

시설물 현황도 작성을 위한 GPS와 토탈스테이션 측량의 적용 및 성과분석

Evaluation of GPS and Totalstation Surveying for Facilities Mapping

박병욱¹⁾ · 이대근²⁾ · 양경주³⁾

Park, Byung Uk · Lee, Dae Geun · Yang, Gyung Joo

Abstract

This study presents the detailed methods for facilities mapping using GPS and Totalstation. From the control survey by GPS network adjustment, the level of significance for the height value of fourth order triangulation stations used in this study was estimated about 10cm. According to the result of verification for the transformation coefficients of national coordinate, which were announced by the National Geographic Information Institute, RMSE of coordinate transformation was found out as $\pm 0.546m$ that can be applied to a map scale less than 1/10,000. The accuracy analysis of height determination by Totalstation for the traverse points spaced average 90m showed that RMSE came out $\pm 9mm$ on the basis of direct leveling, so it indicated that trigonometric leveling by Totalstation was correct comparatively. The result of accuracy analysis of GPS/RTK surveying on traverse points showed that RMSE came out $\pm 33mm$ in horizontal location on the basis of Totalstation's outcome and $\pm 15mm$ in height value on the basis of direct leveling. In the construction survey, GPS/RTK surveying is quicker and more economical than Totalstation surveying in the feasible areas of GPS surveying, but there were many impossible areas for GPS/RTK surveying by the obstacles like a building.

Keywords : GPS, RTK, Totalstation, Facilities Mapping

요 지

본 연구에서는 GPS 및 토탈스테이션 측량을 시설물 현황도 작성에 적용하기 위한 구체적인 방법을 제시하였다. GPS 망조정에 의한 기준점측량 결과 본 연구에 사용된 4등 삼각점의 표고 신뢰도가 약 10cm 이내임을 알 수 있었다. 또한, 국토지리정보원에서 공고한 국가좌표 변환계수에 대한 검증결과 평균제곱근오차가 $\pm 0.546m$ 로 나타나 1/10,000 이하의 축척에 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 측점간 평균거리가 90m인 도근점에 대하여 토탈스테이션의 표고결정 정확도를 분석한 결과, 직접수준측량의 성과를 기준으로 평균제곱근오차가 $\pm 9mm$ 로 나타나 토탈스테이션에 의한 간접수준측량도 비교적 정확함을 알 수 있었다. 또한 도근점을 이용하여 GPS/RTK 방법의 정확도 분석을 실시한 결과 평균제곱근오차는, 수평위치에 대하여 토탈스테이션의 성과를 기준으로 $\pm 33mm$, 표고에 대해서는 직접수준측량의 성과를 기준으로 $\pm 15mm$ 로 나타났다. 현황측량에 대하여 토탈스테이션과 GPS/RTK 측량을 비교한 결과, GPS 측량이 가능한 지역에서는 토탈스테이션보다 GPS/RTK 측량방법이 더욱 신속하고 경제적이다, GPS 현황측량은 건물 등에 의해 측량이 불가능한 지역이 많음을 알 수 있었다.

핵심용어 : GPS, RTK, 토탈스테이션, 시설물 현황도 작성

1. 서 론

GPS 측량은 측위위성으로부터 데이터를 수신하여 관측점의 3차원 위치를 결정하는 것으로, 높은 정확도와 장거

리 측량이 가능하고 관측점간의 시통과 기상의 영향을 받지 않아 종래의 측량방법에 비하여 정확성, 경제성, 효율성에 있어서 우수한 것으로 평가되고 있다. 이에 따라 측량분야에서 GPS는 기준점측량은 물론 주요시설물의 위치결

1) 정희원 · 한경대학교 토목공학과 부교수(E-mail:ukpark@hnu.hankyong.ac.kr)
2) 연결저자 · (주)한국종합기술개발공사 조경부(E-mail:ldg416@hanmail.net)
3) 정희원 · (주)인화엔지니어링 전무이사(E-mail:gjyang@inwha.co.kr)

정, 각종 변위측정, 육·해상 현장의 측설, 실시간 GIS 데이터베이스 구축 등 많은 분야에서 활용되고 있다(최윤수 등, 2002 ; 장상규 등, 2001 ; 서용운 등, 2000). 한편 재래식 측량방법에 있어서도 광파거리측정기와 디지털 테오돌라이트를 병합한 토털스테이션의 등장으로 기준점측량의 효율성이 향상되었뿐만 아니라 현황측량에 있어서도 기존의 평판측량 대신 토털스테이션의 활용이 증대되고 있다. 따라서 오늘날 지상측량에 있어서는 GPS 측량과 토털스테이션 측량이 주류를 이루어 가고 있는 추세이다.

