

가뭄관리를 위한 나이트 자료의 활용 방안



문 장 원
한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부
수자원연구실 수석연구원
jwmoon@kit.re.kr



이 동 루
한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부
수자원연구실 실장·연구위원
dryi@kit.re.kr

1. 서론

가뭄은 홍수와 함께 물로 인해 발생하는 대표적인 자연 재해라 할 수 있으며, 비정상적인 수분 부족 현상이 지속되어 나타나는 수문학적 현상이다. 가뭄은 반복적으로 발생하는 기후 특성으로 과거부터 현재까지 지속적으로 되풀이되어 왔으며, 미래에도 계속하여 나타나게 될 것이다. 홍수는 단기간동안 좁은 지역에서 피해가 집중되어 발생하며, 강수 등 기상에 대한 단기예측 성과를 통해 발생 지역을 비교적 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 가뭄은 장기간 지속되는 특징으로 인해 즉각적으로 인지하기 어려우며, 장기 기상 전망의 불확실성으로 인해 장래 예측이 매우 어렵다. 또한 가뭄은 넓은 지역에서 발생하고 장기간 지속되므로 가뭄 발생 후 이에 효과적으로 대처하지 못할 경우 그 피해는 기하급수적으로 증가할 가능성이 있다.

가뭄은 장기간 지속되어 나타나는 특성으로 인해 정확한 발생 특성을 분석하기 위해서는 장기간의 자료를 필요로 한다. 일반적으로 가뭄의 분석은 강수량, 유출량, 토양 수분량 등의 자료를 이용하고 있으나 가뭄에 대한 객관적인 판단 기준을 확보하기 위해 이러한 기상 및 수문학적 인자로부터 산정된 가뭄지수가 이용되고 있다. 가뭄 분석을 위해 이용되는 가뭄지수로써는 팔머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)(Palmer, 1965), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)(McKee 등, 1993), 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI)(Shafer와 Dezman, 1982) 등이 있다. 앞서 언급한 바와 같이 가뭄의 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 장기간의 자료를 필요로 하고 있으나 현재 이용 가능한 자료는 미국의 경우에도 1800년대 후반부터 관측된 자료에 의존하고 있으며, 우리나라의 경우에도 일부 1900년대 초반부터 관측된 자료가 있으나 대부분 1970년대부터

관측된 자료를 이용할 수 있는 한계가 있다. 우리나라의 서울지점의 경우 1700년대 후반부터 측우기를 이용하여 관측된 강수량 자료가 있으나 관측방식의 차이, 동절기 관측의 불확실성, 단일 지점 자료 등 여러 가지 한계가 있어 이를 통해 우리나라의 과거 가뭄을 검토하기에는 많은 어려움이 있다.

최근 들어 세계적으로 강수량이나 기온 등 기준에 이용되었던 자료가 아닌 나이트 등의 기후 지표를 이용하여 과거 가뭄특성을 복원하고자 하는 노력이 지속되고 있다 (Cook 등, 1999; Gonzalez와 Valdes, 2003; Meko와 Woodhouse, 2005). 또한 몽골이나 중국 등 관측 자료가 매우 부족한 지역에서의 가뭄 관련 분석을 수행하기 위해 보다 장기간의 자료 획득이 가능한 나이트 정보를 이용하여 19세기 이전에 대한 가뭄특성을 복원하고 이를 바탕으로 해당 지역의 가뭄 발생 특성을 분석하는 연구가 지속되고 있다 (Pederson 등, 2001; Davi 등, 2006; Li 등, 2007; Fan 등, 2008; Davi 등, 2009). 국외에서 수행된 이와 같은 연구에서는 나이트 정보와 PDSI 등 가뭄지수를 이용하여 상관관계를 검토하고 유의한 관계가 나타나는 시기의 가뭄지수를 나이트 정보로부터 복원하여 제시한 후 그 결과를 이용하여 가뭄 발생 주기 및 근대 관측 이전의 가뭄심도 등을 분석하고 있다. 그러나 우리나라에서는 근대 관측 이전 기간에 대한 강수량 복원을 위해 나이트 정보를 이용한 연구(박원규와 서정욱, 2000; 박원규 등, 2001)가 일부 제시된 바 있으나 가뭄특성과 연계하여 분석을 수행한 연구는 전무한 상황이다. 나이트와 가뭄의 관계에 대한 국내 연구로 1990년대 후반에 수행된 연구(김형수 등, 1998; 황석환 등, 1999)가 있으나 이는 우리나라의 자료가 아닌 미국의 나이트 및 유출량 자료를 이용하여 연유출량 복원에 대한 연구를 수행한 것이라는 한계가 있다. 따라서 근대 관측 이전에 대한 가뭄 특성 관련 정보를 확보하기 위해 나이트 등 기후 지표를 이용한 과거 가

뭄 특성 복원에 대한 연구를 검토해볼 필요가 있으며, 우리나라의 나이트 정보와 가뭄에 대한 분석을 통해 나이트 자료의 활용 가능성에 대해 확인해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

