

산불이 삼마산의 삼림식생에 미치는 영향

김 원 · 박정혜 · 조영호

경북대학교 자연과학대학 생물학과

적 요: 1997년 3월에 대구광역시 동구 미대동 삼마산(333 m)의 일부 지소에 산불이 발생하여 약 6 ha의 소나무림과 임상식생이 전소되어 산화 당년에 벌목되었고 그 이듬해에 잣나무를 조림하였다. 산화 2년째인 1998년 4월에서 10월까지 산화지와 대조구인 비산화지를 선정하여 산화지의 효율적인 관리를 위한 기초자료를 제공하기 위해 식생조사와 토양조사를 실시하였다. 산화지에서는 총 43종류, 비산화지에는 총 35종류의 식물이 출현하였으며, 적산우점도(SDR_i)는 산화지에서 참싸리(96.87), 졸참나무(77.90), 방동사니(46.22), 억새(38.33), 칩(36.84) 순이고, 비산화지에서 교목층은 소나무(100.00), 굴참나무(66.10), 개암나무(31.36) 순, 관목층은 졸참나무(100.00), 산초나무(64.89), 참싸리(21.60) 순, 초본층은 졸참나무(76.30), 억새(72.84), 산겨울(64.89) 순으로 나타났다. 출현한 식물의 생활형은 산화지는 Th-D₁-R₅-e형, 비산화지는 H(M)-D₁-R₅-e형으로 나타났다. 두 지소간 유사도지수는 0.41이었고, 천이도(DS)는 산화지 609, 비산화지 1168, 종다양성지수(H)는 산화지 2.499, 비산화지 2.807, 균등성지수(e)는 산화지 0.664, 비산화지 0.789, 우점도지수(C)는 산화지 0.155, 비산화지 0.099이었다. 토양성분은 산화지에서는 pH, NO₃⁻-N함량, 유효인산, 치환성 양이온 K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺이 비산화지보다 더 높은 값을 보였고, 유기물함량, 총탄소함량, 총질소함량, NH₄⁺-N함량은 비산화지보다 더 낮은 값을 보였다. 이상의 결과로 보아 본 조사지에서 산화지의 식생천이양상은 산화 당년에 억새와 참싸리, 산화 2년째에 참싸리와 졸참나무가 우점해 있고 앞으로 새로운 교란요인이 발생하지 않는다면 졸참나무군락으로 천이가 진행됨을 예상할 수 있다. 산불로 인해 식생이 파괴된 후, 그 이전의 상태로 회복되기까지 많은 시간이 걸린다는 점을 고려해서 장기적인 계획에 의한 더욱 구체적이고 체계적인 연구가 효율적인 산화지 관리면에서 수행될 필요성이 있다.

검색어: 산불, 삼마산, 2차 천이, 종다양성, 토양성분

서 론

천이에 대한 가설이 Clements(1916)에 의해 발표된 후, Odum(1969), Connell과 Slatyer(1977), Bazzaz와 Pickett(1980) 등은 천이에 관한 체계적이고 일반적인 이론들을 제시하였다. 그 후 많은 학자들은 천이기작, 천이와 군집안정도간의 상호관계를 밝혀야 한다고 주장하였다. 산림생태계에 있어 자연적 또는 인위적 교란원인이 될 수 있는 산불은 원래의 식생을 파괴시켜 새로운 식물군집을 형성하고 변화시킴으로써 천이를 유발한다.

산림면적이 전 국토면적의 약 65%인 우리 나라는 여러 가지 교란요인들(산불, 벌목, 도로건설, 개간 등)로 인해 점차 산림생태계가 파괴되어가고 있다. 그 중 산불에 의한 피해는 연평균(1975~1995년) 발생건수는 352건, 연평균 피해면적은 739ha, 발생건수당 평균피해면적은 2.1ha였으며 90년대에 들어서면서 그 발생빈도와 피해면적이 증가하고 있다 (이와 류 1996).

산불이 중요한 환경요인으로 인식되면서 화재생태학과 관련하는 많은 연구가 수행되고 있다. Hensel(1923)이 미국 Kansas pastures의 식생에 대한 불의 영향, Vogl(1964)은 bracken grassland에서의 불에 의한 식물군집의 변화, Nakagoshi *et al.*(1987)은 일본지역 소나무림에서의 각 식물종

들의 불에 대한 내성과 산불이 일어난 후 천이과정과 군락 구조와 생체량에 대해서 연구하였다. 산불은 식생뿐만 아니라 토양의 이화학적 성질에도 영향을 끼친다. Ahlgren과 Ahlgren(1960), Smith(1970)가 토성, 토양의 습도, 온도, pH, 미량원소에 대한 조사로 산불발생전후의 변화와 그 영향에 대해 연구하였다. Chandler *et al.*(1983)은 산불의 발생시기와 강도, 그 지속시간, 토양함수량, 산불이 일어난 후의 강수량 등에 따라 산불이 산림식생과 토양에 미치는 영향이 다르다고 보고하였다.

우리 나라 지역에서는 처음으로 Hirao(1941)의 북한지역 산화지에 관한 조사 이후, 홍 등(1968)은 산불이 식생, 토양 및 미생물에 미치는 효과에 대한 조사 결과에서 소나무는 화재에 대한 내성이 약하고 싸리나무류는 내성이 강하다고 보고하였으며, 계속해서 산불이 일어난 후 산화지에서 식생회복과 이차천이 및 토양에 관한 많은 연구보고가 있었다(강과 이 1982, 김 등 1983, 1992, 조와 김 1983, 1991, 김과 조 1984, 조 1987, 김 1989, 심과 김 1993, 김과 성 1995, 심 1996, 제와 김 1997 등). 최근에는 1996년에 대형산불(산림피해 3,762ha)이 발생한 고성지역 산화지에서 이 등(1997)이 산불발생후 토양깊이나 산불형태에 따른 토양의 이화학적 성질변화를 조사하였고, 문과 정(1997)은 재생되는 식생의 종구성과 이들에 의한 영양염류흡수량에 관해서 보고하였다.

