

MODIS 위성자료를 이용한 전구 및 동아시아의 가강수량 분석

Analysis of Precipitable water over Global and East Asia using MODIS satellite data

이상훈*, 박선기**, 배덕효***

Sanghun Lee, Seon K. Park, Deg hyo Bae

요 지

기후변화가 수자원에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 물 순환 및 물 수지의 변화 경향 파악이 필수적이며, 대기 중의 가강수량 파악은 가뭄·호우 등에 대한 기본 조사로서 수자원 연구에 필요하다. 본 연구에서는 MODIS 위성자료로부터 가강수량을 산출하여 검증하고, 전구 및 동아시아의 분포 특성 및 변화 경향을 분석하였다. MODIS 위성자료는 NASA의 홈페이지로부터 입수하여 가강수량을 산출하였고, 산출한 가강수량은 NCEP Reanalysis2 자료를 이용하여 검증하였다. MODIS 위성자료를 이용하여 전구 가강수량의 경년변화 및 분포 분석을 실시한 결과 가강수량의 분포는 ITCZ의 움직임과 잘 일치하였고, 6월에 가장 많은 가강수량을 나타내며 10월에 가장 적은 가강수량을 나타냈다. 경년변화는 2000년대 중반까지는 증가하는 경향을 보이고 있었지만 최근 3년 정도는 감소하는 추세를 보이고 있다.

MODIS 위성자료를 이용하여 동아시아 지역 가강수량의 경년변화 및 분포 분석을 실시한 결과 가강수량의 분포는 계절적인 특징을 잘 나타내고 있으며, 7월에 가장 많은 가강수량을 나타내고 있으며 11월에 가장 적은 가강수량을 나타내고 있고, 경년변화는 큰 변화는 보이지 않았다.

MODIS 위성으로부터 산출한 가강수량과 표면온도를 비교한 결과 가강수량은 계절적인 특징은 거의 비슷한 변화를 가지고 있으며 년 변화에서는 동아시아 가을의 변화가 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 가지고 있었으며, 동아시아 가을의 가강수량은 표면온도와 함께 증가하는 경향을 나타내고 있다.

핵심용어 : 가강수량, MODIS 위성, 표면온도

1. 서 론

기후변화 문제는 이제 전 세계적으로 공통 관심사가 되었고, 이에 관련된 과학적인 연구뿐만 아니라 각 국가의 정책 수립과 정부 간 국제협력에도 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 최근에 기후변화 영향으로 추정되는 이상기후사례들이 빈번히 보고되면서 국내외적으로 기후변화 및 기후변동성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국제적으로는 유엔기후변화협약체(UNFCCC; United Nations Framework Convention on Climate Change)를 중심으로 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change) 및 세계기상기구(WMO; World

* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 BK연구교수 · E-mail : sanghunchang@hotmail.com

** 비회원 · 이화여자대학교 환경공학과 교수 · E-mail : hydromet@empal.com

*** 정회원 · 세종대학교 물자원연구소 토목환경공학과 교수 · E-mail : dhbae@sejong.ac.kr

Meteorological Organization)에서 기후변화의 지속적 평가 및 기후변화에 관한 과학기술의 발전을 위한 지원을 수행하고 있다. 국내에서도 그간 산발적으로 연구가 진행되어 왔지만 지난 2007년 12월 발리로드맵이후 범부처적으로 기후변화 및 영향평가, 적응정책 등에 관한 연구가 본격화되고 있다. 2007년 2월 발표된 IPCC 4차 보고서에 의하면 최악의 시나리오의 경우에 100년 후에 기온이 6.4℃ 상승할 가능성을 제시하고 있으며, 2100년도에 온도가 3℃ 이상 상승할 경우, 전 세계 11-32억 명이 물 부족 문제의 영향을 받을 것으로 경고하고 있다. 기후변화와 관련된 수온/기온 상승은 전 지구적 또는 지역적인 물 순환계에 영향을 주며, 이는 수자원과도 밀접히 연관되어 인간의 삶과 사회·경제적인 측면에서 막대한 영향을 미칠 것으로 예측된다.

