최신 지구중력장모델(EGMs)의 남한지역 적용 평가
Evaluation of the new Earth Gravity Models with GPS-leveling data in South Korea

이용창[1)]
Lee Yong Chang

[1)] 시립인천전문대학 토목공학과 교수(E-mail : gpsgis@icc.ac.kr)

Abstract

The new gravity field combination models are expected to improve the knowledge of the Earth's global gravity field. This study evaluates eleven global gravity field models derived from gravimetry and altimetry surface data in a comparison with ground truth in South Korea. Geoid heights obtained from GPS and levelling in South Korea are compared with geoid heights from the models. The results show that the gravity satellites CHAMP, GRACE and LAGEOS plus gravimetry and altimetry surface data have led to an improvement in gravity field models. As expected, the new combination gravity field model which are EIGEN-CG03C and EIGEN-GL04C give better results than the predecessors widely used models(EGM96, OSU91A etc.).

1. 서 론

2000년대에 들어서면서 미국의 GPS(Global Positioning System), 러시아의 GLONASS(Global Navigational Satellte System) 위성항법시스템들의 현대화 추진과 2005년 12월 GIOVE 시험위성의 성공적인 발사와 함께 2008년 서비스 개시예정인 EU의 GALILEO 위성항법시스템, 2010년까지 중국전역의 서비스를 목표로 이미 3기의 위성이 발사된 중국의 북두(Beidou Navigation Syatem), GPS를 보완하면서 총 7개 준 천정 위성을 이용하여 2008년부터 동북아 전 지역을 서비스 가시권으로 개발을 추진 중인 일본의 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System ; 준천정위성)시스템의 단계적 전략적인 개발 추진은 측위분야, 통신분야 및 방송분야에서 GNSS시개의 대변혁을 예고하고 FRID기술과 함께 Ubiquitous 기술의 근간이 되고 있다. 민간응용분야의 경우, GPS위성과 GALILEO 위성의 공조계획 발표와 실현은 수신기 제조사의 시장성 확대는 물론 두 위성의 조합 활용을 통한 절대측위의 현격한 향상과 실시간 모호정수의 해석 등에 현격한 효용성을 제시할 것이다. 특히, 국내·외 측위분야는 물론 항법, 과학, 군사, 레져스포츠, 119, Ubiquitous 등 여러 분야에서 GNSS 항법시스템을 활용한 다양한 컨텐츠의 개발과 상품화 등 다가올 GNSS 시장에 많은 관심과 기대를 보이고 있다. 국내에서도 GNSS 시대 세계화에 대비할 수 있도록 측량법의 개정과 함께 그동안 사용해오던 Tokyo 데이텀(Bessel 타원체)를 폐지하고 2007년 1월 1일부터는 GRS80 세계기준계를 채택하게 됨으로서 국내 지도 좌표계의 대대적인 전환을 앞두고 있다. 새로이 GRS80 타원체를 채택하고 TM 지도투영법을 적용할 경우 기존 배포된 벳셀타원체에 근거한 지형도와는 수평위치에서 350m ~ 400m 정도의 지역간 편차가 발생할 것으로 예견된다. 그러나 수직 데이텀의 경우는 우리나라를 비롯한 대다수의 국가가 지역타원체를 채택하여 사용할 당시에도 평균해수면이나 국가에 따라 별도로 정한 기준으로 부터 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 모형 화 되어야 한다. 유럽이나 미국, 동남아 일부 국가의 경우에서도 국가적 차원의 지오이드 모델이 높은 정확도로 구성되어 있다. 반면 그동안 우리나라의 경우에서는 지오이드고 모델의 실용성이 확산되지 않은 사유로 국가적인 차원의 연구는 미진한 상태이다. 그러나 GNSS 시

