

독일 너도밤나무(*Fagus sylvatica* L.) 숲 틈새에서의 갱신생태학적 연구¹

변무섭^{2*}

Ecological Study of Regenerations in Experimental Canopy Gaps of a *Fagus Sylvatica* Forest in Germany¹

Mu-Sup Beon^{2*}

요 약

본 연구는 독일 졸링(solling)지역의 산성화된 너도밤나무 임분에 군상벌채(group cutting, 지름 약 30m)를 통한 임관틈새를 조성하여 고회석분말 시비를 수행하고, 이러한 미세 입지환경적 요소의 변화와 너도밤나무 갱신치수의 발달과 성장 그리고 지피식생 및 근균의 동태를 파악하고, 이를 토대로 합리적인 천연갱신 방법과 건설한 산림생태계관리지침의 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 산성화가 심화된 너도밤나무(*Fagus sylvatica*) 임분에서의 고회석분말시비는 토양의 화학성을 크게 개선시켰으며 지피식생의 현저한 발달을 가져왔다. 둘째, 산성화된 너도밤나무 임분에서의 갱신치수의 발달 및 성장은 매우 결핍하였고 특히 측근의 발달이 억제되었다. 셋째, 엽성분분석에서 시비구는 대조구에 비해 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 함량이 높게 나타난 반면에 망간(Mn)함량은 상대적으로 낮게 나타났으며, 칼륨(K)과 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)사이에도 상호 길항작용이 확인되었다. 넷째, 너도밤나무 치수에서의 상대근균 빈도(RM)는 임관틈새 중앙부에 비해 남가장자리에서 월등히 높게 나타났고, 시비로 인해 *Laccaria amethystina*의 확장세가 뚜렷하게 나타났다. 이러한 결과에서 너도밤나무의 천연갱신 작업법으로 치수의 밀도 및 발달을 위해 산별갱신작업법이 더 효과적일 것으로 판단되며, 대기오염으로 인하여 산성화가 심화되는 숲은 석회시비를 통해 건설한 산림생태계의 복원이 필요하다고 판단된다.

주요어 : 산성화 숲, 고회석 시비, 갱신치수, 근균

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of lime fertilization and light intensity on beech regeneration strategy in a mature beech forest(ca. 150 years old) gaps, which was located in the solling areas Germany, where the soil is an acid brown earth. For the

1 접수 5월 29일 Received on May 29, 2003

2 전북대학교 농업과학기술연구소 Institute of Agricultural Science & Technology, Chonbuk National Univ., Jeonju (561-756), Korea (msbeon@chollian.net)

* 교신저자, Corresponding author

experiment canopy gaps of 30m diameter were cut, and one canopy gap remained as untreated while the other was limed(3t dolomite ha⁻¹). Soil chemistry, soil water potential, light intensity(PAR), ground vegetation, beech seedlings and mycorrhiza were investigated along transect from the stands into gaps to the north. The results of this study are followings: 1) In the limed gap, soil chemistry was greatly improved and a vigorous herb layer developed as compared to the unlimed gap. 2) Development and growth of the beech seedlings in the unlimed gap were generally deficient. Specially, developments of lateral roots were very lack. 3) Through the lime fertilization, the minerals contents of beech leaves such as calcium(Ca) and magnesium(Mg) were increased, while manganese(Mn) was decreased. There was antagonism between potassium(K) and calcium(Ca) or magnesium(Mg). 4) The relative mycorrhiza frequency(RM) in beech seedlings of the southern edge was very higher than that of the middle part, and through the lime fertilization extension of the species *Laccaria amethystina* appeared clearly. The results of this study showed that lime fertilize in forest, where the soil is acid, will be necessary.

KEY WORDS : ACID FOREST, LIME FERTILIZATION, BEECH REGENERATION, MYCORRHIZA

서론

너도밤나무(*Fagus sylvatica* L.)는 유럽의 냉온대 낙엽수림대의 잠재자연식생으로서 생태적으로 큰 역할을 담당하는 가장 중요한 활엽수에 속하며(Ellenberg, 1986), 침엽수림에 비해 대체로 건설한 토양부식 제공은 물론 목재의 이용가치도 높아 다양한 산림기능의 극대화를 위한 산림생태계 관리 차원에서 매우 중요하게 다루어지고 있는 수종이다(Röhrig and Gussone, 1990). 이러한 너도밤나무 숲도 산업화의 발달로 야기되는 만성적인 대기오염의 축적으로 말미암아 임지의 산성화가 상당히 진행되어 전반적인 산림생태계의 안정이 위협받고 있는 실정이다(Ulrich, 1988; Roloff, 1986). 이에 현지에서는 산성화된 임지에 칼리시비를 통해 보정하면서 건설한 산림생태계를 유지할 수 있도록 적극적으로 충실한 입지환경적 요소의 인프라를 구축하고 있다.

