

구면 지표에서 경사촬영을 이용한 위성 영상기의 고도 저하 성능 보정

조 영 민

한국항공우주연구원 위성응용그룹

Performance Compensation of the Satellite Imager below Normal Altitude Using Line-Of-Sight Tilt over Spherical Earth Surface

Young-Min Cho

Satellite Application Group, Korea Aerospace Research Institute

Abstract : A spherical earth surface is used for realistic analysis of the geometrical performance characteristics generated by 2-dimensional line-of-sight (LOS) tilt of the satellite imager using the Time Delay and Integration(TDI) technique. A 2-dimensional LOS tilt over the spherical Earth surface is proposed to compensate geometric performance degradation caused by the satellite altitude decrease below the normal operation altitude. The compensation can be achieved by TDI re-match without degradation of modulation transfer function and with ground sample distance slightly increased. Effective methods of LOS tilt for the compensation are investigated. This study can be useful for mission assurance and flexibility in imager operation.

Key Words : Time Delay and Integration, Satellite, Imager, Altitude Decrease, Tilt, Ground Sample Distance, Modulation Transfer Function, Spherical Earth Surface, Line of Sight.

요약 : 구면 지표 위를 비행하는 위성 영상기의 경사 촬영에 대한 공간 해상도 특성을 분석하고, Time Delay and Integration(TDI) 기법을 사용하는 위성 영상기의 고도가 정상 운영 범위 이하로 저하되었을 때 TDI 불일치로 발생하는 기하 성능 저하를 구면 지표에 대한 경사 촬영으로 보정하였다. 영상기의 시선 방향을 서로 독립적인 두 방향의 각들로 정의하여 구면 지표상의 임의의 관측 점에 대한 경사 촬영 특성을 분석하였고, 임의의 2차원 방향 경사 촬영으로 TDI 영상기의 고도 저하에 대해 성능 보정이 가능함을 해석적으로 보였다. 성능 보정은 TDI 재일치를 통해 Modulation Transfer Function(MTF) 감소 없이 약간의 지상화소거리 증가로 이루어졌다. 연구 결과로 고도 저하 성능 보정을 위한 2차원 경사 촬영의 효과적 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 고도 저하에 대한 해결책은 TDI 위성 영상기의 실제 운영에 있어서 임무 수행 보장 및 유연성에 도움이 될 수 있으리라 기대한다.

1. 서론

고해상도 위성 영상기에서는 신호대 잡음비 (Signal to Noise Ratio) 향상을 위해 흔히 Time Delay and Integration (TDI) Charge Coupled Device (CCD) 검출기를 사용한다. TDI는 지상의 동일 화소의 신호를 일련의 CCD 소자들로부터 여러 번 검출하고 시간 지연을 통해 각 소자 검출 신호를 합하는 기법으로 각 소자 검출 신호의 시간 지연이 두 인접 소자 사이 거리와 잘 일치하여야 한다(Larson and Wertz, 1991). TDI의 각 소자가 지상의 동일 화소를 바라보지 못하는 것을 TDI 불일치라 한다.

강제로 유지시키지 않는다면 발사후 위성의 고도는 발사 직후 초기 고도로부터 자연스럽게 점점 떨어진다. 1999년 12월 발사 이후 3년 10개월 이상 정상적으로 운영되고 있는 아리랑 위성의 경우 평균 위성 고도의 자연 하락은 3년 동안 대략 20km 정도로 보고된 바 있다(김해동 외, 2003). 불완전한 발사에 의한 낮은 고도의 궤도 진입, 자연 고도 하락 보정에 대한 문제 발생 등의 예기치 않은 원인에 의하거나 긴급한 특별 필요에 의하여 위성이 설계 정상 고도 범위에서 벗어날 경우가 있을 수 있다(Lee and Ryoo, 2000). TDI 시간 조절 등을 통해 설계상 TDI 일치가 보장되는 정상 운영 고도 범위를 벗어나는 위성의 고도 변화는 위성 영상기의 지상화소거리(Ground Sample Distance: GSD)의 변화와 TDI 불일치를 초래하게 된다. 그로 인해 출력 신호가 번지는 현상이 발생하고 영상의 선명도가 저하된다(Yong et al., 2001). 기존 보고에 의하면 고도 685km에 대해 최적 설계된 고해상도 위성 영상기에서 20km의 고도 저하에 대해 지상화소거리(GSD)는 약 3% 감소하고, 고도 저하 TDI 불일치로 인해 위성 직하 관측의 Modulation Transfer Function (MTF) 값은 최적 설계 고도 경우의 약 55%로(TDI 수 32, Nyquist 공간주파수) 감소하므로 성능 감소가 현저함을 알 수 있다(조영민, 2002).

