

내륙 수온과 MODIS 지표 온도 데이터의 비교 평가

나유경*·김주원**·임은하***·박우정****·김민준*****·최진무*****

Comparison of MODIS Land Surface Temperature and Inland Water Temperature

Na, Yu-gyung*·Kim, Juwon**·Lim, Eunha***·Park, Woo Jung****·Kim, Min Jun*****·Choi, Jinmu*****

요약: 기상 현상을 예측하는 수치예보모델의 주요한 기초 입력 데이터로 토지이용, 지형, 식생, 지표 온도 등이 있다. 이 중 지표 온도의 일부인 내륙 수면 온도에 대한 지상 관측 데이터는 강이나 호수의 일부 지역에만 존재한다. 따라서 본 연구는 수치예보모델의 입력 데이터인 내륙 수면 온도로 활용할 수 있는 MODIS 위성영상의 지표 온도 데이터의 오차정도를 확인하기 위해 국내 내륙 수온 지상 관측 데이터와 비교·분석하였다. 이를 위해 2011년 7월부터 2012년 6월까지 약 1년의 MODIS Land Surface Temperature(LST) 데이터와 수질자동측정망의 수온 데이터를 비교하였다. MODIS 데이터는 주간 및 야간 데이터로 구성되는 데, 각각의 월 평균 오차는 2°~8℃, 3°~12℃로 주간 데이터의 오차가 작았다. 특히, 주간 데이터의 오차는 가을에 2℃로 다른 계절에 비해 작았고, 야간 데이터는 여름에 3℃로 다른 계절에 비해 작았다. 또한 지역적으로는 한강, 낙동강, 금강, 영산강의 4대강을 비교한 결과 가장 남쪽에 있는 영산강 유역에서 가장 오차가 작았다. 본 연구를 통해 수치예보모델의 입력 데이터로 활용함에 있어 MODIS 지표 온도 데이터의 오차 정도를 확인할 수 있었다. 연구 결과는 아시아 지역에 대해 수치예보모델을 운용할 때 북한 및 해외 지역에 대해 MODIS 지표 온도 데이터를 활용함에 있어 그 오차 정도의 기준이 될 수 있을 것이다.

주요어: MODIS, 내륙 지표 온도, 위성영상, 내륙 수온, 수질자동측정망, 수치예보모델

Abstract: This paper aims to analyze the root mean square errors of MODIS LST data and inland water temperature measurement data in order to use MODIS LST data as an input of numerical weather prediction model. MODIS LST data from July 2011 to June 2012 were compared to water temperature measurement data in the automated water quality measurement network. MODIS data have two composites: day-time and night-time. Monthly errors of day-time and night-time LST range 2~8℃ and 3~12℃, respectively. Temporally, monthly errors of day-time LST are less in fall and those of night-time LST are less in summer. Spatially, on the four major rivers including the Han, Nakdong, Geum, and Yeongsan rivers, the errors of Yeongsan river were the smallest, which location is the south-most among them. In this study, the errors of MODIS LST as an input of numerical weather prediction model were analyzed and the results can be used as an error level of MODIS LST data for inaccessible areas such as North Korea.

Key Words: MODIS, Land Surface Temperature, Remote Sensing, Inland Water temperature, Numerical Weather Prediction Model, Automated Water Quality Measurement Network

1. 서론

최근 극심한 폭우 등 기후 변화에 따른 이상 기상에 대한 관심이 증가하고 있다. 국지성 폭우, 장

마 등 다양한 기상변화는 수치예보모델을 통해 예측될 수 있는데, 기후변화와 이상 기상 현상은 단순한 기온의 상승이나 강수량의 변화에 그치지 않고 다양한 측면에서 결합되어 자연과 인간의 삶에

* 경희대학교 지리학과 석사과정(Master Program, Department of Geography, Kyung Hee University)
** 기상청 수치모델개발과 주무관(Assistant director-grade 7, Department of Numerical Model Development, Korea Meteorological Administration)
*** 기상청 수치모델개발과 연구관(Senior Researcher, Department of Numerical Model Development, Korea Meteorological Administration)
**** 경희대학교 지리학과 학부과정(Undergraduate Program, Department of Geography, Kyung Hee University)
***** 경희대학교 지리학과 석사과정(Master Program, Department of Geography, Kyung Hee University)
***** 교신저자, 경희대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyung Hee University)(cjm89@khu.ac.kr)

직간접적인 피해를 야기한다(주세종·김세주, 2012; 강나래 등, 2012). 기후 변화는 신체적 질병을 야기하거나 정신건강과 삶의 질 전체에 영향을 줄 수 있으며, 수자원 및 생태계의 변화로 인하여 식량문제가 발생할 수 있다(신호성, 2009). 또한 해수면의 상승에 따른 국토의 변화 등 미래 환경을 예측하고 대응하기 위해 정확한 기후 예측이 필요하다. 이러한 수치예보 모델의 주요한 기초 입력 데이터로 토지피복, 지형, 식생, 지표면 온도 등이 있다. 이 중 특히 지표 온도 데이터는 지구온난화, 도시열섬 현상, 도시개발에 따른 도시의 확장 등에 다양하게 활용되고 있다(엄대용, 2006; 송영선, 2005).