산림에서 수목의 성장은 기후, 토양, 지형 등에 의한 자연적 입지환경에 크게 영향을 받는다. 그러한 입지환경 중에서 수목생장에 결정적인 역할을 하는 인자로서 광선, 온도, 수분, 양분, 이산화탄소 등을 들고 있다(Mitschelich, 1981; Larcher, 1994). 임내에 자연적 또는 인위적으로 형성된 임관틈새(canopy gap)는 숲의 천이과정이나 지피식생의 생태적 연구 또는 산악경제림에서 군상작업법으로 천

연갱신을 유도하거나 혼효임분을 조성하는데 중요한 의미가 있다(Lüpke, 1982; Mosandl, 1984; Collins *et al.*, 1985). 특히 산림내에서 소규모적인 군상벌채(group cutting)를 통해 후계림을 조성하고 가꾸는 일은 지속가능하고 안정적인 산림생태계의 경영을 위해 모든 국가의 근본 산림정책으로 자리잡고 있다. 하지만 이러한 소규모적인 임관틈새(canopy gap)의 갱신생태학적 연구는 아직 미미한 실정이다.

본 연구는 독일연방 산림생태계연구센터의 solling project 일환으로, 산성화된 너도밤나무 숲에 군상벌채를 통한 인위적인 임관틈새를 조성하고 고회석분말을 시비하여, 이러한 미세 입지환경적 요소의 변화에 따라 너도밤나무 갱신치수(beech regeneration), 그 외 지피식생 및 근균의 동태를 파악할 목적으로 수행되었다. 또한 이를 토대로 효과적인 천연갱신방법 및 건설한 산림생태계 관리지침에 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구장소는 독일 중북부 solling지역의 연방산림생태계 연구시험지인 약 145년생의 너도밤나무숲(*Luzulo-Fagetum*)이다. 이 임분에서 1989년 가을에 2개의 임관틈새(지름 약 30m)를 조성하여 임

지정리를 실시하고 대조구와 시비구를 설정하였다. 시비구에는 임관틈새에 표토경운과 함께 고회석(苦灰石, dolomite 3t ha⁻¹; CaMg(CO₃)₂)분말을 시비하였다. 각 임관틈새에 남북으로 transect를 설치하여 각각 약 6m 폭의 임관틈새-남가장자리(s. edge), 임관틈새-남부(s. gap), 임관틈새-중앙부(m. gap)와 임관틈새-북가장자리(n. edge)를 세부 입지로 구분하였다. 이러한 세부입지에 각각 1m² 크기의 시험방형구 30개소를 표식하였다(Fig. 1). 또한 각 임관틈새에서 토양의 이·화학적 분석을 실시하였고(Meiwees *et al.*, 1984), 세부입지별로 미세기후를 파악하기 위해 강수측정트랩, 광량(PAR) 측정 및 토양수분압(soil water potential)기기를 설치하였다. 각 시험방형구에서 1991년 월별 갱신치수 및 지피식생의 발달상태를 조사하고 발육상태를 기록하였다. 지피식생의 피복율은 Braun-Blanquet(1964)의 군도와 피도에 의한 식생조사법에서 응용되어 활용되고 있는 +, 1, 2, 5, 10, 15...85, 90, 95, 100% 등의 5%-피도단계법을 사용하였다(Dierschke, 1994). 8월말에 남가장자리(s. edge)와 중앙부(m. gap)에서 30개체의 갱신치

수를 채취하여 각 인자별 생물수학적 또는 외부형태적 성장상태를 조사하였다. 또한 뿌리의 발달상태와 근균(Mycorrhiza)을 현미경을 통해 관찰하였다. 관찰된 근균은 Agerer(1988)에 의해 동정하였고, 갱신치수의 뿌리에 공생하는 근균(Mycorrhiza)의 상대빈도(RM)는 Blasius *et al.*(1985)에 의해 산정하였다. 잎은 옆면적을 측정 후 건조시켜 화학적 성분분석을 실시하였다. 통계적 방법으로 입지별 토양 및 엽분석은 비모수적검정법인 Wilcoxon의 순위합검정을 실시하였고, 입지별 생물적통계량은 Tukey-Test의 분산분석법을 사용하였으며(Sachs, 1984), 통계프로그램은 SAS-package를 활용하였다.

