

한·일 삼각측량 원기선 측량 결과

The surveying results of the original Base line between Korea and Japan

안기덕¹⁾ · 신상호²⁾ · 박진식³⁾ 요코카와카오루⁴⁾ 타노우에세츠오⁵⁾

AN, GI DUCK · SHIN, SANG HO · PARK, JIN SIK · 横川 薫 · 田上 節雄

1) 국토지리정보원 측지연구담당관실 측지사무관

2) 국토지리정보원 측지연구담당관실 측지주사

3) 국토지리정보원 공간영상과 측지주사

4) 일본 국토지리원

5) 일본 국토지리원

요지(Abstract)

The National Geographic Information Institute of Korea and the Geographical surveying Institute of Japan carried out the GPS joint observation about Korea-Japan original Baseline in 2003 which had been connected for the first time between two countries since 1910.

At the results, the original baseline produced by the GPS observations coincides with the geodetic results of 1910s within 40cm.

Thus the observation results suggest that the surveying technique at that time must have been high level. and also it is confirmed what the world geodetic system adopted by Korea and Japan is matched well.

1. 서론

한반도 삼각측량(1910년)의 출발점인 거제도(거제11)와 절영도(부산11)의 삼각점에 대한 좌표와 기선을 최신측량기법에 의거 산출하여 그 동안의 측량기술 및 장비의 발달에 따른 측량성과의 변천 및 지각변동 추이를 파악함으로써 향후 국가기준점 성과의 효율적 갱신과 관리 등을 위한 지표로서의 활용을 위한 한·일 삼각측량원기선의 관측을 추진하고자 한·일 양국은 원기선 관측을 실시하였다. 또한, 원기선의 측량성과를 조사하는 과정에서 쓰시마(大馬)의 1등 삼각점의 성과에는 복잡한 경위가 있는 것이 판명됨에 따라 이들이 우리나라의 측량성과에 어떠한 영향을 미쳤는가를 심도 있게 분석하고자 한다.

2. 관측개요

1) 관측일자 : 2003.2.21(금)~22(토)

2) 작업방법

(1) 한국측 : 거제11, 부산 11, 영산포 기선 2점(청풍11, 나주13), GPS상시관측소와 연결관측

(2) 일본측 : 쓰시마(大馬)의 有明山 및 御岳 1등 삼각점, 전자기준점 연결관측

3) 관측시간 : 18시간, 1세션, 2003년2월21일 15시(UT 06:00)~ 2월22일 : 11시

4) 기선해석 및 망조정

- (1) 한국측 : Bernese ver 4.2 및 GPSurvey Wave 2.35
- (2) 일본측 : GAMIT ver 10.02, GLOBK ver 5.021

3. 원기선의 측량성과 변천

大馬의 측량은 1907년(명치40년)에 행하여진 2등 삼각측량시에 대마 삼각망으로서 실시되었다. 한편 한국측과의 결합은 1910년(명치43년)이후에 대마의 어악, 유명산 에서 , 부산, 거제외 1점과 결합하고 있다 . 이 측량은 일본에서 말하는 3등 삼각측량 이하의 정도였기 때문에 1938년(소화13년)이후에 2등삼각점에 상당하는 기설점(대삼각 본점)으로부터 1등삼각점 본점의 망으로서 선점, 관측되었다(국토지리원 , 1970). 재계산은 1913년~14년(大正2년~3년)에 실시하였고 1등 삼각점의 재계산에 수반하여 2,3 등 삼각점에 대해서도 재 계산을 하였다.

※측량성과(1910~1998)

- 거제11 [위 도 : 34-50-56.755, 경 도 : 128-41-44.602 , 표고 : 554.73m]
- 부산11 [위 도 : 35-04-46.066, 경 도 : 129-03-26.651, 표고 : 394.60m]

표1. 大正시대(1913~4)에 재계산한 성과와 明治성과(1907)

