한국환경과학회지 제19권(제3호), 305~312, 2010
Journal of the Environmental Sciences

다중회귀분석법에 의한 소나무, 곰솔 및 리기다소나무의 상대성장 비교

박만춘 · 이윤근 · 최기룡*
울산대학교 생명과학부
(2009년 9월 24일 접수; 2009년 10월 15일 수정; 2009년 11월 30일 채택)

Comparisons on Relative Growth of Red Pine, Black Pine and Pitch Pine by Means of Multiple Regression

Man-Choon Park, Yun-Keun Lee, Kee-Ryong Choi*
Department of Biological Sciences, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea
(Manuscript received 24 September, 2009; revised 15 October, 2009; accepted 30 November, 2009)

Abstract

The purpose of this study is to compare the relative growth of annual ring width of red pine(*Pinus densiflora*), black pine(*Pinus thunbergii*) and pitch pine(*Pinus rigida*) by means of multiple regression method according to Graybill hypothesis. The obtained results are as follows. 1. The changes of rainfall have affected to tree growth during the periods of 1975 through 1978. 2. Among these pine trees, red pine was mostly influenced by environmental factors. 3. The growth of annual ring width was sensitively responded to the changes of rainfall and air temperature. 4. Among the heavy metals analyzed, the concentrations(ppm) of Lead(Pb) and Copper(Cu) were negatively effected on the growth of annual ring width of pine trees. 5. The analytical technique of annual ring width may be useful for estimation of the pollution in forest areas near industrial complexes.

Key Words : Annual Ring width, Multiple regression method, Heavy metal

1. 서 론

수목의 나이테의 형성은 매년 영양성장 기간 내에 일어나며, 온대지방에서는 수간의 비대성장이 매년 크고 작은 성장주기가 있어 뚜렷한 연륜을 나타낸다. 또한 비대성장의 폭은 수령에 따라 일정한 변화를 나타내며 기후요인(기온, 강수량, 상대습도 등)을 포함한 서식지의 환경요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Fritts, 1996).

나이테 분석(Tree-ring analysis)을 이용한 수목의 성장에 관한 연구는 1910년대 Douglass(1929)에 의해 시작된 이래 다양한 연구 분야의 기초자료로 활용되고 있다. 최근 미국과 유럽에서는 수목의 성장에 미치는 환경의 영향을 평가하는 데 이용되고 있다(Innes와 Cook, 1989). 그 외에도 수목의 종류에 따라 성장과 쇠퇴 현상을 나타내는 수목의 비율 파악, 성장감소가 일어나는 수목의 연령 분포, 성장감소와 수목의 형태(잎의 손실, 피해의 외부적 징후 등)와의 관련성, 서식지와 수목 피해의 관계 등의 연구에도 이용되고 있다(Cutter 와 Guyette, 1993).

울산지역은 최근 환경오염에 의한 식물의 피해 현상이 심각한 지역으로 알려져 있다(김, 1992). 이와 관

*Corresponding Author : Kee-Ryong Choi, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea
Phone: +82-52-259-2397
E-mail: pollen@ulsan.ac.kr

련하여 환경오염이 식물의 성장에 미치는 영향에 대한 연구는 1981년 이후 단편적으로 이루어졌다(김 등, 1985). 이들 연구결과에 의하면 대기오염에 의한 식물군집의 종 감소현상이 일어났고 내성이 강한 식물군집으로 변화하였으며, 오염원과의 거리가 가까울수록 특히 곰솔의 피해 현상이 뚜렷하고, 그 외의 식물종수도 감소한다는 결과를 보고하였으나(이 등,1990), 아직 성장감소의 시기와 정도에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 울산지역에 서식하고 있는 소나무(*Pinus densiflora*, Red Pine), 곰솔(*Pinus thunbergii*, Black Pine), 리기다소나무(*Pinus rigida*, Pitch Pine)의 비대성장량을 정량화하고, Graybill의 가설(Schweingruber, 1988)을 이용한 회귀분석으로 이들 3개 수종의 상대성장과 기후요인 및 오염요인에 대한 반응의 유형을 파악, 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 나이테 측정

1995년 1월 온양지역에서 소나무 1그루, 곰솔 1그루, 1996년 8월 온산에서 곰솔 2그루, 선암동과 함월산에서 각각 곰솔 1그루, 삼동에서 리기다소나무 1그루, 총 7그루에서 줄기 원판(Disk)을 분석용 시료로 채취하였다(Fig. 1). 나이테의 증가폭은 전자식 Caliper를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였으며, 시료마다 8방향으로 나이테 증가폭을 측정하여 이들의 산술 평균치를 당년의 평균 연령증가 폭으로 간주하였다. 또한 나이테를 구별하여 각 나이테의 생성연대를 기록하였다.

