

## 생태통로와 주변도로에서 야생조류의 이동 비교<sup>1</sup>

박찬열<sup>2\*</sup> · 이장호<sup>3</sup> · 강완모<sup>4</sup>

### The Comparison of Wild Birds Movement between Eco-Corridor and Neighboring Crossing Road<sup>1</sup>

Chan Ryul Park<sup>2\*</sup>, Jangho Lee<sup>3</sup>, Wanmo Kang<sup>4</sup>

#### 요 약

야생동물 이동을 위해 설치된 ‘생태통로’를 야생조류가 선택적으로 이용하는지 알아보기 위하여 서울시 호암1터널, 까치산근린공원, 덕릉고개 등 육교형 생태통로에서 ‘생태통로’와 ‘주변도로’를 이동하는 야생조류를 2006년 6월부터 9월까지 총 9회에 걸쳐 조사하였다. 3개 지역 중 까치산 근린공원, 덕릉고개 등 능선에 위치한 생태통로에서 야생조류는 생태통로를 선택적으로 이용하지 않았으나, 사면에 위치한 호암1터널에서 야생조류는 생태통로를 유의하게 높게 이용하였다. 생태통로의 폭이 90m 이상이거나 사면에 위치할 경우, 야생조류의 이동에 유리한 것으로 판단된다. 생태통로를 이용한 야생조류의 종 구성 측면에서, 관목층 등지 조류는 2m 이하의 관목층 엽층량과 상관성이 있었고, 수관층 등지 조류는 7~8m 엽층량과 상관성이 높았다. 야생조류 이동을 위한 생태통로는 대상지 입지 여건에 따라 목표종을 선정해야 하지만, 서울시의 경우 붉은머리오목눈이 등 관목층 조류를 대상으로 선정하고, 다양한 야생조류의 이동을 위해서는 사면지역에 약 1ha 크기(폭 90m 이상) 생태통로에 2m 이하의 관목층과 8m 이상의 수관층 피도량을 높여주는 산림환경구조를 조성해주는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

주요어: 관목층 등지 조류, 사면부, 산림성 조류, 산림환경구조, 통로

#### ABSTRACT

We recorded the movement of wildbirds nine times at Hoam 1st Tunnel, Kkachisan Park, Deungneung pass to compare the movement between eco-corridor and neighboring crossing road from June to September, 2006. Among three areas, birds did not prefer the eco-corridor at pass type such as Kkachisan Park and Deungneung pass, however number of species and individuals were high at the eco-corridor at Hoam 1st Tunnel. Over 90m width and the slope location of eco-corridors can be beneficial for wild birds to enhance the movement along eco-corridors between isolated two patches. Average foliage volume under two meters showed the relation with bush nesters, and that from 7 to 8m had the highest relationship with canopy nesters. In Seoul city, target species should be considered at the construction of eco-corridors according to site characteristics, but *Paradoxornis webbiamus* could be suggested as a main target species at eco-corridors. To enhance the movement of diverse wildbirds, we would implement that eco-corridors could be located at the slope area with the size of 1ha (over 90m width), eco-corridors could be planted and managed with the high foliage volume of shrub layer under two

1 접수 2011년 4월 30일, 수정(1차: 2011년 9월 26일, 2차: 2011년 10월 19일), 게재확정 2011년 10월 20일

Received 30 April 2011; Revised(1st: 26 September 2011, 2nd: 19 October 2011); Accepted 20 October 2011

2 국립산림과학원 산림생태연구과 Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul(130-712), Korea

3 국립환경과학원 National Institute of Environmental Research, 184 Nanji-ro, Seo-gu, Incheon(404-708), Korea

4 서울대학교 환경대학원 Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul(151-742), Korea(reomi00@snu.ac.kr)

\* 교신저자 Corresponding author(chandrap@chol.com, park@forest.go.kr)

meters and canopy layer over 8 meters.

**KEY WORDS: BUSH NESTERS, CORRIDOR, FOREST BIRDS, FOREST ENVIRONMENTAL STRUCTURE, SLOPE AREA**

## 서론

서식지 단편화(habitat fragmentation)는 도시화 과정에서 빈번하게 나타나고 있으며, 이를 위한 대안으로 생태 통로(eco-corridor)는 단편화된 경관에서 생물다양성과 생태적 과정을 유지할 수 있는 수단으로 제시되어 왔다(Wegner and Merriam, 1979; Gonzalez *et al.*, 1998; Da Silva and Tabarelli, 2000; Lens *et al.*, 2002). 일부 연구는 목표 종이 생태 통로를 이용하는 것으로 보고하였으나(Beier, 1995; Beier and Noss, 1998), 생태 통로는 일부 생물종에게는 연결 통로(corridor)로 다른 종에게는 장애(barrier)로 작용할 수 있다(Sieving *et al.*, 1996; Haddad, 2008). 생태 통로의 조성 후 생물 종별 이동 자료를 통해 생태 통로의 효과를 간접적으로 알 수 있으며 어떠한 종이 이동한지 알고 있으면 생태 통로가 선택적인지 모든 종에게 이로운 지 알 수 있다. 모든 종이 생태 통로를 이용할 경우, 일반종(generalist)의 서식지 확장으로 다른 종의 이동 및 서식에 영향을 줄 수도 있다(Gillies and St. Clair, 2009a; 2009b). 따라서 생태통로가 서식지 연결성을 증대하여 생물다양성을 증가시키지만(Belisle, 2005), 고립된 두 지역의 구성종의 변화에 영향을 줄 수 있거나, 외래종 및 일반종을 증가시킬 수 있다. 우리나라에서 생태통로는 도로·댐·수중보·하구언 등으로 인하여 야생동식물의 서식지가 단절되거나 훼손 또는 파괴되는 것을 방지하고 야생동식물의 이동 등 생태계의 연속성 유지를 위하여 설치하는 인공 구조물·식생 등의 생태적 공간을 말한다(환경부 자연환경보전법). 국내에서는 1998년 지리산 시암재를 시작으로 다양한 형태의 생태통로가 설치되었으며(Ministry of Environment of Korea, 2003; 2004), 생태통로의 국내외 사례를 비교하여 개선 사항을 제시하거나(Kim, 2005; Kim *et al.*, 2005), 교량형 생태통로에 동물의 흔적이 있는지를 조사하여 대안을 제시하는 연구가 진행되었다(Choi *et al.*, 2007). 또한 도시생태계에서 생태통로 적지를 분석하여 도시의 생물다양성을 증진할 수 있는 방안으로 다수 제시한 연구도 있다(Hong *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2009).