측 점		대정시대에 재계산한 성과	명치성과	교차
미타케 (御岳)	위도	34-33-41.8751	34-33-41.5409	0.3342 "
	경도	129-22-19.2363	129-22-19.3044	-0.0681 "
	평면 X	173,185.72m	173,175.42m	10.30m
	평면 Y	-11,743.36m	-11,741.64m	-1.72m
아리아케산 (有明山)	위도	34-12- 4.3280	34-12- 3.9992	0.3288 "
	경도	129-16- 2.1395	129-16- 2.2238	-0.0843 "
	평면 X	133,228.76m	133,218.62m	10.14m
	평면 Y	-21,446.04m	-21,443.90m	-2.14m

3.1 일 · 미 공동관측

1954년(소화29년)11월~12월, 일본과 미국의 공동관측 작업으로서, 일본과 한국을 연결하는 1등 삼각망의 관측이 실시되었다.

표2. 일 · 미 원기선 공동관측 결과

측 점	경위도	일·미공동관측성과	대정시대에 재계산한 성과	차(초)	차(m)
미타케 (御岳)	위 도	34-33-41.8602	34-33-41.8751	-0.0149	-0.46
	경 도	129-22-19.2557	129-22-19.2363	0.0194	0.49
아리아케산 (有明山)	위 도	34-12-4.3263	34-12- 4.3280	-0.0017	-0.05
	경 도	129-16- 2.1795	129-16- 2.1395	0.0400	1.02

3.1.1 거리의 비교

GLOBK의 결과나 측지성과2000(일본의 세계측지계)등의 3차원직교좌표치의 좌표차에서 거리를 계산하고 비교하였다.

표3. 거리의 변화율

단위:m 준거타원체:GRS-80

측점1~측점2	GLOBK결과 ①	측지성과2000*1 ②	명치성과*2 ③	구실용성과 ④	교차 ①-②	교차 ②-③	교차 ③-④
有明山~御岳	41,125.507	41,125.614	41,125.383	41,125.382	-0.107	0.231	0.232
有明山~釜山	99,306.883	99,306.821	99,317.496	99,307.095	0.082	-10.675	-0.274
有明山~巨濟	88,986.931	88,986.799	88,996.530	88,967.114	0.132	-9.731	-0.315
御岳~釜山	64,250.839	64,250.741	64,261.132	64,251.129	0.098	-10.391	-0.388
御岳~巨濟	69,679.838	69,679.771	69,686.461	69,680.040	0.067	-6.690	-0.269
釜山~巨濟	41,762.392	41,762.390	41,762.533	41,762.533	0.002	-0.143	-0.143

여기서 금희의 관측결과와 양국에서의 현재의 성과(교차 ①-②)가 상당히 잘 정합되고 있음을 알 수 있다. 거리에서 10cm 정도의 차가 있는 것은 쓰시마의 측지성과2000은 낙도 연결관측과 명치시대의 관측만으로 결정된 것과 평성3년(1991)의 개산(改算)에서 생긴 부정합이 포함되어있기 때문이다. 한편 눈길을 끄는 것은 현재의 성과와 명치성과의 차(교차②-③)이다.

일본과 한국사이의 최대 10m의 교차가 있다. 이 원인은 앞에서 말한 사정에 의한 것 이라고 생각되어진다. 쓰시마의 성과가 개산된 후를 보면 (교차 ②-④), 교차는 40cm 이하에서 수렴한다.

이로부터 한국으로의 원기선의 관측은 명치43년(1910)이후에 이루어졌지만 사용된 성과는 대정초기에 재 계산된 1등 삼각망의 성과였다고 추측 할 수 있다. 실제로, 소화29년(1954) 일미 공동 관측치에서는 재 계산된 1등 삼각측량의 성과가 기준으로 사용되었다.

3.2 한국측의 원기선 관측결과 및 비교 방법

원기선의 관측환경인 1910년대 삼각측량당시의 조건에서 측량성과를 비교하고자, 원기선 에 대하여 GPS에 의한 ITRF2000과 GRS80에 의한 성과 3차원 직각좌표와 경위도 및 타원체고를 산출하여 벡셀타원체상의 경위도와 호장거리를 구하고 기준점 성과표상의 측량성과(구성과)와 비교하였다.

그 결과 원기선 당초의 각 점의 경위도는 금번 GPS에 의한 성과와 거리상 16cm 내에서 일치하였다.