본 연구는 대구시 동구 삼마산에 1997년 3월 산불이 일어난 후, 1998년 4월에 잣나무를 조립한 산화지와 대조구로 선정한 비산화지인 소나무림의 식생을 1998년 4월부터 10월까지 조사하였다. 산화지와 대조구로 선정한 비산화지인 소나무림의 식생에 따른 군락구조를 비교하였다. 이차천이의 초기단계를 분석하여 산화후 식생의 변화를 예측하고 효율적인 산화지관리와 조림계획에 기초자료를 제공하기 위해서 실시하였다.

조사지 및 조사 방법

조사지 개황

조사지는 팔공산 산등성이인 대구광역시 동구 미대동에 위치한 삼마산(333 m) 지역으로서, 북위 35°37'30", 동경 128°40'50"로 해발 약 170~250 m에 위치하며, 사면방위는 SW60°방향이고 경사도는 약 20°로 완만한 지역이다 (Fig. 1). 조사지의 모암은 화강암, 토양은 갈색삼림토이며 토성은 화강암이 풍화되어 생성된 사질토로 조성되어 있다.

산불은 1997년 3월 30일 논두렁 소각시 부주의로 확산되어 소나무와 그 하층식생이 약 6 ha의 산림피해를 입었다. 당일 기상은 평균습도가 36%이고 바람은 남서풍으로 최대 풍속이 6.2 m/sec이었다 (기상청 1997). 1997년 4월에 피해를 입은 소나무를 완전히 벌채하였고, 1998년 4월에 수고 약 60~80 cm인 4~5년생 잣나무를 조립하였으나 일부는 고사되었다.

대구측후소의 기상자료(중앙기상대 1968~1997)에 따르면 대구지역의 최근 30년간의 연평균기온이 13.42℃이고, 연평균강수량이 1,009.82 mm이며, 특히 식물의 성장기에 해당하는 6~9월에는 월평균 100 mm 이상으로 연평균강수량의 66%이상을 차지한다 (Fig. 2).

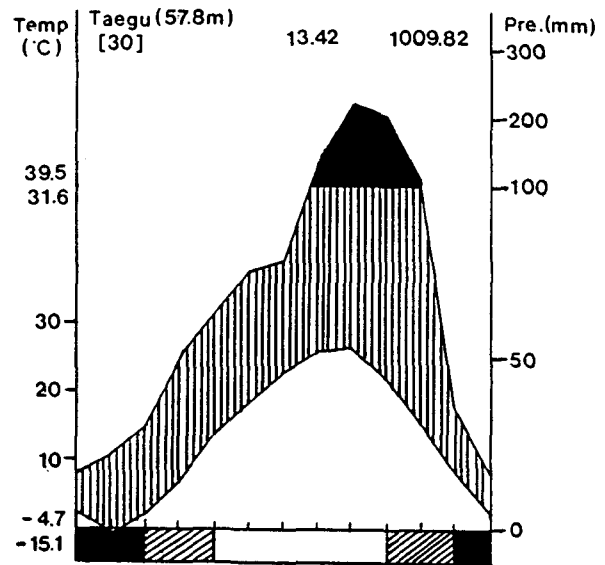


Fig. 2. The climate-diagram of Taegu area (Data were obtained from Taegu Meteorological Station for 30 years from 1968 to 1997.).

식생조사

식생조사는 산화 후 2년째인 1998년 4월에서 10월까지 산화지의 전지역에 걸쳐서 실시하였고, 7월에 표본추출을 하였다. 산화지와 대조구인 비산화지로 구분하여 산화지에는 2 m×2 m 방형구 10개를 무작위로 설정하였고, 비산화지는 교목층에는 10 m×10 m 방형구 5개, 관목층과 초본층에는 2 m×2 m 방형구를 각각 10개씩 설정하였다.

각 지소에 나타난 식물의 종류는 대한식물도감(이 1982)에 따라 학명과 국명을 분류기재하였고, 산화지는 하나의 층으로 정하고, 비산화지는 수고에 따라 교목층, 관목층, 초본층으로 구분하여 각 방형구에 출현한 식물종들의 피도(coverage: C), 빈도(frequency: F), 수고(height: H)를 각각 측정하였다. 이를 기초자료로 하여 적산우점도(summed dominance ratio: SDR)는 Numata(1969)방법, 생활형(life form: L)은 Raunkiaer(1934)방법, 산포기관형(disseminal form: D), 근계형(radicoid form: R), 생육형(growth form: G)은 Numata(1969)방법으로 분류하였다.

종다양성지수(species diversity index: H)는 Shannon & Wiener(1963)방법, 우점도지수(dominance index: C)는 Simpson(1949)방법, 천이도(degree of succession: DS)는 Numata(1978)방법, 균등성지수(evenness index: e)는 Picolou(1966a)방법, 지소간 유사도지수 CCs는 Sørensen(1948)방법에 따라서 각각 산출하였다.

