭄의 통계적 특성 분석	- Theory of Runs를 활용한 가뭄사상의 정의 - SPI, PDSI 등의 가뭄지수를 활용한 극한가뭄의 정의 - MK Test 및 Wavelet transform을 이용한 한반도 가뭄의경향성 및 주기성 분석
2) 수자원 시계열 및 가뭄지수를 이용한 가뭄빈도 해석	- 원시자료 및 가뭄지수를 활용한 가뭄빈도해석 기술의 비교연구 - 가뭄빈도해석에 의한 주요지점별 가뭄지속기간-가뭄심도-생기빈도 곡선의 개발
3) 기후변화 전망 자료를 활용한 극한가뭄 빈도해석	- 기후변화 전망자료와 가뭄이론을 활용한 미래 극한가뭄 사상의 추출 - Multi Model GCM을 활용한 빈도해석 기술의 개발

대한 연구가 미흡한 실정이다. 국가별 하천유지유량의 특징 및 장단점은 Table 2와 같다.

건천화 관련 연구들은 대부분 해당 유역의 건천화 원인을 분석하고 방지대책 및 적용사례를 조사한 후 적용 가능한 방지대책을 분석하고 제안하고 있으며 몇몇의 외국 하천에서 시행하고 있는 건천화 방지사례는 위와 같다.

### 3. 국내 연구동향

#### 3.1. 가뭄전망기술 연구동향

앞서 언급한 바와 같이 최근에 들어서 기후변화를 고려하여 미래 기후변화 시나리오를 기반으로 한 많은 연구가 진행되고 있으나 국내연구의 경우 국외연구에 비해 상대적으로 미흡한 실정이다. 조사결과 대부분 A2 시나리오를 이용하고 있었으며 지수의 경우 SPI와 PDSI를 주로 사용하는 것을 알 수 있었으며 연구흐름이 국내, 국외 모두 비슷한 것을 알 수 있었다.

#### 3.2. 하천건천화 연구동향

하천 건천화에 대한 연구는 유역개발과 지하수 사용량 증가와 더불어 비교적 최근에 관심을 갖기 시작한 과제로 정성적인 연구가 주를 이루어 왔고 정량적인 연구는 미흡하다. 본 연구에서는 건천화와 관련된

선행 연구사례들을 조사 후, 건천화 하천의 현황 및 원인, 건천화 정의 및 평가기법, 건천화 방지대책관련연구 크게 3가지로 구분하여 분석하였다. 각 연구 사례는 해당하천의 건천화 현황을 직접 현장 조사하거나, 설문조사를 수행하여 분석하고 있다. 그 결과, 건천화 하천의 원인은 크게 인위적 요인과 자연적 요인으로 구분되어지며 대부분 인위적 요인을 해당 하천 건천화의 직접적인 원인으로 분석하고 있다.

지속가능한 하천수 개발 기술(과학기술부, 2003)에서는 건천화 정의를 수문학적 요소기준으로는 갈수량 기준 이하이고, 하천수 활용 요소기준으로는 하천으로부터 필요 수량을 지속적으로 제공할 수 없는 하천으로 정의하였다. 또한 관련 연구들은 대부분 해당 유역의 건천화 원인을 분석하고 방지대책 및 적용사례를 조사한 후 적용 가능한 방지대책을 분석·제안하고 있다.

### 4. 맺음말


이상으로 기후변화와 연계된 극한 가뭄으로 인한 한반도의 수자원을 전망하기 위해 기존의 연구결과와 국내의 기술수준 및 연구결과를 분석하고 정리 하였다. 다음으로 미래의 기후변화를 고려한 수계별 수자원 전망 기술을 개발하기 위한 연구방향을 Table 3과 같이 설정하였다. 