본 연구에서는 이러한 GPS 및 토털스테이션 측량을 대학교의 시설물 현황측량에 적용해 봄으로서 각 각의 정확성, 경제성, 신속성을 비교 분석하여 장단점을 파악하고자 하였으며, 아울러 이러한 측량방법을 현황측량에 적용하기 위한 구체적인 방법을 제시하고자 한다. 국내의 선행연구로 유상근 등(2000) 및 이인수 등(2002)에 의해 이와 유사한 주제의 내용이 발표된 바 있으며, 두 연구에서 모두 GPS에 의한 현황측량이 수목 및 건물 등의 장애에 의하여 원활치 않음을 보여주고 있다. 그러나 유상근 등의 연구에서는 토털스테이션 측량을 GPS 측량의 보완수단으로만 활용하였고 정확도 분석 등이 이루어지지 않았으며, 이인수 등의 연구에서는 GPS/RTK 측량과 토털스테이션측량의 간단한 정확도 분석만 제시되었으며 RTK 측량의 오차가 비교적 크게 제시되었다. 본 연구에서는 시설물 현황도 작성을 위한 기준점측량, 도근점측량, 현황측량의 단계별로 GPS 및 토털스테이션 측량을 적용하기 위한 구체적 방법을 제시하였으며, 각 단계별로 다양한 정확도 평가를 실시하고, 현황측량에 있어서의 시간 및 투입 인력을 비교하여 경제성 및 신속성을 분석하였다.

2. 실험 방법

본 연구의 대상지역은 경기도 안성에 위치한 한경대학교 교내로 하였으며, 건물, 도로, 화단, 주차장, 운동장, 부지 경계 등을 측량 대상으로 하였다. 일차적으로 연구대상지 주변의 4등 삼각점 2점을 이용하여 교내에 2개의 기준점을 설치하기 위한 GPS 정지측량을 실시하였다. 이때 고정점으로 사용하는 4등 삼각점에 대한 고시성과를 검증하기 위하여 수원, 원주, 서산, 청주의 GPS 상시관측점 데이터를 활용하였으며, 이 과정에서 최근 국토지리정보원에서 발표한 국가좌표 변환계수를 이용하여 좌표변환을 실시함으로써 이에 대한 검증도 동시에 이루어졌다.

한편, 기준점 설치를 위한 GPS 망조정에 있어서 고정점인 삼각점의 표고성과는 정확도가 떨어지므로, 주변의 2등

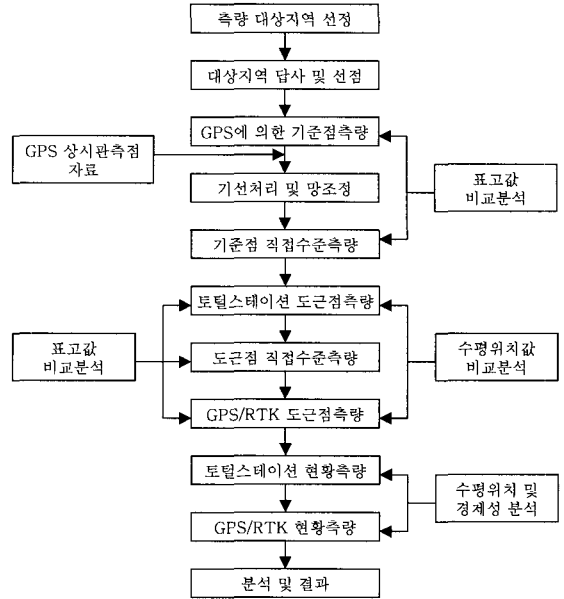


그림 1. 관측 및 분석 흐름도

수준점으로부터 직접수준측량에 의해 교내 기준점에 대한 표고를 결정하였으며, 이를 GPS 망조정 결과와 비교하여 삼각점 표고성과의 정확도를 평가하였다.

