

초례산의 산화지와 비산화지의 식물군집구조 및 토양성분의 동태

심 학 보 · 김 원*

경상북도자연학습원, 경북대학교 자연과학대학 생물학과*

Dynamics of the Plant Community Structure and Soil Properties in the Burned and Unburned Areas of the Mt. Ch'olye-san

Sim, Hak-Bo and Woen Kim*

Province of Kyongsangbuk-Do Nature Studying Institute

Department of Biology, Kyungpook National University*

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the developmental process of plant community during the secondary succession and the dynamics of soil properties in the burned and unburned areas of Mt. Ch'olye-san. Owing to the forest fire occurred on April, 1989, the red pine (*Pinus densiflora*) forest and its floor vegetation were burned down.

The floristic composition of burned and unburned areas were composed of 53 and 49 species of vascular plants, respectively. The dominant species based on SDR4 of the burned sites were *Lespedeza cyrtobotrya* (89.62), *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* (62.50), and *Carex humilis* (58.73), *Quercus serrata* (43.33). In contrast, *Pinus densiflora* (83.56), *Lespedeza cyrtobotrya* (55.57), *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* (51.88) and *Carex humilis* (50.41) were dominant in the unburned area. The biological spectra showed the H-D₁-R₅-e type in both the burned and unburned areas. The indices of similarity (CC_s) between the two areas were 0.74. Degree of succession (DS) was 604 in the burned area and 802 in the unburned area. From these facts, it is assumed that the succession is rapidly progressing because of the recovery of vegetation. The species diversity (\bar{H}) and evenness index (e) in the burned and unburned areas were 2.61, 0.65 and 2.36, 0.60, respectively. Dominance index (C) in the burned and unburned areas were 0.15 and 0.18, respectively.

Red pine tree did not resprout after scorch by the forest fire, but *Lespedeza*, *Quercus*, *Rhododendron*, *Albizzia*, and *Zanthoxylum* resprouted from the roots and trunks after the forest fire. It seems that these species are the fire-resistant species.

Soil properties such as soil pH, content of organic matter, available phosphorus, total nitrogen, total carbon, exchangeable potassium, sodium, calcium, and magnesium increased due to forest fire. These results suggest the intensity of forest fire in the study area was relatively weak. Monthly changes of soil properties were of little significance except for some cases.

Key words: Biological spectra, Degree of succession, Dominance index, Dominant species, Indices of similarity, Secondary succession, Species diversity

서 론

우리나라는 대륙성 기후에 속해 있는 관계로 건조하고 바람이 자주 부는 봄과 겨울에 산불이 집중적으로 발생하고 있으며, 산불 발생의 주된 원인은 사람들의 부주의에 의한 인위적인 요인이다.

삼림이 산불에 의해서 파괴되면 식생의 변화는 물론이고 각종 환경요인에도 큰 영향을 미치게 되는데, 특히 삼림자원의 손실 뿐만 아니라 토지의 생산성의 저하, 수자원 보존능력의 상실, 강우(降雨)에 의한 토양의 유실, 산소 공급능력의 상실 등 이차적 손실이 더 크게 작용하게 된다.

삼림에 있어서 산불의 영향과 산불 발생 후의 2차천이에 대해서는 오래전부터 많은 관심이 되어 왔다. 외국의 경우 산화지에 대한 많은 연구보고가 있는데, Hensel(1923)은 Kansas 목초지에서 목초식물의 개체수에 미치는 불의 영향에 대해 밝혔고, Kucera와 Ehrenreich(1962)는 중부 Missouri주의 대초원(prairie) 지역에서 불은 무기영양염류의 활성을 촉진시켜 초본류의 생산성을 높인다고 하였다. 또한 Nakagoshi 등(1987)은 일본지역의 소나무림에서 불에 대한 식물들의 내성과 산불 이후 천이과정에 대해서 보고하였다.

한편 Vogl(1964)은 bracken 초지에 있어서 연소된 입지에 출현하는 종의 빈도에 따라서 종을 Increaser, Decreaser, Neutural의 3가지 범주로 나누었고, Swan(1970)은 New York주에서 산화지와 비산화지의 빈도를 기준으로 종을 Increaser, Decreaser, Neutural, Invader, Retreater의 5개 범주로 나누어 식물군집에 대한 변화를 분석하였다.

또한 불은 식생에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 토양환경요인 중 물리화학적 특성에도 영향을 미친다는 사실이 밝혀지고 있는데, 예를 들어 Ahlgren과 Ahlgren(1965) 및 Smith(1970)는 산불에 의한 유기물의 감소와 회분(ash)의 첨가로 인한 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} 등이 증가된다고 보고하였다.

우리나라에서는 Hirao(1941)가 북한지역의 소나무림 산화지 연구를 시작으로 홍 등(1968)이 소나무는 산불에 대한 내성이 약하고 싸리나무 종류는 내성이 강하다고 하였으며, 그 이후 강과 이(1982), 김(1989), 심과 김(1993)도 이와 유사한 결과를 보고하였다. 그리고 강(1971)은 산불에 의한 회분은 초지의 생산량을 증대시키는 중요한 요인이라고 밝혔고, 박과 김(1981)은 산불이 토양내의 pH, 유기물함량, 질소함량, 인산, 치환성염기 등을 증가시킨다고 보고하였으며, 정과 김(1987)은 산불이 소나무림의 토양과 유출수의 화학적 성질에 미치는 영향에 대해 보고하였다.

본 연구는 산불이 일어난 후 산화지에서 일어나는 2차천이 과정의 변화양상을 산화지와 비산화지의 군락구조 비교를 통해 구명(究明)하고, 토양성분의 변화를 분석하여 산화지의 조속한 회복과 효율적인 관리 및 자연환경 보전을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

조사지 개황

조사지는 대구광역시 동구 동내동과 경상북도 경산시 하양읍이 만나는 지역중 초례산(648m)의 일부지점(북위 35°53', 동경 128°45')에 위치하고, 1989년4월에 실화로 발생한 산불에 의해

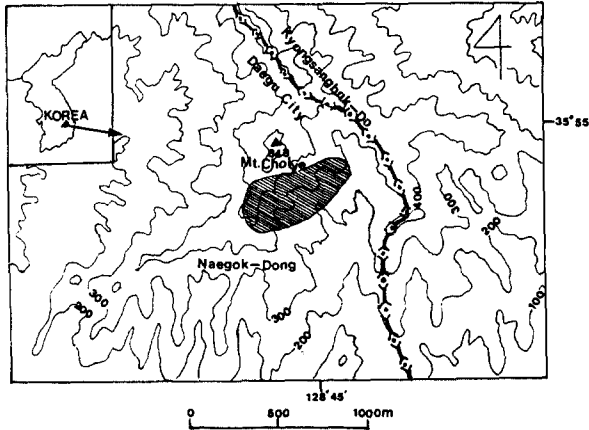


Fig. 1. Topography map of investigated area (shaded area) on Mt. Ch'olye-san.

