

단 신

## 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)의 형태적 특성: 성적이형성 및 위도에 따른 형태학적 특성 비교

김준수 · 전종훈 · 이우신 · 김종우<sup>ID\*</sup>

서울대학교 산림과학부

### Morphological Characteristics of Siberian Flying Squirrel (*Pteromys volans*): Sexual Dimorphism and Comparison of Morphological Characteristics in Different Latitudes

Junsoo Kim<sup>1</sup>, Jonghoon Jeon<sup>2</sup>, Woo-Shin Lee<sup>3</sup> and Jong-U Kim<sup>ID\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

**요약:** 하늘다람쥐의 형태적 특성을 파악하기 위해 강원도 원주시 백운산에서 2014년 4월부터 2016년 3월까지 하늘다람쥐의 6가지 외부형태적 특성에 대한 측정을 실시하고 분석하였다. 그 결과 하늘다람쥐는 암컷이 수컷보다 큰 암컷편향적 성적이형성을 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 단독 생활을 하고 암컷 혼자 새끼를 키우는 하늘다람쥐의 번식전략과 관련이 있는 것으로 보인다. 국내와 핀란드, 일본에서 파악된 하늘다람쥐의 외부형태 측정치 중 체중과 머리-몸통의 길이를 비교한 결과, 모두 핀란드와 일본 그리고 한국 순서대로 위도가 높은 지역이 크게 나타났다. 이러한 형태적 특성의 차이는 분포 지역 위도에 따른 기후와 서식환경 차이에 따른 것으로 생각되며, 추후 체중과 머리-몸통의 길이 이외의 외부형태 측정치에 대한 비교 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**Abstract:** This study was conducted to clarify the morphological characteristics of Siberian flying squirrel (*Pteromys volans*). We investigated 6 morphological characteristics from April, 2014 to March 2016 at Mt. Baekwoon, Wonju, Gangwon province. We found that Siberian flying squirrel showed female-biased sexual dimorphism. This result would be related to reproductive strategy of the species which female nurse offspring alone. As results of comparison of morphological characteristics from Korea, Finland and Japan, both body weight and head-body length appeared heavier and longer from high-latitude to low-latitude. This result suggest that morphological difference between different latitudes would be related with climate and habitat environment. The more researches would be needed with other morphological characteristics of Siberian flying squirrel.

**Key words:** morphology, *Pteromys volans*, Siberian flying squirrel, sexual dimorphism

## 서 론

야생동물의 형태적 특성은 개체나 성별에 따라 몸의 전체 혹은 특정 부위가 생존에 유리한 방향으로 진화되어 왔다(Andersson, 1994). 이러한 형태적 특성은 동일 종 내에서도 환경과 서식 밀도에 따라 다양하게 나타나며(Toigo et al., 2006), 환경의 변화에 대한 적응과 진화

과정의 결과로 알려져 있다(Kemp, 2005). 특히 크기와 체중 등의 외부측정치는 종 및 아종의 분류에 중요한 항목으로 사용되어 왔다(Wilson et al., 1996; Amori et al., 2014). 그리고 성별에 따라 형태적 특성이 다르게 나타나는 것을 성적이형성(sexual dimorphism)이라고 하며(Shine, 1989), 번식체계에 따라 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있어 해당 종의 번식 전략과 같은 생태적 특성 파악을 위해 중요하다(Rocha et al., 2011).

다람쥐류는 개활지부터 식생이 발달한 산림 등 다양한 환경과 기후대에 서식하며(Thorington et al., 2012), 수컷 편향적 성적이형성과 암컷편향적 성적이형성을 모두 보여 형태적 특성과 성적이형성에 대한 연구에 적합한

\* Corresponding author

E-mail: jw820313@gmail.com

ORCID

Jong-U Kim <sup>ID</sup> https://orcid.org/0000-0001-7790-1817

분류군으로 알려져 있다(Nandini, 2011). 이 중 교목성 다람쥐류(arboreal squirrel)의 형태적 특성은 번식 성공과 경쟁, 포식자로부터의 회피 등의 요인과 관계가 깊은 것으로 알려져 있으며 종이나 개체군, 지역에 따라 다양하게 나타난다(Humphries and Boutin, 1996; Lucas et al., 2007).

