

산불 발생 지역의 피해목 벌채에 따른 조류 개체군과 군집의 변화

최창용^{1*} · 이은재² · 남현영³ · 이우신⁴

¹국립공원연구원 철새연구센터, ²서울대학교 농업생명과학연구원,

³서울대학교 생명과학부, ⁴서울대학교 산림과학부

Effects of Postfire Logging on Bird Populations and Communities in Burned Forests

Chang-Yong Choi^{1*}, Eun-Jae Lee², Hyun-Young Nam³ and Woo-Shin Lee⁴

¹Migratory Birds Center, National Park Research Institute, Jeonnam Province 535-916, Korea

²Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

³School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

⁴Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

요약: 산불 발생 지역의 피해목 벌채가 조류의 개체군 및 군집에 미치는 영향을 파악하기 위해 강원도 삼척시의 침엽수림 산불 피해지에서 2005년부터 2006년까지 총 57회의 정점 조사를 실시하였다. 그 결과 산불로 인해 발생한 피해목을 제거하는 산불 후 관리는 종 풍부도(richness), 수도(abundance), 다양성(diversity)의 측면에서 조류의 서식에 매우 불리한 여건을 조성하였다. 길드 분석 결과 피해목 벌채 이후 지상 및 하층식생에서 번식하는 조류(ground-shrub nesters), 나무 구멍에서 번식하는 수동 영소성 조류(cavity nesting birds) 등의 서식 밀도가 감소하였으며, 나무에 구멍을 뚫고 먹이를 찾는 조류(timber driller)와 수관층에서 먹이를 찾는 조류(foliage searcher) 역시 피해목 벌채 이후 서식 밀도가 감소하였다. 따라서 산불 발생 지역의 조류 군집을 보전하기 위해서는 일정 수준의 피해목 존치가 필수적이며, 피해목 존치에 대한 산불 후 관리 기준을 수립하기 위해 오색딱다구리(*Dendrocopos major*) 등 특정 대상종에 대한 집중적인 연구가 필요하다.

Abstract: We investigated the effects of postfire logging on bird populations and communities through 57 point counts in unburned, burned and logged burned plots of coniferous forests in Samcheok, Korea. We found that lower species richness, abundance, and diversity in logged plots were controlled by a typical postfire management. As results of guild analysis for nest sites and food resources, postfire logging reduced densities of ground-shrub nesters, primary and secondary cavity nesters, but was also related to reduction in densities of some foraging groups such as timber drillers and foliage searchers. These results suggest that snag-retention is essential for birds in burned forests and that postfire logging is incompatible with the maintenance of bird populations and communities. Consequently we need to develop guidelines of postfire management for snag-retention in burned forests through intensive researches focused on some target species such as Great spotted woodpeckers *Dendrocopos major*.

Key words: bird, burned forests, Great spotted woodpeckers *Dendrocopos major*, postfire logging, postfire management, snag-retention

서론

생태계 내에서 자연적으로 발생하는 교란(disturbance)은 서식지의 구조와 자원의 가용성을 변화시키는 중요한 과정이다(Mushinsky and Gibson, 1991; Smucker *et al.*, 2005). 그 중 산불은 중요한 자연 발생적인 교란 현상으로

서, 안정된 산림생태계를 교란시키며 천이의 방향을 바꾸는 기능을 하거나(이경준 등, 1999), 동식물 군집의 형성과 개체군 동태에 영향을 미치는 간접 요인으로 작용한다(Smucker *et al.*, 2005). 또한 산불은 시공간적으로 다양한 규모와 강도, 빈도로 발생함으로써, 다양한 서식지 조각의 모자이크를 형성하고 경관의 이질성과 다양성을 증진시켜 해당 지역의 종 다양성에 중요한 영향을 미친다(Izhaki and Adar, 1997; Smucker *et al.*, 2005).

*Corresponding author
E-mail: subbuteo@hanmail.net

국내의 경우 산림의 성장과 함께 산림 내부의 가연물질이 지속적으로 축적되고 있어 산불의 발생 가능성이 증가하고, 특히 동해안 지역은 강한 바람과 건조한 기후 등으로 인해 산불이 대형화되는 추세에 있다(임업연구원, 1997). 지난 2000년 강원도 삼척 일대를 중심으로 발생한 산불은 국내 최대 규모의 산불로 기록되었으며, 현재 이 지역의 대부분이 산불 피해목을 벌채한 후 조림을 실시하는 방법으로 복구되고 있다(산림청, 2001).

벌채 과정에서 고사목 또는 고사되어가는 나무를 존치시키는 것은 종 다양성을 유지하는 역할을 함으로써 야생동물의 관리에서 중요한 주제로 간주되어 왔다(Schwab *et al.*, 2006). 이처럼 최근의 산림 관리 계획에는 고사목의 존치가 권고되고 있는 상황이지만, 산불 피해 지역에서의 피해목과 고사목 처리에 관한 지침을 제공할 수 있는 뚜렷한 근거 자료는 아직 불충분한 상황이다(Hutto and Gallo, 2006). 이에 따라 국내를 비롯한 대부분의 지역에서 산불 이후의 피해목은 개별(clear cut)과 유사한 형태로 피해목 이용 벌채(salvage logging)를 실시하는 방법이 널리 사용되고 있다(Hutto and Gallo, 2006). 그러나 산림생태계는 산불로 인한 초기 간섭보다는 산불 피해 이후의 관리 과정에서 발생하는 벌채에 의해 더 큰 영향을 받는다는 점(Noss and Lindenmayer, 2006)을 고려할 때, 산림생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 국내에서 시행 중인 현재의 산불 후 관리에 대한 방법에 대한 재고가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 강원도 삼척시의 산불 발생 지역에서 피해목의 존치 여부에 따른 조류 개체군과 군집의 반응을 파악함으로써, 산림생태계의 주요 구성원인 조류에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 산불 후 관리의 기초를 마련하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