한편, 여기서 사용된 GRS80과 Bessel타원체간의 변환시 우리나라지역의 벡셀지오이드 모델을 사용하여 타원체고를 산출하였다.

3.2.1 구면거리 및 방위각

3.2.2 구면(호장)거리 비교

구면거리(GPS관측)는 Single rigorous formula를 이용하여 GPS관측에 의한 기선을 벡셀 타원체상의 구면거리로 변환(1910년도의 조건으로 환원) 하고, 그 당시의 구성과를 동일한 타원체면상의 구면거리로 환산하여 GPS관측 구면거리와 비교하였다.

표4. 벡셀타원체면 상의 거리비교

(단위:m)

시점	방위점	구면거리	구면거리 (GPS관측)	교 차	비 고
有明山	御岳	41121.846	41121.846	0.000	고정변
	釜山	99300.059	99300.165	-0.106	
	巨濟	88979.639	88979.732	-0.093	
御岳	釜山	64246.765	64246.678	0.087	
	巨濟	69674.463	69674.475	-0.012	
釜山	巨濟	41758.997	41758.995	0.002	
羅州13	淸豐11	3400.882	3400.877	0.005	

3.2.3 기선(사거리)의 비교

3.2.3.1 세계측지계와 기존지역측지계에서의 기선비교

세계측지계와 기존측지계(Bessel)의 기선비교(GPS 관측)를 하여 측지기준계에 따른 쓰시마와 한국남부지역의 측지기준계의 차이에 대한 기선의 변화를 산출하였으며 이지역은 ITRF2000기준계에 의한 기선이 기존측지계의 기선보다 크게 산출되고 그 정도는 약 8PPM 이다. 또한 본 수치는 이 지역에서의 세계측지계와 기존의 지역측지계간에 일치되는 정합도라 할 수 있다.

여기서 기선의 차이는 측량의 기준을 각각 달리하였을 때의 차이이므로 원기선의 정확도 비교치와는 구별하여야한다.

3.2.3.2 기존의 지역 측지계에서의 기선비교

구성과(대정시대 갱신성과, 1913~4)로 부터 계산에 의하여 기선을 추출하고 기존측지계상에서의 GPS 관측치를 기선으로 환산하여 비교하였는 바, 구성과와는 GPS관측치와 0.150m정도에서 일치하고 있다.

표5. ITRF2000과 대정시대의 기선비교

(단위:m)							
출발	도착	WGS기선 (GPS실측)①	구성과기선 (GPS실측)②	구성과기선 (계산)③	교차 ①-②	교차 ①-③	교차 ②-③
有明山	御岳	41,125.503	41,125.213	41,125.213	0.290	0.290	0.000
	釜山	99,306.882	99,306.146	99,306.082	0.736	0.800	0.064
	巨濟	88,986.932	88,986.257	88,986.106	0.675	0.826	0.151
御岳	釜山	64,250.836	64,250.352	64,250.460	0.484	0.376	-0.108
	巨濟	69,679.827	69,679.295	69,679.429	0.329	0.398	-0.134
釜山	巨濟	41,762.393	41,762.064	41,762.068	0.329	0.325	-0.004
羅州13	淸豊11	3,400.887	3,400.858	3,400.864	0.029	0.023	-0.006

3.2.4 방위각 비교

방위각은 구성과(대정시대 갱신성과)를 Vincenty inverse solution을 사용(계산치)하여 산출하고 벡셀 타원체상에서의 GPS관측치를 산출하여 비교하였다.

기지 방위각은 御岳과 有明山の 구성과를 고정하여 산출하였다.

계산치와 GPS 관측치를 동일한 벡셀 타원체상으로 환원한 결과 방위각의 차이는 부산과 유명산의 거리 약 100km에서 방위각 오차 2.5초 수준의 높은 정확도로 산출되었다.