하늘다람쥐(Siberian flying squirrel, *Pteromys volans*)는 교목성 다람쥐(arboreal squirrel)로 전국 산악지대의 천연림(natural forest)과 성숙림(mature forest)에 서식하는 것으로 알려져 있다(NIBR, 2012). 동유럽에서부터 우리나라까지 넓은 지역에 분포하고 있으며, 세계자연보전연맹의 적색목록(Red List)에서 관심대상종(Least Concern)으로 분류되고 있다(Wilson et al., 2016). 국내에서는 멸종위기야생생물 II급 및 천연기념물 제328호로 지정하여 보호하고 있다. 그러나 하늘다람쥐에 대한 형태적 특성에 관한 연구는 국내·외적으로 알려지지 않아 검토가 필요한 실정이다. 특히 우리나라는 하늘다람쥐 분포의 최남단 지역으로 알려져 있으며, 분포지역의 위도에 따라 형태적 특성의 차이가 나타날 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 강원도 원주 백운산에서 하늘다람쥐의 형태적 특성에 대한 기초 자료를 마련하기 위해 실시되었다. 이를 위해 외부형태 측정을 통한 성적이형성 파악과 국외 개체군의 외부형태 측정치와 비교함으로써 하늘다람쥐의 환경 변화에 따른 적응에 대해 알아보았다.

## 재료 및 방법

본 연구의 대상지역은 행정구역상 강원도 원주시 판부면과 충청북도 제천시 백운면에 속하는 백운산 일대로서, 북위 37° 15' 43.90", 동경 127° 56' 20.72"에 위치하고 있으며, 해발고도는 1,087 m이다. 이 지역의 연평균 기온은 11.9 °C, 연평균 강수량은 1,372 mm를 나타낸다. 대표적인 백운산 지역의 식생은 소나무(*Pinus densiflora*)와 낙엽송(*Larix kaempferi*), 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*) 등으로 혼효림을 이루고 있다.

하늘다람쥐는 천연기념물 제328호와 멸종위기야생생물 II급으로 지정되어 있어 포획 전 문화재청의 현상변경허가 승인을 받고 포획을 실시하였다. 2014년 4월부터 2016년 3월까지 총 100개의 인공둥지를 40 m 간격으로 설치하고, 인공둥지 모니터링 시 하늘다람쥐가 확인된 곳의 입구를 막아 포획하였다. 포획된 하늘다람쥐는 Ear-tag (EP-1005-1, Bioseb, France) 부착을 통해 개체식별을 한 후 성체를 대상으로 성별(sex)을 판별하였다. 그리고 체중(body mass), 머리-몸통의 길이(head-body length), 꼬리길이(tail length), 뒷발길이(hind foot length), 두개골길이

(skull length), 귀길이(ear length) 등 6가지의 외부형태학적 특성을 측정하였다(Lowery, 1974, Figure 1). 성별은 수컷과 암컷의 생식기의 위치 확인을 통해 판별하였다(Barnett and Dutton, 1995). 체중은 용수철저울(40300, Ecotone, Poland)로 측정하였고 머리-몸통의 길이, 꼬리길이는 휴대용 자로 측정하였다. 그리고 뒷발길이와 두개골길이, 귀길이는 버니어캘리퍼스(MEASY DG, Ecotone, Poland)로 측정하였다. 측정수치의 오차와 측정부위의 오류를 줄이기 위하여 단일 연구자에 의해 3회 이상 측정하여 얻어진 측정치의 평균 값을 이용하였다(Goodman et al., 2009).

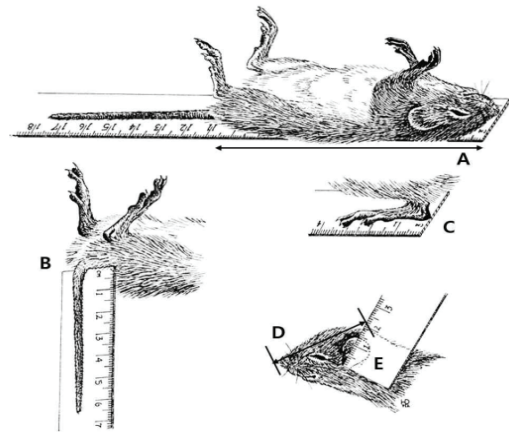


Figure 1. Measurements of small mammal.

(A: head-body length, B: tail length, C: hind foot length, D: skull length, E: ear length, Lowery 1974).

