

# 몽골 흡수굴호의 구조 및 고환경 연구

류은영 · 김정찬 · 남옥현 · 양동윤 · 김주용

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

## 1. 서론

몽골 북부에 위치하고 있는 흡수굴호는 바이칼 열곡대의 함몰지(depression)에 형성된 구조호(tectonic lake)로서 1645m의 고지에 위치하고 있다. 호수의 절반정도는 폐쇄되어있어 기후변화에 매우 민감하게 반응하고 또한 인간 활동에 의한 영향을 거의 받지 않는 고지에 위치하며 지질시대도 수백만년에 달하여(2.5-4 Ma) 지구환경변화연구에 매우 적합한 호수이다(Logatchev et al., 1974; Goulden et al., 2004).

특히, 본 연구대상인 구조는 광합성을 하는 단세포 원생식물(protozoa)로서 모든 수성환경(해수, 기수 및 담수)에서 부유성 혹은 저서성으로 서식하는 가장 중요한 일차생산자이다. 이들은 염분농도, 수온, 각종 무기염류, 온도 및 지리적 위치 등의 변화에 민감한 반응을 보이며, 이러한 요소들의 변화에 따라 서식 및 분포에 제한을 받을 뿐만 아니라, 어느 한 요소의 변화에도 구조군집은 크게 변하므로 고환경을 연구하는데 매우 유용한 화석이다(Sato et al., 1983; Kashima, 1992; Vos and Wolf, 1993). 특히 호수에서의 구조군집은 기후변화에 매우 민감하게 반응하고 또한 구조각이 규질이어서 호수퇴적물에 잘 보존되기 때문에 고 기후와 호수수괴의 화학 성분과 관련된 pH, 영양상태, 전도성(conductivity)과 같은 요소를 복원하는데 매우 중요한 도구로 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 흡수굴호 시추 코어 퇴적물에서 산출되는 구조화석군집의 변화를 퇴적학적 및 유기지화학적 분석 결과와 비교하여 흡수굴호의 제4기후기의 고기후와 퇴적환경변화를 유추하고 그 결과를 기존의 연구결과와 비교 해석하고자한다.

## 2. 연구재료 및 방법

흡수굴호 중력 시추 코어 GC-2-2는 Gravity Corer를 이용하여 50°57'18.4" N, 100°21'32.7" E 지점에서 채취되었다. 시추 코어는 호수중심의 수심 253m에서 채취되었으며 길이는 57cm이다. 이 코어퇴적물을 이용하여 구조분석, 퇴적학적분석, 지구화학적분석 및 연대측정을 실시했다.

## 3. 결과

**구조분석:** 흡수굴호 시추퇴적물에서 획득한 총 50개 시료중에서 상부의 6개 시료에서 구조각이 산출되었으나 하부에서는 전혀 산출되지 않았다. 연구결과 19속 29종의 구조화석이 동정되었다. 시료 당 종 다양도는 낮은 편이며 풍성도는 높게 나타났다. 본 연구지역의 구조화석군집은 수심 11cm 구간을 기준으로 뚜렷한 특징을 보여주고 있다. 즉, 하부구간 (12-57 cm)에서는 구조화석이 전혀 산출되지 않는 반면 상부구간 (0-11cm)에서는 구조화석이 풍부하게 산출되었다. 산출되는 구조종은 대부분 담수-기수 부유성종(<99%)으로 *Cyclotella ocellata*가 70%이상 우점으로 산출되었으며, 그 외 *Cyclostephanodiscus dubius*, *Stephanodiscus rotula*, *S. hantzschii*, *Cyclotella kuetzingana* var. *schumannii*, *C. bodanica* *Opephora martyi* var. *capitata*, *Fragilaria* spp. *Epithemia* spp. 도 산출되었다. *Cyclotella ocellata*는 주로 산간호수에서 발견되는 부유성종으로 흡수굴호에서 가장 흔한 종이다. *Cyclostephanodiscus dubius*, *S. rotula*, *S. hantzschii*, *Cyclotella kuetzingana* var. *schumannii*, *C. bodanica*도 부유성종으로 염도가 높은 호수지역에서 서식하는 종들로 풍부하게 산출된다. *Opephora martyi* var. *capitata*는 기수역에서 산출되는 부유성종이다. 그러나 시추퇴적물이 수심이 깊은 곳에서 시추했기 때문에 *Fragilaria* spp. *Epithemia* spp.와 같은 저서종은 소량(>1%) 산출될 뿐이다.