토양조사

토양시료는 1998년 7월에 낙엽을 제거한 0~20 cm 깊이의 토양 1000 g을 각 지소별로 3반복씩 채토하여, 실험실에서 1주일간 풍건시켜 직경 1 mm체로 친 후 분석에 이용

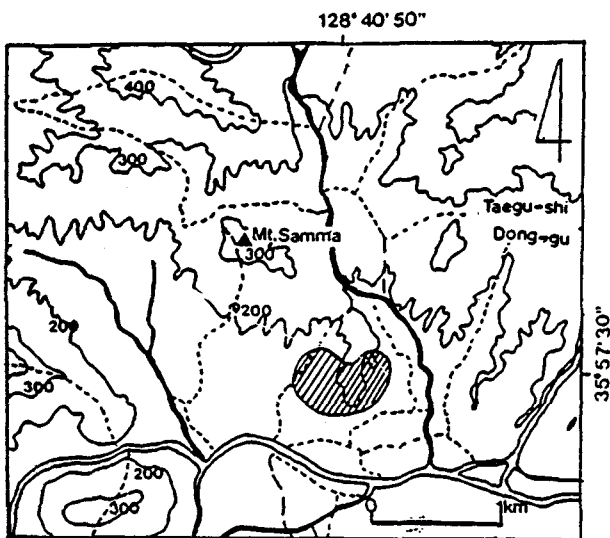


Fig. 1. The topographical map of investigated area (Oblique strokes indicate the burned site.).

하였다.

토양 pH는 토양과 증류수의 비를 1:5로 하여 30분간 진탕시킨 후 여과시켜 pH meter(ORION 420A)로 측정하였다. 유기물함량은 건조한 토양 5g을 550~600℃의 전기로에서 4시간 작열시켜 작열 손실량으로 산출하였고, 총탄소함량은 Tyurin법으로 측정하였다. 총질소함량은 macro-Kjeldahl법으로, NH_4^+ -N함량은 토양입자에 흡착된 NH_4^+ 를 KCl용액으로 치환하고 MgO로 알칼리화하여 증류 적정하였고, NO_3^- -N함량은 sulfamic acid와 MgO를 가하여 NO_2^- -태와 NH_4^+ -태를 제거한 후 devarda alloy를 가하여 NO_3^- -태 질소로 치환시켜 증류 적정하였다. 유효인산은 비색법(SnCl_2 법)을 이용하여 spectrophotometer(Hitachi U-2001)로 측정하였고, 치환성 양이온 K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} 은 $1\text{N-CH}_3\text{COONH}_4$ 용액을 가한 후 진탕시키고 여과시켜 $1\text{N-NH}_4\text{OAc}$ 로 추출한 후 증류수로 희석하여 atomic absorption spectrophotometer(Shimadzu AA-6601F)로 측정하였다 (농업기술연구소 1988).

결과 및 고찰

식 생

조사결과 산화지의 전체 식피율은 약 90%로서 우점종인 참싸리와 졸참나무의 식피율이 70%, 그 외의 종들은 40% 정도였다. 비산화지의 경우 전체 식피율이 거의 100%로서 소나무가 우점하고 있는 교목층의 식피율이 80%, 졸참나무가 우점하는 관목층은 35%, 졸참나무와 억새가 우점하는 초본층은 약 30%이었다.

산화지(burned site: B)에는 총 43종류가 출현하였고, 비산화지(unburned site: UB)는 교목층에 3종류, 관목층에 11종류, 초본층에 30종류로 총 35종류가 출현하였다. 적산우점도 순위는 산화지에서는 참싸리(96.67), 졸참나무(77.90), 방동사니(46.22), 억새(38.33)의 순이었고, 비산화지에서는 교목층은 소나무(100.00), 굴참나무(66.10), 개암나무(31.36) 순이고, 관목층은 졸참나무(100.00), 산초나무(29.64), 참싸리(21.60) 순이며, 초본층은 졸참나무(76.30), 억새(72.84), 산거울(64.89), 청미래덩굴(47.74), 뽕딸기(47.44)의 순으로 나타났다 (Table 1). 이 중 산화지에 새로 출현한 종은 방동사니, 칩, 그늘사초, 취명아주, 바랭이 등 27종류이고, 산불이 일어난 후 산화지에는 재생이 되지 않아 대조구인 비산화지에만 나타난 종은 소나무, 개암나무, 노간주나무, 주름조개풀, 노루발 등 19종류이었다. 산화지에서 새로 출현한 종들 중에 초본식물이 24종류로 약 90% 정도였다. 이는 산불과 같은 교란요인에 의해 식생이 파괴된 지소에 새로이 정착하기 유리한 식물의 전략적 특징 중 하나로 가벼운 풍산포형 종자를 많이 생산한다는 사실(Baker 1974)에 기인하는데, 이러한 초본식물 중 16종이 풍산포형 종자를 생산해서 번식하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 조사지가 산화후 2년째로 천이초기단계의 양상을 나타내고 있으며, 앞으로 천이가 진행될수록 초본식물의 비율은 낮아질 것으로 예측할 수 있다.

본 조사지의 식생구조와 대구 경북지역의 산화 후 2년째 인 산화지에서의 적산우점도순위가 참싸리-억새-큰기름새(신 등 1990), 억새-졸참나무-칩(조와 김 1991), 억새-산거울-참싸리(김 등 1992)인 경우와 비교해 볼 때, 산화지의 천이초기단계에 있어서 억새나 참싸리가 우점종이라고 보고되었던 결과와 유사한 경향이었다. 그러나 본 조사지에서는 다른 지역의 산화지 조사결과와 마찬가지로 산화당년에 초본류인 억새가 일반적으로 우점종으로 출현된 후, 수년이 경과된 이후에나 관목류인 참싸리가 우점종이 되기보다 산화당년에 짧은 억새기를 거친 후 참싸리로 천이가 이뤄져서 억새가 상대적으로 낮은 우점도를 보이며 교목류인 졸참나무의 우점도가 높음으로 인해 본 조사지는 결국 억새-참싸리→참싸리-졸참나무→졸참나무로 천이가 진행될 것으로 예상할 수 있다. 이처럼 산불발생이후 참싸리의 출현이 두드러지는 현상은 산불로 인한 토양온도의 증가로 토양내 휴면종자의 발아가 촉진된 결과라고 볼 수 있으며 (Iwata 1966), 특히 질소고정을 하는 콩과식물의 증가가 두드러졌다는 보고(Spurr and Barnes 1980)도 있다.

