

# 그린란드 수치표고모델의 수직정확도 검증에 관한 연구

## A study of Accuracy Assessment of Digital Elevation Model in the Greenland

박호준\* · 최윤수\*\* · 김재명\*\*\*

Ho Joon Park · Yun Soo Choi · Jae Myeong Kim

**요약** 최근 북극지역은 지구온난화에 따른 각종개발 및 기후변화 연구 등을 위하여 수치표고모델 수요가 증가되고 있기 때문에 수치표고모델을 활용하기 위해서는 정확도에 대한 검증이 필요하다. 본 연구에서는 대부분이 빙하로 덮여 있는 그린란드에 구축된 수치표고모델 중 ASTER GDEM과 GIMP DEM을 검증하였다. 수치표고모델을 검증하기 위하여 토지피복도를 사용하여 그린란드를 내륙빙상지역과 해안빙상지역으로 나누었으며, 두 수치표고모델과 ICESat 표고값과의 차를 비교하여 정확도를 검증하였다. 그 결과 내륙빙상지역에서는 GIMP DEM의 정확도가 더 높았으며, 해안빙상지역에서는 ASTER GDEM의 정확도가 더 높은 것으로 나타났다.

**키워드** : 수치표고모델(DEM), 그린란드, 위성레이저고도계

**Abstract** Recently, increasing demand for 'Digital Elevation Model(DEM)' to climate change research and various development by global warming in the Arctic region. So we need to verify the accuracy to utilize DEM. In this research, we verified 'ASTER GDEM' and 'GIMP DEM' in several DEM which constructed in the Greenland that most of the area is covered ice sheet.

We divided greenland into two part, ice sheet area and non ice sheet area by using the ESA globcover. Then, comparing a difference between 'ASTER DEM', 'GIMP DEM' and ICESat elevation data to verify the accuracy. As a result, GIMP DEM has higher accuracy in ice sheet area and ASTER GDEM has higher accuracy in non-ice sheet area.

**Keywords** : Digital Elevation Model, Greenland, Laser Altimetry

### 1. 서 론

미국 국립빙설자료센터(NSIDC)에서는 북극의 빙하가 유엔 정부간 기후변화위원회(IPCC)의 예상보다 빠르게 녹아내리는 것으로 나타나고 있다고 하였다[1]. 최근 지구온난화에 의한 북극의 해빙이 가속화되고 있어 영구동토층, 북극해 빙하지역에 대한 각종 자원 개발, 북극 신행로 개설 가능성에 전 세계가 관심을 집중하고 있으며 극지연구 및 북극개발 진출을 위해서 기초공간정보인 수치표고모델에 대한 수요가 증가하고 있다. 수치표고모델은 공간상의 연속적인 기복 변화를 수치적으로 표현한 것으로 연구, 건설 등 다양한 항목에 활용이 가능하다[2]. 그렇기 때문에 현재 전지구적으로 수치표고모델이 구축(Table 1)[3]되어 있으나, 기존의 구축된 수치표고모델을 사용하기 전

에는 검증절차가 필요하다. 수치표고모델 제작에는 이미지매칭, 지상기준점 GCP(Ground Control Point), 현장측량 등이 요구된다. 하지만 그린란드는 매우 광범위하고 대부분이 빙하지역이기 때문에 현장측량을 위한 접근이 어렵고, 영상의 특징이 크게 없어서 이미지 매칭에 어려운 점을 가지고 있어 수치표고모델에 오차요소를 내포하고 있다. 이러한 오차의 정도를 검증하기 위하여 극지역 관측을 위한 극궤도 위성인 미 항공우주국(NASA) ICESat의 GLAS06자료를 사용하였다. ICESat 자료는 수직정확도가 수십 cm로 매우 정밀하므로 수십 m의 해상도를 가진 DEM을 검증하기 위하여 ICESat 자료를 기준으로 현재 그린란드 지역에 구축되어있는 GIMP DEM과 ASTER GDEM을 비교하여 검증하고자 한다.

