The Korean Journal of Quaternary Research
Vol. 15, No. 1, pp. 53~61 (2001)

한반도 중부지역 수목생장에 미치는 엘니뇨-남방진동(ENSO)의 영향

박원규* · 구경아** · 공우석** · N. Pumijumnong***

*충북대학교 산림과학부, **경희대학교 지리학과, ***태국 마히돌대학교 환경자원학부

Effects of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on Tree Growths in Central Korea

Won-Kyu Park*, Kyung-Ah Koo, Woo-Seok Kong** and N. Pumijumnong*****

**School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea*
***Department of Geography, Kyunghee University, Seoul 130-701, Korea*
****Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom 73170, Thailand*

요 약

본 연구에서는 엘니뇨-남방진동(ENSO)이 한반도 중부지역의 수목 생장에 미친 영향을 조사하기 위하여 잣나무, 소나무, 주목을 대상으로 연륜분석을 실시하였다. 잣나무와 소나무는 설악산에서 각각 4개, 7개 지역에서 채취하였으며, 주목은 소백산의 1개 지역에서 채취하였다. 연륜 생장과 월 평균기온과의 상관관계를 구한 결과, 설악산 잣나무와 소백산 주목은 대체적으로 기온과 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며, 설악산 소나무는 기온과 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 연륜생장과 월별 남방진동지수(SOI)와의 상관관계를 구한 결과, 잣나무의 경우는 고도상 생육하한선인 설악산 한계령 하부 지역에서 4월 SOI와 유의한 음의 상관관계를 나타내었으나, 나머지 지역 잣나무는 모두 유의성이 인정되지 않았다. 소나무의 경우는 백담산장 지역에서 생육전년도 8월과 9월 SOI와 연륜생장이 유의한 양의 상관관계를 나타내었으나 고지대에 자라는 지역의 소나무는 모두 상관이 인정되지 않았다. 엘니뇨가 발생하면 중부지역의 생육하한선에 자라는 잣나무는 생장이 양호해지는 반면에 저지대에 자라는 소나무의 경우 생장이 저하되는 것으로 해석된다.

ABSTRACT

To examine the effects of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on the tree growths of central Korea, tree rings of Korean pine(*Pinus koraiensis*), Japanese red pine (*Pinus densiflora*) and yew (*Taxus cuspidata*) were analyzed. Korean pine and red pine samples were collected from 4 and 7 sites in Sorak Mountain ranges, respectively; yew from one site in Sobaek Mountain. Correlations between ring-width and monthly temperature data showed generally positive relationships for the Korean pine and yew chronologies, but negative ones for the red pine chronologies. In the analysis

이 연구는 한국과학재단과 태국 NRCT 국제공동연구 (995-0400-009-2)의 지원으로 수행되었음.

of correlation between ring-width and monthly SO index data, only one Korean pine chronology at the lower Hangaerung valley site, and one red pine chronology at Baekdamjang shelter site showed significant relationships; negative with April SOI for the former and positive with previous August -September SOI for the latter. The other chronologies at higher elevation sites did not indicate any significant correlations with SOI.

서 론

전 지구적으로 기상 이변 현상이 자주 나타나면서 기후 변화에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이러한 기상 이변의 한 원인으로 추정되고 있는 엘니뇨에 대해서도 관심이 높아지고 있다. 특히 엘니뇨의 영향을 규명하기 위해서는 기후변동에 관한 광역(국가 내지 대륙권 단위)에 걸친 정보가 절대적으로 필요하다. 다양한 연구분야에서 엘니뇨의 원인 및 영향을 밝히려고 시도하고 있으나 나이테를 이용하여 엘니뇨를 연구하는 것은 비교적 최근에 시도되고 있다. D'Arrigo와 Jacoby(1991)는 미국 뉴멕시코주의 수목생장과 강수량과의 관계를 이용하여 약 1000년간의 ENSO (El Niño-Southern Oscillation) 이벤트를 복원한 바 있으며, Stahle 등(1993)은 멕시코 북부와 미국 남부 지대에 자라고 있는 나무의 생장과 엘니뇨가 밀접한 관계를 가지고 있음을 밝혔다. Woodhouse (1993)는 미국 콜로라도 지역의 나무나이테와 ENSO가 고도의 상관을 가지고 있다고 하였으며, 동남아시아에서는 D'Arrigo 등(1994)이 인도네시아에서 자라고 있는 티크 나무의 나이테를 이용하여 416년 간의 ENSO를 복원하였다.

