Korean J. Environ. Biol. 29 (4) : 345~352 (2011)

구조다양성 표현인자 연구를 통한 내설악 전나무 고목림 (자연림) 구조 조사

윤 영 일*

공주대학교 산림자원학과

A Study on the Stand Structure of Korean Fir Natural Forest in Naesorak through the Investigation of Stand Structure Diversity Features

Youngil Youn*

Department of Forestry, Kongju National University, Yesan 340-802, Korea

Abstract − We investigated 12 plots using Herles' diversity of structure feature calculation method, which is based on the Shannon-Weaver-Index for estimation of species diversity. This study sought to facilitate a more systematic understanding of the structure of the forest stands in the Korean fir natural forest in Naeseorak. Although the change in the forest structure is dependent on the change in phase, factors of the natural forest were confirmed by associating individual structure features. As shown in the results of diversity of structure features, the diversity of the structure of the fir tree natural forest in Naeseorak was relatively low. The association between species diversity and overall factors (diversity) related with the change in the structure was found to be weak. The association between the number of trees and the diversity of forest structure stands was moderate, showing that the higher the number of trees, the less diverse the forest structure is. In most of the investigated plots, stem volume and volume of dead tree were associated with the height of natural regeneration, but these were not associated with other factors. Height of natural regeneration was found to be correlated to stand density, crown area and crown class, whereas tree height and BHD did not have any association with other factors. Overall, the results of the investigation are helpful in understanding the change in the structure of Korean fir natural forest. Further investigation with more plots is required.

Key words : stand structure, Korean fir old-growth, Shannon-Weaver-Index

서 론

인간영향을 무시해도 좋은 자연림의 임분구조는 원천적으로 임상변화 과정 (Phase)에 종속되어 변하는데 (Leibundgut 1982, 1984; Mayer 1984; Rörig *et al*. 2006; 윤 2007), 이런 Phase는 수백 년에 걸쳐 나타나는 현상이며 Patchdynamics (임분동태론)에 따라 더욱 복잡성을 띠게 된다 (Picket and White 1985; Jax 1994; Remmert 1998; Mori *et al.* 2007; 윤 2007, 2009; Dobrowolska *et al.* 2008). 이런 현상은 2000년부터 2010년까지 지속된 내설악 전나무 자연림의 구조조사 (윤 2002; 장과 윤 2003; 전과

* Corresponding author: Youngil Youn, Tel. 041-330-1303, Fax. 041-330-1308, E-mail. ylyoun@kongju.ac.kr

윤 2004; 정과 윤 2005; 윤 2007, 2009)에서 획득한 자료에서도 잘 나타나 자연림 구조변화를 이해하는 것이 매우 어려운 작업임을 보여준다.

이처럼 난해한 임분구조 변화에서 비록 일부지만 객관적 판단이 가능한 것은 현존하는 임분의 외형적 구조이며 이는 임분을 구성하는 개체의 수고, 개체수, 흉고직경 혹은 중간직경(고사목), 수관부 상황, 고사목존재, 층상구조, 수종, 갱신상황 등으로 표현된다(정과 윤 2005; 윤 2007). 이들 인자에는 수직으로 구조에 영향을 미치는 인자(예: 수고)와 수평으로 영향을 미치는 인자(예: 수관)가 있는데 대부분 인자는 수직과 수평구조 모두에 영향을 미친다. 결론적으로 자연림의 구조는 위에서 거론한 모든 인자의 다양성에 따라 결정되는 것이다.

이와는 달리 인공림에서 일상적으로 한 임분을 가장 쉽게 표현하는 인자는 수목개체수, 입목축적(자연림인 경우 입목, 고사목), 종다양성이며 임학에서도 항상 위의 세 인자파악을 산림조사의 근본으로 하며 관리를 통한 세 인자의 조정에 따라 임분구조가 결정된다(Burschel and Huss 1997; Rörig *et al.* 2006). 자연림(윤 2002)에서도 위의 세 주요인자는 구조결정에 근본적 요인인데, 인공림과 차이점은 그 외 여러 인자가 다양한 형태로 전체 임분 구조결정에 영향을 미친다는 점이다.

물론, 자연림의 구조 변화는 초장기적인 시간과 다양한 외부조건에 종속되어있어 현존하는 외형적 구조이해에 그치겠지만, 임분구조를 표현하는 대표적 세 인자와 기타 인자의 다양성이 보이는 연관관계를 파악하면 자연림의 구조적 특성을 이해하는 데 도움이 될 것으로 보인다(Herles 2000a, b).