이지만 소나무가 우점하고 있으며 임상식생은 비교적 빈약한 편이었다 (대구직할시 1994).

조사지의 기후 자료는 국지적인 자료가 없어, 조사지역과 인접한 대구지역의 기후에 대해서 1970년부터 1993년까지 측정한 기후자료(중앙기상대 1970~1993)를 이용하여 Walter 등(1975)의 방법에 따라 기후도(climate diagram)를 작성하였다 (Fig. 2). 대구의 해발고도는 57.8m, 연평균 강수량은 1,021.8mm로서 남부지방의 1,400~1,500mm, 중부지방의 1,200~1,300mm에 비해서 현저히 적은데 이는 내륙분지의 중심에 위치하여 강수일수가 적고 증발량이 많은데 기인한다고 생각되며 6월~9월은 월 100mm 이상의 강수량을 보였다. 평균기온은 13.6℃, 가장 추운달의 평균최저기온은 -0.5℃이고 가장 더운달의 연평균 최고기온은 26.6℃로서 연평균 기온차가 27℃로 나타났다.

조사방법

식생조사는 1992년 3월부터 1993년 10월까지 예비조사를 실시하였고, 표본추출은 1993년 9월에 산화지와 대조구인 비산화지로 구분하여 비교적 식피가 균일한 지소에서 10m × 10m의 방형구를 각각 3개구씩 임의로 선정하고 그 중에서 무작위로 1m × 1m 방형구 10개씩 총 60개구를 표본추출하였다. 방형구내에 출현한 식물종 Braun-Blanquet function에

200ha 이상의 소나무림과 그 임상식생(林床植生)이 완전히 파괴된 산화지와 그와 인접한 비산화지 중 비교적 식피가 균일한 곳을 조사지로 선정하였다 (Fig. 1). 조사지는 해발 300m, 경사도는 20~30°로 비교적 완만한 편이며 모암은 화강암으로서 토양은 갈색삼림토(brown forest soils)이고, 토성은 거의 대부분이 양질사토 혹은 사질양토로 구성되어 있으며 대부분의 조사지가 토심이 얇고 부식층이 빈약하여 척박한 상태였으며, 대조구인 비산화지의 식생은 소나무 단순림 혹은 소나무와 낙엽활엽수의 혼효림(混

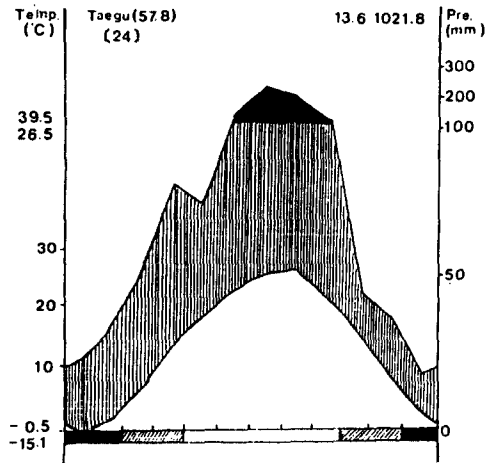


Fig. 2. Climate-diagram of Taegu based on the data from Central Meteorological Office from 1970 to 1993. Vertical hatching indicates periods of water surplus, Diagonally hatched bars denote months with frost, and black bars indicate months with freezing temperature. Black field indicates mean monthly precipitation in excess of 100mm.

의해 피도계급 "1"이하, 우점도계급 "+"이하의 식물은 조사대상에서 제외하였다.

각 지소의 방형구에 출현한 식물의 종류, 피도, 빈도 및 식생고 등을 측정된 자료를 토대로 하여 다음 내용을 분석하였다.

우점종은 적산우점도(summed dominance ratio : SDR_4)를 Numata(1969) 방법으로 구하였고, 종다양성지수(species diversity index: \bar{H})는 Shannon-Weaver(1963) function으로, 우점도지수(dominance index:C)는 Simpson(1949)의 방법으로 각각 구하였다. 천이도(degree of succesion:DS)는 Numata(1978)의 방법에 의해서 산출하였으며, 산화지와 대조구간의 유사도(similarity)는 Sørensen(1948)지수로 비교분석 하였고, 균등성지수(evenness index)는 Pielou(1966)의 방법으로 구하였다.

각 지소에서 출현한 식물의 생활형(life form:L)은 Raunkiaer(1934)의 방법으로, 산포기관형(disseminule form:D), 근계형(radicoid form:R) 및 생육형(growth form:G)은 Numata(1969)의 방법을 사용하였고, 생활형별로 SDR_4 를 구한 후 각 지소간의 생활형조성을 비교하였다.

본 연구에서는 식물군집 변화를 Vogl(1965), Swan(1970) 및 박과 김(1981)의 방법을 참고하여 적산우점도(SDR_4)를 기초로 산화지에 출현한 종의 적산우점도가 비산화지 보다 높으면 Increaser, 낮으면 Decreaser, 비슷하면 Neutral, 산화지에만 출현된 종을 Invader, 비산화지에만 출현된 종을 Retreater의 5개 범주로 나누어 구분하였다.

토양분석에 있어 토양시료는 1993년 3월부터 1993년 12월까지 흑한기인 1월, 2월을 제외한 매월, 낙엽을 제거한 후 산화지와 대조구에서 각 각 3반복하여 0~50cm 깊이의 토양 1,000g 정도를 채취 vinyl bag에 넣어 옮긴 후, 약 1주일간 음건하여 직경 1mm체로 쳐서 분석에 사용하였다.

