

국내 기상정보를 이용한 가뭄전망기법 연구

A Drought Outlook Study Using Climate Information in Korea

김영오* / 이재경** / 고양수***

Kim, Young-Oh / Lee, Jae-Kyoung / Ko, Yang Soo

요 지

최근 기후변화의 영향으로 인한 기상이변으로 인해 세계적으로 많은 피해가 발생하고 있으며, 규모도 점점 커지고 있다. 특히 가뭄에 대한 피해는 더욱 더 심화되는 현상으로 보이고 있다. 본 연구에서는 국내에 적합한 월단위와 주단위 가뭄전망을 제시하였다. 월단위 전망에서는 앙상블 기법을 기반으로 기상청에서 제공하는 월간산업기상정보의 적용에 따른 가뭄전망 정확성을 비교하였다. 주단위 전망에서는 기상청에서 제공하는 GDAPS를 이용하여 확정론적 가뭄전망을 하였다. 가뭄지수로서는 강수, 유량, 지하수위를 인자로 하는 MSWSI(Modified Surface Water Supply Index)를 가뭄지수로 사용하였으며, MSWSI는 5개 구간으로 나누었다.

월단위 가뭄전망에서는 물수지모형인 *abcd*모형에 과거 강수와 잠재증발산량 시나리오를 입력변수로 하여 최종적으로 유량과 지하수위 시나리오를 생산하여, 확률 가뭄전망을 위해 각 구간의 발생확률을 산정하고 실측자료로부터 산정한 MSWSI와 비교하였다. 정확성 평가를 위해서 RPS(Ranked Probability Score)를 이용하였다. 금강유역에 적용한 결과, 이수기(10월-이듬해 6월)에는 4개 달이 초보전망보다 높았으나 전체 RPS는 1.87로서 초보전망의 1.84보다 높아 현재 월단위 가뭄전망기법에는 많은 불확실성이 존재하였다. 또한 월간산업기상정보를 이용한 월단위 가뭄전망에서도 초보전망보다 정확성이 낮아, 현재 중장기 기상정보를 이용하기에는 어려운 것으로 나타났다. 주단위 가뭄전망에서는 *abcd*모형에 GDAPS를 입력변수로 하여 확정론적 MSWSI를 산정하여 실측자료로부터 산정한 MSWSI와 비교하였으며, Hit ratio를 이용하여 그 정확성을 평가하였다. 주단위 가뭄전망 결과, 주단위 가뭄전망의 Hit ratio가 0.480으로서 초보전망보다 높아 주단위 가뭄전망은 효용성이 있음을 입증하였다.

본 연구에서 적용기간이 짧아 가뭄전망의 정확성을 판단하기는 이르나, 월단위 가뭄전망에서는 기상정보의 정확성이 향상에 따라 가뭄전망의 정확성도 향상될 것으로 판단된다. 장기적으로 본 연구 결과를 토대로 단기와 중장기 가뭄전망을 수행하고 평가한다면, 가뭄전망에 대한 신뢰도가 더 높아질 것으로 사료된다.

핵심용어 : 가뭄전망, MSWSI, *abcd*모형, 월간산업기상정보, GDAPS

1. 서론

우리나라는 몬순지역에 위치해 있어 연평균 강우의 2/3가 여름에 발생하므로 수자원관리가 매우 힘들어 천연적으로 가뭄에 매우 취약하다. 우리나라 과거 가뭄피해액을 살펴보면 1982년에는 3,445억 원, 1992년 490억 원, 1994년 2,500억 원의 피해가 발생하였다(한국수자원공사, 2002). 최근 2001년에는 봄 강수량이 평년의 20 %인 46.9 mm 밖에 되지 않아(권원태 등, 2001), 이로 인하여 농업용 저수지가 마르는 농업적 가뭄이 발생하였다. 더욱이 우리나라에서 가뭄발생빈도가 점점 빨

* 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 부교수 * E-mail : yokim05@snu.ac.kr
** 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 박사수로 * E-mail : myroom1@snu.ac.kr
*** 정회원, 한국수자원공사 부안댐수도관리단장 * E-mail : ysko@kwater.or.kr

라지고 피해도 심해지고 있다.

