

## 가뭄에 대한 기상학적 고찰

권 원 태 (기상연구소)

오 재 호 (부경대학교)

### 1. 서론

가뭄은 세계 각지에서 발생하는 자연 현상으로 자연생태계를 비롯하여 사회경제적으로 심각한 영향을 미친다. 사회경제적인 측면에서는 가뭄이 발생하면 지표수와 지하수 자원이 고갈됨에 따라 용수의 양과 질이 악화되며, 작물 생산량 감소, 발전량 감소, 여가 활동의 감소 등 사회경제 활동이 위축된다(Reibsame et al., 1991). 자연생태계에서는 산이나 들에서 발생하는 화재가 가장 막대한 피해의 원인이다. 20세기 최악의 기상재해에 호우(홍수), 태풍, 가뭄 등이 포함되며(미국 NOAA 1999년 12월 13일 보도자료), 가뭄과 관련해서 인도, 중국, 러시아 및 아프리카의 대가뭄이 11회 포함되었다. 가뭄은 장기간에 걸쳐 넓은 영역에 영향을 미침으로써, 기근으로 인하여 수많은 인명피해를 가져왔다.

최근 미국 기상학회에서 발간한 기상학사전(2000)에 의하면 가뭄은 '비정상적으로 건조한 날씨가 계속되어 심각한 수문학적 불균형을 이룬 기간(A period of abnormally dry weather sufficiently long enough to cause a serious hydrological imbalance)'이라고 정의되어 있다. 여기서 가뭄을 정의할 때 사용된 'abnormally dry', 'sufficiently long', 'serious'라는 용어는 가뭄이 절대적으로 정의되는 것이 아니라 상대적으로 정의된다는 것을 의미한다. 그러므로, 사막에서 비가 오지 않는 것은 가뭄

이라고 할 수 없다. 또, 가뭄은 학문적 관점이나 가뭄이 미치는 영향에 따라 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄, 사회경제적 가뭄이라는 용어를 사용하기도 한다.

2001년 봄은 특히 중부지방에 심각한 가뭄이 발생하였다. 기상청의 분석자료에 의하면, 한반도의 서쪽에 위치한 중부지방과 황해도, 평안남도에서 가장 가뭄이 심한 곳은 강수량이 10~30%를 기록하였으며, 고온이 지속되었다. 서울의 경우 1965년 이후 가장 비가 적게 내렸으며, 부산과 인천은 1904년 관측 이래 가장 강수량이 적었다. 6월에 들어서도 건조한 날이 지속되었으며, 6월 17일 이후에 전국적으로 비가 내릴 때까지 지속되었다.

가뭄은 홍수나 태풍을 비롯한 다른 자연재해와는 달리 서서히 시작되어서 이에 대한 대비가 매우 어렵다. 또한 가뭄에 의한 피해는 홍수나 태풍과는 달리 심각한 인명피해나 시설물의 파괴 등을 눈으로 볼 수 없기 때문에 정량적으로 피해액을 산정하는 것도 매우 어렵다. 홍수나 태풍은 피해형태가 충격적이기 때문에 피해 저감에 대한 대응대책 수립에 많은 관심을 보이는 반면, 가뭄에 의한 피해는 서서히 시작되어 광범위한 지역에 영향을 미치므로, 이에 대한 대응책 수립은 매우 미흡한 실정이다.

### 2. 2001년 봄철 가뭄에 대한 기상학적 고찰

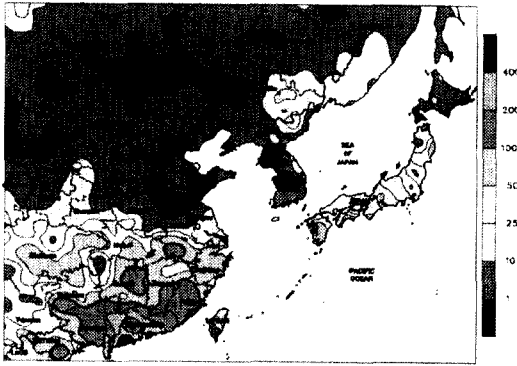


그림 1. 2001년 봄철 평년대비 강수량 (NOAA 분석자료).