대, 2007년부터 세계타원체로 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 모형 화 할 수 있는데 가장 대표적인 모형이 구면조화함수로 표현된 지구중력장모형이다. 많이 활용되고 있는 대표적인 지구중력장 모형들로는 OSU91A(1991년 발표), EGM96(1996년 발표) 및 WGS84(NIMA) 등이 있다. 최근 들어 지구중력장모형의 중요성이 강조되고 고해상도의 급수(n=m=360, degree=n, order=m)를 해석할 수 있는 모델링기술의 향상과 지표면 중력자료의 확대, CHAMP, GRACE 위성 등 첨단기술에 힘입어 기존의 모형에 비해 현격히 향상된 지구중력장 모형이 발표되고 있다. 본 연구에서는 EIGEN-GL04C, EIGEN-CG03C, EIGEN-CG01C, EGM96, OSU91A, PGM2000A 및 GGM02C 지구중력장 모형을 이용하여 우리나라 내륙지역에 대한 지오이드고(height anomaly), 중력이상(gravity anomaly) 및 중력섭동(gravity disturbance)의 거동을 GPS/Leveling에 의한 결과를 중심으로 비교·고찰한다. 또한 최근에 발표된 EIGEN-GL04C 및 CG03C 모형의 국내 적용 시 지오이드고 편차를 보정할 수 있는 지형보정요소에 상응하는 보정모형을 GPS/Leveling에 의한 지오이드고 편차로부터 도출하고 신뢰성을 검토하며 아울러 GNSS 시대에 대비한 향후, 국내 지오이드고 산정 방안을 제시한다.

2. 지오이드고 산정

2.1 지구중력장모델형 의한 지오이드고

고차 구면조화계수를 이용한 임의 점(r ; 지심거리, Φ ; 지심위도, λ ; 지심경도)의 지오이드 고는 중력포텐셜 V에서 준거타원체면상의 정규 포텐셜 U를 차감(T=V-U)하고 Bruns 정리(T=YN, Y ; 타원체상의 정규중력)를 적용하여 식(1)과 같이 산정할 수 있다. 여기서, 중력장 모델의 C, S(Zonal, Tesserial 및 Sectorial Harmonic 계수), 만유인력상수 kM, 축척계수 a 및 Associated Legendre 함수 P_{nm} (cosΦ)를 대입하여 지오이드고(height anomaly) N를 산정하며 부가적으로 중력이상(gravity anomaly) 및 중력섭동(gravity disturbance)를 산출할 수 있다.

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

2.2 GPS/Leveling 에 의한 지오이드고

임의 수준점 또는 정표고가 제공된 삼각점에 대한 GPS 관측으로부터 산출된 세계타원체면에 기준한 타원체고(h_{GPS})에서 정표고($H_{levelling}$)를 감하면 GPS/Levelling에 의한 지오이드고가 산정되고 이 값을 지구중력장 모델에 의한 지오이드고와 차감하면 지구중력장 모형의 보정모형을 도출할 수 있는 '지형보정 요소'를 산출할 수 있게 된다. 식 (3)은 지구중력장 모형의 보정식을 1차 다항식으로 구성한 것이다.

$$\Delta N = h_{GPS} - H_{Levelling} - N_{EGM} \quad \text{----------} \ (2)$$

$$d\Delta N(\lambda, \phi) = a_0 + a_1\lambda + a_2\phi \quad \text{----------} \ (3)$$

3. ICGEM의 최신 지구중력장모형

IAG(International Association of Geodesy)는 국제지구중력장서비스(IGFS ; the International Gravity Field Service)를 위해 6개의 지역 센터를 운영하고 있다. 6개의 지역센터는 독일 국가지구과학연구센터인 GeoForschungsZentrum(GFZ)내 International Centre for Global Earth Models (ICGEM), 프랑스 소재 Bureau Gravimetrique International (BGI), 영국소재 Digital Elevation Model Centre (DEM). 벨지움 소재 International Centre for Earth Tides (ICET), 이태리 소재 International Geoid Service (IGeS) 및 미국소재 Technical Support Centre of IGFS 이다. 독일 ICGEM에서는 오래 전부터 기존

모든 지구중력장모델 정보를 축적하고 있으며 표준절차에 따라 중력장모델의 검증, 중력장 모델 관련 Software 축적, 보관, 실행, 변환 서비스 외에 모델 활용을 위한 접속기술, on-line 웹서비스 및 매년 IGeS 특별강좌 개최 등 다양한 서비스를 제공하고 있다. 독일 국가지구과학연구센터인 GeoForschungsZentrum(GFZ)에서는 지구과학, 대기연구 및 응용을 위해 특별 임무를 수행하는 독일 담독 소형 인공위성(**CHAMP ; CHA**llenging **M**inisatellite **P**ayload)을 운용하고 있다. 매우 정밀하고 다양한 기능이 있는 보조 센서(magnetometer, accelerometer, star sensor, GPS receiver, laser retro reflector, ion drift meter) 및 위성의 궤도특성(near polar, low altitude, long duration)으로 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 열었고 큰 기여를 하고 있는 중이다.

