

다목적실용위성 2호 MSC 총복사량의 모델 계산

김용승 · 강치호
한국항공우주연구원 위성운영센터

Model Calculation of Total Radiances for KOMPSAT-2 MSC

Yong-Seung Kim and Chi-Ho Kang

Satellite Operation and Application Center, Korea Aerospace Research Institute

Abstract : We have performed the calculation of total radiances for the KOMPSAT-2 Multispectral Camera (MSC) using a radiative transfer model of MODTRAN and examined its results. To simulate four seasonal conditions in the model calculation, we used the model atmospheres of mid-latitude winter and summer for calculations of January 15 and July 15, and US standard for April 15 and October 15, respectively. Orbital parameters of KOMPSAT-2 and the seasonal solar zenith angles were taken into account. We assumed that the meteorological range is the tropospheric aerosol extinction of 50 km and surface albedo is the global average of clear-sky albedo of 0.135.

MSC contract values are found to be considerably greater in the MSC spectral range than the total radiances calculated with the above general conditions. It is also shown that the spectral behavior of model results with the constant surface albedo differs from the pattern of MSC contract values. From these results, it can be inferred that the forthcoming MSC images would be somewhat dark.

Key Words : Total Radiance, MODTRAN, KOMPSAT-2, Multispectral Camera (MSC), Image, Surface albedo

요약 : 대기복사모델인 MODTRAN을 이용해 다목적실용위성 2호 탑재체인 Multispectral Camera (MSC)의 총복사량에 대한 계산을 수행하고 그 결과를 분석해 보았다. 모델 계산에서 4 계절 조건을 모의실험하기 위해 1월 15일, 7월 15일 계산에 대해 중위도 동절기 및 하절기 모델대기를, 4월 15일, 10월 15일에 대해 US 표준대기를 각각 사용했다. 다목적실용위성 2호 궤도 조건과 각 계절에 대한 대표적인 태양천정각 (solar zenith angle)이 고려되었다. 시정거리는 대류권 에어로솔 소광계수 (tropospheric aerosol extinction)에 해당하는 50 km가, 지표의 알베도는 맑은 날 지구 연평균 값에 해당하는 0.135가 가정되었다.

MSC 계약서 값은 위 일반적 조건을 가정하고 얻은 모델 계산 총복사량보다 MSC 관측 파장대역 대부분에서 상당히 크다는 것을 알게 되었다. 또한 균일한 지표 알베도를 가정하고 얻은 모델 결과의 분광파장 특징이 MSC 계약서 값의 경향과 다름을 보였다. 이들 결과로부터 향후 획득될 MSC영상은 비교적 어두운 영상이 될 것으로 추론된다.

2001년 7월 15일 접수 : 2001년 8월 25일 수리.

1. 서론

1999년 12월 21일에 성공적으로 발사되어 임무 수행중인 다목적실용위성 1호에 이어 현재 한국항공우주연구원에서는 다목적실용위성 2호 개발 사업을 수행하고 있다. 다목적실용위성 2호는 Multispectral Camera (MSC)만을 탑재하게 되며 관측자료는 대규모 재난감시, GIS 응용, 지도제작, 자원탐사 등에 활용이 기대되고 있다. MSC의 관측 파장대역은 한 개의 panchromatic 채널과 4개의 multispectral 채널로 구성되며 각 파장대역은 다음과 같다: PAN (500~900nm), MS1 (450~520nm), MS2 (520~600nm), MS3 (630~690 nm), MS4 (760~900 nm). 관측 파장대역의 선정은 향후 자료의 활용과 밀접한 관계를 가지고 있으며 따라서 센서가 관측할 각 파장대역의 특성은 센서 설계 이전에 정확히 이해되어야 한다.

센서 설계와 관련된 중요한 파라미터 중의 하나로 입사복사량 (input radiance)이 있으며 위성에 탑재된 센서에 입사하는 총복사량 (total radiance)을 의미한다. 총복사량은 센서의 민감도를 표현하는 신호대잡음비 (signal-to-noise ratio)의 결정에 관계함으로써 센서의 설계에 직접 영향을 미치기 때문에 센서 설계 이전에 관심 지상물체에 의해 반사되는 양을 예측하는 것은 매우 중요한 일이다. 그러나 실제로 총복사량은 지상물체에 의해 반사되고 대기에 의해 흡수, 산란된 후에 센서에 도달하는 태양광이기 때문에 정량적인 계산을 위해서 이들 지표특성과 대기효과들이 충분히 고려된 복사전달모델이 요구된다. 그와 같은 요구조건을 충실히 만족시킬 수 있는 복사전달모델 중의 하나가 Moderate Resolution Transmittance (MODTRAN) 모델이다. 본 연구에서는 MODTRAN 모델을 이용해 다목적실용위성 2호에 탑재될 MSC의 관측 파장대역 (450~900 nm)에 대해 총복사량을 계산하고 이들 결과와 MSC 계약서에 명시되어 있는 값들과 비교검토 함으로써 그 타당성을 검증하고자 한다.