# Lake Hovsgol: core GC-2-2

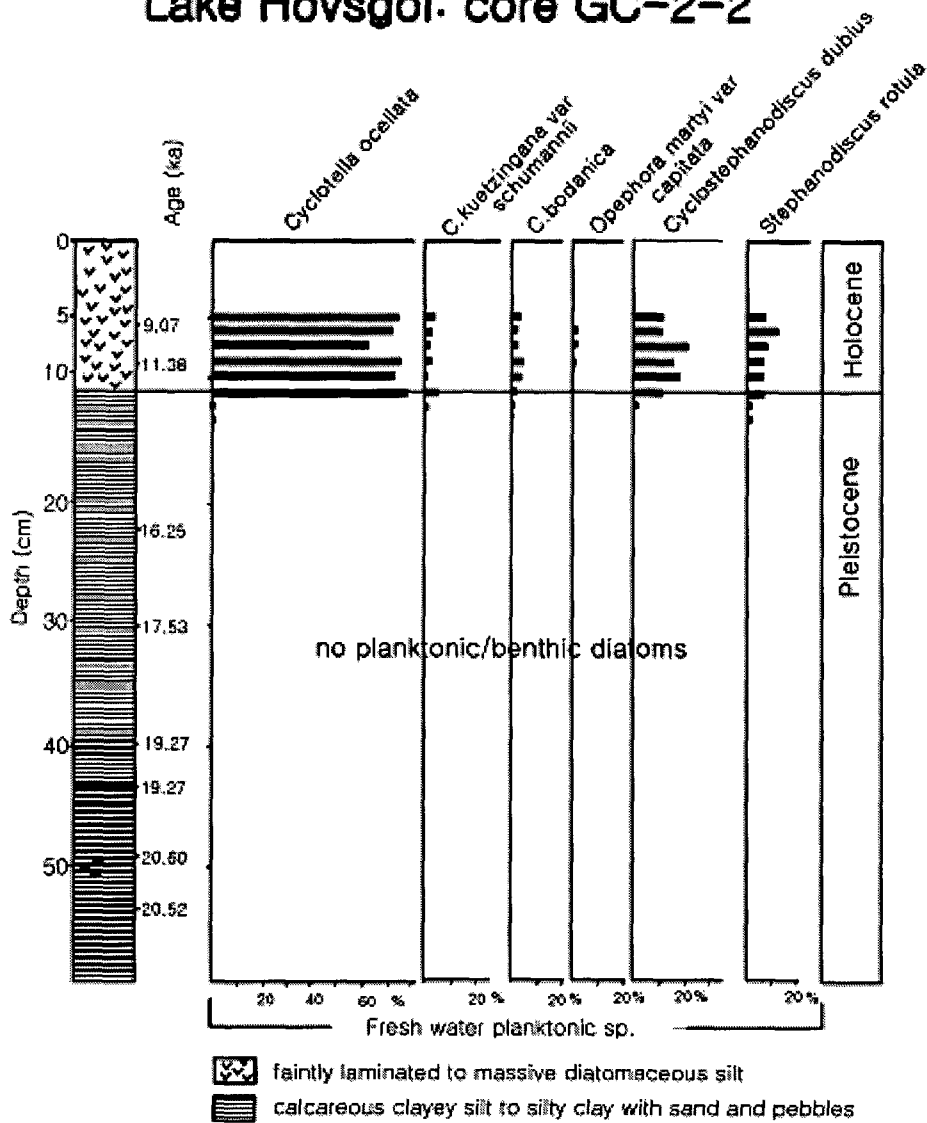


Fig. 1 Result of diatom analysis for the core GC-2-2

## 4. 기후변화에 의한 호수수위변동과 생태계의 변화

**플라이스토세(Pleistocene):** 최후빙하기동안 흡수굴호는 아시아지역의 한랭 건조한 기후로 인한 강수량 감소로 인해 호수수위가 매우 낮았다는 증거들이 나타나고 있다(Sondoma and Losev, 1976; Prokopenko et al., 2005). 지진과자료 분석 결과에 의하면 호수수위가 200m 이상 하강하여 최대 호수수위가 50-60m에 불과한 것으로 나타났으며(Fedotov et al., 2002), 빙하기동안 호수수위 변동으로 인해 형성된 단구들이 수심 20-40, 50-80, 90-120, 190m 지점에 형성된 것이 나타나고 있다(Kulakov,1981;Fedotov et al., 2004 ). 빙하의 두께는 500m 이상으로 호수의 수위를 초과하며, 빙하의 흔적이 해발 1550-1650m 까지 존재하는 것으로 나타나고 있다(Grosswald and Kuhle, 1994; Karabanove et al., 2004). 하부층(12-57cm) 전반에 걸쳐서 산재하고 있는 조립질 암편들은 호수수위가 감소하면서 호수주변이 대기에 드러나 빙산에 의해서 호수중앙으로 유입된 ice-rafted detritus(IRD)로 추정된다(Fedotove et al., 2004;Prpkopenko et al., 2005). 하부층에서는 규조류가 전혀 산출되지 않으며, 질소와 유기탄소의 함량도 별다른 변화를 보이지 않는. Fedotov et al. (2004)의 연구결과 에 의하면 최후빙하기동안의 흡수굴호는 매우 적은 강수량에

의해서 수심 100m 내외의 비교적 얇은 호수였고 크기는 지금의 1/3, 부피는 현재의 1/10 이하였으며, 탄산염 및 석고가 침전될 수 있을 정도로 고염도의 폐쇄된 호수였다고 추정하고 있다. 