

산화후 소나무림의 이차천이와 종다양성

조영호·김 원

경북대학교 자연과학대학 생물학과

Secondary Succession and Species Diversity of *Pinus densiflora* Forest after Fire

Cho, Young-Ho and Woen Kim

Department of Biology, Kyungpook National University

ABSTRACT

A study on the secondary succession and species diversity was conducted at burned sites of which *Pinus densiflora* forest and its floor vegetation was almost destroyed by the forest fire in the Mts. Tödok, Sansöng and Palgong from 1977 to 1986.

The changes of vegetation during period the first year to 11th year after fire occurred *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens* → *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*-*Lespedeza cyrtobotyra* → *Lespedeza cyrtobotyra* → *Lespedeza cyrtobotyra*-*Quercus serrata* community. The biological spectra based on SDR₃(%) and SP(%) were H-D₁-R₅-e types. The species diversity generally decrease from *Miscanthus* to *Lespedeza* stage and reached minimum at stage of *Lespedeza*, and after that a little increase for *Lespedeza*-*Quercus* stage. The species distribution curves showed a decrease from *Miscanthus* to *Lespedeza* stage and slight increase at *Lespedeza*-*Quercus* stage in evenness.

서 론

식물군락은 환경의 물리화학적 특성에 따라 끊임없이 변화하며, 삼림생태계에서는 토양, 기후와 마찬가지로 경작, 국토개발, 홍수 및 산불 등이 이차천이를 유발시키는 원인이 된다(Odum, 1971).

외국의 경우, Ahlgren과 Ahlgren(1960)은 불이 삼림에 미친 영향 가운데서 토양환경에 관하여 조사하였고, 생물환경에 관해서는 관목식물의 질병과 식물의 천이 등에 관해 발표하였으며, Hanes(1971)는 California에서 산화후 chaparral의 천이에 관해서 보고했다. 천이가 진행되는 동안 종 다양성의 변화가 중요한데 그 이유는 생태계내의 생물적 무생물적 구성요소의 안정성과 연관이 있다(Whittaker; 1965, 1972, Pielou; 1966a, b, McIntosh; 1967, Peet; 1974). Whittaker(1965)는 종 다양성은 천이가 진행되는 동안 증가하거나 감소한다고 하였으며,

Auclair와 Goff(1971) 및 Horn(1974)은 종 다양성이 증가한 후 극상의 전단계에서 다소 감소한다고 하였으며, Monk(1967) 및 Shafi와 Yarranton(1973)은 천이의 초기단계에 종 다양성이 최고에 도달한 후 계속 감소한다고 보고하였으나 이에 대한 통일된 이론이 없는 실정이다.

우리 나라의 산화지에 관한 연구는 平尾(1941)가 처음으로 북한지방의 조사에서 불에 대한 내성이 소나무(*Pinus densiflora*)는 약하고 신갈나무(*Quercus mongolica*)는 강하다고 보고하였다. 이 외에도 Hong 등(1968), Lee(1968), 이(1980), 박과 김(1981), 강과 이(1982), Cho와 Kim(1983), 김과 조(1984), 김 등(1986), 및 조와 김(1991) 등의 많은 연구보고가 있다.

본 연구는 1977년부터 1986년까지 도덕산, 산성산 및 팔공산의 소나무림에 산불이 발생한 후 이차천이 과정을 규명할 목적으로 일차적으로 식생의 변화와 식생 단계별로 종 다양성의 변화를 조사 분석하였다.

조사지 개황

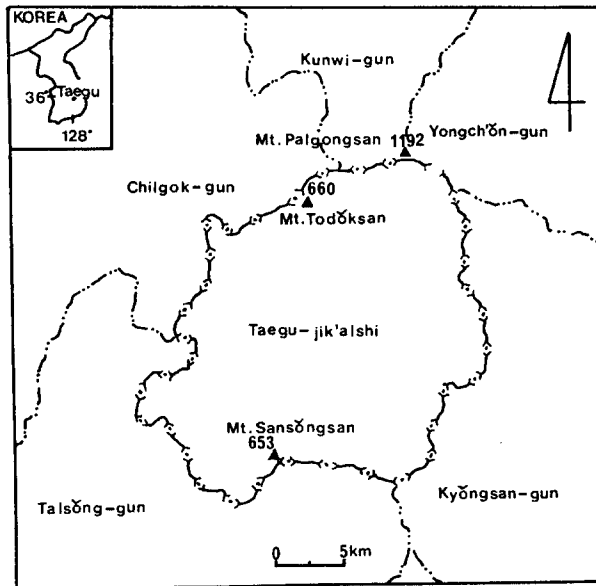


Fig. 1. A map showing investigated areas.

