

Landsat TM 자료를 이용한 지표면 수문인자 변화 분석

○채효석*, 송영수**

1. 서 론

본 연구에서는 Landsat TM 자료와 같은 제 3세대 위성에서 획득된 자료를 이용하여 환경변화 관측이나 지하수나 지표수 등 수문 인자와 관련된 정량적 정보 추출을 위해서 필요한 Landsat TM 자료의 대기보정을 실시하였다. Landsat TM 자료의 대기보정을 위해서 1995년도 5개 날짜에 획득된 자료가 이용되었으며, 대기보정을 통해서 지표면 알베도나 식생지수 등과 같은 인자들의 시·공간적 분포 양상을 파악할 수 있었다.

2. 이론적 배경

2-1. 지표면 반사도

Landsat TM 센서와 같은 제 3세대 위성은 용설(snow hydrology), 증발산(ET) 및 유출 등과 같은 수자원 분야에서 이용될 수 있는 정량적 정보를 추출할 수 있으며, 이러한 정보를 획득하기 위해서는 원격탐사 자료의 대기보정이 필수적으로 요구된다. 지금까지 대기보정을 위한 여러 가지 모델이 제안되었지만, 이러한 모델들은 많은 입력자료를 요구한다. 그러나, 우리나라의 경우 입력자료로 사용하기 위한 자료가 충분히 획득되고 있지 않는 실정이며, 따라서 본 연구에서는 영상자료만을 이용하여 대기보정을 실시하는 COST 모델을 이용하여 대기보정을 실시하였다.

일반적으로 지구 표면이 완전한 반사체(Lambertian's body)라고 가정하고, 대기에 의한 경로 휘도 $L_p(\lambda)$ 를 고려하지 않는다면 지표면 반사도 $R_S(\lambda)$ 는 다음과 같다.

$$R_S(\lambda) = \frac{D \cdot \pi \cdot L_0(\lambda)}{E_{sun}(\lambda) \cdot \cos \theta_S} \quad (1)$$

여기서, $R_S(\lambda)$ 는 지표면 반사도, $L_0(\lambda)$ 는 지표면 방사휘도($mW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), $E_{sun}(\lambda)$ 는 태양 복사에너지($mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$), θ_S 는 태양 천정각(deg), τ_a 는 지표면에서 센서까지의 경로에 따른 대기의 투과율, τ_v 는 태양에서 지표면까지의 경로에 따른 대기의 투과율, D 는 지구와 태양 사이의 거리(AU), E_{down} 은 대기중에서 산란되어 입사하는 태양 복사에너지($mW \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)이다.

* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

** 전북대학교 공과대학 자원공학과 교수

영상 내에 존재하는 물이나 그림자 등과 같은 어두운 곳에서의 방사휘도 $L_s(\lambda)^* \equiv 0$ 라고 가정한다면, $L_0(\lambda)^* = L_p(\lambda)$ 가 성립되며, 주로 이러한 화소에서 실제 반사도는 0이다. 따라서, 경로휘도 $L_p(\lambda)$ 는 다음과 같이 계산된다(Chavez, 1996).

$$L_p(\lambda) = \frac{\{L_{max}(\lambda) - L_{min}(\lambda)\}}{255} \times DN(\lambda)^* + L_{min}(\lambda) - 0.01(E_{sun}(\lambda) \cdot \cos \theta_s \cdot \tau_a) / \pi \quad (2)$$

2-2. 알베도 및 지표면 온도

원격탐사 자료로부터 정확한 알베도를 추정하기 위해서는 지표면의 분광반사도, 태양 방사조도(irradiance)의 분광분포 및 파장대 등이 고려되어야 한다(Brest & Goward, 1987). Landsat TM 자료의 경우 휘도의 분광분포가 $0.43 \sim 2.35 \mu m$ 의 범위를 가지게 된다. 따라서, 대기보정을 실시한 영상자료의 반사도를 이용하여 알베도를 계산하기 위해서 식생지역과 비식생지역으로 나누어 각각 (3)식과 (4)식과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha = 0.526R_s(TM2) + 0.362R_s(TM4) + 0.112R_s(TM7) \quad (3)$$

$$\alpha = 0.526R_s(TM2) + 0.474R_s(TM4) \quad (4)$$

한편, Landsat TM 센서에는 지표면 온도를 추출할 수 있는 열적외선 영역($10.4 \sim 12.5 \mu m$)의 센서를 탑재하고 있으며, Landsat TM의 밴드 6 자료를 이용하여 지표면 온도를 계산할 경우에는 위성에 탑재된 센서가 흑체(blackbody)와 접해있다는 가정하에서 다음과 같이 계산된다(Markham & Becker, 1985).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_o}(\lambda) + 1\right)} \quad (6)$$

여기서, T_s 는 지표면 온도(K), K_1 은 1차 보정상수($60.776K$), K_2 는 2차 보정상수($1,260.56mW-cm^{-2}-sr^{-1}-\mu m^{-1}$), $L_o(\lambda)$ 은 계산된 방사휘도($mW-cm^{-2}-sr^{-1}-\mu m^{-1}$)이다.

