Jour. Korean For. Soc. Vol. 97, No. 1, pp. 113~117 (2008)

한국임학회지

JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY

강원도 삼척 산불피해지역에서 피해목 제거 전과 후의 서식환경 및 설치류 개체군 특성 차이

이은재[1] · 이우신[1] · 이영근[2] · 이명보[2] · 임신재[3]*

[1]서울대학교 산림과학부, [2]국립산림과학원 산불연구과,
[3]중앙대학교 동물자원과학과

Differences in Characteristics of Habitat and Rodent Populations Between Before and After Damaged Tree Removals at Forest Fired Areas in Samcheok, Gangwon Province, Korea

Eun Jae Lee[1], Woo-Shin Lee[1], Young-Geun Lee[2], Myung-Bo Lee[2] and Shin-Jae Rhim[3]*

[1]Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea
[2]Division of Forest Fire, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea
[3]Department of Animal Science and Technology, Chung-Ang University, Ansung 456-756, Korea

요 약: 본 연구는 2000년도에 산불이 발생한 강원도 삼척의 침엽수림 지역에서 피해목 처리 전과 후의 서식환경 및 설치류 개체군 특성 차이를 구명하기 위해 실시되었다. 피해목 제거 후 고사목과 수목잔존물의 수는 감소한 반면, 천이 단계의 진행으로 인해 하층 피도량 및 관목의 본수는 증가하였다. 전체 설치류 개체군 밀도, 흰넓적다리붉은쥐 및 대륙밭쥐의 개체군 밀도는 피해목 제거 후 감소하는 경향을 보인 반면, 등줄쥐의 개체군 밀도는 증가하였다. 피해목의 제거로 인한 서식환경의 변화는 설치류의 종 구성을 변화시켰으며, 특히 산림성 설치류에게는 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Abstract: This study was conducted to clarify the differences in habitat characteristics and rodent populations between before and after damaged tree removals at forest fired areas in coniferous forest, Samcheok, Gangwon Province, Korea. The understory coverage and the number of shrub stem were increased by forest succession. Number of snags and downed CWD (coarse woody debris) were decreased after damaged tree removals. Population density of *Apodemus agrarius* was increased after damaged tree removal. However, population density of total rodents, *Apodemus peninsulae* and *Eothenomys regulus* were decreased. Changes in habitat structures may be influenced in rodent species composition. Especially, that would be negative effect on forest-dwelling rodents.

Key words **:** *CWD, damaged tree, forest fire, rodent population, snag, understory coverage*

서 론

천이는 동 · 식물 군집의 구조 및 종 조성을 변화시켜 결국 안정된 상태로 유도하는 진행과정을 의미한다(Miles, 1987; Shugart, 2001). 생태계의 급격한 변화를 일으키는 주요 요인 중의 하나인 산불은 산림천이의 방향을 바꾸어 놓는 기능을 한다(김경후 등, 1999). 산불은 산림생태계의 교란을 일으키는 주요 원인으로써, 동식물의 구성과 군집의 역동성에 커다란 영향을 미치는 환경 요인으로 알려져 있다(Simons, 1991). 산불이 발생하면 대부분의 동물들은 산불을 감지하고 다른 지역으로 이동을 하기 때문에 산불에 의한 직접적인 피해보다는 서식지가 파괴되거나 먹이자원이 고갈되는 등 간접적으로 영향을 더 많이 받는다(USDA, 2000). 특히 소형 포유류는 지하나 낙엽층, 그루터기와 고사목 등을 이용하여 산불을 피하거나 다른 지역으로 이주하며(Ford *et al*., 1999), 또한 산불이 발생지역은 야생동물들이 이용 가능한 먹이자원의 감소 등으로 인해 생태적으로 영향을 받을 가능성이 매우 높아진다(Vacanti

*Corresponding author
E-mail: sjrhim@cau.ac.kr
본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호: S210707L1010)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

and Geluso, 1985).

설치류는 소형 포유류의 대표적인 동물로 보통 쥐목, 쥐과에 속한 종들을 일컫는다. 설치류는 산림생태계 내에서 포식과 피식의 대상이 되는 2차 소비자로서 중간자적 위치에 있으며, 종자 분산을 유도하고 식생 천이에 영향을 주는 등 중요한 역할을 담당한다(Maser *at al.*, 1978; Forget and Milleron, 1991). 또한 생활사가 짧고 개체수가 많으며 그 수가 쉽게 증가하거나 감소하기 때문에 개체군 생태학의 대상 또는 환경 변화에 대한 반응정도 등의 연구에 유용하다(Kawamichi, 1996).

