

극한지 건설사업 진출을 위한 위성영상 활용방안 연구* -남극 제2기지 건설 사례를 중심으로-

홍창희^{1*} · 김태훈¹ · 배규진²

A Study on Application Methods of Satellite Images for the Construction Projects over Extreme Cold Regions* -Focus on the Construction Case of 2nd Antarctic Base-

Chang-Hee HONG^{1*} · Tae-Hoon KIM¹ · Gyu-Jin BAE²

요 약

자원개발 등의 이유로 시베리아나 알래스카와 같은 극한(寒)지 진출이 국내는 물론 세계적으로도 증가 추세에 있다. 이에 따라 본 연구에서는 남극 제2기지 건설사업을 대상으로, 극한지 건설사업 진출을 위한 위성영상 활용방안을 도출하고자 하였다. 남극을 포함한 극한지는 지역적 특성상 원격지이고 접근이 어렵다는 특성에 따라 위성영상의 활용은 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 극한지 건설 프로세스 전반에 대한 검토와 극한지 위성영상 활용사례 분석 및 관련 논문 등 문헌리뷰를 통해 건설 단계별 위성영상 활용가능항목 및 활용방안을 제시 하였다.

주요어 : 위성영상, 원격탐사, 남극 제2기지, 극한지, 건설

ABSTRACT

For the reasons such as resource development, an interest in the extreme cold regions has been increasing in recent years. Therefore, this study aims to suggest the application methods of satellite images for the construction projects over extreme cold

2010년 11월 1일 접수 Received on November 1, 2010 / 2010년 12월 1일 수정 Revised on December 1, 2010 / 2010년 12월 3일 심사완료 Accepted on December 3, 2010

* 본 연구는 2010년도 한국건설기술연구원 주요사업, 『극한지 하부구조 급속시공 플랫폼 기술 개발』 연구로 진행되었음.

1 한국건설기술연구원 U-국토연구실 Ubiquitous Land Implementation Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 한국건설기술연구원 지반연구실 Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology

※ 연락처자 E-mail : chhong@kict.re.kr

regions. Because extreme cold regions including the Antarctic is generally far and difficult to access, the satellite images are useful to monitor the extreme cold regions. In this study, satellite images can be used in the overall construction process and the application methods presented through the review of the case studies and the related literature.

KEYWORDS : *Satellite Image, Remote Sensing, 2nd Antarctic Base, Extreme Cold Regions, Construction*

서 론

극한(寒)지는 남·북극을 포함하여 그린란드, 시베리아, 알래스카 등 전 세계에 널리 분포하고 있으며, 육지 면적의 약 23%를 차지할 만큼 광활한 면적이다. 최근 자원개발이나 기후변화, 환경모니터링 등을 위한 극한지 진출이 세계적으로 증가 추세에 있으며, 국내에서도 2015년경부터 러시아로부터 750만 톤 규모의 천연가스를 공급 받기로 하는 등 시베리아 에너지 개발이나 알래스카 철도 건설사업 등에 진출하고자 노력하고 있다. 특히, 남극 제2기지 건설을 추진하면서 극한지 건설에 대한 관심이 상당히 고조된 상황이다.

우리나라 입장에서 보면, 극한지는 원격지고 지역적 특성상 접근이 어렵다는 특징이 있다. 따라서 현지조사를 통한 정보 획득이 어렵고, 해당 국가에서 조차 극한지에 대한 정보를 제대로 갖추고 있지 못한 경우가 많아 관련 정보를 확보하는 것이 상당히 힘들다. 이런 상황이다 보니 국내 건설사들이 극한지에 건설사업을 진출하고자 할 경우 특히, 사업의 초기 단계에서 사업제안이나 타당성검토, 계획 수립 등에 활용할 수 있는 현지정보를 확보하는데 많은 어려움이 있다(Kim *et al.* 2010).