결과 및 고찰

1. 임관틈새(Canopy gap)의 미세 환경요인

Table 1은 임관틈새의 대조구(FO)와 시비구(FK) 그리고 임분내 대조구(FS)의 토양 화학성을 나타낸 것이다. 너도밤나무 임관틈새의 고회석분말 시비는 만성적인 대기오염으로 산성화된 너도밤나무 입지의 토양을 상당히 개선 보정하는 효과를 나타내었다. 이러한 효과는 입지의 토양산도가 강산성 알루미늄완충영역에서 서서히 벗어나 약산성의 완충영역으로 이동하고 있음에서 나타난다(Beese, 1985; Ulrich, 1988). 한편 양이온치환용량(CEC)에서도 다른 대조구들과 비교해보면 Ca과 Mg의 상대적 비율은 높아지고 Al의 비율은 떨어지고 있음을 알 수 있었다.

임분내 지름 약 30m 크기 임분틈새에서의 광조건은 측정년도(1991년) 7월에 광합성유효광(PAR)의 광량합계를 기준으로 나대지에 비해 상대광량(relative light intensity)을 측정하였다. 이 결과

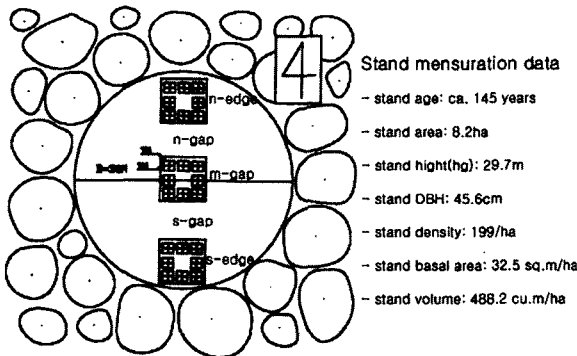


Figure 1. Plane figure of the experimental canopy gap and some mensuration data of the study stand

Table 1. Chemical properties of the surface mineral soil in the unlimed(FO), the limed(FK) canopy gaps and the unlimed stand(FS)

	pH (CaCl ₂)	C (%)	N (%)	H	K	Ca (μmolIEg^{-1})	Mg (μmolIEg^{-1})	Al	CEC
FO	3.17 ab	3.4	0.2	10.1	1.8 a	2.2 a	1.1 b	98.5	120.2
FK	3.30 a	3.0	0.2	7.0	1.2 b	3.2 a	2.8 a	87.7	106.7
FS	3.15 b	3.1	0.2	7.6	1.4 b	1.2 b	1.0 b	96.9	112.6

a,b: Wilcoxon-Test among FO, FK and FS at $\alpha=0.05$ (n= 4 mix samples from 24 samples)

임관틈새 중·북부에서 53~60%, 임관틈새 남부에서 43%, 북가장자리에서 37% 그리고 남가장자리에서 12%의 상대광량을 나타냈다. 이러한 임관틈새의 다양한 광조건은 양수, 음수 등의 혼효립 조성에 유용하게 활용될 수 있다(Lüpke, 1982; Mosandl, 1884). 한편 임관틈새 15cm 깊이의 토양수분압(soil water potential)은 임관틈새 중앙부에서 측정연도 전 성장시즌을 통해 약 100 hPa 정도 안팎의 수분압을 나타낸 반면에, 임관틈새 양 가장자리는 성목

60%, 임관틈새중앙부 85%, 임관틈새북가장자리 10% 등 현격한 피복율의 증가를 보여주었다. 출현종수에 있어서도 대조구에서는 1m²당 평균 0.5~1.8종에 불과했지만 시비구에서는 평균 2.5~6.6종이 출현하여 단위면적당 종의 증가현상이 뚜렷하게 나타났다. 또한 세부입지에 따른 비교에서는 상대광량이 높은 임관틈새 중앙부에서 피복율과 출현종수에서 현저히 높게 나타나고 있어서 지피식생의 발달이 광량의 조건과 밀접하게 관계가 있음을 확인하였다. 대표적인 우점초본식생으로는 모든 세부입지에서 *Epilobium angustifolium*이었다.