Sherburne(1959)에 의해 산불이 소형 포유류 개체군에 미치는 영향에 대한 연구가 시작된 이 후, Mary와 Nicholas(1984)는 각 소형 포유류 종은 선호하는 미세서식지(microhabitat)가 서로 다르기 때문에 산불에 의한 영향도 다르게 나타난다는 결과를 도출하였으며, Fox(1990) 등은 산불에 의한 소형 포유류의 개체군 변동에 영향을 주는 요소들은 각각의 천이단계에 따라 다르다고 보고하였다. 그러나 국내에서 산불이 소형 포유류에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 편이다. 또한 산불의 대형화로 인한 피해 및 이로 인한 관심이 증가하면서 산불 관련 연구가 시작되고 있는 상황이다(산림청, 2001). 이은재 등(2006b)은 산불피해지 복원방법에 따른 설치류의 서식밀도 및 체중의 차이에 대한 연구를 수행하였다. 또한 산불피해 후 임상잔존물을 제거한 지역과 제거하지 않은 지역간의 소형 설치류 개체군 특성에 대한 연구가 수행되었다(이은재 등, 2006a). 그러나 지금까지의 연구는 산불피해 후 서식환경이 다른 지역 중 임상 및 지형적 특성이 유사한 조사구를 선정하여 각 조사구 간의 단기적인 차이를 비교하였으며, 동일한 조사구에서 지속적으로 이루어진 연구는 아니었다.

본 연구의 대상지역인 강원도 삼척 검봉산 일대의 2000년도 산불피해지에서는 대부분의 지역에서 조림을 실시하기 위해 피해목을 제거하고 있으며, 일부 지역에서만 생태적, 학술적 목적에 의해 방치되고 있다. 본 연구는 2000년도 산불피해 지역에서 피해목 제거가 설치류 개체군에 미치는 영향을 파악하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

1. 연구지 개황

본 연구의 대상지는 2000년도 산불피해지역인 강원도 삼척 검봉산 일대로 산불피해 후 점진적인 조림작업이 시행되고 있으며, 일부 지역에서 생태적, 학술적 목적에 의해 자연복원을 실시하고 있다. 조사 대상지는 2004년까지 피해목이 방치되었다가 2005년에 제거된 3개 지역을 선정하였다. 선정된 조사 대상지는 해발고도 290~370 m에 위치하고 있으며, 경사는 18~25°였다. 하층식생은 소나무(*Pinus densiflora*), 참나무류(*Quercus spp.*), 싸리(*Lespedeza bicolcor*) 등이 주요 우점인 것으로 나타났다(Table 1).

2. 설치류 포획 조사

각 조사구는 60×60 m의 정방형으로 설치되었으며, 가로 및 세로 10 m 간격으로 총 49개의 생체포획용 덫(Sherman's collapsible trap, 7.5×9.2×29.2 cm)을 설치하였다. 또한 설치류에 대한 포획조사는 수목잔존물 제거 전인 2004년 8월과 제거 후인 2006년 8월 및 2007년 8월에 각각 4회씩 연속조사를 실시하였다. 포획 덫은 당일 오후에 설치하였으며, 익일 오전에 포획된 설치류에 대해 종과 성별, 체중, 성숙도를 파악하였다. 그리고 포획된 개체의 식별을 위해 발톱을 자르거나(toe clipping) 귀 끝을 잘라(ear clipping) 표시를 한 후, 놓아 주고 포획 덫을 설치하여 다시 포획을 실시하는 포획-재포획법(capture-mark and release method)을 사용하였다(Nichols, 1992). 체중은 0.5 g이 기본 단위인 용수철저울(Pesola 20060)을 사용하였다.

3. 서식환경구조 조사

서식환경구조 조사를 위해 포획 덫이 설치된 모든 위치에서 반경 2.5 m의 가상의 원통을 설정하였다. 이전 연구 및 조사지의 환경 특성을 바탕으로 하여 설치류의 서식에 영향을 미칠 수 있는 하층식생 피도량(understory coverage)과 암석 피도량(rock coverage), 도목잔존물(downed CWD)의 수, 고사목(snag)의 수, 관목(shrub stem)의 본수 등 5개

Table 1. The description of three study sites at forest fired areas in coniferous forest, Samcheok, Gangwon Province, Korea.