2001년 3월부터 5월까지 서울에 내린 강수량은 46.9mm로 평년에 비하여 20%밖에 되지 않는다. 1965년은 서울의 봄철 강수량이 38.8mm로 올해보다 강수량이 적었으며, 봄철 강수량이 100mm 이하인 해는 모두 6회(1910, 1917, 1950, 1965, 1978, 1984) 발생하였다. 참고로 서울의 봄철 강수량 평균은 225 mm이며, 가장 비가 많았던 해인 1969년에는 강수량이 약 500mm를 기록하였다.

변영화(2001)는 근대 기상관측사상 가장 심했던 2001년 봄가뭄의 원인을 중국에서 발달한 이동성 고기압의 영향이라고 분석하였다. 2000/01년 겨울에 중국 내륙지방은 극심한 가뭄이 지속되었으며, 동시에 고온현상이 지속되었다. 또한 이러한 가뭄은 우리나라에 국한된 것이 아니라 중국이나 일본에도 발생하였다. 그림 1은 미국 해양기상청(NOAA)에서 분석

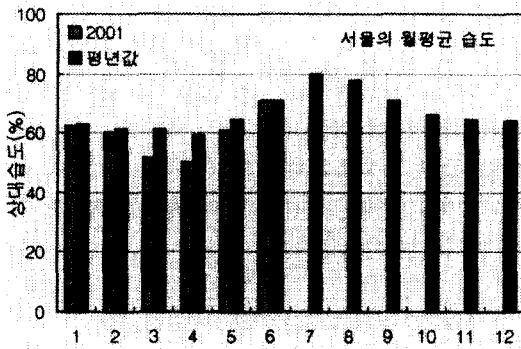


그림 2. 2001년 서울의 상대습도

한 동아시아 지역의 3-5월 강수량의 평년대비 분포도이다. 우리나라를 포함하여 중국이나 일본의 북부에서는 가뭄이 심하나, 남쪽으로는 습한 경향을 볼 수 있다.

우리나라는 평균적으로 봄에는 중국에서 발생한 저기압이 지나가면서 비가 내린다. 그러나, 금년에는 중국 내륙에서 고기압이 강하게 발달하여 동아시아 지역 전반에 걸쳐 고온 건조한 양상을 보였다. 우리나라는 중국 내륙에서 다가오는 건조한 이동성 고기압의 영향을 받아 맑고 건조한(그림 2) 가운데 강수량이 매우 적었다. 또 이 고기압의 영향으로 남쪽이나 북쪽에서 저기압이 우리나라에 크게 영향을 미치지 못했다(그림 3). 이러한 현상이 일시적으로 나타난 것인지 또는 기후변화에 따라 우리나라 주변의 대기 순환에 변화가 나타나고 있는 것인지에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

Hong and Kalnay (2000)는 1998년 미국 남부지방에 발생한 극심한 가뭄의 원인을 전구수치모델을 이용하여 조사하였다. 그들은 1997/98년 겨울철 엘니뇨의 영향으로 미국 남부지방에 가뭄이 들었으며, 가뭄으로 인한 지역 규모의 물 부족이 가뭄을 악화시켜 여름동안 지속하였다. 그러나, 9월에 들어 계절변화에 따른 중관규모의 운동이 이러한 토지와 가뭄의 되먹임 현상을 억제시킴으로써 종료되었다고 분석하였다. 지난겨울에는 몽고를 포함한 중국의 북부에 가뭄이 심하고 황사현상이 유난히 심한 해이었다. 미국의 지구정책연구소(Earth Policy Institute)에서 5월

