

## Terra/Aqua MODIS LST를 이용한 폭염 및 한파기간 동안 습지의 지면온도 완화효과 분석

정지훈·이용관<sup>†</sup>·김성준<sup>\*</sup>

건국대학교 대학원 사회환경플랜트공학과

<sup>\*</sup>건국대학교 공과대학 사회환경공학부

## Assessment of Surface Temperature Mitigation Effects of Wetlands During Heat and Cold Waves Using Daytime and Nighttime MODIS Land Surface Temperature

Jeehun Chung·Yonggwon Lee<sup>†</sup>·Seongjoon Kim<sup>\*</sup>

*Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University, Korea*

*<sup>\*</sup>School of Civil and Environmental Engineering, Konkuk University, Korea*

(Received : 10 October 2019, Revised: 15 November 2019, Accepted: 03 December 2019)

### 요약

본 연구는 2018년에 발생한 폭염 및 한파 발생 기간을 대상으로 습지의 지면온도 완화효과를 평가하기 위해 위성관측 지표면 온도(Land Surface Temperature, LST)와 지상 관측 기온 자료를 활용해 토지 이용별 특성 분석을 실시하였다. 폭염 기간에는 폭염주의보 발령 기준인 최고기온 33°C 이상인 지역, 한파 기간은 한파주의보 발령 기준인 최저기온 -12°C 이하의 지역을 대상으로 하였다. 위성 자료로는 Terra/Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)의 Daytime, Nighttime LST 자료, 지상 관측 기온 자료로는 전국 86개소의 종관기상관측장비(Automated Surface Observing System, ASOS) 지점에 대한 최고 및 최저 자료를 수집하여 데이터베이스를 구축하였다. 분석 결과, 한파 기간을 대상으로 하였을 때 산림의 지면온도의 평균이 -12.7°C로 가장 높았으며, 그 뒤로 밭과 습지가 각각 -12.9°C와 -13.0°C로 나타나 평균이 가장 낮은 도시의 -14.4°C에 비해 1.4°C 더 높았다. 폭염 기간에도 도시지역의 평균이 34.6°C로 가장 높았고 습지는 33.0°C로 도시지역과 -1.6°C의 차이를 보여 습지의 지면온도 완화효과를 확인하였다. 습지는 기간에 따라 차이는 있으나 지면온도의 완화 기능을 발휘하였고, 원격탐사 영상을 이용한 확인이 가능하였다.

핵심용어 : 기온, 습지, 폭염, 한파, LST, Terra/Aqua MODIS

### Abstract

This study analyzed the surface temperature mitigation effect of wetlands during cold waves (below -12°C from January to February) and heat waves (above 33°C from July to August) in 2018. We used Terra/Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Daytime and Nighttime Land Surface Temperature (LST) product, and the maximum and minimum air temperature observed at 86 stations of Korea Meteorological Administration (KMA). For the cold wave analysis, the LST of Terra MODIS nighttime was the highest at forest area with -12.7°C, followed by upland crop and wetland areas of -12.9°C and -13.0°C respectively. The urban area showed the lowest value of -14.4°C. During the heat wave, the urban area was the highest with +34.6°C in Aqua MODIS LST daytime. The wetland area was +33.0°C showing -1.6°C decrease comparing with urban area.

Key words : Air temperature, Cold wave, Heat wave, LST, Terra/Aqua MODIS, Wetland

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Graduate School, Konkuk University  
E-mail: leeyg@konkuk.ac.kr

• Chung, Jee Hun Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University, Korea / Graduate student (gop1519@konkuk.ac.kr)  
• Lee, Yong Gwan Department of Civil, Environmental and Plant Engineering, Konkuk University, Korea / Ph.D. student (leeyg@konkuk.ac.kr)  
• Kim, Seong Joon School of Civil and Environmental Engineering, Konkuk University, Korea / Professor (kimsj@konkuk.ac.kr)

## 1. 서 론

습지는 다양한 생물들의 서식지를 제공하고 육상 및 습생 생태계의 연결고리 역할을 하는 생태적 기능, 기후변화에 대한 완충 역할을 하는 기후조절기능, 각종 오염으로 인해 발생 되는 화학물질을 정화하는 수질정화기능, 인류가 직간접적으로 활용할 수 있는 자원을 제공하는 생산적 기능 등 지구환경 시스템에서 중요한 역할을 한다(Mitsch and Gosselink, 2000; NIER, 2013). 폭염이나 한파 등의 전 지구적 이상기후 현상이 세계적인 환경 문제로 떠오르기 시작하면서, 오늘날의 습지는 특별히 기후조절기능의 측면에서 그 중요성이 부각 되고 있다(IPCC, 2007). 습지는 지표면에 존재하는 탄소의 40% 이상을 저장할 수 있으며, 특히 토탄지(Peatlands)와 삼림 습지(Forested Wetlands)는 중요한 탄소의 흡수원 및 저장소로 알려져 있다. 또한, 습지는 대기 중으로의 탄소 유출을 차단하여 이산화탄소의 양을 조절해주며, 하계에 열을 흡수하고 동계에 열을 방출하는 열적 스펀지 기능을 발휘하여 국지기후의 순화 기능을 한다(Kim, 2001; Kim, 2008).

전 세계적으로 습지에 관한 연구는 지형학, 생물학, 지질학 및 수문학의 각 분야를 중심으로 시작되었고, 1970년대 초 각 학문의 분야별로 이루어진 습지에 관한 지식을 바탕으로 1970년대 중후반부터 국가적인 지원 사업을 통해 자국 내 습지에 대한 정의와 분류체계를 확립하고 습지 목록을 작성하는 작업이 이루어졌다(Jung, 2004; Park and Kim, 2011). 우리나라의 습지 관련 연구는 Kwon (1976)의 낙동강 하류 배후습지의 지형 연구와 Mun and Kim (1985)의 낙동강 하구의 식생 및 토양 관련 연구로부터 시작되었는데, 당시 습지에 대한 사회적 인식의 부족과 무관심 속에서 식생과 조류 등을 대상으로 하는 극소수의 생태학 관련 연구 일변도로 이루어졌다(Hwang and Lee, 1997; Park and Kim, 2011). 1999년 습지보전법 제정 이후, 환경부에서는 총 18개 내륙 습지를 습지보호지역으로 지정하고 습지보호지역의 현황 및 생태계 변화상 모니터링을 통한 보전 및 관리방안 도출을 위한 ‘습지보호지역 정밀조사’, 우리나라에 분포하는 내륙 습지의 현황과 생태적 보전 가치 파악을 위한 ‘전국내륙습지 일반-정밀조사’, 하구역의 생물종 및 생태계 현황 파악을 통한 하구역 보전의 기초자료 확보를 위한 ‘하구역생태계정밀조사’ 등의 조사연구를 연차적으로 수행하고 있다(NIER, 2013).

이와 같은 생물학적 연구 이외에도 생태계 보전을 위한 대책 수립에 필수적인 서식 조건의 변화를 평가하는데 필요한 기후 환경 평가연구 또한 진행되어왔다. Kim (2001)은 자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)를 이용하여 우포늪의 기후순화기능을 정량적으로 평가하는 연구를 수행하였으며, Kwon et al. (2008)은 AWS와 순복사계를 이용하여 고흥만 습지의 증발산량을 열수지식을 통해 추정하는 연구를 진행하였다. Park and Kim(2011)은 AWS를 이용하여 우포늪이 갖는 국지기후 순화기능에 관한 연구를 진행한 바 있다. 하지만, 습지 연구를 위한 기상 자료의 취득은 습지 내에 직접 관측 장비를 설치하거나, 규모가 작고 고립되어 있으며 변형이

쉬운 지형적인 특성을 가진 산지 습지의 경우 장비의 설치가 어려워 다수의 연구들이 습지 내 실측자료가 아닌 주변 관측소의 자료를 활용하여 연구를 진행하고 있다(Oh et al., 2018)

원격탐사 영상은 관측소가 없거나 불가능한 지역의 관측도 가능한 장점이 있어 습지 환경 모니터링에 널리 사용되어왔다(Amler et al., 2015; Guo et al., 2017; Jones et al., 2009; Lee et al., 2007; Muro et al., 2018). 위성 영상을 이용하여 내륙과 해안 습지의 변화를 파악하고 분석하는 기법이 오래전부터 연구되어 왔으며(Jensen et al., 1987; Jensen et al., 1993; Ha et al., 2007), 해안 습지 지도화 연구(Ku, 2004), 인공습지 적지 분석 연구(Koh et al., 2008), 습지 지역의 지형경관변화 분석 연구(Park and Ku, 2003; Lee et al., 2010) 등 원격탐사 영상을 이용한 습지 연구가 진행되었으나 원격탐사 영상을 이용한 습지 관련 기후변화 영향연구는 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 습지 내 실측 AWS나 ASOS(Automated Surface Observing System) 자료가 아닌 MODIS LST(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Land Surface Temperature) 원격탐사 영상을 이용하여 습지의 지면온도 완화 효과를 평가하고, 그 유용성을 평가하고자 하였다.

