

# Tree-Ring 으로 재생성된 유출량자료를 이용한 가뭄감시

## Drought Monitoring Using Tree-Ring Reconstructed Flows

○황 석 환\* · 김 형 수\*\* · 원 석 연\*\*\* · 김 중 훈\*\*\*\*

### 1. 서 론

본 연구에서는 캘리포니아 세크라멘토강 유역의 가뭄감시를 실시하였다. 실측기록이 존재하지 않는 20 세기 이전의 가뭄은 다른 지표(proxy) 기록을 이용하여 추정되어야만 한다. 총 496년(1485-1980)간의 자료가 사용되었으며, 1872년 이전의 유출량 자료는 캘리포니아와 오레곤의 tree-ring 자료를 이용하여 신경망 기법으로 재생성 하였다(김 등 1998). 더불어 기존의 Earle 과 Fritts (1986) 에 의해 재생성된 자료와 다중선형회귀모형(Shen and Tabios III 1995) 으로 재생성된 유출량 자료를 이용한 가뭄감시 결과와 비교하여 보았다. 가뭄에 영향을 미칠 수 있는 다방면의 수문학적 고찰을 통하여 가뭄지표로서의 tree-ring 자료의 물리적 근거와 한계를 제시하였다. 그리고 가뭄감시에 있어 수문기상학적으로 유출량의 재생성이 갖는 의의를 고찰하여 보았다. 1485-1980 년간의 Run 분석(Salas 등 1980) 을 통하여 가장 장기간의 가뭄은 1920 년 말에서 1930 년대에 있었으며 신경망 모형으로 재생성된 유출량 자료를 통하여 1872 년 이전인 1665-1667 년에 가장 격심한 가뭄이 있었음을 알 수 있었다.

### 2. 실측자료와 재구성된 연 유출량자료

가뭄감시를 위해서 본 연구에서 사용된 자료는 세크라멘토 강 의 연 유출량이다. 이 자료는 Red Bluff 근처의 Bend Ridge 상류의 세크라멘토강, Oroville 저수지로 유입되는 Feather 강, Smartville 에 있는 Yuba 강 그리고 Fair Oaks 에 있고 Folsom 저수지로 유입되는 American 강 의 총 4 개강의 유출량의 합으로 계산되었다. 철저한 가뭄분석을 위해선 Frick 등(1990)의 연구에서와 같이 수개의 유출량 세트의 재생성이 필요하지만 본 연구에서는 단지 한 개 세트가 재생성 되었다(김 등 1998). 이런 접근 방식은 다른 몇몇 자료의 재생성과 관련된 연구에서는 지극히 표준적이지 못하다. 확실히, 다수의 재생성 자료가 사용된 경우와 단지 한 개의 재생성 자료계열에 기반 해 얻어진 결과가 같을 것이라고 확인할 수 없지만 본 연구는 tree-ring 자료로부터의 재생성에 의해 연장된 유출량자료에 관련된 가뭄감시에 주요 초점을 맞추고 있다.

기간은 1485 년에서 1980 년까지 총 496 년의 연유출량 자료가 사용되었다. 1872 년부터 1980 년까지의 자료는 실측자료이고 실측자료 중 1872 년에서 1905 년까지의 자료는 일관성이 없는 자료가 일부 섞여 있는 것으로 알려져 있다(Earle and Fritts 1986). 그리고 1485 년에서 1871 년까지의 유출량자료는 오레곤과 캘리포니아 지역에서 선택된 5 개 지역으로부터 얻어진 tree-ring 자료를 사용하여 재생성 하였다. 16 개 지역에 총 17 개의 tree-ring 집합이 존재하고, 실측유출량 자료와 각각의 tree-ring 자료간의 교차상관(cross-correlation)분석에 의하여 5 개 지역으로부터 tree-ring 자료가 자료 재생성에 선택 사용되었다. 다섯개 tree-ring 자료는 다음 지역으로부터 실측 되었다 : (1) Frederick Butte, Oregon ; (2) Dalton Reservoir, California ; (3) Antelope Lake (PIJE), California ; (4) Antelope Lake (PIPO), California ; and (5) Lemon Canyon, California. 편의상 구분을 용이하게 하기 위해서 각각을 다음과 같이 이름 지었다. : FREDER, DALTON, ANTEL-PIJE, ANTEL-PIPO, 그리고 LEMON 로 나타내었다.