생활형 조성

산화지와 비산화지에 출현한 식물의 생활형을 적산우점도에 의한 백분율로 산출한 결과, 산화지의 생활형은 일이년생식물(therophyte: Th)이 32.4%, 산포기관형은 풍산포형(D)이 40.66%, 근계형은 단립식물(R₁)이 88.62%, 생육형은 직립형(erect: e)이 66.07%로 각각 우세하게 나타났다. 비산화지에서의 생활형은 반지중식물(hemicryptophyte: H)이 33.09%, 대형지상식물(mega and mesophanerophyte: M)이 32.93%, 산포기관형은 풍산포형이 52.57%, 근계형은 단립식물이 75.28%, 생육형은 직립형이 57.57%로 각각 우세하였다 (Fig. 3).

본 조사지에 있어서 산화지에서의 생활형이 Th-D₁-R₁-e형, 비산화지에서의 생활형이 H(M)-D₁-R₁-e형으로 나타났는데, 산화 2년째에 조사가 실시된 대구시 동구 팔공산 일부 지소(신 등 1990), 대구시 동구 도덕산 일부 지소(조와 김 1991)와 대구시 동구 초례산 일부 지소(김 등 1992)에서 나타난 생활형 조성이 산화지와 비산화지 모두 H-D₁-R₁-e형으로써 비산화지의 경우, 본 조사지와 유사한 경향이었으나, 산화지의 경우 본 조사지에서는 반지중식물이 아닌 일이년생식물이 더 우세하게 나타나는 차이를 보였다. 이는 본 조사지가 지형면에서 해발고도가 다른 지역에 비해서 낮고 경사도가 비교적 완만하며 인근에 논과 밭들이 접해 있기때문에 일이년생식물의 침입이 더 용이했다고 볼 수 있다. 충청북도 산화적지에서 산화 2년째부터 생활형이 H-D₁-R₁-e형이나 Th-D₁-R₁-e형으로 분석된다는 보고(강과 이 1982)가 있으나 일이년생식물이 우세한 시기는 환경 요인에 의해 천이초기단계에 단기간 나타나는 현상이고, 지금까지 발표된 산화지의 식생천이에 대한 연구결과를 종합해 볼 때 식생이 안정화되려는 경향으로 천이가 진행되면서 본 조사지에서도 일이년생식물이 줄어들고, 반지중식물이 많아 질 것으로 예상된다.

Table 1. The floristic composition, summed dominance ratio (SDR₃) and life form in burned (B) and unburned (UB) sites

Taxa	SDR ₃		Life forms				
	B	UB	L	D	R	G	
Tree Layer							
<i>Pinus densiflora</i>	소나무	—	100.00	M	1	5	e
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	—	66.10	M	4	5	e
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	개암나무	—	31.36	M	4	5	e
Shrub Layer							
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	—	100.00	M	4	5	e
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무	—	29.64	N	4	5	e
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	참싸리	—	21.60	N	3	5	e
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	—	21.53	N	1	5	t
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	—	20.65	N	2	5	b
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	—	18.42	M	4	5	e
<i>Juniperus rigida</i>	노간주나무	—	16.76	M	1	5	e
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	—	15.17	M	4	5	e
<i>Rhus trichocarpa</i>	개웃나무	—	6.57	M	4	5	e
<i>Morus bombycis</i>	산뽕나무	—	5.75	M	4	5	e
<i>Quercus dentata</i>	떡갈나무	—	5.67	M	4	5	e
Herb Layer							
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	참싸리	96.67	38.84	N	3	5	e
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	77.90	76.30	M	4	5	e
<i>Cyperus amuricus</i>	방동사니	46.22	—	Th	1	5	e
<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	억새	38.33	72.84	H	1	3	t
<i>Pueraria thunbergiana</i>	취	36.84	—	M	4	5	l
<i>Pinus koraiensis</i>	잣나무	35.23	—	M	1	5	e
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무	32.28	24.17	N	4	5	e
<i>Erigeron canadensis</i>	망초	29.99	16.26	Th	1	5	pr
<i>Commelina communis</i>	닭의장풀	26.97	18.21	Th	4	5	pr
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	24.81	—	M	4	5	e
<i>Carex lanceolata</i>	그늘사초	21.24	—	Th	1	5	t
<i>Chenopodium glaucum</i>	취명아주	21.04	—	Th	4	5	e
<i>Cocculus trilobus</i>	당덩이덩굴	14.88	24.10	N	1	3	t
<i>Oenothera odorata</i>	달맞이꽃	14.46	—	H	3	5	e
<i>Rosa wichuraiana</i>	돌가시나무	13.81	—	N	2	5	e
<i>Digitaria sanguinalis</i>	바랭이	12.97	—	Th	1	5	t
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	12.54	28.07	M	4	5	e
<i>Arundinella hirta</i>	새	12.15	—	H	1	3	t
<i>Lespedeza virgata</i>	좁싸리	12.13	—	N	3	5	e
<i>Cassia mimosoides</i> var. <i>nomame</i>	차풀	11.57	—	Th	3	5	e
<i>Persicaria blumei</i>	개여뀌	10.78	—	Th	1	5	e
<i>Lespedeza cuneata</i>	비수리	10.17	—	Ch	3	5	e
<i>Lactuca nidica</i> var. <i>laciniata</i>	왕고들빼기	9.15	—	Th	2	5	e
<i>Dianthus sinensis</i>	패랭이꽃	8.90	—	H	1	3	t
<i>Setaria viridis</i>	강아지풀	8.90	—	Th	1	5	t
<i>Carex humilis</i>	산거울	7.94	64.89	H	1	5	e
<i>Sophora flavescens</i>	고삼	7.30	—	H	3	5	e
<i>Fimbristylis dichotoma</i>	하늘지기	5.80	—	Th	1	5	t
<i>Indigofera kiliowii</i>	땅비싸리	5.02	—	N	3	5	e
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	개밀	4.70	—	Th	1	5	t
<i>Youngia denticulata</i>	이고들빼기	4.57	—	Th	1	5	e
<i>Youngia sonchifolia</i>	고들빼기	4.45	—	Th	2	5	e
<i>Solanum nigrum</i>	까마중	4.32	—	Th	1	5	pr
<i>Bidens frondosa</i>	미국가막사리	3.94	—	Th	1	5	e

