

< 報 文 >

중부한국의 자연생 소나무의 연 신장성장에 영향을 미치는
토양요인들에 대한 다요인 분석

오 계 칠
(서강대학교 이공대학 생물학과)

**An Analysis of the Relationship of Soil Factors to the Height Growth of
Pinus densiflora within the Young Natural Stands in Central Korea**

Oh, Kye Chil
(Department of Biology, Sogang University)

(1978. 1. 5 접수)

ABSTRACT

To study on the annual height growth of *Pinus densiflora* within natural pine stands in central Korea, twenty two pure closed *Pinus densiflora* stands were selected subjectively in the west-central region of Korea. In each stand twenty trees were chosen randomly. For each tree, about ten to fifteen measurements of internodal lengths were made from leader top to trunk base.

A total of one hundred thirty four soil samples was collected. Each soil sample was bulked with three subsamples. The ranges of the growth measurements per stand, per tree and per observation were 14.9-35.4cm, 9.0cm-54.4cm and 2.4cm-69.0cm respectively. The total mean value was 23.5cm. The Student-Newman-Keul's tests for the multiple comparison among the mean values of the height growth per stand were very highly significant.

The results of the analysis of variance of the height growth data for the selected fifteen stands among the twenty two stands indicate that sampling efficiency might be increased to 744% if measurement of the growth were made on fifteen trees per stand from twenty stands instead of twenty trees per stand from fifteen stands.

The annual height growths of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* for the the period from 1960 to 1968 were 21.74 ± 5.29 cm (10) and 20.56 ± 5.59 cm (10) respectively.

The total means of easily-soluble phosphorus, total nitrogen, loss on ignition and pH for the soil samples were 2.8 ppm, 0.09%, 5.4% and 4.7 respectively. The ranges of those amounts were 18.7-1.7 ppm, 0.17-0.05%, 11.6%-3.1%, 3.9-5.1 respectively.

The relationship of the annual height growth of *P. densiflora* to soil was studied in terms of standard partial multiple regression. Among soil properties such as non-capillary pore space, capillary pore space, maximum field capacity, loss on ignition, soil reaction, total nitrogen and easily-soluble phosphorus investigated, the easily soluble phosphorus in one analysis and loss on ignition and soil reaction in the other analysis seem to have significant positive influence on the annual height growth.

서론

우리 중부한국은 물론 전국적으로 소나무(*Pinus densiflora*)가 한해 동안에 얼마나 신장성장을 하는지에 대하여 알려진 바가 없다. 다행히도 소나무는 수간에 해마다 한 곳에만 가지가 총생되어 보통 적어도 유병기에 있는 소나무의 경우에는 그 분명한 수간부의 가지의 총생절 사이의 길이를 잴으므로 신장성장이 얼마나 이루어졌는지를 알아 볼 수 있다. 소나무류를 대상으로 한 이와같은 측정은 *P. strobus*나 *P. resinosa*의 경우(Chapman and Meyer 1949)와 같이 간편하게 이루어 질수 있어 이 년신장성장율은 자연생유령소나무숲의 무기적환경과 타 식물종과의 관계 특히 경쟁상태 등을 알아보는 데 있어 그의 비대 성장상태와 더불어 훌륭한 생물학적 지표로서 이용될 수 있을 것으로 본다. 더욱이 이와같은 년 신장량의 측정은 비대성장량의 그것보다 간편하게 할 수 있다.

그에서 이 연구에 있어서는 중부한국에 있어

서의 소나무의 년신장량을 되도록 여러곳에서 측정하여 지역적으로 유의한 차이가 있는지를 통계학적으로 결정하고 이 년신장성장량에 영향을 끼칠 것으로 생각되는 각가지 토양요인 즉 토양의 모관공극양, 야의당양, 무기물양, pH, 전질소양, 용해성인양, 토양심도 및 토양가압축능(soil compressibility)등을 측정하여 이것들이 소나무의 년신장량에 미치는 영향을 정량적으로 알아보코져 하는 것이 이 연구의 목적이다.

물론 강우량, 잦가지 기온, 바람, 비교습도, 일주기 등이 나무의 신장성장에 영향을 끼치고 있음은 이미 알려진 바다. 그러나 잦가지 토양요인들의 신장성장에 대한 영향이 자연림상태에서 어떤 양상으로 이루어 지는지에 대하여는 국내는 물론 국외에서도 그리 연구의 예가 많지 않으며 더욱이 multiple standard partial regression 분석을 한 예는 매우 드물다. Wilde(1970), Jackson(1971), Oh(1971)등의 연구가 있으나 아직 일반적인 결론을 내리기에는 그 규모나 Model설정에 있어 불만족스러운 점이 있고, 토양요인의 정량적평가의 방법을 개량시키는데 있

Table 1. Sampling site of natural young *Pinus densiflora* forests in central Korea