### 3. 가뭄의 측정방법과 지표

가뭄은 시간과 공간차원을 동시에 가지고 있기 때문에 측정이 매우 힘들다. 결국은 이 둘의 범위가 가뭄의 심도를 결정하게 된다. 혹독한 가뭄이란 비교적 단기간 동안 넓은 지역에 발생한 경우를 가리킬 수도 있고 한 지역의 농업을 황폐화 시킬 만큼 수년동안 좁은지역에 발생하는 경우를 의미할 수도 있다. 가뭄은 사람에 따라 그리고 관심분야에 따라서도 다른 의미를 가지고 있다. 수문학자에게 있어서 가뭄은 “연속된 일정

\* 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

\*\* 선문대학교 건설공학부 전임강사

\*\*\* 부산 Engineering (주) 수자원 설계팀 이사

\*\*\*\* 고려대학교 토목환경공학과 부교수

기간 이상의 저수지와 하천의 임계수위 이하" 로 정의된다. 임계수위는 특정하천의 평균 용수요구 수위를 나타내며, 일반적으로 요구수위는 자료의 장기평균 근처에서 결정된다. 장기평균을 사용하는 논리적 근거는 하천유역에서 기대되는 요구수위가 보통 하천유역이 감당할 수 있는 평균유출량과 비슷하기 때문이다 (Shen and Tabios III 1995). 보편적으로, 그리고 본 연구에서 사용된 가뭄은 각 시계열이 평균치보다 2 할 이상 부족한 값(요구수위 이하)을 가지는 경우, 즉 연평균 유출량의 80%이하로 정의하였다 (Meko 등 1995). 가뭄을 정의하기 위해서 다음과 같은 몇 가지 가뭄지표와 측정치들이 정의되어야 한다 ; 지속기간 (duration), 누적부족량 (cumulative deficit), 그리고 연평균부족량 (average annual shortage) (Frick 등 1990).

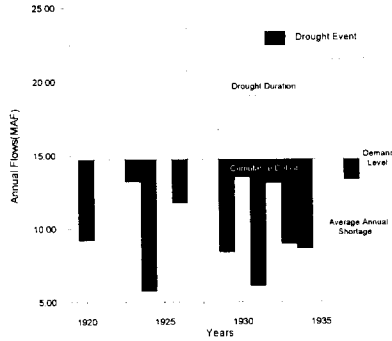


그림 1. 가뭄지표(Drought Duration, Cumulative Deficit, and Average Annual Shortage)

이 세가지 가뭄 지표들을 Run 분석 (Yevjevich 1967; Salas 등 1980) 에서는 negative run-length, negative run-sum, 그리고 negative run-intensity 로 설명하고 있다. run-intensity 는 run-sum 과 run-length 의 비로 나타낸다. 지속기간 (duration)은 연속되는 일정기간 동안 요구수위이하 (평균치보다 2 할 이상 부족한) 값을 갖는 수를 나타내며 누적부족량은 지속기간 동안의 2 할 이하 값들의 부족량의 합을 말한다. 그리고 연평균 부족량은 앞에서 언급했듯이 누적부족량과 지속기간의 비로 나타내며 가뭄지속기간 동안 가뭄의 심도를 나타낸다 (그림 1).

#### 4. Tree-ring 자료와 재생성된 유출량을 이용한 가뭄감시

Meko 등(1993)은 미국 남서부 지방의 경우에 있어 서로 다른 두 지역의 나무의 성장은 주요 저생장(low-growth) 변이의 시기에는 서로 거의 일치하지 않음을 보인바 있다. 캘리포니아와 오레곤 지역의 나무성장과 세 종류의 수문학적 재생성 시계열에 대한 수년동안의 습윤조건의 평균치에 의해 추정된 가장 격심한 가뭄의 최저 5년, 최저 10년, 그리고 최저 20년 평균이 표 1 에 나타나 있다.