엘니뇨가 한반도의 여름철과 겨울철 기온의 온난화를 가져오는 것으로 알려져 있고 (임규호, 1997; 차은정 등, 1999), 임규호(1997)는 측우기의 겨울 강수데이터를 이용하여 엘니뇨의 영향을 분석하였으나 큰 관계가 없다고 하였다. 한국에서는 엘니뇨의 영향에 대한 논란이 아직 정립되어 있지 않은 상태이다 (김정우, 1998). 이러한 논란이 관측데이터가 아직 부족한 것인지, 아니면 엘니뇨의 영향을 우리나라가 적게 받기 때문인지 아직 확실하지 않다.

본 연구에서는 우리나라에서 나무생장이 기온의 변화에 민감한 수종을 선택하여 수목의 생장에 미치는 엘니뇨의 영향을 조사하여, 엘니뇨가 우리나라 연륜 생장과 산림생태에 미치는 영향을 예측하고 관측 이전의 엘니뇨 발생을 연륜으로부터 복원하는 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

연구대상지역 및 수종 선정

연륜연대기를 작성하기 위해서는 연륜의 경계

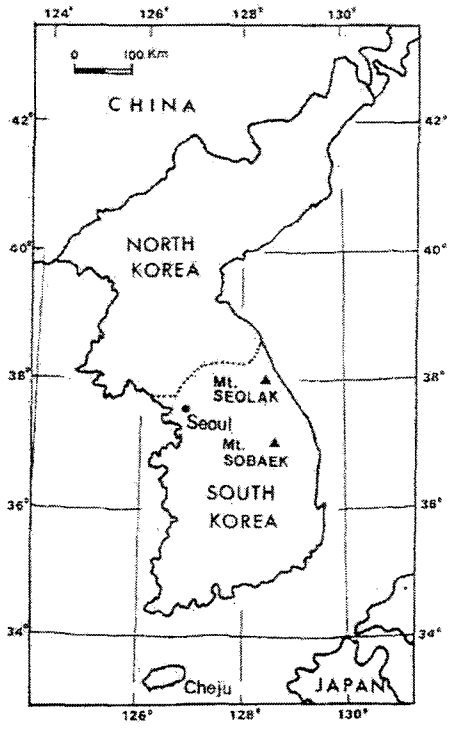

Fig. 1. Study sites (Sorak or Seolak mountains and Sobaek mountains)

가 뚜렷해야 하며 생육의 변화가 환경변화(특히 기후변화)에 의해 지배받아야 한다. 또한 僞年輪(false ring)과 失年輪(missing rings)이 과도하게 많지 않아 크로스데이팅이 가능해야 한다. 특히 유령목의 경우(50~100년 정도)는 수령에 따른 변동과 생장추세를 구분하기 어려워 연륜연대기를 작성하기에 부적합하다.

본 연구에서는 크로스데이팅이 가능하고 수령이 200~400년 이상인 시험목을 비교적 균일한 임분에서 10그루 이상 선정할 수 있는 주목, 소나무 또는 잣나무를 선정하여 각 임분에서 우세목 또는 준우세목 15본 정도를 공시목으로 하였다. 주목은 소백산에서 채취된 시료(BRT)를 사용하였으며, 잣나무는 설악산의 화채능선(HCK), 오색-대청봉(OSK), 한계령-상부(HUK), 한계령-하부(HDK), 소나무는 설악산의 백담산장(BJD), 백담사(BSD), 오색(OSD), 권금성(KSD), 칠성봉(CSD), 대승폭포 상부지역(DUD), 대승폭포 하부지역(DMD)에서 채취된 시료를 사용하였다. 각 연구지의 개황을 Table 1에 나타내었다.