2. MODTRAN 소개

MODTRAN 모델은 0부터 $50,000 \text{ cm}^{-1}$ ($0.2 \mu\text{m}$ ~ 무한대)까지의 주파수 범위에 대해 2 cm^{-1} 의 스펙트럼 해상도마다 대기 투과율 (transmittance)과 복사량 (radiance)을 계산하는데 사용된다. MODTRAN은 LOWTRAN (5 cm^{-1}) (Kneizys *et al.*, 1988)보다 높은 고해상도의 스펙트럼 해상도에 대한 요구 때문에 개발되었다. MODTRAN은 밴드모델을 제외하고 다음과 같은 LOWTRAN 7의 모든 기능을 수행할 수 있다. 분자산란, 구름, 안개, 비 등의 흡수 및 산란이 고려되고 대기 경사 경로와 경로 감쇠량의 계산에는 굴절과 지구곡률이 고려되었다. 모델에서는 대표적 대기, 에어로솔, 구름 및 강우 모델을 사용할 수 있거나 이들에 대해 사용자가 별도로 정의해 사용할 수 있게 되어 있다. 또한 tropical, midlatitude summer/winter, subarctic summer/winter, 1976 U.S. standard의 6개 기준 대기모델과 사용자 정의 모델을 실행시킬 수 있다. MODTRAN의 밴드모델은 온도와 압력에 비례하는 2개 모수 밴드모델로 저장되어 있는 스펙트럼 데이터베이스를 이용한다. 스펙트럼 데이터베이스는 13개 분자 종류의 각각에 대해 HITRAN96의 line parameter로부터 직접 유도되었다. 본 연구에 사용된 MODTRAN의 버전은 3.7이며 중요한 개선 내용 중의 하나는 사용자가 구름과 강우 묘사를 쉽게 구현할 수 있게 되었다는 점이다. 예를 들어 구름은 주어진 대기의 어느 곳에나 놓을 수 있고 에어로솔과 공존하거나 혼합 상태의 구성을 가질 수 있다. 두 번째 중요 개선 내용은 위에서 언급한 HITRAN96 분광 데이터베이스에 기초한 밴드모델을 사용했다는 점이다.

3. MODTRAN 입력 데이터

본 연구에서는 기본적으로 2000년 1월, 4월, 7월, 10월의 태양 입사각, 궤도 조건 등에 대해 MODTRAN 모델 계산을 수행했고 이 4달의 총복사량

평균값을 연평균 값으로 가정했다. 본 논문에서는 모델 계산에 사용된 모든 입력 파라미터에 대한 언급을 피하고 주요 파라미터에 대해 기술하고자 한다. 1월, 4월, 7월, 10월의 경우에 대해 대기모델은 mid-latitude winter, US standard, mid-latitude summer, US standard가 각각 가정되었다. 지표 표면 알베도는 0.135로 NASA ERBE (Barkstrom, 1984) 관측치의 1985년 4월, 7월, 10월, 1986년 1월의 맑은 날의 알베도에 대한 지구 평균값에 해당하며 한반도의 맑은 날 알베도 (10~14%) 값과 유사하다. 에어로솔 소광계수 (extinction)는 대류권 및 성층권 배경 값이 각각 사용되었으며 지표 표고는 대전지방 값인 0.1 km가 사용되었다. 다목적실용위성 2호의 임무고도인 685.13 km를 가정하고 위 4달의 각각 중심 일에 대해 계산하였다. 각 달에 대한 태양천정각은 Satellite Tool Kit에서 유도된 값을 사용하였다. 계산에 사용된 스펙트럼 대역은 0.4~0.9 μm 이다.

