

Note(단보)

몽골 흡수굴 호수 지역의 설치류 서관 구조에 대한 예비 연구: 한국 플라이스토세 말기 서관 구조와의 비교 연구

임현수^{1,*} · 이재일² · 박수정¹ · 정훈영¹ · 황진연¹ · 김진섭¹ · 손 문¹ · 윤호일²

¹부산대학교 지질환경과학과, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학교 63번길 2

²극지연구소, 406-840, 인천광역시 연수구 송도미래로 26

A Preliminary Study of Rodent Burrows at Lake Hovsgol, Mongolia: Comparison with the Late Pleistocene Rodent Burrows of Korea

Hyoun Soo Lim^{1,*}, Jae Il Lee², Sujeong Park¹, Hoon Young Jeong¹,
Jinyeon Hwang¹, Jin-Seop Kim¹, Moon Son¹, and Ho Il Yoon²

¹Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Korea Polar Research Institute, Incheon 406-840, Korea

Abstract: In this study, we investigated the characteristics of rodent (mainly ground squirrel) burrows found near the Lake Hovsgol, Mongolia. Those burrows are straight to slightly curved and gently inclined in lateral view. Cross-sectional shapes are either circular or elliptical with diameters ranging from mostly 8-10 cm. Most abandoned burrows are passively filled with soils and/or pebbles. The size and architecture of these Mongolian burrows are remarkably similar to those of the previously reported Late Pleistocene burrows from Korea. Therefore, the rodent burrows found at Korean Palaeolithic sites are thought to have been formed by ground squirrels. However, the difference in burrow-fills suggests that the mean annual precipitation of the Korean Peninsula during the Late Pleistocene is much higher than that of Mongolia.

Keywords: rodent burrows, ground squirrel, Mongolia, Pleistocene, paleoclimate

요약: 이 연구에서는 몽골 흡수굴 호수 인근에서 발견되는 설치류(땅다람쥐) 서관 구조의 일반적인 특징을 조사하였다. 설치류 서관 구조는 직선이거나 약하게 휘어진 형태이며 완만하게 경사진 형태를 보인다. 단면상의 모양은 원형 내지는 타원형이고 지름은 주로 8-10 cm의 크기를 보인다. 버려진 서관 구조들은 대부분 토양이나 자갈에 의해 수동적으로 채워져 있다. 연구 지역에서 관찰되는 서관 구조의 크기와 구조적인 특징들은 이전에 한국에서 보고된 플라이스토세 후기 서관 구조들과 매우 유사하므로 한국에서 발견되었던 서관 구조들도 땅다람쥐과에 의해 형성된 것으로 판단된다. 하지만 서관 구조 충전물의 차이로 판단할 때 당시 한국의 연평균 강수량이 몽골에 비해 훨씬 높았던 것으로 생각된다.

주요어: 설치류 서관 구조, 땅다람쥐, 몽골, 플라이스토세, 고기후

서론

*Corresponding author: tracker@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2251

Fax: +82-51-517-6389

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

척추동물에 의해 만들어진 생존 화석들은 무척추동물의 생존 화석에 비해 보존되기 어렵기 때문에 발자국이나 보행렬 화석을 제외하면 매우 드물게 관찰된다. 하지만 척추동물 서관 구조는 이들을 만든 동물들의 생활 방식과 당시의 고기후, 고환경 등에 대한 많은 중요한 정보들을 제공해주기 때문에 매우

중요하다. 척추동물 서관 구조는 전기 데본기부터 보고되기 시작하여(Allen and Williams, 1981; O'Sullivan et al., 1986), 최근에는 플라이스토세 후기의 설치류 서관 구조가 다수 보고된 바 있다(Lim et al., 2004; Lim et al., 2007; Tobin, 2004a, 2004b; Zanina et al., 2011; Pietsch, 2013; Pietsch et al., 2014).