연륜채취 및 연륜폭 측정

공시목으로 선정된 각각의 수종들을 지상 0.5m~1.2m의 높이에서 수(중앙)에 접근하도록 2개의 연륜시료(직경 0.5cm의 생장편)를 임의의 방향에서 마주 보는 쪽에서 생장추를 이용하여 채취하였다. 생장편은 채취직후 음료수용 종이빨대에 삽입하여 일주일 여간 기건한 후 U자형 홈이 파여진 나무막대에 접착제를 이용하여 접착시키었다. 1~2일간 접착제를 경화시킨 후 사포로 연마하여 연륜경계를 선명하게 나타내게 하였다. 연륜폭 측정은 컴퓨터에 연결된 Lintab 연륜측정장치로 0.01 mm까지 실체현미경으로 나이테 경계를 확인하면서 실시하였다.

크로스 데이팅 (Cross-dating)

크로스데이팅 방법은 연륜의 폭이 좁고 넓은 양상을 인접 수목들간 또는 인근지역 수목들간에 비교함으로써 僞年輪과 失年輪을 찾아내어 알고 있는 기준연대(즉 연륜채취연도)를 이용하여 정확한 생육연대를 각 연륜에 부여하는 것을 말한다. 크로스데이팅 방법에는 골격도법과 그래프법이 있는데(Schweingruber, 1988), 본 연구에서는 각 연륜의 너비를 그래프로 작성, 상호 비교하는 그래프법을 사용하였다.

Table 1. Study sites and chronology names

Mountain	Species	Site Name	Elevation (m)	Number of sampled trees (cores)	Chronology ID
Sorak	*Pinus koraiensis* Korean Pine	Hangaerung valley-Upper Slope	1450	12(28)	HUK
		Hangaerung valley-Lower Slope	1300	20(42)	HDK
		Hwachebong Peak	1500	43(93)	HCK
		Osaek Spring	1600	10(18)	OSK
Sorak	*Pinus densiflora* Red Pine	Baekdamjang Shelter	400	12(22)	BJD
		Baekdamsa Temple	500	22(40)	BSD
		Chilseongbong Peak	800	14(32)	CSD
		Daeseung Fall-Upper slope	900	20(42)	DUD
		Daeseung Fall-Lower slope	800	24(47)	DMD
		Kwonkeemseong Castle	850	6(12)	KSD
		Osaek Spring	850	24(45)	OSD
Sobaek	*Taxus cuspidata* Yew	Birobong Peak	1400	15(19)	BRT

연륜 통계 분석

각 연륜 시리즈의 표준화, 상호 상관관계(cross correlation), 평균 연대기 산출 및 그 통계적 특성들은 Dendrochronology Program Library 중 ARSTAN (Holmes, 1990)으로 분석하였다. 정확히 crossdating이 된 각 연륜시리즈의 연륜폭을 측정하여 작성된 연륜폭 계열은 수령에 따른 수목 고유의 생물학적 생육추세를 제거하기 위하여 표준화하였다. 표준화는 생물학적 생장 추세를 추정하는 생육곡선을 spline (50% 반응주기: 120~200년)으로 구하여 예측되는 연륜폭과 실제 연륜폭의 비례로써 지표(index)를 계산하여 각 연륜계열별로 지표연대기(index chronology)를 얻었다. 표준화된 각 연륜시리즈의 로버스트 평균을 구하여 최종연대기를 산출하였다.

인접한 장소에서 생육하는 임목 생장간에도 유전적 및 microsite 생육환경 차이에 기인하여 개체간 연륜시리즈가 어느 정도 편차가 있으며 동일 임목내에서도 채취방향에 따라서도 차이가 있다. 이러한 개체간, 개체내 변이의 크기를 상호상관분석에 의해 분석하였다 (Fritts, 1976).