연결성을 증진시켜 모든 생물종의 이동이 증가할 경우, 전체적으로 동질적인 시스템이 되고 전체적인 생물 다양성은 낮아질 수 있다. 즉, 국내 생태통로의 연구는 조성의 잇점에 대해 제시하고 연결성을 다수 제시하였으나, 조성

후 어느 정도 어떤 동물이 이동하는 지에 대한 연구는 많지 않다(Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2007). 특히, 생태 통로를 조성한 지역과 주변도로(neighboring crossing road)의 조류 이동을 비교하여, 조류가 생태통로를 선택적으로 이용하고 있는 지에 대해서는 연구된 바 없다. 생태 통로는 예산이 많이 들고, 시설물 제거의 비가역성으로 생태통로의 실효성은 매우 중요하다. 따라서 조류가 생태 통로와 주변도로 중 어느 곳을 선택적으로 이용하는 지와 생태통로를 이용하는 조류는 어떤 종류인지 알아보기 위하여 본 연구를 수행하였으며, 연구 결과는 향후 생태통로의 조성·관리에 있어 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 연구 조사지 및 방법

### 1. 연구 조사지

서울시에 조성한 육교형 생태통로 중 식생 조성이 유사한 지역을 선택하였다. 조사 대상지 중 생태통로는 금천구 호암길의 호암1터널(서울 금천구 시흥동)와 관악구 낙성대 인근의 까치산근린공원(서울시 동작구 사당동), 노원구 덕릉고개(서울시 노원구 상계동)를 선정하였다. 호암1터널은 2000년에 폭 90m, 길이 110m 크기로 조성되었고, 까치산근린공원은 2005년에 폭 15m, 길이 80.2m로 만들어졌다. 덕릉고개는 폭 15m, 길이 45m 크기로 2000년에 조성되었다. 3개 생태통로 중 호암1터널의 것은 폭과 길이가 가장 크며, 까치산근린공원은 최근에 조성되었다.

### 2. 조사 및 분석 방법

야생조류가 생태통로를 선택적으로 이용하는 지 파악하기 위하여, 2006년 6월 12일, 20일, 7월 8일, 8월 5일, 8월 19일, 8월 22일, 9월 13일, 16일, 22일 등 총 9회에 걸쳐 번식 후 야생조류의 이동이 예상되는 시기부터 9월 말까지 조류이동과 산림환경구조 조사를 실시하였다(Table 1).

#### 1) 이동 조사

Table 1. Studied eco-corridors and their survey dates in 2006

Survey area	Location	Status		Size (m)		Survey dates
		Constructed	year	Length	Width	
Hoam	Hoam 1st Tunnel	2000		110.0	90	12nd June, 19th Aug., 22nd Sep.
Kkachisan	Kkachisan Park	2005		80.2	15	20th June, 22nd Aug., 13rd Sep.
Deungneung	Deungneung pass	2000		45.0	15	8th July, 5th Aug., 16th Sep.

조류의 생태통로 이용패턴조사 시 실험구로서 생태통로 (eco-corridors) 그리고 대조구로서 생태통로가 없는 주변도로(neighboring crossing road, Cross)를 대조구로 선정하였다. 조사시간은 조류의 관찰율이 가장 높은 새벽시간으로 06:00~08:00로 정하였다. 매 회마다 실험구와 대조구에 각 10분씩 교대로 3반복조사를 실시하였다. 조사는 생태통로 또는 도로 변(조사 길이: 약 50m)에 조사 위치를 정하여, 육안과 쌍안경(Nikon 10×40 5.9°, Swarovski 8x32 10°)을 이용하였으며 울음소리로 종 및 개체수를 조사하였다(Huff *et al.*, 2000). 그리고 분석을 위한 참고자료로 활용하기 위해 각 생태통로가 위치한 인접 산림의 조류상을 조사하였다. 조류상 조사는 선조사법(line transect method)을 이용하

였으며 통로 입구에서 산림쪽으로 500m의 조사경로를 선정하고 좌우 25m범위 안에 관찰된 조류종과 개체수를 기록하였다(Bibby *et al.*, 1997).

2) 등지 길드 분석

본 연구에서는 번식 조류 군집에 대해 각 조류의 등지를 짓는 장소에 따라서 나무구멍(hole), 수관층(canopy), 관목층(bush and ground), 인가(house)로 구분하여, 등지 틀기 길드(nesting guild)를 나타냈다. Park and Lee(2000)의 기준을 참조하여 분류하였고, 본 조사지에서 나타난 습성에 대해서만 적용될 수 있다.

