

## 位置從屬林分調査에 의한 個體木の 競争指數 및 胸高直徑生長 推定<sup>1</sup>

李 祐 均<sup>2</sup>

## Estimating the Competition Indices and Diameter Growth of Individual Trees through Position-dependent Stand Survey<sup>1</sup>

Woo-Kyun Lee<sup>2</sup>

### 요 약

본 연구에서는 위치종속조사기법에 의해 소나무임분에서 조사된 자료로부터 임목의 크기 및 경쟁목과의 거리를 함께 고려한 개체목차원의 거리종속경쟁지수와 전통적인 임분차원의 밀도척도를 추정하고 이들을 흉고직경생장과 비교하여 경쟁상태에 대한 설명력을 검토하였으며, 경쟁지수가 영향변수로 고려된 개체목 흉고직경생장식을 유도하였다.

경쟁목선정방법에 있어 경쟁차단각도를 30도로 설정했을 때의 경쟁지수가 흉고직경생장과 가장 높은 상관관계를 보인 반면, 경쟁구역거리는 흉고직경생장추정에 대한 경쟁지수의 설명력에 미미한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

개체목별 거리종속경쟁지수에 근거한 대부분의 임분경쟁지수들은 임분의 경쟁상태를 비슷하게 나타내는 것으로 평가되었다. 임령과 지위지수의 영향을 배제한 상태에서의 편상관분석결과 Alemdag의 평균경쟁지수 및 상대공간지수가 흉고직경과 가장 높은 연관성을 나타냈는데, 이중 개체목의 위치를 파악하지 않고도 비교적 손쉽게 파악될 수 있는 상대공간지수가 임분의 평균흉고직경을 추정하는 데는 좀더 적합한 것으로 판단되었다.

개체목차원의 거리종속 경쟁지수중에서, 지위 및 흉고직경의 영향을 배제시킨다면 Hegyi의 경쟁지수가 흉고직경생장과 가장 밀접한 영향관계에 있는 것으로 밝혀졌다. 이로부터 Hegyi경쟁지수 및 임령, 우세목수고, 개체목의 흉고직경을 영향인자로 하는 다음과 같은 흉고직경생장식을 유도하였다.

$$dbh' = 3.975362676 \cdot age^{-1.099274613} \cdot ho^{0.199893090} \cdot dbh^{0.269430865} \cdot HgCI^{-0.353643587}$$

위의 식은 다른 조건이 같다면 지위지수는 흉고직경생장에 유리한 영향을 미치는 반면 임령 및 경쟁지수의 증가에 의해서는 흉고직경생장이 둔화된다는 일반생장법칙에 부합되어 흉고직경생장식으로 적합하다고 판단되며, 단목생장모형을 위한 함수식으로 활용될 수 있다.

### ABSTRACT

In this study, a number of distance-dependent competition indices on tree-level which incorporate the tree sizes and distances to competitors, and traditional stand-level density measures were estimated from the data compiled with position-dependent survey in a *Pinus densiflora* stand. The performance of the estimated competition indices was examined by comparing the relationship with the diameter growth, and a dbh growth function, in which the competition index is considered as a one of influence factors, are developed.

<sup>1</sup> 接受 1996年 6月 7日 Received on June 7, 1996.

<sup>2</sup> 고려대학교 자연자원대학 산림자원학과 Depart. of Forest Resources, College of Natural Resources, Korea University

In the searching method of competing trees, the competition index estimated with 30° competition interrupting angle showed the highest correlation with the annual dbh growth, while the expanding the competing zone distance had no significant effect on the performance of competition index in estimating annual dbh growth.

The most of the examined stand-level competition indices, based on distance-dependent single-tree competition indices, were evaluated to describe similarly the stand competition status. As a result of partial correlation analysis in which the effect of age and site index are eliminated, Alemdag's mean competition index and relative spacing index were determined to have the highest correlation with dbh. The relative spacing index, which can be easily measured in field without measuring the position of individual trees, was considered to be a better suited one for estimating mean dbh of a stand.

Among distance-dependent competition indices on tree-level, Hegyi's competition index showed the best performance in their correlation with annual dbh growth, if eliminated the effect of site index and dbh. This enabled to derive the following annual dbh growth function of individual trees which incorporate age, dominant height, dbh and Hegyi's competition index as influence factors :

$$dbh' = 3.975362676 \cdot age^{-1.099274613} \cdot ho^{0.199893990} \cdot dbh^{0.269430865} \cdot HgCI^{-0.353643587}$$

This function is coincided to the growth principle in which site index has a positive effect on the annual dbh growth, while high age or competition causes to reduce the annual dbh growth, and can be used as a function in single tree growth model.

*Key words* : distance-dependent competition index, tree-level competition index, stand-level density, position-dependent survey, annual dbh growth function, single tree growth model

## 서 론

임분내의 개체목들은 바람 및 폭풍 등으로 부터는 서로를 보호하는 반면 광선, 수분, 양분 및 생육공간 등을 위해서는 상호 경쟁관계에 있다(Kramer, 1988). 이러한 성장요인이 경쟁에 의해 어느 정도 제한을 받는가에 따라 개체목 및 임분의 생장이 좌우된다. 현행 산림경영계획의 근간을 이루는 임분생장모델(stand growth model)에서는 생장을 임분의 평균치로 파악하고 있으며, 이러한 임분차원의 평균생장과 경쟁과의 관계를 구명하기 위해 경쟁관계를 임분차원에서 양적으로 나타낸 임분밀도(stand density)를 이용하고 있다(Davis와 Johnson, 1987). 지금까지 이와같은 임분밀도를 나타내는 척도 및 측정방법이 다양한 각도에서 개발되어 임분의 성장추정 및 관리의 기준으로 이용되어 왔는데, 지금까지 널리 알려진 임분밀도의 척도로는 ha당 단면적 및 채적, ha당 분수, 임목도(stocking), Reineke의 임분밀도지수(stand density index), 상대공간지수(relative spacing index), 수관경쟁요인(crown competition factor) 등을 들 수 있다(박태식의

1991; Davis와 Johnson, 1987). 이와같은 임분밀도 인자들은 파악이 간단하고 쉽게 활용될 수 있는 반면, 경쟁과 성장간의 인과관계를 명확하게 설명해 주지 못하는 한계를 지니고 있다(Bella, 1971).

최근들어 환경 및 생태문제와 결부되어 임분생장모델보다는 생장을 개체목별 경쟁상태에 따라 개체목단위로 파악하는 단목생장모델(individual or single tree growth model)에 대한 중요성이 증대되면서, 개체목단위의 경쟁지수(competition index)가 다양한 각도에서 개발되고 있으며, 이 개체목별 경쟁지수를 통해 개체목 및 임분의 생장을 보다 명확히 구명하려는 연구가 활발히 수행되고 있다(Biging과 Dobbertin, 1995; Daniels, 1976; Daniels, Burkhart, Clason, 1986; Lee, 1993; Pukkala와 Kolström, 1987; Tomé와 Burkhart, 1989).

경쟁지수를 파악하는 방법은 각 개체목간 거리의 고려여부에 따라 거리종속경쟁지수(distance dependent competition index)와 거리독립경쟁지수(distance independent competition index)로 크게 분류된다(Biging과 Dobbertin, 1992, 1995; Davis와 Johnson, 1987; Holmes와 Reed, 1991;

Tomé와 Burkhart, 1989). 지금까지 임분밀도의 척도로 많이 이용되어온 입목도, Reineke의 임분밀도지수, 상대공간지수 등은 각 개체목의 공간적 위치, 즉 각 개체목간의 거리가 고려되지 않은 일종의 임분차원(stand level)의 거리독립경쟁지수로 분류될 수 있다(Biging과 Dobbertin, 1992, 1995).