일반적으로 원활한 임무 수행을 위해 위성의

지상 촬영각을 자주 변경하여 위성 진행 경로의 전후 및 좌우 지역을 관측하게 되는데 위성의 촬영각의 변화 역시 지상화소거리 변화를 일으킨다. 최근에 TDI CCD 검출기를 사용하는 위성 영상기의 고도 저하에 따른 성능 저하를 보정할 수 있는 방법으로써 경사 촬영이 제안되었지만 지구 표면을 평면으로 근사하고 위성 경로 평행 방향(Along Track Direction)과 경로 수직 방향(Cross Track Direction) 각각에 대한 1차원적 경사 촬영만을 다루고 있어 활용성이 떨어지는 개념적인 단계에 연구가 머물러 있는 한계를 보인다(조영민, 2002).

본 연구에서는 지구 표면에 대해 구면을 도입하고 임의의 2차원 방향의 경사 촬영을 사용하여 위성 영상기의 고도 저하에 기인한 성능 저하를 보정함으로써 개념적인 기존 연구를 심화시켜 실제 활용성을 높이고자 한다. 먼저 영상기의 시선(Line Of Sight: LOS)을 2 가지 각도 방향으로 정의하여 구면 지표상의 임의의 관측점에 대한 경사 촬영 특성을 분석하고, 위성 진행 경로의 평행 방향과 수직 방향의 합성으로 주어지는 임의의 2차원 방향 경사 촬영으로 TDI 영상기의 고도 저하에 대한 성능 보정을 실시하고자 한다.

2. 구면 지표 경사 촬영

위성 직하 지상 경로 이외의 지역을 관측하기 위해서는 지상을 바라보는 위성 영상기의 시선(LOS)을 위성 직하 방향(Nadir Direction)으로부터 위성 경로의 전후 또는 좌우 방향으로 변경하여야 한다. 위성 영상기의 시선 변경은 위성 영상기에 내장된 주사경을 이용하거나 위성체 회전을 통해 실행될 수 있다. 위성 영상기 시선을 직하 방향으로부터 벗어나게 하여 영상을 얻는 경사 촬영에 의해 발생하는 영상기의 기하 성능 변화를 정확하게 분석하기 위해서는 실제 지구 표면에 대한 정확한 모델이 필요하다. 일반적으로 개념적인 차원에서 지표 모델로 평면이 사용되는 데 평면은 작은 경사 촬영각에 대해 유용하며 직관적이고 간단

하고 편리한 분석 결과를 제공한다. 그러나 약간 복잡하지만 상당히 정확하면서 해석적으로 접근이 가능한 지표 모델로 구면 지표 모델을 고려할 수 있다. 본 연구에서는 실제 위성 운영 활용 가능성이 높은 구면 지표에 대해 경사 촬영의 성능 특성을 분석하였다.