Site No	Geographic position		Altitude (m)	Exposure	Slope	Soil description
	N	E				
70-1	37°44'10"	127°10'40"	140	S	20°	Lithosols, granite gneiss origin, gravelly loams, well drained
70-2	37°43'40"	127°10'20"	100	Flat	10°	Ditto
70-3	37°20'30"	126°48'10"	40	S	10°	Red-Yellow Podzolic Soils, granite gneiss origin, gravelly loams, well drained
70-4	37°20'35"	126°47'30"	60	N	20°	Lithosols, granite gneiss origin, sandy loams, well drained
70-5	37°20'50"	126°47'20"	60	N	20°	Red-Yellow Podzolic Soils, granite gneiss origin, gravelly loams, well drained
70-6	37°33'00"	127°09'45"	50	N	Flat	Alluvial, silt loams, well drained
70-7	37°32'10"	127°09'20"	170	NW	30°	Red-Yellow Podzolic Soils, granite gneiss origin, loamy sands, excessively drained
1	37°28'20"	127°09'30"	140	W	30°	Lithosols, granite gneiss origin, stony loams, excessively drained
2	37°30'30"	127°07'10"	60	Flat	Flat	Red-Yellow Podzolic Soils, granite-gneiss origin, loamy sands, well drained
3	37°32'40"	127°09'10"	60	E	15°	Ditto
4	37°32'50"	127°09'30"	60	W	15°	Ditto

5	37°32'30''	127°09'50''	70	W	20°	Lithosols, granite gneiss origin, stony loams, well drained
6	37°32'20''	127°09'40''	70	N	30°	Ditto
7	37°32'40''	127°10'30''	40	N	20°	Red-Yellow Podzolic Soils, granite gneiss origin, gravelly loams, well drained
8	37°33'50''	127°09'50''	70	E	30°	Ditto
9	37°33'40''	127°08'40''	40	EW	10°	Ditto
10	37°34'50''	127°08'50''	40	SW	20°	Ditto
11	37°33'40''	127°11'30''	50	S	30°	Lithosols, granite gneiss origin, stony-silt loams, excessively drained
12	37°32'10''	127°11'20''	70	W	20°	Ditto
13	37°25'09''	126°59'10''	80	N	30°	Lithosols, granite origin, gravelly-sandy loams, excessively drained
14	37°24'30''	126°58'20''	100	E	25°	Red-Yellow Podzolic Soils, granite origin, stony-sandy loams, excessively drained
15	37°24'10''	126°56'50''	40	Flat	Flat	Ditto

에서 신장양과 각 토양요인의 표본수집 방법을 어떻게 하는 것이 효율적인가를 알아보는 시도가 없었기 때문에 이 연구에 있어서는 이 문제를 전기한 문제와 아울러 다루어 보고자 하였다. 표본수집은 1970년 8, 9월과 1972년 8, 9월에 하였다.

이 연구를 하는데 있어 특히 이영익 조교 및 이규춘, 석달순, F. Buchmeyer, 강운순, 박지창, 양재명, 박중근 등이 흑서를 무릅쓰고 숲속에서의 표본 수집을 도왔고, 임공인 조교가 각 가지 토양요인 분석을 위해 힘썼고 탁상전자계 산기를 통한 수고를 아끼지 않았고 본 대학교 전자계산실의 정춘근 조교수가 Univac SS 80을 통한 다요인 회기분석계산을 도왔고 또한 서울대 교육대학원 교수 임인재 박사도 다요인회귀 분석계산상 많은 도움을 주었다. 이상 여러분에게 깊이 감사하며 특히 1972년도 문교부학술연구조성비를 지급해 준 문교부 당국에 깊은 사의를 표한다.

표본 수집 장소

경기도 광릉팀, 시흥군 군자면, 과천면, 광주군 등부면, 서부면, 성동구의 일부등에 대하여 우선 5만분지의 1 혹은 2만 5천분지 1지도로 지

형을 살피고 나서 예비 답사를 하여 대체로 연구대상지를 설정하였다.

이때 대상 연구지는 외견상 벌목이나 방화 등의 인위작용이 없고 수관이 거의 밀접되어 있는 20년생 정도의 자연생소나무숲이 나 있는 곳을 택하였다. 그러나 장소 1과 2, 13, 14등(표 1)은 소생 자연소나무숲이었다. 표본수집지의 높이, 경사도, 경사면 등을 표 1에 표시하였다.

표본 수집 방법

각 대상지에서 약 20개의 소나무를 대상으로 수간부 하부의 불분명한 가지의 총생질을 제외하고 그 위의 가지 총생질 사이의 거리를 나무마다 재었다. 동시에 장래 한 생산력 연구의 자료로 삼기 위해 지질면의 DBH도 기록하였고, 아울러 5x5m 방형구 약 10—15개를 설치하여 밀도 및 저적면적을 잴다.

각 대상지마다 3개씩 직경 8.2cm의 soil sleeve를 이용하여 표층에서 7.8cm 길이까지의 흙을 채취한 다음 이들을 섞었다.