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 대안으로 위성영상을 활용하는 방안을 제시하고자 하였다. 위성영상은 위성을 통해 현지의 영상정보를 획득하는 방식으로 극한지의 지형이나 토지피복은 물론 해빙분포나 빙하의 거동까지 파악이 가능하다(강원대, 2008; 한향선과 이훈열, 2010). 특히, 극한지는 주

로 극지방에 치중되어 있어 백야와 같이 밤이 지속되는 기간이 있어 광학영상의 획득이 어려울 경우 기상과 빛에 독립적인 SAR 위성영상을 활용할 수 있으며, 고해상도뿐만 아니라 다중 편광영상을 얻을 수 있는 등 위성영상 분야의 많은 발전이 있어왔다. 국내에서도 이미 1m 해상도의 광학영상을 획득할 수 있는 KOMPSAT-2 위성을 운영하고 있으며, 2011년에는 1m 해상도의 SAR 영상을 획득할 수 있는 KOMPSAT-5 위성과 센티미터급의 광학영상을 획득할 수 있는 KOMPSAT-3 위성을 발사할 예정에 있어, 본 연구와 맞물려 극한지 건설사업은 물론 해외 건설사업을 계획하고 있는 건설사에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

연구방법 및 연구대상

1. 연구방법

본 연구는 현재 국내에서 진행되고 있는 남극 제2기지 건설사업을 연구대상으로 선정하여, 실제로 사업 진행에 필요한 항목을 직접적으로 검토하는 방식으로 연구의 현실성을 확보하고자 하였다. 연구방법은 먼저, 남극 제2기지 건설사업에 있어 건설 프로세스 전반에 대해 위성영상을 활용하여 분석할 수 있는 항목을 검토하였으며, 현재 활용 가능한 주요 위성영상과 영상별 특성, 기대 성능을 조사하고, 극한지 위성영상 활용사례 분석 및 관련 논문 등 문헌리뷰를 통해 최종적으로 건설단계별 위성영상 분석항목 및 항목별 적정 활용 방안을 제시하고자 하였다(그림 1).

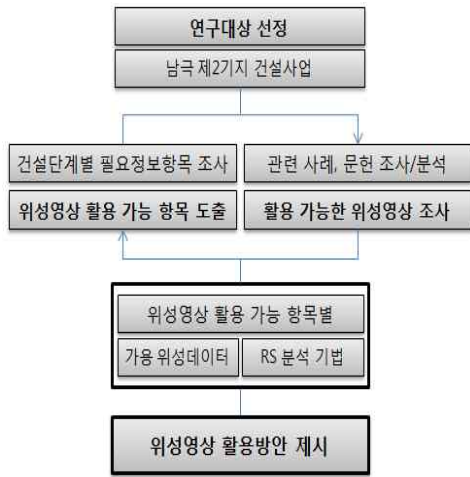


FIGURE 1. 연구 흐름도

2. 연구 대상 지역

일반적으로 남극이라 하면 남위 90°의 지점을 의미하기도 하고, 그 지점을 중심으로 하는 지역을 의미하기도 하므로, 본고에서는 후자의 경우를 남극으로 정의하였다. 남극은 남극대륙과 그 주변 도서들로 넓은 뜻의 남극은 남위 50~60°까지의 섬과 남극해를 포함하지만, 남극조약(Antarctic Treaty)에서는 남위 60°이남의 지역에 대하여 남극으로 규정하고 있다. 남극은 약 1,440만km²로 한반도 면적의 65배에 달할 만큼 광활하며, 남극 전체표면의 약 98%가 얼음으로 덮여 있다.

남극은 지구상에서 가장 춥고 건조하며 바람이 많이 부는 지역으로, 이런 환경에 적응한 동식물만이 생존하고 있으며 대표적으로 펭귄, 스쿠아, 물개 등이 서식하고 있다. 사하라사막보다도 연강수량이 적고 낮은 기온과 함께 물질의 자연적인 순환이 매우 느리게 이루어지고 있어 자연환경이 한번 파괴되면 회복에 많은 시간이 필요하다. 이런 이유로 남극조약에서는 남극의 환경파괴를 극도로 제한하고 있으며, 이러한 상황은 기지건설에 있어 부지 선정에서부터 시공과 운영까지 직접적인 영향을 미치게 된다(그림 2).

