한국환경생태학회지 16(1) : 1~9, 2002
Kor. J. Env. Eco. 16(1) : 1~9, 2002

광양만 임해매립지의 곰솔 이식 이후의 연륜생장 특성[1]

김도균[2] · 박원규[3] · 서정욱[4]

Tree-Ring Growth Characteristics of *Pinus thunbergii* Parl. after Replanting on the Reclaimed Land from the Sea in Gwangyang Bay[1]

Do-Gyun Kim[2], Won-Kyu Park[3], Jeong-Wook Seo[4]

요 약

본 연구는 광양만 임해매립지의 곰솔 식재 이후 연륜생장에 영향을 미치는 식재환경과 기후요인을 조사 · 분석하였다. 임해매립지의 곰솔 식재 이후에 수목의 이식과 가뭄에 의하여 연륜생장이 급감소하였다. 수목이식에 의한 연륜생장의 급감소는 모든 지반들에서 유사하게 나타났다. 가뭄에 의한 연륜생장의 감소는 토양경도가 높은 식재지반에서 급격하게 감소하였으나 성토지역에서는 감소 현상이 크지 않았다. 이식에 의한 연륜생장 급감소 이후에 토양경도가 높은 지반들에서는 생장회복이 저조하였으나 성토지역에서는 빠르게 생장이 회복되었다. 연륜생장의 평균민감도와 상대적 변이계수는 토양경도가 높은 지반들이 성토지반들보다 높게 나타났다. 이것은 토양환경이 불량한 지반일수록 외부적 환경변화에 대하여 불안정적으로 생장하는 것으로 해석되었다. 이상의 결과를 요약하면, 곰솔의 연륜생장은 이식과 가뭄에 대하여 성토지반에서는 수목 자체적으로도 양호하게 생장을 하지만 토양경도가 높은 지역에서는 생장이 불량하였다. 따라서, 외부적 환경변화에도 수목 자체적으로 적응할 수 있는 식재 및 유지관리 방법이 모색되어져야 할 것으로 사료되었다.

주요어 : 가뭄, 식재지반, 연륜연대학, 염류토양, 유지관리

ABSTRACT

This study was carried out to examine the tree-ring growth characteristics of *Pinus thunbergii* Parl. after replanting on the reclaimed land from the sea in Kwangyang bay. The factors, mostly affecting the growths of *Pinus thunbergii* Parl., were the replanting stress and drought. The growth reduction due to replanting occurred in the replanting year and following year, but that due to drought after 2~3 years of replanting. The growth recovery after replanting differed with soil condition. The sites showing fast recovery were the covered ground of improve soil, the ground of medium mounding, the top and the slope ground of big

1 접수 9월 26일 Received on Sept. 26, 2001
2 영남대학교 대학원 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Yeungnam Univ., Kyeongsan, Korea.
3 충북대학교 산림과학부 School of Forest Resources, Chungbuk Nat'l Univ., Cheong-ju, Korea.
4 독일 함부르크대학교 목재생물연구소 Institute for Wood Biology, Univ., of Hamburg, Germany

mounding sites. The filled ground of improve soil and the lower ground of big mounding sites showed retarded growths. The mean sensitivity(year-to-year variation) and the coefficient of variation(tree-to-tree variation in a certain year) in tree rings of *Pinus thunbergii* Parl. were higher in the poor soil sites than in the favourable soil ones. The physical characteristics of the soil, especially soil hardness, were the most crucial. The mean sensitivity and the coefficient of variation were also low in the salty soil environment.

KEY WORDS : DROUGHT, PLANTING GROUND, DENDROCHRONOLOGY, SALTY SOIL, MAINTENANCE

서 론

우리 나라는 1960년대 이후 임해매립지가 증가되어 왔으며, 열악한 환경을 개선하기 위하여 임해매립지의 조경수목 식재가 점차적으로 증가하고 있다. 그러나 인위적으로 식재한 조경수목은 식재 이후에 활력이 낮아지고 부적응하거나 고사하는 경우가 많다. 이러한 현상은 수목 이식에 의한 '생장 충격'(Schweingruber, 1996), 정기 또는 부정기적으로 발생하는 가뭄과 같은 기상이변(김용식 등, 1999), 바닷물에 의한 염분(本間啓, 1973)과 지반조성 과정에 따른 토양교란이 조경수목 생장에 불리하기 때문이다(김도균 등, 2001)이다.

식물생육환경이 불리한 임해매립지에서 조경수목이 생리 · 생태학적으로 안정된 생육을 하려면 이에 적합한 식재방법과 유지관리방법이 적용되어야 하지만 (김도균, 2000), 우리 나라는 임해매립의 조경식재 역사가 짧아서 참고로 할 수 있는 자료를 찾아보기 어렵다.

