
지구중력장모형에 따른 국내 지역별 지오이드고

Geoid Heights of Provinces in South KOREA by Earth Gravitational Models

이용창

시립인천전문대학 공학부 토목공학과

Yong-Chang Lee(yclee@icc.ac.kr)

요약

최근 새로운 초 고차 지구중력장 모형(EGM2008)의 개발로 인하여 중력관련 응용분야의 향상이 기대되고 있다. 본 연구는 지구중력장모형(EGM)으로부터 남한지역에 대한 고도이상(height anomalies)를 산정하고 지역별 지오이드고의 특성을 분석하였다. 이를 위하여 7가지 지구중력장모형(EGM2008<2,190>, EGM2008<360>, EGM96, EIGEN-GL04C, EIGEN-CG03C, EIGEN-GL04S1 및 ITG-Grace02S)을 선정하였다. GPS 관측이 수행된 수준점 50개 측점을 점검점으로 선정하여 GPS/Levelling, 국립해양조사원(NORI)의 NORI-05 모형 및 7가지 EGMs에 의한 지오이드고를 비교·분석하였다. 또한, 남한지역의 경·위도 1°×1° 6개 육상부 및 4개 해상부에 대한 30"×30" 격자점을 대상으로 EGM2008 모형에 의한 지오이드고를 NORI-05 모형 및 6가지 EGMs로 부터 구한 결과와 비교하였다. 연구결과, NGA(National Geospatial Intelligence Agency)의 EGM2008(2,190) 모형이 GPS/Levelling 결과에 가장 근접함을 보였다.

■ 중심어 : | 지구중력장모형 | 지오이드고 |

Abstract

The new high order Earth's gravity Model(EGM2008) are expected to improve the application about the Earth's global gravity field. The objectives of this research are to present characteristics on the geoid heights of provinces in South KOREA which calculated from the height anomalies by Earth Gravity Models. For this, seven EGMs (EGM2008<2,190>, EGM2008<360>, EGM96, EIGEN-GL04C, EIGEN-CG03C, EIGEN-GL04S1, and ITG-Grace02S) selected. Geoid heights of fifty BM check points by GPS/levelling are compared with those by NORI-05 model and seven EGMs. And also, geoid heights of 30"×30" grid points in land(sixes blocks ; 1°×1° sampled) and sea (four blocks ; 1°×1° sampled) areas of South KOREA by EGM2008 are compared with those by NORI-05 and six EGMs. The results show that geoid heights obtained from EGM2008(2,190) of NGA displayed the nearest results to those by GPS/levelling.

■ keyword : | Earth Gravity Model | Geoid Height |

I. 서론

최근 들어 GNSS(Global Navigational Satellite

System) 위성항법시스템 (미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, EU의 GALILEO, 중국의 COMPAS, 일본의 QZSS)은 국내·외적으로 측위분야는 물론 항법,