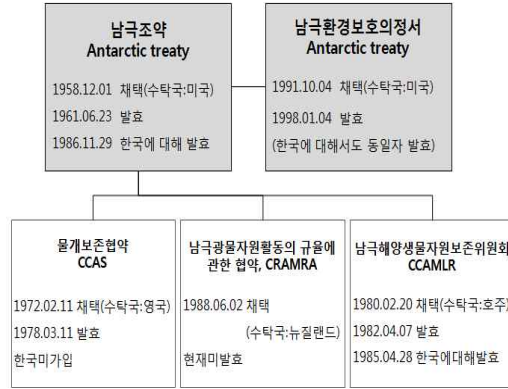


FIGURE 2. 남극관련 주요 국제협약체계

또한, 빙하지역은 많게는 하루에 수 센티미터씩 움직이고 있고, 해안은 1년 내내 해빙으로 덮여 접근이 어려운 지역도 있어(한향선과 이훈열, 2010), 이런 모든 조건을 만족하는 부지를 선정하고 초기 단계부터 친환경 건설을 위한 건설계획 및 설계를 수립하는 것이 매우 중요하다. 이러한 과정은 현지에 대한 정확한 정보 없이는 불가능한 것으로, 그 중 가장 중요한 조건 중 하나인 얼음에 덮여있지 않은 면적만 약 28만km²에 달하고 있어 위성영상의 활용은 필수적이라 할 수 있다.

국내외 위성영상 활용사례 조사

미국의 National Snow and Ice Center에서는 MODIS based Mosaic of Antarctica (MOA) 2004 프로젝트를 진행하였으며, 2003년 11월 20일부터 2004년 2월 29일까지 촬영된 총 260장의 MODIS 위성영상을 활용하여, 125m 해상도의 남극 MODIS 정합영상을 구축하였다. 이를 통해 남극표면형태(Surface Morphology)영상, 남극해안선(Coast line), 남극육지선(Ground line), 남극주요해빙지역경계(Ice shelf), 남극지표입자(Surface grain size) 등 총 6개의 남극 주제도를 제작하였다(그림 3).

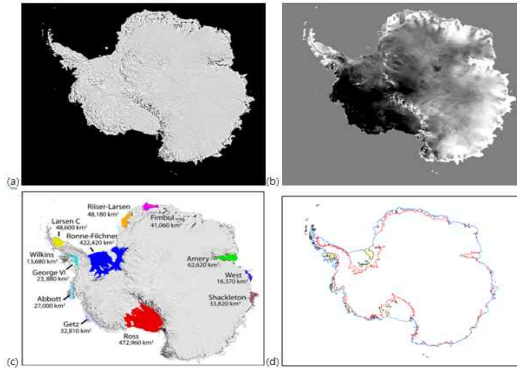


FIGURE 3. MOA 프로젝트를 통해 구축된 데이터 (a)Surface Morphology, (b)Surface grain size, (c)Ice shelf, (d) Coast(blue) and Ground(red) line
(출처: <http://nsidc.org/data/moa/>)

특히, 남극표면형태영상을 통해 필히너빙봉(Filchner Ice Shelf)과 코츠랜드(Coats Land)의 경계나 Ice Stream, Blowing Snow와 같은 다양한 남극대륙의 표면형태나 현상을 관측할 수 있다(그림 4).

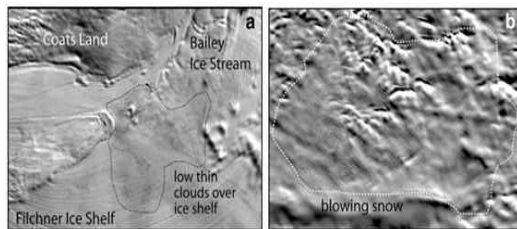


FIGURE 4. 남극표면형태영상의 부분 확대영상
(출처: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MOA/>)

미국 NASA에서는 Landsat Image Mosaic of Antarctica(LIMA) 2007 프로젝트를 통해 1999년부터 2003년에 촬영된 1100장의 Landsat ETM+ 영상을 사용하여 남극 전역에 대한 최초의 15m급 고해상도 Mosaic 영상을 제작하였다.