수증기는 지구환경시스템에서의 대기 육지 해양 등을 연결해주는 중요한 요소 중의 하나이다. 그리고 수증기는 물순환 사이클과 지구의 기후에 중요한 역할을 하며, 전통적으로 대기 중의 수증기량의 산출은 Split window technique을 이용한 위성의 적외선 채널을 이용하였다(Kleepies and McMillin (1990), Chesters et al (1983)). 최근의 수증기를 산출하는 알고리즘은 근적외선 채널을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다(Thai and Schonemark (1998), Bouffies et al (1997), Kaufman and Gao (1992). Bo-Cai Gao et al (2003)은 MODIS 위성데이터를 이용하여 티벳고원의 가강수량 산출을 시도하였고, 또한 Park (2003)은 MODIS 위성 데이터를 이용하여 동아시아 지역의 총 가강수량을 산출하였다. MODIS 위성데이터는 가강수량 뿐만 아니라 여러 분야에 사용되고 있다. Lee et al (2003)은 MODIS 자료와 한반도 동남쪽 상층관측 자료를 비교하여 좋은 상관관계를 얻었다. Kim et al (2007)은 Terra 위성에 탑재된 MODIS 데이터를 이용하여 연안 대기 경계층의 연직구조에 관한 연구를 하였다. 대부분의 연구에서 가강수량 산출을 하였지만 10년 정도의 가강수량을 산출하여 연구한 사례는 아직 없다.

본 연구에서는 기후변화가 물순환에 미치는 영향을 파악하기 위하여 MODIS 위성자료를 입수하여 가강수량을 산출하고 산출한 가강수량이 유용한가를 검증한 후 전구 및 동아시아 지역의 가강수량을 산출하여 분석하였다.

2. 연구방법 및 자료

본 연구에서는 MODIS 위성 자료인 다섯 개의 근적외선 채널을 사용하여 총 가강수량이 산출되었다. 수증기량을 이용한 가강수량 산출은 인공위성에 탑재된 적외선이나 근적외선 채널을 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다. 그리고 본 연구에서 사용하는 MODIS 자료 또한 위에서 말한 방법으로 NASA에서 만든 데이터를 이용하였다. NASA의 LAADS Web에서 제공하는 총 가강수량의 데이터를 2000년 1월부터 2009년 12월까지의 10년간의 자료를 입수 하였다. MODIS 위성 자료는 TERRA와 AQUA가 있지만 TERRA 위성의 데이터가 2000년 1월부터 존재하므로 TERRA 위성 데이터를 사용하였다. 입수한 데이터는 1° X 1° 해상도의 전구 자료를 사용하였다. MODIS 위성자료를 이용하여 산출한 가강수량의 데이터 검증을 위하여 NCEP-DOE Reanalysis 2 데이터를 입수하였다. 표면기온 또한 입수하여 가강수량과의 상관분석을 실시하였다.