이것이 토양요인 특성을 위한 1개 기본 단위가 된다. 이때 토양표면에 식물이나 낙엽, 낙지 등을 제거 하였다. 이와 같은 단위의 것을 각 대상지마다 6—9개씩 채취하였다.

이상의 표본수집은 엄격한 의미에서 Random sampling이 아니다. 그러나 년신장 측정이나 토양채취에 있어 각 대상지 안에 있어서의 그들의 차이가 되도록 최대한 나타낼수 있도록 배려했다.

특히 장소 70-1과 70-2에 있어서는 동일대상지 안에 소나무와 잣나무(*Pinus koraiensis*)가 혼생되어 자라고 있어서 그들의 년신장량의 차이를 보기 위해 전기한 바와 같은 측정을 하였다.

분 석 방 법

가) 토 양

채취한 토양은 기전시킨 다음 분쇄한 후 2mm 체로 친후에 공극량은 bulk 및 particle density를 잴다음 추정하였고 최소 용수량은 105°C에서 건조시킨 후 잴다. 유기물·소실량은 전기로에서 420°C로 가열후 측정하였고 pH는 Beckman pH meter로 잴다. 전질소량은 micro-kjeldahl법으로, 그리고 용해성인양은 Bray's method(Bray 1948)로 측정하였다. 토양산도는 야외에서 각 대상지마다 약 3mm직경의 철사를 땅치로 치면서 돌과의 충돌이 없을 때까지의 길이를 잴어서 얻었다.

이런 관찰수는 각 대상지마다 16이다. 토양가압축능(soil compressibility)은 SOILTEST사의 soil penetrometer로 각 표집지마다 16회 잴다. 이상의 모든 측정은 각 대상표집지와 서강대학교 이공대학 생물학과에서 실시하였다.

나) 통계학적 분석

각 대상지는 전기한 목적에 따라 주관적으로 선정하였으나 각 대상지 안에서는 정상한 것 즉 적립되어 있고 년간의 신장이 뚜렷한 것을 대상으로 되도록 갖가지 크기의 것을 상대로 년간신장량을 재어 가지고 분산분석을 하여 표집 장소에 따르는 년간신장량에 차이가 있는지를 알아보았다. 따라서 이것은 엄격한 의미에서 Model I이나 Model II에 속하지 않는다. 이들 22개

표본수집지 사이의 장소별 평균 년신장량의 차이를 동시에 비교하기 위하여 Student-Newman-Keul의 검정을 하였다(Harter, 1960). 여기서 나무당 년 평균 신장량이라 함은 한 소나무가 해마다 신장 성장한 양을 잴 것을 평균한 것을 뜻하며 장소별 평균 년신장량이라 함은 전기 장소별로 20개의 나무에서 얻은 나무당 년 평균치 20개의 평균치를 뜻한다. 이 분석은 탁상전자계산기로 하였다.

전기한 토양요인들이 나무 신장성장에 미치는 정도를 알아 보기 위해 standard partial multiple regression coefficient를 구하여 보았다.

그 기본 Model은 다음과 같다. $Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k$ 그후 multiple correlation이 zero와 유의하게 다른지 여부를 결정하였고 각 β_i 들의 유의성은 t 검정을 하였다. 각 요인들 사이의 상관계수 r 를 살펴 봄으로써 suppressor variable의 해석시에 참고로 하였다(Johnson 1961).

전기한 각 토양요인 들은 독립함수나 predictor variable로 삼았고 나무당 년 평균신장량은 종속함수나 criterion variable로 삼았다(Meleca, 1970). 나무당 년평균 신장량의 측정수는 각 표집지에서 20개나 되나 각 표집지에서 얻은 각각의 토양요인들의 관측수는 6-9이었으므로 나무당 년평균 신장을 기준으로 장소별 년평균신장량을 구한 후 이 평균치에 가장 가까운 나무당 년평균 신장율을 6-9개씩 골라 이들을 Random하게 토양요인과 짝지어 주었다. 이것을 Model Y_1 이라 부른다.

동시에 각 장소에서 얻은 20개의 나무당 년평균신장을 그저 Random하게 6-9개의 토양요인의 관측치와 짝을 지었다. 이것을 Model Y_2 라고 부른다. 이들은 표집지 70-1에서 70-7까지의 것과 1에서 15까지의 것을 상대로 개별적으로 전기 기본 Model에 따라 분석하였다.

따라서 전기 기본 Model에 따르는 Model의 수는 4개가 되고 그밖의 2개의 multiple correlation분석도 하였다.