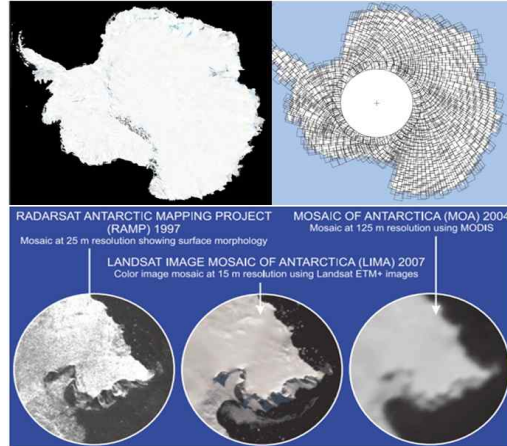


FIGURE 5. LIMA(UL), Landsat ETM+ 영상 활용 현황(UR), 공간해상도 비교(L)
(출처: <http://lima.usgs.gov>)

위 그림 5에서와 같이 LIMA 데이터는 MOA에 비해 공간 해상도가 상당히 뛰어나다. 따라서 남극의 지형이나 노출암반, 얼음이 흘러내린 흔적 등을 보다 자세히 관측할 수 있다. 또한, NASA에서는 Radarsat Antarctic Mapping Project(RAMP) 1997을 통해 구축한 25m 해상도의 수치표고모형(Digital Elevation Model; DEM)을 활용하여 남극의 주요 관심지역에 대해 3D Viewing을 제작하여 남극 지형을 시뮬레이션 하였다.

이외에도 미국 USGS에서는 1970년대부터 1990년대 말까지의 다양한 위성영상을 활용하여 남극의 해안선 변화탐지도와 빙하지도(Coastal-Change and Glaciological Maps of Antarctica)를 제작하여 남극 지역의 Ice Sheet의 면적 및 체적계산과 평균 해수면의 상승 정도를 가능하게 활용하고 있으며, United States Antarctic Resource Center(USARC)에서는 남극지역에 대한 1:250,000 축적의 지형정찰지도 및 SAR(Synthetic Aperture Radar)영상을 이용하여 제작한 수 미터 해상도의 DEM도 제공하고 있다.

국내에서는 2009년 남극세종과학기지 및 대륙예정 기지주변과 남극전역의 지도제작을

위한 ‘남극지역 측량 및 지도제작 기본계획’을 마련하여 2010년 시범사업을 진행하였으며, 서남극 후보지에 대한 원격탐사 활용(강원대, 2008) 및 DinSAR 기법으로 관측된 변위를 이용한 빙하의 속도, 두께, 전단응력 추정 연구(한향선과 이훈열, 2010) 등이 수행된 바 있다.

가용 위성영상 및 데이터 특성 조사

현재 운영되고 있거나 운영되었던 많은 원격탐사위성 중 남극 촬영이 가능한 주요 위성을 조사하였으며, 위성별로 획득 가능한 영상의 특성 즉, 건설환경 분석과 관련이 있는 공간해상도, 분광해상도, 스테레오 가능 여부와 위성의 운영 기간을 조사함으로써 활용 목적이나 원하는 정보의 취득 시기 등에 따라 적합한 위성영상을 선정하는데 참고할 수 있도록 다음 표 1과 같이 광학위성영상 종류와 그 특성을 조사하였다.

TABLE 1. 활용 가능한 주요 광학위성영상 현황

영상 종류	해상도 (m)	MS Band	촬영(운영)기간		입체
			Launch	End	
GeoEye-1	0.4,1.6	4	200802	운영중	○
WorldView-2	0.5	8	200709	운영중	○
Quickbird-2	0.7,2.8	4	200110	운영중	○
KOMPSAT-3	0.7,2.8	4	(2011)	예정	○
IKONOS	0.8,3.2	4	199909	운영중	○
Orbview-3	1	4	200306	운영중	○
KOMPSAT-2	1.4	4	200607	운영중	○
SPOT4 HRVIR	10,20	4	199803	운영중	○
IRS(IRS-1D)	5.8,23,188	6	199709	운영중	○
Landsat ETM	15,30	7	199904	운영중	X
ASTER	15,30	14	2000	운영중	○
ENVISAT	25	15	2002	운영중	○
EO1 ALI	10,30	9	2000	운영중	X
EO1 Hyperion	30	220	2000	운영중	X
MODIS (km)	0.25,0.5,1	36	2000	운영중	X
AVHRR (km)	1	5	199412	운영중	X

또한, 남극은 백야와 반대로 밤이 지속되는 기간이 존재하여, 이런 경우 광학위성영상의 활용이 불가하므로, SAR 위성영상에 대해서도 다음 표 2와 같이 활용 가능한 SAR 위성영상 종류와 그 특성을 조사하였다.