표 1. 세크라멘토강 유역의 5 개 Tree-ring 계열별 5년, 10년, 20년 최저값을 보이는 기간

계열	기간	최저평균기간		
		5년	10년	20년
FREDER	1485-1980	1930~1934	1928~1937	1918~1937
DALTON	1485-1980	1931~1935	1930~1939	1922~1941
ANTELPI	1485-1980	1579~1583	1775~1784	1769~1788
ANTELPP	1485-1980	1576~1580	1776~1785	1620~1639
LEMON	1485-1980	1933~1937	1493~1502	1920~1939

각 지역별 tree-ring 계열의 20년 연속최저평균을 비교해 보면 FREDER, DALTON, LEMON 의 초점은 1920년대에서 1930년대에 중심을 두고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 ANTELPI 나 ANTELPP 는 위 세 지역과는 다른 1700년 후반과 1600년 초반에 중심을 두고 있다는 것을 알 수 있다. 위 두 지역은 DALTON 과 LEMON 지역과 그리 많이 떨어져 있지 않다. 이런 불일치는 기후와 유역의 차이로 설명될 수 있을 것으로 사려 된다. 예를 들자면 아리조나의 Gila 강과 Salt 강은 100km 도 안 되는 거리를 두고 있지만 Gila 강 유역의 경우 유역의 강우가 지나치게 하절기에 집중되는 경향을 보이지만 그와는 다르게 Salt 강 유역의 경우는 지형적 특이성에 의해 강우보다는 강설에 커다란 영향을 받는 것과 같은 이치인 것이다(Meko 등 1995). 표 1 의 tree-ring 자료계열을 종합해 볼 때 tree-ring 자료 자체만으로 1485년 이후 캘리포니아 지방의 전유역에 적용할 수 있는 뚜렷한 가뭄시기를 결정하기가 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 이 다섯 지역의 tree-ring 자료를 사용하여 유출량을 재생성 연장하여 최저평균을 구해본 결과가 표 2 에 도시되어 있다.

표 2. Tree-ring 에 의해 재생성된 5년, 10년, 20년 최저 유출량을 보이는 기간

계열	기간	최저평균기간		
		5년	10년	20년
EF	1560-1980	1929-1933	1928-1937	1918-1937
MLR	1485-1980	1929-1933	1928-1937	1918-1937
NN	1485-1980	1929-1933	1928-1937	1918-1937

NN 은 본 연구에서 신경망(Neural Network)모형을 사용하여 재생성한 유출량계열에 대한 5년, 10년, 20년 최저평균을 기록한 기간이며, 참고로 EF는 같은 유역에 대한 Earle 과 Fritts(1986)에 의해 재생성된 유출량 자료에 대한 결과치 이고 MLR은 다중선형회귀(Multiple Linear Regression)모형(Shen and Tabios III 1995)에 의해 재생성된 값에 대한 결과치이다. 1485-1980년에 걸친 캘리포니아 세크라멘토강 유역의 공간적 가뭄의 양상을 종합하기 위해 Run 분석(Salas 등 1980)을 수행하였다.

5. 신경망으로 재생성된 세크라멘토강 유역의 유출량을 이용한 가뭄감시

세크라멘토강 유역의 유출은 캘리포니아 전지역 연 유출량의 1/4 정도를 차지하고 있고 샌프란시스코만과 삼각주 유역에 70%정도의 용수를 공급하고 있으며 캘리포니아 지역 주민의 식수중 약 2/3 정도를 담당하고 있다. 특히 이 지역은 상업적인 경제활동 이외에도 생태계를 유지시키며 산업, 농업, 오락, 그리고 관광에 이르기 까지 많은 부분에서 이 지역주민들의 삶의 근간을 이루고 있다.