토털스테이션에 의한 현황측량을 위하여 교내 2개의 기준점을 바탕으로 18개의 도근점을 추가로 설치하고 이를 결합트래버스망으로 구성하여 도근점측량을 실시하였다. 토털스테이션에 의한 도근점측량시 수평위차뿐만 아니라 표고도 같이 측정하여 이를 직접수준측량 결과와 비교함으로써 토털스테이션에 의한 표고결정의 정확도를 검증하였다. 이러한 도근점 성과를 바탕으로 토털스테이션을 이용하여 대학시설물에 대한 현황측량을 실시하였다.

GPS에 의한 현황측량에 있어서는 이동측량 방법중 RTK 방법을 적용하였으며, 이를 위하여 교내 2개의 기준점으로부터 GPS 정지측량 방법으로 RTK 기준국을 제3공학관 옥상에 설치하였다. 우선 RTK 측량의 정확도를 검증하기 위하여 도근점에 대하여 RTK 측량을 실시하여 토털스테이션 측량성과와 비교하였으며, 이후 시설물에 대하여 RTK 방법으로 현황측량을 실시하였다.

이러한 본 연구의 관측 및 분석 흐름도를 그림 1에 나타냈다.

3. 기준점측량

3.1 GPS 관측망 구성

토털스테이션에 의한 현황측량을 위해서는 대상지역내

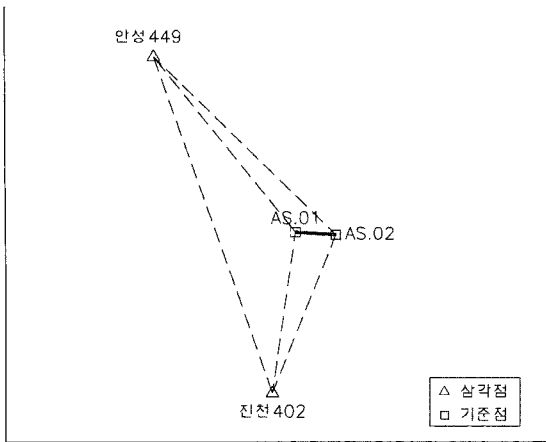


그림 2. 기준점측량을 위한 GPS 관측망도

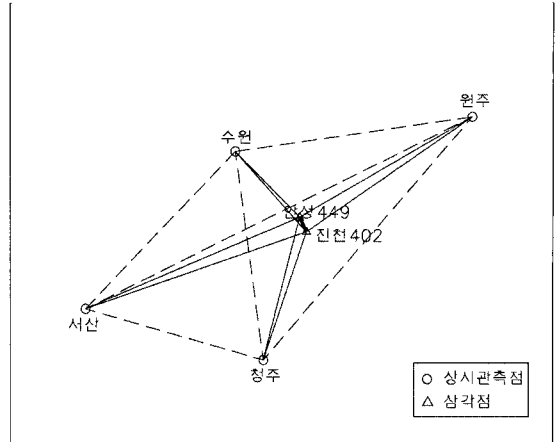


그림 3. GPS 상시관측점을 포함한 관측망도

에 좌표를 아는 기준점이 최소한 2점 이상 확보되어야 한다. 이를 위하여 교내에 상호 시통이 가능하면서 가급적 변장의 길이가 길고 위성의 수신에 영향을 받지 않는 곳에 2개의 기준점(AS.01, AS.02)을 설치하고, 이에 대한 좌표를 결정하기 위하여 그림 2와 같이 대하 주변의 4등 삼각점 진천 402와 안성 449를 연결하는 GPS 관측망을 구성하여 GPS 정지측량을 실시하였다. 관측일은 2003년 2월 23일이며, 약 2시간 정도 동시 관측하였다. 관측장비로는 Trimble사의 4000ssi와 4800, 5700 시스템을 사용하였으며, 이 시스템은 정지측량시 수평위치 5mm±1ppm, 수직위치 10mm±1ppm의 정확도를 가지고 있다.