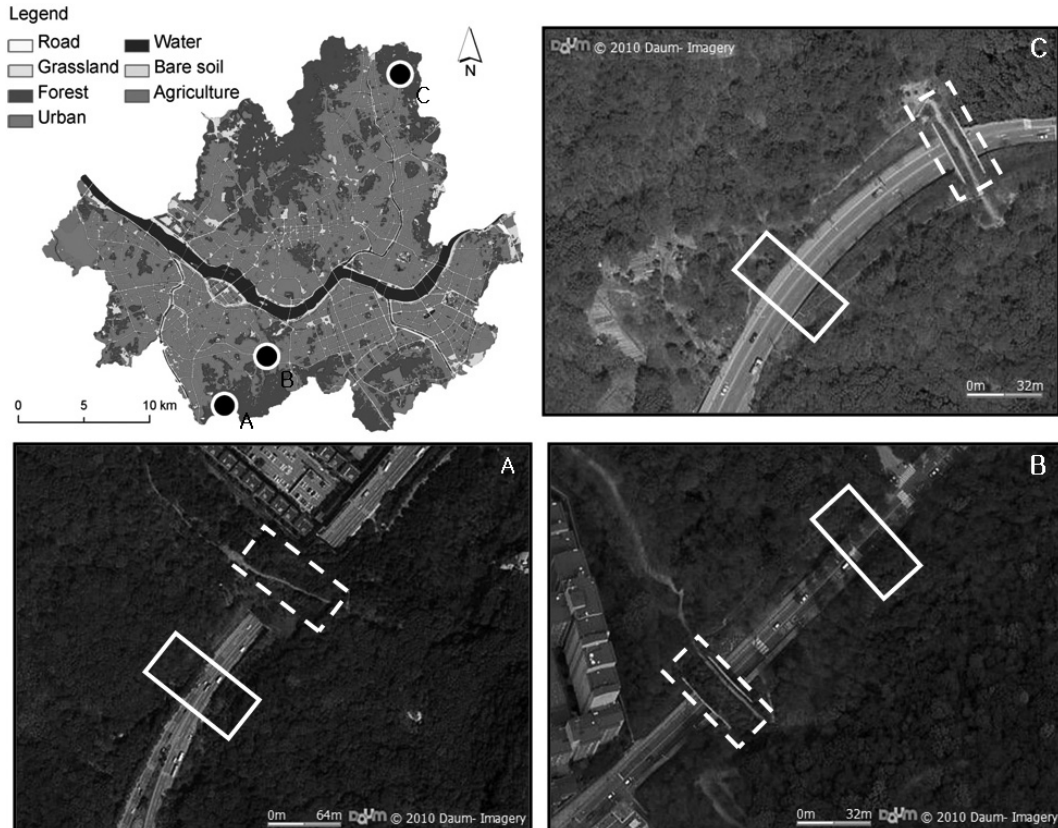


Figure 1. Land cover map classified using Seoul biotope map 2010 and the location of survey areas and regions (A: Hoam, B: Kkachisan, C: Deungneung, solid quadrangle: neighboring crossing road, dotted: eco-corridor)

### 3) 산림환경구조

각 조사지별로 0.01ha(직경 11.28m) 원형 소방형구에서 산림환경구조(forest environmental structure)를 조사하였다. 각 엽층별(A층: 13m 이상, B층: 11~12m, C층: 9~10m, D층: 7~8m, E층: 5~6m, F층: 3~4m, G층: 2m 이하)로 엽층의 상대 피도량이 0%이면 0, 1~20%이면 1, 21~40%이면 2, 41~60%이면 3, 61~80%이면 4, 81~100%이면 5로 나타낸 후, 각 엽층의 평균치로 미세서식지의 산림환경구조를 추정하였다(Lee, 1996). 각 생태통로에서 3개소, 주변 도로에서 3개소 값을 평균하여 구하였다. 야생조류는 생태통로 뿐만 아니라 주변 도로를 따라 이동하므로 주변도로의 산림환경구조도 포함하였다.

### 4) 통계분석

SAS 통계 프로그램을 이용하여, 관찰 종 수 및 밀도는 비모수 통계 분석인 Mann-Whitney U-test를 이용하여 평균 종 수 및 밀도를 비교하였으며, 산림환경구조의 각 엽층 피도량은 모수 통계 분석인 Duncan test를 적용하여 3개 장소의 피도량 평균치를 비교하였다(SAS Institute Inc., 1985). 각 엽층의 피도량과 둥지 길드(nesting guild)별 평균 이동 횟수간의 관련성은 R 프로그램(R Development Core Team, 2011)을 이용하여 스피어만 상관계수(r)를 이용하여 분석했다.

## 결과 및 고찰

### 1. 시기별 생태통로 이동조류 출현 현황

#### 1) 호암1터널

호암1터널 생태통로는 벚나무류(*Prunus* spp.), 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*), 박태기나무(*Cercis chinensis*), 회양목(*Buxus koreana*) 등이 식재되어 있었다. 세 차례에 걸친 조사에서 호암1터널 생태통로를 이용하는 조류는 직박구리(*Hypsipetes amaurotis*), 쇠딱다구리(*Dendrocopos kizuki*), 오색딱다구리(*Dendrocopos major*), 붉은머리오목눈이(*Paradoxornis webbianus*), 산솔새(*Phylloscopus coronatus*), 곤줄박이(*Parus varius*), 박새(*Parus major*), 쇠박새(*Parus palustris*), 노랑턱멧새(*Emberiza elegans*), 흰배멧새(*Emberiza tristrami*), 까치(*Pica pica*), 어치(*Garrulus glandarius*) 등 12종으로 나타났다. 세 차례 조사 동안 호암1터널 생태통로에 인접한 도로를 건너는 조류는 직박구리, 멧비둘기(*Streptopelia orientalis*), 까치, 어치 4종으로 나타났다.

6월 조사에서 호암1터널 생태통로를 이용하는 조류의 총 개체수는 인접한 도로에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(Mann-Whitney U-test,  $P < 0.05$ ). 종수는 통계적으로 유의한 차이는 없었지만, 생태통로에서 관찰밀도가 높았다. 8월 조사에서 호암1터널 생태통로를 이용하는 조류의 총 개체수와 종수가 인접한 도로보다 통계적으로 유의하게 높았다

Table 2. Number of species and individuals per 10 min. between eco-corridor and neighboring crossing road in three study areas at June and July

Scientific name	Hoam		Kkachisan		Deungneung	
	Eco-corridor	Cross	Eco-corridor	Cross	Eco-corridor	Cross
<i>Dendrocopos kizuki</i>	0.7±0.3 <sup>1</sup>	-				
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	0.3±0.3	0.7±0.3		1.3±1.3	0.7±0.7	
<i>Columba livia</i>				2.0±2.0		
<i>Picus canus</i>				0.3±0.3		
<i>Streptopelia orientalis</i>				0.3±0.3		
<i>Paradoxornis webbianus</i>	1.7±0.3	-				2.7±2.7
<i>Parus major</i>	1.0±1.0	-				
<i>Parus palustris</i>	3.0±0.6	-	1.3±0.7		0.7±0.7	0.3±0.3
<i>Parus varius</i>	0.3±0.3	-				
<i>Emberiza elegans</i>	1.0±0.6	-				
<i>Passer montanus</i>					0.7±0.7	
<i>Pica pica</i>	0.3±0.3	1.7±0.7		3.0±0.6	1.3±1.3	1.3±1.3
<i>Garrulus glandarius</i>	-	0.3±0.3				
<i>Corvus macrorhynchos</i>						1.3±1.3
Number of species	4.7±0.9	2.0±0.6	0.7±0.3	2.3±0.9	1.3±0.9	1.3±0.7
Number of individuals	8.3±1.9*	2.7±0.3	1.3±0.7	7.0±2.1*	3.3±1.8	5.7±3.5

