

국가삼각점 성과의 갱신방안에 관한 연구 Computational Maintenance on the Official Coordinates Revision in the Korean Triangulation Stations

崔在和* · 李榮鎮** · 崔允秀***

Choi, Jae-Hwa, Lee, Young-Jin and Choi, Yun-Soo

요 지

동경원점을 기준계로 하고 있는 한국의 기설삼각망은 1910~1916년에 설정되었으나 6.25 동란으로 인하여 대부분의 삼각점이 손상되어 복구성과를 관리해 오고 있다. 따라서 실용면에서의 문제점 때문에 국립지리원에서는 EDM에 의해 평균변장 10 km의 정밀 1차 기준점측량과 평균변장 2.5 km의 정밀 2차 기준점측량을 실시하고 있다.

본 연구에서는 기설삼각망의 기준체계를 유지하면서 이들 정밀 1차망과 정밀 2차망을 조합하고 통계적으로 안정된 1, 2등 삼각점에 결합조정을 실시하여 실용성과를 갱신하는 방안을 제시하였다. 또한 독립적인 정밀 1차망 성과의 산정방안과 새로운 한국원점 성과의 구축방향에 대한 체계와 활용방안을 제안하였다.

ABSTRACT

The Korean triangulation network was established for 7 years from 1910 to 1916, the official coordinates of the stations were based on Tokyo Datum. But, the most of the triangulation points, were destroyed during the Korean War, was re-established or re-arranged. The National Geography Institute (NGI) is now executing primary and secondary precise control survey projects with Electronic Distance Measuring equipments, which have average side lengths of 10 km/2.5 km.

In this study, the revision method of the official coordinates is proposed that the combination of the primary and secondary precise control network is appropriate to new densification adjustments based on the computational schemes of the original triangulation framework. And, the redefinition systems of Korean Datum is are also proposed in future networks.

1. 서 론

국가 기준점망인 삼각망은 국토의 위치정보를 제공하기 위한 골격으로서 지구타원체상에 설치한 측지원점을 기준으로 하여 가장 높은 정확도의 1등 삼각망과 고밀도인 저등급의 망을 구성하고 있으며, 이 삼각점의 성과는 지도제작 뿐만 아니라 지적도의 작성이나 건설공사측량의 기준이 되고 있다.

우리나라의 삼각망은 1910년 6월부터 1916년 11월까지 조선총독부 토지조사국에 의하여 구성이 완

료되었으며, 당시의 여건 때문에 독립된 측지원점을 설치하지 아니하고 일본의 대마도 1등 삼각점에 연결한 관계로 실용성과는 동경원점(Tokyo Datum)을 기준으로 산정된 것이다.

그러나 당시의 성과표 외에는 측량기록이 모두 소실된 관계로 삼각점의 성과에 대한 평가가 어려운 실정이며, 당시의 토지조사사업 보고서에 나타난 방법과 규정에 따라 유추해석되고 있을 뿐이다.

해방과 6.25동란 이후에 삼각점을 전면적으로 조사한 결과에서는 손상된 점이 70%를 넘고 있으며,¹⁾ 이에 따라 1950년대 후반 이후에는 삼각점을 응급복구하는 사업을 시행하여 왔으나 원래 3, 4등 삼각점의 소요 정확도를 확보하기란 어려웠던 것으로 파악되고

*성균관대학교 공대 토목공학과 교수

**서울시립대학교 공대 토목공학과 강사

***안성산업대학 토목공학과 전임강사

있다.

국립지리원의 발족과 함께 1975년부터 시행된 정밀 1차 기준점측량은 1, 2등 삼각점을 기초로 하여 실시하여 오고 있으며 현재 완료단계에 있다. 이 사업은 원래 1, 2등 삼각점의 전면복구를 목표로 착수하였으나 우리나라 국가 기준점망의 체계를 재정립할 목적으로 계속 시행되고 있다. 또한 1986년부터 3, 4등 삼각점을 기초로 하여 새로운 정밀 1차 기준점측량을 실시하고 있으며 응급복구되어 사용중에 있는 현재의 실용성과를 전면적으로 대체할 것으로 기대되고 있다.

본 연구에서는 정밀기준점 측량성과를 이용한 실용성과의 갱신방안과 관리체계를 제시하는 데에 연구 목적을 두고 있다.

2. 삼각점 실용성과에 대한 고찰

2.1 기설삼각망의 구성

1910년대 당시의 삼각측량은 가장 정밀한 방법으로 대규모 망을 구성하고 이에 준하여 점차 소규모 망을 만들어 도근측량과 일필지측량의 기초가 되는 기준점을 제공하는 데에 그 목적이 있었다.

삼각측량은 대한해협을 건너서 일본 육지측량부의 1등 삼각점 본점에 연결되는 대삼각망을 구성하고 이 점들을 토대로 소삼각점을 배치하여 전국에 평균 2.5 km 거리에 1점의 밀도로 삼각점을 구축하였다. 다시 말하면 동경원점을 기준으로 하는 일본의 1등 삼각망의 본점망에 거제도과 절영도를 연결하는 1등 삼각점 본점측량을 실시한 후에 대삼각망을 결합하는 방식을 채용하였으므로 성과의 기준은 동경원점이 되며 우리나라의 경우에는 거제도과 절영도의 두 삼각점이 원점의 기능을 하고 있다.

표 1은 조선총독부 토지조사사업 보고서에 기술된 1910년대의 삼각측량 규정을 요약한 것이다.^{3,13)}

대삼각 본점(현재 1등 삼각점)은 0.5"독 태오돌라이트에 의해 6대회에 상당하는 각관측법에 따라 관측을 실시하고 조건방정식에 의한 최소제곱법에 따라 각조정을 실시하고 나서 조정방향각과 조정거리에 의해 좌표계산을 실시하였다. 이를 위해서는 13개의 기선과 기선망을 구성하여 대삼각 본점망에 결합시키는 작업이 필요하였으며, 계산의 편의를 위하여 전국을 23개 망으로 구분하여 작업을 실시하였다.

또한, 대삼각보점과 소삼각점은 가우스 상사투영법

에 따라 평면직각 종횡선(x, y좌표) 조정계산을 실시해야 하므로 전국을 3구역으로 나누어 독립된 가상의 평면직각 좌표원점을 정하였다. 대삼각보점과 소삼각점의 측량은 방향관측법에 의해 각을 측정하였으며 소삼각점에서는 표고를 구하기 위한 수직각관측이 병행되었다(표 1 참조).

