

수관사진법을 이용한 소나무-굴참나무 천연림에 있어서의 광 조건 연구*

정동준·김영채

경희대학교 생명자원과학연구원 / 임학과

(1999년 12월 1일 접수)

A Study on Light Condition between *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* Natural Mixed Forest Stands by Using the Hemispherical Photo Method*

Dong-Jun Chung and Young-Chai Kim

Institute of Life Science and Natural Resources / Department of Forestry,

Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea.

(Manuscript received 1 December 1999)

ABSTRACT

This study was performed to obtain the basic data to present rational silvicultural tending plan. It makes these widely distributed pine-oak mixed stand and each of pure stand in middle province on object of this study and do comparative analysis of light condition about stand parameter and natural regeneration according to each slope(north, west and south) conditions of location in central part of South Korea. Sample plots for pine-oak mixed stand and pine and oak pure stand were established on each of southern, northern and western slopes based upon site and growth conditions of the slope. Sample plot was a circle of 0.05ha with a diameter of 25.24 m. A sample plot has between 30 and 40 tree in it. Total 23 sample plots were established; 9 pure pine stands, 8 pine-oak mixed stands, and 6 pure oak stands across lower, middle, upper parts of slopes. Relative light intensity within a stand was measured by crown- photo(fish-eye lens; 180°) system through fish-eye lens and by comparing each plot with the denuded through PAR-sensor. The crown closure ratio of pure pine stand (75%) shows much lower than that of mixed stand (90.9%) and pure oak stand (93%). The relative light intensity within a stand showed an opposite result. The crown closure of mixed stands tended to become gradually low as the slope moves from the north to the south, but the relative light intensity within the stand tended to rise. By analyzing the relationship between the relative light intensity within a stand and stand parameter, light intensity within a stand tended to decrease as the diameter and N/ha increase. Number of oak seedlings and light intensity within a stand is in a straight-line regression relation. In particular, the number of oak seedlings was the highest in mixed stands on the southern slope. But no single pine seedling was found. The unfavorable conditions of 10cm thick litter layer and low relative light intensity in a stand(ranging between 4% and 8%) is considered to prevent pine seeds from germinating.

Key words : pine-oak mixed stand, hemispherical photo, PAR, relative light intensity, crown closure ratio

I. 서 론

우리나라의 산림은 반도적 그리고 지형적 특성 때문에 위도, 해발고도, 지형 등과 같은 다양한 지리적 인자에 의해 영향을 받아 독특한 산악 기상을 형성한다. 따라서 산림 지대에 형성되는 태양광선, 온도, 수분, 바람 등의 기상은 이러한 지리적 인자들이 복합적으로 작용하여 형성된다. 산림 내에서의 기후는 임분구조의 형태에 따라 그 기후 상태가 달라진다(Mitschlich, 1975). 따라서 산림의 기상은 임분 형태가 단층림 또는 복층림으로 이루어졌느냐에 따라 달라질 뿐만 아니라 동일한 임분 내에서도 밀도에 따라 그 특성을 달리하는 등 복잡한 양상을 보인다(Kramer, 1988).

산림 내의 태양복사는 수관의 영향으로 약해지며, 태양복사의 수직적 진행은 산림의 수직적 분포에 따라 그 형태가 달라지게 된다. 단층림에서는 태양복사의 감소가 매우 조밀한 수관부위에서 나타나지만 수관부 위에서는 큰 변화가 없다. 이와는 반대로 복층림에서는 수관층이 다양하기 때문에 복사의 형태가 더 긴 수직적 거리를 유지하며 약해지고 분산된다. 서로 다른 수관 형태를 가진 임분은 공간적으로 다른 복사의 값을 나타낸다(Flemming, 1994). 이런 각 태양복사 구성요소들 중에서 적외선복사가 가장 많이 감소되고, 적은 양의 다른 광선만이 지표면에 도달한다. 또한 태양복사는 허층식생과 천연갱신은 같은 산림내 불균등한 임상부의 영향으로 크게 변화하는 특징이 있다. 또한 밀하지 않은 산림은 상대적으로 복사 흡수의 양이 많은데, 특히 활엽수림은 잎이 나기 전인 봄에 태양복사 흡수가 높게 나타난다(Mitschlich, 1975).