† This work was researched by the supporting project to educate GIS experts

\* Ho Joon Park, Master's student, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. parkhj@uos.ac.kr

\*\* Yun Soo Choi, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. choiys@uos.ac.kr (Corresponding Author)

\*\*\* Jae Myeong Kim, Research Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. jm927k@naver.com

## 2. 구축된 수치표고모델의 종류

### 2.1 GTOPO30

GTOPO30(Global 30 Arc-Second Elevation)은 1996년 완성되었으며, USGS(U.S. Geological Survey)의 센터인 Earth Resources Observation and Science(EROS)의 협력으로 개발되었다. GTOPO30은 전지구 총 남위 90도에서 북위90도까지 서경180도에서 동경180도까지 전부 제작되었다. Figure 1[4]과 같이 배포를 쉽게 하기 위하여 GTOPO30은 지도에서 나누어진 타일을 선택할 수 있다. 수평격자 간격은 30arc초(0.00833도)이며, 21600행과 43200열을 가지고 있고, 수평격자 좌표계는 십진법의 위경도로 나타내며 WGS84를 사용한다. 수직 단위는 평균해수면위의 고도값을 나타내며, -407m에서 8752m의 범위를 가지고 있다. 데이터가 없는 곳은 -9999값을 나타내고, 1km<sup>2</sup>이하인 점은 표현이 되지 않는다[5].

### 2.2 ASTER GDEM

ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)는 METI(일본경제산업성)에 의해 만들어졌으며, NASA(미항공우주국)의 Terra 우주선에 탑재되어 1999년 12월에 발사된 센서 중 하나이다. Along-track방식이며 가시광선에서 적외선영역까지 14개의 밴드로 구성되어 있다. ASTER 센서를 사용하여 2000년 2월 이래로 전세계 지구 표면에 대한 데이터를 모으고 있으며[6], ASTER GDEM은 ASTER 영상과 동일한 범위의 지역을 다루고, ASTER 영상을 사용하여 DEM을 취득한다. 2009년 6월 ASTER GDEM(Global Digital Elevation Model)이 공개되었으며, 이 DEM은 지구의 북위83도에서 남위83도 범위의 지역(Figure 2)[7]을 1°×1° 크기의 타일 22,600개로 나누어 Geotiff형식으로 제공하여, 대상지역의 위치나 크기에 관계없이 모든 사용자가 사용할 수 있도록 하였다. 미국지역은 30m의 해상도, 전 지구적으로는 90m의 해상도를 가지고 있다[8].

### 2.3 GIMP DEM

GIMP DEM(Greenland Mapping Project Digital Elevation Model)은 Byrd Polar Research Center에서 ASTER와 SPOT-5 DEM의 조합으로 제작되었다. 가장 최근에 배포된 날짜는 2014년 1월이다. 모든 자료는 ICESat 2003-2009년까지의 평균 표고값으로 수평,

수직적으로 보정되었다. GIMP DEM은 30m, 90m 해상도를 가지고 있으며, 30m 해상도의 수치표고모델은 Figure 3과 같이 36개의 타일로 나누어 있고, 90m 해상도의 수치표고모델은 1개의 타일로 이루어져 있다.

