

중국 소흥안령 활엽수-잣나무 혼효림에서의 산겨릅나무의 공간분포 양상

金光澤¹ · 黎 如¹ · 李志宏¹ · 金知洪^{2*}

¹中國 東北林業大學 林學院, ²江原大學校 山林環境科學大學

Spatial Pattern of *Acer tegmentosum* in the Mixed Broadleaved-Korean Pine Forest of Xiaoxing'an Mountains, China

Guangze Jin¹, Ru Li¹, Zhihong Li¹ and Ji Hong Kim^{2*}

¹School of Forestry Northeast Forestry University, Harbin, 150040, China

²College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

요 약: 생육환경의 이질성은 수목의 개체군 구조와 동태, 군락의 구성 및 종다양성 유지에 중요한 역할을 한다. 이 연구는 미세지형이 활엽수-잣나무 혼효림에서의 산겨릅나무 개체군의 공간분포에 미치는 영향과 공간분포 양상을 검토하기 위하여 9 ha의 영구 표본구에 있는 유묘, 치수, 살아있는 성숙목과 고사목에 대하여 공간분포 특성을 분석하였다. 그 결과 사면경사에 있어서 산겨릅나무는 비교적 완만한 경사를 선호하였다. 사면 방향별 유묘의 밀도는 차이가 없었고, 치수, 살아 있는 성숙목, 고사목의 밀도는 서향, 동남향에서 높게 나타났다. 살아있는 성숙목의 경우, 150 m 이내의 모든 척도에서 집락분포를 하고 있으며, 척도 30 m에서 최고값을 보였고, 고사목은 111 m 이내에서는 집락분포를 하고, 척도 72 m에서 최고값을 보이고 있으며, 111 m보다 큰 척도에서는 무작위분포를 하고 있었다($P < 0.01$). 산겨릅나무의 생육단계별 발생 유사성에 있어서 유묘는 치수와 고도의 정의 상관관계, 치수는 살아 있는 성숙목과 고도의 정의 상관관계, 살아 있는 성숙목은 죽은 성숙목과 고도의 정의 상관관계가 있어 ($P < 0.01$), 생활사 하위 단계의 발생은 상위단계와 고도의 정의 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

Abstract: The heterogeneity of forest environment plays an important role in the structure and dynamics of tree population, the composition of forest community, and the maintenance of species diversity. Based upon the research data of the nine hectare permanent plot in the typical mixed broadleaved-Korean pine forest, this study was conducted to analyze the characteristics of spatial pattern of *Acer tegmentosum* population for seedlings, saplings, and living and dead trees so as to evaluate the effect of micro-topography on spatial pattern of the species. The results noted that *A. tegmentosum* preferred to gentle slopes. There was no difference in density of seedlings by the variation of aspect, but the density of saplings, and living and dead trees was high on the western and southeastern slopes. Living trees of *A. tegmentosum* showed the clumped pattern for all scales within 150 m and highest at the scale of 30 m. Dead stems of the species indicated the clumped pattern within 111 m, highest at the scale of 72 m, and random pattern beyond the scale of 111 m ($P < 0.01$). The similarity of occurrence by developmental stages of *A. tegmentosum* showed that seedlings vs. saplings, saplings vs. living trees, and living trees vs. dead stems had highly positive correlation to each other, respectively ($P < 0.01$), indicating that the occurrence of previous developmental stages was positively correlated to following stages.

Key words : Mixed broadleaved-Korean pine forest, *Acer tegmentosum*, Spatial pattern, Xiaoxing'an Mountains

*Corresponding author

E-mail: kimjh@kangwon.ac.kr

The research was supported by the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars, State Education Ministry, Heilongjiang Postdoctoral Science-research Foundation and Northeast Forestry University Science-research Foundation.