이와 같이 빙하기동안의 호수수위의 급작스러운 하강과 호수수위의 화학성분 변화에 기인된 커다란 환경변화는 생태계의 붕괴를 가져와 규조류, chrysophyte포낭, 해면침골 및 동물성 프랑크톤이 전혀 퇴적되지 않았다(Karabanove et al., 2004; Prokopenko et al., 2005). 특히, 규조는 온도, 염도와 무기염류의 변화에 상당히 민감하기 때문에 이와같은 고염도(high salinity)의 폐쇄된 호수에서의 화학성분변화는 규조군집에 큰 변화를 가져왔을 것이다(Fritz et al., 1993).

일반적으로 수생생물들은 기후변화에 의한 온도, 빛, 영양염 및 이온농도 등에 의해 많은 영향을 받는다. 특히 규조와 그 밖의 조류들은 온도변화에 따른 광합성률(photosynthetic rates)에 직접적인 영향을 받는다(Fritz, 1996). 현재, 북극(Arctic)과 같이 극한지방에서 규조군집의 풍성도를 나타내는 것은 온도이며, 규조종의 종류를 결정하는 것은 호수의 영양 상태이다(Williams et al., 1994). 따라서 빙하기동안의 흡수굴효는 바이칼호와 마찬가지로 호수수위의 영양소의 감소, 표층수온 하강, 투명도의 감소 등으로 규조가 서식할 수 없는 환경이었을 것이다(Karabanove et al., 2004). 바이칼호에서는 많은 토속종들이 상대적으로 따뜻하고 영양분이 풍부한 레퓨지(예:라군, 해협, 만)에 머물면서 빙하기를 견디다가 다시 기후조건이 좋아지면 번성한 것으로 보여진다. 그러나 바이칼호와 마찬가지로 같은 바이칼 열곡대에 위치하고 있는 흡수굴효는 상대적으로 크기가 작기 때문에 토속종들이 견디지 못하고 절멸했으며 홀로세초기의 생태계는 주로 주변의 작은 호수와 강에서 살던 종들에 의해서 점령된 것으로 보여진다(Karabanove et al., 2004).

