

COMS 기상탑재체의 관측영역별 사용자 배포 영상의 크기 및 위치결정

서정수^{1†}, 서석배², 김은규^{1,2}
¹과학기술연합대학원대학교 위성시스템 및 활용공학
²한국항공우주연구원 지상수신관계그룹

DETERMINATION OF USER DISTRIBUTION IMAGE SIZE AND POSITION OF EACH OBSERVATION AREA OF METEOROLOGICAL IMAGER IN COMS

Jeong-Soo Seo^{1†}, Seok-Bae Seo², and Eun-Kyou Kim^{1,2}

¹Satellite Systems & Applications Engineering, Univ. of Science & Technology, Daejeon 305-333, Korea

²Satellite Mission Operation Department, KARI, Daejeon 305-333, Korea

E-mail: ustsat@kari.re.kr

(Received August 1, 2006; Accepted October 11, 2006)

요 약

이 논문에서는 통신해양기상위성(COMS, Communications, Ocean and Meteorological Satellite)의 지상국 설계를 위하여 통신해양기상위성 기상탑재체(MI, Meteorological Imager)에 관한 기상청 요구사항을 분석하였다. 분석결과에 따라 기상청 요구사항에서 제시된 위성 시야각을 만족하는 관측영역별 배포 영상의 크기를 결정하였으며, 결정된 관측영역의 영상의 크기를 기준으로 배포 영상의 정확한 위성시야각 및 크기를 계산하였다. 이 논문의 결과는 통신해양기상위성 지상국의 상세 설계에 적용되었으며, 향후 관측 스케줄, 사용자 데이터의 배포스케줄 설계에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

In this paper, requirements of Meteorological Administration about Meteorological Imager (MI) of Communications, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) is analyzed for the design of COMS ground station and according to the analysis results, the distribution image size of each observation area suitable for satellite Field Of View (FOV) stated at the requirements of meteorological administration is determined and the precise satellite FOV and the size of distribution image is calculated on the basis of the image size of the determined observation area. The results in this paper were applied to the detailed design for COMS ground station and also are expected to be used for the future observation scheduling and the scheduling of distribution of user data.

Keywords: COMS, meteorological imager, field of view, the geostationary projection, observation area, observation scheduling

[†]corresponding author

표 1. 지구 투영모델 상수.

항 목	상수 값
m (지구중심에서 위성까지 거리)	42,164km
투영지점 직하점 경도와 위도	128.2°E/0°N
지구 장반경과 단반경	r_{eq} (장반경) = 6,378.1690km r_{pol} (단반경) = 6,356.5838km

1. 서 론

2008년에 발사 예정인 통신해양기상위성(COMS, Communication Ocean and Meteorological Satellite)은 고도 35,786km 상공에 위치하며, 동경 128.2도의 고정된 위치에서 지구를 관측하는 정지궤도 위성이다. 통신해양기상위성의 임무는 통신, 해양관측, 기상관측으로 이를 위하여 통신탑재체, 해양탐재체(GOCI, Geostationary Ocean Color Imager), 기상탐재체(MI, Meteorological Imager)가 탑재될 예정이다(최해진 외 2004). 기상탐재체의 관측모드는 Global, Regional, LA(Local Area, 한반도지역) 영역 모드로 나눌 수 있으며, Regional 모드는 다시 APNH(Asia Pacific in Northern Hemisphere, 아시아태평양지역), ENH(Extended Northern Hemisphere, 북반구 확장지역), LSH(Limited Southern Hemisphere, 제한된 남반구 지역), LFD(Limited Full Disk, 제한된 전지구) 관측영역으로 구분된다. 기상탐재체에서 관측된 정보는 지상에서 수신 후 재가공하여 위성을 통하여 사용자에게 배포하며, 그 형식은 CGMS(Coordination Group for Meteorological Satellites)에서 권고 하는 LRIT/HRIT(Low Rate Information Transmission / High Rate Information Transmission) 포맷을 사용하였다.