구면 지표에서의 경사 촬영에 대한 해석적 접근을 위해 구면 지구의 중심에 원점이 있고 +X축이 위성 진행 방향(위성 속도 방향, 위성의 지상 경로 전방 방향)이며 +Z축이 지구 중심(원점)에서 위성체 방향(위성 직하점의 연직 상방)으로 주어지는 오른손 직각 좌표계를 도입하였다(Fig. 1). 구면 지표상에서 임의의 2 차원 경사 촬영 방향을 표현하기 위하여 서로 독립적인 두 방향에 대한 각도가 필요하다. 즉, 구면 지표상 임의의 관측 점을 바라보는 위성 영상기의 시선을 두 개의 각 θ 와 φ 로 표현할 수 있다. 각 θ 는 영상기 시선(LOS)과 위성의 연직 하방(-Z축) 사이의 각도이고, 각 φ 는 방위각으로서 영상기 시선(LOS)의 XY 평면 투영선과 위성 진행 방향(+X축) 사이

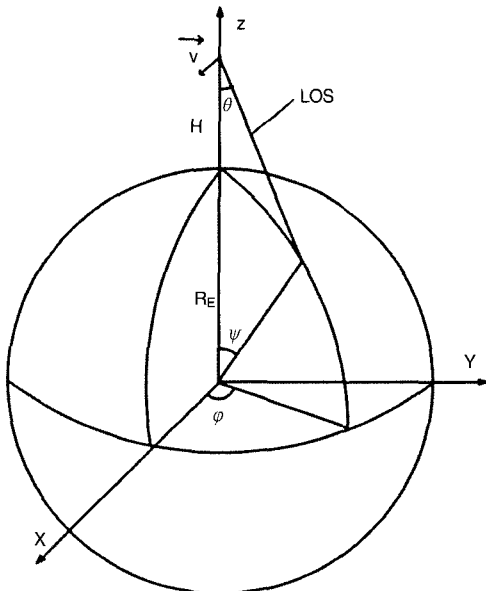


Fig. 1. Line-Of-Sight(LOS) tilt angles θ and φ

(R_E : spherical Earth radius, H: satellite altitude, V: satellite velocity).

각도로 정의된다. 따라서 각도 θ 가 0° 일 때 영상기 시선이 위성 직하 방향이 되고, 각도 φ 가 0° 일 때 영상기 시선은 위성 지상 경로 평행 방향을 가리키고, 각도 φ 가 90° 이면 영상기 시선은 위성 지상 경로 수직 방향을 향한다. Fig. 1의 기하적 대칭성으로부터 전체 각도 360° 를 90° 간격으로 나눈 4개의 φ 구간은 각각 기하학적으로 동일한 경사 촬영 결과를 나타내리라는 것을 쉽게 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 각 φ 의 범위를 $0^\circ \sim 90^\circ$ 로만 고려해도 충분하다.

Fig. 2에 나타난 경사촬영에 대한 기하적 그림으로부터 시선각 θ 가 클수록 지상화소거리가 크다는 것을 쉽게 알 수 있고, 동일한 시선각에 대해 평면 지표보다 구면 지표 경우 지상화소거리가 더 커진다는 것도 알 수 있다. Fig. 1의 3차원 공간 기하와 Fig. 2의 지상화소거리(GSD) 기하로부터 임의의 영상기 시선각 θ 와 φ 에 대한 구면 지표상 지상화소거리를 해석적으로 얻을 수 있다. 위성 경로 평행 방향의 지구 구면 곡률 효과가 고려된 위성 경로 평행 방향(X방향) 지상화소거리(GSD_x)와 위성 경로 수직 방향의 지구 구면 곡률 효과가 고려된 위성 경로 수직 방향(Y방향) 지상화소거리(GSD_y)는 각각 식(1), (2)와 같다.

$$GSD_x = \frac{(H + R_E(1 - \cos \psi)) IFOV}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta + \psi) \cos^2 \varphi}{\cos^2 \psi + \sin^2 \psi \cos^2 \varphi}}} \quad (1)$$

$$GSD_y = \frac{(H + R_E(1 - \cos \psi)) IFOV}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\theta + \psi) \sin^2 \varphi}{\cos^2 \psi + \sin^2 \psi \sin^2 \varphi}}} \quad (2)$$

여기서 $\psi = \sin^{-1}(\frac{R_E + H}{R_E} \sin \theta) - \theta$.