**홀로세(Holocene):** LGM동안 전혀 산출되지 않던 규조류는 상부층(0-11 cm)의 수심 11cm 구간인 약 12,000 년전 해빙기로 접어들면서 처음으로 출현하여 상부로 갈수록 급격하게 증가하고 있다. 이것은 대기기온상승으로 강수량이 증가하면서 호수의 수위가 급격히 상승하여 규조가 성장할 수 있는 환경으로 변화되었기 때문이다. 유기지화학분석에 의하면 플라이스토세와 홀로세의 경계에 질소 함량과 유기탄소의 성분이 급격하게 증가하는데, 이러한 유기탄소 및 질소 함량의 변화는 플라이스토세와 홀로세 동안의 호수에서의 생산성 변화에 따른 현상으로 해석된다. 이와 같은 생산성의 증가는 홀로세가 시작되면서 대기기온 상승과 강수량 증가에 의한 호수수위가 증가하면서 호수유역으로부터 많은 유기물이 유입되었기 때문이다. 따라서 호수수위가 증가하면서 심층수순환이 일어났고, 호수수위의 화학성분도 변화하면서 호수의 생태계가 빙하의 스트레스에서 완전히 벗어나 규조류를 포함한 많은 프랑크톤 군집이 증가하게 된 것으로 해석된다(Fedotov et al., 2004; Prokopenko et al., 2005). 상부층에서 산출되는 대부분의 규조종들은 염도가 높은 호수에서 사는 부유성종들로 이루어져 있으며 저서종의 산출이 거의 없고 규조종의 종류도 다양하지 않다. 특히, 우점으로 산출되는 *Cyclotella ocellata*는 알프스의 산간 호수에서 흔한 종이며(Karabanove et al., 2004), 북반구 온대지방의 저전도성(low conductivity)의 빈영양(oligotrophic)호수에 풍부하게 산출되는 종이다(Stoermer and Yang, 1969; Hakansson, 1993; Kiss et al. 1996; Karabanove et al., 2004). 따라서 규조군집의 변화로 추정된 홀로세 동안의 흡수굴효는 현재와 비슷한 고염도(high salinity)의 수심이 깊은 빈영양 호수였음을 추정할 수 있다.

## 5. 결론

흡수굴 GC-2-2 코아퇴적물에서 19속29종의 규조화석이 산출되었다. 규조화석군집의 조성은 담수부유성종으로 염도가 높은 호수에서 사는 종들로 이루어져 있다. 규조화석분석결과 흡수굴효의 고환경변화는 12,000년전 홀로세를 경계로 나타난다. 최후최대빙하기동안 한랭 건조한 기후로 인한 호수수위 하강과 호수수위의 화학성분 변화에 기인된 커다란 환경변화에 의해서 생태계가 붕괴하고 광합성에 의한 1차 생산이 급작스럽게 감소되면서 규조화석이 전혀 산출되지 않았다. 그러나 홀로세가 시작되면서 대기기온 상승과 강수량의 증가에 의한 호수면의 상승으로 규조류가 급격하게 증가하는데 이는 호수의 수심이 증가하면서 호수내의 심층수순환이 일어났고 또, 많은 양의 유기물이 유입되면서 호수의 일차생산력이 증가되면서 규조가 번성할 수 있는 호수 환경을 형성했기 때문으로 해석 된다.

