

몽골 북부 흡수굴호의 홀로세 동안의 고환경 변화

Holocene paleoenvironmental changes in the Lake Khuvsgul, Northern Mongolia

어르헨셀렌게¹· 카시와야²· 오치아이²· 크리워너거브³· 나카무라⁴

¹한국지질자원연구원 제4기 지질환경연구팀

²일본카나자와대학자연환경과학기술부

³러시아 과학 아카데미 시비리안 지질환경 연구소

⁴일본나고야대학 연대측정센터

A. Orkhonselenge¹· K. Kashiwaya²· S. Ochiai²· S.K. Krivonogov³· T. Nakamura⁴

¹Quaternary Geology and Environment Research Team, Institute of Geoscience & Mineral Resources, Korea

²Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, Japan

³United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁴Center for Chronological Research, Nagoya University, Japan

Abstract

The present study has focused on the environmental changes and evidences for sedimentation in the Lake Khuvsgul catchment during the Holocene period, inferred from short core sediment (BO03) from the eastern shore of Borsog Bay, which were analyzed in order to review records of the Holocene climatic evolution and Holocene history in Northern Mongolia. For the purpose of reconstruction of natural phenomenon that occurred in the lake catchment system during the Holocene, physical and chemical properties including HCl-soluble material, biogenic silica, organic matter and grain size distribution of minerals in the core sediments have been analyzed in this study. The vertical variations in composition for these properties show distinctly that five lines of paleoenvironmental evidence occurred in the lake catchment during the Holocene. A modified age model resulting from AMS carbon dating for the BO03 core sediment shows timings of these environmental events at 9.5 Kyr BP, 8.0 Kyr BP, 5.6 Kyr BP and 3.2 Kyr BP, respectively. Paleoenvironmental changes in the Lake Khuvsgul catchment system during the Holocene highlight distinctive features of the hydrological regime and geomorphologic evolution in the lake catchment due to regional landscape and global climatic changes corresponding with the Holocene optimum and thermal optimum. In particular, the change of hydrologic regime based on the sedimentological evidence has been caused by not only overland flow due to melting water, but also base flow due to thick permafrost around Khuvsgul region.

Key words: Paleoenvironmental change, Holocene, Lake Khuvsgul catchment, Mongolia

*Corresponding author: 어르헨셀렌게, E-mail. alorsel@gmail.com

1. 서론

고환경 변화는 전 세계의 기후 변화와 지반 운동과 관련된 환경 진화를 복원하는데 지표가 된다. 호수 퇴적물에 발달한 장기간의 기록은 대륙의 고환경 연구에 중요한 자료가 될 수 있다. 호수 퇴적물은 빙하 코어(ice core)와 해안 퇴적물과 마찬가지로 고환경 변화에 대한 특히 내륙 내의 환경사를 복원하는데 중요한 정보를 공급한다. 호수 퇴적물은 호수 유역 내의 침식과 퇴적 작용을 평가하는데 현재 진화되는 지형적 작용을 결합시키는 중요한 역할을 한다(Kashiwaya et al., 2004). 호수 퇴적물은 호수와 그 유역의 수 만년의 환경사를 복원하는 연대서를 제공하는 환경 추적 대상으로서 매우 유익한 자료이다. 최근에 동유럽아시아와 동북아시아의 고환경을 복원하는데 구체적인 연구 대상이 되고 있는 러시아의 바이칼호처럼 몽골의 흡수굴호의 고환경에 관한 연구도 국제적으로 활발하게 진행되고 있다. 흡수굴호는 최근 일세기 동안의 동유럽아시아와 동북아시아의 대륙 내의 고환경 변화의 복원에 관한 유익한 정보를 제공할 수 있는 독특한 지역으로 인식되고 있다. 흡수굴호의 진화는 바이칼호와 비슷할 뿐만 아니라 같은 기저의 구조적 활동으로 형성되었다(Krivosnogov et al., 2003). 흡수굴호는 아시아의 고환경 변화에 민감하게 반응하였을 것으로 예상되고 있다. 또한, 흡수굴호 퇴적물은 전 지구적 기후변화와 지역적인 기후 변동에 인한 흡수굴호 유역 내의 환경 진화를 반영하고 있을 것으로 판단된다. 실제로 현재까지 흡수굴호에서는 북동아시아와 동유럽아시아의 고기후 변화 복원에 필요한 많은 기록들이 관찰된 바 있다(Kuzmin, 2000, Krivosnogov, 2003 및 Prokopenko, 2005). 이 연구에서는 홀로세동안 흡수굴호 유역의 지역적 고환경 변화 및 수문학 그리고 지형학적 진화를 복원하였다.

2. 흡수굴호 유역의 지리적인 특징

흡수굴호는 아시아 중부의 바이칼호 유역 내에 몽골의 북부 흡수굴 산맥의 해발 고도 1645m에 북위 50° 30'–51° 35'와 동경 100° 15'–100° 40' 사이에 위치한다. 흡수굴호는 러시아의 바이칼호의

수량의 50% 이상을 제공하는 셀렌게강과 역강 등을 통하여 바이칼호와 연결되며, 지형적으로 같은 분지에 발달하고 있다. 호수의 총 면적은 약 2770 km² 이고 남북방향의 길이는 136 km이며 동서방향의 폭은 20–40 km이다. 흡수굴호는 몽골에서 가장 깊고 가장 맑은 호수로 평균 깊이는 139m이고, 최고 깊이는 약 262m이다. 흡수굴호의 동쪽과 서쪽에는 저수지, 만과 습지가 잘 발달하고 있으며, 총 96개 정도의 하천들이 흡수굴호로 유입된다.

