

광양만 임해 매립지 느티나무 이식 이후의 연륜생장 특성

김도균

호남대학교 조경학과

Tree-Ring Growth Characteristics of *Zelkova serrata* Makino after Replanting on the Reclaimed Land from the Sea in Gwangyang Bay

Kim, Do-Gyun

Department of Landscape Architecture, Honam University

ABSTRACT

This study was carried out to examine the tree-ring growth characteristics of *Zelkova serrata* Makino after replanting, for the built-up planting grounds for stability of landscaped trees in the reclaimed land from the sea.

The factors, mostly affecting the growths of *Zelkova serrata* Makino, were the replanting stress and drought. The growth reduction due to replanting and drought occurred in the replanting year and the following year. The mean sensitivity(year-to-year variation) and the coefficient of variation(tree-to-tree variation in a certain year) in tree rings of *Zelkova serrata* Makino, were higher in the poor soil sites than in the favourable soil ones. And the poor soil sites were the filled ground of improve soil and the covered ground of improve soil and the top ground of big mounding than mounding ground sites, especially soil hardness, alkali soil, high Na^+ and K^+ , low Ca^{++} and Mg^{++} and T-C were the most crucial.

We suggest technique development of the built-up planting ground for stability in the reclaimed land from the sea. The built-up planting grounds in reclaimed land from the sea, should be considered for the use of fair soil with the physical and chemical soil properties, -high level foundation of planting ground, and the prevention of disturbed soil-.

Key Words: Replanting Stress, Drought, Planting Ground, Dendrochronology, Salty Soil

1. 서론

임해 매립지는 바다를 매립하여 육지화한 부지로서 자연경관과 생태계가 훼손 또는 파괴되고, 자연성이 낮아서 인간의 정주 환경이 매우 열악하여 생활환경 개선과 생태계 복원을 위하여 조경 수목을 대단위로 식재하여 오고 있다.

그러나 임해 매립지에 식재된 대부분의 조경수목은 식재 이후 시간이 오래된 것일수록 생장 활력이 쇠퇴하여 생장상태가 불량하거나 고사하는 경우가 많다(대한주택공사, 1995; 박현수 등, 2003). 임해 매립지 조경식물의 생장이 불량하면 자연자원의 손실, 경제적 손실, 경관의 황폐화 등이 유발되기 때문에 환경변화에도 조경수목이 생태적으로 안정된 생육이 가능한 식재기법이 개발되어야 한다.

임해 매립지의 조경식재공법의 발달은 내륙지방의 일반적인 식재공법 발달로 많은 개선이 되어 왔지만 임해 매립지 특수토양을 극복할 수 있는 식재지반 조성공법은 아직 초기 단계 수준으로 시행착오를 많이 겪고 있다. 임해 매립지의 조경식재 지반조성은 대단위 면적으로 조성하기 때문에 한번 조성하면 수정하거나 변경 또는 보완과 토양개량이 어려우며, 유용한 객토 자원과 공사 예산이 제한적이기 때문에 합리적인 식재지반조성 방법 개발이 매우 중요하다. 최근 광양제철소, 포항제철소, 새만금 간척지, 인천국제공항, 인천송도신도시 등의 임해 매립지 조경식재지반의 조성방법과 토양개량방법에 대한 많은 논란이 있는 반면에, 명확한 이론적 근거나 경험적 기술 자료는 부족한 실정이다(김도균과 김용식, 2005).

임해 매립지 조경식재지반 유형에 따른 조경수목 생육에 대한 연구는 인천국제공항의 수목식재 시험(안봉원, 1998), 경기도 평택지방에서 임해 매립지 식재수목의 수종별 활착율(변재경, 2000), 광양만 임해 매립지에서 식재지반별 고품질의 연륜 생장 특성 분석(김도균 등, 2002), 광양제철소 임해 매립지의 수목의 고사율(박현수 등, 2003), 한국 중부권과 남부권에서 임해 매립지 식재지반별 조경수목의 피해 현황 및 요인분석(최일홍 등, 2002) 등이 있다. 이러한 선행 연구들은 주로 식재 지반의 높이가 높은 지반이 낮은 지반보다 토양이화학적 성

질이 양호한 편이며, 조경수목 생장도 양호한 것으로 보고하여 한국 임해 매립지 식재 지반 조성 공법 발전에 기여하여 왔으나, 낙엽활엽수가 기상이변과 같은 환경 변화가 발생하였을 때 생장 변화를 겪는 장기간의 시계열적 특성을 파악한 자료는 찾아보기 어렵다.

임해 매립지 조경식재지반 조성에 있어서 현장실무자들은 '임해 매립지에 어떤 식재지반이 느티나무 생장에 생태적으로 안정적인가?'가 의문이며, 이러한 의문에 해답을 찾기 위해서는 기존 식재지반들의 조경수목 생장상태와 이에 영향을 미치는 환경요인을 파악하여 개선방안을 모색할 수 있을 것으로 판단된다.

조경수목의 생장상태를 파악하는 방법은 주로 지상부의 수고생장, 근원직경, 수관폭과 가지피해판단, 엽록소의 측정, 전기전도도 등의 기준으로 측정하여 왔다(김도균 등, 2002). 이러한 수목의 외부적 상태를 측정하는 방법들은 측정 당시의 기후나 환경 상황으로 판단하여야 하기 때문에 과거에 조경수목이 어떻게 성장하여 왔으며, 미래에 어떻게 성장할 수 있을 것인가에 대한 시계열적 생태적 특성을 파악할 수 없고, 측정시기의 기후 변화 또는 인위적인 환경 변화 등에 대하여 연구시기 또는 연구자들마다 다른 실험 결과를 보고하는 오류를 범하기 쉽다. 예컨대, 임해 매립지의 수목 생장상태를 파악할 때 같은 수종을 대상으로 하여도 비가 자주 오는 해에는 대부분의 수목이 잘 성장하기 때문에 '생장 양호'로 평가하는 반면, 가뭄 발생이 심한 해에는 대부분의 수목이 활력이 저조하기 때문에 '생장 불량' 평가를 하기 쉽다. 이처럼 같은 장소, 같은 수종을 대상으로 하여도 서로 상이한 결과를 보고하여 현장 실무에서는 식재지반조성 방법에 있어서 논란이 있거나 시행착오를 범하여 대단위 자원의 손실과 경제적 손실을 입는 경우가 많다. 그러므로 수목 생장 평가를 할 때에는 외적 변수를 통제할 수 있는 과학적 기법으로 측정하고 평가하여야 하는데 나무의 생장상태를 기록하는 연륜연대학은 수목의 과거 성장역사와 미래를 예측할 수 있는 유용한 연구 방법이다.