3.2 GPS 상시관측점을 활용한 삼각점 고시성과 검증

최근 GPS 측량이 확대 보급되고 세계적인 추세에 따른 한국측지좌표계의 재정립 필요성에 따라, 국토지리정보원에서는 2001년 12월 측량법 개정을 통하여 “지리학적 경위도는 세계측지계에 따라 결정한다”고 명시하였으며, 경위도좌표의 변경은 2003년부터 시행하되 2006년까지는 기존측지계의 성과를 병행하여 사용하도록 하였다. 한편, 아직까지는 전국의 삼각점에 대한 세계측지계 성과가 고시되지 못한 상태이며, 이에 따라 본 연구에서의 현황도 작성은 기존측지계를 기준으로 하였다.

우리나라 국가삼각점 성과는 대부분 신뢰할 수 있지만, 간혹 삼각점 관리의 소홀로 문제가 발생된 삼각점도 있기 때문에, 기준점 성과산정에 앞서 고정점으로 활용하는 4등 삼각점에 대한 고시성과 검증을 실시하였다. 이를 위하여 연구대상 지역에 가장 가까이 위치한 GPS 상시관측점인

수원(SUWN), 원주(WNJU), 서산(SEOS), 청주(CNJU) 상시관측점 데이터를 이용하여 그림 3과 같은 관측망을 형성한 후, 상시관측점의 세계측지계 성과를 고정하여 4등 삼각점에 대한 세계측지계 성과를 구하였다.

이후 삼각점의 세계측지계 성과를 기존측지계 성과로 변환하여 고시성과 검증을 실시하였다. 한편, 국토지리정보원에서는 2002년 12월 Bursa-Wolf 모델을 사용하여 기존측지계 측량성과를 세계측지계로 변환하여 사용할 수 있는 변환계수를 결정 공고하였으며 그 사용범위를 1/10,000 이하의 중·소축척 지도의 변환으로 제한하고 있다(안기덕, 2003). 여기서, Bursa-Wolf 모델은 서로 다른 지심좌표계를 상호 변환하기 위한 7-매개변수 변환모델로서, 식 (1)과 같이 원점이동(ΔX , ΔY , ΔZ)과 3축의 회전량(ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z) 및 축척변화량(ΔS)으로 두 좌표계 간의 관계를 표현하는 것이다(이영진 등, 1997; 최운수 등, 2001). 본 연구에서는 삼각점의 세계측지계 지심좌표 성과를 기존측지계 지심좌표 성과로 변환하는데 있어서 이러한 국가좌표 변환계수 및 식 (1)의 역변환식을 사용하였으며, 이를 다시 측지좌표계로 환산한 후 TM 투영법을 적용하여 고시성과와 비교하였으며 그 결과를 표 1에 나타냈다.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta S) \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_z & -\epsilon_y \\ -\epsilon_z & 1 & \epsilon_x \\ \epsilon_y & -\epsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

한편으로 고시된 국가좌표 변환계수의 특징을 살펴보기 위하여 현재 국토지리정보원에서 운영하고 있는 전국 14개 상시관측점에 대하여 이를 적용하여 보았다. 즉, GPS

표 1. 국가좌표 변환계수를 적용한 4등 삼각점의 고시성과 검증 결과

관측점 명칭	지심좌표 변환		평면직각좌표(기존측지계 성과)		
	관측된 세계측지계	변환된 기존측지계	변환 계산된 성과	고시된 성과	차이(m)
진천 402	X: -3087709.913	X: -3087340.541	X: 388,753.726	X: 388,753.490	dX : 0.236
	Y: 4059152.769	Y: 4058667.185	Y: 223,024.932	Y: 223,024.557	dY : 0.375
	Z: 3817467.309	Z: 3817087.522			dXY: 0.443
안성 449	X: -3086148.672	X: -3085779.478	X: 391,224.741	X: 391,224.549	dX : 0.192
	Y: 4058529.103	Y: 4058043.583	Y: 222,153.229	Y: 222,152.837	dY : 0.392
	Z: 3819478.017	Z: 3819098.018			dXY: 0.436