서 론

생육 환경의 이질성은 수목의 개체군 구조와 동태, 군락의 구성 및 종다양성 유지에 중요한 역할을 한다(Runkle, 1985; Kneeshaw and Bergeron, 1998; Hubbell *et al.*, 1999; Schnitzer and Carson, 2001). 생육 환경의 이질성은 주로 미세지형의 차이와 교란에 의해서 형성되는데, 미세지형의 차이는 주로 지형적 위치, 사면방향, 사면경사를 포함하고, 교란은 인위적 교란과 자연적 교란이 포함되며, 그 중 자연적 교란은 강풍이나 노령목의 고사로 인해 형성되는 숲틈이 포함된다. 지형적 위치, 사면방향, 사면경사 등은 수목의 분포에 직접적인 영향을 주기보다는 수광량, 수분조건, 토양의 깊이, 토양의 양분 분포에 영향을 줌으로써 간접적으로 수목의 분포와 생장에 영향을 미친다.

산겨릅나무(*Acer tegmentosum* Maxim.)는 중국 흑룡강성의 소흥안령, 장광채령 및 완달산맥과 길림성, 요녕성, 그리고 한반도와 러시아의 시베리아 동쪽 지역에 분포하고 있으며, 주로 해발 1000 m 이하의 침엽수-활엽수 혼효림의 중하층에서 생육하고 있다. 조경수로 많이 이용되고 있으며, 목재는 단단하고 질기어서 기구재, 약기재 및 완구재로 이용되고 있고, 특히 근래 들어 한방에서의 의학적 가치가 인정됨에 따라 이에 대한 수요가 늘어나고 있다.

산겨릅나무에 대한 연구는 맹아 발생 특징(何立偉, 1987), 활엽수-잣나무림내에서의 종자 산포 패턴(Jin *et al.*, 2006), 숲틈 형성에 따른 산겨릅나무 개체군의 갱신 특성(于振良 등, 2001), 숲틈 크기에 따른 유묘 및 치수 발생 특성(Jin *et al.*, 2007), 수직적 구조에서의 생태적 지위(吳剛 등, 1999) 등이 이루어진 바 있으나, 개체군의 공간분포에 대해서는 이루어진 바 없다. 따라서 이 연구는 활엽수-잣나무 혼효림에서 미세지형이 산겨릅나무의 유묘, 치수, 성숙목의 공간분포에 미치는 영향을 규명하고 성숙목의 공간분포 양상을 규명하고자 실시되었다.

자료 및 방법

1. 연구대상지 개황

이 연구는 중국 흑룡강성 소흥안령산맥 남단에 위치한 양수국가급자연보호구(47° 10' 50"N, 128° 53' 20"E)에서 실시되었다. 보호구는 전형적인 저산지역으로서, 최고봉의 해발고도는 707.4 m이고, 최저지역은 300 m이며, 평균 경사는 10-15°이다. 연평균 기온은 -0.3°C, 연평균 최고기온은 7.5°C, 연평균 최저기온은 -6.6°C이고, 연평균 지표면 온도는 1.2°C이며, 무상기는 100-120일이다. 연평균 상대 습도는 78%이고, 연평균 강수량은 676 mm이며, 연평균 증발량은 805 mm이다(Jin *et al.*, 2006).

양수국가급자연보호구는 현재 중국의 대부분의 활엽수

-잣나무혼효림이 과도한 벌채로 인해 2차림으로 대체되어 patch 모양으로 분포되어 있는 중에서 보전이 가장 잘 된 집중분포구 중의 하나이다. 총면적은 12,133 ha이고, 산림 총축적은 170만 m³이며, 산림 피복률은 98%이다. 보호구 내에 지역성 극상림은 잣나무가 우점하는 활엽수-잣나무 혼효림이며, 입지조건과 혼효수종의 차이에 따라 능선에서 계곡쪽으로 신갈나무-잣나무림, 피나무-잣나무림, 거제수나무-잣나무림, 종비나무-분비나무-잣나무림 등이 분포하고 있다.