	Site 1	Site 2	Site 3
Coordinates	37° 12' 40.5" N 129° 17' 33.9" E	37° 12' 34.0" N 129° 17' 40.0" E	37° 13' 2.0" N 129° 18' 11.0" E
Altitude (a.s.l)	372 m	345 m	290 m
Aspect	SW	SW	NE
Inclination	24°	25°	18°
Dominant understory species	*Quercus mongolica* *Quercus variabilis* *Pinus densiflora*	*Pinus densiflora* *Quercus mongolica* *Lespedeza bicolor*	*Pinus densiflora* *Lespedeza bicolor* *Quercus variabilis*

요인에 대한 서식환경구조 조사를 실시하였다. 이 중 하층식생의 피도량과 암석 피도량의 경우 0%는 0, 1~33%는 1, 34~66%는 2, 67~100%는 3으로 각각 수치화하여 산술평균하였다. 또한 반경 2.5 m의 가상의 원통 속에 포함된 모든 도목잔존물과 고사목, 관목의 수를 파악하였다(임신재와 이우신, 2001).

4. 자료 분석

피해목 제거 전과 후의 서식환경 차이를 통계적으로 파악하기 위하여 피해목 제거 전과 후의 각 환경 요인들 간에 Wilcoxon rank sum test를 실시하였으며, 피해목 제거 전인 2004년도와 피해목 제거 후인 2006, 2007년도의 설치류 포획 밀도에 대해서 Kruskal-Wallis test를 실시하여 피해목 제거에 따른 설치류 밀도 차이를 파악하였다. 또한 각 설치류 종과 환경인자와의 관계를 파악하기 위해 다중상관분석(multiple correlation analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

피해목 제거 전인 2004년 8월과 제거 후인 2006년 8월에 서식환경구조 조사를 실시한 결과, 하층식생 피도량(Wilcoxon rank sum test; $Z = -6.68$, $p < 0.0001$)과 관목의 본수($Z = -5.25$, $p < 0.0001$)는 수목잔존물 제거 후인 2006년도에 증가하였으며, 암석 피도량($Z = -0.36$, $p = 0.72$)은 유의한 차이가 없었다. 또한 수목잔존물($Z = 2.13$, $p = 0.03$)과 고사목의 수($Z = 7.29$, $p < 0.0001$)는 수목잔존물 제거 후 크게 감소하였다(Table 2). 이는 수목잔존물의 제거로 인해 고사목과 수목잔존물의 수는 감소하였으나, 시간의 흐름에 따른 천이의 진행으로 인해 하층식생 피도량과 관목의 본수는 증가한 것으로 판단된다(USDA, 2000).

피해목 제거 전인 2004년과 피해목 제거 후인 2006년, 2007년에 각각 3개의 조사구에서 4회 연속 포획조사를 실시한 결과, 흰넓적다리붉은쥐(*Apodemus peninsulae*)와 대륙밭쥐(*Eothenomys regulus*), 등줄쥐(*Apodemus agrarius*) 등 총 3종 68개체가 포획되었으며, 그 중 등줄쥐는 31개체가 포획되어 조사 기간 중 가장 우점하였다. 또한 피해목 제거 전에는 흰넓적다리붉은쥐가 우점한 반면, 피해목 제거 후에는 등줄쥐가 우점하는 경향을 보여, 피해목 제거 전과 후 설치류 종구성의 차이를 보였다.

Table 2. Differences in environmental variables between before and after tree removals at forest fired areas in coniferous forest, Samcheok, Gangwon Province, Korea (Wilcoxon rank sum test).

Factors	Damaged tree removal		*p*-value
	before	after	
Understory coverage	2.38 ± 0.55	2.79 ± 0.41	<0.0001
Rock coverage	1.62 ± 0.55	1.63 ± 0.51	0.72
Shrub stem (no./20 m^2)	0.29 ± 0.57	0.68 ± 0.72	<0.0001
Snag (no./20 m^2)	0.54 ± 0.66	0.08 ± 0.27	<0.0001
Downed CWD (no./20 m^2)	0.59 ± 0.93	0.31 ± 0.49	0.03

연도별 전체 포획율을 비교한 결과 유의한 차이를 보였으며(Kruskal-Wallis test; $X^2 = 6.78$, $p = 0.03$), 특히 2007년 가장 낮은 포획율을 기록하였다. 종별 포획율을 비교한 결과, 흰넓적다리붉은쥐($X^2 = 6.77$, $p = 0.03$)는 피해목 제거 후 포획율이 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, 대륙밭쥐는 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나($X^2 = 5.28$, $p = 0.07$) 포획율이 감소하는 경향을 보였다. 반면, 등줄쥐($X^2 = 5.78$, $p = 0.05$)는 피해목 제거 후 증가하였다(Table 3).