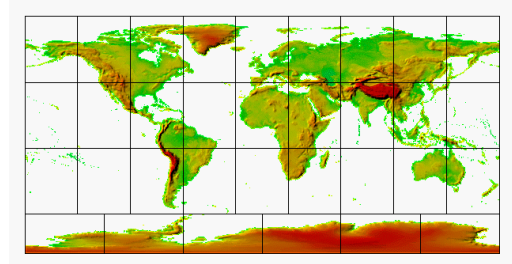


Figure 1. GTOPO30 coverage map

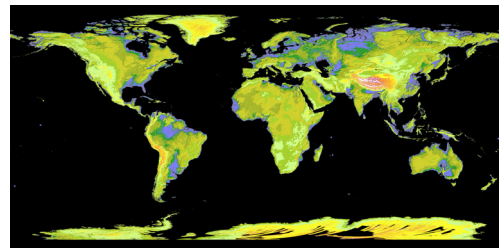


Figure 2. ASTER GDEM coverage map

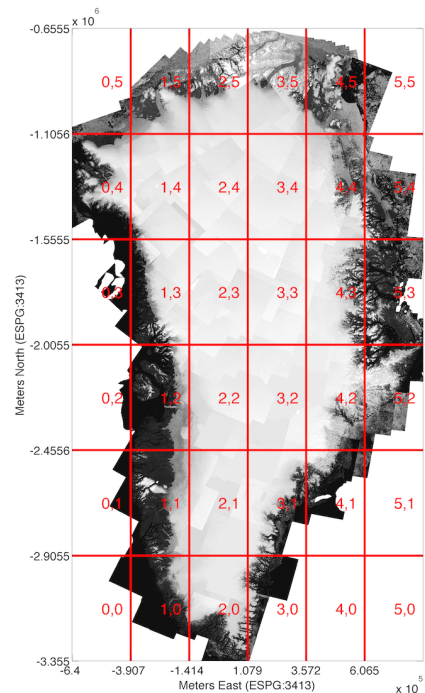


Figure 3. GIMP DEM coverage map

며, 90m 해상도 수치표고모델을 바탕으로 만들어졌다. 30m 해상도 수치표고모델의 각 타일은 16620×30000의 250MB의 크기를 가지고 있고, Geotiff형식에 ESPG3413 투영법, WGS84 타원체를 사용한다[9].

### 3. 자료구축 및 연구방법

#### 3.1 자료구축

본 연구의 검증대상지역은 북위83도에서 북위59도 사이, 서경74도에서 서경20도사이의 그린란드 지역이다. 그린란드(Greenland)는 지리적으로 북아메리카 북쪽에 위치하고 있지만 덴마크령에 속해있었으나 2009년 덴마크로부터 독립을 선언했다. 국방이나 외교적인 사안 등에 대해서는 덴마크가 최종 결정권을 갖고 있지만, 그린란드의 지하자원을 사용하는 권리와 사법권 등을 독립적으로 행사할 수 있다. 그린란드는 캐나다, 아이슬란드와 국경이 접해 있고 세계에서 가장 큰 섬으로서 면적은 216만 6,086km<sup>2</sup>에 이르고 최대

동서 길이가 1,200km에 달하며, 섬 전체 면적 중 81%가 얼음으로 덮여 있는 특징을 가지고 있다[10]. 2013년 국토교통부에서 발간한 북극지역 공간정보 구축 기본계획 연구보고서[11]에 따르면 국내 수요와 현지 조사 및 측량 가능성 등을 평가하여 국제협력 대상국을 선정하였는데 덴마크(그린란드)가 가장 높은 순위에 있어 본 연구의 대상지역으로 그린란드를 선정하였다.

그린란드 수치표고모델 검증에서는 ICESat GLAS06, GIMP DEM, ASTER GDEM, Globcover 데이터를 사용하였다. 먼저 ICESat은 2003년 1월 발사되었으며, 이 인공위성은 ICESat GLAS(Geoscience Laser Altimetry System) 센서를 장착하여 극지방을 관측하고 있다[12]. ICESat은 약 70m정도의 풋프린트(footprint)를 약 170m 간격으로 두고 측정하며, 수직적으로는 약 12cm정도의 오차를 가지고 있어 극지방 빙하 고도변화를 정밀하게 탐지하고 있다[12]. 2003년 10월까지 ICESat은 약 8일주기의 지구궤도를 공전하였으나 그 이후부터 91일 주기로 전환 되었다. 91일 주기의 경우 1,354개

Table 1. Dem specifications

Type	GTOPO30	ASTER GDEM	GIMP DEM
Generation and Distribution	USGS	The Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan(METI), NASA	BYRD Polar Research Center
Data Sources	Digital Terrain Elevation Data(DTED) Digital Chart of the World USGS 1-degree DEM's Army Map Service	ASTER	ASTER SPOT-5
Release Year	1996	2009(ver.1) 2011(ver.2)	2014(V2.1)
Resolution	30 arc second (Approximately 1km)	30m(USA) 90m(Global)	30m, 90m
Posting Interval	1000m	30m	30m
DEM accuracy(Std.)	30m	7~14m	10~30m
DEM Coverage	Global	83°N~83°S	-0.66×10 <sup>6</sup> m~3.36×10 <sup>6</sup> m(N) -6.4×10 <sup>5</sup> ~8.6×10 <sup>5</sup> (E)
Geographic coordinates	Geographic latitude and longitude	Geographic latitude and longitude	ESPG 3413
Datum	WGS84	WGS84	WGS84
Tile Size	27 Tiles 6000×4800 pixels 6 Tiles 3600×7200 pixels	3601×3601 pixels	16620×30000 pixels
Number of Tiles	33	22600	36(30m), 1(90m)
Output format	Binary Raster Signed 16 bits	Geotiff Signed 16 bits	Geotiff

의 지상 궤적을 가지며 극지방의 경우 인공위성 궤도가 수렴하는 곳이어서 극지방 관측에 유리하다[14].