주요 수종으로는 잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.), 종비나무(*Picea koraiensis* Nakai), 분비나무(*Abies nephrolepis* Maxim.), 피나무(*Tilia amurensis* Rupr.), 찰피나무(*Tilia mandshurica* Rupr. et Maxim.), 고로쇠나무(*Acer mono* Maxim.), 들메나무(*Fraxinus mandshurica* Rupr.), 난티나무(*Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr), 거제수나무(*Betula costata* Trautv.), 만주자작나무(*Betula platyphylla* Sukatshev), 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch.), 만주잎갈나무(*Larix gmelini* (Rupr.) Kuzeneva), 가래나무(*Juglans mandshurica* Maxim.), 부계꽃나무(*Acer ukurunduense* Trautv. et Meyer), 산겨릅나무 등이 있다.

2. 조사 방법

2005년에 전형적인 활엽수-잣나무혼효림 내에 300 m×300 m의 정방형 고정 표본구를 설치하고, 10 m×10 m 크기의 정방형 sub-plot을 900개로 구분·설치하였으며, sub-plot의 네모서리는 파이프로 위치를 표시하였다. Sub-plot에 있는 흉고직경 2 cm 이상의 모든 개체에 대하여 고유번호가 있는 알루미늄 라벨을 부착하였고, 흉고직경, 수고, 수관고, 지하고, 좌표 등을 측정하였다. 모든 10 m×10 m의 sub-plot에 2 m×2 m 크기의 소표본구를 설치하고 0.3 m 이상의 모든 개체목에 대하여 유묘(0.3 m ≤ H < 1 m) 및 치수(H ≥ 1, DBH < 2 cm)의 높이와 좌표를 기록하였으며, 고유번호가 있는 알루미늄 라벨을 부착하였다.

미세지형은 매개 표본구별로 지형적 위치, 사면경사, 사면방향 등을 조사하였다. 연구대상지에 대부분이 계곡과 사면으로 구성되고, 능선은 극히 적어 이 연구에서는 지형적 위치가 산겨릅나무의 분포에 미치는 영향을 제외하였다. 사면경사는 <6°, 6-15°, 16-25°, >25°로 나누었고, 사면방향은 북쪽과 동북, 서북과 동쪽, 서쪽과 동남, 서남과 남쪽(金光澤 등, 2002)으로 나누었다(Figure 1).

3. 자료분석

1) 미세지형의 영향

사면경사, 사면방향이 산겨릅나무 개체군의 분포에 미치는 영향을 검토하기 위하여 유묘, 치수, 성숙목 별로 χ^2 검정을 실시하였다.

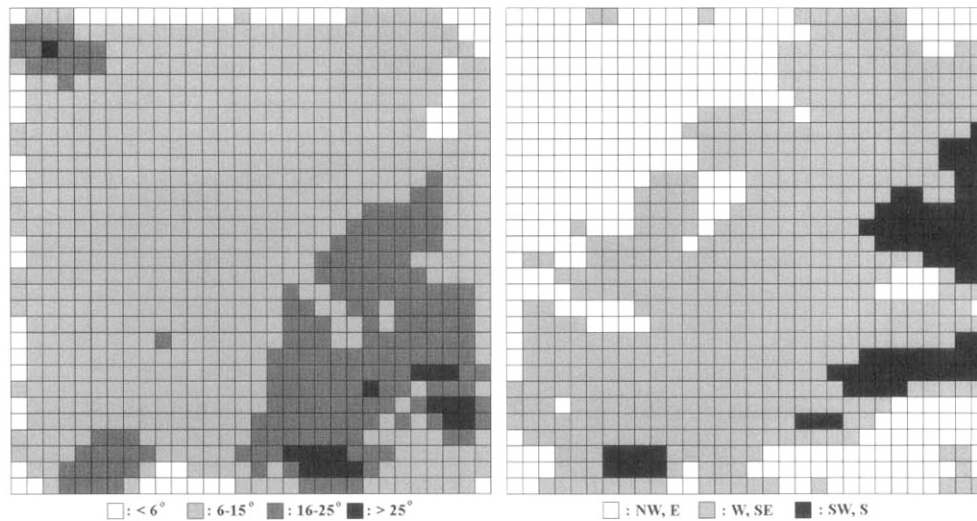


Figure 1. Maps of aspect and slop degree distribution in the 9ha study site.