연륜은 수목이 봄에 생장이 시작되면서 1년 동안 생산된 생장호르몬인 옥신(auxin)이 수액(sap)과 함께 물관부와 체관부의 경계에 있는 형성층에 축적하면서 수목의 줄기나 뿌리에 동심원 모양으로 나타나는 것을 말

한다. 연륜 생장은 수목의 생장이 변화하여 생장량이 적어지면 연륜의 폭이 좁아지며, 생장량이 많으면 연륜의 폭이 넓어진다. 수목의 생장에 영향을 미치는 요인은 온도, 가뭄, 태풍, 장마와 같은 기후인자, 지형, 토양, 토질, 경사 등과 같은 입지적 요인, 산불, 이식, 상해와 같은 생물적 요인 등이 있으며(이경준, 1995), 이러한 요인들은 연륜 생장에 영향을 미쳐서 연륜의 폭이 커지거나 감소하게 된다. 이러한 기후적 요인, 입지적 요인과 생물적 요인이 수목 연륜 생장에 미치는 영향을 분석하는 것이 연륜연대학이며, 수목의 연륜연대학기법은 기후, 토양, 지형, 인위적 간섭 등과 같은 외부 환경인자가 수목 생장에 미치는 영향을 분석하는데 많은 정보를 제공할 수 있다(Fritz, 1976). 이식된 수목의 위치상의 변화, 광량, 수분, 온도의 변화, 수관, 뿌리, 수간 부위의 손상, 환경의 화학적 변화와 같은 비교적 급속한 변화들의 영향을 어떤 방식으로든지 연륜구조에 반영되며, 수년간 지속되므로(Kramer and Kozlowski, 1979) 임해 매립지 식재지반별로 느티나무가 어떻게 생장하여 왔는가를 시계열적으로 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 광양만 임해 매립지 6개 식재지반 유형에 식재된 느티나무가 이식과 기상의 변화에 따라 연륜생장이 어떻게 변화하였는지를 연륜연대학적 방법으로 조사·분석하여 수목 이식과 가뭄과 같은 생장 충격에도 안정적인 생장을 할 수 있는 식재지반 유형을 도출하는데 그 목적이 있다. 본 연구의 수행으로 임해 매립지 식재지반의 유형별로 조경수목의 생장 특성을 파악하여 합리적인 식재방법, 식재지반 조성과 토양 개량의 기술 개발 등에 필요한 기초 지식을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

II. 연구내용 및 방법

1. 조사지 개황

조사 대상지는 전라남도 광양시 금호동 700번지에 위치한 광양제철소 사원 주택 단지의 완충녹지대로서 느티나무 식재 지반이며, 면적은 $20,000\text{m}^2$ 정도이다(그림 1 참조). 임해매립 원기반 조성은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 갯벌을 준설공법(sand pumping)으로



그림 1. 조사대상지

매립하였으며, 원기반의 높이는 DL(development level) +5.0~5.5m(포항중합체철주식회사, 1993)이다. 식재지반의 조성은 바다 갯벌로 준설하여 매립한 지반 위에 1991년에 인근 중동, 성항, 광영, 옥곡 등지의 산지에서 채취된 심토를 사용하여 객토매립방법, 객토피복방법, 성토법 등으로 조성하였다.

2. 조사 및 분석방법

수목생장에 영향을 미치는 외부적 환경요인은 기후, 식재 및 유지관리 현황 그리고 토양환경을 조사하였다. 연평균 기온과 연평균 강수량은 1989~1998년까지는 광양제철소의 자료를 이용하였으며, 연평균 중방산량과 장기 가뭄 발생 빈도 분석은 인근 여수측후소의 자료를 이용하였다.

1) 식재지반 유형별 조성방법 및 토양성질

식재지반 유형의 구분은 객토매립지반(Z_1), 객토피복지반(Z_2), 중성토지반(Z_3), 대성토지반으로 대분하고, 대성토지반은 식재 위치에 따라 대성토하부(Z_4), 대성사면(Z_5), 대성토정상(Z_6)로 세분하여 모두 6개 유형으로 구분하였다(그림 2 참조). 객토 매립 지반은 객토를 지하 120cm로 매립한 지반이며, 객토 피복 지반은 준설 매립기반 위에 객토를 20~30cm 피복한 지반이며, 중성토지반은 준설토 매립기반 위에 객토를 120cm 성토하였으며, 대성토지반은 준설토로 매립기반 위에 200~300cm 정도로 성토한 다음 객토를 80~120cm 정도로 더 높게 덧씌우기 한 지반이며, 대성토 중에서 식재의 위치에 따라 대성토하부, 대성토사면, 대성토정상로 구

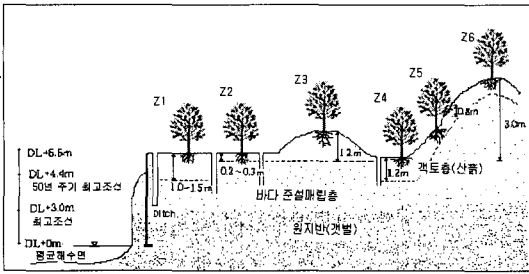


그림 2. 느티나무 식재지반 6개 유형

Z₁: 객토매립지반, Z₂: 객토포복지반, Z₃: 중성토지반,
Z₄: 대성토하부, Z₅: 대성토사면, Z₆: 대성토정상

분하였다.

각 식재지반별 토양환경의 특성은 객토매립지반(Z₁)의 경우 사질양토로서 토양경도가 평균 26.4mm이고, 토양함수비가 5.9%로 식재지반 중에서 가장 낮고, 평균 pH 7.8, ECe 0.613dS/m, SAR 0.030으로 가장 낮으며, Ca⁺⁺ 0.966me/100g으로 가장 높으며, T-C는 0.492%로 식재지반 중에서 가장 높았으며, T-N 0.05% 정도이었다(표 1 참조).

