동아시아 표준 대기가 합성 적외선 영상에 미치는 효과

Effect of the East Asian Reference Atmosphere on a Synthetic Infrared Image

신 종 진*
Shin, Jong-Jin

ABSTRACT

A synthetic infrared image can be effectively utilized in various fields such as the recognition and tracking of targets as long as its quality is good enough to reflect the real situations. One way to improve its quality is to use the reference atmosphere which best describes atmospheric properties of regional areas. The east asian reference atmosphere has been developed to represent atmospheric properties of the east asia including Korean peninsula. However, few research has been conducted to examine the effects of this east asian reference atmosphere on the modeling and simulation. In this regard, this paper analyzes the effects of the east asian reference atmosphere on a synthetic infrared image. The research compares the atmospheric transmittance, the surface temperature, and the radiance obtained by using the east asian reference atmosphere with those of the midlatitude reference atmosphere which has been widely applied in the east asia. The results show that the differences of the atmospheric transmittance, the surface temperature, and the radiance between the east asian reference atmosphere and the midlatitude reference atmosphere are significant especially during the daytime. Therefore, it is recommended to apply the east asian reference atmosphere for generating a synthetic infrared image with targets in the east asia.

주요기술용어(주제어) : Synthetic Infrared Image(합성 적외선 영상), East Asian Reference Atmosphere(동아시아 표준 대기), Midlatitude Reference Atmosphere(중위도 표준 대기), Atmospheric Transmittance (대기 투과도), Surface Temperature(표면 온도), Radiance

1. 머리말

모든 물체는 복사 에너지를 방출하며 이러한 복사 에너지 중 특히 적외선 에너지의 측정을 통하여 야간에도 물체의 모양이나 움직임을 파악할 수 있다. 이는 적외선 영상이 표적 식별을 위한 군사적인 목적으로 활용 가능하다는 것을 의미한다. 그러나, 다양한 환경 조건에 따라 변화하는 적외선 영상을 획득하는 것은 쉽지 않다. 이러한 단점을 보완하는 방법으로 시뮬레이션을 통한 적외선 영상의 생성을 들 수 있다. 대표적인 합성 적외선 영상 생성 소프트웨어로는 SensorVision, SE-Workbench-IR 등을 들 수 있으

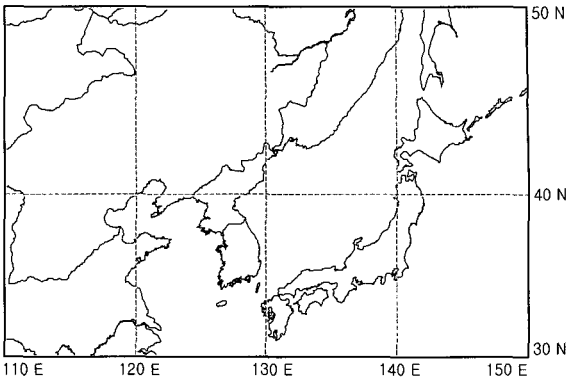
† 2006년 8월 31일 접수~2006년 11월 20일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
주저자 이메일 : jjshin@add.re.kr

며, 이러한 소프트웨어의 검증을 위하여 다양한 연구가 수행된 바 있다[1~3]. 다양한 환경의 영향을 고려한 합성 적외선 영상은 표적의 인식 및 추적 알고리즘 개발을 비롯한 다양한 표적의 적외선 특성 연구에 활용될 수 있다.