3. 결과

3.1 MODIS 위성으로부터의 가강수량 산출

MODIS 위성자료를 이용한 가강수량 산출 알고리즘은 0.4~15 μ m 범위의 36개의 밴드를 사용하고

있으며 공간 해상도는 1과 2밴드가 0.25km이고, 3에서 7밴드는 0.5km, 8에서 36밴드는 1km이다. 가강수량의 산출에 유용한 채널은 근적외선 채널인 0.865, 0.905, 0.936, 0.940, 1.240 μm 이다. 5개의 근적외선 채널중에 0.865 μm 와 1.240 μm 는 non-absorption 채널이고 0.936, 0.940, 0.905는 수증기 흡수 채널이다(표.1). 이 두개의 흡수채널과 비흡수채널의 태양의 반사율을 비교하여 가강수량을 산출한다. 그림1은 MODIS 위성자료를 이용한 전구 가강수량을 나타내고 있으며, 대표적으로 1, 4, 7, 10월의 가강수량을 나타내고 있다. 먼저 1월의 가강수량을 보면 적도부근을 중심으로 많은 가강수량을 나타내며 특히 동남아시아 남쪽과 남아메리카 북쪽에 많은 가강수량이 분포하고 있다. 그리고 4월의 가강수량 분포는 1월에 비해 약간 북쪽으로 가강수량의 중심 분포가 위치하고 있는 것이 특징이다. 7월의 가강수량 분포를 살펴보면, 가강수량의 중심 분포는 4월의 분포보다 더 북상하여 동아시아 부근까지 위치하고 있으며, 또한 10월의 가강수량 분포는 가강수량 분포의 중심 위치는 7월에 비해 남하하여 적도 부근으로 이동하고 있다. 이러한 가강수량의 분포는 전구의 수증기 분포를 잘 모이하고 있으며, NCEP-DOE Reanalysis 2와의 검증에서도 유사한 특징을 가지고 있었다.

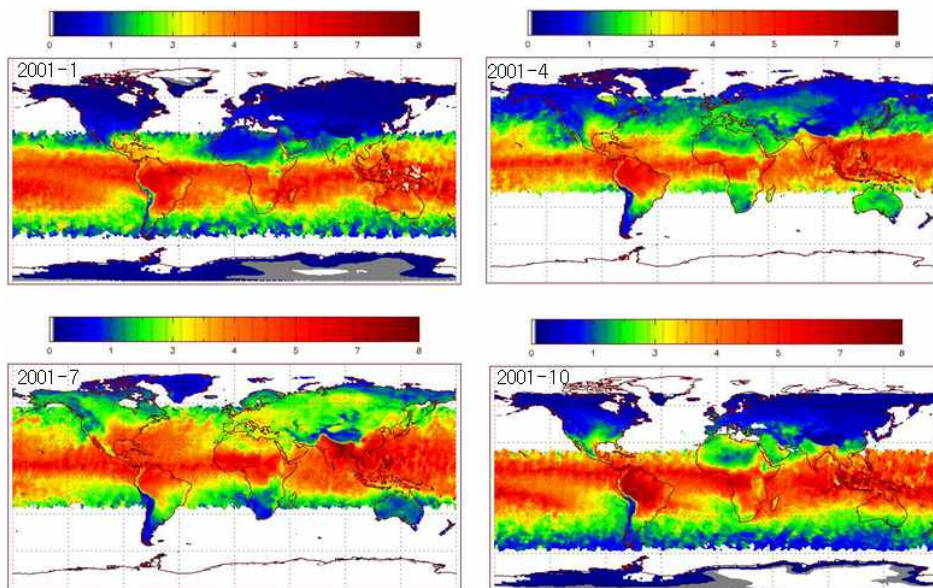


그림 1. MODIS 위성자료를 이용한 전구 가강수량 분포

3.2 MODIS 가강수량의 전구 및 동아시아 지역 분석

그림2는 전구 및 동아시아 평균 가강수량의 월 변화를 나타내고 있다. 전구 평균 가강수량의 월 변화를 보면 1월과 2월은 큰 변화는 볼 수 없으며 적은 량의 가강수량을 나타내고 있고, 3월부터 가강수량은 조금씩 증가하기 시작하여 6월 달에 가장 많은 가강수량을 나타내고 있다. 그리고 6월 달을 정점으로 하여 7월부터 가강수량은 다시 감소하기 시작해서 10월에 가장 적은 가강수량을 나타낸다. 10월에 가장 적은 가강수량을 나타내고 12월까지 다시 약간 증가하는 것을 볼 수 있다. 북반구 가을철과 겨울철에 가장 적은 가강수량을 나타내고 여름인 6월에 가장 많은 가강수량을 나타낸다. 동아시아 가강수량의 월 변화는 전구의 특징과 조금 다른 특징을 가지고 있다. 동아시아의 가강수량은 1월부터 6월까지 계속 증가하는 특징을 가지고 있으며, 6월부터 가강수량은 다시

감소하기 시작하여 11월에 가장 적은 가강수량을 나타내고 12월은 11월에 비해 약간 증가하는 특징을 가지고 있다.