이를 위하여 이번 조사는 우선 임분에서 구조표현인자의 다양성을 추정하는 작업과 이 다양성이 주요 세 인자와 또 개개인자 서로서로와 나타내는 연관관계 파악을 통하여 내설악 자연림 구조 이해에 기여하고자 수행되었다.

연 구 방 법

자연림에서 구조적 특징을 나타내는 여러 인자가 보이는 다양성에 관한 연구는 국내에서는 수행된 적이 없으며 해외 참고문헌을 조사하였으나 Herles(2000a, b) 이외에는 별다른 문헌을 찾을 수 없었다. Herles(2000a, b)가 조사대상으로 삼은 독일 Jasmund National Park 자연림보존지구의 구주너도밤나무(*Fagus sylvatica*) 숲은 인공림에서 긴 세월이 지난 상태의 산림으로 자연림상태를 유지하는 설악산 전나무림과는 다른 성격을 가지지만, Herles의 조사방법 자체는 임분구조 특성을 표현하는 인자를 세분하고 다양성 값을 계산한 것으로 큰 무리없이 사용 가능한 것으로 판단되었다. 어차피 수고 및 흉고직경, 중간직경 등 다양한 인자 조사 자체는 기존 조사방식과 동일하고 인자가 나타내는 다양성값 추정에만 Herles의 방법을 응용하였기 때문이다.

Herles(2000a)가 사용한 표현인자 다양성값 추정방식의 특징은 일반 식생조사에서 종다양성을 측정하는 Shannon-Weaver-Index를 응용한 것인데, 종다양성 조사에 필요한 수종을 각 인자의 급(Class)으로 대신하고 점유율은 다양한 인자의 양이나 수(예: 입목수)로 대체하여 측정하였다.

$$H_n = -\sum_{i=1}^{n} P_i \ln P_i \text{ (Shannon-Weaver-Index 응용)}$$

H_n 구조영향인자의 다양성 Index
n 각 급의 총수
P_i i번째 급(입목수, 개체수 또는 부피)의 전체에 대한 점유분

Shannon-Weaver-Index를 임분구조 다양성조사에 적용할 때 나타나는 결정적인 문제점은 식생조사에서 종은 분류가 명확하지만 위에서 말한 임분구조적 다양성을 나타내는 인자(특징)를 어떤 급으로 구분하는 것은 순전히 관찰자 의지에 따라 결정된다는 점으로 분류되는 급이 많아질수록 자연히 지수가 높아지는 점이다[1]. Herles(2000a)는 이 문제를 명확한 최상위-최하위 급수분류로 해결했는데 실제다양성과 최대 다양성의 관계를 가장 잘 표현할 수 있는 형식은 그 둘을 나눈 것이며(예: 수고인 경우 H/Hmax), 이 경우 값은 0～1이며 최대 다양성까지 나타낼 수 있다. 종다양성 추정의 Eveness도 이와 같은 방법으로 계산되는데, 이 경우 출현종의 균일한 분포를 의미하지만, 구조다양성 계산에서 실제 다양성값과 최대 가능치로부터 산출되는 수치(비율)에는 나타나지 않은 급(Class)도 계산된다(Herles 2000a). Herles(2000a)는 Eveness와의 혼동을 피하기 위하여 척도 표현을 0～1이 아닌 1(최소)～10(최대)을 사용하였다.

이외에도 Herles(2000a, b)는 자연림 구조 조사를 위하여 여러 구조적 특성을 정의하고 급의 범위를 결정하였는데 실제조사에서 직경, 수관면적이나 갱신고도에서

[1] 만약에 관찰자가 급(Class)을 아주 작은 범위로 구분하면 그 인자(특징)는 급이 아주 많아지고 동시에 지수도 높아져 종다양성과 달리 Shannon-Weaver-Index는 의미를 상실하게 된다(Herles 2000).

Table 1. Summaries of feature classification and surveying categories

Feature	Data (unit)	Category	Class	Factor	Max. index
Diameter	BHD (cm)	7～＞95	1～10	1～10	2.3
Height	Height (m)	＜1～＞35	1～7		1.95
Crown area	Area (m^2)	0～＞50	1～10	3～48	2.3
Crown class	Rel. height (%)	0～0.9	1～9		2.2
Regeneration	Height (m)	0～＞2.0	1～5	1～50	1.6
Dead tree	Middle diametre (cm)	7～＞95	1～10	1～10	2.3
Dead tree	Length (m)	0～9	1～10		2.3
Stand density	Braun Blanquet (%)	＜5～＞75～100	1～5		1.6
Species diversity	Shannon-Weaver Index		1～10		2.3