대기 모델링은 합성 적외선 영상을 생성하는 중요한 단계들 중 하나이다. 이 대기 모델링은 다양한 환경 조건을 모사하는 데 사용되며 태양 에너지의 계산 및 대기 투과도를 계산한다. 이러한 값은 합성 적외선 영상의 radiance에 지배적인 영향을 미친다. 따라서, 대기 모델링의 정확성은 실제에 가까운 합성 적외선 영상의 생성과 밀접한 관계가 있다. 대기 모델링은 주요한 입력 인자의 하나로 표준 대기를 사용하며, 이러한 표준 대기는 지역에 따라 달라지는 대기의 특성을 포함한다. 한반도 및 주변 지역의 대기 모델링을 수행하기 위해 주로 중위도 표준 대기를 사용해 오고 있다. 그러나, 중위도 표준 대기는 전세계 중위도 지역을 대상으로 구축된 표준 대기이기 때문에 한반도 지역의 대기 상태를 표현하는데 부족함이 있다. 이에 손 등[4]에 의해 한반도 및 주변 지역의 대기 특성을 나타내는 동아시아 표준 대기가 완성되었다. 그러나, 이러한 새로운 동아시아 표준 대기가 합성 적외선 영상에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 거의 없는 상태이다. 따라서, 본 논문에서는 동아시아 표준 대기가 합성 적외선 영상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기존의 중위도 표준 대기를 이용한 합성 적외선 영상에 대비하여 그 차이를 분석하고자 한다. 분석 도구로는 대기 모델링 소프트웨어인 MODTRAN 4(Moderate Resolution Transmission Code 4)[5,6] 및 합성 적외선 영상 생성 소프트웨어인 SE-Workbench-IR을 이용하였다.

2. 동아시아 표준 대기

대기의 복사 및 투과 특성은 지역마다 서로 다른 분포를 보이며, 이러한 특성을 지역에 따라 분류한 것이 표준 대기이다. 대기 모델링에 주로 사용되는 표준 대기로는 열대 대기(15° N), 중위도 여름/겨울 대기(45° N), 극지방 여름/겨울 대기(60° N) 및 미국



[그림 1] 동아시아 표준 대기의 대상 영역

표준 대기가 있다[7]. 이러한 표준 대기 중에서 한반도 및 주변 지역의 대기 모델링에 가장 적합한 것으로 중위도 여름 및 겨울 대기가 있으나, 이 표준 대기는 전 세계의 평균적인 중위도 지역의 대기 상태를 반영하기 때문에 동아시아 지역의 대기 상태를 정확히 나타내지는 못하는 문제가 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 동아시아 표준 대기가 개발되었다. 동아시아 표준 대기는 그림 1과 같이 30° N~50° N 및 110° E~150° E의 구간을 그 대상 영역으로 하며, 계절별 연직 압력, 온도 및 주요 기체의 분포를 포함하고 있다. 3월부터 5월까지를 봄으로 하며 차례대로 이후 3개월씩 여름, 가을, 겨울에 대한 계절별 연직 분포로 구성되어 있다.

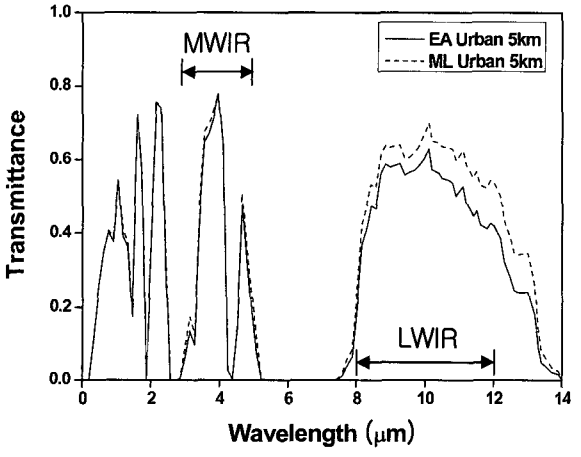
계절별 동아시아 표준 대기 가운데 중위도 표준 대기와 비교할 수 있는 것은 여름 및 겨울 대기 모델이 있으며, 겨울에는 연직 분포의 차이가 거의 없으나 여름에는 연직 수증기의 양에 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다[4]. 이는 여름에는 동아시아 지역에 장마로 인한 많은 비가 내리기 때문이다. 이러한 수증기 양의 차이가 대기의 복사 및 투과 특성에 많은 영향을 미칠 것으로 판단되어 본 논문에서는 여름의 중앙인 7월 15일을 선택하여 대기 모델링 및 합성 적외선 영상 생성에 적용하였다.