수컷과 암컷의 외부형태적 차이를 비교한 후 다음의 식을 이용하여 하늘다람쥐 암컷과 수컷의 성적이형성지수를 산출하였다(sexual dimorphic index: *SDI*, Smith 1999).

$$SDI = \frac{f - m}{(m + f)} \times 100$$

*m*은 수컷의 평균 외부형태측정치 값, *f*는 암컷의 평균 외부형태측정치 값을 나타내며, *SDI*값이 0보다 크게 나타나면 암컷편향적 성적이형성(female-biased sexual dimorphism)을 보인다는 것을 의미한다. 반대로 *SDI*값이 0보다 작게 나타나면 수컷편향적 성적이형성(male-biased sexual dimorphism)을 나타내는 것을 의미한다. 그리고 선행연구에서 알려진 핀란드(Selonen et al., 2016)와 일본(Ohdachi et al., 2015)에 서식하는 하늘다람쥐의 외부형태값을 종합하여 위도에 따른 형태적 특성을 비교하였다. 수치는 평균±표준편차(Mean±SD)의 형태로 제시하였으며, 결과는 R 3.4.2. 프로그램을 이용하여 정규성 검증 후 T-test 방법을 통하여 분석하였다.

## 결 과

총 51마리(수컷 32마리, 암컷 19마리)의 하늘다람쥐를 대상으로 외부형태학적 특성을 측정하였다. 6가지 외부형태적 특성에 대해 성별 간 비교한 결과 꼬리길이(t-test,  $F=0.02$ ,  $p<0.01$ )와 뒷발길이( $F=0.24$ ,  $p=0.04$ ) 두개골길이( $F=4.13$ ,  $p=0.04$ )에서 유의한 차이가 나타났다(Table 1). 그러나 체중( $F=5.98$ ,  $p=0.29$ )과 머리-몸통의 길이( $F=1.69$ ,  $p=0.28$ ), 귀길이( $F=0.52$ ,  $p=0.68$ )에서는 성별에 따른 차이가 나타나지 않았다. 성적이형성지수(SDI)는 6가지의 외부형태학적 측정치 모두에서 값이 0보다 크게 나타나 하늘다람쥐는 암컷편향적 성적이형성을 보였다(Table 1). 위도에 따른 하늘다람쥐의 형태적 특성 파악을 위해 국내( $n=51$ )와 일본( $n=22$ ), 핀란드( $n=72$ ) 개체군의 체중과 머리-몸통의 길이를 비교하였다. 그 결과, 체중은 핀란드( $148.62\pm 15.63$  g)가 가장 높았으며 다음으로 북해도( $123.02\pm 14.21$  g), 한국( $104.91\pm 13.44$  g) 순서로 높았다(Figure 2). 또한 머리-몸통의 길이 역시 핀란드( $158.95\pm 14.37$  mm)가 가장 길었으며, 다음으로 북해도( $155.60\pm 9.83$  mm)와 한국( $152.08\pm 6.75$  mm)으로 나타났다.

## 고 찰

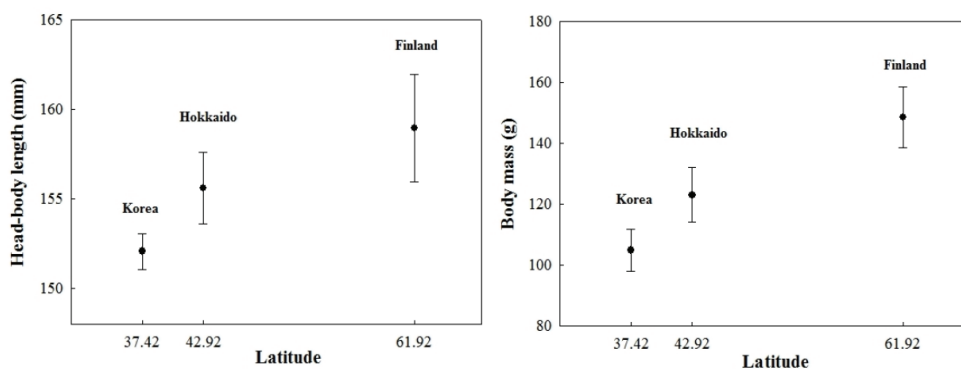
포유류는 일반적으로 수컷이 더 크다고 알려져 있으나 (Clutton-Brock, 2007) 날다람쥐류(flying squirrels)는 대부

