
육상 중력자료 기반의 전 지구 중력장 모델 분석

최광선* · 이영철**

Analysis of Global Gravitational Models based on measured gravity data

Kwang-Sun Choi* · Young-Cheol Lee**

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

요 약

본 연구에서는 전 지구 중력장 모델 EGM2008, EGM96을 우리나라 육상에서 측정한 16,786 지점의 중력 자료와 비교 평가 하였다. 육상 중력자료가 가장 정확하다는 가정 하에 육상 중력자료와 EGM2008, EGM96 간의 상관계수 (correlation coefficient), 차이, 차이의 평균제곱오차(MSE), 표고에 따른 차이의 변화 등을 통하여 분석하였다. 육상 중력과 EGM2008 간의 상관계수는 0.824, EGM96 간의 상관계수는 0.538로 계산되었다. 육상중력과 EGM2008, EGM96 간의 차이에 대한 표준편차는 각각 13.196 mgal, 18.685 mgal로 계산되었으며, 차이의 변화폭 역시 EGM2008이 EGM96 보다 작은 것으로 나타났다. 또한 육상 중력과 전 지구 중력장 모델의 표고에 따른 고도이상 차이는 역시 EGM2008은 큰 변화가 없었으나 EGM96의 경우 고도 변화에 따라 고도이상의 차이가 큰 것을 확인하였다. 이러한 결과로 EGM2008이 EGM96에 비하여 우리나라의 중력장을 잘 표현하고 있는 것으로 평가된다.

ABSTRACT

In this study, Global Gravitational Model EGM2008, EGM96 and 16,786 gravity points measured on land were compared and analyzed. On the assumption that land gravity data is most accurate, the correlation coefficient, differences, MSE and difference variance along the height were computed between land gravity data and EGM2008, EG96. The correlation coefficient, land gravity data and EGM2008, was computed most largely with 0.824 and the correlation coefficient with EGM96 was computed with 0.538. The standard deviation of differences between land gravity and EGM2008, EGM96 were 13.196 magl, 18.685 mgal respectively. Also the difference variance scope of EGM2008 was smaller than EGM96. There was no large variance of free-air anomaly differences between land gravity data and EGM2008 along the height however free-air anomaly differences with EGM96 varied along the height changes. Consequently EGM2008 nicely expresses Korea gravity field more than EGM96.

키워드

고도이상, 전 지구 중력장 모델, 중력, 상관계수

Key word

free-air anomaly, global gravitational model, gravity, correlation coefficient

* 정회원 : 부산대학교 과학교육학부 지구과학교육전공 교수
** 정회원 : 부산대학교 지질재해·산업자원연구소 전임연구원
(교신저자, geoyoung@pusan.ac.kr)

접수일자 : 2011. 07. 12
심사완료일자 : 2011. 09. 01

I. 서 론

전 지구 중력장 모델(Global Geopotential Model)은 일종의 수학적 모델로서 전 세계의 육상측정자료, 선상측정자료, 인공위성 중력자료 등을 구조화분석(spherical harmonic analysis)을 한 후, 최적화시킨 구조화계수(harmonic coefficient)들로 이루진다. 이들 계수를 이용하면 지구상의 한 지점에 대한 고도이상(free-air anomaly), 부게이상(bouguer anomaly), 연직선 편차(deflection of vertical), 지오이드고(geoid height) 등을 계산할 수 있다. 전 지구 중력장 모델은 1996년 SEI 모델을 시작으로 현재까지 약 100여개의 전 지구 중력장 모델이 개발되어 있다[6].

그 중 우리나라에서 가장 많은 연구가 이루어진 대표적인 모델은, 1996년 발표된 EGM96(Earth Gravitational Model 96)과 2008년에 발표된 EGM2008이라 할 수 있다. EGM96과 EGM2008이 발표된 이후 수행된 기존의 연구들은 EGM96과 EGM2008을 이용한 지오이드 모델 개발 혹은 EGM96, EGM2008에 의하여 계산되는 지오이드 모델과 우리나라의 수준점에서의 GPS/Leveling 측정을 통하여 얻어진 지오이드 높이와의 비교·분석에 관한 측지학적 연구가 주를 이룬다[2],[3],[4],[10],[15].