2) 공간분포 분석

산겨릅나무의 공간분포 양상은 point pattern analysis의 일종인 Ripley's $K(t)$ 함수(Ripley, 1977, 1979, 1981)를 이용하여 분석하였다. Ripley's $K(t)$ 함수는 연구지역내에서 무작위로 선정되는 점으로부터 r 이내에 있는 기타의 기대되는 점수이며(Tomppo, 1986; Moeur, 1993), r 값은 척도(scale)의 크기가 변함에 따라 변하는데, 이 함수는 다음과 같이 정의된다(Ripley, 1976, 1981).

$$\hat{K}(t) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{w_{ij}} I(u_{ij})$$

위 식에서 A : 표본구면적; n : 전체 점 개수; 개체 i 와 j 의 거리 $u \leq r$ 일 경우 $I(u)$ 은 1, 그렇지 않을 경우는 0이며, w_{ij} 은 변두리 교정인자이다.

공간분포의 양상 검정은 아래의 식을 이용하였다(Ripley, 1979).

$$\hat{L}(t) = \sqrt{\frac{\hat{K}(t)}{\pi}} - t$$

Monte-Carlo방법을 이용하여 상이한 척도에서의 $\hat{L}(t)$ 의 상하 신뢰구간을 계산하였다. $\hat{L}(t)$ 값이 신뢰구간 내에 있으면 무작위 분포를 하고, 신뢰구간보다 크면 집락분포를 하며, 신뢰구간보다 작으면 규칙분포를 한다. 이 연구에서는 최대거리 척도를 표본구 길이의 절반인 150 m로 하였

고, 분리거리는 3 m로 하였으며, 완전무작위모텔(complete spatial randomness)을 사용하였다. Monte-Carlo검정은 100 회 실시하여 확률수준 99%의 신뢰구간을 얻었다.

결과 및 고찰

1. 산겨릅나무의 개체군 구조

소홍안령 활엽수-잣나무림의 9ha 영구표본구에 산겨릅나무는 유묘 633본/ha, 치수 347본/ha, 흉고직경 2 cm이상의 살아있는 성숙목은 88본/ha, 고사목은 8본/ha이 있는 것으로 조사되었다(Table 1). 살아있는 성숙목의 흉고단면적은 4,232.5 cm²/ha로 평균 흉고직경은 6.3 cm이며, 고사목의 흉고단면적은 958.3 cm²/ha로 평균 흉고직경은 10.2 cm인 것으로 집계되어, 고사목의 발생은 상대적으로 큰 직경급에서 발생하고 있음을 알 수 있는데, 이러한 경향은 Figure 2에서도 확인할 수 있다. 즉 고사목의 발생은 2-6 cm급과 14-18 cm급에서 많이 발생하는 쌍봉형 모양을 하고 있는 반면, 살아있는 성숙목은 역J형 모양을 하고 있어 산겨릅나무 개체군은 증가형임을 알 수 있다.

2. 미세지형에 따른 산겨릅나무의 분포 상황

Table 2는 사면경사별 유묘, 치수, 살아있는 성숙목 및 고사목의 밀도, 그리고 살아 있는 성숙목과 고사목의 흉

Table 1. *Acer tegmentosum* population in the Mixed broadleaved-Korean pine forest.

	Density (Stems/ha)	Basal area (cm ² /ha)	DBH(cm)	
			Mean ± SD	Max.
Seedling (0.3 m<H<1 m)	633	-	-	-
Sapling (H>1 m, DBH<2 cm)	347	-	-	-
Living stems (DBH≥2 cm)	88	4232.5	6.3 ± 4.6	26.2
Dead stems (DBH≥2 cm)	8	958.3	10.2 ± 6.6	30.0

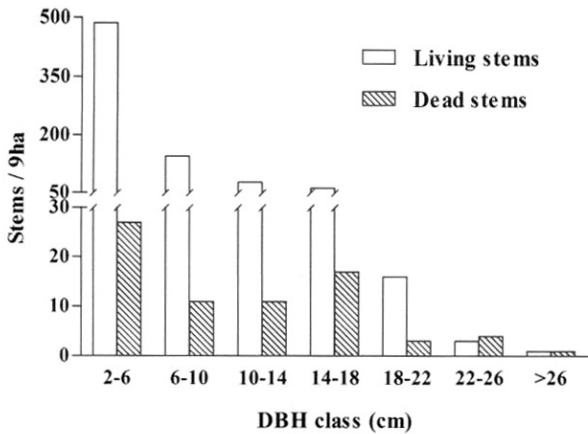


Figure 2. DBH class distribution of *Acer tegmentosum* in the mixed broadleaved-Korean pine forest.