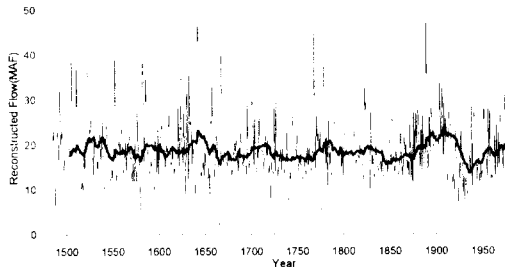


그림 2. 캘리포니아 세크라멘토강의 재생성된 연 유출량과 20년 이동평균

그림 2의 시계열과 표 3을 분석해 볼 때 가장 장기간의 가뭄은 1920년 말에서 1930년대에 있었음을 알 수 있다. 그림 2의 20년 이동평균을 볼 때 1930년대를 중심으로 상당히 낮은 값을 보이고 있는 것을 볼 수 있다.

즉 20년 이동평균 중 가장 낮은 값을 보이는 기간은 표 3의 20년 평균값에 나타나 있듯이 1918년에서 1937년 사이이며 이때의 평균은 13.45 maf 값을 보이고 있다. 이 값은 전체 평균 18.40 maf에 비하면 상당히 작은 값이라는 것을 알 수 있다. 그리고 1930년대의 가뭄은 Earle 과 Fritts(1986) 그리고 Meko 등(1995)을 비롯한 많은 사람들에 의해 연구 보고되어 일반화 되어 있다.

표 3. 세크라멘토강의 신경망에 의해 재생성된 최저 N년 평균유출량

순위	5년		10년		20년	
	기간	유출량(maf)	기간	유출량(maf)	기간	유출량(maf)
1	1929-1933	10.01	1928-1937	12.27	1918-1937	13.45
2	1930-1934	10.06	1924-1933	12.42	1917-1936	13.64
3	1663-1667	10.41	1925-1934	12.71	1916-1935	13.98
4	1931-1935	10.67	1926-1935	12.76	1920-1939	14.21
5	1928-1932	11.58	1923-1932	12.84	1915-1934	14.35
6	1740-1744	11.93	1927-1936	13.32	1919-1938	14.49
7	1651-1655	12.06	1922-1931	13.33	1921-1940	14.87
8	1591-1595	12.41	1646-1655	13.42	1922-1941	15.04
9	1516-1520	12.70	1930-1939	13.76	1914-1933	15.30
10	1514-1518	12.72	1929-1938	13.78	1923-1942	15.40