복잡 다양한 산림에서의 생태·생리학적 연구를 위해 요구되는 장기간의 임내 광 환경을 평가할 수 있는 방법들은 극히 드물다. 임업 실제에서 지금까지 폭넓게 사용되는 기술 중의 하나가 수관사진인데, 수관 사진의 이용은 임내 광 환경을 추정하는데 있어서 비용이 적게 들고 이동이 용이하며, 추정된 광 환경을 직각 혹은 원형으로 구획할 수 있는 특징을 갖는다.

광 환경을 분석하기 위한 수관사진의 이용은 Hill (1924)이 180° 어안 렌즈를 사용한 것을 시작으로 Evans and Coombe(1959), 그리고 Anderson(1964) 등에 의해 연구목적으로 사용되었다. 이들의 연구결과는 수관사진으로부터 광환경의 굴절 및 확산을 추정하기

위한 기초자료를 제공하였으며 최근에는 수관사진 분석을 위하여 optimas라는 computer program이 개발되어 사용되고 있는 추세이다(Wagner and Nagel, 1992).

최근 근자연적 산림경영이라는 관점에서 천연 혼효림에 대한 관심이 고조되고 있으며, 천연 혼효림의 효율적인 경영을 위해서는 임분구조 분석, 생육 환경 인자를 통한 개체목별 성장분석 등과 같은 기초 연구가 선행되어야 한다. 특히 이러한 연구들과 매우 연관성이 높은 천연 혼효림에서의 임분구조에 따른 환경인자에 관한 연구가 필수적인 과제라고 할 수 있다.

본 연구는 한국 중부지방에 많이 분포하고 있는 소나무-참나무 천연 혼효임분을 대상으로 사면별(북, 서남) 위치종속 임분조사에 의한 임분통계량과 각 사면별 임분내 광 조건을 비교하며 광 조건에 따른 수종별 천연갱신 상황을 구명하는데 그 목적을 두었다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구자료 및 조사방법

본 연구는 공주영림서 충주관리소 관내에서 비교적 성장 상태가 양호한 괴산군 청천면 남산에서의 소나무-굴참나무 혼효림, 그리고 소나무 및 굴참나무 단순림을 대상으로 하였으며, 조사지의 해발고도는 200~600 m의 범위에 속하고 경사는 25~30°로 비교적 심하며, 능선의 방향은 북, 남 그리고 서향으로 구분되어져 있다. 능선에는 주로 소나무가 분포하며 하부에는 굴참나무 단순림으로 구성되어 있고, 그 중간 구역에 소나무와 굴참나무가 혼효되어 있는 특징적인 임분형태를 나타내고 있다.

조사지의 소나무-굴참나무 혼효림과 각각의 단순림을 대상으로 남경사면, 북경사면 그리고 서경사면별로 입지와 생육분포를 고려하여 표본점을 설정하였다. 표본점의 형태는 원형으로 하였으며, 표본점내에 평균 30~40본이 포함되도록 표본점의 크기를 0.05 ha(반경 12.62 m)로 하였다. 표본점의 수는 사면별로 상·중·하부를 구분하여 소나무 단순림 9개, 소나무-굴참나무 혼효림 8개, 참나무 단순림 6개로 총 23개를 조사하였다. 설치된 각 표본점별로 표본점의 중심점과 개체목간의 방위와 수평거리를 측정하여 개체목들의 위치를 파악하였으며, 각 개체목에 대해 흉고직경, 수고, 지하고, 수관폭(4 방향)을 측정하였다. 또한 직경의 연

년생장량을 측정하기 위해서 생장추를 이용하여 각 표본점마다 수종별로 10 cm 간격의 흉고직경급에 따라 목편을 채취하였고, 채취된 목편의 연륜폭은 정밀 연륜측정기를 이용하여 수피부분에서 안쪽 방향으로 1/100 mm 단위로 측정함으로써 연령과 흉고직경의 연년생장 자료를 분석하였다.

2.2. 임분내 광 환경 인자 측정

광도는 위도, 해발고, 방위, 경사, 계절, 시각 및 운량에 따라 변하며, 임내 광도는 수령, 수종, 밀도(임판의 울폐도) 등에 따라 차이를 나타낸다. 광도의 측정은 조도계나 PAR-sensor를 사용하여 그 측정가를 직접 이용하기도 하지만 임내광도 등은 임분내 기준점의 광도와 동시에 다른 공간(나지)에서 측정한 광도치의 백분비(%)로서 상대광도(R.L.I : relative light intensity)를 구하여 표시한다. PAR-sensor(DIN 5031, W/m²)는 실제 식물이 광합성에 필요한 광합성 유효 광파장 범위(400~700 nm)를 측정할 수 있는 기구로서 본 연구에서 측정 기구로 이용하였다(Figure 1, 왼쪽). 측정 반복 수는 임분형태와 사면별 총 23개로 각 원형 Plot 당 중심점에 설치하여 오전 6시부터 오후 6시까지 동시에 나지와 비교하여 임분내 상대광도를 측정하였다.

