

일본, 山梨縣 四尾連湖에 대한 成層期の 湖流研究

Lake Current during Thermal Stratification on Shibere Lake, Yamanashi Prefect., Japan

양해근 · 新井 正

광주과학기술원 · 일본 立正大 교수

1. 서론

호류(湖流)는 호소내의 물질이동 및 확산에 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 그러나 호소의 수질문제를 다루는 많은 연구들은 생태학적·생화학적인 측면에서 접근한 것들이 그 대부분이다. 다행스럽게도 근년에 이르러 호소의 성층현상과 수질장애간의 관계에 대한 연구성과가 보고 되고 있으며, 성층기의 호소 수질관리의 방안으로서 호소내부의 연직순환류를 위한 폭기가 도입되고 있다.

일반적으로 중위도에 위치한 호소는 고온기에 수온성층이 발달하고, 저온기로 이동하는 기간에 수면의 표면냉각에 의한 수직순환류가 발달하여, 성층이 파괴되고, 이는 호소내 영양염류의 순환과 혼합에 크게 기여하다고 알려져 있다. 한편, 기온의 일교차가 큰 여름철 야간에서도 성층기의 표면혼합층내에서는 대류현상의 발생하다(新井, 2000). 그러나 이러한 표면부의 열적교류에 의한 대류현상은 그 규모가 매우 작고, 표면부에 한정되는 현상이라는 점을 감안한다면, 다른 외적요인에 의한 영향 또한 무시할 수 없으리라 사료된다. 따라서 본 연구에서는 성층기의 표면혼합류, 즉 부분 호류형성에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 그 성인을 밝히기 위해 호소의 열수지와 호류와 관계, 그리고 표면류에 영향을 미치는 기상기후 요소에 대한 관측을 실시하였다.

시비레(四尾連)호는 일본 야마나시(山梨)현 조후(甲府)의 남남서방향으로 약 17km 떨어진 미사카(御坂)산지의 서쪽 산정부근에 위치한 작은 호소이다. 즉, 호수면의 고도는 약 860m이고, 유역면적은 0.4km², 호소의 최대용적은 328,649m³, 최대 수심은 10.7m이다. 호소 주변의 지질은 일부 안산암이 보이지만, 그 대부분은 미사카층에 해당하는 역암(礫岩)이다. 아직 호소의 성인에 관해서는 충분히 밝혀진 바가 없으나, 지형도와 항공사진으로 추론하자면, 남사면의 산사태 또는 산면붕괴에 의해 호소의 동쪽 출구가 막혀 형성된 것으로 간주된다. 시비레호는 유입·유출하천이 없는 폐쇄호로서 호류를 연구하는데 최적의 장소이다.

2. 현장관측 및 조사방법

현지조사는 2000년 7월 31일에서 8월 2일 그리고 2001년 8월 1일부터 8월 3일 사이에 각각 호류조사와 수온, 수질 그리고 기상기후 조사를 관측하였다.

호류의 조사는 호류판과 초음파유속계를 이용하였다. 일반적으로 호류조사는 호류판의 추적을 통하여 실시하고 있으나, 호안의 얇은 수심으로 호류판이 호저에 접촉하는 문제를 해결하고, 미세한 표면 대류현상을 측정하기 위하여 초음파유속계를 수심 1.5m지점에 설치하였다. 호류판은 폭 45cm, 길이 70cm인 판을 십자형태로 고정하여, 수심 1.5m지점과 수심 4m지점에 호류의 측정을 실시하였으며, 호류판의 추적은 평판측량과 GPS를 이용하였다.

수온의 일변화와 호소내의 수온의 연직분포 그리고 수질(DO, EC, 투명도 등)의 연직분포를 파악하기 위해 2시간간격으로 호심을 포함한 5개 지점을 대상으로 50cm간격으로 측정하였으며, 호소의 표면수온은 방사온도계를 이용하여 측정하였다. 그 이외에도 호안에서 풍향풍속, 기온, 일사량, 수온 등을 동시에 측정하였다.