2.2. 성장패턴 분석

다중회귀분석법(multiple regression)의 Quadratic, Cubic model을 사용하여 수령에 의한 비대성장량의 변화를 파악하였다.

2.3. Graybill의 가설을 이용한 성장요인 분석

Graybill의 가설을 이용한 다중회귀분석법의 Cubic model로 성장에 영향을 주는 요인을 분석하였다.

$R(t) = Ct + Bt + D_1\ t + D_2\ t + Et$

R(t) : 비대성장량

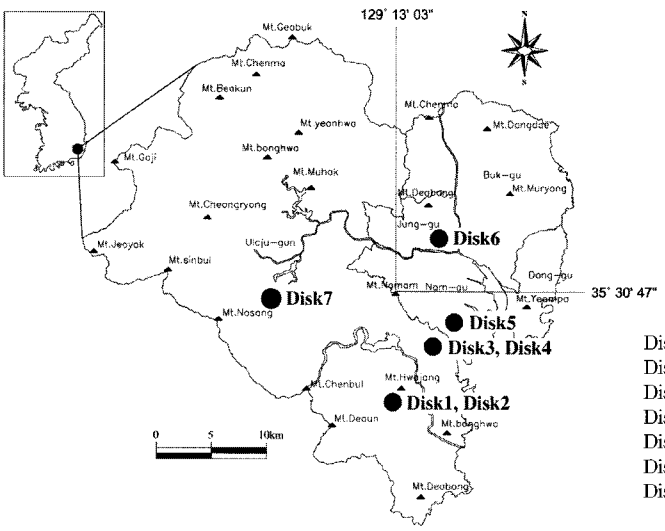
Ct : 기상요인

Bt : biological growth trend (Age)

D_1 t : disturbance signal unique to the individual tree

D_2 t : disturbance signal common to most individual tree

Et : error



Disk 1 : Onyang-myon Unhwa-ri(*Pinus thunbergii*)
Disk 2 : Onyang-myon Unhwa-ri(*Pinus densiflora*)
Disk 3 : Onsan-myon Haknam-ri(*Pinus thunbergii*)
Disk 4 : Onsan-myon Haknam-ri(*Pinus thunbergii*)
Disk 5 : Nam-gu Seonam-dong(*Pinus thunbergii*)
Disk 6 : Jung-gu Seongan-dong(*Pinus thunbergii*)
Disk 7 : Samdong-myon Chulgang-ri(*Pinus rigida*)

Fig. 1. Map of the Disk sampling sites(●).

수령 요인 Bt가 성장에 미치는 영향은 나이테지수를 구하여 파악하였고, 기상 요인 Ct가 비대성장량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 나이테지수와 기상인자에 대한 회귀분석을 하였다. 개별적 요인 D_1 t, D_2 t는 평균비대성장량을 사용하여 최소화하였다. 그리고 이 세 가지 요인을 제거하여 공통적 요인을 파악하였다. 오차 Et는 일정한 경향이 없을 뿐만 아니라 여러 개체의 자료들을 분석하였으므로 무시하였다.

2.4. 중금속 함량 분석

오염으로 인한 성장쇠퇴를 분석한 결과를 검정하기 위하여 각 Disk별로 나이테를 3년 간격으로 분리, 채취한 시료와 Fig. 1의 각 지점에서 토양 시료를 채취하여 ICP로 중금속 함량을 분석(유, 1985)하고, 환경 오염원에 의한 성장쇠퇴 분석 결과와의 연관성을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수령에 따른 비대성장속도의 변화

수령증가에 따른 수목의 나이테 폭의 증감, 즉 비대성장량은 Fig. 2와 같다. Disk 1인 소나무, Disk 2에서 Disk 6 까지 곰솔의 비대성장량 감소는 1975년 ~ 1978년 사이에 일어났다. 나이테 폭의 감소를 일으키는 요인을 알아보기 위하여 성장기간인 3월 ~ 10월을 중심으로 강우량과 비대성장량의 변화를 비교 및 분석을 하였다.