또한 수관의 울폐도와 diffuse site factor(DIFFSF, %)를 각 원형 Plot 당 중심점과 4구역으로 분할하여 분할 중심점들로부터 각각 사진(총 115장)을 촬영하였다. 수관사진을 위한 필름은 Agfa-Ortho 25 ASA, 카메라는 Canon AE 1와 fish-eye 광각lens(7.5 mm,

180°)를 사용하여 구름이 고르게 낀 흐린 날에 촬영하였다. 현상된 흑백 negative 필름은 수관사진 측정 장치(Figure 1, 오른쪽)와 Optimas program에 의해 분석하였다(Figure 2).

III. 결과 및 고찰

3.1. 소참나무 임분별 수종간 생장 비교

임분별 그리고 혼효림에서의 사면별 ha당 본수, 단면적, 단면적 평균직경, 단면적 평균수고, 재적, 흉고직경 평균생장량, 흉고직경 정기평균생장량 그리고 수령에 대한 조사 자료를 Table 1에 요약하였다. 각 임분에 있어서의 평균 연령은 소나무가 57년, 굴참나무가 45년으로 약 10년 정도의 차이를 나타냈다.

수종별 재적은 소나무의 경우에 단순림에서 259.3 m³/ha, 혼효림에서는 150 m³/ha으로 매우 높은 축적을 나타내고 있는 반면에, 굴참나무는 단순림에서 206.5 m³/ha, 혼효림에서 71.7 m³/ha을 나타냈다. 혼효림에서 각 방위별로 단면적평균직경, 단면적평균수고, 단면적, 재적 등의 임분 통계량을 보면 소나무는 북사면에서 남사면으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있지만 굴참나무는 반대로 남사면에서 가장 높은 재적을 나타내고 있다. 또한 최근 10년간 소나무의 흉고직경 정기평균생장량을 살펴보면 위와 같은 경향을 보이며, 반면에 굴참나무는 모든 사면에 있어서 소나무 보다 높은 생장량을 나타내고 있는 것으로 보아, 소나무는 굴참나무로부터 강한 경쟁 압력을 받고 있다고 사료된다.

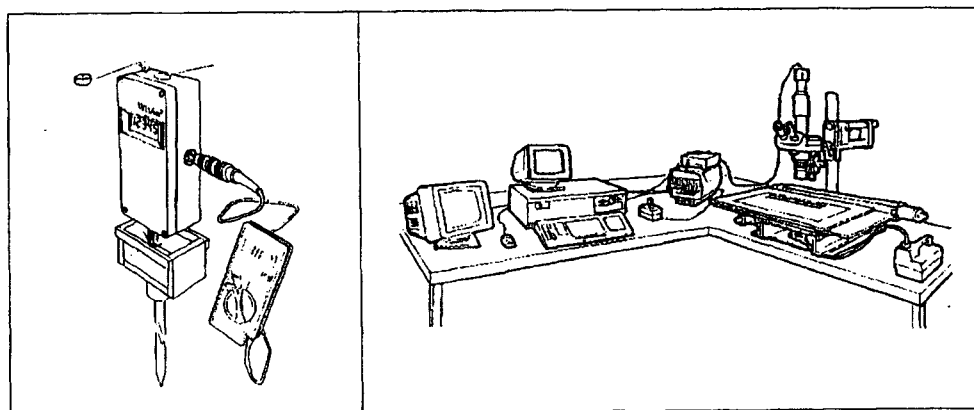


Fig. 1. Measurement instrument for direct and integrating measurement of photosynthetic usable radiation(left) and the computer controlled photograph interpretation system(right).