1. 연구 지역

연구 대상 지역은 강원도 삼척시 김봉산 일대의 침엽수림 지역(북위 37° 13', 동경 128° 18')으로서, 2000년 산불이 발생하여 총 23,794ha의 피해가 발생한 지역이다. 이 지역은 산불 피해 이전에는 소나무(*Pinus densiflora*), 참나무류(*Quercus spp.*), 싸리(*Lespedeza bicolor*) 등이 상층과 하층에서 우점하는 환경으로서, 산불 피해지역 내부에도 일부 미피해지가 모자이크 형태로 존재하고 있다. 산불 피해지역은 산불로 인해 상층임관을 형성하는 수목이 피해를 받아 상층식생이 없는 상태로서, 다수의 산불 피해목이 고사한 채로 방치되어 있다. 이 환경에서는 산불 피해 이후 인위적인 간섭 없이 그대로 방치되어 신갈나무(*Quercus mongolica*)와 굴참나무(*Quercus variabilis*), 싸리 등이 하층식생을 형성하고 있었다. 반면 피해목 벌채가 이

루어진 지역은 고사목을 모두 제거함으로써 상층, 중층식생이 거의 존재하지 않으며, 인공조림된 소나무 및 자연복원된 참나무, 싸리 등이 하층식생을 이루고 있다(이은재, 2005; 이은재 등, 2006).

2. 연구 방법

산불 후 관리에 의한 서식 환경 변화를 파악하기 위해 산불 발생 이후 피해목을 방치한 지역(unlogged area)과 피해목을 벌채한 지역(logged area)을 대상으로 교목(tree; 흉고직경 5 cm 이상)과 고사목(snag), 관목(shrub; 흉고직경 5 cm 미만, 수고 1m 이상)의 수를 각각 파악하여 산불 피해를 입지 않은 인접 지역(unburned area)과 비교하였다(이은재, 2005; 이은재 등, 2006). 서식 환경 조사는 각 지역별로 3개 지점에서 실시되었으며, 총 조사 면적은 9ha에 해당하였다.

조류 조사는 2005년 5월부터 2006년 3월까지 총 4회에 걸쳐 57개 정점에서 실시하였다. 조류 개체군 및 군집에 미치는 산불 후 관리의 영향을 파악하기 위해 피해목 방치 지역, 피해목 벌채 지역을 각각 조사하였으며, 대조구로서 산불 미피해지역을 선정하여 비교하였다. 조사는 각 환경 내부에서 임의의 지역을 대상으로 100m×100m의 조사정점(1ha)을 선정하여 이루어졌으며, 날씨가 맑은 날을 대상으로 각 지역별 19회씩 조류 조사를 실시하였다. 조류 조사는 조사 정점 내부에 출현하는 모든 종과 개체수를 15분 동안 조사하였으나, 해당 정점을 날아서 통과하는 개체 등 서식지를 실제로 이용하지 않는 조류는 결과 산출에서 제외하였다.

출현한 조류에 대한 종 다양성(species diversity)은 Shannon-Weaver 지수(H')를 통해 판단하였으며, 산불 후 관리에 따른 영소 환경과 먹이 자원의 변화가 조류 군집에 미치는 영향을 파악하기 위해 길드 분석을 실시하였다(Bock and Lynch, 1970; 이우신과 박찬열, 1995; Greenberg *et al.*, 1995). 동지 자원과 관련된 영소 길드(nesting guild)는 수관(C: canopy), 지상 및 하층식생(GS: ground-shrub), 일차 수동(P: primary cavity, 조류가 직접 파서 형성된 나무 구멍), 이차 수동(S: secondary cavity, 기존에 존재하거나 다른 조류가 판 나무 구멍), 나무 이외의 기타 구멍(H: other hole), 암벽(CL: cliff) 등에서 번식하는 집단으로 각각 구분하였다. 또한 먹이 자원과 관련된 섭식 길드(foraging guild)는 엽층을 탐색하며 먹이를 찾는 무리(FS: foliage searcher), 지상 및 하층식생에서 먹이를 찾는 무리(GF: ground-shrub forager), 공중에서 곤충을 잡아먹는 무리(AI: aerial insect pursuer), 딱다구리류와 같이 나무줄기를 파서 먹이를 먹는 무리(TD: timber drillers), 줄기와 가지의 외부 수피에서 먹이를 찾는 무리(BG: bark gleaners) 등 산림성 조류의 주요 섭식 위치에 따라 구분하였으나,

이에 해당되지 않는 무리는 사냥(HP: hunting predators), 잠수(DI: divers) 등 행동에 의한 섭식 길드로 구분하였다.

수치는 평균±표준오차(Mean±SE)의 형태로 제시하였으며, 조사 결과는 SAS 9.1을 이용하여 Wilcoxon 순위 검정, Dunn의 방법을 통한 다중비교(Dunn's multiple comparison test) 등 비모수적 방법으로 분석하였다.

결 과

1. 서식 환경 변화

산불 미피해지역에서는 다수의 교목이 성장하고 있었지만, 피해지역 내부에서는 생육하고 있는 교목이 확인되지 않았다(Table 1). 산불 피해를 입지 않은 지역에서는 고사목이 확인되지 않았으며, 산불로 인해 다수의 고사목이 발생하였으나 피해목을 제거한 지역에서는 집중적인 벌채로 인해 고사목이 남아있지 않았다. 근소한 차이로 통계적인 차이를 보이지는 않았으나, 하층 식생 역시 산불로 인해 크게 감소하였으며 피해목을 벌채한 지역이 가장 낮은 것으로 나타났다. 하층 식생의 경우 산불 미피해지역과 산불 이후 피해목을 방치한 지역에서는 자연적으로 갱신된 신갈나무(*Q. mongolica*)의 치수가 우점하였으나, 피해목을 벌채한 지역에서는 수목 잔존물을 제거한 이후 소나무(*P. densiflora*) 조림이 실시된 곳이 많았다.