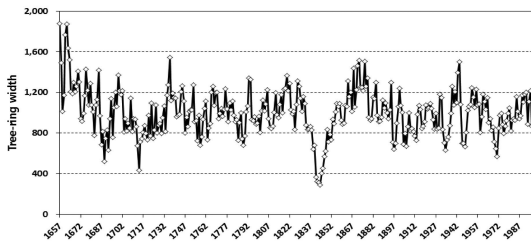
이에 본 연구에서는 우리나라에서 이용 가능한 나이트 자료를 획득한 후 강수량 및 가뭄지수와의 관계를 검토하였다. 먼저 월별 강수량과 나이트 자료에 대한 검토를 통해 나무의 성장에 가장 많은 영향을 주는 시기를 파악하고자 하였으며, 이와 함께 계절별 강수량 및 특정 시기 강수량에 대한 검토를 통해 상관관계가 가장 뚜렷하게 나타나는 시기를 파악하였다. 또한 가뭄지수와 나이트 자료에 대한 상관관계를 검토하여 제시함으로써 나이트 자료를 이용한 가뭄지수 복원 가능성을 판단해보았으며, 마지막으로 조선시대 가뭄기록과 나이트 자료를 비교하여 가뭄 지표로서 나이트 자료의 활용성을 판단하여 보았다.

2. 이용 자료

2.1 나이트 자료

본 연구에서 이용한 나이트 자료는 우리나라 설악산 지역의 소나무로부터 생성된 자료이며, 자료 기간은 1657 ~ 1998년까지 총 342년에 해당한다. 나이트 자료는 미국 국립해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 운영하고 있는 고기후학(Paleoclimatology) 관련 자료 홈페이지의 나이트 자료 제공 사이트¹⁾를 통해 획득할 수 있으며, 이 사이트를 통해 전 세계 각 국에서 생성된 나이트 관련 자료의 검색 및 내려 받기가 가능하다. 그림 1은 본 연구에서 이용한 우리나라 설악산 지역의 나이트 자료 시계열을 도시하여 나타낸 것이다.

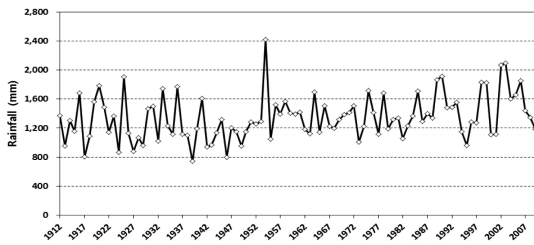
1) <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>



〈그림 1〉 우리나라 설악산 지역 나이테 자료 시계열

2.2 강수량 자료

본 연구에서 이용한 나이테 자료가 설악산 지역에서 채취된 소나무로부터 생성된 자료이므로 이와 비교하기 위한 강수량 자료는 기상청 강릉 지점의 관측 자료를 이용하였다. 기상청 강릉 지점은 1912년부터 관측이 시작되어 우리나라 강수량 자료 중 자료 기간이 가장 긴 지점에 해당한다. 강릉 지점에서 관측된 일 강수량 자료를 이용하여 월 강수량 자료를 생성한 후 나이테 자료와의 상관분석에 이용하였다. 그림 2는 강릉 지점의 연 강수량 시계열을 도시하여 나타낸 것이다.

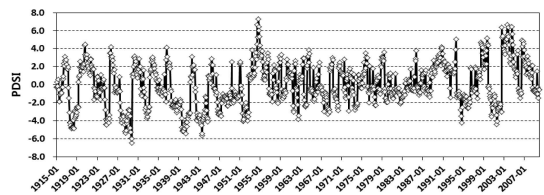


〈그림 2〉 기상청 강릉 지점의 연 강수량 시계열

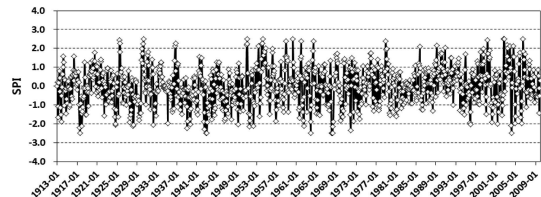
2.3 가뭄지수

나이테 자료가 가뭄을 어느 정도 표현해 줄 수 있는가를 판단하기 위해 세계적으로 널리 이용되고 있는 가뭄지수인 PDSI와 SPI를 이용하여 분석을 수행하였다. 이때 이용된 가뭄지수는 기상청 강릉 지점에 대해 PDSI와 SPI를 산정하여 이용하였다. PDSI는 1965년 Palmer에 의해 제안된 가뭄지수로 강수량과 평균기온을 기반으로 2개 층으로 이루어진 가상의 토양층을 구성한 후 이를 중심으로 이루어지는 수분의 유입과 유출관계를 이용하여 산정되

