

# 도로 및 등산로에 의한 지리산 반달가슴곰의 서식지 파편화<sup>†</sup>

권혁수\* · 서창완\*\* · 박종화\*\*\*

\*서울대학교 대학원 · \*\*서울시립대학교 공간정보학과 · \*\*\*서울대학교 환경대학원 환경조경학과

## I. 서론

인간 활동 및 자연 재해 등으로 인하여 서식지 자체가 파괴되기도 하지만, 파괴되지 않은 서식지는 도시 내에서도 도시들을 잇는 도로 등의 건설 활동으로 인하여 파편화되는 일이 빈번하게 발생하기도 한다(Laurance *et al.*, 2002; Forman *et al.*, 2002; Primack, 2004). 이러한 서식지 파편화는 종의 확산이나 정착 잠재력을 제한하거나(Bhattacharya *et al.*, 2003; Driscoll, 1999) 그 지역 고유종의 먹이 섭취 능력을 감소시킬 수도 있으며, 메타개체군을 분할하여 개체군 감소 및 절멸을 유도할 수 있다(이도원, 2001).

지리산 반달가슴곰 복원은 멸종위기 야생동물을 자연생태계에 재도입하는 프로젝트로서 우리나라 최초로 시도되고 있다. 멸종된 종의 복원을 위해서는 그 종이 가지고 있는 본래의 서식환경 특성이나 행동특성에 대한 자료가 필요하지만 현재 우리나라에는 이러한 자료수집이 미비한 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 유사한 지역의 동일종의 연구를 참조하는 방법이 있으나, 야생동물의 특성상 이에 대한 변이가 커서 현재 서식지에 살고 있는 개체의 모니터링을 통해 서식환경이나 행동특성을 살펴보는 것이 가장 합리적이라 하겠다. 그러나 아직 이에 대한 연구나 공간적 분석에 대한 연구가 기초단계에 머물러 있는 실정이다.

특히 서식환경은 그 지역의 생태적 환경이나 기후 등에 의해 좌우되지만, 우리나라와 같이 개발밀도가 높은 지역에서는 인간에 의한 영향이 중요한 인자로 고려되어야 한다. 우리나라의 대부분의 보호지역은 도로로 인해 파편화되어 있으며, 서식지 파편화는 물리화학적 환경 변화, 동물의 행동생태학적 변화, 외래종의 도입, 로드킬, 인간 활동 등에 의해 위협받는다(Trombulak and Frissell, 2000; Spellerberg, 2002). 특히, 도로나 등산로로 인한 서식지 파편화는 다른 요인들에 비하여 직접적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

우리나라에서 주로 수행되는 야생동물 관련연구들은 서식지 적합성에 대한 연구들이 주를 이루고 있다. 최근에 도로에 의한 파편화 연구들이 이루어지고 있으나, 이에 대한 연구들이

동물들의 실제적인 영향을 정량화하기 보다는 도로 등의 물리적 인자를 통해 파편화를 추정하거나(백경진 등, 2005) 소수의 개체군을 통하여 도로의 밀도를 추정하는 것이기 때문에 자료의 일반화에 한계를 가지고 있다(강혜순과 백경진, 2005).

본 연구는 도로를 포함하여 지리산 국립공원 전역에 분포하는 법정등산로와 비법정등산로의 이용강도에 따른 11개체의 지리산 반달가슴곰의 2년간의 자료를 토대로 수행된 연구로서 파편화의 영향을 정량적으로 파악할 수 있다. 도출된 결과를 토대로 향후에 반달가슴곰의 방사 장소, 서식지 관리에 자료로 활용될 수 있으며, 국립공원의 야생동물의 서식지 보호를 위한 탐방로 관리 등의 국립공원의 관리기본계획에 실질적인 자료로 활용될 것이다.

## II. 연구의 범위 및 방법

### 1. 연구의 범위

지리산 국립공원은 보호지역임에도 불구하고 공원 경계 내에 차량이 이동할 수 있는 2차선 도로가 다수 개설되어 있으며, 현재도 공사가 진행되고 있다(백경진 등, 2005). 차량의 통행이 비교적 많은 도로로는 공원의 북쪽에서 남서쪽을 가로지르는 861번 지방도와 정령치 도로가 있으며, 국립공원의 동쪽 지역에서는 하동군 청암면과 산청군 시천면 간 2차선 도로와 하동군 약양면과 청암면 목계리를 잇는 도로가 있다. 하지만 이보다 더 심각한 문제는 비교적 규제가 자유로운 국립공원 경계 바깥 지역에서 전원주택 및 펜션 개발이 계속되는 가운데 일어나고 있으며, 이를 위하여 추가적으로 도로가 개설 중에 있다는 것이다. 이로 인한 서식지 단절 및 파편화가 더욱 가속될 전망이다.