중력 이상은 관측중력에서 여러 가지 보정을 한 후 표준중력을 뺀 값을 중력이상이라 하며 고도이상, 부게이상 등이 있다. 중력 이상은 주로 지하내부의 밀도 변화에 따른 지하구조 해석 분야인 지구물리학 분야, 지구의 형상에 관련된 측지학적 분야 그리고 현대에는 중력 이상 데이터베이스(data base)를 이용하여 위치를 찾아가는 군사적 목적에 사용하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 발표된 전 지구 중력장 모델 중 대표적인 전 지구 중력장 모델 EGM96과 EGM 2008을 비교 모델로 선정하였다. 선정된 두 가지의 전 지구 중력장 모델의 고도 이상을 계산하고, 계산된 고도 이상과 우리나라 육상에서 측정된 중력자료의 고도 이상을 통계적 방법으로 비교·분석 하였다.

II. 육상중력

우리나라에서의 육상 중력은 대부분 상대중력계를 이용하여 측정하고 있으며 다량의 중력자료를 보유하고 있는 기관은 국토지리정보원, 한국지질자원연구원, 부산대학교이다. 본 연구에 사용된 중력자료는 그림 1에 나타낸 바와 같이 부산대학교가 보유하고 있는 중력자료와 한국지질자원연구원의 중력자료 총 16,786 지점의 중력자료를 이용하였다[7],[8],[14].

현재 부산대학교가 보유하고 있는 중력자료는 크게 두 가지의 자료 형태로 분류할 수 있다. 하나는 1996년 이전의 자료로 이 자료들은 대부분 수준점이나 삼각점 혹은 수준측량 및 광과 측량을 통하여 표고를 측정하고 지형도에서 경위도를 독취하여 사용한 자료이다. 따라서 1996년 이전의 중력자료는 Bessel1841 타원체의 경위도로 표현되며 이들을 WGS84 좌표계로 변환 하였다[1]. 다른 자료는 1996년 이후의 자료로 GPS와 정밀지오이드 모델[13]을 이용하여 좌표 및 표고를 계산하는 방법 [9]을 적용하여 측정된 자료이다. 1996년 이후의 자료는 중력 측정 속도 및 삼차원 좌표의 정밀도가 대폭 향상되었다.

한국지질자원연구원은 해마다 중력 측정지역을 결정, 측정하여 자료를 누적하고 있다. 한국지질자원연구소의 중력 측정 방식 역시 GPS를 이용하여 위경도, 표고를 획득하고 있다. 본 연구에 사용된 한국지질자원연구원의 중력자료는 전라남도와 전라북도 일원의 중력자료이다.

표 1은 중력 측정 지점의 표고(A 그룹)와 수치지형도의 표고(B 그룹)를 50 m 구간으로 나누어 구간 비율과 누적 비율로 나타낸 것이며 그림 2은 표 1의 각 표고 구간을 비율로 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용한 수치지형자료는 최광선과 이영철[5]이 제작한 3"×3" 수치지형자료의 38.5°N 남쪽 육지 부분의 자료를 발췌하여 사용하였다.

표 1에서 나타낸 바와 같이 A 그룹과 B 그룹의 누적 비율의 차이는 표고 250 m 까지 약 9.2%로 최고로 나타난다. 또한 550 m 보다 낮은 각 표고 구간에서 A, B 그룹의 누적비율 차이는 5% 이상이 되고 있다. 이러한 차이는 중력 측점이 비교적 저지대에 편중되어 있음을 나타낸다고 할 수 있다. 이는 우리나라에서의 중력 측

정이 대부분 도로를 따라 수행되기 때문인 것으로 판단된다.