Table 2. Multiple comparison on annual height growth of *Pinus densiflora* in central Korea by the Student-Newman-Keul's test

Site No	Number of trees observed	Mean Value in cm	Standard error	Multicomparison (1% level)	Multicomparison (0.1% level)
70-6	14	14.9	0.871	a	a
70-7	19	16.5	0.667	ab	ab
14	20	17.6	1.308	abc	abc
70-2	15	17.7	1.020	abcd	abcd
9	20	18.6	1.190	abcde	abcde
70-3	14	19.3	1.582	abcdef	abcdef
70-1	14	20.4	1.337	abcdefg	abcdefg
10	20	21.7	1.159	abcdefgh	abcdefgh
70-4	14	21.9	0.964	abcdefghi	abcdefghi
12	20	22.1	1.156	abcdefghij	abcdefghij
8	20	23.1	1.011	bcdefghijk	bcdefghijk
15	20	23.3	1.300	bcdefghijkl	bcdefghijkl
1	20	23.7	1.460	cdefghijklm	bcdefghijklm
13	20	25.2	1.486	defghijklmn	cdefghijklmn
11	20	25.3	1.687	defghijklmno	cdefghijklmno
70-5	16	25.4	0.975	defghijk mnop	cdefghijklmnop
2	20	25.6	1.748	fghijklmnopq	defghijklmnopq
7	20	25.7	1.298	fghijklmnopqr	defghijklmnopqr
4	20	28.2	1.490	hijklmnopqrs	hijklmnopqrs
5	20	28.5	1.107	hijklmnopqrst	hijklmnopqrst
6	20	30.0	1.336	mnopqrst	klmnopqrstu
3	20	35.4	1.804		u

Table 3. Analysis of variance of height growth of *Pinus densiflora* for 1970 and 1972 data

Source of variation	Degrees of freedom	Mean square	F
Between sites	21	440.489	15.769***
Within sites	381	27.933	

Table 4. Analysis of variance of height growth of *Pinus densiflora* for 1972 data

Source of variance	Degrees of freedom	Mean square	Parameters estimated
Between sites	14	399.759	σ^2 + $N\sigma^2\beta$
Within sites	285	35.966	σ^2

$\sigma^2 = 35.966$

$\sigma^2\beta = 18.189$

$$\begin{aligned} \text{Variance of the sample mean } S_{\bar{x}}^2 &= \frac{399.759}{300} = 1.332 \\ &= \frac{35.966 + n \cdot 18.189}{20 \times 15} \\ &= \frac{35.966}{na} + \frac{18.189}{a} = 0.119 + 1.121 \end{aligned}$$

$$S_{\bar{x}} = \pm 1.154, a = 15, n = 20$$

결과 및 논의

가) 분산분석에 관한 것

총 22개 장소에서 장소마다 20개체를 상대로 7—17년 사이의 신장성장량의 범위를 장소별 평균치로 본즉 장소 70—6에서는 14.9cm였고 장소 3에서는 35.4cm였다. 그 범위는 약 20cm가 된다(표 2). 그러나 전조사지를 통해서 개체목 당년평균신장의 최소치와 최대는 장소 9의 9.0cm와 장소 3의 54.4cm로 그 범위는 약 45cm가 된다.

또한 약 6,600개의 관측수(22개장소 20개목 15개관측) 전체를 통해 볼 때 최소치는 장소 12에서의 1965년도 신장양 2.4cm였고 최대치는 장소 6에서의 1968년도의 신장양 69cm였다. 그 범위는 약 66cm나 된다. 결론적으로 이들 대상지에 있어서의 년 평균신장양은 23.49cm이다.

장소별 년 평균신장양을 동시에 비교하기 위해 Student-Newman-Keul 검정을 해 보았다. 그 결과는 표2에 있는바와 같이 극히 매우 유의하게 서로 다른 7무리로 대강 구분 할 수 있다.

전반적으로 표집장소에 따라 유의한 차이가 있나 없나 보기위해 분산분석을 해본 결과 역시 극히 유의하였다(표 3).

좀더 넓은 지역을 대상으로 장소별 년 신장양을 추정하려면 장소내 관측 개체수의 증가보다 장소의 수를 더 증가시켜야 함을 알 수 있다. 표 4는 15개 장소에서 장소마다 20개의 측정을 하여 얻은 것을 분산분석하여 모 변양을 추정한 것을 나타낸 것으로 분자의 수 35.966은 18.189의 2배 가량 된다. 그러므로 장소의 수를 증가시켜야 함을 알 수 있다. 만약 장소를 20으로 하고 장소별 측정나무수를 15개로 한다면 식 $S_{\bar{x}}^2$

는 $35.966/300 + 18.189/300$ 의 계산으로 0.179가 되어 $S_{\bar{x}}^2/S_{\bar{x}}^2 = 1.332/0.179 = 7.441$ 로 그 효율은 744%나 증가할 것임을 알 수 있다.

마찬가지로 장소수를 30으로 하고 장소별 측정나무수를 반감하여 10으로 한다면, 세 $S_{\bar{x}}^2$ '는 $35.966/300 + 18.189/300$ 의 계산으로 0.725가 되어 $S_{\bar{x}}^2/S_{\bar{x}}^2 = 1.332/0.725 = 1.837$ 로 그 효율은 183%나 증가할 것임을 알 수 있다(Snedecor 1961).