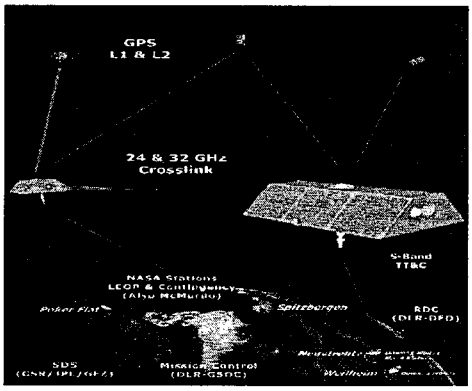

그림 1. GRACE 임무수행도

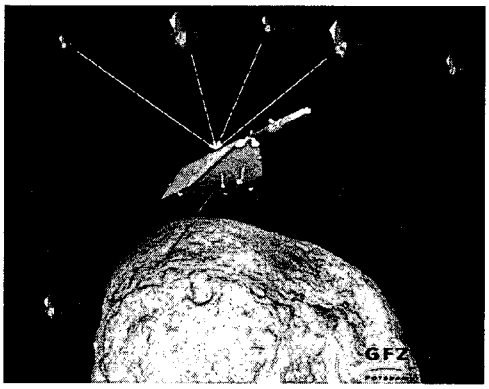

그림 2. CHAMP 임무수행도

GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)는 National Aeronautics and Space Administration (NASA)와 Deutsches entrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)의 공동 프로젝트사업으로 운영되는 위성으로 GRACE의 1차 임무는 최근 5년 동안 발표된 광역 고 해상 지구중력장모델들을 대상으로 유례없는 정확도 평가를 하는 것이다. 지구중력장 측정분야에서 GRACE는 CHAMP의 임무를 연계 받게 되고 두 위성을 활용함으로서 정확도가 향상되게 된다. 최초의 GFZ GRACE 중력장모델인 EIGEN- GRACE01S이 2003년 7월 25일 발표되었고 GRACE 위성자료 만에 의한 지구중력장모델인 EIGEN- GRACE02S 는 n(degree)=m(order)=150으로 민간에게는 2004년 8월 9일, GRACE 과학 팀에는 2004년 2월 13일 서비스가 제공되었다. CHAMP, GRACE 및 지표면 중력자료의 조합처리로 부터 n=m=360의 EIGEN-CG01C 중력장모델이 2004년 10월 29일 발표되었고 이어 2005년 5월 12일 CHAMP, GRACE 및 지표면 중력자료로 부터 n=m=360의 EIGEN-CG03C 중력장모델이 발표되었다. 특히, 2006년 3월 31일에는 GRACE, Lageos 및 지표면 중력자료의 조합에 의한 가장 최신의 중력장모델(EIGEN-GL04C, n=m=360)이 발표되데 되었다. EIGEN-GRACE01S 중력장 모델은 2002년 8월과 11월에 수집된 39일간의 예비 GRACE 비행자료에 근간하여 구성되었고 최신의 CHAMP 중력장 모델에 비해 최소 5배 이상 정확하고 CHAMP 이전 위성 만에 의한 중력장 모델에 비해서는 약 50배 이상 정확하다. EIGEN-GRACE02S 중파장 중력장모델은 110일간의 GRACE 추적 자료로부터 구성된 것이다. EIGEN- CG01C 중력장모델은 860일간의 CHAMP 및 200일간의 GRACE 위성중력자료에 0.5 x 0.5 deg 지표면 중력자료(gravimetry and altimetry)를 조합시켜 구성한 고해상 지구중력장모델이다. n=m=360인 지구중력장모델은 130,317개의 구면조화계수로 구상되며 1파장이 약 100km 인 공간범위을 갖고 광역적인 지오이드 및 광역적 free-air 중력이상을 나타낸다. EIGEN-CG03C 지구중력장모델은 EIGEN - CG01C모델의 개량형으로 동일 CHAMP 임무 및 0.5 x 0.5 deg. gravimetry and altimetry 표면자료 및 5배가 넘는 GRACE 임무 관측자료에 기반한다. 즉, 구모델의 200일 자료대신 2003년2월~5월, 2003년 7월~12월 및 2004년 2월~7월 중 376일 자료가 사용된 n=m=360, 1파장이 약 110km인 모델로 구성된 구면조화계수로부터 지오이드와 중력이상을 산정한다. 조합기술 사용된 'A special band-limited 기법'은 낮은 주파수 밴드에서는 위성의 자료로부터 높은 정확도를 유지할 수 있도록 하고 지표면자료로부터 파