접수번호 : #080422-002

접수일자 : 2008년 04월 22일

심사완료일 : 2008년 07월 25일

교신저자 : 이용창, e-mail : yclee@icc.ac.kr

과학, 군사, 레저 스포츠, 119, 유비쿼터스 등 다방면에서 이를 활용한 다양한 콘텐츠의 개발과 상품화 등 다가올 유비쿼터스 시대를 대비한 응용에 많은 관심과 기대를 보이고 있다. 국내에서도 GNSS 시대 세계화에 대비할 수 있도록 측량법의 개정과 함께 그동안 사용해오던 동경 데이터베이스를 폐지하고 2010년 1월 1일부터는 GRS80 세계측지기준계를 전면시행하게 됨으로서 국내 지도 좌표계의 대대적인 전환을 앞두고 있다. 새로이 GRS80 타원체를 채택하고 TM 지도투영법을 적용할 경우 기존 배포된 벡셀 타원체에 근거한 지형도와는 수평위치에서 350m ~ 400m 정도의 지역 간 편차가 발생할 것으로 예견된다. 그러나 수직 데이터의 경우는 우리나라를 비롯한 대다수의 국가가 지역타원체를 채택하여 사용할 당시에도 평균해수면이나 국가에 따라 별도로 정한 기준으로부터 정표고(orthometric height)를 결정, 사용해온 관계로 세계타원체로 전환 후, 고도성분의 경우 GNSS 시스템에 의한 세계타원체면에 기준한 높이(타원체고 ; Ellipsoidal height)를 정표고로 변환하여 활용하는 연구가 필요하며 이를 위해서는 해당 지역에 적합한 정밀한 지오이드고가 사전에 모형화 되어야 한다. 유럽이나 미국, 동남아 일부 국가의 경우에서도 국가적 차원의 지오이드 모델이 높은 정확도로 구성되어 있다. 반면 그동안 우리나라의 경우에는 지오이드고 모델의 실용성이 확산되지 않은 사유로 국가적인 차원의 연구는 미진한 상태이나 대학, 연구소 등에서 지속적인 연구가 발표되고 있다[1-7]. 그러나 GNSS 시대, 우리나라도 세계측지계로 전환하면서 GPS와 GALILEO 위성을 이용한 3차원 위치결정이 사회 전반에 보편화될 전망으로 국가차원의 지오이드고 모델의 구축이 매우 절실한 상황에 있다.

지오이드고 결정에는 육상, 해상 및 항공에서 취득한 중력자료, 위성 Altimeter 자료 및 GPS/Levelling 자료와 해당지역의 지형보정자료 등을 종합적으로 해석하여 모형화 할 수 있는데 본 연구에서는 구면조화함수로 표현된 지구중력장모형(EGM ; Earth Gravitational Model)을 활용하였다. 최근 들어 지구중력장모형의 중요성이 강조되고 고 해상도의 급수($n=m=2,190$, degree= n , order= m)를 해석할 수 있는 모델링기술의 향상과

CHAMP, GRACE 위성 등 첨단기술에 의한 지표면 중력 자료의 확대, 고 해상 수치지형모델(DTM)의 개발에 힘입어 현격히 향상된 지구중력장 모형이 발표되고 있어 중력관련 응용분야의 향상된 연구가 기대되고 있다 [8].

본 연구는 최신 지구중력장 모형의 고도이상(height anomalies)으로부터 국내 지오이드고를 산정하고 지역별 지오이드고의 특성을 분석한다. 이를 위하여 7가지 지구중력장모형(EGM2008<2190>, EGM 2008<360>, EGM96, EIGEN-GL04C, EIGEN-CG03C, EIGEN-GL04S1 및 ITG-Grace02S)을 선정하였다. 지형에 따른 지오이드고의 특성을 좀 더 세부적으로 검토하기위해 남한지역의 육상부를 경·위도 $1^\circ \times 1^\circ$ 크기의 6개 구역으로 구획하고 해상부는 4개 구역(서해, 남해에 각각 1구역, 동해에 2구역)을 선정하였다. 10개의 각 구역을 30" 간격의 격자로 세부 구획한 후 5가지 중력장 모델을 활용하여 각 격자점의 지오이드고를 산정한 후, 국립해양조사원에서 EGM96 모델과 13,493지점의 육상중력자료, 관할해역 1,723,252 지점의 선상중력자료 및 최신의 해면고도계 자료 등을 조합·해석하여 구성한 NORI-05모델(2005년 발표)[1]에 의한 결과와 비교하였다. 아울러 육지부의 경우, GPS 관측이 수행된 수준점 50측점을 점검점으로 선정하고 GPS/Levelling, NORI-05 및 7가지 지구중력장모형에 의한 지오이드고를 산정하고 비교·분석한 결과를 종합적으로 검토하여 GNSS 시대에 대비한 국내 지오이드고 모형 개발에 기여하고자 한다.