4. 결과 및 토의

4계절에 대해 MODTRAN을 이용해 계산한

MSC 총복사량이 Fig. 1에 있다. 총복사량은 MODTRAN에서 계산된 total radiance로 atmospheric radiance, path scattered radiance, ground reflected radiance의 합이다. 계절에 상관없이 보여지는 공통적인 특징은 가시광선 파장대역에서 근적외선 파장대역으로 옮겨 갈수록 총복사량이 점차 감소하고 있다는 점이다. 이 특징은 지구대기상층부에 도달하는 가용한 태양의 단파장 에너지 분포 특성과 일치한다 (Fig. 2). Fig. 1에서 계절간 차이는 태양천정각의 차이에 기인하며 예상대로 태양천정각이 작은 하절기에 총복사량이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 이 4달의 총복사량을 평균하여 연평균 값으로 하고 이를 MSC 계약서 값과 비교한 결과가 Fig. 3에 있다. 두 값의 차이가 MSC 관측 파장대역 (450~900 nm) 전반에 걸쳐 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 근적외선 영역에서는 크게 4배 정도의 차이도 보이고 있다. MSC 계약서 값은 가시광선 파장대역에서 근적외선 파장대역으로 옮겨 갈수록 총복사량 값이 더욱 증가함을 보여, 대기상층부에서 가용한 태양에너지로부터 표면 알베도가 파장에 따라 일정한 지상물체에 의해 반사되는 물리적 특성과 다른 경향을 보이고 있다.

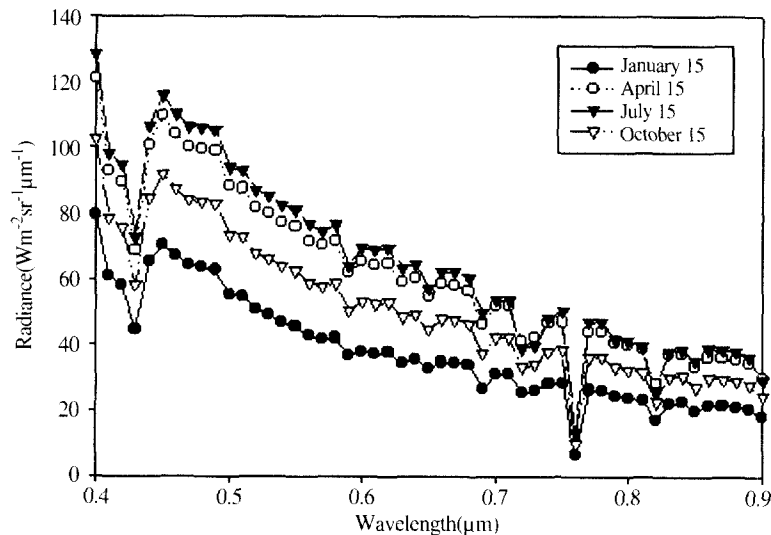


Fig. 1. MSC total radiances calculated for four seasonal months using MODTRAN.

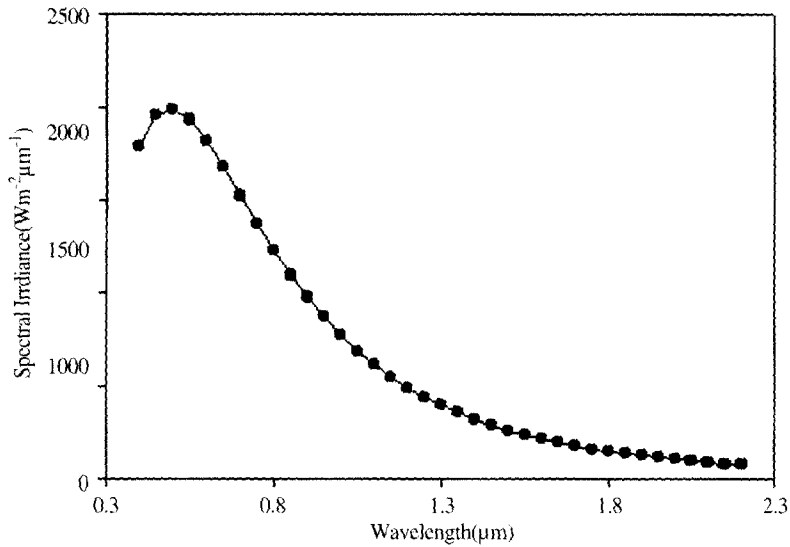


Fig. 2. Solar spectral irradiance at the top of the atmosphere (assuming a black body of 5900K).