3. 대기 투과도

대기 투과도는 대기 중을 통과하는 복사 에너지

가 얼마나 감쇄되는지를 나타내는 지수로 radiance의 감쇄에 직접적인 영향을 미친다. 대기 투과도를 계산하기 위하여 동아시아 표준 대기를 적용하여 MODTRAN을 수행하였다. 대표적으로 사용되는 파장대 및 에어로졸에 대하여 표적과 센서간의 거리(sensor height)에 따른 평균 대기 투과도의 변화를 알아보았다.

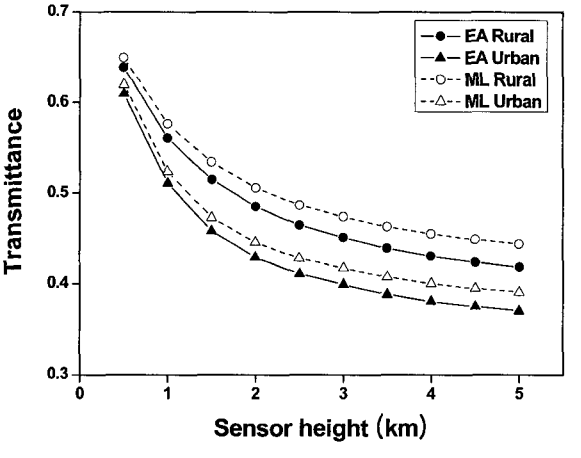
그림 2는 파장에 따른 대기 투과도를 나타낸 것으로 시정 5km의 도시(urban)에 해당하는 에어로졸에 대한 결과로 지상에서 수직방향으로 5km 상공에서 지상을 바라보았을 때의 대기 투과도를 나타낸다. 파장이 커짐에 따라 동아시아 표준 대기(EA)의 대기 투과도가 중위도 표준 대기(ML)에 비해 감소함을 알 수 있다. 대기 중의 수증기는 중적외선(3μm~5μm) 파장대보다는 원적외선(8μm~12μm) 파장대에서 대기 투과도의 감쇄에 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.