임해매립지에서 조경수목이 생태적으로 안정된 생육을 할 수 있는 방법으로 식재하고 유지관리를 하기 위해서는 '어떤 환경요인이 조경수목 생장에 지대한 영향을 미치는가?'에 대한 기초연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

수목의 생장을 분석하는 여러 가지 방법 중에서 연륜생장분석 방법은 기후, 토양, 지형, 인위적 간섭 등과 같은 외부 환경인자가 수목생장에 미치는 영향을 분석하는데 많은 정보를 제공할 수 있으므로 (Fritz, 1976) 임해매립지 조경수목의 생장특성을 구명하는데 매우 유용한 방법이라고 사료된다.

따라서 본 연구는 광양만 임해매립지에서 연륜연대학적 방법을 통하여 곰솔을 대상으로 하여 식재 이후 연륜생장의 특성을 조사 및 분석하여 그 생장변화에 영향을 미치는 환경인자를 파악하는데 그 목적이 있다. 이 연구의 수행으로 임해매립지 조경수목 식재와 유지관리 방법을 개선할 수 있는 지식을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

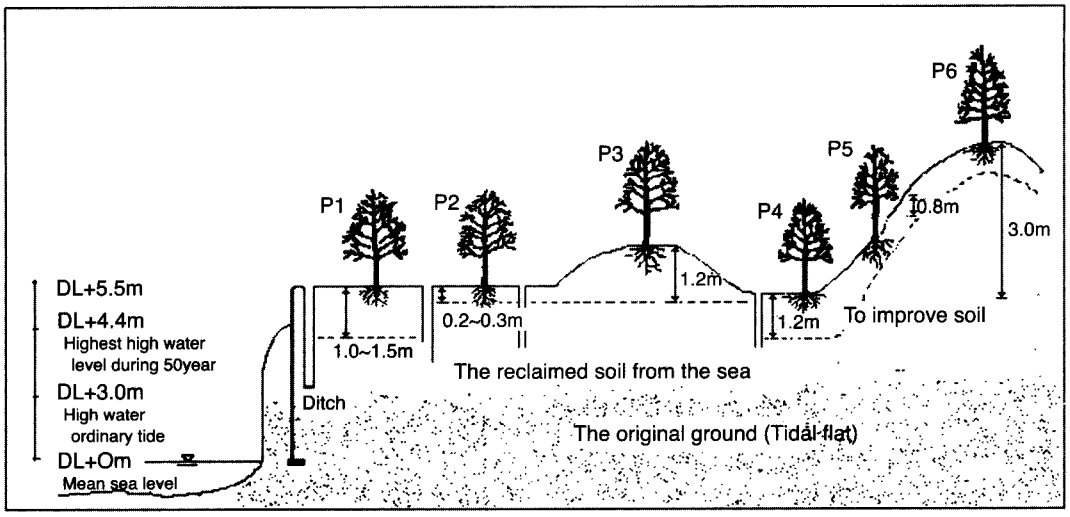
1. 조사지 개황

조사 대상지는 전라남도 광양시 금호동 임해매립지 녹지대로서 매립지반의 높이는 DL(DL : development level)+5.0~5.5m이며, 1982년부터 1989년 사이에 조성되었다(포항종합제철주식회사, 1993).

조사지의 구분은 식재지반의 높이, 객토의 양, 식재의 위치에 따라 크게 객토매립지역, 객토피복지역, 중성토지역, 대성토지역으로 구분하였으며, 대성토지역은 다시 식재 위치에 따라 가장자리, 사면부, 정상부로 세분하였다(Figure 1).

식재지반 유형별 지반조성 형태는 바다 개펄을 매립한 준설토의 원기반 위에 객토매립지역(P1, Figure 1)의 경우는 객토가 PL-120㎝(PL : planting level)이하로 매립되어 있고, 객토피복지역(P2)은 준설토 위에 객토를 PL+20~30㎝로 피복한 지역이며, 중성토지역(P3)은 객토로 1.2m로 성토되어 있다. 대성토지역(P4)은 준설토로 PL+2.0~3.0m 정도로 성토한 그 위에 객토를 PL+0.8~1.2m 정도 덧씌우기 되어 있다.

