

# 우리나라 육상 중력기점 전이

최광선\* · 옥수석\*\* · 원지훈\*

\*부산대학교 지구과학교육과 · \*\*경성대학교 시간강사

## 요 약

2 대의 중력계를 이용하여 우리나라의 88 개 기상관서 내에 중력 보조점을 설치하고 GPS 측량을 실시하였다. 모든 중력 보조점의 중력치는 부산대학교 내의 중력기준점을 기준으로 측정하여, 향후 새로운 절대중력기점 값으로 쉽게 환산할 수 있도록 하였다. 이러한 중력기준망의 확장은 중력의 측정과 drift 보정 등에 의해 나타나는 오차를 최소화하여 중력 자료의 정밀도를 증대할 것이다. 또한 이 연구 결과는 상대중력계에 의해 계산된 중력 자료의 검증 및 상대중력계의 점검 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 중력망, IGSN71, IAGBN, 중력기준점, 상대중력계

**Kwangsun-Choi, Soosuk Ok and Jihoon Won, 2001, Establishment of Gravimeter Bases in Korea. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 4, n. 2, p. 121-131**

**ABSTRACT:** We have established 88 auxiliary gravity reference stations by using two gravimeters at the observation offices of the Korean meteorological agency and measured the locations by using GPS. All gravity values have been calculated on the basis of the gravity reference point at Pusan National University, thus, they have been established to be easily converted to new absolute gravity value later. The increased numbers of the gravity reference stations will minimize errors due to measurements, drift correction etc. and increase the accuracy of the gravity data. The result of this research will be used to verify the gravity data which calculated with the relative gravity meter and to inspect relative gravity meters.

**Key words:** Gravity Network, IGSN71, IAGBN, Gravimeter Base, Relative gravimeter

(Kwangsun-Choi, jihoon Won, Department of Earth Science Education, Pusan National University, Jangjun-dong, Kumjung-Gu, Pusan, 609-735, Korea, E-mail: ksunchoi@hyowon.cc.pusan.ac.kr; Soosuk Ok, Keyongsung University)

## 1. 서 론

대부분의 중력측정은 상대측정 중력계를 이용하고 있으며, 이러한 상대측정에는 절대 중력값을 알고 있는 중력기준점이 필요하다. 그러므로 중력의 정확한 상대측정도 중요하지만 정확한 중력기준망의 확립도 중요하며 이를 위하여 국제적으로 정밀한 중력기준망의 확립에 노력하여 왔다.

국제 중력 기준망인 IGSN71(International Gravity Standardization Net 1971)이 IUGG(International

Union of Geodesy and Geophysics)에 의해 공식화 된 후 전 세계의 각 나라는 IGSN71을 기준으로 자국 내에 중력기준점들을 설치하면서 자체적인 중력망을 구축하고 이들의 정밀도를 지속적으로 개선시켜 왔다(Subiza et al., 1998; Qi-xian and Han-jiang, 1997). 이의 주 목적은 국가적인 차원의 정확한 중력기준점 구축 및 중력변화에 대한 감시와 이러한 중력망을 기준으로 상대중력계를 이용한 조밀한 중력측정을 실시하고자 하는 것이다(Boedecker, 1993).

최근 탐사 기술의 개발과 더욱 정확한 탐사 장비의 요구에 의해 중력계도 지속적으로 발달하였으며, 절대중력계의 경우 지구중력의 10억분의 1에 해당하는  $1\mu\text{Gal}$  ( $1\mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ )의 정밀도로 측정이 가능하고 장비의 이동이 간편화되었으며(Chapin, 1998) 상대중력계는  $0.1\mu\text{Gal}$ 의 정밀도를 갖는 중력계가 상용화되었다. 이러한 중력계의 발달로 과거 상대중력계에 의존되어 구축된 중력망은 절대중력계와 상대중력계를 함께 활용하여 더욱 정확한 중력망의 구축이 가능하게 되었으며 현재 절대중력계의 수직 증가와 아울러 이를 이용한 국가별 중력망의 정확도 개선이 활발하게 이루어지고 있는 추세이다(Peter *et al.*, 1991; Richter *et al.*, 1998; Yamaguchi *et al.*, 1997). 이러한 중력망의 정확도 개선으로 현재는 중력기준점의 자료 및 이를 기준으로 획득한 중력 자료들이 기존의 석유 · 광물 탐사의 지구물리학적 목적과 지오이드 결정 등의 측지학 분야뿐만 아니라 특히 지진, 화산 및 빙하기 이후의 융기에 의한 지각변위 감지 분야 등의 비교적 높은 정밀도를 요구하는 분야에도 활용될 수 있게 되었다(Larson and van Dam, 2000; van Dam *et al.*, 2000).

한편, 우리나라의 경우 1981년도에 국립지리원과 일본지리원이 공동으로 4대의 LaCoste & Romberg 중력계를 이용하여 일본 동경의 중력기준점으로부터 4개의 중력기준점을 전이하여(최광선, 1986) 현재 총 10개의 중력기준점이 국립지리원에 의해 관리 및 유지되고 있다. 그러나 현재 우리나라의 경우 절대중력계의 부재 등으로 세계적인 추세에 비해 국내 중력망에 대한 수직 증가와 정확도의 개선을 위한 연구 등이 활발히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 국내의 중력기준점의 수는 적은 편으로 중력측정 효율과 측정정밀도를 높이기 위하여 현재보다는 더욱 조밀한 중력기준점들이 요구되고 있다.

이를 위해 본 연구에서는 기상청과 협조하여 우리나라의 각 기상관서의 노장에 중력 보조점을 설치하고 상대중력계를 이용하여 정확한 절대 중력값을 전이하였다. 이는 비교적 넓은 간격의 기존 국내 중력망을 보조하여 중력탐사와 지구물리

상수 결정을 위한 중력측정 등에 이들을 활용 할 수 있도록 하였으며 아울러 현재 상대중력계를 이용해 절대중력으로 환산하는 단계의 문제점과 이들을 개선하기 위한 방법도 함께 알아보았다.