생된 고주파정보로 smoothing 전환이 가능하다. 전의 CHAMP/GRACE 고해상 지구중력장모델과 비교할 때 400km 공간범위에서 지오이드고와 중력이상에서 각각 3cm 및 0.4 mgal 향상됨을 확인할 수 있다. 100km 공간범위 안에서 n=m=360 중력장 모델은 각각 30cm 및 8 mgal 향상되었고 대륙보다 해양 쪽에서 보다 양호한 결과를 나타냈다. EIGEN-GL04C 중력장모델은 EIGEN-CG03C모델의 개량형으로서 GRACE 및 LAGEOS 추적자료, 0.5 x 0.5 deg gravimetry, altimetry 표면자료를 조합하여 구성한 모델이다. 위성관측자료는 Potsdam에 있는 GFZ(GRACE ; 2003년 2월~2005년 7월, 2004년 1월 자료 제외) 및 Toulouse에 있는 GRGS(GRACE 및 LAGEIS ; 2003년 2월 ~ 2005년 2월)에서 해석하였다. Arc length (GRACE: 1 day, LAGEOS: 10d)와 같은 처리 표준, 중력장모델 (EIGEN -CG03C), ocean tide model (FES2004) 또는 ocean pole tide model (Desai 2002)은 두 장소 모두 동일한 조건이다. 유일한 차이점은 위성자료 처리 시 단주기 질량변동을 보정하기 위해 사용되는 해양모델로서 GRGS에서는 'barotropic model MOG2D'를 GFZ에서는 'baroclinic model OMCT'를 사용한 점이다. 사용된 지표면자료는 새로운 GFZ 평균해면고(MSSH)모델 (T. Schöne and S. Esselborn 2005, personal communication) - ECCO 해면지형(즉, EIGEN-CG03C: CLS01 MSSH minus ECCO)로 부터 산정된 해양에 대한 지오이드 기복을 제외하고 EIGEN-CG03C와 동일하며 문제시 되는 자료는 EIGEN 값으로 대체 된다. 앞선 지구 중력장 모델과 같이 EIGEN-GL04C 모델은 n=m=360의 조합모델로서 1파장의 공간범위는 110km이다. 본 연구에서 사용한 지구중력장 모델의 제원을 요약하면 표1과 같으며 관련정보는 참고문헌으로 대신한다.

표 1. 본 연구에 사용된 지구중력장 모형

모델명	발표년도	Degree	기본자료	참고
EIGEN-GL04C	2006	360	S(Grace,Lageos),G,A	Förste et al, 2006
EIGEN-CG03C	2005	360	S(Champ,Grace),G,A	Förste et al, 2005c
EIGEN-CG01C	2004	360	S(Champ,Grace),G,A	Reigber et al, 2004c
EGM96	1996	360	EGM96S,G,A	Lemoine et al, 1998
OSU91A	1991	360	GEMT2,G,A	Rapp et al, 1991
PGM2000A	2000	360	S,G,A	Pavlis et al, 2000
GGM02C	2004	200	S(Grace),G,A	UTEX CSR, 2004