그러나 가뭄은 수많은 특성을 가지고 있고 이 모든 특성들이 단지 한가지 분석방법으로 정량화 되지는

않기 때문에 가장 극심한 가뭄을 선별해 내기 위한 시도는 부득이 다소 주관적이지 않을 수 없다. 5년, 10년, 20년 평균치 분석이 아닌 Run 분석의 결과를 보면 세크라멘토강 유역의 가장 심각했던 지속가뭄을 명백히 정의하기란 쉽지 않음을 알 수 있다. 표 4에서 보듯이 Run 분석에 의해 가장 오랜 기간동안 지속된 가뭄은 1929년에서 1934년 사이의 6년간 지속된 가뭄이다. 그러나 누적 부족량은 표 5에서 보듯이 1665-1667년 사이의 3년 간이 가장 크다. 만약 한해만 놓고 본다면 연평균 부족량은 1580년이 가장 큰 값을 보이고 있다. 게다가 가뭄은 임계 수준에 매우 민감하다. 만약 임계수준이 평균의 2할 이하로 내려간다면 약간 다른 양상을 보여줄 것이다. Earle 과 Fritts(1986)는 세크라멘토강의 tree-ring 재생성 연구로부터 시기 1560년 이후 1930년대가 가장 심각했던 저 유출량 (low-flow) 기간이었음을 밝힌 바 있다. 신경망 모형에 의한 재생성자료의 Run 분석결과 1930년대에 가장 오랜기간의 가뭄을 보여주긴 했지만 가뭄의 심도 면에서는 1665-1667년 사이의 3년간이 더욱 혹독 했음을 알 수 있다(표 5, 표 6). 더욱이 표 6에서 보듯이 1650s-1660s 사이의 기간이 두 번이나 보이므로 격심한 가뭄기간 이었던 것으로 추정된다. Meko 등 (1995)의 tree-ring 을 이용한 가뭄 감시결과 이시기가 미서부 지방의 가뭄기간이었음이 보고된 바 있다. 1580년의 경우 연평균 누적 부족량에 선 가장 큰 값을 보이지만 지속시간이 1년이고 다소 다른 가뭄사상과 고립되어 있으므로 전체적인 가뭄의 심도측면에서 볼 때 가장 극심했던 가뭄은 아니라고 판단된다. 하지만 이 시기에 아리조나 Lees Ferry 의 콜로라도강 유역에서도 가뭄이 있었음이 Meko 등 (1995)에 의해 확인된 바 있다. Earle 과 Fritts 의 결과와 본 연구의 결과가 비교적 일치하지만 약간의 차이를 보이는 것은 Earle 과 Fritts 에 의한 1827년 이전의 유출량의 재생성이 실측치에 비해 비교적 축소 예측된 경향이 있고 그에 따라 1827년 이전의 가뭄현상이 1827년 이후의 가뭄에 비해 비교적 축소되는 경향을 보였을 것으로 판단되고, 앞서 언급했듯이 가뭄으로 판단하는 임계수준의 차이도 있을 것으로 본다.

표 4. Run 분석에 의한 신경망 모형으로 재생성된 세크라멘토강 유역의 지속기간 순위

NN				
순위	기간	Run Sum	Intensity	Duration
1	1929-1934	-29.83	-4.97	6
2	1616-1620	- 8.47	-1.69	5
3	1499-1502	- 7.99	-2.00	4
3	1545-1548	- 5.88	-1.47	4
3	1740-1743	-19.29	-4.82	4

표 5. Run 분석에 의한 신경망 모형으로 재생성된 세크라멘토강 유역의 누적부족량 순위

NN			
순위	기간	Duration	Run Sum
1	1665-1667	3	-31.25
2	1929-1934	6	-29.83
3	1776-1778	3	-21.20
4	1740-1743	4	-19.29
5	1976-1977	2	-16.30

표 6. Run 분석에 의한 신경망 모형으로 재생성된 세크라멘토강 유역의 평균누적부족량 순위

NN			
순위	기간	Duration	Intensity
1	1580-1580	1	-12.50
2	1665-1667	3	-10.42
3	1655-1655	1	- 9.48
4	1721-1721	1	- 8.89
5	1976-1977	2	- 8.15

“California water supply outlook” (1990)에 의하면 세크라멘토강 유역에 1929-1934 기간(표 4, 표 5)과 1976-1977 기간(표 5, 표 6)에 가뭄이 있었음을 확인할 수 있다. 이 두 시기는 실측이 시작된 이후 가장 혹심했던 가뭄기간의 하나로 간주되고 있으며, 몇몇 수자원 관계기관과 용역회사에서 1929-1934 기간은 실측이후 캘리포니아 지역에서 가장 심각했던 가뭄시기로 사용되고 있다. 그리고 한편으로 1976-1977 기간은 신뢰할만한 용수공급과 수력발전 용량연구의 토대로 쓰이고 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 세크라멘토 4 개강의 연유출량 지표자료를 사용하여 가뭄감시를 실시 하였다. 세크라멘토 강 지표자료는 북부 캘리포니아 지역의 용수공급 척도로 널리 사용되고 있다. 특히, 이것은 한해가 극심

(critical), 보통(normal), 또는 습윤(wet)인지를 판단하는 지표로 사용되고 있다("Water right decision 1495" 1978).

