

# 시계열적 Landsat 영상에 의한 호수의 표면수온과 계절적 수직 온도구배 현상 분석

이훈열, 한향선

강원대학교 지구물리학과 (hoonyol@kangwon.ac.kr)

## Analysis of Lake Surface Temperature and Seasonal Thermocline from Time Series Landsat Images

Hoonyol Lee and Hyangsun Han

Department of Geophysics, Kangwon National University

요약: Landsat 열적외선 영상의 공간적인 해상력은 비교적 규모가 크지 않은 하천 및 호수의 표면온도 추출에 유용하게 적용될 수 있다. 특히 한 지역에 오랜 시기에 걸쳐 얻어진 영상이 축적되어 있는 경우에는 매우 정확한 시계열적, 계절적 분석이 가능하다. 본 연구에서는 Landsat 영상을 이용하여 소양호, 춘천호, 의암호, 파로호 등의 표면수온을 분석하였다. 그 결과 의암호, 춘천호, 파로호에서 맑은 날에는 위성관측수온과 실측수온의 차이가 거의 일치하며, 흐린 날에는 대기 효과로 인해 위성관측수온이 실측수온에 비해 낮은 온도를 나타냈다. 수심이 얕은 호수들의 상층부에는 혼합층이 상시 존재하여, 실측에서 얻어지는 온도와 위성에서 얻어지는 표면온도가 거의 일치한다는 결론을 얻을 수 있었다. 이를 토대로 위성관측수온과 실측수온간의 차이는 대기에 의한 흡수량인 것으로 간주될 수 있으며, 이를 환산하여 대기 보정에 부분적으로 사용하였다. 그러나 소양호에서 봄~여름에는 위성관측수온이 실측수온보다 높게 나타나는 이상 현상이 관찰되었다. 수계의 최상류에 위치하고 수심이 깊은 소양호에서 이 시기는, 겨울을 지나 물의 수직적인 혼합현상이 없이 매우 안정되어 있고, 태양 고도가 점차 높아져 상층부 수온이 올라가 온도구배 현상이 일어나는 때이다. 따라서 위성에서 관측하는 표층수온이 수심 5~10m 사이의 값을 대표하는 실측수온보다 높게 나타나는 것으로 밝혀졌다. 그 결과, 위성에서의 표층수온 관측을 통해 소양강의 온도구배 및 혼합층 형성의 계절적 변화를 확인할 수 있었다.

Keyword: Landsat, 열적외선, 위성관측수온, 실측수온, 혼합층, 온도구배

## 1. 서론

강, 호수, 바다 등 액체상태의 물은 전자기파의 열적외선 대역에서 흑체에 가까운 성질을 보여준다. 즉, 태양 복사 에너지는 모두 흡수하고 지구복사에너지만을 방출하기 때문에, 낮에도 위성 센서에서 얻어지는 열적외선 채널을 통해 수면 온도를 계산해 낼 수 있다. 이러한 원리로 물에 대한 열적외선 센서가 원격탐사에서 유용하게 사용되어오고 있다.

이 논문에서는 시계열적으로 얻어진 Landsat 영상을 이용한 호수 표면 온도산출의 방법과 그 과정에서 통계적인 대기오차를 수정하는 방법을 소개한다. 그리고 유독 소양호에서 위성관측수온과 실측수온의 차이가 크게 나타나는 현상을 통해 소양호의 계절적인 수직적 온도구배(thermocline) 현상과 혼합층 발생여부를 추적한 내용을 소개한다. 이를 바탕으로 한강 수계 최상부에 위치한 소양호의 특성을 위성 자료를 통해 검증하는 과정을 보여주고자 한다.

## 2. 연구지역과 자료

이 논문의 연구지역은 강원도 춘천시 주변의 여러 댐으로 만들어진 소양호(소양댐), 춘천호(춘천댐), 의암호(의암댐), 파로호(화천댐)로 설정하였다(Fig 1). Landsat 영상은 1999년에서 2004년까지 서울, 경기 지역을 포함하는 PATH-ROW인 116-034와 강원도 지역을 포함하는 115-034 영상 중에서 구름의 영향이 거의 없는 최대 27개의 자료를 사용하였다.

호수 실측 수온은 1999년 1월에서 2004년 11월까지 월 1회 측정된 자료를

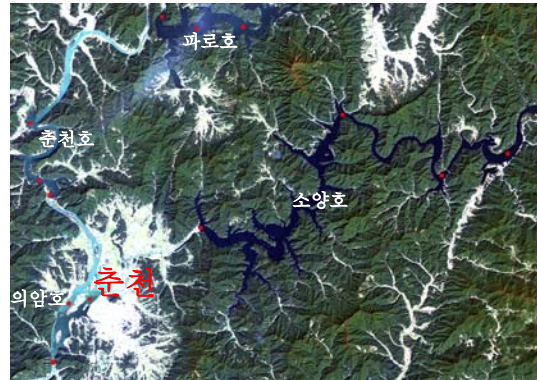


Fig 1. 연구지역 Landsat 영상 (45km x 35km). 빨간 점들이 실측수온 지점.