각 식재지반별 토양환경의 특성은 객토매립지역(P1)의 경우에는 지하 15㎝ 이하에 토양경도가 27㎜ 이상 높게 나타나며, pH 7.5, Na 0.807me/ 100g으로 높고, 토양함수량은 5.364%로 낮은 편이다. 객토피복지역(P2)은 양질사토(LS: loamy sand)이며, 지하 25~40㎝에 토양경도가 27㎜ 이상 높게 분포하고, pH 7.5, ECe 1.5dS/m, Na 0.810me/100g이상 높게 불균질한 분포를 하고 있으며, 토양함수량은



P1: The filled ground of improve soil, P2: The covered ground of improve soil, P3: The ground of medium mounding, P4: The lower ground of big mounding, P5: The slope ground of big mounding, P6: The top ground of big mounding

Figure 1. The ground types for planting in study area

4.8%로 다른 식재지반에 비하여 상대적으로 가장 낮은 준설토가 지하 35㎝ 이하에 분포하여 있는 임해매립지 식재지반의 전형적인 토양환경이다. 중성토지역(P3)은 K가 3.667me /100g 높으며, 대성토하부(P4)는 지하 25~40㎝ 부분의 토양경도가 27㎜,로 높으며, pH 7.5 정도이다. 대성토사면(P5)과 정상부(P6)는 유기물의 집적은 낮으나 산토가 많고, 토양의 물리 · 화학적 성질이 교란되지 않아서 조경수목 생육상 유리한 토양환경이다(김도균, 2001; 김도균 등, 2001).

2. 재료

조사대상 수목은 한국의 임해매립지에서 가장 많이 식재하고 있는 곰솔을 선정하였다. 식재 시기는 객토피복지역의 경우 1989년 12월 31일이고, 나머지 지역들은 1991년 6월 17일부터 7월 5일 사이에 각 지역별로 군식(random planting)되어 있으며 유지관리는 자연상태로 관리하여 왔다.

3. 조사 및 분석 방법

수목생장에 영향을 미치는 외부적 환경요인 조사는 기후, 식재 및 유지관리 현황 그리고 토양환경을 조사하였다. 기후자료는 연평균기온과 연평균강수량은 1989~1998년까지는 광양제철소의 자료를 이용하였으며, 연평균증발산량과 장기 가뭄발생 빈도분석은 여수기상대의 1943~1988년까지의 자료를 이용하였다. 식재 및 유지관리 현황은 식재 당시의 준공도와 작업일지 그리고 유지관리 현황 등을 조사하였다.

연륜 측정용 곰솔의 시편의 채취는 각 식재지반에서 곰솔을 표준목법으로 5본씩을 선정하고, 직경 0.5cm의 생장추를 이용하여 지상으로부터 30cm 상부에서 髓에 접근하도록 남북방향으로 채취하였다.

연륜폭의 측정은 캐나다 Regent Instruments사의 WinDENRO^{tm} Teen Scanner를 이용하였으며, scanner가 연륜을 제대로 인식하지 못할 경우에는 Velmex사의 연륜폭 측정기를 이용하여 재측정하였으며, 적량범위는 0.01㎜이다.

연륜 측정 이후, 상호교차연대법(cross dating)으로 위연륜(false ring)과 실연륜(missing ring)을 찾아내고, 알고 있는 기준연대를 이용하여 각 연륜에 정확한 생육연대를 부여하였다. 상호교차연대법에서는 좁은 연륜을 이용하여 막대 그래프를 그리는 골격도법(skeleton plot)을 사용(Baillie and Pilcher, 1973; Holmes *et al*, 1986)하였다.

분석방법으로 산술평균, 표준편차, 평균민감도, 이질성분석과 그래프 비교 방법이 사용하였다. 산술평균(arithmetic mean)은 표본의 특성을 파악하기

위하여 각 임목 연륜폭의 산술평균을 구하였다. 산술평균으로 개별 임목들 간의 연륜생장 차이를 비교하였다.

평균민감도(mean sensitivity)는 일정지역에 자라고 있던 개별적 수목의 생장이 환경변화에 대하여 어떻게 변화되는지를 평가하기 위하여 분석을 하였다. 평균민감도는 생장 연대계열(series) 속에서 연속된 두 연륜폭간의 변이의 크기, 즉 고주파 변동(high-frequency fluctuation)을 측정하는 것으로(Fritz, 1976) 각 연대기들이 갖는 연간 변동의 크기를 상대적으로 비교하였다. 평균민감도의 공식은 아래의 식-1과 같다.

$$MSx = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^{N-1} \left| \frac{2(X_{t+1}-X_t)}{X_{t+1}+X_t} \right| \qquad \text{식-1}$$

X_t = t 년도의 연륜폭 지수
X_{t+1} = t+1 년도의 연륜폭 지수

이질성(heterogeneity) 분석은 수집 자료간(즉 임목간)의 생장 불균일성을 알아보기 위하여 각 연도별로 표준편차를 평균으로 나누어 상대적변이계수(CRV: coefficient of relative variation)를 구하였다. CRV는 임목간 연륜생장의 이질성을 측정하는 척도로서 산술평균에 대한 개별자료들의 평균적 분산정도를 나타낸다. 이질성 분석의 공식은 식-2와 같다.