## 2. 중력망

### 2.1. IGSN71

전 세계 중력망인 IGSN71은 10 지점의 절대중력계에 의한 중력값과 1200 지점에서 진자를 이용해 측정된 중력값 그리고 주로 LaCoste & Romberg 중력계를 이용해 측정된 25,000여 지점의 중력값들에 대한 망조정을 통하여 전 세계에 고루 분포하는 1,854지점을 중력기준점으로 선정하였으며 이는 IUGG의 하부조직인 IAG (International Association of Geodesy)에 의해 결정되었다(Morelli *et al.*, 1974). IGSN71은 1971년 모스크바에서 개최된 IUGG 총회에서 국제 중력망으로 채택된 후 현재 전세계적으로 사용되고 있으며 IGSN71의 정확도는  $\pm 0.1 \text{ mGal}$  ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ) 이상이다(Torge, 1998).

IGSN71의 경우 절대중력계를 이용한 중력측정 지점이 상대적으로 적고 중력기준점들의 손실이 계속 증가하고 있으며 최근 절대중력계의 발달과 이들의 운반이 용이해짐에 따라 기존의 IGSN71은 절대중력계를 이용한 새로운 중력망인 IAGBN (International Absolute Gravity Base-station Network)으로 대체되고 있다. 현재 IAGBN의 기존 및 신설예정인 중력기준점에 대한 정보는 Table 1과 같으며, 위치는 Fig. 1과 같다(Boedecker, 1993).

### 2.2. 우리나라의 기존 중력망

우리나라의 경우 1950년대 말 Woollard와 Rose가 전세계 중력망을 구축하기 위한 목적으로 Lacoste & Romberg 중력계를 이용하여 남한 지역의 7개 지점에 중력기준점을 전이하였으며(Woollard, 1963), 국립지질광물연구소는 영국의 London 및 일본 동경의 IGSN71, 국제중력망의 기준점으로부터 우리나라에 15개의 중력기준점을 전이하였다(국립지질광물연구소, 1974). 그러나 현재 이들 중력기준점은 관리 및 유지의 문제로 인

**Table 1.** Existing and proposed IAGBN Stations.

Station	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Year	Instrument (Institute)	Gravity value (mGal)
Nuuk, Greenland, DEN	64.1767 N	51.7358 W	1988	JILA-3 (IFE)	982190.655
Yellowknife, CAN	62.4700 N	114.4400 W	1996/9	JILA-2 (GC)	982002.756
Penticton, CAN	49.3208 N	119.6189 W	1994/8	JILA-2 (GC)	980765.021
Schefferville, CAN	54.8047 N	66.8100 W	1996/5	JILA-2 (GC)	981317.107
Int. Falls, USA	48.5847 N	93.1622 W	1990/8	JILA-4 (NOAA)	980825.204
Rolla, USA	37.9180 N	91.8725 W	1987/12	JILA-4 (NOAA)	979897.500
Great Falls, USA	38.9967 N	77.2550 W	1987/2	JILA-4 (NOAA)	980113.800
Tucson, USA	32.4417 N	110.7917 W	1989/2	JILA-4 (NOAA)	978810.400
Fort Davis, USA	30.6717 N	104.0417 W	1990/5	JILA-4 (NOAA)	978820.084
Fairbanks, USA	64.8992 N	147.7947 W	1990/9	JILA-4 (NOAA)	982198.148
St. Elena Uairen, VEN	4.6700 N	61.0700 W	1989/7	JILA-3 (IFE)	977822.085
Brasília, BRA	15.6600 S	48.0000 W	1989/7	JILA-3 (IFE)	978048.790
Tandil, ARG	37.4000 S	59.2300 W	1989/7	JILA-3 (IFE)	979904.345
Sodankyla, FIN	67.4200 N	26.3950 E	1988/10	JILA-6 (FGI)	982362.200
Wetzell, GER	49.1436 N	12.8783 E	1989/7	JILA-3 (IFE)	980835.670
Valle de Los Caidos, SPN	40.6492 N	4.1433 W	1989/5	JILA-5 (FGI/ IAG)	979884.900
Antananarivo, MDG	18.9164 S	47.5164 W	1988/11	GABL (SAS)	978207.626
Nanning, CHN	22.9642 N	108.3244 E	1990/6	JILA-5 (FGI/RISM)	978750.237
Beijing, CHN	40.0183 N	116.1714 E	1990/5	JILA-3 (IFE/RISM)	980110.572
Moscow, SVT	56 N	38 E		GABL (SAS)	
Alice Springs, AUS	24 S	134 E	1979/5	GABL (SAS/BMR)	978630.782
Yaragadee (Perth), AUS	29 S	115 E	1979/5	GABL (SAS/BMR)	979403.662
Syowa, JPN	69.0075 S	39.5850 E	1995/2	FG5-104 (JARE-36)	982524.327
Midway, USA	28 N	177 W			
Tahiti, French Polynesia	18 S	150 W			
Tamanrasset, AFR	23 N	5 E			
Bamoko, AFR	13 N	8 W			
Yaounde, AFR	4 N	12 E			
Gabarone, AFR	25 S	26 E			
Riyadh, SAU	23 N	44 E			
Hydarabad, IND	17 N	78 E			
Kerguelen Is., FRA	49 S	69 E			
Benxi, CHN	41 N	124 E			
Mudanjiang, CHN	45 N	130 E			
Novosibirsk, SVT	55 N	83 E			
Anabar, SVT	70 N	109 E			
Aldan, SVT	57 N	125 E			
Anjuj, SVT	68 N	165 E			
North Cape NZ	34 S	173 E			
McMurco, Antarctica, UK	78.0 S	167.0 E			

Abbreviations are the same as in Table 1. : JILA - Joint Institute for Laboratory Astrophysics; FG5 - Axis Instruments (Micro-g Solutions); GC - Geomatics Canada, Ottawa, Canada; FGI - Finish Geodetic Institute, Helsinki, Finland; IAG - Instituto de Astronomia y Geodesia, Madrid, Spain; SAS - Soviet Academy of Science, Moscow; BMR - Bureau of Mineral Resources, Canberra, Australia; NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration; IFE - Institute fur Erdmessung, Hannover, Germany; JARE - Japanese Antarctic Research Expedition; RISM - Research Institute of Surveying and Mapping, China