II. 지오이드고 산정이론

1. 구면조화함수의 지구중력장모형

고차 구면조화계수를 이용한 임의 점(r ; 지심거리, ϕ ; 지심위도, λ ; 지심경도)의 지오이드고는 타원체상 정규중력포텐셜 $V(r, \phi)$ 에서 지구 상 임의 점 $P(r, \phi, \lambda)$ 에서의 지구중력장 U 를 차감($T=V-U$)하고 Brun's 정리(교란중력장 Disturbing potential $T=YN$, Y ; 타원체 표면상의 정규중력)를 적용하여 식(1)과 같이 산정할 수 있다.

$$N = \frac{kM}{\gamma r} \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \{ C_{nm} \cos(m\lambda) + S_{nm} \sin(m\lambda) P_{nm}(\cos\phi) \} \right] \quad (1)$$

여기서, 중력장 모델의 C_{nm} , S_{nm} (구면조화계수, n , m 은 degree 및 order의 차수), 만유인력상수 kM , 축척계수 a 및 Associated Legendre 함수 $P_{nm}(\cos\phi)$ 를 이용하여 지오이드고(N)를 산정한다. 또한, 지오이드 상입의 점 P 의 중력과 상응되는 타원체상 중력값 간의 차이인 중력이상(δg) 및 교란중력장 T 의 편미분인 중력섭동(Δg)값을 식 (2)로 부터 산출할 수도 있다[11].

$$\delta g = -\frac{\partial T}{\partial r}, \Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r}T \quad (2)$$

2. GPS/Levelling에 의한 지오이드고

임의 수준점 또는 정표고가 제공된 삼각점에 대한 GPS 관측으로부터 세계타원체면에 기준한 타원체고(h_{GPS})를 산출하고 정표고($H_{Levelling}$)를 차감하면 GPS/Levelling에 의한 지오이드고($N_{GPS/Levelling}$)를 식 (3)과 같이 산출할 수 있다.

$$N_{GPS/Levelling} = h_{GPS} - H_{Levelling} \quad (3)$$

3. 국립해양조사원의 NORI-05 지오이드고 모형

NORI-05 지오이드고 산출 모형은 국토해양부의 한 국해양발전 프로그램과 국립해양조사원의 지원으로 개발되었으며, 육·해상을 연결한 지오이드 모델구축에 의한 지오이드고 계산 모형이다. NORI-05 모형의 구축에 활용된 자료로는 EGM96 지구중력장 모형, 국내 13,493 지점의 육상자료, 영해 및 인접지역 해역의 1,723,252 지점에 대한 선상 중력자료, 최신의 해면고도계(altimeter) 인성위성자료 등을 조합 활용하였다. NORI-05 지오이드고 모델의 적용범위는 경도 $124^{\circ} \sim 131^{\circ}$ 및 위도 $32^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 까지 이다[1-7].

III. ICGEM 및 NGA의 최신 지구중력장모형

IAG(International Association of Geodesy)는 국제지구중력장서비스(IGFS ; the International Gravity Field Service)를 위해 6개의 지역 센터를 운영하고 있다. 6개의 지역 센터 중 독일의 지구과학연구센터 내 ICGEM(International Centre for Global Earth Models)에서는 오래 전부터 기존 모든 지구중력장모델 정보를 축적하고 있으며 표준절차에 따라 중력장모형의 검증, 중력장모형 관련 Software 축적, 보관, 실행, 변환 서비스 외에 모형 활용을 위한 접속기술, 웹 서비스 및 매년 IGeS 특별강좌 개최 등 다양한 서비스를 제공하고 있다. 또한, 지구과학, 대기연구 및 응용을 위해 특별 임무를 수행하는 독일 단독 소형 인공위성(CHAMP ; CHALLENGING Minisatellite Payload)을 운용하고 있다. 매우 정밀하고 다양한 기능이 있는 보조센서(magnetometer, accelerometer, star sensor, GPS receiver, laser retro reflector, ion drift meter) 및 위성의 궤도특성으로 CHAMP 위성을 이용하여 최초로 5년 이상 매우 정밀한 중력 및 자기장의 동시 관측을 수행할 수 있다.