엘니뇨의 영향 분석

각 수종들의 연륜생장과 기후요소와의 관계를 각 지역의 연륜연대기(지표)와 월별 기온과의 단순상관계수를 계산하여 구하였다. 이 분석결과 기온과 높은 상관관계를 보이는 수종들에 대하여, 월별 남방진동계수 (SOI)와 각 지역의 연륜연대기와의 상관관계를 PRECON 프로그램(Fritts박사 제공)을 사용하여 구하였다. 월별 SOI와 연륜연대기와의 상관관계는 1930년을 기준으로 1866~1930년과 1931~1997년 두 구간을 나누어 구하였다. 이는 두 구간 모두에서 일정한 상관관계를 갖는지 여부로 상관관계의 신뢰성을 평가하기 위한 것이었다. SOI는 Mike Salmon의 자료를 사용하였으며, 월 평균기온 자료는 중부내륙 지역을 대표할 수 있는 서울, 청주, 대전, 추풍령, 전주, 보은의 관측소 자료의 평균을 구한 것을 사용하였다. 지역평균자료를 사용한 것은 한 지역의 관측소 자료만을 사용하였을 경우 자료의 왜곡이 발생할 수 있으며, 또한 지역에 따라서 장기간의 자료가 없어 분석에 어려움이 있기 때문이다.

결과 및 고찰

연륜지표연대기의 통계적 특성

본 연구에서 사용된 각 수종들의 통계적 특성은 Table 2와 같다. 각 수종들의 통계적 특성을 살펴보면, 설악산 잣나무의 경우 평균민감도가 0.168~0.184로 다소 낮은 편이었으며, 임목간 상관계수는 0.258~0.295로 연구지역간에 많은 편차를 보이지 않았다. SNR은 3.13~15.23으로 연구지역간에 많은 편차를 나타냈으며 HCK 연대기에서 가장 높게 나타났다. EPS는 0.76~0.94로 나타났다. 설악산 소나무의 경우는 모든 통계분석 결과가 잣나무보다는 다소 높게 나타났다. 그러나 평균민감도는 대체적으로 낮은 편이었으며, 이중 KSD, DUD, DMD가 비교적 높게 나타났다. 임목간 상관관계는 0.427~0.449로 KSD, DUD, DMD 연대기에서 높게 나타났으며, SNR은 11.51~14.09로 OSD, DUD, DMD가 높게 나타났다. EPS는 0.71~0.93으로 잣나무와 비슷하였다. 소백산 주목(BRT)의 평균민감도와 임목간 상관관계는 설악산 잣나무에 비하여 높은 편이나 SNR은 다른 수종들에 비해 낮은 수치를 보였다.

각 수종별 연륜생장과 기온과의 관계

본 연구에서 사용된 각 수종들의 연륜생장과 기온과의 관계는 Table 3과 같다. 이 수종들은 모두 기온 변화에 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다. 설악산 잣나무의 경우 HUK연대기를 제외하고는 모두 기온과 유의한 상관관계를 갖는 것으로 나타났는데, HCK는 전년도 10월 기온, 8월 기온, 5월 기온과 유의한 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. OSK는 전년도 11월 평균기온, 전년도 10월 기온, 8월 기온과 유의한 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며, HDK는 전년도 11월 기

Table 2. Chronology statistics of individual chronologies

Mt. Species	Chron. ID*[1]	Period (years)	Mean sensitivity	Mean correlation Period (years)	Among all radii	Between trees	Within trees	SNR*[2]	EPS*[3]
Sorak Korean Pines	HCK	1657~1998 (342)	0.174	1900~1990 (91)	0.285	0.281	0.542	15.23	0.94
	OSK	1762~1998 (237)	0.171	1900~1990 (91)	0.273	0.258	0.514	3.13	0.76
	HUK	1783~1998 (216)	0.184	1900~1990 (91)	0.306	0.295	0.492	4.12	0.80
	HDK	1737~1998 (263)	0.168	1900~1990 (91)	0.290	0.279	0.582	6.58	0.87
Sorak Red Pines	BJD	1858~1998 (141)	0.179	1954~1998 (45)	0.338	0.326	0.553	4.35	0.81
	BSD	1728~1998 (271)	0.151	1929~1996 (68)	0.262	0.254	0.522	6.81	0.87
	OSD	1694~1998 (305)	0.173	1900~1998 (99)	0.359	0.354	0.529	11.51	0.92
	KSD	1764~1998 (235)	0.248	1900~1998 (99)	0.471	0.449	0.562	2.44	0.71
	CSD	1667~1998 (332)	0.189	1900~1998 (99)	0.357	0.344	0.578	5.77	0.85
	DUD	1746~1998 (253)	0.241	1900~1998 (99)	0.437	0.427	0.697	12.79	0.93
	DMD	1682~1998 (317)	0.230	1900~1998 (99)	0.445	0.439	0.628	14.09	0.93
Sobaek Yews	BRT	1766~1990 (225)	0.217	1911~1981 (71)	0.183	0.173	0.583	2.92	0.75

*[1] See Table 1 for chronology identification; *[2] EPS: expressed population signal; *[3] SNR: signal-to-noise ratio.