최근 기후변화뿐만 아니라 도시화로 인하여 우리나라의 기온이 과거 100년 동안 1.5도 상승하였으며, 이 중 20~30 %는 도시화에 의한 것으로 추정된다(Choi 등, 2003). 특히 과거 20년 동안 연강수량은 14 % 줄어드는 반면 강우강도는 18 % 증가 하였으며(Choi, 2002), 여름철 강우량이 줄어드는 마른 장마가 발생하고 있다. 이로 인하여 저수지에서는 충분한 물을 확보하지 못하여 농업 및 생활용수 등 수자원 부족이 점점 심해지고 있어 수자원 관리와 계획이 매우 어려운 상황이다.

가뭄은 그 특성에 따라 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 그리고 사회경제학적 가뭄으로 나눌 수 있다. 지금까지 많은 가뭄지수가 개발되었으며, 가뭄특성에 따라 가뭄지수를 달리하여 가뭄을 평가하고 있다. 가뭄지수를 이용한 국외 연구를 살펴보면, Ntale 등(2003)은 BMI, PDSI, SPI를 적용·비교하여 이들 지수를 개선할 수 있는 방안을 제시하였다. Morid 등(2006)은 CZI, DI, SPI 등 7가지의 가뭄지수를 이란지역에 적용·비교하였다. 또한 새로운 가뭄지수를 개발하는 연구도 수행되었다(Folwer 등, 2002; Steinmann, 2003; Canelliere 등, 2004; Keyantash and Dracup, 2004). 국내 연구로는 윤용남 등(1997)은 PDSI를 우리나라 실정에 맞게 수정 및 보완하여 적용하였고 류재희 등(2001)은 SPI, SWSI, PDSI를 낙동강유역에 적용 및 비교하였다. 권형중 등(2006)은 우리나라 실정에 맞게 SWSI를 보완하여 MSWSI를 제안하여 PDSI와 비교하였으며, 김광훈 등(2007)은 가뭄유형에 따라 SPI, SMI, MSWSI에 가중치를 적용하여 가뭄을 평가하였다.

가뭄을 미리 대비하기 위해서는 가뭄전망이 선행이 되어야 한다. 국외 가뭄전망에 대한 연구를 살펴보면, White 등(2004)은 바다표면 온도의 변동성을 CCA를 통하여 가뭄을 전망하는 연구를 수행하였으며, Lloyd-huges 등(2002)은 SPI를 이용하여 유럽에 대해 가뭄전망을 수행하였다. 최근에는 기후변화 시나리오를 이용한 가뭄전망 연구가 활발하여, 특히 Ghoshi 등(2007)은 기후변화 시나리오를 이용하여 확률적인 가뭄전망을 수행하였다. 최근 우리나라에서도 가뭄전망에 대한 연구가 시작되었으나 초보적인 단계에 불과하다. 특히, 가뭄전망을 위해서는 미래 기상전망의 자료가 반드시 필요하나 현재 기상전망에 대한 데이터베이스와의 연계가 부족하여 기상정보의 활용이 매우 어려운 상태이다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같이 가뭄전망 연구를 수행하였다. 첫 번째로 가뭄전망에 필요한 미래 기상정보를 조사하고 정확성을 분석하였으며, 두 번째로 공식적인 가뭄지수를 이용하여 신뢰성있는 가뭄지수를 산정하였다. 마지막으로 미래 기상정보를 이용하여 국내 실정에 맞는 장단기 가뭄전망 방법을 수행하였다.

2. 국내 기상정보

우선 가뭄전망을 위해서는 활용가능한 기상정보가 존재하여야 한다. 국내에서 사용가능한 기상정보를 조사하였으며, 최종적으로 월간산업기상정보(Monthly Industrial Magazine Information, 이후 MIMI)에서 제공하는 월 구간(categorical)예보와 전지구모형 기반인 10일 단위 확정론적(deterministic) 예측 GDAPS(Global Data Assimilation System)가 가용한 기후정보라 할 수 있다.