지표면 온도 측정을 위해서 대기 온도 측정소에서 취득한 기온 데이터는 측정소 주변 지역을 제외한 다른 지역의 정보에 대해 정확도가 낮다는 단점을 가지고 있으므로, 이를 보완하기 위해 기온 관측망보다 조밀한 위성영상 데이터를 사용하여 온도 데이터를 구축하려는 연구가 다수 존재한다. Jones *et al.*(2004)은 MODIS Land Surface Temperature(LST) 데이터를 활용하여 안정적인 대기상태의 야간 최저기온을 추정하였고, 야간 기온의 변동성을 살펴보았다. 분석결과 Aqua MODIS LST로부터 얻어진 기온의 추정치는 40km ETA 모델로부터 얻어진 기온의 추정치보다 실제에 더 근접하다고 밝혔다. 이는 ETA 모델의 공간해상도가 너무 낮은 것이 원인일 수도 있다. Colombi *et al.*(2007)은 수문 및 환경 모델의 입력 데이터인 일평균기온 데이터를 구축할 경우 MODIS LST 위성영상을 활용하는 방안의 실행가능성을 입증하고자 하였다. LST로부터 산출된 일평균기온 값이 가지는 오차(RMSE) 값이 1.89°C로 도출되었으며, 이는 MODIS LST 데이터를 일평균기온 추정에 활용하는 것이 유효하다는 것을 의미한다고 주장하였다(Neteler, 2010). 이러한 연구들은 모두 MODIS LST 데이터를 지표 온도 데이터로 활용하는 것이 가능함을 제시하고 있다.

위성영상 데이터는 기온뿐만 아니라 수온의 추정에도 활용될 수 있다. 수온의 변화는 생태계에 영향을 미치며 수질의 변화를 야기할 수 있어 매우 중요한 연구 주제이다. 한대호(2010)는 1989년부터 2009년까지 전국의 수질측정망에서 수집된

수온 데이터의 시공간적 특성을 분석한 결과, 시간이 지남에 따라 통계적으로 유의한 수온 변화가 발생한 측정 지점은 전체 특정 지점의 29.0%였다. 또한 각 측정 지점에 대해 수온의 상승 및 하강 형태를 분석한 결과 수온이 상승한 지점이 하강한 지점보다 1.7배 많아 수온 변화가 유의한 지점 중 여러 지점들에서 시간이 지남에 따라 수온이 상승함을 보여 주었다. 다른 한편으로, 수온변화에 관한 연구를 위해 수질측정망의 다양한 관측 장비를 이용하여 실측 데이터를 취득하려는 노력이 계속되어 왔다. 정확한 수온 측정을 위해서는 다수의 관측 장비를 활용하여 매우 조밀한 관측지점들에서 대한 측정이 필요하지만 그 비용 때문에 조밀한 관측지점 배치에 한계가 있다. 이러한 한계점을 보완하고자 위성영상 데이터를 이용한 수온 관측 연구가 다수 진행된 바 있다.

문정언과 양찬수(2009)는 겨울철 황해 연안 해역의 이상 수온을 해석하기 위하여 NOAA AVHRR 해수면온도 데이터와 일본의 위성 데이터인 NGSST 일별 합성 해수면온도 데이터를 활용하였다. 2003년과 2004년의 수온은 9월에 비슷한 분포특성을 보였으나, 11월 수온은 2004년이 전년에 비해 약 2°C 높게 나타났다. 정종철(2011)은 새만금해역의 표층수온의 변화 경향을 분석하기 위하여 Landsat TM과 MODIS 영상을 이용하였다. 계절별로 표층수온의 패턴에 차이가 있음을 밝혔으며, MODIS 영상에서 추출한 수온 데이터는 실측 데이터와 유사한 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 하지만 측정시간 및 수심에 따른 오차가 발생함을 밝혔다. 이 외에도 NOAA 수온영상 재처리 기법에 관한 연구(김상우 등, 2011), 위성데이터를 활용하여 해수면 수온 분포와 적조 발생의 상관성을 밝힌 연구(서영상 등, 2000) 등이 있다. 이처럼 위성영상 데이터를 활용하면 관측 장비를 설치하지 않아도 수온 데이터를 획득할 수 있으므로 비교적 높은 공간해상도의 수온 데이터를 경제적으로 구축할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수치예보 모델의 기초 입력 데이터인 내륙 수면 온도에 대해 MODIS 위성영상의 지표 온도 데이터를 활용하기 위해 국내 내륙 수온 지상 관측 데이터와 MODIS 지표 온도 데이터를 비교·분석하였다. 이를 위해 2011년 7월

부터 2012년 6월까지 약 1년의 MODIS Land Surface Temperature(LST) 데이터와 수질자동측정망의 수온 데이터를 비교하였다. 시간적으로는 1시간 단위로 측정되는 수질자동측정망의 수온 데이터와 8일 단위로 구축되는 MODIS 지표 온도 데이터에 대해 월별, 계절별로 그 오차(RMSE) 특성을 분석하고, 지역적으로 한강, 낙동강, 금강, 영상강의 4대강에 대해 그 오차의 차이를 분석하였다.

2. 내륙 온도 데이터 구축

1) MODIS 지표 온도 데이터 구축

본 연구에서는 1km 해상도의 Terra MODIS 위성 MOD11A2-Level3 8-Day Land Surface Temperature/Emissivity 데이터를 활용하였다. 데이터의 공간적 범위는 N25°~N50°, E110°~E140°이며 한반도를 포함한다. Terra MODIS 데이터는

8일 평균 데이터에 대해 주간/야간으로 나뉘어져 다운로드 할 수 있다(Wan, 2007; Coops *et al.*, 2007; Hengl *et al.*, 2012). MODIS 위성영상 데이터를 바탕으로 내륙 온도 데이터를 구축하는 구체적인 방법은 다음과 같다. 첫째, 미항공우주국(NASA)에서 제공하는 8일 평균 MODIS 위성영상 데이터를 한 달 단위 데이터로 수집하였다.

둘째, 월별로 수집된 8일 평균 데이터들에 대해 공간적으로 분리되어 있는 각 영상 <그림 1>의 좌측을 하나의 영상으로 합쳐주는 과정을 수행하였다. 모자이크(Mosaic) 작업을 거치면 아래의 <그림 1>의 우측과 같이 하나의 영상이 생성된다.