수목의 성장에 영향을 미치는 강우량은 100 mm이상으로 꾸준히 공급되어야 하나 1975년 ~ 1978년 사이에 100 mm이상인 강우일수가 8개월 중 2 ~ 4개월에 불과했고, 월별 강우량의 차이도 컸다. 그러므로 이 시기의 강우량이 수목의 비대성장량을 감소시키는 요인으로 작용한 것으로 사료된다. 그러나 리기다소나무인 Disk 7은 수령이 19년 정도로 비교적 유령목이었기 때문에 비교대상에서 제외되었다. 수목의 연륜측정을 통해 비대성장량의 변화를 분석 한 결과는 특히

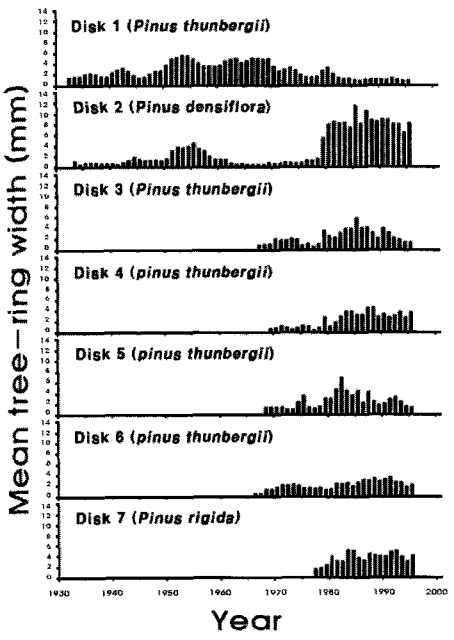


Fig. 2. Changes of annual ring width in accordance with current years.

1975년 ~ 1978년 사이의 강우량이 적은 시기에 뚜렷하게 발생하였다(Table 1). 1975년 이전에는 Disk별 평균비대성장량이 매년 2.00 mm이상 증가하는 패턴을 보이다가 1975년 이후 평균비대성장량의 증가 폭이 최대 1.50 mm에서 최소 0.50 mm정도 감소하는 패턴을 나타냈다. 특히 Disk 1의 경우 1975년 이전까지 평균비대성장량이 매년 3.00 mm ~ 5.00 mm정도 성장하다가 1975년 이후 강수량의 부족으로 인하여 1975년 2.07 mm, 1978년 1.77 mm로 감소하였다.

3.2. 성장패턴 분석

Disk 1 ~ Disk 7의 수령별 비대성장량을 plotting하면 비대성장량과 연령 간의 3차원적인 관계를 나타낼 수 있으므로 Disk 1 ~ Disk 7의 수령과 비대성장량 사이의 관계를 Cubic model을 이용하여 나타 낼 수 있

Table 1. Monthly delivery of rainfall in Ulsan (from 1975 to 1978)

Year	Amount of rainfall (mm)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1975	35.7	23.2	73.5	175.8	121.3	119.6	222.1	47.4	225.7	67.4	164.6	30.2
1976	0.0	103.5	56.7	170.4	34.7	130.3	90.1	212.4	99.8	54.6	38.4	36.1
1977	7.1	0.0	88.2	207.1	67.4	184.6	32.0	114.5	141.5	43.2	112.9	26.4
1978	31.9	45.4	66.4	47.0	9.6	440.7	60.3	171.8	114.6	77.4	64.9	17.1

다. Disk 1의 추정비대성장량은 식 **(1)**과 같다.

$$\text{추정비대성장량}=4.459\times10^{-5}(\text{수령})^3-0.007806(\text{수령})^2+0.3173(\text{수령})+0.4329 \quad (1)$$

이렇게 Cubic model을 통해 각 Disk별 추정비대성장량을 구하여 분석한 결과, Disk 1 곰솔과 Disk 2 소나무의 경우 최대 평균비대성장량이 각각 11.65 mm, 5.80 mm로 나타났다. 같은 지역임에도 불구하고 소나무와 곰솔은 전혀 다른 성장 패턴을 보였다.