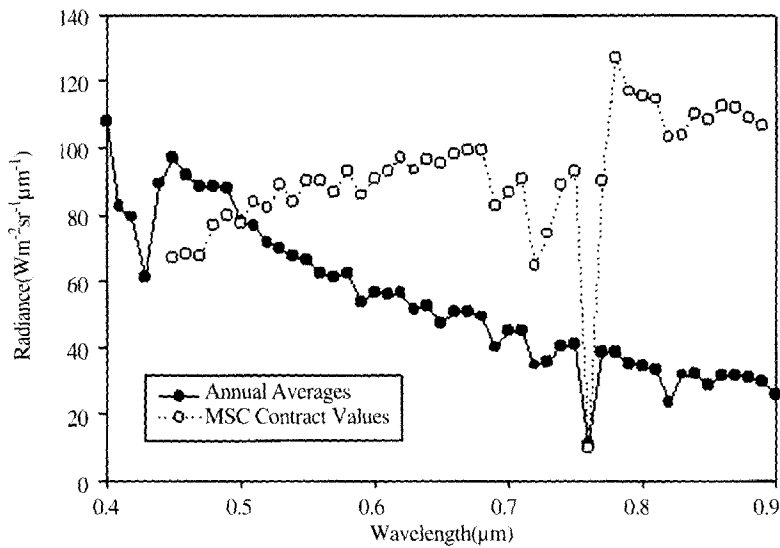


Fig. 3. Comparison of MSC contract values with annual averages of the calculated total radiance.

지상물체의 표면 알베도는 정도의 차이가 있지만 일반적으로 파장에 따라 변함으로 이들 효과의 총복사량에 대한 영향을 검토해 볼 필요가 있다. Fig. 4에 각 지상물체에 대해 파장에 따라 표면 알베도가 변하는 경우에 대한 모델 계산결과를 MSC 계약서 값과 비교하였다. 표면 알베도를 제외한 모델의 입력 값들은 Fig. 1에서 10월 15일 경

우의 결과가 연평균 결과와 유사하기 때문에 10월 15일 조건들이 사용되었다. 구름과 물의 표면 알베도는 파장의 증가에 따라 작은 증가와 감소를 각각 보이는 반면 모래와 초지는 0.55 m와 0.69 m에서 현저한 증가 (Bowker et al. 1985)를 나타내 이들 영향이 총복사량에도 반영되었음을 알 수 있다. 표면 알베도의 파장에 따른 변화가 작은 구름

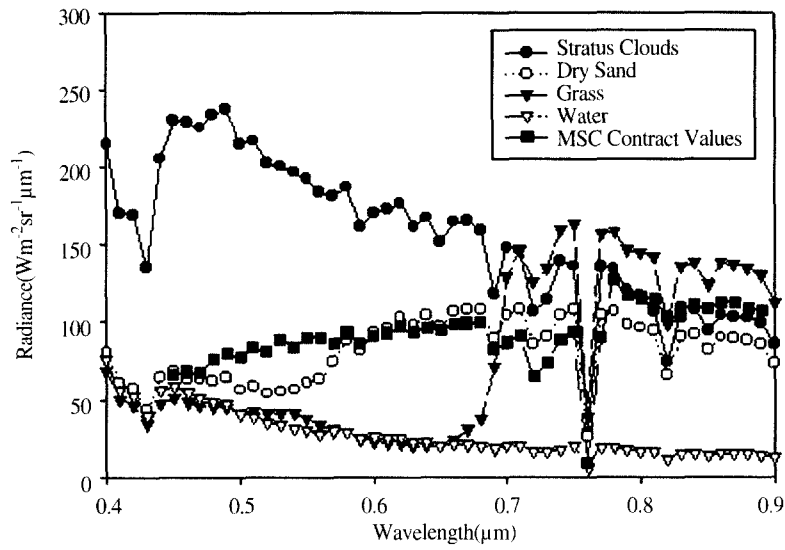


Fig. 4. Total radiances simulated for different surface types of spectrally varying albedos.