온, 전년도 10월 기온, 1월 기온과 양의 상관관계를 보였다. 결과적으로 설악산 잣나무는 대부분 월 기온과는 양의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.

설악산 소나무는 BSD, OSD, CSD, DUD, DMD 지역에서 채취된 시료가 기온과 유의한 상관관계를 보였다. BSD는 1월 기온과는 양의 상관관계를 가지며, 6월 기온과 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. OSD는 5월 기온과 유의한 음의 상관관계, 3월 기온과는 양의 상관관계를 가지며, CSD는 5월 기온과 유의한 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. DUD와 DMD는 모두 전년 10월 기온, 5월 기온, 6월 기온과 유의한 음의 상관관계 보였으며, DMD의 경우는 4월 평균기온과도 유의한 음의 상관관계를 나타내었다. 결과적으로 설악산 소나무는 연구지역에 따라 월 기온에 대하여 다

Table 3. Correlation coefficients between monthly mean temperatures variables and chronologies of all sites. Subscript p after month represents prior-growth year(*: p<0.05, **: p<0.01)

Mountains / *Species*		SEP T	AUG T	JUL T	JUN T	MAY T	APR T	MAR T	FEB T	JAN T	DECp T	NOVp T	OCTp T	SEPp T
Sorak	HCK	0.102	0.235**	0.185	0.127	0.039	0.084	0.299**	0.019	0.101	0.151	0.130	0.255**	0.038
	OSK	0.007	0.220**	0.175	0.130	0.148	0.093	0.202	0.012	0.077	0.122	0.222**	0.324**	0.098
Korean	HUK	-0.160	0.107	0.089	-0.045	-0.172	-0.059	0.136	0.046	0.088	0.100	0.193	0.161	-0.047
Pines	HDK	-0.055	0.116	-0.017	-0.114	-0.046	0.011	0.171	0.067	0.213**	0.088	0.261**	0.244**	0.171
	BJD	-0.099	-0.012	0.037	-0.124	-0.114	-0.009	0.020	0.177	0.010	0.002	-0.079	0.051	0.061
	BSD	-0.053	-0.048	-0.173	-0.264*	-0.153	-0.068	0.135	0.154	0.229*	0.164	-0.017	-0.008	0.064
Sorak	OSD	-0.141	-0.072	-0.012	-0.118	-0.335**	0.014	0.212*	0.184	0.117	0.081	0.005	-0.097	-0.088
	KSD	0.007	0.146	-0.011	-0.187	-0.186	-0.077	0.178	0.179	0.141	0.151	0.015	-0.042	0.041
Red	CSD	-0.074	0.126	0.009	-0.205	-0.263*	-0.026	0.084	0.088	0.197	0.061	-0.106	-0.115	-0.040
Pines	DUD	-0.190	-0.114	-0.198	-0.345**	-0.304**	-0.186	-0.071	-0.066	-0.120	0.003	-0.105	-0.224*	-0.027
	DMD	-0.206	-0.124	-0.210	-0.432**	-0.377**	-0.221*	-0.123	-0.054	-0.043	0.013	-0.098	-0.214*	-0.036
Sobaek *Yews*	BRT	0.101	0.053	0.184	0.027	0.156	0.252**	0.128	0.092	0.205	0.338**	0.212**	0.211**	0.003

소 다른 반응을 보였으나, 대체적으로 음의 상관관계를 나타냈으며, 저지대에 속하는 DUD와 DMD의 시료들이 가장 높은 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.