캘리포니아 지역에 있어 항상 문제시 되고 있는 것은 신뢰할 만한 수력발전용량과 용수공급을 추정하기 위해서 1929-1934 가뭄기간과 1976-1977 가뭄기간이 사용되어야 하느냐 하는 것이다. 본 연구의 결과 1929-1934 기간은 가장 긴 지속기간을 기록하고 있으며 두 번째로 큰 누적부족량을 보이고 있어 용수 공급측면에서 볼 때 매우 중요한 시기로 간주된다. 그리고 1976-1977 기간 또한 누적부족량과 평균누적부족량의 값을 볼 때 짧은 기간동안 심한 물 부족을 나타내고 있으므로 믿을 만한 수력발전용량의 추정을 위해 매우 중요한 시기임을 알 수 있다. 하지만 이 두 기간은 실측기간(1872년 이후)에만 해당하는 값들이고 그 이전의 값들에 대한 고려가 비교적 소홀한 감이 없지 않다. 지금까지의 가뭄에 대한 연구의 결과들이 주로 이런 상황을 보이는 것은 유출량의 재생성이 고려되지 않았거나 고려되었다 하더라도 비교적 축소 연장되었던 결과라 판단된다. 그래서 본 연구에서는 신경망 모형을 적용하여 5개 tree-ring 지표자료를 사용하여 캘리포니아지역 세크라멘토강의 1872년 이전의 유출량을 재생성해 보았고(김 등 1998) 그 결과 지금까지의 연구와는 달리 실측유출량 자료로부터의 가뭄 특성과 재생성된 자료와 복합된 자료로부터의 가뭄특성을 비교한 결과, 실측이 시작된 1872년 이전에 좀더 극심한 가뭄이 있었음을 알 수 있었다. 그래서 본 연구는, 수자원 시스템의 계획과 구상을 위한 목적으로 한 가뭄연구에 있어 단지 단기간의 실측자료에만 의존하는 위험이 존재함을 보여주고 있다. 신경망모형으로 재생성된 유출량자료의 Run 분석결과 1929-1934년의 6년 동안이 지속기간이 가장 길었지만 가뭄의 심도면에서 볼 때, 즉 누적부족량과 연평균누적부족량의 면에서 볼 때 1665-1667년 사이의 3년간이 가장 혹독했던 가뭄기간이었음이 밝혀졌다. 그리고 1650s-1660s 기간에 혹심한 가뭄이 있었던 것으로 추정된다. 따라서 캘리포니아 지역의 수력발전용량과 용수공급 추정에 있어 기존의 기준치에 수정 또는 보완이 필요하다고 판단되며 전반적으로 심도 있는 실측이전의 가뭄사상에 대한 연구가 병행되어야 한다고 보여진다. 기간면에서 볼 때, 5개 tree-ring 계열과 재생성된 유출량의 5년, 10년, 20년 값의 비교를 통해 중, 단기간의 가뭄(5년, 10년)은 시기적으로 비교적 일치하고 있지 않다는 것을 알 수 있었다. 반면 tree-ring 자료만으로 가뭄을 판단하는 것은 상당한 위험이 따른다는 것이다. 그러나 장기간의 가뭄(20년)은 전체적으로 1930년대에 중점을 두고 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 신경망모형에 의한 캘리포니아 세크라멘토강의 유출량의 재생성 과정을 통해 기존의 연구에서 간과되었던 실측이전 자료 재생성의 중요성을 언급하였다. Earle 과 Fritts(1986) 등에 의한 기존의 자료의 재생성이 축소연장 되어 실제로 재생성된 자료가 전체적인 가뭄감시에 있어 별로 효과가 없었음을 지적하였다. 지금까지의 결과로부터 정확한 자료의 재생성이 가뭄감시에 있어 얼마나 중요한 판단기준이 되는지, 바꾸어 말하면 축소 예측된 재생성자료가 갖는 판단오류의 위험이 얼마나 큰지 명백히 알 수 있다.

