

시화호 초지대의 계획소각에 의한 조류군집의 영향^{1a}

유승화²·강태한³·백인환⁴·김호준⁴·이한수³·김인규^{3*}

Effect of Prescribed Burning to Avian Community in Sihwa Grassland, Korea^{1a}

Seung-Hwa Yoo², Tae-Han Kang³, In-Hwan Paik⁴, Ho-Joon Kim⁴, Han-Soo Lee³, In-Kyu Kim^{3*}

요약

시화호 초지대의 소각에 의한 조류의 서식 영향에 대한 연구는 2007년 3월에서 10월까지 경기도 화성시 마도면 송정리 인근 시화호간척지의 초지에서 실시하였다. 계획소각은 2007년 2월 28일에서 3월 1일까지 시화호 간척지의 초지 중 육상부에 인접한 지역에 대해 실시하였다. 소각지역에서는 총 30종 최대개체수 합계 181개체의 조류가 관찰되었으며, 존치지역에서는 24종 최대개체수 합계 154개체가 관찰되어 소각지역의 관찰조류 종수와 개체수가 높았다. 하지만 우점종은 소각지와 존치지간에 차이가 없었다. 수조류와 산림성조류를 제외한 소각지와 존치지의 평균 종수, 평균개체수, 종 다양도, 종 풍부도는 차이가 없었다. 초기의 군집특성은 계획소각에 의하여 변화하였지만, 후기에는 차이가 감소하였다. 계획소각에 의한 서식지 교란은 일시적으로 새로운 서식지 및 취식장소를 제공하였다. 계획소각이 목본식물의 유입을 차단하여 초지생태계를 유지하는 효과적인 방법이며, 주기적인 계획소각이 초지생태계를 유지 및 관리하는 효율적인 방안임을 제안하고자 한다.

주요어 : 들불, 초지 생태계, 소각영향, 생태적 영향, 천이변화

ABSTRACT

This study was presented to effect of prescribed burning to the avian fauna and was conducted from March to October 2007 in Sihwa grassland, Gyeonggi-do, Korea. Prescribed burning was conducted at Sihwa grassland of Songjeong-ri Mado-myeon, Hwaseong city from 28th February to 1st March 2007. Thirty birds species were observed and sum of the maximum count was 181 individuals at the prescribed burning area for all survey time. Observed species was 24 species and sum of the maximum count was 154 individuals on the

1 접수 2008년 12월 31일, 수정(1차: 2009년 4월 22일, 2차: 2009년 5월 28일, 3차: 2009년 8월 12일), 게재확정 2009년 8월 20일

Received 31일 December 2008; Revised(1st: 22 April 2009, 2nd: 28 May 2009, 3rd: 12 August 2009); Accepted 20 August 2009

2 서울대학교 환경대학원 Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University. Seoul(151-742), Korea.

3 한국환경생태연구소 Korea Institute of Environmental Ecology, Daejeon(305-509), Korea

4 한국수자원공사 수자원연구원 Korea Water Solution Corporation, Daejeon(306-711)

a 본 연구는 한국수자원공사의 “송산그린시티 생물다양성 관리방안연구”의 일환으로 수행되었음.

* 교신저자, Corresponding author (ikkim@kienv.co.kr)

unburned area. Number of species and sum of the maximum count at the prescribed burning area was greater than unburned area. There is no differences in the dominant species between prescribed and unburned area. Average number of species, number of individuals, species diversity and species richness of the prescribed burning area were greater than unburned area in early stage (from March to June) after prescribed burning. Community indices in burned area during early season were different with unburned area by prediscrbed burning. However, the indices had became similar between burned and unburned area as time goes by. Disturbance by prescribed burning created new habitat and feeding site temporarily for the avian species in grassland. We would suggest that prescribed burning is most effective method to maintain grassland ecosystem from the invading bush or tree and periodical prescribed burning is a good method to preserve and manage the grassland ecosystem.

KEY WORDS : GRASSLAND FIRE, GRASSLAND ECOSYSTEM, EFFECT OF FIRE, ECOLOGICAL EFFECT, CHANGE OF SUCCESSION

서론

조류의 다양성은 서식지의 식생 구조와 밀접한 관계가 있다(Willson, 1974). 들불은 초지 천이의 주요 요인 중의 하나으로써 안정된 초지생태계를 교란시켜 천이의 방향을 바꾸어 놓는 기능을 하며(Lee *et al.*, 1999), 자연환경을 변화시키는 주요 요인 중 하나이다(Cope and Chaloner, 1985; Perry, 1998). 따라서 식생의 구조를 일시에 변화시킬 수 있는 들불은 조류서식에 지대한 영향을 끼칠 가능성이 있다.

자연상태에서 초지에 불이 나는 것은 간헐적으로 발생하는 현상이다(Turner and Bratton, 1987). 아프리카의 사바나, 북미의 대평원에서 인위적이지 않거나 자연적으로 발생한다. 하지만 산업화 이후 인간의 관리로 들불은 오히려 감소하였다(Kitzberger and Veblen, 1999). 초지에서 발생하는 불은 목본식물의 유입과 성장을 억제하는 효과가 있기 때문에 초지생태계를 지속적으로 유지하여 초지에 국한하여 서식하는 종을 보호하는 역할을 한다(Primack, 1993). 실제로 초지지역에서 불이 나는 것을 억제하자 목본식물이 침입하여 전체경관이 변화한다는 연구결과가 있다(Kitzberger and Veblen, 1999). 따라서 초지에서 서식하는 특정 생물을 부양하거나 보전하기 위하여 일정정도의 초지를 인위적으로 소각하는 계획소각¹⁾을 하기도 한다(Stutzenbaker and Weller, 1989; Primack, 1993).

