

세종기지 기준점으로서의 중력전이

남 상 현

한국해양연구소 극지연구센터

Gravimetric Connection to Benchmark at King Sejong Station

Sang Heon Nam

*Polar Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

요약: 제7차 남극연구의 일환으로, 남극 세종기지내의 절대 중력기점 설정을 위하여 인근 Frei 기지(칠레기지)내에 설치된 중력기점으로부터 중력 전이작업이 실시되었다. 사용된 중력계는 L&R사의 G-905이며, 1994년 1월 25일, 2월 1일 및 3일에 걸쳐, 왕복 5회, 총 21회의 측정 자료를 획득하였다. 이를 이용하여, 조석보정과 계기오차계수 + 0.001308 mgal/hour에 의한 계기보정을 실시한 후, 세종기지 기준점(62° 13' 23" S, 58° 47' 21" W)에서의 절대중력값이 982203.272 ± 0.1 mgal로 산출되었다. GRS 80에 따른 표준중력값과의 중력이상치는 +104.91 mgal로 계산되었는데, 이는 세종기지 주변의 지하에 커다란 질량 초과분의 존재로 추정된다. 향후 반복적인 관측을 통하여 중력기점에서의 절대중력값 보완이 요망된다.

주요어 절대중력값, 조석보정, 계기보정, 중력전이, 표준중력식, 중력이상치

Abstract: During '93/'94 field season, the gravimetric connection was carried out from gravity station at Frei Base, Chilian Base, Antarctica, as an object of the establishment of absolute gravity base at King Sejong Station(KSS, 60° 13' 23" S, 58° 47' 21" W, 9.869 m). Using the G-905 by L&R Inc., 19 data including 5 times going and returning was gathered on Jan.25, on Feb.1, and on Feb.3, 1994. After tidal correction and drift correction, of which coefficient was 0.001308 mgal/hour, the connection value on benchmark at KSS is verified to be 982203.27 ± 0.1 mgal. The difference between the GRS 80(Geodetic Reference System 1980) value and the connected value at benchmark is +104.91 mgal, and it is due to excess mass buried around King Sejong Station.

Key words: absolute gravity, tidal correction, drift correction, gravimetric connection, GRS 80, gravity anomaly.

서 론

질량을 갖는 모든 물체들 사이에는 힘(인력, 만유인력)이 작용한다. 따라서 지표로 떨어지는 물체는 지구와 물체간에 작용하는 인력으로 인하여, 연직방향으로의 낙하속도가 증가하게 되며, 이때 속도의 변화율을 중력(중력가속도)

이라 한다. 한편, 지구는 완전한 구형도 아니고, 지구 자전축을 중심으로 회전하고 있으며, 지표 하부의 지하물질도 균질하지 않다. 따라서 임의의 지점인 지표에서 측정되는 중력값에는 여러가지 변화요인에 의해, 측정 위치 및 측정 시간에 따라 다르게 되며, 결국 연구 목적에 따라서 이러한 변화요인을 분리·분석

하고 그 결과를 해석함으로써, 측정된 지점을 중심으로 한 지표의 하부, 크기는 지구내부를 연구하는 중요한 단서가 된다.

임의의 곳에서 측정되는 중력값이 올바른 값(절대중력값, 정의에 따른 낙하물체의 속도 증가율)이기 위해서는, 직접적으로 그 속도를 측정하거나 또는 진공상태에서의 진자운동을 관측함으로써 계산할 수 있다. 그러나 국내에는 이러한 절대중력값을 측정할만한 중력계가 없을 뿐만 아니라, 정밀성과 안정성등을 고려하면 이동 관측이 매우 어려운게 사실이다. 이와 달리, 통상적으로 사용되는 휴대용 중력계로는 측정되는 지점들간의 상대적인 중력값의 차이만을 관측하게 되며, 중력이상 등 지구 중력장의 특성을 파악하기 위해서는 측정된 상대중력값을 그 지점에서의 절대중력값으로 변환이 필요하다. 절대중력값으로의 변환은, 이미 절대중력값을 알고 있는 중력기점과 관측되는 지점간의 상대중력값 측정을 통하여 수행될 수 있다. 따라서 임의의 지역에서 수행되는 상대중력값 측정과, 이를 보완하기 위한 조사지역 부근에 절대중력값을 알고 있는 중력기점으로부터 전이작업이 병행되어야, 보다 효과적인 중력탐사의 결과 및 해석이 가능하다.

남극 세종기지 주변에는 절대중력값을 알고 있는 중력기점이 설정되어 있지 않다. 본 조사에서는 세종기지의 측량기준점(Benchmark)을 중력기점으로 설정하고, 인근의 칠레 Frei 기지에 있는 중력기점으로부터 전이작업을 실시하여, 이를 바탕으로 세종기지의 기준점의 절대중력값을 산출함으로써, 향후 중력탐사에 이를 중력기점으로 이용코자 한다.