(Data: S=Satellite Tracking Data, G = Gravity Data, A = Altimetry Data)

4. 비교 분석

본 연구자의 그동안 선행 연구에서 축적된 국내지역의 삼각점 30점 및 수준점 50점 총 80개 측점에 대한 GPS 관측결과와 정표고를 활용·산정한 GPS/Levelling에 의한 지오이드 고를 기준으로 7가지 지구중력장 모델에 의한 지오이드고와 비교, 각 모델의 경향과 특성을 고찰하며 남한지역에 적용시 적합성을 검토하였다. 표2 및 그림3은 GPS/Levelling 및 EGM 지오이드 고간 편차를 중력장 모델 별로 삼각점 및 수준점의 조합조건에 따라 통계처리하고 도시한 것이다. 표 3은 EGM96, EIGEN-CG01C, EIGEN-CG03C 및 EIGEN-GL04C 중력장 모델을 미국, 캐나다, 유럽 및 독일지역에서 각각 6169, 1930, 186 및 675개 측점에 적용하고 분석한 결과를 나타낸다. 미국, 유럽, 독일의 경우는 EGM96로 부터 EIGEN-GL04C 모델에 이르는 적용결과가 GPS/Levelling 결과 대비 공통적으로 향상된 결과를 나타낸 반면, 캐나다의 경우 EIGEN-CG03C에서 구 모델인 EIGEN-CG01C보다 큰 편차를 보였으나 최신 EIGEN-GL04C 모델에서는 EIGEN-CG01C보다 향상된 결과를 나타내었다. 국내의 경우, 30개의 삼각점 중 1m 이상 과대편차가 나타난 6개 측점을 제외한 24점과 수준점 50점, 총 74점에 7가지 중력장 모델을 적용한 결과는 조합 74점, 수준점 50점, 및 삼각점 24점 세 경우 모두 2005년 발표된 EIGEN-CG03C 모델이 2006년 발표된 EIGEN-GL04C 모델에 비해 양호한 결과를 나타내었다. 6개의 삼각점을 포함시킨 80점 및 30점의 경우는 새롭게 발표된 모델을 적용함에 따라 향상된 결과를 나타내었다. 순수 수준점 50개 측점 만에 의한 결과는 EIGEN-CG03C, PGM2000A, EIGEN-GL04C, EGM96, EIGEN-CG01C, OSU91A 및 GGM02C 순으로 편차 폭이 증가하는 결과가 나타났고 특히 GGM02C 모

델의 편차가 크게 나타나 있는데 이는 타 모델들이 n=m=360 인 반면 GGM02C의 경우 n=m=200인 관계로 사료된다. 대체적으로 국내 내륙지역에서는 미국, 캐나다 및 유럽에 비해 최근 발표되고 있는 중력장 모델의 적용결과가 양호하게 나타난 것으로 판단되나 국내의 경우 산악지형이 많고 n=m=360 중력장모델의 파형이 110km인 점 등은 GNSS 시대 위성관측 측지용 정표고를 산정하기 위해서는 향상된 위성추적자료와 내륙 및 해상의 중력측량, altimeter 자료 등 지오이드고 연구를 위한 기본 자료의 추가 확보 노력이 절대 필요할 것으로 사료된다. 그림 4는 중력장 모형 중 비교적 국내 지오이드고 분포에

표 2. / 그림 3. (GPS/Levelling - EGM) 지오이드 고간 중력장 모델 별 표준편차(±cm)

GPS/Levelling - EGM geoid h.	삼각점+수준점 74점(80점)	수준점 (50점)	삼각점 24점(30점)
EIGEN-GL04C	26.8(57.4)	23.1	32.4(89.3)
EIGEN-CG03C	24.2(59.2)	20.1	30.5(93.3)
EIGEN-CG01C	28.2(61.9)	25.7	32.7(95.4)
EGM96	28.6(62.3)	24.0	35.8(97.4)
OSU91A	29.6(64.2)	25.8	36.2(99.5)
PGM2000A	27.2(61.4)	22.5	34.8(96.3)
GGM02C	33.7(62.4)	29.3	41.2(95.0)