당시의 현실과 계산능력에는 한계가 있었기에 평면직각좌표 또는 경위도 좌표의 계산에는 조정(또는 평균)된 조정방향각과 조정거리에 의해 독립적으로 구해졌다. 그러나 계산단위를 낮게 잡아 간편하게 계산하였고 소삼각 2등점의 경우에는 도해법에 의한 조정계산을 실시하였으며 구소삼각점과 특별소삼각점이 혼재되어 있는 등, 그 실용성과의 정확도가 상대적으로 낮고 국지적으로 심한 불균질성을 나타내고 있다. 이는 당시에 조속히 마무리해야 했던 필요성과 전적으로 수계산에 의존해야 하는 현실을 고려한 것으로 생각된다.

삼각측량결과는 지적측량 등에 이용될 수 있도록 하기 위하여 성과표로 작성되었으나 성과표가 작성되는 시점에서 동경원점에 경도 +10.4050"를 보정해야 하는 사실이 공표된 관계로 계산된 성과표의 경위도 수치에 +10.4050"해야 한다는 단서조항이 명시되었다.

2.2 기설 삼각점의 복구

1910년대에 설정된 대삼각점과 소삼각점은 해방 이후에 명칭을 변경하였는데 대삼각본점과 보점을 각각 1등 삼각점과 2등 삼각점으로, 소삼각 1, 2등점을 3등 삼각점과 4등 삼각점으로 변경하였으며, 6.25동란 이후에는 미군에서 관리해 오던 것을 국방부에서 인수하였다.

해방과 6.25동란을 겪으면서 많은 삼각점이 망실, 파괴되었는데 그 내용은 1960년 국방부 지리연구소의 자료에 따르면 남한지역의 삼각점 중에서 24%만이 완전점이었음을 보여준다.¹⁴⁾ 따라서 시급히 복구해야 할 필요성을 인식하고 이 24%의 완전점을 근거로 하여 3, 4등 삼각점에 대한 "삼각점 복구"작업이 응급복구 형태로 수행되었다.

국립건설연구소의 "규정집"에는 ① 1, 2등 삼각측량 작업규정과 ② 3, 4등 삼각측량 작업규정이 있는데 이는 모두 삼각점 복구를 대상으로 작성되고 적용된 것이다.¹⁾ 1, 2등 작업규정은 정밀 1차기준점측량이

표 1. 1910년대 삼각측량 규정

구 분	대삼각본점 (1등삼각점)	대삼각보점 (2등삼각점)	소삼각1등점 (3등삼각점)	소삼각2등점 (4등삼각점)
배점밀도	경도20'×위도15'당 본점 1점	경도20'×위도15'당 보점 8점	5 km ² 당 1등점1점	5 km ² 당 2등점3점
평균변장 측각기재	30 km 0.5"독 데오돌라이트 (21 cm)	10 km 0.5"독 데오돌라이트 (17.5 cm) 1"까지 읽음	5 km 10"독 데오돌라이트 (13.5 cm)	2.5 km 10"독 데오돌라이트 (13.5 cm)
수평각측정 대회수 배각차 관측차 삼각형폐합차	각관측법 6대회상당 — — 5"	방향법 6대회 10" — 7"	방향법 4대회(측회) 30" 20" 10"	방향법 3대회(측회) 30" 20" 전방교차법 (보각이용)
구과량 조정계산	계산 조건방정식 각조정	계산 좌표평균 (Schreiber법)	— 좌표평균 (Schreiber법)	— 도해법
선점차수 변장단위 경위도계산	— 대수7위 평균방향각과 거리에 의함	5차이내 대수7위 평균방향각과 거리에 의함	4차이내 대수6위 평균방향각과 거리에 의함	1차 대수6위 평균방향각과 거리에 의함
수직각 측정	—	—	2방향에서 정반 양방향 관측	2방향에서 편도관측
고도상수 표고계산	— —	— —	40" 산술평균	— 산술평균

시행되기 전인 1974년도까지 적용된 것이며, 3, 4등 작업규정은 정밀 2차기준점 측량이 시행되기 전인 1985년까지 사용된 것으로서 모두 삼각점 유지관리에 주목적이 있었다고 생각된다.

당시의 작업에서 보강은 표주의 과대한 노출과 매몰로 인하여 표석이 망실될 우려가 있을 때 원상태를 유지하면서 콘크리트로 보강하는 작업이며, 보수는 반석이 이상이 없는 상태에서 표주의 경사수정 또는 교환하여 콘크리트로 보강하고 중심점을 일치시키는 작업을 말한다.

재설이란 표주와 반석을 모두 다시 매설하는 것으로서 관측이 수반되어야 하고 삼각측량 작업규정에 따르며 동급이상의 기지점 3개로부터 위치를 결정하는 것을 말하며, 이설은 측량표를 이동할 필요가 있을 때 적당한 위치에 재설하는 것이다. 재설과 이설의

경우는 완전히 신설한 것과 같으므로 1910년대의 위치와 전혀 다른 상태이며 기준계만 공용되고 있는 것이다.

표 2는 삼각점 부구에 대한 규정을 요약한 것이다.¹⁴⁾ 측량방법은 일본의 규정을 완전히 준용하였으며 계산방법도 일본의 방법을 그대로 이용하였으므로 1910년대의 측량보다 우수한 규정을 이용한 것으로 파악되나 완전점의 수가 많지 않았던 시설망에 근거하고 있으므로 작업결과는 기설삼각망보다 정확도가 다소 낮아졌을 것으로 판단된다.

2.3 정밀 삼각망의 측량

정밀측지망은 1910년대의 기설 삼각망을 대체하기 위하여 높은 정확도를 갖는 새로운 방식으로 구성되어 오고 있으며, 기설 1, 2등 삼각점으로 구성되는 정밀

표 2. 삼각점 복구측량 규정

구 분	1등 삼각점	2등 삼각점	3등 삼각점	4등 삼각점
평균변장	5 km	2.5 km	5 km	2.5 km
측각기재	0.2"독	1"독	1"독	1"독
수평각측정	각관측법	방향법	대회법	대회법
대회수	6	6	2	2
배각차	—	10"	15"	20"
관측차	—	4"	8"	10"
삼각형폐합차	3"	5"	10"	20"
변장계산	대수7위	대수7위	대수6위	대수6위
조정계산	최소제곱법	좌표평균	좌표평균	좌표평균
기지점의 수	—	수 개	3 이상	3 이상
수직각 측정	3등기준	3등기준	1대회	1대회
고도상수	∕	∕	15"	15"
표고교차	∕	∕	45 cm	45 cm
표고기지점수	∕	∕	2 이상	2 이상

*1, 2등의 규정은 1974년까지, 3, 4등의 규정은 1985년까지 적용됨.

1차 기준점망과 3, 4등 삼각점으로 구성되는 정밀 2차 기준점망으로 구분되어 각각 1975년과 1986년부터 시행되어 오고 있다.