한국에서는 여러 지역의 구석기 유적 발굴지 고토양층에서 설치류 서관 구조가 보고되었으며, 이들의 형성 시기는 방사성탄소, 광여기루미네선스, 화산재 연대 등에 의해 플라이스토세 후기인 25,000-40,000년 전 사이에 형성된 것으로 밝혀졌다(Lim et al., 2004; Lim et al., 2007). 한국의 설치류 서관 구조는 토양층기층(ca. 2.5 ka) 하부에서만 관찰되고 상부에서는 나타나지 않기 때문에 당시 서관 구조를 만들었던 설치류들은 기후가 온난해지면서 북쪽으로 이주(migration)한 것으로 추정된다. 하지만 한국의 설치류 서관 구조에서는 서관 구조를 만든 동물이나 이주 이유에 대한 직접적인 증거를 찾기 어렵기 때문에 보다 정확한 이해를 위해서는 현생의 유사한 서관 구조에 대한 연구가 필수적이다. 이 논문에서는 몽골 흡수굴 호수 남쪽 지역에서 관찰되는 설치류 서관 구조의 형태학적 특징을 보고하고, 한국의 플라이스토세 말기 서관 구조와 비교 연구를 통해 고환경학적 측면에서의 중요성에 대해 토의하고자 하였다.

연구 지역

연구 지역은 몽골에서 가장 크고 깊은 흡수굴 호수(해발 1645 m) 남쪽의 핫갈(Hatgal) 지역으로 호수로부터 흘러나오는 강(outflow) 주변부에 해당된다(Fig. 1). 연구 지역의 기후는 계절에 따라 뚜렷한 차이를 보이며 연간 기온변화 범위는 35°C에 달한다. 10월부터 3월까지의 겨울에는 시베리아 고기압의 영향을 강하게 받는다. 연평균 강수량은 300-600 mm 정도인데, 60-70%는 6월에서 8월에 집중되어 있다(Bogoyavlensky, 1989).

연구 지역에는 플라이스토세 후기부터 홀로세까지 형성된 적어도 4개 이상의 하안단구층이 분포하고 있으며 단구층의 단면에는 설치류에 의해 형성된 서관 구조가 쉽게 관찰된다. 상부 단구의 경우 증립질 사질 퇴적층이 토양화 작용을 받은 것으로 보인다. 전체적으로 분급이 양호한 특징을 보이며 탄산염 성분을 다량 함유하고 있다. 퇴적물의 조직적 특징으로



Fig. 1. Location map of the study area.

보아 풍성 기원으로 해석되므로 플라이스토세 말기 춥고 건조한 시기에 형성된 풍성 기원의 퇴적층이 이후 토양화 작용을 받아 형성된 고토양층으로 판단된다. 하부 단구의 경우 토양층과 자갈층이 교호하는 경향을 보이는데 이는 호수 수위의 변화에 의한 강의 주기적인 범람에 의해 형성된 것으로 보인다. 하부 단구층의 경우 상부 단구층에 비해 토양화 정도가 심하게 나타나는 특징을 보인다. 상부와 하부 단구 모두 지표에는 초본류들이 덮고 있으며 초본류의 뿌리는 수 십 cm 이상 깊이까지 뻗고 있어 상대적으로 건조한 환경을 지시하고 있다. 식생 분포에 의하면 연구 지역은 산림-스텝(forest steppe) 지역에 해당되는 것으로 보인다.

몽골 지역 서관 구조의 크기와 형태

대형 서관 구조의 경우 내부에서 뼈나 이빨, 발톱 등의 화석이 발견되지 않더라도 서관 구조의 크기와 전체적인 구조 형태, 굽힌 자국 등을 이용하여 서관 구조를 만든 동물에 대한 정보를 얻을 수 있다(Miller et al., 2001). 특히 서관 구조의 크기는 일반적으로 서관 구조를 만든 동물의 몸통 크기와 유사하기 때문에 매우 중요하다. 이번 연구에서는 서관 구조의 크기를 알아보기 위해 다른 고도를 갖는 2개의 단구면에서 서관 구조의 크기를 측정하였다. 홀로세 중기 이후에 형성된 것으로 추정되는 C단구(N50°25'15.4", E100°09'00.4", 해발 1,649 m)에서는 총 27개의 서관 구조의 크기를 측정하였다. 서관 구조의 크기는 5-10 cm까지 다소 넓은 분포 범위를 보이고 있으며 평균 크기는 7.4 cm, 표준편차는 1.2 cm