2.1 호수의 형성시기와 형성작용

흡수굴호의 형성에 관한 선행 연구들에 따르면 흡수굴호는 바이칼호의 북부 분지와 같은 시기에 형성되었다(Logatchev et al., 1974). 바이칼호의 북부 분지는 새바이칼 형성 시기에 형성되었으며(Moore et al., 1997), 이는 약 4–3 Ma 전에 해당된다(Logatchev et al., 1974). 흡수굴호의 퇴적물은 플라이오세보다 젊지 않다(Zorin et al., 1989). 2.5 Ma 이전에 바이칼호의 북부 분지는 이미 깊은 분지 형태로 형성된 것으로 확인되었다(Kuzmin et al., 2000). 흡수굴호 분지에서는 올리고세 후기, 마이오세 후기와 플라이오세 초기 때에 화산 활동이 일어났다(Ivanenko et al., 1989). 가장 젊은 시기의 현무암은 8–9 Ma (K–Ar dating)에 해당된다(Ivanenko et al., 1989). 흡수굴호는 마이오세 후반과 플라이오세 초반 때에 형성되었고 2–5 Ma 전에 형성되기 시작되었다(Goulden et al., 2006). 중력계에 의해 흡수굴호의 퇴적물의 두께가 550 m로 계산되었다(Zorin et al., 1989; Kochetkov et al., 1993).

흡수굴호의 형성 작용은 2가지로 설명된다. 첫째, 바이칼호의 단층은 맨틀의 용승으로 의해 형성되었다(Sherman, 1978). 그 용승은 단층을 따라 큰 동근 용기의 형성에 큰 영향을 미쳤으며 그 동근 용기는 지각의 수평적인 운동과 단층의 형성을 일으켰다(Logatchev and Florensov, 1978; Logatchev et al., 1983). 둘째, 바이칼호는 유라시아와 인도 등 대륙들의 충돌로 의해 형성되었으며 유라시아 대륙은 인도 대륙을 북쪽으로 이동시켰다. 그 운반으로 히말라야 산맥은 형성되었고 지각의 수평적 운동으로 인해 흡수굴호의 단층이 형성되었다(Goulden et

al., 2006). 유라시아판의 주변이 인도 대륙 위로 밀렸고 인도 대륙이 북쪽으로 이동함에 따라 그 대륙들의 단층이 히말라야 산맥을 형성시켰다(Molnar & Tapponier, 1975). 결국, 몽골의 단층은 주향이동에 의한 지각의 신장으로 인하여 형성되었으며 그 주향이동은 인도와 유라시아 대륙들 사이의 충돌로 인한 히말라야 동쪽으로 휘어지며 형성된 것으로 판단된다.

2.2 호수 유역의 지질 및 지형

호수 유역의 서부와 남서부의 암석은 주로 인회석을 포함한 캄브리아기 초반의 탄산염암(석회암)으로 구성된다. 서부와 북서부에는 고생대의 화강암, 섬록암, 화강 섬록암, 사장석 화강암과 선캠브리아의 변성암(Telmen complex)이 분포한다. 북서부와 남동부에 원생대 세일, 건운모편암, 사암과 산성의 분출암이 분포한다. 북서부와 북동부에서는 휘암, 반려암과 반려-섬록암이 분포한다. 북부와 북동부에서는 고생대의 화강암이 관입한 원생대의 후반-고생대의 초반의 변성 그룹의 선캠브리아의 화강암, 흑운모, 화강-섬록암과 재성 섬록암 등이 분포한다. 동쪽에 제3기의 증신세 후반과 선신세와 제4기의 감람석 현무암이 흔하게 분포한다.

지형적으로 흡수굴호와 바이칼호의 유역들은 Zuun Sayan 산맥 (over 3400 m a.s.l)과 Tunka 유역 등으로 구분된다. 흡수굴호 유역의 지형-구조는 습곡 작용으로 형성된 (Zolotarev & Kulakov, 1973) 흡수굴 상향요곡과 Sayan고지 등으로 구성되며 그 흡수굴 상향요곡은 흡수굴호 분지, Darkhad 분지, Khoridol Saridag 산맥과 흡수굴 대지 등 네 가지 지형으로 구성된다(Goulden et al., 2006). 흡수굴호는 Bulnay와 Tsetserleg 주향이동 단층의 북부지에 있는 3가지 분지 중에 가장 젊은 분지다 (동쪽부터 흡수굴호 분지, Darkhad분지 및 Bus River 분지). 흡수굴호 분지와 Darkhad분지는 Khoridol Saridag 산맥으로 구분된다 (Baljinnyam et al., 1993). 흡수굴호 분지는 흡수굴 상향요곡의 하부 부분에서 형성되었으며 흡수굴호 분지의 서쪽은 가파른 구조 단층의 비대칭곡과 동쪽은 완만한 사면으로 구성된다. 흡수굴호 서부는 해발 고도가 2,250-2,300m에 tundra가 분포한 고산이며 빙하