MIMI는 전국 6개 주요 도시를 대상으로 한달을 상·중·하순으로 나누어 예보하며, '서술형식'과 '비교형식'으로 예보를 표현하고 있다. 서술형식 예보는 '많이 추워짐', '눈이 오겠음' 등 정성적으로 표현되기 때문에 사용자가 이해하기 쉬우나 '많이 추워짐'이라고 예보를 하면 어느 정도 추워지는가에 대한 정량적 기준이 없으므로 그 해석이 애매해 질 수 있는 단점이 있다. 반면 비교형식 예보는 정량적 기준을 정하여 '평년보다 높겠음' 등으로 표현되며, 평년을 기준으로 구간을 나

누고 있는 기준값은 각각 과거 기온과 강수가 이루는 분포에서 상위 30%, 중위 40%, 하위 30%에 해당하는 분위값(quantile)을 평균에 대한 차 또는 비율로 나타낸 것이다. 그러나 비교형식 예보는 상세한 지역적 기상변화에 대한 정보를 얻기 어렵다는 단점이 있다.

중장기 기후예보자료인 GDAPS는 대상지역이 지구 전역인 JMA 전구모형(global model)을 바탕으로 생산된 평균 해수면 기압, 강수, 850 hPa 온도, 700 hPa 이슬점 등의 예보자료이다. GDAPS의 예보기간은 예보시점에서 최대 240시간까지 12시간 간격으로 하루에 두 번, 단일한 시나리오를 가진 확정론적 기후예보자료이다.

본 연구에서 MIMI와 GDAPS의 정확성을 검정하였으며, 강수의 경우 MIMI는 예측의 정확도가 높지 않았고 반면 GDAPS는 정확도가 상대적으로 높아 가뭄전망에 활용이 가능하리라 판단되었다. 그러나 국내의 경우는 아쉽게도 아직까지 홍수기의 기후정보가 갈수기보다 그 정확성이 상대적으로 높아, 가뭄전망을 위해서는 앞으로 기후정보의 지속적인 개선이 필요한 실정이다.

3. 가뭄지수: Modified Surface Water Supply Index

본 연구에서는 ‘가뭄관리모니터링체계 수립 보고서(건설교통부와 한국수자원공사, 2005)’에서 새로 개발한 가뭄지수인 MSWSI(Modified Surface Water Supply Index)를 이용하였으며, 이는 식 (1)과 같다. MSWSI는 SWSI(Shafer and Dezman, 1982)에서 국내 특성상 적설량 대신 지하수를 입력변수로 추가한 지수이다. MSWSI에서 기존입력변수를 제하고 새로운 입력변수를 추가할 수 있는 이유는 각 수문입력변수가 유역의 용수공급능력에 미치는 영향이 계절에 따라 다르며, 유역의 특성에 따라 용수공급 수문입력변수가 달라질 수 있기 때문이다(건설교통부와 한국수자원공사, 2005).

$$MSWSI = \frac{w_1 \times PN_{gw} + w_2 \times PN_{pcp} + w_3 \times PN_{sf} + w_4 \times PN_{rs} - 50}{12} \quad (1)$$

여기서, PN 은 각 입력변수에 대한 비초과확률, w_1, w_2, w_3, w_4 는 각 입력변수들에 대한 가중치, 아래첨자 gw 는 지하수(groundwater), pcp 는 강수(precipitation), sf 는 하천유출(streamflow), rs 는 저류량(reservoir)을 나타낸다.

4. 적용사례

4.1 적용지역

가뭄전망의 정확성 검증을 위해 금강유역을 적용지역으로 선정하였다. 금강유역은 유로연장 401 km이며, 유역면적은 9,810 km²이다. 금강유역은 총 21개의 중권역(수자원공사 기준)으로 나누어져 있다. 금강유역에는 용담댐과 대청댐이 위치하고 있으며, 용담댐은 전주원의 생공용수, 대청댐은 대전과 청주권의 용수를 담당하고 있다.

4.2 강우-유출모형

가뭄전망에 사용한 강우-유출모형으로는 물수지모형인 *abcd*모형을 선정하였다. *abcd*모형은 가

몹지수 산정에 필요한 인자인 유출량, 지하수위 등이 생산 가능한 모형이다.