정밀 기준점측량의 목적이 "측지좌표의 결정"임을 작업규정에 명시하고 있고 용역사업 계획서에는 정밀 1차 기준점측량의 목적을 (1) 파괴, 망실된 1, 2등 삼각점의 복구, (2) 1, 2등 삼각점의 정확도 향상, (3) 기본측량 및 지도제작과 공공측량에 정확도 높은 성과의 제공으로 명시하고 있으며, 정밀 2차 기준점측량의 목적으로는 (1) 정밀 1차 기준점측량과 병행, (2) 전국적으로 통일된 높은 정확도의 3, 4등 삼각점 성과의 정비, (3) 공공측량 및 지적측량의 기준제공을 들고 있다.

이 정밀기준점측량은 광파측거리기의 실용화에 따라 종래의 각을 위주로 하는 측량방식에서 거리를 위주로 하는 측량방식을 채택하고 있으며 1차는 삼변방식, 2차는 삼변방식 또는 다각방식에 의하고 있다.^{2,5,6)}

표 3은 정밀 1, 2차 기준점측량 규정을 요약한 것이다. 정밀 1차 기준점측량에서는 측각의 1방향에 대한 표준오차를 10", 측거의 표준오차를 5 mm±2 ppm으로 정하고 있으며, 정밀 2차 기준점측량에서는 이를 각각 1.6"와 10 mm±3 ppm으로 정하고 있다. 또한, 표고의 정확도는 5 cm로 시행계획이 되어 있으며 이들은 모두 상대정확도에 있어서 10 ppm~1

표 3. 정밀 1, 2차 기준점 측량 규정

구 분	정밀 1차	정밀 2차
배점밀도	기설 1, 2등 삼각점	기설 3, 4등 삼각점
평균변장	10 km	2.5 km
측각기재	0.5"독 테오돌라이트	1"테오돌라이트
측거리기재	5 mm±1 ppm이상	5 mm±2 ppm이상
거리측정법	EDM 측정	EDM 측정
세트수	3세트	3세트
세트내 교차	10 mm	10 mm
세트간 교차	20 mm	35 mm
각 측정법	방향법	방향법
대회수	6대회(3대회씩 2세트)	3대회
배각차	8"	12"
관측차	5"	7"
조정계산	BL망 또는 XY망 조정	XY망 조정
초기치	실용성과	실용성과
중량(표준오차)	방향 1.0"	방향 1.6"
중량1인 경우 m.	거리 5 mm±2 ppm 1.0"이내(1.5" 허용)	거리 10 mm±3 ppm 1.6" 이내

*정밀1차의 경우 1988년 수정된 규정임.

*정밀2차의 경우 1987년 규정임.

ppm 내로 측정함을 나타낸다.

3. 삼각점 실용성과의 갱신방안

3.1 성과갱신의 기본방향

앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 기설 1, 2, 3, 4등 삼각점은 1910년대의 측량을 근거로 하고 있으며 6.25동란 이후의 복구측량을 거쳐 응급처치된 성과를 관리해 오고 있다. 따라서 이 실용성과의 정확도와 체계를 재편해야 할 필요성이 절실한 실정이다.^{9,10,16)}

그러나 실용성과가 변경된다면 기존지도와 지적도의 재제작이나 공공측량의 결과를 재측량해야 되는 중대한 문제점이 야기되므로 신중한 대처가 필요하다.²⁰⁾

장기적인 측면에서 볼 때 정밀 1, 2차 기준점망에 의하여 기설삼각망을 완전하게 대체할 수 있겠으나 정밀 2차망의 구성이 완료되는 데에는 20여년의 기간이 소요될 것으로 예상되므로 기설삼각망의 체계를 유지하면서 성과를 갱신해 나가는 단기적인 측면을 고려치 않을 수 없다.

따라서 단기적으로 성과를 산정하는 것은 기설 삼각점에 결합조정(densification adjustment) 하는 방안이 타당할 것으로 판단되며 성과산정의 기본방향과 기준으로는 다음 5가지를 설정할 수 있다.

1) 성과이용의 측면에서 혼란을 최소화 할 수 있도록 기존의 동경원점과 세계의 평면직각좌표계인 기설삼각망의 측지기준계와 기설삼각점의 관리체계를 유지한다.

2) 보정계산에는 기설삼각망에 사용된 전개법(development method)를 사용한다.

3) 측량량에 대한 중량은 데이터의 예비분석이나 예비조정을 통해 결정한다.

4) 정밀 1차 기준점망의 조정은 전국 규모로서 BL망의 동시조정을 실시한다.

5) 갱신성과는 안정된 기설 1, 2등 삼각점을 고정점으로 하고 정밀 1차망과 정밀 2차망을 조합하여 XY망에 의해 산정하고 표고성과는 2차망만으로 산정한다.

3.2 정밀 1차망 성과의 산정

정밀 1차망에 대한 성과는 전국규모로서 BL망 조정과 H망 조정을 통하여 산정할 수 있다. 현재, 정밀 1차점의 수를 고려할 때 약 2000점 규모의 독자적인 망조정 프로그램 개발이 선행되어야 함은 당연하다고 하겠다.¹¹⁾

성과를 산정하는 방법으로는 (1) 독립된 측량원점을 고정점으로 하는 방식,^{22,25)} (2) 기설 1등 삼각점을

고정점으로 하는 방식,¹⁵⁾ (3) 기설 1등 삼각점을 가중측점으로 하는 방식,²⁶⁾ (4) 자유망에 의하는 방식²⁷⁾ 등을 고려할 수 있다.

이 중에서 독립된 측량원점을 사용하게 되면 현재의 실용성과의 체계를 유지할 수 없고 새로운 한국원점 체계를 사용하여 국가기준체계를 전면적으로 바꾸는 상태가 되므로 GPS를 활용한 지구규모의 망과의 결합이 추진되고 있고 2차망의 구성이 진행중에 있는 현 시점에서 현실적으로는 부적합하며 장기적으로 검토될 수 있는 사항이다.

기설 1등 삼각점을 고정하는 방식은 가장 보편적으로 이용될 수 있으며 기존의 체계가 유지되고 조정결과가 1개인 장점을 갖는다. 그러나 자유망에 의하면 기설점이 아닌 1차 기준점측량을 기준으로 하는 망의 형태이므로 새로운 체계가 될 수 있으나 조정 결과에는 측척 등 정오차의 면에서 의문이 따르게 된다. 기설 1등 삼각점을 가중측점으로 하는 방식은

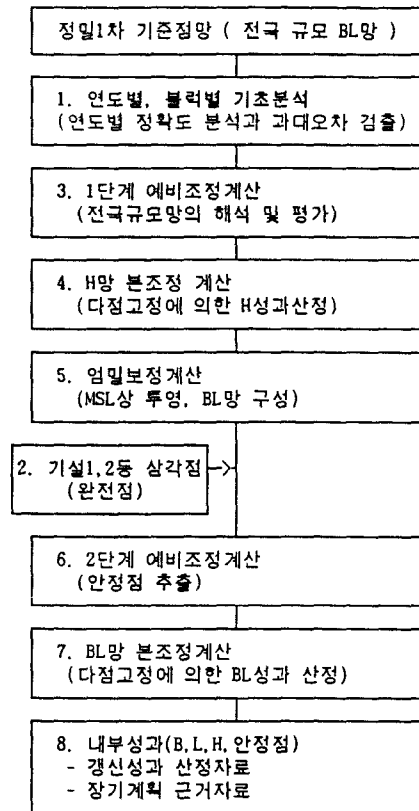


그림 1. 정밀 1차망 성과산정의 체계

기존의 체계를 유지하면서 1차망의 높은 정확도를 확보할 수 있는 반면에 기설 1등점 성과까지도 변화되는 특징을 가지고 있다.