이는 동일 지역일지라도 수종에 따라 환경에서 받는 영향이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 그 외 지역인 Disk 3 ~ Disk 7은 각 각 6.00 mm, 4.68 mm, 6.94 mm, 3.60 mm, 5.21 mm로 최대 평균비대성장량을 보였으며, 전체적으로 일정하게 수령이 증가함에 따라 비대성장량이 증가하다가 감소하는 성장패턴을 보였다(Fig. 2).

3.3. Graybill가설을 이용한 요인 분석

3.3.1. 나이테지수

Graybill의 가설을 이용한 다중회귀분석법은 수목의 성장에 영향을 미치는 수많은 요인들을 통합적으로 나타내어준다. 즉, 실제의 비대성장량을 구하고, 이를 이용하여 당해 년의 나이테지수를 산출하였으며(연도별 나이테지수=비대성장량/연령에 의한 비대성장량), 그 결과 Disk 1 ~ Disk 7의 나이테지수는 개체간의 차이를 나타내었다(Fig. 3).

또한, 이들 수목에 대한 비대성장의 수령 및 기후인자의 영향을 보면 조사 지역과 종에 따라 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 수령에 의한 영향은 소나무 〉 곰솔 〉 리기다소나무의 순으로 나타났고, 지역별로는 Disk 2 〉 Disk 4 〉 Disk 3 〉 Disk 5 〉 Disk 1 〉 Disk 7 순으로 영향을 받았다.

3.3.2. 기상요인과 나이테지수의 분석

식물의 생육에는 일정한 온량이 필요하다. 우리나라에서도 주요 수종의 일정한 온도 분포성이 밝혀졌으며, 수종의 분포를 제한하는 요인은 강수량보다 온도가 더욱 크게 영향을 미치고 있음이 밝혀져 있다(Yim, 1975). 적은 강수량이나 고온으로 인한 과도한 증발에 따른 토양수분의 부족, 특히 수목 성장기인 6월의 수분 부족(water deficiency)은 수목의 비대성장을 억제한다.

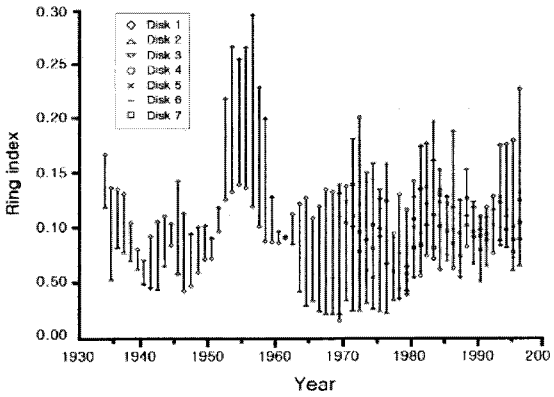


Fig. 3. Annual ring index of each Disk in accordance with current year.

3.3.2.1. Disk 1(Pinus thunbergii)

당해의 기상자료는 강우량, 기온 및 습윤 지수를 사용하였고, 기상에 의한 나이테지수는 식 **(2)**와 같이 산출하였다.

$$\text{기상에 의한 나이테지수}=-0.01(\text{강우량})+0.081(\text{온도})+1.57(\text{습윤지수})-12.01 \quad (2)$$

기상에 의한 비대성장량의 예측치와 실측치간의 차이를 보면 기상요인에 의한 비대성장의 증감이 확인되었다(Fig. 4). 기온, 강우량, 상대습도로 인하

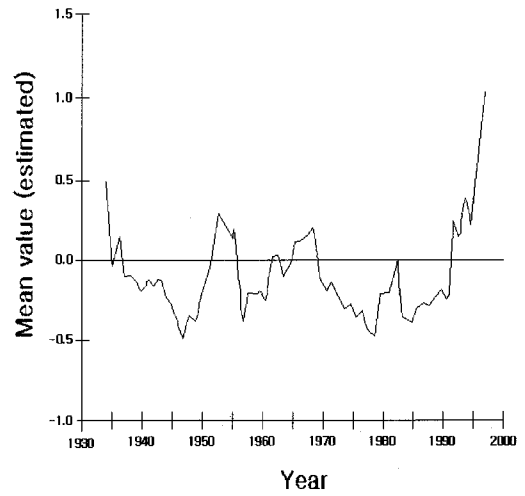


Fig. 4. Differences between estimated values and measured values of annual ring width affected by climatic effect in Disk 1 collected from *Pinus thunbergii*.