전구 평균 가강수량의 경년변화는 전체적으로 큰 변화는 보이지 않지만 4월, 5월, 9월을 제외한 대부분의 달에서 2000년부터 3년 정도 증가하는 추세를 보이고 있다. 그리고 몇 년 정도 큰 변화가 없다가 최근의 2~3년은 약간의 감소를 볼 수 있다. 그리고 가강수량을 3개로 구분할 수 있는데 5,6,7월의 가강수량이 가장 많고, 3,4,8월의 가강수량이 중간정도의 가강수량을 보이고, 나머지 달이 가장 적은 가강수량을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 동아시아 가강수량의 경년변화는 전체적으로 6월과 7월이 가장 많은 가강수량을 나타내고 있지만 큰 변화는 볼 수가 없다. 나머지 달 또한 큰 변화는 일어나지 않고 있다.

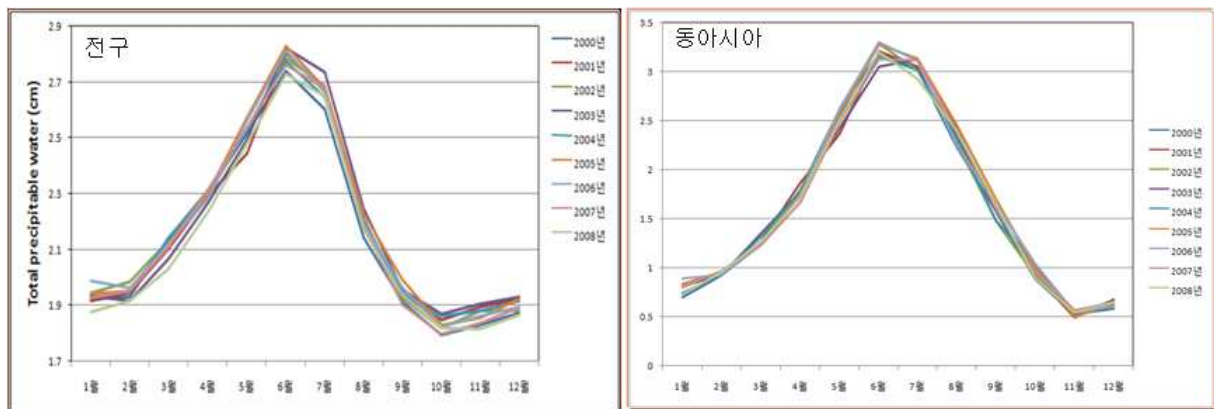


그림 2. 전구 및 동아시아 가강수량의 월변화

가강수량은 지표면에서 증발한 수증기와 밀접한 관계를 가지고 있으므로, 가강수량과 지표면온도와의 관계를 분석하였다. 월변화의 전구 가강수량과 지표면온도의 상관관계를 보면 0.86의 높은 값을 보이고 있으며, 동아시아는 0.96으로 전구보다 높은 상관관계를 보이고 있다. 이 결과는 신뢰구간 99%에서 유의한 값이다. 경년변화의 전구 가강수량과 지표면 온도와의 분산을 살펴보면 양의 관계를 보이고 있지만 통계적으로는 유의한 값을 보이고 있지 않다. 하지만 동아시아의 경우 봄, 여름, 겨울은 유의한 값이 없지만 가을은 0.68로 신뢰구간 95%에서 유의한 값을 보이고 있다. 이 결과는 동아시아 가을의 가강수량은 증가하고 있다는 것을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 MODIS 위성자료로부터 가강수량을 산출하여 검증하고, 전구 및 동아시아의 분포 특성 및 변화 경향을 분석하였다. MODIS 위성자료를 이용하여 전구 가강수량의 경년변화 및 분포 분석을 실시한 결과 가강수량의 분포는 ITCZ의 움직임과 잘 일치하였고, 6월에 가장 많은 가강수량을 나타내며 10월에 가장 적은 가강수량을 나타내고 있었다. 경년변화는 2000년대 중반까지 증가하는 경향을 보이고 있었지만 최근 3년 정도는 감소하는 추세를 보이고 있다.