하면 연평균기온은 13.1°C, 최고기온은 39.5°C, 최저기온은 -17.6°C이며 연평균강수량은 1,011.8mm이며 식물의 생육기인 6월에서 9월 사이에 연평균강수량의 65% 이상이 내리고 있다(Fig. 2). 또한 온량지수는 107, 한냉지수 -12.6으로서 이 지역은 낙엽활엽수가 우점하는 온대에 해당된다(Yim, 1977).

조사방법

산화지의 식생조사는 1986년 8월부터 1990년 8월까지 산화 후 1년째, 2년째, 5년째, 7년째 및 11년째에 이차천이가 진행중인 지소에서 식피가 비교적 균일한 지점을 선정하여 실시하였다.

조사방법은 20m × 20m 영구방형구를 설치하여 1m² 소방형구 또는 4m² 소방형구를 각각 15

각 조사지는 1977년부터 1986년까지 소나무림에 산불이 일어난 지역으로 대구시 외곽의 도덕산, 산성산 및 팔공산에 위치하고 있으며 북위 35° 48' ~ 35° 59', 동경 128° 37' ~ 128° 43'에 분포하고 있다(Fig. 1). 각 조사지에 인접한 비산화지의 삼림식생은 소나무가 우점하고 있으며 참싸리(*Lespedeza cyrtobotyra*), 졸참나무(*Quercus serrata*), 억새(*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*), 산거울(*Carex humilis* var. *nana*) 등의 임상식생을 이루고 있다(Cho와 Kim; 1983, 김과 조; 1984, 조와 김; 1991).

기상조건은 대구측후소(해발 57m)의 기상자료(1951~1989)에 의

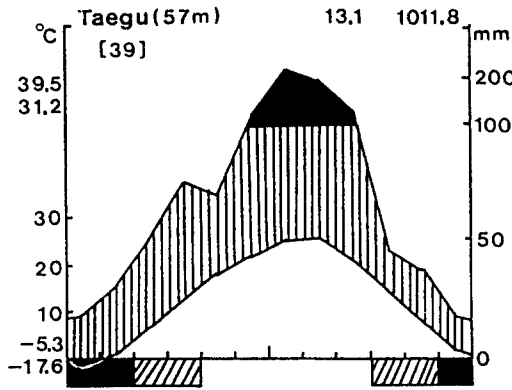


Fig. 2. The climate-diagram of Taegu for 39 years from 1951 to 1989.

개씩 표본 추출하여 이곳에 출현하는 식물의 종, 식물고, 피도 및 빈도를 조사하였다. 각 지소에 출현한 식물의 생활형(life-form)은 휴면형(dormancy form), 산포기관형(disseminule form), 근계형(radicoid form) 및 생육형(growth form)으로 구분하여 분석하였다.

적산우점도(summed dominance ratio: SDR_3)는 沼田와 依田(1957) 방법($SDR_3 = C' + H' + F' / 3$)으로 구하여 우점종을 산출하였다. 그리고 종다양성 지수(species diversity index)는 Shannon-Wiener(1949) 방법($H' = -\sum P_i \cdot \log P_i$, 균등성 지수(evenness index)는 Pielou(1966) 방법($e = H' / \log S$), 우점도 지수(dominance index)는 Simpson(1949) 방법($C = \sum P_i^2$)으로 각

각 구하였다.

그리고 종다양성 패턴을 알아보기 위해서 Whittaker(1972)가 제시한 우점도-다양성 곡선을 작성하였고 이 곡선의 평균기울기($As = S / \log S_1 - \log S^N$)를 측정하였다.