각 개체목의 공간적인 위치를 파악하고 경쟁목과의 관계를 고려하여 개체목별로 경쟁지수를 파악하는 단목차원(tree level)의 거리종속경쟁지수는 경쟁목과의 경쟁관계파악을 위해 고려되는 인자에 따라 수관면적중첩지수(crown area overlap index), 직경비에 의한 크기비율지수(Size Ratio Index), 생육공간지수(growing spacing index) 등으로 분류될 수 있다(Biging과 Dobbertin, 1992, 1995; Holmes와 Reed, 1991; Tomé와 Burkhart, 1989). 수관면적중첩지수는 경쟁목과 중첩되는 수관면적을 고려하여 경쟁지수를 결정하는 방법으로 이를 위해서는 수관폭을 측정해야 하는 어려움이 뒤따른다(Bella, 1971). 이에 비해 크기비율경쟁지수 및 생육공간경쟁지수는 수관폭을 측정하지 않고도 경쟁목의 직경 및 경쟁목과의 거리를 고려하여 개체목의 경쟁지수를 파악하는 비교적 간단한 방법으로 알려져 있다(Daniels 1976; Daniels, Burkhart, Clason, 1986).

지금까지 우리나라의 산림경영기법은 전적으로 임분차원의 성장모델에 기반을 두고 있어, 개체목별 성장을 중요시 다루는 보다 친환경적인 산림경영은 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 우리나라에서도 개체목 위주의 경쟁인자를 고려한 성장예측모델이 개발되고, 이러한 결과를 토대로 보다 다양한 방법으로 임분을 관리할 수 있는 임분경영기법이 마련되어야 할 것이다. 이러한 취지하에 본 연구에서는 개체목의 위치를 파악하는 위치종속임분조사(position dependent stand survey)자료로부터 경쟁상태를 비교적 잘 설명해 준다고 알려진 일부 거리종속 경쟁지수들을 상호비교하여 임분 및 개체목의 경쟁상태에 대한 설명력을 검토한 후, 경쟁지수와 흉고직경 성장과의 관계를 단목차원에서 구명하여 개체목별 경쟁인자를 고려한 단목흉고직경성장식을 유도함으로써 단목성장모델을 위한 기초를 마련하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료 및 조사방법

강원도 지방의 소나무임분중 생육상태가 비교적 양호한 임분을 대상으로 101곳의 표본점을 설정하여 임분조사를 실시하였다. 표본점의 형태는 원형으로 하였으며, 표본점내에 30-40본이 포함되도록 표본점의 크기를 0.01 ha부터 0.1 ha사이에서 정하였다. 각 표본점에서는 표본점의 중심점과 개체목간의 방위 및 거리를 측정하여 개체목별로 위치를 파악하였으며(그림 1), 각 개체목에 대해 흉고직경 및 수고를 측정하였다.

또한 직경의 연년생장을 파악하기 위해 성장추를 이용하여 각 plot마다 일부개체목의 흉고부위에서 목편을 채취하였고, 채취된 목편중 이용가능한 192개 목편의 연륜폭을 연륜측정기(Jahringmessgeräte JOHANTYP II)를 이용하여 수피쪽에서 안쪽을 향해 1/100 mm단위로 측정하여 흉고직경의 연년성장자료를 마련하였다.

### 2. 경쟁지수 추정방법

본 연구에서는 크기비율경쟁지수 및 생육공간경쟁지수중에서 개체목 및 임분의 경쟁상태를 비교적 잘 나타내준다고 알려진 Hegyi의 경쟁지수(Hegyi, 1974), Martin-Ek의 경쟁지수(Martin과 Ek, 1984), Alemdag의 경쟁지수(Alemdag, 1978), Lorimer의 경쟁지수(Lorimer, 1983), Daniels의 경쟁지수(Daniels, Burkhart, Clason, 1986), Spurr의 경쟁지수(Spurr, 1962) 등과 임분차원의 밀도 척도인 입목도, Reineke의 임분밀도지수, 상대

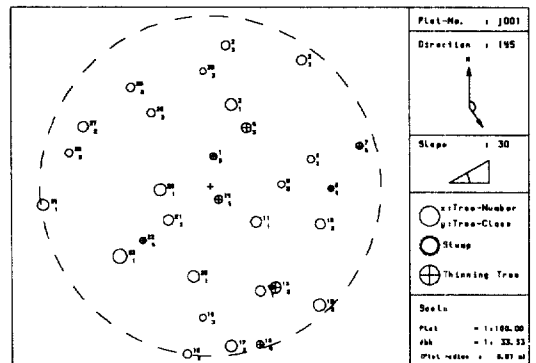


Fig. 1. A Map showing the horizontal position of individual trees measured in a sample plot.

**Table 1.** Investigated competition indices and their type, equation.

Source	Variable Name	Type* <sup>1</sup>	Equation* <sup>2</sup>
Hegyí (1974)	HgCI	TL DD SR-DW	$\sum_{j=1}^n \left( \frac{D_j/D_i}{Dist_{ij}} \right)$
Martin-Ek (1984)	MtCI	TL DD SR-DW	$\sum_{j=1}^n \left( \frac{D_j}{D_i} \cdot e^{\frac{16 \cdot Dist_{ij}}{D_i + D_j}} \right)$
Alemdag (1978)	AICI	TL DD GS-DW	$\sum_{j=1}^n \left[ \pi \left( \frac{Dist_{ij} \cdot D_i}{D_i + D_j} \right)^2 \cdot \frac{D_j}{Dist_{ij}} \cdot \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n \left( \frac{D_j}{Dist_{ij}} \right)} \right]$
Lorimer (1983)	LoCI	TL DD SR	$\sum_{j=1}^n \left( \frac{D_j}{D_i} \right)$
Daniels (1986)* <sup>3</sup>	DaCI	TL DD SR	$\frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{D_j^2}{n} \right)}{D_i^2}$
Spurr (1962)	SpCI	TL DD SR-DW	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{D_j}{Dist_{ij}} \right) \cdot \left( j - \frac{1}{2} \right) \right]$
Stocking	St	SL DI	$\frac{real\ basal\ area}{basal\ area\ on\ yield\ table}$
Reineke's SDI (1933)	R'SDI	SL DI	$N \cdot \left( \frac{25}{dbh} \right)^{-1.605}$
Relative Spacing Index	RSI	SL DI	$\frac{\sqrt{\frac{10000}{N}}}{ho} \cdot 100$

\*<sup>1</sup> TL : Tree level competition index

DD : Distance dependent competition index

SR : Size ratio competition index

DW : Distance weighted competition index

\*<sup>2</sup>  $D_i$  : dbh of subject tree  $i$  $Dist_{ij}$  : Distance of subject tree  $i$  to competitor  $j$  $N$  : Number of trees per ha $n$  : Number of competitors

SL : Stand level competition index

DI : Distance independent competition index

GS : Growing spacing competition index

 $D_j$  : dbh of competitor trees ( $j \neq i$ ) $ho$  : Dominant height $dbh$  : Diameter at breast height\*<sup>3</sup> Inversed index of Daniels's Basal Area Index(BAI),  $BAI = \frac{D_i^2}{\sum_{j=1}^n \left( \frac{D_j^2}{n} \right)}$ 

공간지수(박태석외, 1991; Kramer, 1988) 등을(표 1) 위치종속 산림조사자료로 부터 파악할 수 있는 FORTRAN 프로그램을 작성하였으며, 작성된 프로그램을 이용하여 각 plot 또는 개체목별 경쟁 및 밀도지수를 추정하였다. 이와같이 추정된 경쟁 및 밀도지수간의 상관정도를 상호비교하여 추정된 밀도 및 경쟁지수가 임분 또는 개체목의 경쟁상태를 얼마나 잘 나타내는가를 분석하였다.