조사방법

남극 세종기지내의 절대 중력기점으로는, 위치 확인이 용이하고 기지 건설당시에 측량 기준점으로 설정되어 사용되었던, 연구동 서쪽의 기상탑 옆에 매설된 표석으로 결정하였다(그림 1). 이 기준점의 좌표값은 다음과 같으며, 이는 세종기지의 위치를 대표하는 값이기도 한다(유와 권, 1991; 김과 권, 1992).

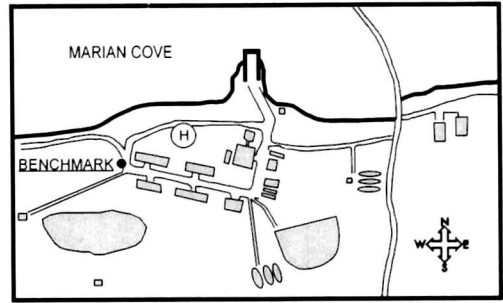


Fig. 1. Location map of benchmark at King Sejong Station, Antarctica.

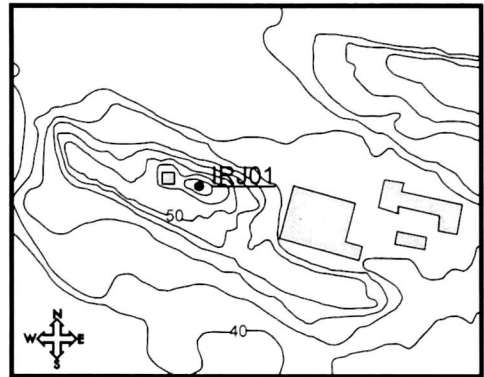


Fig. 2. Location map of gravimetric base (IRJ 01) at Frei Base, Antarctica (by M, Araneda, 1985)

위도: 62° 13' 23" S
 경도: 58° 47' 21" W
 해발고도: 9,869 m

설정된 남극 세종기지의 기준점으로 절대중력값 전이를 위한 작업은 극지연구센터 소유의 L&R사의 G-905 휴대용 중력계가 사용되었다. 동 중력계는 이미 세종기지 주변에서 실시된 중력탐사(김 외, 1991)에서 사용되었으며, 당시에는 절대중력값으로의 변환없이 측정된 상대중력값만으로 해석이 수행된 바 있다.

칠레 Frei 기지 북서쪽에 위치한 간이공항의 관제탑 옆에 있는 동산에는 칠레 본토로부터 전이된 절대 중력기점(IRJ01, 62° 24.3' S 59° 37.1' W 56.3 m)이 설치되어 있으며(그림 2), 동 기점으로서의 중력전이 결과 및 해석은

Table 1. Observed gravity data by G-905

King Sejong Station			Frei Base		
No.	Time(GMT)	Value	No.	Time(GMT)	Value
2	'94/01/25 15:24	5709.028	1	'94/01/25 14:09	5697.745
3	'94/01/25 16:49	5708.990	4	'94/01/25 17:40	5697.872
5	'94/01/25 18:23	5709.118	6	'94/01/25 19:08	5698.050
7	'94/01/25 20:57	5709.227			
8	'94/01/25 22:48	5709.180			
9	'94/01/25 23:41	5709.170			
10	'94/02/01 18:49	5709.250			
11	'94/02/01 20:58	5709.290			
12	'94/02/01 23:04	5709.340			
13	'94/02/03 11:39	5709.190			
14	'94/02/03 13:24	5709.210	15	'94/02/03 14:00	5698.070
16	'94/02/03 15:27	5709.290			
17	'94/02/03 16:14	5708.718	18	'94/02/03 17:10	5675.207
19	'94/02/03 17:58	5706.500			
20	'94/02/03 19:06	5706.550			
21	'94/02/03 20:02	5706.525			

Manuel Araneda에 의하여 수행된 바 있다 (1985, 1987). 따라서 Frei 기지의 중력기점 (IRJ01)을 이용하여, 동 지점으로부터 세종기 지내에 설정된 기준점에서의 중력 전이작업이 수행되었다.

중력 전이작업은 3일('94/01/25, '94/02/01, '94/02/03)에 걸쳐 왕복 5회, 총 21회가 측정되었고 관측자료는 표 1과 같다. 이때 전이작업을 위한 세종기지과 칠레 Frei 기지간의 이동은 고무보트가 이용되었는데, 표 1에서 알 수 있는 바와 같이, 2월 3일 이동중에 고무보트가 커다란 파도로 인하여 심한 요동이 있었고, 이로 인하여 사용중이던 중력계에 큰 충격이 있었다. 이에 따라 전반부의 측정자료와 이후의 측정값 사이에는 심한 편차를 보여주고 있으며, 결국 표 1의 18자료 이후의 것들은 중력전이를 위한 자료로 사용하지 않았다.