분 암컷편향적 성적이형성을 보이는 것으로 보고되었다 (Fokidis et al., 2007). 하늘다람쥐의 형태적 특성을 파악한 결과, 꼬리길이와 뒷발길이, 두개골길이에서 성별 간 유의한 차이가 나타났으며, 암컷편향적 성적이형성을 띠는 것으로 확인되어 기존에 다람쥐류를 대상으로 수행된 선행연구와 유사하게 나타났다(Hayssen, 2008; Nandini, 2011). 이와 같은 성적이형성은 번식행동과 밀접하게 연관되어 있으며(Amadon, 1975), 암컷편향적 성적이형성은 암컷이 번식성공률을 높이기 위해 진화한 것으로 알려져 있다(Cox et al., 2003). 번식기 암컷의 체중 증가는 체지방의 변화와 젖 분비에 영향을 미쳐 한배새끼수와 이소율을 증가시킨다(Fokidis et al., 2007). 반면에 수컷은 체중이 적을수록 에너지 효율과 활동이 용이하여 번식경쟁력이 높은 것으로 보고되었다(Don, 1983; Selonen et al., 2016). 청설모와 하늘다람쥐를 대상으로 한 연구에서도 유사하게 확인되었으며(Lucas et al., 2007; Selonen et al., 2013), 국내 하늘다람쥐의 암컷편향적 성적이형성은 번식 성공률을 높이기 위하여 진화된 것으로 판단된다.

야생동물의 형태적 특성은 기후와 서식환경 및 밀도 등 여러 가지 요인에 의해서 다양하게 나타나며(Carole et al., 2006), 동종 또는 근연종 내에서 고위도로 갈수록 몸의 크기가 커진다는 베르그만의 법칙(Bergmann's rule) 또한 널리 알려져 있다(Bergmann, 1847). 하늘다람쥐는 유라시아 전역에 분포하며, 우리나라는 하늘다람쥐 분포의

**Table 1.** Description of morphometric variables and sexual dimorphism index of Siberian flying squirrel between males and females.

Variables	Total	Male (n=32)	Female (n=19)	F	P	SDI
Body mass (g)	104.91±13.44	102.59±11.13	107.24±16.85	5.98	0.29	2.22
Head-body length (mm)	152.08±6.75	151.00±5.69	153.16±8.39	1.69	0.28	0.71
Tail length (mm)	142.94±9.77	138.41±8.82	147.47±9.05	0.02	<0.01	3.17
Hind foot length (mm)	32.31±1.29	31.92±1.32	32.69±1.15	0.24	0.04	1.19
Skull length (mm)	40.11±1.96	39.52±2.23	40.69±1.18	4.13	0.04	1.46
Ear length (mm)	20.02±1.34	19.93±1.54	20.10±1.25	0.52	0.68	0.41



**Figure 2.** Differences in mean body mass and head-body length of Siberian flying squirrel between Korea ( $n=51$ ), Hokkaido ( $n=22$ , Ohdachi et al. 2015) and Finland ( $n=72$ , Selonen et al. 2016).

남방한계선으로 알려져 있다(Winson et al., 2016). 선행 연구에서 알려진 하늘다람쥐의 외부형태 정보를 바탕으로 국내와 북해도, 핀란드 세 지역의 형태적 특성을 비교한 결과, 체중과 머리-몸통의 길이 모두 위도가 높을수록 크게 나타났다. 이는 북아메리카에 서식하는 날다람쥐류인 *Glaucomys volans*의 형태적 특성(Robins, 2006)과 유사한 결과로써, 고위도에 서식하는 하늘다람쥐는 추운 기온에 대한 적응을 위해 열손실을 줄이고자 저위도의 하늘다람쥐보다 더 큰 외부형태를 취하는 것으로 판단된다. 추후 체중과 머리-몸통의 길이 이외의 외부형태 측정치에 대한 비교 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2013069C10-1919-AA03)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