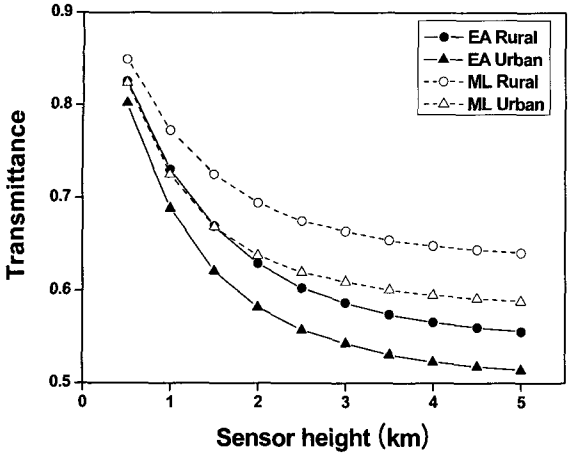
[그림 2] 파장에 따른 대기 투과도 비교

센서의 높이에 따른 대기 투과도의 변화를 알아보기 위하여 센서 높이 0.5km에서 5km까지 0.5km 간격으로 각 파장대에 따른 평균적인 대기 투과도를 구하였다. 평균 대기 투과도를 구하기 위하여 먼저 0.1 μm 간격의 대기 투과도를 계산하였다. 이 후 중적외선 파장대는 3μm~5μm까지 원적외선 파장대는 8μm~12μm까지의 대기 투과도를 적분하였다. 이렇게 적분된 값을 각각의 파장 간격인 2μm 및 4μm으로 나누어 최종적인 평균 대기 투과도를 획득하였다. 지상에서 수직방향으로 위치하는 센서의 센서 높이에 따른 파장대 및 에어로졸별 대기 투과도의 변화는 그림 3 및 그림 4와 같다. 모든 경우에 대하여 센서 높이가 커지면서 대기 투과도가 지수 함수적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 특히 원적외선 파장대가 중적외선 영역대보다 평균적으로 0.2 정도 대기 투과도가 높게 나타났다. 이는 파장에 따른 대기 투과도의 그래프에서 본 바와 같이 중적외선 영역에서 특정 기체에 의해 대기 투과도가 현저히 감소되는 영역이 존재하기 때문이다. 시정 23km를 가지는 시골(rural)에 해당하는 에어로졸의 경우가 시정 5km를 가지는 도시 에어로졸(urban)의 경우보다 높은 대기 투과도를 나타낸다.

동아시아 표준 대기를 적용한 경우 같은 에어로졸 상태에서 모두 중위도 표준 대기의 경우보다 대기 투과도가 낮게 분포하고 있다. 이러한 차이는 원적외선 영역에서 현저하게 나타나며, 특히 동아시아 표준 대기의 시골 에어로졸의 경우에는 중위도 표준 대기의 도시 에어로졸의 경우보다 더 낮은 대기 투과도를 보임을 알 수 있다. 센서의 높이가 커지면서 동아시아 표준 대기와 중위도 표준 대기의 대기 투과도의 차이가 커지게 되고 이는 표적의 표면 온도 및 radiance 결과에 많은 차이를 유발하는 주요한 원인으로 작용할 것으로 판단된다.



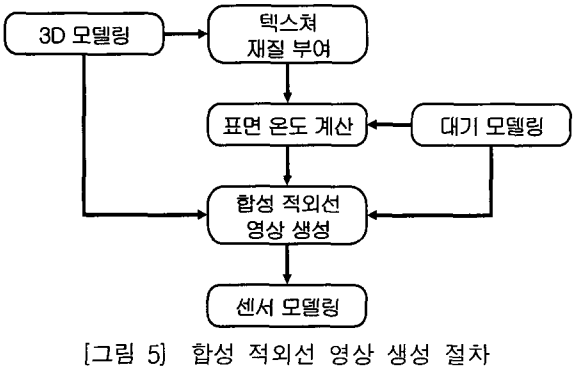
[그림 3] 센서 높이에 따른 대기 투과도 비교 (중적외선)



[그림 4] 센서 높이에 따른 대기 투과도 비교 (원적외선)

4. 합성 적외선 영상 생성 소프트웨어를 이용한 표면 온도 및 radiance 비교

동아시아 표준 대기가 합성 적외선 영상에 미치는 영향은 대기 투과도를 비롯하여 물체의 표면 온도 및 radiance의 변화로 알 수 있다. 합성 적외선 영상은 그림 5와 같이 복잡한 절차를 거쳐 이루어진다. 먼저 3차원으로 표적 및 배경을 모델링한 후 각 텍스쳐마다 영역을 분류하고 재질을 부여한다. 대기 모델링을 수행한 결과를 이용하여 각 재질마다 표면 온도를 계산한 후 센서에서 바라본 합성 적외선 영상을 생성하게 된다. 이후 센서 효과를 부여하면 최종적인 합성 적외선 영상이 완성된다.