토양의 pH는 토양과 증류수의 비를 1:2.5로 혼합, 진탕 후 여과하여 pH meter(Fisher Scientific Accumet Model 50)로 측정하였다.

토양의 총질소함량은 micro-Kjeldahl법(Jackson 1967)으로, 유효인산은 Lancaster법(Gilford LR26863 Stasor III)으로, 치환성양이온인 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 는 토양시료 2.5g에 1N NH_4OAC 25ml을 가한 후 30분간 진탕, 여과시킨 후 Atomic absorption spectrophotometer(Perkin-Elmer 2380)로 각각 정량하였다.

유기물함량은 5g의 토양을 자체 도가니에 넣고 105℃에서 48시간 동안 건조시켜 칭량(稱量)한 후, 550~600℃의 전기로에서 4시간 동안 작열시켜 작열 손실량을 구하였다. 총탄소함량은 Turin법으로 측정하였다.

위의 분석자료를 기초로 각 지소별 산화지와 비산화지의 토양성분 차이는 t-검정법을 이용하여 자료를 처리하였다.

결과 및 고찰

식생조성

산화지에 출현한 식물은 53종으로, Increasers로 분류된 목본류에는 참싸리, 줄참나무, 돌가시나무, 상수리나무 등이며, 초본류에는 억새, 산거울, 솔새, 도라지 등이 나타났다. Decreasers로 분류된 목본류에는 소나무를 들 수 있으며 그외 물오리나무, 산초나무, 아까시나무 등이며, 초본류에는 개솔새, 새, 뱀딸기, 원추리 등이 나타났다. Neutrals는 붉나무, 칩, 고사리, 청미래덩굴

등이 포함되었고, Invaders로 목본류에는 산딸기, 굴피나무, 쇠물푸레 등이, 초본류에는 족제비고사리, 삽주, 차풀 등이 나타났는데, 본 연구에서는 시간적인 천이계열에 따른 종의 출현을 조사하지 않았기 때문에 불로 인한 침입종으로 단정하기에는 어려움이 있다고 생각된다. Ret-reaters로는 산국, 사위질빵, 췌기풀, 이고들빼기 등이 포함되었다.

산화지에 있어 적산우점도 순위는 참싸리(89.62), 억새(62.50), 산거울(58.73), 줄참나무(43.33) 순으로 나타났는데, 이 결과는 김 등(1992)이 본 지소와 인접한 지소에서 산화발생 1년째에 우점종 순위가 억새-산거울-뱀딸기, 2년째에 억새-산거울-참싸리 순으로 보고한 결과와 비교해 볼 때 산화지에서 초기 식생천이는 억새→참싸리 단계로 진행됨을 볼 수 있다.

Ahlgren(1960)은 Minnesota주 동북부에 있어 산불이 식생 재생과 생장에 미치는 영향에 관한 연구에서, 산화 후 식물들의 출현은 번식 방법과 관련이 있음을 밝혔는데, 본 조사지에서도 목본류에 있어서는 산화 후 초기에 출현하는 참싸리, 칩, 줄참나무, 털진달래 등 우점종의 공통적인 특징인 지하부 또는 수간(樹幹)으로부터 나온 맹아(萌芽)에 의해 회복되는 것임을 고려할 때 관련성을 찾아 볼 수 있었다.

대조구인 비산화지에 출현한 식물은 49종으로 산화지와 거의 유사한 종이 출현하였으며, 소나무가 적산우점도 83.56으로 우점종이며, 임상식생으로 목본류는 참싸리(55.57), 줄참나무(41.84), 아까시나무(41.05), 산초나무(32.88) 순이었고, 초본류는 억새(51.88), 산거울(50.41), 주름조개풀(31.98), 개솔새(31.89) 순으로 나타났다 (Table 1).

비산화지에 비해 산화지에서 식물의 종수가 비교적 풍부하게 나타났는데, 이것은 소나무림이 파괴된 이후 미기후의 변화, 특히 광량 및 지표온도의 변화에 기인된다고 생각된다.

Table 1. Species grouping and life-form spectra of the burned (B) and Unburned (U) areas

| Species | SDR ₁ | | Life-form | | | | |
|-----------------------------------------------------|------------------|-------|-----------|----|---|---|----|
| | B | U | L | D | R | G | |
| Increasesers | | | | | | | |
| <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> | 참싸리 | 89.62 | 55.57 | N | 3 | 5 | e |
| <i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> | 억새 | 62.50 | 51.88 | H | 1 | 3 | t |
| <i>Carex humilis</i> | 산거울 | 58.73 | 50.41 | H | 1 | 5 | e |
| <i>Quercus serrata</i> | 줄참나무 | 43.33 | 41.84 | M | 4 | 5 | e |
| <i>Rosa wichuraiana</i> | 돌가시나무 | 30.53 | 20.42 | N | 2 | 5 | e |
| <i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i> | 솔새 | 27.04 | 22.01 | H | 1 | 5 | e |
| <i>Platycodon grandiflorum</i> | 도라지 | 26.25 | 10.03 | G | 3 | 5 | e |
| <i>Spodiopogon sibiricus</i> | 큰기름새 | 25.12 | 15.89 | H | 1 | 3 | t |
| <i>Quercus acutissima</i> | 상수리나무 | 24.35 | 22.59 | M | 4 | 5 | e |
| <i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i> | 용담 | 23.61 | 11.04 | G | 4 | 3 | e |
| <i>Indigofera kirilowii</i> | 땅비싸리 | 23.03 | 8.78 | N | 3 | 5 | e |
| <i>Quercus dentata</i> | 떡갈나무 | 22.70 | 18.14 | M | 4 | 5 | e |
| <i>Lespedeza cuneata</i> | 비수리 | 21.77 | 18.20 | Ch | 3 | 5 | e |
| <i>Aster scaber</i> | 참취 | 21.45 | 12.25 | H | 1 | 4 | t |
| <i>Patrinia scabiosaefolia</i> | 마타리 | 20.75 | 18.07 | H | 4 | 3 | pr |