본 연구의 대상지역인 경기도 시화호 남측간척지의 서측형도에서 동측 시화호 인공습지까지 초지 식생은 주로 산조풀(*Calamagrostis epigeios*), 락(Imperata cylindrica var. koenigii), 갈대(*Phragmites communis*), 철면초(*Suaeda japonica*), 등이 서식하며, 산조풀과 락, 갈대와 산조풀, 철면초와 락 등의 혼합군락 또한 존재하는 초지우점 지역이다(Korea Water Resource Corporation: KWRC, 2005). 이러한 초지지역은 다양한 종류의 맹금류(Raptors)와 꿩(*Phasianus colchicus*), 종다리(*Alauda arvensis*) 등 초지를 서식지로 하는 참새목 조류가 관찰된다(KWRC, 2005). 뿐만 아니라, 본 지역은 일부가(15.9km²) 「화성고정리의공룡알화석산출지」로서 천연기념물 414호(2000. 3. 21)로 지정되어 보호되고 있다(Cultural Heritage Administration: CHA, 2003).

산지의 소각(산불)에 의한 동물의 서식에 대한 영향은 몇몇 연구(Han *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008)가 진행되었다. 하지만 초지 소각(들불)이 자연생태계에 대한 영향은 우리나라에 대규모 초지가 없을 뿐 아니라 산불에 비하여 관심도가 떨어져 연구가 적은 실정이다. 본 연구에서 진행 된 초지 소각에 의한 야생조류에 대한 영향은 지금까지 국내에서는 시도되지 않은 연구라 할 수 있다. 본 연구는 일정면적의 초지를 계획적으로 소각한 후, 소각지와 존초지의 서식조류를 정량적으로 비교하여 계획소각에 의한 조류서식의 영향과 변화상을 알아보고, 향후 초지생태계를 유지관리하기 위한 계획소각의 타당성을 살펴보고자 한다.

1) 계획소각(prescribed burning): 기존의 논문에는 '인위적 입화' 또는 '처방화입(處方火入)' 등의 용어로 번역하고 있으나(Odum, 2001), 본 용어는 원의미를 살리기 위하여 본 저자가 제안하는 용어임.

연구 및 분석방법

1. 연구 시기 및 범위

조류 조사는 2007년 3월에서 10월까지 모두 7회 조사하였다. 소각 직후인 3월에 2회 조사를 실시하였으며, 이후 변화양상을 파악하기 위하여 4월, 5월, 6월, 9월, 10월에 각 1회씩 조사하였다.

조사지역은 경기도 화성시 비봉면과 마도면의 시화호 간척지에 인접한 초지로서, 산조풀, 갈대, 띪, 산조풀과 띪군락이 우점한 지역이다(KWRC, 2005; Figure 1). 소각지는 남북으로 4km 정도 길게 늘어져 있으며, 동서방향으로 폭이 좁은 곳은 200m 넓은 곳은 400m 였다.

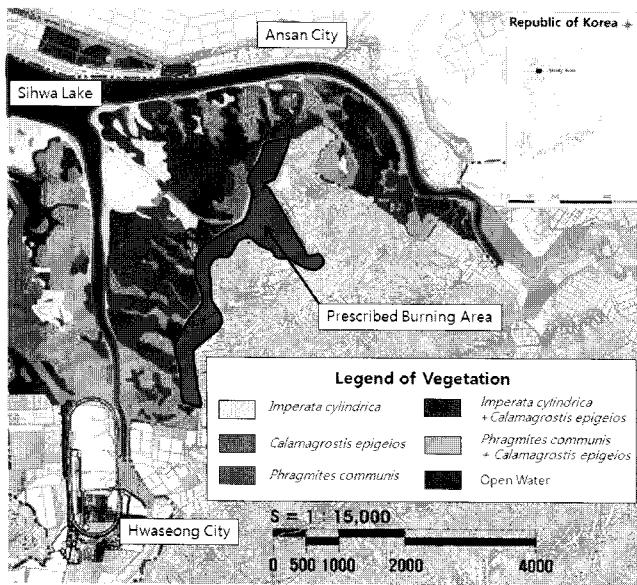


Figure 1. Study area, prescribed burning area and vegetation map of Sihwa grassland.

2. 연구방법

가. 초지의 소각

2007년 2월 28일에서 3월 1일까지 시화호 간척지의 초지 중 육상부에 인접한 지역에 대해 계획소각을 실시하였다(Figure 2). 불이 크게 번지지 않도록 계획된 소각지역의 외곽선을 불도저를 이용하여 5m 폭의 선형으로 식생을 제거하여 방화선을 구축한 후 소각하였다. 소각 시 바람의 방향과 강도를 고려하여 다른 지역으로 번지지 않도록 하고, 일정 방향으로 순차적으로 소각하였다(Payne, 1992).