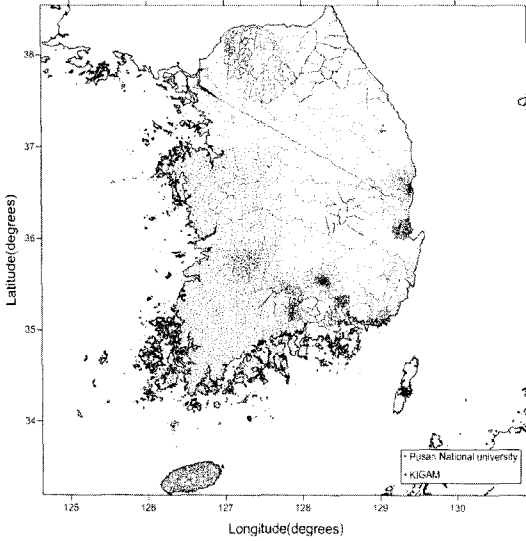


그림 1. 우리나라 육상의 중력자료

분포(빨강:부산대학교, 파랑:한국지질자원연구원).

Fig. 1. Distribution of gravity measurement points in Korea(red : Pusan National University, blue : Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

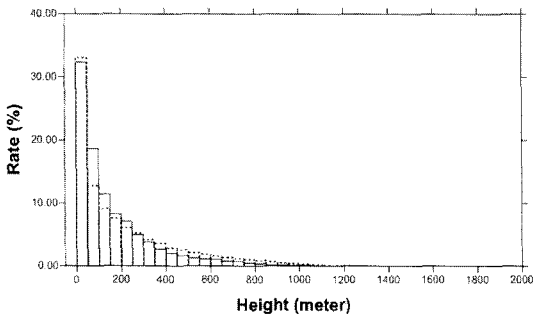


그림 2. 중력 측정 지점(A)과 수치 지형도(B)의

표고에 대한 비율(표고 50 m 간격, 실선-A, 점선-B).

Fig. 2. Height rate of gravity measurement points(A) and digital terrain model(B)(height interval : 50 m, solid line-A, dotted line-B)

표 1. 중력 측정 지점과 수치지도 표고 분포 비율.

Table 1. Height distribution rate of gravity measurement points and digital terrain model.

표고 구간 (미터)	중력 측정점(A)		수치 지형도(B)		누적 비율 차이 (A-B)
	구간 비율 (%)	누적 비율 (%)	구간 비율 (%)	누적 비율 (%)	
-50 - 0	0.071	0.071	0.000	0.000	0.071
0 - 50	32.366	32.438	33.112	33.112	-0.674
50 - 100	18.694	51.132	12.797	45.908	5.224
100 - 150	11.396	62.528	9.163	55.071	7.457
150 - 200	8.305	70.833	7.589	62.660	8.173
200 - 250	7.137	77.970	6.102	68.762	9.208
250 - 300	4.974	82.944	5.228	73.990	8.954
300 - 350	3.813	86.757	4.196	78.186	8.571
350 - 400	2.723	89.479	3.628	81.814	7.665
400 - 450	2.043	91.523	2.867	84.681	6.842
450 - 500	1.680	93.203	2.572	87.253	5.950
500 - 550	1.257	94.460	2.132	89.385	5.075
550 - 600	1.132	95.592	1.891	91.276	4.316
600 - 650	1.102	96.694	1.594	92.870	3.824
650 - 700	0.774	97.468	1.368	94.239	3.229
700 - 750	0.739	98.207	1.169	95.408	2.799
750 - 800	0.471	98.677	1.037	96.445	2.232
800 - 850	0.381	99.059	0.872	97.317	1.742
850 - 900	0.137	99.196	0.680	97.996	1.200
900 - 950	0.131	99.327	0.534	98.530	0.797
950 - 1000	0.101	99.428	0.413	98.943	0.485
1000 - 1050	0.095	99.523	0.309	99.252	0.271
1050 - 1100	0.048	99.571	0.238	99.490	0.081
1100 - 1150	0.042	99.613	0.152	99.642	-0.029
1150 - 1200	0.012	99.625	0.117	99.759	-0.134
1200 - 1250	0.036	99.660	0.083	99.842	-0.182
1250 - 1300	0.042	99.702	0.056	99.898	-0.196
1300 - 1350	0.012	99.714	0.039	99.937	-0.223
1350 - 1400	0.018	99.732	0.019	99.955	-0.223
1400 - 1450	0.024	99.756	0.016	99.971	-0.215
1450 - 1500	0.024	99.780	0.008	99.980	-0.200
1500 - 1550	0.036	99.815	0.008	99.987	-0.172
1550 - 1600	0.018	99.833	0.005	99.992	-0.159
1600 - 1650	0.012	99.845	0.004	99.996	-0.151
1650 - 1700	0.054	99.899	0.002	99.998	-0.099
1700 - 1750	0.018	99.917	0.001	99.999	-0.082
1750 - 1800	0.006	99.923	0.000	99.999	-0.076
1800 - 1850	0.030	99.952	0.001	100.000	-0.048
1850 - 1900	0.024	99.976	-	-	-
1900 - 1950	0.018	99.994	-	-	-
1950 - 2000	0.006	100.000	-	-	-