결과 및 고찰

적산우점도 및 생활형 조성

산화 후 경과년수에 따른 식생의 변화를 살펴보기 위해 그 군락에서 우점도가 비교적 높은 종

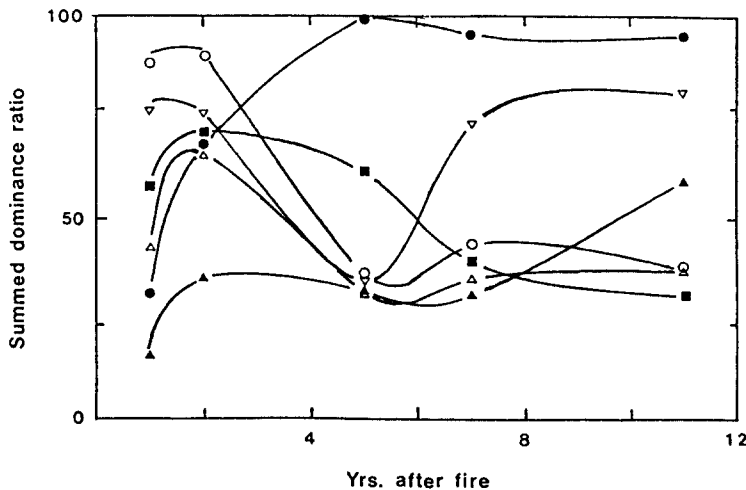


Fig. 3. Variation of the summed dominance ratio(SDR_3) for major constituent species in the burned sites.

- : *Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*, ■ : *Pueraria lobota*, ▽ : *Quercus serrata*,
- : *Lespedeza cyrtobotrya*, ▲ : *Quercus dendata*, △ : *Carex humilis* var. *nana*.

들을 Fig. 3 에 나타내었다.

억새는 산화 후 1, 2년 째에 우점도가 높았으나 이 이후 점차 감소하였으며, 강호광성 식물인 칩(*Pueraria lobota*)도 초기에 비교적 높은 우점도를 유지하였으나 천이가 진행되면서 토양의 표면에 도달하는 광량의 감소로 점차 우점도가 낮아졌다. 이 결과는 박과 김(1981)의 보고에서 산화직 후 칩이 우점하였다가 점차 감소한다는 결과와 유사하였다. 그리고 불에 대한 내성이 강한 수종중의 하나인 줄참나무는 맹아(萌芽)가 많이 발생되어 초기에 높은 우점도를 나타내었으나 참싸리의 우점도가 급격히 증가하여 상대적으로 점차 낮아졌다가 산화 후 5년째 이후부터 점차 증가하여 산화지에서 우점종으로 출현할 것으로 예상되었다. 관목류인 참싸리의 우점도는 점차 증가하여 산화 후 5년째에 우점종으로 출현하였다.

이상의 결과에서 산화지에서의 식물군락의 천이는 억새→억새-참싸리→참싸리→참싸리-줄참나무군락 순으로 이루어지며 이 이후는 줄참나무 군락으로 천이가 진행될 것으로 예상된다.

산화지의 휴면형은 반지중식물(H), 산포기관형은 풍산포형(D₁), 근계형은 단립식물(R₅), 생

Table 1. The life-form spectra based on SDR₃(%) and SP(%) in the burned sites.