와 영구통토 구조로 이루어져 있다. 북부와 서부의 산맥에는 홍적세 후반의 권곡빙하와 빙하곡들이 널리 분포하고 있으며 권곡은 해발 고도 2300-2800m에 분포하며 호수로 이루어져 있다. 흡수굴 대지는 상향요곡으로 형성되었으며 해발 고도가 서부보다 낮고 가장 높은 Tsagaan-Uul 산이 2,367m가 되며 호수로 향한 유역들로 개석 되어 있다. 북서부에서는 해발 고도가 2500m 이상 급히 개석된 고지대인 빙하 고산지 구조와 북서부와 북동부에서는 충적 분지와 호성의 집적 분지가 발달되어 있다. 북부지에서는 해발 고도가 2,500 m이하 약간 개석된 침식과 삭박 지형으로 이루어진 중고지와 북동부와 동부에서는 고생대의 암석으로 이루어진 중고지 고원 (2,500m 이하), 동부와 남동부에서는 해발 고도가 2,500m 이하 플라이오세의 현무암으로 이루어진 중고지 고원, 동부에서는 하곡과 분지들을 따라 분급된 충적지로 구성된다. 연속 내려가는 단구는 호수 후퇴의 결과가 될 수 있으며 하천과 호수 퇴적물들은 단구의 여러 층위면에서 퇴적되어 나타나지만 그 상호 관련은 밝혀지지 않았다 (Krivonogov et al., 2003).

3. 연구 방법

2003년도에 몽골 북부지 흡수굴호의 중앙 동부의 보르속만(Borsog Bay, 50° 59' 09.5" N 및 100° 42' 40.7" E)에서 코아 퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 길이가 약 2 cm의 플라스틱 코아 샘플링을 이용하여 총 길이가 12.33 m의 샘플의 채취를

Table 1. Radiocarbon age data for the BO03 core sediments (Nakamura, T., et al., 2004).

샘플	깊이 (cm)	¹⁴ C 연대 BP	오차
Kh L2-46	112	2625	38
Kh L3-71	240	3481	38
Kh L4-62	326	4036	39
Kh L5-77	446	5337	40
Kh L6-92	541	5949	40
Kh L10-8	791	7949	40
Kh L11-45	900	8821	41
Kh L12-42	1000	9621	41

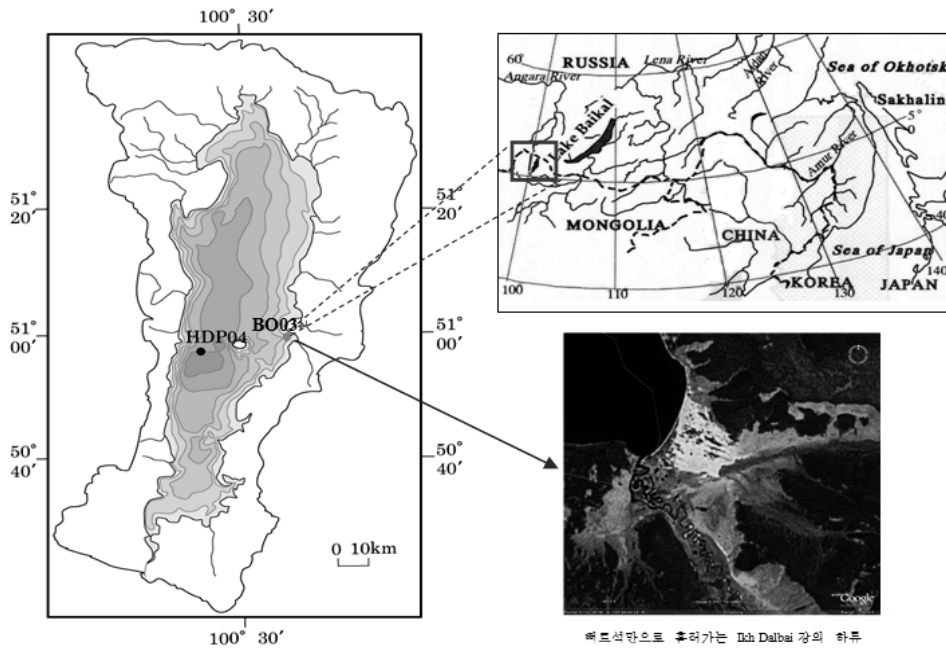


Fig. 1 Bathymetric map of Lake Hovsgol showing location of BO03 core (left), with location map of Lake Hovsgol (upper right) and the lower reaches of the Ikh Dalbai River flowing into Lake Hovsgol in the vicinity of BO03 core (lower right).