## 2. 연구방법

본 연구는 MODIS LST daytime/nighttime 자료를 기반으로 습지의 기후완화 효과를 평가하기 위해 2018년의 폭염 및 한파 발생 기간을 대상으로 각 토지 이용별 온도를 습지와 비교하였다. MODIS LST 자료는 2018년 폭염 및 한파 발생 기간에 대해 일별로 구축하였고, 동 기간에 대한 중관기상관측(Automated Surface Observing System, ASOS) 86개 지점의 최고기온 및 최저기온 자료를 구축하였다. 두 자료는 역거리가중법(Inverse Distance Weighting, IDW)을 이용해 공간 분포시켰으며, 폭염 기간의 경우 기준 온도인 최고기온 33°C 이상, 한파 기간의 경우 최저기온 -12°C 이하의 격자들을 대상으로 하여 토지 이용별 특성 분석을 진행하였다(Fig. 1).

### 2.1 연구지역

본 연구는 대륙성 온대기후의 우리나라 전체(위도 33° 06' ~ 43° 01', 경도 124° 04' ~ 131° 05', 면적 101,145 km<sup>2</sup>)를 대상으로 하였다. 우리나라의 여름(6 ~ 8월)은 몬순의 영향으로 많은 강수량이 지속 되며, 봄(3 ~ 5월)과 가을(9 ~ 11월)은 이동성 고기압의 영향으로 건조하다. 겨울(12 ~ 2월)은 시베리아 기단의 영향으로 다른 계절에 비해 한랭한 특징이 있다(Baik and Choi, 2015). 지난 106년(1912 ~ 2017) 동안의 우리나라 연평균기온은 13.2°C였으나 2010년대(2011 ~ 2017)에 들어 14.1°C로 증가하여 최근의 온난화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 최근 10년 동안 저온과 관련된 극한기후 현상이 다소 증가하여 최근 30년간의 추세와 다른 경향이 나타났지만, 계절 지속일이 여름은 98일에서 117일로 19일 길어졌으며 겨울은 109일에서 91로 18일 짧아졌다(NIMR, 2018).

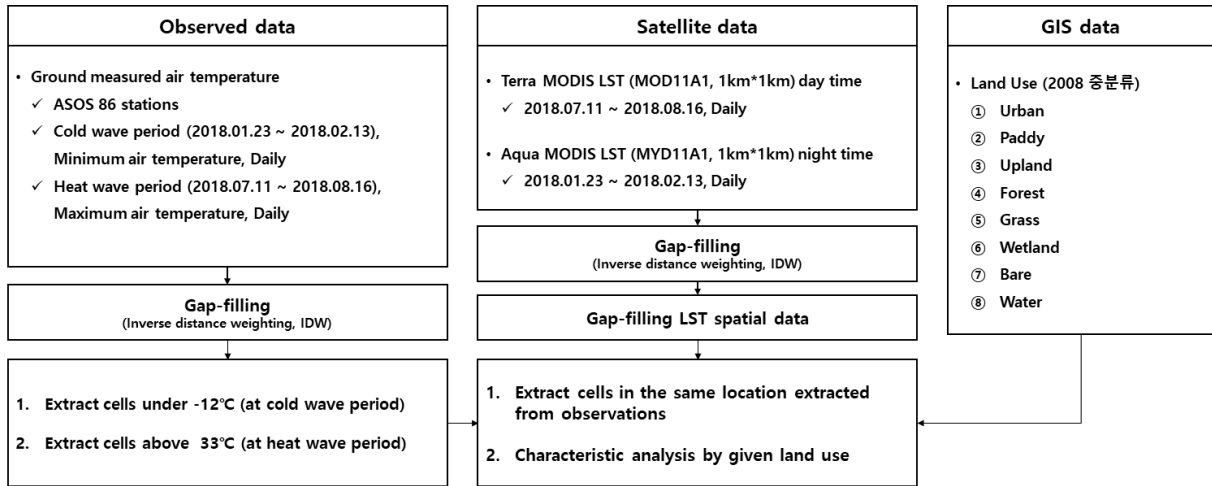


Fig. 1. Flowchart

우리나라는 산림이 67.8%로 국토 면적의 상당 부분을 차지하고 있으며, 농경지(21.1%), 시가지·건조지역(4.1%), 초지(2.9%), 수역(2.1%) 나지(1.6%), 습지(0.3%)로 구성되어 있다. 토지피복분류는 환경부 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/>)에서 제공하는 중분류 토지피복지도를 위성영상과 동일한 1000m 크기의 격자 간격으로 재추출(Resampling)하였다. 또한, 농경지 중에서도 토양의 특성이 다른 논과 밭을 분류하고 도시, 논, 밭, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역의 8개 항목으로 재분류(Reclassify)하였다(Fig. 2(a)). 재분류를 완료한 토지피복지도를 바탕으로 우리나라에 대한 토지이용별 전체 픽셀 면적의 합, 표고와 위도의 평균값을 나타내었다(Table 1). 분석에 사용한 resample한 토지이용도에서 산림, 수역, 논, 밭은 각각

Table 1. Area, elevation, and latitude of resampled landuse

| Landuse | Area (km <sup>2</sup> ) | Area (%) | Elevation (m) | Latitude (°) |
|---------|-------------------------|----------|---------------|--------------|
| Urban   | 5,589                   | 5.1      | 77.0          | 36.3         |
| Paddy   | 9,877                   | 9.0      | 74.1          | 36.0         |
| Upland  | 8,751                   | 8.0      | 145.9         | 36.0         |
| Forest  | 60,490                  | 55.4     | 333.7         | 36.4         |
| Grass   | 6,800                   | 6.2      | 173.2         | 36.1         |
| Wetland | 3,190                   | 2.9      | 29.5          | 35.9         |
| Bare    | 2,166                   | 2.0      | 141.1         | 36.3         |
| Water   | 12,295                  | 11.3     | 15.7          | 35.5         |
| Total   | 109,158                 | 100.0    |               |              |

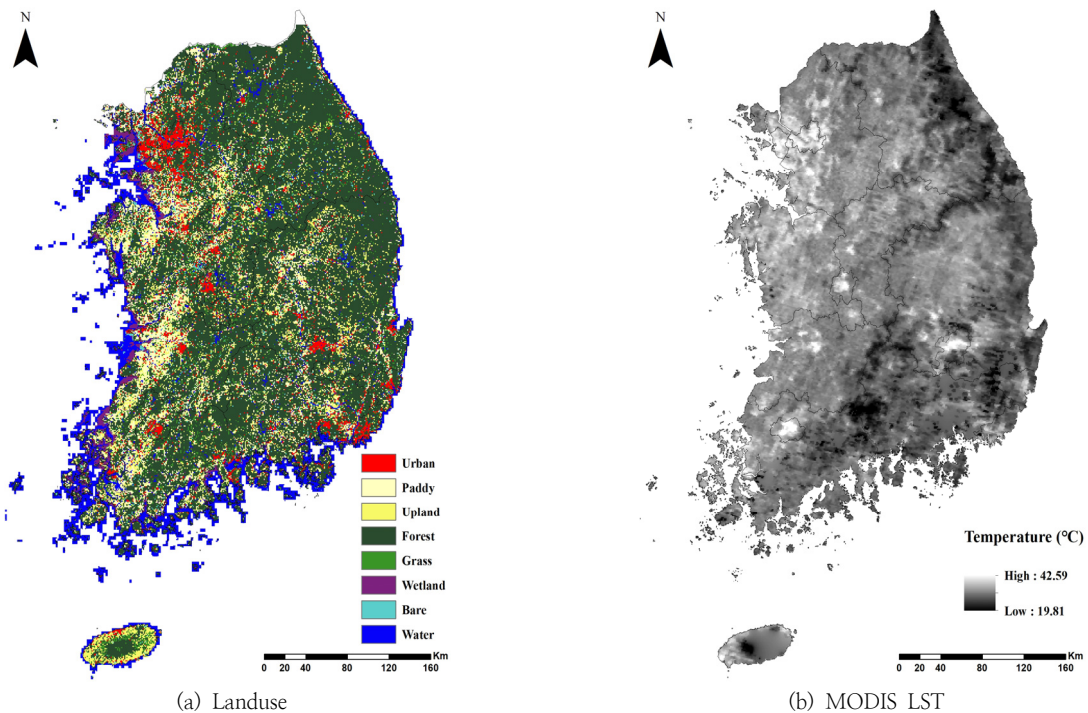


Fig. 2. Resampled Land use (2008) and LST (2018.08.01., retrieved from MODIS)

55.4%, 11.3%, 9% 8% 순으로 넓은 면적을 차지하였으며, 수역의 경우 환경부 고시에 비하여 넓은 면적을 나타내었으나 이는 토지피복지도가 내륙뿐만 아닌 해안지역까지 반영한 것으로 판단된다. 고도의 경우 밭, 산림, 초지, 나지가 높았고, 위도는 토지이용별 차이가 거의 없었다.