사용하였다. 실측수온의 측정지점은 소양호 4개 지점, 춘천호 3개 지점, 의암호 3개 지점, 파로호 3개 지점이다.

이 실측 지점들 중에서 소양강 상부의 세 개 지점을 제외한 모든 곳에서는 116-034와 115-034 영상들이 겹쳐지기 때문에 시계열적으로 많은 자료를 얻을 수 있었다.

## 3. Landsat 위성 온도 산출

Landsat 열적외선 영상에서 얻어지는 DN 값은 Radiance 값으로 변환되고, 이는 NASA의 경험식 (Chander, 2003)에 의해 온도로 전환된다. NASA 방법 외에도 RESTEC, Quadratic 방법이 있지만, NASA 방법이 비교적 좋은 결과를 내어주므로 (정종철 외, 1999) 본 연구에서는 NASA 방법을 사용하였다.

1999년부터 2004년까지 얻어진 영상을 이용하여 호수들에 대한 온도를 NASA 경험식을 토대로 추출하였다. Landsat 열적외선 영상을 이용한 호수의 표면온도를 현장 실측자료와 시계열적으로 분석해 보았다.

Fig 2는 각 호수들의 1번 측정지점(댐

앞)에서의 실측수온과 위성관측수온을 비교한 결과이다. 소양호를 제외한 호수에서 대기 효과가 미미한 경우에 위성관측수온이 실측수온과 거의 일치했으며, 몇몇 영상에서는 대기 효과로 인하여 실측수온보다 낮게 나타났다.

#### 4. 통계적 대기보정

춘천호, 의암호, 파로호에서는 위성온도와 실측치가 높은 상관관계를 보여주고 있다. 현장에서 측정한 온도가 위성에서

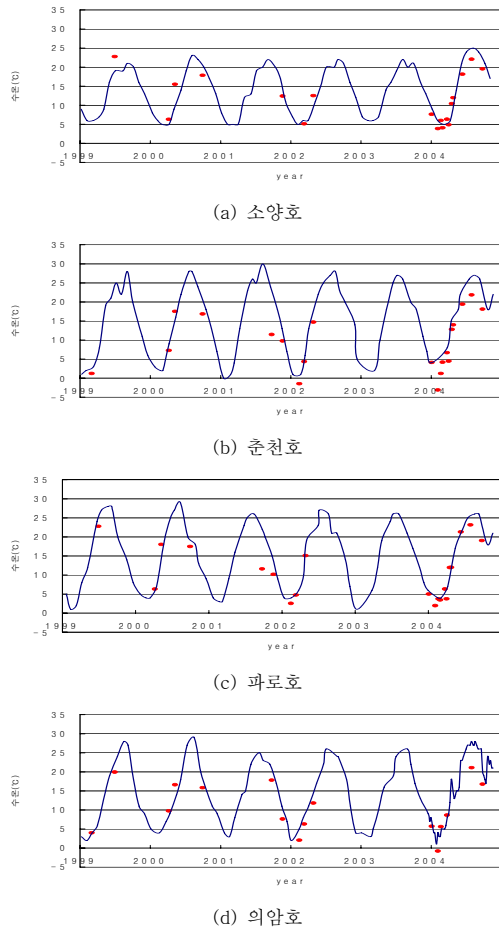
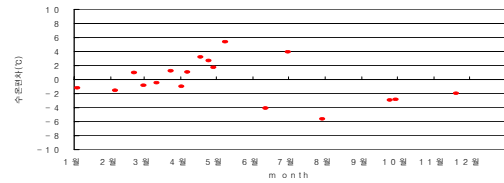
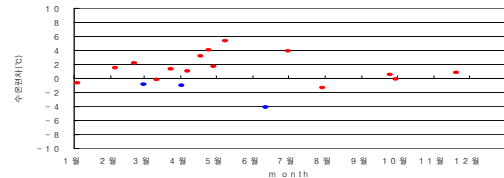


Fig 2. 시계열적 온도변화. 실선은 현장 실측수온, 점은 위성관측수온.

측정한 표층의 온도와 같다는 전제 하에, 대기 효과에 의한 온도 감쇠를 역산해 낼 수 있다. 위성관측 수온과 실측수온과의 차이점을 공간적으로 분석하고 평균을 내어서 대기 흡수에 의한 온도 하강의 유추가 가능하다. 여기서 특이할 만한 것은, 다른 호수에서는 비교적 정확한 값을 가지는 반면 소양호에서는 상관관계가 크지 않음을 보여준다(Fig. 3, 4). 이는 소양호만의 특성에서 기인된 것으로 다음과 같이 분석되었다.