객토포복지반(Z₂)의 토양성질은 상층(객토)과 하층(준설토)이 각각 토성은 양토와 사질양토, 토양반응은 pH 6.6과 pH 7.4이었다. 토양함수비 12.9%, ECe 0.538 dS/m, Na⁺ 0.636me/100g, 염흡수율 SAR 0.712로서 다른 식재지반에 비하여 상대적으로 가장 높았다.

중성토지반(Z₃)의 토양 성질은 사질식양토로서 토양경도 21.41mm, 토양함수비 9.307%, pH 7.7이며, ECe 0.209 dS/m, Na⁺ 0.291me/100g, K⁺ 0.405me/100g, Ca⁺⁺ 0.414 me/100g, Mg⁺⁺ 0.573me/100g, SAR 0.050, T-C 0.210%이었으며, T-N은 0.045%로 식재지반 중에서 가장 낮았다.

대성토하부(Z₄)의 토양성질은 사양토로서, 토양경도 21.25mm, 토양함수비 6.350%, pH 6.1이며, ECe 0.220 dS/m, Na⁺ 0.223me/100g, K⁺ 3.294me/100g, Ca⁺⁺ 0.179 me/100g, Mg⁺⁺ 0.431me/100g, 염흡수율 SAR 0.429 정도이며, T-C 0.295%, T-N 0.049% 정도로 비교적 수목 성장에 유리한 식재지반 이었다.

대성토사면(Z₅)의 토양성질은 사양토로서, 토양경도 20.93mm, 토양함수비 10.78%, pH 6.480이며, ECe 0.301 dS/m, Na⁺ 0.396me/100g, K⁺ 2.799me/100g, Ca⁺⁺ 0.579 me/100g, Mg⁺⁺ 0.641me/100g, 염흡수율 SAR 0.515,

T-N 0.067%이었고, T-C는 0.304%로 식재지반 중에서 가장 높았다.

대성토정상(Z₆)의, 토양성질은 사양토로서, 토양경도 18.75mm, 토양함수비 9.692%, ECe 0.098dS/m, Na⁺ 0.220me/100g이며, K⁺ 3.845me/100g으로 식재지반 중에서 가장 높았고, Ca⁺⁺ 0.046me/100g으로 식재지반 중에서 가장 낮았으며, Mg⁺⁺ 0.462me/100g, 염흡수율 SAR 0.442, T-C는 0.088%로 식재지반 중에서 가장 낮았으며, T-N은 0.059%로 비교적 낮은 편이다(김도균과 박종민, 2004; 김도균과 김용식, 2005).

2) 공시수목

임해 매립지 조경식재에 있어서 느티나무는 선호도가 높은 수종으로 주요 기념식수, 경관수, 가로수, 녹음수, 완충녹지 등에 독립수 또는 군식 등으로 대단위로 식재되고 있으나 생육상태가 식재지반별로 매우 불균질하게 성장하고 있어서 식재지반별 생육특성을 비교하기에 적합한 공시식물로 관찰되어 왔다. 따라서 조사대상 공시수목은 한국의 임해 매립지에서 가장 많이 식재하고 있는 느티나무(H3.5 × R8) 306주를 1991년 6월 17일부터 7월 5일 사이에 각 식재지반별로 군식(random planting)하여 인위적인 관리 없이 자연 상태로 유지관리한 수목을 대상으로 조사하였다.

3) 연륜생장 조사 및 분석

연륜 측정용 시편의 채취는 각 식재지반에서 느티나무를 표준목법으로 5본씩을 선정하고, 직경 0.5cm의 생장추를 이용하여 지상으로부터 30cm 상부에서 수(髓, pith)에 접근하도록 남북방향으로 채취하였다. 연륜 폭의 측정에는 WinDENROtm Teen Scanner(Regent Instruments Co. 연대미상)를 이용하였고, 스캐너가 연륜을 제대로 인식하지 못할 경우에는 연륜폭 측정기(Velmex Co. 연대미상)를 이용하여 재측정하였으며, 적량범위는 0.01mm로 하였다. 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 막대그래프를 그리는 골격도법(Skeleton plot)(Baillie and Pilcher, 1973; Holmes et al., 1986)을 사용하였다.

표 1. 임해 매립지 느티나무 식재지반별 토양특성^A

구분 ^B	모래(%) [*]				미사(%) [*]				점토(%) [*]						
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대			
Z ₁	73.66	ab	3.773	63.70	79.60	12.99	ab	3.481	8.20	20.10	13.40	ab	1.754	10.40	16.80
Z ₂	75.12	a	14.920	54.00	95.30	14.43	ab	9.260	2.90	27.60	10.51	b	6.253	1.40	20.30
Z ₃	69.15	b	4.098	64.30	76.20	15.65	a	3.364	11.30	24.00	15.28	a	4.226	6.10	19.20
Z ₄	77.12	a	2.475	71.30	80.40	11.87	ab	2.822	9.00	18.50	11.07	b	1.564	7.60	13.70
Z ₅	75.50	a	3.802	64.20	79.00	11.80	ab	4.763	8.70	24.70	12.74	ab	3.330	4.50	20.10
Z ₆	76.35	a	3.456	68.90	80.90	10.87	b	2.952	8.70	19.10	12.82	ab	2.656	9.90	16.20

구분	토양경도(mm) [*]				토양함수량(%) [*]				pH [*]						
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대			
Z ₁	26.41	a	2.968	19.00	29.00	5.87	c	0.536	5.00	6.70	7.75	a	0.253	7.16	8.00
Z ₂	21.09	b	2.274	17.00	24.00	12.89	a	5.663	6.20	22.70	7.14	b	0.514	6.46	7.79
Z ₃	21.41	b	1.621	19.00	24.00	9.30	b	0.801	7.30	10.10	7.66	a	0.123	7.37	7.87
Z ₄	21.25	b	1.484	19.00	23.00	6.35	c	0.729	4.80	7.50	6.19	c	0.561	5.61	7.36
Z ₅	20.93	b	2.249	18.00	25.00	10.78	b	1.119	8.90	12.10	6.48	c	0.755	5.86	7.75
Z ₆	18.75	c	1.544	16.00	21.00	9.69	b	1.088	7.60	10.90	5.26	d	0.132	5.06	5.53

