

새세대정지기상위성자료를 리용한 대기중의 수증기량회복방법

량 철 호

대기중의 수증기는 잠열방출에 의하여 지표면과 대기사이의 에네르기교환을 조종하는 가장 중요한 기상학적요소이며 대기를 이루고있는 많은 기체들가운데서 시공간적변화가 가장 심한 기체이다.

론문에서는 스펙트르분해능이 이전의 정지기상위성보다 훨씬 높아진 새세대정지기상위성의 열적외선 및 수증기흡수대역자료를 리용한 대기중의 수증기량회복방법에 대하여 서술하였다.

1. 열적외선대역자료를 리용한 대기중의 수증기량회복

모든 기상위성들은 $10\sim 12\mu\text{m}$ 의 열적외선대역들을 가지고있는데 이 대역의 밝기온도자료들을 리용하여 대기중의 수증기량을 결정할수 있다.[1, 3] 새세대정지기상위성의 열적외선대역자료들의 특성은 표 1과 같다.[2]

표 1. 새세대정지기상위성의 열적외선대역자료들의 특성

통로번호	파장범위/ μm	공간분해능/km	수신감도
12	$10.3\sim 11.3$	4	$\text{NE } \Delta T \leq 0.2 (300\text{K})$
13	$11.5\sim 12.5$	4	$\text{NE } \Delta T \leq 0.2 (300\text{K})$

2개의 열적외선대역자료를 리용하여 대기중의 수증기량을 추정하는 방법을 분할창문법이라고 하는데 이 창문대역에서 대기는 거의나 투명하며 수증기에 의한 영향만을 받는다고 볼수 있다. 린접하고있는 2개의 화소 i, j 에서의 밝기온도차의 비($R_{11, 12}$)는 대기투과률과 지표면방사률의 비와 같다.[1, 3]

$$R_{11, 12} = \frac{(\Delta T_{i, j})_{12}}{(\Delta T_{i, j})_{11}} = \frac{(T_i - T_j)_{12}}{(T_i - T_j)_{11}} = \frac{\varepsilon_{11} \tau_{12}}{\varepsilon_{12} \tau_{11}} \quad (1)$$

여기서 첨수 11과 12는 분할창문대역의 중심파장을 의미하며 T_i 와 T_j 는 린접한 2개 화소의 밝기온도, ε 은 지표면방사률, τ 는 투과률이다.

12, 13통로에서 지표면방사률은 큰 차이가 없기때문에 $R_{11, 12}$ 는 방사률에는 의존함이 없이 대기투과률의 비와 같다고 볼수 있다. 11, $12\mu\text{m}$ 대역에서는 위성에 도달하는 복사가 수증기의 영향만을 받는다고 볼수 있기때문에 이 대역들에서의 대기투과률은 수증기량에 의존하게 되며 이로부터 $R_{11, 12}$ 는 수증기량을 반영하게 된다.

주변화소들의 영향을 고려하여 $R_{11, 12}$ 를 다음과 같이 계산할수 있다.

$$R_{11, 12} = \frac{\sum (T_{11, i} - \bar{T}_{11})(T_{12, i} - \bar{T}_{12})}{\sum (T_{11, i} - \bar{T}_{11})^2} \quad (2)$$

여기서 $T_{11,i}, T_{12,i}$ 는 계산하려는 화소의 11, 12 μm 대역에서의 밝기온도, $\bar{T}_{11}, \bar{T}_{12}$ 는 구역의 11, 12 μm 대역에서의 평균밝기온도이다.

열적외선대역의 자료뿐만 아니라 수증기흡수대역자료들의 영향을 고려하여 $R_{11,12}$ 와 정지기상위성의 2개 수증기흡수대역에서의 밝기온도차를 리용한 대기중의 수증기량회복을 위한 통계적모형을 다음과 같이 구성할수 있다.

$$W = aR_{11,12} + b(T_{6.2} - T_{7.1}) + c \quad (3)$$

여기서 $T_{6.2}, T_{7.1}$ 은 각각 6.2, 7.1 μm 대역에서의 밝기온도이며 a, b, c 는 회귀결수들이다.

통계적회복모형의 회귀결수들을 얻기 위하여 2019년 8월—2020년 7월의 정지기상위성자료와 같은 기간의 ECMWF(유럽중기수치일기예보모형)의 수증기량자료를 리용하였다.

표준자료의 믿음성을 높이기 위하여 ECMWF의 기초시간자료(9, 21시)만을 리용하였다. 또한 정지기상위성자료에서 구름을 검출하고 구름이 아닌 화소에서만 표본을 발취하였다.

회귀결수계산을 위한 표본은 육지와 바다에 대하여 지표면온도에 가장 가깝다고 볼수 있는 11 μm 대역에서의 밝기온도에 따라 분류하였다.

분류기준과 그에 따르는 표본수는 표 2와 같다.

표 2. 분류기준과 그에 따르는 표본수

류형	번호	밝기온도/K	표본수
육지	1	<278	1 682
	2	278~288	3 238
	3	288~298	4 319
	4	>298	3 171
바다	5	<280	2 237
	6	280~295	3 530
	7	>295	2 816

매개 표본류형의 표본자료들에 대하여 최소2제곱법으로 통계적모형의 회귀결수들을 추정하였다. 대기중의 수증기량회복을 위한 통계적모형의 회귀결수들과 일부 통계량은 표 3과 같다.