2. 조류 개체군 및 군집 변화

피해목 방치지역과 피해목 벌채지역, 미피해지역 등 3개 지역에서 출현한 종 수와 개체수를 비교한 결과 총 33종 216개체의 조류가 확인되었다(Table 2). 조사 지역별로는 피해목 벌채지역에서 총 13종 35개체, 피해목 방치 지역에서 총 21종 71개체, 미피해지역에서 총 22종 110개체의 조류가 각각 확인되었다. 종 다양성은 미피해지역에서 2.53, 피해목 방치지역은 2.70, 피해목 벌채지역은 2.05로 각각 나타났다. 따라서 조류의 풍부도(richness)와 수도(abundance)는 미피해지역에서 가장 높게 나타났으며, 조류 군집의 종 다양성(diversity)은 피해목 방치지역에서 가장 높았다.

각 지역별 종 수를 비교한 결과 미피해지역에서 2.79±0.42종, 방치지역에서 2.63±0.37종, 벌채지역에서 1.10±

0.23종이 각각 출현하여 피해목을 벌채한 지역이 다른 지역들과 유의한 차이를 나타내었다(p=0.001, Figure 1A). 각 지역에 따른 개체수 차이를 비교한 결과 미피해지역에서 5.79±1.28개체, 방치지역에서 3.74±0.66개체, 벌채지역에서 1.84±0.47개체가 각각 관찰되었으며, 미피해지역과 피해목을 벌채한 지점간에 유의한 차이가 나타났다(p=0.006, Figure 1B).

3. 종별 변화

산불 후 관리에 대한 각 종별 반응을 파악하기 위해 지역간 서식 밀도를 비교한 결과 쇠딱다구리(*Dendrocopos kizuki*)와 오색딱다구리(*Dendrocopos major*), 박새(*Parus major*) 등 3종이 지역간 차이를 보이는 것으로 나타났다(Table 2; *D. kizuki*: p=0.015; *D. major*: p=0.023; *P. major*: p=0.001). 그 중 쇠딱다구리는 산불 후 관리의 영향보다는 산불 자체로 인해 크게 감소하는 것으로 나타났으며(Figure 2A), 오색딱다구리는 산불 후 피해목을 방치한 지역에서 서식밀도가 가장 높았으나 벌채한 지역에서는 서식 밀도가 크게 낮았다(Figure 2B). 박새의 서식 밀도는 피해목을 방치한 경우 미피해지역과 차이를 보이지 않았으나 피해목을 벌채한 지역의 서식밀도는 미피해지역보다 낮은 것으로 나타났다(Figure 2C).

피해목을 방치한 지역에서 상대적으로 높은 서식 밀도를 보인 딱새(*Phoenicurus auroreus*)와 때까치(*Lanius bucephalus*)는 피해목이 벌채될 경우 감소하는 경향이 나타났다(p=0.071; *L. bucephalus*: p=0.095).

4. 길드에 의한 조류 군집 변화

영소 환경 변화를 통해 산불 후 관리가 조류 군집에 미치는 영향을 파악한 결과 수관층 영소 길드(C)에 해당하는 조류의 서식 밀도는 피해목 벌채에 따른 차이를 보이지 않았으며(canopy nesters: p=0.468), 절벽(CL) 및 기타 구멍(H)에서 번식하는 조류 역시 산불 이후 피해목 벌채에 의한 영향을 보이지 않았다(cliff nesters: p=0.354; other hole nesters: p=0.368). 그러나 지상 및 하층식생에서 번식하는 조류(GS)의 서식 밀도는 피해목을 벌채할 경우 미피해지역과 피해목을 방치한 지역에 비해 크게 감소

Table 1. Differences in habitat structure of three study plots resulted from stand-replacing fires and postfire logging.

	Unburned forest		Burned forest		p value
	Control		Unlogged	Logged	
No. of trees/ha	752.0±59.7			0	0.022
No. of shrubs/ha	606.0±15.0		142.7±29.9	110.3±4.4	0.061
No. of snags/ha	0		285.3±22.1	0	0.022
Dominant understory species	<i>Quercus mongolica</i>		<i>Quercus mongolica</i>	<i>Pinus densiflora</i>	-

Table 2. Number of birds recorded on the study plots at coniferous forests in Samcheok, Korea. Total 57 point counts were conducted in unburned and burned (unlogged and logged) plots from 2005 to 2006.

Species	FG ^a	NG ^b	Unburned forest	Burned forest		Total	p value
			Control	Unlogged	Logged		
<i>Butastur indicus</i>	HP	C	1			1	0.368
<i>Accipiter gentilis</i>	HP	C		1		1	0.368
<i>Accipiter soloensis</i>	HP	C			1	1	0.368
<i>Falco tinnunculus</i>	HP	CL		2	1	3	0.601
<i>Streptopelia orientalis</i>	GF	C		3		3	0.131
<i>Eurystomus orientalis</i>	AI	S		2	2	4	0.601
<i>Halcyon pileata</i>	DI	H		2		2	0.368
<i>Picus canus</i>	TD	P	2			2	0.368
<i>Dendrocopos major</i>	TD	P	3	9	1	13	0.023
<i>Dendrocopos leucotos</i>	TD	P		1		1	0.368
<i>Dendrocopos kizuki</i>	BG	P	11			11	0.015
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	FS	C	5	4	8	17	0.360
<i>Lanius bucephalus</i>	GF	GS	2	8	2	12	0.095
<i>Phoenicurus aureoreus</i>	GF	GS	3	7	1	11	0.071
<i>Zoothera dauma</i>	GF	C	1			1	0.368
<i>Turdus pallidus</i>	GF	C	1			1	0.368
<i>Erithacus cyane</i>	GF	GS	1			1	0.368
<i>Prunella montanella</i>	GF	GS		1		1	0.368
<i>Regulus regulus</i>	AI	C	2			2	0.368
<i>Aegithalos caudatus</i>	FS	GS	16	2		18	0.212
<i>Phylloscopus borealis</i>	FS	GS	1	1		2	0.601
<i>Urosphena squameiceps</i>	GF	GS	2			2	0.368
<i>Parus palustris</i>	FS	S	8	6	12	26	0.199
<i>Parus ater</i>	FS	S	12	1		13	0.145
<i>Parus major</i>	FS	S	27	12	3	42	0.001
<i>Parus varius</i>	FS	S	4	1	1	6	0.404
<i>Sitta europaea</i>	BG	S	1	3		4	0.349
<i>Emberiza cioides</i>	GF	GS	1			1	0.368
<i>Emberiza elegans</i>	GF	GS	3	2	1	6	0.452
<i>Carduelis sinica</i>	FS	C		2		2	0.368
<i>Sturnus cineraceus</i>	GF	S			1	1	0.368
<i>Oriolus chinensis</i>	FS	C		1		1	0.368
<i>Garrulus glandarius</i>	GF	C	3		1	4	0.348
No. of species			22	21	13	33	
No. of individuals			110	71	35	216	
Specie diversity (H')			2.53	2.70	2.05		