III. 전 지구 중력장 모델

EGM96은 고차수 중력 모델에 대한 정확도 개선을 목적으로 미국의 NIMA(National Imagery and Mapping Agency), NASA(National Aeronautics and Space Administration), OSU(Ohio State University) 주축의 여러 기관이 협동하여 개발한 360 차의 구조화 계수로 이루어진 전 지구 중력장 모델이다. EGM96은 향상된 지표면의 중력자료, ERS-1과 GEOSAT Geodetic Mission (GM), 광범위한 위성 추적자료(Satellite Laser Ranging(SLR), Global Positioning System(GPS), NASA's Tracking and Data Relay Satellite System(TDRSS), French DOFIS system, US Navy TRANET Doppler tracking system)에서 계산된 위성 고도 중력 이상 또한 TOPEX/POSEIDON, ERS-1, GEOSAT의 해면고도계 중력 이상 등을 병합하여 개발 하였다. 모델의 정확도는 1미터 이내인 것으로 평가되고 있으며, 표준타원체는 WGS84를 이용하고 있다[11].

미국 국가지형정보국(NGA)은 2008년 EGM96의 교체 모델로 EGM2008을 발표하였다. EGM2008은 2,160차의 초고차항 구면조화 계수로 이루어져 있으며, degree(n) 2,190과 order(m) 2,160의 추가 전개계수도 포함하고 있다. EGM2008은 최대차수 2,160의 기준모델인 PGM2007B(Preliminary Gravitational Model)를 사용하여 5' × 5'의 평균지형 중력 이상을 계산하였으며, 해면고도계 위성 중력자료는 PGM2007B와 이와 관련된 DOT(Dynamic Ocean Topography)를 기준모델로 하여 DNSC(Danish National Space Center)와 SIO(Scripps Institution of Oceanography Geological Sample)/NOAA에서 독자적으로 계산하였다. EGM2008은 ArcGP(Arctic Gravity Project) 자료, Contrib 5분 자료 273,648개, NGA LSC 자료 1,303,927개, Fill-in 자료 946,479개, GRACE-only 자료 973,787개, Altimetry 자료인 SIO/NOAA 자료 3,108,803개, TOPEX/POSEIDON, ERS와 DNSC07의 자료 1,578,783개, Combined Altimetry 자료 164,206개로 총 9,311,200개의 중력자료를 이용하여 EGM2008의 정밀도를 개선하였다[12].

IV. 중력자료 비교

부산대학교와 한국지질자원연구원의 중력자료 16,786 지점에 대한 고도이상 값을 계산하고, 육상중력이 측정된 16,786 지점들에 대한 EGM96, EGM2008 각각의 고도이상을 계산하였다. EGM96은 최대차수인 360 차수, EGM2008은 2,160차수를 적용하여 고도이상(Free-Air Anomaly)을 계산하였다. 계산된 육상중력 고도이상(Land-FA), EGM96에 의하여 계산된 고도이상(EGM96-FA), EGM 2008에 의하여 계산된 고도이상(EGM2008-FA) 등의 상관 계수 그리고 각 고도이상들 간의 차이, 차이에 대한 평균, 표준 편차, 평균제곱오차(Mean Square Error, MSE)를 계산하였다.

n개의 자료 쌍이 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 일 때, 상관계수는 식(1)과 같이 정의되며, x_i 와 y_i 가 얼마나 가까운지를 나타내는 척도로 사용된다. 자료 쌍의 상관계수가 1에 가까울수록 상관이 높다는 것을 나타내고 -1일 경우 역 상관 관계를 나타내고 있음을 나타낸다.