표 2. GPS 상시관측점에 대한 국가좌표 변환계수 검증 결과

관측점 명칭	평면직각좌표(기존측지계 성과)		투영 원점	dX(m)	dXY (m)
	변환 계산된 성과	고시된 성과		dY(m)	
수원 (SUWN)	X: 419,285.515	X: 419,285.263	중부	0.252	0.348
	Y: 204,740.402	Y: 204,740.162		0.240	
전주 (JUNJ)	X: 260,376.148	X: 260,376.044	중부	0.104	0.113
	Y: 212,134.852	Y: 212,134.897		-0.045	
광주 (KWNJ)	X: 186,581.016	X: 186,580.759	중부	0.257	0.354
	Y: 191,749.748	Y: 191,749.504		0.244	
대구 (TEGN)	X: 267,359.066	X: 267,358.754	동부	0.312	0.404
	Y: 182,066.794	Y: 182,066.537		0.257	
강릉 (KANR)	X: 474,276.071	X: 474,275.760	동부	0.311	0.314
	Y: 188,336.750	Y: 188,336.708		0.042	
제주 (CHJU)	X: 52,040.703	X: 52,040.274	중부	0.429	1.072
	Y: 156,240.038	Y: 156,239.056		0.982	
서울 (SOUL)	X: 458,596.365	X: 458,596.050	중부	0.315	0.346
	Y: 206,967.968	Y: 206,967.947		0.021	
원주 (WNJU)	X: 426,550.463	X: 426,550.038	중부	0.425	0.462
	Y: 283,859.795	Y: 283,859.613		0.182	
진주 (JINJ)	X: 186,404.016	X: 186,403.411	동부	0.605	0.668
	Y: 113,369.948	Y: 113,369.664		0.284	
울진 (WULJ)	X: 387,894.495	X: 387,893.672	동부	0.823	0.825
	Y: 236,710.815	Y: 236,710.877		-0.062	
서산 (SEOS)	X: 364,014.006	X: 364,013.371	중부	0.635	0.667
	Y: 154,775.099	Y: 154,774.895		0.204	
태백 (TABK)	X: 406,559.353	X: 406,558.808	동부	0.545	0.562
	Y: 197,778.425	Y: 197,778.289		0.136	
상주 (SNJU)	X: 320,151.207	X: 320,150.976	동부	0.231	0.362
	Y: 123,176.662	Y: 123,176.383		0.279	
청주 (CNJU)	X: 347,400.354	X: 347,400.082	중부	0.272	0.395
	Y: 241,183.429	Y: 241,183.142		0.287	
RMSE				±0.437	±0.546
				±0.326	

상시관측점의 세계측지계 고시성과를 국가좌표 변환계수를 사용하여 기존측지계의 성과로 변환하여, 고시된 벡셀 경위도 성과와 비교함으로써 국가좌표 변환계수에 대한 검증용 실시하였다. 표 2는 이것을 평면직각좌표로 변환하여 나타낸 것이다.

표 2에서 보면 GPS 상시관측점에 대하여 국가좌표 변환계수를 적용한 결과 수평위치에 대한 평균제곱근오차(RMSE)가 $\pm 0.546m$ 로 나타나, 당초 국토지리정보원에서 제시한 바와 같이 1/10,000(위치정확도 0.7m) 이하의 측척에 이 변환계수를 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 제주 관측점에서는 1m 정도까지의 변환오차가 발생하고 있으며, 거의 모든 상시관측점에서의 오차가 동일한 방향성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 본 연구에서 삼각점 고시성과 검증에 사용된 수원, 원주, 서산, 청주 상시관측점에서의 변환오차가 표 1에서 나타난 삼각점의 검증오차(수평위치: 약 0.44m)와 거의 같아, 삼각점의 고시성과 검증오차는 국가좌표 변환계수 적용에 따른 오차로 판단할 수 있으며, 따라서 본 연구에 사용된 삼각점의 고시성과는 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

3.3 기준점측량 성과분석

삼각점의 고시성과를 신뢰할 수 있음에 따라, 그림 2의 관측망에 대해서 4등 삼각점의 고시성과를 고정하여 교내 기준점 성과산출을 위한 망조정을 실시하였으며, 이때 관측망의 전체 면적이 비교적 작으므로 관측망을 삼각점의 평면직각좌표 및 표고 성과로 고정하여 기선처리 및 망조정함으로써 교내 기준점의 평면직각좌표 및 표고를 직접 구하였다.

한편, 대부분의 삼각점 표고는 간접수준측량에 의해 얻어진 값이므로 신뢰성이 떨어진다 할 수 있다. 본 연구에서는 GPS 망조정으로 결정된 기준점의 표고값을 확인하기 위하여 연구대상 지역 부근에 있는 2등 수준점을 이용하여 왕복측량 방법으로 기준점에 대한 직접수준측량을 실시하

였다. 수준측량 장비로는 Leica사의 NA2002 전자레벨을 사용하였으며, 그 성능은 1mm까지 자동 관측이 가능하다.