각 설치류 종과 환경인자와의 관계를 파악하기 위해 총 3개의 조사구에서 2004년과 2006년, 2007년에 포획된 종별 포획밀도와 각 환경인자 값을 다중상관분석(multiple correlation analysis)을 통해 비교한 결과 흰넓적다리붉은쥐는 고사목($r = 0.88$, $p = 0.02$)과 도목잔존물의 수($r = 0.90$, $p = 0.02$) 그리고 관목의 본수($r = -0.89$, $p = 0.02$)와 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 등줄쥐는 하층식생 피도량($r = -0.77$, $p = 0.04$)과 암석 피도량($r = 0.80$, $p = 0.04$)과 밀접한 관련이 있었다. 또한, 대륙밭쥐는 하층식생 피도량($r = 0.93$, $p = 0.01$) 및 도목잔존물의 수($r = -0.89$,

Table 3. Trappability for the three rodent species before and after damaged tree removals at forest fired areas in coniferous forest, Samcheok, Gangwon Province, Korea (Kruskal-Wallis test).

Species	Damaged tree removal			X^2	*p*-value
	before	after			
	2004	2006	2007		
Eothenomys regulus	1.19 ± 0.78[1]	0.51 ± 0.00	0.17 ± 0.29	5.28	0.07
Apodemus peninsulae	2.89 ± 0.78	1.19 ± 0.29	0.34 ± 0.59	6.77	0.03
Apodemus agrarius	0.68 ± 0.29	2.38 ± 0.59	2.21 ± 0.78	5.78	0.05
Total	4.76 ± 0.29	4.08 ± 0.51	2.72 ± 0.59	6.78	0.03

[1]Mean ± SD

Table 4. Relationships among environmental variables and three rodent species at forest fired areas in coniferous forest, Samcheok, Gangwon Province, Korea (multiple correlation analysis).

Species		Understory coverage	Rock coverage	Snag	Downed CWD	Shrub stem
Eothenomys regulus	r	0.93	-0.22	-0.64	-0.89	0.36
	p	0.01	0.55	0.08	0.02	0.33
Apodemus peninsulae	r	-0.59	-0.17	0.88	0.90	-0.89
	p	0.22	0.75	0.02	0.02	0.02
Apodemus agrarius	r	-0.77	0.80	0.60	0.62	-0.26
	p	0.04	0.04	0.11	0.11	0.50

p = 0.02)와 높은 상관관계를 보였다(Table 4).

산불피해 직후 수목잔존물을 제거하면 서식환경이 단순해져 설치류의 서식에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다. 특히, 피해목 제거는 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐와 같은 산림성 설치류(forest-dwelling rodents)의 서식에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(이은재, 2005). 본 연구에서는 피해목 제거 후 천이가 진행됨에 따라 하층과 중층의 피도가 증가하면서 전체 설치류 밀도는 큰 차이를 보이지 않았다. 즉, 시간이 경과함에 따라 하층식생이 발달하고 그 결과 설치류 개체군의 서식에 영향을 주는 것으로 판단된다.

또한 3종의 설치류와 서식환경인자와의 관계를 파악한 결과, 흰넓적다리붉은쥐는 하층식생 피도량 및 도목잔존물의 부피와, 또한 등줄쥐는 하층식생 피도량, 대륙밭쥐는 암석 피도량과 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존의 연구 결과와 매우 유사한 것이었다(이창배, 2004; Rhim and Lee, 2001).

흰넓적다리붉은쥐와 등줄쥐의 경우 한국, 시베리아, 만주 등 전 세계적으로 비교적 폭넓게 분포하고 있으나 아직까지 각 종의 선호서식환경 등과 같은 생태 연구에 관해서는 연구가 미흡한 실정이다. 또한, 대륙밭쥐의 경우 Kaneko(1998) 등에 의해 신종으로 분류된 후 한국의 특산종으로써 국내에서 많은 연구가 이루어지지 않았기 때문에 앞으로 국내 산림에서 가장 우점하고 있는 본 종들의 생태 연구가 더 많이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