2. 영상 표출 방법

CGMS의 LRIT/HRIT 포맷에서는 영상 배포시 GEOS(GEOStationary) 투영법, Polarstereographic 투영법, Mercator 투영법 중 하나를 이용할 것을 권고하고 있으며, 이 논문에서는 이 중 GEOS 투영법을 이용하였다. 각 투영법은 상호 변환이 가능하며 그 방법은 CGMS LRIT/LRIT 문서에 자세히 설명되어 있다(Wolf & Just 1999).

2.1 지구 투영 모델 좌표계 설정

GEOS 투영법은 표준적인 정지궤도 기상위성에 널리 사용되는 투영법으로, 통신해양기상위성 기상탐재체의 사용자 배포영상도 이를 준수할 예정이다. 먼저 GEOS 투영을 위해서는 정지궤도 위성으로부터 지구 직하점까지의 거리 및 지구 타원체 방정식이 요구된다. 이 논문에서는 CGMS에서 제시하는 값들을 사용하였으며, 이를 표 1에 나타 내었다.

2.2 지구 투영 영상 평면 생성

그림 1은 지구 투영점에 대한 좌표 결정과정을 보여준다. 그림 1에서 각 좌표계의 P점의 좌표는 지구 중심 직각좌표계에서의 P의 좌표계(e_1, e_2, e_3), 지구 중심 극좌표계에서의 P의 좌표계(λ_e, ϕ_e, r_e), 위성 중심 직각좌표계에서의 P의 좌표계(s_1, s_2, s_3), 위성 중심 극좌표계의 P의 좌표계(λ_s, ϕ_s, r_s)로 정의 된다(Wolf & Just 1999).

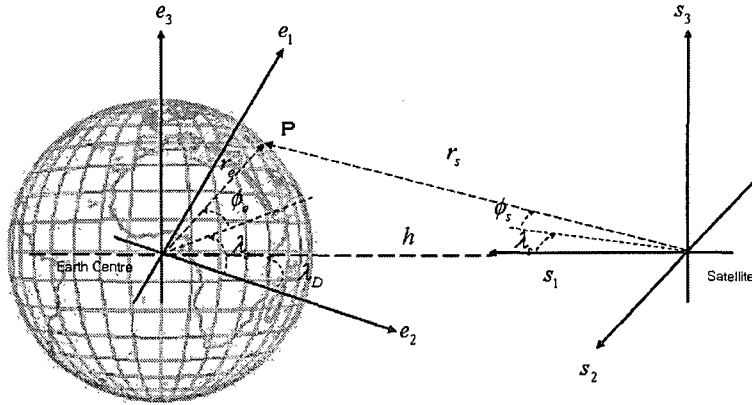


그림 1. 지구 투영점에 대한 좌표 결정 과정.

우선, 지구 투영 영상 평면의 좌표계는 (x, y) 로 기술될 수 있으며, (x, y) 는 위성의 스캔각 또는 위성 시야각과 식 (1)의 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} \lambda_s &= -\frac{\theta_\lambda}{P_x} \cdot x \\ \phi_s &= -\frac{\theta_\phi}{P_y} \cdot y \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, P_x, P_y 는 지구 투영 영상 평면의 $(\text{line수} - 1)/2$, $(\text{픽셀수} - 1)/2$ 이며, $\theta_\lambda, \theta_\phi$ 는 지구 투영 영상 평면에 대한 위성의 가로시야각(동서), 세로시야각(남북)의 값을 가진다. 결과적으로 지구 투영 영상 평면의 모든 화소들에 대한 위성 중심 극 좌표계에서의 P의 좌표는 식 (1)을 통해 얻는다(서석배 외 2005).