<sup>1</sup>Number of individuals(mean±s.d.), \*P < 0.05 for Mann-Whitney "U" test

Table 3. Number of species and individuals per 10 min. between eco-corridor and neighboring crossing road in three study areas at August

Scientific name	Hoam		Kkachisan		Deungneung	
	Eco-corridor	Cross	Eco-corridor	Cross	Eco-corridor	Cross
<i>Dendrocopos major</i>	0.3±0.3 <sup>1</sup>	-		-		
<i>Dendrocopos kizuki</i>	0.3±0.3	-		-		
<i>Streptopelia orientalis</i>				0.3±0.3		1.3±0.7
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	0.7±0.3	0.3±0.3			0.3±0.3	0.7±0.7
<i>Paradoxornis webbianus</i>						3.3±3.3
<i>Parus major</i>	2.3±0.7	-		-	2.3±1.5	1.7±1.7
<i>Parus palustris</i>	1.0±0.0	-		-	0.3±0.3	0.7±0.7
<i>Parus sp.</i>	3.7±0.7	-		-		
<i>Aegithalos caudatus</i>						1.3±1.3
<i>Emberiza elegans</i>	0.7±0.7	-		-		
<i>Passer montanus</i>					1.0±1.0	
<i>Pica pica</i>	0.7±0.3	0.3±0.3		1.3±0.9	1.7±1.2	0.7±0.7
Number of species	4.3±0.7*	0.7±0.3		1.0±0.0	2.3±1.2	2.7±1.2
Number of individuals	9.7±1.2*	0.7±0.3		1.7±0.7	5.7±2.8	9.7±6.7

<sup>1</sup>Number of individuals(mean±s.d.), \*P < 0.05 for Mann-Whitney “U” test

(P<0.05). 9월 조사에서 호암1터널 생태통로를 이용하는 조류의 총 개체수와 종수가 인접한 도로보다 통계적으로 유의하게 높았다(P<0.05, Table 2, 3, 4).

2) 까치산근린공원

까치산근린공원 생태통로는 최근에 건설되었고, 통로폭이 호암1터널의 생태통로에 비해 좁은 편이다. 완충식생 또한 충분히 자라지 못한 상태로 생태통로 전체가 통행자들에 의한 교란 영향을 받은 것으로 판단된다. 세 차례 조사 결과, 까치산근린공원 생태통로를 이용하는 조류는 쇠박새 1종으

Table 4. Number of species and individuals per 10 min. between eco-corridor and neighboring crossing road in three study areas at September

Scientific name	Hoam		Kkachisan		Deungneung	
	Eco-corridor	Cross	Eco-corridor	Cross	Eco-corridor	Cross
<i>Dendrocopos kizuki</i>	0.3±0.3 <sup>1</sup>	-				
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	2.0±1.0	-			1.7±0.9	1.0±1.0
<i>Streptopelia orientalis</i>	-	0.3±0.3		0.7±0.7	0.7±0.7	
<i>Phylloscopus coronatus</i>	0.7±0.7	-				
<i>Paradoxornis webbianus</i>	1.3±1.3	-		0.7±0.3		
<i>Parus major</i>	2.3±0.9	-		0.7±0.3	7.3±1.5	
<i>Parus varius</i>	1.3±0.9	-				
<i>Parus palustris</i>					1.7±0.9	0.7±0.7
<i>Parus spp.</i>	4.7±0.3	-		5.0±3.6		
<i>Aegithalos caudatus</i>						1.3±1.3
<i>Emberiza tristrami</i>	0.3±0.3	-				
<i>Emberiza elegans</i>	0.7±0.3	-				
<i>Pica pica</i>	1.7±0.3	-		1.0±0.6		1.3±1.3
<i>Garrulus glandarius</i>	0.3±0.3	-		0.3±0.3	0.3±0.3	2.0±1.5
<i>Corvus macrorhynchos</i>	0.3±0.3	-				
Number of species	5.7±0.3*	0.3±0.3		2.7±0.7	3.0±1.0	2.0±0.6
Number of individuals	15.7±0.9*	0.3±0.3		8.3±4.4	11.7±2.4	6.3±2.4

<sup>1</sup>Number of individuals(mean±s.d.), \*P < 0.05 for Mann-Whitney “U” test

로 나타났다. 이에 비해 까치산근린공원 생태통로에 인접한 도로를 건너는 조류는 청딱다구리(*Picus canus*), 직박구리, 멧비둘기, 집비둘기(*Columba livia*), 붉은머리오목눈이, 박새, 쇠박새, 어치, 까치 9종으로 나타났다. 6월 조사에서 까치산근린공원 생태통로를 이용하는 조류와 인접 도로를 건너는 조류의 이용빈도를 비교한 결과, 인접 도로를 이용하는 총 개체수가 생태통로에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 종수는 통계적으로 유의한 차이는 없었지만, 생태통로에 비해 인접 도로에서 상대적으로 다양한 조류가 관찰되었다. 8월과 9월 조사에서 까치산근린공원 생태통로를 이용하는 조류는 관찰되지 않았고, 오히려 주변 도로를 건너는 조류만 관찰되었다(Table 2, 3, 4).