R_E 는 지구 반경.

H는 위성 고도.

IFOV는 한 개 화소의 시야각 (Instantaneous Field of View) 이다.

경로 평행 방향 지상화소거리(GSD_x) 수식 (1)은 시선각 $\varphi = 0^\circ$ 일 때, 경로 수직 방향 지상화소거리(GSD_y) 수식 (2)는 시선각 $\varphi = 90^\circ$ 일 때

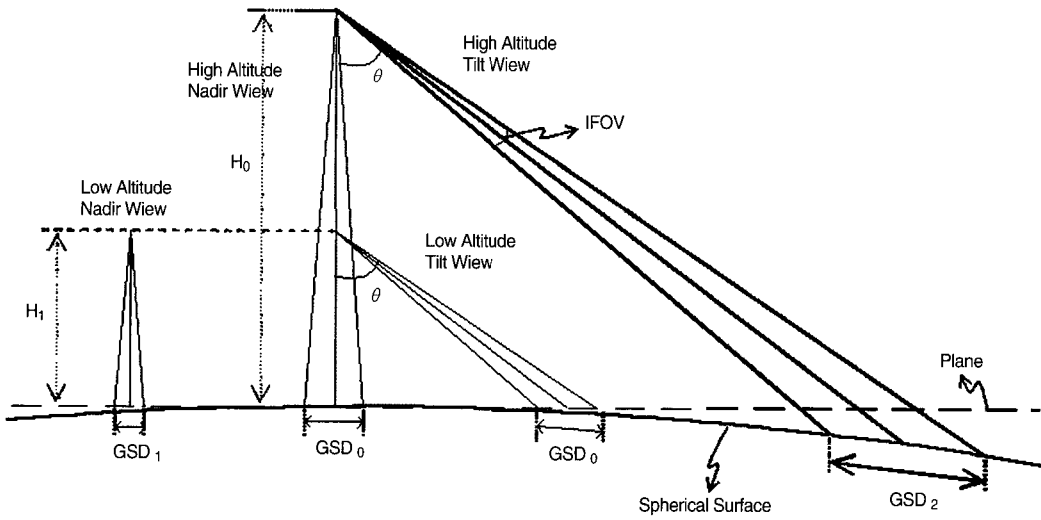


Fig. 2. Geometry of Ground Sample Distance(GSD) on the spherical surface for variation of altitude(H) and tilt angle(θ) (IFOV: Instantaneous Field of View)

이미 알려진 1차원 경로 수직 방향 경사 촬영의 지상화소거리 표현식으로 환원된다(Schowengerdt, 1997).

고도 685km에서 두 시선각 θ 와 φ 의 변화에 대한 두 방향의 지상화소거리 변화가 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타나있다. 시선각 θ 가 커질수록 경로 평행 및 수직 방향의 양쪽 방향 지상화소거리는 모두 커지는 것을 알 수 있고, 시선각 φ 가 커질수록 경로 평행 방향의 지상화소거리(GSD_x)는 작

아지만 경로 수직 방향의 지상화소거리(GSD_y)는 커지고 있어 시선각 φ 에 대해 두 방향 지상화소거리들은 서로 반대로 변화하는 특성을 보이고 있다. 지상화소거리의 시선각 φ 에 대한 이러한 특성은 지상화소거리 방향과 경사 촬영의 시선 방향 사이에 관련된 기하 대칭성으로부터 쉽게 이해될 수 있다. 예를 들어 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)의 경로 평행 방향 지상화소거리(GSD_x)는 경로 수직 방향 경사 촬영($\varphi = 90^\circ$)의 경로 수직

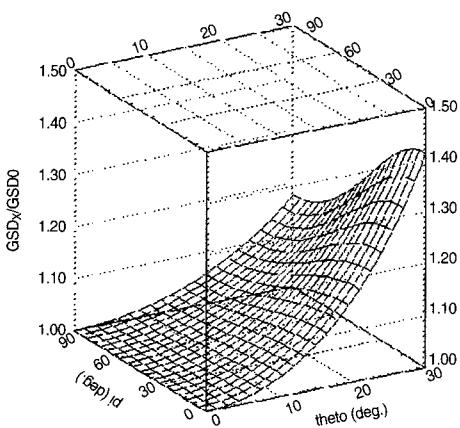


Fig. 3. Along track GSD (GSD_x) v.s. LOS tilt angles θ and φ at the altitude 685km (GSD_0 : GSD at the nadir view).