한편, 보조 지구 중심 직각좌표계를 설정하고 이에 대한 P의 좌표계를 (f_1, f_2, f_3) 라 하자. 보조 지구 중심 직각 좌표계의 x축은 위성을 향하며, z축은 북극을 향하고, y축은 x축과 z축의 외적에 의해 그 방향이 결정된다. 결과적으로 위성 중심 극 좌표계에서의 P의 좌표값(λ_e, ϕ_e, r_e)과 보조 지구 중심 직각 좌표계에서의 P의 좌표값 (f_1, f_2, f_3) 은 식 (2)를 만족하게 된다.

$$\begin{aligned} f_1 &= h - r_s \cdot \cos \phi_s \cdot \cos \lambda_s \\ f_2 &= -r_s \cdot \cos_s \cdot \sin \lambda_s \\ f_3 &= r_s \cdot \sin \phi_s \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, h 는 지구중심에서 위성까지의 거리이다.

한편, 보조 지구 중심 직각 좌표계에서 결정된 P의 좌표값은 식 (3)과 같은 지구 타원체 모델에 적용된다.

$$\frac{f_3^2}{r_{pol}^2} + \frac{f_1^2 + f_2^2}{r_{eq}^2} = 1 \tag{3}$$

여기서, r_{eq}, r_{pol} 은 지구의 장반경과 단반경이다.

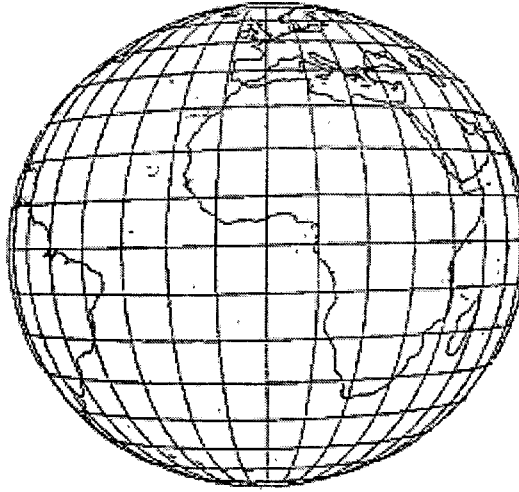


그림 2. The Geostationary Projection의 예(Wolf & Just 1999).

다음으로 식 (2)를 식 (3)에 대입하면 식 (4)와 같이 위성에서 P점까지의 거리 r_{eq}, r_{pol} 의 값을 구할 수 있으며, 이에 따라 (f_1, f_2, f_3) 를 구할 수 있다.

$$r_s = \frac{h \cdot \cos \lambda_s \cdot \cos \phi_s - \sqrt{(h \cdot \cos \lambda_s \cdot \cos \phi_s)^2 - (h^2 - r_{eq}^2) \cdot \left(\frac{r_{eq}^2}{r_{pol}^2} \cdot \sin^2 \phi_s + \cos^2 \phi_s \right)}}{\frac{r_{eq}^2}{r_{pol}^2} \cdot \sin^2 \phi_s + \cos^2 \phi_s} \quad (4)$$

결국, 최종적인 지구중심 극 좌표계에서의 P의 경도와 위도 값은 (f_1, f_2, f_3) 를 이용하여 식 (5)를 통해 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda &= \tan^{-1} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) + \lambda_D \\ \phi &= \tan^{-1} \left(\frac{r_{eq}^2}{r_{pol}^2} \cdot \frac{f_3}{\sqrt{f_1^2 + f_2^2}} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

그림 2는 GEOS 투영법의 예를 나타낸 것이다.