### 3) 덕릉고개

노원구에 있는 덕릉고개 동물이동로는 수락산과 불암산을 연결하는 능선에 위치한다. 약 5미터의 공간에 수고 2미터 이하의 관목류 식생이 우점하고 있으며, 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 철쭉(*Rhododendron schlippenbachii*), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*), 개암나무(*Corylus heterophylla*)가 생육하고 있다. 덕릉고개 생태통로는 등산객의 답압에 의해 지면이 노출된 상태이며, 등산객이 지속적으로 이용하고 있다. 세 차례 조사 결과, 덕릉고개 동물이동로를 이용하는 조류는 까치, 쇠박새, 직박구리, 참새(*Passer montanus*), 박새, 어치, 멧비둘기, 7종으로 나타났다. 이에 비해 덕릉고개 동물이동로에 인접한 도로를 건너는 조류는 까치, 박새, 붉은머리오목눈이, 쇠박새, 직박구리, 어치, 멧비둘기, 오목눈이(*Aegithalos caudatus*), 큰부리까마귀(*Corvus macrorhynchos*) 9종으로 나타났다. 7월과 8월 조사에서 덕릉고개 동물이동로를 이용하는 조류와 주변도로를 건너는 조류의 이용빈도를 비교한 결과, 주변 도로를 이용하는 총 개체수가 생태통로에 비해 높았으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 9월 조사에서는 덕릉고개 동물이동로를 이용하는 조류 개체수는 인접도로에 비해 많았으나 통계적인 차이는 없었다(Table 2, 3, 4).

## 2. 생태통로 이동조류의 지역간 비교

3개 생태통로에서 야생조류의 평균 이용 빈도(no./10min.)는 개체수에서 호암1터널 생태통로가 평균 12.7마리로 높았으며, 덕릉고개 생태통로에서 평균 6.9마리였다. 까치산근린공원 생태통로가 0.9마리로 유의하게 낮았다(Mann-Whitney U-test,  $P < 0.05$ , Figure 2). 평균 종수에서도 호암1터널 생태통로가 평균 5.0종으로 가장 높았고, 덕릉고개 동물이동로와 까치산근린공원 생태통로가 각각

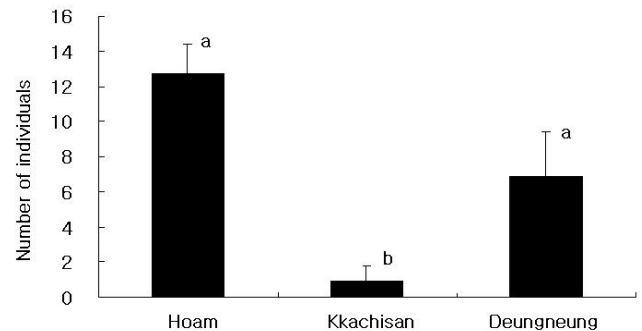


Figure 2. The comparison of number of individuals among three eco-corridors(Mann-Whitney U-test,  $P < 0.05$ , different character at the upper bar represents the difference)

2.2종과 0.2종으로 다음을 차지하였다(Figure 3). 호암1터널에서 평균 종수와 개체수는 높았으나 총 9회의 낮은 표본수로 호암1터널과 덕릉고개 생태통로에서 통계적으로 유의한 차는 없었다. 호암1터널의 생태통로는 야생조류가 다수 이용하는 것으로 나타났는데, 생태통로는 총 9,900m<sup>2</sup>(길이 110m × 폭 90m) 면적으로 거의 1ha 크기의 서식지로서 야생조류의 이동에 충분한 것으로 판단된다. 서울시에서 10ha 이상의 녹지가 야생조류의 서식을 위해 필요하다고 제시하였으나(Park and Lee, 2000), 야생조류가 고립된 녹지들을 연결된 생태통로로 이동하기 위해서는 어느 정도 크기의 생태통로가 유용한 지는 향후 연구가 더 필요하다.

한편, 주변도로의 야생조류 이동은 호암1터널 생태통로가 평균 3.7종 7.0개체, 까치산근린공원 생태통로가 평균 6.3종 12.3개체, 덕릉고개 동물이동로가 평균 6.3종 17.3개체로 나타났지만, 통계적으로 세 지역의 주변도로 간의 야생조류의 개체수와 종 수간에 유의한 차는 없었다(Mann-Whitney U-test, ns, Table 5).

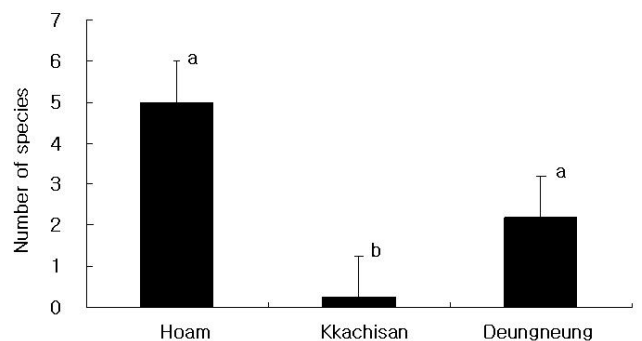


Figure 3. The comparison of number of species among three eco-corridors(Mann-Whitney U-test,  $P < 0.05$ , different character at the upper bar represents the difference)

Table 5. Number of species and individuals of birds among three neighboring crossing roads

Scientific name	NG <sup>1</sup>	Hoam	Kkachisan	Deungneung	P
<i>Pica pica</i>	Canopy	1.7±0.3 <sup>2</sup>	2.7±0.9	1.3±0.7	NS
<i>Parus major</i>	Hole	1.0±0.6	1.7±0.9	2.0±1.0	NS
<i>Paradoxornis webbiana</i>	Bush	1.0±1.0	3.0±2.1	5.0±0.0	*
<i>Dendrocopus kizuki</i>	Hole	-	0.7±0.3	0.7±0.7	NS
<i>Parus palustris</i>	Hole	-	1.3±0.7	0.7±0.7	NS
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	Canopy	1.0±0.0	0.3±0.3	1.3±0.9	NS
<i>Garrulus glandarius</i>	Canopy	-	0.3±0.3	-	-
<i>Streptopelia orientalis</i>	Canopy	-	0.7±0.3	3.3±0.9	*
<i>Passer montanus</i>	House	-	-	2.3±0.3	-
<i>Corvus macrorhynchos</i>	Canopy	-	0.3±0.3	-	-
<i>Dendrocopus major</i>	Hole	0.3±0.3	0.3±0.3	-	NS
<i>Parus spp.</i>	Hole	2.0±0.6	3.7±0.9	2.7±1.5	NS
<i>Phasianus colchicus</i>	Bush	0.3±0.3	-	-	-
<i>Phylloscopus spp.</i>	Bush	-	0.3±0.3	-	-
<i>Oriolus chinensis</i>	Canopy	-	-	0.3±0.3	-
<i>Phoenicurus aureoreus</i>	House	-	-	0.3±0.3	-
Number of individuals		7.0±0.6	12.3±3.5	17.3±2.6	NS
Number of species		3.7±0.7	6.3±1.2	6.3±0.7	NS