기존 구축된 수치표고모델은 GTOPO30, ASTER GDEM, GIMP DEM 등이 존재하나, GTOPO30은 해상도가 낮아 비교대상에서 제외하였으며, ASTER GDEM과 GIMP DEM을 ICESat 표고값과 비교하였다. 빙상지역과 비빙상지역을 구분하기 위하여 유럽우주기구(European Space Agency)에서 제작한 Globcover 전지구 토지피복도를 사용하였다. Globcover V2.2(Figure 4)는

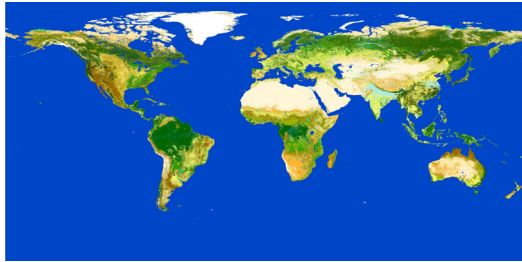


Figure 4. Globcover V2.2

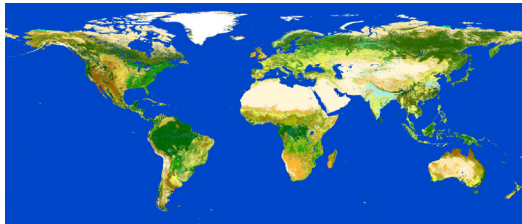


Figure 5. Globcover V2.3

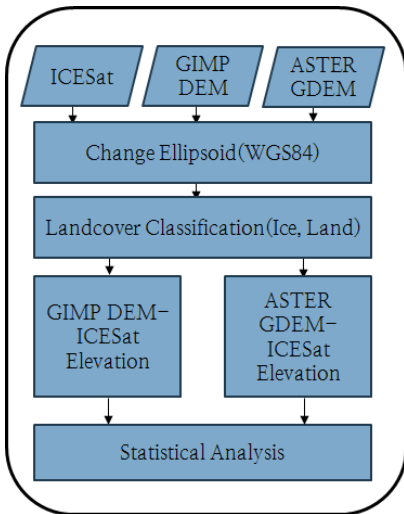


Figure 6. The flow chart of accuracy assessment of Digital Elevation Model in the Greenland

2005년 12월에서 2006년 6월 사이의 ENVISAT 자료를 사용하여 제작되었고, Globcover V2.3(Figure 5)은 2009년 1월에서 2009년 12월 사이의 ENVISAT 자료를 사용하여 제작되었다[15].

### 3.2 연구방법

각 수치표고모델을 비교하기 위하여 Figure 6과 같이 연구를 진행하였다. 2003년부터 2009년까지 그린란드지역의 ICESat GLAS06 elevation 파일을 미국 국립빙설자료센터에서 다운로드하여 표고값을 보정하였으며, TOPEX/Poseidon 타원체에서 WGS84 타원체로 변환하였다. 수치표고모델의 빙상지역은 GCP의 부재, 이미지 매칭의 어려움, 현장측량 불가와 같은 이유로 수치표고모델의 정확도가 일반적으로 비빙상지역에 비해 낮기 때문에 두지역을 Globcover를 사용하여 분류하였다(Figure 7, 8). ASTER GDEM, GIMP DEM을 비교하기 위한 기준으로는 2003년에서 2009년 ICESat GLAS06 자료를 사용하였다. Globcover의 제작시기가 버전별로 다르기 때문에 2003~2006년 ICESat GLAS06 자료는 Globcover V2.2을 사용하였고, 2007-2009년 ICESat GLAS06 자료는 Globcover V2.3을 사용하여 분류하였다. 빙상지역과 비빙상지역으로 나누어 ICESat 표고값을 기준으로 GIMP DEM과 ASTER GDEM을 비교하였다. 통계분석시 오차 값을 제거하기 위하여  $\pm 2\sigma$ 를 넘는 자료는 제외하여 처리를 진행하였다. ICESat GLAS06 표고값을 기준으로 다른 수치표고모델과 비교하기 위하여 수치표고모델과 ICESat자료의 차이를 최소값, 최대값, 평균값, RMSE 값을 구하여 통계분석을 하였다.