표 3. 통계적모형의 회귀결수들과 일부 통계량

번호	a	b	c	R^2	RMSE
1	-0.447 2	2.7×10^{-5}	0.963 3	0.708 3	0.011 8
2	-1.352 9	5.1×10^{-4}	3.073 2	0.710 0	0.085 4
3	-2.218 1	4.7×10^{-5}	4.387 1	0.627 9	0.737 1
4	-2.336 8	3.6×10^{-4}	4.963 7	0.568 7	1.134 0
5	-1.288 4	4.2×10^{-3}	3.177 2	0.642 8	0.122 3
6	-2.770 2	$2.94.2 \times 10^{-3}$	5.531 8	0.688 7	1.077 3
7	-4.288 6	$3.84.2 \times 10^{-3}$	9.452 9	0.692 2	1.500 7

표 3에서 R^2 은 기여률, RMSE는 평균2제곱오차를 의미한다.

통계적회복모형을 리용하여 대기중의 수증기량을 계산할 때 RMSE의 최대값은 1.5 g/cm^2 이며 R^2 이 작은 경우는 0.568 7로서 11 μm 대역에서의 밝기온도가 298K이상인 육지류형인 경우이다.

2. 수증기흡수대역자료들을 리용한 대기중층 및 상층수증기량회복방법

위성자료의 무게합수특성을 고려하면 대기중의 수증기량수직단면에 대한 정보를 얻을 수 있다.[1, 3, 4]

새세대정지기상위성자료에는 2개의 수증기흡수대역(중심파장 6.2, 7.1 μm)이 들어있다. 이 2개의 수증기흡수대역특성은 다음과 같다.(표 4)[2]

표 4. 수증기흡수대역특성

통로번호	파장범위/ μm	공간분해능/km	수신감도
9	5.8~6.7	4	NE $\Delta T \leq 0.3$ (260K)
10	6.9~7.3	4	NE $\Delta T \leq 0.3$ (260K)

이 수증기흡수대역들의 무게합수특성은 그림과 같다.

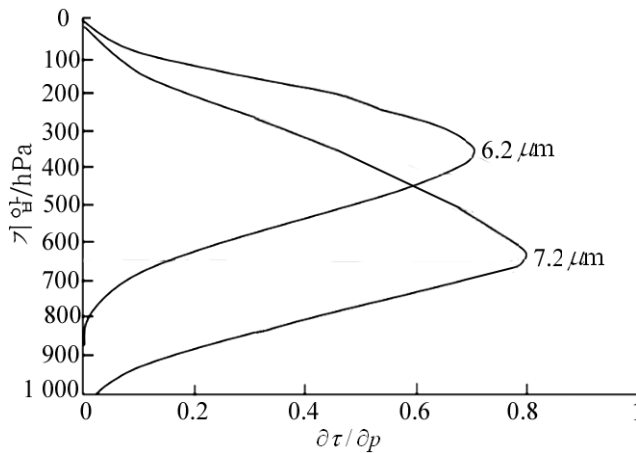


그림. 수증기흡수대역들의 무게합수특성

그림에서 보는것처럼 새세대정지기상위성의 수증기흡수대역들의 무게합수는 350, 650hPa에서 최대값을 나타내고있다. 이로부터 이 수증기흡수대역자료만을 리용하여 완전한 대기수증기수직단면자료는 계산할수 없지만 대기의 중층과 상층에서의 수증기량에 대한 정보를 얻을수 있다.

대기중층 및 상층수증기량추정을 위한 회귀식을 다음과 같이 구성하였다.

중층인 경우

$$W_M = a_m T_{7.1} + b_m (T_{6.2} - T_{7.1}) + c_m (T_{11} - T_{12}) + d_m \quad (4)$$

상층인 경우

$$W_U = a_u T_{7.1} + b_u (T_{6.2} - T_{7.1}) + c_u (T_{11} - T_{12}) + d_u \quad (5)$$

회귀결수들을 결정하기 위한 표본자료로는 수증기량회복에 리용된 정지기상위성자료와 ECMWF자료를 리용하였다.

일반적으로 대기중층 및 상층수증기량은 다음과 같이 결정한다.

$$MPW = \int_{850}^{600} \frac{W}{g} dp \quad (6)$$

$$UPW = \int_{600}^{300} \frac{W}{g} dp \quad (7)$$

여기서

$$W = 0.622 \frac{e}{p} = 0.622 \frac{E \cdot RH}{p} \quad (8)$$

여기서 W 는 혼합비, E 는 포화수증기압력, e 는 수증기압력, RH 는 상대습도, p 는 압력이다. ECMWF의 대기중층 및 상층수증기량을 다음과 같은 방법으로 결정하였다.