<sup>1</sup> NG: Nesting guild, <sup>2</sup> Number of individuals(mean±s.d.), \*P < 0.05 and NS(Non-significant) for Mann-Whitney “U” test

따라서, 3개 주변도로에서 조류상은 큰 차이를 나타내지 않았고, 야생조류는 호암터널 조사지역에서만 생태통로에서 이용률이 높았다. 호암터널의 생태통로는 다른 지역과 다르게 사면부에 위치하고 생태통로의 폭(도로와 수직 방향 길이)이 90m 이어서 조류가 선택적으로 생태통로를 이용한 것으로 판단된다. 생태통로를 조성할 경우 폭 90m 이상을 유지하거나 사면부에 설치할 경우 야생조류가 충분하게 이동할 수 있음을 시사한다. 그러나, 본 연구 결과는 서울시 3개소를 대상으로 실시되었으므로 향후 전국의 생태통로에서 야생조류 이동 자료를 구할 경우, 전국적 수준에서 야생조류가 이동가능한 생태통로 설계가 가능할 것이다. 또한, 생태통로 내부에 야생조류의 계절별 이동 자료 및 번식 등 지 조사 등 추가적인 조사도 필요하다.

한국에서 야생동물 이동통로는 대개 선택적으로 포유류의 이동을 원활하게 하기 위해 설치되었으나(Kim, 2005; Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2007; Hong *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2009) 향후, 야생조류를 위한 생태통로의 규격 및 재원을 고려할 필요가 있다. 본 연구에서 호암1터널은 약 1ha 크기의 서식지로서 야생조류 이동에 효과가 있음이 확인되었으나, 향후 생태통로의 모양, 위치, 식생구성, 인간 영향(답압, 불빛) 등 다각적인 각도에서 심도 있는 연구가 필요하다. 또한, 본 연구는 생태통로의 생태적 측면의 일부를 살펴보았으나, 경제적, 재해유발성 측면에서도 다양하게 고려하여 실질적으로 현장에 적용가능한 생태통로의 설계

및 계획이 이루어져야 할 것이다.

### 3. 생태통로 이동조류의 종 구성 특성

생태통로를 이용한 조류 중 중 관목에 등지를 트는 조류는 붉은머리오목눈이, 흰배멧새, 산술새, 노랑턱멧새 등 4종이었으며 호암터널에서만 관찰되었다(Table 2, 3, 4). 호암터널의 생태통로는 관목층을 등지자원으로 이용하는 조류의 이동 종 수 및 횟수가 높았다(Table 6). 호암터널의 생태통로에서 2m 이하 관목층 피도량은 유의하게 높아서 (Figure 4, Table 7) 관목층을 이용하는 조류가 이동한 것으로 판단된다. 한편, 3개 주변 도로에서 파악된 조류 군집의 종 조성은 유의한 차가 없었으나(Table 5, 8), 호암터널에서

Table 6. Number of species and movement of each guild at three eco-corridors

Guild	Hoam		Kkachisan		Deungneung	
	NS <sup>1</sup>	NM <sup>2</sup>	NS	NM	NS	NM
Bush	4	0.9±0.5	0	-	0	-
Canopy	4	0.7±0.6	0	-	4	0.8±0.6
Hole	4	1.6±1.5	1	0.0±0.4	1	0.9±2.0
House	1	1.0±1.2	0	-	1	1.0±0.5

<sup>1</sup>NS: Number of species,

<sup>2</sup>NM: Number of movements(mean±s.d.) per 10 minutes

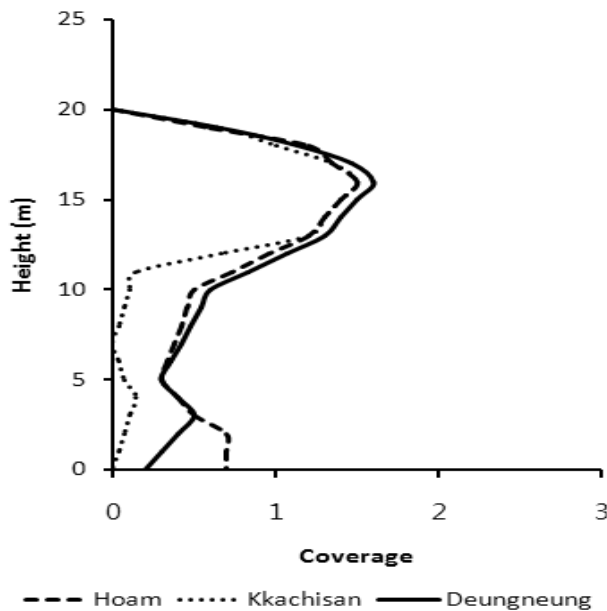


Figure 4. Vertical forest structure of three eco-corridors

생태통로를 이용하는 관목층 조류의 종 수 및 밀도가 높아서(Table 2, 3, 4), 호암터널은 관목층 조류에게 생태통로로서 기능을 하고 있다고 판단된다. 그렇지만, 까치산의 경우 주변도로에서 관목층에 둥지를 트는 조류가 이동하는 반면, 생태통로에서는 이동하지 않는 특성을 보여, 조류의 이동을 위한 생태통로로서 역할은 낮다고 판단된다. 덕릉고개의 경우, 주변도로에서 관목층에 둥지를 트는 조류가 다수 이동하고 있으며(Table 5, 8) 생태통로의 종 수 및 밀도도 높아서(Figure 2, 3) 생태통로의 기능을 하는 것으로 판단된다. 생태통로에서 산림환경구조의 엽층별 피도량과 관목층

과 수관층에 둥지를 트는 조류와 상관관계를 분석한 결과, 관목층 조류 밀도는 2m 이하 평균 엽층량(average foliage volume)과 상관성의 유의성은 낮았으나(Pearson coefficient  $r=0.90$ ,  $P=0.28$ ), 다른 엽층의 수치와 비교하여 상대적으로 상관성은 있는 것으로 판단된다. 수관층 조류는 7~8m 엽층량이 가장 높은 상관관계(Pearson coefficient  $r=0.99$ ,  $P=0.01$ )를 나타냈다(Table 7). 이 결과는 생태통로의 산림환경구조는 이동하는 대상조류의 종 구성에 영향을 줄 수 있음을 나타낸다. 서울시 도시숲의 경우 단편화가 다수 진행되어 소규모 도시숲에서 관목층을 둥지자원으로 이용하는 조류의 종수는 낮은 것으로 알려져 있다(Park and Lee 2000). 이를 고려할 때, 생태통로에서 2m 이하 엽층량을 유지하거나 붉은머리오목눈이 등 관목성 조류를 목표종으로 선정하는 것이 필요하다고 판단된다.