CHAMP 위성의 임무는 지난 10여년의 지구중력장 연구에 새로운 시대를 열어 큰 기여를 하고 있다. GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)는 NASA와 DLR(Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt)의 공동 프로젝트사업으로 운영되는 위성으로 GRACE의 1차 임무는 최근 5년 동안 발표된 광역고 해상 지구중력장모형들을 대상으로 유례없는 정확도 평가를 하는 것이다. 지구중력장 측정분야에서 GRACE는 CHAMP의 임무를 연계 받게 되고 두 위성을 활용함으로써 정확도가 향상되게 된다. 최초의 GFZ GRACE 중력장모형인 EIGEN-GRACE01S이 2003년 7월 25일 발표되었고 110일간의 GRACE 위성자료 만에 의한 EIGEN-GRACE02S 중파형 지구중력장모형은 n 및 m 의 차수가 150으로 민간에게는 2004년 8월 9일, GRACE 과학 팀에는 2004년 2월 13일 서비스가 제공되었다. CHAMP, GRACE 및 지표면 중력 자료의 조합처리로부터 $n=m=360$ 의 EIGEN-CG03C 중력장모형이 2005년 5월 12일 발표되었다. $n=m=360$ 인 지구중력장모

형은 130,317개의 구면조화계수로 구성되며 1과장이 약 100km 인 공간 범위를 갖고 광역적인 지오이드 및 광역적 free-air 중력이상을 나타낸다. 특히, 2006년 3월 31일에는 GRACE, Lageos 및 지표면 중력 자료의 조합에 의한 가장 최신의 중력장모형(EIGEN-GL04C, n=m=360)이 발표되게 되었다.

EIGEN-GRACE02S 중과장 중력장모형은 110일간의 GRACE 추적 자료로부터 구성된 것이다. EIGEN-CG03C 지구중력장모형은 860일간의 CHAMP 및 200일간의 GRACE 위성중력 자료에 0.5° × 0.5° 지표면 중력자료(gravimetry and altimetry)를 조합시켜 구성하고 해상 지구중력장모형인 EIGEN-CG01C의 개량형으로서 동일 CHAMP 임무 및 0.5°×0.5° gravimetry and altimetry 표면자료 및 5배가 넘는 GRACE 임무 관측 자료에 기반 한다. 즉, 구 모델의 200일 자료대신 2003년 2월~5월, 2003년 7월~12월 및 2004년 2월~7월 중 376일 자료가 사용된 n=m=360, 1과장이 약 110km인 모델로 구성된 구면조화계수로부터 지오이드와 중력이상을 산정한다. 사용된 조합기술인 특정밴드구속기법('a special band limited method')은 낮은 주파수 밴드에서는 위성의 자료로부터 높은 정확도를 유지할 수 있도록 하고 지표면 자료로부터 파생된 고주파 정보로 smoothing 전환이 가능하다[8-10]. EIGEN-GL04C 중력장모형은 EIGEN-CG03C 모형의 개량형으로 GRACE 및 LAGEOS 추적자료, 0.5° × 0.5° 중력고도계 표면자료를 조합하여 구성한 모형이다. NGA(National Geospatial Intelligence Agency)에서는 1990년대 중반 전 세계 지표면 중력자료(30' × 30')와 약 40여대의 위성자료, 29종의 고도자료 및 TOPEX, ERS-1 및 GEOSAT 위성의 해면고도자료를 종합 해석하여 전 세계 지오이드를 평균 표준편차 ±0.5~1.0m 정확도로 산출할 수 있는 EGM96 (n=m=360) 중력장 모형을 개발하였다. EGM96 모형에 의한 지오이드고 산출 시 보우게 보정을 위해 29종의 자료를 조합하여 구성된 JGP95E(해상도 5' × 5') 수치지형모형을 활용하였다.