여 Disk 1의 비대성장량이 상대적으로 컸던 시기는 1962년 ~ 1969년과 1979 ~ 1980년이었고 적은 시기는 1975 ~ 1978년과 1982 ~ 1991년으로 나타났다. 이 시기의 자료 중 식물의 성장기인 3월 ~ 10월을 중심으로 비교 및 분석을 해 본 결과 기상과 상대습도 변화에서 곰솔의 성장에 대한 연관성은 발견되지 않아 더욱 정밀한 분석이 요구되나, 강우량과는 매우 밀접한 관계가 있었다. 1962년 ~ 1969년과 1979 ~ 1980년의 경우 강우량이 100 mm이상 되는 달이 3월 ~ 10월 중 5개월 이상으로 식물의 성장기에 고르게 비가 내렸다. 이에 반하여 1975 ~ 1978년, 1982 ~ 1991년에는 강우량이 100 mm이상 되는 달이 8개월 중에서 2 ~ 4개월밖에 되지 않았고, 월간 강우량의 차이도 컸다. 특히 1985년의 경우는 7개월 동안 모두 100 ~ 300 mm정도 비가 내렸는데도 불구하고 비대성장량이 감소했다. 이는 비교적 비대성장량이 높았던 시기보다 훨씬 많은 강우의 공급과 불규칙적인 강우 패턴이 오히려 식물의 비대성장의 감소요인으로 작용한 것으로 사료되나 좀 더 정밀한 분석이 요구된다.

3.3.2.2. Disk 2(Pinus densiflora)

본 시료채취 지점은 울산 지역 중에서 남부지방을 대표하는 난온대림에 속하는 관계로 식물의 성장기에 필요한 일정한 온도 이상의 기온이 유지되는 곳으로 예상했다. 따라서 비대성장량이 온도의 변화에는 큰 영향을 받지 않고, 강우량과 잠재증발량(potential evapotranspiration)에 영향을 받고 있을 것으로(Song, 2009) 예상되었다. 하지만 Disk 2를 분석한 결과 강우량과 상대 습도의 연관성보다는 온도가 증가하면 비대성장량은 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5).

3.3.2.3. Disk 4(Pinus thunbergii)

Quadratic 모델을 이용한 나이테지수는 식 (3)과 같다.

$$\text{나이테지수} = -0.003553(\text{연령})^2 + 0.241973(\text{연령}) - 0.209257 \quad (3)$$

Disk 2와 비슷한 결과로 기후와의 관계에서 강우량과 상대습도에 의한 영향보다 온도가 증가할수록 비대성장이 감소하는 반비례관계의 경향이 있는 것으로 분석되었다(Fig. 6).

Disk 1(Fig. 4), Disk 2(Fig. 5), Disk 3(Fig. 6)의 결과를 살펴본다면 본 조사지역에서는 기후요인 중 강우량의 변화와 온도의 증감이 비대성장량에 영향을 주고 있음이 확인되었다. 강우량의 경우 100 mm이상으로 수목 성장시기인 3월 ~ 10월 중 5개월 이상 고르게 내린 경우 비대성장량이 증가하였고, 100 mm이하 또는 강우가 불규칙적으로 많이 내린 경우에는 인 3월 ~ 감소요인으로 작용하였다. 또한 본 조사지역에서 수목의 비대성장량에 영향을 미치는 기후요인은 온도이며, 온도가 증가할수록 비대성장량이 감소하는 성장패턴을 보였다.