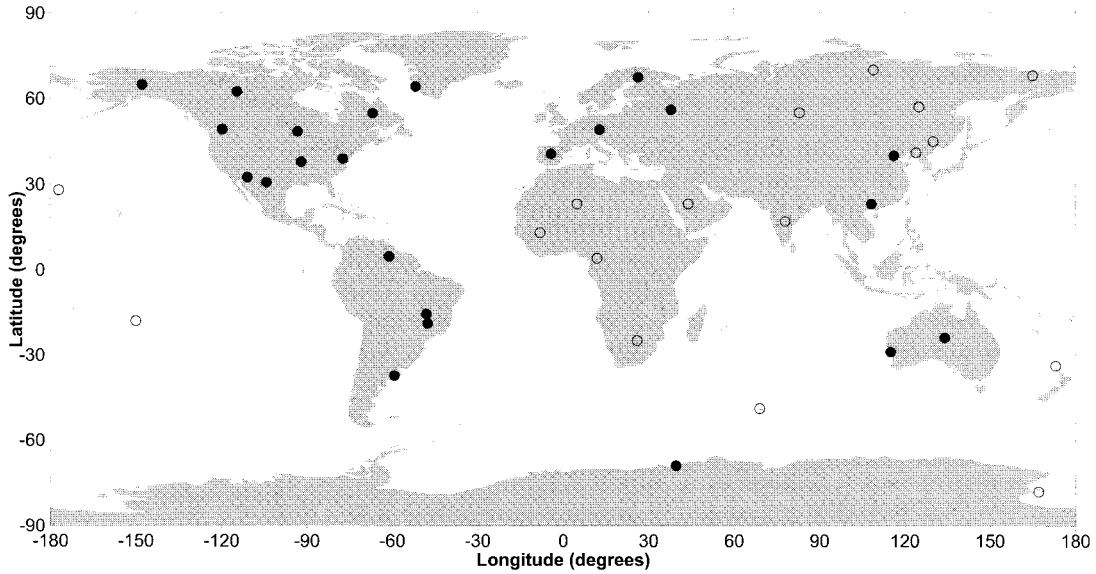


Fig. 1. Distribution map of the IAGBN stations(Soldi circle : existing stations, Blank circle : proposed stations).

Table 2. Gravity reference stations and gravity values in Korea.

No.	Station	Latitude d m s	Longitude d m s	Height m	Year	Gravity value mGal
1	Seoul National University of Technology	37 37 42	127 4 51	32.66	1988	979940.219
2	Seoul National University	37 27 48	126 57 18	70	1981	979916.481
3	National Geography Institute(NGI)	37 16 24	127 3 24	55.66	1997	979918.998
4	Korean Research Institute of Standards and Science	36 23 6	127 22 24	76.54	1999	979832.431
5	Kyungpook National University	35 53 12	128 36 54	43	1992	979815.897
6	Pusan National University	35 13 0	129 5 0	52.57	1992	979759.931
7	Chonnam National University	35 10 18	126 54 42	38.69	1990	979746.838
8	Kwandong University	37 44 02	128 52 12	-	1992	979977.154
9	National Oceanographic Research Institute	37 27 24	126 36 24	15	1998	979957.034
10	NGI : Absolute gravity point	37 16 21	127 3 21	56.5273	1999	979918.775

해 현재는 거의 소실되어 중력기준점으로서의 기능을 상실하였다.

현재 우리나라의 중력기준망은 1981년에 국립지리원과 일본지리원이 공동으로 4대의 LaCoste & Romberg 중력계를 이용하여 일본 동경의 절대 기준점으로부터 4개의 중력기준점을 전이한 이후 총 10개의 중력기준점이 국립지리원에 의해 관리 및 유지되고 있으며 이들에 대한 정보 및 위치는 Table 2에 나타내었다. Fig. 2는 국내 중력기준점들에 대한 위치도이다.

현재 국내 중력기준점들은 IGSN71 계열의 일본

중력망인 JGSN75(Japanese Gravity Standardization Net 1975)에서 전이된 것이다. 그러나 일본의 경우 1980년부터 절대중력계를 이용한 중력측정을 시작으로 1993년에는 절대중력계 FG-5를 도입하여 일본 내에 9곳의 절대중력점과 상대중력계를 이용한 1등급 중력기준점의 자료들을 이용하여 새로운 국가중력망인 JGSN96(Japanese Gravity Standardization Net 1996)을 구축하였으며(Nakai et al., 1997), 이는 일본 내 117지점의 중력기준점으로 이루어져 있고 JGSN75와는 최대  $\pm 0.10$  mGal, 평균  $\pm 0.05$  mGal의 중력값 차이가 나타나

고 있다(Yamaguchi et al., 1997). 따라서 JGSN75와 연계되어 있는 국내 중력망의 정확도는 평균 0.05 mGal로 사료된다.

이처럼 현재 국내 중력기준망은 정확도가 비교적 낮으며 또한 전 세계 각국들이 IGSN71 계열의 기존 중력망을 더욱 정확한 중력망으로 개선하고 있는 추세이므로 국내에서도 기존 중력망에 대한 정확도의 개선 및 새로운 중력망인 IAGBN 계열과의 연계가 요구되어 왔다. 이를 위해 1999년 국립지리원은 일본 지리원과 협조하여 수원 국립지리원 내에 절대 중력점을 선정하고 일본지리원의 FG5 절대중력계(Serial No. : 203)를 이용하여 1999년 12월 10일부터 16일까지 14,346 번의 반복 측정을 통해 이 지점에 대한 절대중력값을 결정하였다(Government of JAPAN, 2000). 이 지점은 Fig. 2에 표시(No. 10) 되어 있으며, 국립지리원에서 고시한 절대 기점의 중력값은 979,918.775 mGal 이고 이의 표준편차는 0.0115 mGal 이다(국립지리원, 2001). 현재 국립지리원에서는 이 절대중력점을 기준으로 기존 중력기준점에 대해 상대 중력측정을 실시하고 있으며 이를 통해 과거 JGSN75에 연계되어 결정된 국내의 기존 중력망

에 대한 망조정을 실시하여 새로운 중력망을 구축하고 차후 이들에 대한 중력 성과를 고시할 예정이다.