구분	ECe(dS/m) [*]				Na ⁺ (me/100g) [*]				K ⁺ (me/100g) [*]						
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대			
Z ₁	0.61	a	0.089	0.43	0.83	0.02	c	0.005	0.02	0.04	0.41	d	0.070	0.29	0.54
Z ₂	0.53	a	0.208	0.23	1.02	0.63	a	0.596	0.02	1.36	1.63	c	1.363	0.09	3.20
Z ₃	0.20	bc	0.053	0.14	0.35	0.29	b	0.044	0.21	0.38	2.96	b	0.405	2.51	3.67
Z ₄	0.22	b	0.147	0.11	0.53	0.22	bc	0.100	0.02	0.41	3.29	ab	1.218	0.43	4.08
Z ₅	0.30	b	0.235	0.10	0.68	0.39	b	0.287	0.17	1.36	2.79	b	0.277	2.08	3.18
Z ₆	0.09	c	0.044	0.05	0.17	0.22	c	0.029	0.16	0.28	3.85	a	0.409	3.20	4.64

구분	Ca ⁺⁺ (me/100g) [*]				Mg ⁺⁺ (me/100g) [*]				SAR [*]						
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대			
Z ₁	0.96	a	0.775	0.20	3.15	0.48	c	0.062	0.41	0.67	0.03	c	0.004	0.02	0.04
Z ₂	0.77	ab	0.521	0.16	1.49	0.48	c	0.097	0.36	0.63	0.71	a	0.652	0.04	1.63
Z ₃	0.41	bcd	0.203	0.09	0.64	0.57	b	0.041	0.50	0.64	0.41	b	0.050	0.35	0.51
Z ₄	0.17	cd	0.196	0.05	0.60	0.43	c	0.038	0.37	0.50	0.42	b	0.176	0.03	0.62
Z ₅	0.57	abc	0.761	0.11	2.61	0.64	a	0.095	0.42	0.72	0.51	ab	0.281	0.31	1.46
Z ₆	0.04	d	0.016	0.03	0.08	0.46	c	0.054	0.39	0.55	0.44	b	0.079	0.30	0.60

구분	T-C(%) [*]				T-N(%) [*]				C/N비율(%) [*]						
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대			
Z ₁	0.49	a	0.255	0.29	1.16	0.04	b	0.018	0.03	0.11	10.55	a	5.644	6.30	27.00
Z ₂	0.34	ab	0.383	0.09	1.62	0.05	ab	0.036	0.03	0.18	5.38	b	2.086	2.40	9.00
Z ₃	0.21	bc	0.128	0.10	0.61	0.04	b	0.007	0.03	0.06	4.54	b	1.889	2.10	8.90
Z ₄	0.29	abc	0.373	0.11	1.56	0.04	b	0.022	0.03	0.12	5.00	b	2.525	2.70	13.00
Z ₅	0.30	abc	0.231	0.08	0.79	0.06	a	0.008	0.05	0.08	4.38	b	2.925	1.40	10.30
Z ₆	0.08	c	0.029	0.04	0.14	0.05	ab	0.004	0.05	0.06	1.49	c	0.412	0.80	2.30

A: 자료: 김도균과 박종민, 2004: 92

B: Z₁: 객토매립지반, Z₂: 객토피복지반, Z₃: 중성토지반, Z₄: 대성토하부, Z₅: 대성토사면, Z₆: 대성토정상

C: Duncan의 다중검정 결과임

*: 유의성 1% 이내

분석방법으로 나이테 수령 조사, 산술평균, 표준편차, 평균민감도, 이질성분석과 그래프 비교 방법을 사용하였다. 표본의 특성을 파악하기 위하여 각 임목 연륜폭의 산술평균(arithmetic mean)을 구하였으며, 산술평균으로 개별 임목들 간의 연륜성장 차이를 비교하였다.

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

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

여기서, X_t = t 년도의 연륜폭 지수

X_{t+1} = t+1 년도의 연륜폭 지수

수집 자료간(즉 수목간)의 성장 불균질성을 알아보기 위하여 각 연도별로 표준편차를 평균으로 나누어 상대적 변이계수(Coefficient of Relative Variation: CRV)를 구하여 이질성(Heterogeneity) 분석을 하였다. CRV는 임목간 연륜생장의 이질성을 측정하는 척도로서 산술평균에 대한 개별 자료들의 평균적 분산정도를 나타낸다. 이질성 분석의 공식은 식 2와 같다.

$$CRV = St/Mt \times 100 \quad (\text{식 2})$$

여기서, St = 한 식재지반에 자라는 수목들의 t년도 연륜폭 표준편차

Mt = 한 식재지반에 자라는 수목들의 t년도 연륜폭 평균

III. 결과 및 고찰

1. 기후분석

조사대상지인 광양만 지역의 1989년부터 1998년까지의 10년 동안 기후 특성은 연평균 강수량은 1,292.8mm, 연평균 증발산량은 1,382.4mm, 연평균 기온은 15.0°C이었다(그림 3 참조). 연평균 강수량은 1994년, 1995년, 1996년에 각각 743.5mm, 934.0mm, 1,014.6mm로 인근 지방 여수축후소의 30년 연평균 강수량 1,413.4mm(이경재 등, 1997)에 비하여 각각 52%, 66%, 71.8% 정도로 매우 극심한 가뭄이 발생하였다. 또한, 1994~1996년의 3년 동안의 가뭄 발생기간 동안에는 연평균 증발량이 1,429.4 mm, 연평균 강수량 894.3mm보다 높았고, 연평균 기온도 15.6°C로 평년보다 0.6°C 더 높았다. 이 기간 동안의 연평균 강수량이 1,000mm 이하인 가뭄 발생 빈도는 여수축후소의 1943년부터 1998년까지 자료를 분석한 결과에서 10.4년마다 1회 정도 발생하였으며(김도균 등, 2002), 최장 무강우지속일수는 1994년 5월 26일부터 7월 25일까지