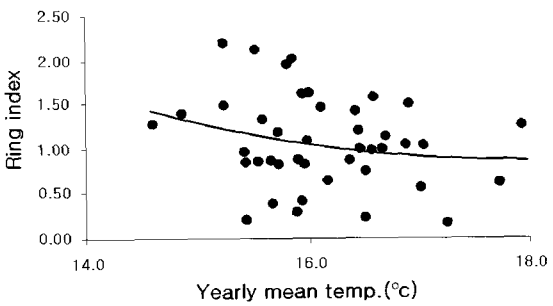


Fig. 5. Relation between air temperature and annual ring width of Disk 2 collected from *Pinus densiflora.*

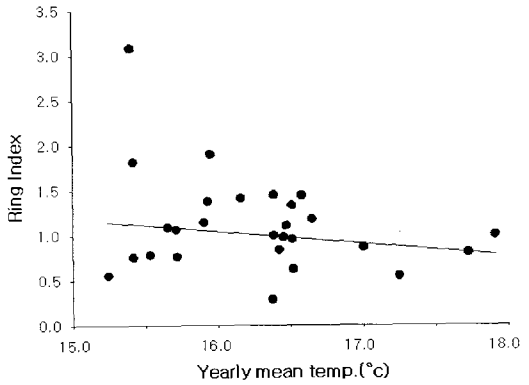


Fig. 6. Relation between air temperature and annual ring width of Disk 4 collected from *Pinus thunbergii.*

3.3.3. 중금속 함량 조사(Disk별 중금속 분석)

수목의 중금속 함량을 알아보기 위해 소나무(Disk 2), 곰솔(Disk 3, Disk 6)의 나이테를 3년 단위로 채취하여 오염요인인 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn)의 함량을 ICP로 측정한 후 각 연도별로 나타내어서 나이테지수와의 연관성을 검토하였다.

3.3.3.1. Disk 2

구리(Cu)가 소나무의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위해서 나이테지수를 산출하여 상관관계를 분석하였다. 그 결과 구리의 함량이 0.60 ppm이하 일 때 수목의 비대성장량이 증가하는 성향을 나타내는 반면, 구리 함량이 0.61 ppm이상으로 증가하면 비대성장이 감소하는 유의한 관계를 나타낸다(Fig. 7).

3.3.3.2. Disk 3

곰솔의 성장에 미치는 영향을 알아보기 위해 납과 아연의 함량과 나이테지수와의 관계를 분석하였다. 그 결과 납과 아연의 함량이 증가할수록 곰솔(Disk 3)의 비대성장이 감소하는 경향을 보였으며, 납과 아연의 함량곡선과 나이테지수곡선의 유의성을 나타내고 있었다(Fig. 8). 하지만 아연의 함량이 급격하게 변함에도 불구하고 나이테지수의 변화는 뚜렷하게 증감하지 않는 것으로 보아, 아연의 함량변화 보다는 납의 변화가 비대성장량에 영향을 미치는 것으로 사료되었다.

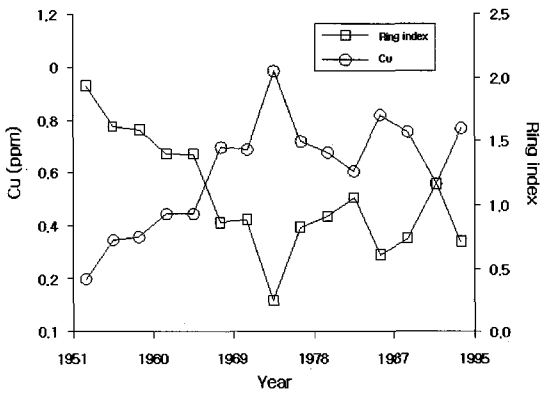


Fig. 7. Relation between copper content and annual ring index of Disk 2 collected from *Pinus densiflora.*

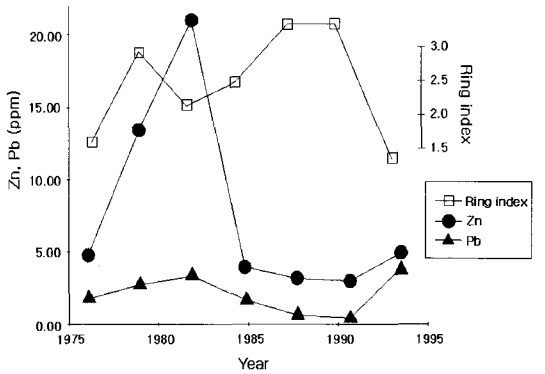


Fig. 8. Relation between lead and zinc content and annual ring index of Disk 3 collected from *Pinus thunbergii.*