2008년 초 NGA에서는 전 세계 5' × 5'의 향상된 중력 자료와 GRACE 위성 해석 자료 등을 활용하여 n=m=2,160 (확장 시 2,190)의 새로운 EGM2008 중력장

모형을 개발하였다[12]. EGM2008 모형과 연동하여 개발된 수치지형모델은 DTM2006 (해상도 30" × 30")으로 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 프로젝트와 GTOPO30 및 ICESat 자료 등의 조합해석으로부터 구성되었다[13]. 본 연구에서 사용한 지구중력장 모형의 제원을 요약하면 [표 1]과 같다. EGM2008 (n=m=360)은 EGM2008(n=m=2,160, 확장 시 2,190)모형에서 n=m=360까지 만을 고려한 지구중력장모형이다 [9][10][14].

표 1. 본 연구에 사용된 지구중력장 모형

모형 명	발표년도	n=m	기본자료
ITG-Grace02s	2006	170	S(Grace)
EIGEN-GL04S1	2006	150	S(Champ, Grace)
EIGEN-GL04C	2006	360	S(Grace, Lageos) G, A
EIGEN-CG03C	2005	360	S(Grace, Lageos)
EGM96	1996	360	S, G, A
EGM2008	2008	2,160 (2,190)	S(GRACE), G, A
EGM2008	2008	360	S(GRACE), G, A
S=Satellite tracking data, G=Gravity, A=Altimeter			

IV. 비교분석

1. 연구대상지역 설정

지역 및 지형에 따른 지오이드고의 특성을 좀 더 세부적으로 검토하기위해 그림 1과 같이 남한지역의 육상부를 경·위도 1°×1° 크기의 6개 구역(가 ~ 바)으로 구획하고 해상부는 4개 구역(사 ~ 차)으로 서해, 남해에 각각 1구역, 동해에 2구역을 선정하였다. [표 2]는 연구대상지역의 경·위도 대역과 지명을 나타낸 것이다.

표 2. 연구대상 지역의 경위도 대역

구역	경도 및 위도 대역	비고
가	128° E~129° E, 37° N~38° N	경기
나	128° E~129° E, 37° N~38° N	강원
다	127° E~128° E, 36° N~37° N	충남
라	128° E~129° E, 36° N~37° N	충북경북
마	127° E~128° E, 35° N~36° N	전남
바	128° E~129° E, 35° N~36° N	경남
사	125° E~126° E, 35° N~36° N	서해
아	127° E~128° E, 33° N~34° N	남해
자	130° E~131° E, 36° N~37° N	동해1
차	129° E~130° E, 38° N~39° N	동해2

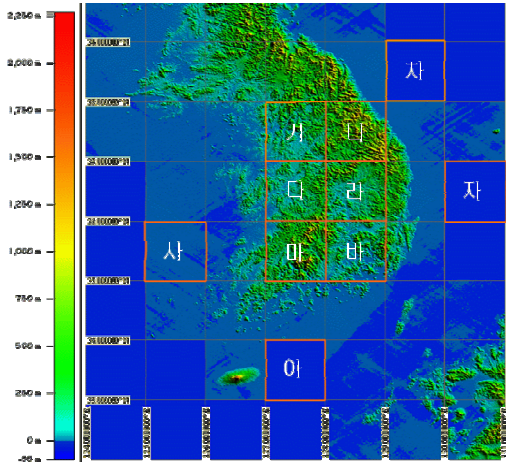


그림 1. 연구대상지역 설정

2. GPS/Levelling과 EGMs 간 지오이드고

[그림 2]는 육상부에서 GPS 관측이 수행된 수준점 ([그림 6]에서 ■로 표시한 50개 측점)을 점검점으로 하여 NORI-05 모형 및 7가지 지구중력장 모형에 의한 지오이드고와 GPS/Levelling 지오이드고 간의 편차를 도시한 것이다. 저 차수 모형인 ITG-Grace02s 및 EIGEN-GL04S1 모형을 제외한 고차 모형(n=m=360 이상)의 경우 GPS/Levelling 지오이드고와의 편차는 ±30cm 이내의 분포로 나타났다. 특히, EGM2008(360) 및 EIGEN-CG03C(360) 모형이 각각 ±20.3cm 및 ±20.1cm의 근사한 편차를 보인 반면, EGM2008(2,190)은 ±19.3cm의 편차로서 GPS/Levelling의 결과에 가장 근접한 지오이드고 결과를 제공하였다.