$$CRV = S_t/M_t \times 100\ (\%) \qquad \text{식-2}$$

S_t = 한 site에 자라는 임목들의 t년도 연륜폭 표준편차
M_t = 한 site에 자라는 임목들의 t년도 연륜폭 평균

연 구 결 과

1. 기후분석

광양만 지역의 1989년부터 1998년까지의 10년 동안 기후 특성은 Figure 3과 같다. 이 시기의 연평균강우량은 129.2㎜이었으며, 인근 여수측후소의 30년 연평균강우량 1,413.3㎜(이경재 등, 1997)에 비하여 적었다. 특히, 1994년, 1995년 그리고 1996년에는 연평균강우량이 각각 743.5㎜, 934㎜, 1,014㎜로 30년 연평균강우량에 비하여 각각 52%, 66%, 71.8%정도 적었다. 이 지방의 연평균강우량이 1,000㎜ 이하인 가뭄발생 빈도는 여수측후소의 1943년부터 1998년까지 자료를 분석한 결과에서 10년마다 1회 정도 발생하는 것으로 나타났다.

연평균증발산량은 1382.4㎜로 연평균강우량 129.2㎜보다 다소 높았으며, 1994~1996년의 3년 동안의 가뭄기에는 연평균증발량이 1,429.4㎜로 연평균강우량 894.3㎜보다 높았다. 연평균기온은 15.0℃이었으며, 가뭄이 심하였던 1994년에는 15.6℃로 평년보다 0.6℃ 더 높게 나타났다.

2. 수령분석

각 조사지역별 수령분석을 실시한 결과 객토피복지역(P2)은 13~15년이었으나, 나머지 5개 지역은 9~11년으로 식재지역별로 수령의 차이가 있었다. 시료 채취가 지상 30cm부근에서 실시되었고, 수(髓, pith) 부분에서 자주 관찰되는 수지 때문에 연륜 관찰이 곤란한 점을 감안하면 실제 수령은 현재 관찰된 것보다 1~3년 더 추가되어야 할 것으로 판단된다. 연륜생장 패턴과 수령이 각 지역별로 다르게 나타나는 것은 식재지반별로 묘목의 크기와 이식시기가 다르기 때문이다.

3. 식재지반별 연륜생장량

6개 식재지반 유형의 연평균 연륜생장량은 식재지반별로 차이가 있었다. 연평균 연륜생장량의 크기는 중성토지역〉대성토정상〉대성토사면부〉대성토가장자리〉객토피복지역〉객토매립지역 순으로 각각 3.4, 3.4, 3.2, 2.7, 2.4, 1.4㎜이었다. 즉, 성토지역은 생장량이 크고, 객토피복지역 그리고 대성토가장자리는 생장량이 양호한 편이었으며, 객토매립지역은 생장량이 매우 저조하였다.

4. 식재지반별 대표연대기 연륜생장의 특성

연륜의 산술평균 값에 의한 각 식재지반별 대표연대기의 경년 변화 비교 결과에서 연륜생장은 식재지반별로 매우 가변적으로 나타났다(Figure 4). 연륜생장이 급격히 감소한 것은 P2의 지반은 3회이었으며, 나머지 지반들은 2회이었다.

객토매립지역(P1), 중성토지역(P3), 대성토하부

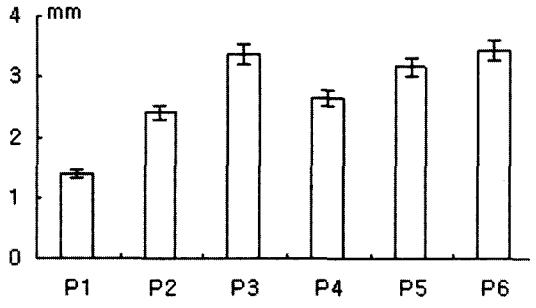


Figure 2. The average growth of annual rings at each sites in study area during the year 1991~1998 except for P2(1989~1998)

(P4), 대성토사면부(P5)와 대성토정상부(P6) 지역에서 1991년과 1992년에 연륜생장이 급감소한 것은 1991년 6월에 이식한 것과 관련이 있다. 또한, 객토피복지역(P2)에서 1990년에 급감소한 것은 1989년 12월에 이식한 것과 1994년에 연륜생장이 급감소한 것은 1993년에 재이식한 것과 관계가 있다. 이것은 곰솔의 이식에 의하여 연륜생장이 급감소하는 것을 의미하는 것이며, 이식에 의한 연륜생장의 급감소 현상은 식재 당해년부터 이듬해까지 나타나는 것을 의미한다.

연륜생장의 급감소 현상이 P2지역에서 1996년과 1997년에 급감소하고 나머지 지반들에서 1994부터 ~1996년까지 3년 동안에 급감소한 것은 1994년부터 1996년까지 가뭄이 발생 2~3년 이후에(Figure 3) 나타난 것들이다.