3. 연구방법

그림 1은 Landsat TM 자료를 이용하여 정량적인 알베도와 지표면 온도 등과 같은 지표면의 수문 인자의 변화 특성을 분석하기 위한 자료 처리의 흐름도를 나타낸 그림으로, 본 연구에서는 전처리과정(preprocessing)으로서 기하학적 보정과 대기보정을 실시하였다. 기하학적 보정은 1:25,000 지형도상에서 총 30개의 지상기준점을 설정하여 Affine 변환식에 필요한 각각의 계수를 계산하였다. 또한, 수치표고자료 등과 같은 GIS 자료와의 통합을 위해서 Landsat TM 자료는 최

근린 내삽법(nearest neighbor)을 이용하여 30m로 재배열되었다.

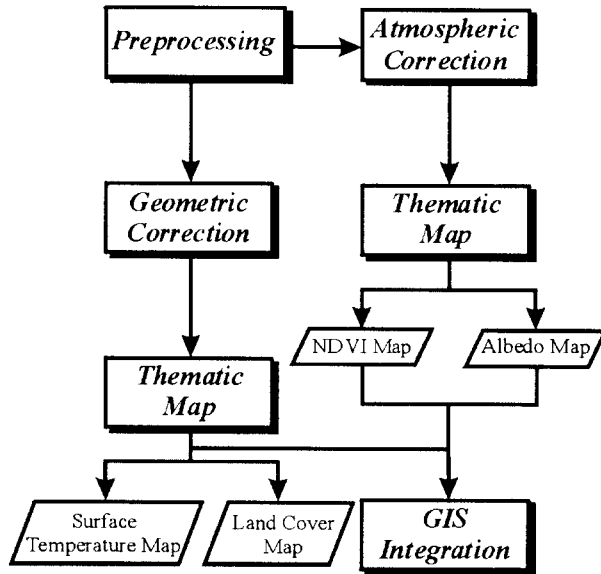


그림 1. Landsat TM 자료 처리 순서도

4. 결과 및 고찰

4-1. 지표면 알베도

COST 모델에 의해 대기보정을 실시한 Landsat TM 자료를 이용하여 알베도의 변화 특성을 분석하고, 알베도의 공간적인 분포 양상을 파악하기 위해 공간 분포도를 작성하였다(그림 2~그림 6). 전체적으로 토지피복 형태와 계절에 따른 알베도 변화가 잘 나타나고 있다. 또한, 저수지와 하천 등 수역에서 알베도가 다른 토지피복 형태에 대한 알베도보다 작게 나타나고 있으며, 1월 11일과 11월 27일에 계산된 알베도가 4월 1일, 5월 3일 및 10월 10일에 계산된 값보다 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