자료 처리

계기 특성계수

본 조사에 이용된 L&R 육상중력계는 상대중력 측정장치로서, 중력계 내부에 zero-length 스프링을 사용한다. 따라서 중력계 계기판에서 관측되는 측정값으로부터 스프링의 고유계수

(L&R Inc., 1988)를 적용하여 다음과 같이 계산되었다.

$$dg_{abs} = (dg_{read} - dg_0) * F_{905} + dg_{value}$$

이때 dg_{abs} 는 환산될 측정 중력값이고, dg_{read} 는 계기에서 읽은 관측값, dg_{value} 는 dg_0 대역에서의 G-905 중력계의 기준값이다.

조석보정

임의의 지점에서 측정되는 중력값은 측정한 시간에 따라 다르다. 이는 태양과 달을 포함하는 천체의 위치가 시간에 따라 다르기 때문이며, 측정 당시의 천체의 상대적인 위치변화에 의한 중력의 영향을 조석변화라고 하며, 이는 태양과 달에 의한 인력이 대부분을 차지하며 기타 다른 천체에 의한 영향은 거의 무시될 수 있다. 따라서 조석의 영향에 의한 중력값의 변화는 측정 시간은 물론 측정점의 위치에 따라 다르며, 그 변화량은 최대 0.3 mgal에 이른다 (Peter, 1978). 본 조사에서는 조석보정용 프로그램(남과 윤, 1993)을 이용하여, 전이작업중 측정된 전자료에 대하여 조석보정이 실시되었다.

계기보정

측정되는 중력값은 중력계내의 스프링의 클

립현상으로, 조석효과와는 별도로 시간에 따라 측정값이 변화하게 된다. 이러한 변화로 인한 계기오차를 보정하기 위해서는 실제 탐사시에, 측정중 또는 종료시 처음의 측정점으로 되돌아가서 반복측정이 실시된다. 즉 계기보정은 동일지점에서 반복측정된 자료를 통하여 측정값의 변화를 시간 축에서의 선형변화로 가정하고, 이에 대한 계수를 결정함으로써, 전 자료에 대하여 시간에 따른 변화량을 측정값에 가감함으로써 완료된다.

중력계의 종류와 측정시의 여러가지 조건에 따라서는 계기오차가 큰 값을 나타내므로, 계기보정은 중력이상치 산출을 위한 처리과정중 중요한 과정중의 하나이며, 보다 많은 반복측정을 통하여 그 오차를 최소화 할 수 있다.

전술한 바와 같이 표 1의 자료에 대하여 조석보정이 실시된 후, 동 자료에 대하여 중력계의 계기보정이 수행되었다. 동 자료에 대한 처리를 통하여 G-905에 대한 계기오차 계수는 +0.001308 mgal/hour로 결정되었고, 이를 측정 시간차이에 따라 계기보정이 수행되었다.

중력이상의 산출

지구의 실제 형태를 회전타원체(spheroid, 지구타원체)로 가정하고, 이를 통하여 실제의 형태에 준하는 편평도, 적도반경, 자전각속도 및 좌표축에 따르는 관성모멘트등을 고려한 수학적 계산으로 등포텐셜면을 확정할 수 있다. 이러한 등포텐셜면은 실제로 지구타원체와는 정확히 일치하지 않지만, 지구 전체의 모양에 비하여 무시할 정도로 적은 차이를 가지며 완만한 굴곡면을 나타낸다. 따라서 지구의 중력장을 계산하기 위해서는, 지구회전타원체 모형을 이용한 표준식이 사용되며, 이는 지표 근처의 국부적인 지각구조에 의한 중력이상치를 분리하는데 충분하다.

지구타원체 모형에 의한 계산식으로서, 1979년 IUGG(International Union of Geodesy and Geophysics)에서, 이전의 표준(정규)중력식 GRS 67(Geodetic Reference System 1967, 민 외, 1987; Telford etc., 1976)으로부터 보다 정밀도를 갖는 GRS 80이 채택되어 이용되고 있는 바

(Moritz, 1984), 다음과 같다.

$$g_{GRS} = 978032.7 * (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2 \phi)$$

이때 ϕ 는 측정의 위도이며 산출되는 중력값의 단위는 mgal이다.

이에따라 표준중력식에 의한 남극 세종기지 기준점에서의 표준중력값은 982096.176 mgal로 계산되었다.

이러한 표준중력식은 인공위성을 통하여 측정된 결과로부터 유도된 식으로, 지구의 질량뿐만 아니라 대기의 질량에 의한 중력효과도 포함되어 있다. 따라서 중력이상치를 산출할 때는 측정의 고도변화에 따른 대기의 질량결손을 고려해야 하며, 이를 대기보정이라 하며, 이러한 대기보정치(Δg_{air})는 미국의 표준대기(List, 1971)를 이용하여 고도 H인 측정에서 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta g_{air} = 0.86 - 0.0000978 * H$$

이에따라 해발고도 9.869 m에 따른 대기보정치는 -0.859 mgal로 계산되었다.