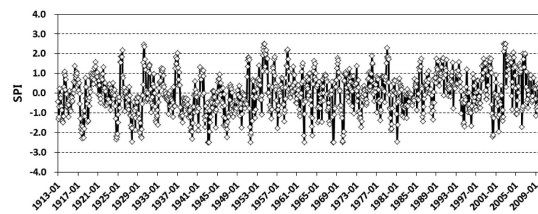
는 가뭄지수이다. 그림 3은 기상청 강릉 지점의 자료를 이용하여 산정된 PDSI 시계열을 도시하여 나타낸 것이다. SPI는 McKee 등(1993)에 의해 개발된 가뭄지수로서 강수량의 부족이 하천유량, 지하수량 등 물 공급원에 영향을 주어 가뭄이 발생한다는 점에 착안하여 개발된 가뭄지수이다. SPI는 가뭄의 지속기간을 고려하여 3, 6, 9, 12, 24개월과 같이 다양한 지속기간에 대해 가뭄지수를 산정할 수 있어 단기, 중기 및 장기 가뭄에 대한 지표로 이용할 수 있어 국내외적으로 가뭄관리 및 모니터링을 위해 널리 이용되고 있다. 본 연구에서는 강릉 지점 강수량 자료를 이용하여 1~12개월까지의 지속기간에 대한 SPI를 산정하여 분석에 이용하였으며, 그림 4~6은 이 중 지속기간 3, 6, 9



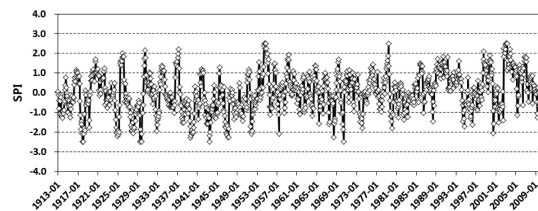
〈그림 3〉 기상청 강릉 지점의 PDSI 시계열



〈그림 4〉 기상청 강릉 지점의 지속기간 3개월 SPI 시계열



〈그림 5〉 기상청 강릉 지점의 지속기간 6개월 SPI 시계열



〈그림 6〉 기상청 강릉 지점의 지속기간 9개월 SPI 시계열

[표-1] 1657년 이후 조선시대 가뭄 기록(증보문헌비고)

번호	왕	연도	내용
1	효종 8년	1657	여름에 크게 가뭄
2	효종 9년	1658	양호의 연해(沿海) 지방에 기근이 들
3	효종 10년	1659	제주 및 관서 지방에 기근이 들
	현종 기해년		7월에 크게 가뭄
4	현종 원년	1660	기근이 들, 양남 지방이 심함
5	현종 2년	1661	큰 기근이 들
6	현종 3년	1662	큰 기근이 들
7	현종 7년	1666	함경도에 기근이 들
8	현종 8년	1667	경기, 호서 지방에 기근이 들
9	현종 9년	1668	경기와 양서(호서/관서) 지방에 기근이 들
10	현종 10년	1669	경도와 호남 지방에 기근이 들
11	현종 11년	1670	여름에 크게 가뭄
12	현종 12년	1671	큰 기근이 들
13	숙종 갑인년	1674	가을에 관서 지방에 기근이 들
14	숙종 3년	1677	여름에 크게 가뭄, 겨울에 경도, 영남, 호서에 기근
15	숙종 5년	1679	기근이 들
16	숙종 6년	1680	북도에 기근이 들
17	숙종 8년	1682	제주와 양서 지방에 기근이 들
18	숙종 10년	1684	가뭄
19	숙종 11년	1685	가뭄으로 기근이 들
20	숙종 12년	1686	호남 지방에 기근이 들
21	숙종 16년	1690	여름에 가뭄
22	숙종 17년	1691	경도에 기근이 들
23	숙종 21년	1695	큰 기근이 들
24	숙종 22년	1696	큰 기근이 들
25	숙종 24년	1698	기근이 들
26	숙종 29년	1703	기근이 들
27	숙종 30년	1704	여름에 가뭄
28	숙종 38년	1712	경도에 기근이 들
29	숙종 39년	1713	기근이 들, 기전(畿甸)/호서 지방이 심함
30	숙종 40년	1714	봄에 가뭄
31	숙종 42년	1716	기내(畿內)에 기근이 들
32	경종 2년	1722	제주에 기근이 들
33	영조 원년	1725	7월에 큰 가뭄
34	영조 2년	1726	삼남지방에 기근이 들
35	영조 3년	1727	여름에 가뭄
36	영조 7년	1731	여름에 크게 가뭄
37	영조 8년	1732	큰 가뭄
38	영조 13년	1737	삼남 지방에 큰 기근이 들
39	영조 16년	1740	여름에 가뭄
40	영조 17년	1741	겨울에 북관 지방에 기근이 들
41	영조 19년	1743	북관 지방에 기근이 들
42	영조 20년	1744	기근이 들
43	영조 26년	1750	기근이 들
44	영조 27년	1751	북관에 기근이 들
45	영조 29년	1753	기근이 들
46	영조 31년	1755	큰 기근이 들
47	영조 32년	1756	큰 기근이 들
48	영조 38년	1762	겨울에 기근이 들, 기전(畿甸)과 삼남 지방이 심함
49	영조 40년	1764	4월부터 7월까지 비가 오지 않음
50	영조 44년	1768	제주에 기근이 들
51	영조 46년	1770	기근이 들
52	정조 7년	1783	기근이 들
53	순조 32년	1832	큰 기근이 들
54	고종 13년	1876	여름에 가뭄, 팔도에 큰 기근이 들
55	고종 25년	1888	여름에 가뭄

개월에 대한 SPI 시계열을 도시하여 나타낸 것이다.