### 3. 중력 보조점 구축

앞서 언급하였듯이 우리나라 중력기점 망은 현재 수도권 지역을 제외하고 비교적 넓은 간격으로 구성되어 있으며(Fig. 2), 이는 다른 선진국에 비해 수적으로 매우 적은 상황이므로 더욱 조밀한 중력기준점이 요구되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 전국적으로 고르게 분포하는 기상관서에 중력 보조점을 설치하여 이들에 대한 중력측정을 실시하여 비교적 정밀한 중력 보조점을 구축하였으며(Fig. 3) 이를 통해 기존 국내중력 망을 보완하였다.

#### 3.1. 기상관서에 대한 중력 보조점 설치 및 GPS 측량

본 연구에서는 전국에 고르게 분포한 88 개 지점의 기상관서 노장에 표석을 설치 후 이 지점에 대하여 미국 Trimble사의 4000SSi와 4000ST GPS

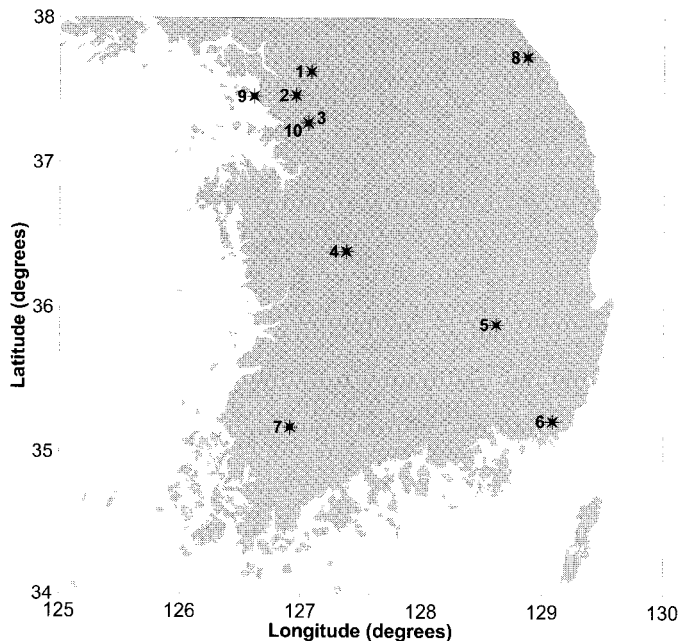


Fig. 2. Distribution map of the gravity reference stations in Korea.

수신기를 이용하여 GPS 측량을 실시하였다.

GPS 자료 처리는 후처리 방식을 이용하였으며 Trimble 사의 GPSurvey(Ver. 2.35a)를 이용하였다. 후처리를 위한 기준점의 GPS 관측 자료는 한국천문연구원 또는 부산대학교의 상시관측소 자료를 이용하였고 인공위성의 궤도정보는 IGS(International GPS Service)에서 제공하는 정밀궤도력을 이용하였다. 후처리 방식을 통하여 정확한 좌표를 결정하기 위해 본 연구에서는 관측 가능한 GPS 위성의 수와 DOP(Dilution Of Precision) 그리고 기선거리를 고려하여(Sickle, 1996) 각 기상관서에서 최소 1.5 시간에서 최대 12 시간의 관측을 실시하여 DOP가 3.5 이하가 되도록 하였다.

GPS에 의해 결정된 높이는 기하학적인 높이인 타원체 높이이므로 지오이드고를 보정하여 물리적인 높이인 표고로의 환산이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 기상관서의 노장과 인접한 수 준점에서 동시관측을 실시하였으며 이들 자료와 PNU95 지오이드 모델(Choi et. al., 1997)을 이용하여 정확한 표고를 산출하였다. 우리나라 기상관

서에 설치된 중력보조점의 위치와 측정 결과는 Fig. 3 과 Table 3 에 나타내었다.

### 3.2. 상대중력계를 이용한 중력측정

중력측정은 LaCoste & Romberg사의 G 모델(Serial No. : G-899) 중력계 1대와 Scintrex 사의 CG3 모델(Serial No. : 9601334) 중력계 1대, 총 2대의 중력계를 이용하였으며, 이들의 정확도는 G 모델의 경우 0.01 mGal이며(LaCoste & Romberg Inc., 1998), CG3는 0.005 mGal이다(Scintrex Inc., 1995).

상대중력계를 이용한 중력측정은 중력 측정 지점과 절대 중력값을 알고 있는 중력기점 사이의 중력 차이를 이용해 중력 측정 지점에 대한 절대 중력값을 구한다. 따라서 본 연구에서는 국립지리원이 설치한 부산대학교 내 중력기준점(Fig. 5의 No. 6)을 기준으로 신설한 모든 중력 보조점을 절대 중력값으로 환산하였다. 그러므로 국립지리원이 국내 중력기준점들에 대한 망조정을 완료할 경우 본 연구에 의해 구축된 중력 보조점들의

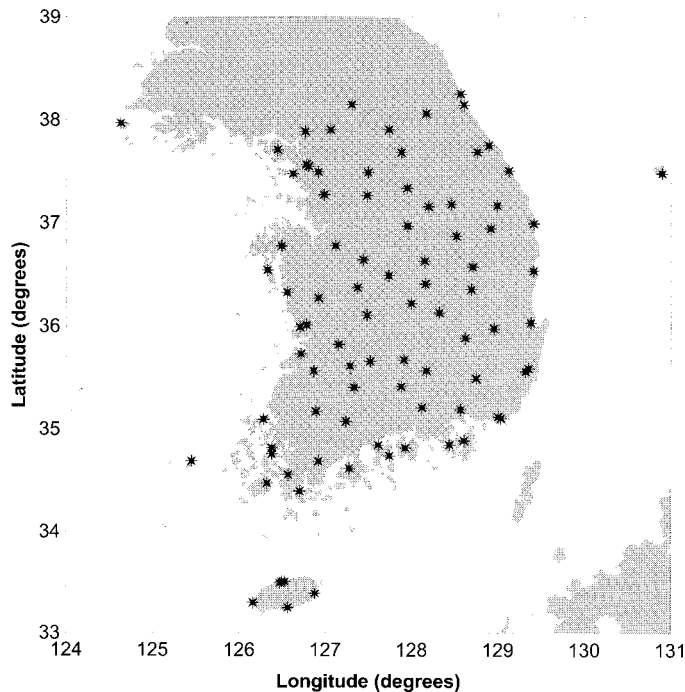


Fig. 3. Distribution map of the auxiliary gravity reference stations in Korea.