### 3. 경쟁목 결정방법

거리종속경쟁지수에서 중요한 것은 경쟁지수를 파악하고자 하는 중심목과 경쟁관계에 있는 인접목, 즉 경쟁목을 선정하는 것이다. 경쟁목을 결

정하는 방법중 가장 간단한 방법은 일정면적내의 인접목을 경쟁목으로 간주하는 것이다(Daniels, 1976; Hegyi, 1974). 이방법은 간단하긴 하지만 임령이 증가함에 따라 개체목이 요구하는 생육공간은 증가한다는 사실을 간과하고 있다. 즉, 임령이 증가하면 각 개체목의 공간점유면적 및 개체목간 평균거리도 함께 증가하므로 동일면적의 경쟁구역을 설정할 경우 임령이 높을수록 경쟁목 수가 적어지는 문제가 발생한다. 경쟁목을 결정하는 또다른 방법은 일정한 수를 경쟁목으로 간주하는 것인데, 이 역시 간단한 방법이지만 개체목의 경쟁지수는 그 개체목과 경쟁관계에 있는 경쟁목의 수에 크게 좌우되므로 역시 적합한

방법으로는 볼 수 없다. 보다 현실적으로 접근된 방법으로는 경쟁목과의 거리 및 경쟁목의 수를 변수로 하는 경쟁목결정방법을 들 수 있다. 거리를 변수로 하는 방법중의 하나는 중심목 직경의 몇배에 해당하는 거리 이내의 인접목을 경쟁목으로 간주하는 것이 있고(Biging과 Dobbertin, 1992), 경쟁목의 수를 변수로 하는 방법중 가장 일반적인 방법으로는 일정한 각도를 정하고 중심목으로부터 주위의 인접목을 이 각도로 투시하였을 때 인접목의 직경이 이 각도의 범위내에 있으면 경쟁목으로 결정하는 각도법(angle gauge method)이 있다(Biging과 Dobbertin, 1992, 1995; Daniels, 1976; Daniels, Burkhart, Clason, 1986; Holmes 와 Reed, 1991). 이 두방법은 거리 및 수를 고정한 방법보다는 경쟁목을 보다 정확하게 선별할 수 있지만 경우에 따라서는 중심목을 기준으로 했을 때 이미 선별된 경쟁목 뒤에 있는 인접목이 경쟁목으로 선별될 수 있는 문제를 안고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본연구에서는 한 방향에서는 한나무만 경쟁관계에 있다는 사실(Biging과 Dobbertin, 1995)에 착안하여 경쟁차단구역(competition-interrupting zone)이라는 새로운 개념을 도입하였다(그림 2).

중심목으로부터 거리순으로 경쟁목을 결정하는 것을 원칙으로 하면서, 이미 결정된 경쟁목에 대해 경쟁차단구역을 설정하여 이 구역내에 있는 나무는 인접순서에 의해 경쟁목으로 결정되더라도 경쟁목에서 제외시키는 방법이다. 이 경쟁차단구역은 중심목으로부터 인접목을 향한 투시각도에 의해 결정된다. 즉, 그림 2의 각도 a는 완전경쟁차단각도로서 경쟁목뒤에 있는 이 각도 이내의 모든 나무는 이미 선정된 경쟁목(그림 2의 1번 나무)에 의해 중심목(그림 2의 0번 나무)과의 경쟁이 차단되었음을 나타낸다(그림 2의 5번 나무). 또한 각도 b는 불완전경쟁차단각도로서 이 각도 이내의 경쟁목 뒤쪽 구역을 경쟁차단구역으로 하면서(그림 2의 8번 나무), 이 구역에 속하지만 이미 선정된 경쟁목과의 거리차이가 일정범위 이내에 있는 나무는 중심목과 경쟁상태에 있다고 가정하는 것이다(그림 2의 4번, 6번 나무). 또한 경쟁차단구역 밖이라도 일정 경쟁거리 밖의 나무는 중심목과 경쟁관계에 있지 못하다고(그림 2의 9번 나무) 가정하여 비경쟁구역(non-competing zone)을 설정하였다. 본 연구에서는 경쟁각도 및

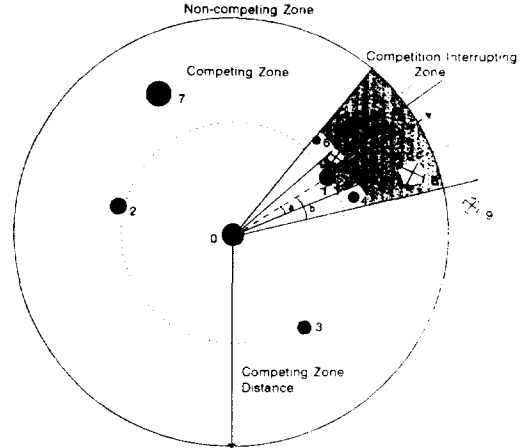


Fig. 2. Diagram for searching the competition trees of the subject tree 0 (a: Complete CIA, b: Incomplete CIA. Tree No. 1,2,3,4,6,7 are chosen as competitors to subject tree 0).

경쟁거리에 따라 경쟁목수가 어떻게 변하는가를 분석하여 경쟁차단각도(competition-interrupting angle) 및 경쟁구역거리(competiting zone distance)를 결정하였다.

#### 4. 흉고직경생장식유도

임분의 평균흉고직경과 임분경쟁 및 밀도지수와와의 관계를 분석하여 임분의 평균흉고직경과 가장 연관성이 높은 임분경쟁 또는 밀도지수를 선정하여 이를 이용한 임분의 평균흉고직경생장식을 유도하였다.

또한 각 개체목의 흉고직경은 기타 임분조건이 같다면 임분의 생산능력, 즉 지위에 기본적인 영향을 받으며 2차적으로는 개체목의 임내위치, 즉 개체목의 고유경쟁상태에 따라 결정된다는 가정하에(Davis와 Johnson, 1987) 각개체목의 흉고직경생장량을 임분의 지위, 개체목의 흉고직경 및 경쟁지수를 고려하여 추정하는 개체목 흉고직경생장식을 유도하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 경쟁거리 및 경쟁각도

그림 3은 한 표본점의 경쟁각도 및 경쟁거리에 따라 평균 경쟁목의 수 및 경쟁지수가 어떻게 결정되는가를 나타내고 있다. 그림 3-a는 완전경쟁

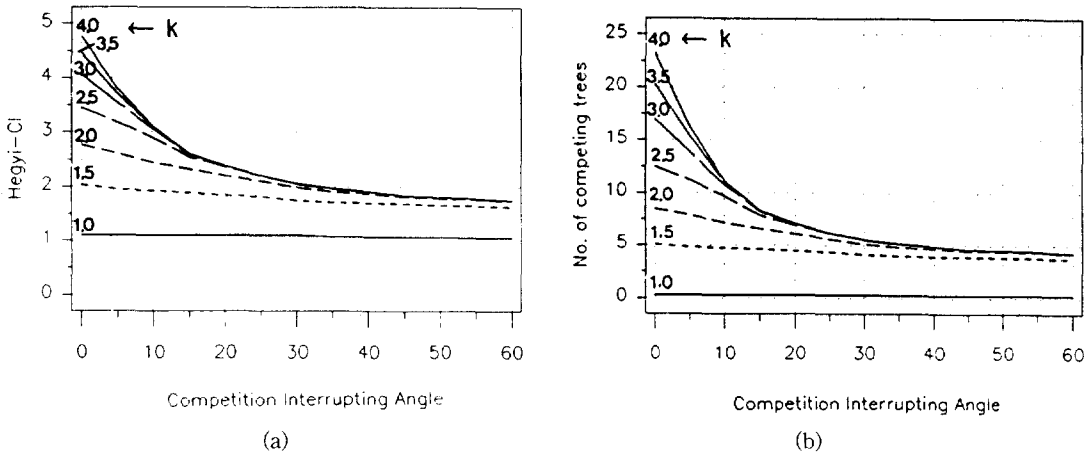


Fig. 3. Number of competing trees(a) and Hegyi's competition indices(b) by competition interrupting angle and competing zone distance.