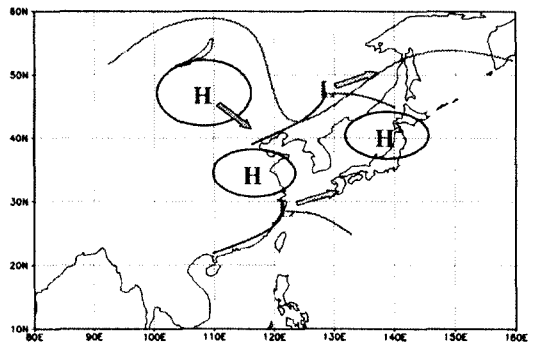


그림 3. 2001년 봄철 우리나라 주변의 기압계 동향 (기상청 분석자료, 변영화, 2000)

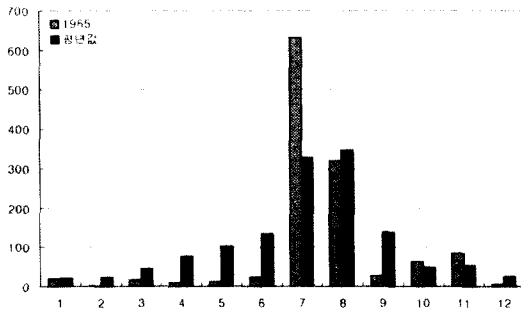


그림 4. 1965년 서울 강수량(mm)

23일자 발표한 보도내용에 따르면, 이러한 황사는 과도한 자연개발과 가뭄의 탓이라고 분석하였다. 또, 겨울철 중국의 가뭄이 우리나라의 봄철 가뭄에 영향을 미칠 수 있다고 사료된다. 2001년도 가뭄에 관한 보고로는 변영화(2001), 변희룡(2001), 이동률(2001) 등이 있다.

### 3. 관측자료에 의한 가뭄 사례

1965년 봄철은 서울에서 근대 기상관측(1907년)을 시작한 이래 가장 가물었던 해이다. 이때 신문보도(서울신문 1965년 6월 15일자)에 의하면, 3-5월 강수량이 가장 적었던 해라고 분석하고 있다. 1965년은 봄철에 서울을 포함한 중부지방의 가뭄이 심했으며, 금년과 비슷한 기상상황이었다. 이때에는 중국 양자강유역에서 발생하는 저기압들도 5월과 6월까지 일본 남쪽지방을 지나가 일본에는 비가 내렸으나, 우리나

라를 지나는 것이 없었다. 한반도는 북부지방에 위치한 세력이 큰 고기압권내에 계속 머무르고 있어 비가 적었다. 이것은 2001년 가뭄을 분석한 변영화(2001)도 가뭄의 원인이라고 지적한 바와 같다. 그러나 1965년 가뭄은 장마가 시작되면서 7월 강수량은 631.6 mm로 평년보다 300 mm 정도 많아서 봄철 가뭄이 해결되었다(그림 4).

연강수량은 1939년이 638 mm로 가장 적었는데, 특히 7월-10월까지 극심한 가뭄으로 서울에서는 물이 말라 식수를 시골에서 기차로 수송해서 먹을 정도였으며, 아시아적인 가뭄으로 국내의 사회가 불안하였고 기근이 막심하였다고 한다. 그림 5는 1908년부터 2000년까지 서울의 연강수량 시계열이다. 평년 강수량의 60%이하인 연강수량이 800 mm이하인 해는 1939, 1943, 1949, 1988이다. 대체로 1900년대 후반과 1940년대 전반, 1970년대 후반에는 서울에서 강수량이 지속적으로 적은 건조시기에 해당하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 가뭄인 해의 누적 강수량과 누적 평균강수량이고, 그림 7은 월평균 최고기온이다. 일년동안의 가뭄을 결정하는 요인은 여름철 강수량이라고 할 수 있다. 특이한 것은 여름철 강수량이 다른 해에 비하여 약간 많았던 1988년을 제외하고 가뭄인 해의 월평균 최고기온이 평년에 비하여 높다는 것이다. 이러한 특징은 가뭄해에는 토양수분이 낮아서 최고기온이 다른 해에 비하여 높게 올라간다는 것을 의미한다. 최고기온이 높아지면 그나마 토양 속에 있던 수분이 증발되