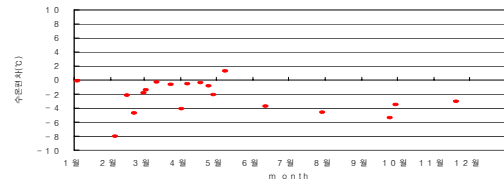


(a) 소양호 대기보정 전

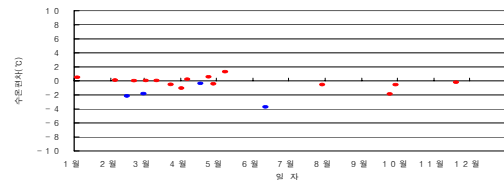


(b) 소양호 대기보정 후

Fig 3. 소양호에서 대기보정 전후의 계절적 온도편차 (위성관측수온 - 현장실측수온, 파란점은 대기보정 불가).



(a) 춘천호 대기보정 전



(b) 춘천호 대기보정 후

Fig 4. 춘천호에서 대기보정 전후의 계절적 온도편차 (위성관측수온 - 현장실측수온, 파란점은 대기보정 불가).

## 5. 소양호에서의 수온 편차와 온도구배

위의 자료에 따르면 소양호에서는 봄~여름에 위성관측수온이 실측수온보다 큰 값을 보이는 경향이 있다.

우리나라 대표적 호소형 댐호인 소양호(김종민 외, 2002)의 연중 수직적 온도 분포는 Fig. 5와 같다. 가을에서 겨울에는 상부의 기온 하강으로 상부의 물이 냉각 되면서 밀도가 높아져 호수 전체가 따뜻 해지면서 온도구배가 최저가 되며, 봄이 되면 다시 상층부가 따뜻해져 온도구배가 나타나기 시작한다(이종범, 1989). 즉, 이 시기에는 위성에서 측정할 수 있는 표층 0.2mm의 온도와, 5-10m 사이에서 측정하는 실측수온이 차이가 날 수 있다는 것이다.

반면에, 소양호를 제외한 다른 호수들은 하천형 댐호로서, 한강의 수위 조절과 발전을 위해 건조기에도 일정량이 계속 유입, 방류되고 있으며 상대적으로 얇은 중심의 영향으로 표층에서 혼합이 발생하여 온도구배가 발생하지 않는 것으로 해석할 수 있다.

## 6. 결론

연 중 온도구배가 적고 혼합층이 잘 형성되는 하천형 댐호에서는 위성관측수온과 실측수온이 매우 정확하게 들어맞았다. 이러한 호수들은 위성을 통한 온도측정 분석에 있어서 매우 좋은 기준 구실을 한다. 이를 통해서 대기효과에 의한 온도 오차를 줄여주는 대기보정도 가능하다.

소양호와 같은 호소형 댐호에서는 봄-여름철에 표층에서 온도구배가 생겨 위성

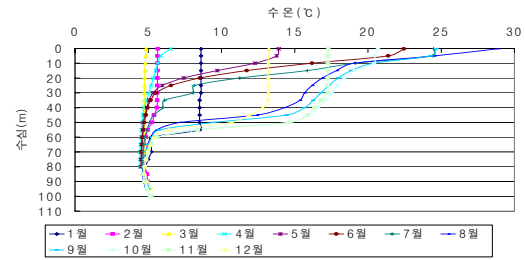


Fig 5. 2004년 소양호 수심별 수온(소양강댐 앞)

관측수온이 실측수온보다 오히려 더 높게 나타나는 것이 관측되었다. 이를 통하여 소양호에서 발생하는 수직적 온도구배 및 혼합층 형성에 대한 계절적인 변화를 유추해 낼 수 있었다.

앞으로 이 연구 방법을 한강 수계 전체, 혹은 다른 지역의 수계로 확대시켜 비교 분석해 볼 가치가 있다.

## 7. 사사

Landsat 영상을 제공해주신 한국전자통신연구소, 한국지질자원연구원과 수온자료를 제공해주신 환경부 수질정책과, 한국수자원공사 소양강댐관리단 환경과에 감사사를 드린다.

## 8. 참고문헌

- G. Chander and B. Markham, 2003, Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-calibration Dynamic Ranges, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 41(11), 2674-2677.
- 정종철, 유신재, 1999, Landsat TM을 이용한 표층수온 분석 오차, *J. K. Soc. Remote Sens.*, 15(1), 1-8.
- 이종범, 1989, 소양호의 수온 수직분포에 관한 열수지적 연구, *K. J. Lim.* 22(1), 29-41.
- 김종민, 박준대, 노혜란, 한명수, 2002, 소양호와 팔당호 수질의 수직 및 계절적 변화, *K. J. Lim.*, 35(1), 10-20.