^aFG: Foraging guild (FS: foliage searcher, GF: ground-shrub forager, AI: aerial insect pursuer, TD: timber driller, BG: bark gleaner, HP: hunting predator, DI: diver)

^bNG: Nesting guild (C: canopy nester, GS: ground-shrub nester, P: primary cavity nester, S: secondary cavity nester, H: other hole nester, CL: cliff nester)

하는 것으로 나타났다(ground-shrub nesters: $p=0.010$, Figure 3A). 일차(P) 및 이차(S) 수동 영소성 조류 역시 피해목을 벌채한 지역은 미피해지역에 비해 서식 밀도가 낮았다(primary cavity nesters: $p=0.023$, Figure 3B; secondary cavity nesters: $p=0.040$, Figure 3C).

산불 후 관리와 먹이 자원의 변화에 따른 조류 군집 변화를 파악하기 위해 섭식 길드를 분석하였다. 그 결과 나무에 구멍을 뚫어 먹이를 찾아먹는 조류(TD)인 딱다구리류는 피해목을 방치한 지역에 비해 피해목을 벌채한 지역

의 서식 밀도가 크게 낮은 것으로 나타나 산불 후 관리에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다(timber drillers: $p=0.032$, Figure 4A). 수관층에서 먹이를 찾는 조류(FS)는 산불 자체에 의해 서식 밀도가 낮아졌으나(foliage searchers: $p=0.017$), 산불 후 관리에 의한 영향은 확인되지 않았다(Figure 4B). 나무 줄기와 가지의 외부에서 먹이를 찾는 조류(BG)는 산불 후 관리보다는 산불에 의한 영향을 크게 받는 경향이 나타났으나 근소한 차이로 통계적인 유의성이 나타나지 않았으며(bark gleaners: $p=0.055$), 지상과 하

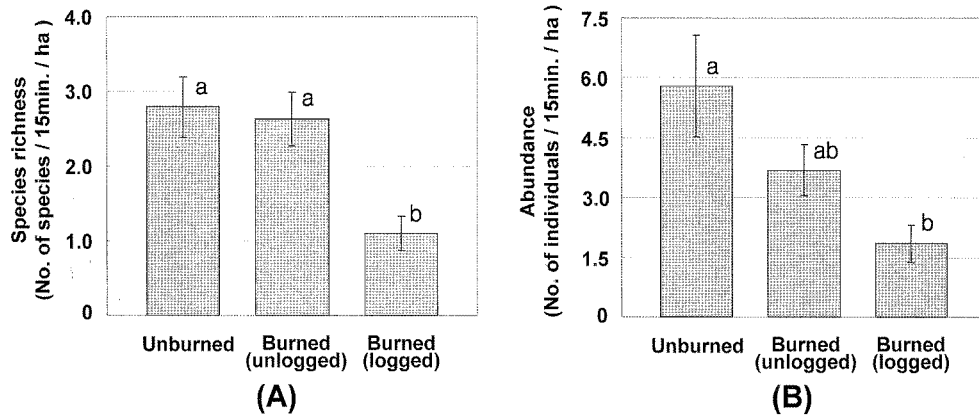


Figure 1. (A) Species richness and (B) abundance of birds recorded from 57 point counts in three different environments. Different letters on the bars mean significant difference among treatments ($p < 0.05$) and vertical lines indicate SE (standard error).