기상청 보도자료(KMA, 2019)에 따르면 2018년 1월 23일부터 2월 13일까지 22일간 강한 한파가 발생하였다. 당시 전국의 최고기온은 0.6°C에 지나지 않았으며 낮 기온도 영하권에 머물렀다. 1월 27일에는 군산이 최저온도 -15.0°C, 산청이 -14.6°C, 2월 7일에는 진주가 -14.3°C를 기록하였고, 1973년 이후 일 최저기온 1위를 기록하는 강한 한파로 기록되었다. 2018년의 전국 평균 폭염 일수는 29.2일로 평년 8.6일에 비해 차이가 매우 컸으며, 이것은 1973년 통계 작성 이래 가장 많은 일수로 보고되었다. 폭염 지속일수는 금산이 37일(7월 11일 ~ 8월 16일), 광주가 36일(7월 12일 ~ 8월 16일) 등 7월 중순부터 8월 중순에 걸쳐 폭염이 지속되는 현상을 보였다. 따라서 본 연구에서는 기상청 보도자료를 바탕으로 2018년 1월 23일부터 2월 13일까지를 한파 기간, 7월 11일부터 8월 16일까지를 폭염 기간으로 설정하였다.

## 2.2 Terra/Aqua MODIS LST (Land Surface Temperature)

본 연구에서는 토지 이용별 분석을 위해 미항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)에서 제공하는 Terra/Aqua MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 위성영상을 사용하였다. MODIS는 장기적 지구 관측을 통해 기후 시스템의 주요 구성 요소 및 상호작용을 모니터링하고 이해하기 위한 EOS(Earth Observation System) 프로그램의 일환으로 발사된 Terra/Aqua 위성의 주요 센서이다. Terra 위성은 1999년 12월, Aqua 위성은 2002년 5월에 발사되어 고도 705km에서 전 지구를 하루에서 이틀에 걸쳐 관측하며, Terra는 북쪽에서 남쪽으로 오전 10시 30분, Aqua는 남쪽에서 북쪽으로 오후 1시 30분경에 적도를 통과한다. Terra/Aqua 위성은 36개 분광 밴드를 통해 0.4 ~ 15.4  $\mu\text{m}$ 의 파장 영역을 관측하는데, 밴드 1과 2는 250m  $\times$  250m, 3부터 7까지는 500m  $\times$  500m, 8부터 36까지는 1km  $\times$  1km 등 세 가지 종류의 공간 해상도가 있다. Terra/Aqua 위성의 관측 폭은 남북 5,000km, 동서 2,300km이다(Lee et al., 2015).

MODIS LST는 2개의 열적외선(Thermal InfraRed, TIR) 밴드인 31(10.78 - 11.28  $\mu\text{m}$ )과 32(11.77 - 12.27  $\mu\text{m}$ )를 이용하여 split-window 방법(Wan and Dozier, 1996; NASA, 1997)을 통해 산출되는데, 그 원리는 두 파장대의 수증기에 대한 흡수 차이를 이용하여 대기 중의 수증기에 의한 감쇠 정도를 알아내는 것이다. 이는 SST (Sea Surface Temperature) 산출시 사용되었으나(McMillin, 1975), Price(1984)에 의해 LST에 적용되었다. Split-window 알고리즘은 MODIS/Terra Land Cover Types(MOD12C1) 기반의 land cover classification(Snyder et al., 1998; NASA, 1999)을 바탕으로 지표면의 밴드별 방출률을 알고 있다고 가정하고 방출률을 보정 해 LST를 산출한다

(Lee et al., 2007; Benali et al., 2012). MODIS LST는 Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) Earthdata(<https://earthdata.nasa.gov/>)에서 1000m 공간 해상도의 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity (MOD11A1)와 MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity(MYD11A1)를 제공한다. 두 Product의 하위 데이터 들로는 LST\_Day\_1km, QC\_Day, LST\_Night\_1km, QC\_Night 등이 있으며, 시누소이드 도법(Sinusoidal Projection)이 적용되어있다. MODIS 위성영상은 원격탐사장비의 특성상 구름이나 대기의 교란 등으로 유효한 픽셀이 존재하지 않는 날도 존재한다(Lee et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 MODIS 위성영상의 보정을 위해 각 Product 별 Day time/Night time QC 영상(QC\_Day, QC\_Night)을 이용하여 오염된 픽셀을 나타내는 값을 LST 영상에서 제외하여 1차적인 보정을 수행하였다. 1차 보정 이후의 결측치 보정은 역거리 가중법(Inverse Distance Weighting, IDW)을 이용한 Gap-Filling을 실시하여 공간 분포화 하였다(Fig. 2(b)).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 2018년 폭염 및 한파 기간에 대한 MODIS LST와 기온과의 상관성 분석

선행연구에서는 최근 11년간(2008 ~ 2018)의 MODIS LST daytime/nighttime(Terra daytime:  $LST_{TD}$ , Terra nighttime:  $LST_{TN}$ , Aqua daytime:  $LST_{AD}$ , Aqua nighttime:  $LST_{AN}$ ) 자료와 전국 종관기상관측 86개 지점의 최고, 최저 및 평균기온( $T_{MX}$ ,  $T_{MN}$ ,  $T_{MM}$ )자료를 이용하여 대상 기간 전체와 2018년 폭염 및 한파 발생 기간에 대해 두 자료 간 상관성 분석을 수행하였다(Chung et al., 2019). 최근 11년간  $LST_{AD}$ 가 평균값이 17.9°C로  $T_{MX}$ 의 평균값과 18.4°C로 가장 근접하고,  $LST_{TN}$ 이 평균 7.4°C로  $T_{MN}$ 의 평균값인 8.3°C와 가장 근접한 것으로 나타났다(Fig. 3). 상관성 분석 결과로는  $T_{MX}$ 와  $LST_{TD}$ 가 결정계수(Coefficient of Determination,  $R^2$ ) 0.85, 평균제곱근오차(Root Mean Square Error,  $RMSE$ ) 4.8°C로 가장 상관성이 높았으며,  $T_{MN}$ 과는  $LST_{TN}$ 이  $R^2$  0.86,  $RMSE$  4.2°C로 가장 상관성이 높은 것으로 나타나 우리나라의 기온 자료와 LST 자료 사이의 강한 상관관계를 규명하였다(Table 2). 한파 기간(2018.01.23. ~ 2018.02.13.)의 경우  $T_{MN}$ 과  $LST_{TN}$ 이  $R^2$ 가 0.36,  $RMSE$ 가 4.7°C로 가장 상관성이 높은 것은 동일하였으나, 폭염 기간(2018.07.11. ~ 2018.08.16.)의 경우  $LST_{TD}$ 가 아닌  $LST_{AD}$ 가  $T_{MX}$ 와  $R^2$ 는 0.14,  $RMSE$ 는 5.4°C로 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다. 선행 연구의 분석 결과, 한파 기간과 폭염 기간에 대한 상관성 분석을 수행할 경우 각각  $LST_{TN}$ 과  $LST_{AD}$ 가 가장 적합한 것으로 분석하였다. 따라서, 본 연구에서는 2018년 한파 발생 기간에 대하여  $LST_{TN}$ 을, 폭염 발생 기간에 대하여  $LST_{AD}$ 를 사용하여 토지 이용별 분석을 실시하였다.