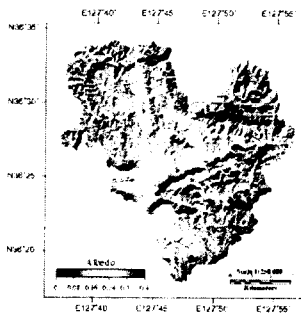


그림 2. 1월 11일의 알베도 분포

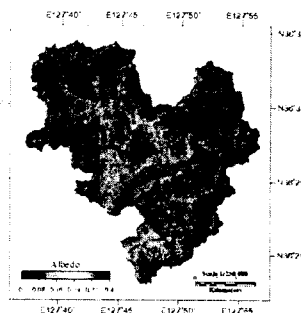


그림 3. 4월 1일의 알베도 분포

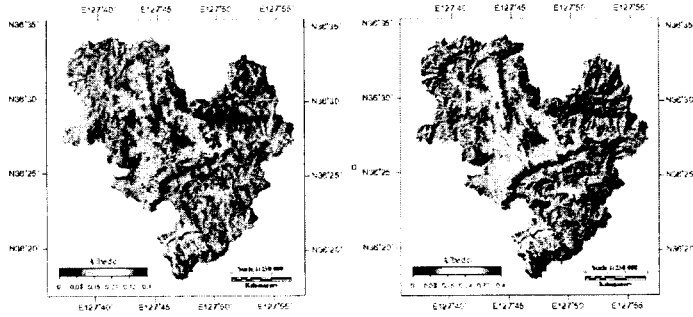


그림 4. 5월 3일의 알베도 분포 그림 5. 10월 10일의 알베도 분포

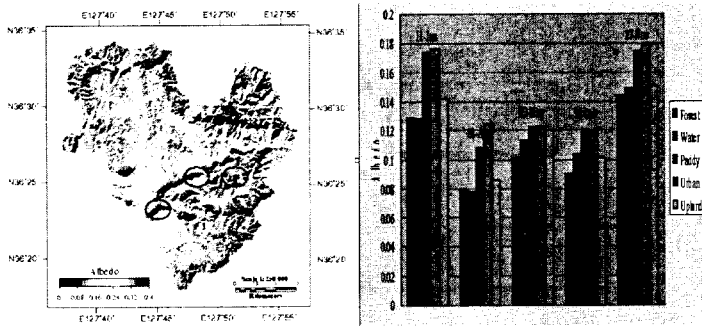


그림 6. 11월 27일 알베도 분포 그림 7. 토지피복별 알베도 변화

그림 7은 알베도를 토지피복별로 평균한 값을 나타낸 것으로, 전반적으로 1월 11일과 11월 27일에 높은 값을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 것은 1월 11일과 11월 27일에 태양 고도각이 상대적으로 작고 토양 수분량의 변화에 의해서 나타나고 있다. 논에서 나타나고 있는 알베도 변화 양상을 보면, 4월 1일에 0.108로 급격히 감소하다가 11월 27일에는 0.175 증가하는 것을 볼 수 있으며, 논에 관개를 위한 물의 공급량의 변화에 따라 알베도가 영향을 받고 있다. 또한, 식생 지역에서 계산된 알베도와 저수지나 하천 등을 포함한 수역에서 알베도가 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 이는 식생지역에서는 경사방향에 따라 알베도의 변화가 매우 크게 나타나고 있는 반면 물의 경우에는 거의 경사 방향에 따른 변화가 나타나고 있지 않음을 의미한다.

4-2. 지표면 온도분포

지표면 수분 인자 중 하나인 지표면 온도를 추출하기 위해서 지표면 온도의 공간분포도를 작성하였다(그림 8~그림 11). 전반적으로 산림지역에서는 낮은 지표면 온도를 보이고 있는 반면, 논과 밭 및 주거지역 등에서는 높은 지표면 온도를 나타내고 있다. 또한, 태양 복사에너지가 경사면에 따라 다르게 입사하기 때문에 경사방향에 따른 지형적 요소에 의해 온도분포가 다르게 나타나고 있다.

분석결과, 4월 1일에 약 3.86°C로 가장 큰 차이를 나타내고 있는 반면, 11월 27일 약 2.5°C로 가장 작게 추정되었다. 일반적으로 지표면 온도와 대기온도 사이의 차이는 동일한 식생조건일 경

우에는 약 2°C보다 작고, 식생이 산재되어 있는 경우에는 약 10°C 정도의 차이를 보이게 된다 (Choudhury et al., 1986; Huband & Monteith, 1986; Kustas et al., 1990). 따라서 본 연구에서 추정된 지표면 온도와 실제 기상관측을 통해 획득된 온도 차이가 2.5°C 내지 3.86°C의 범위를 가지고 있으므로, 매우 이상적인 결과를 얻을 수 있었다.