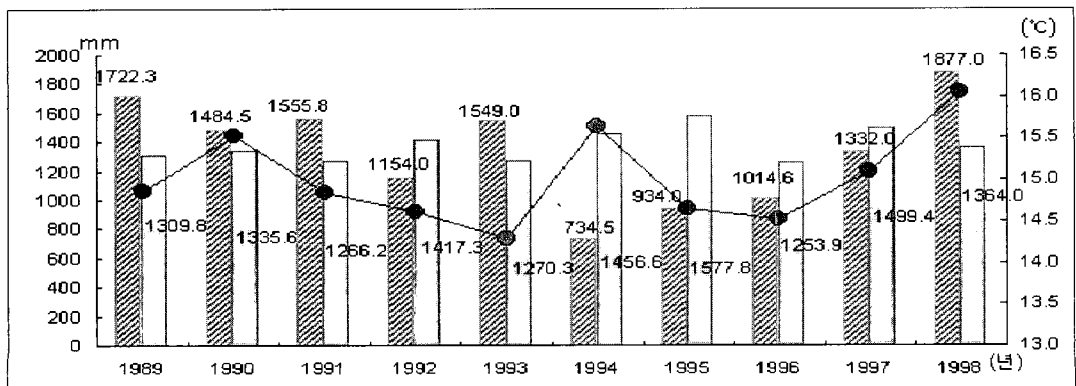


그림 3. 조사지역의 1989년~1998년까지 10년 동안의 연평균강수량, 연평균증발산량 및 연평균기온
 범례: ▨ 강수량 □ 증발산량 ● 온도

지로 일일강우량 6.5mm 이하의 무강우지속일수는 61일 간으로 나타났다.

이와 같이 가뭄 발생 기간에는 증발산량과 온도가 상대적으로 높아지며, 가뭄 발생은 불규칙하지만 언제라도 발생할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 기상학적으로 무강우지속일수가 20일 이상일 때는 한발로 간주(김광식, 1992)되는데 무강우지속일수가 장기간 지속되면 임해 매립지 조경수목의 생장은 잎 시들음, 가지고사, 전체고사 등으로 나타나며, 그 성장차이는 식재지반별로 크게 차이가 있는 것으로 관찰되어 왔다. 따라서 이러한 가뭄 기간 동안에 임해 매립지 식재지반 유형별로 조경수목이 어떻게 성장하는지를 연륜생장을 통하여 분석하여 볼 필요가 있다.

2. 수령분석

느티나무 수령은 9~13년으로 식재지역별로 수령의 차이가 있었다. 수령의 차이가 있는 것은 시료 채취가 지상 30cm 부근에서 채취되어 수(髓, pith) 부분에서 자주 관찰되는 수지 때문에 연륜 관찰이 곤란하였기 때문이며, 이러한 점을 감안하면 실제 수령은 현재 관찰된 것보다 2~3년 정도를 더 추가되어야 할 것이다.

3. 식재지반별 연륜성장량

조사지역별 수령분석을 위한 연륜의 산술평균에 의한 식재지반별 대표연대기의 경년 변화를 비교한 결과에서 식재지반별 성장량의 크기는 대성토사면(Z_5)>대성토하부(Z_4)>중성토(Z_3)>객토피복지반(Z_2)>대성토정상(Z_6)>객토매립지반(Z_1) 순으로 각각 3.5, 3.3, 2.9, 2.1, 1.8, 0.9 으로 나타났다(그림 4 참조). 식재지반별 성장량의 크기는 대체적으로 지반의 높이가 낮은 지반보다 지반의 높이가 높은 성토지반의 성장량이 크지만, 대성토정상에서는 성장량이 낮은 것으로 해석되었다.

Z_1 에서 연륜 생장이 가장 저조한 것은 교란된 객토의 사용으로(김도균과 박종민, 2004) 토양반응이 알칼리성(pH 7.8)이며, 토양경도가 평균 26.4mm 이상으로 높고, 근권부의 유효토심이 낮아서 수목의 성장에 장애를 받고 있기 때문으로 추측된다. 느티나무는 생태적으로 약

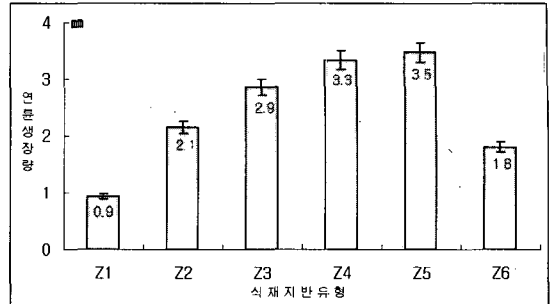


그림 4. 느티나무 이식 이후 식재지반별 연평균 연륜성장량

산성~중성에서 생육이 양호(윤국병, 1981)하지만 알칼리성 토양에서는 생장이 저조하여진다. 또한 토양경도가 높으면 뿌리의 발달이 저해되고, 유효토심이 낮으면 가뭄과 이상기온 등의 외부적 환경 변화에 잔뿌리가 고사하여 생산과 생장이 저하되므로(곽영세, 1993; 김도균과 곽영세, 2002) 연륜의 성장량이 낮아지기 때문(김도균 등, 2002)이다.

Z_2 의 연평균 연륜 성장량이 다른 지반에 비하여 상대적으로 저조한 것은 조경수목 생육 유효토심이 20~30cm 정도로 매우 낮고, 알칼리성(pH 7.4)이며, 염기성이 매우 높기(Na^+ 0.636me/100g) 때문에 생육이 저조한 것으로 보이며, 생리적 현상은 상술한 바와 같다.

Z_3, Z_4, Z_5 의 느티나무 연륜 생장은 다른 지반에 비하여 상대적으로 우수한 것은 이들의 지반이 객토로 성토하여 유효토심이 120cm 이상 높기 때문에 생장이 양호한 것으로 보인다. 임해 매립지에서 식재지반이 높으면 지하부의 토양염분의 영향이 미치지 않으며, 물리·화학적으로 토양교란이 적게 되기 때문에 조경식물 성장에 유리하기 하기 때문으로 판단된다.