따라서 1등 삼각점(필요하다면 2등 삼각점)을 고정하는 방식이 타당할 것으로 사료된다. 정밀 1차망의 성과는 이 방식에 따라 그림 1의 흐름도를 적용할 수 있을 것이며 이 체계를 단계별로 기술하면 아래와 같다.

(단계 1) 현재 납품되어 보존된 데이터는 연도별, 작업팀별로 정밀 1차 기준점측량 작업규정에 따라 실시된 것이다. 그러므로 연도별 정확도 분석과 과대오차의 검출이 필요하며 망의 강도 및 중량에 대한 재평가 작업이 필요하다. 조정은 H망과 BL망에 의한다.

(단계 2) 기설 1, 2등 삼각점 중에서 작업당시에 완전점인 경우의 삼각점을 우선적으로 추출하고 다시 이 중에서 1910년대의 성과와 변동되지 않은 완전점을 조사, 분석한다. 이 과정에는 1910년대의 성과표와 1950년 이후의 복구기록 및 정밀 기준점 측량의 기록을 전면적으로 검토해야 한다.

(단계 3) 단계 1에서의 연도별 결과를 전국규모로 혼합하고 경계지역에 대해서는 망의 강도나 결측 여부에 대한 검토가 필요하다. 이 경우에는 1점 1방향 고정이나 자유망에 의하여 망을 평가한다.

(단계 4) H망의 경우에는 측표수준측량된 점을 고정점으로 하여 표고성과를 계산한다. 이때 표고는 인천의 수준원점을 기준으로 하여 지난 1987년~1989년에 계산하여 갱신된 바 있는 수준점 성과를 이용한다.

(단계 5) 단계 4에서 산정된 H성과로부터 측정거리를 평균해면상의 수치로 엄밀하게 보정계산하고 이를 타원체면상의 값으로 산정하여 BL망 데이터로 한다. 여기에는 단계 1에서 사용된 보정값들을 다시 수정해야 한다.

(단계 6) 단계 2에서 분석된 완전점과 BL망 조정의 결과에 의해 통계적으로 변동되지 않는 안정점(stable point)을 추출한다. 여기에는 변동벡터에 의한 방법이나 가중측점(weighted station) 방식이 적용될 수 있으며 국내 삼각망의 실정에 적합한 한계기준의 설정이 필요하다.

(단계 7) 단계 6에서 추출된 안정점을 고정점으로

하여 전국규모의 다점고정에 의한 조정을 실시하고 BL 성과를 산정한다. 이 성과는 경도에 +10.4050"가 고려된 것으로 한다.

(단계 8) 단계 4에서 계산된 H성과와 단계 7에서 계산된 B, L성과는 위성측량이나 장기적인 전면갱신에 이용될 수 있으며 안정점은 부분적인 갱신성과 산정에 이용될 수 있다. 또한 H성과는 변장이 큰 관례로 2차망의 H성과나 기설 삼각망의 H성과 보다도 낮은 정확도일 수 있으므로 이용에 특별한 주의가 필요하다.

3.3 기설삼각점 성과의 갱신체계

현재 부정합이 심한 기설삼각망의 성과를 갱신하기 위한 방법의 하나로서 정밀 1, 2차 기준점 측량 데이터에 의해 부분적인 갱신이 가능할 것이다. 이를 위해서는 기존의 성과체계를 유지하면서 변화되는 좌표차가 최소화될 수 있는 방안이 도입되어야 한다.^{20,23,29)}

여기에는 기준이 되는 좌표계에 (1) 2차망을 1차망에 결합하는 방안,¹⁶⁾ (2) 2차망을 기설 1, 2, 3, 4등 삼각점에 결합하는 방안,¹⁰⁾ (3) 2차망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합하는 방안,⁸⁾ (4) 1, 2차망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합하는 방안 등을 고려할 수 있다.

여기서, 2차망을 조정된 1차망에 결합하는 것이 이상적인 방법이지만 1차망의 결과가 장기리이며 현재까지 측량성과에 대한 정확도 평가가 이루어지지 않고 있으며 H망 성과를 이용하는 데에 어려움이 있다. 이 방법은 결과적으로 기설삼각점을 이용하는 효과가 나타나게 되어 실용적으로는 어려움이 있으므로 2차망을 기설삼각망에 결합하는 방법이 현실적으로 타당하다.

또한 3, 4등 삼각점이 구조삼각점을 포함하고 있고 저등급인 소삼각점이었으며 망실된 점이 상당량에 이르고 있기 때문에 2차망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합하는 것이 타당하다. 물론 가능하다면 1등 삼각점에 결합하는 것이 더 바람직하겠으나 재설점이 많은 관례로 점수가 부족할 것으로 판단되고 있다.

한편 1, 2등 삼각점이 대삼각점이고 균등한 정확도를 유지하는 것을 고려한다면 1차망과 2차망을 조합시켜 조합망(combined network)을 구성하고 기설 1, 2등 삼각점에 결합하는 방안이 이론적으로 보다

더 합리적인 것으로 생각된다.

따라서 조합된 1, 2차망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합 조정하는 방법으로는 고정원점의 선택에 따라 다음을 고려할 수 있다.

- 모든 1, 2등 삼각점에 고정하는 방식¹²⁾
- 자유망에 의해 조정하는 방식²⁶⁾
- 1점 1방향을 고정하는 방식¹⁵⁾
- 모든 1, 2등 삼각점을 좌표변환하는 방식¹⁶⁾
- 조합망을 1, 2등 삼각점에 좌표변환하는 방식¹⁶⁾

먼저 모든 1, 2등 삼각점을 고정점으로 하는 방식이 가장 간편한 방식이고 성과 관리가 용이한 특징이 있으나 불력의 경계에서는 고정점의 선택에 따라 결과가 미소하게 변하는 특징이 있다.