Table 1. Continued

Taxa		SDR ₃		Life forms			
		B	UB	L	D	R	G
<i>Metaplexis japonica</i>	박주가리	3.94	—	G	1	3	l
<i>Pulsatilla koreana</i>	할미꽃	3.94	—	G	1	5	e
<i>Duchesnea chrysantha</i>	뱀말기	3.91	47.44	H	2	4	p
<i>Patrinia villosa</i>	뚝갈	3.81	19.39	H	1	5	ps
<i>Scorzonera austriace</i> subsp. <i>glagra</i>	벽쇠채	3.81	—	H	1	5	c
<i>Phaseolus nipponensis</i>	새팍	3.68	—	Th	3	5	l
<i>Clematis apifolia</i>	사위질빵	3.56	—	N	1	5	l
<i>Ixeris dentata</i>	씀바귀	3.56	—	H	1	5	c
<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	명아주	3.56	—	Th	4	5	e
<i>Smilax china</i>	청미래덩굴	—	47.44	N	1	3	l
<i>Atractylodes japonica</i>	삼주	—	41.44	G	1	3	e
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	주름조개풀	—	33.29	Th	1	5	t
<i>Leibnitzia anandria</i>	숨나물	—	28.13	H	3	5	r
<i>Pyrola japonica</i>	노루발	—	26.16	H	1	5	r
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	—	18.21	N	2	5	b
<i>Solanum lyratum</i>	배풍등	—	17.72	Ch	1	5	pr
<i>Rosa multiflora</i>	철레꽃	—	16.98	N	4	5	e
<i>Chimaphila japonica</i>	매화노루발	—	14.57	H	1	5	r
<i>Eupatorium chinensis</i> var. <i>simplicifolium</i>	등골나물	—	11.29	H	1	5	e
<i>Gentiana scabra</i> var. <i>buergeri</i>	용담	—	9.82	G	4	5	e
<i>Viola mandshurica</i>	제비꽃	—	9.82	H	3	5	r
<i>Rubus crataegifolius</i>	산딸기	—	6.21	N	2	5	e
<i>Erigeron annuus</i>	개망초	—	5.89	Th	1	5	pr
<i>Isidin japonicus</i>	방아풀	—	5.07	G	4	3	e
<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목나무	—	5.07	M	4	5	e
<i>Aster scaber</i>	참취	—	5.07	H	1	5	b
<i>Pinus densiflora</i>	소나무	—	4.77	M	1	5	e
<i>Rhus trichocarpa</i>	개웃나무	—	4.75	M	3	5	e
Total number of taxa		43	35				

Note) L; Life form (Dor mancy form, M: Mega and Mesophanerophyte, Th: Therophyte, N: Nanophanerophyte, H: Hemicryptophyte, G: Geophyte, Ch: Chamaephyte)
 D; Disseminule form (D₁: Anemochore and Hydrochore, D₂: Zoochore and Brotochore, D₃: Mechanical propulsion, D₄: Clitochore)
 R; Radicoid form (R₃: 10/>d, R₄: Runner and/or 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).

유사도, 천이도 및 종다양성

산화지와 비산화지간의 유사도지수(CC_s)가 0.41였으며, 이는 0.8이상인 되어야 동일군락으로 인정할 수 있다는 Wittaker(1970)의 보고에 훨씬 못 미치는 수준이었다. 천이도(DS)는 산화지가 609, 비산화지가 1168로 산화지가 비산화지에 비해 크게 낮은 값으로 나타났는데, 산화 후 천이초기단계에 식생이 빠르게 회복되면서 천이도가 점차 증가하고 교목류의 생장이 활발해지면서 그 기울기는 완만해진다(김 등 1992). 종다양성지수(H)는 산화지가 2.499, 비산화지가 각각 2.807이고, 균등성지수(e)는 산화지가 0.664, 비산화지가 0.789로 비산화지가 높았으며, 종다양성지수와 반비례관계에 있는 우점도지수(C)는 산화지가 0.155이고 비산화

Table 2. Degree of succession (DS), species diversity index (H), evenness index (e) and dominance index (C) in burned and unburned sites

	DS	H	e	C
Burned site	609	2.499	0.664	0.155
Unburned site	1168	2.807	0.789	0.099

지가 0.099로 산화지가 더 높은 값을 나타내었다 (Table 2). 이는 Douglas와 Ballard(1971)가 고산식물군락에서 산불이 종다양성을 증가시킨다는 보고와 팔공산, 도덕산, 초례산의 산화 후 2년째인 산화지조사에서 종다양성지수와 균등성지수가 비산화지보다 더 높게 나타났고 우점도지수는

성지수가 증가할 것으로 예상된다.