Table 1. Continued

| Species | | SDR ₄ | | Life-form | | | |
|----------------------------------------------------------|--------|------------------|-------|-----------|---|---|----|
| | | B | U | L | D | R | G |
| <i>Viola mandshurica</i> | 제비꽃 | 19.19 | 12.25 | H | 3 | 5 | r |
| <i>Artemisia capillaris</i> | 사철쑥 | 17.75 | 12.05 | H | 1 | 3 | e |
| <i>Polygala japonica</i> | 애기풀 | 17.74 | 14.88 | G | 1 | 5 | b |
| <i>Sanguisorba officinalis</i> | 오이풀 | 16.75 | 14.50 | H | 4 | 5 | pr |
| <i>Peucedanum terebinthaceum</i> | 기름나물 | 16.63 | 8.04 | H | 1 | 5 | b |
| <i>Chrysanthemum zawadskii</i> | 산구절초 | 15.75 | 11.56 | H | 1 | 5 | pr |
| <i>Patrinia villosa</i> | 뚝갈 | 15.37 | 11.49 | H | 1 | 5 | ps |
| <i>Hosta lancifolia</i> | 산옥잠화 | 14.09 | 10.63 | H | 3 | 5 | r |
| <i>Clematis mandshurica</i> | 으아리 | 13.04 | 9.40 | N | 1 | 5 | l |
| Decreasers | | | | | | | |
| <i>Alnus hirsuta</i> | 물오리나무 | 28.75 | 29.78 | M | 1 | 5 | e |
| <i>Zanthoxylum schinifolium</i> | 산초나무 | 25.09 | 32.88 | N | 4 | 5 | e |
| <i>Robinia pseudo-acacia</i> | 아까시나무 | 23.35 | 41.05 | M | 3 | 5 | e |
| <i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i> | 개솔새 | 23.25 | 31.89 | H | 1 | 3 | t |
| <i>Arundinella hirta</i> | 새 | 22.11 | 23.83 | H | 1 | 3 | t |
| <i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> | 털진달래 | 19.50 | 24.79 | N | 3 | 5 | b |
| <i>Duchesnea chrysantha</i> | 뱀딸기 | 18.08 | 19.25 | H | 2 | 4 | p |
| <i>Pinus densiflora</i> | 소나무 | 16.19 | 83.56 | M | 1 | 5 | e |
| <i>Hemerocallis fulva</i> | 원추리 | 10.59 | 11.76 | G | 3 | 5 | r |
| <i>Galium verum</i> var. <i>asiaticum</i> | 솔나물 | 9.69 | 13.75 | H | 4 | 5 | e |
| <i>Oplismenus undulatifolius</i> | 주름조개풀 | 7.83 | 31.98 | Th | 1 | 5 | t |
| Neutrals | | | | | | | |
| <i>Rhus chinensis</i> | 붉나무 | 27.87 | 27.13 | M | 4 | 5 | e |
| <i>Pueraria thunbergiana</i> | 췌 | 23.75 | 23.15 | M | 3 | 5 | l |
| <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> | 고사리 | 23.26 | 23.74 | G | 1 | 3 | e |
| <i>Smilax china</i> | 청미래덩굴 | 21.18 | 20.91 | N | 2 | 5 | l |
| <i>Artemisia montana</i> | 산쑥 | 17.75 | 17.69 | H | 1 | 3 | e |
| <i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i> | 미역취 | 17.70 | 17.46 | G | 1 | 3 | ps |
| <i>Cocculus trilobus</i> | 땃땃이덩굴 | 17.25 | 17.75 | N | 2 | 5 | l |
| <i>Lysimachia barystachys</i> | 까치수영 | 17.06 | 16.98 | G | 4 | 3 | e |
| Invaders | | | | | | | |
| <i>Rubus crataegifolius</i> | 산딸기 | 19.75 | — | N | 2 | 5 | e |
| <i>Dryopteris bissetiana</i> | 족제비고사리 | 19.62 | — | H | 1 | 5 | e |

Table 1. Continued

| Species | | SDR ₄ | | Life-form | | | |
|---------------------------------------------|-------|------------------|-------|-----------|---|---|---|
| | | B | U | L | D | R | G |
| <i>Platycarya strobilacea</i> | 굴피나무 | 18.91 | — | M | 1 | 5 | e |
| <i>Fraxinus sieboldiana</i> | 쇠물푸레 | 18.50 | — | M | 1 | 5 | e |
| <i>Atractylodes japonica</i> | 삼주 | 17.75 | — | G | 1 | 3 | e |
| <i>Cassia mimosoides</i> var. <i>nomame</i> | 차풀 | 16.59 | — | Th | 3 | 5 | e |
| <i>Thalictrum aquilegifolium</i> | 핑의다리 | 15.99 | — | G | 1 | 5 | e |
| <i>Rhapontica uniflora</i> | 빼꼭채 | 9.69 | — | H | 1 | 5 | e |
| <i>Leibnitzia anandria</i> | 숨나물 | 7.85 | — | H | 1 | 5 | r |
| <i>Artemisia iwayomogi</i> | 더위지기 | 7.76 | — | N | 1 | 3 | e |
| Retreaters | | | | | | | |
| <i>Chrysanthemum boreale</i> | 산국 | — | 26.99 | H | 1 | 3 | e |
| <i>Clematis apiifolia</i> | 사위질빵 | — | 21.97 | N | 1 | 5 | l |
| <i>Urtica thunbergiana</i> | 췌기풀 | — | 19.75 | H | 1 | 5 | e |
| <i>Youngia denticulata</i> | 이고들빼기 | — | 19.29 | Th | 1 | 5 | e |
| <i>Metaplexis japonica</i> | 박주가리 | — | 14.35 | G | 1 | 3 | l |
| <i>Pyrola japonica</i> | 노루발 | — | 14.25 | H | 1 | 5 | r |

L: Life-form (Dormancy form, M: Mega & Mesophanerophyte, N: Nanophanerophyte, H: Hemicyptophyte, G: Geopyte, Th: Therophyte)

D: Dissemimule form (D₁: Anemochore & Hydrochore, D₂: Zoochore Brotochore, D₃: Mechanical propulsion, D₄: Clitochore)

R: Radicoid form (R₃: 10/>d, R₄: Runner and /dr Struk root, R₅: Tuber, Bulb, Corm, Soil root)

G: Growth form (e: erect, b: branched, t: tufted, l: liana, p: prostrate, pr: partial-rosette, ps: pseudo-rosette, r: rosette form).