Table 3. Auxiliary gravity reference stations and gravity values in Korea.

Station	Latitude (N) d m s	Longitude (E) d m s	Height m	Gravity value mGal
Sokcho	38 14 53.308	128 34 01.144	17.790	980030.590
Sokcho Airport	38 08 34.308	128 36 17.274	11.330	980027.565
Cheolwon	38 08 42.516	127 18 22.814	154.220	979948.812
Dongducheon	37 53 56.804	127 03 46.096	112.490	979947.319
Taegwallyoung	37 41 02.865	128 45 39.475	842.520	979787.670
Chuncheon	37 53 59.545	127 44 16.387	76.820	979952.818
Kangnung	37 44 55.118	128 53 35.707	25.910	979984.621
Donghac	37 30 15.304	129 07 35.810	39.600	979969.044
Seoul	37 29 27.258	126 55 12.638	33.510	979950.233
Kimpo Airport(14R)	37 33 48.224	126 46 55.299	9.580	979961.309
Kimpo Airport(32R)	37 32 52.080	126 48 26.425	10.370	979958.624
Incheon	37 28 28.904	126 37 35.940	68.850	979948.360
Wonju	37 20 04.956	127 56 55.617	149.810	979886.209
Ullungdo	37 28 41.411	130 54 04.868	218.271	980033.905
Stwon	37 16 10.056	126 59 14.891	33.580	979920.961
Youngwol	37 10 42.143	128 27 34.940	239.790	979860.345
Chongju	36 38 10.794	127 26 34.054	57.360	979860.283
Sosan	36 46 25.422	126 29 45.423	25.930	979880.117
Uljin	36 59 20.130	129 24 54.916	49.420	979920.442
Tacan	36 32 08.249	126 19 56.020	45.763	979868.961
Taebaek	37 10 03.081	128 59 29.574	713.447	979772.754
Daejeon	36 22 08.583	127 22 27.269	68.280	979832.594
Chupungyong	36 13 01.317	127 59 47.962	242.530	979781.459
Andong	36 34 12.428	128 42 34.244	139.390	979848.957
Pohang	36 01 46.906	129 22 55.059	1.880	979849.741
Kunsan	35 59 23.938	126 42 27.941	25.570	979832.684
Kunsan Radar	36 00 34.770	126 47 09.572	209.830	979786.729
Daegu	35 52 55.758	128 37 16.454	57.640	979812.705
Chonju	35 49 06.510	127 09 25.387	53.480	979784.198
Ulsan	35 35 07.361	129 21 20.905	8.899	979817.166
Ulsan Airport	35 33 25.558	129 19 21.155	34.690	979827.194
Masan	35 11 13.950	128 34 02.596	11.250	979772.124
Gwangju	35 10 11.193	126 53 37.076	70.530	979736.807
Busan	35 06 05.725	129 02 03.404	69.230	979756.172
Busan Radar	35 06 56.575	129 00 07.632	517.790	979654.947
Tongyong	34 50 32.419	128 26 16.052	31.700	979734.531
Muan	35 05 26.772	126 17 13.698	24.490	979740.581
Mokpo	34 48 49.595	126 22 59.638	37.880	979771.420
Yosu Airport	34 50 27.336	127 36 55.835	19.320	979728.894
Yosu	34 44 10.218	127 44 33.984	66.050	979711.296
Huksando	34 41 02.612	125 27 10.753	79.434	979707.449
Wando	34 23 33.763	126 42 13.990	34.870	979687.578
Cheju Airport(24R)	33 30 39.672	126 29 46.591	21.758	979623.956
Cheju Airport(6R)	33 29 54.124	126 28 33.856	22.922	979623.022
Cheju	33 30 39.391	126 31 54.132	19.970	979623.979
Cheju Radar	33 17 26.006	126 09 53.357	71.210	979598.351
Mokpo Airport	34 45 19.180	126 22 58.481	2.897	979714.491
Seogwipo	33 14 34.214	126 34 02.501	50.470	979598.432
Jeju	35 12 19.345	128 07 16.645	21.320	979761.734
Kanghwa	37 42 16.731	126 26 55.053	45.650	979970.673
Yangpyoung	37 29 08.907	127 29 47.771	47.006	979947.498
Inje	38 03 26.129	128 10 09.181	198.597	979945.852
Icheon	37 15 40.124	127 29 10.840	77.786	979900.360
Hongchon	37 40 50.889	127 52 57.380	140.593	979922.666
Chechon	37 09 23.117	128 11 47.471	263.213	979853.563
Chungju	36 57 33.484	127 53 21.383	69.093	979883.140
Poun	36 29 04.811	127 44 10.564	174.096	979817.603
Cheonan	36 46 36.215	127 07 16.523	24.892	979885.449
Boryong	36 19 27.385	126 33 33.982	15.294	979849.264
Puyo	36 16 09.870	126 55 22.369	11.345	979843.703
Kumsan	36 06 09.566	127 29 01.944	171.261	979788.509
Puan	35 43 35.501	126 43 07.010	10.681	979795.458
Imshil	35 36 33.226	127 17 15.569	246.852	979728.798
Chongjeup	35 33 36.401	126 52 05.360	44.111	979767.356
Namwon	35 24 08.256	127 20 06.473	89.704	979729.137
Changsu	35 39 14.202	127 31 20.606	407.009	979686.015
Suncheon	35 04 18.833	127 14 28.374	74.382	979725.964
Changhung	34 41 08.114	126 55 17.682	45.224	979698.170
Haenam	34 33 01.363	126 34 15.871	13.744	979700.102
Kohung	34 36 54.279	127 16 40.195	53.272	979702.489
Songsanpo	33 23 00.784	126 52 56.812	18.620	979613.829
Chunyang	36 56 26.608	128 55 00.324	321.521	979823.149
Yongju	36 52 08.192	128 31 08.797	210.212	979835.859
Munhyang	36 37 27.658	128 09 03.501	170.361	979845.773
Yongduk	36 31 49.318	129 24 42.114	41.232	979896.328
Euisung	36 21 11.120	128 41 26.981	81.092	979842.476
Kumi	36 07 39.341	128 19 22.007	47.863	979818.830
Yongcheon	35 58 27.947	128 57 13.179	94.099	979812.883
Keochang	35 40 05.486	127 54 47.448	220.883	979718.727
Hapchon	35 33 43.197	128 10 19.363	32.661	979784.899
Miryang	35 29 18.449	128 44 46.952	12.596	979794.646
Sancheong	35 24 35.790	127 52 52.535	138.568	979755.093
Koje	34 53 06.223	128 36 24.271	45.266	979738.020
Namhae	34 48 48.631	127 55 42.809	44.413	979728.235
Backryongdo	37 57 48.104	124 37 56.423	144.441	979964.246
Munsan	37 52 59.163	126 46 6.821	30.086	979975.199
Sangju	36 24 18.973	128 09 34.682	99.946	979840.722
Jindo	34 28 08.396	126 19 33.035	476.633	979598.355