3. 통신해양기상위성 MI의 관측영역별 영상크기 결정

3.1 전지구 관측을 위한 최소 위성시야각 계산

전지구 관측을 위한 최소 위성 시야각을 계산하기 위해 위성의 직하점은 동경 128.2도로 하고 그림 3과 같이 지구 중심에 원점을 둔 직각좌표계에 지구 타원체를 두고 h 만큼 떨어진 위성에서 지구 타원체로의 접선의 사이각을 구함으로써 계산할 수 있다. 여기서 2차원 좌표계의 중심에 지구타원체를 두고 가로 방향을 x 축으로, 세로 방향을 y 축으로 정의한다. 따라서 위성의 가로 시야각은 지구타원체의 장반경 방향의 접선의 사이각, 세로 시야각은 지구타원체의 단반경의 접선 사이각 이므로 이를 계산하는 식은 다음과 같이 유도된다.

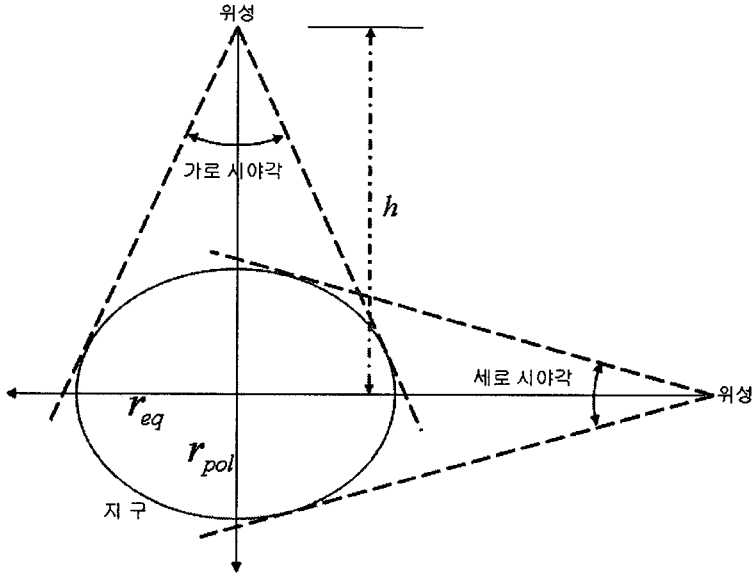


그림 3. 전지구 관측을 위한 최소 시야각 계산 과정.

위성의 위치 계산을 위해 가로 시야각을 계산하는 경우 위성의 위치는 $(0, h)$ 이다. 따라서 $\frac{x^2}{r_{eq}^2} + \frac{y^2}{r_{pol}^2} = 1$ 인 지구타원체 방정식에 접하는 직선의 방정식 $y = mx + h$ 를 대입하여 기울기 m 을 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$m = \sqrt{\frac{(h^2 - r_{pol}^2)}{r_{eq}^2}} \quad (6)$$

$\frac{x^2}{r_{eq}^2} + \frac{y^2}{r_{pol}^2} = 1$ 인 지구타원체 방정식에서 $y = mx + h$ 인 직선의 방정식을 대입하여, x 에 대하여 근의 방정식을 수행하면 식 (7)과 같이 지구타원체에 접하는 직선의 x 좌표를 구할 수 있다.

$$x \text{ 좌표} = -B \sqrt{\frac{B^2 - 4AC}{2A}} \quad (7)$$

여기서, $A = r_{pol}^2 + r_{eq}^2 m^2$, $B = 2r_{eq}^2 mh$, $C = r_{eq}^2 (h^2 - r_{pol}^2)$ 이다.

지구타원체에 접하는 x 좌표 값을 $y = mx + h$ 식에 대입하여 지구타원체에 접하는 y 좌표를 식 (8)과 같이 구한다.

$$y \text{ 좌표} = m (\text{타원체에 접하는 } x \text{ 좌표}) + h \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)의 결과를 이용하여 위성에서 지구 타원체에 그은 직선의 각을 두배로 하면 전 지구 관측을 위한 위성의 가로 시야각 최소값은 식 (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{위성 가로 시야각의 최소 값} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{타원에 접하는 } x \text{ 좌표}}{h - \text{타원에 접하는 } y \text{ 좌표}} \right) \times 2 \quad (9)$$

전지구 관측을 위한 위성의 세로 시야각의 최소값도 동일하게 계산할 수 있으며, 계산된 값은 다음과 같다.