소백산 주목은 전년 9월 기온, 전년 10월 기온, 전년 11월 기온, 당년 4월 기온과 유의한 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났으며, 대체적으로 양의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 분석 결과 설악산 잣나무와 소백산 주목은 대체로 기온과 양의 상관관계를 보여 기온이 온난할 경우 생장이 양호해지는 것으로 나타났으며, 설악산 소나무는 기온과 음의 상관관계를 보여 기온이 온난할 경우 생장이 나빠지는 것으로 나타났다.

이상의 연륜생장과 기온과의 관계에서 아고산 수종인 잣나무와 주목은 기온이 높아지면 광합성이 활발해져 생장이 촉진되는 반면에, 저지대에 자라는 소나무의 경우는 기온이 높아지면 증발산이 증가되어 생장이 감소되는 것으로 해석된다(Park & Yadav, 1998; Park 등, 1999).

남방진동지수(SOI)와 연륜생장과의 관계

기온과 유의한 상관관계를 갖는 설악산 HDK, HCK, OSK 지역의 잣나무, BSD, OSD, CSD, DUD, DMD 지역의 소나무, 그리고 소백산 주목(BRT) 등의 연륜연대기와 월별 SOI과와 상관관계를 분석한 결과, 수종에 따라 그리고 지역에 따라 서로 다른 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(Table 4). 같은 연대기에서도 1866~1930년 구간에서의 SOI와 연륜지수와의 상관관계가 1931~1997년 구간에서의 상관관계와 일치하는 수종은 설악산 한계령 하부 잣나무 (HDK)와 설악산 백담산장 소나무 (BJD) 밖에 없었으며, 소백산 주목의 경우는 두 구간 모두에서 전혀 유의한 상관관계를 찾을 수 없었다.

HDK의 잣나무 연대기와 SOI와의 상관관계는 전체적으로 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 특히 4월 SOI와는 상관이 5% 수준에서 유의하였다. SOI의 추이와 수목 생장과의 관계를 살펴보기 위하여 SOI의 5개월 이동평균값과 상관관계를 분석한 결과 HDK의 잣나무에서 유의한 상관관계를 발견할 수 있었다. HDK 지역의 잣나무는 3월 SO지수, 4월 SO지수, 5월 SO지수, 6월 SO지수의 이동평균과 유의한 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었으며, 유의한 수준은 아니나 다

Table 4. The correlations between monthly SO index and chronology of each site(Subscript p after month represent prior-growth year)

Chronology	Periods	Mar_p	Apr_p	May_p	Jun_p	Jul_p	Aug_p	Sep_p	Oct_p	Nov_p	Dec_p	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HUK	1866~1930	○	○	●	●	○	●	●	●	·	○	●	●	○	○	●	●	●	●	●
	1931~1997	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	·	○	○	○	○	·	○	○
HDK	1866~1930	·	●	·	○	○	○	·	·	○	○	·	○	○	○	○	○	○	○	●
	1931~1997	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○*	○	○	○	○	○
HCK	1866~1930	○	·	●	●	·	●	○	○	○	○	●	○	○	·	●*	●	●	●	●
	1931~1997	○	●	●	○	●	○	○	·	○	○	●	●	○	○	○	○	●	●	○
OSK	1866~1930	○	●	●	●	●	●	○	·	●	○	●	○	·	●	●*	●	●	·	○
	1931~1997	○*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	·	○	○
BJD	1866~1930	●	●	●	○	●	●*	●*	●	●	●	●	·	○	○	·	·	●	●	●
	1931~1997	○	○	·	●	●	●*	●	●	●	●	·	●	●	○	·	○	●	●	○
BSD	1866~1930	●	●	●	●	●	●	●	·	●	●	●	○	○	○	·	●	●	●	●
	1931~1997	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	●	○	●	○	●	●	●
CSD	1866~1930	·	●	●	○	○*	○	○	·	○	○	○	○	○*	○*	○	○	○	○	●
	1931~1997	●	●	●	·	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	○	●	●	●
DMD	1866~1930	●	●	●	○	○	·	●	·	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●	●
	1931~1997	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	○	○	●	●	●
DUD	1866~1930	●	●	●	○	○	○	●	●	○	○	●	○	○	○	●	○	●	○	●
	1931~1997	○		●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	●	○	●	○	○
KSD	1866~1930	○	●	●	○	○*	○	○	○	○*	○*	○	○	○*	○*	○	○	○	○	●
	1931~1997	○		●	●	●	○	●	●	●		●	●	●	●	●	·	●	●	●
OSD	1866~1930	●	●	●		○	●	○	○	○	○	○	○*	○	○	●	·	●	●	●
	1931~1997	●	●	○	○	●	○	·	●	●	○	●	·	·	·	·	○	●	●	●
BRT	1866~1930	·	·	·	·	·	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○
	1931~1990	·	·	·	·	·	○	○	·	○	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○