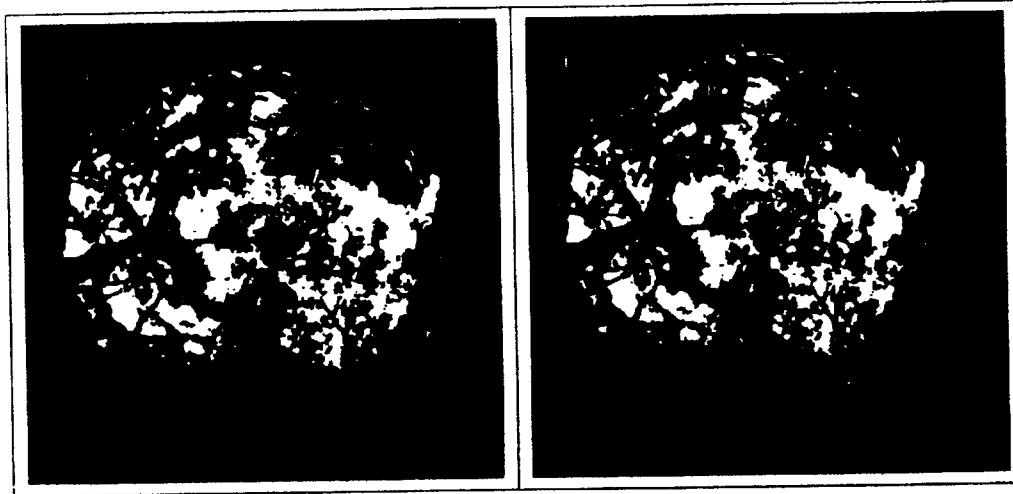


Fig. 2. Hemispherical photograph (fish-eye, 180°) of simulated approximate field-of-view of each ring(a) and solar tracks for every tenth day(b).

Table 1. Summary of stand attributes by mean and standard deviation in parenthesis in study areas

Stand type	art	N/ha	BA(m ² /ha)	dg(cm)	hg(m)	V(m ³ /ha)	PAI(mm/yr)	year
<i>Stand type</i>								
<i>Pine stand</i>	<i>pine</i>	691(173)	46.1(10.2)	29.7(5.2)	12.3(2.9)	259.3(102.3)	2.87(1.27)	59
	<i>pine</i>	333(83)	26.3(66.4)	31.9(3.2)	12.7(2.2)	150.0(53.6)	2.91(1.13)	56
<i>Mixed stand</i>	<i>oak</i>	402(199)	14.3(6.5)	20.4(1.5)	10.9(1.6)	71.7(28.3)	3.67(1.24)	45
<i>Oak stand</i>	<i>oak</i>	900(350)	38.1(15.4)	23.8(2.6)	12.3(1.1)	206.5(92.1)	3.87(1.63)	50
<i>Mixed stand by Exposition</i>								
N	<i>pine</i>	320(87)	28.7(10.7)	33.3(2.4)	14.6(1.5)	183.8(79.0)	3.28(1.27)	56
	<i>oak</i>	490(204)	14.0(5.8)	20.7(1.7)	11.7(1.9)	64.7(23.5)	3.96(1.31)	44
W	<i>pine</i>	307(99)	24.7(3.7)	32.6(3.8)	12.5(0.9)	139.4(27.8)	2.80(1.07)	54
	<i>oak</i>	433(147)	12.8(3.7)	20.7(1.7)	10.5(1.5)	59.8(11.8)	3.69(1.36)	44
S	<i>pine</i>	390(71)	25.1(1.3)	28.8(1.9)	10.1(1.7)	115.1(12.0)	2.63(0.95)	58
	<i>oak</i>	510(14)	18.4(1.7)	21.4(1.3)	10.2(1.1)	83.7(15.8)	3.69(1.32)	44

N: Stems per hectare, BA: Basal Area (m²/ha), dg: Quadratic mean DBH (cm), V: Volume (m³/ha), hg: Quadratic mean Height (m), PAI: Periodic annual increment of DBH(mm/yr)

3.2. 임관의 울폐도에 따른 광 환경 조건의 변화

임내 광도는 수령, 수종, 밀도, 수직적 구조 그리고 임관의 울폐도 등에 따라 차이를 나타내며 일반적으로 음수림이 양수림보다 임내광도가 낮다. 본 연구 조사지에 있어서 소나무 단순림의 울폐도(75.5%)는 혼효림(90.9%)과 굴참나무 단순림(93%)보다 훨씬 적게 나타났다. 임분내 상대광도는 이와 반대의 경향으로 소나무 단순림(7.9%)에서 가장 높게 나타났다. 이것은 혼효림에 있어서 수관층이 다양하기 때문에 광선이 산림 내 여러 수관층을 경유하는 동안 태양복사 구성

요소들 중 직사광선이 가장 많이 감소되고, 적은 양의 다른 광선만이 지표면에 도달하기 때문으로 사료된다.