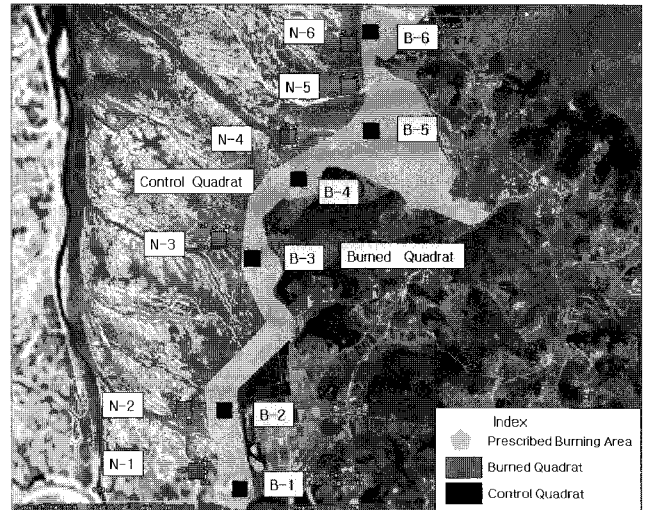


Figure 2. Survey quadrat position of the burned and unburned area around the prescribed burning area.

나. 조류서식 조사

쌍안경(Leica 8×32BN)을 이용하여 지정된 방형구 내에서 관찰되는 조류의 종과 개체수를 기록하였다. 휴대용 GPS(GARMIN e-Tracks Legend)를 이용해 가상의 방형구(100×100m)를 정사각형으로 설정하고 20m 간격으로 남북 방향으로 왕복하며 방형구 내에서 관찰되거나 서식흔적이 있는 조류에 대하여 전수조사를 실시하였다. 진흙 바닥 등에서 1주일 이내에 새롭게 흔적이 발생된 썩은 발자국이나 분변을 확인하게 될 경우(Choi et al., 2006), 결과에 서식종으로 포함하였다. 세력권의 넓이가 작은 소형 참새목 조류의 경우 해당 방형구 내에서 관찰된 것을 기록하였고, 세력권이 넓거나 이동성이 강한 맹금류, 백로류 등은 방형구 경계로부터 50m 이내의 지역에서 관찰된 경우는 서식조류에 포함하였다.

3. 분석방법

조류상에 대한 결과 분석은 초기(3, 4, 5, 6월)와 후기(9, 10월)에 소각지와 존치지의 차이를 종의 조성, 종 수와 개체

2) 휴대용 GPS의 지도를 남북방향으로 고정된 후, 현 기준점에서 정북 및 정동방향으로 100m씩 커서를 이용하여 좌표점을 생성하면 현재지점 포함 3개의 좌표점을 생성할 수 있다, 마지막 좌표점은 정북 혹은 정동 방향으로 좌표점으로 이동하여 정동 혹은 정북 방향으로 GPS의 커서를 100m 이동하여 생성할 수 있음. 기동이나 경시줄 등을 설치할 필요가 없으며, 훼손되어 조사에 지장이 생길 우려가 없으나, 명확한 경계구분은 불가능함.

수(밀도), 종다양도, 종풍부도, 군집유사도 등을 비교·분석하였다. 종의 구성을 제외한 종의 수와 개체수, 종다양도, 종 풍부도의 비교는 각 시기별로 Mann-Whitney U-test 를 실시하였다.

일반적으로 군집의 특성 비교는 유사도 지수(CCs, CCj)를 이용하지만, 종구성만을 고려하지 않고 개체수의 유사성도 고려하는 것이 필요하다(Lee, 2000). 따라서 군집 특성의 차이 분석하기 위해 종다양성 지수에서 유추된 Ro (Horn's index of community overlap) 지수를 이용하여 (Brower et al., 1990; Lee, 2000; Kim, 2008), 소각지와 존치지역의 군집에 대한 집괴분석을 실시하였다. 도출된 유사도지수를 MVSP version 3.0 프로그램을 이용하여 UPGMA (unweighted pair-group mean average) 집괴분석을 시행하였다. 유클리디안 거리(euclidean distance)를 척도로 하고, 평균연결법을 사용하여 수지도(dendrogram)로 표시하였다. 집괴분석시 조사된 결과 중 초지에 의존적이지 않은 백로류, 도요류, 오리류, 할미새류 등은 분석에서 제외하였다. 하지만 초지에서 번식하거나 초지의 먹이에 의존적으로 서식하였던 흰뺨검둥오리, 중부리도요 등은 분석에 포함하였다. 본 연구의 분석에 이용된 공식은 다음과 같다.

$$\text{○ 우점도(Dom.)} = \frac{\text{해당 종의 개체수}}{\text{관찰 지역 내 총 개체수}} \times 100$$

$$\text{○ 종다양도}(H') = -\sum(n_i/N) \times \ln(n_i/N) \quad \left[\begin{array}{l} N; \text{ 총 개체수} \\ n_i; \text{ } i \text{ 종의 개체수} \end{array} \right.$$

$$\text{○ 종풍부도 지수}(Da) = (s - 1) / \ln(N)$$

s : 전체 종수, N: 총 개체 수

$$\text{○ 유사도 지수}(Ro) = (H'_4 - H'_3) / (H'_4 - H'_5)$$

$$H'_3 : [N \ln(N) - \sum \{(x_i + y_i) \ln(x_i + y_i)\}] / N$$

$$H'_4 : [N \ln(N) - \{\sum x_i \ln(x_i) + \sum y_i \ln(y_i)\}] / N$$

$$H'_5 : [N_1 H'_1 + N_2 H'_2] / N$$

(N : 1집단과 2집단에서 관찰된 총 개체수의 합, x_i : 1 집단 내 한 종의 개체수, y_i : 2 집단 내 한 종의 개체수, N_1 : 1 집단의 총 개체수, N_2 : 2 집단의 총 개체수, H'_1 : 1 집단의 H' , H'_2 : 2집단의 H')