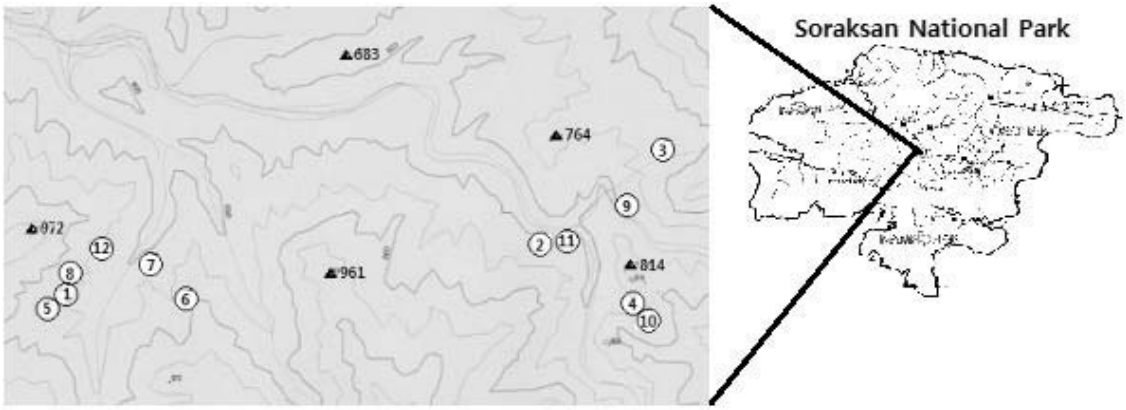

Fig. 1. Maps of investigation sites.

나타나는 현저한 차이를 극복하고자 해당 급에 적절한 Factor를 곱해주는 방식[2]을 이용하였다. Herles (2000a)가 사용한 구조적특징 (인자), 범위, 급 (Class), 각 급의 지수 및 최대값 설정을 참고하고, 독일 너도밤나무 숲과 다른 내설악 전나무 자연림이 보이는 특성상 일부 인자에서는 변형된 급과 범위를 사용하였는데 (Table 1) 특히 고사목은 대부분 누워있어 모두 수고가 아닌 길이로 대체하였다.

표현인자 다양성의 급은 10단계로 분류하고 최대치를 10, 최소치를 1로 하였는데 예를 들어 흉고직경의 경우 (Table 1) 다양성지수는 최대값 2.3을 10단계로 나누어 나타내는데 최하위 등급인 1등급은 0～0.23, 2등급은 0.24～0.46, 3등급은 0.47～0.69... 등이다.

조사 지역은 내설악 큰귀떼기골, 작은귀떼기골 일원과 수렴동대피소 주변 일원 (Fig. 1)으로 하였으며 총 12개 방형구 (직경 40 m)를 선발하여 조사하였다. 조사는 2010년 3월부터 2011년 5월에 걸쳐 수행되었다.

결과 및 고찰

1. 임분구조 표현인자의 다양성

각 인자의 다양성은 최대 다양성 10에서 최소다양성 1까지로 나타나는데 12개 임분 어디에서나 전체적으로 임분구조 표현인자의 다양성은 2～5 (Table 2)로 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 이것은 임분구조 전체의 다양성을 떨어트리는 결과로 이어지는데 다양성이 낮은 이유는 무엇보다도 조사대상이 극음수에 속하는 전나무임분이며 내설악에 존재하는 전나무임분은 대부분 노령기, 쇠퇴기 혹은 갱신기에 속하여 임분 모두가 전체적으로 구조가 매우 유사한 점을 고려하면 당연한 결과로 보인다 (윤 2007, 2009). 특히 본 조사 지역인 두 귀떼기골과 수렴동대피소 주변 (구곡담계곡, 가야동계곡 일부) 지역에 산재하는 전나무임분은 대부분 쇠퇴기, 갱신기에 속하는 것이 그런 결과를 나타낸 것으로 보인다.

또, 계곡부, 급사면부로 좁은 면적에 지형이 복잡하여 대부분 임분이 좁은 면적에도 여러 극소형 Patch로 형

[2] 예를 들면 흉고직경 7～15 cm를 Factor 1로 설정하면 16～25 cm를 가진 개체는 두배로 ni 값을 쳐주는 방식으로 7～15 cm 개체가 3개라면 3이지만 조사지역에 흔한 흉고직경이 95 cm (factor 10) 1개체만 있어도 값이 10이 된다.