셋째, 모자이크 과정을 거친 데이터는 연구지역 전체에 대해 각각 8일치 평균 온도를 나타내고 있으며 8일 평균으로 모자이크되어 있는 영상 네 개를 중첩하여 평균을 계산하여 월평균 온도 데이터를 구축하였다. <그림 2>는 8월의 월평균 데이터를 구축한 사례를 보여주고 있다.

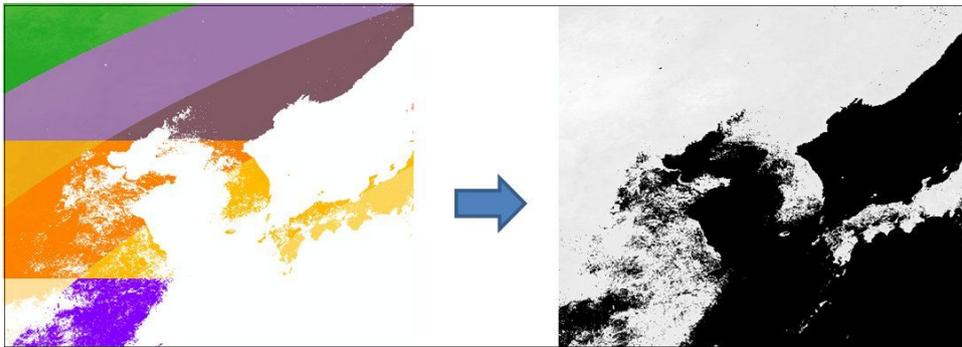


그림 1. MODIS 데이터 Mosaic 작업 전과 후

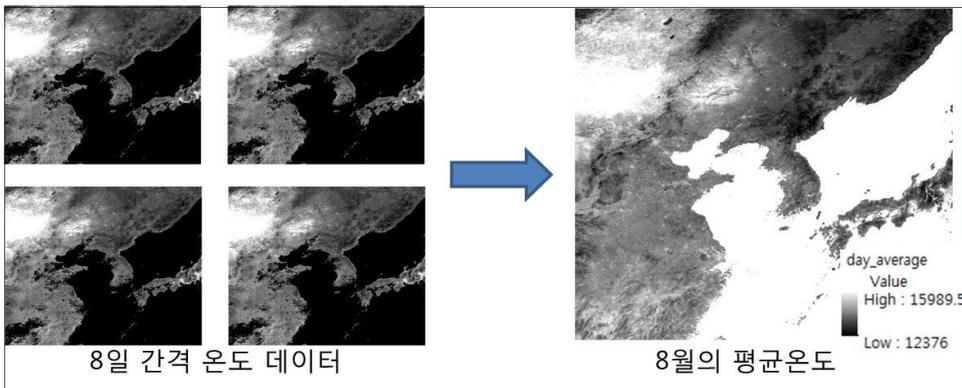


그림 2. MODIS LST 데이터의 월별 평균온도 계산

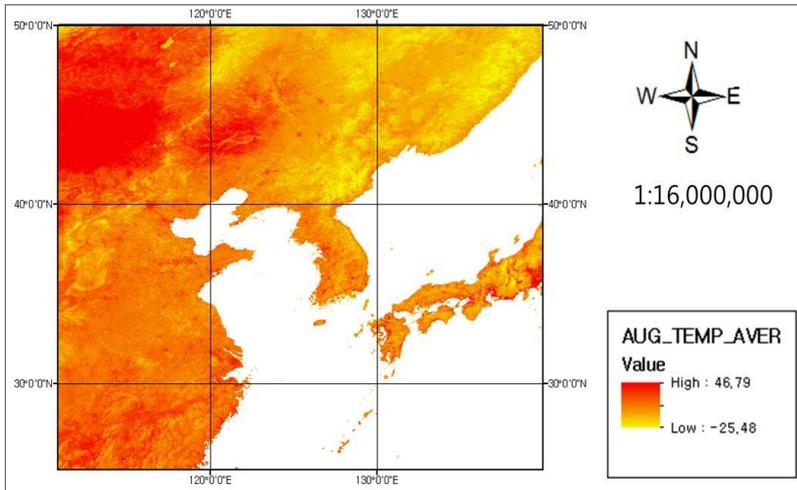


그림 3. 2011년 8월 평균기온

이후 MODIS LST 온도를 섭씨온도로 변환하였다. <그림 3>은 섭씨온도로 변환된 2011년 8월 평균기온이다. 지도에서 온도의 범위는 최고값은 45°, 최저값은 -25°로 나타남을 알 수 있다. 최고값은 중국의 내몽고지역으로 8월의 높은 기온을 보여주고 있다. 범례에서 최저값이 -25°로 표시되고 있는데, 해당지역의 픽셀 수가 적어 보이지만 북반구의 한여름인 8월에 온도로는 보기 어려우므로 이러한 지역들은 MODIS LST 데이터의 오류 지역에 해당하는 것으로 추정되며 비교에서 제외되어야 할 것이다. 다만 본 연구의 비교대상인 한반도 지역에서는 이러한 특이 값들이 존재하지 않는다.

2) 내륙 수온 데이터 변환

MODIS 데이터와 수질자동측정망의 수온 비교를 위하여 수질자동측정망의 위치에 해당하는 MODIS 데이터를 추출하여야 한다. 수온 데이터 추출 전 두 데이터를 중첩시켜보면 <그림 4>와 같이 나타난다. MODIS 데이터는 한반도 전체에 대한 연속적인 지표 온도를 나타내는 래스터 데이터인 반면, 수온자동측정망의 온도 데이터는 각 측정소 위치에서의 온도를 나타내는 점(Point) 데이터이므로 두 데이터의 형식을 일치시켜야 직접 비교가 가능하다.