Life form	1st		2nd		5th		7th		11th(yr.)		
	SDR ₃	SP	SDR ₃	SP	SDR ₃	SP	SDR ₃	SP	SDR ₃	SP	
Do	M	19.7	5.8	24.4	14.3	23.8	17.1	21.8	14.6	28.2	14.6
	N	20.8	13.5	20.8	14.3	22.4	17.1	21.8	17.1	21.3	12.2
	H	39.4	46.2	40.4	42.9	35.6	34.1	28.7	31.7	26.5	29.3
	G	15.1	19.2	11.1	18.4	11.3	17.1	22.7	29.3	19.2	34.2
	Th	5.4	15.4	3.3	10.2	6.9	14.6	5.2	7.3	4.9	9.8
D	D ₁	46.0	51.9	43.9	49.0	39.4	48.8	51.0	46.3	48.3	51.2
	D ₂	5.1	5.8	5.5	6.1	7.2	7.3	4.6	7.3	2.5	4.9
	D ₃	26.0	19.2	26.5	20.4	28.8	19.5	27.2	22.0	23.9	14.6
	D ₄	22.9	23.1	24.1	24.5	24.6	24.4	17.2	24.4	25.4	29.3
R	R ₃	25.2	19.2	22.6	18.4	18.9	14.6	30.0	29.3	29.0	31.7
	R ₄	3.6	3.8	2.4	4.1	4.8	2.4	2.6	2.4	1.1	2.4
	R ₅	71.2	76.9	75.0	79.6	76.3	82.9	67.4	68.3	69.9	65.9
G	e	40.7	44.2	44.3	46.9	52.3	56.1	55.3	56.1	58.8	58.5
	b	3.6	11.5	6.3	10.2	8.6	9.8	13.7	14.6	13.6	12.2
	t	18.2	7.7	21.7	6.1	8.3	7.3	17.7	4.9	12.4	7.3
	l	18.8	11.5	14.5	10.2	12.6	9.8	6.6	7.3	4.4	4.8
	p	3.0	1.9	1.9	2.0	4.8	2.4	2.6	2.4	1.1	2.4
	pr	10.5	15.4	7.8	14.3	7.4	9.8	0.3	2.4	6.8	9.8
	ps	3.0	3.8	2.4	6.1	4.9	2.4	0.2	2.4	1.7	2.4
	r	2.3	3.8	1.1	4.1	1.0	2.4	3.6	9.8	1.1	2.4
		Biological type				H-D ₁ -R ₅ -e					

Note: Do: Dormancy form(M: Mega & Mesophanerophyte, N: Nanophanerophyte, H: Hemicryptophyte, G: Geophyte, Th: Therophyte), D: Disseminule form(1: Anemochore & Hydrochore, 2: Zoochore & Brotochore, 3: Mechanical propulsion, 4: Clitochore), R: Radicoid form(3: 10/ > d, 4: Runner and/or Struck root, 5: Tuber, Bulb, Corm, Soil root), G: Growth form(e: erect, b: branched, t: tufted, l: liane, p: prostrate, pr: partial rossete, ps: pseudo-rossete, r: rossete form).

육형은 직립형(e)으로 생활형 조성은 적산우점도와 종수에서 공히 H-D₁-R₅-e 형으로 산화 후 경과년수에 따른 큰 변화는 없었다. 다만, 산화 후 11년째에 대형지상식물(M)이 적산우점도에서 반지중식물보다 약간 높았는데 이는 천이가 진행됨에 따라 교목류의 우점도가 점차 증가하는데 기인한다고 생각된다(Table 1).

이상의 결과는 이(1980), 강과 이(1982), 조와 김(1983) 및 조와 김 (1991)의 보고와 유사한 경향이였다.

종 다양성 및 우점도-다양성 곡선

종다양성 지수는 산화 후 1년째에 1.36으로 최고에 도달한 후 점차 감소하여 5년째의 참싸리 군락 단계에서 0.98로 최저에 도달한 후 참싸리-졸참나무군락 단계에서는 약간 증가하는 경향이었고 졸참나무군락으로 천이가 계속 진행되면 점차 낮아져 일정한 수준을 유지할 것으로 사료된다. 균등성 지수는 종다양성 지수와 유사한 경향이었고 우점도 지수는 반대의 경향이였다 (Table 2, Fig. 4).

이상의 결과는 Shafi와 Yarranton(1973)이 Ontario주의 Cochrane지역의 산화지에서 종다양

Table 2. Indices of species diversity(H'), evenness(e) and dominance(C), and average slope of dominance-diversity curve(As) in the burned sites.