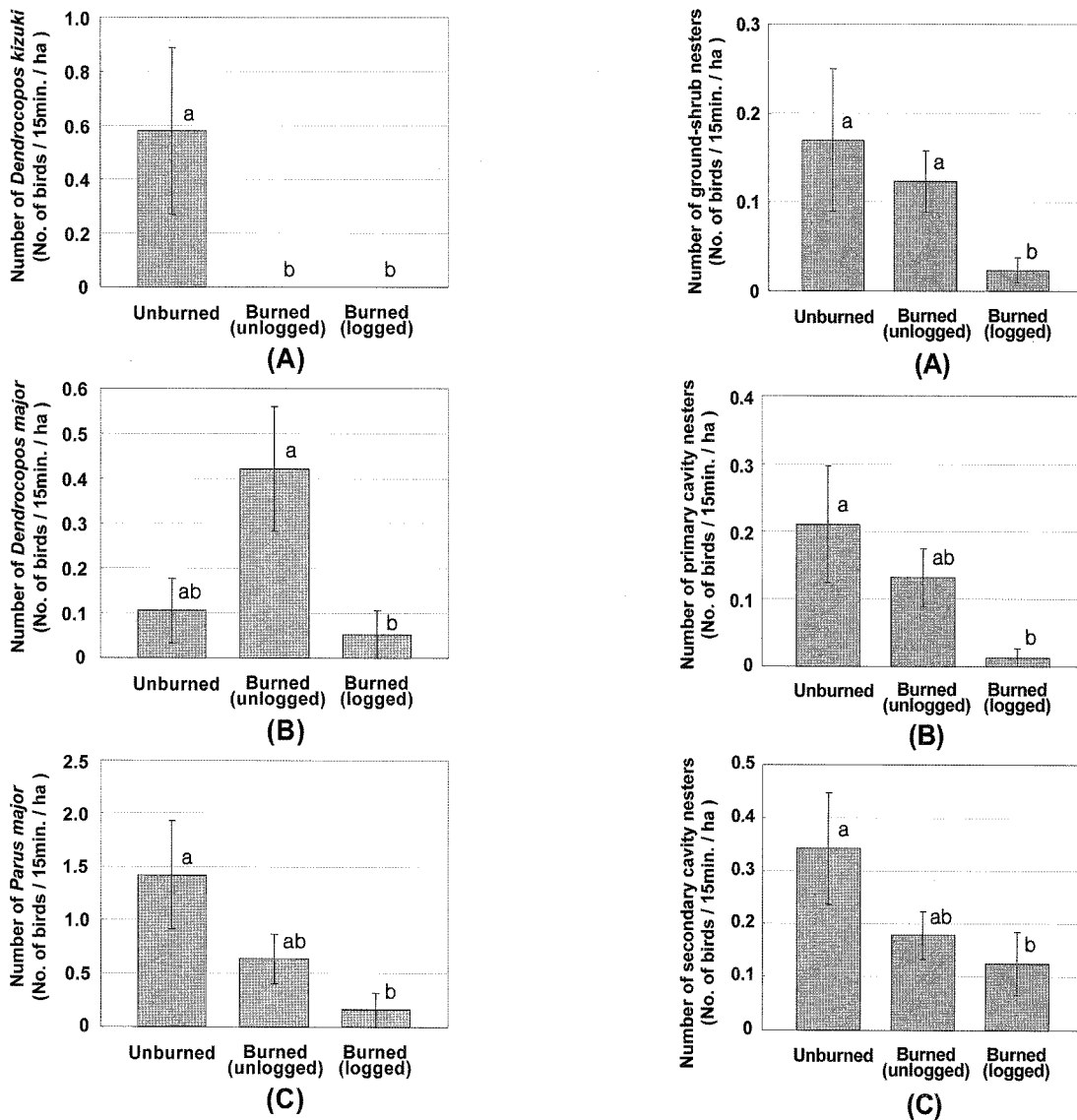


Figure 2. Abundance of (A) Japanese pigmy woodpeckers (*Dendrocopos kizuki*), (B) Great spotted woodpeckers (*Dendrocopos major*), and (C) Great tits (*Parus major*) recorded from 57 point counts in three different environments. Different letters on the bars mean significant difference among treatments ($p < 0.05$) and vertical lines indicate SE (standard error).

Figure 3. Abundance of (A) ground-shrub nesters, (B) primary cavity nesters, and (C) secondary cavity nesters recorded from 57 point counts in three different environments. Different letters on the bars mean significant difference among treatments ($p < 0.05$) and vertical lines indicate SE (standard error).

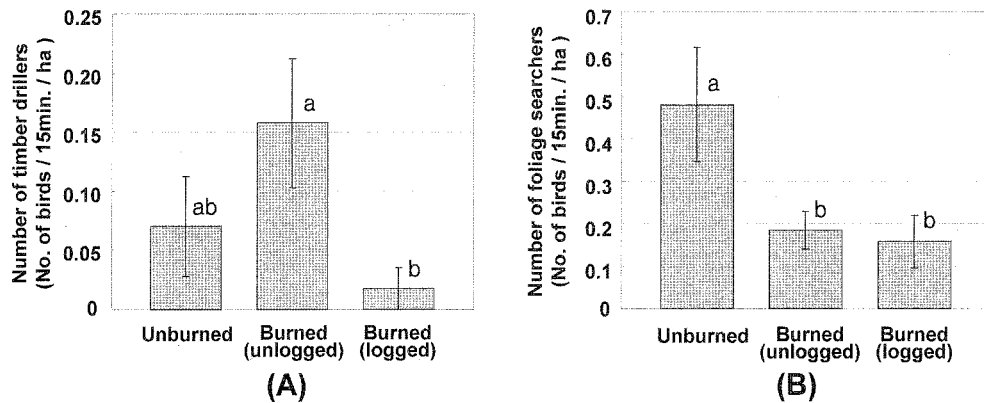


Figure 4. Abundance of (A) timber drillers and (B) foliage searchers recorded from 57 point counts in three different environments. Different letters on the bars mean significant difference among treatments ($p < 0.05$) and vertical lines indicate SE (standard error).

충식생에서 먹이를 찾는 조류(GF) 역시 피해목을 벌채한 지역에서 서식 밀도가 낮아지는 양상을 보였으나 통계적인 유의차는 보이지 않았다(ground-shrub foragers: $p = 0.060$). 이 외에 공중에서 곤충을 잡아먹는 조류(aerial insect pursuers: $p = 1.000$), 물 속으로 잠수하여 먹이를 찾는 조류(divers: $p = 0.3679$), 사냥을 하는 육식성 맹금류(hunting predators: $p = 0.441$) 등은 산불 후 관리의 영향이 나타나지 않았다.