3. 조사결과

시비레호는 급사면에 의해 둘러 쌓여있는 지형적 요인에 의해 겨울철에도 비교적 강풍이 불지 않으며, 연평균 수위변화는 2m전후이고, 집중호우 또는 장기간 무강수일이 지속되더라도 비교적 수위가 안정된 호소이다(新井, 2000). 그리고 주변산지와 호소수면간의 비고(比高)는 200m 이상이므로, 태양고도가 낮은 아침과 저녁 무렵에는 수면에 그늘이 지기 때문에 수온분포의 차이가 발생하고 있다. 즉 아침에는 호소의 남서쪽의 표면수온이 다른 곳보다 약 1.2~1.4℃ 높게 나타나고, 저녁에는 북동부의 표면수온이 0.2~0.94℃ 낮게 나타난다. 이러한 부분적인 표층부의 수온차이가 수괴이동을 일으키는 일차적인 요인으로 간주된다.

두 차례의 걸친 수온의 연직분포 조사에서도 성층이 뚜렷하게 발달해 있음을 확인할 수 있었으며, 표층부에는 낮에 미약하지만 성층이 형성되고, 야간에 해소되는 경향을 나타낸다. 24시간 자기 수온관측 지점에서 야간에는 T_0 (표면수온)과 $T_{1.5}$ (수심 1.5지점의 수온)가 거의 같거나 $T_{1.5} > T_0$ 의 역전관계를 이루어 상·하류가 발달한다. 수직류의 유속은 평균 $1\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 이하이지만, 이는 수괴의 이동에 중요한 의미를 나타낸다.

2001년 8월 2일의 경우 시간별 최대풍향은 NW이고, 때때로 N, NE방향을 기록하였다. 최대 평균풍속은 $1.6\text{m}/\text{sec}$ 이었으며, 이때 수면에는 작은 파랑이 형성되었다. 수심 2m지점에 투입된 호류판에 의해 관측된 결과에 의하면, 호심을 중심으로 남서 수괴류와 북동 수괴류로 구분되고, 호심에서 거리가 떨어진 호류판일 수록 각각 시계반향과 반시계반향으로 환류하여 북서 호안으로 표류하는 경향을 보였다. 그러나 수심 4m 호류판은 2m 호류판에 비해 유속이 매우 느리고, 위치에 관계없이 북동에서 북동방향으로 흐르는 경향이 뚜렷하다. 그리고 호류판의 유속을 결정하는 중요한 요인은 풍향과 풍속에 의한 것으로 사료되고, 특히 풍향의 변화로 일시적인 호류판의 이동속도의 지체가 인정되지만, 전체적인 호류의 흐름 방향에는 큰 영향을 미치지 못하고 있다고 볼 수 있다.

현시점에서는 호분(胡盆)의 지형적인 요인이 표면혼합층의 호류에 미치는 영향을 언급할 만한 자료를 수집하지 못했지만, 성층기의 표면혼합층 호류에 가장 중요한 것은 열적차이로 발달된 밀도류와 바람에 의한 취송류(吹送流)로 간주되며, 취송류의 발달이 뚜렷한 시기에는 풍향이 일정하지 않기 때문에 비정상류(比定常流)를 형성한다고 말할 수 있다. 앞으로 저열량(貯熱量) 변화와 온도경도, 확산계수 등에 관한 심도 있는 고찰이 선행된다면, 표면혼합층내에서 발생하는 호류에 관한 일반화가 가능하며, 그 결과는 호소의 수질모형 개발에도 활용될 수 있으리라 생각한다.

참고문헌

- 서동일, 1998, 대청호의 성층현상에 의한 부영양화 특성과 수질관리 방안에 관한 연구, 대한환경공학회, 20(9), 1219-1234
- 新井正, 1972, 凡地球的近にみた湖沼水溫の特性, 地理評論, 45(9), 601-615
- 新井正, 岡田浩美, 植田芳明, 1985, 中禪寺湖の水質障害と湖流, 地域研究, 26(2), 39-45
- 新井正, 1990, 湖沼沿岸帯の水の流動に關する研究, 立正大學文學部研究紀要, 6, 1-16
- 新井正, 2000, 湖沼表面混合層における垂直流の測定, 地球環境研究, 2, 5-16
- Arai, T., 1981, Attenuation of incident solar radiation in lake water, Jap. Journal of Limnology, 42, 92-99
- Arai, T., 1984, Measurement of vertical movement of lake water, Verh. Internat. Verein. Limnol., 22, 12-17
- Horiuchi, S. and S. Ambe, 1961, A study on water temperature and movement in Lake Kizaki, Memoires on Water Temperature Research, 1, 21-31
- Line, L. and A. Hoopes, 1978, Wind-driven, steady flows in Lake Superior, Limnology and Oceanography, 23, 91-103