Table 2. Diversity grade of features of stand sturcture (maximal grade=10, minimal grade=1)

Plot	H	BHD	Regenertion height	Crown area	Crown class	Deadtree diameter	Deadtree length	Species diversity	Stand density
1	4	4	4	3	4	4	3	5	5
2	3	4	3	4	4	3	3	4	4
3	4	4	3	4	4	4	4	4	4
4	4	4	3	4	4	4	4	4	5
5	3	4	2	4	4	4	4	4	4
6	4	4	3	4	2	2	3	5	2
7	4	4	5	5	4	2	3	4	3
8	3	3	3	3	4	3	3	5	3
9	3	4	2	4	4	3	4	5	5
10	4	4	2	4	4	3	4	4	4
11	2	4	3	4	4	2	4	4	4
12	4	4	3	4	4	3	4	4	4

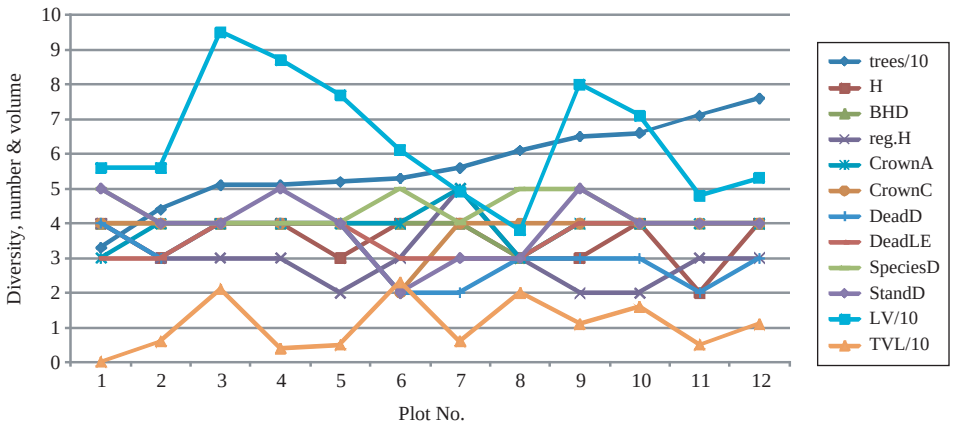

Fig. 2. Association between all of stand structure diversity features.

성되는 지역이라(윤 2009) 조사된 임분이 아무리 다른 기(Phase)에 속한다 하여도 전체적으로 자연림인데다 고목림의 특성을 보여 구조 자체의 유사성을 피할 수가 없는 것으로 보여진다. 물론 더 많은 조사가 필요하겠지만 내설악 전체에 걸쳐 존재하는 전나무 자연림의 구조는 현재까지 조사된 결과로 보면 놀랍게도 서로 유사하다.

2. 세 임분구조 결정 인자와 기타 구조다양성 표현인자의 연관

기본적 임분구조 결정인자인 개체수와 타 구조표현인자가 가진 연관은 Fig. 2와 같다. 우선 전체 그림에서 보듯이 다양성은 개체수가 증가할수록 비록 미약하지만 전체적으로 역방향으로 나타나는 관계를 가지는데 이것은 자연림에서는 일상적인 현상이며 수목 개체수 증가는 임분이 상대적으로 어려 생장공간이 비좁게되고 자연히 천연갱신이나 층상구조, 고사목 등 모든 인자출현이 줄어드는 결과(Figs. 3, 4, 5)를 가져오는 것으로 보인다.

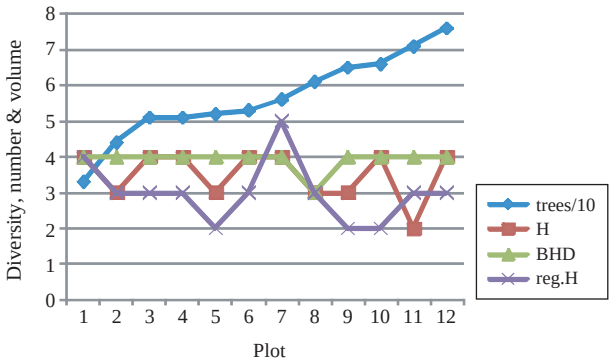

Fig. 3. Association between number of trees and height of trees, BHD, regeneration height.