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}} \sqrt{S_{yy}}} \tag{1}$$

여기서, $S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$, \bar{x} , \bar{y} 는 x_i , y_i 의

평균, $S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, $S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ 이다.

표 2는 각 자료간의 상관 계수를 보여주고 있으며 Land-FA와 EGM2008-FA 간의 상관계수가 0.824로 가장 크게 나타났고, Land-FA와 EGM96-FA 간의 상관 계수는 0.538로 가장 낮았고, EGM2008-FA와 EGM96-FA 간의 상관계수는 0.684로 계산되었다.

표 2. 각 자료들 간의 상관 계수
Table 2. Correlation coefficients between data groups.

	Land-FA	EGM2008-FA	EGM96-FA
Land-FA	1	0.824	0.538
EGM2008-FA	0.824	1	0.684
EGM96-FA	0.538	0.684	1

표 3. Land-FA와 EGM2008-FA, EGM96-FA 차이에 대한 통계표

Table 3. Statistical table of Land-FA and EGM2008-FA, EGM96-FA.

	EGM2008-FA	EGM96-FA
Mean	-9.468	-8.612
SD	13.196	18.685
Maximum	54.555	146.303
Minimum	-89.099	-89.178
MSE	263.776	423.284

Land-FA와 EGM2008-FA 간의 차이(DL08), Land-FA와 EGM96-FA의 차이(DL96)에 대한 통계값과 분포표를 각각 표 3과 그림 3에 나타내었다. DL08과 DL96의 평균은 각각 -9.486 mgal, -8.612 mgal이고, 이는 각각의 전 지구 중력장 모델이 가지는 평균적인 편의(bias)로 설명할 수 있다. EGM96이 EGM2008에 비하여 작은 편의(bias)를 가지고 있는 것으로 나타났으나 그 차이는 0.874 mgal로 작게 나타났다. DL08과 DL96의 standard deviation (SD)는 13.196 mgal, 18.685 mgal로 DL96가 DL08 비해 큰 것으로 나타났다. DL08과 DL96의 변화 범위는 -89.099 mgal에서 54.555 mgal, -89.178 mgal에서 146.303 mgal로 DL08의 범위가 작게 계산되었다. 자료의 확산 정도를 나타내는 평균제곱오차(mean square error, MSE) 또한 DL08의 값이 작게 나타났다. 이러한 결과는 EGM2008이 EGM96에 비하여 우리나라의 중력장을 잘 표현하고 있다는 것을 시사 하고 있다.

그림 4에 DL08과 DL96를 중력이 측정된 표고에 따라 도시하였다. 그림 4-A는 표고와 DL08을 도시하였고 최소제곱법에 의한 선형식을 나타내었다. 그림 4-B는 표고와 DL96을 도시하였고 최소제곱법에 의한 선형식을 나타내었다. 그림 4-A에서의 선형식은 표고에 따른 변화 경향성이 크지 않은 반면, 4-B에서는 표고에 따른 변화는 크게 나타나는 경향을 보인다. 4-B에서 표고 250 m 이하인 지점들의 값을 제외하고 250 m 이상인 지점들에 대한 표고와 고도이상 차이의 최소제곱에 의한 일차원 선형에서의 기울기는 DL96 자료 보다 두 배 크다. 이는 250 m 보다 높은 지점들에서의 EGM96 고도이상 값이 표고에 따라 오차가 커질 수 있음을 보여 준다.