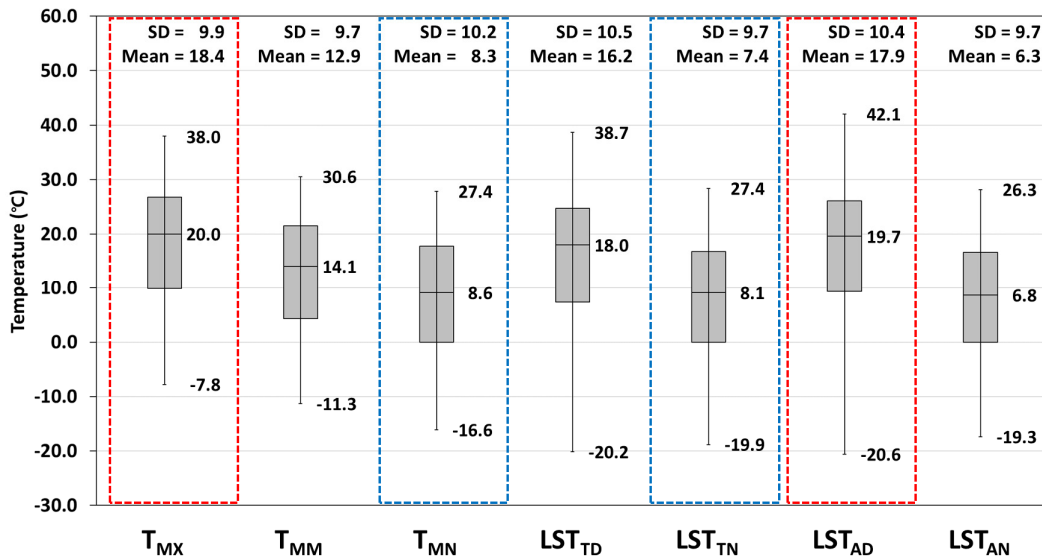


Fig. 3. Comparison of maximum, mean, and minimum temperature data ( $T_{MX}$ ,  $T_{MM}$ , and  $T_{MN}$ ; 86 Automated Surface Observing System) and four LSTs ( $LST_{TD}$ ,  $LST_{TN}$ ,  $LST_{AD}$ , and  $LST_{AN}$ ) from 2008 to 2018 (Chung et al., 2019)

Table 2. Comparison of maximum, mean, and minimum temperature data ( $T_{MX}$ ,  $T_{MM}$ , and  $T_{MN}$ ; 86 Automated Surface Observing System) and four LSTs ( $LST_{TD}$ ,  $LST_{TN}$ ,  $LST_{AD}$ , and  $LST_{AN}$ ) for whole period, cold wave period, and heat wave period

<sup>a</sup> significant at  $p < 0.1$ ; <sup>\*\*</sup> significant at  $p < 0.05$ ; <sup>\*\*\*</sup> significant at  $p < 0.001$

| Index     | Data type             | Whole period (2008 ~ 2018) |                         |                         |                         | Cold wave period (2018.01.23. ~ 2018.02.13.) |                    |                    |                     | Heat wave period (2018.07.11. ~ 2018.08.16.) |            |            |            |
|-----------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------|--|------------|------------|------------|
|           |                       | <sup>a</sup> $LST_{TD}$    | <sup>a</sup> $LST_{TD}$ | <sup>a</sup> $LST_{AD}$ | <sup>a</sup> $LST_{AN}$ | $LST_{TD}$                                   | $LST_{TN}$         | $LST_{AD}$         | $LST_{AN}$          | $LST_{TD}$                                   | $LST_{TN}$ | $LST_{AD}$ | $LST_{AN}$ |
| $R^2$     | <sup>a</sup> $T_{MX}$ | 0.85 <sup>***</sup>        | 0.89 <sup>***</sup>     | 0.80 <sup>***</sup>     | 0.88 <sup>***</sup>     | 0.54   | 0.53 <sup>**</sup> | 0.52 <sup>*</sup>  | 0.60 <sup>***</sup> | 0.13   | 0.15       | 0.14       | 0.18       |
|           | <sup>a</sup> $T_{MM}$ | 0.81 <sup>***</sup>        | 0.91 <sup>***</sup>     | 0.75 <sup>***</sup>     | 0.90 <sup>***</sup>     | 0.49 <sup>**</sup>                           | 0.56 <sup>**</sup> | 0.44 <sup>**</sup> | 0.62 <sup>**</sup>  | 0.10   | 0.15       | 0.10       | 0.19       |
|           | <sup>a</sup> $T_{MN}$ | 0.73 <sup>***</sup>        | 0.86 <sup>***</sup>     | 0.67 <sup>***</sup>     | 0.87 <sup>***</sup>     | 0.28 <sup>*</sup>                            | 0.36 <sup>*</sup>  | 0.23 <sup>*</sup>  | 0.35 <sup>*</sup>   | 0.04   | 0.03       | 0.04       | 0.06       |
| RMSE (°C) | $T_{MX}$              | 4.8                        | 11.3                    | 4.8                     | 12.3                    | 3.4  | 10.1               | 3.6                | 10.9                | 5.8  | 11.9       | 5.4        | 12.5       |
|           | $T_{MM}$              | 5.9                        | 6.0                     | 7.5                     | 7.0                     | 5.2  | 5.2                | 7.7                | 5.7                 | 4.4  | 6.5        | 5.3        | 7.3        |
|           | $T_{MN}$              | 10.2                       | 4.2                     | 11.9                    | 4.3                     | 10.1   | 4.7                | 13.4               | 4.7                 | 6.9  | 3.8        | 7.9        | 4.2        |

<sup>a</sup> $LST_{TD}$ : Terra MODIS LST daytime,  $LST_{TN}$ : Terra MODIS LST nighttime,  $LST_{AD}$ : Aqua MODIS LST daytime,  $LST_{AN}$ : Aqua MODIS LST nighttime,  $T_{MX}$ : Maximum air temperature,  $T_{MM}$ : Mean air temperature,  $T_{MN}$ : Minimum air temperature

### 3.2 2018년 폭염 및 한파 기간에 대한 토지 이용별 특성 분석

폭염 및 한파 발생 기간에 대하여 86개 ASOS 관측 지점을 대상으로 각각 최저기온 및 최고기온의 시계열 분석을 수행하였다(Fig. 4와 Fig. 5). 한파 기간에는 강한 한파가 발생한 것으로 기록되었던 1월 30일과 2월 7일은 대부분의 관측소에서 다른 날에 비해 온도가 급격히 떨어졌으나, 1월 27일의 경우 일부 관측소에서는 온도가 상승하는 모습을 보였다. 이는 지역별로 위도에 따라 지역별로 한파의 발생 시기가 차이가 있는 것으로 보이며, 군산 및 산청 관측소의 경우는 1월 27일이 1월 2일부터 2월 사이의 기간 중 가장 낮은 최저기온을 보인 것으로 나타났다(Fig. 4). 폭염 발생 기간의 경우 7월 20일, 8월 1일, 8월 13일에 대부분의 관측소에서 급격한 온도의 상승이 나타났다. 특히, 백령도와 태백의 경우 폭염 기간의 일 최고

기온이 30°C 이하로 지속되는 날이 많은 것으로 나타났다. 이는 관측 표고와 위도에 따라 최고 기온의 차이가 있는 것으로 판단되며, 백령도의 경우 섬 지역의 특성상 바다로 인한 온도 저감 효과가 나타난 것으로 보인다(Fig. 5).

본 연구에서는 급격한 온도 변화에 의한 습지의 기후완화 효과를 평가하기 위해 시계열 분석에서 급격한 변화를 나타냈던 각 3일을 대상으로 기온 및 지표면 온도(MODIS LST)의 토지 이용별 특성 분석을 수행하였다.

한파 기간을 대상으로 한 토지 이용별 특성 분석 결과 전반적으로 위성 자료와 기온 관측 자료에서 습지의 기후완화 효과가 나타나고 있음을 확인하였다. Fig. 6(a)를 살펴보면  $T_{MN}$ 의 경우 평균값은 산림이 -16.9°C로 가장 낮았으며 나지가 -16.7°C, 수역이 -16.6°C로 비슷한 온도를 보였고, 밭과 초지가 -16.5°C로 동일하였다. 습지와 도시는 평균이 -16.2°C와 -16.3°C로 비슷하였는데, 도시의 경우 밀집된 건물들에 의

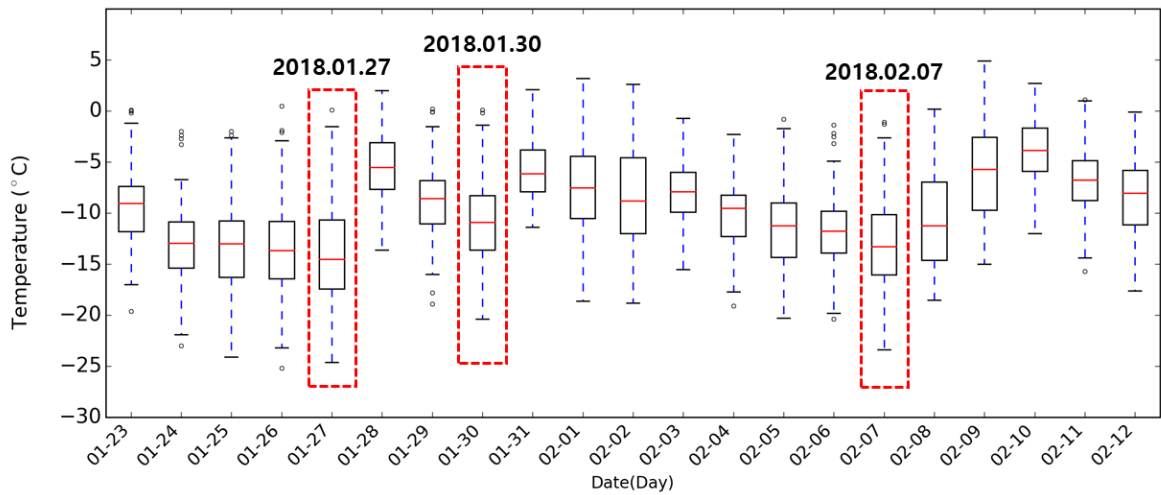


Fig. 4. Time series boxplots of minimum air temperature of 86 Automated Surface Observing System (ASOS) stations at cold wave period from Jan. 23 to Feb. 13 in 2018