생활형 조성

식물의 생활형 조성으로서 산화 이후의 천이과정을 분석하기 위해서 각 생활형의 적산우점도에 의한 백분율을 산출한 결과, 휴면형은 산화지, 비산화지에서 반지중식물(H)이 38.59%, 37.77%, 산포기관형은 풍산포형(D₁)이 47.41%, 53.83%, 근계형은 단립식물(R₅)이 71.77%, 71.71%으로 각각 우세하였다. 그리고 생육형은 산화지, 비산화지에서 직립형(e)이 62.39%, 58.10%로 각각 우세하였다 (Fig. 3).

이상의 결과에서 생활형 조성은 산화지와 비산화지에서 동일하게 H-D₁-R₅-e형으로 나타났는데, 이 결과는 이(1980)가 강원도 일원의 산화적지의 2차천이 조사에서 생활형 조성이 종수에서 H-D₁-R₅-e형으로 산화 이후 2년째부터 회복된다는 보고와, 김(1980)이 대구시 산성산에서 산화지의 초기단계 식생의 생활형 조성이 H-D₁-R₅-e형으로, 강과 이(1982)가 충청북도 산화적지에서 생활형 조성이 산화 이후 2년째부터 SDR₄(%)에서 H-D₁-R₅-e형 또는 Th-D₁-R₅-e형으로, 보고한 결과와 유사한 경향을 보였다.

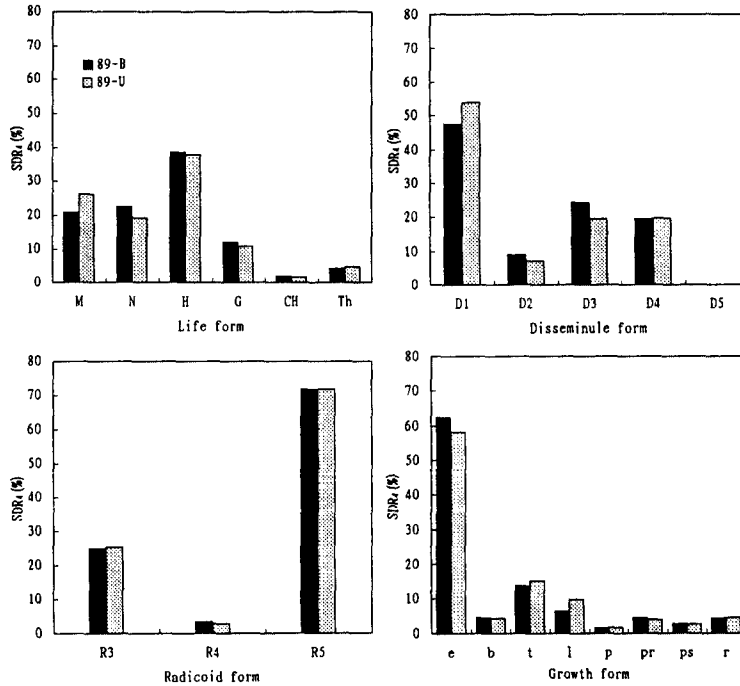


Fig. 3. Diagram of life-form spectra in the burned (B) and unburned (U) areas. Abbreviations are the same as in Table 1.

유사도, 천이도 및 종다양성

Table 2에서 보는 바와 같이, 산화지와 비산화지간의 유사도지수(CCs)는 0.74로 김(1989)의 산불 발생후 2년째 산화지와 비산화지의 유사도지수(CCs) 0.24~0.36와 조(1987)의 산불 발생후 1년째부터 17년째 까지의 산화지와 비산화지의 유사도지수(CCs) 0.31~0.77과 비교해 볼 때 높은 값을 나타내었다.

천이도(DS)는 산화지와 비산화지에서 각각 604, 802로 산화 당년의 산화지에서 조사된 천이도가 353에서 산화후 6년째에 636으로 증가했다는 조(1987)의 보고와 비교해 볼 때 본 조사지에서는 천이도가 높은 값을 나타낸 것은 식생회복이 빠르고 목본식물의 생장이 활발한데 기인된 것으로 생각된다. 또한 이 결과는 이 등(1979)이 화전적지의 천이도 조사에서 밝힌, 목발당년의 DS=120, 2년째 DS=139와 120, 4년째의 DS=226, 5년째의 DS=310, 6년째의 DS=326에 비해 천이도가 높게 나타나, 산화지는 화전적지보다 천이 속도가 빠르게 진행된다고 생각된다. 따라

Table 2. Similarity index (CCs), degree of succession (DS), species diversity (\bar{H}), evenness (e), and dominance index (C) in the burned (B) and unburned(U) areas

| Area | CCs | DS | \bar{H} | e | C |
|------|------|-----|-----------|------|------|
| B | 0.74 | 604 | 2.61 | 0.65 | 0.15 |
| U | | 802 | 2.36 | 0.60 | 0.18 |

서 산화지는 산화에 의해서 숙근성(宿根性)의 식물의 종자 발아가 촉진되기 때문에(Iwata 1966) 화전적지 보다 천이도가 높으며 식생회복이 빠르다는 것을 알 수 있다 (강과 이 1982). 종다양성지수(\bar{H})는 산화지와 비산화지에서 각각 2.61, 2.36로 나타내었는데, Douglas와 Ballard (1971)는 고산식생군락에서 산불이 종다양성을 증가시킨다고 하였는데, 본 조사지에서도 비산화지에 비해 산화지 종다양성이 비교적 높게 나타나, 같은 경향을 보였다. 균등성 지수(e)는 1에 가까운 값을 가질수록 종별 개체수가 균일한 상태라할 수 있는데, 산화지에서 0.65, 비산화지에서는 0.60으로 나타나 종다양성지수와 유사한 경향을 나타내었다. 우점도지수(C)는 산화지, 비산화지에서 각각 0.15, 0.18로 나타났다.