*abcd*모형에 사용되는 매개변수(*a, b, c, d*)는 계측유역의 경우 모의유량과 관측유량이 근접해지도록 추정하였으나, 미계측유역은 계측유역에서 구한 매개변수 추정값을 유역특성인자로 회귀식을 만든 지역회귀분석기법을 사용하였다. 즉, 각 특성 간 독립성이 유지될 수 있도록 선택된 유역 연평균 잠재증발산량, 유역평균고도, 유역평균경사, 하천밀도, 평균온도, 월최대강우, 총하천길이 등 7개의 유역특성인자를 독립변수로 하고 9개 다목적댐(충주댐, 소양강댐, 안동댐, 임하댐, 합천댐, 대청댐, 보령댐, 부안댐, 섬진강댐)으로부터 추정된 매개변수를 종속변수로 하여 stepwise regression 기법을 이용하여 매개변수별 회귀식을 구성하였다. 이들 회귀식을 사용하면 *abcd*모형으로 전국 어디서나 월별 유역 유출량을 구할 수 있다는 장점이 있다.

앞에서 구한 매개변수별 회귀식을 검증하기 위하여, 회귀식으로 구한 매개변수를 이용하여 *abcd*모형으로 2002년 1월부터 2004년 12월까지 용담댐의 유입량을 모의하였다. 검증결과 R^2 는 92.42, R-Bias는 -0.06, R-RMSE는 0.35로서 정확성이 매우 높게 나와, 적용 가능한 모형임을 확인하였다.

4.3 월단위 가뭄전망

월단위 가뭄전망의 경우, 1986년 1월부터 2000년 12월까지 15개년도의 과거 강수와 온도 앙상블 시나리오들을 이용하였으며, 과거 실제 가뭄이 발생하였던 2001년 1월부터 12월까지를 검증기간으로 하였다.

1986년부터 2000년까지의 15개 강수와 기온 앙상블을 각각 강우-유출모형에 입력하여 2001년 1월의 14개의 유입량과 지하수위 앙상블을 생성하였다. 다음으로 월별로 14개의 과거 강수 앙상블, 유입량 앙상블, 지하수위 앙상블을 각각 수문관측소에서 취득한 자료를 이용하여 비초과확률을 작성하고 다음으로 각 수문입력변수에 대한 가중치를 산정하였다. 마지막으로 각 입력변수의 월별 비초과확률 앙상블을 MSWSI 공식(식 (1))에 대입한 다음 MSWSI 앙상블을 산정하였다.

월단위 가뭄전망이 구간전망이므로 가뭄구간도 ‘심한습윤’, ‘보통습윤’, ‘정상상태’, ‘보통가뭄’, ‘심한가뭄’의 5단계로 구분하였으며, 월단위 가뭄전망의 정확성을 검증하기 위해 과거 수문관측자료를 이용하여 ‘실제가뭄’을 산정하였다.

월단위 가뭄전망의 정확성 평가를 위해 RPS(Ranked Probability Score)를 사용하였으며, 가뭄전망의 RPS 평균이 초보전망(naive forecast)의 RPS 평균보다 작으면 월단위 가뭄전망이 정확하여 가뭄전망으로서 유효하다고 할 수 있다. 본 연구에서의 월단위 가뭄전망의 RPS 평균은 1.87로서 초보전망보다 커서 월단위 가뭄전망으로서 정확성이 낮게 나타났다(표 1 참조).

표 1. 월단위 가뭄전망 정확성 평가

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Ave.
본 가뭄전망	2.92	2.65	1.91	1.13	1.22	2.43	1.69	1.30	1.42	2.21	1.64	1.88	1.87
초보전망	2.40	2.29	1.68	1.47	1.39	2.13	1.92	1.56	1.58	2.10	1.68	1.90	1.84

Note) **Bold**: 초보전망보다 정확성이 높은 경우

또한 본 연구에서는 월단위 가뭄전망의 정확성을 향상시키기 위해 MIMI를 이용하여 가뭄전망

을 수행하였다. MIMI의 전망에 따라 가장 발생가능성이 높은 기상정보를 입력자료로 하여 *abcd* 모형에 입력하여 유입량과 지하수위 시나리오를 생성하고 최종적으로 MSWSI식을 이용하여 MSWSI 앙상블을 산정하였다. 하지만 MIMI를 이용한 월단위 가뭄전망의 RPS 평균이 초보전망의 RPS 평균보다 높아 가뭄전망으로서 효용성이 낮은 것으로 나타났다(표 2 참조). 따라서 월단위 가뭄전망은 아직 개선할 점이 많은 것으로 사료된다.