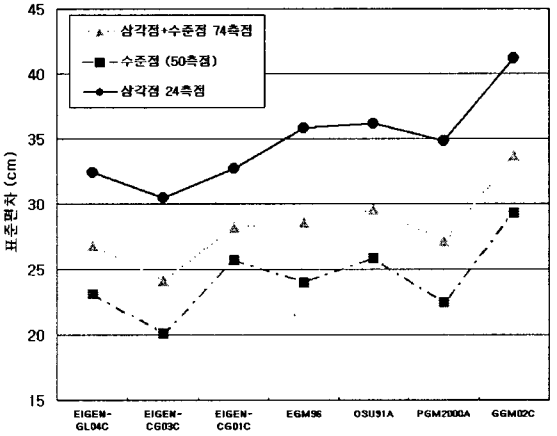

표 3. GPS/Levelling-EGM지오이드고 표준편차(cm)

EGM	미국 (6169)	캐나다 (1930)	유럽 (186)	독일 (675)
EIGEN-GL04C	43.5	31.1	34.0	18.1
EIGEN-CG03C	43.6	35.0	38.4	19.7
EIGEN-CG01C	44.1	31.7	39.7	21.7
EGM96	46.5	37.3	44.6	27.6

표 4. EIGEN-CG03C 모델의 보정 다항식 계수

	Polynomial Regression	
회귀계수	$Z(\lambda,\phi) = A_{00} + A_{01}\phi + A_{10}\lambda$	
A_{00}	-0.235149022	±0.032377257
A_{01}	0.011311632	±0.039268393
A_{10}	-0.001728631	±4.090994202

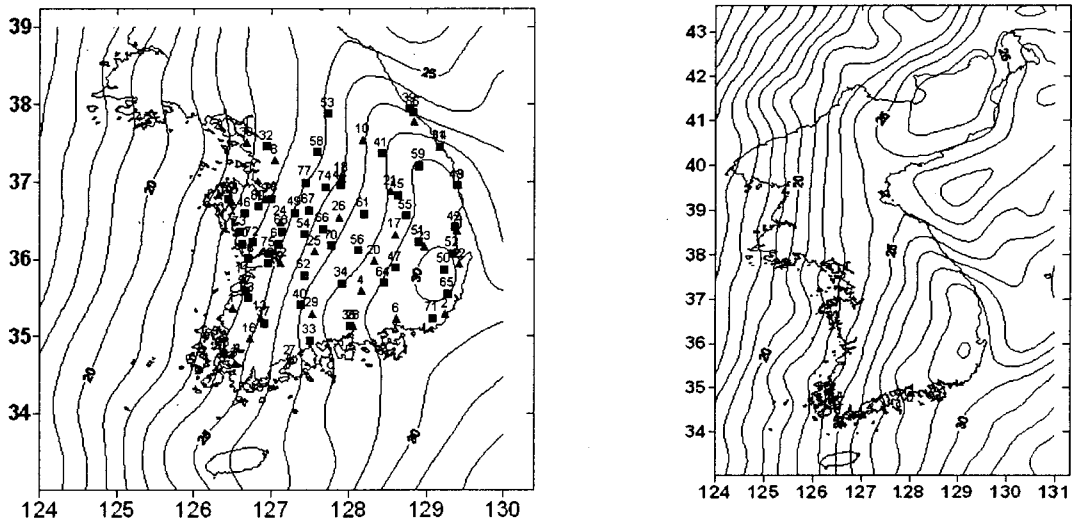

그림 4. EIGEN-CG03C 모델에 의한 남한지역(좌) 및 남·북한지역(우) 지오이드고 분포

근접한 EIGEN-CG03C 모델에 의한 남한지역 및 남·북한 전역의 지오이드고 분포를 도시한 것이다. 그림 4의 80개 측점은 본 연구에서 사용한 삼각점 및 수준점이며 측점 간 평균거리는 대략 100km ~ 120km 정도로서 n=m=360 지구중력장모형의 기본 파장과 근사한 상황이다. 표 4는 수준점 50개 측점을 대상으로 식(3)의 단순회귀다항식에 근거하여 도출한 EIGEN-CG03C 모델의 보정 다항식 계수로서 이를 삼각점 24개 측점에 역 적용한 결과, 적용 전 표준편차 ±30.5cm 대비 적용 후가 오히려 ±30.8cm로 나타나 보정효과를 기대할 수 없는데 이는 수준점 50점의 측점간격이 평균 200km 이상이고 특히, 산악지형이 많은 국내 상황에 기인된 것으로 판단되어 향후, 좀더 많은 기준점을 대상으로 보정 모델을 형성하고 향상된 결과를 검토할 수 있는 추가 연구가 요망된다.