3.3.3.3. Disk 6

Disk 3과는 달리 1976년과 1982년 사이에서 아연(Zn)의 함량이 감소하는데도 불구하고 비대성장량이 감소하였다(Fig. 9). 이러한 결과로 볼 때 아연의 함량 증감이 비대성장량에 미치는 영향은 미비한 것으로 사료된다.

Disk별 중금속 함량과 나이테지수를 측정한 결과를 이용하여 비대성장량과 중금속함량의 유의성을 분석한 결과, 구리(Cu)의 경우 0.61 ppm이상의 경우 수목의 비대성장량이 감소하는 유의한 관계를 나타내었다. 납(Pb)의 경우는 다른 중금속보다 비교적 낮은 함량의 변화에도 불구하고 나이테지수의 변화량에 영향을 미쳤다. 아연(Zn)의 경우 함량의 증감이 수목의 비대성장량에 미치는 영향은 미비한 것으로 판단되었다.

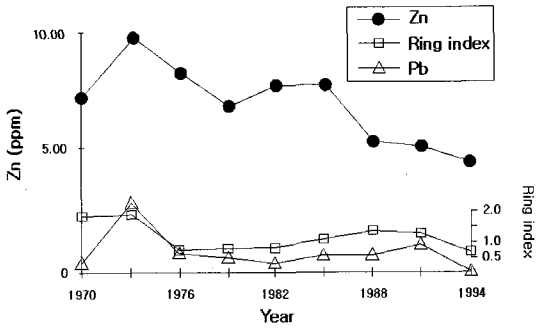


Fig. 9. Relation between zinc content and annual ring index of Disk 6 collected from *Pinus thunbergii.*

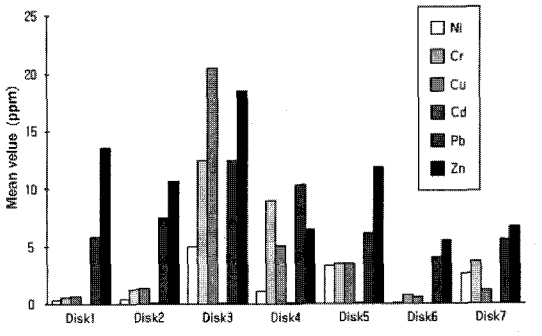


Fig. 10. Content of various heavy metals(Ni, Cr, Cu, Cd, Pb and Zn) in soils which were collected 7 Disks.

3.3.4. 토양의 중금속 분석 결과

토양시료의 몇 가지 중금속 함량은 Fig. 10과 같다. Disk 3, Disk 4지역인 온산면에서 니켈(Ni), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn)의 함량이 다른 지역에 비하여 높게 나타났다(Fig. 10). Disk 1, Disk 2지역에서는 다른 중금속 함량보다 납(Pb)과 아연(Zn)의 함량이 높게 나타났다. 토양의 중금속함량을 측정한 결과 납과 아연의 함량은 Disk 2지역에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 전체적으로 토양 중금속함량이 높은 지역은 온산면으로 나타났다. 이러한 결과를 토대로 본 조사 지역과 같이 복합적인 환경요인과 오염물질로 인한 수목성장 저해요인으로 예상되는 지역에서는 Graybill 가설을 통하여 환경변화의 값을 환산하고, 나이테지수와의 다중회귀분석을 통하여 유의성을 분석한다면 수목 비대성장량의 저해요인을 파악하는데 매우 효과적인 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 환경요인과 중금속 요염의 영향에 의한 수목의 상대생장과 장기적인 생장 패턴을 다중회귀분석법을 활용하여 알아본 것이다.