연구결과

1. 전체 조류상의 영향

소각지와 존치지역에 대하여 7회(3월 2회, 4, 5, 6, 9, 10월 각 1회) 조사한 결과 38종 최대개체수 합계 513 개체로

조사되었다(Table 1). 이 중 소각지역은 30종 최대개체수 합계 181개체, 존치지역의 경우 24종 154개체가 조사되어, 소각지역이 종과 개체수에 있어 많았다. 소각지역과 존치지역의 우점종을 비교한다면, 종다리(*Alauda arvensis*), 꿩(*Phasianus colchicus*), 개개비사촌(*Cisticola juncidis*)이 상위로 분류되는 공통점이 있었다. 하지만 존치지역에 비하여 소각지역에는 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*), 까치(*Pica pica*), 멧비둘기(*Streptopelia orientalis*), 개똥지빠귀(*Turdus naumanni*)가 상위에 해당하였으며, 존치지역은 소각지역에 비하여 개개비(*Acrocephalus orientalis*), 붉은머리오목눈이(*Paradoxornis webbiana*)가 상위 우점종에 해당되었다. 결과적으로 최우점종의 구성은 큰 변화가 없었지만 일부 종에서의 차이는 존재하였다.

2. 소각지와 존치지역에서의 초지성 조류 서식차이

소각지와 존치지의 각 방형구에서의 조류의 평균 서식종수, 평균 서식 개체수(서식밀도), 종다양도의 변화와 차이를 살펴보았다.

평균서식 종의 수는 소각지역과 존치지 사이에 유의한 차이가 없었다(Mann-Whitney U-test, 3월: $Z=-0.78$, $p=0.43$, 4월: $Z=-0.98$, $p=0.33$, 5월: $Z=-0.08$, $p=0.93$, 6월: $Z=-0.58$, $p=0.56$, 9월: $Z=-1.66$, $p=0.10$, 10월: $Z=-0.27$, $p=0.78$, Figure 3-A). 하지만 초기(3월에서 6월)에는 소각지역의 종의 수가 높다가 후기에 존치지 낮거나 유사한 양상을 보였다.

평균 서식 개체수 또한 각 시기별로 통계적 유의한 차이는 없었다(3월: $Z=0.00$, $p=0.98$, 4월: $Z=-0.98$, $p=0.33$, 5월: $Z=-0.57$, $p=0.57$, 6월: $Z=-0.89$, $p=0.37$, 9월: $Z=-1.70$, $p=0.09$, 10월: $Z=-0.45$, $p=0.65$, Figure 3-B). 하지만 소각지역이 초기에는 높은 값을 가졌지만, 시간이 지날수록 낮은 값을 가지거나 비슷한 수치로 변화하였다.

종다양도는 전체적 변화양상이 종의 수 변화와 매우 유사하였으며, 각 조사시기별로 소각지역과 존치지역간 통계적 유의한 차이는 없었다(Mann-Whitney U-test, 3월: $Z=-1.13$, $p=0.26$, 4월: $Z=-0.90$, $p=0.37$, 5월: $Z=-0.24$, $p=0.81$, 6월: $Z=-0.32$, $p=0.75$, 9월: $Z=-1.45$, $p=0.15$, 10월: $Z=-0.27$, $p=0.78$, Figure 3-C). 하지만 소각지역과 존치지역의 차이는 후기로 갈수록 차이가 작아지거나 낮은 종다양도를 보였다.

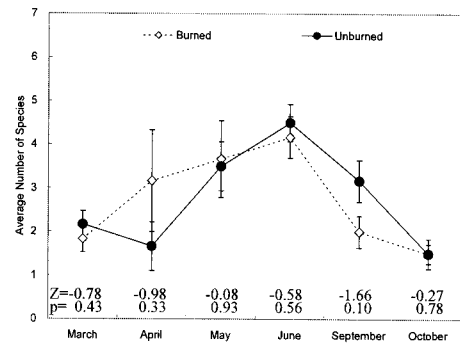
종 풍부도의 측면에서 또한 소각지역과 존치지역간 통계적 유의한 차이는 없었다(Mann-Whitney U-test, 3월: $Z=-1.06$, $p=0.29$, 4월: $Z=-0.82$, $p=0.41$, 5월: $Z=-0.56$, $p=0.57$, 6월: $Z=-0.56$, $p=0.57$, 9월: $Z=-0.65$, $p=0.52$, 10월: $Z=-0.37$, $p=0.72$, Figure 3-D). 하지만 후기에는 소각지역

Table 1. Avian fauna and dominant rate of the prescribed burning area and unburned area by maximum counts from March to October (N=6).