또한 자유망 방식이나 1점 1방향을 고정방식은 높은 정밀도의 정밀삼각망을 유지할 수 있으나 기설삼각망 체계를 유지할 수 없는 단점이 있으며 낮은 등급의 경우나 공공분야에서 적용 가능한 방식이다. 모든 1, 2등 삼각점을 가중측점으로 하는 방식은 높은 정확도를 유지하면서도 기설망의 체계를 유지할 수 있으나 기설망의 평가자료가 있어야 하고 가중측점의 삼각점 성과가 변하므로 이중성과가 되는 특징이 있다.

조합망의 결과를 기설 1, 2등 삼각점에 Helmert 변환하는 방식은 기설망의 정확도를 모르거나 그 정확도가 훨씬 낮을 때에 활용할 수 있는 방식이며, 기설 1, 2등 삼각망이 현재의 1, 2차망과 대등하다는 현실을 감안해 볼 때에 적용하는 데에는 제약이 따른다.

따라서, 부분갱신에는 1차망과 2차망을 조합시켜 기설 1, 2등 삼각점에 결합하고 가장 단순한 고정망 방식이 현실적이며 오직 하나의 성과가 관리될 수 있는 장점이 있다. 그러나 전국 규모의 동시조정에 의한 전면 갱신이 아닌 지역부분 갱신의 경우이므로 접합부에서는 미소한 차이가 나타날 수 있다.

이에 대한 체계를 그림 2의 흐름도에 나타냈으며 그 순서는 다음과 같다.

(단계 1) 먼저 부분갱신을 위한 대상 지역을 선정해야 하는데 고정점의 수가 적절하게 배치될 수 있도록 2차점의 수를 1000점~2000점 규모로 행정구역과 작업년도를 고려하여 선정하되, 평면직각좌표 원점계에서 통일되는 동일원점을 갖도록 형성하는 것이 합리적이다. 조정은 XY망과 H망에 의해 처리한다. 연도별 분석은 사전에 실시된 것으로 한다.

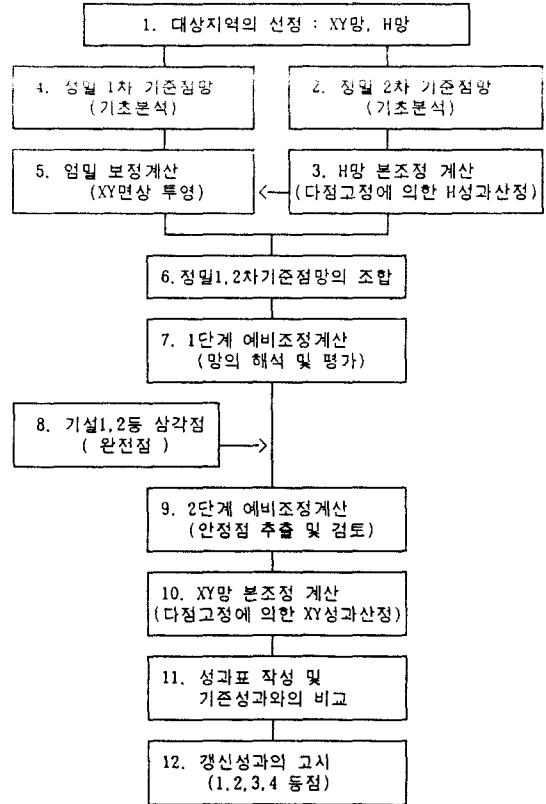


그림 2. 기설삼각점 성과갱신의 체계

(단계 2) 대상지역내의 정밀 2차기준점망을 독립 조정하고 기초적인 분석을 통하여 과대오차 등을 검출해 내며 망의 강도와 측정의 중량 등을 평가한다.

(단계 3) 정밀 2차 기준점망만을 사용하여 다점고정에 의한 H성과를 산정한다. 이때 인천원점이 기준이며 측표수준측량된 점을 고정점으로 한다.

(단계 4) 정밀 1차 기준점망의 영역 내에 정밀 2차망이 완전히 포함될 수 있도록 정밀 1차망을 선택하고 독립조정에 의해 기초적인 분석을 실시한다. 경우에 따라서는 정밀 2차망의 외곽에 정밀 1차망의 삼각형들이 둘러 싸이도록 선택한다.

(단계 5) 1차망의 경우는 변장거리가 멀기 때문에 양차에 의한 오차가 크므로 2차망의 조정표고를 보정계산에 사용하는 것이 타당할 것이므로, 단계 3의 H성과를 이용하여 정밀 1차망을 엄밀하게 보정하고 XY 평면상에 투영 계산을 실시한다.

(단계 6) 정밀 1차망과 정밀 2차망을 조합시켜 XY

망을 구성하고 망의 강도(strength)와 결측 여부에 대한 도해적인 정밀분석이 필요하다.

(단계 7) 조합된 망을 1점 1방향고정 또는 자유망에 의해 예비조정하고 망의 분석과 평가를 행한다.

(단계 8) 정밀 1차망 성과에서 추출된 안정점을 활용하거나 또는 기설 1, 2등 삼각점 중에서 완전점을 조정계산에 도입한다. 이 때의 수치는 1910년대의 성과를 기준으로 하며 당시의 BL 좌표를 근거로 한 XY 좌표를 계산하여 비교 검토한 후에 이를 이용한다.

(단계 9) 안정점이 이용된 경우에는 이 과정이 생략될 수 있으나 정밀 1차망과 정밀 2차망의 측량시점이 다른 경우가 대부분이므로 새로운 안정점을 추출해내는 것이 필요하며, 여기에는 변동백터를 이용하거나 가중측점 조정법을 이용할 수 있다.

(단계 10) 단계 8과 단계 9에서 추출된 안정점을 고정점으로 하는 다점고정방식의 조정계산을 실시하여 XY성적을 산정한다. 또한 산정된 결과를 정밀분석하고 오차를 평가한다. 산정된 XY성적은 세계의 평면직각좌표계 원점에 따라 BL 좌표로 변환되어야 하며, 변환된 결과는 경도치에 +10.4050"를 보정해야 한다.

(단계 11) 산정된 X, Y 성과와 H 성과를 기존 성과와 비교분석하고 새로운 성과표를 작성한다. 여기에는 엄밀하고도 세심한 주의가 요망되며 대상지역간 접합부에서는 미소한 좌표차가 존재하므로 적절한 대책을 강구한다.

(단계 12) 정밀 1, 2차점에 대응되는 1, 2, 3, 4등 삼각점의 성과를 재고시하여 실용성으로 이용될 수 있도록 한다. 또한 이용자의 편의를 위한 행정조치를 취한다.

4. 삼각점 실용성과의 관리방안

4.1 삼각점 성과의 구분

현재까지 유지 관리되고 있는 우리나라의 삼각점 성과는 1910년대의 총독부 성과에 기초하고 있으며, 1980년대 이후에는 복구된 삼각점 성과를 전히 갱신하지 못하고 있는 실정이다. 앞으로 삼각점 성과는 산정된 갱신성적을 효과적으로 관리해야 할 필요가 있으며 정밀 1차망 성과는 장기적으로 한국원점의 정립과 전면갱신을 위한 측량 및 변환의 기초자료로

활용되어야 한다.