곰솔의 연륜생장 급감소 이후에 수세회복의 정도는 성토지역인 P3, P5와 P6지반은 이식과 가뭄 발생 이후에도 양호하였다. 식재지반의 높이가 낮은 P1과 P4지반은 수목이식 이후에는 수세회복이 매우 저조하지만 가뭄 발생 이후에는 성장량이 높아질 것으로 예상된다. P2지반의 수세회복은 수목 이식 이후에는 양호하였으며, 1993년의 재이식에 의한 연륜생장의 감소현상이 중복되어 가뭄 발생 이후의 수세회복 정도를 정확하게 분석할 수 없었으나 장차적으로 다른 지반에 비하여 상대적으로 저조하게 생장될 것으로 예상되었다.

5. 생장 평균민감도

연속된 두 연륜간 변이를 나타내는 연륜생장 평균민감도는 0.549로 높게 나타났다(Table 1).

식재지역별 생장 평균민감도는 P1>P2>P4>P3>P6>P5 순으로 각각 0.695, 0.605, 0.578, 0.480, 0.477과 0.464 이었다. 이것은 식재지반의 높이가 낮은 지역에서 평균민감도가 높고, 성토지역에서는 낮은 것이다.

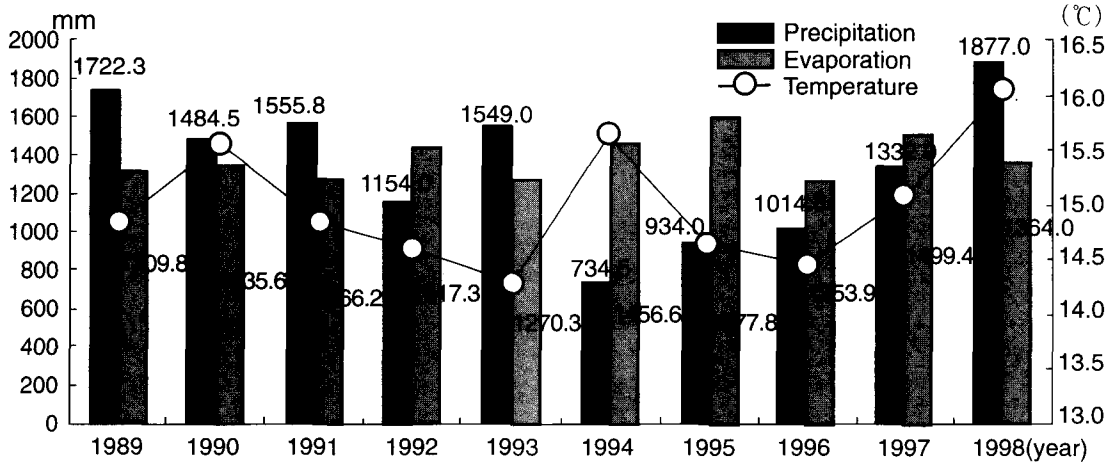


Figure 3. Mean yearly temperature, precipitation and evaporation during 1990~1998 for the station located in Kwangyang Iron and Steel Works(temperature and precipitation) and Yeosu station(evaporation), Korea

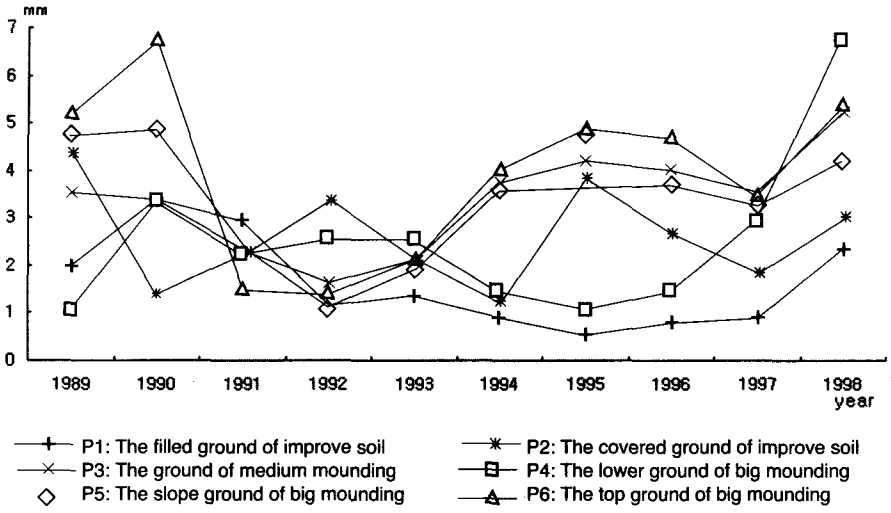


Figure 4. Annual-growth trends in six different planting ground sites(Plantation at P2 was in December 1989 and partial replacement in 1993, at others in June~July 1991)

Table 1. The mean sensitivities of each planting site

Sites	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Mean sensitivity	0.695	0.605	0.480	0.578	0.464	0.477
Overall mean			0.549			

6. 연륜의 이질성 분석

곰솔의 개체내 남북 두 방향간 연륜 생장의 차이는 t-test 분석 결과 유의수준 5%에서 유의성이 인정되지 않았다.