보정이 요구되며 이를 용이하게 해결 할 수 있도록 하였다. 즉, 부산대학교내의 중력기준점에 대한 망조정 값만을 보정하면 되도록 모든 중력보조점들을 부산대학교의 중력기준점과 연계하였다.

1998년에 21일간 기상관서 41 지점에 대해 중력측정을 실시하였으며 1999년에는 22일간 43 지점 그리고 2000년에는 5일간 4 지점에 중력측정을 실시하여 총 88 개 중력 보조점에 대한 중력측정을 하였다.

### 3.3. 중력보정 및 폐합오차 조정

각 중력 보조점에서 상대중력계로 측정된 값들을 절대 중력값으로 변환하기 위한 기본적인 보정을 실시하였다. 먼저 기계값을 중력단위로 변환하고 기조력에 의한 영향을 제거 한 후 기계 변이에 대한 보정을 실시하였다.

상대중력계를 이용한 중력 자료는 관측시의 측정 오차와 절대 중력값으로 환산하는 과정에서 완벽한 보정의 불가능 등 여러 요인의 오차가 포함된다. 이를 위해 본 연구에서는 이들 오차를 최소화하여 정확도를 향상하고자 폐합오차 조정을 실시하였다.

또한 현재 이용된 보정 방법의 문제점과 더욱 정확한 보정 방법을 언급하였고 이를 통해 여러 기관 및 단체에서 상대중력계를 이용한 중력 자료의 정확도 향상을 위해 체계적이고 일관성이 있는 절대 중력값으로의 보정 방법에 대한 필요성을 알아보았다.

#### 3.3.1 기계값 변환

상대중력계로 측정된 값은 엄격히 말하면 중력값의 차이가 아니고 용수철의 길이 변화를 측정된 기계값으로 이를 중력 단위로 변환하여야 한다. 본 연구에서 이용한 LaCoste & Romberg G 모델 중력계는 합금으로 만들어진 Zero-length 용수철을 이용하고 Scintrex의 CG-3 중력계는 Quartz 용수철을 이용한다. 따라서 중력계에 의해 측정된 기계값은 중력 단위(mGal)로 환산되어야 한다.

LaCoste & Romberg G 모델의 경우 제조사에서 각각의 중력계마다 고유의 factor를 구하여 변환

표(calibration table)를 제공하고 있으며 Scintrex의 CG-3 중력계는 자체 내에서 변환 factor를 이용하여 실시간으로 보정된 상대 중력값을 직접 LCD에 나타내도록 고안되어 있다. 이 연구에서는 LaCoste & Romberg G 모델의 경우 제조사에서 제공하는 고유의 변환 factor를 이용해 기계값을 중력값으로 환산하였다.

상대중력계의 경우 전 지구 범위의 중력이 측정 가능하도록 고안되어 약 7000 mGal의 범위 내에서 상대측정이 가능하다. LaCoste & Romberg G 모델의 경우 100 mGal 단위의 변환 factor가 주어지는데 이는 100 mGal 범위내에서는 동일한 변환 factor가 사용된다. 그러나 국내의 중력변화 범위는 대략 1 Gal 이내이며 더욱 정확한 중력을 측정하기 위해서는 중력계 제작 당시 결정된 고유의 변환 factor 보다 조밀한 factor가 요구된다. 이를 위해 일본의 경우 각각의 상대중력계를 최소 2개 이상의 절대중력점에 대한 중력측정을 실시하여 이를 해결하고 있다(Yamaguchi et al., 1997). 차후 절대 중력기점을 이용한 국내 중력망의 성과가 고시되면 이를 이용해 국내 중력계들에 대한 변환 factor의 검증이 요구된다.

#### 3.3.2 지구조석 보정

달이나 태양의 인력에 의해 나타나는 기조력의 영향으로 지구 중력은 시간과 장소에 따라 변화하며 이에 의한 중력변화는 약 0.3 mGal에 달한다. 지구조석에 의한 영향은 달과 태양에 대한 궤도 자료를 이용해 1959년의 Longman과 이후 Tamura 및 여러 과학자에 의해 지구상의 임의의 지점에 대한 위치와 시간 정보만으로 계산이 가능하게 되었다(Dehlinger, 1978; Longman, 1959; Tamura, 1982).