Year	H'	e	C	As
1st	1.36	0.81	0.07	21.7
2nd	1.20	0.75	0.10	18.6
5th	0.98	0.61	0.24	14.2
7th	1.20	0.75	0.09	13.0
11th	1.20	0.75	0.09	14.4

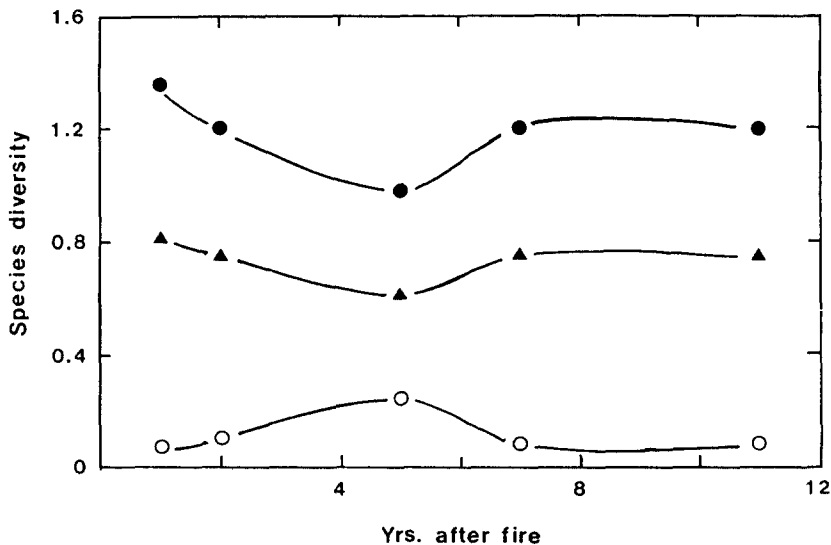


Fig. 4. Variation of the indices of species diversity(●-●-●), evenness(▲-▲-▲) and dominance(○-○-○) in the burned sites.

성 지수가 초기단계에 최고에 도달한 후 대체로 감소한다는 보고와 비슷한 경향이었다.

Whittaker(1965, 1972)가 제시한 우점도-다양성 곡선(Fig. 5)을 작성하여 곡선의 평균기울기(Table 2)를 측정하여 산화 후의 경과년수에 따른 값의 변화를 비교한 결과 1년째에 21.7로 최고에 도달한 후 점차 감소하여 5년째에 14.2로 점차 급해져서 다양성은 점차 낮아지는 경향이었고 이 이후는 큰 변화가 없었다. 이상의 결과를 종합해볼 때 교목류의 우점도가 높아지는 참싸리-줄참나무군락 단계에서는 식물군락이 안정되어가고 있다고 생각된다.

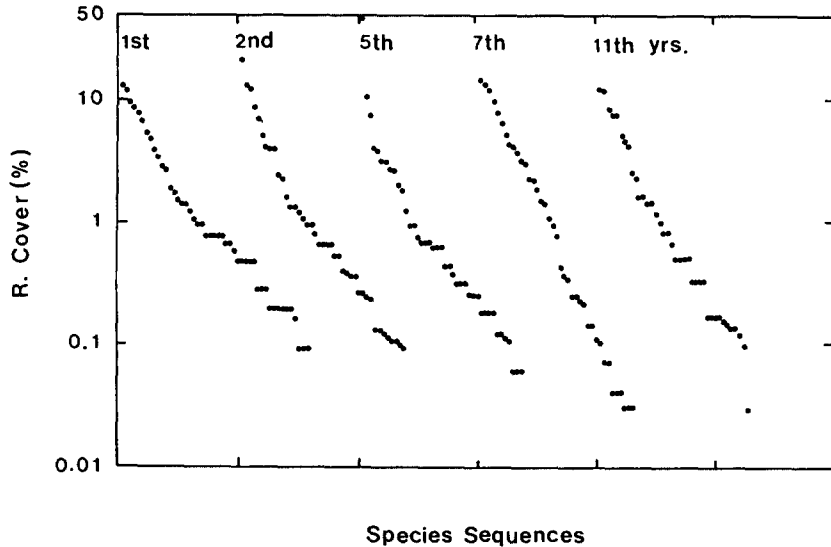


Fig. 5. Dominance-diversity curves in the burned sites at the differentiated times. Ordinate is the logarithm of relative cover for species.

적 요

대구시 외곽에 위치하고 있는 도덕산, 산성산 및 팔공산에서 1977년부터 1986년까지 발생한 산불로 인하여 소나무림과 임상식생이 파괴된 후 1년째, 2년째, 5년째, 7년째 및 11년째 되는 지소를 표본추출하여 이차천이 과정과 종다양성의 변화를 조사하였다.