[그림 3]은 EGM2008(2,190)과 EIGEN-CG03C모형 간, 경도 124°~131° 및 위도 33°~40° 대역에 대한 지오이드고 편차를 도시한 것이다. 가장 큰 편차를 나타낸 지역은 내륙의 경우 '나 구역(강원)' 및 '마 구역(전남)'에서 각각 최대 60cm 및 30cm, 해양부에서는 '서해상'에서 최대 1m의 편차를 보였다. 반면, 충남·북지역과 경북이남지역의 편차는 평균 ±10cm로 비교적 근사한 분포를 보였다. 이는 중력장모형 형성 시에 활용한 중력 자료의 분포, 격자간격의 선정 및 지형적인 영향 등에 기인된 것으로 사료된다[15].

[그림 4]는 [그림 3]에서 비교적 모델별 지오이드고간

의 편차가 크게 나타난 “나” 및 “마” 구역의 37.5° 및 35.3° 위도에 대한 경도 대역(126°~130°)의 횡단면을 도시한 것이다. 동서방향에서 (a)그림의 200~250km 대역과 (b)그림의 150km 지점 전·후에서 표고가 크게 나타나 있는데 [그림 3]에서 지오이드고 편차가 크게 나타난 곳과 대체로 일치하고 있다. 따라서, 지역에 따른 지형의 분포가 지오이드고 편차와 상관성이 있음을 확인할 수 있다.

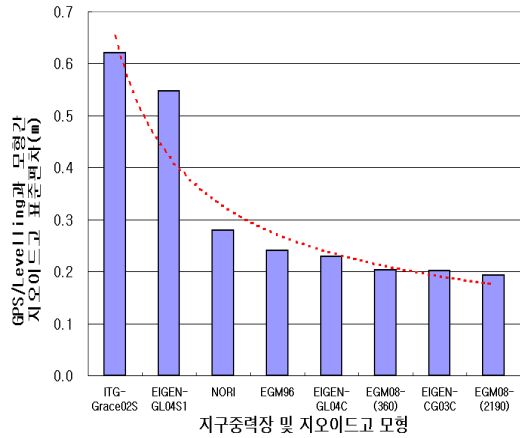


그림 2. EGMs 모델과 NORI-05 및 GPS/levelling 간 점검점(수준점 50점)의 지오이드고 표준편차(m)

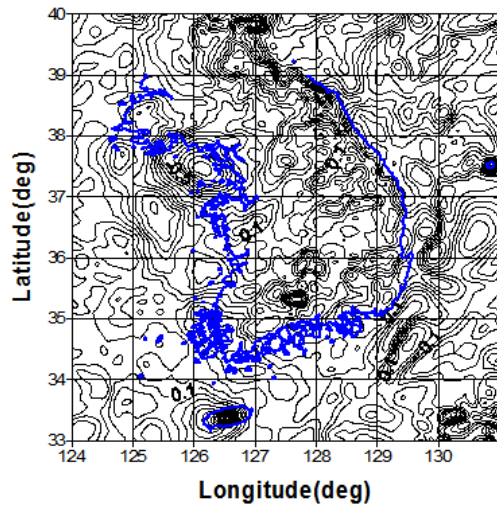


그림 3. EGM2008(2,190)과 EIGEN-CG03C 지구중력장 모형 간 지오이드고 편차(m)