TABLE 2. 활용 가능한 주요 SAR위성영상 현황

분류	영상 종류	해상도 (m)	Polarization	촬영기간	
				Launch	End
X 밴드	TerraSAR-X	1	dual	2007	운영중
	KOMPSAT-5	1	dual	(2011)	예정
	Cosmo-SkyMed	1	dual	2007	운영중
C 밴드	Radarsat-1/2	10-100 3-100	single quad	1995 2007	운영중
	ERS-1/2	25	single	1991 1995	2000 운영중
	ASAR(Envisat)	25	dual	2002	운영중
L 밴드	PALSAR(ALOS)	10-100	quad	2006	운영중
	JERS-1	25	single	1992	1998

위 표 1, 표 2에서와 같이 다양한 공간해상도와 분광해상도의 영상을 건설단계별로 활용 목적이나 요구 성능에 따라 적정 사양의 영상을 선택하여 활용할 수 있으며, SAR 위성영상 또한 다양한 공간해상도와 파장대, 다중편광의 위성영상을 선택하여 활용할 수 있다.

위성영상 분석항목 및 활용방안

남극 제2기지 건설사업을 대상으로 위성영상을 활용하여 분석 가능한 항목 및 활용방안을 도출하기 위해 표 3과 같이 KEI에서 제시하고 있는 건설지 평가기준을 검토하였다.

평가기준으로부터 먼저 분석 가능할 것으로 판단되는 후보 항목을 도출하였으며, 각 후보 항목마다 분석을 위해 요구되는 데이터 즉, 제작 가능하거나 활용 가능한 주제도와 자료원과의 연관성을 정의함으로써, 그림 6과 같이 최종적인 위성영상 분석항목을 도출하였다(Scambos *et al.*, 2007; USGS, 2005; 강원대, 2008). 또한 이를 건설프로세스와 연계하

TABLE 3. 남극 제 2기지 건설지 평가기준 (KEI)

항목	평가기준
육상 생태계 영향	반경 200m내 주요생물 서식지·번식지 존재여부
	활주로 후보지 측면 200m(양측 400m)내 주요 생물서식지 존재 여부
	남극특별보호구역내 보호지역에 대한 영향 여부
담수 생태계 및 상수원 확보	담수호 분포 현황 및 담수생태계 존재여부
	기지건설시 담수호 영향정보 및 저감방안
지형, 지질 안전성 (빙하포함)	반경 10km 이내 과거 20만년전 이후 한번 이상의 화산활동 및 단층 운동 여부
	연약암반, 방사성물질, 유해중금속 존재 여부
	주변 빙하붕괴, 사태 등의 발생가능성
	기지주변 빙하의 유동 특성(속도, 방향 등)
기지 입지 적정성	활주로 포함 이격거리, 크레바스 발달정도
	대상지 및 주변의 경사도 20도이상 지역의 분포
	이동 및 보급 동선을 고려한 시설물 입지의 접근성 및 적정성
	기지 건설에 충분한 부지면적의 확보 여부
	기지성치에 필요한 노출 암반 존재 여부

여 건설단계별 위성영상 활용방안을 제시하였다.

결과적으로 그림 6의 정의와 같이 분석된 항목들은 건설지 평가기준에 따라 후보지를 선정하거나 사업 타당성을 분석할 수 있게 하며, 또한 건설지가 결정되면 건설 계획 및 설계를 수행하게 되는데, 이때는 (초)고해상도 광학위성 영상이나 SAR 위성영상을 활용하여 정밀 DEM을 구축하고(Mitchell, 2009; 강원대, 2005), 이를 통해 종단면도/횡단면도 등 설계요소를 분석함으로써 기본설계 단계까지 위성영상의 활용이 가능하다.