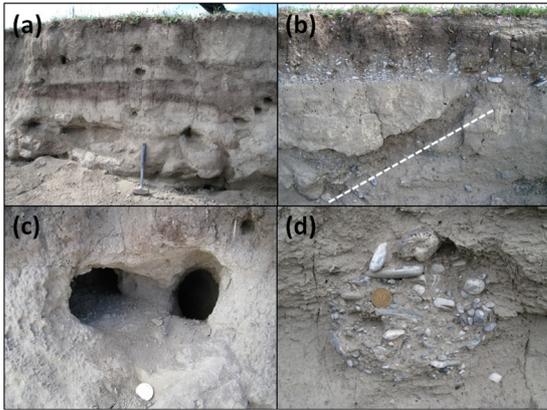


Fig. 2. Photographs of rodent burrows found at the study area. (a) Vertical section showing many rodent burrows. (b) Gently inclined and straight large burrows in vertical section. (c) Branched burrows. (d) Terminal chamber passively filled with surrounding sediments.

로 나타났다. 가장 우세한 서관 구조의 크기는 8 cm 이다. 플라이스토세 후기에 형성된 것으로 추정되는 A단구(N50°25'26.3", E100°08'55.8", 해발 1,664 m)에서는 총 10개의 크기를 측정하였다. 크기는 7-12 cm의 범위를 보이며, 평균 크기는 9.5 cm, 표준편차는 1.4 cm이다. 가장 우세한 크기는 9-10 cm이다.

연구 지역의 단구층 단면에서 원형 및 타원형의 서관 구조가 다수 관찰되며(Fig. 2a), 횡단면에서는 완만한 경사를 가지는 직선형의 횡단면이 관찰된다(Fig. 2b). 또한 두 개의 서관 구조가 갈라진 형태로 나타나는 분지 구조(branched burrows)도 관찰된다(Fig. 2c). 또한 단구층 단면에서는 서관을 만든 동물이 거주한 것으로 생각되는 방 구조(terminal chamber)가 여러 개 발견되었다(Fig. 2d). 방 구조는 대략 20-30 cm의 직경을 가지고 있으며 현재는 토양이나 자갈로 채워진 상태이다.

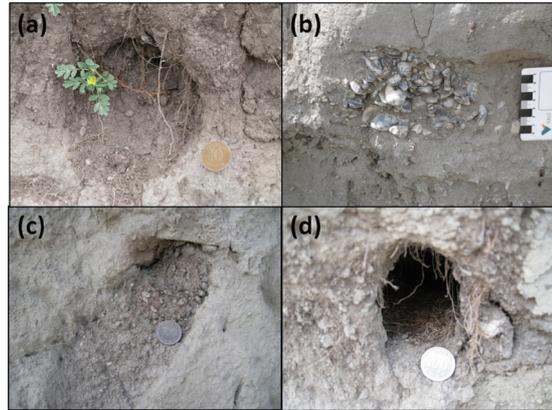


Fig. 3. Burrow-fills. (a, b) Passively-filled rodent burrows (soils and/or pebbles). (c) Rodent burrow filled with fecal pellets made by the burrow producer (ground squirrel). (d) Modern rodent burrow with herbaceous litter at the bottom.

현재 사용되지 않고 버려진 서관 구조(abandoned burrow)들은 대부분 주변의 토양(Fig. 3a)이나 자갈(Fig. 2d, 3b)에 의해 수동적으로 채워진 형태(passive fill)로 나타난다. 토양으로 채워진 경우에는 일반적으로 초본류의 잔뿌리들이 함께 들어있는 경우가 많다. 이는 서관이 형성되었던 자리에 토양이 채워지더라도 공급률과 투수율이 높아 식물의 뿌리가 침투하기 용이하고 수분을 섭취하기 유리하기 때문인 것으로 해석된다. 자갈의 경우에는 하천의 범람 등에 의해 단구층 상부에 공급된 자갈들이 중력에 의해 밀려 내려와 서관 구조를 채운 것으로 해석된다. 토양과 자갈 이외에도 드물게는 서관을 만든 설치류의 분화석(fecal pellets)으로 채워진 서관 구조(Fig. 3c)도 관찰된다. 또한 현재 이용되고 있는 현생 서관 구조의 경우 바닥면에 풀이 깔려있는 것들이 다수 관찰된다(Fig. 3d).