[그림 5] 합성 적외선 영상 생성 절차

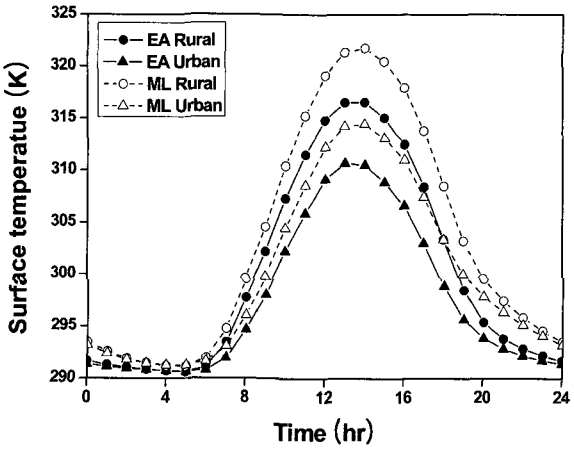
가. 물체의 표면 온도

시간에 따른 표면 온도의 계산은 전도, 대류 및 복사 열전달을 모두 고려하고 있다. 이 중에서 태양에 의한 복사 열전달이 시간에 따른 표면 온도 변화의 주요한 요인으로 작용한다. 시뮬레이션을 위한 대기 조건으로는 구름이 존재하지 않고 바람이 없는 맑은 날을 선택하였으며, 대기 온도 변화는 대전 지역의 30년 동안의 기상청 평균값을 이용하였다. 표적의 재질은 건물의 재질로 많이 사용하는 회색 콘크리트를 시뮬레이션 대상으로 삼았다. 이 회색 콘크리트는 두께 160mm를 가지며 상세한 물리적인 특성은 표 1과 같다. 건물의 옥상과 같이 지평면과 나란히 수평으로 이루어져 있으며 내부는 295K의 온도를 유지하는 것으로 가정을 하고 시간에 따라 변화하는 외부의 표면 온도를 계산하였다.

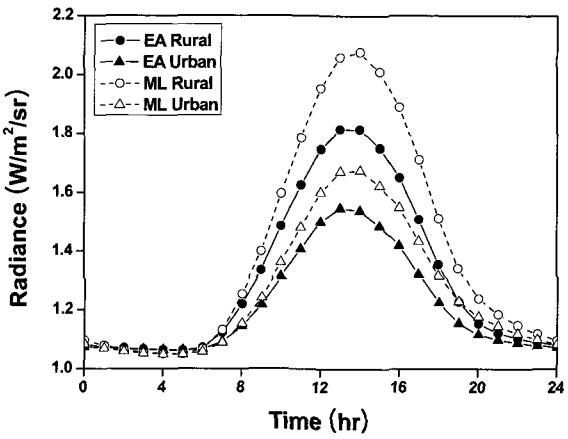
그림 6은 시간에 따른 물체의 표면 온도 변화를 나타내고 있다. 두가지 에어로졸 모두에 대하여 동아시아 표준 대기의 표면 온도가 중위도 표준 대기에 비해 낮게 분포함을 알 수 있다. 시골 에어로졸의 경우 오후 4시에 5.5K의 최대 표면 온도 차이를 보이며, 도시 에어로졸은 오후 5시에 4.5K의 최대 표면 온도의 차이를 보인다. 이러한 차이는 동아시아 표준 대기를 적용한 경우 대기에 의한 태양 에너지의 감소가 중위도 표준 대기의 경우보다 크기 때문에 발생하는 것이다. 낮 12시의 경우 동아시아 표준 대기 및 시골 에어로졸의 직사 태양 조사량은 743.8W/m^{2}으로 중위도 표준 대기의 경우보다 14.7W/m^{2}만큼 감소한 에너