차단각도(그림 2의 각도 a)를 0도로 고정된 상태에서 불완전경쟁차단각도(그림 2의 각도 b:  $b=0$  to 60, by 5)와 임목간 평균거리(aDist)에 k를 곱한( $k=1$  to 4, by 0.5) 경쟁구역거리(CZD= $aDist \cdot k$ )의 변화에 따라 선정된 경쟁목의 수를 나타낸다.

임목간 평균거리를 경쟁구역거리로 했을 때에는( $k=1$ ) 경쟁목이 거의 없는 것으로 나타나 임목간 평균거리는 경쟁구역거리로 부적당함을 알 수 있다. 경쟁구역거리를 임목간 평균거리의 1.5배로 했을 경우에는 경쟁차단각도에 따른 변화는 거의 없이 약 4-5본이 경쟁목으로 선정되어, 경쟁목수가 경쟁차단각도에 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

경쟁구역거리를 임목간 평균거리의 2배 이상으로 했을 경우에는 경쟁차단각도가 줄수록 경쟁차단각도를 조금만 감소시켜도 경쟁목의 수가 크게 증가하는데, 이는 경쟁차단각도를 좁게 하면 경쟁차단구역이 좁아져 이미 선택된 경쟁목 뒤에 있는 나무들이 경쟁목으로 선정되기 때문이다. 그림 2를 예로 들면 경쟁구역거리를 임목간 평균거리의 2.5배로 하고 경쟁차단각도를 0도로 했을 때는 12본이, 15도로 했을 경우에는 8본이 경쟁목으로 선정되었다. 이는 경쟁차단각도 15도일 때의 경쟁차단구역내에 4본이 존재한다는 것이며, 경쟁차단각도를 0도로 하여 경쟁차단구역을 설정하지 않으면 이 4본은 경쟁목으로 간주된다는 것을 나타낸다.

또한 같은 경쟁차단각도에서는 경쟁구역거리가

길수록 경쟁목으로 포함되는 나무가 증가된다. 경쟁차단각도를 10도로 하고 경쟁구역거리를 임목간 평균거리의 2.5배로 했을 때는 9본이, 3배로 했을 때는 11본이 경쟁목으로 결정되었는데, 이는 경쟁구역거리 2.5배와 3.0배 사이에 경쟁차단각도 10도의 경쟁차단구역내에 2본이 존재한다는 것이며, 이 경우 경쟁구역거리를 2.5배에서 3.0배로 증가시키면 이 2본이 경쟁목으로 추가 선정됨을 의미한다.

경쟁차단각도 20도 이상에서는 경쟁구역거리에 따르는 차이가 미미한데, 이는 경쟁목 뒤의 많은 나무가 이미 넓게 설정된 경쟁차단구역내에 포함되어 비경쟁목으로 간주되기 때문이다.

그림 3-b는 경쟁차단각도 및 경쟁구역거리에

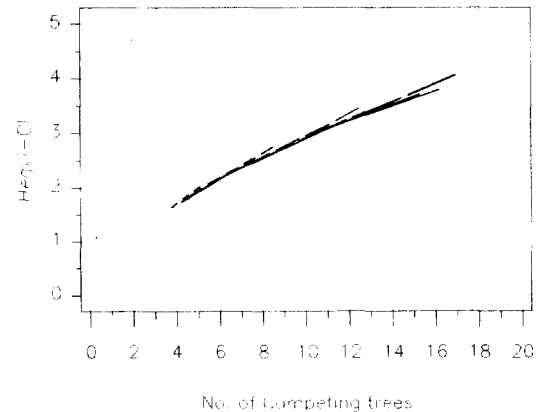


Fig. 4. Hegyi's competition indices by Number of Competing trees.

따른 Hegyi의 경쟁지수(Hegyi-CI)를 나타낸다. 그림을 보면 경쟁차단각도 및 경쟁구역거리에 따라 경쟁목 수가 변하는 것과 비슷한 형태로(그림 3-a) Hegyi의 경쟁지수도 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 Hegyi의 경쟁지수가 경쟁목의 수에 크게 영향을 받는다는 것을 나타내는 것이며, 그림 4를 보면 경쟁목수가 증가함에 따라 Hegyi의 경쟁지수가 선형형태로 함께 증가하는 것을 알 수 있다.

경쟁차단각도는 경쟁차단구역의 폭을 경쟁구역 거리는 경쟁차단구역의 길이를 결정한다. 폭을 좁게하고 길이를 길게 하면 경쟁목 뒤의 나무가 경쟁목으로 간주될 수 있고, 폭을 넓게 하고 길이를 짧게 하면 중심목으로부터의 거리가 경쟁목과 비슷하면서 경쟁목으로부터 횡적으로 떨어져 있는 나무가 경쟁목에서 제외되는 문제가 있다. 따라서 경쟁차단구역의 폭과 길이를 적정한 수준에서 결정하여야 하는데, 본연구에서는 흉고직경성장량과 Hegyi경쟁지수간의 상관관계를 분석하여 어느 경쟁차단각도 및 경쟁구역거리로부터 추

정된 경쟁지수가 흉고직경성장량에 가장 큰 영향을 미치는가를 분석하였다. 그림 5는 지위지수와 흉고직경의 영향을 배제시킨 상태에서 경쟁구역 거리 및 경쟁차단각도에 따른 Hegyi경쟁지수와 흉고직경성장량간의 상관분석결과를 나타낸다. 완전경쟁각도를 15도 불완전경쟁차단각도를 30도로 했을 때 추정된 경쟁지수가 흉고직경성장량과 가장 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 불완전경쟁차단각도가 증가될수록 흉고직경성장량에 대한 경쟁지수의 설명력은 급격히 감소하고 있다. 또한 경쟁구역거리를 임목간 평균거리의 2배로 했을 때 상관관계가 가장 높았으나 경쟁구역거리에 따르는 차이는 미미한 것으로 나타났다. 이는 경쟁구역거리를 길게 설정하더라도 이미 설정된 경쟁차단구역에 의해 경쟁목뒤의 나무가 경쟁목에서 제외되기 때문인 것으로 판단된다. Biging과 Dobbertin(1992)도 경쟁목선정에서 경쟁구역 거리가 개체목의 경쟁상태에 큰 영향을 미치지 못한다고 밝힌바 있다. 이러한 분석결과를 토대로 본연구에서는 완전차단각도를 15도, 불완전경쟁차단각도를 30도로 하고 경쟁구역거리는 임목간 평균거리의 2배로 하여 경쟁목을 선정하는 경쟁목선정방법을 선택하였다.

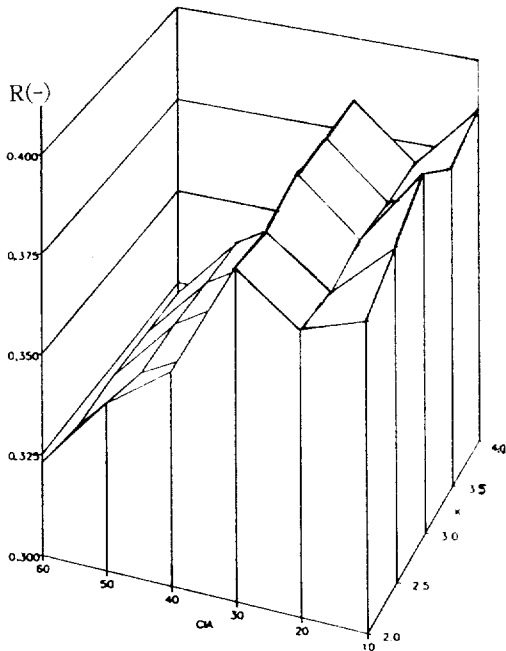


Fig. 5. Partial Correlation coefficient(R) between Hegyi's competition indices and annual dbh growth(fixed site index and dbh); CIA : Competition-Interrupting Angle, k : Index for Competing Zone Distance (CZD=k · (average distance of trees)).