2.4 조선시대 가뭄 기록

앞서 분석 대상 자료로 선정한 강수량 및 가뭄지수는 기상청 강릉 지점의 관측 개시 이후 기간에 대해서만 비교가 가능하므로 근대 관측 이전에 대한 가뭄 상황과 나이트 자료를 비교하기 위해 조선시대 가뭄 기록을 수집하여 이용하였다. 한국건설기술연구원(2001)에서는 조선시대 증보문헌비고에 대한 검토를 통해 조선시대의 가뭄 기록에 대해 조사하여 제시한 바 있다. 연구 결과에 의하면 490년 동안 총 100건의 가뭄 기록이 수록되어 있어 평균적으로 5년에 한번 가뭄이 발생하였으며, 2년 연속 가뭄은 15회, 3년 연속 가뭄 4회, 4년 연속 가뭄 1회, 6년 연속 가뭄 2회 등 해를 거듭하여 가뭄이 발생한 것으로 나타나고 있다. 특히, 효종 8년(1657년)부터 현종 3년(1662년)까지, 현종 7년(1666년)부터 현종 12년(1671년)까지는 6년 동안이나 가뭄이 지속된 것으로 기록되어 있다는 결과를 제시하였다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원(2001)의 조선시대 가뭄 기록 연구 결과 중 나이트 자료의 시점 이후인 1657년 이후 기록을 이용하여 분석에 활용하였다. 표 1은 수집된 조선시대 가뭄 기록을 연도별로 정리하여 나타낸 것이다.

3. 나이트 자료와의 상관분석

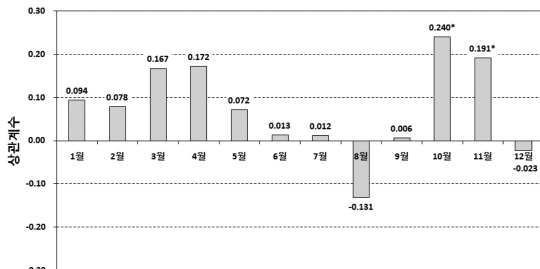
나이트 자료는 표본이 된 나무의 과거 생장 기록이라 할 수 있으며, 나무의 생장은 강수량, 기온, 토양수분 등 기상 및 수문학적 요소의 영향을 받아 나타나는 결과라 할 수 있다. 즉, 강수량이 많아 토양 내 함유 수분이 많을 경우 생장조건이 좋아 나무의 성장이 활발하게 이루어지며, 반대의 경우에는 나무의 성장이 상대적으로 미흡하게 나타날 수 있다. 따라서 가뭄은 나무의 생장을 저해하는 영향 요소로 작용하게 되며, 이러한 관계에 주목하여 나이트 자료와 가뭄 간의 관계를 검토할 수 있게 된다. 본 절에서

는 나이트 자료를 중심으로 기상청 강릉 지점의 월 및 연 강수량, 2가지 종류의 가뭄지수(PDSI, SPI)를 이용하여 인자 간 상관관계를 검토하였다.

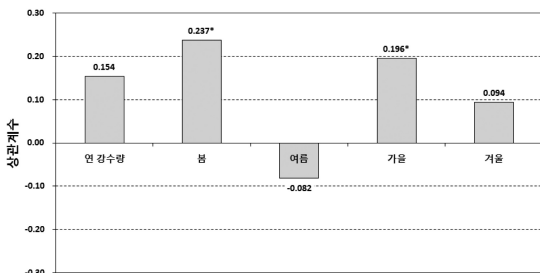
3.1 강수량과의 상관분석

먼저 강릉 지점의 강수량과 나이트 자료 간 상관관계를 검토하였다. 나무의 성장에 있어 강수량이 직접적인 영향을 줄 것이라는 점은 명확하다 할 수 있으나 그 정도가 어느 정도인지, 그리고 1년 중 어느 시기에 발생한 강수량의 영향을 받는 지를 확인하기 위해 월별 강수량 자료와 연 강수량 자료, 계절별 강수량 자료를 구성하여 나이트 자료와 상관관계를 분석하였다. 그림 7은 월별 강수량과 나이트 자료 간 상관관계를 도시하여 나타낸 것이며, 그림 8은 연 강수량 및 계절 강수량과 나이트 자료에 대한 상관분석 결과를 도시하여 나타낸 것이다.

그림 7의 결과를 살펴보면, 월별 강수량과 해당 연도 나이트 자료 간 상관관계는 높지 않게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 나무의 성장에 있어 강수량뿐만 아니라 다른 조건들의 영향이 복합적으로 작용하게 되므



〈그림 7〉 월 강수량과 나이트 자료 간 상관관계(* : P < 0.05)



〈그림 8〉 연 강수량 및 계절 강수량과 나이트 자료 간 상관관계 (* : P < 0.05)

로 강수량이라는 한 가지 인자로는 나무의 성장을 명확하게 나타내기 어렵다는 점을 의미한다.