이 연구는 지리산 국립공원에 방사한 반달가슴곰(*Ursus thibetanus ussuricus*)의 행동권을 통하여 나타난 도로 및 등산로의 파편화 정도를 측정하는 것이다. 따라서 연구의 공간적 범위는 반달가슴곰이 활동하는 지리산 국립공원과 그 인근지역(W:127.43°, N:35.53°, E:127.92°, S:35.18°)을 포함하고 있다(그림 1 참조).

<sup>†</sup>: 이 논문에 활용된 지리산 반달가슴곰의 위치좌표는 국립공원 종복원센터에서 제공한 것이며, 2008년도 환경기술진흥원 차세대 핵심과제 연구비 지원에 의해 수행되었다.

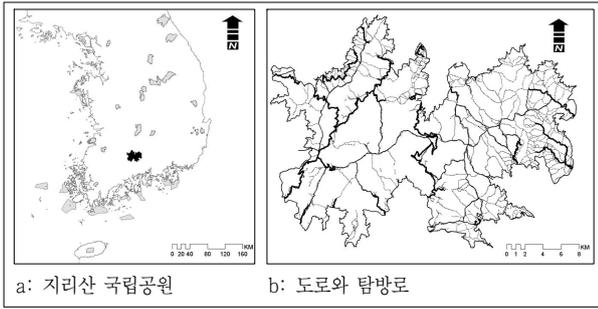


그림 1. 연구 지역(지리산 국립공원의 도로와 탐방로 분포)  
 범례: a: ■ Jirisan N.P., □ National Park  
 b: — Road, — Trail, - - - Illegal Trail, □ NP Boundary

연구에 사용되는 곰의 위치 데이터는 지리산 국립공원에서 방사된 개체 중에서 2006년에서 2008년까지 사이에 1년 이상 위치 추적된 11개체를 대상으로 하였다. 1년 미만의 개체들은 생물주기에 따른 변화를 관찰하기 힘들기 때문에 배제하였다. 2년 이상 위치추적 개체는 6개체, 1년 이상은 5개체이며, 암컷은 6개체, 수컷은 5개체이다.

분석에 사용된 도로와 비법정등산로는 국립지리원의 1: 25,000 수치지형도 중 도로와 소로 레이어를 추출하여 사용하였으며, 지리산 국립공원에서 관리하는 법정등산로는 국립공원관리공단에서 제공받았다. 본 연구에서 활용된 모든 공간분석은 ArcGIS 9.3(ESRI, 2008)을 사용하였으며, 행동권 및 경로 분석은 Hawth's Analysis Tools for 9.0과 ArcView Extension인 Animal movement를 이용하였다.

## 2. 연구의 방법

### 1) 파편화 지수

파편화 지수는 행동권 분석으로 도출된 전체행동권의 면적을 도로 및 등산로에 의해 분할된 최대면적으로 나눈 값이다.

$$FI = \frac{MaxA_i}{\sum A_H} \quad (\text{식 1})$$

$\sum A_H$ 는 행동권분석에 의해 도출된 전체 면적이고,  $MaxA_i$ 는 도로 및 등산로에 의해 나누어진 서식지 중 최대 면적값을 나타낸다. 만약 도로나 등산로에 의해 나누어지지 않았다면  $FI$ 는 1을 나타낼 것이며, 잘게 나누어질수록 0에 가까운 값을 나타내게 된다.

### 2) 도로 및 등산로 횡단 빈도

$FI$ 분석의 경우, 서식지의 파편화 정도를 알아보는데 유용한 지수이지만, 반달가슴곰이 도로나 등산로를 얼마나 회피하고 있는지를 알아보기에는 한계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 위치좌표의 획득시기에 따라 이동경로를 표시하고, 도로나 등

산로를 몇 회 횡단하는지를 계산하였다.

예를 들어, 반달가슴곰의 서식지가 파편화되어 있다하더라도 도로나 등산로의 횡단빈도가 높다면 이는 도로 및 등산로를 장애요소로 인식하지 않는 것으로 판단할 수 있으며, 반면에 횡단빈도가 낮다면 도로나 등산로가 이동의 장애요소로 인식되어 서식지 파편화에 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다.