토양성분

토양성분 분석에서 산화지와 비산화지에서의 pH는 각각 5.66과 5.22, 총탄소함량(%)은 2.28과 2.74, 유기물함량(%)은 3.93과 4.72, 총질소함량(%)은 0.084와 0.097, NH₄⁺-N 함량(%)은 0.0728과 0.0882, NO₃⁻-N함량(%)은 0.0112와 0.0084로 각각 나타났고, 유효인산(ppm)은 9.14와 8.77, 치환성 양이온(ppm)은 K⁺이 39.0과 27.3, Ca²⁺이 692와 578, Na⁺은 11.5와 9.2, Mg²⁺이 175.2와 142.8로 각각 나타났다 (Table 3).

비산화지보다 산화지에서의 토양 pH가 더 높게 나타났는데 그 경향은 낙엽층과 기존 식생이 연소됨으로써 회분의 발생과 함께 증가하는 치환성 양이온(K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ 등)때문인 것으로 보고되었다(Raison 1979, DeBano 1991, 문과 정 1996). 이러한 토양내 pH 상승은 미생물의 활동을 활발하게 하고 식물생장에 관여하여 여러 가지 양분의 유효도를 증가시켜(Reich *et al.* 1990), 교란된 산화지에 새로운 식생조성에 상당한 도움을 준다 (이 등 1988).

산화지에서의 유기물함량은 증가하기도 하고(우 등 1985, 이 등 1988) 감소하기도 한다 (Covington and Sackett 1984)고 보고하였는데, 그 중 감소의 주원인은 산화발생 후 지상부의 소실과 함께 낙엽, 낙지(落枝) 등과 같은 지상부의 유입량이 감소하기 때문이다 (이 등 1997). 본 조사지에서도 산화지의 표토층의 사질토가 그대로 드러나 있었던 점으로 보아 강수 등에 의해 많은 유기퇴적물이 유실된 것으로 볼 수 있다. 또한 유기물함량과 밀접한 관련이 있는 총탄소함량도 산화지에서 감소하였다.

산화지에서의 총질소함량은 유기물함량의 감소와 일치하고 있는데, 지표에 쌓인 낙엽량, 습윤상태, 지형과 기후 등이 요인이 되는 산불의 강도가 질소감소에 영향을 끼친다 (Daubenmire 1968, Lewis 1974, Dunn and DeBano 1977)고 보고하였다. 본 조사지에서도 산화당시 불의 강도가 높아 토양내 질소성분이 많이 휘발된 것으로 볼 수 있다. NH₄⁺-N과 NO₃⁻-N이 토양 속 전체 질소량의 1%미만으로 대부분 유기태형태로 존재하고(Christensen 1977), 산불에 의해 한동안 일반적으로 증가한다(Christensen 1973, Viro 1974)고 보고하였으나, 본 조사지에서는 NH₄⁺-N은 산화지에서 감소하였고, NO₃⁻-N은 산화지에서 증가하였다.

유효인산의 경우 산화지가 더 높은 값을 나타냈는데, 산불의 강도가 높을수록 유효인산의 축적이 높으며(강과 이 1982), 산불이 일어난 후 회분화된 식물체의 성분에 의해

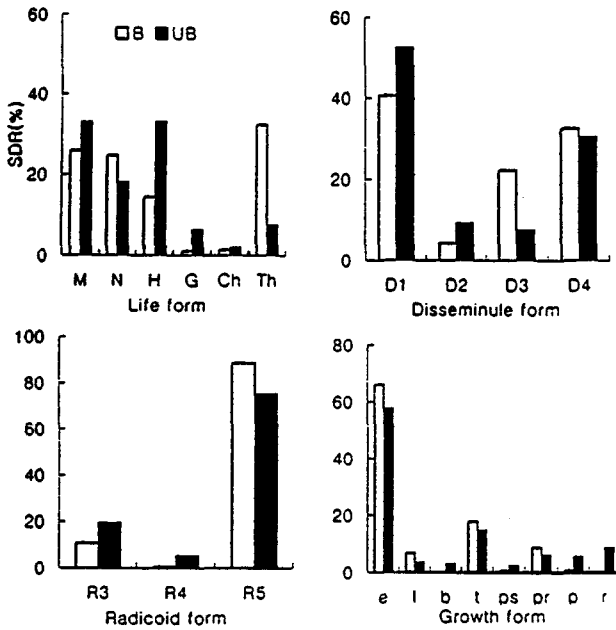


Fig. 3. Diagrams of life form, disseminule form, radicoid form and growth form of burned (B) and unburned (UB) sites (Abbreviations are the same as in Table 1).