고 찰

1. 조류 개체군 및 군집 변화

산불 피해 이후 피해목을 방치한 지역에서 출현한 전체 조류의 종 풍부도(richness)는 미피해지역과 비교할 때 큰 차이를 보이지 않았으며, 오히려 종 다양성(diversity)은 다소 증가하는 양상을 나타내었다. 각 정점별 출현 종 수 및 개체수에서도 역시 피해목 방치 지역은 미피해지역과 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다. 이것은 산불로 인해 산림환경에 적응된 조류의 우점도가 감소하거나 해당 지역을 기피하는 반면, 개방된 환경을 선호하는 조류가 해당 지역에 유입됨으로써 나타난 현상으로 판단된다. 입분을 바꾸는 수준의 산불(stand-replacing fire)은 산불 이전에 서식하던 조류 군집에서 많은 종을 사라지게 하지만, 이와 동시에 새로운 종이 그 자리를 대체하는 경향이 나타난다(Huff and Smith, 2000). 이는 산불이 반드시 조류의 종 풍부도 및 다양성의 감소와 직접적인 관련은 없는 것을 의미하며, 오히려 적정 수준의 산불 및 산불 후 관리하는 산림 구조의 다양성을 증가시킴으로써 미피해지역과 유사한 수준의 다양성을 유지시킬 수 있는 역할을 할 수 있다(Izhaki and Adar, 1997). Koenen and Koenen (2000) 역시 중미 열대림에서의 연구를 통해 산불이 조류의 종 풍부도(richness)와 수도(abundance)를 감소시킬 수 있지만, 모자이크형의 서식지가 조성됨으로써 지역적으로 다양한

종 풍부도를 유지할 수 있음을 보였다. 그러나 이 과정에서 산불이 이용 가능한 자원의 양을 감소시킴으로써 생태계의 수용 능력과 서식 가능한 조류의 개체수가 감소하는 현상은 발생할 가능성이 높은 것으로 예상되며, 본 연구에서도 전체 조류의 출현 개체수(abundance: 수도)는 산불로 인해 감소하는 양상을 보였다.

이와는 달리 피해목을 벌채한 지역은 피해목을 방치한 지역과 산불 미피해지역에 비해 조류의 종 수와 개체수, 다양도 지수 등이 모두 낮게 나타났으며, 각 정점별 조사 결과에서도 피해목을 모두 벌채한 지역이 미피해지역에 비해 종 수와 개체수가 적게 출현하는 양상을 보였다. 특히 피해목을 벌채한 지역에서 출현한 개체수는 피해목을 존치시킨 지역에 비해 50%에 불과하였으며, 이는 산불 후 관리 과정에서 고사목 전체를 제거할 경우 서식 가능한 조류의 개체군 크기가 절반으로 줄어든다는 기존 연구와 동일하였다(Schwab *et al.*, 2006). 이런 결과는 산불 발생 지역의 관리 과정에서 피해목을 모두 제거하는 것은 종 풍부도(richness), 수도(abundance), 다양성(diversity)의 측면에서 조류의 서식에 매우 불리한 여건을 조성한다는 것을 의미한다.

산림 생태계에서 고사목은 번식 장소와 먹이의 공급원으로 야생동물에게 중요하게 활용되며(Hutto, 1995; Hutto, 2006), 산림의 벌채 과정에서의 고사목 존치가 생물다양성 보전을 위한 중요한 관리 방안으로 간주되어 왔다(Lehmkuhl *et al.*, 2003; Schwab *et al.*, 2006). 산불 역시 고사목의 형성에 중요한 요인이므로, 산불 후 관리 과정에서도 산불의 부정적 효과를 줄이고 생물다양성을 유지하기 위해 산림 벌채시의 고사목 존치와 유사한 형태로 산불 피해목을 남겨두는 관리 방안이 제시되어 왔다(Hutto, 2006). 또한 높은 수준의 조류 다양성을 유지하기 위해 다양한 산불 후 관리 방법을 적용함으로써 서로 다른 형태의 서식지 모자이크를 형성하는 방법이 제안되었다(Izhaki and Adar, 1997). 따라서 산불 피해목의 일부를 남겨두는

것은 서식지의 다양성을 조성하는 한 방법으로 산불 후 관리 과정에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

일반적으로 산불이 동물의 개체군 또는 군집에 미치는 영향은 산불 그 자체보다 그로 인해 발생하는 서식지의 변화가 더 큰 비중을 차지한다(Smith, 2000). 특히 피해목 별채 과정에서 발생하는 인간의 각종 간섭과 토양 유실, 수계 교란, 산림의 수직적 다양성 감소 등을 통해 생태계의 구조와 기능이 변화되고 산불로 인해 취약해진 생태계 안정성이 더욱 악화되는 경향이 있다(Greenberg *et al.*, 1995; Karr *et al.*, 2004; Lindenmayer and Noss, 2006; Noss and Lindenmayer, 2006). 따라서 전체 산불 지역을 대상으로 대규모의 피해목 별채를 실시하는 현재의 산불 후 관리 방법은 조류의 개체군과 군집에 피해를 주는 동시에, 산불로 훼손된 조류의 등지 자원과 먹이 자원을 감소시켜 서식지의 질(habitat quality)을 악화시킬 것으로 우려된다.

2. 종별 변화

박새는 수관층 섭식 길드(FS)인 동시에 이차 영소성 길드(S)에 해당하는 종으로서, 양쪽 길드는 모두 산불과 산불 이후의 고사목 별채에 의해 큰 영향을 받는 집단이다(Greenberg *et al.*, 1995; Hutto and Gallo, 2006). 따라서 박새는 먹이량의 감소, 등지 자원의 제약, 서식 환경의 수직적 다양성 감소 등의 부정적 영향에 의해 서식 밀도가 낮아지는 현상을 보이는 것으로 판단된다.