Table 4. 극한가뭄으로 인한 수자원 전망 - 국외연구동향

저자	대상 지역	전망 기간	주요내용								결과의 표현	주요 결과	
			자료구축방법				빈도해석방법						
			시나리오 총 개수 [GCMs x Output Scenario]	GCM Output	기타 방법	데이터 처리방법 (output 개수)	가뭄 정의	조합 방법	확률분포	개수			
M. Weib 등 (2007)	Northern Mediterranean in North Africa	2070s	2개 [1x2]	월 평균 강수량, 월 평균 기온	수문모형 (유량 산정)		Deficit volume	시간	Log Pearson Type-3, Pearson type-3	2개	(시나리오별로 결과 표현) 2070년대 가뭄을 적용 시나리오 별로 Exceedence probability-Deficit volume곡선으로 나타냄	일부지역에서 과거기간의 100년 빈도 가뭄이 2070년대에 10년 빈도 가뭄으로 나타남	
Subimal Ghosh 등 (2007)	The Orissa (India)	2000-2100	19개	월 평균 강수량			SPI (-12)	시나리오	정규분포, Kernel density function	-	(시간별로 결과 표현) 각 연도별로 가뭄정도에 따른 확률을 확률분포를 통해 나타냄	미래 10년 단위별 가뭄전망 결과 - severe & extreme drought 증가, -near-normal condition 감소	
								시간	10년 단위별 확률분포로 장기간 단계별 확률 산정	-	10년간의 가뭄을 가뭄단계별로 확률을 막대그래프로 나타냄		
A. Loukas 등 (2008)	Thessaly, Greece	2020~2050, 2070~2100	2개 [1x2]	월 평균 강수량			SPI (-1, -3, -6, -9, -12)	시간	EV-1	10개	(시나리오 별로 결과 표현) Drought-Timescale -Frequency 그래프로 연 가뭄심도, 단위시간, 빈도와외의 관계를 조합된 결과로 나타냄	2020~2050년에는 현재와 가뭄 심도의 큰 차이가 없지만 2070~2100년에는 현 상태보다 심도가 현저히 증가함	
Bernhard Lehner 등 (2008)	A continental (Europe)	2020s, 2070s	2개 [2x1]	월 평균 강수량, 월 평균 기온	수문모형 (유량 산정)		Deficit volume	시간	Log Pearson Type-3	2개	(시나리오별로 결과 표현) 100년 빈도 가뭄 심도를 유럽대륙 Map에 표시	2070년대 일부 지역에서 10~50년 빈도 증가 추세	
Jean-Philippe Vidal 등 (2009)	Stour CAMS area (England), Lochalsh WFD river basin (Scotland)	2020s, 2050s, 2080s	10개 [5x2]	월 평균 강수량			시나리오별: MME (평균) / 2개	SPI (-3, -6, -12, -24)	시간	Kernel Smoothing density estimate	8개	(시나리오별로 결과 표현) 조건기간에서 표준화된 SPI의 표준정규분포곡선과의 비교를 통해 미래 가뭄심도 변화를 알 수 있음	A2, B2 시나리오 모두 전반적으로 가뭄심도가 증가하고 멀티모델에서도 가뭄심도가 증가하는 것으로 나타남
A. K. Mishra 등 (2009)	Kansabati River basin (India)	2001-2050, 2051-2100	12개 [6x2]	월 평균 강수량			시나리오별: MME (평균) / 2개	SPI (-3, -12)	시간	EV-1	4개	(시나리오별로 결과 표현) 재현기간별 Severity-Area -Frequency 그래프로 나타냄	SPI-3, SPI-12 결과 모두 여러 지역에 걸쳐 현저한 가뭄이 발생할 것으로 나타남
Luc Feyen 등 (2009)	A continental (Europe)	2071~2100	1개 [1x1]	월 평균 강수량, 월 평균 기온	수문모형 (유량 산정)		Low flow, Deficit volume	시간	GEV, GP	2개 (정의 별)	(시나리오별로 결과 표현) Frost 시즌과 Non-frost 시즌을 구분하여 결과를 표현함	모든 시즌에 온도는 전반적으로 증가하고 강우량을 frost-free 시즌에만 증가함	

## 참고문헌

1. M. WeiB, M. Florke, L. Menzel, and J. Alcamo(2007). "Model-based scenarios of Mediterranean droughts." *Advances in Geosciences*, Vol 12, pp. 145-151.
2. Subimal Ghosh and P. P. Mujumdar(2007). "Nonparametric methods for modeling GCM and scenario uncertainty in drought assessment." *Water Resources Research*, Vol 43, No.7, W07405.
3. A. Loukas, L. Vasiliades, and J. Tzabiras(2008). "Climate change effects on drought severity." *Advances in Geosciences*, Vol 17, pp23-29.
4. Bernhard Lehner, Petra Doll, Joseph Alcamo(2008). "Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis." *Climatic Change*, Vol 75, No.3, pp. 273-299.
5. Jean-Philippe Vidal and Steven Wade(2007). "A multimodel assessment of future climatological droughts in the United Kingdom." *International Journal of Climatology*, Vol 29, No. 14, pp. 2056-2071.
6. A. K. Mishra and Vijay P. Singh(2009). "Analysis of drought severity-area frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty." *Journal of Geophysical Research*, Vol 114, D06120.
7. Luc Feyen, Rutger Dankers(2009). "Impact of global warming on stream flow drought in Europe." *Journal of Geophysical Research*, Vol 114, D17116.
8. Tallaksen, L. M. and van Lanen, H. A. J. (2004). *Hydrological drought-processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, Elsevier Science.
9. Hann C. T. (1977), *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State Univ. Press, Ames.
10. 이동률, 김웅태, 유철상, 이준열 (2000). "기후변화가 기상학적 가뭄과 홍수에 미치는 영향." 2000년 대한토목학회정기학술발표회논문집, pp. 79-82.
11. 부경운, 권원태, 백희정, 오재호 (2004). "지역 기후 변화 모의 자료를 이용한 한반도 가뭄 지수 분석." 2004년 한국수자원학회학술발표회논문집, pp.875-877.
12. 김병식, 권현한, 배영혜 (2008). "고해상도 RCM 모형을 이용한 기후변화가 기상학적 가뭄의 시공간적 특성에 미치는 영향." 2008년 대한토목학회정기학술발표회논문집, pp. 594-598.
13. 경민수, 이용원, 김형수, 김병식 (2009). "기후변화가 서울지역의 기온 및 가뭄에 미치는 영향평가 : AR2 SRES A2 시나리오를 기반으로." 2009년 대한토목학회논문집, 제29권, 제2B호, pp. 181-191.
14. 과학기술부 (2003). *지속가능한 하천수 개발기술*, 과학기술부.
15. 경기개발연구원 (2003). *경기도내 하천의 건천화 방지에 관한 연구*, 경기개발연구원.