더 낮게 나타난 결과와 상반된 경향을 보였다. 본 조사지와 유사한 결과를 보인 섬제곶지역에서는 다른 지역에 비해 조사지의 토양이 척박하고 중조성이 빈약하고 산화당년에는 식생에 큰 변화가 크게 나타나지 않았기 때문이라고 하였다 (심과 김 1993). 또한 Wittaker와 Woodwell(1972)은 천이초기단계에는 침입하는 개체종들의 분산능력이 크기 때문에 종다양성이 증가하고, 후기단계에서는 토양과 산림의 계층구조형성, 서식지분화, 공생, 타감작용, 다양한 수분배개자와 종분산을 촉진시키는 요인들에 의해서 종다양성이 증가한다고 하였지만, 천이에 따른 종다양성의 변화양상은 종다양성에 영향을 주는 많은 요인들의 상호작용에 의해 결정되기 때문에 모든 지역에 공통적으로 종다양성에 관한 양상을 규정하는 것은 무리라고 하였다. 본 조사지에서의 산화지는 관목류인 참싸리가 우점하고 있는 단계로 대조구인 소나무림에 비해 종다양성지수가 낮았으나, 이는 산화지의 식피가 상대적으로 낮은 관계이고 교목류인 졸참나무가 우점하면서 식생의 계층구조가 발달함에 따라 점차 종다양

Table 3. Soil properties in burned(B) and unburned(UB) sites

	pH	O.M.	T.C.	T.N.	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	A.P.	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺
	(H ₂ O)			(%)				(ppm)			
B	5.66	3.93	2.28	0.084	0.0728	0.0112	9.14	39.0	692	11.5	175.2
UB	5.22	4.72	2.74	0.097	0.0882	0.0084	8.77	27.3	578	9.2	142.8

O.M.: Organic Matter, T.C.: Total Carbon, T.N.: Total Nitrogen, A.P.: Available Phosphorous

인산량은 증가한다고 보고했다 (우 등 1985, 문과 정 1996). 치환성 양이온 K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} 의 경우 모두 산화지에서 증가하는 경향을 보였는데 이는 질소와 달리 휘발되기 어려워 그만큼 산불에 의한 손실이 적으며(Lewis 1974), 회분과 함께 여러 수용성 양분들이 토양으로 이동되었고 이로 인해서 토양내 염기총량과 염기포화도를 증가하게 된다 (이 등 1997). 이는 산화후 초기단계에 나타나는 현상이며, 강수와 잔해침식으로 유실되기도 하고(DeBano *et al.* 1977), 새로 조성된 식생에 의한 영양염류흡수로 인해(문과 정 1997) 증가가 완만해지다가 산화지에서 감소하게 될 것으로 예상된다.

인용문헌

- 강상준, 이종태. 1982. 산화적지의 식생회복에 관한 생태학적 연구. 한국생태학회지 5: 54-62.
- 김 원. 1989. 소나무림의 산화적지의 이차천이 및 종다양성. 한국생태학회지 12: 285-295.
- 김 원, 서정호, 이종은. 1983. 당지동의 산화적지의 초기 식생 천이. 한국생태학회지 6: 273-242.
- 김 원, 성경희. 1995. 금오산에서 산화지와 비산화지의 식물 군집구조 비교. 한국생태학회지 9: 55-64.
- 김 원, 장근형, 조영호, 심학보. 1992. 초례산 소나무림의 산화지의 이차천이. 경북대학교논문집 52: 23-33.
- 김 원, 조영호. 1984. 산성산 산화적지의 식생재생과 이차천이. 한국생태학회지 6: 203-207.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. p. 450.
- 문형태, 정연숙. 1996. 강원도 고성지역에서 산불이 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향. 한국생태학회지 19: 375-383.
- 문형태, 정연숙. 1997. 산화당년에 재생되는 식물군집의 종구성과 식물의 영양염류 흡수량. 한국생태학회지 20: 27-33.
- 산림청 임업연구원. 1996. 고성산불지역 생태조사 결과보고서. 169 p.
- 신태욱, 조영호, 김 원. 1990. 산화적지의 식생재생과 이차천이. 연극 김철수교수 회갑기념논문집. pp. 365-376.
- 심학보. 1996. 팔공산일대의 산화지와 비산화지의 군락구조 및 토양성분의 동태에 관한 연구. 경북대 박사학위논문. 134 p.
- 심학보, 김 원. 1993. 섬제골지역의 산화지 및 비산화지의 군락구조비교. 한국생태학회지 16: 429-438.
- 우보명, 권태호, 마호섭, 이현호, 이종학. 1985. 황폐산지에서의 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(II). 한국임학회지 68: 37-45.
- 이광원, 류장혁. 1996. 산불의 실태와 대책. 한국농촌경제연구원 정책연구보고. 15 p.
- 이원규, 김춘식, 차순형, 김영걸, 변재경, 구교상, 박재욱. 1997. 산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향. 한국생태학회지 20: 157-162.
- 이원규, 최 경, 오민영. 1988. 산화에 의한 토양 및 식생의 변화. 임업연보 37: 35-49.
- 이창복. 1982. 대한식물도감. 향문사, 990 p.
- 제상훈, 김 원. 1997. 금오산의 산화지에서 벌목지와 비벌목지의 식물군집구조 비교. 한국임학회지 86: 509-520.
- 조영호. 1987. 대구주변의 소나무림의 산화적지에서의 이차천이와 종다양성. 경북대 박사학위논문. 58 p.
- 조영호, 김 원. 1983. 팔공산 내학동 일대의 산화적지의 이차식생과 천이. 한국생태학회지 6: 22-32.
- 조영호, 김 원. 1991. 산화 후 도덕산 소나무림의 초기식생회복과 종다양성. 한국생태학회지 15: 337-344.
- 중앙기상대. 1968-1997. 기상연보.
- 홍순우, 하영칠, 최영길. 1968. 식생, 토양 및 토양미생물에 미치는 불의 효과에 대하여. 식물학회지 11: 9-20.
- Ahlgren, I.F. and C.E. Ahlgren. 1960. Ecological effects of forest fires. Bot. Rev. 26: 483-533.
- Baker, H.G. 1974. The evolution of weeds. Annu. Rev. Ecol. Syst. 5: 1-24.
- Bazzaz, F.A. and S.T.A. Pickett. 1980. Physiological ecology of tropical succession: A comparative review. Annu. Rev. Ecol. Syst. 11: 287-310.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and D. Williams. 1983. Fire in forestry Vol. I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York. p. 450.
- Christensen, N.L. 1973. Fire and the nitrogen in California chaparral. Science 181: 66-68.
- Christensen, N.L. 1977. Fire and soil-plant nutrient relations in a pine wiregrass savanna on the Coastal Plain of North Carolina. Oecologia 31: 27-44.
- Clements, F.E. 1916. Plant succession: An analysis of the development of vegetation. Canegi Institution of Washington. pp. 242-512.
- Connell, J.H. and R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. Amer. Natur. 111: 1119-1144.
- Covington, W.W. and S.S. Sackett. 1984. The effects of a prescribed burn in southwestern ponderosa pine on organic matter and nutrients in woody debris and forest floor. Forest Sci. 30: 183-192.
- Daubenmire, R. 1968. Ecology of fire in grassland. Adv. Ecol. Res. 5: 209-266.
- DeBano, L.F. 1991. The effects of fire on soil properties. Proceedings-management and productivity of western-montane forest soils. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-280. pp. 151-156.
- DeBano, L.F., P.H. Dunn and L.E. Conrad. 1977. Fire's effect on physical and chemical properties of chaparral soils. In Proc. Int. Symp. on the Environmental

- Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean-Climate Ecosystems (Forests and Scrublands). USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WD-3. pp. 65-74.
- Douglas, C.W. and T.M. Ballard. 1971. Effects of fire on alpine plant communities in the North Cascades. Washington. *Ecology* 52: 1058-1064.
- Dunn, P.H. and L.F. DeBano. 1977. Fire's effect on the biological properties of chaparral soils. In Proc. Int. Symp. on the Environmental Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean-Climate Ecosystems (Forests and Scrublands). USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WD-3. pp. 75-84.
- 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 Korea. *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.
- 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. Asakura Book Co., Tokyo. pp. 34-43. (in Japanese).
- 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.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science, Philadelphia. 564 p.
- Pielou, E.C. 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the ecological succession. *J. Theoret. Biol.* 10: 370-383.
- Raison, P.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and soil* 51: 73-108.
- Raunkier, C. 1934. The Life form of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, Oxford. 633 p.
- Reich, P.B., M.D. Abrams, D.S. Ellsworth, E.L. Kruger and T.J. Tabone. 1990. Fire effects ecophysiology and community dynamics of central Wisconsin oak forest regeneration. *Ecology* 71: 2179-2190.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. The measurement theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana. p. 117.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Smith, D.W. 1970. Concentrations of soil nutrients before after fire. *Can. J. Soil Sci.* 50: 18-28.
- Spurr, S.H. and B.V. Barnes. 1980. Forest Ecology. 3rd ed. The Ronald Press Co., New York. p. 285.
- 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. 1974. Effects of forest fires on soil. In T.T. Koslowski and C.E. Ahlgren (eds.), Fire and Ecosystem. Academic Press Inc., New York. pp. 8-44.
- Vogl, R.J. 1964. The effects of fire on the vegetational composition of bracken-grasslands. *Trans. Wis. Acad. Sci. Arts Lett.* 53: 67-82.
- Wittaker, R.H. 1970. Communities and ecosystem. The Macmillan Co. Collier-Macmillan LTD., London. p. 162.
- Wittaker, R.H. and Woodwell. 1972. Evolution of natural communities. In J.A. Wiens (ed.), Ecosystem Structure and Function. Oregon State Univ. Ann. Biology Colloquia 31: 137-156.

(1999년 2월 11일 접수)

Effects of Fire on Forest Vegetation in Mt. Samma

Kim, Woen, Jung-Hye Park and Young-Ho Cho

Department of Biology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

ABSTRACT: Authors report the changes of the community structure and secondary succession after fire in Mt. Samma (333 m). Approximately six ha of the red pine (*Pinus densiflora*) forest and its floor vegetation were burned and cutted down. The vegetation and soil properties were investigated in the burned and unburned sites from April to October, 1998. The dominant species based on SDR₃ in the burned site were *Lespedeza cyrtobotrya* (96.87), *Quercus serrata* (77.90), *Cyperus amuricus* (46.22) and *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* (38.33), whereas the dominant species in the unburned site were *Pinus densiflora* (100.00) and *Q. variabilis* (66.10) at the tree layer, *Q. serrata* (100.00) and *Zanthoxylum schinifolium* (29.64) at the shrub layer, and *Q. serrata* (76.30) and *M. sinensis* var. *purpurascens* (72.84) at the herb layer. The biological spectra based on SDR₃ were Th-D₁-R₅-e for the burned and H (M)-D₁-R₅-e type for the unburned site, respectively. The index of similarity (CCs) between the burned and unburned sites was 0.41. The degree of succession (DS) were 609 for the burned and 1168 for the unburned site, respectively. The species diversity (H) and evenness indices (e) of the burned site were lower than those of the unburned site, but the dominance indices (C) was higher in the burned site. In the analysis of soil properties, pH, the content of NO₃⁻-N, available phosphorous, and exchangeable cations (K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺) in the burned site were higher than those in the unburned site, whereas the contents of organic matter, total carbon, total nitrogen and NH₄⁺-N were lower in the burned site. The results show that dominant species in the burned site change from *Miscanthus-Lespedeza* → *Lespedeza-Quercus* and finally to *Quercus* forest, and the changes of soil properties also affect the early vegetational succession after fire.

Key words: Fire, Secondary succession, Species diversity, Soil properties