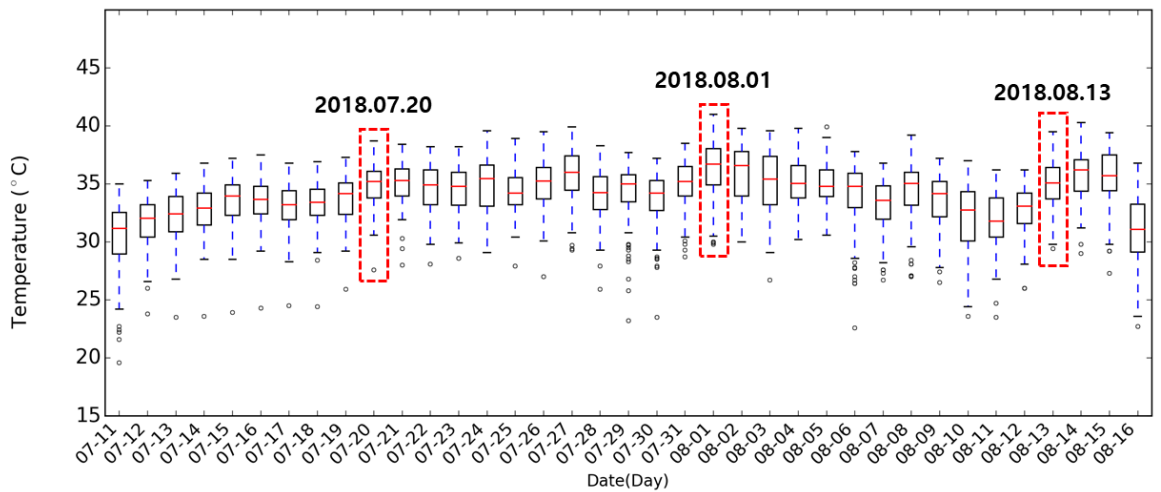


Fig. 5. Time series boxplots of maximum air temperature of 86 Automated Surface Observing System (ASOS) stations at heat wave period from Jul. 11 to Aug. 16 in 2018

한 통풍의 저하가 한랭한 북서 계절풍을 어느 정도 막아줌으로써 온도가 다른 토지 피복에 비해 높은 것으로 판단되나 (Kim et al., 2007), 습지의 경우 도시와 같은 밀집된 인공물의 영향 없이도 자연적인 기후완화 효과가 잘 나타난 것으로 보인다. 논외의 경우  $-15.8^{\circ}\text{C}$ 로 평균이 가장 높았으며, 비닐하우스 등의 시설재배지에서 발생 되는 인공열에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다(Song and Park, 2012). 최솟값은 산림이  $-24.6^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았으며 습지는  $-22.4^{\circ}\text{C}$ 로  $2.2^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보여 습지가 온도의 하강을 억제한 것으로 나타났다.  $LST_{TN}$ 에서는 산림의 평균이  $-12.7^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높았으며, 그 뒤로 밭과 습지가 각각  $-12.9^{\circ}\text{C}$ 와  $-13.0^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 평균이 가장 낮은 도시의  $-14.4^{\circ}\text{C}$ 에 비해  $1.4^{\circ}\text{C}$  더 높아 습지의 기후완화 효과가 나타남을 알 수 있다. 최솟값은 습지가  $-18.9^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮은 도시와 수역의  $-19.6^{\circ}\text{C}$ 에 비해  $0.7^{\circ}\text{C}$  높았으며 산림의  $-18.2^{\circ}\text{C}$ 에 이어 두 번째로 높은 값을 보였다.

Fig. 6(b)의  $T_{MN}$ 에서는 산림과 수역이 평균  $-14.4^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았고 밭, 초지와 나지가  $-14.1^{\circ}\text{C}$ 로 뒤를 이었다. 습지는

$-14.0^{\circ}\text{C}$ 였으며 습지와 산림, 수역의 차이가  $0.4^{\circ}\text{C}$ 로, Fig. 6(a)에 비해 습지의 기후완화 효과가 덜하였다. 최솟값 또한 산림이  $-19.2^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮고 습지가  $-18.0^{\circ}\text{C}$ 로  $1.2^{\circ}\text{C}$ 의 차이가 나타나 Fig. 6(a)에 비해 차이가 줄어들었다.  $LST_{TN}$ 에서는 논이  $-7.5^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높았고, 밭과 습지에서  $-7.7^{\circ}\text{C}$ 가 나타났으며 수역이  $-8.7^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았고 습지와  $1^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였다. 최솟값은 수역이  $-13.8^{\circ}\text{C}$ , 습지가  $-10.1^{\circ}\text{C}$ 로  $3.7^{\circ}\text{C}$ 의 큰 차이를 보였다.

Fig. 6(c)의  $T_{MN}$ 의 평균값은 산림이  $-15.9^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았고, 습지가  $-15.3^{\circ}\text{C}$ 로  $0.6^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였고, 최솟값 또한 산림이  $-22.8^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮고 습지가  $-20.3^{\circ}\text{C}$ 로  $2.5^{\circ}\text{C}$ 의 차이가 나타나 습지의 기후완화 효과가 커졌다. 하지만  $LST_{TN}$ 는 밭이  $-12.4^{\circ}\text{C}$ 와 습지가  $-12.1^{\circ}\text{C}$ 로  $0.3^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였고, 최솟값은 습지가  $-16.3^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높았고 도시가  $-17.0^{\circ}\text{C}$ 로  $0.7^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였다.