표본지역에서 수집한 자료들 간의 이질성(heterogeneity)을 나타내는 이식 이후의 상대적 변이계수(CRV: coefficient of relative variation)는 38.1이었다(Table 2).

CRV의 변동은 식재 당해년(1991년)과 이듬해(1992년) 그리고 가뭄 발생 당해년(1994)과 이듬해(1995)에 42.1~54.7로 평년의 15.7~39.9보다 더 높은 것으로 나타났다.

식재지반별 연륜 생장의 CRV 계수의 크기는 P1〉P2〉P4〉P3〉P6〉P5 순으로 각각 52.8, 41.3, 39.8, 31.2, 28.3으로 평균민감도의 순서와 일치하였다.

Table 2. The heterogeneity analysis by sites(CRV: coefficient of relative variation for each year)

(Unit: %)

Site	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Average
P1				25.4	24.7	40.9	68.3	56.6	80.4	83.1	54.1	29.7	64.8	52.8
P2	15.7	28.7	54.8	37.1	29.0	75.3	40.7	28.6	52.7	40.8	33.0	53.0	47.6	41.3
P3			12.7	21.6	37.4	52.1	37.0	48.4	63.0	37.1	23.6	28.8	31.1	35.7
P4					25.3	40.1	40.0	37.3	79.2	61.3	36.4	15.5	23.2	39.8
P5				7.6	20.9	41.9	25.9	22.7	27.2	45.2	51.1	14.6	25.3	28.2
P6				8.0	41.3	14.2	40.9	41.3	25.6	28.5	26.8	37.9	47.5	31.2
Average	15.7	28.7	33.8	19.9	29.8	44.1	42.1	39.1	54.7	49.3	37.5	29.9	39.9	38.2

고 찰

광양만의 연평균강수량은 1,413mm 이지만 1,000mm 이하의 가뭄의 발생은 10년에 1회 정도로 발생하는 것으로 분석되었다. 연평균강수량이 1,000mm 이하이면 인공적으로 조성된 임해매립지의 조경수목은 토양의 수분이 부족하여 잎이 시들거나 고사하는 경우가 많다. 가뭄이 발생되면 조경수목의 생장에 필요한 토양수분 공급을 위하여 인위적으로 관수를 하지만 1994년과 2001년의 경우처럼 가뭄이 심한 때일수록 급수원의 물이 부족하여 관수를 할 수 없게 되어 수목은 치명적인 손상을 입게되는 경우가 많다. 그러므로 심한 가뭄이 발생하여도 수목 스스로 생존할 수 있는 식재 및 유지관리 방법의 개발이 필요하다.

임해매립지에 식재한 곰솔의 이식 이후에 연평균 연륜생장량이 식재지반별로 차이가 있는 것은 이식과 가뭄에 의한 생장 스트레스 강도가 각각의 식재지반별 토양환경적 특성에 따라 다르게 반응하였기 때문이다.

P1에서 연륜생장이 가장 저조한 것은 토양환경이 지하 15㎝ 이하에서 토양경도가 27mm 이상 높고 토양의 유효토심이 낮아서(김도균, 2001; 김도균 등, 2001) 뿌리발달이 매우 불량하여(김도균과 곽영세, 2002) 연륜의 생장량이 매우 저조하였다. 토양경도가 높으면 뿌리의 발달이 저해되고, 유효토심이 낮으면 가뭄과 이상기온 등의 외부적 환경변화에 잔뿌리가 고사하여 생산과 생장이 저하되므로(곽영세, 1993; 김도균과 곽영세, 2002) 연륜의 생장량이 낮아지기 때문이다.

P2지반의 연평균 연륜생장량이 저조한 것은 재이식(1993년)에 의한 스트레스가 가중되었기 때문에 토양환경에 따른 영향을 정확하게 규명할 수는 없었다. P2지반은 토양환경이 모래함량이 87.5% 정도 많은 양질사토(LS), 토양함수량이 4.8%로 매우 낮고, Na 0.810me/100g의 염류토양이며, 유기물이 낮다(김도균, 2001; 김도균 등, 2001). 이러한 토양환경에서 곰솔의 이식(1989년)과 재이식(1993년)에 의한 수세회복이 성토지역과 유사하게 양호하였던 것으로 보아 토양염류가 높은 준설토에서 지반에서도 적응하는 것을 의미하며, 이것은 곰솔이 생태적으로 내염성이 강하기 때문으로 생각된다.