이상의 결과에서 산화지가 비산화지 보다 종다양성 지수와 균등성 지수가 높게 나타나, 종다양성이 높으면 상대적으로 우점도가 낮다는 Whittaker(1965)의 보고와 같은 경향을 나타내었고, 또한 Shafi와 Yarranton(1973)이 Ontario주 Cochrane지역의 산화지에서 종다양성 지수가 산화이후 4~10년 사이에는 상대적으로 높은 값을 나타내지만 천이가 진행되면서 대체로 감소된다는 보고와 유사한 경향을 나타낼 것으로 예상된다.

토양성분

토양 pH는 산화지와 비산화지에서 각 평균 5.28, 평균 5.23으로 산화지에서 높은 값을 나타내어 (Table 3), 유의차가 있었다 ($P < 0.001$). 일반적으로 산불은 식생과 토양유기물을 산화시켜 회분을 축적시키며 회분속의 염기성 양이온이 유리되어 토양 pH를 증가시키게 되는데, Raison (1979)은 산불 이후 초지에서 pH 1이하, 삼림에서는 pH 2~3정도를 상승시킨다는 보고와 비교해 볼 때 본 조사지에서는 유사한 경향을 보였다. 월별 토양 pH 변화는 산화지, 비산화지 모두에서 큰 변화가 나타나지 않았다 (Fig. 4). 이 결과는 정과 김(1987)의 연구에서 산화 이후 토양 pH의 월변화는 거의 없었다는 보고와 유사한 경향을 나타냈다. 유기물 함량은 산화지에서 평균 1.93%로서, 비산화지의 평균 1.28%보다 높게 나타났으며 (Table 3), 평균차는 유의하였다 ($P < 0.001$). 산불로 인한 토양내 유기물함량은 산불 발생전 보다 증가 (Douglas and Ballard 1971) 또는 감소 (Austin and Baistinger 1955)한다는 보고와 비교해 볼 때 낙엽 및 유기물함량, 불의 강도가 약할 때 일어나는 유기물의 불완전 연소, 토양의 물리·화학적 성질 등 여러가지 요인에 의해서 유기물 함량의 양상이 좌우될 수 있는데, 본 조사지에서는 비산화지에 비해 산화지에서 유기물함량이 높게 나타나 불의 강도가 약하였거나, 바람에 의한 수관화(crown fire)로 유기물의 불완전 연소로 인해 유기물 함량이 증가한 것으로 생각된다. 월별 유기물함량의 변화는 산화지에 있어 9월부터 11월까지의 증가를 제외한 큰 변화는 나타나지 않았는데, 이러한 증가는 계절적인 요인으로 낙엽, 낙지(落枝)의 증가에 기인된 것으로 생각된다. 비산화지에 있어서는

Table 3. Soil properties in the burned (B) and unburned (U) areas. All figures are means and SD taken from all sampling dates

| Area | pH | O.M. | A.P. | T.N. | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | T.C. |
|------|-------------|-------------|------------|-------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|--------------|
| | | (%) | (ppm) | (%) | | | | | |
| B | 5.28±.24*** | 1.93±.29*** | 5.90±.74** | 0.07±.01*** | 0.26±0.05* | 0.25±0.04 | 1.39±0.23*** | 0.70±0.06*** | 1.12±0.17*** |
| U | 5.23±.24 | 1.28±.29 | 5.20±.63 | 0.06±.01 | 0.25±0.05 | 0.25±0.07 | 0.86±0.32 | 0.49±0.07 | 0.74±0.11 |

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001

O.M.: Organic matter, A.P.: Available phosphorus, T.C.: Total carbon, T.N.: Total nitrogen.

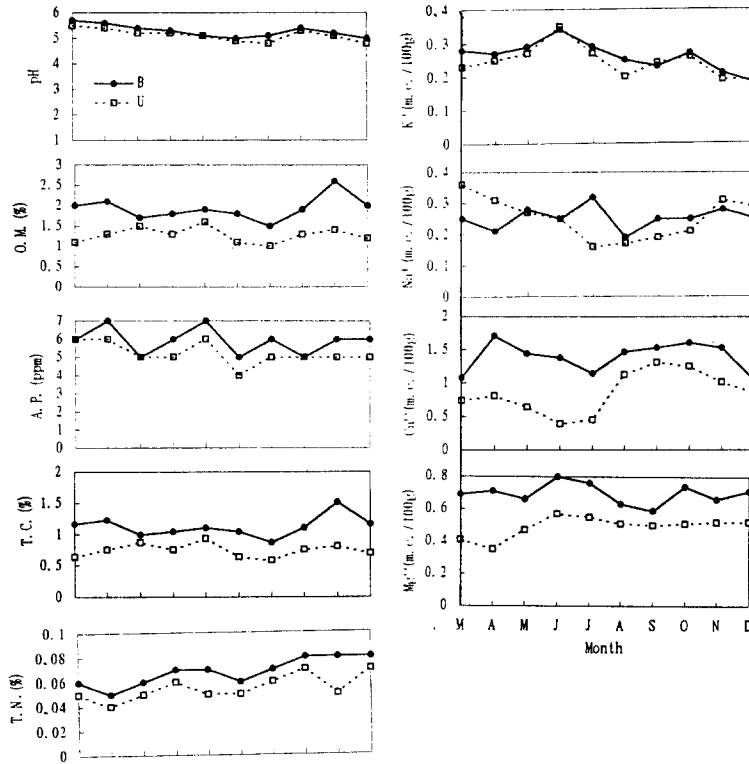


Fig. 4. Monthly changes of soil properties in the burned (B) and unburned (U) areas. Abbreviations are the same as in Table 3.

큰 변화는 나타나지 않았다 (Fig. 4).

유효인산은 산화지, 비산화지에서 각각 평균 5.9ppm, 평균 5.2ppm으로 산화지에서 높은 값을 나타내었고 (Table 3), 평균차는 유의하였다 ($P < 0.01$). Debono와 Conrad(1978)는 유효인산은 산불에 의해 거의 휘발하지 않기 때문에 회분 또는 잔유물로 남는다고 하였고, Lewis(1974)는 소나무림에서 산불에 의한 인산의 손실은 거의 없다고 보고하였으며, 박과 김(1981), 강과 이(1982) 등도 유사한 보고를 하였다. 본 조사지에서도 산화지에서 비산화지보다 높은 값을 나타내 유사한 경향을 보였으며 산화지에서 증가된 유효인산은 새로운 식생의 발달로 인한 인산흡수의 증가로 비산화지와 같은 수준으로 회복될 것으로 생각된다. 월별 유효인산의 변화는 산화지에 있어 4월과 6월의 증가와 비산화지에 있어 8월의 감소를 제외한 큰 변화는 나타나지 않았다 (Fig. 4).