사면별 혼효림에 있어서 임분내 상대광도는 북사면(4%)에서 남사면(8%)으로 가면서 점차 증가하는 경향과 이와 반대로 울폐도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 고도별 수관 울폐도의 변화는 상부(75%)에서 하부(89%)로 증가하고 있었으며 상대광도는 감소하는 추세를 나타내고 있다(Table 2). 이것은 하부로 내려갈수록 참나무의 임분 밀도가 증가하기 때문으로 사료된다.

Table 2. The mean and standard deviation of relative light intensity(RLI, %), crown closure ratio(CCR, %) and diffuse site factor(DIFFSF, %) by stands type, slope exposition and altitude

	Stand	n	RLI (%)	CCR (%)	DIFFSF (%)
Stand type	Pine stand	9	7.9±4.7	75.5±16.9	14.1±3.0
	Mixed stand	8	4.4±2.1	90.9± 8.6	6.6±2.1
	Oak stand	6	4.4±2.4	93.0± 6.4	5.6±2.8
Slope exposition	North	8	4.0±1.8	93.4± 5.4	6.06±2.9
	West	8	4.7±3.0	89.3± 9.4	8.01±4.1
	South	7	8.0±2.7	72.31± 6.4	14.55±7.3
Altitude	higher altitude	3	7.0±3.8	75.1±16.4	16.4±8.2
	middler altitude	11	4.9±3.4	83.3±18.1	9.2±5.5
	lower altitude	9	5.3±2.6	89.3± 8.5	7.4±4.7

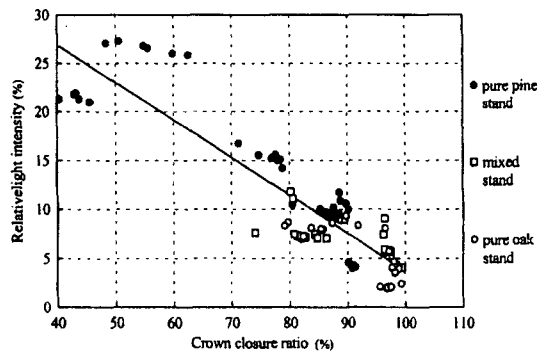


Fig. 3. Relative light intensity(%) by crown closure ratio(%) in pure pine-, pure oak- and mixed stands.

Figure 3은 임분 형태별 임관 율폐도에 따른 임분내 상대광도의 변화를 나타낸 것이며, 이에 따른 직선 회귀 관계식의 회귀계수(a, b), 상관계수(r), 표준오차(s_{xy})와 표본수(n)는 Table 3과 같다. 모든 임분 형태에 있어서 임관의 율폐도가 증가할수록 임분내 상대광도는 감소하는 추세를 나타내고 있으며 고도의 유의성이 인정된다.

3.3. 임분 형태별 단면적, N/ha, 천연갱신과 임분내 광 조건 관계

산림 밀도가 높을수록 임상에서의 태양복사 흡수는 적은 특성을 보인다. 또한 밀하지 않은 산림은 상대적으로 복사흡수의 양이 많으며, 특히 혼효림에서 태양복사 흡수가 적게 나타난다. 연구지의 모든 조사구에 대한 흉고단면적(m²/ha)과 ha 당 분수에 따른 임분내 상대광도(RLI)와 DIFFSF의 변화를 Figure 4와 5에 나타냈다.

두 그림에 있어 각각 ha 당 임목 분수와 흉고단면

Table 3. Parameter estimates of regression equations fitted to relative light intensity(%) with crown closure ratio(%) in pure pine-, pure oak- and mixed stands

Stand type	n	a	b	s _{xy}	r
Pine stand	41	42.6	-0.378	3.3	-0.892***
Mixed stand	23	16.8	-0.112	1.9	-0.454**
Oak stand	25	37.1	-0.339	1.8	-0.783***
all	89	42.4	-0.387	2.9	-0.895***

n: sample size, a, b: regression coefficients, s_{xy}: standard error of regression equation, r: correlation coefficients, *** significant at 1% level, ** significant at 5% level, * significant at 10% level

적의 증가에 따라 임분내 상도광도는 모두 감소하는 경향을 보여주고 있다. 특히 적은 임분밀도를 나타내는 소나무 단순림에서는 임분 형태보다 높은 상대광도를 나타내고 있으며, 혼효림에선 두 수종의 단순림 추세선 보다 임분밀도 증가에 따른 급격한 상대광도의 감소를 나타내고 있다. 이것은 다양한 수관층을 갖고 있기 때문으로 사료된다. 그림 4에 대한 직선 회귀 관계식의 회귀계수(a, b), 상관계수(r), 표준오차(s_{xy})와 표본수(n)는 Table 4에 나타냈다.