5. 결론

2006년 3월 발표된 EIGEN-GL04C 중력장모델과 기 발표된 EIGEN-CG03C, EIGEN-CG01C, EGM96, OSU91A, PGM2000A 및 GGM02C 지구중력장모델을 국내 내륙에 분포한 80개 기준점에 적용하고 GPS/Leveling에 의한 결과를 기준으로 지오이드고(height anomaly)의 거동을 비교·고찰한 결과 평균, 표준편차 ±20cm~30cm(과대편차 제외 시), 최대 ±1m 이내의 편차 분포를 확인할 수 있었고 GNSS 시대 위성에 의한 효율적인 정표고 산정 및 중력장모형의 보정을 위해서는 다양한 중력관측 자료의 확보와 이들의 조합처리에 의한 한국형 지오이드고 모델이 절실함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html
2. 이용창, 강준묵, "GPS을 이용한 Geoid Undulation Model 산정에 관한 연구", 한국측량학회 연구발표회논문집, pp.8~17, 한국측량학회, 1993. 2
3. 이용창, 강준묵, 최종현, "GPS에 의한 Bessel 지오이드고 산정에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회논문집, pp.401~404, 대한토목학회, 1994
4. Rapp, R.H., Pavlis, N.K.; **The Development and Analysis of Geopotential Coefficient Models to Spherical Harmonic Degree 360** ; Journal of Geophysical Research, Vol. 95, No. B13, p. 21885-21911, 1990
5. Reigber, C., Schwintzer,P., Stubenvoll,R., Schmidt,R., Flechtner, F., Meyer, U., K?, R., Neumayer, H., F?e, C., Barthelmes, F., Zhu, S.Y., Balmino, G., Biancale, R., Lemoine, J.-M., Meixner, H., Raimondo, J.C.; **A High Resolution Global Gravity Field Model Combining CHAMP and GRACE Satellite Mission and Surface Data: EIGEN-CG01C;** 2005b (submitted to Journal of Geodesy)
6. Förste, C., Flechtner, F., Schmidt, R., Meyer, U., Stubenvoll, R., Barthelmes, F., K?, R., Neumayer, K.H., Rothacher, M., Reigber, C., Biancale, R., Bruinsma, S., Lemoine, J.-M., Raimondo, J.C.; **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 2005, Vienna, Austria, 24-29, April 2005
7. http://www.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace/results/ 'Combined Gravity Field Model EIGEN-GL04C', 2006. 4
8. Förste, C., Flechtner, F., Schmidt, R., König, R., Meyer, U., Stubenvoll, R., Rothacher, M., Barthelmes, F., Neumayer, K.H., Biancale, R., Bruinsma, S., Lemoine, J.-M.; **A mean global gravity field model from the combination of satellite mission and altimetry/gravimetry surface gravity data;** Poster presented at EGU General Assembly 2006, Vienna, Austria, 02-07, April 2006.
9. Rapp, R.H., Wang, Y.M., Pavlis, N.K.; **The Ohio State 1991 Geopotential and Sea Surface Topography Harmonic Coefficient Models;** The Ohio State University, Department of Geodetic Science, Report No. 410, Columbus/Ohio, 1991
10. Pavlis, N.K., Chinn, D.S., Cox, C.M., Lemoine, F.G.;**Geopotential Model Improvement Using POCM_4B Dynamic Ocean Topography Information: PGM2000A;**paper presented at the Joint TOPEX/Poseidon and Jason-1 Science Working Team Meeting, Miami, Florida, USA, November p. 15-17 2000.