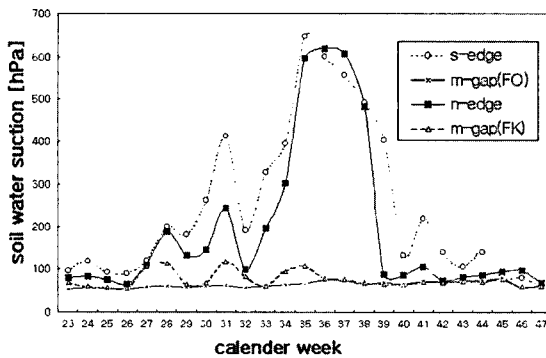


Figure 2. Weekly soil water suction[hPa] at 15cm soil depth in the beech stand gap

의 영향을 받아 성장시즌 내내 약 200~700 hPa을 나타냄으로서 상당한 수분경쟁이 이루어지고 있음을 짐작할 수 있었다.

2. 지피식생의 발달

고회석분말시비와 세부입지의 상대광량은 임관틈새에서 지피식생의 발달에 큰 영향을 미치고 있었다. 8월 기준으로 1m²당 평균 피복율이 대조구의 세부입지에서는 각각 2~5%에 불과했지만, 시비구에서는 임관틈새남가장자리 30%, 임관틈새남부

3. 너도밤나무 갱신치수(regeneration)의 동태 및 성장

1) 너도밤나무 갱신치수의 발달

평균 5년의 풍작주기를 갖는 너도밤나무(*Fagus sylvatica*)는 내음성이 비교적 강한 음수로 알려져 있다(Röhrig et al., 1978). 너도밤나무 1년생 갱신치수는 1991년 풍작년도의 봄에 임관틈새 시비구의 남가장자리, 중앙부, 북가장자리에서 각각 1m²당 평균 25, 3, 19개체를 세었으며, 이는 대조구에 비해 1.7~2.6배에 달하였다. 8월 생존율조사에서는 시비구에서 71~88%를 나타낸 반면에 대조구에서는 불과 9~25%에 불과하였다(Table 3). 따라서 토양경운과 함께 실시한 고회석분말시비는 임관틈새에서 갱신치수의 밀도와 발달에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Gehrman(1984)과 Dohrenbusch(1990)의 토양경토와 너도밤나무 치수밀도의 실험과 Koss(1989)의 너도밤나무 갱신에서 석회시비의 효과에서도 일치하고 있다. 8월의 생존율에 있어서는 시비구의 지피식생의 발달이 너도밤나무 갱신치수의 보호 그늘막으로 작용하여 표토의 수분수지 교란에 의한 치수의 고사를 상당히 억제하는 효과를 가져왔으리라 판단되었다.

Table 2. Mean coverage(%)/m² and mean number/m² of vegetation species in the fine parts of the unlimd (FO) and limed(FK) canopy gaps (August, 1991)

	s. edge		s. gap		m. gap		n. edge	
	FO	FK	FO	FK	FO	FK	FO	FK
Coverage(%)	2 b	30 a	2 b	60 a	5 b	85 a	2 b	10 a
Species No.	0.5 b	4.1 a	0.7 b	5.8 a	1.8 b	6.6 a	0.5 b	2.5 a

a,b; Tukey-Test between FO and FK at $\alpha=0.05$

Table 3. Mean number/m² and survival rate(%) of *Fagus sylvatica* seedlings on May and August(1991) in the fine parts of the unlimed(FO) and limed(FK) canopy gaps

		s. edge			m. gap			n. edge		
		May	Aug.	survival rate(%)	May	Aug.	survival rate(%)	May	Aug.	survival rate(%)
1y. seedling	FO	14.0	3.5	25	1.6	0.3	19	7.7	0.7	9
	FK	24.8	17.6	71	2.6	2.3	88	18.6	14.4	77
2y. seedling	FO	3.1	2.1	68	3.5	2.0	57	0.9	0.8	89
	FK	16.9	14.9	88	14.6	13.2	90	1.9	1.9	100

Reinecke(1982)는 너도밤나무 갱신치수의 발달에서 *Epilobium* spp.은 수분 및 광선에 있어서 경쟁관계에 있지만 적당한 그늘제공으로 긍정적 효과도 나타낸다고 보고하고 있다.