장소 70—1과 70—2에는 소나무와 잣나무 숲이 있는데 그들 사이는 그리 떨어져 있지 않았다. 이들 숲에서 전기 두종을 각각 10개 목색 기회적으로 선정하여 그들의 연간 신장양을 측정하여 1960년과 1968년 사이의 이들 값을 나무별로 평균하여 본 즉 각각 20.56 ± 5.59 cm와 21.74 ± 5.29 cm였다.

Interval test(Sokal and Rohlf 1969)를 하여 본 즉 그들 성장양사이에는 유의한 차이가 없었다. 이들 대상목은 약 15년생 정도의 어린 나무인 까닭에 앞으로 더 큰 나무에 대하여 이와 같은 조사를 해 봐야 할 것이다.

나) 다 회귀분석에 관한 것

전기 분산분석에 의하여 소나무의 장소별 신장양이 22개 대상지에 따라 유의하게 다르다는 것을 알았으나 그와 같은 차이가 일어난 원인을 규명하기 위한 예비적 조치로서 각가지 토양요인 즉 비모탄공극양(NC), 모관공극양(CP), 최대야의당량(MC), 유기물함양(OC), 토양만응(pH), 전질소양(N), 유효인양(P), 토양심도(SD), 토양 가압축능(SC) 등의 차이가 년 신장양에 얼마만큼 이바지 되는가를 알아 보기 위하여 Standard partial multiple regression분석을 시도 하였다.

우선 전기한 각 토양요인들의 장소별 평균치 —7)의 1.7ppm이고 전 조사지를 통해 평균 2.8 ppm으로 보통 천연림의 10—200ppm (Wilde 등(70—1)의 18.67ppm이며 최소치는 명일리(70 1958) 보다 훨씬 적다.

Table 5. Mean values for physical and chemical soil factors in soil samples from *Pinus densiflora* stands in central Korea

Stand No.	No. of observations	Total pore volume (%)	Capillary pore volume (%)	Maximum field capacity (%)	Loss on ignition (%)	pH	Total nitrogen (%)	Easily-soluble P (ppm)	Soil depth (cm)	Soil compressibility (kg/cm ²)
70-6	6	63.9	54.3	68.4	10.1	4.5	0.08	2.36	—	—
70-7	9	28.2	24.2	57.3	7.8	4.5	0.07	1.70	—	—
14	9	— ^a	53.6	47.7	3.1	4.6	0.12	4.20	45.0	0.8
70-2	6	39.6	34.3	91.2	10.4	4.2	0.11	5.81	—	—
9	6	—	63.9	46.0	4.0	4.5	0.06	3.80	21.7	1.1
70-3	6	39.4	31.6	75.6	8.6	4.7	0.08	5.83	—	—
70-1	6	54.4	47.1	99.2	11.6	3.9	0.13	18.67	—	—
10	6	—	63.7	50.9	4.2	5.0	0.05	3.40	29.1	1.2
70-4	4	38.4	28.4	78.1	6.6	4.5	0.06	2.97	—	—
12	6	—	45.3	40.7	3.5	5.0	0.05	3.40	43.6	1.2
8	6	—	67.3	50.0	3.8	5.0	0.05	4.50	32.7	1.4
15	5	—	84.8	57.2	4.4	4.9	0.09	3.00	49.9	0.8
1	6	—	79.1	64.6	7.3	4.4	0.17	8.60	15.4	1.4
13	6	—	53.7	53.3	5.0	4.6	0.08	6.40	46.7	0.8
11	6	—	45.9	44.3	3.2	5.1	0.07	2.30	45.2	1.3
70-5	4	42.4	34.7	45.4	8.3	4.8	0.06	2.22	—	—
2	6	—	69.4	52.9	4.3	4.3	0.05	2.90	14.6	1.1
7	6	—	55.5	49.1	4.6	4.4	0.10	2.50	30.5	1.2
4	3	—	78.1	62.5	7.2	4.3	0.15	5.10	16.4	0.9
5	6	—	65.8	50.1	5.7	4.5	0.08	2.50	27.7	0.7
6	6	—	79.4	53.3	5.5	4.4	0.07	1.90	39.9	1.1
3	9	—	81.5	50.1	5.5	4.4	0.12	3.50	24.4	1.2
Average		43.8	62.4	55.4	5.4	4.7	0.09	2.80	32.7	1.1

^a A dash indicates that data are not available.