MODIS 영상의 수온 데이터를 검증하기 위하

여 수질자동측정망의 수온 데이터와 비교하였다. 수질자동측정망 데이터의 분석 시기는 2011년 7월 1일부터 2012년 6월 30일까지 1년 동안 1시간 간격의 수온 데이터를 사용하였다. 수질자동측정망의 측정지점은 총 60개소이며 아래 <표 1>과 같이 하천수, 호소수, 공단배수를 포함한다. 유역으로 분류하면 한강 수계 19지점, 금강 수계 12지점, 낙동강 수계 21지점, 영산강 수계

8지점이 있다(환경부, 2011).

수질자동측정망의 1시간 간격의 수온 관측 데이터는 1시간 중 5분 유효 측정 데이터가 7회 이상인 경우만을 유효 표본으로 인정하여 7회 이상 평균값을 기재한 값이다(환경부, 2011). 자동측정망의 60개 측정소 중 금강권역의 달천과 낙동강권역의 고령, 적포, 해평은 데이터 수집기간인 2011년 7월 1일부터 2012년 6월 30일까지의 기간 동안 수온 데이터가 전혀 존재하지 않는다. 따라서 위 4개소를 제외한 56개소의 수온 데이터를 바탕으로 MODIS 수온 데이터와 비교하였다.

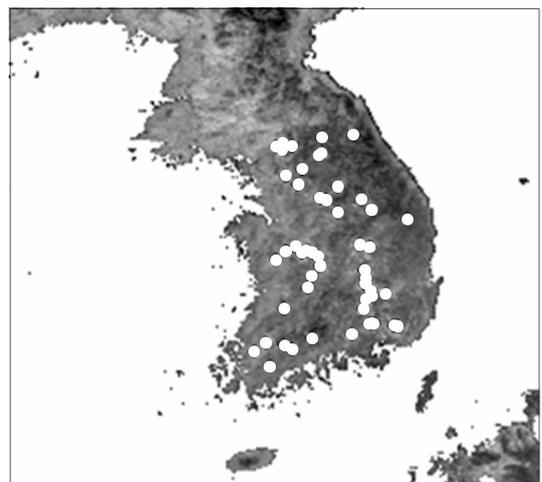


그림 4. MODIS 데이터의 4월 낮(Day) 데이터와 수질자동측정망 위치

표 1. 수질자동측정망의 측정소 구성

구 분	개소수	하천수	호소수	공단배수
계	60(57)	50	8	2
한강권역	19	18	1	-
낙동강권역	21(18)	19	-	2
금강권역	12(11)	9	3	-
영산강·섬진강권역	8	4	4	-

* 낙동강권역 3개소(고령, 적포, 해평), 금강권역 1개소(달천) 제외

MODIS LST 데이터의 측정시간은 MODIS LST와 함께 래스터 형태로 제공된다. 한반도지역의 주간 MODIS 데이터는 11시 전후에 관측된 값이고 야간은 22시 전후에 관측된 값이다. 수질자동측정망의 수온 데이터는 한 시간 간격으로 측정되어 있다. 따라서 주간 MODIS 데이터와 11시 수질자동측정망 수온 데이터를 비교하고 야간 MODIS 데이터와 22시 수질자동측정망 수온 데이터를 비교하였다.

구축된 수온 데이터의 변환 과정은 다음과 같다. 첫째, 수질자동측정망의 데이터를 지도화하기 위하여 수질자동측정소 위치의 주소를 <표 2>와 같이 경위도 좌표체계로 변환시킨다. 이 과정을 통해 위 <그림 4>의 수질자동측정망의 위치 데이터가 구축된 것이다. 좌표계는 경위도를 사용하는 지리좌표체계(Geographic coordinate system)이며 데이터는 WGS 1984를 활용하였다.

비교대상인 MODIS 영상 데이터는 래스터 형식이기 때문에 동일한 지점에서의 수온을 비교하

기 위해서는 수질자동측정망의 수온 데이터를 래스터 형식으로 변환시켜야 한다. 따라서 전국의 수질자동측정망 위치 데이터를 MODIS 영상 데이터의 셀 크기와 동일한 크기의 래스터로 변환하여 MODIS 데이터와 비교하였다. 이때 56개 수질자동측정소가 위치한 지역의 하천 폭을 측정하기 위해 하천의 수치지도 상에서 측정하였다. 수질자동측정소 위치의 하천 폭은 최소 약 50m에서 최대 1.2km까지 다양하며 평균 약 315m였다. 이는 1km 해상도의 MODIS 지표 온도 데이터에는 수면 온도뿐만 아니라 주변 지표 온도의 영향에 따라 어느 정도의 오차가 예상된다. 특히 MODIS 주간 지표 온도 데이터의 경우에는 하천 주변의 지표 온도가 수온보다 높을 것이므로 MODIS 수온 데이터가 수질자동측정망 수온 데이터보다 다소 높을 것이 예상되며, MODIS 야간 지표 온도 데이터의 경우에는 하천 주변의 지표 온도가 수온보다 낮을 것이므로 MODIS 수온 데이터가 수질자동측정망 수온 데이터보다 다소 낮을 것이

표 2. 수질자동측정망의 측정소 위치 사례

측정소명	주 소	찾기 결과	지번	경도	위도
가평	경기도 가평군 청평면 삼회리 617-4	정좌표	4.18E+18	127.38	37.66
경안천	경기도 광주시 퇴촌면 정지리 193-1	인근좌표	4.16E+18	127.31	37.44
구리	경기도 구리시 아천동 390-4	정좌표	4.13E+18	127.12	37.56
여주	경기도 여주군 여주읍 우만리 남한강교	수정	4.17E+18	127.68	37.26
원주	강원도 원주시 소초면 장양리 1818	정좌표	4.21E+18	127.95	37.42
평창강	충청북도 제천시 송학면 장곡리 2	정좌표	4.32E+18	128.33	37.22
한탄강	경기도 연천군 전곡읍 은대리 산53-1	정좌표	4.18E+18	127.08	38.04
서상	강원도 춘천시 서면 서상리 941-1	인근좌표	4.21E+18	127.69	37.93
강천	경기도 여주군 강천면 강천리 산8-2	정좌표	4.17E+18	127.75	37.24
...