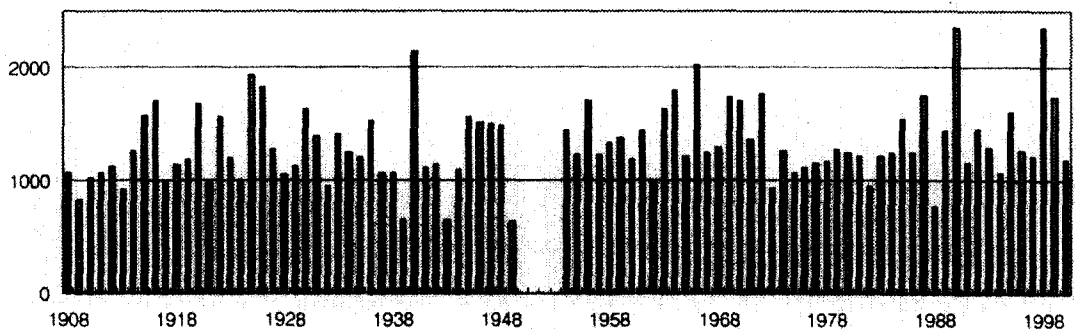


그림 5. 서울의 연강수량 시계열(1908-2000).

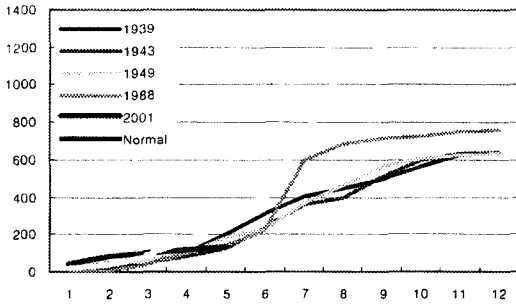


그림 6. 가뭄인(800 mm이하)해 누적강수량

므로 토양수분함량은 낮아지고, 그에 따라 최고기온도 올라가는 양의 되먹임 현상으로 최고기온이 지속적으로 높아지게 된다.

1994-95년에는 중부지방보다는 남부지방에 가뭄이 심각한 영향을 미쳤다. 부산의 연강수량의 변화를 보면, 1994년과 1995년 강수량이 1000 mm 정도로 2년 연속 가뭄이 발생하였다. 과거에 유사한 경우는 1943-1944년과 1966-1967년이다. 특히 1943-1944년은 2년 연속 연강수량이 1000 mm이하를 기록했다. 그러므로, 남부지방의 가뭄이 가장 극심했던 때는 1944년과 1995년이라고 할 수 있다. 이와 같이 가뭄이 지속되는 경우는 지표나 지하에 저장된 물이 고갈되어 심각한 피해가 발생한다.

#### 4. 고기후에 의한 가뭄에 관한 연구

관측자료가 없었던 시기에 대한 가뭄에 대한 연구는 연륜(나무의 나이테), 역사기록, 식생기록, 화분,

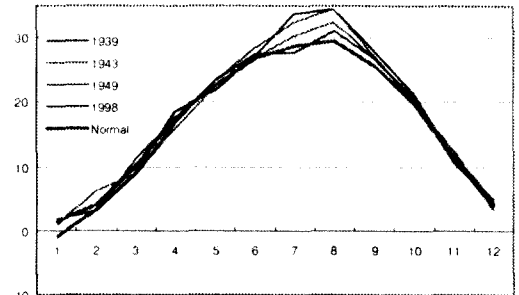


그림 7. 가뭄인 해의 월평균 최고기온(°C)