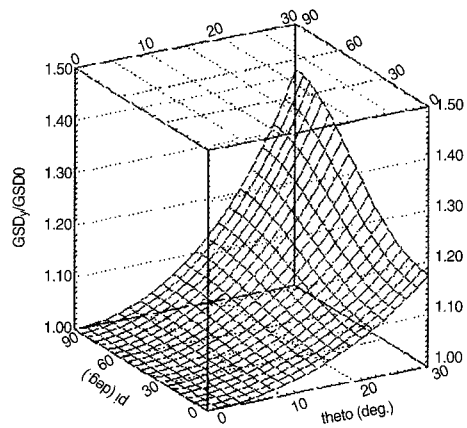


Fig. 4. Cross track GSD (GSD_y) v.s. LOS tilt angles θ and φ at the altitude 685km (GSD_0 : GSD at the nadir view).

방향 지상화소거리(GSDy)와 동일한 값을 갖는다는 것이다. 고도 685km에서 시선각 θ 가 30° 인 경로 평행 방향 경사 촬영을 수행하면 직하 방향 촬영의 지상화소거리에 비하여 약 40%의 경로 평행 방향 지상화소거리 증가가 발생하고 약 18%의 경로 수직 방향 지상화소거리 증가가 발생한다. 마찬가지로 시선각 θ 가 30° 인 경로 수직 방향 경사 촬영에서는 경로 평행 방향 지상화소거리는 약 18% 증가하고 경로 수직 방향 지상화소거리는 약 40% 증가한다.

3. 고도 저하시 경사 촬영을 통한 TDI 재일치

고도가 변화하거나 경사 촬영을 할 경우 각각 지상화소거리가 변하게 되고 TDI 기법을 사용하는 위성 영상기에서는 작은 지상화소거리 변화로도 TDI 불일치로 인해 영상의 선명도는 크게 저하될 수 있다. 고도 변화와 경사 촬영 각각 개별적으로 영상 선명도를 떨어뜨릴 수 있지만 두 경우의 적절한 조합은 상호 보완으로 작용할 수 있다. Fig. 2에서 고도가 낮아지면 지상화소거리가 작아지는 반면, 경사 촬영각이 커질수록 지상화소거리가 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 정상 운영 범위를 벗어나 TDI 불일치가 발생할 정도로 고도가 낮아질 경우 경사 촬영을 수행하면 고도 저하에 의한 지상화소거리 감소를 경사 촬영을 통해 상쇄시킬 수 있으므로 고도 저하로 발생한 TDI 불일치를 제거할 수 있으며 고도 저하에 의한 영상 선명도 저하를 막을 수 있다.

일반적으로 TDI 위성 영상기는 일정한 범위의 운영 고도와 경사 촬영각에 맞게 광검출기의 검출 시간을 조절하여 TDI 일치를 유지한다. 본 연구에서는 TDI 위성 영상기가 정해진 범위 아래로 고도가 떨어져 더 이상 검출 시간으로 조절 불가능한 경우에 대한 성능 보정을 다루자 한다. 위성 영상의 선명도와 관련된 위성 영상기의 성능은 MTF로 표현되고, TDI 불일치로 인한 선명도 저