P4지반에서 곰솔이 연평균 연륜생장이 저조한 것은 토양경도가 지하 25~40㎝ 층에 토양경도가 27mm 이상 높아서 식재 이후 초기의 잔뿌리 발달이 저해되어(김도균과 곽영세, 2002) 연륜생장이 저조한 것으로 생각된다. 초기에는 P1의 경우처럼 토양경도가 높고 유효토심이 얕아서 뿌리생장이 저해되어 연륜생장량이 저조하였지만 1996년 이후에 후기 생장 회복력이 강한 것은 뿌리가 지하 45㎝에 활착 하였기 때문이다(김도균과 곽영세, 2002).

P3, P5, P6지반은 객토로 성토한 지역으로서 토양의 물리 · 화학적 성질이 좋기 때문에 곰솔의 이식과 가뭄에도 잘 적응하며 수세회복도 다른 지반에 비하여 빠른 것으로 판단되었다.

이와 같이 곰솔 식재 이후에 이식과 가뭄에 의하여 연륜생장이 급감소 하였으며, 생장의 패턴은 후술하는 바와 같이 식재지반의 토양환경에 따라 차이가 있었다.

이식에 의한 연륜생장의 급감소 현상은 모든 식재지반에서 유사하게 발생하였고, 가뭄 발생 이후에는 성토지역에서는 심하게 감소하지 않았지만 토양의 물리적 환경이 불량한 식재지반에서는 생장이 크게 저해되었다. 이것은 수목의 생장이 토양환경이 양호한 성토지역에서는 심한 가뭄이 발생하여도 생태적으로 안정적인 생장을 하지만, 토양환경이 불량한 지반은 수목의 생장이 매우 불리하였던 것으로 생각된다.

수목 이식 이후 연륜생장이 급감소한 것은 생육환경의 급변화, 뿌리의 절단(schweingruber, 1996), 수목의 운반, 식재의 지연, 전지 및 전정 등의 식재과정에 발생하는 이식스트레스 때문이다. 침엽수들은 한정생장을 하기 때문에(이경준, 1995), 수목 이식 이후 메타세콰이야(Reymann and MacCarthaigh, 1989)와 적송(김태진과 변우혁, 1990)과 같은 수목은 이식 이듬해에 연륜생장이 급감소 하였다. 본 조사지역에서 P1, P3, P4, P5, P6지반의 연륜생장이 이식 당해년과 이듬해에 급감소한 것으로 나타난 것은 연륜의 비대 생장이 가장 왕성한 시기인 6월 중순에 이식하여 이식에 의한 생장충격이 당해년부터 이듬해까지 영향을 미쳤기 때문으로 보인다. 이식에 의한 연륜생장 감소 이후에 수세회복은 토양경도가 높은 지역에서는 뿌리발달이 불량하여(김도균과 곽영세, 2002) 연륜생장이 저조하며, 성토지역에서는 토양환경이 양호하여 뿌리가 안정적으로 지속적인 생장을 하므로(김도균과 곽영세, 2002) 연륜생장이 빠르게 진행된 것으로 보인다. P2지반에서 재이식에 의한 제2차 연륜생장 급감소 이후에 수세회복이 제1차 이식에 의한 연륜생장 급감소 때 보다 1년 더 빠르게 진행되었던 것은

제1차 이식에 의한 잔뿌리의 발생 등으로 이식에 대한 적응성이 강화되었기 때문으로 생각된다.

조사지역의 곰솔의 연륜생장이 가뭄발생 후 1~2년 이후에 급감소하는 것은 산림지역을 대상으로 연구한 결과(박원규, 1997; 서정욱, 1999)와 일치하였다. 가뭄 발생 후 연륜생장이 감소하는 것은 가뭄에 의하여 수분 부족으로 수목의 광합성 량이 감소하여 형성층의 성장률이 직 · 간접적으로 낮아지는 것이 시간의 간격을 두고 나타나기 때문이다(박원규, 1997). 이 처럼 수목의 이식과 가뭄 발생 이후에 연륜의 생장이 연차적으로 감소하는 것은 특정 연도의 성장이 해당 연도(t)와 그 전년과 그 이전 연도(t-1, t-2 ...)의 기후와 환경에 의해 영향을 받기 때문이다(최종남 등, 1992).

연륜생장 평균민감도가 높은 것은 연륜의 고주파 변동, 즉 연도별 변이를 포함하고 있어 환경적 요인에 따른 생장 반응이 크게 나타나고 있음을 시사하는 것으로(Schweingruber, 1987) 생육환경 변화에 어떤 형태로든 토양환경에 따라 연륜생장이 민감하게 반응하였음을 알 수 있다. 연륜생장 평균민감도가 식재지반의 높이가 낮은 지역에서 높고 성토지역에서 낮은 것은 식재지반이 낮은 지역이 성토지역보다 생육환경 변화에 민감하게 반응한 것을 의미한다.