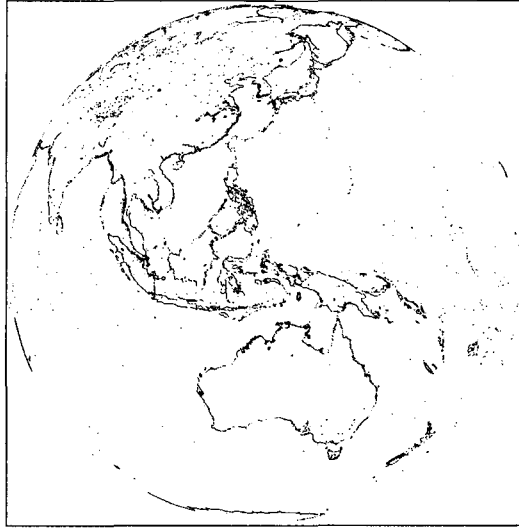


그림 4. 통신해양기상위성 가시채널 영상의 GEOS 투영 결과.

- 위성 가로 시야각의 최소 값 = 17.3998°
- 위성 세로 시야각의 최소 값 = 17.3431°

3.2 전지구 관측 기상탐재체의 영상크기 결정 및 GEOS 투영

통신해양기상위성 기상탐재체의 가시채널은 직하점을 기준으로 $28\mu\text{rad}$ 의 시야각으로 지상기준 사방 1km를 관측할 수 있다. 따라서 전지구를 포함하는 가시채널 영상의 크기는 앞서 계산된 전지구 관측을 위한 가로와 세로의 최소 시야각을 이용해서 계산하면 전지구 관측을 위한 최소 영상의 가로크기는 10,845.8285픽셀이고, 세로 크기는 10,810.5247픽셀이다. 이를 바탕으로 전지구 관측의 배포영상의 크기를 11,000×11,000픽셀로 결정하였다. 따라서, 영상크기 11,000×11,000픽셀, 위성 직하점을 동경 128.2도로 하여 통신해양기상위성의 GEOS 투영 좌표계를 생성하였다. 그림 4는 통신해양기상위성의 GEOS 투영좌표계 검증을 위하여, 생성된 투영좌표계 위에 1km 해상도의 지표기준(Landmark) 데이터베이스인 GSHHS(Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline)의 해안선을 표시한 결과이다. 그림 4에서 동경 128.2도의 위치에서 투영결과를 검증할 수 있었으며, 여기서 결정한 배포영상의 크기가 전지구 관측을 위한 가로와 세로의 최소 영상크기 보다 크므로 영상 상하좌우에 일부의 우주공간 영상이 포함되는 것을 볼 수 있다.

3.3 관측영역별 영상의 크기 및 위성 시야각 계산

통신해양기상위성 사용자 요구사항에서 기상탐재체의 관측영역별(FD, APNH, ENH, LSH) 위성시야각은 표 2와 같으며(기상청 2004), 여기서 관측영상의 크기는 사용자 요구사항의 위성시야각을 기준으로 계산한 값이다. 그림 5는 사용자 요구사항의 위성시야각을 전지구 영상을 투영 했을 때 관측영역별로 도식화한 것으로 실제로 이와 같은 영상이 표출된다. 표 2에서 계산한 각을 바탕으로 관측영역별 배포영상의 크기를 표 3과 같이 결정하였다.

표 2. MI의 관측영역별 위성 시야각.