2) 너도밤나무 갱신치수의 성장

산성화된 임지에 석회시비는 갱신치수의 성장에도 큰 영향을 미치고 있다(Table 4). 너도밤나무 갱신치수의 주요 부분별 성장관계를 살펴보면, 임관틈

Table 4. Growth characteristics of *Fagus sylvatica* seedlings in the unlimed(FO) and the limed(FK) canopy gaps

	1y. seedling				2y. seedling			
	s. edge		m. gap		s. edge		m. gap	
	FO	FK	FO	FK	FO	FK	FO	FK
Stem length (cm)	8.1	9.2*	8.6	9.7	12.3	15.3*	11.5	14.6*
Diameter at root collar (mm)	2.1	2.2	2.0	2.2	2.2	3.0*	2.5	3.3*
Root length (cm)	8.3	7.9	6.9	8.5	10.6	13.8*	9.4	10.6*
Biomass(total) (mg)	257	258	284	280	584	785*	517	824*
- leaf	74	84	87	80	88	147*	86	142*
- stem	89	96	98	113	191	313*	232	371*
- root(main)	66	54	80	64	183	243	216	246
- root(lateral)	24	29	18	24*	54	82*	50	65
- T/R-ratio (mg/mg)	1.8	2.6*	1.8	2.5	1.3	1.5*	1.3	1.7*

* Tukey-Test between FO and FK at $\alpha=0.05$

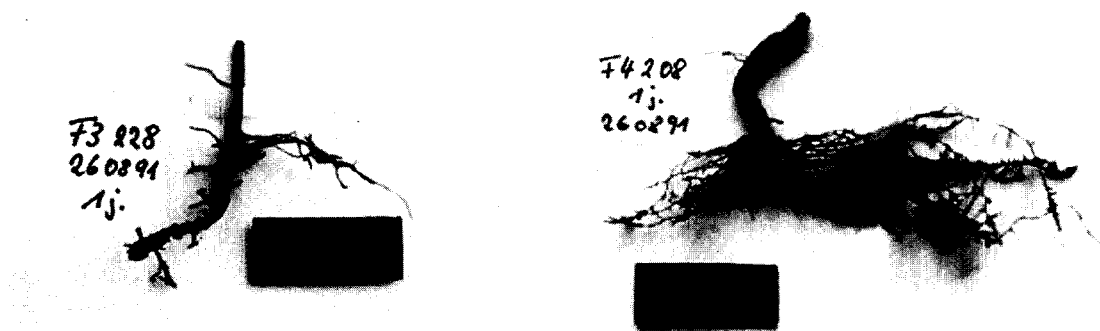


Figure 3. Root morphology of *Fagus sylvatica* seedlings in the unlimed(left) and the limed(right) canopy gap

새 시비구에서의 성장이 대조구에 비해 전반적으로 양호함을 알 수 있었고, 1년생 seedling보다는 2년생에서 더욱더 뚜렷한 성장력이 확인되었다(Table 4). 또한 석회시비는 상대적으로 근계의 성장보다는 줄기부분의 성장에 더 일조하는 것으로 나타났다. 한편 측근의 형태분석에서 석회시비구들의 치수가 대조구에 비해 측근의 발달상태가 대부분 월등히 좋음을 확인할 수 있었다(Figure 3). 이러한 결과는 Bartsch(1985)의 독일가문비와 소나무치수의 석회시비효과에서도 나타났으며, Koss(1989)의 너도밤나무 갱신과 석회시비에 관한 연구에서도 일치하고 있다. 한편 나지광량의 12%에 불과한 임관틈새 남가장자리(s. edge)에서의 갱신치수들은 biomass, 간장(幹長), 근원경에서 나지광량 53%에 이르는 임관틈새 중앙부(m. gap)의 치수들에 비해 성장력이 결코 떨어지지 않음을 알 수 있었고(Table 4), 이는 Gehrman(1984), Koss(1989), Dohrenbusch(1990)의 연구결과와 같이 너도밤나무가 강한 음수임을 새삼 확인할 수 있었다.