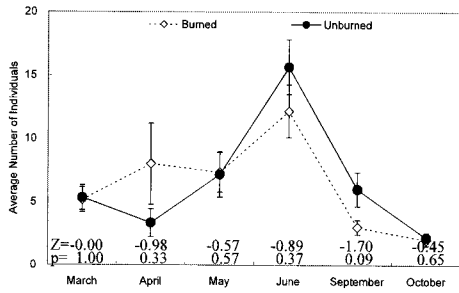
Scientific Name	Korean name	Max. counts in each area ^S			Dom. (%)
		Burned (6)	Unburned (6)	Total (12)	
<i>Nycticorax nycticorax</i>	해오라기	2	1	5	1.0
<i>Egretta alba alba</i>	대백로	1	3	5	1.0
<i>Egretta alba modesta</i>	중대백로	3	3	9	1.8
<i>Egretta garzetta</i>	쇠백로	4		8	1.6
<i>Ardea cinerea</i>	왜가리	1	2	4	0.8
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	16	4	36	7.0
<i>Accipiter gentilis</i>	참매	1		2	0.4
<i>Accipiter nisus</i>	새매	1		2	0.4
<i>Buteo hemilasius</i>	큰말뚝가리	1		2	0.4
<i>Buteo buteo</i>	말뚝가리	4		8	1.6
<i>Circus cyaneus</i>	갯빛개구리매	2		4	0.8
<i>Circus melanoleucos</i>	알락개구리매		2	2	0.4
<i>Falco subbuteo</i>	새홀리기		4	4	0.8
<i>Falco tinnunculus</i>	황조롱이	3	4	10	1.9
<i>Coturnix coturnix</i>	메추라기	2	2	6	1.2
<i>Phasianus colchicus</i>	꿩	28	23	79	15.4
<i>Charadrius placidus</i>	흰목물떼새		1	1	0.2
<i>Tringa ochropus</i>	뺨뺨도요	1	1	3	0.6
<i>Numenius phaeopus</i>	중부리도요		4	4	0.8
<i>Gallinago gallinago</i>	깍도요	1	1	2	0.4
<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기	5		10	1.9
<i>Upupa epops</i>	후투티	3	2	6	1.2
<i>Picus canus</i>	청딱다구리	1		2	0.4
<i>Alauda arvensis</i>	종다리	44	35	123	24.0
<i>Motacilla flava</i>	긴발톱할미새	1	4	6	1.2
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	직박구리	2		4	0.8
<i>Saxicola torquata</i>	검은딱새		4	4	0.8
<i>Turdus naumanni</i>	개똥지빠귀	5		10	1.9
<i>Paradoxornis webbiana</i>	붉은머리오목눈이		11	11	2.1
<i>Acrocephalus orientalis</i>	개개비	7	12	26	5.1
<i>Cisticola juncidis</i>	개개비사촌	17	24	58	11.3
<i>Parus palustris</i>	쇠박새	2		4	0.8
<i>Parus major</i>	박새	3		6	1.2
<i>Emberiza cioides</i>	멧새	6	2	14	2.7
<i>Emberiza pallasi</i>	북방검은머리쭉새		4	4	0.8
<i>Emberiza schoeniclus</i>	검은머리쭉새	2		4	0.8
<i>Pica pica</i>	까치	12		24	4.7
<i>Corvus corone</i>	까마귀		1	1	0.2
number of species		30	24	38	
number of individuals		181	154	513	
species diversity (H')		3.0	2.9	3.0	
species richness (Da)		5.6	4.6	5.9	

S: Sample size were represented in parenthesis

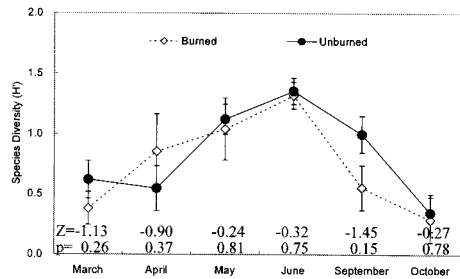
Bold number and species mean the species only recorded in burned or unburned site



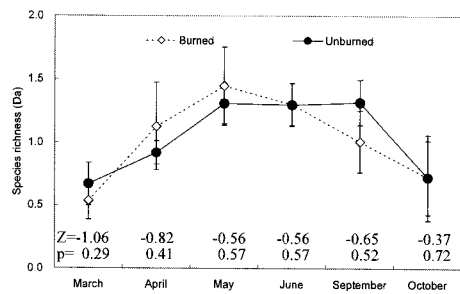
(A)



(B)

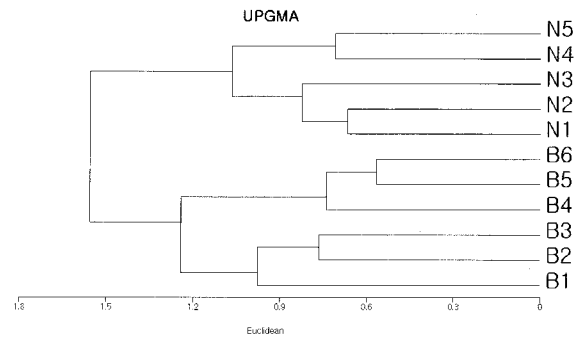


(C)

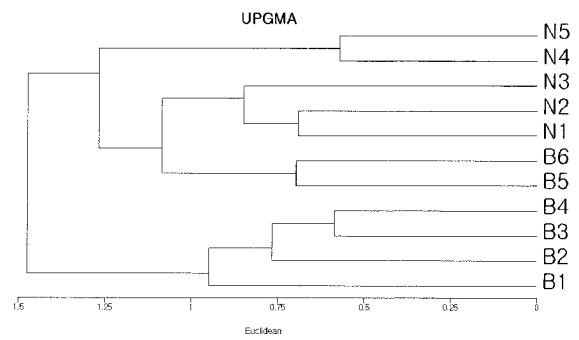


(D)

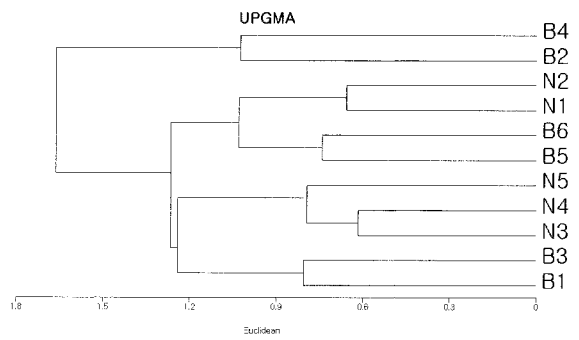
Figure 3. Fluctuations of the Number of species (A), individuals (B), species diversity (C) and species richness (D) in burned and unburned area. All community indices were not significantly different in each month. Vertical bars indicate the standard errors. All sample size of quadrats were six. Z values and probabilities of Mann-Whitney U-test were indicated above each month in each figures.