연륜생장이 개체 내에서 남북 두 방향간의 생장차이가 없는 것은 시료가 어린 묘목으로써 남북 두 방향간의 생장차이가 크지 않고, 이식시 생장방향이 묘포장의 방향과 다르게 식재 되었기 때문에 두 방향간 생장 차이가 상쇄되었기 때문일 것이다.

개체(임목)간의 생장차이를 나타내 주는 CRV(coefficient of relative variation)의 변동이 평년보다 식재 당해년과 이듬해 그리고 가뭄 발생 당해년과 이듬해에 더 높게 나타나는 것은 수목 생장에 지장을 초래하는 환경요인이 발생하였을 때에는 평상시 보다 CRV의 계수가 높아지기 때문이다.

또한 이러한 현상으로 보아 곰솔의 연륜생장은 이식과 가뭄에 대하여 생태적 적응력이 개체간에 차이가 큰 것으로 보인다.

평균민감도와 CRV가 P1과 P4에서 높은 것은 토양의 물리적 환경이 불량하기 때문이며, P2에서 높은 것은 재이식에 의한 생장변화가 크기 때문이고, 객토로 1.2m이상 높게 성토된 P3와 P5 그리고 P6에서 낮은 것은 비교적 토양환경이 양호한 지역(김도균, 2001)이기 때문으로 생각된다.

이상의 내용은 임해매립지 조경수목의 생장변화는 이식충격과 가뭄 스트레스 그리고 토양환경이 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 수목의 생장에 있어서 환경변화에 대하여 토양환경이 양호한 성토지반에서는 생장이 양호하지만 토양환경이 불량한 지반에서는 수목의 생장이 매우 민감하게 가변적임을 시사하는 것이다.

따라서, 조경수목의 생장에 악영향을 미치는 여러 가지 외부적 환경변화에도 수목 생리 · 생태적으로 안정된 생장을 할 수 있는 식재방법 및 유지관리 방법이 모색되어야 할 것으로 사료되었다.

인 용 문 헌

김도균(2000) 임해매립지의 조경수목 생육 특성-광양만의 곰솔과 느티나무를 중심으로. 영남대학교 대학원 박사학위논문, 2~7쪽.

김도균(2001) 임해매립지 식재지반별 토양환경 특성. 한국환경복원녹화기술학회지(인쇄중).

김도균, 김용식, 김민수, 오구균(2001) 광양만 임해매립지 곰솔 식재지역 토양환경의 수직적 특성. 환경생태학회지 15(2): 186-192.

김도균, 곽영세(2002) 임해매립지 곰솔의 뿌리생장 특성. (미발표).

김용식, 오구균, 김도균, 신현탁(1999) 수목의 가뭄극복을 위한 식재지 관리방안 -광양지역을 중심으로-. 자원문제연구 18(1): 8-13.

김태진, 변우혁(1990) 연륜측정기를 이용한 조경수목의 생장평가에 관한 연구. 고려대학교 농대 농림논집 30: 17-23.

박원규(1997) 연륜연대 기법을 이용한 장기간의 한발과 홍수에 관한 분석과 예측. 한국과학재단, 12.

서정욱(1999) 월악산 소나무(*Pinus densiflora*) 연륜변동에 관한 시-공간적 분석. 충북대학교 대학원 석사학위논문, 34~38쪽.

이경재, 박인협, 최송현, 한봉호, 권전오(1997) 여천공단 환경오염 대책 마련을 위한 오염실태 정밀조사 사업(생태) 제1부 산림생태분야. 국립환경연구원, 16~17쪽.

이경준(1995) 수목생리학. 서울대학교출판부, 230~232쪽.

최종남, 유근배, 박원규(1992) 아한대 침엽수류 연륜연대기를 이용한 중부산간지역의 고기후 복원. 한국제4기학회지 6(1): 21-32.

포항종합제철주식회사(1993) 영일만에서 광양만까지 -포항제철 25년사. 428~429쪽.

本間啓(1973) 綠地學研究 No4. 東京大學農學部園藝第二(綠地學)研究室. 107.

Baillie, M.G.L. and J.R. Pilcher(1973) A simple crossdating program for tree-ring research. Tree-Ring Bull. 33: 7-14.

Fritz, H.C.(1976) Tree rings and climate, Academic Press Inc. (London) Ltd. 567.

Homes, R.L., R.K. Adams and H.C. Fritts(1986) Tree-ring chronologies of western America: California, eastern Oregon and Northern Great Basin. NSF grant report. Tree-Ring Laboratory, Univ. of Arizona.

Reymann, D. and MacCarthaig, D.(1989) Auswirkungen des Umpflanzens auf das sekundare Dickenwachstum der Stamme und Aste von Solitargeholzen. Gartenbauwissenschaft 54: 74-78.

Schweingruber, F.H.(1987) Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht, Kluwer, 6-19, 132.

Schweingruber, F.H.(1996) Tree rings and environment dendroecology. Paul Haupt Berne. 356.