3) 너도밤나무 엽성분분석

산림수목의 잎들은 산림생태계의 물질순환에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 토양의 이·화학적 성질에 직접 간여하게 된다. 아울러 수목의 영양 상태를 진단할 수 있고 임지의 지위를 간접적으로 파악할 수 있으며 또한 시비를 결정하는 중요한 측정수단이 된다(Ulrich, 1988). 본 연구에서 고회석분 말시비에 의한 엽성분의 상태는 시비구에서 대조구에 비해 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 함량이 유의성과 함께 높게 나타났으며, 망간(Mn)은 상대적으로

낮게 나타나 시비에 의한 토양조건의 개선과 엽성분이 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 이러한 현상은 Gehrman(1984)과 Koss(1989)의 너도밤나무 천연갱신 연구에서도 잘 나타나고 있다. 한편 칼륨(K)은 시비구에 비해 대조구에서 모두 높게 나타나 칼슘(Ca) 또는 마그네슘(Mg)과의 상호 길항작용이 있음이 관측되었다. 실제로 진현오 등(1994)은 칼륨과 칼슘·마그네슘사이에 길항작용이 있음을 밝히고 있다.

4. 너도밤나무 갱신치수와 근균화

고회석시비와 임관틈새에서의 상대광량에 따른 세부입지는 갱신치수의 뿌리에 공생하는 근균(Mycorrhiza)의 상대빈도(RM, Relative mycorrhiza frequency)와 근균 종분포에도 영향을 주었다. 근균상대빈도(RM)는 측근의 곤봉모양 균투(fungal mantle)의 수를 측근중량(100mg)의 비로 산정한 치수의 근균화율(Blasius *et al.*, 1985)로 나타났다. 임관틈새의 남가장자리는 중앙부에 비해 현저히 높은 근균상대빈도를 나타내고 있었다. 이는 이미 근균화된 성목에 지리적으로 가까운 점과 남가장자리의 반음지성 미세환경 영향으로 판단된다. 시비효과 비교에서는 임관틈새 중앙부에서만 시비구가 대조구에 비해 상대적으로 높은 근균상대빈도를 나타냈다. 여기서는 시비에 의한 토양의 화학적 변화보다는 그로 인해 잘 발달된 지피식생이 표토부근의 수분수지 안정을 피하게 되어 근균화율에 영향을 주었다고 판단된다. 한편 근균의 종분포에서 남가장자리에서는 *Lactarius subdulcis*와

Table 5. Mean element concentrations in the leaves of *Fagus sylvatica* seedlings in the fine parts of the unlimed(FO) and limed(FK) canopy gaps

			C (%)	N (%)	C/N	P	K	Ca (mg/g)	Mg	Mn
1y.	s.edge	FO	47.3	2.02	23.5	1.17	5.19	6.76	1.56	3.13*
		FK	46.9	2.00	23.3	1.26	4.89	8.29*	3.74*	1.07
	m.gap	FO	48.0	1.86	25.8	1.20	4.68*	6.05	1.36	2.37*
		FK	47.4	1.78	26.5	1.08	3.17	8.10*	4.06*	1.95
2y.	s.edge	FO	47.5	2.08	23.0	1.31	6.05	5.34	1.26	2.75*
		FK	48.0	2.08	22.8	1.24	5.29	8.44*	3.96*	1.35
	m.gap	FO	49.1	1.88	25.8	0.84	3.77	3.93	1.12	1.76
		FK	47.8	1.89	25.3	1.25	3.51	6.57*	3.84*	1.49

* Wilcoxon-Test between FO and FK at $\alpha=0.05$ (n= 3 mix samples from 10 plants)

Table 6. Mean relative mycorrhiza frequency(RM) in the *Fagus sylvatica* seedlings of the fine parts in the unlimed(FO) and limed(FK) canopy gaps

	1y. seedling		2y. seedling	
	s. edge	m. gap	s. edge	m. gap
FO	598 A	13 B (b)	655 A	82 B (b)
FK	537 A	105 B (a)	443 -	326 - (a)

A,B or a,b: Tukey-Test between FO and FK(a,b) and between the fine parts(A,B) at $\alpha=0.05$