[표 1] 회색 콘크리트의 물리적 특성

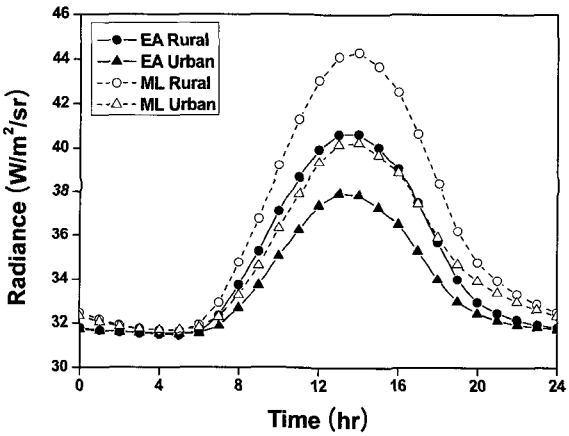
Physical Properties	Gray concrete
Conductivity(W/m/K)	1.046
Specific heat(J/kg/K)	656.9
Density(kg/m^3)	2300
Natural convection coeff.(W/m^2/K)	20
Absorption coefficient	0.9
Emissivity(MWIR)	0.98
Emissivity(LWIR)	0.97



[그림 6] 시간에 따른 물체의 표면 온도 분포



[그림 7] 시간에 따른 radiance 비교(중적외선)



[그림 8] 시간에 따른 radiance 비교(원적외선)

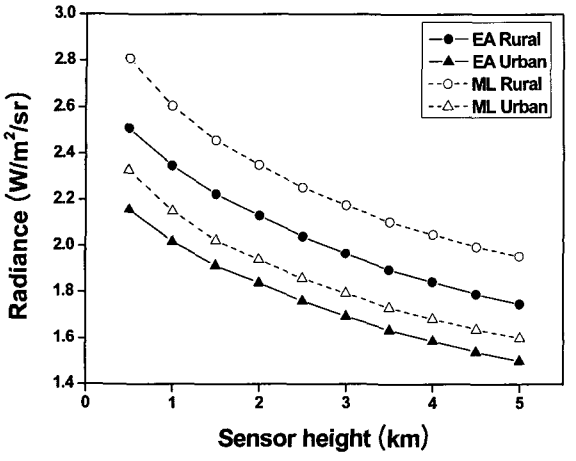
지를 보였다. 같은 시각 도시 에어로졸의 경우에는 동아시아 표준 대기를 적용한 경우 직사 태양 조사량이 402.8W/m^{2}이며 중위도 표준 대기의 경우 410.5 W/m^{2}를 나타내었다. 시간에 따른 이러한 태양 에너지의 차이가 물체의 표면 온도 차이를 가져온다.

나. Radiance

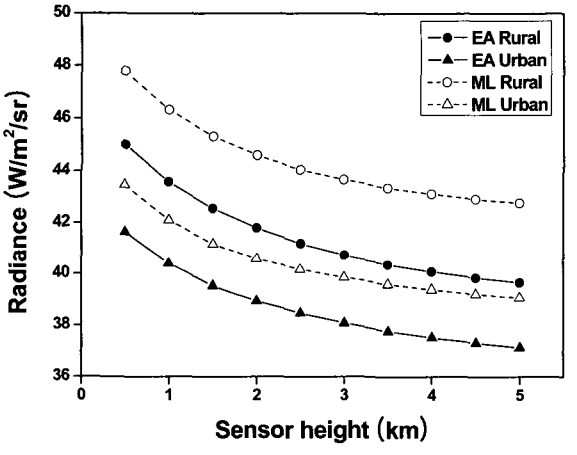
Radiance는 해당 시각에서의 표면 온도, 태양에 의한 반사 및 센서와 표적 사이의 대기 효과를 모두 고려하여 계산되는 값으로 표적 및 배경의 radiance 차이가 결국 배경으로부터 표적을 식별할 수 있도록 한다. 동아시아 표준 대기가 합성 적외선 영상의 radiance에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시간에 따른 파장대 및 에어로졸별 radiance를 비교하고, 특정 시각에 대하여 지상에서 수직한 방향으로 센서 높이에 따른 파장대 및 에어로졸별 radiance를 구하였다.