우리나라의 삼각점 성과는 측량과 계산체계에 있어 KTN10, KTN57, KTN87, KGD ?? 의 4가지로 구분할 수 있다.

(1) KTN10(Korean Triangulation Network of 1910)은 1910년~1916년에 설정된 조선총독부의 삼각점 성과를 나타내며 기선측량과 삼각측량 방식에 의해 구성된 것으로서 당시의 수준기점을 높이의 기준으로 사용하고 있다.

(2) KTN57(Korean Triangulation Network of 1957)은 해방과 6.25동란 이후 기설삼각점을 조사하여 지리연구소와 국립건설연구소에서 기설삼각망의 성과를 이용한 삼각점의 응급 복구작업을 수행한 성과로서, 교회법에 의한 삼각측량방식을 사용하였으며, 현재 고시되고 있는 삼각점 성과이다. 높이는 다점고정의 형태인 KLN10(Korean Levelling Network of 1910)을 이용하였다.

(3) KTN87(Korean Triangulation Network of 1987)은 본 연구에서 제시된 성과 갱신의 방법에 따라 지역적으로 전면갱신한(전국으로 볼 때는 부분갱신) 성과로서 앞으로 연차적으로 갱신 고시될 성과이다. 이는 기설 1, 2등 삼각점 중에서 변동되지 않은 안정점에 기초하여 1974년에 착수한 1차망과 1987년 착수한 2차망의 결과에 따라 조정된 것이며 인천 수준원점을 근거로 동시조정된 수준망 KLN87(Korean Levelling Network of 1987)을 이용한 것이다.

(4) KGD ?? (Korean Geodetic Datum of 20???)은 장기적으로 산정되어야 할 성과이며 현재의 동경원점과는 다른 독자적인 한국원점과 측지기준계를 사용하며 정밀 2차기준점측량이 마무리되는 시점에서 전국적으로 새롭게 산정되어야 할 성과이다. 이때는 KTN87의 정밀 1차망의 성과가 원점의 정립에 기초가 될 수 있으며 GPS, VLBI 측량에 의한 정밀 1차망의 전면재측(re-measurements)이 필요하다.

4.2 삼각점의 관리

현재의 삼각점은 1910년대 설정된 것에 기초하고 있으며 당시의 대삼각 본점을 1등 삼각점, 대삼각 보점을 2등 삼각점으로 하였다. 또한 소삼각 1등점을 3등 삼각점, 소삼각 2등점을 4등 삼각점으로 사용하고 있다.

그러나 정밀 1, 2차망으로부터 산정된 성과는 균

표 4. 삼각점 등급의 변경방안

1910년대(KTN10)		해방이후(KTN57)	갱신성과(KTN87)
대삼각점	본점	1등 삼각점	1등 삼각점
	보점	2등 삼각점	2등 삼각점
소삼각점	1등점	3등 삼각점	} 3등 삼각점(통합)
	2등점	4등 삼각점	

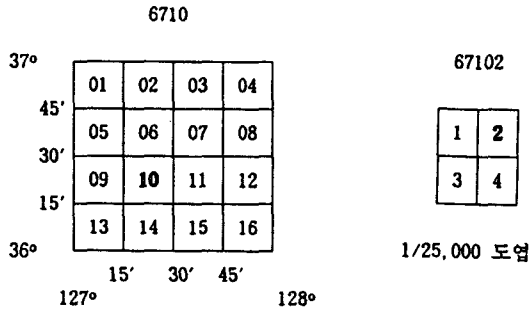


그림 3(a)

그림 3(b)

등한 정확도를 유지하므로 기설삼각점을 1910년대의 소삼각점의 경우와 같이 통합운영하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 다시 말해서 1등 삼각점과 2등 삼각점 외에 평균변장 2.5 km 간격의 3등 삼각점이 있는 상태를 일컫는다(표 4 참조).

갱신성과를 고시하는 중에는 지역적으로 3, 4등점이 공존하는 KTN57 성과인 지역과 3등점만이 존재하는 KTN87 지역으로 양분될 수 있다. 이렇게 하면 지적 삼각점과 지적 삼각보조점 또는 1, 2급 공공기준점, 지상기준점 등을 4등 삼각점으로 지정하여 관리할 수 있다.

또한, 삼각점 번호는 UTM 체계와 1/50,000 지형도의 도엽번호를 혼합한 형태로 부여하고 있으나 앞으로 수치화에 대비하여 도엽코드+삼각점 코드의 형태로 코드화할 필요가 있다(그림 3 참조).

이밖에 성과표에 있어서는 기존의 체계를 유지하되 삼각점의 등급과 도엽코드를 변경할 필요가 있으며 기재내용을 재검토할 필요성이 상존하고 있다. 거리의 대수로 기록되는 사항을 거리인 m단위로 바꾸어야 하며, 조사, 파괴, 완전, 복구, 망실, 보수, 재설 등에 대한 사항을 엄격히 통제하여 기록토록 해야 하며 구성과표와 식별하기 위하여 KTN57과 KTN87의 구분방법, 대수대신에 m단위의 조정거리를 사용하는

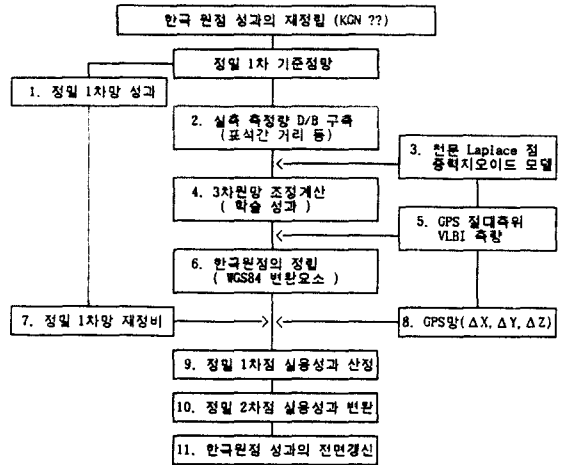


그림 4. 한국원점 성과의 구축

등의 제반사항이 검토되어야 한다.

4.3 한국원점 성과의 구축

새로운 우리나라의 측지기준계는 한국원점 성과 KGD20??의 정립을 통하여 구축될 수 있으며 장기적으로 우리나라 삼각점 성과의 완전갱신이 가능하다. 이를 위해서는 첨단기술인 GPS측량, VLBI측량 및 중력지오이드 모델의 개발 등이 필수적이다. 그 과정은 개략적으로 다음과 같이 요약될 수 있다(그림 4 참조).