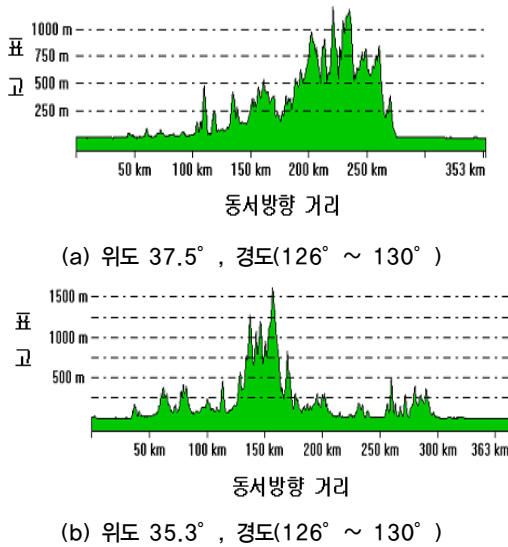


그림 4. 위·경도 대역별 횡단면도

3. EGM2008 모형 기준, 지역 별 EGMs 지오이드고

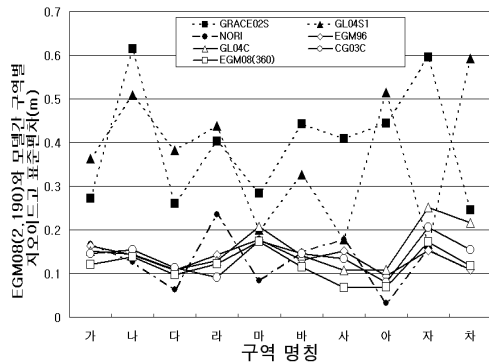


그림 5. EGM2008 기준, NORI-05 및 EGMs 지구중력장 모형 간, 육·해상 구역별 지오이드고 편차

[그림 5]는 [그림 1]의 육·해상 10개 구역별 30"×30" 간격의 14,641개 격자점에 대하여 EGM2008(2,190)모형에 의한 지오이드고를 기준으로 NORI-05 모형 및 6가지 지구중력장 모형으로부터 산정한 지오이드고와의 편차를 도시한 것이다. 저차 중력장모형인 ITG-Grace02s 및 EIGEN-GL04S1의 편차는 구역별로 ±15~60cm의 다양한 분포를 보였다. 고차 모형의 편차 폭은 ±3cm~25cm로 비교적 작은 변동을 나타내었고

육상부에서는 '나(전남)' 구역, 해상부에서는 '자(동해 1)'구역에서 상대적으로 큰 편차를 보였다.

[그림 6]은 지구중력장모형 중 GPS/Levelling에 의한 국내 지오이드고 분포에 가장 근접한 EGM2008(2,190) 모형에 의한 남한지역의 지오이드고 분포 및 점검점으로 활용한 50개 수준점을 함께 도시한 것이다. 전체적인 경향은 그동안 발표된 중력장 모형과 같이 북서에서 남동 방향으로 점차 증가하는 경향을 보였고 [그림 5]의 결과와 같이 GPS/Levelling 지오이드고 기준, 평균 약 1cm 정도 향상되었다.

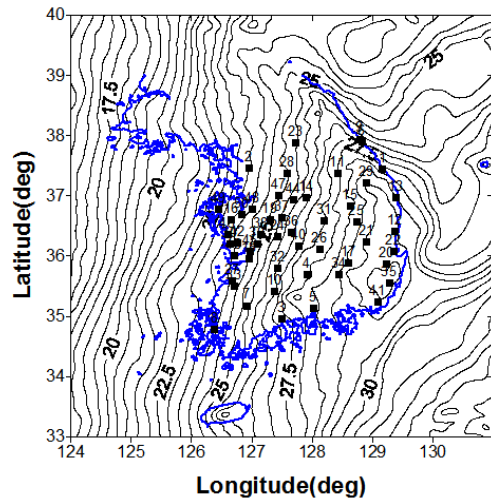


그림 6. EGM2008(2,190) 지구중력장 모형에 의한 남한 지역의 지오이드고 분포도

V. 결론

남한지역의 육상부 및 해상부에서 경·위도 1°×1°의 10개 지역을 선정하고 각 지역에 대한 30"×30" 간격의 14,641개 격자점에 대해서 7가지 지구중력장모형과 NORI-05 및 GPS/levelling에 의한 지오이드고를 각각 산정하고 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 육상부 6개 구역에 분포한 50개 수준점의 GPS/levelling 결과를 기준으로 n=m=360 이상의 지구중력장모형에 의한 지오이드고와의 편차는 평균 ±20cm~

±30cm의 분포를 나타내었다. 특히, EGM2008(2,190)모형이 GPS/Levelling의 결과에 가장 근접한 분포를 나타내었다.