센서 높이 5km에서 1시간 간격으로 계산된 radiance를 서로 비교한 결과, 그림 7 및 그림 8에서와 같이 새벽 시간대에서는 동아시아 표준 대기와 중위도 표준 대기가 거의 비슷한 값을 보인다. 그러나, 태양의 영향이 미치는 대부분의 시간대에서는 표준 대기에 따른 radiance의 차이가 존재하며, 동아시아 표준 대기의 경우 파장대 및 에어로졸에 관계없이 중위도 표준 대기를 적용한 경우보다 radiance가 낮게 분포하고 있다. 이것은 동아시아 표준 대기가 표면 온도, 센서 높이에 따른 대기 투과도 및 태양으로 인한 반사 에너지가 모두 중위도 표준 대기보다 낮게 분포하기 때문이다. 에어로졸에 의한 분포는 두 파장대 모두 시골 에어로졸일 때 값의 차이가 많이 존재하며 낮 2시 및 3시에서 최대 차이를 보인다. 특히, 원적외선 파장대의 경우 동아시아 표준 대기 및 시골 에어로졸을 적용한 경우의 radiance가 중위도 표준 대기 및 도시 에어로졸을 적용한 경우와 거의 비슷한 radiance를 나타낸다.

그림 9와 그림 10은 각각 낮 12시에 해당하는 중적외선 파장대 및 원적외선 파장대에서의 센서 높이에 대한 radiance의 변화를 나타내고 있다. 같은 파장대 및 에어로졸에 대하여 표준 대기별 radiance의



[그림 9] 센서 높이에 따른 radiance 비교(중적외선)



[그림 10] 센서 높이에 따른 radiance 비교(원적외선)

변화는 센서 높이가 커짐에 따라 거의 일정하게 감소하는 경향을 보인다. 구체적으로 보면 중적외선 영역에서 시골 및 도시 에어로졸에 대하여 센서 높이별 평균적인 표준 대기의 radiance 차이가 각각 0.226 W/m^2/sr 및 0.11W/m^2/sr으로 나타난다. 원적외선 영역의 경우에는 시골 및 도시 에어로졸에 대하여 각각 2.903W/m^2/sr 및 1.784W/m^2/sr으로 나타난다. 동아시아 표준 대기를 적용한 경우 중위도 표준 대기에 비해 시골 에어로졸에 대하여 9.9%(중적외선) 및 6.5%(원적외선) 정도 radiance가 감소하는 것으로 나타난다. 도시 에어로졸의 경우 시골보다는 radiance의 감소 비율이 낮은 5.9%(중적외선) 및 4.4%(원적외선)으로 시골 에어로졸에서 더 큰 radiance의 차이를 보인다.

5. 맺음말

동아시아 표준 대기는 한반도 및 주변 지역을 대상으로 구축된 표준 대기로서 기존의 중위도 표준 대기와는 다른 분포를 가진다. 따라서, 동아시아 표준 대기를 적용한 합성 적외선 영상은 기존과는 다른 결과를 보이며, 본 논문에서는 동아시아 표준 대기의 적용이 합성 적외선 영상에 미치는 영향을 기존의 중위도 표준 대기를 사용한 결과와 비교하여 분석하였다. 합성 적외선 영상 생성에서 단계별 결과값인 대기 투과도, 표면 온도 및 radiance에 대하여 다양한 환경 하에서의 동아시아 표준 대기의 영향을 알아보았다. 본 연구를 통해 도출된 주요한 결론은 다음과 같다.