하에 대해 일반적 MTF 표현은 잘 알려져 있다 (ELOP, 2000). 고도 저하에 의해 발생한 지상화소거리 감소를 경사 촬영을 통해 상쇄시키는 개념을 앞서 구한 구면 지표상 지상화소거리에 대해 적용하면 MTF 감소가 발생하지 않는 TDI 재일치 조건을 구면 지표에 대해 구할 수 있다. 즉, 정상 운영 고도에서 연직하방 관측에 맞게 TDI 일치를 유지하다가 위성 궤도가 낮은 고도로 바뀔 경우 발생하는 TDI 불일치를 구면 지표에서 경사촬영으로 보정하여 TDI 재일치를 이루기 위해서는 영상기 시선각 θ 와 φ 가 식 (3)을 만족해야 한다.

$$(H + R_E)^3(H + R_E(1 - \cos \psi)^2 - H_0^2(H_0 + R_E)^3) (1 - \sin^2 \psi \cos^2 \varphi) A \cos^2 \theta = 0 \quad (3)$$

$$\text{여기서 } A = 1 - \frac{\sin^2(\theta + \psi) \cos^2 \varphi}{\cos^2 \psi + \sin^2 \psi \cos^2 \varphi},$$

$$\psi = \sin^{-1}\left(\frac{R_E + H}{R_E} \sin \theta\right) - \theta,$$

H_0 는 직하 방향 관측시 TDI 일치가 이루어지는 정상 운영 고도이고,

H 는 저하된 고도이고,

R_E 는 지구 반경이다.

$\psi = 0^\circ$ 이고 $\varphi = 0^\circ$ 일 때 식 (3)은 평면 지표에 대한 경로 평행 방향 경사 촬영 TDI 재일치 조건식(조영민, 2002)과 일치하게 되고, $\psi = 0^\circ$ 이고 $\varphi = 90^\circ$ 일 때 식 (3)은 평면 지표에 대한 경로 수직 방향 경사 촬영 TDI 재일치 조건식(조영민, 2002)과 일치하게 된다.

연직하방 관측에 대해 TDI 일치가 유지되는 정상 운영 고도가 685km일 때 저하된 고도 값에 대하여 TDI 재일치가 성립하는 시선각 θ 와 φ 가 Fig. 5에 제시되었다. Fig. 5에서 3차원 고도 곡선의 일정한 고도 값에 대한 등고선을 위쪽 좌표 평면에 나타내었다. 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)을 사용하면 고도가 685km에서 약 510km로 떨어졌을 경우 시선각 θ 가 30° 일 때 TDI 재일치에 의한 성능 보정이 가능하고, 경로 수직 방향 경사 촬영($\varphi = 90^\circ$)을 사용하면 고도가 685km에서 약 590km로 떨어졌을 경우 시선각 θ 가 30° 일 때 TDI 재일치에 의한 성능 보정이 가능하다. 고도가

600km로 저하된 경우 시선각 θ 가 약 20° 인 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)으로도 성능 보정이 가능하고 시선각 θ 가 약 30° 인 경로 수직 방향 경사 촬영($\varphi = 90^\circ$)으로도 가능하다. 즉, 주어진 고도 저하에 대해 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)에서 최소의 시선각 θ 로 성능 보정을 달성할 수 있으므로 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)이 가장 효율적인 경사 촬영이라는 것을 알 수 있다.

저하된 고도에서 경사 촬영으로 성능 보정을 할 경우에 주어지는 경로 평행 방향과 경로 수직 방

향의 지상화소거리를 시선각 θ 와 φ 에 대해 각각 Fig. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6과 7의 위쪽 좌표 평면에 Fig. 5의 3차원 고도 곡선의 일정한 고도 값에 대한 등고선을 나타내었다. Fig. 6과 7의 시선각 θ 와 φ 는 Fig. 5의 TDI 재일치 경사 촬영각이다. 즉, Fig. 6과 7의 지상화소거리는 동일한 시선각 θ 와 φ 에 해당하는 Fig. 5의 고도에서 얻어진 값이다. 경사 촬영각의 크기에 대해 경로 평행 방향 지상화소거리 (GSDx)는 별 변화가 없는(Fig. 6) 반면, 경로 수직 방향 지상화소거리 (GSDy)는 상당한 변화가 있음을 알 수 있다(Fig. 7). TDI 재일치에 의한 성능 보정은 약간 증가한 경로 평행 방향 지상화소거리 (GSDx)(시선각 θ 가 30° 인 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$) 경우 고도 510km에서 약 4% 증가)와 φ 가 약 40° 이하인 경사촬영에서 어느 정도 감소한 경로 수직 방향 지상화소거리 (GSDy)(시선각 θ 가 30° 인 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$) 경우 고도 510km에서 약 13% 감소)로 수행될 수 있음을 알 수 있다.