## 2. 임분차원의 경쟁인자와 임분평균흉고직경

각 표본점에서 단목차원의 경쟁지수를 평균하여 임분차원의 경쟁지수로 전환한 다음, 이들과 기존의 임분밀도지수들을 상호 비교하였다. 각 표본점의 경쟁상태 및 밀도를 정확히 나타내는 기준값이 무엇인지를 모르는 상태에서 경쟁지수간의 상관정도를 상호비교함으로써 경쟁지수들이 임분의 경쟁상태 및 밀도를 얼마나 비슷하게 설명해 주는지를 간접적으로 알아보았다. 표 2는 임분경쟁지수 및 밀도지수간의 상관계수를 나타내고 있는데, 각 경쟁지수마다 다른 경쟁지수와의 상관계수가 0.5 이상이 되는 경쟁지수를 별표(\*)로 표시하고 그 수를 표의 밑에 제시하였다.

표 2를 보면 단목경쟁지수로부터 추정된 임분경쟁지수간에는 상관정도가 비교적 높으며, Spurr의 경쟁지수만 기타 다른 경쟁지수와의 상관관계가 낮음을 알 수 있다. Holmes와 Reed(1991)도 Spurr의 경쟁지수가 다른 경쟁지수에 비해 설명력이 낮음을 밝힌 바 있다. Spurr의 경쟁지수 이외에 단목경쟁지수로부터 추정된 임분경쟁지수

**Table 2.** Correlation coefficients(R) among the stand competition indices(DD-CI) or stand density indices (DI-CI).

	HgCI	MtCI	AICI	LoCI	DaCI	SpCI	Stocking	R'SDI	RSI	
DD-CI	HgCI	1.00000	0.72122*	-0.70825*	0.88301*	0.82019*	-0.01321	0.74233*	0.39381	-0.42649
		0.0	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.8957	0.0001	0.0001	0.0001
	MtCI	0.72122*	1.00000	-0.41733	0.71519*	0.64464*	-0.46066	0.33004	-0.20403	0.04609
		0.0001	0.0	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0008	0.0407	0.6472
	AICI	-0.70825*	-0.41773	1.00000	-0.68041*	-0.54301*	-0.12795	-0.64996*	-0.50197*	0.69704*
		0.0001	0.0001	0.0	0.0001	0.0001	0.2023	0.0001	0.0001	0.0001
	LoCI	0.88301*	0.71519*	-0.68041*	1.00000	0.89609*	-0.08148	0.66429*	0.39101	-0.41888
		0.0001	0.0001	0.0001	0.0	0.0001	0.4179	0.0001	0.0001	0.0001
	DaCI	0.82019*	0.64464*	-0.54301*	0.89609*	1.00000	0.09521	0.55035*	0.39204	-0.36407
		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0	0.3436	0.0001	0.0001	0.0002
SpCI	-0.01321	-0.46066	-0.12795	-0.08148	0.09521	1.00000	0.08782	0.66808*	-0.42724	
	0.8957	0.0001	0.2023	0.4179	0.3436	0.0	0.3825	0.0001	0.0001	
DI-CI	Stocking	0.74233*	0.33004	-0.64996*	0.66429*	0.55035*	0.08782	1.00000	0.63176*	-0.45224
		0.0001	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.3825	0.0	0.0001	0.0001
	R'SDI	0.39381	-0.20403	-0.50197*	0.39101	0.39204	0.66808*	0.63176*	1.00000	-0.69956*
		0.0001	0.0407	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0	0.0001
	RSI	-0.42649	0.04609	0.69704*	-0.41888	-0.36407	-0.42724	-0.45224	-0.69956*	1.00000
	0.0001	0.6472	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0	
No. of CI (R>0.5)	DD	4/5	3/5	3/5	4/5	4/5	0/5	4/6	2/6	1/6
	DI	1/3	0/3	3/3	1/3	1/3	1/3	1/2	2/2	1/2
	SUM	5/8	3/8	6/8	5/8	5/8	1/8	5/8	4/8	2/8

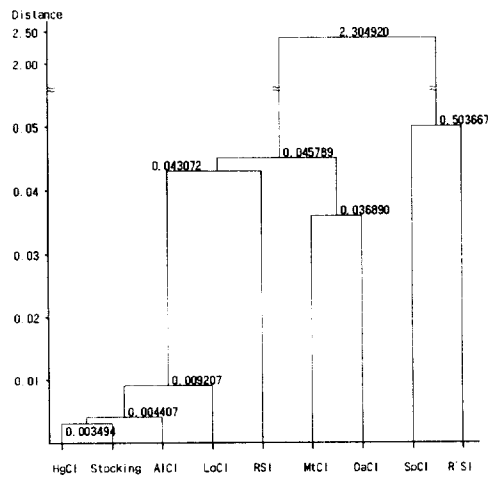
간에는 상관관계가 매우 높아 이들은 임분의 경쟁상태를 비슷하게 설명해 준다고 볼 수 있다. 또한 기존의 임분밀도지수 Reineke의 임분밀도지수는 입목도 및 상대공간지수와의 상관정도가 비교적 높았으나 입목도와 상대공간지수간에는 상관정도가 낮은 것으로 나타났다.

단목경쟁지수로부터 추정된 임분경쟁지수와 기존의 임분밀도인자간을 비교하면 Alemdag지수만 기존의 밀도지수와 상관관계가 높을 뿐 다른 경쟁지수는 기존의 밀도인자와 상관정도가 매우 낮았다. 기존의 임분밀도지수를 기준으로 보면 입목도만 단목경쟁지수로부터 추정된 임분밀도지수와의 상관정도 비교적 높게 나타났다. 이는 단목경쟁지수에 근거한 임분밀도지수와 기존의 임분밀도인자는 임분의 경쟁상태 및 밀도를 서로 상이하게 설명해 주고 있음을 시사하는 것이다.

전체적으로는 Hegy이지수, Alemdag지수, Lorimer 지수, Daniels지수 및 입목도가 임분의 경쟁상태 및 밀도를 비슷하게 설명해 주는 것으로 나타났다.

그림 6은 경쟁지수간의 군집분석(cluster analysis)의 결과를 나무구조(dendrogram)로 나타낸 것인데, 전체적으로 위의 상관분석과 비슷한 구분형태를 보이고 있다. 우선 Spurr의 경쟁지수와

Reineke의 임분밀도지수는 다른 경쟁 및 밀도지수와 뚜렷이 구분되고 있음을 알 수 있다. 또한 Hegyi, Alemdag 및 Lorimer 경쟁지수가 매우 밀접한 연관성을 나타내고 있으며, Martin-Ek 경쟁지수와 Daniels경쟁지수간에도 유사성이 매우 높게 나타났다.