Table 6. Results of multiple partial regression analysis, beta weights and *t* tests^a

Dependent variable, the intercept and the mean	Independent variables and the means	β	S_{β}	<i>t</i>	<i>P</i> *
Y1 18.691cm	NC 7.39%	0.089	0.152	0.574	< 0.6
	CP 35.99%	-0.218	0.049	-1.266	< 0.4
	MC 79.30%	0.196	0.041	0.916	< 0.4
	OC 9.12%	-0.098	0.280	-0.501	< 0.6

pH	4.53	0.334	2.544	1.177 < 0.4
N	0.09%	-0.474	33.090	-1.803 < 0.1
P	5.58ppm	0.928	0.120	4.224 < 0.001

Multiple correlation coefficient, $R=0.627$ $F 0.025(7, 30)=2.75$

$F (7, 33)=3.06$

Y2	-3.680					
19.400cm		NC	a	-0.063	0.291	-0.354 < 0.8
		CP		-0.004	0.089	-0.024 -
		MC		-0.044	0.078	-0.180 < 0.9
		OC		0.095	0.534	0.417 < 0.7
		pH		0.399	4.857	1.211 < 0.3
		N		-0.353	63.183	-1.155 < 0.2
		P		0.543	0.229	2.129 < 0.05

Multiple correlation coefficient, $R=0.427$ $F 0.25(7, 30)=1.38$

$F (7, 33)=1.05$

* Degrees of freedom $N-m-1=33$, where $N=41$, $m=7$

a Same means for both Y1 and Y2 Model

전질소양 또한 장소별 최대치가 장소 1의 0.17%이고 장소 10, 8, 2의 0.05%가 최소치며 전 조사지를 통하여 평균 0.09%로 처녀림의 0.1-0.3% (Wilde 1958)와 비교할 때 현저히 적음을 알 수 있다. 유기물양이 West Virginia에서는 0.74-15.1%나 된다고 한다 (Buckman 1964). 그러나 이 조사지에서는 최대치가 광릉(70-1)의 11.6%, 최하는 장소 14의 3.1%이고 평균 5.4% 밖에 안된다. 토양반응이 이 조사지 같은 기후에서는 보통 pH 5-7의 범위에 드는 것이 상례인데 (Black 1964) 이 조사에서는 평균 4.7로 강한 산성도를 나타낸다. 그 범위는 3.9에서 5.1에 이르나 5.0이상은 4곳 뿐이다. 그밖의 물리적 요인들은 그리 식물의 성장에 불량한 상태에 있지 않다(표 5).

앞서 말한 바와 같이 전기 수치들은 각 장소마다 3개의 subsample이 기본단위인 것이 3 내지 9개의 관측치의 평균치이므로 표 5를 보아서는 이를 토양요인과 년 신장양 사이에 대하여 그 관련성을 알아보기가 힘들어 년 신장양을 종속함수로 삼고 각 토양요인을 독립함수로 하여 standard partial multiple regression 분석을 하였다. 장소 70-1에서 70-7까지의 것을 분석한

것을 표 6에 표시 하였다. Y1 Model이든 Y2 Model이든 다 유효성 인 만이 유의하다. 특히 Model Y1에서는 유효성 인이 매우 유의하고 상관계수 R도 유의하다. Y1과 Y2 Model사이의 이와 같은 차이는 예측이 가는 바이지만 앞으로 산림상태를 진단하는데 있어 표본수집 계획시 유의해야할 점이라고 생각한다.

그러나 전질소양과 유기물양, 공극양 등의 beta weight가 유의치는 않으나 부수로 나타났는데 이유는 이것이 표 7에서 보는 바와같이 N과 P와의 상관계수가 0.732이고 N과 다음MC OC pH와는 그것이 각각 0.68, 0.65, 0.80 이지마는 Y와 그들 사이의 상관계수는 매우 낮은점으로 보아 이들 두 beta weight는 suppressor variable로 작용 하고 있는 것 같다 (Meleca 1970).

장소 1에서 15까지의 자료를 Y1 Model에 따라 분석한 것은 표 8에서 보듯이 이곳 유기물(OC), pH들의 beta weight가 유의하고 P는 약간 유의치 못하다. 이 분석에서는 유기물이 가장 강한 predictor variable로 나타났고 R도 매우 유의하다. Y2 Model에서는 beta weight와 R이 다 유의치 않다. 여기에 있어서 일부 beta weight 들도 표 9에서 보는 바와 같이 pH를 제외하고

Table 7. Results of correlation analysis between annual height growth and soil properties and among soil properties in central Korea for 1970 data

	NC	CP	MC	OC	pH	N	P	Y1
CP	0.211							
MC	0.048	0.459						
OC	0.139	0.418	0.623					
pH	0.177	-0.524	-0.687	-0.573				
N	-0.105	0.407	0.682	0.658	-0.800			
P	-0.108	0.394	0.598	0.526	-0.756	0.732		
Y1	0.046	-0.155	0.035	-0.073	0.066	-0.094	0.295	
Y2	-0.004	-0.137	-0.180	-0.117	0.237	-0.237	0.011	0.466

Table 8. Results of multiple partial regression analysis, beta weight and *t* tests for stand 1 to 15^a