빙하시추 등으로 수행한다. 미국, 중국, 유럽 등지에서는 이러한 고기후에 관한 연구를 통해서 수만년이나 수천년 동안 발생한 가뭄, 홍수, 온난, 한냉 등 기후변화를 연구하고 있다. 특히 가뭄과 홍수에 관한 연구는 Cane and Molnar(2001), Hodell et al.(1991), Nigam et al.(1995), Thompson et al.(1985), Verschuren et al.(2000), Woodhouse and Overpeck(1998), Wright(2001), Yao(1942) 등이 있다. 고기후를 통해서 이러한 연구를 수행하는 것은 관측기록에 나타난 가뭄이나 홍수, 온난이나 한랭현상이 과연 어느 정도의 세기를 가지고 있는 것인지를 판단하는 데에도 도움이 된다. 특히 Woodhouse and Overpeck (1998)은 2000년간 연륜자료를 이용하여 미국의 가뭄을 연구하였다. 그들은 1930년대와 1980년대 가뭄은 수세기만에 나타난 가뭄이었으며, 과거에도 극심한 가뭄이 나타난 증거를 연륜자료로부터 복원할 수 있다고 보고하였다.

우리나라에서 가뭄 기록이 가장 많이 나타났던 시

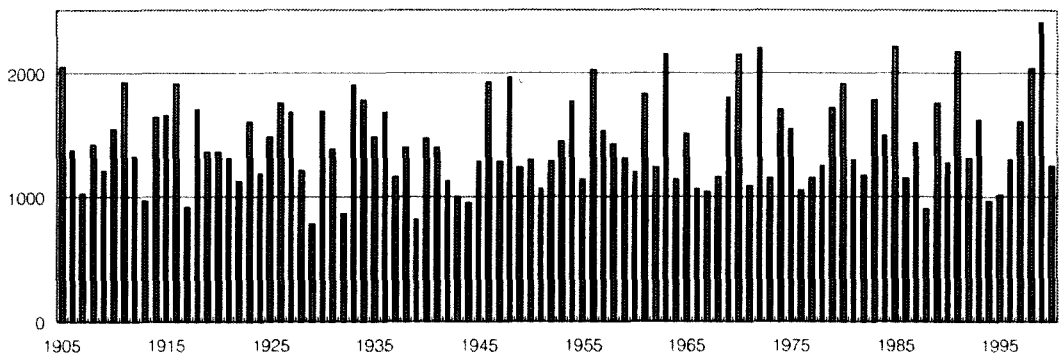


그림 8. 부산의 월강수량 시계열(1905-2000). 단위는 mm.

기는 조선의 초기에 해당하는 15세기 전반일 것이다 (박원규, 2001). 조선초기의 장기적인 가뭄은 아마도 1441년 측우기 발명의 요인이 되었을 것이다. 우리나라에서는 고려조에서 강수량을 토양이 젖은 깊이를 측정하여 강수량의 지표로 삼고 있었으나 토양의 성질이나 다른 조건에 따라 객관적인 근거를 제공하기가 힘들었다(김연옥, 1991). 그러므로 이 문제점을 개선하여 객관적인 강우량을 측정하기 위하여 측우기를 발명한 것으로 사료된다. 우리나라에서 가장 오래된 관측자료인 서울의 측우기 강수량 자료가 1777년 이후 복원되었다(정현숙 등, 1999; 정현숙 등, 2000). 복원된 강수량 자료에 따르면, 19세기말부터 20세기 초에 장기간에 걸쳐 가뭄이 나타났으며, 1770년에도 장기간에 걸친 가뭄의 시그널이 나타난다 (Jung et al., 2001).