예상된다.

3. 내륙 수온과 MODIS LST 오차 평가

2011년 7월부터 2012년 6월의 MODIS 지표 온도 데이터와 수온자동측정망의 수온 데이터를 비교하기 위하여 수온 측정 지점을 동일하게 정렬한 후 오차(RMSE)를 평가하였다. 이 때, 시간은 1월부터 12월까지 주간과 야간으로 구분하였다. 수온데이터는 수질자동측정망의 56개 측정소 데이터 중 총 40개소의 데이터를 사용하였다. 16개소의 제외 원인은 다음과 같다. 옥천천, 양평, 상동은 수질자동측정소의 위치좌표 오류로 인하여 MODIS 데이터를 추출할 수 없으므로 제외하였다. 또한 수질자동측정망 데이터 중 상당한 누락이 발생하여 월평균 계산시 오류 가능성이 있는 13개소(신천, 남면, 강창, 구미, 도개, 봉화, 신암, 예천, 칠서, 회상, 나주, 황룡강, 서창교)를 제외하였다. 따라서 수질자동측정망 중 40개소의 데이터에 대해 MODIS 데이터와 비교하여 그 오차를 계산하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_i} \sum_{t=1}^{n_i} [y(x_t) - \hat{y}(x_t)]^2} \dots\dots\dots \text{식 1}$$

여기서 $y(x_t)$ 은 수질자동측정망의 x_t 측정소의 수온, $\hat{y}(x_t)$ 은 x_t 측정소의 위치에 해당하는 MODIS 영상 데이터의 지표 온도, n_i 는 수질자동 측정지점의 총수(40개)를 나타낸다.

오차는 <식 1>을 활용하여 계산하였다. 시간에 따른 오차와 지역에 따른 오차로 구분하여 살펴봄으로써 MODIS 지표 온도 데이터와 수온자동측정망의 수온 데이터의 차이를 살펴보고자 하였다. 또한 수치예보모델의 입력 데이터로 활용함에 있어 오차정보 뿐만 아니라 편차(BIAS) 정보도 매우 중요하다. 체계적인 편차 특성은 수치예보모델의 입력 데이터를 보정하는데 활용함으로써 예측 데이터의 품질을 높이는 데 기여할 수 있기 때문이다. 편차는 향후 보정에 활용될 수 있도록 MODIS 영상의 수온 데이터와 수질자동측정망의 수온 데이터의 차이로 계산한다.

1) 시간에 따른 오차 및 편차 평가

MODIS LST의 수온데이터가 주간과 야간으로 구분되므로 비교를 위해 자동측정망의 수온데이터를 주간과 야간으로 나누어 구축하였다. 40개 측정소의 데이터를 바탕으로 도출된 주간 오차는 아래 <그림 5>, 야간 오차는 <그림 6>과 같다.

<그림 5>에서 월별 주간 오차는 2°~8°C의 범

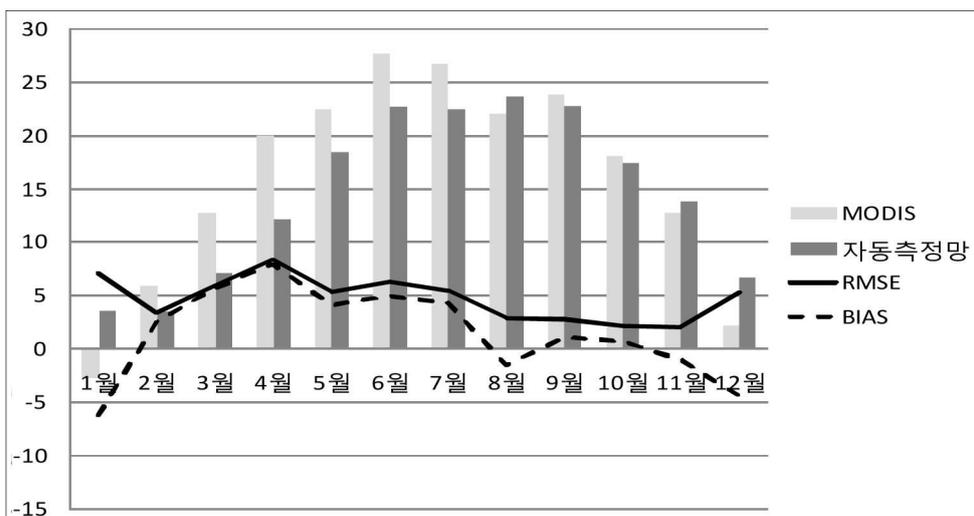


그림 5. 40개소 측정소의 월평균 주간 수온과 주간 오차(RMSE) 및 편차(BIAS)