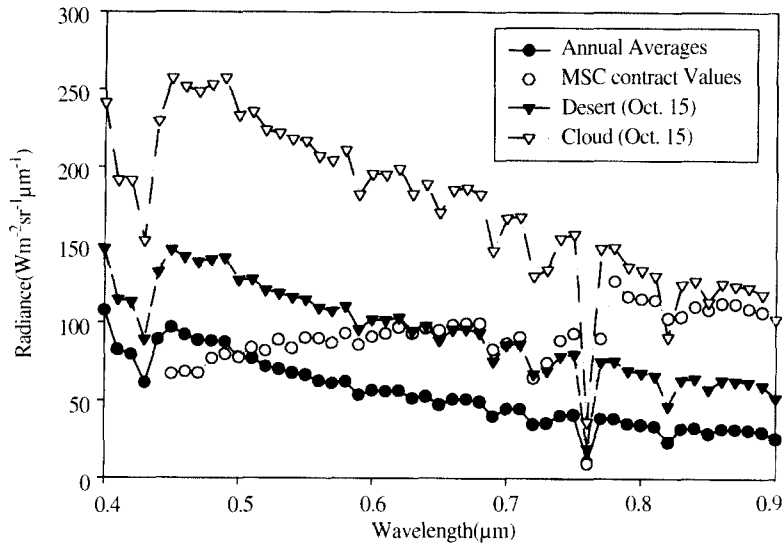


Fig. 5. MSC total radiances for desert and cloud with constant surface albedos.

과 물의 경우에 Fig. 1의 결과처럼 파장이 증가함에 따라 총복사량이 점차 감소함을 볼 수 있고 모래와 초지의 경우에는 표면 알베도의 영향을 받아 총복사량이 증가했다. 본 결과를 통해 총복사량이 지상물체의 반사특성에 민감함을 알 수 있다. 또한 MSC 계약서 값들의 분포가 표면특성이 다른 이들 지상물체들에 의한 복사특성의 어느 경우와

도 일치하지 않음을 알 수 있다. 실제로 MSC 계약서 값은 다목적실용위성 1호 EOC 센서의 파장별 입사복사량 값과 동일하며 미국 TRW사에서 계산할 때 지표면이 0.5의 균일한 알베도를 갖는 것으로 가정해서 얻어졌다. MODTRAN의 결과와 비교할 때, 만일 균일한 지표 알베도를 가정했다면 파장이 증가함에 따라 총복사량은 점차 감소하



Image Plane Histogram

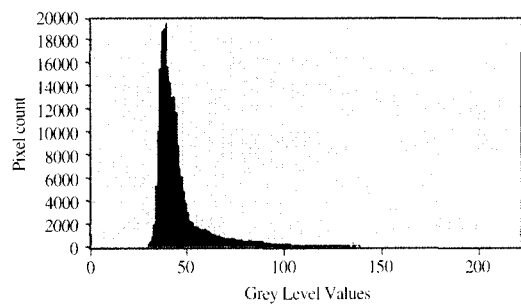


Image Plane Histogram

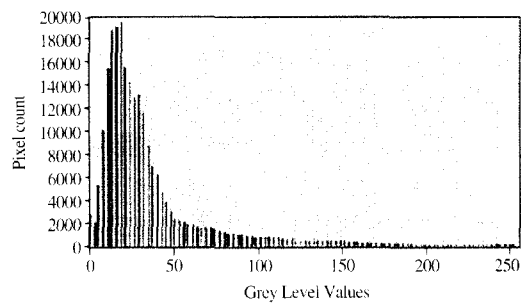


Fig. 6. KOMPSAT-1 EOC images: original (left), with linear contrast stretch (right).

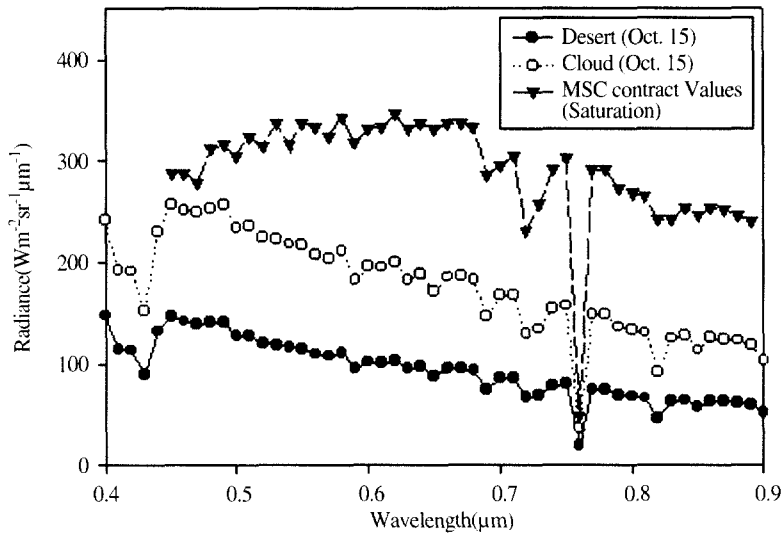


Fig. 7. Comparison of MSC contract values (saturation) with model results for desert and cloud.