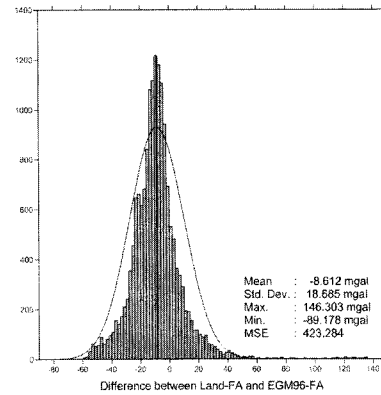
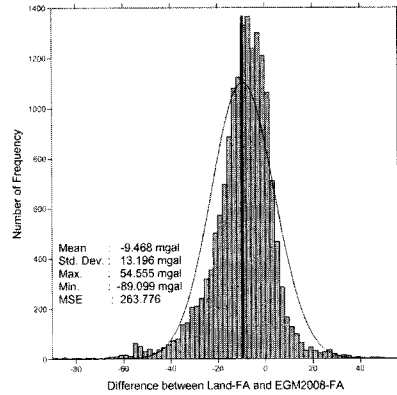


그림 3. DL08와 DL96의 분포도.
Fig. 3. Distribution chart of DL08 and DL96.

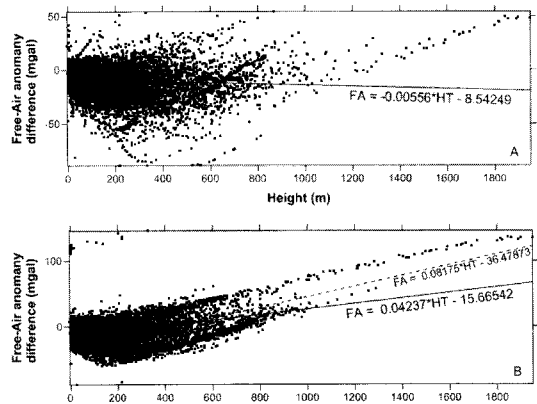


그림 4. Land-FA와 EGM2008-FA(A), EGM96-FA(B) 간 차이의 표고에 따른 분포도.
Fig. 4. Difference between Land-FA and EGM2008-FA(A), EGM96-FA(B).

V. 결론

참고문헌

육상에서 측정된 중력자료의 고도이상과 육상중력의 측정점에서 계산한 전 지구 중력장 모델 EGM96, EGM2008의 고도이상과 비교한 결과 EGM2008 전 지구 중력장 모델이 우리나라의 중력장을 잘 표현하고 있는 것으로 나타났다.

육상중력 고도이상과 전 지구 중력장 모델 각각의 고도이상과의 상관계수를 계산한 결과 육상중력 고도이상과 EGM2008의 고도이상이 0.824로 가장 크게 나타났고, EGM96 고도이상과의 상관계수는 0.538로 작게 나타났다. 그리고 전 지구 중력장 모델 간의 상관계수는 0.684로 육상중력 고도이상과 EGM96 고도이상 간의 상관계수보다 크게 나타났다.

육상중력과 전 지구 중력장 모델 간의 고도이상 차이에 대한 결과는 육상중력과 EGM2008 사이의 차이에 대한 평균은 -9.468 mgal, SD는 13.196 mgal, 변화 범위는 최소 -89.099 mgal에서 54.555 mgal, MSE는 263.776으로 계산되었다. 육상중력과 EGM96 사이의 차이에 대한 평균은 -8.612 mgal, SD는 18.685 mgal, 변화 범위는 최소 -89.178 mgal에서 146.303 mgal, MSE는 423.284로 계산되었다.

표고 변화에 따른 육상중력과 전 지구 중력장 모델과의 차이는 EGM96이 표고에 따라 변화 경향이 큰 것으로 나타났고, 특히 250 m 이상의 지점들에서 그 경향은 더욱 뚜렷이 나타난다. 이는 250 m 이내인 지점들의 측정량이 상대적으로 많이 분포한 영향인 것으로 판단된다.