분석에 사용되는 자료는 계절별로 표본 수가 상이하므로 수집된 전체의 점자료의 수로 나누어 표준화 작업을 실시하였다. 따라서 도출된 결과는 1에 가까울수록 도로 및 등산로의 영향이 미비한 것으로, 0에 가까울수록 등산로가 서식지 파편화에 영향을 주는 것으로 분석될 수 있다.

### 3) 법정등산로의 이용강도에 따른 파편화 경향

지리산 국립공원은 산악형 국립공원 중 북한산 국립공원과 설악산 국립공원 다음으로 많은 탐방객 수를 기록하고 있다<sup>1)</sup>. 이러한 탐방객에 의한 과도한 공원이용은 식생 훼손 및 등산로 답압에 의한 토양 유실 뿐만 아니라 야간 등반에 따른 헤드랜턴 사용과 탐방객의 소음에 따른 야생동물의 등산로 회피 등의 문제를 야기하게 된다. 따라서 본 연구에서는 등산로별 탐방객 수에 따른 반달가슴곰의 서식지 선택의 영향을 추정하고자 하였다. 이를 위하여 지리산 국립공원 2006년과 2007년 등산로별 탐방객수를 토대로 등산로의 이용강도를 나타내고, 이에 따른 계절별 영향을 산출하였다. 탐방객수는 입구조사 자료로서 주능선부(성삼재-천왕봉)와 차량에 의한 이용강도를 산출하는데 한계가 있다. 하지만 주능선부는 각 등산로를 통하여 입장하는 탐방객이 모두 이용하므로 누적 탐방객수를 산정해 계산하는데 무리가 없을 것으로 판단된다. 또한, 차량에 의한 영향도 일반 탐방객의 영향에 비하여 상대적으로 높을 것으로 예상할 수 있을 것이다. 다만 비법정등산로에 의한 탐방객수는 집계되지 않아 분석에서 제외하였다. 비법정등산로의 경우는 도로나 법정등산로에 비하여 상대적으로 탐방객수가 미비하기 때문에 분석결과에 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

## III. 연구의 결과 및 고찰

### 1. 서식지 파편화 지수

지리산 반달가슴곰의 계절에 따른 서식지 파편화를 분석하였다. 겨울의 경우는 동면을 취하기 때문에 서식지의 면적이 상대적으로 넓지 않고 서식지의 파편화 경향이 1에 가깝게 나타났다. 반면에 여름 경우에는 먹이가 부족하여 넓은 지역에 걸쳐 먹이를 구하게 되어 상대적으로 파편화 경향이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같이 계절에 따른 파편화의 정도가 다른 것으로 나타나므로 향후에 계절에 따른 도로 및 등산로의

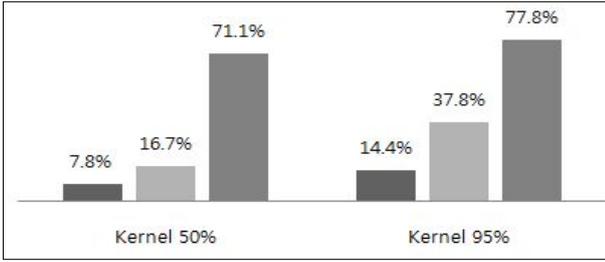


그림 2. 도로 및 등산로의 파편화 경향(FI 0.7 미만의 비율)  
 범례: ■ Road, ■ Trail, ■ Illegal Trail

탐방객 수 등의 이용강도의 조절이 필요한 것으로 사료된다. 도로, 법정등산로, 비법정등산로를 대상으로 파편화지수를 산출하였다. 개체의 행동권에서 개별 이동로에 따른 파편화 지수를 산출하고, FI가 0.7미만인 계절별 행동권의 비율을 나타내었다. 여기서는 MCP 100%가 과추정되는 경향을 보여 결과를 배제하였다. 분석 결과에 따르면 도로에 따른 파편화의 정도가 매우 낮게 나타났으며, 주서식지라고 할 수 있는 Kernel 50%에서 법정등산로에서도 파편화의 정도가 낮게 나타났다. 반면에 비법정등산로에서의 파편화의 비율은 상대적으로 매우 높게 나타났다(그림 2 참조).