현재 관측중력값에 대한 기조력 보정은 주로 Tamura와 Longman에 의해 계산된 기조력의 영향을 보정하고 있다. 그러나 정밀한 중력망의 구축과 여러단체에 의한 관측 중력자료의 일관성이 있는 보정을 위해 이들에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 현재 IAG의 부조직인 ETC(Earth Tide Commission)에서 현재 Tamura의 Fortran 프로그램을 추천 및 제공하고 있기 때문에 본 연



구에서는 Tamura의 Fortran 프로그램을 이용해 지구조석 보정을 실시하였다.

이론 기조력은 지구가 완전 강체라는 가정 하에 계산된 것으로 실제 지구는 강체가 아니므로 강성율의 분포에 의해 실제 기조력과 차이가 나타나며 이를 기조력 상수(Gravimetric factor)라 한다. 또한 지구의 자전속도와 달의 공전 속도 차이로 이론 기조력과 실제 기조력 사이에는 위상차(Phase lag)가 나타난다. 세계평균 기조력 상수에 대한 결과는 현재 1.0~1.5(Wolf, 1940), 1.13~1.24(Dehlinger, 1978), 1.16(Melchior, 1983) 등이 보고되어 있으며, 평균 위상차는 0.15°(Pariyskiy, 1978)이다. 최근 국내 기조력 상수에 대한 연구 결과를 알아보면 서울 지역의 경우 기조력 상수는 1.20, 위상차는 0.07°(박정환 등, 1998)이며 부산 지역은 1.186, 0.93°(김문정, 1999) 등이 보고되어 있다.

그러나 기조력에 영향을 미치는 간접적인 요인은 관측지점의 해양 조석과 지하수면의 변화 및 기압 변화 그리고 주위 지형 등의 영향으로 지역별로 달리 나타나며(Melchior, 1983) 정확한 기조력 보정을 위해서는 ET(Earth Tide) 중력계를 이용한 각 지역별 기조력 상수와 위상차가 결정되어야만 한다.

국내의 경우 전 지역에 대한 체계적인 조석연구가 아직 수행되지 않았기 때문에 본 연구에서는 기조력 상수는 앞서 설명한 연구를 참고하여 1.18을 이용하였다. 시간에 따른 기조력의 변화율이 Tamura의 프로그램에 의하면 최대 0.0009 mGal/minute이므로 위상차의 경우 이 연구에서는 중력값의 정확도를 고려하여 무시하였다.

### 3.3.3 기계변이 보정

이 연구에 이용된 상대중력계 LaCoste & Romberg 사의 G 모델과 Scintrex 사의 CG3 모델은 기본적으로 Spring 시스템을 이용한 불안전형 중력계로 여러 가지 요인에 의해 시간에 따른 Spring의 길이 변화가 나타나며 이에 의해 중력 변화가 나타난다. 이를 기계 변이라 하며 정적인 상태에서 LaCoste & Romberg G 모델은 출고당시 평균 1mGal/month이며 사용 시간이 지남에 따라

0.5 mGal/month의 기계변이를 가진다(LaCoste and Romberg Inc., 1998). CG3 모델의 경우 내부 메모리에 입력된 drift 보정치를 이용해 자체적으로 기계변이를 보정함으로 0.02 mGal/day 범위 내에서 기계변이 보정이 이루어지고 있다(Scintrex Inc., 1995)

이러한 기계변이의 정확한 보정을 위한 가장 좋은 방법은 동일지점에 대한 중복 측정을 반복하여 최적의 기계변이 보정치를 결정하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 일별 최소 2회에서 최대 15 회(평균 4 회) 동일지점에 대한 반복 측정을 실시하여 기계변이 보정치를 선형이라는 가정 하에 계산해 이를 보정하였다.

총 중력측정 기간동안 G 모델의 평균 기계변이 보정치는 0.00596 mGal/hour이며 최소 0.00009 mGal/hour이고 최대 0.02038 mGal/hour이다. CG-3 모델은 평균 보정치가 0.01036 mGal/hour이고 최소, 최대 보정치는 0.00076, 0.03176 mGal/hour이다. 실제 기계변이는 앞에서 언급한 정적인 경우에 비해 비교적 큰 값을 가지며 이는 중력계를 장기간 보관 후 사용하는 경우나 장거리 이동 또는 중력계에 무리가 간 경우 및 tare 등 중력측정 조건에 따라 크게 좌우되기 때문이다. 이러한 이유로 완벽한 기계변이 보정은 매우 어렵고 중력계의 상태를 최적으로 유지하여 기계변이를 최소화하며 동일지점에 대한 반복 측정을 실시해 기계변이를 효과적으로 보정하는 것이 가장 최적의 방법이다.

### 3.3.4 중력 자료의 망 조정

모든 측정 자료는 오차를 포함할 수 있으며 중력측정 또한 예외는 아니다. 특히 상대중력계를 이용한 중력 자료는 관측시의 측정 오차와 절대 중력값으로 환산하는 보정 과정에서 여러 요인의 오차가 기인 할 수 있다. 이들 오차에 대한 분석 및 큰 오차의 제거를 통해 최적의 절대 중력값을 결정하고자 중복 측정된 자료들을 이용해 최소자승법을 통한 망 조정을 실시하였다(Wolf and Ghilani, 1996).

망 조정을 하기 전에 중복측점들의 차이의 rms (root mean square)는 0.08 mGal 이었으나 망

조정 후에는 0.03 mGal로 개선되었다. 망 조정을 통해 얻은 최종 절대중력값은 Table 3 과 같다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 우리나라 내의 기상관서에 88 개 중력보조점을 설치하고 2 대의 상대중력계를 이용해 정확한 중력 측정 및 보정을 실시하여 절대중력값을 계산하였다.

이를 통해 구축된 중력 보조점들은 기존의 10 개 지점의 국내 중력망과 함께 조밀한 간격의 중력기준점으로 활용될 것이며 또한 차후 국내 절대중력기점을 이용한 새로운 중력기준망의 구축 및 상대중력계의 검증을 위해 이들이 적극 활용될 수 있다.