관측영역	사용자 요구사항			요구사항에 의한 관측영상의 크기 (pixel)
	관측주기 (분)	소요시간 (혹체포함)	위성 시야각 (FOV angle)	
FD	180	약 25분 이내	EW : $\geq 19^\circ$ NS : $\geq 17.6^\circ$	VIS : 10973×11845 IR : 2743×2961
APNH	30	약 4분 이내	EW : $-2.2^\circ \sim +4.3$ NS : $+8.1 \sim +3.2$	VIS : 4052×3055 IR : 1013×764
ENH	30	약 11분 이내	EW : $-6.2^\circ \sim +6.2$ NS : $+8.1 \sim -1.8$	VIS : 7730×6172 IR : 1932×1543
LSH	30	약 6분 이내	EW : $-6.2^\circ \sim +6.2$ NS : $-1.8 \sim +6.9$	VIS : 7730×3180 IR : 1932×795

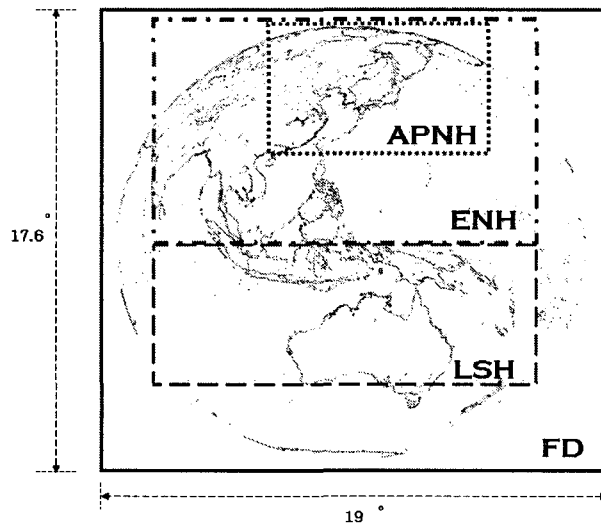


그림 5. 기상탐재체의 관측영역별 위성시야각.

표 3. MI의 관측영역별 위성 시야각.

관측영역	영상의 크기	
	VIS (픽셀)	IR (픽셀)
FD	$11,000 \times 11,000$	$2,750 \times 2,750$
APNH	$4,800 \times 3,400$	$1,200 \times 850$
ENH	$8,900 \times 6,200$	$2,225 \times 1,550$
LSH	$8,900 \times 3,800$	$2,225 \times 950$

3.4 관측영역별 영상의 위치결정 및 정확한 위성 시야각 계산

통신해양기상위성 기상탐재체의 가시채널 해상도는 직하점을 기준으로 $28\mu\text{rad}$ 의 시야각이 지상 점에 1km이며, 이는 $11,000 \times 11,000$ 픽셀의 영상에 표현된다. 따라서 각 관측영역에 대하여 $11,000 \times$

표 4. 결정된 전지구 영상에서의 관측영역별 영상시작점과 위·경도 값.

관측영역	FD 11,000 × 11,000내에서의 영상 시작점	영상의 꼭지점 위경도(lat, long)	각 영상크기에 따른 위성시야각
FD 11,000×11,000	동서 : - 남북 : -	upper left : Space Area lower left : Space Area upper right : Space Area lower right : Space Area	동서 : -8.82355 8.82355 남북 : -8.82355 8.82355
APNH 4,800×3,400	동서 : 3,719 남북 : 344	upper left : Space Area lower left : 17.619913, 109.583084 upper right : Space Area lower right : 17.896444, 157.806305	동서 : -2.85723 4.84333 남북 : 8.27168 2.81712
ENH 8,900×6,200	동서 : 1,138 남북 : 344	upper left : Space Area lower left : -9.008526, 78.452911 upper right : Space Area lower right : -8.982827, 176.762054	동서 : -6.99788 7.28023 남북 : 8.27168 -1.67356
LSH 8,900×3,800	동서 : 1,138 남북 : 6,545	upper left : -9.018450, 78.450508 lower left : Space Area upper right : -8.992720, 176.764328 lower right : Space Area	동서 : -6.99788 7.28023 남북 : -1.67647 -7.77275
LFH 8,900×10,000 (ENH+LSH)	동서 : 1,138 남북 : 344	upper left : Space Area lower left : Space Area upper right : Space Area lower right : Space Area	동서 : -6.9496 7.2271 남북 : 8.1987 -7.7103