● : Positive relationship, ○ : negative relationship, * : $P<0.05$; The sizes of circles represent the strength of correlation.

른 시기에서도 전체적으로 음의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다.

SOI는 Tahiti의 해면기압에서 호주의 Darwin 해면기압을 뺀 값으로 엘니뇨가 발생할 때에는 - 값이 커진다. 그러므로 수목의 생장이 SOI와 음의 상관관계를 갖는다는 것은 엘니뇨가 강한 때에 수목의 생장이 양호하다는 것을 의미하며, SOI와 양의 상관관계를 갖는다는 것은 수목의 생장이 나쁘다는 것을 의미한다. 그러므로 설악산 HDK의 잣나무가 SOI와 음의 상관관계를 갖는다는 것은 엘니뇨가 발생하는 해에 생장이 양호함을 의미하며, 특히 상관계수를 고려할 때, 봄철에 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 설악산 HDK 지역의 잣나무가 기온과 대체적으로 양의 상관관계를 갖는 것을 고려할 때 (Table 3), 엘니뇨의 발생이 한반도의 기온상승을 야기함을 연역할 수 있었다 (차은정 등, 1999).

설악산 백담산장 소나무 연대기(BJD)는 설악산 한계령 잣나무 (HDK)의 경우와는 달리 SOI와 대체로 양의 상관을 가졌다. 특히 BJD 연륜생장이 전년도 8월과 9월 SOI와 5% 수준에서 유의한 양의 상관을 가졌으며 전년도 7월부터 12월까지의 SOI와 지속적인 양의 상관을 유지하였다. BJD 연륜연대기와 SOI가 양의 상관관계를 갖는다는 것은 엘니뇨가 발생하는 해에 생장이 불량해짐을 의미한다. BJD 연륜생장과 기온과의 상관분석 결과 (Table 3)에서 유의한 상관을 갖는 기간(월)을 찾을 수는 없었으나 대체로 월기온과 부의 상관을 갖는 경향을 보여주었다. 즉 HDK 잣나무 연륜생장과 기온과의 상관이 정의 관계인 반면에 BJD 소나무의 경우는 부이기 때문에 SOI와 연륜생장과의 관계가 HDK와 BJD에서 서로 상반된 결과로 나온 것이다.

BJD의 연륜생장이 전년도 8월과 9월 SOI와 양의 상관을 갖는 것은 여름철에 발생한 봄 또는 여름에 발생한 엘니뇨가 우리나라의 겨울 기온에 영향을 준다는 결과(차은정 등, 1999)로 비추어, 두 가지 종류의 시차, 즉 엘니뇨 발생이 한반도 기후에 영향을 미치는 데 걸리는 기간과 기후가 수목생장에 영향을 미치는데 걸리는 기간 모두를 엘니뇨가 연륜생장에 미치는 영향을 분석할 때 고려해야 한다. 전자는 기후역학적으로 해석되어야 하며 후자는 수목생리적으로 해석되어야 한다. 정상적인 엘니뇨는 봄에 발생한다. 1953년부터 1996년까지 엘니뇨는 11번 발생하였는데 7번이 봄에, 2번이 여름에 2번이 가을에 시작되었다 (차은정 등, 1999). 한반도(남한)를 대상으로 한 연구 (차은정 등, 1999)에서, 엘니뇨 해의 한반도 여름철은 저온, 겨울철은 고온 경향이 뚜렷하며 강수량의 변화는 기온에 비하여 계절별 경향이 뚜렷하지 않았다고 하였다. 봄 또는 여름에 발생하는 엘니뇨가 여름 또는 겨울의 우리나라 기후에 영향을 주고, 여름 또는 겨울 기후(특히 기온)가 다음해 소나무 연륜생장에 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다. 소나무의 생육기간(대략적으로 5월부터 9월까지)의 기후조건이 연륜생장에 영향을 주지만 생육 전년도의 기후도 저장된 양분, 호르몬, 전년도 잎의 광합성 등을 통하여 연륜 생장에 영향을 미치는 것이 밝혀져 있다 (Fritts, 1976; Park & Yadav, 1998; Park 등, 1999).