본 연구를 통해 구축된 중력 보조점들은 부산대학교 내 중력기준점(979,759.931mGal)에서 얻어진 것이므로 차후 국립지리원에 의해 더욱 정밀한 국가 중력망이 구축되면 이에 의한 보정이 쉽게 이루어질 수 있다. 또한 보조점들의 정확도 개선을 위해 지속적인 중력측정이 수행되어야 할 것이다.

상대중력계를 이용해 절대중력으로 보정하는 단계의 문제점과 이들을 개선하기 위한 방법을 알아보았으며 차후 여러 기관 및 단체에서 상대중력계를 이용한 중력자료의 정확도 향상을 위해서는 체계적이고 일관성이 있는 자료 처리 방법이 요구된다.

#### 사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-1999-00055) 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

국립지리원, 2001, 관보, p. 41.  
 국립지질광물연구소, 1974, 우리나라 중력기점 분포와 표준중력치.  
 김문정, 1999, 중력계를 이용한 지구조석 관측, 부산대학교 교육학석사 학위논문, 42 p.  
 박정환, 한옥, 1998, ET 중력계에 의한 기조력 변화

연구, 자원환경지질학회, V. 31, p. 141-147  
 최광선, 1986, 한반도 남부의 중력에 대한 연구, 서울대학교 이학박사 학위논문, 110 p.  
 Boedecker, G., 1993, The International Absolute Gravity Basestation Network(IAGBN) : Status 1992, Montag, H. and Reigber, C.(Eds.), Geodesy and Physics of the Earth, Springer-Verlag, p. 61-62.  
 Chapin, D., 1998, Gravity instruments : Past, present, future, The leading edge.  
 Choi, K. S., Kim, J. H., and Yang, C. S., 1997, PNU95 Geoid, Korean Journal of eophysical Research, 25, p. 1-14  
 Dehlinger, P., 1978, Marine Gravity, Elsevier, 322 p.  
 Government of JAPAN, 2000, Cartographic work in JAPAN 1997-1999, 17 p.  
 LaCoste & Romberg Inc., 1998, Instruction Manual - Model G and D Gravity Meters, 122 p.  
 Larson, K. and van Dam, T., 2000, Measuring Postglacial Rebound with GPS and Absolute Gravity, Geophys. Res. Lett., V. 27, p. 3925-3928.  
 Longman, I. M., 1959, Formulas for computing the tidal accelerations due to Moon and Sun, J. Geophys. Res., V. 64, p. 2351-2355.  
 Melchior, P., 1978, The Tides of the planet earth, Pergamon Press, 641 p.  
 Morelli, C., C. Gantar, T. Honkasalo, R.K. McConnell, J.G. Tanner, B. Szabo, U. Uotila, C.T. Whalen, 1974, The International Standardization Net 1971 (ISGN71), IUGG-IAG Publ. Spec. N° 4, Paris, 195 p.  
 Scintrex Inc., 1995, User's guide - CG-3/3M Gravity Meter, 196 p.  
 Nakai, S., Yamaguchi, K., Nitta, K., Yamamoto, H., Matsuo, K., Machida, M., Murakami, M., Ishihara, M., Shichi, R. and Yamamoto, A., 1997, Data processing for the Japan Gravity Standardization Net 1996, Segawa, J., Fujimoto, H. and Okubo, S.(Eds.), Gravity, Geoid and Marine Geodesy, Springer-Verlag, p. 228-233.  
 Paryskiy, N., N., 1978, The study of Earth tides, Earth Physics, V. 14, p. 639-645.  
 Peter, G., Klopping, F.J., Carter, W.E., and Dewhurst, W.T, 1991, Absolute gravity reference sites in the United States, Geophysics:The leading edge of exploration, p. 43-45.  
 Qi-xian, Q. and Han-jiang, W., 1997, New adjustment of china gravity basic net, Segawa, J., Fujimoto, H. and Okubo, S.(Eds.), Gravity, Geoid and Marine Geodesy, Springer-Verlag, p. 234-240.  
 Richter, B., Franke, A. and Reinhart, E., 1998, The German Gravity Base Net 1994(DSGN 1994), Forsberg, R., Feissel, M. and Dietrich, R.(Eds.), Geodesy on the Move, Springer-Verlag, p. 37-44.

- Sickle, J. V., 1996, GPS for Land surveyors, Ann Arbor Press, Inc., 209 p.
- Subiza, W. H., Torge, W. and Timmen, L., 1998, The national gravimetric network of Uruguay, Forsberg, R., Feissel, M. and Dietrich, R.(Eds.), Geodesy on the Move, Springer-Verlag, p. 51-57.
- Tamura, Y., 1982, A Computer Program for Calculating the Tide-Generating Force, publ. Int. Latit. Obs. Mizusawa, V. 16, p. 1-20.
- Torge, W., 1998, The Changing role of gravity reference networks, Forsberg, R., Feissel, M. and Dietrich, R.(Eds.), Geodesy on the Move, Springer-Verlag, p. 1-10.
- van Dam, T., Larson, K., Wahr, J., Francis, O. and Gross, S., 2000, Using GPS and Gravity to Infer Ice Mass Changes in Greenland, Eos Trans. AGU, V. 81, p. 421-427.
- Wolf, A., 1940, Tidal force observations. Geophysics, V. 5, p. 317-320.
- Wolf, P. R. and Ghilani, C. D., 1996, Adjustment Computations : Statistics and Least Squares in Surveyin and GIS, John Wiley & Sons, Inc., 564 p.
- Woollard, G. P. and Rose, J., 1963, International gravity measurements, Univ. of Wisconsin.
- Yamaguchi, K., Nitta, K., Yamamoto, H., Matsuo, K., Machida, M., Murakami, M., Ishihara, M., Nakai, S., Shichi, R. and Yamamoto, A., 1997, The establishment of the Japan Gravity Standardization Net Net 1996, Segawa, J., Fujimoto, H. and Okubo, S.(Eds.), Gravity, Geoid and Marine Geodesy, Springer-Verlag, p. 241-248.

---

2001년 10월 27일 원고접수

2001년 12월 20일 원고채택