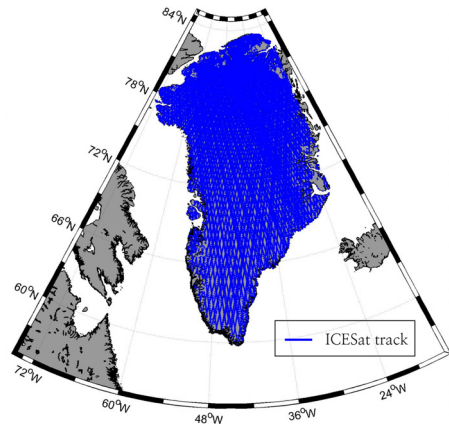


Figure 7. ICESat track of ice sheet in the Greenland

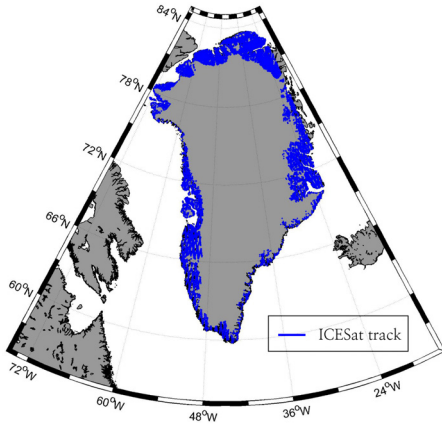


Figure 8. ICESat track of land in the Greenland

Table 2. Statistical analysis of ASTER GDEM and GIMP DEM during 2003-2009 (unit : m)

Type	ASTER GDEM -ICESat Elevation		GIMP DEM -ICESat Elevation		RMSE
	Mean	RMSE	Mean	RMSE	
Ice sheet	95.71	352.21	0.66	14.83	23.76
Land	-39.44	42.56	-0.92	66.06	0.64

Table 3. ASTER GDEM vertical accuracy result

(unit : m)

ASTER GDEM-ICESat Elevation						
Type	Year	Min. Value	Max. Value	Mean	RMSE	Number of Points
ICE	2003	-979.40	979.43	90.69	347.51	1070291
	2004	-978.85	978.86	65.62	352.16	2351057
	2005	-975.75	975.75	91.66	349.60	2411194
	2006	-985.09	985.10	97.13	355.25	2390980
	2007	-979.59	979.59	96.98	352.18	1641331
	2008	-982.24	982.25	97.67	352.68	1632547
	2009	-1009.72	1009.72	116.40	375.59	749736
Land	2003	-128.98	125.25	-38.04	41.40	120851
	2004	-97.16	95.83	-39.52	42.08	253947
	2005	-159.06	158.54	-40.53	44.12	284234
	2006	-118.39	117.91	-40.47	43.62	280355
	2007	-132.49	132.72	-38.29	41.20	150165
	2008	-129.31	128.14	-37.13	40.05	140665
	2009	-63.77	62.67	-35.84	38.16	52546

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - t_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

Eq.(1)에서 X는 GIMP DEM, ASTER GDEM, t는 ICESat 표고값, i는 DEM의 i번째의 표고값, n은 대상 지역의 총 데이터수이다. 회귀분석으로 수치표고모델 간의 유사도를 비교하였다.

#### 4. 결과분석

그린란드 수치표고모델 검증을 하기 위하여 2003년부터 2009년 전체의 GIMP DEM과 ICESat 표고값 차이와 ASTER GDEM과 ICESat 표고값 차이의 평균값과 RMSE값을 구한 결과는 Table 2와 같으며, Table 3, Table 4에서는 2003년부터 2009년까지 연도별 GIMP DEM과 ICESat 표고값 차이와 ASTER GDEM과 ICESat 표고값 차이를 최소값, 최대값, 평균값, 표준편차, RMSE 등의 통계값으로 추출하였다. GIMP DEM-ICESat의 내륙빙상지역의 평균값은 약 -0.7m, 해안비빙상지역의 평균값은 -0.9m로 거의 비슷하나 ASTER-ICESat의 내륙빙상지역의 평균값은 약 96m, 해안비빙상지역의 평균값은 -39m이다. GIMP DEM- ICESat 내륙빙상지역의 RMSE는 약 15m, 해안비빙상지역의 RMSE는 약 66m이며, ASTER-ICESat 내륙빙상지역의 RMSE는 약 352m, 해안비빙상지역의 RMSE는 약 43m이다.