고단면적을 나타내고 있으며, 이들 관찰값을 근거로 기댓값을 산출하여 비교하는 χ^2 검정을 실시한 결과를 나타내고 있다.

사면경사에 있어서 유묘, 치수, 성숙목의 밀도 및 성숙목의 흉고단면적은 모두 95% 혹은 99%의 확률수준에서 차이가 있었다. 유묘는 6-15°, 치수는 6-15°와 >25°에서 밀도가 높았고 살아있는 성숙목은 <6°, 6-15°에 밀도와 흉고단면적이 높았으며, 고사목은 6-15°에서 밀도와 흉고단면적이 높게 나타났다. 따라서 전체적으로 볼때 산겨릅나무는 비교적 완만한 경사를 선호함을 알 수 있다.

Table 3는 사면방향별 유묘, 치수, 살아있는 성숙목 및 고사목의 밀도, 그리고 살아 있는 성숙목과 고사목의 흉

고단면적을 나타내고 있으며, 이들 관찰값을 근거로 기댓값을 산출하여 비교하는 χ^2 검정을 실시한 결과를 나타내고 있다.

사면 방향별 유묘의 밀도는 차이가 없었다. 서향, 동남향에서 치수의 밀도는 95%의 확률수준에서 높게 나타났고, 살아있는 성숙목과 고사목의 밀도는 99%의 확률수준에서 높게 나타났으며, 살아있는 고사목의 흉고단면적은 차이가 없는 반면, 고사목은 남서향, 남향에서 99%의 확률수준에서 높게 나타났다. 이로부터 유묘는 사면방향에 상관없이 발생하지만, 유묘의 생장과 더불어 치수단계와 성숙목 단계에서는 서향, 동남향의 치수 생존율이 높음을 알 수 있다. 산겨릅나무의 수종 특성상 약간 습한 지역을 선호하지만(周以良 등, 1986) 이러한 현상은 소흥안령 지역의 경우 토양에 영동층(永凍層)이 존재하여 수분에 대한 스트레스가 상대적으로 적은 반면 수목생장과 더불어 광선에 대한 경쟁이 심해져 이러한 결과를 보인 것으로 사료되며, 더욱 정확한 원인은 본 연구조사지의 라벨을 부착한 유묘, 치수, 성숙목에 대해 보다 긴 시간의 모니터링이 필요하다. 서향, 동남향의 고사목의 밀도가 높은 반면에 서남, 남쪽의 흉고단면적이 높은 것은 서남, 남쪽에서 기타 사면 방향에 비해 보다 큰 직경급에서 고사목이 발생하고 있음을 말해주고 있다.

3. 산겨릅나무 성숙목의 공간분포

산겨릅나무의 살아있는 성숙목의 위치도에서 집락분포 양상을 관찰할 수 없었으나, 고사목은 집락분포 양상을 관

Table 2. The number of *Acer tegmentosum* seedlings, saplings and adults, and the basal area of *Acer tegmentosum* adults in the mixed broadleaved-Korean pine forest classified by slope degree.