표 2. MIM을 적용한 월단위 가뭄전망 정확성 평가

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec	Ave.
본 가뭄전망	2.92	2.65	1.91	1.13	1.22	2.43	1.69	1.30	1.42	2.21	1.64	1.88	1.87
본 가뭄전망 (MIMI 적용)	3.10	2.71	1.99	1.34	1.22	2.20	1.93	1.45	1.58	2.11	1.74	1.77	1.93
초보전망	2.40	2.29	1.68	1.47	1.39	2.13	1.92	1.56	1.58	2.10	1.68	1.90	1.84

Note) **Bold**: 초보전망보다 정확성이 높은 경우

4.4 주단위 가뭄전망

주단위 가뭄전망의 경우, 본 연구에서는 검증기간으로 2001년 1월~12월(1년 52주)을 사용하였고, 본 연구에서 사용한 GDAPS는 한반도를 덮는 12개의 격자점으로 구성된 확정론적 예보로서 강수와 기온예보가 앙상블이 아닌 단일 시나리오로 구성되어 있다. 이 단일 강수와 기온예보 시나리오를 직접 *abcd*모형의 입력변수로 입력하면 단일한 유량 및 지하수위 예측시나리오를 생성할 수 있다. 우선 각 격자점의 GDAPS를 *abcd*모형에 적용하기 위하여 각 격자점과 충주댐 유역의 각 소유역 중심과의 거리에 따라 격자점에 가중치를 주었으며, 가중치를 이용하여 산정된 각 격자점의 단일한 강수 및 기온예보를 *abcd*모형의 입력변수로 하여 최종적으로 단일한 MSWSI를 산정하였다.

주단위 가뭄전망의 정확성 평가를 위하여 과거 수문관측자료를 이용하여 ‘실제가뭄’을 산정하였다. 다음으로 월단위 가뭄전망의 정확성 평가하기 위한 지표로 적중횟수(hit number)와 적중률(hit ratio)을 사용하였다. 주단위 가뭄전망의 적중횟수를 보면, 52주 중에서 25주가 일치하여 25회의 적중횟수를 보였다(표 3 참조). 따라서 적중률도 48.0 %로 매우 높은 전망 정확성을 보여 GDAPS를 이용한 주단위 가뭄전망이 매우 유용함을 확인하였으며, 현업에서도 바로 적용가능 할 것으로 사료된다.

표 3. 주단위 가뭄전망 정확성 평가

유역번호	3001	3002	3003	...	3302	3303	Ave
본 가뭄전망	35	35	35	...	25	25	24.76
초보전망	0.67	0.67	0.67	...	0.48	0.48	0.48

5. 결론 및 향후연구

본 연구는 국내 가뭄전망을 수행하기 위해 사용가능한 기상예보를 조사하였으며, 장기기상예보로서 MIMI를, 중기기상예보로서 GDAPS를 적용 가능한 기상예보로 선정하였다. 각 기상예보의 정확성 평가를 실시하였으며, MIMI의 정확성은 낮았으나 상대적으로 GDAPS의 정확성은 어느 정도 유효하여 적용이 가능한 것으로 판단하였다.

기상예보를 이용한 가뭄전망 방안을 수립하고 금강유역에 적용하였다. 월단위 가뭄전망에서는 과거 기상관측자료를 이용하는 앙상블 기법을 적용하였다. 하지만 월단위 가뭄전망의 RPS 평균이 초보전망보다 높아 월단위 가뭄전망의 정확성이 낮게 나타났다. 또한 MIMI를 이용한 월단위 가뭄전망의 정확성도 낮아 아직 월단위 가뭄전망에 개선점이 많음을 확인하였다. 주단위 가뭄전망에서는 GDAPS를 이용하였으며, 주단위 가뭄전망의 정확성이 초보전망보다 매우 높아, GDAPS를 이용한 주단위 가뭄전망이 뛰어난 것을 확인하였다.