Table 4. GIMP DEM vertical accuracy result

(unit : m)

GIMP DEM-ICESat Elevation						
Type	Year	Min. Value	Max. Value	Mean	RMSE	Number of Points
ICE	2003	-76.73	76.73	0.70	12.99	1133401
	2004	-77.51	77.51	0.54	13.28	2480101
	2005	-109.52	109.52	0.65	16.91	2555768
	2006	-85.11	85.11	0.71	14.33	1727612
	2007	-93.83	93.82	0.76	15.59	1782503
	2008	-86.98	86.98	0.80	14.82	1718378
	2009	-51.87	51.87	0.63	9.21	793610
Land	2003	-203.03	203.01	-1.02	58.26	115402
	2004	-219.33	219.34	-0.90	65.71	241856
	2005	-258.50	258.48	-1.13	76.04	274206
	2006	-227.84	227.83	-1.05	68.49	268307
	2007	-208.20	208.19	-0.15	58.47	144994
	2008	-197.00	197.05	-0.22	56.04	135592
	2009	-138.08	138.09	-0.53	37.36	51746

Table 5. Regression relationship between GIMP DEM and ICESat Elevation

$Y(m) = Slope \times X(m) + Intercept(m)$										
Time	Type	All			Ice			Land		
		Slope	Intercept(m)	R <sup>2</sup>	Slope	Intercept(m)	R <sup>2</sup>	Slope	Intercept(m)	R <sup>2</sup>
2003/03		0.9993	1.4095	0.9973	0.9994	1.4836	0.9979	0.9548	19.2989	0.9125
2003/10		0.9988	1.9402	0.9961	0.9989	1.9591	0.9967	0.9550	20.6419	0.8940
2004/03		0.9998	0.1851	0.9969	1.0003	-0.6210	0.9977	0.9570	20.0221	0.8944
2004/10		0.9994	0.8507	0.9957	1.0001	-0.3645	0.9967	0.9539	22.7067	0.8801
2005/03		0.9991	1.0546	0.9954	0.9995	0.6250	0.9962	0.9603	18.9386	0.8869
2005/11		0.9990	0.0436	0.9934	0.9991	0.3702	0.9941	0.9269	31.2158	0.8516
2006/03		0.9995	0.4715	0.9955	0.9998	0.1686	0.9964	0.9449	24.1847	0.8721
2006/11		0.9994	1.3237	0.9968	0.9995	1.3817	0.9975	0.9606	17.3429	0.8983
2007/03		0.9996	0.6683	0.9969	1.0001	-0.1998	0.9971	0.9719	13.1341	0.9140
2007/10		0.9987	1.7814	0.9956	0.9991	1.3773	0.9960	0.9218	33.1929	0.8620
2008/03		0.9993	0.9933	0.9962	0.9997	0.2146	0.9965	0.9499	22.1995	0.8835
2008/10		0.9988	2.5034	0.9967	0.9989	2.3969	0.9970	0.9564	19.7651	0.8964
2009/03		0.9984	4.1373	0.9987	0.9985	3.9341	0.9989	0.9683	15.1659	0.9414
2009/10		0.9977	6.2289	0.9990	0.9976	6.6231	0.9991	0.9701	12.8955	0.9566
Average(Mar)		0.9993	1.2742	0.9967	0.9996	0.8007	0.9972	0.9582	18.9920	0.9007
Average(Oct, Nov)		0.9988	2.0960	0.9962	0.9990	1.9634	0.9967	0.9492	22.5373	0.8913
Average(All)		0.9991	1.6851	0.9964	0.9993	1.3821	0.9970	0.9537	20.7646	0.8960

총 2003-2009년의 GIMP DEM-ICESat의 RMSE와 ASTER-ICESat의 RMSE를 살펴보면 내륙빙상지역에서는 ASTER-ICESat의 RMSE가 GIMP DEM-ICESat의 RMSE의 비해 약 24배 높았으며, 해안비빙상지역에서는 GIMP DEM-ICESat의 RMSE가 ASTER-ICESat의

RMSE에 비해 0.6배로 더 낮았다.

또한, 연단위가 아닌 월단위의 ICESat 표고값과 GIMP DEM의 회귀분석을 진행하였다(Table 5). x축에는 ICESat 표고값, y축에는 GIMP DEM을 나타내어 기울기가 1에 가까우면 둘 사이가 관계가 높은 것이며, 결정계수가

높을수록 신뢰할 만한 자료를 나타내는 것이다. 2003년부터 2009년까지 회귀분석결과 내륙빙상지역이 GIMP DEM과 ICESat 표고값이 관계가 높은 것으로 나타났고, 해안비빙상지역은 관계가 적은 것으로 나타났다. 그리고 3월달과 10~11월달로 나누었을 때는 3월달의 상관관계가 더 높았다.