다른 표현인자에서보다 울폐도다양성의 변화는 흥미로운 결과를 보였는데 개체수가 작은 경우 울폐된 모습이 다양하다가 개체수가 중간정도인 경우 가장 낮은 결과를 보이는데(Fig. 4) 이것은 개체가 일정한 형태를 갖

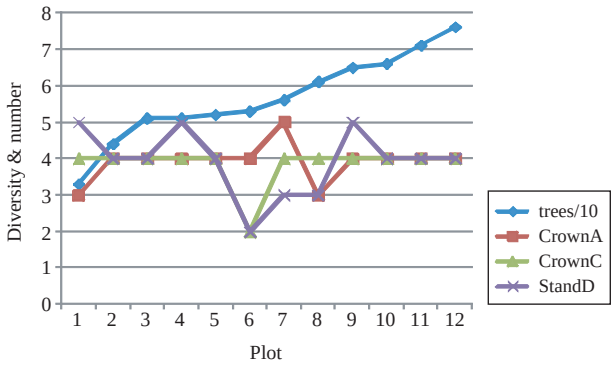

Fig. 4. Association between number of trees and crown area, crown class and stand density.

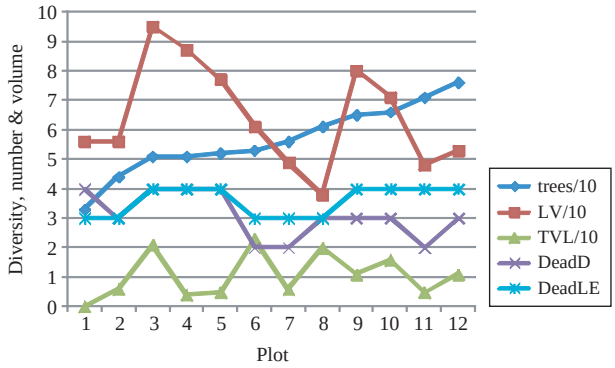

Fig. 5. Association between number of trees and volumes of dead tree (TVL) and living tree (LV), length and diameter of dead tree.

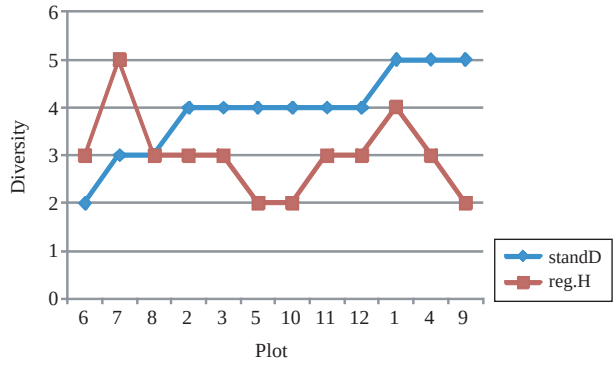

Fig. 6. Association between stand density and height of regeneration.

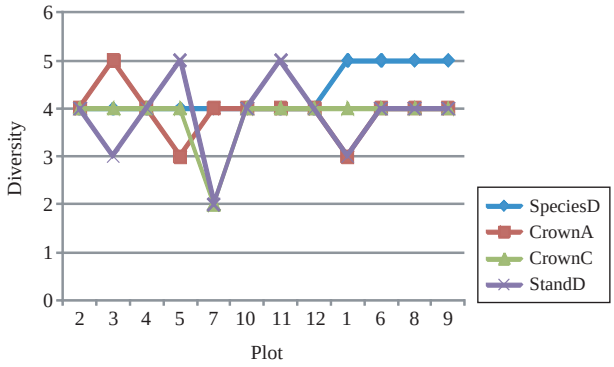

Fig. 7. Association between species diversity and crown areas, crown class and stand density.

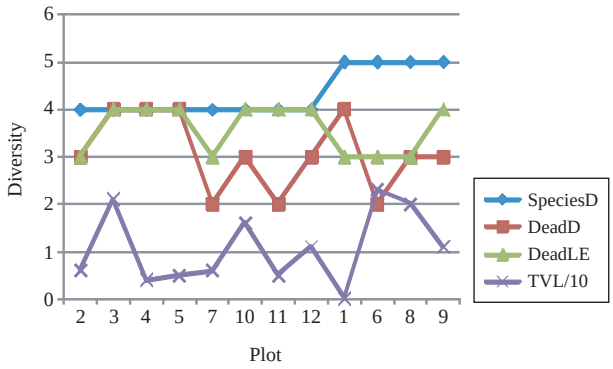

Fig. 8. Association between species diversity and dead tree diameter, length of deadtrees and volumes of dead trees (TVL/10).