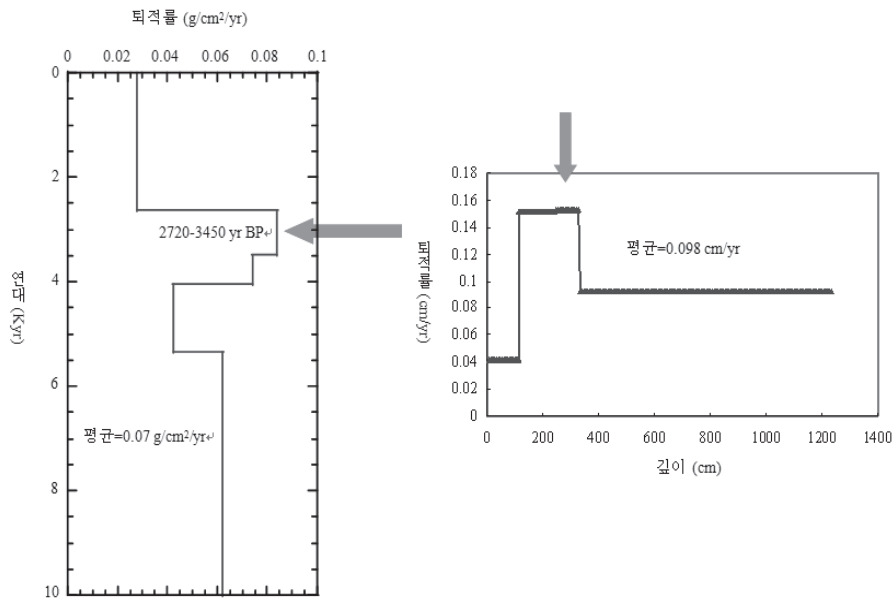


Fig. 2. Variation of sedimentation rates of the BO03 core sediments according to age (left) and depth (right).

하였으며, 1 cm 간격으로 시료의 물리적 및 화학적 관찰과 분석을 통해 호수 유역의 주변의 고환경 변화를 복원하고자 하였다. 홀로세 동안의 동아시아 고환경 변화와 관련된 호수 유역 내의 환경 사건의 기록을 복원하기 위해 본 코아 샘플에서 퇴적물 내에 광물과 유기물 함량, HCl-용해물 및 Bio-SiO₂ 함량, 광물 입도 등 물리적인 분석을 수행하였다. 연대 모델 예상으로 방사성 탄소연령(¹⁴C age BP)을 계산하였다(Fig. 2 및 Table 1). 흡수굴호 동쪽에서는 사면 퇴적물의 여러 형성시기와 과정을 밝히고 지방의 하천 퇴적물과 토양층의 추적도 수행하였다

일반적으로, BO03 코아 퇴적물이 갈색을 띠는 것은 유기물이 많이 함유되어 있음을 알려준다. 코아 상부의 2 m 두께의 퇴적물은 유공층, 탄산염광물, 생물기원 실리카 함량이 많은 실트와 점토로 구성되며, 이 층 아래의 중간 부분은 적은 양의 유기물과 생물기원 실리카 실트와 모래로 구성된다. 하부층인 9.5 m 깊이의 퇴적물은 유공층과 탄산염 생물기원 실리카 함량이 많은 실트와 점토로 구성된다.

4. 결론

이 연구에서는 몽골의 북부지의 홀로세 기후 변화를 복원하기 위해 동쪽 보르스만에서 채취한 코아 퇴적물을 이용하여 흡수굴호 유역 내의 고환경 변화와 퇴적작용 해석을 실시하였다. 홀로세 동안의 보르스만의 지방 환경 변화 및 퇴적작용은 전 세계의 기후 변화 및 흡수굴호 유역 내의 지역적인 지형의 진화, 호수의 수문학적 체제 등과 밀접한 관련이 있는 것으로 해석된다. BO03 코아의 물리적 및 화학적 기록 결과는 전 세계의 기후 변화로 인해 홀로세 동안에 나타난 몇 개의 환경 사건을 보여준다. 특히, BO03 코아 퇴적물의 광물 입도 분포, HCl-용해물 함량, Bio-SiO₂ 함량 등 물리적 특성은 홀로세 동안의 기후 및 환경 변화의 뚜렷한 4 가지 경계를 보여준다(Fig. 3). ¹⁴C 연대 측정 결과를 따르면 그 경계들은 3.2 Kyr BP, 5.6 Kyr BP, 8.0 Kyr BP 및 9.5 Kyr BP 시기의 환경 변화와 해당되며 그 환경 변화는 홀로세 초기에서 9.5 Kyr BP 까지, 8.0-5.6 Kyr BP 및 3.2 Kyr BP에서 현재까지의 온난 시기와 9.5-8.0 Kyr BP 및 5.6-3.2 Kyr BP의 한랭 시기

로 나타났다(Fig. 3). 전체적으로, BO03 코아 퇴적물은 주로 55.8%의 광물, 25.3%의 유기물, 15.5%의 생물기원 실리카 및 3.4%의 염산용해물(대부분 탄산염)로 구성된다(Fig. 3).