표6. 방위각 비교

시점	방위점	벡셀 성과 방위각(성과표)	GPS 관측방위각	교차
有明山	御岳	193-34-34.150	199-33-34.150	고정변
	釜山	168-46-07.040	168-46-09.542	-2.502
	巨濟	324-01-42.660	324-01-44.553	-1.893
御岳	釜山	333-28-40.870	333-28-42.199	-1.329
	巨濟	297-25-40.910	297-25-42.212	-1.302
釜山	巨濟	232-22-26.780	232-22-28.560	-1.780
羅州13	淸豊11	102-49-59.216	102-49-58.715	0.501

4. 원기선의 관측의 시사점

표5 에서 보는 것처럼 금회 측량결과 한국측 원기선과 쓰시마의 것이 일본의 대정시대(1912~1925)의 갱신성과인 “구 실용성과 (1991년 갱신 이전의 성과)”를 적용하였을 때 한국측에서 쓰시마의 2점을 고정하여 거제, 부산, 영산포 기선을 비교한바 기선과 호장거리가 15cm에서 일치하고, 방위각이 오차범위였으며, 또한 일본측의 비교결과에서도 오차가 40cm 이내인 것과, 명치시대의 성과(대정시대의 갱신성과와 10m의 오차)와 현재 우리나라의 구성과와 비교한바 거리에서 최대 10m정도의 오차가 있는 것을 볼 때 우리나라의 원기선의 성과는 원기선 관측의 최초 원년인 1910년도의 성과가 아니고 그 후 갱신된 대정시대의 측량성과가 상륙한 것임을 시사하고 있으며 더욱이 1910년도의 원기선 관측 정도가 3등 이하여서 1938년 1등 삼각측량 수준의 재측을 한점과 1954년 일·미 원기선 공동관측시 거리차가 대정시대의 갱신성과와 1m 이내에서 일치한 것 등은 이를 뒷받침하고 있다.

한편 1938년 한·일 원기선 재관측 결과를 우리나라 측량성과에 적용한 것인지에 대하여는 더욱 의문을 갖게 한다. 또한 금회의 원기선관측 결과는 1910년대의 측량이 상당한 정도를 가진 것임을 나타내고 있으며, 아울러 현재에는 한국과 일본이 모두 세계측지계를 도입하고 있음에 따라 금번 원기선 관측을 통하여 한·일 양국간의 측지계가 잘 정합하고 있는 것도 확인되었다.

4.1 원기선 및 영산포 기선의 위치는 부동

원기선 및 영산포기선(동단,서단)을 그 당시의 측량조건으로 환원하여 최신측량기술로 비교하여 보았을 때 원기선 사이의 경위도,거리, 방위각이 모두 높은 정확도로 일치하므로 그 측점들의 위는 위치는 변동이 없다고 볼 수 있다.

4.2 한국과 쓰시마의 지각변동

제22회 한·일 측지협력회의의 일환으로 1995년 한·일 VLBI 및 GPS연속관측을 실시한 결과 한·일 간(수원~카시마, 약 1200km)의 지각변동의 약 100년 동안 4m 정도(-) 변동속도는 3.8cm/year 로 보고 되었으며 지금도 이 지각의 변동속도는 GPS상시관측을 통하여 확인되고 있다.

그러나 금번의 한국과 쓰시마의 측량성과의 비교차가 장기간이 지났음에도 15 cm 정도인 것은 이 지역의 지각변동은 그 진행속도 및 변동량이 크지 않음을 짐작할 수 있다.

5. 끝맺음

1910년 이래로 3회에 걸쳐 한·일간에 실시된 삼각측량의 과정을 금번4회 째는 GPS에 의하여 재현함으로써 그 당시와의 측량기술의 발달 과정과 측량기술과 환경변화, 측량성과의 변천 및 지각변동 파악 등 양국측량의 과거와 현재를 연출하였는바, 이는 한 세기를 장식한 한·일 측량의 역사를 온고지신(溫故知新)과 타산지석(他山之石)의 교훈으로 재조명하여 양국의 상호기술발전과 친선우호 관계의 증진의 계기로 삼고, 양국이 공동으로 참여하는 기술협력과제를 지속적으로 개발하여 양국의 측량발전을 도모하여야함은 물론, 나아가 21세기의 한·일 측량 100년 역사의 장을 한·일 삼각 측량 원기선 으로 결합하여 새롭게 열어 가야 할 것이다.

참고문헌

韓日 VLBI·GPS 관측 일본 국토지리원시보, 제86집 46-56