## 5. 결론 및 향후연구

그린란드지역의 다양한 활용 가능성을 가진 수치표고모델 수직정확도 검증을 위하여 내륙빙상지역과 해안비빙상지역을 나눈 후 정확도가 높은 ICESat 자료 처리결과(표고값)를 기준으로 ASTER GDEM과 GIMP DEM을 비교하였다. 통계값 분석결과 GIMP DEM은 ASTER GDEM에 비해 내륙빙상지역에서는 정확도가 높았으나, 해안비빙상지역에서는 정확도가 낮았고, 반대로 ASTER GDEM에서는 GIMP DEM에 비하여 내륙빙상지역에서는 정확도가 낮고, 해안비빙상지역에서는 정확도가 높았다. 그리고 ICESat 표고값과 GIMP DEM의 회귀분석을 한 결과 내륙빙상지역에서는 서로 상관관계가 높았으나 해안비빙상지역에서는 상관관계가 내륙빙상지역에 비해 낮은 것으로 나타났다. 그린란드 수치표고모델을 활용시에는 내륙빙상지역은 GIMP DEM으로 해안비빙상지역은 ASTER GDEM을 활용하는 것이 더 좋을 것으로 판단된다. 본 연구에서 내륙빙상지역과 해안비빙상지역으로만 나누어서 검증하였으나, 추후 연구에서는 구역별로 나누어 검증한다면 보다 자세한 검증연구가 될 것으로 판단된다.

## References

[1] Kim, J. H. 2012, Yonhap news, assessed Aug. 26. <http://www.yonhapnews.co.kr/international/2012/08/26/0601010100AKR20120826051300073.HTML>.

[2] Lee, T. Y; Jung, J. H; Kim, T. J. 2008, Automatic generation of reliable DEM using DTED level 2data from high resolution satellite images, The Journal of GIS Association of Korea, 16(2):193.

[3] ASTER GDEM, 2011, Japan Space System, <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/2.html>.

[4] Scripps Institution of Oceanography, 2014, assessed May 19, [http://topex.ucsd.edu/WWW\\_html/srtm30\\_plus.html](http://topex.ucsd.edu/WWW_html/srtm30_plus.html).

[5] GTOPO30 Documentation, 2012, USGS, assessed

Jan. 24, <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>.

[6] Jensen, J. 2007, Remote Sensing of Environment, 2nd Ed., Prentice Hall, 608.

[7] Jet Propulsion Lab., 2012, NASA, assessed Mar. 1, <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>.

[8] Choi, J. M. 2013, Spatial Accuracy of Medium Resolution ASTER GDEM Data, Geographical Journal of Korea, 47(1):62.

[9] Bird Polar Research Center, 2012, assessed Jan. 3, <http://bprc.osu.edu/GDG/gimpdem.php>.

[10] Ministry of Foreign Affairs, 2011, The Kingdom of Denmark, 89-92.

[11] Choi, Y. S. 2013, A Study on the planning of the Arctic geospatial data implementation, MOLIT, 184-187.

[12] Csatho, B; Ahn, Y; Yoon, T; van der Veen, C. J; Vogel, S; Hamilton, G; Morse, D; Smith, B; Spikes, V. B. 2005, ICESat measurements reveal complex pattern of elevation changes on Siple Coast ice stream, Antarctica, Geophys. Res. Lett., 32.

[13] Zwally, H. J; Shutz, B; Abdalati, W; Abshire, J; Bentley, C; Brenner, A; Bufton, J; Dezio, J; Hancock, D; Harding, D; Herring, T; Minster, B; Quinn, K; Palm, S; Spinhirne, J; Thomas, R. 2002, ICESat's later measurements of polar ice, atmosphere, ocean and land, Journal of Geodynamics, 34:405-445.

[14] Seo, K. W. 2008, Amery Ice-Shelf velocity from ICESat laser altimetry, Paper presented at the annual meeting for the Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists, 146-147.

[15] Globcover, 2011, ESA, <http://due.esrin.esa.int/globcover/>.

논문접수 : 2014.7.10

수정일 : 2014.8.22

심사완료 : 2014.8.22