Z_6 은 대성토지반의 정상부로서 연륜 생장이 저조하게 나타나는 것은 유효토심이 80cm 정도로 다른 부분보다 다소 낮고, 칼륨(K^+ 3.845me/100g)이 식재지반 중에서 가장 높으며, 칼슘(Ca^{++} 0.046me/100g), 마그네슘(Mg^{++} 0.462me/100g) 그리고 유기물(T-C 0.088%)이 다른 식재지반 중에서 가장 낮은 것(김도균과 박종민, 2004; 김도균과 김용식, 2005)과 관련이 있을 것이다. 이러한 토양성질들이 느티나무 성장에 미치는 영향은 농업적 경험으로 보면 칼륨이 과다하면 줄기생장이 저조하여 지고, 칼슘이 결핍되면 뿌리의 성장을 현저하게

저해하며, 마그네슘이 결핍되면 1차 체부의 발육이 저조해지는 현상이 있으나(차종환 등, 1982) 조경수목 생장에 생리적으로 어떻게 영향을 미치고 있는가에 대해서는 본 연구의 조사 자료로서는 규명하기 어려웠으며, 향후 이러한 생리적 반응에 대한 연구가 필요하다.

4. 식재지반별 대표연대기 연륜생장의 특성

각 식재지반별 대표연대기의 경년 변화는 느티나무 연륜 생장의 산술평균값의 비교 결과에서 연륜 생장이 급격히 감소한 것은 Z₄를 제외한 나머지 식재지반에서 1991년, 1992년과 1996년이었으며, 각 식재지반별로 매우 가변적인 것으로 나타났다(그림 5 참조).

느티나무 연륜 생장의 경년 변화가 이식전인 1987년부터 1990년까지는 지속적인 성장을 하다가 1991년~1993년 사이에 급감소한 것은 1991년에 수목을 이식하였기 때문에 성장이 감소한 것이며, 이식 이후 느티나무의 연륜 생장이 1994년부터 1995년까지 다시 급성장하다가 1996년에 급감소 후 다시 성장하는 현상은 1994~1996년 까지 발생한 가뭄과 관계가 있을 것으로 추정된다. 수목이식 이후 연륜 생장이 급감소한 것은 이식 직후 1년간의 생장이 급격히 감소한 소나무(김태진과 변우일, 1990)와 곰솔(김도균 등, 2002)과 유사하였다. 가뭄에 의하여 연륜 생장의 급감소 현상이 가뭄 발생 이후 2년과 3년 이후에 나타나는 것은 주변의 곰솔(김은식, 1994; 김도균 등, 2002)과 유사하였다. 수목 이식 이후에 연륜생장이 급감소하는 것은 뿌리절단(Schweig-

ruber, 1996), 생육지 환경의 변화, 수목의 운반, 식재의 지면, 생육조절 전지 및 전정 등에 따른 이식 스트레스로 인하여 당해년 영양분의 결핍이 이듬해 생장에 영향을 미치고, 가뭄시기에 토양수분의 결핍으로 인하여 성장이 급격히 둔화(서정욱, 1999; 김도균 등, 2002) 되기 때문이다.

연륜 성장 급감소 현상이 발생한 시기가 수목이식은 당해년(t)과 이듬해(t+1)에 나타나고, 가뭄 발생 이후에는 2년 뒤(t+2)에 나타나는 것은 성장충격 시기가 다르기 때문으로 생각된다. 1991년 수목이식은 유묘기간으로서 생장이 매우 민감한 기간이며, 계절적으로도 생육초기로서 생장이 왕성한 봄철인 반면, 가뭄은 생육 후기인 늦여름과 초가를 사이에 발생하였기 때문에 수목 연륜 성장 감소 시기가 각각 다르게 나타난 것으로 생각된다. 연륜 생장의 감소는 봄철에 영양분을 흡수하는 시기에 성장충격을 받으면 당년(t)과 이듬해(t+1, t+2, ...)에 급감소하며, 영양분의 흡수가 낮은 늦여름이나 가을에 성장충격은 이듬해(t+1)와 그 다음해(t+2, t+3, ...)에 감소하기 때문이다. 이러한 현상은 이식이나 가뭄과 같은 성장충격에 의하여 형성층의 성장률이 직·간접적으로 낮아지는 것이 시간의 간격을 두고 나타나는 것으로(박원규, 1997) 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).

Z₁의 느티나무 연륜생장은 이식직후 1991년부터 이후 생장이 회복되지 못하고 있음을 나타내고 있으며, 이것은 상술한 바와 같이 식재지반의 토양경화, 알칼리성토양 그리고 유효토심의 부족으로 느티나무가 활착되지 못하였기 때문으로 보인다. Z₄에서 느티나무 연륜생장 경년변화가 다른 지반에 비하여 비교적 생장의 변화가 크지 않은 것은 1987년 이전에 이식 또는 뿌리돌림하여 잔뿌리가 많이 발생되어 이식 이후 환경변화에 대한 적응성이 커졌기 때문에 수목 이식 이후에도 큰 변화 없이 성장을 하는 것으로 추정되었다.

5. 성장평균민감도

연속된 두 연륜간 변이를 나타내는 연륜생장 평균민감도는 0.67로 높았으며, 식재지반별 성장 평균민감도

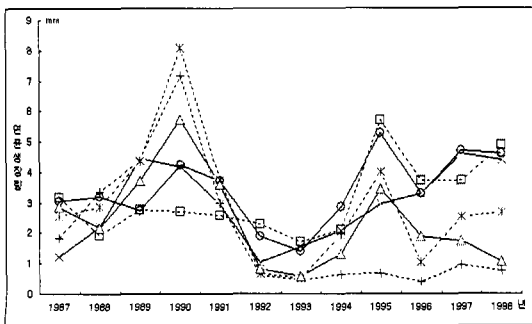


그림 5. 식재지반별 느티나무의 대표연대기 연륜생장 패턴

범례: Z1: 객토매립지반 Z2: 객토매립지반 Z3: 흙성토지반
 Z4: 대성토하부 Z5: 대성토시면 Z6: 대성토경상

는 $Z_2 > Z_6 > Z_3 > Z_1 > Z_5 > Z_4$ 순으로 각각 0.86, 0.75, 0.578, 0.64, 0.61과 0.55 이었다(표 2 참조). 이러한 결과는 느티나무의 연륜생장 평균민감도가 주변의 곰솔의 연륜생장 평균민감도 0.549(김도균 등, 2002)보다 더 높은 것이며, 연륜생장 평균민감도가 일정한 경향성은 없는 것으로 보인다. 이와 같이 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 반응하였음(김도균 등, 2002)을 알 수 있다.