건설단계별 위성영상 활용방안 및 기대성능을 좀 더 자세히 살펴보면, 건설의 초기 단계인 후보지 선정이나 타당성조사 단계에서는 무엇보다 남극 제 2기지 건설의 경우 노출암반을 탐지하고 암반 특성을 분석하는 것이 매우 중요한 요소이다. 이는 EO-1 Hyperion(30m), Landsat ETM+(15m), ASTER(15m)와 같이 주로 중적외선 파장대의 밴드를 보유한 위성영상을 활용하게 된다. 다음 그림 7은 초분광 위성영상인 EO-1 Hyperion 영상을 활용하여 노출암반을 탐지하고 암반 특성을 분석하는 영상처리 프로세스를 제시한 것이다(김선화 등, 2005).

이와 함께 지형분석, 서식지·담수호와 같

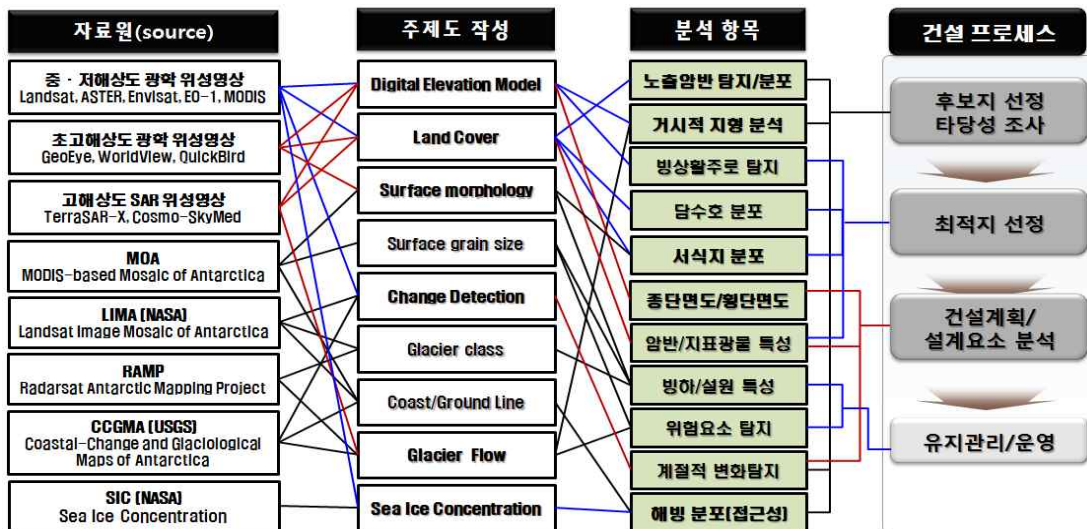


FIGURE 6. 남극 제2기지 건설에 있어 건설 단계별 위성영상 활용가능 분석항목

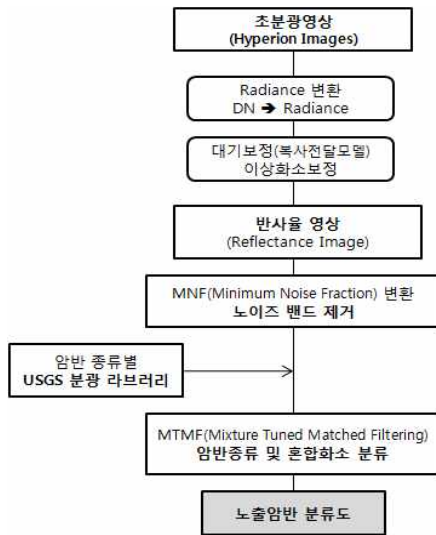


FIGURE 7. 초분광(Hyperion) 영상을 이용한 노출암반 탐지 및 분류방법

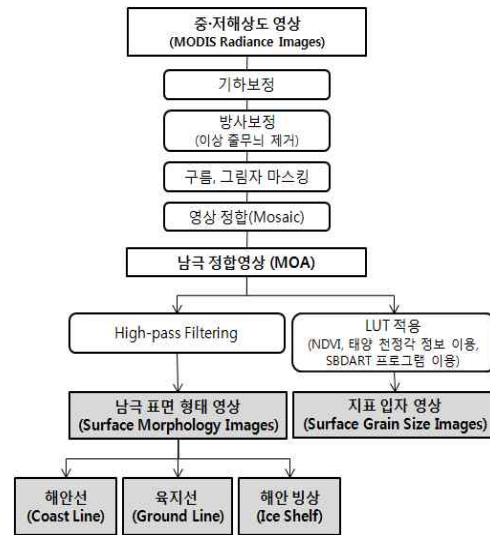


FIGURE 8. 중·저해상도(MODIS) 영상을 활용한 남극의 기초 주제도 제작방법

은 주변 환경 분석, 해빙분포 등의 분석이 이루어지게 된다. 이 때 지형분석의 경우 USGS 등에서 제공하는 100m 또는 25m 해상도의 DEM을 활용할 수 있으며, 그 밖에 주변 환경이나 해빙분포 등에 대한 분석은 남극 해안선/육지선 데이터나 지표입자, 표면형상에 대한 데이터가 기본적으로 요구되게 되는데, 다음 그림 8은 이와 같은 데이터를 구축하기 위한 영상처리 프로세스를 제시한 것이다(Scambos *et al.*, 2007; USGS, 2005).

건설 계획 및 기본 설계 단계에서는 보다 정밀한 분석이 요구된다. GeoEye-1(0.4m), WorldView(0.5m), Quickbird-2(0.7m)와 같은 초고해상도 광학위성영상이나 TerraSAR-X(1m), Cosmo-SkyMed(1m)와 같은 고해상도 SAR 위성영상을 활용할 수 있으며, 광학영상의 밴드별 분광(spectrum)특성과 SAR 영상의 편광(polarization)특성을 이용하여 토지피복분류를 통해 노출암반이나 지표특성, 담수호나 서식지분포 등에 대한 보다 정밀한 정보를 분석할 수 있다. 특히, SAR 위성영상의 경우 DInSAR(Differential InSAR) 기법을 통해 빙하나 지반의 거동, 빙하의 이동속도 탐지와