는 경향을 보였어야 할 것이다.

모델계산 결과의 이해를 더하기 위하여 Fig. 3의 조건 보다 밝은 지상물체인 사막과 구름 표면으로부터 반사/입사 되는 경우를 추가로 모의실험하였다. MSC 계약서 값이 지표 알베도가 일정하다고 가정하여 유도된 것이기 때문에 사막에 대해 0.3을 구름에 대해 0.6을 각각 이용하고 위에서 언급한 이유로 10월 15일 조건들이 사용되었다. Fig. 5의 결과에서 보듯이 가시광 영역에서는 MSC 계약서 값이 사막의 경우 값보다 작고 근적외선 영역에서는 MSC 계약서 값이 파장이 증가함에 따라 점차 커져 구름 경우의 값에 이르는 것을 알 수 있다. MSC의 채널 MS3와 MS4가 이처럼 밝은 지상 목표물을 기준으로 설계되면 사막이나 구름보다 알베도가 낮은 일반 지상 관측물들은 해당 영상에서 일반적으로 어둡게 나타날 것으로 예측된다. 이와 같은 현상은 이미 다목적실용위성1호 panchromatic 밴드 (500~900 nm) EOC 영상 자료 처리에서 경험했기 때문에 유사한 경향이 MSC영상에도 나타날 것으로 예상된다. 예를 들어 Fig. 6의 좌측EOC 영상을 보면 쉽게 알 수 있다. EOC의 최대 게인 값 4를 이용해 관측했음에도 불구하고 영상이 전반적으로 어둡게 나타났다. Linear

stretch 기법을 이용해 영상 처리한 우측영상이 시각적으로 다소 개선됨을 볼 수 있다.

끝으로 Fig. 7에 MSC 계약서의 포화 (saturation)값과 사막과 구름 경우의 계산 값을 비교해 보았다. 포화 값이 비교적 높게 설정되어 밝은 지상물체에 대한 MSC의 포화문제는 심각하지 않을 것으로 추정된다.

5. 결론

본 연구의 목적은 다목적실용위성 2호에 탑재될 MSC의 관측 파장대역 (450~900 nm)에서 관측될 총복사량을 MODTRAN 모델을 이용해 계산하여 이들 결과와 MSC 계약서에 명시되어 있는 값들과 비교검토 함으로써 그 타당성을 검증하는데 있다. 각 계절의 대표 달로써 1월, 4월, 7월과 10월 경우에 대해 모델 계산을 하고 이들 결과의 총복사량을 평균한 연평균 값과 MSC 계약서 값과 비교해 보았다. MSC 계약서 값은 맑은 날에 대해 지표면이 0.5의 균일한 알베도를 갖는 것으로 가정해서 얻어졌기 때문에 한반도를 비롯한 전구의 평균 알베도 보다 높은 값으로 인해 본 연구

결과보다 총복사량이 상당히 큼을 알 수 있었다. 또한 균일한 알베도를 가정하고 얻어지는 파장에 따른 총복사량의 변화 경향이 일반 지상물체가 보이는 특성과 다르게 나타남을 볼 수 있었다. 이러한 결과로부터 향후 획득될 MSC영상은 비교적 어두운 영상이 될 것이라 추론되며 전자 계인 조정을 포함한 다각적인 대책이 검토되고 수립되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Barkstrom, B.R., 1984. The Earth Radiation Budget Experiment (ERBE), *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 65, 1170-85.
- Bowker, D.E., R.E. Davis, D.L. Myrick, K. Stacy, and W.T. Jones, 1985. Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies, *NASA RP-1139*, NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23665, USA.
- Kneizys, F.X., E.P. Shettle, L.W. Abreu, J.H. Chetwynd, G.P. Anderson, W.O. Gallery, J.E.A. Selby, and S.A. Clough, 1988. *Users guide to LOWTRAN 7*, AFGL-TR-88-0177, Hanscom AFB, MA, USA.
- Barkstrom, B.R., 1984. The Earth Radiation Budget