(단계 1) 앞서 언급된 바와 같이 정밀 1차망을 기설 1등점(일부 2등점)에 고정된 정밀 1차망 성과는 GPS나 천문측량의 기초자료로서 활용한다.

(단계 2) 정밀 1차망의 측정량을 실측측정량(예를 들면 표석간 거리)으로 하는 데이터베이스(D/B)를 구축한다.

(단계 3) Laplace점이 전국적으로 등밀도를 확보할 수 있도록 증설하며 GRS80 지오이드 모델과 Bessel 지오이드 모델을 정립한다.

(단계 4) 단계 2, 3, 4의 자료를 통하여 투영법(projection method)으로 XYZ 3차원망 조정법에 따라 성과를 산정한다. 이를 학술성과(Scientific Network)라고 지칭한다. 여기에는 여러 단계의 복합적인 성과산정 과정을 거치게 되며 장기적인 전면갱신의 기초가 된다.

(단계 5) VLBI점을 결정하고 GPS 절대측위 등을

통하여 기초적인 기준계의 변환요소를 산정하며 지오이드 모델의 결정이나 기설삼각망의 정오차를 추정하도록 한다.

(단계 6) 재정비된 1차망의 결과와 GPS망의 독립 또는 조합에 의해 기설삼각망 성과와 WGS 성과를 산정함으로써 지심좌표계에 의존하는 한국원점기준계를 설정한다. 이때 기설삼각망과 WGS84간의 정밀한 변환요소가 결정되어야 하며 평면직각좌표계도 새롭게 설정되어야 한다.

(단계 7) 안정된 기설 1등, 2등삼각점 또는 기설 1등삼각점을 적절히 선정하여 독립된 GPS망을 구축하고 상대측위를 연차적으로 실시하여 정밀 1차망의 재정비와 병행하여 실시한다.

(단계 8) 1993년도에 정밀 1차 기준점망에 대한 1단계의 관측이 완료되면 전면적인 정밀 1차 기준점망의 재정비를 통하여 정확도 향상을 기하고 투영법에 따른 조건을 부여한다. 이 정밀 1차망의 재정비는 GPS망의 구성과 병행되도록 하여 완료가 동시에 이루어질 수 있도록 한다.

(단계 9) 새로운 정밀 1차기준점의 성과를 당시까지 관측된 모든 측량 데이터를 조합하여 이상적인 정밀 1차기준점의 기본삼각망 성과를 산정한다.

(단계 10) 정밀 1차점의 성과에 기초하여 정밀 2차망의 보조삼각망의 성과를 산정한다. 이때는 2차망을 전면적으로 재조정하거나 기존성과를 변환하여 구한다.

(단계 11) 단계 9, 단계 10의 결과를 새로운 한국원점계 성과로서 전면 재고시 하고 지적분야나 공공기준점 또는 지도와 수치지도의 자료를 변환할 수 있도록 한다. 이 시점에서는 다른 분야(또는 기관)의 성과변경을 협력하여 처리한다.

5. 고 찰

일반적으로 삼각점의 정확도는 평면위치에서 약 ± 10 cm, 표고에 대해서 약 ± 15 cm라고 알려지고 있으며(武田(1968)), 다음 표 5는 일본 삼각망의 경우에 대하여 실제 데이터로부터 결정한 정확도를 요약한 것이다.¹⁷⁻¹⁹⁾

일본의 경우 1, 2등 삼각망의 삼각형 폐합차를 계산한 결과를 보면 2등의 경우 평균제곱근 값이 $\pm 2.1''$ 이며, 1등의 경우(본점, 보점 포함) $\pm 1.5''$ 로 나타나고

표 5. 일본 삼각망의 정확도

구 분	1등 삼각보점	2등 삼각점	3등 삼각점	4등 삼각점
평균변장 관측법	25 km 6대회상당 각관측법	8 km 6대회	4 km 3대회	2 km 2대회
삼각형 폐합차	2"(3")	5"	10"	20"
• 삼각형폐합차에 의한 1방향오차	0.7"(0.6")	0.8"	1.6"	2.2"
• 조정계산에 의한 1방향 오차 (기지점 고정)	0.9"	1.3"	2.3"	3.2"
• 조정계산에 의한 수평위치	0.13m	0.08m	0.04m	0.03m

① ()의 결과는 武田(1968) "측량학 개론"에 의함.

② 기타는 일본측지학회 "측지학 개론"에 의함.

있다. 그러므로 삼각형이 6개 방향이므로 $\sqrt{6}$ 으로 나누면 0.8"와 0.7"의 1방향오차가 된다.

이를 고려한다면 우리나라 1등 삼각점은 2등용 측각기재를 사용하였으나 변장이 30 km인 관계로 각관측법을 채용하고 삼각형 폐합차를 5"로 하였기 때문에 일본의 2등 삼각점에 상당하는 측각이 실시된 것으로 볼 수 있다(표 6 참조).

또한 국내 2등 삼각점은 삼각형 폐합차가 7"이므로 관측방법은 일본의 2등과 동일하지만 폐합차와 변장에서 약간 다르므로 비례관계에 의하여 구하면 1방향오차는 1.12"이다. 국내 3등 삼각점의 경우에는 삼각형 폐합오차가 10"제한이므로 측각의 경우에는 일본의 3등점과 완전히 동등하다.

그러나 4등 삼각점의 경우에는 좌표계산에서 전방교회법에 의한 도해법을 이용하고 측정되지 않은 점에 대해서는 보각을 이용하는 등의 문제점을 안고 있으나 각 측정에서는 3등과 동등하므로 일본의 4등과 동등할 것으로 추정할 수 있으며, 위치 정확도의 면에 있어서는 상당히 낮은 것으로 판단되므로 국가기준점으로 사용하는 데에 많은 제약이 있을 것으로 생각된다.

종합적으로 볼 때, 1, 2, 3등 삼각점은 일본의 1등 보점, 2등점, 3등점과 측각에 있어서는 동등한 수준일 것으로 생각되나, 평균변장이 더 크므로 위치정확도가 다소 낮은 상태였다고 말할 수 있다.

현재의 정밀 1차기준점측량은 표 3과 표 6을 고려할

표 6. 국내 삼각망의 정확도 (추정)

구 분	1등 삼각보점	2등 삼각점	3등 삼각점	4등 삼각점
평균변장 관측법	30 km 6대회상당 각관측법	10 km 6대회	5 km 4대회	2.5 km 3대회
삼각형 폐합차	5"	5"	10"	20"(?)
• 삼각형폐합차에 의한 1방향 오차	1.0"(0.8")	1.1"	1.6"	3.2"
• 시준오차 (방향오차×거리)	0.15m	0.05m	0.04m	0.04m
• 조정계산에 의한 1방향오차 (기지점 고정)	-	1.6"	2.4"	4.8"
• 조정계산에 의한 수평위치	-	0.08m	0.06m	0.06m

※4등 삼각점은 폐합규정이 없으므로 일본의 경우를 참조한 수치임.