추려는 결과에 기인한 것으로 추정되며 오히려 개체수가 완전히 높아지면 다시금 다양성이 미약하나마 증가하는 것은 개체들의 우점상황이 결정되면서 나타나는 현상으로 보인다.

이것은 기대한 결과였는데 반하여, 천연갱신 다양성은 개체수가 중간 정도에서 가장 높은 결과(Fig. 3)를 보여 자연림에서 갱신은 인공림과 다른 형식으로 진행되는 것으로 추정된다(윤 2009). 다른 한편으로는 음수인 전나무의 갱신특성과도 연관이 있는 것으로 보이는데, 층상구조의 다양성을 나타내는 울폐도다양성과 갱신고도 다양성의 연관을 살펴보면 비록 미약하지만 울폐도다양성이 높을수록 천연갱신의 고도 다양성도 높아지는 현상이 나타난다(Fig. 6).

종다양성이 다른 구조표현인자와 가지는 연관성은 Figs. 7, 8, 9로 나타났는데 종다양성은 전체 조사구에서 모두 4~5 정도의 다양성을 보이는 것에 비하여 다른 인자들은 다양성이 상하로 매우 활발하게 변하는 것을 볼 수 있다. 이런 현상은 아마도 자연림에서는 종다양성의 변화가 구조적다양성에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 추정되며 동시에 조사지역에는 항상 음수인 전나무가 우점하여 종다양성에는 한계가 있기 때문으로 추정된다.

종다양성이 구조다양성에 별다른 연관성을 보이지 못

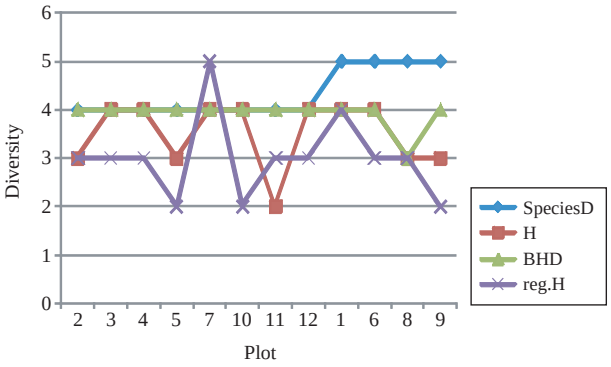

Fig. 9. Association between species diversity and height of trees, BHD, regeneration height.

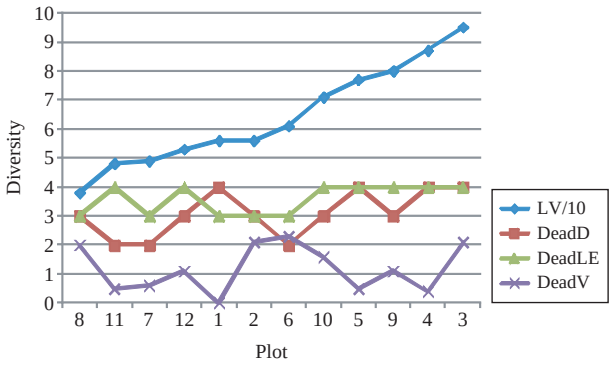

Fig. 12. Association between volume of trees and diameter of dead trees, length of dead tree and dead tree volume.

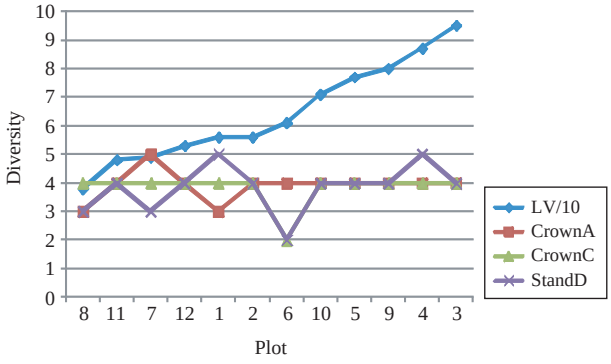

Fig. 10. Association between volume of trees and crown area, crown class and stand density.

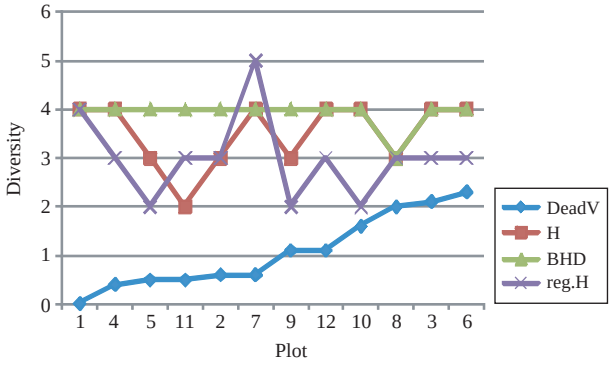

Fig. 13. Association between volumes of dead tree and height of trees, BHD and regeneration height.