그림 8은 강릉 지점의 연 강수량과 계절별 강수량을 이용하여 나이트 자료와의 상관관계를 검토한 결과를 도시하여 나타낸 것이다. 앞서 언급한 월별 결과와는 달리 봄철 강수량이 상대적으로 가장 높은 상관관계를 나타내고 있음을 알 수 있다. 봄철과 가을철 강수량이 5% 유의수준에서 의미 있는 결과를 나타내고 있다는 점은 우리나라 나무의 성장에 있어 해당 시기 강수량이 상대적으로 많은 영향을 미치게 됨을 나타내는 결과라 할 수 있다. 만약 나이트 자료를 이용하여 과거 강수량을 복원하고자 할 경우 연 강수량에 대한 복원을 시도하는 것보다는 이와 같은 결과를 이용하여 봄철이나 가을철 강수량에 대한 복원을 검토하는 것이 보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 간접적으로 의미하는 결과라 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 이용한 나이트 자료는 설악산 지역에서 확보된 자료로 지역적인 한계를 극복하기 어려운 문제가 있으므로 향후 추가적인 자료 확보 및 검토를 통해 이러한 분석 결과에 대해 확인해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.2 가뭄지수와의 상관분석

기상청 강릉 지점의 강수량 자료를 이용하여 1~12개월 지속기간에 대한 월별 SPI를 산정한 후 나이트 자료와 상관관계를 검토하였다. 표 2는 12가지 지속기간에 대한 월별 SPI와 나이트 자료 간 상관관계를 정리하여 나타낸 것이다. 표 2에서 음영으로 표시된 부분은 유의수준 5%에서 유의한 결과를 주고 있음을 나타내고 있는 것으로 이를 통해 앞서 강수량에 대한 검토 결과와 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 봄철과 가을철에 해당하는 월의 SPI가 상대적으로 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 특히 5월의 경우 지속기간 3개월부터 9개월까지의 SPI와 나이트 자료에 있어 유의한 결과를 확인할 수 있다. 우리나라의 경우 5월을 기준으로 나무의 성장에 영향을 미치는 기간을 검토할 경우 짧게는 해당 연도 3월부터 길게는 전년

도 9월부터 영향을 주고 있음을 이와 같은 분석 결과를 통해 정량적으로 확인할 수 있다. 또한 해당 연도 10월과 11월의 가뭄 상황이 나무의 생장에 상대적으로 많은 영향을 주고 있다는 사실은 앞서 가을철 강수량이 나이트 자료와 상관관계가 비교적 높게 나타나고 있다는 점을 다시 한 번 나타내주는 결과라 하겠다. 따라서 우리나라에서 나이트 자료를 이용하여 과거 SPI를 복원하고자 할 경우 상대적으로 상관관계가 높게 나타나는 4월이나 5월의 지속기간 별 SPI를 이용하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 그러나 전반적으로 SPI와 나이트 자료 간의 상관관계가 높지 않다는 점은 보다 많은 양의 나이트 자료를 확보하여 두 가지 인자 간 관계에 대해 심도 있는 연구가 필요함을 의미하는 결과라 하겠다.

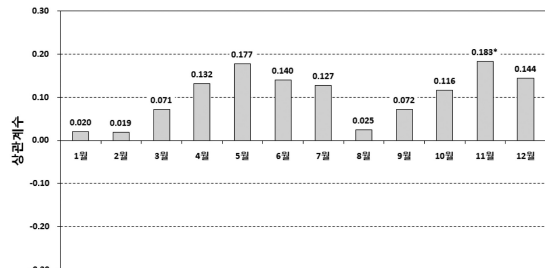
(표-2) 기상청 강릉 지점 SPI와 나이트 자료 간 상관관계

구분	지속기간											
	1개월	2개월	3개월	4개월	5개월	6개월	7개월	8개월	9개월	10개월	11개월	12개월
1월	0.052	0.005	0.065	0.154	0.121	-0.007	-0.069	-0.075	-0.062	-0.064	-0.033	-0.033
2월	0.132	0.067	0.035	0.095	0.179	0.149	0.024	-0.040	-0.048	-0.028	-0.040	-0.010
3월	0.156	0.177	0.169	0.097	0.132	0.185	0.169	0.049	-0.013	-0.021	-0.004	-0.014
4월	0.154	0.241	0.226	0.197	0.148	0.200	0.228	0.212	0.091	0.019	0.011	0.026
5월	0.074	0.173	0.235	0.236	0.215	0.182	0.219	0.257	0.223	0.101	0.031	0.022
6월	0.002	0.030	0.110	0.166	0.172	0.166	0.139	0.169	0.214	0.206	0.089	0.025
7월	0.006	0.004	0.039	0.086	0.128	0.128	0.126	0.112	0.122	0.170	0.178	0.088
8월	-0.088	-0.069	-0.088	-0.062	-0.018	0.019	0.039	0.051	0.042	0.060	0.036	0.089
9월	-0.005	-0.079	-0.063	-0.068	-0.052	-0.017	0.012	0.025	0.034	0.025	0.049	0.075
10월	0.238	0.115	0.013	0.018	0.012	0.026	0.057	0.086	0.096	0.102	0.089	0.108
11월	0.122	0.306	0.183	0.068	0.061	0.074	0.104	0.134	0.141	0.146	0.132	
12월	-0.004	0.075	0.244	0.166	0.060	0.062	0.053	0.064	0.094	0.123	0.130	0.138