폭염 기간을 대상으로 한 Fig. 7(a)을 살펴보면,  $T_{MX}$ 에서 산

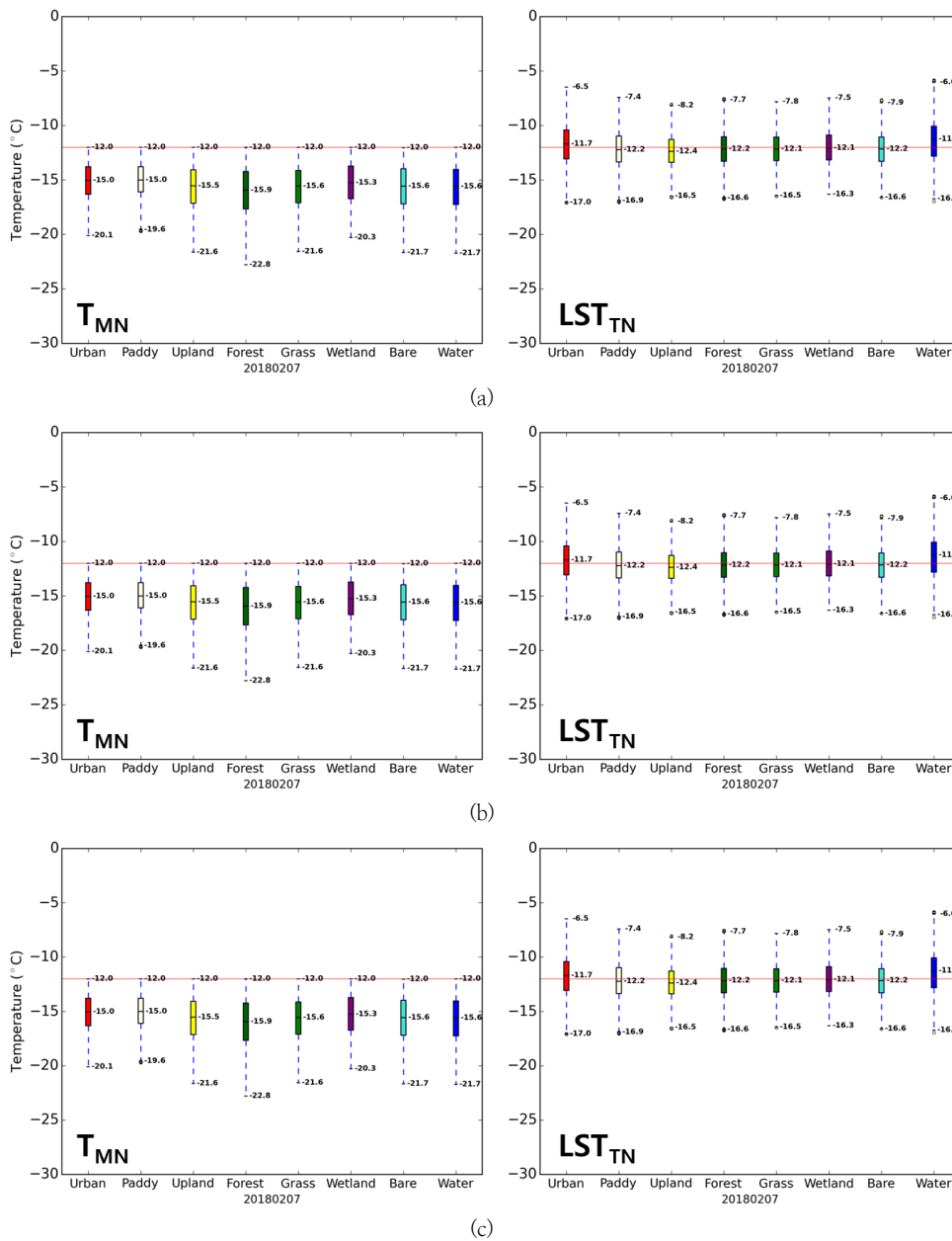


Fig. 6. Boxplots of observed minimum temperature ( $T_{MN}$ ) and Terra MODIS LST night time ( $LST_{TN}$ ) for 8 landuse classes (Red: Urban, Light yellow: Paddy, Yellow: Upland, Dark green: Forest, Green: Grass, Purple: Wetland, Cyan: Bare, Dark blue: Water) at (a) 2018.01.27., (b) 2018.01.30., and (c) 2018.02.07. The red line on the graph is  $-12$  degrees which represent the reference temperature of cold wave.

림과 습지의 평균이  $35.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타났고, 산림과 습지 이외 토지이용의 평균은  $35.3^{\circ}\text{C} \sim 35.4^{\circ}\text{C}$ 로 편차가 크지 않았다. 습지의 최댓값은  $38.6^{\circ}\text{C}$ 로 도시, 논, 밭, 산림의  $38.7^{\circ}\text{C}$ 에 비해  $0.1^{\circ}\text{C}$  낮아 차이가 크지 않았지만 상승하는 기온을 약간이나마 억제한 것으로 보인다.  $LST_{AD}$ 에서 도시지역은  $34.6^{\circ}\text{C}$ 로 평균이 가장 높았고 습지의  $33.0^{\circ}\text{C}$ 와  $1.6^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보여 기후 완화 효과가  $T_{MN}$ 에 비해 확연히 나타났고 최댓값 또한 도시 지역의  $42.6^{\circ}\text{C}$ 에 비해 습지가  $38.0^{\circ}\text{C}$ 로  $4.6^{\circ}\text{C}$  낮았다. 나지는  $33.0^{\circ}\text{C}$ 로 습지와 동일하였으나 최댓값이  $39.6^{\circ}\text{C}$ 로 도시 다음으로 높았는데, 이는 식생 피복이 거의 존재하지 않기 때문에 식생에 의한 기온 저감 효과를 받지 못하기 때문으로 판단된

다. 논, 밭, 초지는 최댓값이 각각  $38.0^{\circ}\text{C}$ ,  $38.4^{\circ}\text{C}$ ,  $37.4^{\circ}\text{C}$ 로 도시와 나지에 비해 낮았는데, 식생 피복으로 인한 기온 저감 효과가 나타난 것으로 생각되며 선행 연구(Shashua-Bar and Hoffmann, 2000; Kim et al., 2007)에서도 토지 이용별 기온 변화특성을 조사하였을 때 논, 밭, 그리고 초지에서 온도 저감 효과가 있는 것으로 분석된 바 있다. 또한, Lee et al. (2018)은 여름철 산림의 온도가 식생의 증발산과 기공의 증산량 조절에 의해 저감 되는 것을 규명하기도 하였는데 본 연구에서도 동일하게 산림이 평균이  $31.5^{\circ}\text{C}$ , 최댓값이  $37.4^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮은 온도를 나타냈다. 수역에서도 평균이  $32.4^{\circ}\text{C}$ , 최댓값이  $37.6^{\circ}\text{C}$ 로 기온 저감 효과가 있었는데, 물이 가지는 큰 열용량

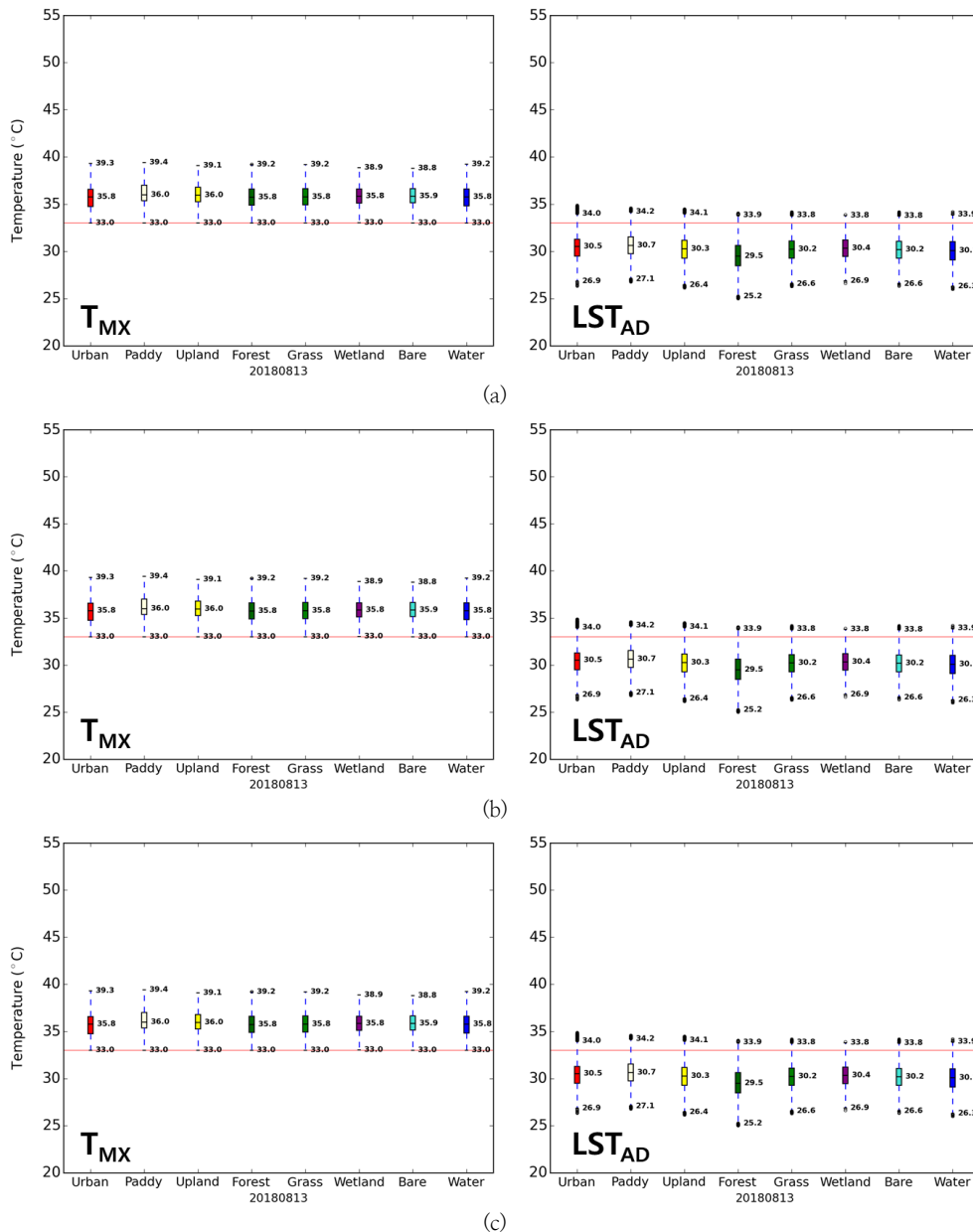


Fig. 7. Boxplots of observed maximum temperature ( $T_{MX}$ ) and Aqua MODIS LST day time ( $LST_{AD}$ ) for 8 landuse classes (Red: Urban, Light yellow: Paddy, Yellow: Upland, Dark green: Forest, Green: Grass, Purple: Wetland, Cyan: Bare, Dark blue: Water) at (a) 2018.07.20., (b) 2018.08.01., and (c) 2018.08.13. The red line on the graph is 33 degrees which represent the reference temperature of heat wave.