## 참고문헌

- Fedotov, A.P., De Batist, M., Shapron, E., De Reiker, K., Paule, T., Grachev, M.A., 2002. Seismic survey of sediments of Lake Hovsgol. Doklady of the Russian Academy of Sciences 382(2): 261-263. (in Russian).
- Fedotov, A.P., Chebykin, E.P., Semenov, M.Yu., Vorobyova, S.S., Osipov, E.Yu., Golobokova, L.P., Pogodaeva, T.V., Zheleznyakova, T.O., Grachev, M.A., Tomurhuu, D., Oyunchimeg, Ts., Narantsetseg, Ts., Tomurtogoo, O., Dolgikh, P.T., Arsenyuk, M.I., De Batist, M., 2004. Changes in the volume and salinity of Lake Khubsugul (Mongolia) in response to global climate changes in the upper Pleistocene and the Holocene. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 209, 245-257.
- Fritz, S.C., 1996. Paleolimnological records of climatic change in North America. American Society of Limnology and Oceanography, 41(5), 882-889.
- Goulden, C.E., Tumurtogoo, O., Karabanov, E., 2004. The geological history and geography of Lake Hovsgol, Mongolia. Goulden, G.E., Sitikova, T., Gellhaus, T., Boldgiv, B. (Eds.), The geology, biodiversity and ecology of lake Hovsgol (Mongolia). Kluwer Academic Publishing, Netherlands in press.
- Hakansson, H., 1993. Morphological and taxonomic problems in four *Cyclotella* species. Diatom Research, 8: 309-316.
- Karabanov, E., Williams, D., Kuzmin, M., Sideleva, V., Khursevich, G., Prokopenko, A., Solotchina, E., Tkachenko, L., Fedenya, S., Kerber, E., Gvozdkov, A., Khlystov, O., Bezrukova, E., Letunova, P., Krapivina, S., 2004. Ecological collapse of Lake Baikal and Lake Hovsgol ecosystems during the last glacial and consequences for aquatic species diversity. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 209, 227-243.
- Kashima, K., 1992. Catalogue of Holocene diatom fossil. Part 1. Tokoro Plain Hokkaido north Japan. Reports on Earth Science College of General Education Kyushu University 29, 1-36 (in Japanese English abstract)
- Kiss, K.T., Rojo, C., Cobelas, M.A., 1996. Morphological variation of a *Cyclotella ocellata* population in the lake Las Madras (Spain). Archiv fur Hydrobiologie, Supplement 116:37-55.
- Kulakov, V.S., 1981. Ancient and modern glaciations of the North Mongolia (Trans-Khubsugulia). Transactions of the Soviet-Mongolian complex Khubsugul expedition. Irkutsk. 10-19.
- Logatchev, N.A., Antoshenko-Olenev, IV., Bazarov, D.D.B., 1974. In: Florensov, N.A. (Ed.), The Uplands of the West Baikal and Trans-Baikal Regions. Nauka Press, Moscow. 360 pp.
- Prokopenko, A.A., Kuzmin, M.I., Williams, D.F., Gelety, V.F., Kalmychikov, G.V., Gvozdkov, A.N., Solotchin, P.A., 2005. Basin-wide sedimentation changes and deglacial lake-level rise in the Hovsgol basin, NW Mongolia. Quaternary International, 136, 59-69.
- Sato, H., Maeda, Y., Kumano, S., 1983. Diatom assemblages and Holocene sea level changes at the Tamatsu site in Kobe, western Japan. The Quaternary Research 22 (2), 77-80.
- Sondoma, N., Losev, N.F., 1976. Natural conditions and reassures of Pre-Hubsugulya in Mongolia Nedra Press, Moscow. 355 pp.
- Stoermer, E.F., Yang, J.J., 1969. Plankton diatom assemblages in lake Michigan. Great lakes Research Division Special Report No.47. University of Michigan, Ann Arbor. 168 pp.
- Vos, P.C., de Wolf, H., 1993. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. Hydrobiologia 269/270, 285-296.
- Williams, D.F., Kuzmin, K.I., Prokopenko, A.A., Karabanov, E.B., Khursevich, G.K., Bezrukova, E.V., 2001. The Lake Baikal drilling project in the context of a global lake drilling initiative. Quaternary International 80-81, 3-18.