위의 결과를 종합해 볼 때, 생태통로에서 야생조류의 이동을 위해서는 생태통로의 입지 여건에 따라 대상종(target species)을 선정하고 대상종에 맞는 서식지 설계 및 계획이 필요하다고 판단된다. 국내에서 포유류의 로드킬 자료를 이용하여 목표종의 적지 선정이 필요함을 제시한 결과도 있다(Lee and Lee, 2006). 국외 연구에서 생태 통로는 일반종과 특별종 등 다수의 종을 유입할 수 있는 통로임이 알려져 있다(Haddad, 2008; Gillies and St. Clair, 2009a, 2009b). 단편화가 다수 진행되어 관목층 조류의 밀도가 낮은 서울시에서(Park and Lee 2000), 선형 연결형 생태통로를 이용한 연결성 증대는 오히려 들개, 들고양이 등의 유입을 가져와 관목층 조류의 번식에 나쁜 영향을 줄 수 있다.

열대 지역에서 특별종(specialists)은 길게 식재되어 연결된 녹지(fence rows patch)를 선호하고 일반종(generalists)은 징검다리 녹지(stopping stones)를 선호하는 것으로 알려져 있다(Gillies and St. Clair, 2009a, 2009b). 관목층 녹지

Table 7. The average value of foliage volume and correlation coefficients between nesting guilds and foliage layers at three eco-corridors

Foliage layer(m)	N	The average value of foliage volume			Bush nester		Canopy nester	
		Hoam	Kkachisan	Deungneung	$r^2$	P	r	P
0~2	9	0.70 <sup>a1</sup>	0.04 <sup>c</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.90 <sup>3</sup>	0.28	0.72	0.48
3~4	9	0.45 <sup>a</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.50	0.67	0.99	0.07
5~6	9	0.32 <sup>a</sup>	0.05 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.47	0.69	0.99	0.05
7~8	9	0.40 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.41	0.73	0.99	0.01
9~10	9	0.48 <sup>a</sup>	0.08 <sup>b</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.34	0.78	0.99	0.04
11~12	9	0.85 <sup>a</sup>	0.40 <sup>b</sup>	0.95 <sup>a</sup>	0.34	0.78	0.99	0.04
over 13	9	1.07 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	-0.28	0.82	0.77	0.44

<sup>1</sup> Results of duncan multiple test at each foliage layer( $P<0.05$ ), <sup>2</sup> Pearson correlation coefficient( $r$ ) calculated with P values between guilds and foliage layers, <sup>3</sup> This value showed relative low statistical significance( $P=0.28$ ), however it represented the relation between two variables compared with other value of significance.



Table 8. Number of species and movement at each guild among three neighboring crossing roads

Guild	Hoam		Kkachisan		Deungneung		U-test <sup>3</sup>
	NS <sup>1</sup>	NM <sup>2</sup>	NS	NM	NS	NM	
Bush	2	0.4±0.5	2	1.1±1.7	1	1.7±2.9	NS
Canopy	2	0.5±0.7	5	0.7±1.0	4	1.0±1.3	NS
Hole	3	0.7±1.3	5	1.5±1.3	4	1.2±1.1	NS
House	0	-	0	-	2	1.3±1.4	NS

<sup>1</sup> NS: Number of species, <sup>2</sup> NM: Number of movements(mean±s.d.) per 10 minutes, <sup>3</sup> Mann-Whitney U-test of number of movements among three roads(P<0.05)

가 길 또는 하천에 따라 연결될 경우 동물의 이동에 효과적인 것으로 알려져 있다(Dmowski and Kozakiewicz, 1990; Vergara and Simonetti, 2006; Tremblay and St. Clair, 2009). 우리나라에서 생태통로는 현재 징검다리형보다는 단절된 곳을 연결하는 연결형이 다수 조성되고 있으며 녹지의 구조적 연결에 주안점을 두고 있다(Kim, 2005; Kim *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2007; Hong *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2009).

그렇지만, 녹지간의 구조적 연결뿐만 아니라 기능적 연결, 즉 관목층의 연결 또는 교목층의 연결 등 대상종의 서식과 이동에 적합한 기능적 연결을 우선적으로 고려할 필요가 있다. 또한, 주변도로와 생태통로와 상호 관목층 연결은 일반종 뿐만 아니라 특별종을 이동하게 할 수 있는 방안이라고 생각된다. 서울시에서 붉은머리오목눈이를 목표종으로 선정하고 단순한 선형 연결 생태통로를 조성할 것이 아니라, 징검다리형으로 생태통로를 조성하는 것도 고려해 볼 수 있다. 선형 연결 생태통로는 고가이며 조성 후 비가역적이지만, 징검다리형은 생태통로 조성 적지에 저가형으로 시도할 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다.

한편, 본 연구에서는 이루어지지 않았으나, 향후, 번식개체를 임의로 이동하여 다시 원 번식지에 되돌아가는지를 알 수 있는 이동실험(translocation)도 필요하며 생태통로의 종자 산포 등 동식물 상호작용에 미치는 연구(Tewksbury *et al.*, 2002; Levey *et al.*, 2005)도 필요하다고 생각한다. 단순한 녹지의 연결은 일반종과 포식자를 비롯하여 모든 종의 이동을 가져와서, 관목층과 지면에 둥지를 트는 조류는 상대적으로 영향을 받을 수 있다(Haddad 2008). 따라서, 향후 녹지의 구조적 연결만을 계획하는 것보다 단절되어 있음에도 조류에 의해 이동할 수 있는 징검다리 형 생태통로, 즉 목표종의 기능을 고려한 맞춤형 생태통로가 현장에 적용가능하며, 실효적일 것으로 판단한다.