의 영향이 주요한 것으로 판단된다.

Fig. 7(b)의  $T_{MX}$ 에서는 습지의 평균이 37.1°C로 다른 토지이용에 비해 온도가 낮은 것으로 나타났으며 도시와 나지의 평균은 37.6°C보다 0.5°C 더 낮았다.  $LST_{AD}$ 에서는 각 토지 이용별 평균 및 최댓값의 편차가 커져 습지의 기후완화 효과를 더 뚜렷하게 확인할 수 있었는데, 도시의 평균과 최댓값이 각각 40.0°C와 51.5°C일 때 습지는 36.5°C와 44.6°C로 4.5°C와 6.9°C의 차이가 나타났다. 도시 다음으로 나지가 평균과 최댓값이 37.6°C와 47.0°C로 높았고 논, 밭, 산림, 초지와 수역의 평균 및 최댓값이 도시와 나지보다 낮은 경향은 Fig. 7(a)와 동일한 것으로 나타났다.

Fig. 7(c)의  $T_{MX}$ 에서는 도시, 산림, 초지, 습지, 수역의 평균이 35.8°C로 동일하였으나 최댓값은 습지가 38.9°C로 나타나 39.0°C 이상의 토지이용(도시, 논, 밭, 산림, 초지, 수역) 대비 기온 억제 효과를 보였다.  $LST_{AD}$ 에서의 습지의 평균은 30.4°C로 나지의 30.2°C보다 높았지만, 최댓값은 33.8°C로 도시, 논, 밭, 산림, 수역의 34.0°C, 34.2°C, 34.1°C, 33.9°C보다 낮은 것으로 나타나 습지가 어느 정도의 기후완화 효과를 발휘한 것으로 보인다. 따라서 분석한 일자에 따라 효과의 차이는 다르게 나타나고 있지만, 한파 및 폭염 발생 기간에 습지의 기후완화 기능을 충실히 발휘하고 있음을 알 수 있다.



## 4. 결 론

본 연구는 기온 자료와 지표면 온도(MODIS LST) 자료를 기반으로 습지가 갖는 기후완화 효과의 평가를 위해 Terra/Aqua 지표면 온도 자료를 2018년 폭염 및 한파 발생 기간에 대해 일별로 구축하고, 동 기간에 대한 ASOS 86개 지점의 최고기온 및 최저기온 자료를 구축하여 각 토지 이용별 특성을 분석하여 습지와 비교하였다. 또한, 폭염 및 한파가 발생한 기간에 대해 최고온도 및 최저온도의 시계열 분석을 수행하여 온도가 급격히 하강하거나 상승했던 각 3일을 선정하여 연구를 진행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 한파 기간을 대상으로 하였을 때, 2018년 1월 27일의  $T_{MN}$ 의 경우 평균값은 산림이  $-16.9^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았으며 나지가  $-16.7^{\circ}\text{C}$ , 수역이  $-16.6^{\circ}\text{C}$ 로 비슷한 온도를 보였고, 밭과 초지가  $-16.5^{\circ}\text{C}$ 로 동일하였다. 습지와 도시는 평균이  $-16.2^{\circ}\text{C}$ 와  $-16.3^{\circ}\text{C}$ 로 비슷하였는데, 도시의 경우 밀집된 건물들에 의한 통풍의 저하가 한랭한 북서 계절풍을 어느 정도 막아 줌으로써 온도가 다른 토지 피복에 비해 높은 것으로 판단되나, 습지의 경우 도시와 같은 밀집된 인공물의 영향 없이도 자연적인 기후완화 효과가 잘 나타난 것으로 보인다.  $LST_{TN}$ 에서는 습지와 밭에서 평균이  $-7.7^{\circ}\text{C}$ , 수역이  $-8.7^{\circ}\text{C}$ 로 습지와  $1^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였다. 최솟값은 수역이  $-13.8^{\circ}\text{C}$ , 습지가  $-10.1^{\circ}\text{C}$ 로  $3.7^{\circ}\text{C}$ 의 큰 차이가 나타났다. 2018년 2월 7일의  $T_{MN}$ 에서는 산림이  $-16.3^{\circ}\text{C}$ 로 평균이 가장 낮았으며 습지가  $-15.6^{\circ}\text{C}$ 로  $0.7^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였고 최솟값은 습지가  $-16.3^{\circ}\text{C}$ 로 가장 높고 도시가  $-17.0^{\circ}\text{C}$ 로  $0.7^{\circ}\text{C}$ 의 차이가 나타났다.

둘째, 폭염 기간의 경우, 2018년 7월 20일에  $T_{MX}$ 에서 산림과 습지의 평균이  $35.5^{\circ}\text{C}$ 로 나타났고, 산림과 습지 이외 토지이용의 평균은  $35.3^{\circ}\text{C} \sim 35.4^{\circ}\text{C}$ 로 편차가 크지 않았다. 습지의 최댓값은  $38.6^{\circ}\text{C}$ 로 도시, 논, 밭, 산림의  $38.7^{\circ}\text{C}$ 에 비해  $0.1^{\circ}\text{C}$  낮아 차이가 크지 않았지만 상승하는 기온을 약간 이나마 억제한 것으로 보인다. 반면,  $LST_{AD}$ 에서 도시는 가장 높은  $34.6^{\circ}\text{C}$ 의 평균을 기록하였고 습지는  $33.0^{\circ}\text{C}$ 로 둘 사이의  $1.6^{\circ}\text{C}$ 의 차이가 나타나  $T_{MX}$ 보다 기후완화의 효과가 확인하였다. 2018년 8월 1일의  $T_{MX}$ 는 습지가 평균이  $37.1^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮았으며, 가장 높았던 도시와 나지의  $37.6^{\circ}\text{C}$ 보다  $0.5^{\circ}\text{C}$  더 낮은 것으로 나타났다.  $LST_{AD}$ 에서는 도시의 평균값과 최댓값이 각각  $40.0^{\circ}\text{C}$ 와  $51.5^{\circ}\text{C}$ , 습지가  $36.5^{\circ}\text{C}$ 와  $47.0^{\circ}\text{C}$ 로  $4.5^{\circ}\text{C}$ 와  $6.7^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보여 습지의 기후완화 효과를 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

결론적으로 습지는 한파 및 폭염의 발생 기간에도 온도의 차이는 있지만, 기후의 완화 기능을 발휘하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 습지 내에 직접 설치한 AWS나 주변의 ASOS 자료를 이용한 것이 아닌 원격탐사 자료를 활용하여 습지의 기후완화 효과를 확인하였다는 점에서 의의가 크다고 할 수 있다. 하지만 원격탐사 영상의 특성상 강우나 구름에 의한 오염은 앞으로도 해결해야 할 문제점으로 남아있으며, 지표면 온도 자료의 해상도인 1000m에 맞추어 토지이용도를 재가공하여 토지이용도의 상세함이 무더진 것도 한계점이라고 할 수 있다.

또한, 지표면 온도에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 고도와 해안과의 인접성 또한 고려하지 않았던 한계점이 있다. 따라서, 보다 정확한 습지의 기후완화 효과의 평가를 위해서는 토지이용도의 재가공이 불필요한 고해상도 LST 영상의 취득이나 LST 영상의 Downscaling이 필요할 것으로 판단되며 고도, 해안과의 인접성뿐만 아니라 기온에 영향을 줄 수 있는 풍속이나 증발산량 등의 추가적인 기상학적 변수들과의 관계 파악이 중요할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 환경부/한국환경산업기술원의 지원으로 수행되었음(79617). 그리고 본 연구는 환경부/한국환경산업기술원의 지원으로 수행되었음(83089)