(A)



(B)



(C)

Figure 4. The dendrograms of avian community in Burned (B) and unburned (N) quadrat by UPGMA clustering analysis using 12 quadrat by similarity index (R₀). (A): merged result by maximum counts. (B): early season from March to June, (C): late season from September to October.

의 종 풍부도가 존치지역에 비하여 감소하는 양상을 보였다.

3. 존치지역과 소각지역의 군집비교

초지 소각이 조류의 서식에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 수조류와 산림성 조류의 자료를 제외한 후, 전체시기,

소각 초기와 후기의 소각지역과 존치지역의 군집 유사도를 살펴보았다. 종의 구성 및 개체수를 통하여 군집을 분석하는 유사도지수(R_o)에 의한 분석 결과 전체시기의 종합결과 소각지역과 존치지역은 뚜렷이 구분되었다(Figure 4-A).

시기별로 살펴보면, 소각 초기(4~6월)에는 크게 3개 그룹으로 구분되었다. 소각지역(B-1, 2, 3, 4)과 존치지역(N-4, 5)으로 뚜렷이 구분되는 경우와 B-5, 6과 N1, 2, 3과 같이 구분되지 않는 3개 지역 그룹으로 구분되었다(Figure 4-B). 하지만 1.0 유클리디안거리에서 비교한다면, 소각지역과 존치지역은 100% 구분되는 형태를 보였다(Figure 4-B). 후기(9~10월)에는 소각지역 중에서 B2, 4지역의 방형구 그룹과 존치지역의 모든 방형구 및 B1, 3, 5, 6지역 그룹으로 2개 그룹이 구분되었다(Figure 4-C). 0.9 유클리디안거리에서 비교한다면, 존치지역과 비존치지역으로 각각 묶이는 군집특성을 가지고 있었으나, 큰 수준에서 방형구간 군집유사도는 후기에 증가하였다. 결과적으로 초지소각으로 인하여 군집의 특성은 초기에 크게 달라졌으나, 시간이 흐른 가을철에는 소각지역과 존치지역간의 군집유사도 차이는 감소한다고 볼 수 있었다.

고찰

1. 소각지역과 존치지역의 조류상 차이

조사결과 소각지와 존치지역 전체 적으로 개체수가 적은 것에 비하여 많은 종이 서식하여 종다양도는 3.3으로 높은 편이었다. 소각지역과 존치지역의 종 구성을 비교하였을 때 존치지역에서 관찰되지 않았던 종이 14종 관찰되었으며, 존치지역은 소각지에서 관찰되지 않았던 알락개구리매(*Circus melanoleucos*), 새홀리기(*Falco subbuteo*) 등 8종이 관찰되었다(Table 1). 소각지의 경우 존치지에서 관찰되지 않은 종이 참매(*Accipiter gentilis*), 큰말뚝가리(*Buteo hemilasius*), 말뚝가리(*Buteo buteo*) 등 8종이었다. 참매, 큰말뚝가리 등 대형 맹금류는 소각지에서 관찰되었으며, 존치지에서는 알락개구리매, 새홀리기 등 중-소형의 맹금류가 관찰되었다. 이는 소각지역에서 초지의 소각에 의해 식생의 밀도가 감소하고, 키가 낮아져 초지에 서식하는 먹이를 찾기 용이하기 때문인 것으로 판단된다(Moriarty et al., 1985; Han et al., 2005). 화재가 발생한 지역에 맹금류의 서식이 많아지는 것은 여러 연구에 의해 관찰되었는데, Han et al.(2005)에 의하면, 산불이 발생한 지역이 발생하지 않은 지역에 비하여 맹금류의 서식종 수가 높은 결과를 보였다. 또한 Parker(1974)와 Elliott(1985) 및 Dodd(1988)의 연구에서도 산불이 발생한 지역에 맹금류가 집중적으로 분포하는 것으로 보고하였다. 존치지에서 관찰되었던 새홀리기는

통과시기에 관찰된 경우이거나 소형 조포유류를 먹이로 하기 보다는 상공의 잠자리(Odonata: dragonflies) 등의 곤충을 주요 먹이로 하는 경향이 있다(del Hoyo et al., 2006). 따라서 소각지역의 조류상의 변화에 의한 서식이라 보기 힘들었다. 그리고 중형의 조류 및 포유류를 먹이로 하는 참매, 말뚝가리 등의 대형 맹금류가 소각지역에 서식하는 것은 초지소각에 의한 영향으로 판단된다(Crowner and Barrett, 1979; Lyon and Maczloff, 1985). 하지만 소각지역에서 참새목조류 중 박새류, 까치, 멧비둘기 등 산림 및 인가성 조류가 더 많이 나타난 것은 존치지역에 비하여 산림과 인가지역에 가깝기 때문인 것으로 판단되었다.