MODIS 위성자료를 이용하여 동아시아 지역 가강수량의 경년변화 및 분포 분석을 실시한 결과 가강수량의 분포는 계절적인 특징을 잘 나타내고 있으며, 7월에 가장 많은 가강수량을 나타내고 있으며 11월에 가장 적은 가강수량을 나타내고 있고, 경년변화는 큰 변화를 보이지 않았다.

가강수량은 지구표면에서 증발한 수증기와 밀접한 관계를 가지고 있으므로 가강수량과 표면온

도와의 관계를 분석 하였다. MODIS 위성으로부터 산출한 가강수량과 표면온도를 비교한 결과 가강수량의 계절적인 특징은 거의 비슷한 변화를 가지고 있으며 년 변화에서는 동아시아 가을의 변화가 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 가지고 있었으며, 동아시아 가을의 가강수량은 표면온도와 함께 증가하는 경향을 나타내고 있다.

본 연구에서는 MODIS 위성 자료를 이용하여 가강수량을 산출하여 분석한 결과 전체적인 가강수량의 특징을 알 수 있었다. 하지만 MODIS 위성자료로부터 산출된 가강수량은 MODIS센서가 가지고 있는 특수성으로 인해 북반구 및 남반구 겨울철 고위도 지역의 해양 가강수량을 충분히 산출할 수 없다는 것을 알았다. 겨울철 고위도 지역의 가강수량은 양이 적기 때문에 큰 문제는 되지 않지만, 만약 이러한 문제가 해결된다면 보다 정확한 가강수량을 산출하여 분석할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 수자원/수질 부문 기후변화 영향평가 및 적응대책 인벤토리 발굴연구의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 또한 본 논문을 집필함에 있어 세종대학교 토목환경공학과 의 BK21 핵심사업 과제인 토목시설물방재기술 사업에서 연구비를 지원 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- Gao, Bo-Cai, Ping Yang, Guang Guo, Seon K. Park, Warren J. Wiscombe, and Baode Chen., 2003: Measurements of water vapor and high clouds over the Tibetan Plateau with the terra MODIS instrument, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol.41, No.4, April, 895-900.
- Bouffies, S., F.M. Breon, D. Tanre, and P. Dubuisson., 1997: Atmospheric water vapor estimate by a differential absorption technique with the polarization and directionality of the Earth reflectances (POLDER) instrument, J. Geophys. Res., 102, 3831-3841.
- Chesters, D., L.W. Uccellini, and W.D. Robinson., 1983: Low level water vapor fields from the VISSR atmospheric sounder (VAS) split window channels, J. Climate Appl. Meteor., 22, 725-743.
- Kaufman, Y.J. and B.-C. Gao., 1992: Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS, IEEE Trans. on Geosci. Remote sensing, 30, 871-884.
- Kieespies, T.J. and L.M. McMillin., 1990: Retrieval of precipitable water from observations in the split window over varying surfacetemperatures, J. Appl. Meteor., 29, 851-862.
- Kim, Dongsu and Byunghyuk Kwon 2007: Vewtical struction of the coastal atmospheric boundary layer based on Terra/MODIS data, Atmosphere, 17(3), 281-289.
- Lee, Mi-suk, Young-seub Kim, Byung-hyuk Kwon, Ki-man Hong, and Kyung-won Park 2003: Evaluation of temperature and moisture profile data from Terra/MODIS, Atmosphere,
- Park, S.K., 2003: Estimation of Total Precipitable Water in East Asia Using the MODIS Satellite Data, J. KOSAE, 19 (E4), 149-155.
- Thai, S. and M.V. Schonermark., 1998: Determination of the column water vapor of the atmosphere using back-scattered solar radiation measured by the Modular Optoelectronic Scanner (MOS), Int. J. Remote Sens., 19, 3223-3236.