결 론

피해목의 제거 및 천이단계의 진행으로 서식환경이 변화하면, 이에 따라 설치류의 군집 조성에 영향을 주는 것으로 나타났다. 피해목 제거 및 천이에 따른 식생의 회복과 같은 인위적자연적 교란으로 인해 하층식생 피도량과 관목의 본수는 증가한 반면, 고사목과 도목잔존물의 수는 감소하였다. 그 결과 흰넓적다리붉은쥐 및 대륙밭쥐의 개체군 밀도가 감소하고, 등줄쥐의 개체군 밀도는 증가하였다. 산불피해지역에서 수목잔존물을 제거할 경우 단기적으로는 설치류의 서식에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 왔으나, 천이가 진행되면서 하층 및 중층 식생이 발달함에 따라 그 영향은 줄어들 것으로 예상된다. 그러나 각 종별 선호하는 서식 환경이 다르기 때문에 피해목 제거와 같은 인위적인 교란으로 인해 설치류 종 구성이 변화하는 것으로 판단된다. 특히, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐와 같은 산림성 설치류의 서식에는 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 산불피해 후 조림을 실시하기 위해 피해목을 제거할 경우 일부 지역을 방치하면 산림성 설치류의 서식을 유도할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 본 앞으로 지속적인 연구를 통해 각 천이단계별 설치류의 개체군 특성을 구명하는 등 장기적인 생태조사가 필요하며, 설치류 뿐 아니라 다른 분류군의 연구를 통해 종합적인 결론을 도출해야 할 것으로 생각된다.

인용문헌

1. 김경후, 한상변, 김지홍, 김은식. 1999. 산림생태학. 향문사.
2. 산림청. 2001. 동해안 산불백서I. 산림청.
3. 이은재, 이우신, 이영근, 이명보, 임신재. 2006a. 산불피해지역에서 임상잔존물의 처리에 따른 서식환경과 설치류 개체군 특성. 한국임학회지 95: 711-715.
4. 이은재, 이우신, 임신재. 2006b. 산불피해지 복원방법에 따른 설치류의 서식밀도 및 체중차이. 한국임학회지 95: 365-369.
5. 이창배. 2004. 계방산 계곡부에 서식하고 있는 설치류 두 종의 미세서식지 이용 및 니체 패턴에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
6. 이은재. 2005. 산불피해 후 수목잔존물이 설치류에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
7. 임신재, 이우신. 2001. 지리산 지역에서 산림 하층의 서식환경과 소형 설치류와의 관계. 한국임학회지 90: 236-242.
8. Ford, W.M., Menzel, M.A., Laerm, W.D. McCay, J. and Timothy, S. 1999. Effects of a community restoration fire on small mammals and herpetofauna in the southern appalachians. Forest Ecology and Management 114: 233-243.
9. Forget, P.M. and Milleron, T. 1991. Evidence for secondary seed dispersal by rodents in Panama. Oecologia 87:

596-599.

10 .Fox, B.J. 1990. Changes in the structure of mammal communities over successional time scales. Oikos 59: 321-329.

11. Kaneko, Y., Nakata, K., Saitoh, T., Stenseth, N.C. and Bonrnstad, O.N. 1998. The biology of the vole *Clethrionomys rufocanus*: a review. Researches on Population Ecology 40: 21-37.

12. Kawamichi, T. 1996. The encyclopedia of animals on Japan. Vol. 1. Mammals 1. Heibonsha Limited Publishers.

13. Marser, C., Trappe, J.M. and Nussbaum, R.A. 1978. Fungal-small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forests. Ecology 59: 799-809.

14. Mary, V. and Nickolas, M. 1984. On the relative abundance of species: Postfire changes in a Coastal sage scrub rodent community. Ecology 65: 1161-1169.

15. Miles, J. 1987. Vegetation succession: past and present perception. In: Gray, A.J., Crawley, M.J. & P.J., Edwards (eds.) Colonization, succession and stability, pp. 1-29. Blackwell Science, Oxford.

16. Nichols, J.D. 1992. Capture-recapture models using marked animals to study population dynamics of the red-backed vole, *Clethrionomys rufocanus bedfordiae*. Reearches on Population Ecology 31: 185-208.

17. Rhim, S.J. and Lee, W.S. 2001. Habitat preferences of small rodents in deciduous forests of north-eastern South Korea. Mammal Study 26: 1-8.

18. Sherburne, F. 1959. The effects of fire on a population of small rodents. Ecology 40: 102-108.

19. Shugart, H.H. 2001. Phenomenon of succession. In: Levin S.A. (ed.) Encyclopedia of biodiversity, Vol. 5, pp. 541-552. Academic Press, San Diego.

20. Simons, L.H. 1991. Rodent dynamics in relation to fire in the Sonoran desert. Journal of Mammalogy 72: 518-524.

21. Vacanti, P.L. and Geluso, K.N. 1985. Recolonization of a burned prairie by meadow voles(*Microtus pennsylvanicus*). Prairie Naturalist 17: 15-22.

22. USDA. 2000. Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on fauna. General Technical Report RMRS-GTR-42. Volume 1.

(2008년 2월 19일 접수; 2008년 3월 21일 채택)