## 5. 맺는 말

가뭄은 광범위한 지역에서 장기간에 걸쳐 나타나는 현상이다. 즉 시간적 공간적 규모가 호우에 비하여 매우 크다고 볼 수 있다. 그러므로 가뭄의 원인은 소규모의 현상에서 찾을 것이 아니라 대규모 현상에서 찾아야 한다. 엘니노와 남방진동이 계절에 따라 우리나라의 기후에 영향을 미치기는 하지만, 가뭄에 관한 영향은 뚜렷하지 않다. 그 이유는 우리나라가 지구상에서 가장 큰 대륙의 동안에 위치하고 있어서 남북간의 기온차이가 크고, 서쪽에 위치한 티베트고원의 영향을 받으므로, 한 가지 요인에 대한 시그널을 분리해 내는 것은 매우 어렵다. 또한, 같은 이유로 역학적 모델을 사용한 결과에서도 동아시아지역은 예측성이 가장 낮은 지역 중의 하나이다. 그러므로, 가뭄의 피해에 대응하기 위해서 가뭄감시와 가뭄예측기술을 지속적으로 개발하여야 할 것이다. 이것은 이미 건설교통부(1995) 가뭄기록조사보고서에서 가뭄예방을 위한 대책방안의 하나로 지적한 바와 같다.

가뭄의 예측은 장기예보(또는 단기기후예측이라고 함)의 한 부분이다. 장기예보는 주로 일개월 이상의 기간에 대한 예보를 말하는데, 현재 기상청에서는 일

개월예보와 계절예보를 생산하여 서비스하고 있다. 장기예보에 사용되는 방법은 전지구 수치모델을 사용하는 역학적 예보와 통계방법을 이용한 예보가 있다. 역학적 예보는 대기의 상태를 지배하는 방정식을 적분하여 구하는데 영역은 전지구를 대상으로 하며, 기온, 바람, 습도, 기압, 강수량 등 기본 변수를 비롯하여 대기의 상태를 예측한다. 현재는 수개월을 예측하고 있으나 향후 예측기간을 연장할 계획이다. 그러므로, 컴퓨터와 전구모델의 성능이 가장 중요하다. 보다 정확한 예보를 하기 위해서 대기뿐만 아니라, 해양과 지표의 상태를 정확하게 예측하는 것이 필수적이다 (홍성유, 2001). 대기 순환은 열대 해양의 상태에 크게 영향을 받으며, 토양의 상태도 중요한 변동 원인이다. 그러나, 아직까지 대기-해양-지표 결합모델은 연구단계에 있다. 장기예보가 발달한 미국에서는 결합모델이 개발되어 실용화 단계에 이르고 있으나, 우리나라는 아직 모델을 개발하는 단계이다.

역학적 방법 이외에도 통계방법들이 장기예보에 활용되고 있다. 다중회귀모델, 정준상관분석법, 신경망 모델, 유사법, 주기법 등 다양한 모델이 개발되고 있다. 장기예보에서 다양한 모델을 사용하는 이유는 각 모델의 특성에 따라, 예측정확도가 다르기 때문이다. 어떤 모델은 겨울철 예보에 좋은 결과를 제공하기는 하나, 다른 계절에 대해서는 바람직한 결과를 산출하지 못하며, 다른 모델은 봄이나 혹은 여름에 좋은 결과를 산출하는 경향이 있다. 그러므로 다양한 모델을 개발하고 각 모델의 예측정확도를 기준으로 장기예보에 활용한다.

가뭄에 관한 예측방법으로 가뭄의 주기를 이용하는 방법이 있다. Byun and Wilheight (1999)은 6년 주기가 나타나고 있다고 보고하였으며, 태양 흑점수의 변동 주기와 관련된 77년 주기(Gleissberg cycle)과 11년 주기 또는 18-19년 주기가 보고되었다(Nigam, 1995; Currie and Fairbridge, 1985). 그러나, 가뭄 주기에 관한 결과는 보다 자세히 연구될 필요가 있다. 예를 들어 서울이나 부산의 연강수량 자료에서는 가뭄 주기는 찾기가 어렵다. 이용희(personal communication)는 표준강수지수(SPI)를 파엽분석

한 결과 5-6년 주기와 20년 주기 등이 나타나지만, 시간에 따라 세기나 주기가 변하는 것으로 보고하였다. 그러므로 가뭄을 예측하기 위해서는 역학적 방법의

지속적인 개선과 함께, 이론적, 통계적 연구가 계속되어야 할 것이다. ●

〈참고 문헌〉

AMS (American Meteorological Society), Glossary of Meteorology, 2nd ed., pp.855, 2000.