**Fig. 6.** Cluster tree diagram of competition indices by simple linkage method.



이들을 종합해 볼 때 단목경쟁지수를 근거로 한 임분경쟁지수들은 Spurr경쟁지수를 제외하고는 임분의 경쟁상태를 비슷하게 나타내고 있어 크기비율경쟁지수가 수관까지 고려한 복잡한 경쟁지수만큼 임분의 경쟁상태를 잘 설명해 준다는 기존의 이론(Daniels, 1984; Holmes와 Reed, 1991; Tomé와 Burkhart, 1989)을 뒷받침하고 있다. 그러나 기존의 임분밀도지수와는 통일된 연관성을 밝힐 수 없었고 다만 입목도와는 매우 높은 연관성을, Reineke의 임분밀도지수와는 매우 낮은 연관성을 나타내고 있다는 것만 파악할 수 있었다.

표 3은 임령과 지위지수의 영향을 배제시킨 상태에서의 임분평균흉고직경과 임분단위의 각종 경쟁 및 밀도지수와와의 편상관계수를 나타낸다. Alemdag의 경쟁지수 및 상대공간지수가 가장 높은 연관성을 보여 임령과 지위지수가 같다면 흉고직경과 가장 밀접한 관계에 있는 것으로 나타났다. Hegyi 경쟁지수, Lorimer 경쟁지수, Reineke의 임분밀도지수가 약 0.5 정도의 상관관계를, 그리고 Daniels 및 Spurr의 경쟁지수가 약 0.4 정도의 상관관계를 보여 흉고직경과의 연관성이 비교적 낮은 것으로 나타났다. Martin-Ek 경쟁지수 및 입목도는 흉고직경과의 상관계수가 매우 낮아 흉고직경의 성장과 큰 연관성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 경쟁인자 중 임분의 흉고직경과 가장 관계가 깊은 경쟁인자를 구명하기 위해 stepwise option을 이용한 다중회귀분석을 실시한 결과 대부분의 경쟁지수들이 식에 포함되어, 표 3 식의 식처럼 임령, 지위지수 및 경쟁지수를 독립변수로 하는 회귀식의 경쟁지수에 각각의 경쟁 및 밀도지수를 적용한 다중회귀분석의 결정계수(R-sq.)를 서로 비교하였다. 그 결과 상관계수와 마찬가지로 Alemdag 경쟁지수 및 상대공간지수(RSI)를 적용했을 때 식의 적합도가 가장 높게 나타났다. 따라서 임분의 평균흉고직경을 추정하는 데는 Alemdag 경쟁지수와 상

대공간지수가 밀도를 고려하는 인자로 가장 적합하며, 그중에서도 개체목의 위치를 파악하지 않고도 임분의 우세목수고와 ha당 본수로부터 쉽게 파악할 수 있는(표 1 참고) 상대공간지수가 가장 적합하다고 판단된다.

그런데 표 3 식의 경쟁지수에 상대공간지수를 적용할 경우 상대공간지수는 우세목수고 및 ha당 본수로부터, 그리고 지위지수는 임령 및 우세목수고로부터 계산됨으로 결국 우세목수고가 중복되어 식에 포함되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 상대공간지수의 계산 인자 중 우세목수고를 제외한 ha당 본수(N)만을 설명변수로 사용할 수 있으며, 이 경우 임분의 평균흉고직경(dbh)을 다음과 같이 임령(age), 지위지수(SI) 및 ha당 본수(N)의 함수로 나타낼 수 있다(Lee, 1993).

$$dbh = 65.28055556 \cdot SI^{0.53592837} \cdot e^{-3.25677104 \cdot N^{0.0940001} \cdot age^{0.2963571}} \quad (R^2 = 0.96)$$

Lee(1993)에 의하면 위식은 일반 성장법칙에도 부합되며 통계적인 신뢰도도 높은 것으로 인정되었다.

### 3. 단목차원의 경쟁인자와 흉고직경성장

상기의 개체목별 경쟁지수중 어느 지수가 단목의 흉고직경에 가장 크게 영향을 미치는가를 알아보기 위해 최근 5년간의 흉고직경 정기평균성장량과 경쟁지수와의 상관분석을 실시하였다. 임분의 단목생장은 그 임분의 지위와 개체목의 직경 및 경쟁상태에 의해 영향을 받는다는 가정하에 지위지수와 개체목의 흉고직경을 Partial로 설정하여 이들의 영향을 배제시킨 상태에서 흉고직경성장량과 경쟁지수간의 편상관계수를 추정하였다(표 4). 지위 및 흉고직경이 같다면 단목의 흉고직경생장은 Martin-Ek 지수와 Alemdag지수를 제외한 경쟁지수와 약 0.35 정도의 상관성을 보였으며 이중 Hegyi의 경쟁지수가 흉고직경생

**Table 3.** Partial Correlation coefficients(Partial=age, SI) between mean DBH and stand competition (density) indices, and R-square of regression analysis with the function

$$dbh = \alpha + \beta_0 \cdot age + \beta_1 \cdot SI + \beta_2 \cdot CI$$

	HgCI	MtCI	AlCI	LoCI	DaCI	SpCI	Stocking	R'SDI	RSI
mean	-0.50338	-0.18338	0.78430	-0.50460	-0.43267	-0.39760	-0.19503	-0.46099	0.78609
DBH	0.0001	0.0692	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0531	0.0001	0.0001
R-sq.	0.88	0.85	0.94	0.88	0.87	0.87	0.85	0.88	0.94

장량과 가장 높은 상관관계를 보이고 있다. 이는 Hegyi식의 높은 설명력을 밝힌 기존의 연구(Daniels, 1976; Holmes와 Reed, 1991)와 맥을 같이 하고 있는 것이다.

전체적으로 상관계수가 낮은 것은 개체목의 흉고직경생장이 지위 및 흉고직경 이외의 성장요인에도 영향을 받기 때문이라고 사료된다. Tomé와 Burkhart(1989)는 개체목의 생장은 임령, 크기, 경쟁뿐만 아니라 임분의 미기후 및 환경에 크게 영향을 받는다는 것을 밝히고 있다. 본연구에서는 이와같은 성장요인은 배제시킨 상태에서 분석을 진행하였다.

개체목의 흉고직경과 경쟁지수간의 영향관계를 구명하기 위해 개체목의 흉고직경생장량( $dbh'$ )을 종속변수로 하고 지위를 결정하는 임령( $age$ )과 우세목수고( $ho$ ), 개체목 흉고직경( $dbh$ ), 개체목의 경쟁지수들을 종속변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시한 결과 임령, 우세목수고, 개체목 흉고직경은 높은 유의성을 가지고 흉고직경생장량에 영향을 미치지만 경쟁지수들은 추정계수의 유의수준이 매우 낮아 흉고직경에 미치는 영향이 매우 낮은 것으로 나타났다. 따라서 흉고직경생장에 대한 경쟁지수의 영향을 보다 명확히 밝히기 위해 stepwise option을 추가하여 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과 경쟁지수중 Hegyi의 경쟁지수( $HgCI$ )가 개체목의 흉고직경생장에 가

장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 다음과 같은 다중회귀식이 추정되었다.

$$\begin{aligned}
 dbh' &= 0.46627859 - 0.00409402 \cdot age \\
 &\quad (0.0001) \quad (0.0001) \\
 &- 0.00743294 \cdot ho + 0.00550554 \cdot dbh \\
 &\quad (0.0088) \quad (0.0006) \\
 &- 0.02771380 \cdot HgCI \quad (R^2 = 0.35) \\
 &\quad (0.0013)
 \end{aligned}$$

그러나 우세목수고에 대한 추정계수의 부호가 -로 나타나 같은 임령에서 우세목수고가 높으면 지위지수가 높고 이에 따라 흉고직경생장량도 높다는 일반적인 성장법칙에 위배되어 위의 다중회귀식은 흉고직경생장식으로는 적절치 못하였다. 따라서 상기의 변수로 구성된 여러 가지 비선형 회귀식을 SAS의 NLIN Procedure(SAS, 1988)를 이용해 분석하여 최종적으로 표 5와 같은 흉고직경 성장식을 유도하였다.