2. 초지의 계획소각에 의한 조류의 영향

기존 연구에 의하면, 산불이 동물의 개체군 또는 군집에 미치는 영향은 직접적 영향(화염, 연기에 부상 혹은 사망)보다 그로인해 발생하는 서식지의 변화(먹이의 고갈, 서식지 파괴)가 더 큰 비중을 차지한다(Smith, 2000). 이러한 결과는 화재가 직접적으로 조류를 사망하게 하기보다는 피해목 별채(Choi et al., 2007), 식생, 이용 가능한 먹이, 경쟁 종의 구성, 포식자의 변화(Tewes, 1984) 등 간접적인 변화로 인하여 영향을 받는다는 의미일 것이다. 본 조사의 결과 초지지역에서의 최종 조류상의 변화는 크지 않은 것으로 나타났는데, 이것은 연구지역이 안정적인 산림서식지가 아니라 1년 주기로 새로이 자라는 초지지역의 생태계이기 때문으로 판단된다.

본 연구에서는 초지 소각으로 인하여 식물 고사체는 제거되었으며, 존치지역에 비하여 식물의 초기 발아 및 생장이 빠르게 진행되게 되었고, 일부 이용되지 않은 천일사초(*Carex scabrifolia*) 등의 식물종자는 드러나게 되었다. 또한 시야를 가리는 식물 고사체가 줄어들어 동물의 주변관찰이 용이하게 되었다(Moriarty et al., 1985). 이러한 일시적인 서식지의 변화는 식물의 종자를 이용하는 닭목 평과의 조류, 참새목조류 및 설치류의 서식을 증가시킨 것으로 판단된다(Han et al., 2005). 결과적으로 일부 조류에 있어 초지의 소각은 새로운 서식처와 먹이를 제공한 것으로 판단된다.

초지의 소각은 식물체에 잔존하는 종자 및 월동 곤충류의 소각이 함께 일어나기 때문에 동물의 서식에 악영향을 준다고 할 수 있다(Kangwon Environment Technology Development Center, 2002). 하지만 식물 고사체의 소각을 통해 식생밀도가 감소하여 먹이동물의 이동이 용이하거나, 바닥에 떨어지고 고사체에 가려져 이용이 힘들었던 종자를 동물이 이용, 혹은 개방된 나지가 만들어져 맹금류의 소형 설치류 사냥에 적합한 서식지로 만들어질 수 있다(Moriarty et al., 1985; Han et al., 2005). 결과적으로 초지 소각에 의한 서식지

교란은 새로운 환경을 조성하여 동물들에게 새로운 서식지와 먹이터를 제공할 수 있다(Crowner and Barrett, 1979; Lyon and Maezluff, 1985; Han *et al.*, 2005).

이동능력이 좋고 위험을 인지하여 회피가 가능한 중대형 조류와 포유류의 성체는 소각에 의해 직접적으로 피해를 입는 경우가 거의 없을 것으로 보인다. 초지 소각 이후 관찰된 꿩 등지의 알과 꿩의 사체 등은 이미 이소하거나 사냥당한 이후 소각된 것이 확인 되었다. 4월 이후 초지가 복원된 후, 꿩의 번식과 동물의 서식이 확인 되었으며, 특별히 서식이 감소하거나, 관찰되지 않는 종은 확인되지 않았다.

3. 초지생태계 유지를 위한 계획소각의 타당성

우리나라에서는 평지의 초지가 대부분 개간이 되었기 때문에 시화초 초지지역은 국내에서 유일한 초지생태계라 할 수 있다(KWRC, 2005). 또한, 국내에서 가장 높은 밀도의 종다리 및 개개비 사촌, 고라니 등이 번식하고 있을 것으로 추정되며, 국내에서 하나뿐인 초지생태계의 모형으로서 보전가치가 있다(KWRC, 2005). 또한, 백악기시대 공룡알의 화석지로서 일부지역이 보호되고 있다(CHA, 2003). 공룡알화석지 등 시화 남측지역은 간척초기 칠면초 (*Suaeda japonica*), 통통마디 (*Salicornia herbacia*) 등의 염생식물에서 따-산조플 등의 초지 식물로 천이되고 있으며, 목본식물이 간헐적으로 들어서고 있는 가운데 육상화가 상당수 진척되고 있다(KWRC, 2005). 문화재청의 현재 보존방법(형상 변경 없이 존치)에 의한다면 자연적인 갯벌지역의 천이에 의해서 산림생태계로 바뀌게 될 것이다(Primack, 1993; Archer *et al.*, 2001; Archer, 2003; KWRC, 2005). 서식지의 관리는 인간의 활동 또한 환경영향의 일부부임을 인식하여야 하며, 교란과 회복이 동반되는 역동적인 순환과정을 허용하여야 한다(Dale *et al.*, 2005). 초지생태계 유지를 위하여 가장 좋은 방법이 현재로서는 계획소각에 의한 목본침입의 억제로 판단되므로(Primack, 1993), 경우에 따라서는 주기적으로 들불을 내어 초지생태계로 유지시키는 것이 바람직할 것이라 생각된다.