## References

- Amler, E, Schmidt, M, and Menz, G (2015). Definitions and mapping of East African wetlands: A review, *Remote Sensing*, 7(5), pp. 5256–5282. [DOI:10.3390/rs70505256]
- Baik, JJ, and Choi, MH (2015). Evaluation of remotely sensed actual evapotranspiration products from COMS and MODIS at two different flux tower sites in Korea, *International J. of Remote Sensing*, 36(1), pp. 375–402. [DOI:10.1080/01431161.2014.998349]
- Benali, A, Carvalho, AC, Nunes, JP, Carvalhais, N, and Santos. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data, *Remote Sensing of Environment*, 124, pp. 108–121. [DOI:10.1016/j.rse.2012.04.024]
- Chung, JH, Lee, YG, Lee, JW, and Kim, SJ (2019). Correlation analysis between Terra/Aqua MODIS LST and air temperature: Mainly on the occurrence period of heat and cold waves, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, In revision. [Korean Literature]
- Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) Earthdata (2019). <https://earthdata.nasa.gov/>.
- Environmental Geographic Information Service (EGIS) (2008). <https://egis.me.go.kr/>.
- Guo, M, Li, J, Sheng, C, Xu, J, and Wu, L (2017). A review of wetland remote sensing, *Sensors*, 17(4), pp. 777. [DOI:10.3390/s17040777]
- Ha, R, Shin, HJ, and Kim, SJ (2007). Proposal of prediction technique for future vegetation information by climate change using satellite image, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 10(3), pp. 58–69. [Korean Literature]
- Hwang, SJ, and Lee, YJ (1997). The importance of wetlands value and management, *Gyeonggi Research*, 2(1), pp. 53–81. [Korean Literature]

- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Jang, DH, and Kim, SH (2013). Vulnerability assessment on climate change for mountainous wetland in Shinbul mountain using multi-temporal aerial photograph and climate data, *J. of the Association of Korean Photo-Geographers*, 23(1), pp. 39-52. [Korean Literature]
- Jensen, JR, Ramsey, EW, Mackey, HE, Christensen, EJ, and Sharitz RR (1987). Inland wetland change detection using aircraft MSS data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(5), pp. 521-529.
- Jensen, JR, Cowen, DJ, Althausen, JD, Narumalani, S, and Weatherbee, O (1993). An evaluation of the CoastWatch change detection protocol in South Carolina, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(6), pp. 1039-1046.
- Jones, K, Lanthier, Y, Voet, P, Valkengoed, E, Taylor, D, and Prieto, DF (2009). Monitoring and assessment of wetlands using Earth Observation: The GlobWetland project, *J. of Environmental Management*, 90(7), pp. 2154-2169. [DOI:10.1016/j.jenvman.2007.07.037]
- Jung, JS (2004). *Environmental changes of wetland landscape in the lower reach of the Nakdong river in South Eastern Korea*, Master's Thesis, Korea National University of Education, Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Ki, BM, and Choi, JH (2011). Effect of global warming on the estuarine wetland biogeochemistry, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 33(8), pp. 553-563. [Korean Literature] [DOI:10.4491/KSEE.2011.33.8.553]
- Kim, JS, Park, JW, Jung, GY, and Oh, GY (2007). Characteristics of air temperature variation under different land covers during summer, *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 49(1), pp. 79-88. [Korean Literature]
- Kim, HJ, Kim, DS, Yoon, IH, Lee, DI, and Kwon, BH (2007). Net radiation and heat fluxes measured on coastal wetland covered with reeds, *J. of the Environmental Sciences*, 16(2), 233-239. [Korean Literature] [DOI:10.5322/JES.2007.16.2.233]
- Kim, HD (2001). On the effects of Upo swamp influencing to climatological environment around suburbs, *J. of Nakdonggang Environmental Research Institute*, 6(1), pp. 99-106. [Korean Literature]
- Kim, HS (2008). Function and values of wetland, *River and Culture*, 4(2), pp. 96-101. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2019). *Weather characteristics in 2018*, Korea Meteorological Administration. [Korean Literature]
- Koh, CH, Jin, D, and Ha, SR (2008). An analysis of suitable site of constructed wetland using high resolution satellite image and GIS in Kyoung-An stream, *J. of Wetlands Research*, 10(2), pp. 115-128. [Korean Literature]
- Ku, CY (2004). A study on the satellite image processing technique to identify a coastal wetland, *The J. of Social Science*, 18, pp. 1-18. [Korean Literature]
- Kwon, HJ (1976). Floodbasins of the lower Nakdong river, *Geography*, 11(2), pp. 1-8. [Korean Literature]
- Lee, SH, and Cho, WC (2011). A study on water quality improvement of Hoeya dam reservoir using ecological constructed wetland, *J. of wetlands research*, 13(3), 489-497. [Korean Literature]
- Lee, JA, and Kim, HD (2007). A comparative study of weather for Upo wetland with Changnyeong and Miryang, *J. of Nakdonggang Environmental Research Institute*, 12, pp. 41-48. [Korean Literature]
- Lee, CS, Han, KS, Yeom, JM, Song, BG, and Kim, YS (2007). Thermal spatial representativity of meteorological stations using MODIS land surface temperature, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 10(3), pp. 123-133. [Korean Literature]
- Lee, JO, Kim, YS, and We, GJ (2010). Change analysis of Eulsukdo wetland using qualitative multi-temporal image data, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 13(2), pp. 64-73. [Korean Literature] [DOI:10.7319/kogis.2013.21.1.011]
- Lee, YG, Kim, SH, Ahn, SR, Choi, MH, Lim, KS, and Kim, SJ (2015). Estimation of spatial evapotranspiration using Terra MODIS satellite image and SEBAL model - A case of Yongdam dam watershed -, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 18(1), pp. 90-104. [Korean Literature] [DOI:10.11108/kagis.2015.18.1.090]
- Lee, HJ, Cho, SS, Kang, MS, Kim, J, Lee, HT, Lee, MS, Jeon, JH, Yi, CY, Janicke, B, Cho, CB, Kim, KR, Kim, BJ, and Kim, HS (2018). The quantitative analysis of cooling effect by urban forests in summer, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology*, 20(1), pp. 73-87. [Korean Literature] [DOI:10.5532/KJAFM.2018.20.1.73]
- McMillin, LM (1975). Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption, *J. of Geophysical Research*, 80(36), pp. 5113-5117. [DOI:10.1029/JC080i036p05113]
- Mitsch, WJ, and Gosselink, JG (2000). *Wetlands(3rd edition)*, John Wiley & Sons, Canada, pp. 25-34.
- Mun, HT, and Kim, JH (1985). Studies on plant succession of sand bars at the Nagdong river estuary I. Vegetation and soil environment, *J. of Plant Biology*, 28(3), 191-198. [Korean Literature]
- Muro, J, Strauch, A, Heinemann, S, Steinbach, S, Thonfeld, F, Waske, B, and Biekruger, B (2018). Land surface temperature trends as indicator of land use changes in wetlands, *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 70, pp. 62-71. [DOI:10.1016/j.jag.

- [2018.02.002](#)]
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). Wan, Z (1997). *Land surface temperature measurements from EOS MODIS data*, NAS5-31370, National Aeronautics and Space Administration, Santa Barbara, USA.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). Wan, Z (1999). *MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document(LST ATBD)*, NAS5-31370, National Aeronautics and Space Administration, Santa Barbara, USA.
- National Institute of Environmental Research(NIER) (2013). *Intensive survey on the wetland protected areas*, NEIR-RP2013-158, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- National Institute of Meteorological Sciences(NIMR). (2018). *Climate change over 100 years on the Korean Peninsula*. 11-1360620-000132-01, National Institute of Meteorological Sciences. [Korean Literature]
- Oh, SH, Kim, JW, Chae, MB, Bae, YH, and Kim, HS (2018). Case study: Runoff analysis of a mountain wetland using water balance method, *J. of Wetlands Research*, 20(3), pp. 210-218. [Korean Literature] [DOI:10.17663/JWR.2018.20.3.210]
- Park, MH, and Kim, HD (2011). Evaluation of mitigation effect of Upo-Swamp on the air temperature variation with nighttime cooling rate, *J. of the Environmental Sciences*, 20(3), pp. 309-319. [Korean Literature] [DOI:10.5322/JES.2011.20.3.309]
- Park, EJ, and Ku, CY (2003). Efficiency assessment of analysing coastal geomorphic landscape change by satellite image interpretation, *J. of the Korean Geographical Society*, 38(5), pp. 822-834. [Korean Literature]
- Price, JC (1984). Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer, *J. of Geophysical Research Atmospheres*, 89(D5), pp. 7231-7237. [DOI:10.1029/JD089iD05p07231]
- Shashua-Bar, L, and Hoffman, ME (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Energy and Buildings*, 31, pp. 221-235. [DOI:10.1016/S0378-7788(99)00018-3]
- Song, BG, and Park, KH (2012). Analysis of heat island characteristics considering urban space at nighttime, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 15(1), pp. 133-143. [Korean Literature]
- Snyder, WC, Wan, Z, Zhang, Y, and Feng, YZ (1998). Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space, *International J. of Remote Sensing*, 19(14), pp. 2753-2774. [DOI:10.1080/014311698214497]
- Wan, Z, and Dozier, J (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(4), pp. 892-905. [DOI:10.1109/36.508406]