Figure 5는 임분 형태별 흉고단면적에 따른 상대광도의 변화를 exponential 회귀추정식을 적용하였다. 굴참나무 단순림에 대한 추세선은 다른 임분 형태보다 완만하며 낮은 경향을 보여주고 있다. 이것은 Table 1에서 살펴 본 바와 같이 흉고단면적직경(dg)가 다른 임분 형태보다 작은 값을 보이고 있으나 ha 당 임목분수가 900 N/ha로 다른 임분 보다 매우 높으며, 단층의 활엽수 임분 수고를 갖고 있기 때문으로 사료된다.

굴참나무의 천연갱신수는 증가하는 임분내 상대광도에 따라 증가하는 직선회귀 관계에 있으며, 굴참나무

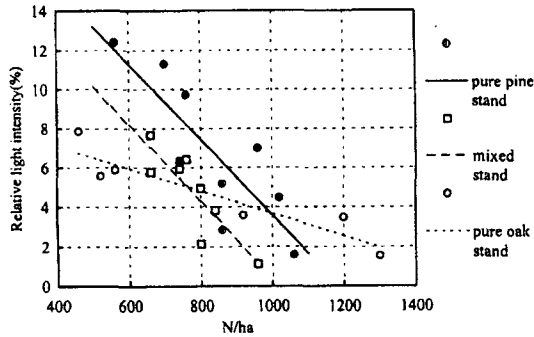


Fig. 4. Relative light intensity(%) by stems per hectar(N/ha) in pure pine-, pure oak- and mixed stands.

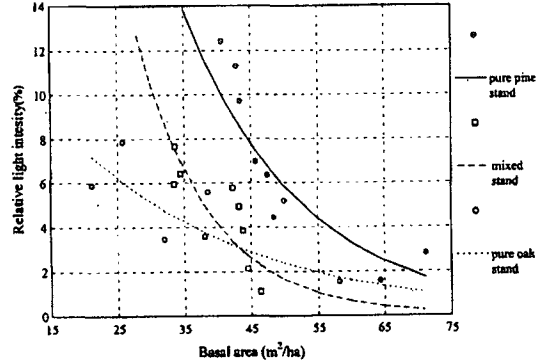


Fig. 5. Relative light intensity(%) by basal area(m²/ha) in pure pine-, pure oak- and mixed stands.

Table 4. Parameter estimates of regression equations fitted to relative light intensity (RLI, %) and diffuse site factor (DIFFSF, %) with stems per hectare (N/ha) in pure pine-, pure oak- and mixed stands

	Stand type	n	a	b	s _{xy}	r
RLI	Pine stand	9	22.8	-0.0193	2.2	-0.836***
	Mixed stand	8	19.8	-0.0194	1.2	-0.858***
	Oak stand	6	9.3	-0.0057	0.9	-0.930***
DIFFSF	Pine stand	9	44.4	-0.0372	4.1	-0.845***
	Mixed stand	8	22.3	-0.0194	1.3	-0.837***
	Oak stand	6	10.1	-0.0059	1.9	-0.794*

n: sample size, a, b: regression coefficients, s_{xy}: standard error of regression equation, r: correlation coefficients, *** significant at 1% level, ** significant at 5% level, * significant at 10% level

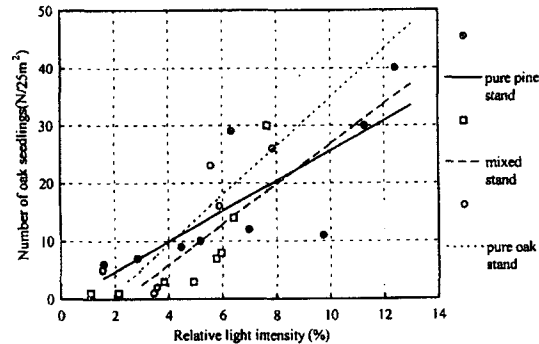


Fig. 6. Number of oak seedlings(N/25 m²) by relative light intensity(%) in pure pine-, pure oak- and mixed stands.