Slope degree (°)	Number of seedlings (H<1 m)				Number of saplings (H>1 m, DBH<2 cm)			
	Mean*	Observed	Expected	χ^2	Mean*	Observed	Expected	χ^2
<6	3.7	8	13.7	18.50***	2.3	5	7.5	11.29*
6-15	7.5	192	163.1		4.0	104	89.4	
16-25	3.3	24	46.6		1.6	12	25.6	
>25	5.6	4	4.6		5.6	4	2.5	
Slope degree (°)	Number of living stems (DBH≥2 cm)				Number of dead stems (DBH≥2 cm)			
	Mean*	Observed	Expected	χ^2	Mean*	Observed	Expected	χ^2
<6	1.3	69	47.3	53.75***	0.1	3	4.4	8.62*
6-15	1.0	624	564.6		0.1	64	53.0	
16-25	0.5	90	161.3		0.0	7	15.1	
>25	0.3	6	15.8		0.0	0	1.5	
Slope degree (°)	Basal area of living stems (DBH≥2 cm)				Basal area of dead stems (DBH≥2 cm)			
	Mean*	Observed	Expected	χ^2	Mean*	Observed	Expected	χ^2
<6	74.2	4005.1	2285.6	4713.55***	1.1	57.7	517.5	1257.40***
6-15	47.5	30558.0	27257.8		11.8	7590.1	6171.7	
16-25	16.3	2990.3	7788.0		5.3	977.2	1763.3	
>25	30.0	539.8	761.9		0.0	0.0	172.5	

*: per 100 m², *: P < 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.001

Table 3. The number of *Acer tegmentosum* seedlings, saplings and adults, and the basal area of *Acer tegmentosum* adults in the mixed broadleaved-Korean pine forest classified by aspect.

Aspect	Number of seedlings (H<1m)				Number of saplings (H>1m, DBH<2cm)			
	Mean*	Observed	Expected	χ^2	Mean*	Observed	Expected	χ^2
NW, E	4.7	14	19.0	2.04	2.0	6	10.4	6.76*
W, SE	6.8	138	129.5		4.2	85	71.0	
SW, S	6.1	76	79.5		2.7	34	43.6	
Aspect	Number of living stems (DBH≥2cm)				Number of dead stems (DBH≥2cm)			
	Mean*	Observed	Expected	χ^2	Mean*	Observed	Expected	χ^2
NW, E	0.6	48	65.8	21.10***	0.1	4	6.2	3.59
W, SE	1.0	511	448.0		0.1	50	42.0	
SW, S	0.7	230	275.3		0.1	20	25.8	
Aspect	Basal area of living stems (DBH≥2cm)				Basal area of dead stems (DBH≥2cm)			
	Mean*	Observed	Expected	χ^2	Mean*	Observed	Expected	χ^2
NW, E	32.4	2431.9	3174.4	513.57***	4.1	310.3	718.8	383.08***
W, SE	46.4	23721.8	21628.5		9.1	4658.3	4897.1	
SW, S	38.0	11939.6	13290.3		11.6	3656.5	3009.2	

*: per 100m², *: P < 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.001

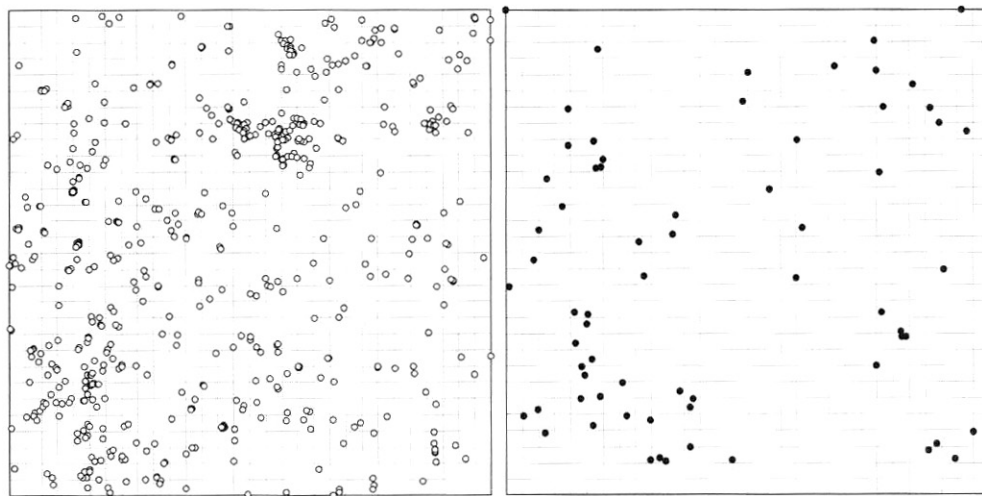


Figure 3. Maps of living trees and dead stems of *Acer tegmentosum* (DBH ≥ 2 cm) distribution in the 9ha study site. ○: living stems, ●: dead stems.