표 5에서 각 독립변수에 대한 추정계수의 부호를 살펴보면 상기의 흉고직경생장 추정식이 일반적인 성장법칙에 부합됨을 알 수 있다. 우선 우세목수고에 대한 계수의 부호가 +로 추정되어 같은 임령에서 우세목수고가 높으면 지위도 높고 이에 따라 흉고직경생장량도 높다는 일반생장법칙에 부합된다. 또한 흉고직경의 추정계수의 부

**Table 4.** Partial correlation coefficients(Partial= SI, dbh) between Periodic Annual Increment(PAI) of dbh and competition indices of individual trees

	HgCI	MtCI	AICI	LoCI	DaCI	SpCI	Stocking	R'SDI	RSI
PAI of dbh	-0.38128	-0.16458	0.24345	-0.34037	-0.33245	-0.35994	0.12065	-0.26448	0.34249
	0.0001	0.0233	0.0007	0.0001	0.0001	0.0001	0.0973	0.0002	0.0001

**Table 5.** Growth function of DBH and it's parameter estimate using nonlinear regression analysis (PROC NLIN).

Function	$dbh' = \alpha \cdot age^{\beta_0} \cdot ho^{\beta_1} \cdot dbh^{\beta_2} \cdot HgCI^{\beta_3}$ ( $\sqrt{MSE} = 0.0827, R^2 = 0.39$ )			
Variables	Parameter Estimate	Asymptotic Std. Error	T for HO: Parameter=0	Probe >  T
$\alpha$	3.975362676	1.2358657982	3.2167	0.0015
$\beta_0$	-1.099274613	0.1147998534	-9.5756	0.0001
$\beta_1$	0.199893990	0.0753481694	2.6529	0.0087
$\beta_2$	0.269430865	0.0820560376	3.2835	0.0012
$\beta_3$	-0.353643587	0.0674404580	-5.2438	0.0001

$ho$  : Dominant height of stand(m),  $dbh$  : Diameter at breast height of individual tree(cm),  
 $HgCI$  : Hegyi's competition index of individual tree,  
 $age$  : Stand age(year),  $dbh'$  : Annual Growth of  $dbh$ (cm).

호가 +인 것은 임령 및 지위가 같은 상태에서 흉고직경이 큰 개체는 다른 개체에 비해 생장력이 왕성함을 나타내고 있다. 이상의 흉고직경의 생장을 촉진하는 요인과는 반대로 경쟁지수 및 임령은 추정계수의 부호가 -로 추정되어 흉고직경생장량에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타나, 위의 식은 다른 조건이 같다면 경쟁이 강할수록 그리고 임령이 증가할수록 흉고직경의 생장은 둔화되는 일반 생장원리(Kramer, 1988)와 부합됨을 알 수 있다.

각 독립변수에 대한 추정계수의 신뢰도는 매우 높아 위식의 각 독립변수들은 흉고직경의 생장에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 식의 적합도를 나타내는 결정계수( $R^2$ )는 0.39로 매우 낮는데, 이는 이미 언급한 바와 같이 지위, 흉고직경, 경쟁지수 이외의 생장요인은 분석에서 배제시킨것에 그원인을 돌릴 수 있겠다. 위식의 독립변수중 임령(age) 및 우세목수고(ho)는 지위지수(SI)를 결정하는 요인이므로 위식은 결국 단독의 흉고직경생장은 그 임분의 지위, 개체목의 직경 및 경쟁지수에 영향을 받는다는 것을 나타내고 있다. 따라서 위의 식은 흉고직경생장추정에 있어 지위 및 개체목의 경쟁상태만 고려했을 뿐 임분의 기타 생장영향요인은 고려하지 않고 있다. 결국 위의 식으로 설명되지 못한 생장량은 지위 및 경쟁 이외의 기타 임분생장조건에 영향을 받는 것으로 사료되며(Tomé와 Burkhart, 1989), 위의 흉고직경생장식은 이러한 기타 임분 조건이 같다는 가정하에서 적용될 수 있다.

그림 7은 지위지수가 중(임령 50년을 기준연령으로 한 지위지수: 20, Lee, 1993)인 임분에서 수령 10년, 흉고직경 6cm인 개체목의 흉고직경(a) 및 흉고직경생장량(b)이 경쟁상태에 따라 어떻게 발달하는가를 임령별로 나타내고 있다. 본연구에서 Hegyi의 경쟁지수는 최소 0.4, 최대 6.0, 평균 2.0으로 추정되었으며, 이에 따라 경쟁지수를 1에서 6까지 설정하여 흉고직경생장을 추정하였다. 그림을 보면 경쟁지수가 높을수록 직경생장이 둔화됨을 알 수 있다. 그림의 점선은 경쟁지수가 최초 1에서 점차 증가했을 때의 생장량을 나타낸다. 이를 보면 Hegyi의 경쟁지수를 계속 1로 유지시켜 줄 경우 흉고직경은 임령 50년일 때 40cm까지 성장하지만, 관리부족으로 경쟁지수가 점차 증가하여 임령 50년일 때 2.3까지 된다면 흉고직경은 30cm까지 밖에 성장하지 못함을 알 수 있다.

#### 4. 본연구의 활용, 한계 및 추가연구를 위한 제안

본 연구에서는 경쟁목을 횡적인 경쟁차단각도 및 사면거리(斜面距離)에 의한 경쟁구역거리에 의해서만 선정하였다. 이는 본 연구가 소나무의 동령·단순림을 대상으로 하고 있어 임분의 수고분포, 즉 종적구조가 비교적 동질적이라는 가정하에 적용된 방법이다. 그러나 이령·혼효림 같이 임분의 종적구조가 다양한 복층림에서는 횡적경쟁차단각도 이외에도 수고 및 수관 등의 종적인자도 경쟁에 크게 영향을 미치므로(Biging과 Dobbertin,

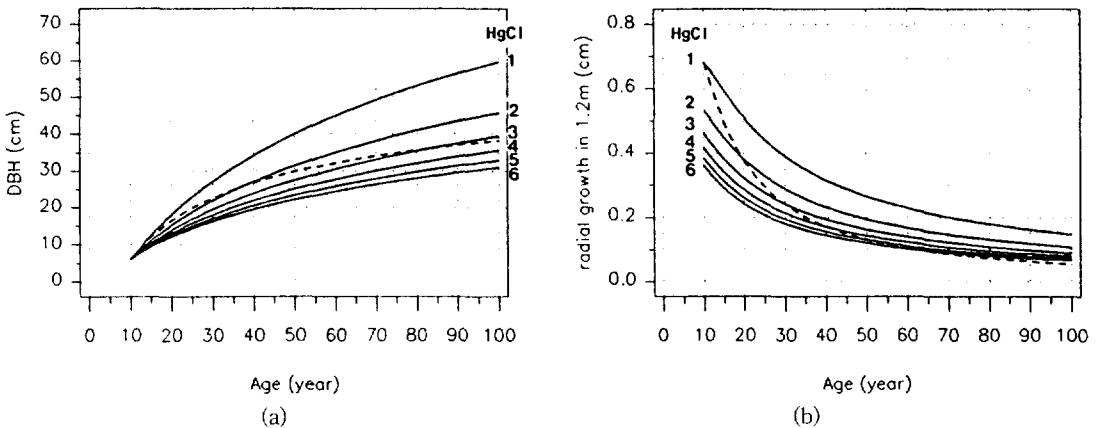


Fig. 7. Development of dbh (a) and annual growth of dbh (b) by Hegyi's competition index(HgCI) and age according to dbh-growth function of table 5 (SI is fixed as 20 in Lee's growth model of *Pinus densiflora*, Lee 1993).