본 연구는 우리나라 전체에 대한 비교가 수행되었으나 향후 지역적으로 어떠한 차이가 나는가에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용한 통계적 방법뿐만 아니라 여타 다른 분석 방법을 이용한다면 육상 중력자료와 전 지구 중력장 모델 간의 차이에 대하여 좀 더 정확한 정량적 차이를 분석해 낼 수 있을 것이다. 또한 다른 연구 기관에서 발표된 전 지구 중력장 모델들과의 비교 역시 필요할 것으로 판단된다.

[1] 박필호, 박종욱, 강준목, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS84의 좌표변환(1)", 한국측지학회지, 11권, 17호, pp 331-338, 1993.

[2] 원지훈, "중력과 GPS 자료에 의한 한반도 남부 및 인근 해역의 정밀 지오이드 연구", 박사학위논문, 부산대학교 대학원, 2004.

[3] 이석배, "중력학적 방법 및 위성측지 방법에 의한 지오이드 모델링에 관한 연구", 한국측량학회지, 제18권, pp 359-367, 2000.

[4] 이석배, 김진수, 김철영, 권재현, "1, 2등 수준노선에서 GPS 측량에 의한 기하학적 지오이드의 계산", 한국측량학회지, 제27권 제2호, pp 213-223, 2009.

[5] 최광선, 이영철, "수치 지형자료를 이용한 중력의 지형보정", 지질학회지, 37 권, 1 호, pp 133-142, 2001.

[6] 지능형국토정보기술혁신사업단, "정밀 지오이드 모델 개발 제1, 2차년도 연구보고서", 167p, 2008.

[7] 신영홍, "한반도 남부의 지체구조구별 중력특성 연구", 지질학회지, 42권, 3호, pp 397-411, 2006.

[8] 최광선, "한반도 남부의 중력에 대한 연구". 서울대학교 대학원 이학박사 학위 논문, 110p, 1986.

[9] 최광선, 박필호, 신영홍, "GPS를 이용한 중력측정, 한국지구과학회지", 19 권, 2 호, pp 120-126, 1998.

[10] 최재화, 윤홍식, 이석배, 서용운, 심정민, "GPS/leveling을 이용한 지오이드 평가에 관한 연구", 연구보고서, 건설교통부 국토지리정보원, 1998.

[11] Lemoine, F. G., Kenyon, S. C., Factor, J. K., Trimmer, R. G., Pavlis, N. K., Chinn, D. S. Cox, C. M., Klosko, S. M., Luthche, S. B., Torrence, M. H., Wang, Y. M., Williamson, R. G., Pavlis, E. C., Rapp, R. H., and Olson, T. R., "The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96", NASA/T P-1998-206861, 575p, 1998.

[12] Pavlis, N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C. and Factor, J.k., "An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008", presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria,

pp. 13-18, 2008.

- [13] Choi, K. S., Kim, J. H. and Yang, C. S., "PNU95 Geoid". Korean Journal of Geophysical Research, v.25, pp 1-13, 1997.
- [14] Choi, K.S., Yang, C.S., Shin, Y.H. and Ok, S.S., "On the improvement of precision in gravity surveying and correction, and a dense Bouguer anomaly in and around the Korean Peninsula". The Journal of the Korean Earth Science Society, 24(3), pp 205-215, 2003.
- [15] Yun, H. S., Precision geoid determination by spherical FFT in and around the Koean peninsula, Earth Planets Space, Vol. 51, pp 13-18, 1999.

저자소개



최광선(Kwang-Sun Choi)

1972년 공주대학교 지구과학
교육전공 이학사
1977년 서울대학교 지구과학
교육과 교육학석사

1986년 서울대학교 지질학과 이학박사
현재 부산대학교 과학교육학부 지구과학교육전공
교수
※ 관심분야: 디지털 데이터 필터링, 위성중력자료
처리



이영철(Young-Cheol Lee)

1999년 동아대학교 해양공학과
공학사
2001년 부산대학교 지구과학과
이학석사

2008년 부산대학교 지구과학과 이학박사
현재 부산대학교 지질재해·산업자원연구소
전임연구원
※ 관심분야: 디지털 데이터 필터링, 위성중력자료
처리