입도 분포는 홀로세의 기후 조건을 의미한다. 흡수굴호와 바이칼호의 코아 퇴적물과 비교하면 BO03 코아 퇴적물은 더 조립 물질로 구성되며 이것은 강한 유출에 의한 다량의 퇴적물 유입을 반영한다. 2.5 Kyr BP 및 6.4 Kyr BP 때에 나타난 다량의 퇴적물, 특히 조립질 퇴적물은 홀로세 열적과 홀로세 최적 기후와 해당되며 호수 유역 내의 두꺼운 영구동토층과 용해된 물에 의한 대규모 유출을 제시한다. 광물 입도 분포는 홀로세 최적 기후 중기와 홀로세 열적 후기의 지표면의 큰 유출을 지시하며, 이러한 큰 유출에 해당하는 조립질 입도는 2 m 및 9 m 깊이에서 관찰된다. BO03 코아 퇴적물 내의 광물 함량은 20-90%인데, 높은 광물함량은 2.5 Kyr BP 및 6.4 Kyr BP 시기의 유출로 인해 발생한 강한 퇴적작용을 나타낸다. 조립질 광물은 수문학적 체제와 관련된다. 모든 퇴적물과 광물 입도 분포는 바이칼호의 KTK, M1-M18 등 짧은 코아와 흡수굴호의 X103-X108 코아 등과 비교했을 때 상당히 조립질의 함량이 높는데, 이는 홀로세의 따뜻한 시기동안 호수 유역 내의 용해된 물에 인한 강한 유출과 지표면 유출을 보여준다. 총 퇴적물중 가장 세립질 퇴적물은 4.7 m 깊이에서 6.8 φ이고, 가장 조립질 퇴적물은 8.3 m 깊이에서 2.5 φ이다(Fig. 3). 광물 퇴적물의 입도는 2.47-7.48 φ이다. 하지만 HDP04 코아에서는 총 퇴적물 입도는 5.0 φ-8.3 φ로 나타났으며 세립 퇴적물들은 (7.7-8.3 φ) 2.2 m-5.8 m 깊이에서 나타났다. HDP04 및 BDP99 코아의 광물 퇴적물은 5.7-8.1 φ 및 5.8-8.4 φ로 나타났다(Kashiwaya et al., 2004). 따라서 BO03 코아 퇴적물은 HDP04와 BDP99 등의 코아 퇴적물보다 조립질 퇴적물로 구성되어 있다. BO03 코아의 1 m 및 6 m 깊이의 조립질 물질들은 3.2 Kyr BP 및 5.6 Kyr BP 시기의 환경 변화, 특히 다량의 유출을 지시한다. 수분 함량과 광물 퇴적물의 결과는 용해된 물로 인한 유출 뿐만 아니라 흡수굴 지방에 널리 분포된 두꺼운 영구동토에 인한 지표면으로 향한 지하수 변동에 따른 기준 유출에 의하여 발생하는