Table 1. Characteristics of rodent burrows found in Mongolia and Korea

Characteristics	Mongolia (this study)	Korea (Lim et al., 2004, 2007)
Diameter	mostly 8-10 cm	mostly 7-10 cm
X-sectional shape	circular or elliptical	circular or elliptical
Architecture	gently inclined to subhorizontal, straight to slightly curved	gently inclined to subhorizontal, straight to slightly curved
Branching	high angle branches (not common)	high angle branches (not common)
Penetration depth	ca. 1-2 m	ca. 1-2 m
Burrower remains	fecal pellets	none
Burrow fill	passive fill (soil, pebble), fecal pellets	well-laminated clays, passive fill (mainly soils)

토의 및 결론

연구 지역에서 관찰되는 설치류 서관 구조의 형성 시기는 플라이스토세 말기에서 현생까지 넓은 범위를 보인다. 현생 서관 구조의 경우 주로 땅다람쥐에 의해 만들어지고 있으며, 일부 들쥐에 의한 서관 구조도 관찰된다. 오래된 A 단구 지역에서의 서관 크기가 평균 9.5 cm인 반면, 현생 서관 구조를 다수 포함하는 C 단구 지역에서의 서관 크기가 평균 7.4 cm로 다소 작게 나타나는 것은 C 단구 지역에서 들쥐에 의한 작은 크기(5-6 cm)의 현생 서관 구조들이 포함되어 있기 때문이다. 들쥐에 의한 서관 구조를 제외하면 연구 지역 서관 구조의 크기(8-10 cm)는 한국의 플라이스토세 고토양층에서 관찰되는 서관 구조의 크기(7-10 cm)와 매우 유사하며, 단면에서 원형내지 타원형을 보이는 완만한 경사의 긴 튜브형태를 보이는 구조적인 특징 역시 한국의 서관 구조와 동일하다(Lim et al., 2004; Lim et al., 2007).

이처럼 몽골 흡수굴 호수 인근에서 관찰되는 서관 구조와 한국의 플라이스토세 고토양층에서 관찰되는 서관 구조의 크기 및 형태의 유사성은 한국에서 관찰되는 서관 구조를 만든 동물을 추정하는 데 매우 중요한 정보를 제공한다. 이전 연구에서 보고된 바와 같이 한국에서 발견되는 서관 구조 내에서는 뼈나 이빨, 발톱, 분화석(coprolite) 등 서관 구조를 만든 동물을 직접 추정할 수 있는 화석 증거가 발견되지 않았기 때문에 크기와 구조적인 특징을 근거로 설치류에 의해 만들어졌을 가능성만 제시되었다(Lim et al., 2004; Lim et al., 2007). 하지만 몽골 흡수굴 호수 인근 지역에서 관찰되는 현생 서관 구조와의 비교를 통해 한국에서 발견되는 설치류 서관 구조도 몽골 지역과 마찬가지로 땅다람쥐과의 설치류에 의해 형성된 것으로 해석된다.

한국에서 관찰되는 서관 구조의 충진물은 인접한 토양으로 채워지거나 엽리가 발달된 점토로 채워지는 경우가 모두 관찰되는데(Lim et al., 2004; Lim et al., 2007), 몽골 지역의 서관 구조 충진물은 주로 토양이나 자갈로 구성되어 있으며 점토로 채워진 서관 구조는 발견되지 않는다. 연구 지역의 경우 연간 강수량이 낮은 편이지만 여름철에 강우가 집중되는 특징을 보임에도 불구하고 점토로 채워진 서관 구조가 전혀 관찰되지 않는다는 것은 당시 한국의 강수량과 강우 빈도가 몽골 지역에 비해 매우 높았다는 것을

의미한다.