산화지의 식생변화는 억새→억새-참싸리→참싸리→참싸리-줄참나무군락이었고 이후는 줄참나무군락으로 이차천이가 진행될 것으로 예상된다. 생활형 조성은 H-D₁-R₅-e 형으로 산화 후 경과년수에 따른 변화는 없었다.

종다양성과 균등성 지수는 산화 후 5년째까지는 감소하다가 교목인 줄참나무의 우점도가 증가하는 5년째 이후는 다소 증가하는 경향이었고 우점도지수는 반대의 경향을 나타내었다. 우점도-다양성 곡선의 평균기울기는 산화 후 이차천이과정 초기에는 감소하다가 5년째 이후에는 다소 안정된 경향이였다.

인용문헌

- Ahlgren, I.F. and C.E. Ahlgren. 1960. Ecological effects of forest fire. *Bot. Rev.* 26:483-533.
- Auclair, A.N. and F.G. Goff. 1971. Diversity relations of upland forests in the Western Great Lakes area. *Am. Nat.* 105:499-528.
- Cho, Y.H. and W. Kim. 1983. The secondary vegetation and succession of the forest fire area of Nae-Hak dong, Mt. Palgong. *Korean J. Ecol.* 6:22-32.
- 조영호 · 김 원. 1991. 산화후 도덕산 소나무림의 초기식생 회복과 종다양성. *한생태지.* 14:15-23.
- Hanes, T.L. 1971. Succession after fire in the chaparral of southern California. *Ecol. Monogr.* 41:27-52.
- 平尾經信. 1941. 北鮮地方の山火跡地の植生-考察. *日本林學會誌* 23(10):10-13.
- Hong, S.W., Y.C. Han and Y.K. Choi. 1968. Some effects of fire on vegetation, soil and soil microflora adjacent to DMZ in Korea. *Kor. J. Bot.* 11(4):9-20.
- Horn, H.S. 1974. The ecology of secondary succession. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5:25-37.
- 강상준 · 이종태. 1982. 산화적지의 식생회복에 관한 생태학적 연구. *한생태지.* 5:54-62.
- 김 원 · 조영호. 1984. 산성산 산화적지의 식생재생과 2차천이. *한생태지.* 7:203-207.
- 김 원 · 박창규 · 조영호. 1986. 팔공산의 산화적지의 2차식생과 2차천이. *경북대 논문집* 42:183-192.
- Lee, I.K. 1968. A study on the distribution of *Pinus densiflora* in DMZ area. *Kor. J. Bot.* 11:21-29.
- 이우철. 1980. 산화적지의 2차천이에 관한 연구-초기식생군락 발달에 관하여. *강원대 논문집* 14:285-292.
- McIntosh, R.P. 1967. An index of diversity and the relation on certain concepts to diversity. *Ecology* 48:392-404.
- Monk, C.D. 1967. Tree species diversity in the eastern deciduous forest with particular reference to north central Florida. *Amer. Nat.* 101:173-187.
- 沼田眞 · 依田恭二. 1957. 人工草地の群落構造と遷移 I. *日草地研會誌* 3:4-11.
- Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of ecology*. 3rd ed. W.B. Saunders Co., Philadelphia. pp. 144
- 박봉규 · 김종희. 1981. 치악산의 식생과 토양에 미친 산불의 영향. *한식지.* 24:31-45.
- Peet, R.K. 1974. The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Eco. Syst.* 5:285-307.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13:131-144.
- Pielou, E.C. 1966a. Species-diversity and pattern-Diversity in the study of ecological succession. *J. Theoret. Biol.* 10:370-383.
- Pielou, E.C. 1966b. The measurement of diversity in different types of biological

- collections. *J. Theoret. Biol.* 13:131-144.
- Shafi, M.J. 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. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant community. *Science* 147:250-260.
- Whittaker, R.H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21:213-251.
- Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korea Peninsula. IV. Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. *Jap. J. Ecol.* 27:269-278.
- 중앙기상대. 1989. 한국의 기후표. 서울.

(1992년 7월 1일 접수)