### References

- Amadon, D. 1975. Why are female birds of prey larger than males? *Raptor Research* 9: 1-11.
- Amori, G., Aloise, G. and Luiselli, L. 2014. Modern analyses on an historical data set: skull morphology of Italian red squirrel populations. *Zookeys* 368: 79-89.
- Andersson, M. 1994. Sexual selection. Princeton University Press. New Jersey, U.S.A. pp. 624.
- Barnett, A. and Dutton, J. 1995. Expedition field techniques small mammals (excluding bats). Expedition Advisory Center. London, U.K. pp. 126.
- Bergmann, C. 1847. Ueber die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. *Gottinger studien* 3: 595-780.
- Carole, T., Michel, G.J., Guy, V.L., Mark, H. and Nicolas, M. 2006. How does environmental variation influence body mass, body size, and body condition? roe deer as a case study. *Ecography* 29: 301-308.
- Clutton-Brock, T.H. 2007. Sexual selection in males and females. *Science* 318: 1882-1885.
- Cox, R.M., Skelly, S.I. and John-Alder, H.B. 2003. A comparative test of adaptive hypotheses for sexual size dimorphism in lizards. *Evolution* 57: 1653-1669.
- Don, B.A.C. 1983. Home range characteristics and correlates in tree squirrels. *Mammal Review* 13: 123-32.
- Fokidis, H.B., Risch, T.S. and Glenn, T.C. 2007. Reproductive and resource benefits to large female body size in a mammal exhibiting female-biased sexual size dimorphism. *Animal Behavior* 73: 479-488.
- Goodman, S.M., Maminirina, C.P., Bradman, H.M., Christidis, L. and Appleton, B.R. 2009. Patterns of morphological and genetic variation in the endemic Malagasy bat *Miniopterus gleni* (Chiroptera: Miniopteridae), with the description of a new species, *M. griffithsi*. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 48: 75-86.
- Hayssen, V. 2008. Patterns of body and tail length and body mass in Sciuridae. *Journal of Mammalogy* 89: 852-873.
- Humphries, M.M. and Boutin, S. 1996. Reproductive demands and mass gains: a paradox in female red squirrels (*Tamiasciurus hudsonicus*). *Journal of Animal Ecology* 65: 332-338.
- Kemp, T.S. 2005. The origin and evolution of mammals. Oxford University Press, Oxford, U.K. pp. 344.
- Lowery, G.H. 1974. The mammals of Louisiana and its adjacent waters. Louisiana State University Press, Baton Rouge, U.S.A. pp. 565.
- Lucas, A.W., Vermeulen, M., Dongen, S.V., Bertolino, S., Molinari, A., Tosi, G. and Matthysen, E. 2007. Effect of spatio-temporal variation in food supply on red squirrel *Sciurus vulgaris* body size and body mass and its consequences for some fitness components. *Ecography* 30: 51-65.
- Nandini, R. 2011. Evolution of sexual size dimorphism in squirrels. (Ph.D Dissertation). Alabama. Auburn University.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2012. Red data book of endangered mammals in Korea. National Institute of Biological Resources. Incheon, Republic of Korea. pp. 111.
- Ohdachi, S.D., Ishibashi, Y., Iwasa, M.A., Fukui, D. and Saitoh, T. 2015. The Wild Mammals of Japan. 2<sup>nd</sup> Ed. Shoukadoh Book Sellers. Kyoto, Japan. pp. 511.
- Robins, J.H. 2006. Morphological aspects of geographic variation in new world flying squirrels (Genus: *Glaucomys*). (Ph.D dissertation). Dekalb. Northern Illinois University.
- Rocha, R.G., Ferreira, E., Costa, B., Martins, I., Leite, Y.L., Costa, L. P. and Fonseca, C. 2011. Small mammals of the mid-Araguaia River in central Brazil, with the description of a new species of climbing rat. *Zootaxa* 2789: 1-34.
- Shine, R. 1989. Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: a review of the evidence. *Quarterly Review of Biology* 64: 419-461.
- Selonen, V., Painter, J.N., Rantala, S. and Hanski, I.K. 2013. Mating system and reproductive success in the Siberian flying squirrel. *Journal of Mammalogy* 94: 1266-1273.
- Selonen, V., Wistbacka, R. and Andrea, S. 2016. Sex-specific patterns in body mass and mating system in the Siberian flying squirrel. *BMC Zoology* 1: 1-9.
- Smith, R. 1999. Statistics of sexual size dimorphism. *Journal of Human Evolution* 36: 423-459.

- Thorington, R.W., Koprowski, J.L., Steele, M.A. and Whatton, J.F. 2012. Squirrels of the world. Johns Hopkins Press. Maryland, U.S.A. pp. 472.
- Toigo, C., Gailard, J., Van Laere, M. Hewison, G. and Morellet, N. 2006. How does environmental variation influence body mass, body size, and body condition? roe deer as a case study. *Ecography* 29: 301-308.
- Wilson, D.E., Cole, F.R., Nichols, J.D., Rudran, R. and Foster, M.S. 1996. Measuring and monitoring biological diversity (standard methods for mammals). Smithsonian Institution Press, Washington D.C., U.S.A. pp. 440.
- Winson, D.E., Lacher, T.E. and Mittermeier, R.A. 2016. Handbook of the mammals of the World. Vol 6. Lagomorphs and Rodents I. Lynx Edicions. Barcelona, Spain. pp. 987.
- 
- Manuscript Received : October 24, 2018  
First Revision : February 19, 2019  
Accepted : February 25, 2019