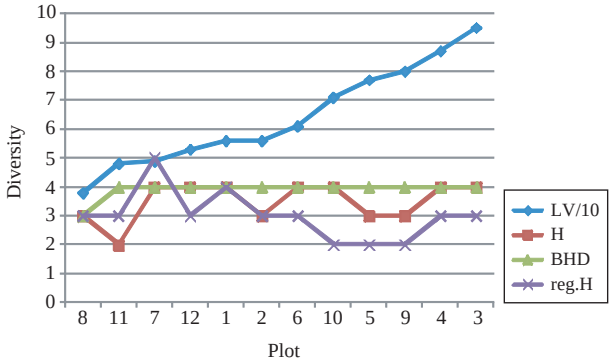

Fig. 11. Association between volume of trees and height of trees, BHD and regeneration height.

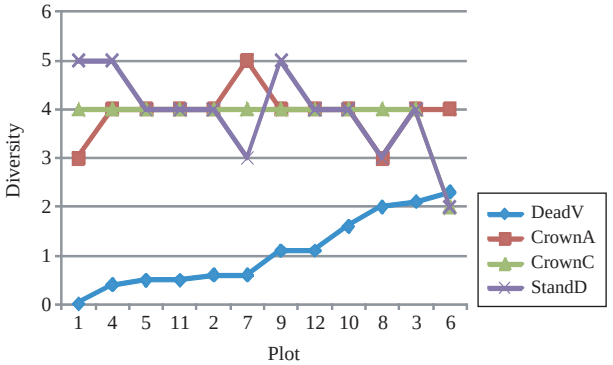

Fig. 14. Association between volumes of dead trees and crown areas, crown class and stand density.

하는 것은 Herles (2000a, b)의 연구에서도 같은 결과를 가져왔는데 이것은 두 연구가 모두 음수(*fagus sylvatica, abies holophylla*) 자연림을 조사대상으로 하여 임분 자체 종다양성이 낮은 것에 기인한 것으로도 해석이 가능하다 (Herles 2000a, b).

입목축적이 다른 인자와 가지는 상관은 매우 불특정한 관계만 보이는데 (Figs. 10, 11, 12) 오직 천연갱신고도의 다양성은 전체적으로 축적증가에 따라 역행하는 현상을 보였다 (Fig. 11). 축적이 낮을 때 갱신고도의 다양성이 높아지는 것은 우점개체이며 입목축적의 대부분을 차지하는 거대개체수가 줄어들어야 천연갱신이 활발해지는 현상으로 보여진다.

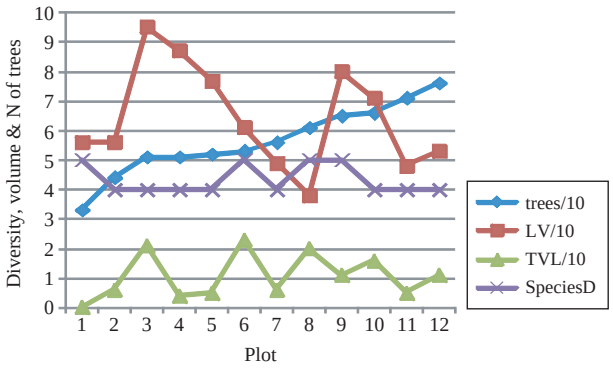

Fig. 15. Association between 4 major factor of forest stand.

고사목축적은 타 인자와의 연관에서 (Figs. 13, 14, 15) 울폐도다양성과 역방향의 연관을 보이는데 (Fig. 14) 아마도 고사목분해 조건과의 연관으로 추정되며 천연갱신고도 다양성은 고사목축적이 중간정도일 때 가장 높아지고 전후에는 별다른 변화를 보이지 않는다 (Fig. 13).

위의 여러 연관에서 상대적으로 수고나 흉고직경은 예외없이 낮은 다양성을 보이는데 (Figs. 3, 9, 11, 13), 이것은 임분구조와 관계없이 모든 임분에 존재하는 거대개체 때문으로 추정된다.

임분구조의 가장 중요한 특징인 개체수, 입목과 고사목축적, 종다양성의 관계를 나타낸 Fig. 15에서 보듯이 축적은 전체적으로 개체수 증가와 함께 감소하다가 중간정도에서 가장 작아지고 이후 다시 증가세를 보인다.