둘째, 최근에 발표된 EGM2008(2,190)중력장모형과 n=m=360 중력장모형들 간의 육·해상 지역 별 지오이드고의 편차를 검토한 결과, 육상부는 '마(전남)', 해상부는 '자(동해1)' 지역에서 상대적으로 큰 편차를 확인할 수 있었다.

셋째, 지구중력장모형에 의한 국내 지오이드고 산정시, '나(강원)' 및 '마(전남)' 와 같이 지형의 요철이 상대적으로 심한 지역일수록 지형영향은 중요한 요소로서 고차 중력장 모형과 함께 고 해상 수치지형모형의 필요성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] <http://www.nori.go.kr/study/nori05.zip>
 [2] 최광선, 박필호, “중력과 GPS자료 해석에 의한 우리나라의 지오이드”, 대한토목학회 학술발표논문집, pp.439-442, 1994.
 [3] 강준목, 이용창, 최중현, “GPS에 의한 Bessel 지오이드고 산정에 관한 연구”, 대한토목학회 학술발표논문집, pp.401-404, 1994.
 [4] 이영진, “벡셀타원체 기준의 남한지역 지오이드 모델(KGM95)”, 한국측량학회지, 제13권, 제2호, pp.125-133, 1995.
 [5] 이석배, 최재화, “지형보정효과를 고려한 한반도 일원에서의 정밀 중력지오이드”, 대한토목학회 논문집, 제17권, 제III-6호, pp.619-628, 1997.
 [6] 윤희식, 조재명, “GPS/Leveling 데이터를 사용한 새 로운 지구중력장모델의 정확도 분석”, 한국측량학회지, 제23권, 제4호, pp.353-358, 2005.
 [7] 권재현, 이종기, “초 고차항 구 조화 중력모델링에 의한 상향 연속의 정확도 검증”, 한국측량학회지, 제24권, 제2호, pp.183-191, 2006.
 [8] C. Förste, "A New High Resolution Global Gravity Field Model Derived From Combination of GRACE and CHAMP Mission

and Altimetry Gravimetry Surface Gravity data," Poster presented at EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2005.

[9] <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>
 [10] <http://www.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace/results/>
 [11] R. H. Rapp, N. K. Pavlis, "The Development and Analysis of Geopotential Coefficient Models to Spherical Harmonic Degree 360", Journal of Geophysical Research, Vol.95, No.B13, pp.21885-21911, 1990.
 [12] <http://earth-info.nga.mil/GandG/>
 [13] M. Werner, "Shuttle Radar Topography Mission(SRTM),Mission overview," J. Telecom, Vol.55, pp.75-79, 2001.
 [14] http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/new_egm/EGM08_papers/EGM-2007-final.pdf
 [15] R. Forsberg, "A study of the terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling," Report 355, Dept. of Geoid. Sci. and Surv., Ohio State University, Columbus, USA, 1984.

저 자 소 개

이용창(Yong-Chang Lee)

정희원



- 1984년 2월 : 충남대학교 공업교육대학(공학사)
- 1988년 8월 : 충남대학교 토목공학(공학석사)
- 1994년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학박사)

- 1994년 8월 ~ 현재 : 시립인천전문대학 토목공학과 교수
 - 1998년 8월 ~ 1999년 7월 : University of MAINE, Visiting Prof.
 - 2005년 3월 ~ 현재 : 대한측량협회 편집위원
 - 2007년 5월 ~ 2009년 4월 : 한국측량학회 평의원
- <관심분야> : 측지학, GNSS, LiDAR, GIS, 수치사진