울산 지역에서 자생하고 있는 63년생 소나무, 64년생 곰솔, 28년 ~ 30년생 곰솔, 19년생 리기다소나무의 나이테를 대상으로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 수목의 나이테 측정을 통하여 비대성장량의 변화를 분석한 결과 특히, 1975 ~ 1978년 사이에 뚜렷한 나이테 폭의 감소가 발생하였다. 감소요인을 파악하기 위하여 분석을 실시 한 결과 강수량에 따른 비대성장의 변화가 나타난 것을 확인할 수 있었다.

2) 평균비대성장량과 나이테지수의 분석을 통한 수종에 따른 환경 및 수령의 영향은 소나무 〉 곰솔 〉 리기다소나무 순으로 나타났으며, 지역에 따른 영향은 Disk 2 〉 Disk 4 〉 Disk 3 〉 Disk 5 〉 Disk 1 〉 Disk 7 순으로 나타났다.

3) 기상요인과 나이테지수 분석을 통한 결과는 강수량의 경우 100 mm이상으로 연중 5개월 이상 고르게 내린 경우 비대성장량이 증가하였고, 그 이하 또는 불규칙적으로 많이 내린 경우에는 비대성장량의 감소요인으로 작용하였다. 또한 본 조사지역에서 수목의 비대성장량에 영향을 미치는 기후요인은 온도이며, 온도가 증가할수록 비대성장량이 감소하는 성장패턴을 보였다.

4) Disk별 나이테지수를 측정한 후 비대성장량과 중금속함량을 ICP로 분석하여 유의성을 검토한 결과 구리(Cu)는 0.61 ppm이상의 경우 수목의 비대성장량이 감소하는 유의한 관계를 나타내었다. 납(Pb)의 경우는 다른 중금속보다 비교적 낮은 함량의 변화에도 불구하고 나이테지수의 변화량에 영향을 미쳤다. 아연(Zn)의 경우 함량 증감이 수목의 비대성장량에 미치는 영향은 미비한 것으로 나타났다.

5) 토양의 중금속 함량을 측정한 결과 납과 아연함량은 Disk 2를 채취한 소나무 군락 지역에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 전체적으로 토양 중금속함량이 높은 지역은 온산면으로 나타났다.

이러한 결과를 토대로 본 조사 지역과 같이 복합적인 환경요인과 오염으로 인한 수목성장 저해요인으로 예상되는 지역에서는 Graybill가설을 통하여 환경변화의 값을 환산하고, 나이테지수와의 다중회귀분석을 통하여 유의성을 분석한다면 수목 비대성장량의 저해요인을 파악하는데 매우 효과적인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김선희, 1992, 울산공단지역의 식물군집 구조분석과 환경림 조성기법에 관한 연구, 석사학위논문, 조경학과, 서울시립대학교, 서울.

김태욱, 이경재, 김준선, 1985, 여천공업단지의 대기오염이 곰솔에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, 1(1), 25-32.

유광식, 1985, 울산지역 도로변의 아카시아와 토양에 포함된 금속성분 함량에 관한 연구, UOU Report, 16(2), 321-322.

이경재, 우종서, 배정오, 고강석, 1990, 울산공단지역에서의 대기오염이 삼림에 미치는 영향(I), 한국대기보전학회지, 6(1), 103-110.

Cutter, B. E., Guyette, R. P., 1993, Anatomical, Chemical Factors Affecting Tree Species Choice in Dendrochemistry Studies, J. Environ. Qual., 22, 612.

Douglass, A. E., 1929, The secret of the Southwest solved by talkative tree rings, National Geographic Magazine, 56(6), 736-770.

Fritts, H. C., 1996, Growth-Ring of Trees, Their

Correlation with Climate, Science, 154, 973-979.
Innes, J. L., Cook, E. R., 1989, Tree-ring analysis as an aid to evaluating the effects of pollution on tree growth, Can. J. For. Res., 19, 1175.
Schweingruber, F. H., 1988, Tree Rings, Basics and Applications of Dendrochronology, D. Reidel Pub. Co., 276.
Song, Y. J., 2009, Estimation of the effect of air pollutants on tree ring growth in black pines(Pinus thunbergii), J. Ecol. Field Biol., 32(2), 109-113.
Yim, Y. J., 1975, Distribution of forest vegetation and climate in Korean Peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate, Jap. J. Ecology, 25(2), 77-88.