같은 변화탐지와 이를 이용한 빙상활동주도 탐지 등이 가능하다(강원대, 2005).

무엇보다, 건설사업에 있어 계획이나 설계 단계에서는 종단면도나 횡단면도와 같이 설계 요소를 분석할 수 있는 측량성과가 필요하며, 이를 위해 대축척 DEM이 가장 중요한 데이터 중 하나로 요구된다. 이는 초고해상도 광학영상을 활용함으로써 센티미터 단위의 수직 정확도를 가진 정밀한 DEM을 구축할 수 있다. 다음 표 4는 국내외 DEM 구축 사례 조사를 통해 도출된 위성영상을 활용한 최대 DEM 구축 해상도 및 수직정확도에 대한 기대성능을 보여준다.

TABLE 4. 광학위성영상 활용 DEM구축 기대 성능

위성영상	해상도	RMSE	비고
GeoEye-1	0.5m	0.35m (LE90)	Gerry Mitchell, 2009
WorldView	0.5m	0.19m (slopes<20%)	Gerry Mitchell, 2010
	0.5m	0.77m (slopes>20%)	

또한 SAR 위성영상의 경우 InSAR 기법을 통해 정밀 DEM을 구축할 수 있다. InSAR DEM에서 수직해상도는 Height ambiguity로 나타낼 수 있는데, Height ambiguity는 간섭도에서 하나의 간섭띠(fringe)가 이루는 고도 변화율을 의미하며(강원대, 2005), 다음 식 (1)을 통해 Height ambiguity를 산출할 수 있다.

$$z_{2\pi} \approx \frac{\lambda R_1 \sin\theta_i}{2 B_{\perp}} \quad (1)$$

위 식 (1)에서 B_{\perp} 은 두 위성 사이의 수직 기선거리(perpendicular baseline)를 나타내며, λ 는 파장, R_1 은 위성고도, θ_i 는 레이더 입사각을 나타낸다. 여기서 파장(λ)과 위성고도(R_1)는 위성마다 이미 결정되어 있는 사항이고, 입사각(θ_i)과 기선거리(B_{\perp})는 촬영 시마다 달라질 수 있는 촬영조건이다. 입사각 40° , 기선거리 100km는 최대 Height ambiguity를 위해 산출된 값이며, 이와 같은 조건을 만족할 경우 다음 표 5와 같은 Height ambiguity 결과를 기대할 수 있다.