도로와 법정등산로의 경우, 서식지 파편화의 비율이 적은 것은 반달가슴곰이 이동로를 횡단의 방해요소로 인식하고 있음을 나타내는 것이다. 반면에 비법정등산로의 경우에는 서식지 파편화 비율이 높은 것은 이동로를 횡단의 방해요소라고 하기 보다는 서식지의 일부로서 인식하고 있음을 알 수 있다.

## 2. 도로 및 등산로 횡단 빈도

FI를 가지고 서식지 파편화를 추정하는 경우에는 도로 및 등산로의 회피 정도를 알아보기 힘들다. 예를 들어, 반달가슴곰 개체가 도로 및 등산로를 사이에 두고 매일 횡단하는 것과 길 을 사이에 두고 한번만 이동하여 절반씩 생활하는 것은 행동권 분석에서 같은 결과를 도출하게 된다. 그러나 분석결과, 횡단 빈도는 이동로에 의한 파편화 경향과 유사한 결과를 도출하였다. 이 분석에서도 비법정등산로의 영향은 매우 미비한 것으로 나타났다.

## 3. 법정등산로의 이용강도에 따른 파편화 경향

탐방객수가 비교적 적은 곳에서의 서식지 파편화 경향이 높게 나타났으며, 탐방객수가 상대적으로 많은 주능선(성삼재-천왕봉)이나 주요 등산출입구(쌍계사, 중산리)에서는 서식지 파

편화가 적게 일어나는 것으로 나타났다. 이것은 탐방로의 이용강도가 서식지 이동에 장애요인으로 나타나는 것이다. 더 나아가 서식지의 고립화를 나타낼 수 있다.

## IV. 결론

지리산 반달가슴곰의 행동권을 통하여 지리산 반달가슴곰의 서식지 파편화 경향을 분석한 결과는 다음과 같다. 첫째, 계절에 따른 서식지 파편화 경향을 알 수 있었다. 먹이가 부족한 여름과 가을철에 행동반경이 넓어 이에 따른 서식지 파편화가 증대됨을 알 수 있었다. 둘째, 개체에 따라 파편화의 경향이 다르게 나타났다. 비교적 서식지가 양호한 곳에서는 파편화 경향이 낮았다. 셋째, 이동로에 따른 파편화 경향을 살펴볼 수 있었다. 비법정등산로, 법정등산로, 도로의 순으로 파편화가 높게 나타났으며 비법정등산로는 지리산 반달가슴곰에게 장애요인으로 나타나지 않음을 알 수 있었다. 넷째, 법정등산로의 이용강도에 따른 파편화 경향을 살펴 본 결과 탐방객수에 비례함을 알 수 있었다. 이용강도가 높을수록 서식지의 파편화가 낮아지고, 서식지는 고립화되는 경향을 나타내었다. 다섯째, 횡단 빈도에 따른 서식지 파편화 경향을 살펴 본 결과 비법정등산로, 법정등산로, 도로순으로 나타났다.

주 1. <http://main.knps.or.kr>: 국립공원관리공단의 연간 탐방객수 집계 (2007년). 북한산 국립공원은 10,191천명, 설악산 국립공원은 3,490천명, 지리산 국립공원은 2,725천명으로 집계되었다.

## 인용문헌

1. 강혜순, 백경진(2005) 야생동물의 행동권을 고려한 설악산 국립공원과 오대산 국립공원간 서식지 연결. 한국환경생태학회지 19(2) : 150-161.
2. 백경진, 박경, 강혜순(2005) 지리산 국립공원 내 도로에 의한 산림조각화. 한국환경복원녹화기술학회지 8: 63-72.
3. 이도원(2001) 경관생태학: 환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리. 서울: 서울대학교 출판부.
4. Bhattacharya, M., R. B. Primack and J. Gerwein (2003) Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban conservation area?. *Biological Conservation* 109:37-45.
5. Driscoll, D. A.(1999) Genetic neighbourhood and effective population size for two endangered frogs. *Biological Conservation* 88: 221-229.
6. Forman, R. T. and D. Sperling.(2002) *Road Ecology*.
7. Laurance, W. F., T. E. Lovejoy, H. L. Vasconcelos, E. M. Bruna, R. K. Didham and P. C. Stouffer(2002) Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation. *Conservation Biology* 16: 605-618.
8. Primack, R. B.(2004) *A Primer of Conservation Biology*. 김종원, 박용목, 이은주, 주기재, 최기룡 (공역), 보전생물학 입문. 서울: 월드사이언스, 2006.
9. Spellerberg, I. F.(2002) *Ecological Effect of Roads*. Science Publishers, Inc., Enfield.