## 6. 참고 문헌

1. 김형수, 황석환, 김중훈 (1998). "TREE-RING 자료와 신경망 기법을 이용한 하천유출량의 재생성", 대한토목학회논문집, 제 18 권, 제 II-6 호, pp. 583-589.
2. Cleaveland, M. K., and Stable, D. W. (1989). "Tree ring analysis of surplus and deficit runoff in the White River", Arkansas, Water Resour. Research, 25(6), pp.1391-1401.
3. Diaz, H. F., Holle, R. L., and Thorn, J. W. (1985). "Precipitation trends and water consumption related to population in the southwestern United States", J. Climate Appl. Meteor., 24, pp.145-153.
4. Dracup, J. A., and Kendall, D. R. (1991). "Risk and reliability in predicting droughts : the use of prehistorical tree-ring data", Water resources engineering risk assessment : Vol. G29, J. Ganoulis, ed., Springer-Verlag, Berlin, Germany.
5. Earle, C. J., and Fritts, H. C. (1986). "Reconstructing riverflow in the Sacramento basin since 1560", Rep. To the California Dept. of Water Resour., Lab. of Tree-Ring Res., Univ. of Arizona, Tucson, Ariz.
6. Frick, D. M., Bode, D., and Salas, J. D. (1990). "Effect of drought on urban water supplies, I. Drought analysis", J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol.116, No.6, 733-753.
7. Fritts, H. C. (1976). "Tree-Rings and Climate", Academic, San Diego, California.
8. Fritts, H. C., Blasing, T. J., Hayden, B. P., and Kuthbach, J. E. (1971). "Multivariate techniques for specifying tree growth and climatic relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate", J. Appl. Meteor., 10, pp.845-864.
9. Loaiciga, H. A., Michaelson, A. J., Haston, L., Garver, S. And Leipnik, R. B. (1992). "Droughts in river basins of the western United States", Geophys. Res. Lett., 19(20), pp.2051-2054.
10. Meko, D. M., Cook, E. R., Stahle, D. W., Stockton, C. W., and Hughes, M. K. (1993). "Spatial Patterns of Tree-Growth Anomalies in the United States and Southeastern Canada", J. of Climate., Vol.6, No.9, pp.1773-1786.
11. Meko, D. M., and Graybill, D. A. (1995). "Tree-Ring Reconstruction of Upper Gila River Discharge", Water Resour. Bulletin., Vol.31, No.4, pp.605-616.
12. Meko, D. M., Stockton, C. W., and Boggess, W. R. (1995). "The tree-ring record of severe sustained drought", J. of Water Resour. Bulletin., AWRA, Vol.31, No.5, pp.789-801.
13. Palmer, W. C. (1965). "Meteorological Drought", U. S. Weather Bureau Research Paper 45, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., p.58.
14. Rep., California Dept. of Water Resour (1990). "California water supply outlook", Div. of Flood Mgmt., Sacramento, Calif., (September 11).

15. Salas, J. D., Dellur, J. W., Yevjevich, V., and Lane, W. L. (1980). "Applied Modeling of Hydrologic Time Series". Water Resour. Publications., Littleton, Colorado.
16. Sastri, A. S. R. A. S., Rama Krishna, Y. S., and Ramana Rao, B. V. (1982). "Droughts in Western Rajasthan". Divisional Technical Report 1-82, Division of Wind Power and Solar Energy Utilization, Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur-342 003.
17. Shen, H. W., and Tabios III, G. Q. (1995). "Drought Analysis with reservoirs using tree-ring reconstructed flows". J. of Hydr. Engrg., ASCE, Vol.121, No.5, pp.413-421.
18. Stockton, C. W. (1976). "Long-term streamflow reconstruction in the upper Colorado River basin using tree rings", in Colorado River Basin Modeling Studies, edited by Clyde, C. G., Falkenberg, D. H., and Riley, J. P., pp.410-441, Utah water Res. Lab., Utah State Univ., Logan.
19. "Water right decision 1485". (1978). State Water Resour. Control Board, State of California. Sacramento, Calif.
20. Yevjevich, V. M. (1967). "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts". Hydrology Paper No.23. Colorado State Univ., Fort Collins, Colo.