Dependent variable, the intercept and the mean	Independent variables and the means		β	S_{β}	<i>t</i>	<i>P</i> *
Y1 45.591 25.247cm	CP	68.17%	0.130	0.026	1.148	< 0.4
	MC	51.05%	-0.131	0.091	-0.994	< 0.4
	OC	4.71%	0.338	0.411	2.558	< 0.025
	pH	4.68	-0.246	2.339	-1.985	< 0.05
	N	0.09%	-0.061	10.241	-0.590	< 0.6
	P	3.90ppm	-0.167	21.351	-1.692	< 0.1
	SD	32.73cm	-0.066	0.051	-0.548	< 0.6
	SC	1.14cm	0.086	1.936	0.847	< 0.4

Multiple correlation coefficient, $R=0.525$ $F(8, 60)=3.13$

$F(8, 84)=4.008$

Y2 34.437 25.006cm	CP	^a	0.057	0.037	0.458	< 0.6
	MC		0.017	0.131	0.117	< 0.7
	OC		0.236	0.588	1.601	< 0.2
	pH		-0.125	3.352	-0.904	< 0.4
	N		-0.168	14.674	-1.443	< 0.2
	P		-0.181	30.593	-1.642	< 0.2
	SD		0.113	0.073	0.842	< 0.5
	SC		0.005	2.774	0.042	—

Multiple correlation coefficient, $R=0.321$ $F(8, 84)=1.203$

$F(8, 60)=1.32$

* Degrees of freedom $N-m-1=84$, where $N=93$, $m=8$

^a Same means for both Y1 and Y2 Model

Table 9. Results of correlation analysis between annual height growth and soil properties and among soil properties in central Korea for 1972 data

	CP	MC	OC	pH	N	P	Y1	Y2	SD
CP									
MC	0.430								
OC	0.323	0.635							
PH	-0.419	-0.275	-0.406						
N	0.133	0.316	0.379	-0.277					
P	0.017	0.270	0.188	-1.136	0.153				
Y1	0.298	0.166	0.375	-0.383	0.087	-0.093			
Y2	0.128	0.100	0.179	-0.122	-0.061	-0.156	0.553		
SD	-0.353	-0.217	-0.348	0.489	-0.031	-0.159	-0.314	-0.021	
SC	0.007	0.111	0.120	0.120	-0.001	0.102	0.083	-0.027	-0.258

는 Y1과의 상관계수는 낮으나 독립함수들 사이의 그것은 훨씬 큰 점으로 보아 suppressor variable로 작용한 것 같다. 전기장소 70-1에서 70-7까지의 것의 다요인분석 결과와 1에서 15까지의 그것에 있어 전자에서는 P가 유의하고 큰 beta weight로 나타났다. 이것은 Jackson (1971)의 결과와 일치된다. 그러나 1-15 장소에서는 OC와 pH가 유의하고도 큰 beta weight로 나타났다. 이것은 Wilde (1970)의 결과와 아주 유사하다.

틀론 1-15에서는 P의 *t*가 약간 적어서 유의치 않게 나타났음을 유의해야 할 것이다. 여하튼 이 문제는 앞으로 좀 더 두고 연구해야 할 과제이다.

장소 1-15에 있어서와 같이 OC와 P 및 Y1과의 *r*는 각각 0.188 및 0.375이고(표 9)장소 70-1 70-7에서의 OC와 P 및 Y1과의 *r*는 각각 0.526 및 0.073이다(표 7). 이점은 70-1~70-7까지의 것은 표본수가 41개이고 장소 1~15까지의 그것은 93개나 되어 후자가 더 stable한 beta weight를 주고 있다고 보아야 할 것으로 생각된다. 그뿐 아니라 이들 두 분석에 있어 SD, SC가 아울러 고려된 경우와 이것이 없는 경우, 그리고 NC가 있는 경우와 없는 경우도 있다는 점을 beta weight를 살필 때 잊어서는 아니될 것이다. 이 연구에서는 토양심도는 흔히 예측한

것처럼 중요한 요인으로 작용하고 있지 않다. 그러나 SD와 pH의 *r*이 유독 0.489임은 매우 흥미있다. 아마도 Y1과 SD를 회귀분석하면 높은 beta weight가 나타날지도 모른다.

결론

소나무의 년신장량은 조사한 22개 표집지에 한하여 볼때 장소별로 평균 23.5cm이고 그 범위는 14.9-35.4cm이고 총 440개 나무의 개체 목당 그 범위는 9-54.4cm이다. 그리고 총 절간 기리 관측수 6,600개의 측정치의 범위는 2.4cm에서 69.0cm에 이른다.