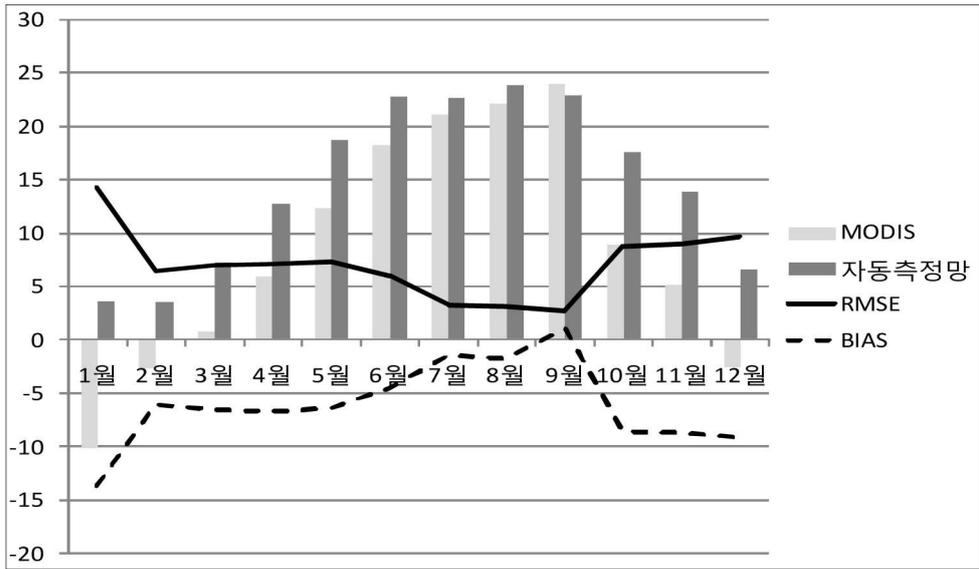


그림 6. 40개소 측정소의 월평균 야간 수온과 야간 오차 및 편차

위 내에 있으며 가을에 해당하는 9월, 10월, 11월에 오차가 가장 작은 것으로 보인다. 6월에서 11월까지는 오차가 점점 줄어드는데 반해 12월부터 5월의 정확도는 월마다 큰 차이를 보인다. 특히 1월과 4월에는 오차가 크게 나타나는 반면, 2월에는 오차가 작게 나타난다. 전체적으로 가을에 오차가 2°C 정도로 작게 보이며 겨울과 봄 다소 큰 오차를 보인다. 편차를 살펴보면 8월과 11월~1월은 음수 편차가 나타나므로 MODIS 수온 데이터를 보정하기 위해 온도를 올려주어야 하고 8월을 제외한 2월~10월은 온도를 내려주어야 할 것이다. 이러한 편차의 원인으로 수면지역에 대한 MODIS LST 데이터는 그 해상도(1km)가 하천 폭(평균 약 315m) 보다 넓기 때문에 MODIS 데이터의 주간 온도는 주변 지표 온도의 영향을 받게 된다. 주간에는 수면온도보다 주변의 지표 온도가 높기 때문에 MODIS 온도가 전반적으로 수질자동 측정망의 수온보다 높게 나타남을 볼 수 있다.

〈그림 6〉에서 월별 야간 오차는 주간에 비해 오차가 크게 나타나며 계절별로 뚜렷한 특징이 있다. 약 3°~14°C의 범위 내에서 변하며 특히 1월을 중심으로 겨울에 오차가 크게 나타난다. 봄철에는 약 6°C 정도의 오차를 보이며, 여름부터 초가을인 7월, 8월, 9월에 오차가 가장 작게 나타난다.

다. 편차를 살펴보면 9월을 제외하면 모두 음수 편차가 나타나므로 MODIS 수온 데이터를 보정하기 위해 온도를 올려주어야 하며, 9월만 온도를 조금 내려주면 될 것이다. 야간 수온 편차의 원인도 주간 수온 편차의 원인과 같이 MODIS LST 데이터의 해상도가 하천 폭보다 넓기 때문이다. 다만 MODIS 데이터의 야간 온도는 주변 지표 온도의 영향을 받게 되는데, 야간에는 수면온도보다 주변의 지표 온도가 낮기 때문에 MODIS 온도가 전반적으로 수질자동 측정망의 수온보다 낮게 나타남을 볼 수 있다. 〈그림 5〉와 〈그림 6〉을 종합적으로 비교하면 주간 수온 오차보다 야간 수온 오차가 더 큼을 알 수 있다.

2) 지역에 따른 오차 평가

지역에 따른 오차를 살펴보기 위해 월별 주간 오차와 야간 오차를 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역으로 나누어 살펴보았다. 유역별 주간 오차는 〈그림 7〉, 유역별 야간 오차는 〈그림 8〉과 같다.

〈그림 7〉에서 유역별 주간 오차는 2°~8°C의 범위 내에 전반적으로 비슷한 추이를 보이고 있다. 공간적인 위치에 상관없이 늦여름(8월)부터 가을(11월)까지 전반적으로 오차가 작다. 지역적으로

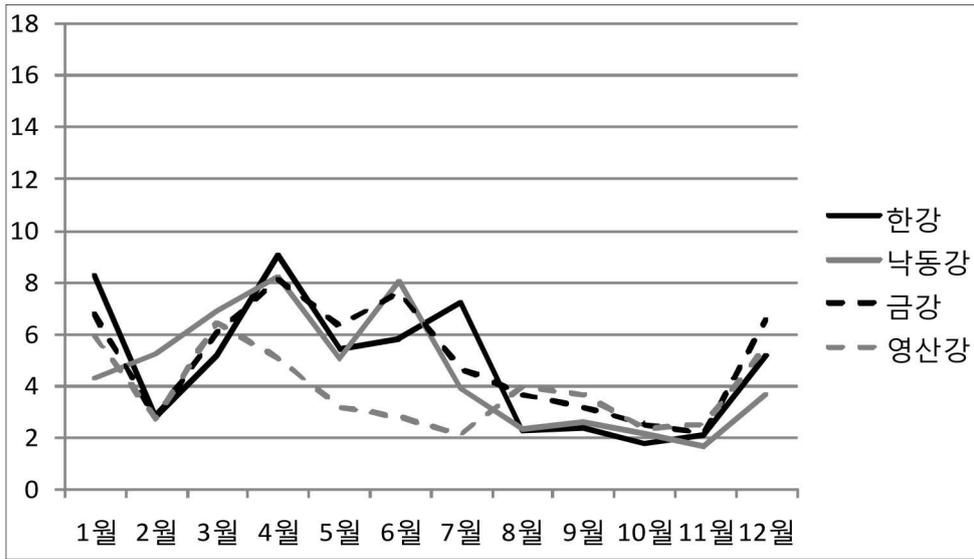


그림 7. 유역별 주간 오차

4대강 중 영산강이 가장 오차가 작는데 특히 봄과 여름에 다른 강들보다 오차가 작게 나타남을 볼 수 있다. <그림 8>에서 유역별 야간 오차는 2~16°C의 범위 안에서 강들 사이에 별다른 차이를 볼 수 없다. 다만 1월, 2월, 3월에 영산강이 다른 강들에 비해 약 4°C 정도 작게 나타나고 있다.