TABLE 5. SAR위성영상 활용 DEM구축 기대 성능

	λ (cm)	R_1 (km)	θ_i	B_{\perp} (km)	Height ambiguity
TerraSAR-X	3.13	714			7 cm
ENVISAT ASAR	5.6	782	40°	100	14 cm
ALOS PALSAR	23.62	692			56 cm

결 론

기존의 연구들은 미시적 접근을 통한 세부 전문분야 즉, 건설사업의 측면에서 보면 특정 프로세스에만 적용 가능한 세부 분야에 대한 실험적인 연구가 대부분이었다면, 본 연구에서는 남극 제2기지 건설사업을 대상으로 거시적 관점에서 건설 프로세스 전반을 통해 실제

로 위성영상을 활용하여 분석 가능한 항목을 건설 단계별로 도출하고 활용방안과 기대성능을 제시했다는데 그 의의가 있다.

본 연구를 통해 국내 건설사가 극한지 건설사업 진출 시, 건설 단계별로 분석 항목 및 요구 성능에 따라 적정 위성영상 및 활용방안을 선택하여 활용 수 있도록 정보를 제공함으로써, 특히 건설의 초기단계에서 현지정보 획득방안에 대한 전략을 수립하고, 필요정보를 분석하는 데 있어 의사결정을 보다 신속하고 정확하게 내릴 수 있도록 하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 극한지 건설에 있어 위성영상의 활용성을 사례 연구나 문헌 리뷰를 중심으로 거시적 관점에서 분석하여 제시한 것으로, 향후 추가 연구를 통해 제시된 각각의 위성영상 활용 가능 항목에 대해 실제 현장 적용 실험을 수행하여 최적의 세부 분석 프로세스를 도출하는 연구를 진행할 예정이다. **KAGIS**

참고문헌

강원대. 2005. InSAR를 이용한 광역 지반침하 원격관측 기법에 관한 연구. 한국지질자원연구원. 7-33쪽.

강원대. 2008. 남극 대륙기지 예비후보지 선정을 위한 위성영상 분석. 극지연구소. 5-60쪽.

김선화, 이규성, 마정림, 국민정. 2005. 초분광 원격탐사의 특성, 처리기법 및 활용 현황. 대한원격탐사학회지 24(4):341-369.

한향선, 이훈열. 2010. DInSAR 기법으로 관측된 변위를 이용한 빙하의 속도, 두께, 전단 응력 추정. 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집. 67-72.

Kim, T.H., S.H. Kim, C.H. Hong and G.J. Bae. 2010. An analysis of suitable site for constructing of base station on the extreme cold region using RS and GIS

- techniques. Proceeding of ISRS 2010:158–162.
- Mitchell, G. 2009. GeoEye–1 Stereo Satellite DEM Comparison to a LiDAR DEM over the Garlock Fault in Southeast California. PhotoSat. pp.1–7. <http://www.opentopography.org>
- Michell, G. 2010. WorldView–2 Stereo Satellite DEM Comparison to a LiDAR DEM over the Garlock Fault in Southeast California. PhotoSat. <http://www.opentopography.org>
- Scambos, T.A., T.M. Haran, M.A. Fahnestock, T.H. Painter and J. Bohlander. 2007. MODIS– based mosaic of Antarctic(MOA) data sets: continent–wide surface morphology and snow grain size. Remote Sensing of Environment 111(2–3):242–257.
- The U.S. Geological Survey. 2005. Coastal–Change and Glaciological Maps of Antarctica. U.S. Geological Survey Fact Sheet 2005–3055. [KAGIS](#)