인용문헌

- Archer, S., T.W. Bouton and K.A. Hibbard(2001) Trees in grasslands: biogeochemical consequences of woody plant expansion. In: E.D. Schulze, M. Heiman, S. Harrison, E. Holland, J. Lloyd, I. Prentice and D. Schimel (ed.). Global biogeochemical cycles in the climate system. Academic Press, San Diego, California, USA. pp. 115-138.
- Archer, S.(2003) Proliferation of woody plants in grasslands and savannas: a bibliography. Texas A&M University, College Station, Texas, USA.
- Brower, J., J. Zar and C. van Ende(1990) Field and laboratory methods for general biology (3rd ed.). Wm. C. Brown Publishers. Dubuque. 237pp.
- Choi, C.Y., E.J. Lee, H.Y. Nam and W.S. Lee(2007) Effects of post fire logging on bird populations and communities in burned forests. Journal of Korean Forestry Society 96(1): 115-123.
- Choi, T.Y and H.M. Choi(2007) Field guide of the wildlife tracking in Korea. Dolbegae Publisher, Paju, Korea. 303pp.
- Cope, M.J. and W.G. Chaloner(1985) Wildfire: an interaction of biological and Physical processes. In: B.H. Tiffney(ed.), Geological factors and the evolution of plants. New Haven. Yale University Press. USA. pp. 153-162.
- Crowner, A.W. and G.W. Barrett(1979) Effect of fire on the small mammals in grasslands of different successional age. Journal of Zoology 242: 519-530.
- Cultural Heritage Administration(2003) White paper of natural monument. Sinwangsa, 570pp.
- Dale, V., S. Archer, M. Chang and D. Ojima(2005) Ecological impacts and mitigation strategies for rural land management. Ecological Application 15(6): 1879-1892.
- del Hoyo, J., A. Elliot and J. Sargatal (ed.) (1996) Handbook of the Birds of the World. Volume 2. Lynx Editions. Barcelona. 638pp.
- Dodd, N.L.(1998) Fire management and southwestern raptors. National Wildlife Federation 34: 341-347.
- Elliot, B.(1985) Changes in distribution of owl species subsequent to habitat alteration by fire. Western Birds 16(1): 25-28.
- Han, S.W., J.W. Lee, W.K. Paek, H.S. Lee, I.K. Kim, G.P. Hong and I.H. Paek(2005) The effect of forest fire on the raptor habitation. Korean Journal of Environment and Ecology 19(4): 385-392.
- Kim, I.K.(2008) Study on the development of wildbirds habitat-models in urban stream : a case study of three streams in Daejeon metropolitan city. Dissertations of the Chungnam University. 143pp.
- Kangwon Environmental Technology Development Center(2002) Ecosystem changes in forest fire and study about restoration technique. Monument of Environment. 244pp.
- Kitzberger, T. and T.T. Veblen(1999) Fire-induced changes in Northern Patagonian landscapes. Landscape Ecology 14: 1-15.
- Korea Water Resource Corporation(2005) Study about establishment method of ecological network of the Sihwa Lake.

- Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation. 264pp.
- Lee, C.S. and S.K. Hong(1998) Changes of landscape pattern and vegetation structure in rural area disturbed by fire. *Korean Journal of Ecology* 21(4): 389-399.
- Lee, E.J., J.Y. Lee, S.H. Son, M.J. Kim, S.J. Park, W.S. Lee and S.J. Rhim(2008) Differences in rodent populations among forest fire areas caused by different fire damaged year. *Journal of Korean Forestry Society* 97(3): 291-295.
- Lee, E.J., W.S. Lee and S.J. Rhim(2006) Difference in density and body weight of rodents in different reforested area after forest fire. *Journal of Korean Forestry Society* 95(3): 365-369.
- Lee, K.J., S.S. Han, J.H. Kim and E.S. Kim(1999) *Forestry Ecology*. Hyangmunsa. Seoul. 395pp.
- Lee, K.S.(2000) Current status and population fluctuations of waterbirds on the west coast of Korea. Ph. D. Thesis, Kyung Hee University. 211pp.
- Lyon, L.J. and J.M. Maezluff(1985) Fire effects on a small bird population. U. S. Department of Agriculture, Forest service, Intermountain Research Station: 16-22.
- Moriarty, D.J., R.E. Fariss, D.K. Noda and D.A. Stanton(1985) Effects of fire on coastal sage scrub bird community. *Southwestern Naturalist* 30(3): 452-453.
- Odum, E.P.(2001) *Ecology: A bridge between science and society*. Korean translated editions by Lee, D.W., E.J. Park, E.S. Kim and H.J. Jang. Science Books, Korea. 382pp.
- Parker, J.W.(1974) Activity of Red-tailed Hawks at a corn stubble fire. *Kansas Ornithological Society* 22: 250-253.
- Payne, N.F.(1992) *Techniques for wildlife habitat management of wetlands*. McGraw-Hill, USA. pp. 232-255.
- Perry, G.L.W.(1998) Current approaches modelling the spread of wildland fire: a review. *Progress in Physical Geography* 22: 222-245.
- Primack, R.B.(1993) *Essentials of conservation biology*. Sinaur, Sunderland. 564pp.
- Smith, K.M. (2000) *Wildland fire in ecosystems: effects of fire in fauna*. General Technical Report (RMRS-GTR-42-vol. 1). US. Dep. of Agriculture. Ogden, USA.
- Stutzenbaker, C.D. and M.W. Weller(1989) The Texas coast. In: L.M. Smith, R.L. Perderson and R.M. Kaminski (ed.), *Habitat management for migrating and wintering waterfowl in North America*. Texas Tech University Press. Lubbock, Texas USA. pp. 385-405.
- Tewes, M.E.(1984) Opportunistic feeding by White-tailed Hawks at prescribed burns. *Willson Bulletin* 96(1): 135-136.
- Turner, M.G. and S.P. Bratton(1987) Fire, grazing and the landscape heterogeneity of a Georgia barrier island. In: M.G. Turner(ed.), *Landscape heterogeneity and disturbance*. Springer-Verlag, New York. pp. 85-101.
- Willson, M.F.(1974) Avian community organization and habitat structure. *Ecology* 55: 1017-1029.