한국의 서관 구조를 형성한 설치류들이 25,000년 전에 갑자기 사라진 이유로는 기후 변화에 따른 서식 환경(habitat)의 변화와 천적의 개체수 증가를 생각할 수 있다. 현재 연구지역에서도 뱀이나 맹금류와 같은 땅다람쥐의 천적들이 존재하지만 서관 구조의 밀도가 상당히 높기 때문에 단순한 천적의 개체수 증가가 이주의 주된 원이라고 하기는 어렵다. 반면 강수량과 강우 빈도의 급격한 증가는 땅 속에서 거주하는 포유류(fossorial mammal)에게 매우 치명적인 영향을 주었을 것으로 판단된다. 따라서 연구지역과 한국에서 관찰되는 서관 구조 충진물의 차이를 고려할 때 플라이스토세 후기에 한반도에서 서관 구조를 형성한 설치류들이 북쪽으로 이주한 주된 이유는 급격한 강수량 증가에 의한 환경 변화 때문일 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 하지만 보다 정확한 검증 위해서는 러시아를 포함한 다른 북동아시아 지역과 북미 지역에 대한 추가 비교 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년) 지원에 의해 수행되었습니다. 논문 심사 과정에서 좋은 의견을 주신 정철환 박사님과 김경수 교수님, 장태수 박사님께 진심으로 감사드립니다.

References

- Allen, J.R.L. and Williams, B.T., 1981, Beaconites antarcticus: A giant channel-associated trace fossils from the Lower Old Red Sandstone of South Wales. *The Welsh Geological Journal*, 16, 255-269.
- Bogoyavlensky, B.A., 1989, Atlas of Lake Hovsgol. Glavnoe Upravlenie Geodezii i Kartografii, Moscow, Russia, 118 p. (in Russian)
- Lim, H.S., Lee, Y.I., Lee, Y.W., Yi, S., Chang, S., and Kim, C.-B., 2004, A preliminary study of large burrows at Jeongok and Naju paleolithic sites, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 559-566. (in Korean)
- Lim, H.S., Lee, Y.I., Yi, S., Kim, C.-B., Chung, C.-H., Lee, H.-J., and Choi, J.H., 2007, Vertebrate burrows in late Pleistocene paleosols at Korean Palaeolithic sites and their significance as a stratigraphic marker. *Quaternary Research*, 68, 213-219.

- Miller, M.F., Hasiotis, S.T., Babcock, L.E., Isbell, J.L., and Collinson, J.W., 2001, Tetrapod and large burrows of uncertain origin in Triassic high paleolatitude floodplain deposits, Antarctica. *Palaios*, 16, 218-232.
- O'Sullivan, M.J., Cooper, M.A., MacCarthy, L.A.J., and Forbes, W.H., 1986, The paleoenvironment and deformation of Beaconites-like burrows in the Old Red Sandstone at Gortnsbinna, SW Ireland. *Journal of the Geological Society of London*, 143, 897-906.
- Pietsch, D., 2013, Krotovinas - soil archives of steppe landscape history. *Catena*, 104, 257-264.
- Pietsch, D., Kuhn, P., Lisitsyn, S., Markova, A., and Sinitsyn, A., 2014, Krotovinas, pedogenic processes and stratigraphic ambiguities of the Upper Palaeolithic sites Kostenki and Borshchev (Russia). *Quaternary International*, 324, 172-179.
- Tobin, R.J., 2004a, Taphonomy of ground squirrel remains in a Late Pleistocene ichnofabric, Nebraska, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214, 125-134.
- Tobin, R.J., 2004b, Ichnology of a late Pleistocene ichnofabric, Nebraska, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 215, 111-123.
- Zanina, O.G., Gubin, S.V., Kuzmina, S.A., Maximovich, S.V., and Lopatina, D.A., 2011, Late-Pleistocene (MIS3-2) palaeoenvironments as recorded by sediments, palaeosols, and ground-squirrel nests at Duvanny Yar, Kolyma lowland, northeast Siberia. *Quaternary Science Reviews*, 30, 2107-2123.

Manuscript received: August 9, 2014

Revised manuscript received: August 11, 2014

Manuscript accepted: August 14, 2014