본 연구의 중요한 결과 중 하나는 시선각 θ 와 φ 와 주어지는 임의의 2차원 경사 촬영으로 고도 저하에 대한 성능 보정이 가능하다는 것이다. 이것은 어느 정도 고도가 저하 되더라도 지상의 임의의 관측점을 거의 성능 저하 없이 촬영할 수 있

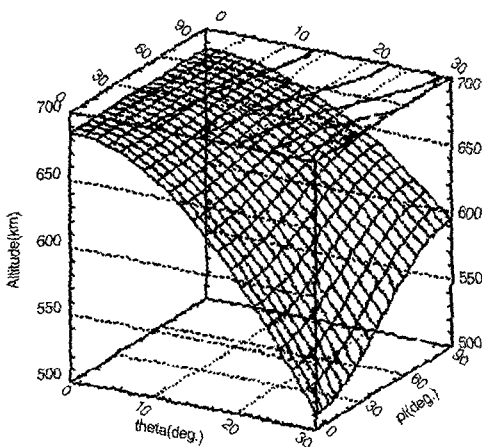


Fig. 5. LOS tilt angles(θ , φ) for TDI re-match at altitudes decreased from 685km.

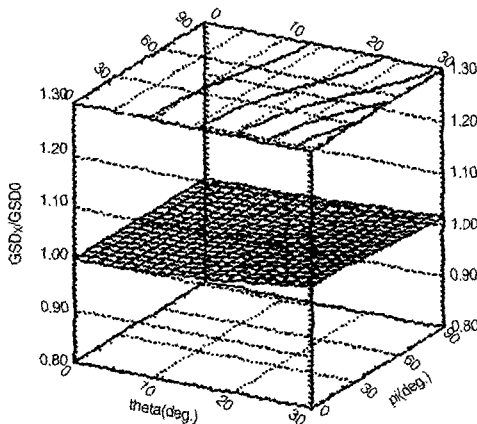


Fig. 6. Along track GSD (GSDx) v.s. LOS tilt angles θ and φ for TDI re-match (GSD0: GSD at the nadir view from the altitude 685km).

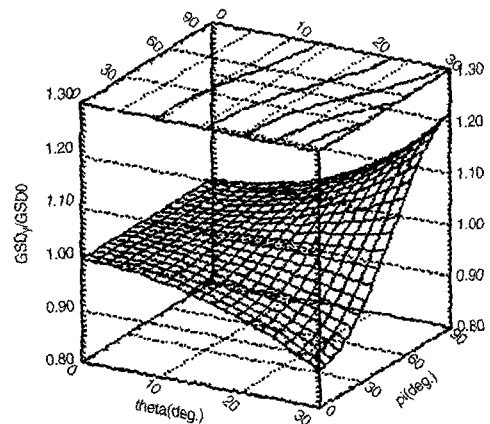


Fig. 7. Cross track GSD (GSDy) v.s. LOS tilt angles θ and φ for TDI re-match (GSD0: GSD at the nadir view from the altitude 685km).

는 것을 의미하므로 임무 운영에 상당한 유연성을 주게 된다. 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)이 최소의 지상화소거리 증가와 최소의 경사촬영각으로 TDI 재일치를 달성하게 하므로 고도 저하시 가장 효율적인 경사 촬영 방법이지만 관측 영역이 위성 지상 진행 경로에만 국한되게 된다. 위성 지상 진행 경로이외의 지역을 관측하기 위해서는 시선각 φ 를 40° 이하로 하는 경사촬영을 수행하는 것이 지상화소거리의 증가가 거의 없으므로 바람직하다.