오색딱다구리는 산불 후 피해목을 방치한 지역에서 서식밀도가 가장 높게 나타나, Huff and Smith(2000)의 기준에 의해 산불 발생 지역을 적극적으로 이용하는 종(exploiter)으로 분류되었다. 다수의 곤충이 서식할 수 있는 피해목을 별채할 경우 오색딱다구리는 서식 밀도가 크게 감소하였으며, 이는 먹이 자원의 감소에 민감하게 반응했기 때문이다(Hutto and Gallo, 2006). 반면 유사한 영소 길드에 해당하는 쇠딱다구리는 서식 밀도 변화가 피해목 별채의 영향은 확인되지 않았으나, 산불 자체에 민감하게 반응하였다. 이것은 소형 조류인 쇠딱다구리가 다른 딱다구리류와는 달리 고사목 내부의 먹이보다는 나무 줄기나 가지의 외부에서 먹이를 찾는 섭식 길드(BG)에 해당하며(Murakami and Nakano, 2001), 이 길드에 해당하는 조류는 산불 피해지역보다는 주로 산불 미피해지역에 집중 분포하는 양상을 보이기 때문이다(Greenberg *et al.*, 1995). 이런 현상은 동일한 영소 길드에 해당하더라도 섭식 길드의 차이에 따라 산불 및 산불 후 관리에 대한 반응은 종 특이적으로 나타날 수 있음을 보여준다.

피해목을 방치한 지역에서 상대적으로 높은 서식 밀도를 보인 딱새(*P. auroreus*)와 때까치(*L. bucephalus*)는 숲 내부보다는 숲의 가장자리, 관목이 산재한 개활지나 초지

를 선호하는 종이다. 비록 통계적인 유의성을 얻지 못했지만 이들이 피해목을 별채한 지역에서의 서식 밀도가 낮은 것은 주변을 경계하거나 먹이를 찾기 위해 높은 곳에 앉을 수 있는 공간을 필요로 하는 습성과 관련이 있는 것으로 보인다.

본 연구에서는 산불 지역에서 서식하는 조류의 밀도가 낮아 조사 정점 내부에서의 출현이 불규칙적인 양상을 보였으며, 결과적으로 산불 후 관리에 의한 서식 밀도 변화에 통계적인 유의성을 만족시키기 어렵게 만든 요인으로 작용했다. 이는 Smucker *et al.*(2005)이 지적한 바와 동일한 결과로서, 산불 및 산불 후 관리에 의한 영향에 민감한 특정 종을 선정하고 낮은 밀도에서의 서식 양상 변화를 추적할 수 있는 집중적인 연구가 요구됨을 의미한다.

3. 길드에 의한 조류 군집 변화

수동 영소성 조류(cavity nesting bird)는 나무의 구멍에서 번식하는 조류로서, 산불 발생 지역의 고사목은 이들 조류 군집에 매우 중요한 역할을 한다(Saab and Dudley, 1998; McIver and Starr, 2001). 본 연구에서는 피해목을 별채한 지역에서 일차 및 이차 수동 영소성 조류 모두 서식 밀도가 크게 감소하였다. 그 중 일차 수동 영소성 조류(primary cavity nesters)인 딱다구리류는 Hutto and Gallo(2006)가 제시한 바와 같이 산불 피해목을 별채한 지역에서 고사목 내에 포함된 먹이 자원의 감소에 크게 영향을 받는 것으로 보인다. 반면, 직접 나무 구멍을 파서 등지를 만들 수 없는 이차 수동 영소성 조류는 먹이량 감소의 영향보다는 일차 수동 영소성 조류가 제공하는 등지의 수가 제한됨에 따라 서식 밀도가 감소한 것으로 해석된다(Hutto and Gallo, 2006).

수관층에서 먹이를 찾는 조류는 상층 임관과 나무의 줄기, 가지 등에서 먹이를 찾는 무리로서, 산림성 조류 군집 전체에서 높은 비중을 차지하지만 산불 이후의 피해목 별채에 의해 크게 감소하였다. 이는 먹이 자원의 감소, 먹이 획득 공간 및 휴식 장소의 소실 등 피해목 별채의 부정적 영향을 크게 받은 결과이며, 미국 플로리다의 침엽수림에서 수행된 연구에서도 유사한 결과가 확인되었다(Greenberg *et al.*, 1995). 지상 및 하층식생에서 번식하는 조류의 서식 밀도는 피해목을 별채할 경우 미피해지역과 피해목을 방치한 지역에 비해 감소하는 것으로 나타났다. 비록 통계적으로 유의하지는 않았으나 지상 및 하층식생에서 먹이를 찾는 조류의 서식 밀도는 역시 피해목 별채지역에서 감소하는 양상을 보였다. 이런 현상은 산불로 인한 하층식생 감소, 별채 과정에서 발생하는 인위적인 간섭의 영향을 받은 것으로 판단되며, 특히 피해목을 별채한 이후 대부분의 지역에서 수목 잔존물을 제거하고 소나무 조림을 실시함으로써 서식지의 다양성을 감소시킨 것보다 상

당한 관련이 있을 것으로 생각된다. 이는 산불피해지에 대한 수목잔존물 제거와 소나무 인공 조림이 소형 설치류의 서식에 불리하게 작용한 것과 동일한 양상을 보이는 것이다(이은재 등, 2006).

이상의 결과를 종합해 볼 때 산불 피해지에서 피해목을 벌채하는 현재의 산불 후 관리는 다양한 영소 길드 및 섭식 길드에 해당하는 조류 군집을 변화시키며, 이런 변화는 결과적으로 전체 조류 군집에 영향을 주게 된다(Hutto, 1995; Schwab *et al.*, 2001; Hutto, 2006). 따라서 현재와 같이 피해목 전체에 대한 벌채로 이루어지는 국내의 산불 후 관리는 피해 지역에 서식하는 조류 군집을 산불 미피해지역 및 피해목 방치 지역과 전혀 다른 형태로 변화시킴으로써, 산불로 훼손된 산림생태계의 구조 및 기능 복원을 지연시키는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