11,000픽셀 영상에서의 위치를 계산하면 각 관측영역별 영상의 네 꼭지점에 대한 정확한 위성의 시야각을 계산할 수 있다. 여기서 전지구 영상에서의 관측영역별 영상의 위치 정의는 11,000×11,000픽셀 영상의 좌측상단 끝에서 부터 가로 및 세로의 픽셀거리로서 각 관측영역별 영상의 네 꼭지점에 대한 위·경도 값을 결정하였다. 이러한 정보는 국외 기상위성의 영상 처리시에도 추출되어 사용자들에게 전달되는 정보로서 여러가지 후처리시에 유용하게 사용될 수 있다. 이상 설명한 각 관측영역별 영상 네 꼭지점의 위·경도 값과 정확한 위성 시야각을 표 4에 나타내었다.

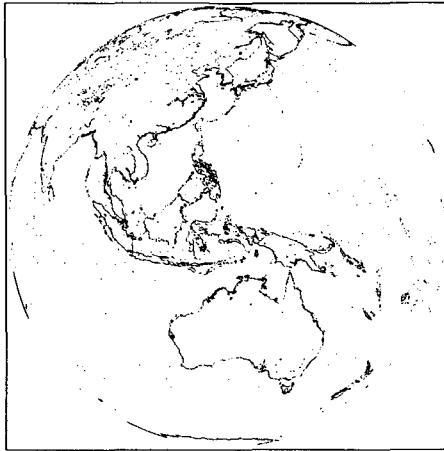
그림 6은 표 4에서 계산한 결과를 기반으로 통신해양기상영상의 관측영역별 영상을 시뮬레이션한 결과로 그림 4와 동일하게 1km 해상도의 GSHHS 랜드마크를 이용하여 해안선을 표시하였다.

3.5 사용자 배포영상의 크기 추정

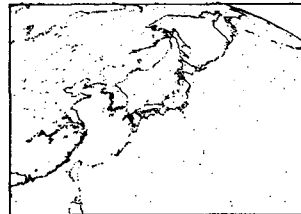
결정한 영상의 크기와 현재 기상청에서 고려중인 배포 스케줄을 이용하면 하루에 생성되는 사용자 배포 영상의 용량을 추정할 수 있다. 각 관측영역별로 1일 관측회수 및 각 관측영역별 사용자 배포 영상의 용량을 추정하였으며 그 결과를 표 5에 나타내었다. 통신해양기상위성 기상탑재체에서 하루에 생성되는 사용자 배포 영상의 크기는 12.064Gbyte이며, 이는 통신해양기상위성 지상국 상세설계 및 MSC(Meteorological Satellite Center) 설계를 위한 정보로 제공 되었다.

4. 결론

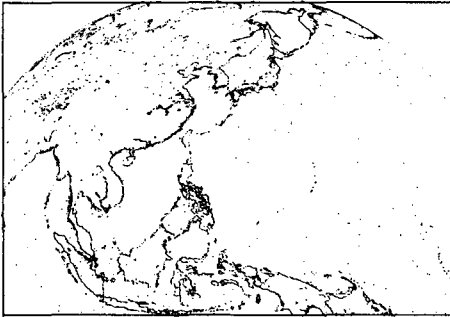
이 논문에서는 사용자 요구사항의 위성시야각에 기반하여 영상의 크기를 결정하고 이에 따라 정확한 위성 시야각 및 사용자 배포영상의 크기를 추정하였다. 이를 위하여 먼저 The GEOStationary