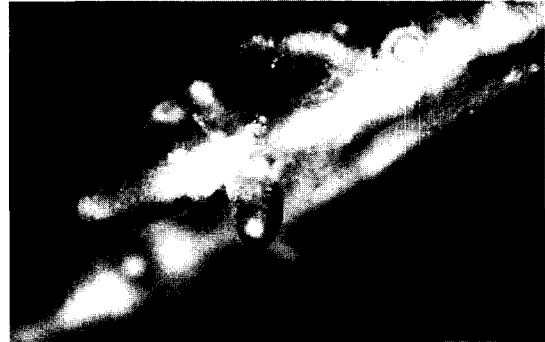
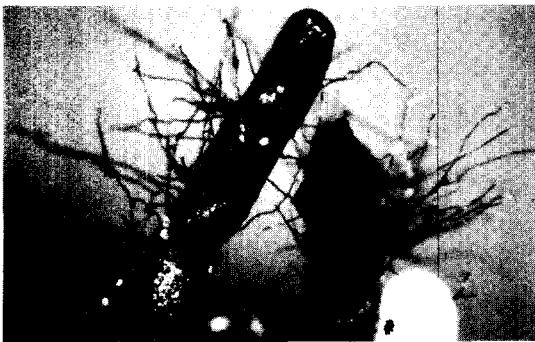


Figure 4. The mycorrhiza species *Cenococcum graniforme*(left) and *Laccaria amethystina* (right) in the beech forest(*Fagus sylvatica*) gaps

*Xerocomus chrysenteron*이 주요 우점종으로 나타났다. 상대적으로 표토가 건조한 임관틈새 중앙부에서는 *Cenococcum graniforme*가 절대적으로 우세하게 나타났다.

이에 대하여 Flick과 Lelley(1985), Kottke와 Oberwinkler(1988) 그리고 Scherfose와 Meyer(1990) 등은 *Cenococcum graniforme*가 광생태적 근균종으로서 환경입지적 스트레스에 잘 견디고 특히 건조에 강한 내성이 있다고 밝히고 있다. 한편 시비구에서는 남가장자리 및 중앙부에서 *Laccaria amethystina*의 확장세가 뚜렷하게 나타나고 있었다. 이는 석회시비에 의한 토양의 화학성 변화에 따른 증가추세로서, Rapp(1991)의 결과와 일치하고 있다.

결론

본 연구결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 첫째, 산성화가 심화된 너도밤나무(*Fagus sylvatica*) 임분에서의 고회석분말시비는 토양의 화학성을 크게 개선시켰으며 지피식생의 피

복율과 단위면적당 출현종수에서 현저한 증가를 가져왔다. 둘째, 산성화된 너도밤나무 임분에서의 갱신치수의 발달 및 성장은 매우 결핍하였고 특히 측근의 발달이 억제되었으며, 2년생 치수에서 치수성장과 관련하여 시비의 효과가 확실히 나타났다. 셋째, 엽성분분석에서 시비구는 대조구에 비해 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 함량이 높게 나타났고, 망간(Mn)은 상대적으로 낮게 나타났으며, 칼륨(K)과 칼슘(Ca)·마그네슘(Mg)사이의 상호 길항작용이 확인되었다. 넷째, 너도밤나무 치수에서의 상대근균빈도(RM)는 임관틈새 중앙부에 비해 남가장자리에서 월등히 높게 나타났고, 시비로 인해 *Laccaria amethystina*의 확장세가 뚜렷하게 나타났다. 다섯째, 너도밤나무의 천연갱신 방법으로 군상벌채(group cutting)보다는 전통적인 우산벌채(shelterwood cutting)작업법이 효과적인 것으로 판단된다. 여섯째, 너도밤나무 숲 뿐만 아니라 대기 오염으로 날로 산성화가 심화되는 숲은 석회시비의 보정을 통해 건강한 산림생태계의 복원이 필요하다고 판단된다. 한편 우리 나라에 유일하게 자생하는 울릉도 너도밤나무(*Fagus crenata* var. *multi-nervis*)의 효과적이고 실질적인 보전복원을 위해 갱

신생태학적 연구가 요청된다고 할 수 있다.