<표 3>는 하천별 연평균 오차와 편차를 보여주고 있다. 연평균 오차에 있어서 4대강 중에는 영산강이 다른 강들에 비해 작은 주야간 오차를 보

이고 있다. 지역적으로 영산강은 다른 강들에 비해 위도가 낮고 내륙으로의 연장이 길지 않다. 이러한 지역적 특성이 MODIS 지표 온도와 수질자 동측정망 수온의 차이를 다른 강들에 비해 상대적으로 줄여 주는 것으로 판단된다. 연평균 편차를 살펴보면 주간에는 대체로 양의 값으로 MODIS 지표 온도가 수질자동측정망의 수온에 비해 전반적으로 높게 나타나며, 야간에는 음의 값으로 수온이 지표 온도보다 높게 나타남을 보여준다.

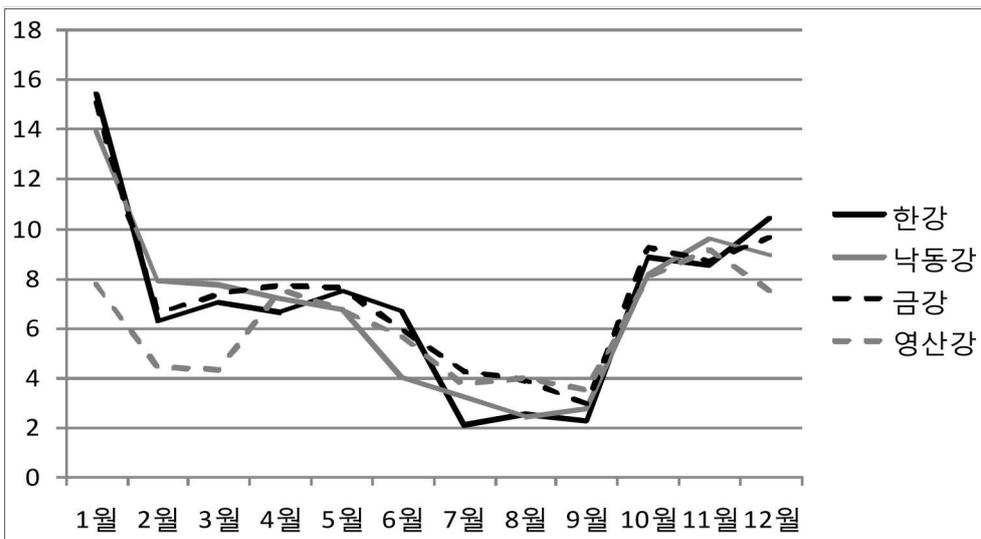


그림 8. 유역별 야간 오차

표 3. 하천별 주야간 MODIS LST 데이터의 연평균 오차 및 편차

	연평균 오차 (RMSE)(°C)		연평균 편차 (BIAS)(°C)	
	주간	야간	주간	야간
한강	4.77	7.03	1.63	-5.93
금강	4.49	6.89	2.60	-6.11
낙동강	5.02	7.41	1.22	-6.43
영산강	3.83	6.02	-0.04	-5.74

이상의 시간과 지역에 따른 MODIS 지표 온도 데이터의 평가에 있어서 오차가 크게 나타나는 것은 MODIS 지표 온도와 수질자동측정망 수온의 차이가 크다는 것을 의미한다. 따라서 MODIS 지표 온도 데이터로 내륙 수온을 추정하기 위해서는 MODIS 지표 온도 데이터 중 야간 데이터 보다는 주간 데이터를 활용하는 것이 좋을 것이다. 만약 주간과 야간을 모두 추정하여야 한다면 본 연구에서 제시한 MODIS 지표 온도와 수질자동측정망 수온 사이의 편차를 이용해 보정하여 활용할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 수치예보모델의 기초 입력자료인 내륙 수온 데이터로 MODIS 위성영상 데이터의 지표 온도 데이터를 활용하기 위해 그 오차 정도를 분석하였다. 1km의 해상도의 MODIS 위성영상에서 지표 온도를 추출하면 관측망이 구축되지 않은 내륙 수면 지역에 대해서도 수온 데이터를 구축할 수 있기 때문이다. 이에 MODIS 데이터의 정확도를 확인하고 편차를 통해 보정할 수 있는 데이터를 제시하고자 하였다.

오차 분석은 2011년 7월부터 2012년 6월의 MODIS LST 데이터와 수질자동측정망의 수온 데이터를 바탕으로 이루어졌다. 두 데이터의 오차를 시공간적으로 비교·분석하였다. 분석결과, 월별 주간 오차는 2°~8°C의 범위 내에 있으며 계절별로는 가을에 가장 오차가 작게 나타났다. 6월에서 11월 사이에는 오차가 점점 감소하며 12월부터 5월의 정확도는 월마다 큰 차이를 보였다. 월별 야간 오차는 주간에 비해 오차가 크게 나타났으며 약 3°~14°C의 범위 내에 존재하였다. 계절별 야간 오차는 겨울에 오차가 크게 나타났고, 여름부

터 초가을인 7월, 8월, 9월에 오차가 가장 작았다. 전반적으로, MODIS LST 데이터의 주간 데이터가 수질자동측정망 데이터와의 오차가 작았다.