단순림에서의 천연갱신 추세선이 가장 높은 위치에 놓여 있다(Figure 6). 이러한 경향은 굴참나무 단순림에서의 많은 임목 본수에 따른 종자의 생산성 때문으로 판단된다. 소나무 단순림에 있어서 상대광도 7.9%에 따른 굴참나무의 천연갱신 수는 평균 6800 N/ha로 나타났으며, 굴참나무 단순림에선 상대광도 4.4%에 대한 천연갱신 4800 N/ha 그리고 혼효림에선 상대광도 4.4%에 따른 3200 N/ha로 가장 적은 굴참나무 천연갱신 수를 나타냈다. Figure 6에 대한 직선 회귀 관계식의 회귀계수(a, b), 상관계수(r), 표준오차(s_{xy})와 표본수(n)는 Table 6에 나타냈다.

Table 7은 소나무 굴참나무 혼효림에 있어서 사면별 임분내 상대광도, 임관 울폐도, ha 당 본수, 흉고단면적 그리고 굴참나무의 ha당 천연갱신수를 나타낸 것이다. 북향의 혼효림에서 가장 적은 굴참나무의 천연갱신 발생을 보여주며 임분내 상대광도 증가에 따라 서

향에서 남향으로 가면서 굴참나무의 천연갱신이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

모든 조사구 임분에 있어서 소나무의 천연갱신 치수들을 전혀 찾아 볼 수 없었다. 이것은 각 임분내 상대광도가 4-8%로 매우 낮은 결과이며 특히 조사지역의 낙엽층의 두께가 10 cm 이상으로 두터워 소나무 종자가 발아 할 수 있는 조건이 불량하기 때문으로 사료된다. 이에 반하여 많은 굴참나무 천연갱신이 발생하였는데, 이것은 굴참나무의 종자의 충분한 과육과 유묘시 소나무보다 높은 내음성을 갖고 있어 발아 및 초기 생장에 유리한 조건을 갖고 있기 때문으로 사료된다. 또한 조사기간 중 청설모에 의해 남겨진 많은 솔방울 껍질을 발견 할 수 있었다. 따라서 소나무 천연갱신의 기회는 매우 어려우며 혼효 임분 내에서 주어진 생육환경 조건에 따른 소나무의 갱신 능력의 격차에 의하여, 결국 소나무가 참나무와의 경쟁에서 도태되는 것으로 사료된다. 따라서 자연에 접근한 천연

Table 5. Parameter estimates of regression equations fitted to relative light intensity(%) and diffuse site factor(DIFFS, %) with basal area(m²/ha) in pure pine-, pure oak- and mixed stands

Stand type	n	a	b	s _{xy}	r
Pine stand	9	4.7	-0.0575	2.0	-0.889***
RLI Mixed stand	8	5.18	-0.0929	1.6	-0.767**
Oak stand	6	2.8	-0.0386	1.4	-0.871**
Pine stand	9	4.9	-0.0502	1.3	-0.921***
DIFFSF Mixed stand	8	3.9	-0.0501	1.2	-0.865***
Oak stand	6	2.9	-0.0375	1.4	-0.856**

n: sample size, a, b: regression coefficients, s_{xy}: standard error of regression equation, r: correlation coefficients, *** significant at 1% level, ** significant at 5% level, * significant at 10% level

혼효림 경영에 있어서 중요한 의미를 갖고 있는 건전한 소나무-참나무-혼효림 조성을 위하여, 그 임분구조와 생육조건에 적합한 무육 및 갱신방안의 연구가 시급하다 판단된다.

IV. 적 요

본 연구는 중부지방에 많이 분포하고 있는 소나무-굴참나무 혼효림과 각각의 단순림을 대상으로 사면별(북, 서, 남) 입지조건에 따른 임분 통제량과 천연갱신에 대한 광 조건을 비교 분석하여 합리적인 조림 무육 방안을 제시하기 위한 기초 자료를 얻고자 수행되었다.

조사지의 소나무-굴참나무 혼효림과 각각의 단순림을 대상으로 남경사면, 북경사면 그리고 서경사면별로 입지와 생육분포를 고려하여 표본점을 설정하였으며, 표본점의 형태는 원형으로 하였으며, 표본점내에 평균 30~40본이 포함되도록 표본점의 크기를 0.05 ha(반경 12.62 m)로 하였다. 표본점의 수는 사면별로 상·중·하부를 구분하여 소나무 단순림 9개, 소나무-굴참나무 혼효림 8개, 참나무 단순림 6개로 총 23개를 조사하였다. 또한 임분내 광 조건은 어안(fish-eye)lens(180°)