4. 결 론

구면 지표 위를 비행하는 위성 영상기의 경사 촬영에 대한 공간 해상도 특성을 분석하고, Time Delay and Integration(TDI) 기법을 사용하는 위성 영상기의 고도가 정상 운영 범위 이하로 저하되었을 때 TDI 불일치로 발생하는 기하 성능 저하를 구면 지표에 대한 경사 촬영으로 보정하였다.

서로 독립적인 두 개의 영상기 시선각으로 정의되는 임의의 2차원 경사 촬영에 대해 구면 지표상의 위성 경로 평행 방향과 위성 경로 수직 방향 지상화소거리를 해석적으로 구하였다. 고도 685km에서 위성 영상기 시선과 위성체 연직 하방 사이 각(θ)이 30° 일 때 시선 방위각(φ)의 전체 범위에서 구면 지표상 경사 촬영의 지상화소거리는 연직 하방 관측시 보다 약 18%~40%의 증가를 보였다.

TDI 시간 조절 등을 통해 설계상 TDI 일치가 보장되는 정상 운영 고도 범위 이하로 위성 영상기의 고도가 저하되었을 때 임의의 2차원 방향 경사 촬영으로 TDI 재일치를 통한 성능 보정이 가능함을 해석적으로 보였다. 성능 보정은 MTF 감소 없이 약간의 지상화소거리 증가로 이루어졌다. 고도가 685km에서 510km로 하락하였을 때 영상기 시선이 연직 하방으로부터 30° 벗어난 경로 평행 방향 경사 촬영($\theta = 30^\circ, \varphi = 0^\circ$)을 실시하면 지상화소거리는 고도 685km에서 연직 하방으로

관측한 경우보다 약 4% 이하로 증가했다. 가장 효율적인 TDI 재일치는 경로 평행 방향 경사 촬영($\varphi = 0^\circ$)에 의해 달성되었다. 위성 지상 진행 경로이외의 지역을 관측하기 위해서는 영상기 시선 방위각(φ)을 40° 이하로 경사촬영을 수행하는 것이 지상화소거리의 증가가 거의 없으므로 바람직하다.

본 연구에서 제시한 고도 저하에 대한 해결책은 TDI 위성 영상기에 일반적으로 적용할 수 있는 방법으로서 TDI 위성 영상기의 실제 운영에 있어서 임무 수행 보장 및 유연성에 도움이 될 수 있으리라 기대한다.

참고문헌

- 김해동, 최해진, 김은규, 2003. 아리랑 1호 임무기간 3년 동안의 궤도변화 분석, 한국항공우주학회지, 31(10): 40-50.
- 조영민, 2002. Time Delay and Integration(TDI)을 사용하는 위성 영상 기기의 고도 및 촬영각 변화에 대한 성능 특성. 대한원격탐사학회지, 18(2): 91-96.
- Campana, S. B., 1993. The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol. 5, SPIE Press, WA, USA, Chap. 1.
- ELOP, 2000. Gasiel-Excel Operation & Performance Manuals, Israel.
- Larson, W. J. and J. R. Wertz, 1991. *Space Mission Analysis and Design*, Microcosm, CA, USA, 265p.
- Lee, S. S. and J. S. Ryoo, 2000. Conceptual Design of the KOMPSAT-2 System, Proc. of 22nd International Symposium on Space Technology and Science, Morioka, Japan, May 28 - Jun. 4, 2000, 1p.
- Schowengerdt, R. A., 1997. *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*, 2nd Ed., Academic Press, San Diego, USA, 102p.

Yong, S. S., J. P. Kong, H. P. Heo, Y. S. Kim, and H. Y. Paik, 2001. The Analysis of MSC(Multi-Spectral Camera) Operational Parameter,

Proceedings of International Symposium on Remote Sensing, Seogwipo, Korea, Oct. 31 - Nov. 2, 2001, 198p.