본 연구에서 기상예보를 이용한 가뭄전망이 가능함과 개선점을 동시에 확인하였다. 기상예보의 정확성 향상이 매우 중요하기에, 보다 정확한 기상예보가 확보되면 가뭄전망의 정확성 또한 높아질 것으로 기대한다. 따라서 기상예보 향상을 위한 기상예보의 결합, 기상예보의 다양성 확보, 기상예보를 사용한 가뭄전망이 전국에 걸쳐 체계적으로 확대 적용되는 연구도 앞으로 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사와 소방방재청의 지원으로 서울대학교 공학연구소와 안전하고 지속 가능한 사회기반건설사업단 SIR BK21을 통해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강인주, 윤용남 (2002). “가뭄관리를 위한 수문학적 의사결정에 관한 연구: 1-마코프 연쇄를 이용한 PSDI의 추계학적 거동분석.” 한국수자원학회 논문집, 제35권 5호, pp. 583-595.
- 건설교통부와 한국수자원공사 (2005). 가뭄관리모니터링체계 수립, 건설교통부.
- 권원태, 오재호 (2001). “가뭄에 대한 기상학적 고찰.” 한국수자원학회지, 제34권 4호, pp. 81-86.
- 권형중, 박현진, 홍대의, 김성준 (2006). “SWSI 가뭄지수를 보완한 준분포형 수문학적 가뭄평가 연구.” 한국수자원학회논문집, 제39권 8호, pp. 645-658.
- 김광훈, 한규하, 이주현, 정상만, 길준택 (2007). “가뭄유형에 따른 가뭄지수의 적용성 분석.” 한국수자원학회 학술대회논문집, pp. 717-721.
- 류재희, 윤용남, 이동률, 안재현 (2001). “가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교.” 한국수자원학회 학술대회논문집, pp. 122-127.
- 윤용남, 안재현, 이동률 (1996). “Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석.” 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 259-267.
- 한국수자원공사 (2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구. 한국수자원공사.

Cancelliere, A. and Salas, J. D. (2004). "Drought length properties for periodic-stochastic

- hydrologic data." *Water Resources Research*, vol. 40, W02503.
- Flower, H. J. and Kilsby, C. G. (2002). "A weather-type approach to analyzing water resources drought in the Yorkshire region from 1881 to 1998." *Journal of Hydrology*, vol. 262, pp. 177-192.
- Garen, D. C. (1993). "Revised surface-water supply index for western United States." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 119, No. 4, pp. 437-454.
- Ghoshi, S. and Mujumdar, P. P. (2007). "Nonparametric method for modeling GCM and scenarios uncertainty in drought assessment." *Water Resources Research*, vol. 43, W07405.
- Keyantash, J. A. and Dracup, J. A. (2004). "An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage." *Water Resources Research*, vol. 40, W09304.
- Lloyd-Hughes, B. and Saunders, M. (2002). "A drought climatology for Europe." *International Journal of Climatology*, vol. 22, pp. 1571-1592.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration of time series", *8th Conference on Applied Climatology*, Jan., Anaheim. CA, pp. 179-184.
- Morid, S., Smakhtin, V. and Moghaddasi, M. (2006). "Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran." *International Journal of Climatology*, vol. 26, pp. 971-985.
- Ntale, H. and Gan, T. Y. (2003). "Drought indices and their application to east Africa." *International Journal of Climatology*, vol. 23, pp. 1335-1357.
- Shafer, B. A. and Dezman, L. E. (1982). "Development of surface water supply index - A drought severity indicator for Colorado." *Proc. Western Snow Conference*, pp. 164-175.
- Steinemann, A. (2003). "Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation." *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 39, no. 5, pp. 1217-1233.
- Whilhite, D. A. and Buchanam-Smith, M. (2005). "Chapter 1 Drought as hazard: understanding the natural and social context." *Drought and Water Crises*. edited by Whilhite, D. A., CRC Press
- White, W. B., Gershunov, A., Anns, J. L., Mckee, G., and Syktus, J. (2004). "Forecasting Australian drought using south hemisphere modes of sea-surface temperature variability." *International Journal of Climatology*, vol. 24, pp. 1911-1927.
- Y. Choi (2002). "Trends in daily precipitation events and their extremes in the southern region of Korea." *Korea Soc, Environmental Impact Assessment*, vol. 11, pp. 189-203.
- Y. Choi, K.-Y. Nam, H.-S. Jung, and W.-T. Kwon (2003). "Estimating and correcting urban bias in surface temperature time series of Korea." *International Journal of Climatology*, vol. 23, pp. 577-591.