Table 6. Parameter estimates of regression equations fitted to number of oak seedlings(N/25 m²) with relative light intensity(%) and diffuse site factor(DIFFS, %) in pure pine-, pure oak- and mixed stands

Stand type	n	a	b	s _{xy}	r
Oak seedlings / RLI :					
Pine stand	9	-0.51	2.6096	8.3	0.783**
Mixed stand	8	-8.07	3.4819	6.4	0.793**
Oak stand	6	-7.53	4.2384	6.2	0.862**
Oak seedlings / DIFFSF :					
Pine stand	9	0.58	1.2372	9.4	0.709**
Mixed stand	8	-8.95	2.2716	4.2	0.803**
Oak stand	6	-6.18	3.5073	5.9	0.873**

n: sample size, a, b: regression coefficients, s_{xy}: standard error of regression equation, r: correlation coefficients, ** significant at 5% level

를 이용한 crown-photo 방법과 PAR-sensor를 이용하여 각 Plot에 대한 나지와의 비교를 통하여 임분내 상대광도를 측정하였다.

소나무 단순림의 올폐도(75.5%)는 혼효림(90.9%)과 굴참나무 단순림(93%)보다 훨씬 적게 나타났으며, 임분내 상대광도는 이와 반대의 경향을 나타냈다. 또한 혼효림에 있어서 올폐도는 북사면에서 남사면으로 가면서 점차 감소하는 경향과 이와 반대로 임분내 상대광도는 증가하는 경향을 나타냈다. 임분내 상대광도와 임분 parameter와의 관계를 분석한 결과, 단면적과 N/ha의 증가에 따라 임분내 상대광도는 감소하는 경향을 나타냈다.

굴참나무의 천연갱신 수는 임분내 상대광도의 증가에 따라 함께 증가하는 직선회귀 관계에 놓여 있었으며, 특히 남향의 혼효림에서 굴참나무의 천연갱신이 가장 높았다. 그러나 소나무의 천연갱신은 전혀 발견하지 못했으며, 이는 임분내 상대광도가 4~8%로 매우 낮고, 낙엽층의 깊이가 10 cm 이상으로 두껍기 때문에 종자가 발아 할 수 없는 것으로 사료된다. 따라서 소나무 천연갱신의 결정적 인자로는 임분내의

Table 7. The mean and standard deviation of relative light intensity(RLI, %), crown close ratio(CCR, %), diffuse site factor(DIFFSF, %), stems per hectare(N/ha), basal area(G, m²/ha) and number of oak seedlings(NR, N/ha) by slope aspect(N, W, S) in mixed stands

Aspect	n	RLI	CCR	DIFFSF	N/ha	G	NR
N	3	4.3±2.0	98.4±1.3	5.1±1.6	733±70	40.7±6.6	2433±3265
W	3	4.8±1.4	89.5±1.0	6.8±1.0	740±72	37.5±6.1	2550±1061
S	2	7.0±0.9	82.4±2.2	8.2±2.0	900±85	43.5±0.4	6600±6844

광 조건과 낙엽·부식층의 두께가 결정적인 요소로 판단된다.

인용문헌

- Anderson, M. C., 1964: Studies of the woodland light climate. 1. The photographic computation of light conditions. *Journal of Ecology*, **52**, 27-41.
- Begon, M., 1991: *ökologie, Individuen, Populationen und Lebensgemeinschaften*. Birken-häuser Verlag, Basel, 289pp.
- Evans, G. C. and D.E. Coombe, 1959: Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of Ecology*, **47**, 103-113.
- Flemming, G., 1994: *Wald, Wetter, Klima -Einführung in die Forstmeteologie- Deuts.* Landwirtschafts verlag Berlin, 136pp.
- Hill, R., 1924: A lense for whole sky photography. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **50**, 227-235.
- Kramer, H., 1988: *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul Parey, 374pp.
- Mitschelich, G., 1975: *Wald, Wachstum und Umwelt. I, II, III*. Bd. Frankf. a. M., 144pp, 402pp, 352pp.
- Röhrig, E. and H. A. Gussone, 1982: *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Band 2, Paul Parey, Hamburg und Berlin, 350pp.
- Wagner, H. and J. Nagel, 1992: Ein Verfahren zur PC-gesteuerten Auswertung von Fish-eye- Negativfotos für Strahlungsschätzungen. *Allgemeine Forst- u. Jagdzeitungen*, **163**, Nr. 6, 110-116.
- Wissel, C., 1989: *Theoretische ökologie*. Eine Einführung. Springer Verlag, Berlin, 368pp.