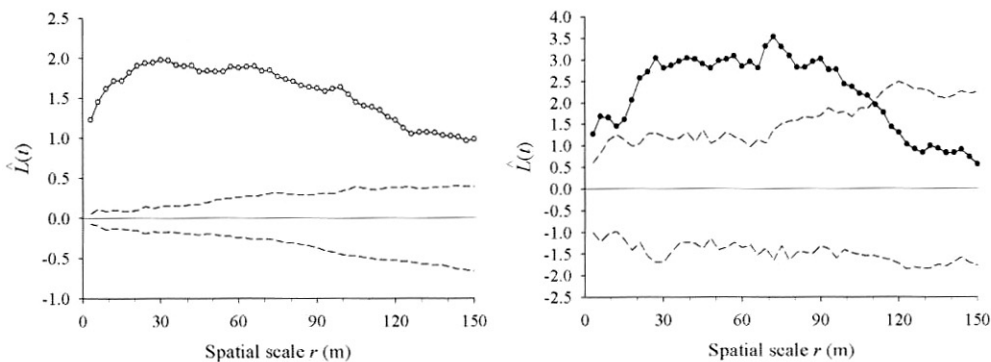


Figure 4. Ripley's $K(t)$ results for the spatial pattern analysis of *Acer tegmentosum* (DBH ≥ 2 cm) in the 9ha study plot. The $\hat{L}(t)$ is shown as a solid line (○: living stems, ●: dead stems), whereas the pointwise 99% confidence envelopes for a random spatial process in given as dotted lines.

찰할 수 있다(Figure 3). 살아있는 성숙목의 경우, 150 m이
 내의 모든 척도에서 집락분포를 하고 있으며($P < 0.01$),

척도 30 m에서 최고값을 보였다(Figure 4). 고사목은 111
 m이내에서는 집락분포를 하고($P < 0.01$), 척도 72 m에서

Table 4. Pearson correlation coefficient for three developmental stages of *Acer tegmentosum* in the mixed broadleaved-Korean pine forest.

	Number of seedlings	Number of saplings	Number of living stems	Number of dead stems	Basal area of living stems	Basal area of dead stems
Number of seedlings	-					
Number of saplings	0.358**	-				
Number of living stems	0.062	0.198**	-			
Number of dead stems	-0.037	-0.007	0.140**	-		
Basal area of living stems	0.080*	0.130**	0.622**	0.209**	-	
Basal area of dead stems	-0.035	-0.008	0.087*	0.682**	0.129**	-

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

최고값을 보이고 있으며, > 111 m에서는 무작위분포를 하고 있다($P < 0.01$). 이러한 연구결과는 많은 연구에서 수종들이 거리 척도와 상관없이 집락분포를 하는 연구결과와 유사하였다(Moeur, 1997; North *et al.*, 2004).

4. 생육단계별 발생 유사성

유묘, 치수, 성숙목 및 고사목 발생의 유사정도를 파악하기 위하여 유묘, 치수, 성숙목 및 고사목의 밀도, 그리고 유묘, 치수의 밀도와 성숙목, 고사목의 흉고단면적간의 Pearson 상관관계를 산출하였다(Table 4). 그 결과 유묘는 치수밀도와 고도의 정의 상관관계($P < 0.01$), 살아있는 성숙목의 흉고단면적과 높은 정의 상관관계($P < 0.05$)가 인정되었고, 치수는 살아있는 성숙목의 밀도 및 흉고단면적과 고도의 정의 상관관계가 인정되었다. 살아있는 성숙목의 밀도는 유묘를 제외한 모든 경우와 고도의 혹은 높은 정의 상관관계가 인정되었고, 성숙목의 흉고단면적은 모든 경우와 고도의 혹은 높은 정의 상관관계가 인정되었으며, 죽은 성숙목의 밀도와 흉고단면적은 유묘와 치수를 제외한 기타 경우와 고도의 정의 상관관계가 인정되었다. 즉 유묘는 치수와 고도의 정의 상관관계, 치수는 살아 있는 성숙목과 고도의 정의 상관관계, 살아 있는 성숙목은 죽은 성숙목과 고도의 정의 상관관계가 있어, 생활사 하위 단계의 발생은 상위단계와 고도의 정의 상관관계가 있음을 시사해주고 있다.