이 연구에서 분석한 연륜연대기중 일부 지역의 수목만이 SOI와 유의한 상관을 보여준 것은 분석한 연구지가 제한되어 있기 때문에 그 해석이 아직은 어렵다. 다만 특기할 만한 사실은 잣나무의 경우나 소나무의 경우 모두 고지대에 자라는 것보다 저지대에 자라는 것에서만 연륜생장이 SOI와 관계가 있었다. 잣나무의 연구지는 해발 1,300 m에서 1,600 m까지 분포하였는데 1,300 m에 위치한 설악산 한계령의 HDK에서만 SOI와 유의한 상관을 보여 주었다. 설악산 한계령에서 해발 1,300 m이면 잣나무 분포의 하한 고도가 된다. 소나무의 경우에는 연구지가 해발 400 m에서 900 m까지 분포하였는데 400 m에 위치한 설악산 백담산장의 BJD에서만 SOI와 유의한 상관을 보여 주었다. 생육고도에 따른 수목생육과 엘니뇨와의 상관성 해석을 위해서는 앞으로 더 많은 지역의 연륜을 분석해야 할 것이다. 이번 연구의 결과는 엘니뇨가 우리나라 수목 생장과 산림생태에 미치는

영향을 예측하는데 이용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 밝혀진 수목(연륜)생장과 엘니뇨와의 상관관계를 이용하여 관측 이전의 엘니뇨 발생을 연륜으로부터 복원할 수도 있을 것이다.

참고문헌

김정우. 1998. 지구온난화와 엘니뇨. 기후변화에 관한 심포지움 Proceedings. 세종문화회관, 기상연구소, pp.1-12.

임규호. 1997. 측우기관측에 나타난 서울의 겨울철 강우량과 한반도 기후. 동아시아 연륜해석 워크숍 Proceedings (박원규 편), 충북대 농업과학기술연구소, pp.23-28.

차은정, 전종갑, 정효상. 1999. 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구. 한국기상학회지 35, 98-117.

D'Arrigo, R. D. and Jacoby, G. C. 1991. A 1000-year record of winter precipitation from northwestern New Mexico, USA: reconstruction from tree rings and its relation to EL Nino and the Southern Oscillation. *The Holocene*, 1(2), 95-101.

D'Arrigo, R. D. and Jacoby, G. C. 1994. Progress in dendroclimatic studies in Indonesia. *TAO*, 5(3), 349-363.

Fritts, H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press Inc. (London) Ltd. pp.567.

Holmes, R. L. 1990. *Tree-ring library programs* and manuals. Lab. of Tree-Ring Research, Univ. of Arizona.

Park, W.-K. and Yadav, R. R. 1998. Reconstruction of May precipitation (A. D. 1731~1995) in wet-central Korea from tree rings of Korean red pine. *J. of Korean Meteor. Soc.*, 34(3), 460-465.

Park, W. -K., Yadav, R. R. and Ovchinnikov, D. 1999. Influence of climatic factors on the radial growth of *Pinus densiflora* from Mt. Sogni in central Korea. In Tree Ring Analysis (CAB International Pub. Co.), 287-297.

Schweingruber, F. H. 1988. Tree Rings: Basic and Applications of Dendrochronology. D. Reidel Pub. Co., Dordrecht, Holland. 276pp.

Stahle, D. W. and Cleaveland, M. K. 1993. Southern Oscillation extremes reconstructed from tree rings of the Sierra Madre and Southern Great Plains. *J. Climate*, 6, 129-140.

Woodhouse, C. A. 1993. Tree growth response to ENSO event in the central Colorado Front Range. *Physical Geography*, 14, 417-435.

(Accepted: April 12, 2001)