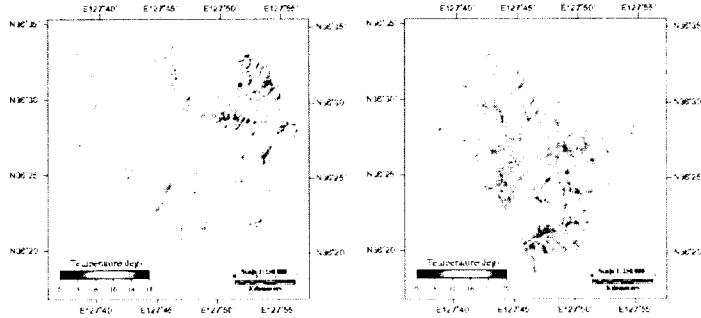


그림 8. 4월 1일의 지표면 온도 그림 9. 5월 3일의 지표면 온도

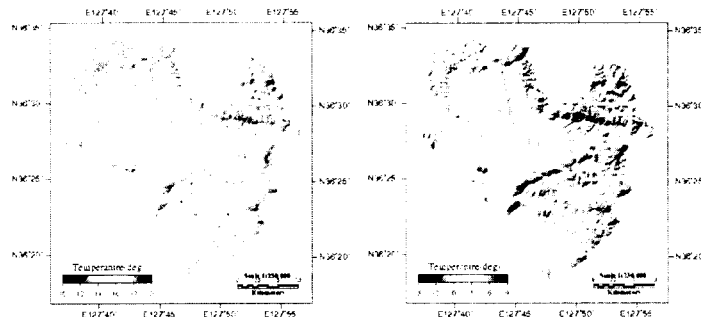


그림 10. 10월 10일의 지표면 온도 그림 11. 11월 27일의 지표면 온도

5. 결 론

알베도와 지표면 온도 등과 같은 지표면 수문인자의 정량적 변화 특성을 분석하기 위해 Landsat TM 자료에 대한 대기보정을 실시하였다. Landsat TM 자료에 대한 대기보정은 영상자료만을 이용하는 COST 모델을 이용하였다.

분석결과, 태양 고도각의 증가로 인해 식생이 성장하는 4월과 5월의 식생의 알베도 값이 1월과 11월에 비해 상대적으로 작게 나타났으며, 토양 중에 포함된 수분의 양에 따라 알베도가 토지피복별로 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. 특히, 알베도의 변화는 태양 고도각의 증가에 매우 민감하게 작용하며, 산림지역에서 나타난 그림자에 의한 효과도 다르게 나타나 알베도의 변화에 크게 작용하는 것으로 나타났다.

지표면 온도와 대기온도의 차이가 4월 1일에 3.86°C로 가장 크게 나타났으며, 11월 27일에 2.5°C로 가장 작게 계산되었다. 기상관측을 통해서 얻어진 대기온도와 Landsat TM 자료의 밴드 6을 이용하여 분석한 지표면 온도사이에 약 2.5°C 내지 3.86°C 차이를 나타내고 있다. 따라서, 대

기보정을 실시하지 않은 자료로부터 계산된 지표면 온도를 이용하여 열수지 요소를 계산하기 위해서 필요한 지표면 온도의 정량적 추출이 가능하였다.

6. 참고문헌

- Brest, C. L., & Goward, S. N., 1987, Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data, *Int. J. Remote Sensing*, vol. 8, pp. 351-367.
- Chavez, P. S. Jr., 1996, Image-based atmospheric corrections-Revisited and Improved, *Photo. Engin. Remote Sensing*, vol. 62, pp. 1025-1036.
- Choudhury, B. J., Reginato, J. R., & Idso, S. B., 1986, An analysis of infrared temperature observations over wheat and calculation of latent heat flux, *Agric. For. Meteorol.*, vol. 37, pp. 75-88.
- Huband, N. D. S., & Monteith, J. L., 1986, Radiative surface temperature and energy balance of a wheat canopy, Part I-Comparison of radiative and aerodynamic canopy temperature, *Boundary-layer Meteorol.*, vol. 36, pp. 1-17.
- Kustas, W. P., & Daughtry, C. S. T., 1990, Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data, *Agri. For. & Meteorol.*, vol. 49, pp. 205-233.
- Kustas, W. P., 1995, Recent advances associated with large scale field experiments in hydrology, *Rev. Geophys. Suppl.*, pp. 959-965.
- Mac-Farland, M. J., Miller, R. I., & Neale, C. M. U., 1990, Land surface temperature derived from SSM/I passive microwave brightness temperatures, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 28, pp. 839-845.
- Moran, M. S., et al., 1989, Mapping surface energy balance components by combining Landsat Thematic Mapper and ground-based meteorological data, *Remote Sens. Environ.*, vol. 30, pp. 77-87.
- Norman, J. M., & Becker, F., 1995, Terminology in thermal infrared remote sensing of natural surfaces, *Remote Sens. Rev.*, vol. 12, pp. 159-173.
- Pinker, R. T., Frovin, R., & Li, Z., 1995, A review of satellite methods to derive surface shortwave irradiance, *Remote Sens. Environ.*, vol. 51, pp. 108-124.
- Price, J. C., 1982, Estimation of regional scale evaporation through analysis of satellite thermal-infrared data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, GE-20, 286-292.
- Sellers, P. J., et al., 1995, Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models-algorithms-experiments, *Remote Sens. Environ.*, vol.51, pp. 1-17.