총질소함량은 산화지, 비산화지에서 각각 평균 0.07%, 평균 0.06%로 산화지에서 높은 값을 나타내었고 (Table 3), 유의한 평균차를 보였다 ($P < 0.001$). Ahlgren과 Ahlgren (1960)은 산불로 인해 토양질소는 증가 또는 감소하는데, 증가하는 경우 산불이 토양에서의 생물학적인 질소 고정능력을 촉진시키는데 일부 원인이 있다고 보고하였으며, Daubenmire(1968)도 산불이 식물군락내의 콩과식물의 비율을 증가시킬 때 토양영양염류의 증가가 현저하고 따라서 질소함량도

간접적으로 증가하게 된다고 하였다. 한편 산불에 의해 질소함량이 감소하는 경우 손실량은 산불의 강도가 주로 영향을 미치게 되는데 산불의 강도는 지표에 쌓인 낙엽의 양, 습윤상태, 지형과 기후 등의 요인에 의존된다고 하였다 (Daubenmire 1968). 본 조사지에 있어서는 산화지와 비산화지에 비해 비교적 높은 값을 나타내어 산불에 의한 토양질소의 증가를 보고한 Douglas와 Ballard (1971), 김(1989), 김 등 (1992), 김과 심 (1994) 등의 결과와 유사한 경향을 나타내어, 산불의 강도가 약해 휘발되지 않고 회분으로 축적된 것으로 추정된다. 월별 총질소함량은 산화지에 있어 4월~7월 사이의 감소 외에는 큰 변화가 없었으며, 비산화지에 있어서는 4월과 7월~8월 및 11월의 감소 외에는 역시 큰 변화는 나타나지 않았다 (Fig. 4). 이들 총질소함량의 감소는 식물에 의한 흡수와 강우에 의한 세탈(洗脫) 및 용탈(溶脫)에 기인된 것으로 생각된다.

치환성 양이온 중 K^+ 함량은 산화지, 비산화지에서 각각 평균 $0.26m.e./100g$, 평균 $0.25m.e./100g$ 로 거의 유사한 값을 나타내었고 (Table 3), 평균차는 유의하였다 ($P < 0.05$). Na^+ 함량은 산화지, 비산화지에서 모두 평균 $0.25m.e./100g$ 으로 차이가 나타나지 않았으며 (Table 3), Ca^{2+} 함량은 산화지에서 평균 $1.39m.e./100g$ 로서, 비산화지의 평균 $0.86m.e./100g$ 보다 높게 나타났으며 (Table 3), 평균차는 유의하였다 ($P < 0.001$). Mg^{2+} 함량은 산화지, 비산화지에서 각각 평균 $0.70m.e./100g$, 평균 $0.49m.e./100g$ 으로 산화지에서 높은 값이 나타났고 (Table 3), 평균차는 유의하였다 ($P < 0.001$). 산불은 일반적으로 치환성양이온의 증가를 가져오고, 이 증가된 치환성양이온은 짧게는 1년에서 이온(ion)에 따라서는 50년까지도 토양에 영향을 미치게 된다(Viro 1963)는 보고와 비교해 볼 때 본 조사지에서는 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 모두가 산화지에서 증가하였다가 점차 감소하여 비산화지에 유사하게 회복되어 갈 것으로 예상되며, 이상의 결과로 미루어 볼 때 산불의 강도가 강하지 않았음도 추정할 수 있었다. 월별 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 함량의 변화는 초봄에 있어 식물의 흡수에 의한 감소와 5월~9월 사이의 강우에 의한 세탈 또는 침전으로 인한 감소라고 생각되는 계절적 경향 외에는 큰 변화가 나타나지 않았다 (Fig. 4). 총탄소함량은 산화지, 비산화지에서 각각 평균 1.12%, 평균 0.74%로 산화지에서 높은 값이 나타났고 (Table 3), 평균차는 유의하였다 ($P < 0.001$).

일반적으로 총탄소함량은 유기물 함량과 밀접한 관계가 있다고 생각되며, 월별 총탄소함량의 변화는 유기물 함량의 변화와 같은 경향을 보였다.

적 요

1989년 4월 실화로 발생한 산불에 의해 소나무림과 그 임상식생이 완전히 파괴된 초례산(648m)의 일부지점(표고 300m)인 산화지와 이와 인접한 비산화지인 소나무림을 대조구로 선정하여 산불이 일어난 후, 4년째인 1992년 3월부터 1993년 12월까지 종조성, 생활형조성, 천이도, 종다양성 및 군락유사도를 분석하여 2차 천이 과정을 밝히고 또한 토양성분의 변화를 조사하였다.

조사지의 식물은 산화지에서 53종류, 비산화지에서 49종류로 유사한 종류가 출현하였다. 적산우점도(SDR_i) 순위는 산화지에서 참싸리(89.62)-억새(62.50)-산거울(58.73)-졸참나무(43.33) 순이었고, 비산화지는 소나무(83.56)-참싸리(55.57)-억새(51.88)-산거울(50.41) 순이었다. 산화지의 생활형 조성이 비산화지와 동일한 H-D₁-R₅-e형으로 나타나 산불 발생 후 빠른 속도로 식생이 회복되어 안정상태로 복원됨을 보였다.

산화지와 비산화지의 유사도 지수(CC_s)는 0.74로 유사성이 매우 높고 식생이 비산화지에 가깝게 회복되고 있음을 보였다. 천이도(DS)는 산화지가 604, 대조구인 비산화지가 802로 나타났

으며, 종다양성 지수(\bar{H})는 산화지에서 2.61로 비산화지의 2.36보다 비교적 높은 값을 보였다. 우점도 지수(C)는 산화지, 비산화지에서 각각 0.15, 0.18로 나타났고, 균등성지수(e)는 산화지, 비산화지에서 각각 0.65, 0.60으로 종다양성 지수와 유사한 경향을 나타내었다.