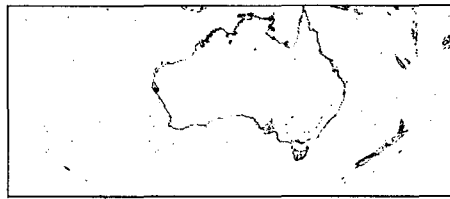
(a) FD 영상(11,000×11,000)



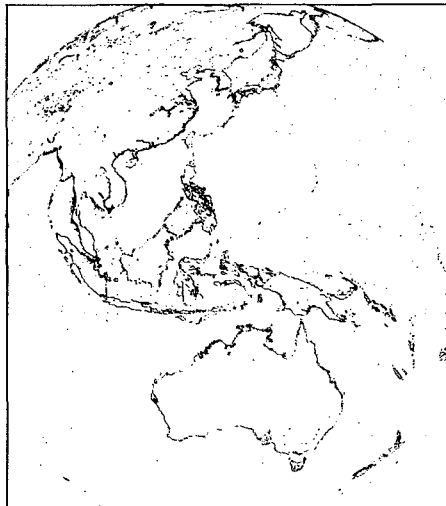
(b) APNH 영상(4,800×3,400)



(c) ENH 영상(8,900×6,200)



(d) LSH 영상(8,900×3,800)



(e) LFH 영상(8,900×10,000)

그림 6. 관측영역별 투영영상 시뮬레이션 결과.

표 5. 기상탑재체 Level 1B 픽셀 파일의 크기.

관측모드		픽셀 파일의 크기 [Pixel]	1회 관측시 Pixel File 크기 [byte]*	1일 관측회수	1일 관측시 Pixel File 크기 [byte]		1일 관측시 파일 전체크기 [byte]
FD	VIS	11,000×11,000	242,000,000	8	1,936,000,000	2,420,000,000	
	IR	2,750×2,750	15,125,000		484,000,000		
APNH	VIS	4,800×3,400	32,640,000	12	1,305,600,000	1,632,000,000	
	IR	1,200×850	2,040,000		326,400,000	12,952,000,000	
ENH	VIS	8,900×6,200	110,360,000	12	4,414,400,000	5,518,000,000	
	IR	2,225×1,550	6,897,500		1,103,600,000	(12.064G)	
LSH	VIS	8,900×3,800	67,640,000	12	2,705,600,000	3,382,000,000	
	IR	2,225×950	4,227,500		676,400,000		

* 각 픽셀은 2byte 용량을 가짐

Projection의 개념을 설명한 다음 통신해양기상위성에서 전지구 관측을 위한 최소의 위성시야각을 계산하였다. 다음으로 사용자 요구사항과 계산된 최소의 위성시야각을 기반으로 각 관측영역별 사용자 배포 영상의 크기를 결정하였고, 이에 따라 정확한 위성의 시야각 및 하루에 생성되는 사용자 배포영상의 용량을 추정할 수 있었다. 이 논문의 결과는 현재 활발히 수행되고 있는 통신해양기상위성 지상국개발의 상세설계에 반영되었으며, 향후 위성의 관측 스케줄 및 사용자 자료 배포스케줄 확정에 활용되리라 기대된다.

참고문헌

- 기상청 2004, 통신해양기상위성-1호 기상관측임무 사용자 요구사항 (서울: 기상청), p.19
- 서석배, 강치호, 구인회, 안상일 2005, 한국항공우주연구원 기술문서 (기상청 요구사항에 따른 COMS LRIT의 영상크기 및 Navigation 파라미터 결정), KARI-MOG-TM-2005-011
- 최해진, 백홍열, 최기혁, 김은규, 임효숙, 김종우, 안상일, 이주희, 김해동, 강치호, 서석배, 임현수 2004, 통신해양기상위성 지상국 개발 사업(I) 보고서 (대전: 한국항공우주연구원), pp.17-20
- Wolf, R. & Just, D. 1999, LRIT/HRIT Global Specification (Germany: Darmstadt), pp.22-25