6. 연륜 생장의 이질성

느티나무의 개체 내 남북 두 방향간 연륜 생장의 차이는 *t*-test 분석 결과 유의수준 5%에서 유의성이 인정되지 않았다. 연륜생장이 개체 내에서 남북 두 방향간의 생장 차이가 없는 것은 주변 곰솔의 경우(김도균 등, 2002)와 같은 것으로서 시료가 어린 묘목으로 남북 두 방향간의 생장차이가 크지 않고, 이식시 생장방향이 묘포장의 방향과 다르게 식재되었기 때문에 두 방향간의 생장 차이가 상쇄되었을 것(김도균 등, 2002)으로

표 2. 식재지반별 느티나무 연륜생장의 평균민감도

식재지반	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
평균민감도	0.63	0.86	0.64	0.55	0.61	0.75
평균	0.67					

표 3. 느티나무 개체내 남북 두 방향간 연륜생장의 상대적 변이계수(단위: %)

구분	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	평균
Z_1	70.5	56.3	59.0	32.0	3.4	27.4	63.4	98.7	79.6	118.2	138.1	80.5	87.6	81.9	93.5
Z_2		45.7	31.2	31.5	61.9	43.2	42.4	123.7	74.5	46.6	53.8	63.6	57.0	76.7	67.3
Z_3		11.2	94.1	47.8	20.4	50.6	79.1	104.4	88.6	63.7	40.2	27.5	19.4	33.2	57.0
Z_4	130.1	39.9	16.6	36.6	46.2	34.1	48.5	55.0	77.3	47.8	34.9	15.8	38.2	27.3	43.1
Z_5	9.9	19.2	45.9	41.0	66.7	51.7	56.3	134.3	79.7	88.0	46.9	34.9	39.8	34.9	64.4
Z_6		60.9	41.2	50.5	74.1	58.0	45.8	39.0	63.8	79.7	47.2	47.5	45.0	37.0	50.6
평균		38.8	48.0	39.9	45.4	44.2	55.9	92.5	77.3	74.0	60.2	44.9	47.8	48.5	62.6

추정된다.

표본지역에서 수집한 자료들 간의 이질성(heterogeneity)을 나타내는 이식 이후의 상대적 변이계수 CRV는 62.6으로 나타났으며(표 3 참조), 이것은 주변에 식재된 곰솔의 CRV 38.1(김도균 등, 2002)보다 매우 높은 것으로 곰솔보다 느티나무의 표본 자료들 간에 이질성이 큰 것으로 판단되었다.

식재지반별 연륜 생장의 CRV는 $Z_1 > Z_2 > Z_3 > Z_4 > Z_5 > Z_6$ 순으로 각각 93.5, 67.3, 64.4, 57.0, 50.6, 43.1 이었으며, CRV의 변동은 식재 당해년(1991년)과 이듬해(1992년) 그리고 가뭄 발생 당해년(1994)과 이듬해(1995)에 55.9~92.5로 평년의 38.8~48.5보다 더 높은 것으로 나타났다. CRV의 변동이 이식 당해년과 이듬해 그리고 가뭄 발생 당해년과 이듬해가 평년보다 높게 나타나는 것은 주변 곰솔의 경우(김도균 등, 2002)와 유사한 것이며, 이식 또는 가뭄과 같이 수목생육 환경이 열악해질수록 표본들 간의 이질성이 커지는 것을 의미한다.

CRV가 Z_1 에서 높은 것은 토양환경의 특성이 식재지반 내에서 균질하지 못하기 때문에 수목 생장이 개체별로 균질한 생장을 하지 않는 것으로 추정되며, 이러한 현상 때문에 임해 매립지의 조경수목의 생장이 균질하지 못한 것으로 보인다.

7. 종합고찰

이상의 광양만 임해 매립지의 6개 식재지반 유형별로 연륜 생장 특성을 조사·분석한 결과에서 조경수목의 연륜생장은 식재지반의 높이가 낮은 식재지반에서 높이가

높은 성토지반에 비하여 생장이 저조하며, 가뭄에 민감하게 생장이 둔화되었으며, 성토지반이라고 할지라도 토양이 교란된 식재지반에서는 생장이 저조한 것으로 요약되었다. 즉, 식재지반이 낮은 객토매립지반과 객토피복지반은 이식 이후의 생장 회복이 저조하고, 연륜 생장이 저조하며, 가뭄 발생기간에 생장의 변화가 크게 나타나는 반면에, 성토지반은 식재지반의 높이가 높고, 유효토심이 깊으며, 토양이 교란되지 않기 때문에 수목이식 이후에 수세 회복이 빠르고, 가뭄 발생 기간에도 생장이 양호한 것으로 나타났다.

이와 같은 결과에서 임해 매립지의 조경수목이 가뭄과 같은 기상 변화 또는 어떤 환경적 변화에도 생태적으로 안정된 생육이 가능한 식재지반의 조성이 필요한 것으로 생각되었다. 따라서 임해 매립지의 조경수목이 가뭄 발생시기에도 생육이 안정된 식재지반 조성은 첫 번째로는 식재용 토양은 이화학적으로 안정된 토양을 사용하여야 하고, 둘째 식재지반의 높이를 높게 할 수 있는 성토법으로 하며, 세 번째로는 식재지반조성 과정에 토양이 교란되지 않도록 하여야 하며, 네 번째로는 식재지반조성 이후에 토양이 교란되지 않도록 하여야 할 것으로 제안되었다.

IV. 결론

본 연구는 광양만 임해 매립지의 식재지반 6개 유형에서 느티나무 이식 이후에 연륜생장에 영향을 미치는 식재환경요인과 기후요인을 조사·분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 광양만 임해 매립지에서 느티나무 이식 이후에 식재지반별 연륜 생장량은 식재지반이 낮은 지역보다 식재지반의 높이가 높은 성토지역의 생장량이 컸으나 토양이 교란된 대성토정상에서는 생장량이 저조하였다.
2. 각 식재지반별 느티나무의 대표연대기 경년 변화는 수목 이식의 경우에는 당해년부터 2년 후에까지 나타났으며, 가뭄 발생의 경우에는 2년 후에 급감소현상이 발생하였다. 수목 이식충격의 회복이 빠르고, 가뭄 발생에도 생육이 안정된 식재지반은 식재지반의 높이가 낮은 식재지반보다 높이가 높

은 식재지반이 더 양호한 것으로 나타났다. 즉, 객토매립지반이나 객토피복지반보다 성토지반들이 더 양호한 것으로 나타났다.