전술한 총 평균치 23.5cm는 미국의 *Pinus rigida*의 년 신장양 35-48cm (Little 1959), *P. ellivittii*의 그것의 120cm(Cooper 1957a) 및 *P. clausa*의 그것의 60cm(Cooper 1957b)와 비교할 때 훨씬 떨어진다. 그것은 아마도 용해성 인양, 평균 전질소량 및 작열소실양등의 평균치가 각각 2.8 ppm, 0.09% 및 5.4%이고 그들의 범위가 각각 18.7-1.7ppm, 0.17-0.05 및 11.6-3.1%밖에 안되는 점에 비추어 이들 나무사이의 유전적 차이도 있었으나 조사지의 토양요인이 빈약한데 그 원인이 있는 것 같다.

다요인 회귀분석 결과도 역시 7 내지 8가지 토양요인중의 인과 유기불양이 강한 predictor로

나타났음을 보아 그러한 추측이 가능하게 된다. 관측된 최고 년당 신장양 69cm는 어느 의미에서 우리나라 기후하에서 이상적인 토양요건이 갖추어졌을때 적어도 소나무가 약 17년 까지의 기간동안 한해동안 성장할 수 있는 상한 양이 아닐까 생각된다.

총 22개 표본수집지중의 15장소를 대상으로 한 신장성장양의 차이를 알아보기 위한 분산분석에서 추정된 모본산양을 기준으로 표집지의 수 15와 표집지 당 관측 나무수 20일 때 $S^2\hat{x}$ 와 그 비가 20:15일때와 그 비가 30:10일때의 비 $S^2\hat{x}'$ 및 $S^2\hat{x}''$ 를 각각 구하여 표본수집 효율을 본 결과와는 각각 744%, 183%였다. 이것은 앞으로 토양요인과 소나무의 년 신장양 사이의 관계를 연구하는 기획을 세우는데 있어 매우 중요한 수량적 참고가 될 것으로 믿는다.

활 용 방 안

우리나라 중부 한국의 소나무숲에 유효 인양, 질질소양, 유기물양은 매우 낮고 강한 산성 토양이므로 야산을 개간하여 농경지로 만드는 데 있어 이점에 특히 유의하여 적지를 선택해야 할 것이며 현 상태하에서는 임야에 시비하는 것 보다는 잘 보호하여 유기물이 축적되게 하여야 한다. 이 유기물양이 적은곳에 질소나 가리비료를 시비하여도 신장성장에는 별 도움이 되지 않을 것이다. 유기물이 증가되면 다음은 유효인양이 제한 요인으로 작용할 것이다. 이점은 다요인 회기분석 결과(표 6, 8)를 보면 바로 알게 될 것이다.

표본수집상의 효율을 올리는 방안을 세우는데 있어 본 연구의 결과는 수량적인 지표를 제시하였다. 단일출안에서의 다량의 관측보다 여러 숲을 대상으로 할 때 표본수집의 효율이 얼마나 올라 갈것인지를 알수 있다.

Y1 및 Y2 Model은 Model II Regression분석시에 기필코 미리 살펴야 할 기본 전략이다.

參 考 文 獻

- Buckman, H.O. and N.C. Brady, 1964. *The nature and properties of soils*. 6th edn. The Macmillan Company.
- Bray, R.H. 1948. Correlation of soil tests with crop response to added fertilizer requirement. Diagnostic technique for soils, and crops, pp. 53-86. The American Potash Institute, Washington D.C.
- Chapman H.H. and W.H. Meyer, 1949. *Forest mensuration*. The McGraw-Hill Book Company.
- Cooper, R.W. 1957a. Silvical characteristics of slash pine. Station Paper No. 81. Southeastern Forest Experiment Station, North Carolina.
- Cooper, R.W. 1957b. Silvical characteristics of sand pine. Station Paper No. 82. Southeastern Forest Experiment Station, North Carolina.
- Harter, H.L. 1960. Tables of range and studentized range. *Annals of Mathematical Statistics*, 31:1122-1147.
- Jackson, D.S. 1971. Site factors affecting productivity of *Pinus radiata*. Records of Proceedings Vol. 1. Abstracts of papers 61. Twelfth Pacific Science Congress, Canberra, Australia.
- Johnson, P.C. 1961. *Statistical methods in research*. Prentice-Hall.
- Little, S. 1959. Silvical characteristics of pitch pine. Station Paper No. 119. Northeastern Forest Experiment Station, Pennsylvania.
- Meleca, C.B. 1970. Multiple regression analysis: Results and discussion II. *BioScience* 20: 1-64.
- Oh, K.C. 1971. Annual height growth of

- Pinus densiflora* in relation to the selected soil factors in central Korea. Records of Proceeding Vol.1. Abstracts of Papers 113. Twelfth Pacific Science Congress, Canberra, Australia.
- Snedecor, G.W. 1961. *Statistical methods*. 5th edn. Iowa State College Press.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf, 1969. *Biometry*. Freeman and Company.
- Wilde, S.A. 1958. *Forest soils*. The Ronald Press.
- Wilde, S.A. 1970. Soils and forest growth: Their relationship in terms of regression analysis. *BioScience* 20: 67-128.