지역적으로는 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역의 주간 및 야간 오차는 전반적으로 비슷한 추이를 보이고 있다. 다만 봄과 여름에 영산강 지역의 측정망들에서 비교적 작은 주간 오차를 보였다. 이는 낮은 위도이며 내륙으로의 연장이 비교적 짧은 영산강의 지리적 특성 때문에 MODIS 지표 온도 데이터와 수질자동측정망의 수온 데이터의 오차가 작게 나타나는 것으로 추정할 수 있었다.

MODIS LST를 활용하여 내륙 수온을 추정하기 위해서는 야간 영상 보다는 오차가 상대적으로 작은 주간 영상을 사용하는 것이 타당할 것이다. MODIS 영상 데이터를 활용한다면 수질자동측정망이 포괄할 수 없는 모든 내륙 수면에 대해 수온 데이터를 구축할 수 있을 것이다. 다만 MODIS LST 영상의 공간 해상도가 1km 이므로 1km 폭 이하의 하천과 호소에 대해서는 내륙 수온 추정시 MODIS 데이터의 1km²의 격자 내에 물뿐만 아니라 삼림이나 도시 등 다양한 지표사상이 존재하므로 다양한 지표 온도가 포함되어 있음을 고려하여야 한다. 이때 본 연구에서 제시한 편차 정보를 MODIS 영상 데이터의 수면 온도 보정에 활용할 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 수치예보모델의 입력 데이터로 활용함에 있어 MODIS 지표 온도 데이터의 오차 및 편차 정도를 확인할 수 있었다. 또한 향후 과제로 다음의 두 가지를 제안하고자 한다. 우선, MODIS LST 데이터와 수면 온도의 계절에 따른 오차와 편차의 원인을 분석한다면 MODIS LST 데이터에 대한 좀 더 정밀한 보정이 가능할 것이다. 둘째, 오차의 지역적인 분석을 통해 MODIS LST 오차의 지역적 차이가 크지 않음을 확인하였

으므로 MODIS LST 위성 데이터를 활용하여 북한지역 및 해외지역에 대한 내륙 수온 데이터를 구축할 수 있을 것이다. 이때 수질자동측정망의 수온 측정지점의 수체 특성을 고려한 지역별 수온 비교를 통해 지역적 차이가 없는 원인을 확인할 수도 있을 것이다. 수온 실측 데이터가 없는 북한지역 및 해외지역의 내륙 수온 데이터 구축을 위해 본 연구의 결과와 더불어 Landsat TM 등 보다 고해상도의 지표 온도 데이터를 활용하는 방안 에 대한 연구가 수행되어야 하며, 그 결과와 MODIS LST 데이터에 대한 비교가 연구되어야 할 것이다.

사사

본 연구는 기상청 체원으로 연구된 「수치예보모델 운영기술 개선」 연구보고서의 일부를 수정·보완한 내용이다.

문헌

강나래·김수전·이건행·김덕길·곽재원·노희성·김형수, 2012, 기후변화가 도시배수시스템에 미치는 영향, 한국습지학회지, 13(3), 623-631.

김상우·강용균·안지숙, 2011, NOAA 수온영상 재처리 기법에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 17(4), 331-337.

문정연·양찬수, 2009, 인공위성자료를 이용한 2004년 겨울철 황해 연안 해역 이상 수온 해석, Korean Journal of Remote Sensing, 25(1), 1-10.

서영상·김정희·김학균, 2000, NOAA 위성자료에 의한 해수표면 수온분포와 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생의 상관성, 한국환경과학회지, 9(3), 215-221.

송영선, 2005, Landsat 위성영상을 이용한 도시화장 및 지표온도 변화 탐지, 지형공간정보학회지, 13(4), 59-65.

신호성, 2009, 기후변화 대응 보건사회 분야 정책 개발 방향, 보건복지포럼.

엄대용, 2006, 원격탐사자료에 의한 지표온도추출 정확도 향상에 관한 연구, 한국지리정보학회지,

9(2),159-171.

주세종·김세주, 2012, 기후변화가 남해 해양생태계에 미치는 영향평가, Ocean and Polar Research, 34(2), 197-199.

한대호, 2010, 하천 및 호소의 시공간적 수온변화 분석 및 수질평가, 서울시립대학교 박사학위논문.

Colombi, A. Michele, C.D., Pepe, M., and Rampini, A., 2007, *Estimation of Daily Mean Air Temperature from MODIS LST in Alpine Areas*, EARSeL eProceedings, 6(1), 38-46.

Coops, N.C., Duro, D.C., Wulder, M.A., and Han, T., 2007, *Estimating afternoon MODIS land surface temperatures (LST) based on morning MODIS overpass, location and elevation information*, International Journal of Remote Sensing, 28(10), 2391-2396.

Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Tadić, M.P., and Pebesma, E.J., 2012, *Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images*, Theor Appl Climatol, 107, 265-277.

Jones, P., Jedlovec, G., Suggs, R., and Haines, S., 2004, *Using MODIS LST to estimate minimum air temperatures at night*, 13th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 4-13.

Neteler, M., 2010, *Estimating Daily Land Surface Temperatures in Mountainous Environments by Reconstructed MODIS LST Data*, Rempte Sens, 2, 333-351.

Wan, Z., 2007, *MODIS land Surface Temperature Products User's Guide*.

• **교신** : 최진무, (우)130-701, 서울시 동대문구 경희대로 26 경희대학교 이과대학 동관 506호, 이메일: cjm89@khu.ac.kr, 팩스: 02-964-0250, 전화: 02-961-0188.

Correspondence : Jinmu Choi, Room 506, Donggwan, Bldg. College of Science, Kyung Hee University, 26 Kyunghee Dae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-701, Korea., e-mail: cjm89@khu.ac.kr, fax: 02-964-0250, phone: +82-2-961-0188.

(접수: 2013.02.27, 수정: 2013.04.10, 채택: 2013.05.01)