이런 현상은 개체당 수십 m^3 축적을 가진 거목의 경우 개체수와 무관하게 높은 축적을 보이기 때문로 보이며 고사목축적과 종다양성은 다른 두 인자와 별다른 연관을 보이지 않는다.

적 요

내설악 전나무 자연림 임분구조를 좀 더 체계적으로 이해하기 위하여 종다양성 추정에 사용되는 Shannon-Weaver-Index를 응용한 Herles의 구조표현인자 다양성 계산 방법을 도입하여 12개의 임분을 조사하였다. 임분구조 변화는 당연히 phase의 변화에 종속되지만 개개 인자들 간의 연관에서 자연림의 특성이 재확인되었다. 우선 내설악 전나무 자연림의 구조는 표현인자 다양성의 결과에서 보이는 것처럼 다양성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 인자 간의 상관에서 종다양성은 구조변화 관련 전체 인자 (다양성)와 미약한 관계만 보이며, 어느 정도 설명이 가능한 연관을 보이는 것으로는 개체수였으며, 개체수가 증가할수록 임분구조 전체의 다양성은 떨어지는 결과를 보인다. 입목축적이나 고사목 축적은 대부분 조사구에서 천연갱신고도와 연관을 보이며 다른 인자와는 별다른 관계를 보이지 않는 것으로 나타났다. 타 구조표현인자 서로서로의 연관은 천연갱신고도와 관련하여 울폐도나 수관면적, 형태 등과 연관을 보였으며 수고나 흉고직경은 타 인자들과 별다른 연관을 보이지 않았다. 전체적으로 내설악 전나무림 구조변화 이해에 도움을 주는 결과를 가져왔지만 좀 더 많은 조사구에 대한 조사가 필요하리라 본다.

사 사

본 연구는 2010년도 공주대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

윤영일. 2002. 설악산 전나무 고목림의 자연성 판단을 위한 기초연구. 환경생물. 20:287-293.

윤영일. 2007. 내설악 전나무 자연림 조사를 통한 고전천이론과 임분동태학에 관한 고찰. patch dynamic과 임분구조를 중점으로. 환경생물. 25:158-167.

윤영일. 2009. 내설악 전나무림 천연갱신과 임분특성. 전나무 자연림에서 천연갱신에 대한 개념적 고찰을 중심으로. 환경생물. 27:176-182.

장동원, 윤영일. 2003. 내설악 전나무 고목림에 존재하는 고사목에 관한 기본자료조사. 환경생물. 21:251-256.

전상규, 윤영일. 2004. 설악산 전나무림에 나타난 흙패임과 둔덕에 관한 기초조사. 환경생물. 22: 287-294.

정의경, 윤영일. 2005. 내설악 전 (젓)나무 고목림 구조 기초조사. 환경생물. 23:141-145.

Burschel P and J Huss. 1997. Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Parey, Berlin.

Dobrowolska D and TT Veblen. 2008. Treefall-gap structure and regeneration in mixed *Abies alba* stands in central Poland. Elsevier. Forest Ecology and management 255: 3469-3476.

Herles T. 2000a. Bestimmung der Strukturdiversität im Ökosystem Wald. AFZ der Wald 10:534-536.

Herles T. 2000b. Strukturdiversität und Bestandesmerkmals. AFZ der Wald 10:537-539.

Jax K. 1994. Mosaik-Zyklus und Patch-dynamics: Synonym oder verschiedene Konzepte? Ökologie u. Naturschutz 3: 107-112.

Leibundgut H. 1982. Europäische Urwälder der Bergstufe. Haupt, Bern.

Leibundgut H. 1984. Die Natürliche Waldverjüngung (2. Aufl.). Haupt, Bern.

Mayer H. 1984. Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.

Mori AS, E Mizumachi and A Komiyama. 2007. Roles of disturbance and demographic non-equilibrium in species coexistence, inferred from 25-year dynamics of a late-successional old-growth subalpine forest. Forest Ecology and management 241:74-83.

Pickett STA and PS White (eds.). 1985. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, New York.

Remmert H. 1998. Spezielle Ökologie- Terrestrische Systeme. Springer, Berlin.

Rörig E, N Bartsch and B v Lüpke. 2006. Waldbau auf ökologische Grundlage (7.Aufl.). Eugen Ulmer, Stuttgart.

Manuscript Received: October 20, 2011
Revision Accepted: November 15, 2011
Responsible Editor: Man Kyu Kim