인용문헌

- 진현오, 이명중, 신영오, 김정계, 전상근(1994) 삼림토양학. 향문사, 325쪽.
- Agerer, R. (1988) Colour atlas of ectomycorrhizae. Einhorn Verlag, Schwäbisch Gmund.
- Bartsch, N. (1985) Ökologische Untersuchungen zur Wurzelentwicklung an Jungpflanzen von Fichte(*Ficea abies*) und Kiefer(*Pinus sylvestris*). Berichte der Forschungszentrums Waldökosysteme, Bd. 15. 231pp.
- Beese, F. (1985) Wirkungen von Meliorationskalkung auf podsoliger Braunerde in einem Buchenwaldökosystem. Allg. Forstz. 43: 1161-1162.
- Blasius, D, I. Kottke and F. Oberwinkler(1985) Zur Bewertung der Güte von Fichtenwurzeln geschädigter Bestände. Forstwiss. Cbl. 104: 318-325.
- Braun-Blanquet, J.(1964) Pflanzensoziologie, Grundzüge einer Vegetationskunde. 3. Auflage, Wien. 865pp.
- Collins, B.S., K.P. Dunne and S.T.A. Pickett(1985) Responses of forest herbs to canopy gaps. In: Pickett S T A, White P S (Hrsg.) The ecology of natural disturbance and patch dynamics, Academic Press, Orlando, pp 218-234.
- Dierschke, H. (1994) Pflanzensoziologie. -Grundlagen und Methoden-. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 683 pp.
- Dohrenbusch, A. (1990) Die Verjüngungsentwicklung der Buche(*Fagus silvatica* L.). Schriftenreihe der Forstl. Fak.Univ. Göttingen, Bd. 97. 70pp.
- Ellenberg, H. (1986) Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Ulmer, Stuttgart, 4. Auflage. 989pp.
- Flick, M. and J. Lelley(1985) Die Rolle der Mykorrhiza in den Waldgesellschaften unter besonderer Berücksichtigung der Baumschäden. Forst u. Holz 6, pp154-162.
- Gehrmann, J.(1984) Einfluß von Bodenversauerung und Kalkung auf die Entwicklung von Buchenverjüngungen(*Fagus sylvatica* L.) im Wald. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme, Univ. Göttingen, Bd. 1. 213pp.
- Koss, H. (1989) Untersuchungen zur natürlichen Verjüngung der Buche(*Fagus sylvatica* L.) auf ausgewählten Standorten Nordrhein-Westfalens. Ber. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 50. 312pp.
- Kottke, I. and F. Oberwinkler(1988) Vergleichende Untersuchungen der Feinstwurzelsysteme und der Anatomie von Mykorrhizen nach Trockenstress und Dungemaßnahmen. KfK-PEF. 39: 1-19.
- Larcher, W. (1994) Ökophysiologie der Pflanzen. Ulmer, Stuttgart, 394pp.
- Lüpke, B. v. (1982) Versuche zur Einbringung von Larche und Eiche in Buchenbestände. Schriftenreihe der Forstl. Fak. Univ. Göttingen, Bd. 74. 123pp.
- Meiwes, K.J., N.Konig, P.K. Khanna, J. Prenzel and Ulrich, B. (1984) Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldboden. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme, Bd. 7: 1-67.
- Mitscherlich, G. (1981) Wald, Wachstum und Umwelt. Bd.2: Waldklima und Wasserhaushalt. Sauerländer, Frankfurt/Main. 402pp.
- Mosandl, R. (1984) Löcherhiebe im Bergmischwald - Ein waldbaulicher Beitrag zur Femelschlagverjüngung in den Chiemgauer Alpen. Forstl. Forschungsber. München. Bd. 61. 298 pp.
- Rapp, C. (1991) Untersuchungen zum Einfluß von Kalkung und Ammoniumsulfatdüngung auf Feinwurzeln und Ektomykorrhizen eines Buchenbestandes im Solling. Ber. Forschungs-zentrums Waldökosysteme Reihe A, Bd. 72. 293 pp.
- Reinecke, H. (1982) Buchennaturverjüngung und Bodenvegetation. Forst u. Holz 15: 391-396.
- Röhrig, E., H. Bartels, H.A. Gussone and B. Ulrich(1978) Untersuchungen zur natürlichen Verjüngung der Buche(*Fagus silvatica*). Forstwiss. Cbl. 97: 121-131.
- Röhrig, E. and H.A. Gussone(1990) Waldbau auf ökologischer Grundlage.2. Band: Baumartenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 6.Auflage. 314pp.

- Roloff, A. (1986) Morphologie der Kronenentwicklung von *Fagus sylvatica* L. (Rotbuche) unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme, Bd. 18. 258pp.
- Sachs, L. (1984) Angewandte Statistik. Springer Verlag Berlin, 6. Auflage, 552pp.
- Scherfose, V. and F.H. Meyer(1990) Morphologie und Anatomie von Kiefernmykorrhizen verschiedener Standorte Niedersachsens. Allg. Forstz. 36: 917-919.
- Ulrich, B. (1988) Stoffhaushalt von Waldökosystemen. Bioelementhaushalt. Vorl. Skript Inst. Bodenkunde und Waldernährung Univ. Göttingen, 8. Auflage. 343pp.