주) 음영으로 표시된 값은 유의수준 5% 수준에서 유의한 경우에 해당

두 번째로 PDSI와 나이트 자료의 관계를 검토하였다. PDSI는 가상의 토양층을 중심으로 수분의 유입 및 유출을 고려하여 가뭄을 정량화하는 가뭄지수이며, 강릉 지점의 강수량 및 기온자료를 이용하여 PDSI를 산정하여 이용하였다. PDSI는 지수 산정 과정에서 간단한 물수지 모형이라 할 수 있는 수분수지 모형을 이용하게 되며, 수분수지 모형을 이용한 분석 과정에서 초기 값을 설정해주어야 한다. 따라서 본 연구에서는 초기 값의 영향이 사라지는 기간을 고려하여 최초 3년 동안의 PDSI는 초기 값의 영향이 포함되어 있는 것으로 가정하고 3년 이후 결과부

터 나이트 자료와의 비교에 이용하였으며, 이에 따라 1915~1998년까지의 기간에 대한 자료를 상관분석에 이용하였다. 그림 9는 월별 PDSI와 나이트 자료 간 상관계수를 도시하여 나타낸 것이다. 그림 9의 결과를 통해 알 수 있는 바와 같이 PDSI는 강수량이나 SPI에 비해 유의미한 관계가 상대적으로 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 월별 PDSI 중에서 11월 PDSI에서만 5% 유의수준을 기준으로 유의미한 결과로 나타나고 있다. 그러나 전체적인 분포를 살펴보면 봄철과 가을철 PDSI가 상대적으로 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 이러한 결과는 과거 미국 등에서 이루어진 연구 결과와 비교하였을 때 정도의 차이는 있으나 동일한 월별 패턴을 보이고 있다고 판단할 수 있다. 국외에서 이루어진 과거 가뭄 복원 연구에서는 나이트 자료를 기반으로 4~8월까지의 PDSI를 복원하여 제시하고 있으며, 우리나라의 경우에도 나이트 자료를 추가적으로 확보하여 검토를 수행할 경우 동일 시기에 대한 가뭄 복원의 가능성이 충분히 있음을 의미하는 결과라 할 수 있다.

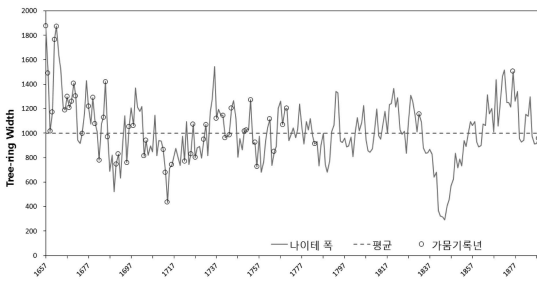


(그림 9) PDSI와 나이트 자료 간 상관관계(* : P < 0.05)

4. 조선시대 가뭄 기록과의 비교

나이트 자료가 근대 관측 이전 우리나라의 가뭄 상황과 어떠한 관계를 보이고 있는지를 검토하기 위해 조선시대 증보문헌비고에 언급되어 있는 가뭄 관련 기록과 비교하였다. 그림 10은 나이트 자료의 변동과 평균, 그리고 과거 가뭄 기록이 있었던 연도를 함께 도시하여 비교한 것으로 이를 통해서서는 직접적인 연관관계를 명확하게 알아보기

는 힘들다. 또한 1700년대 중반 이후로는 문헌에 기록되어 있는 가뭄의 수가 상대적으로 적게 나타나고 있어 1800년대 중반에 나타나고 있는 나무 성장 저조기에 대한 가뭄 발생 여부를 확인하기 힘들다는 한계가 있다. 그러나 그림 10의 도시 결과를 살펴보면 나이테 자료가 평균보다 낮은 값을 나타내고 있는 경우 가뭄 기록 또한 함께 나타나는 경우를 상당수 확인할 수 있으며, 평균보다 높은 나이테일 경우에도 가뭄 기록 이후의 나무 성장이 전년보다 감소한 것으로 나타난 경우가 많이 있음을 확인할 수 있다. 조선시대 가뭄 기록의 경우 내륙 지역을 중심으로 발생한 경우가 많을 수 있으며, 비교 대상으로 이용한 나이테 자료는 영동 지방의 설악산에서 확보된 자료이므로 두 가지 인자를 직접적으로 비교하기는 어려울 수 있다. 또한 조선시대 가뭄 기록의 경우 사람이 상대적으로 많이 거주하고 있는 주거 지역이나 농경지역을 대상으로 발생한 가뭄이 중점적일 수 있으므로 설악산과 같은 산악지역에서 성장한 나무의 나이테 자료와 다른 결과를 보일 수 있다. 따라서 이러한 결과는 향후 보다 다양한 지역에서 나이테 자료를 확보한 후 조선시대 가뭄 기록과 비교함으로써 보다 정확한 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.