먼저 매 마디점(i, j)과 등압면 $l(850, 700, 600, 500, 400, 300\text{hPa})$ 에서의 포화수증기압력을 다음과 같이 계산한다.

$$E(i, j, l) = 6.11 \cdot 10^{\frac{7.5T(i, j, l)}{237.7 + T(i, j, l)}} \quad (9)$$

다음 매 등압면에서의 $W(i, j, l)$ 값을 식 (8)을 리용하여 계산한다.

매 등압면에서의 수증기량을 다음과 같이 계산한다.

$$PW_{(l_1-l_2)} = \frac{\bar{W}_{l_1, l_2} (p_{l_1} - p_{l_2})}{g} \quad (10)$$

여기서 l_1, l_2 는 린접하고있는 2개 등압면을 의미한다.

우의 계산값들로부터 대기중층 및 상층수증기량을 다음과 같이 계산한다.

$$MPW = PW_{850-700} + PW_{700-600} \quad (11)$$

$$UPW = PW_{600-500} + PW_{500-400} + PW_{400-300} \quad (12)$$

식 (11)과 (12)에 의하여 계산된 중층 및 상층수증기량과 정지기상위성의 밝기온도 자료를 리용하여 최소2제곱법으로 대기상층 및 중층수증기량의 회복을 위한 회귀결수들과 통계값들을 결정하였다.(표 5)

표 5. 대기상층 및 중층수증기량의 회복을 위한 회귀결수들과 통계값들

번호	구분	a	b	c	d	R^2	RMSE
1	상층	-0.004 2	-0.017 7	4.1×10^{-4}	0.288 8	0.655 5	0.010 7
	중층	-0.007 9	-0.026 3	2.6×10^{-5}	0.364 1	0.664 9	0.000 2
2	상층	-0.010 6	-0.009 4	-2.6×10^{-5}	0.863 3	0.612 8	0.077 7
	중층	-0.008 1	-0.070 4	3.1×10^{-4}	1.063 3	0.612 8	0.003 7
3	상층	0.004 8	-0.007 7	-5.6×10^{-4}	0.522 0	0.623 5	0.318 7
	중층	-0.006 5	-0.068 3	8.8×10^{-4}	1.506 5	0.573 3	0.342 9
4	상층	0.024 8	0.086 6	8.2×10^{-4}	1.490 6	0.558 4	0.561 2
	중층	0.016 1	0.141 7	7.4×10^{-3}	1.612 4	0.551 9	0.462 7
5	상층	-0.002 7	-0.151 8	4.8×10^{-4}	1.111 2	0.583 2	0.149 0
	중층	-0.004 4	-0.091 3	-3.2×10^{-4}	1.256 3	0.619 6	0.042 0
6	상층	-0.040 7	0.081 2	-7.5×10^{-4}	1.652 3	0.555 3	0.577 7
	중층	0.023 8	0.112 8	5.6×10^{-3}	1.722 1	0.622 8	0.502 9
7	상층	0.046 6	0.051 7	2.6×10^{-3}	2.173 3	0.560 4	0.703 4
	중층	0.025 6	0.039 1	4.5×10^{-3}	2.004 3	0.652 7	0.670 4

표 5에서 알 수 있는것처럼 통계적모형의 R^2 이 모든 경우에 대하여 0.54이상이며 RMSE 값은 0.7g/cm^2 이하의 값을 가진다.

또한 모든 경우에 대하여 대기중층에 대한 회귀모형의 R^2 이 상층에 대한 회귀모형보다 큰데 이것은 리용하는 파장대역이 수증기흡수대역인것으로 하여 대기중층의 수증기가 상층의 수증기보다 더 많은것과 관련된다.

표본류형이 4인 경우에 다른 모든 류형들보다 R^2 이 작으며 RMSE값은 표본류형이 7인 경우에 가장 크다는것을 알수 있다.

론문에서 해결한 통계적방법에 의한 회복결과를 초기추정자료로 하여 대기중의 물리적과정을 충분히 고려한 물리적인 반복법을 적용한다면 반복회수를 줄이면서도 대기중의 수증기량회복의 정확도를 보다 높일수 있다.

맺 는 말

새세대정지기상위성의 열적외선창문대역자료와 수증기흡수대역자료를 리용하여 통계적인 방법으로 넓은 지역에서 높은 시간분해능으로 대기중의 수증기량, 중층 및 하층수증기량을 비교적 정확히 평가할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 고상복 등; 기상위성원격수감의 응용, 농업출판사, 91~93, 주체103(2014).
- [2] 박현민; 기상과 수문, 1, 38, 주체109(2020).
- [3] Yu Fei et al.; Journal of Geophysical Research Atmospheres, 121, 9, 4600, 2016.
- [4] V. K. Rao et al.; Remote Sensing Applications, Society and Environment, 15, 1231, 2019.

주체110(2021)년 4월 5일 원고접수

Retrieval Method for the Water Vapor Content in the Atmosphere Using New Generation Geostationary Meteorological Satellite Data

Ryang Chol Ho

In the atmosphere, the total water vapor content is retrieved from the thermal infrared data of the geostationary meteorological satellite, the water vapor contents for the middle and upper are retrieved using 7.1 and 6.2 μ m band data, the water vapor bands.

Keywords; water vapor, satellite, thermal infrared