산불 이후 대부분의 조류는 산불 그 자체보다 산불로 인한 서식지의 환경 변화에 더 민감하게 반응한다. 비록 피해목 벌채를 통한 산불 후 관리는 현재 가장 일반적으로 이용되는 방법이지만, 이처럼 산불 발생 지역의 모든 피해목을 제거하는 것은 먹이와 동지 자원의 감소, 서식 환경의 다양성 소실 등을 통해 종 풍부도(richness), 수도(abundance), 다양성(diversity)의 측면에서 조류의 서식에 매우 불리한 여건을 조성하는 것으로 나타났다. 또한 피해목 벌채는 피해 지역에 서식하는 전체 조류 군집의 구조를 변화시킴으로써, 산불 이전의 산림성 조류 군집으로의 복원을 지연시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 산불 발생 지역의 조류 군집을 효율적으로 보전하고 기존의 조류 군집으로 복원하기 위해서는 일정 수준의 피해목 존치가 필수적이며, 이는 서식지의 다양성을 증진시킴으로써 조류의 다양성을 유지시킬 수 있는 효과적인 산불 후 관리 방안이 될 것으로 기대된다. 그러나 피해목 존치를 위한 산불 후 관리 기준을 수립하기 위해서는 우선 오색딱다구리(*Dendrocopos major*) 등 피해목 벌채에 민감하게 반응하거나 관리의 초점이 되는 특정 대상종(target species)을 파악하고 선정해야 할 것이며, 이후 해당 종에 미치는 벌채의 영향과 저감 방안, 피해목 존치의 적정량 추정 등에 대한 집중적인 연구가 요구된다.

감사의 글

이 논문은 국립산림과학원의 산불피해지 복구관리 및 생태계 변화조사 연구의 일부로 수행되었음.

인용문헌

1. 산림청. 2001. 동해안 산불백서I. 산림청. pp. 405.
2. 이경준, 한상섭, 김지홍, 김은식. 1999. 산림생태학. 향문사. 서울. pp. 395.
3. 이우신, 박찬열. 1995. 길드에 의한 산림환경과 조류군집 변화 분석. 한국생태학회지 18: 397-408.
4. 이은재. 2005. 산불피해 후 수목잔존물이 설치류에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 석사학위논문. pp. 54.
5. 이은재, 이우신, 임신재. 2006. 산불피해지 복원방법에 따른 설치류의 서식밀도 및 체중 차이. 한국임학회지 95: 365-369.
6. 임업연구원. 1997. 제2차년도 고성산불지역 생태조사 결과보고서. 임업연구원. pp. 155.
7. Bock, E.B. and Lynch, J.F. 1970. Breeding bird populations of burned and unburned conifer forest in the Sierra Nevada. Condor 72: 182-189.
8. Greenberg, C.H., Harris, L.D. and Neary, D.G. 1995. A comparison of bird communities in burned and salvage-logged, clearcut, and forested Florida sand pine scrub. Wilson Bulletin 107: 40-54.
9. Huff, M.H. and Smith, J.K. 2000. Fire effects on animal communities. pp. 35-42. In: J.K. Smith, ed. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna. General Technical Report (RMRS-GTR-42-vol. 1). U.S. Department of Agriculture. Ogden, USA.
10. Hutto, R.L. 1995. Composition of bird communities following stand-replacement fires in northern Rocky Mountain (USA) conifer forests. Conservation Biology 9: 1041-1058.
11. Hutto, R.L. 2006. Toward meaningful snag-management guidelines for postfire salvage logging in North American conifer forests. Conservation Biology 20: 984-993.
12. Hutto, R.L. and Gallo, S.M. 2006. The effects of postfire salvage logging on cavity-nesting birds. Condor 108: 817-831.
13. Izhaki, I. and Adar, M. 1997. The effects of post-fire management on bird community succession. International Journal of Wildland Fire 7: 335-342.
14. Karr, J.R., Rhodes, J.J. and Minshall, G.W. 2004. The effects of postfire salvage logging on aquatic ecosystems in the American west. BioScience 54: 1029-1033.
15. Koenen, M.T. and Koenen, S.G. 2000. Effects of fire on birds in Paramo habitat of northern Ecuador. Ornitologia Neotropical 11: 155-163.
16. Lehmkuhl, J.F., Everett, R.L., Schellhaas, R., Ohlson, P., Keenum, D., Riesterer, H., and Spurbeck, D. 2003. Cavities in snags along a wildlife chronosequence in eastern Washington. Journal of Wildlife Management 67: 219-228.
17. Lindenmayer, D.B. and Noss, R.F. 2006. Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation. Conservation Biology 20: 949-958.

18. McIver, J.D. and Starr, L. 2001. A literature review on the environmental effects of postfire logging. *Western Journal of Applied Forestry* 16: 1-10.
 19. Murakami, M. and Nakano, S. 2001. Species-specific foraging behavior of birds in a riparian forest. *Ecological Research* 16: 913-923.
 20. Mushinsky, H.R. and Gibson, D.J. 1991. The influence of fire periodicity on habitat structure. pp. 237-259. In: S.S. Bell, E.D. McCoy, and J.J. Ewel, eds., *Habitat structure: the physical arrangement of objects in space*. Chapman and Hall. London, UK.
 21. Noss, R.F. and Lindenmayer, D.B. 2006. The ecological effects of salvage logging after natural disturbance. *Conservation Biology* 20: 946-948.
 22. Saab, V.A. and Dudley, J. 1998. Responses of cavity-nesting birds to stand-replacement fire and salvage logging in ponderosa pine/Douglas-fir forests of southwestern Idaho (Research Paper RMRS-RP-11). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Ogden, USA.
 23. Schwab, F.E., Simon, N.P.P., Stryde, S.W., and Forbes, G.J. 2006. Effects of postfire snag removal on breeding birds of Western Labrador. *Journal of Wildlife Management* 70: 1464-1469.
 24. Smith, J.K. (ed) 2000. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna*. General Technical Report (RMRS-GTR-42-vol. 1). U.S. Department of Agriculture. Ogden, USA.
 25. Smucker, K.M., Hutto, R.L., and Steele B.M. 2005. Changes in bird abundance afterwildlife: importance of fire severity and time since fire. *Ecological Applications* 15: 1535-1549.
-
- (2007년 2월 2일 접수; 2007년 3월 12일 채택)