토양 성분중 토양 pH, 유기물함량, 유효인산, 총질소함량, 치환성양이온 K^+ , Na^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 함량 및 총탄소함량은 산화지에서 비산화지에서 보다 비교적 높게 나타나 산불의 강도가 약하여 일어나는 유기물의 불완전 연소 및 회분의 첨가에 기인된 것으로 생각된다. 토양성분의 월변화는 계절적인 원인으로 식물에 의한 흡수, 강우에 의한 세탈로 인한 감소와 낙엽 등의 첨가로 인한 증가로 생각되는 변화 이외에는 큰 변화가 나타나지 않았다.

인용문헌

- 강상준. 1971. 초지의 구조 및 생산성에 미치는 산불의 영향. 식물학회지 14:96-102.
- 강상준 · 이종태. 1982. 산화적지의 식생회복에 관한 생태학적 연구. 한생태지 5:54-62.
- 김 원. 1980. 산화적지의 이차식생과 이차천이에 관하여 -초기단계의 이차식생-. 경북대학교 교육대학원 논문집 12:81-89.
- 김 원. 1989. 소나무림 산화적지의 이차천이 및 종다양성. 한생태지 12:285-295.
- 김 원 · 장근형 · 조영호 · 심학보. 1992. 초계산 소나무림의 산화지의 이차천이. 경북대학교 논문집 52:23-33.
- 김 원 · 심학보. 1994. 용수동 지역의 산화지 및 비산화지의 군락구조와 2차천이. 경북대학교 교육대학원 논문집 26:1-11.
- 대구직할시. 1994. 팔공산 자연공원 생태계 조사보고서. 도서출판 일봉. 363p.
- 박봉규 · 김종희. 1981. 치악산의 식생과 토양에 미친 산불의 영향. 한생태지 24:31-45.
- 심학보 · 김 원. 1993. 섭제골 지역의 산화지 및 비산화지의 군락구조 비교. 한생태지 16:429-438.
- 이우철. 1980. 산화지의 이차천이에 관한 연구 - 초기 식생군락 발달에 관하여-. 강원대학교 논문집 14:483-553.
- 이우철 · 김종진 · 김상근. 1979. 강원도의 산화적지에 있어서, 제2차 천이의 초기 군락 발달에 관한 연구. 자연보호연구보고서 1:145-166.
- 정연숙 · 김준호. 1987. 산화가 소나무림의 토양과 유출수의 화학적 성질 및 식물량에 미치는 영향. 한생태지 10:129-138.
- 조영호. 1987. 대구주변의 소나무림의 산화적지에서 이차천이와 종다양성. 박사학위 논문. 경북대. 58p.
- 홍순우 · 하영칠 · 최영길. 1968. 식생, 토양 및 토양미생물에 미치는 불의 효과에 대하여. 식물학회지 11:9-20.
- Ahlgren, C.E. 1960. Some effects of fire on reproduction and growth of vegetation in north-eastern Minnesota. Ecology 41:431-445.
- Ahlgren, I.F. and C.E. Ahlgren. 1960. Ecological effects of forest fires. Bot. Rev. 26:483-533.
- Ahlgren, I.F. and C.E. Ahlgren. 1965. Effects of prescribed burning on soil microorganisms in a Minnesota jack pine forest. Ecology 46:304-310.

- Austin, R.C. and D.H. Baisinger. 1955. Some effects of burning on forest soils of western Oregon and Washington. *J. For.* 53:275-280.
- Daubenmire, R. 1968. Ecology of fire in grassland. *Adv. Ecol. Res.* 5:209-266.
- DeBano, L.F. and C.E. Conrad. 1978. The effects of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology* 59:489-497.
- Douglas, C.W. and T.M. Ballard. 1971. Effects of fire on alpine plant communities in the North Cascades, Washington. *Ecology* 52:1058-1064.
- Hensel, R.E. 1923. Effects of burning on vegetation in Kansas pastures. *J. Agr. Res.* 23:631-643.
- Hirao, T. 1941. After firing, some observation of the vegetation in North Corea. *J. Jap. For. Soc.* 23:10-13.
- Iwata, E. 1966. Germination behaviour of shrubby *Lespedeza* (*Lespedeza cyrtobotyra* Miq.) seeds with special reference to burning. *Ecol. Rev.* 16:217-227.
- Jackson, M.L. 1967. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, New Delhi. 497p.
- Kucera, C.L. and J.H. Ehrenreich. 1962. Some effects of annual burning on central Missouri prairie. *Ecology* 43:334-336.
- Lewis, M.L. 1974. Effect of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. *Ecology* 55:1120-1127.
- Nakagoshi, N., K. Nehira and F. Takahashi. 1987. The role of fire in ecological systems. SPB Academic Publishing Co., Netherlands. pp. 92-116.
- Numata, M. 1969. Illustrated plant ecology. Ashakura Book Co. Tokyo, Japan. pp. 33-43.
- Numata, M. 1978. The concept of the degree of succession and its application. Papers on plant ecology to the memory of Dr. Kuniji Yoshioka. pp. 60-70.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13:131-144.
- Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformation. *Plant and Soil* 51:73-108.
- Raunkiaer, C. 1934. The life form of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford. 633p.
- Shafi, M.I. and G.A. Yarranton. 1973. Diversity, floristic richness, and species evenness during a secondary (post-fire) succession. *Ecology* 54:897-902.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 117p.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Smith, D.W. 1970. Concentrations of soil nutrients before and after fire. *Can. J. Soil Sci.* 50:18-28.
- Swan, F.R. Jr. 1970. Post-fire response of four plant communities in south-central New York State. *Ecology* 51:1074-1082.
- Sørensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Detkong. Dandske Vidensk. Selsk. Biol. Skr.*

5:1-34.

Viro, P.J. 1963. Factorial experiments on forest humus decomposition. *Soil Sci.* 95:24-30.

Vogl, R.J. 1964. The effects of fire on the vegetational composition of bracken-grasslands. *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.* 53:67-82.

Vogl, R.J. 1965. Effects of spring burning on yields of brush prairie savanna. *J. Range Manage.* 18:202-205.

Walter, H., E. Harnickell and D. Mueller-Dombois. 1975. *Climate-diagram maps*. Springer Verlag, New York. 36p.

Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147:250-260.

(1996년 8월 29일 접수)