또한 고도에 따른 중력의 변화로부터 중력이상치의 산출을 위한 동 지점에서의 고도보정식(Torge, 1991)은

$$\Delta g_{FA} = 0.30877 * (1 - 0.00142 \sin^2 \phi) * H$$

으로 표현되어, 고도보정치는 +3.044 mgal이 산출되었다.

결과 및 토의

조석보정과 계기보정을 통하여 최종적으로 확정된 전이지점(세종기지 중력기점)의 절대중력값 및 산출된 중력이상치는 다음과 같다.

- 1) G-905 중력계의 계기오차 계수: $C_{905} = +0.001308$ (mgal/hour)
- 2) 전이된 중력기점 절대중력값: $g_{KSS} = 982203.272 \pm 0.1$ (mgal)
- 3) 세종기지의 중력기점 표준중력값: $g_{GRS} = 982096.176$ (mgal)

4) 세종기지의 중력기점 대기보정값: $g_{ar} = -0.859$ (mgal)

5) 세종기지의 중력기점 고도보정값: $g_{FA} = +3.044$ (mgal)

전이된 절대중력값으로부터, 고도보정과 대기보정을 통하여 계산된 표준중력값과는 +104.91 mgal의 이상치를 보인다. 이러한 이상중력치는 측정인 세종기지 기준점 지하의 질량 초과분의 존재에 따른 것으로 추정되며, 일본 극지연구소 발행의 중력이상도(NIPR, 1984)에서 보여주는 +100 mgal 내외의 중력이상치와도 일치하고 있다. 향후 킹조지섬을 포함하는 넓은 지역에 걸친 여러분야에서의 지체구조 연구의 수행을 통한 올바른 해석과 더불어, 절대중력값의 올바른 산출을 위해서는 보다 정확한 값을 갖는 중력기점으로부터의 전이작업이 요망되며, 추가로 칠레 Frei 기지 및 세종기지에 설치된 중력기점에 대하여 반복적인 전이작업의 실시 및 이를 통한 보다 정밀한 절대중력값의 산출이 바람직하다 하겠다.

본 조사는 일차적으로 실시된 중력 전이작업의 성과임에 비추어, 차후 반복적인 전이작업이나 기준점에서의 지속적인 관측을 통하여, 보다 정확한 절대중력값을 갖는 중력기점으로서, 관련 분야에서 활용될 것이다.

참고문헌

김예동, 권 수재, 1992. GPS를 이용한 남극 세종기지

의 위치 측정, 해양연구 **14(1)**: 35-39.
 김예동, 이행원, 김정우, 1991. 중력측정에 의한 바
 톤반도의 지질구조, 과학기술처, BSPG00140-
 400-7: 91-115.
 남상현, 윤호일, 1992. 온누리호의 L&R해상 중력계
 의 이용을 위한 예비 연구. 한국해양연구소,
 BSPE00328-569-7, 58p.
 민경덕, 서정희, 권병두, 1987. 응용지구물리학, 서
 울 우성문화사, 772p.
 유흥룡, 권수재, 1991. 세종기지 주변해역 정밀 수심
 측량, 과학기술처, BSPG00140-400-7: 195-215.
 LaCoste, & Romberg, INC., 1988. Instruction manual for
 LaCoste & Romberg: medel G land gravity meter,
 14p.
 List, R.J., 1971. Smithsonian meteorological table, 6th ed.,
 Smithsonian Ins. Press.
 Manuel Araneda C., 1985. Determinacion de la gravedad
 absoluta en la Base Teniente Marsch (Antartica
 Chilena), TRALKA **2(4)**: 437-440.
 Manuel Araneda C. and M. Soledad Avendano, 1987.
 Medidas precisas de la gravedad en la Base
 Antartica Teniente Marsch, Chile. Rev. Geografica de
 Chile Terra Australis, **30**: 151-157.
 Moritz, H., 1984. Geodetic Reference System 1980. In
 C.C. Tsherning (ed.), The geodesist's handbook
 1984, Bull. Geod. **58**: 388-398.
 National Institute of Polar Research, 1984. Free Air
 Gravity Anomaly of Antarctic Region, Special map
 series of NIPR No 3. 1984, Japan.
 Peter Dehlinger, 1978. Marine gravity. Elsevier Pub.,
 332p.
 Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Key,
 D.A., 1976. Applied geophysics. Cambridge Univ.
 Press, 860p.
 Torge, Wolfgang, 1991. Geodesy. Walter de Gruyter,
 264p.