Byun, H.-R., Wilhite, D.A., Objective quantification of drought severity and duration, *J. Climate*, 12, pp.2747-2755, 1999.

Cane, M.A. and Molnar, P., Closing of the Indonesian seaway as a precursor to east African aridification around 3-4 million years ago, *Nature*, 411, pp.157-162, 2001.

Currie, R.G., and Fairbridge, R.W., Periodic 18.6-year and cyclic 11-year induced drought and flood in northeastern China and some global implications. *Quaternary Science Rev.*, 4, pp.109-134, 1985.

Hodell, D.A., Curtis, J.H., Jones, G.A., Higuera-Gundy, A., Brenners, M., Binford, M.W., and Dorsey, K.T., Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10500 years, *Nature*, 352, pp.790-793, 1991.

Hong, S.-Y., and Kalnay, E., Role of sea surface temperature and soil-moisture feedback in the 1998 Oklahoma-Texas drought, *Nature*, 408, pp.842-844, 2000.

Jung, H.-S., Lim, K.-H., and Oh, J.-H., Interpretation of transient variations in the time series of precipitation amounts in Seoul, Korea. Part I: Diurnal variation, *J. Climate*, 14, pp.2989-3004, 2001.

Nigam, R., Khare, N., and Nair, R.R., Foraminifera evidence for 77-year cycles of drought in India and its possible modulation by the Gleissberg solar cycle, *J. Coastal Res.*, 11, pp.1099-1107, 1995.

Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Bolzan, J.F., and Koci, B.R., A 1500-year record of tropical precipitation in ice-cores from Quelccaya Ice Cap, Peru, *Science*, 229, pp.971-973, 1985.

Verschuren, D., Laird, K., and Cumming, B.F., Rainfall and drought in equatorial east Africa during the past 1100 years, *Nature*, 403, pp.410-414, 2000.

Woodhouse, C.A. and Overpeck, J.T., 2000 years of drought variability in the central United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, pp.2693-2714, 1998.

Wright, J.D., The Indonesian valve, *Nature*, 411, pp.142-143, 2001.

Yao, Shan-Yu, The chronological and seasonal distribution of floods and droughts in Chinese history. *Havard J. Asiatic Studies*, 6, pp.273-312, 1942.

건설교통부 (1995. 12). 가뭄기록조사보고서. pp.VII-204-230.

김연옥, 기후학개론, 정익사, pp.541, 1991.

박원규, 연륜연대기와 역사기록을 이용한 과거 400년간의 동아시아 몬순기후에 관한 한중 비교연구. 한국과학재단 연구보고서, pp.241, 2001.

변영화, 새천년에 찾아온 98년만의 기록적 가뭄, 기상소식, 2001(7), pp.10-11, 2001.

변희룡, 가뭄과 조기경보, 방재연구, 3, pp.33-40, 2001.

이동률, 우리나라의 가뭄현상과 문제점, 방재연구, 3, pp.3-12, 2001.

정현숙, 박정수, 임규호, 오재호, 측우기 자료를 포함한 서울 강수량 시계열에 대한 추세분석 및 파엽분석, 응용통계연구, 13, pp.525-540, 2000

정현숙, 임규호, 오재호, 서울 지역 강수량의 시계열에 나타난 시간 변동성 해석, 한국기상학회지, 35, pp.354-371, 1999.

홍성유, 세기적 대가뭄: 그 원인 규명과 예측 가능성에 대하여, 기상소식, 2001(7), pp.7-9, 2001.