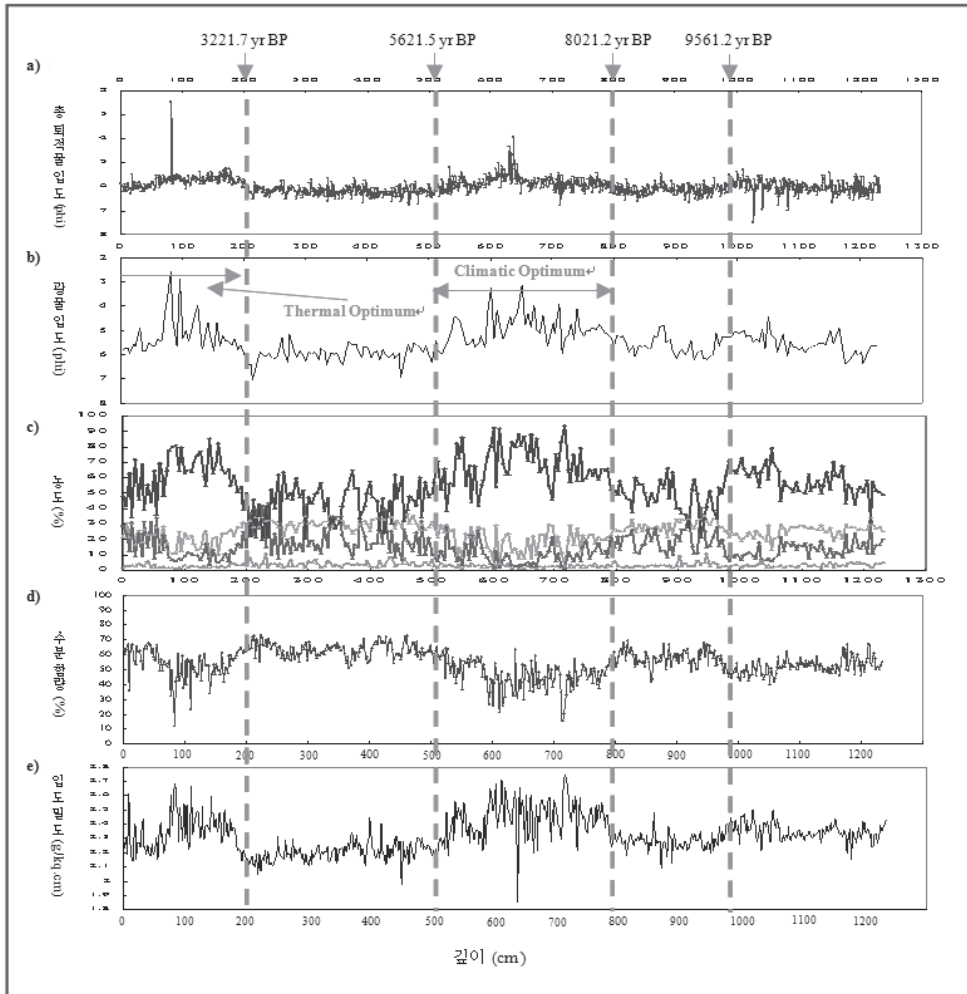


Fig. 3 Several physical properties of BO03 core sediments: (a) grain size (bulk sediment), (b) grain size (mineral fraction), (c) Contents of mineral fractions (blue), organic matter (pink), biogenic silica (green) and HCl-soluble materials (red), water (d) water content, (e) density.

호수 유역 내의 지표면 유출을 지시한다. 홀로세와 플라이스토세의 후기 동안의 흡수굴호의 수면의 지형학적인 변화들은 호수 진화의 오래 연대를 나타내는 단구의 계단 같은 지형학적인 단계와 관련된다 (Krivonogov et al., 2003).

BO03 코어 퇴적물 내의 유기물 함량은 7.4-36.6 %로 깊이에 따라 변하는데, 특히 코아 하부에서 증가하는 것으로 나타난다(Fig. 3). 상당량의 유기물 함량은 호수로 흘러 들어가는 지류들이

식생 밀도가 높은 습지대나 얇은 연못 등을 걸쳐 흘렀음을 지시한다. 짙은 갈색의 퇴적물은 유출의 의한 강한 광물 퇴적물의 이동과 산성 조건을 나타내는 다량의 유기물 함량을 의미한다. 일반적으로, 유기물 함량은 홀로세 동안에 대응하는 경향을 보여준다. HDP04 코아에서는, 유기물과 생물기원 실리카의 높은 함량은 지표면에서 2m 깊이에서 나타난다. BO03 코어 퇴적의 유기물 함량(25.3 %)은 바이칼 호(15 %)에 비하여 높다.

생물기원 실리카 기록의 중요한 이슈는 고환경 기록을 복원하기 위해 생물기원 생산물질이 흔한 환경을 지시한다. BO03 코아 퇴적물 내에 Bio-SiO₂ 함량은 총 1.21-43.8 % 로, 평균 15.5 %로 나타났다. 홀로세 동안에 평균 Bio-SiO₂ 함량이 HDP04코아에서는 18.0 %로, BDP99 코아에서는 20% 정도로 나타났다(Kashiwaya et al., 2004). BO03 코아에서는 Bio-SiO₂ 함량 변동은 3.5 Kyr BP과 8.8 Kyr BP 때의 환경 변화를 나타낸다(Fig. 3). 3.2-5.6 Kyr BP 시기의 보르속만의 Bio-SiO₂ 함량의 높은 값은 바이칼호의 6.0 Kyr BP 후기의 연간 온도 상승에 생물기원 실리카 함량에 해당된다. 하지만, 5.6-8.0 Kyr BP 시기의 낮은 Bio-SiO₂ 함량은 홀로세 초기와 후기 동안에 HDP04 코아 퇴적물 내에 소량의 생물기원 실리카 함량과 일치한다. 이것은 유공충과 Bio-SiO₂ 함량은 감소시키는 주요 우세한 *Cyclotella ocellata* 생산물은 8 Kyr BP-6 Kyr BP 때에 감소했다(Prokopenko et al., 2005).

BO03 코아 내에 HCl 용해물 농도는 빠르게만 호수 호성 퇴적물의 화학 성분에 탄산염 알칼리인을 생성 시키는 백운석질 퇴적암과 화산 용암의 현무암 내에 아알칼라인 농도와 관련될 뿐만 아니라 완산세 동안에 호수 유역 내에서 발생한 온난화와 한랭화 등 환경 변화를 분명히 보여준다. BO03 코아 퇴적물 내의 염산용해물 농도는 1.1-10.8 %이며 (Fig. 3), 홀로세 동안의 BDP99 코아에는 2-3%, HDP04 코아에는 5.0 % 정도 염산용해물이 함유되어 있다. 흡수굴호의 HDP04 코아 내 염산용해물은 빙하기 때에 증가하였음을 보여준다(Kashiwaya et al., 2004). BO03 코아는 홀로세 빙하 시기 때의 HDP04과 똑같이 3.5 Kyr BP 및 8.8 Kyr BP 때에 다량의 염산용해물을 함유하고 있다. BO03 코아의 세립 물질과 염산용해물의 특징은 홀로세 동안의 호수 수면의 변화를 나타낸다(Fig. 3). 오늘날 물에 잠긴 보르속만의 대부분은 LGM 시기에는 흡수굴호의 내륙이었던 지역이다(Prokopenko et al., 2005).