- 동아시아 표준 대기와 중위도 표준 대기는 여름에 수증기의 연직 분포에서 많은 차이를 보이며, 이로 인해 동아시아 표준 대기를 적용한 경우 대기 투과도가 낮게 나타난다. 중적외선 파장대보다 원적외선 파장대에서 또한 센서 높이가 증가할수록 대기 투과도의 차이가 더욱 커진다. 특히, 원적외선 영역에서 동아시아 표준 대기를 적용한 시골 에어로졸의 대기 투과도가 중위도 표준 대기의 도시 에어로졸에 비해서도 낮게 분포한다.
- 같은 대기 온도의 분포를 가지는 경우라고 할지라도 동아시아 표준 대기를 적용한 경우 지면에 도달하는 태양 복사 에너지가 감소하여 물체의 표면 온도가 낮게 분포한다. 표준 대기에 따라 시골 에어로졸의 경우 최대 5.5K까지의 표면 온도 차이를 보이며, 도시 에어로졸은 최대 4.5K의 표면 온도 차이를 나타낸다.
- 합성 적외선 영상의 radiance는 대기 투과도, 표면 온도 및 센서와 표적사이의 대기 효과를 모두 고려하여 계산되는 값이다. 동아시아 표준 대기의 경우 대기 투과도, 표면 온도 및 태양으

로 인한 반사 에너지가 모두 낮게 분포하기 때문에 중위도 표준 대기에 비해 낮은 radiance를 가진다.

- 낮 시간대에서 표준 대기의 차이에 의한 radiance의 차이가 많이 존재하며, 중적외선 및 원적외선 파장대 모두 시골 에어로졸에서 radiance의 차이가 더 크게 나타난다. 특히, 원적외선 파장대의 경우 동아시아 표준 대기 및 시골 에어로졸을 적용한 경우의 radiance가 중위도 표준 대기 및 도시 에어로졸을 적용한 경우와 거의 비슷한 radiance를 나타낸다.
- 낮 12시의 경우 표준 대기에 대한 radiance의 차이는 센서 높이에는 덜 민감하며 중적외선 파장대 및 시골 에어로졸에서 radiance 차의 비율이 가장 높게 나타난다.

합성 적외선 영상에 있어 동아시아 표준 대기는 기존의 중위도 표준 대기와는 다른 영향을 미치며, 한반도 및 주변 지역의 대기 특성을 잘 반영한 합성 적외선 영상을 생성하기 위하여 이 지역의 대기 복사 및 투과 특성을 반영하는 동아시아 표준 대기를 적용하는 것이 바람직하리라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Duong, N., Wegener, M., "SensorVision Radiometric Equations Version 2.2", DSTO Technical Report, DSTO-TN-0193, 1999.

[2] Duong, N., Wegener, M., "Validation of the SensorVision Thermal Emission Model", DSTO Research Report, DSTO-RR-0212, 2001.

[3] Cathala, T., Goff, A. L., Gozard, P., Latger, J., "Realtime Simulation Tools in the CHORALE Workshop", Proc. SPIE Vol. 6239, 2006.

[4] Sohn, B., Ryu, G., Oh, H., Park, S., "IR Radiance Simulation Study Using Atmospheric Transmittance Model", MADC-404-040464, 국방과학연구소, 2004.

[5] Berk, A., Anderson, G. P., Bernstein, L. S., Acharya, P. K., Dothe, H., Matthew, M. W., Adler-Golden, S. M., Chetwynd, J. H., Richtsmeier, S. C.,, Pukall, B., Allred, C. L., Jeong, L. S., Hoke, H. L., "MODTRAN 4 : Radiative Transfer Modeling for Atmospheric Correction", SPIE Vol. 3756, 1999.

[6] Anderson, G. P., Berk, A., Acharya, P. K., Matthew, M. W., Bernstein, L. S., Chetwynd, J. H., Dothe, H., Adler-Golden, S. M., Ratkowski, A. J., Felde, G. W., Gardener, J. A., Hoke, H. L., Richtsmeier, S. C., Pukall, B., Mello, J., Jeong, L. S., "MODTRAN 4 : Radiative Transfer Modeling for Remote Sensing", SPIE Vol. 4049, 2006.

[7] McClatchey, R. A., Fenn, R. W., Selby, J. E. A., Volz, F. E., Garing, J. S., "Optical Properties of the Atmosphere(Third Edition)", AFCRL-72-0497, AD 753075. Air Force Geophysical Laboratory, L.G. Hanscom Field, Massachusetts, 1972.