1995), 이러한 임분에서는 횡적경쟁차단각도와 함께 수고, 수관 등의 종적인자도 고려한 경쟁목 선정방법이 연구되어야 할 것이다. 이때 인접목의 거리 및 수고는 중심목으로부터의 경사 및 방향에 따라 보정되어야 한다.

본 연구에서 유도된 흉고직경생장식은 흉고직경을 임분의 지위 및 개체목의 경쟁상태에 따라 개체목별로 추정할 수 있어 단목성장모델의 중요한 구성요소로 활용될 수 있다. 그러나 이 흉고직경생장식에는 지위지수, 흉고직경 및 경쟁지수만 영향인자로 포함되었을 뿐 이외에도 개체목의 생장에 영향을 미칠 수 있는 기타 임분성장조건은 포함되어 있지 않다. 따라서 이 흉고직경생장식은 임분조건이 다양한 광범위한 지역보다는 임분조건이 비슷하면서 지위 및 경쟁상태에 차이가 있는 작은 지역 및 구역단위에서의 흉고직경생장식으로 적합하다고 판단된다. 또한 지위 및 경쟁이외에도 기기후 및 환경, 지형인자까지도 고려하여 개체목의 흉고직경이 추정될 수 있는 추정식 및 모델이 장기간의 연구 및 검증을 통하여 개발되어야 할 것이다.

본 연구에 적용된 위치종속조사기법 및 분석방법을 이용하면 임분의 생장을 개체목 차원에서 다양하게 분석할 수 있어 이령 및 혼효림의 생장을 보다 정확히 파악할 수 있다. 이러한 위치종속조사방법은 단목성장모델(single tree growth model)의 기초를 이루고 있으며, 이와같은 모델의 현장적용을 위해서는 지금까지의 임분차원의 조사가 아닌 개체목차원의 조사, 즉 위치종속조사가 이루어 져야 한다. 그러나 이에 많은 시간과 어려움이 뒤따르므로 이와같은 위치종속산림조사를 어떻게 효율적으로 할 수 있는가에 대한 연구도 아울러 수행되어야 할 것이다.

## 결 론

본 연구에서는 개체목의 위치를 파악한 위치종속(position-dependent)임분조사자료로부터 개체목별 거리종속경쟁지수(distance-dependent competition index)를 추정하고 이들을 상호비교하여 임분 및 단목차원의 경쟁상태에 대한 설명력을 검토하였으며, 개체목의 흉고직경생장량과의 회귀분석을 통해 흉고직경생장식을 유도하였다.

위치종속 경쟁지수추정시 경쟁차단각도에 의해

경쟁차단구역, 경쟁구역거리에 의해 비경쟁구역을 설정하면 이 구역의 나무가 경쟁목에서 제외되어 중심목과 실제적 경쟁관계에 있는 경쟁목을 선정할 수 있다. 흉고직경생장과 상관계수를 분석한 결과 경쟁차단각도를 30도로 했을 때의 경쟁지수가 흉고직경생장과 가장 높은 상관성을 나타냈으며, 경쟁구역거리는 흉고직경생장에 대한 경쟁지수의 설명력에 미미한 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

거리종속경쟁지수를 근거로 한 임분경쟁지수 중 Spurr경쟁지수를 제외한 Hegyi, Martin-Ek, Alemdag, Lorimer, Daniels 등의 경쟁지수는 임분의 경쟁상태를 비슷하게 나타내고 있었으며, 임분밀도차원의 밀도지수중에서는 Reineke의 임분밀도지수가 입목도 및 상대공간지수와 비교적 높은 상관성을 보인 반면 입목도와 상대공간지수 간에는 상관정도가 낮은 것으로 나타났다. 흉고직경과의 관계에서는 Alemdag의 평균경쟁지수 및 상대공간지수가 연관성이 가장 높았으며, 이 중에서도 개체목의 위치를 파악하지 않고도 비교적 손쉽게 파악될 수 있는 상대공간지수가 흉고직경을 추정하기 위한 밀도지수로서 가장 적합한 것으로 판단되었다.

지위 및 흉고직경의 영향을 배제시켰을 때, Martin-Ek경쟁지수와 Alemdag경쟁지수를 제외한 거리종속의 단목경쟁지수들은 흉고직경생장과 약 0.35정도의 상관관계를 나타냈으며, 이 중 Hegyi의 경쟁지수가 흉고직경생장과 가장 밀접한 영향관계에 있는 것으로 밝혀졌다. 이로부터 Hegyi 경쟁지수 및 임령, 우세목수고, 개체목의 흉고직경을 설명변수로 하는 다음과 같은 흉고직경생장식을 유도하였다.

$$dbh' = 3.975362676 \cdot age^{-1.069274613} \cdot ho^{0.199893990} \cdot dbh^{0.269430865} \cdot HgCI^{-0.353643587}$$

위의 식은 다른 조건이 같다면 지위지수는 흉고직경생장에 유리한 영향을 미치는 반면 임령 및 경쟁지수의 증가에 의해서는 흉고직경생장이 둔화된다는 일반성장법칙을 잘 나타내고 있어 흉고직경생장식으로 적합하다고 판단되었다. 이와 같이 경쟁지수를 인자로 하여 유도된 개체목차원의 직경생장식은 단목성장모델의 중요한 구성요소로서 이용될 수 있으며, 임분의 평균흉고직경

과 평균경쟁지수를 이용하면 임분차원의 직경생장식으로도 활용될 수 있어 임분성장모델에도 적용이 가능하리라 본다.

인 용 문 헌

1. 박태식외 10인. 1991. 신고임업경영학. 향문사. 426pp.
2. Alemdag, I.S. 1978. Evaluation of some competition indexes for the prediction of diameter increment in planted white spruce. For. Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-108, 39p
3. Bella, I.E. 1971. A New Competition Model for Individual Trees. Forest Science 17(3): 364-372.
4. Biging, G.S. and M. Dobbertin. 1992. A comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. Forest Science 38(3): 695-720.
5. Biging, G.S. and M. Dobbertin. 1995. Evaluation of competition indices in Individual Tree Growth Models. Forest Science 41(2): 360-337.
6. Daniels. R.F. 1976. Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth. Forest Science 22(4): 454-456.
7. Daniels. R.F., H.E. Burkhart and T.R. Clason. 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. Can. J. For. Res. 16: 1230-1237.
8. Davis, L.S. and K.N. Johnson. 1987. Forest management. McGraw-Hill, Inc. 790pp.
9. Hegyi, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. 74-76p in Growth models for tree and stand simulation, Fries, J.(ed.). Royal Coll. of For., Stockholm, Sweden
10. Holmes, M.J. and D.D. Reed. 1991. Competition Indices for Mixed Species Northern Hardwoods. Forest Science 37(5): 1338-1349.
11. Kramer, H. 1988. Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey. 374pp
12. Lee, W.K. 1993: Wachstums- Ertragmodelle für *Pinus densiflora* in der Kangwon-Provinz, Korea. Dissertation, Göttingen
13. Lorimer, C.G. 1983. Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands, For. Ecol. Manage. 6:343-360.
14. Martin, G.L. and A.R. Ek. 1984. A Comparison of Competition Measures and Growth Models for Predicting Plantation Red Pine Diameter and Height Growth. Forest Science 30(3): 731-743.
15. Pukkala, T. and T. Kolström. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. Silva Fennica 21(1): 55-67.
16. SAS Institute, INC. 1988. SAS/STAT User' Guide Release 6.03.
17. Spurr, S.H. 1962. A measure point density. For. Sci. 8: 85-96.
18. Tomé, M. and H.E. Burkhart. 1989. Distance-Dependent Competition Measures for Predicting Growth of Individual Trees. Forest Science 35(3): 816-831.