Bio-SiO₂ 유기물과 HCl 물질 등의 상호 관계는 호수 퇴적물에 따라 다르다(Fig. 3). BO03 코아 내의 Bio-SiO₂의 변동은 유기물과 유사하다. 퇴적물 내의 Bio-SiO₂가 유기물과 밀접한 것은

Bio-SiO₂은 알칼라인 보다 산성 조건에서 우세한 것을 보여준다. 그러한 경향은 어떤 환경변화를 의미하며 특히 1 m 및 6 m 깊이에서 큰 유출에 의한 유기물과 광물 입도의 변동을 보여준다. BO03 코아 내에 다량의 조립질 물질은 보르속만에서 발생한 강한 지표면류를 의미하며 그것은 용해된 물과 흡수굴 지역에서 널리 분포된 두꺼운 영구 동토에 의한 기본류에서 이루어진다. 최고 퇴적율은 약 1.53 mm/yr로 2.7 Kyr BP 및 3.4 Kyr BP 때에 나타났다. 탄소 연대 측정법에 의한 연대 모델로 퇴적율을 평가하였다. 그 결과, 평균 퇴적율은 0.07 g/cm²/yr (Fig. 2)로 나타났고 최대 퇴적율은 0.15 cm/yr로 나타났으며, 2.7 Kyr BP 및 3.4 Kyr BP 시기 사이에 환경 변화의 경계가 존재함을 알 수 있었다. 총 12.4 m의 두꺼운 호성 퇴적물층의 지표면에서 0-1.5 cm 깊이의 퇴적율은 0.04 cm/yr (Fig. 3)로 나타났으며, 이는 흡수굴호의 X104에 4.3 cm/kyr (Nara et al., 2005)보다 9.3 배 높다. BO03 코아의 높은 퇴적율은 용해된 물에 의한 큰 유출의 발생이 있었음을 의미한다.

일반적으로, BO03 코아 퇴적물의 물리적 특성은 유기물과 Bio-SiO₂ 함량이 높으며 특히 코아의 밑 부분에서 유기물 함량이 더 높다. 유기물 함량의 수직적인 분포는 Bio-SiO₂의 분포를 지시한다. BO03 코아 내에 Bio-SiO₂ 함량은 환경변화의 경계가 된 3.5 Kyr BP 및 8.8 Kyr BP 때에 최대값을 나타낸다. 흡수굴호의 HDP04 코아 퇴적물의 후빙기 기록에서는 홀로세 동안의 지역적 기후변화를 보여주는 Bio-SiO₂ 함량이 홀로세 초기 때의 최대의 퇴적을 나타내며 이것은 호수의 영양분, 유출, 호수와 높은 습도 등과 밀접하게 연관된다. 그러나 바이칼호의 경우는 Bio-SiO₂ 함량이 호수 열평형과 열적성층을 나타낸다(Prokopenko et al., 2005). Bio-SiO₂ 함량은 산성 환경에서 크게 나타났다. Bio-SiO₂ 함량의 높은 값은 하천 하도를 따른 유출로 인해 유기물이 흡수된 퇴적물에 축적되었다. 염산용해물의 특징은 호수 동쪽을 따른 화산 용암의 아알칼리인을 포함한 현무암의 흡착에 의해 퇴적물에 축적된 탄산염 함량을 보여준다. 홀로세 동안의 흡수굴호 유역 내의 고환경 변화는 전 세계의 기후 변화로 인하여 호수 유역의 지형학적 진화와 수문학적 조건

과 관련이 있다.

5. 토 론

몽골 북부지 흡수굴호 유역 내에 동쪽 뻗어석만의 환경 조건과 퇴적적 특징은 9.5 Kyr BP 까지의 온난 시기, 9.5-8.0 Kyr BP 시기의 한랭과 건조, 8.0-5.6 Kyr BP 시기의 온난과 습윤, 5.6-3.2 Kyr BP 시기의 한랭과 건조, 3.2 Kyr BP에서 현재 까지의 온난 등 홀로세 동안의 기후와 환경 변화를 제시한다. 홀로세의 기후 변화에 의해 발생한 그 몇 개의 뚜렷한 환경변화로서 BO03 코아 퇴적물의 물리적 특성은 유출 발생의 특징, 특히 용해된 빙하물의 강한 유출과 퇴적 작용 등을 제시한다. 광물 입도 밀도와 연대의 관계는 따뜻한 시기의 홀로세 열적 기후 (3.2 Kyr BP에서 현재) 및 홀로세 최적 기후 (6.0 Kyr BP) 등과 관련된 강한 유출로 인한 퇴적 작용을 나타낸다. 그 다량의 조립질 퇴적물은 흡수굴호 유역 내에 강한 지표면 유출의 발생을 지시한다. 호수 유역에서 지표면 유출은 용해된 물에 의한 지표면 유출과 흡수굴 지역 부근의 두꺼운 영구 동토에 의한 지하수의 상위로 향한 변동과 관련된 기준 유출에 의한 지표면 유출들이다. 염산용해물의 낮은 함량은 호수 수위가 플라이스토세에 비교하여면 홀로세 때에 상승한 것을 의미한다.

앞으로, 보르속만의 지방의 지질-지형학 진화와 환경 변화, 고호수 유역의 지구 형성 진화를 복원하기 위해 Ikh Dalbai 하천의 고하단구의 퇴적물을 우선적으로 분석할 필요가 있다.