### 감사의 글

본 연구를 수행하는 데 도움을 주신 서울시정개발연구원

송인주 박사님께 감사드리며, 1차, 2차 논문 심사과정에서 귀중한 의견을 아끼지 않은 심사위원들께 깊은 감사를 드립니다. 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2010-0009912)결과의 일부분을 포함합니다.

### 인용문헌

Beier, P.(1995) Dispersal of juvenile cougars in fragmented habitat. *J. Wildl. Manage.* 59: 228-237.

Beier, P. and R.F. Noss(1998) Do habitat corridors provide connectivity? *Conserv. Biol.* 12: 1241-1252.

Belisle, M.(2005) Measuring landscape connectivity: The challenge of behavioral landscape ecology. *Ecology* 86: 1988-1995.

Bibby, C.J., N.D. Burgess and D.A. Hill(1997) Bird census technique. Academic press limited. London, UK, 257pp.

Choi, B.J., Y.S. Jo, J.C. Jeong and J.P. Kim(2007) Ecological case study of eco-corridor in Korea: State and Problem. *J. Kor. Env. Impact Assess.* 16(4): 285-300. (in Korean with English abstract)

Da Silva, J.M.C. and M. Tabarelli(2000) Tree species impoverishment and the future of the Atlantic forest of northeast Brazil. *Nature* 404: 72-74.

Dmowski, K. and M. Kozakiewicz(1990) Influence of a shrub corridor on movements of passerine birds to a lake littoral zone. *Landscape. Ecol.* 4(2/3): 99-108.

Gillies, C.S. and St. Clair, C.C.(2009a) Functional responses in habitat selection by tropical birds moving through fragmented forest. *J. Appl. Ecol.* 47(1): 182-190.

Gillies, C.S. and St. Clair, C.C.(2009b) Riparian corridors enhance movement of a forest specialist bird in fragmented tropical forest. *PNAS* 105(50): 19774-19779.

Gonzalez, A., J.H. Lawton, F.S. Gilbert, T.M. Blackburn and I. Evans-Freke(1998) Metapopulation dynamics, abundance, and distribution in a microecosystem. *Science* 281: 2045-2047.

Haddad, N.M.(2008) Finding the corridor more traveled. *PNAS.* 106(50): 19569-19570.

- Hong, S.H., S.H. Choi, S.D. Lee and J.H. Bae(2009) Establishing urban green networks by estimating birds moving pattern. *J. Kor. Geogr. Inform. Stud.* 12(2): 99-110. (in Korean with English abstract)
- Huff, M.H., K.A. Bettinger, H.L. Ferguson, M.J. Brown and B. Altman(2000) A habitat-based point-count protocol for terrestrial birds, emphasizing Washington and Oregon. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-501*, Portland, USDA, PNRS, Portland, OR, 39pp.
- Kim, M.S.(2005) The existing conditions and problems of ecological corridor in Korea -Focusing on planting species-. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 8(1): 17-26. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.S., H.Y. Heo, S.M. Cho, S.A. Shin, and T.M. Ahn(2005) An analysis of eco-corridors in Korea by case study of domestic and foreign cases. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 8(2): 41-55. (in Korean with English abstract)
- Lee, W.S.(1996) The relationship between breeding bird community and forest structure at a deciduous broad-leaved forests in Hokkaido, Japan. *Korean J. Ecol.* 19(4): 353-361. (in English with Korean abstract)
- Lee, Y.W. and M.W. Lee(2006) Eco-corridor positioning for target species. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 9(3): 51-58. (in Korean with English abstract)
- Lens, L., S.V. Dongen, K. Norris, M. Githiru and E. Matthysen(2002) Avian persistence in fragmented rainforest. *Science* 298: 1236-1238.
- Levey, D.J., B.M. Bolker, J.J. Tewksbury, S. Sargent and N.M. Haddad(2005) Effects of landscape corridors on seed dispersal by birds. *Science* 309: 146-148.
- Ministry of Environment of Korea(2003) The Guideline for management and installation of eco-corridors to rehabilitate the natural ecosystem. (in Korean)
- Ministry of Environment of Korea(2004) Development of planning technique of eco-corridors to implement of sustainable urban woodlands. (in Korean)
- Park, C.R. and W.S. Lee(2000) Relationship between species composition and area in breeding birds of urban woods in Seoul, Korea. *Landscape. Urban. Plan.* 51: 29-36.
- Park, J., H. Yoo and M. Park(2009) A study on assessment items analysis for eco-corridors' area -using the analytic hierarchy process-. *J. Kor. Env. Impact Assess.* 18(5): 301-312. (in Korean with English abstract)
- R Development Core Team(2011) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SAS Institute Inc.(1985) SAS/STAT guide for personal computers, Version 8 edition. SAS Institute Inc. Cary. 378pp.
- Sieving, K.E., M.F. Willson and T.L. deSanto(1996) Habitat barriers to movement of understory birds in fragmented south-temperate rainforest. *The Auk* 113(4): 944-949.
- Tewksbury J.J., D.J. Levey, N.M. Haddad, S. Sargent, J.L. Orrock, A. Weldon, B.J. Danielson, J. Brinkerhoff, E.I. Damschen and P. Townsend(2002) Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *PNAS.* 99: 12923-12926.
- Tremblay, M.A. and C.C. St. Clair(2009) Factors affecting the permeability of transportation and riparian corridors to the movements of songbirds in an urban landscape. *J. Appl. Ecol.* 46(6): 1314-1322.
- Vergara, P.M. and J. A. Simonetti(2006) Abundance and movement of understory birds in a Maulino forest fragmented by pine plantations. *Biodivers. Conserv.* 15: 3937-3947.
- Wegner, J.F. and G. Merriam(1979) Movements by birds and small mammals between a wood and adjoining farmland habitats. *J. Appl. Ecol.* 16(2): 349-357.