인용문헌

1. 金光澤, 唐艷, 金知洪. 2002. TWINSpan에 의해 分類된 點鳳山 一帶 天然闊葉樹林의 群落構造 解析. 韓國林學會誌 91(4): 523-534.
2. 何立偉. 1987. 假色 楷 花楸萌生律及經營措施的探討. 吉林林業科技 2: 21-22.
3. 于振良, 于貴瑞, 王秋鳳, 趙士洞, 延曉冬. 2001. 長白山紅松闊葉林林隙特徵及對樹種更新的影響. 資源科學 23(6): 64-68.
4. 剛, 梁秀英, 張旭東, 占慶, 周永斌, 尹若波. 1999. 長白山紅松闊葉林主要樹種高度生態位的究. 應用生態學報 10(3):

- 262-264.
5. 周以良, 董世林, 紹全. 1986. 黑龍江樹木誌. 黑龍江科學技術出版社. 哈爾濱, 中國. pp.585.
6. Hubbell, S.P., Foster, R.B. O'Brien, S.T., Harms, K.E., Condit, R., Wechsler, B., Wright, S.J., and Loo de Lao, S. 1999. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. Science 283: 554-557.
7. Jin, G.Z., Tian, Y.Y., Zhao, F.X. and Kim, J.H. 2007. The pattern of natural regeneration by gap size in the broadleaved-Korean pine mixed forest of Xiaoxing'an mountains, China. Journal of Korean Forest Society 96(2): 227-234.
8. Jin, G.Z., Xie, X.C., Tian, Y.Y. and Kim, J.H. 2006. The pattern of seed rain in the broadleaved-Korean pine mixed forest of Xiaoxing'an mountains, China. Journal of Korean Forest Society 95(5): 621-627.
9. Kneeshaw, D.D., Bergeron, Y. 1998. Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest. Ecology 79(3): 783-794.
10. Moeur, M. 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. Forest Science 39(4): 756-775.
11. Moeur, M. 1997. Spatial models of competition and gap dynamics in old-growth *Tsuga heterophylla/Thuja plicata* forest. Forest Ecology and Management 94: 175-186.
12. North, M., Chen, J., Oakley, B., Song, B., Rudnicki, M., Gray, A., and Innes, J. 2004. Forest stand structure and pattern of old-growth western hemlock/Douglas-fir and mixed-conifer forests. Forest Science 50 (3): 299-311.
13. Ripley, B.D. 1976. The second-order analysis of stationary point processes. Journal of Applied Probability 13(2): 255 -266.
14. Ripley, B.D. 1977. Modelling spatial patterns. Journal of the Royal Statistical Society (B) 39: 172-192.
15. Ripley, B.D. 1979. Test of randomness for spatial point patterns. Journal of the Royal Statistical Society (B) 41: 368-374.
16. Ripley, B.D. 1981. Spatial Statistics. John Wiley & Sons. NewYork: Wiley pp. 252.
17. Runkle, J.R. 1985. Disturbance regimes in temperate forest. pp. 17-33. In: S.T.A. Pickett and P.S. White ed., The Ecology of Nature Disturbance and Patch Dynamics. Aca-

- demic Press. Orlando, U.S.A.
18. Schnitzer, S.A., and Carson, W.P. 2001. Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. *Ecology* 82(4): 913-919.
19. Tomppo, E. 1986. Models and methods for analysing spatial patterns of trees. In: *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, vol.138, The Finnish Forest Research Institute, Helsinki, Finland, pp. 65.
-

(2007년 9월 27일 접수; 2007년 10월 16일 채택)