〈그림 10〉 나이테 자료와 조선시대 가뭄 기록 연도 비교

5. 결론 및 제언

가뭄은 장기간 지속된 수분 부족 현상이 원인이 되어 발생하는 정상적인 기후 특성이다. 장기간 광범위한 지역에서 발생하는 가뭄의 특성으로 인해 가뭄을 정확하게 해석하기 위해서는 장기간의 관측 자료를 필요로 하나 세계

적으로 이용할 수 있는 기상 및 수문자료에는 이용 기간에 있어 한계가 있는 것이 현실이다. 이를 극복하기 위해 전 세계적으로 나이테 등 기후 지표를 이용하여 근대 관측 이전 가뭄을 복원하고 이를 바탕으로 가뭄을 해석하고자 하는 노력이 지속되고 있으며, 우리나라에서도 일부 이와 관련된 연구가 수행된 바 있다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 이용 가능한 나이테 자료도 매우 적을 뿐만 아니라 관련 연구의 성과 또한 국외에 비해 매우 미흡한 수준으로 향후 이에 대한 검토를 통해 가뭄에 대한 정량적인 분석이 필요한 시기가 되었다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 우리나라 설악산 지역에서 조사된 나이테 자료를 이용하여 해당 지역 인근에 위치하고 있는 기상청 강릉 지점의 강수량 및 가뭄지수와 상관관계를 검토하여 제시하였다. 이와 함께 증보문헌비고에 나타나 있는 조선시대 가뭄 기록과 개략적인 비교를 수행하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기상청 강릉 지점의 월별 강수량과 나이테 자료를 비교한 결과 1년 중 3, 4월, 그리고 10월과 11월 강수량이 상대적으로 높은 상관관계를 나타내고 있음을 확인하였다. 또한 계절별 강수량과의 비교를 통해 월별 강수량 비교 결과와 동일한 결과를 확인할 수 있었다. 이를 통해 우리나라의 나무 생장은 이들 시기 강수량과 비교적 밀접한 관계를 나타내고 있음을 알 수 있으며, 향후 나이테 자료를 기반으로 강수량을 복원할 경우 봄철 또는 가을철 강수량에 대한 복원을 시도하는 것이 보다 양호한 결과를 획득할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 강릉 지점에 대해 12가지 지속기간별 SPI를 산정한 후 나이테 자료와 비교하였다. 그 결과 4월과 5월 SPI는 3~9개월 지속기간에 대한 결과에서 통계학적으로 유의한 관계(유의수준 5%)가 나타남을 확인할 수 있었으며, 10~12월의 단기간 SPI(1~3개월)에서도 유의한 관계가 나타나고 있었다. 이러한 결과는 향후 나이테 자료를 이용하여 근대 관측 이전 SPI를

복원하고자 할 경우 상관관계가 상대적으로 높게 나타나는 시기의 SPI를 대상으로 하는 것이 유리하다는 점을 간접적으로 의미하는 결과라 할 수 있다. 특히 우리나라의 경우 3~5월까지의 농업 활동이 활발하게 전개되기 시작하는 시기로 용수의 수요가 크게 증가하지만 강수량은 상대적으로 적은 시기이므로 가뭄으로 인한 피해를 반복적으로 경험하고 있는 시기에 해당한다. 따라서 이 시기를 중심으로 과거 가뭄을 복원하여 해석할 경우 봄철 가뭄에 효과적으로 대응할 수 있는 분석 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

- 3) 강릉 지점 PDSI와의 비교에서도 강수량 및 SPI의 비교 결과와 유사한 관계를 확인할 수 있었다. 1년 중 4~7월, 11월 및 12월의 PDSI가 상대적으로 높은 상관관계를 나타내고 있었으나 통계학적으로 유의미한 결과는 11월 PDSI에서만 나타나고 있었다. 이러한 결과는 정도의 차이는 있으나 국외에서 이루어진 관련 연구의 결과와 동일한 결과를 나타내고 있다고 할 수 있으며, PDSI에 대한 가뭄 복원에 있어서도 이러한 시기를 중심으로 고려하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
- 4) 증보문헌비고에 나타난 조선시대 가뭄 기록과 나이트 자료를 개략적으로 비교 검토한 결과 나무의 생장이 평균 이하에 해당하는 시기에 가뭄 기록이 나타나는 경우를 확인할 수 있었다. 또한 나무의 생장이 평균 이상이라 할지라도 가뭄 기록 이후 나무의 생장이 감소하는 결과가 다수 나타나고 있음을 알 수 있었다. 비록 나이트 자료가 설악산과 같은 산악 지역에서 수집된 관계로 주거지역 및 농경지역을 중심으로 가뭄이 기록된 것으로 판단되는 증보문헌비고의 기록과 직접적인 비교가 어렵다는 한계에도 불구하고 향후 추가적인 자료 확보 및 분석을 통해 보다 정량적인 관계 검토가 필요할 것으로 판단된다.