3. 느티나무의 연륜생장 평균민감도는 0.67로 높았으며, 식재지반별 생장 평균민감도는 일정한 경향성이 없었으나 이식과 기후변화가 발생할 때 토양환경에 따라 연륜 생장이 민감하게 반응한 것으로 나타났다.
4. 느티나무 개체내 남북 두 방향간 연륜 생장의 차이는 *t*-test 분석 결과 유의수준 5%에서 유의성이 인정되지 않았으며, 이식 이후의 상대적 변이계수(CRV)는 62.6으로 표본 자료들 간의 이질성이 크며, CRV의 변동은 이식과 가뭄 발생 당해년과 이듬해에 평년보다 더 크게 나타났고, 식재지반별 연륜 생장의 CRV는 토양환경이 불량한 지반이 성토지반보다 높게 나타났다.
5. 임해 매립지의 조경수목이 극심한 기상변화 또는 어떤 환경적 변화에도 안정된 생육을 위한 식재지반 조성 방안은 토양물리·화학적으로 안정된 토양의 사용, 식재지반이 높은 성토법의 적용, 식재지반조성 과정과 이후에 토양의 교란의 방지 등으로 나타났다.

본 연구의 시사점은 조경수목이 이식과 가뭄에 의하여 생장이 민감하게 반응하며, 토양환경이 불량한 식재지반일수록 가뭄에 생장이 불량해질 수 있으므로 임해 매립지의 조경수목이 생태적으로 안정된 생육을 할 수 있는 식재기법이 개발되어야 함을 시사하고 있다. 본 연구는 느티나무 단일 수종으로 식재 이후 7년 정도의 단기간 동안의 연륜생장을 조사·분석한 것이지만 향후에 보다 다양한 수종을 대상으로 장기간의 모니터링을 통하여 조경수목의 생장에 미치는 다양한 요인을 파악하여 생태적으로 안정적인 식재지반 조성방법을 개발하여야 할 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 광영세(1993) 단양 석회암지역 식물군락의 생산성 및 호석회식물과 협석회식물의 분류. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
2. 김광식(1992) 농업기상학. 서울: 향문사.
3. 김도균, 광영세(2004) 바다매립지 곰솔 이식후 생장특성(I) -세균 공간적 분포를 중심으로-. 한국조경학회지 31(1): 77-84.

4. 김도균, 김용식(2005) 광양만 임해 매립지 느티나무 식재지 토양의 수직적 특성변화. 한국조경학회지 33(2): 60-70.
5. 김도균, 박원규, 서정욱(2002) 광양만 임해 매립지의 곰솔 이식 이후의 연륜생장 특성. 한국환경생태학회지 16(1): 1-9.
6. 김도균, 박종민(2004) 광양만 준설매립지 느티나무의 식재지반별 토양이화학적 특성. 한국조경학회지 31(6): 85-94.
7. 김은식(1994) 환경변화와 고산지대 수목생장 쇠퇴현상과의 상관성 해석. 한국과학재단 보고서.
8. 김태진, 변우일(1990) 연륜측정기를 이용한 조경수목의 생장평가에 관한 연구. 고려대학교 농대 농림논집 30: 17-23.
9. 대한주택공사(1995) 생물환경특성을 고려한 아파트 단지내 조경 수목선정 및 식재방안 연구.
10. 박원규(1997) 연륜연대 기법을 이용한 장기간의 한발과 홍수에 관한 분석과 예측. 한국과학재단 보고서.
11. 박현수, 이상석, 이상철(2003) 임해 매립지 조경수목의 생리적 특성과 식재수목의 고사율. 한국조경학회지 31(2): 94-101.
12. 변재경(2000) 임해 매립지에서 복토높이가 수목의 고사율 및 생장에 미치는 영향. 2000년도 한국임학회 정기총회 및 학술연구발표회 초록집, pp. 55-58.
13. 서정욱(1999) 월악산 소나무(*Pinus densiflora*) 연륜변동에 관한 시-공간적 분석. 충북대학교 대학원 석사학위논문.
14. 안봉원(1998) 수목식재. 인천국제공항 식재지반조성 학술연구 발표회 초록집, pp. 34-43.
15. 윤국병(1981) 조경배식학. 서울: 일조각.
16. 이경재, 박인협, 최송현, 한봉호, 권전오(1997) 여천공단 환경오염 대책 마련을 위한 오염실태 정밀조사 사업(생태) 제1부 산림생태 분야. 국립환경연구원 보고서.
17. 이경준(1995) 수목생리학. 서울: 서울대 출판부.
18. 차종환, 김종균, 맹주선(1982) 최신 작물생리학. 서울: 선진문화사.
19. 최일홍, 황경희, 이경재(2002) 임해 매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석. 한국생태학회지 16(1): 10-21.
20. 최종남, 유근배, 박원규(1992) 아한대 침엽수류 연륜연대기를 이용한 중부산간지역의 고기후 복원. 한국제4기학회지 6(1): 21-32.
21. 포항종합제철주식회사(1993) 영일만에서 광양만까지 -포항제철 25년사-.
22. Baillie, M. G. L. and J. R. Pilcher(1973) A simple crossdating program for tree-ring research. Tree-Ring Bull. 33: 7-14.
23. Fritz, H. C.(1976) Tree Rings and Climate. London: Academic Press Inc. Ltd.
24. Homes, R. L., R. K. Adams, and H. C. Fritts(1986) Tree-Ring Chronologies of Western America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin with Procedures Used in the Chronology Development Work Including Users Manuals for Computer Program COFECHA and ARSTAN. Chronology Series VI. Lab. of Tree-Ring Research, Univ. of Arizona, Tucson.
25. Kramer, P. J. and T. T. Kozlowski(1979) Physiology of Wood Plants. New York: Academic Press.
26. Schweingruber, F. H.(1987) Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology. Dordrecht, Kluwer: Bostam: Redial Publishing Company.
27. Schweingruber, F. H.(1996) Tree Rings and Environment Dendroecology. Switzerland: Paul Haupt Berne.

원 고 접 수: 2006년 1월 2일
 최종수정본 접수: 2006년 2월 14일
 3 인 의 명 심 사 필