때 1910년대의 대삼각보점측량과 측각정확도에서 거의 동등하다고 말할 수 있으며 정밀 2차 기준점 측량은 1910년대의 소삼각 1등점 측량(현재의 3등삼각점)과 측각정확도에서 거의 동등한 것으로 생각할 수 있다.

따라서 정밀 1, 2차 기준점망을 기설 1, 2등 삼각점에 결합한다면 갱신된 성과는 모두 3등 삼각점(1910년대의 소삼각 1등점)의 정확도를 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 또 다른 한편으로는 2차기준점망의 측각정확도가 기설 3등삼각점과 동등하지만 평균변장이 2.5 km이므로 위치정확도는 훨씬 향상될 수 있으며 동시조정을 실시하는 관계로 계산정확도에서도 양질의 상태를 유지할 수 있을 것이다.

그러나 이 갱신성과도 1910년대의 대삼각(본법, 보점)측량의 성과를 유지하고 있음에 유의할 필요가 있으며 동경원점의 체계가 유지되는 관계로 장기적으로는 독립된 한국원점성과의 구축이 필요하다는 사실을 내포하고 있다는 점이 강조되어야 할 것이다.

6. 결론 및 제언

우리나라의 기설 삼각점은 1910년대 측량체제와 6.25동란 이후에 응급복구한 성과를 이용하고 있으므로

개선이 시급하며 체계적인 성과관리가 필요하다. 따라서, 기설삼각망을 분석하고 정밀삼각망의 성과산정방안에 대하여 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현재 구성되고 있는 정밀 1차 기준점측량은 1910년대의 대삼각보점(현재 2등 삼각점) 측량에 상당하는 측각 및 위치정확도를 확보하도록 구성되고 있으며, 정밀 2차 기준점측량은 소삼각 1등점(현재 3등 삼각점)과 동등한 측각정확도 및 대폭 향상된 위치정확도를 확보하도록 구성되고 있는 것으로 판단된다.

2. 정밀삼각망 성과의 산정은 정밀 1차망 성과산정과 현 실용성과의 갱신성과 산정의 2단계로 실시하고 기설삼각점의 기준계를 유지하는 것이 합리적이다.

3. 정밀 1차망 성과는 안정된 기설 1등 삼각점에 결합하는 방식으로서 BL망 조정법에 의해 전국규모의 동시조정을 통해 구하고 장기적인 한국원점 성과의 구축에 활용하도록 한다.

4. 실용성과의 갱신은 정밀 1차망과 정밀 2차망을 조합하여 안정된 기설 1, 2등 삼각점에 결합하는 방식으로서 XY망 조정법에 의하여 지역별로 갱신성과를 산정하고 고시한다.

5. 갱신성과는 3, 4등 삼각점을 통합하여 관리하고 삼각점 번호와 성과표의 내용은 현실에 적합하도록 개선이 필요하며 장기적으로 정밀 1차망의 재정비와 새로운 GPS망의 구성을 통한 한국원점 성과의 구축이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설부 국립지리원의 1992년도 측지연구사업의 일환으로 한국측지학회에서 수행한 결과의 일부이며 자료의 제공과 협조에 대하여 관계자 여러분께 사의를 표합니다.

참고문헌

1. 국립건설연구소(1960), 측지관계 규정집.
2. 국립지리원(1975), 정밀삼각측량 작업요령.
3. 국립지리원(1980), 우리나라 기설측지망에 관한 조사연구, 측지기술발전 연구보고서중 일부임.
4. 국립지리원(1980), 측량성과기준(안) 및 동해설, 삼각측량.
5. 국립지리원(1986), 정밀 2차 기준점측량 작업규정.

6. 국립지리원(1988), 정밀 1차 기준점측량 작업규정.
7. 김경수(1991), 기준점 측량의 작업규정에 대한 연구, 한양대학교 산업대학원, 석사학위논문.
8. 백은기, 이영진(1991), 가중측점망 조정법의 적용에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, **11**(4), pp.133-141.
9. 유의준(1972), 우리나라 측지사업의 당면 문제, 측량, 창간호, pp.19-31.
10. 이영진(1989), 고밀도 측지망의 결합조정에 관한 연구, 한양대 대학원, 박사학위논문.
11. 이영진(1991), 회박행렬의 기법을 이용한 대규모 측지망의 조정, 대한토목학회 논문집, **11**(4), pp.143-150.
12. 이영진, 이석찬(1989), 국가 기준점망의 고밀도화를 위한 결합체계, 한국측지학회, **7**(2), pp.27-34.
13. 조선총독부 임시토지조사국(1918), 조선토지사업보고서(지반측량편).
14. 지리연구소(1960), 지리연구소 업무와 내용.
15. 최윤수(1991), 우리나라 정밀측지망의 동시조정에 관한 연구, 성균관대 대학원, 박사학위논문.
16. 최재화(1989), 우리나라 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구, 국립지리원.
17. 原口 昇(1959), 三角・天文測量, 森北出版.
18. 日本測地學會(1974), 測地學の 概觀.
19. 武田通治(1968), 測量學概論, 山海堂.
20. Anderson, O. and W.L. Weng(1983), Computation and Data-Management of National Densification Network, Proc. of Fig XVII International Congress, Sofia, **506**(5), 1-10.
21. Bomford, G.(1980). Geodesy Oxford-University Proess.
22. Bossler, J.D. and N. Bodnar(1988), Redefinition of The North American Networks.
23. Chrzanowski, A., N. Conellopoulos(1974), Problems Arising from Redefinition in Densification Surveys, The Canadian Surveyor, **28**(5), 732-738.
24. Federal Geodetic Control Committee(J.D. Bossler chairman)(1984). Standards and Specifications for Geodetic Control Networks, NOAA.
25. Komaki, K.(1985), The Readjustment of The First Order Triangulation Network by The Projection Method, Japan G.S.I.
26. Nickerson, B.G., W.R. Knight, A. Voon, and R. Caldwell(1986), Horizontal Geodetic Network Densification, The Canadian Surveyor, **40**(1), 13-22.
27. Richardus, P.(1984), Project Surveying (2nd ed.), Balkema, A.A., Publishers, chap, 14.
28. Steeves, R.R., C.A.M. Chamberlain, and M. Berube (1988), Future Network Maintenance in Canada, papers for the CISM Seminars on the NAD '83 Redefinition in Canada and the Impact of Users, CISM, 1-34.
29. Vanicek, P. and F.N. Lugoe(1986), Rigorous Densification of Horizontal Network, J. of Surveying Engineering(ASCE), **112**(1), 18-29.