지금까지 살펴본 바와 같이 우리나라 설악산 지역에서

수집된 나이트 자료는 해당 지역 인근에 위치한 강릉 지점의 강수량이나 가뭄지수와 높은 상관관계를 나타내고 있지는 않았다. 그러나 경우에 따라서는 통계적으로 유의미한 결과(유의수준 5%)를 나타내고 있는 경우도 확인할 수 있었으며, 특히 봄철 및 가을철 강수량이나 가뭄지수와 상대적으로 높은 관계를 나타내고 있었다. 이러한 결과는 이용 가능한 나이트 자료가 1개 지점 뿐이라는 한계에도 불구하고 향후 추가적인 자료 확보를 통해 가뭄과의 관계를 보다 정량적으로 검토할 필요가 있음을 의미하는 결과라 할 수 있다. 우리나라에서 이용 가능한 나이트 자료를 다양한 지역에서 확보할 수 있도록 노력할 필요가 있으며, 고기후학(Paleoclimatology) 분야와의 활발한 협동 연구를 통해 다양한 조건(산악지역, 농경지역, 주거지역 등)에서 자료를 충분히 확보한 후 가뭄 지표와의 관계 분석을 수행함으로써 근대 관측 이전 우리나라의 가뭄 특성에 대한 정량적인 결과 제시가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김형수, 황석환, 김중훈 (1998) TREE-RING 자료와 신경망 기법을 이용한 하천유출량의 재생성. 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제18권, 제11-6호, pp. 583-589.
2. 박원규, 서정욱 (2000) 소나무 연륜연대기를 이용한 영동지방의 5~6월 강수량(253년간 : A.D. 1746~1998) 복원. 한국제4기학회 논문집, 한국제4기학회, 제14권, 제2호, pp. 87-99.
3. 박원규, 서정욱, Liu Yu, 김요정, 한수원 (2001) 나무나이트를 이용한 설악산 지역의 4월~8월 총강수량 복원. 한국제4기학회 논문집, 한국제4기학회, 제15권, 제1호, pp. 47-52.
4. 한국건설기술연구원 (2001) 조선시대 가뭄기록조사.
5. 황석환, 김형수, 원석연, 김중훈 (1999) Tree-Ring으로 재생성된 유출량자료를 이용한 가뭄감시. 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제19권, 제11-5호, pp. 557-564.
6. Cook, E. R., Meko, D. M., Stahle, D. W., and Cleaveland, M. K. (1999) Drought Reconstructions for the Continental United States. Journal of Climate,

- American Meteorological Society, Vol. 12, pp. 1145–1162.
7. Davi, N. K., Jacoby, G. C., Curtis, A. E., and Baatarbileg, N. (2006) Extension of Drought Records for Central Asia Using Tree Rings : West-Central Mongolia, *Journal of Climate*, American Meteorological Society, Vol. 19, pp. 288–299.
 8. Davi, N. K., Jacoby, G. C., D'Arrigo, R. D., Baatarbileg, N., Jinbao, L., and Curtis, A. E. (2009) A tree-ring-based drought index reconstruction for far-western Mongolia : 1565–2004. *International Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society, Vol. 29, pp. 1508–1514.
 9. Fan, Z. X., Brauning, A., and Cao, K. F. (2008) Tree-ring based drought reconstruction in the central Hengduan Mountains region (China) since A.D. 1655. *International Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society, Vol. 28, pp. 1879–1887.
 10. Gonzalez, J., and Valdes, J. B. (2003) Bivariate Drought Recurrence Analysis Using Tree Ring Reconstructions. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 8, No. 5, pp. 247–258.
 11. Li, J., Chen, F., Cook, E. R., Gou, X., and Zhang, Y. (2007) Drought reconstruction for north central China from tree rings : the value of the Palmer drought severity index. *International Journal of Climatology*, Royal Meteorological Society, Vol. 27, pp. 903–909.
 12. McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kieist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration of Time Scales. Eighth Conf. on Applied Climatology, American Meteorological Society, pp. 179–184.
 13. Meko, D. M., and Woodhouse C. A. (2005) Tree-ring footprint of joint hydrologic drought in Sacramento and Upper Colorado river basins, western USA. *Journal of Hydrology*, Elsevier, Vol. 308, pp. 196–213.
 14. Palmer, W. C. (1965) *Meteorological Drought*. U.S. Dept. of Commerce Weather Bureau, Research Report No. 45.
 15. Pederson, N., Jacoby, G. C., D'Arrigo, R. D., Cook, E. R., Buckley, B. M., Dugarjav, C., and Mijiddorj, R. (2001) Hydrometeorological Reconstructions for Northeastern Mongolia Derived from Tree Rings : 1651–1995. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, Vol. 14, pp. 872–881.
 16. Shafer, B. A., and Dezman, L. E. (1982) Development of Surface Water Supply Index to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164–175.