참 고 문 헌

Baljinnyam, L., Bayasgalan, A., Borisov, B.A., Cisternas, A., Demyanovich, M.G., Ganbaatar, L., Kochetkov, V.M., Kurushin, R.A., Molnar, P., Philip, H. & Vashchilov, Y.Y., 1993. Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings. Geological Society of America, Mem. 181, p. 62.
Goulden, C.E., O. Tumurtogoo, E. Karabanov. and

A. Mongontsetseg, The geological history and geography of Lake Hovsgol, Mongolia, p. 1-19. In: Goulden, E.C., Sitnikova, T., Gelhaus, J. and Bazartseren, B., 2006, The Geology, Biodiversity and Ecology of Lake Hovsgol (Mongolia), Backhuys Publishers, Leiden, 525 p.
Ivanenko, V.V., Karpenko, M.I., Yashina, R.M., Andreeva, E.D. and Ashikhmina, N.A., 1989, New data on the potassium-argon age of the basalts of the western board of the Hovsgol rift (MPR) (in Russian), Rep USSR Acad. Sci, 309, p. 915-930.
Kashiwaya, K., Tsukamoto, T., Szyniszewska, A., Sumino, G., Ochiai, S., Sakai, Hideo. and Kawai, T., 2004, High resolution response to long-term solar insolation in the high plateau lacustrine sediments from Lake Hovsgol, Mongolia. Proceedings of the 4th International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas, 2005, Gyeongju, Korea.
Kochetkov, V.M., Khilko, C.D. and Zorin, Y.A., 1993, Seismotectonics and seismicity of the Khubsugul Region. Novosibirsk, Nauka press, 184 p.
Krivonogov, S.K., Bezrukova, V.E., Takahara, H. and Riedel, F., Lake Hovsgol in the Late Pleistocene and Holocene: On land geological evidence for a change in its level, p. 187-206. In: Kashiwaya, K. ed., 2003, Long Continental Records from Lake Baikal, Springer-Verlag, Japan, 370 p.
Krivonogov, S.K., Late Cenozoic history of the Hovsgol Area, p. 21-40. In: Goulden, E.C., Sitnikova, T., Gelhaus, J. and Bazartseren, B., 2006, The Geology, Biodiversity and Ecology of Lake Hovsgol (Mongolia), Backhuys Publishers, Leiden, 525 p.
Kuzmin, M.I., Karabanov, E.B., Prokopenko, A.A., Gelety, V.F., Antipin, V.S., Williams, D.F. &

- Gvozdkov, A.N., 2000, Sedimentation processes and new age constraints on rifting stages in Lake Baikal: results of deep-water drilling. *Int.Journ.Earth Sciences*, 89 (2), p. 183–192.
- Logatchev, N.A., Antoshenko-Olenev, I.V. & Bazarov, D.B., 1974, The highlands of the West Baikal and Trans-Baikal regions. Moscow, Nauka Press, 359 p (in Russian).
- Logatchev, N.A. & Florensov, N.A., 1978, The Baikal system of rift valleys. *Tectonophysics*, 45, p. 1–13.
- Logatchev, N.A., Zorin, Y.A. & Rogozhina, V.A., 1983, Baikal Rift: Active or Passive? – Comparison of the Baikal and Kenya rift zones. *Tectonophysics*, 94, p. 223–240.
- Nara, F., Tani, Y., Soma, M., Naraoka, H., Watanabe, T., Horiuchi, K., Kawai, T., Oda, T., Nakamura, T., 2005. Response of phytoplankton productivity to climate change recorded by sedimentary photosynthetic pigments in Lake Hovsgol (Mongolia) for the last 23,000 years. *Quaternary International*, 136, 71–81.
- Molnar, P & Tapponier, P., 1975, Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. *Science*, 189, p. 419–426.
- Moore, T.C., Klitgord, Jr. K.D., Golmshtok, A.J., Weber, E., 1997, Sedimentation and subsidence patterns in the central and north basins of Lake Baikal from seismic stratigraphy. *GSA Bulletin* 109, 746–766.
- Prokopenko, A.A., 2005, Post-glacial proxy records and mid-Pleistocene sedimentation history in Lake Hovsgol, Mongolia. *Proceedings of the 4th International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and Adjacent Areas*, Gyeongju, Korea.
- Sherman, S.I., 1978, Faults of the Baikal rift zone, *Tectonophysics*, 45, p. 31–39.
- Zolotarev, A.G. & Kulakov, V.S., 1973, The scheme of morphostructure of Lake Khuvsgul Basin, p. 54–67. In: Dulmaa, A. and A.S. Kulakov (eds), *National conditions and resources of the Hovsgol region*, MPR, Irkutsk (in Russian).
- Zorin, Yu.A., Tumtanov, Kh. & Arvisbaatar, N., 1989, Structure of Cenozoic basins of the Prekhuvsgul region from gravity data. *Geology and geophysics*, 10, p. 130–136.
-
- 투 고 일: 2008. 5. 25.
심 사 일: 2008. 6. 5.
심사완료일: 2008. 6. 15