표 3에 GPS 기준점측량 성과 및 직접수준측량 결과를 나타냈으며, GPS 기준점측량에서 얻은 표고값을 직접수준측량 결과와 비교한 결과 각각 0.072m, 0.082m 차이가 나타나 4등 삼각점의 표고 신뢰도가 약 10cm 정도임을 알 수 있었다. 물론 2점에 대한 결과만으로 전체 4등 삼각점의 표고 신뢰도를 평가하는 것은 무리가 있으므로, 이에 대해서는 향후 보다 많은 실험결과들이 제시되어야 할 것이다.

4. 도근점측량

4.1 토털스테이션에 의한 도근점측량

토털스테이션에 의한 현황측량을 위해서는 대상지역 전역에 걸쳐 적당한 간격으로 도근점이 배치되어야 한다. 본 연구에서는 그림 4(1/1,000 수치지도를 바탕으로 표시)와

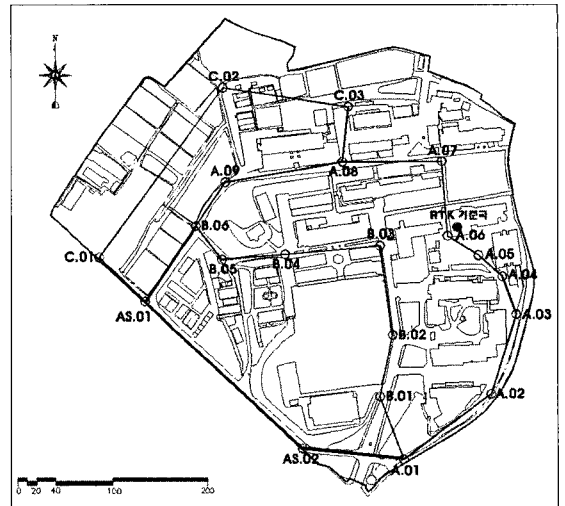


그림 4. 결함트래버스 관측망도

표 3. 4등 삼각점 고시성과를 고정한 교내 기준점 성과 및 직접수준측량 결과

관측점 명칭	GPS 기준점측량 성과				직접수준측량 성과 H(m)	표고 차(m)
	X(m)	Y(m)	H(m)	비 고		
진천 402	388,753.490	223,024.557	78.540	X,Y,H 고정		
안성 449	391,224.549	222,152.837	137.980	X,Y,H 고정		
AS.01	389,985.154	223,206.699	28.831		28.759	0.072
AS.02	389,830.611	223,372.819	29.810		29.728	0.082

같이 기준점을 바탕으로 1차 결합트래버스 망을 구성하고, 다시 2개의 2차 결합트래버스 망을 구성하여 총 18개의 도근점을 설치하였으며, 도근점간 평균거리는 90m 정도이다. 토털스테이션을 이용하여 각 측점에서 수평각과 도근점간의 거리를 측정하였으며, 사용된 측량장비는 Sokkia의 Set4110R로서 측각 정확도는 5", 거리측정 정확도는 $5\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ 이다.

결합트래버스 망에 의한 도근점측량시 토털스테이션으로 도근점에 대한 표고도 직접 측량한 후 망조정함으로써 표고를 결정하였으며, 이를 직접수준측량 결과와 비교하였다. 직접수준측량은 AS.01 및 AS.02를 기지로 하여 자동레벨(Sokkia B20)을 사용하여 결합수준측량 방법으로 실시하였다. 표 4에 토털스테이션 측량 및 직접수준측량에 의한 도근점의 표고값을 나타냈으며, 직접수준측량 결과를 기준으로 할 때 토털스테이션에 의한 표고 결정의 평균제곱근오차는 $\pm 9\text{mm}$ 로 나타났다. 토털스테이션에 의한 간접수준측량 오차는 거리에 비례함을 감안할 때, 측점간 거리가 약 100m인 경우 토털스테이션에 의한 간접 표고측정도 비교적 정확함을 알 수 있다.

표 4. 토털스테이션 측량 및 직접수준측량에 의한 표고값 비교

측 점	토털스테이션 표고값(m)	직접수준측량 표고값(m)	dH(m)
A01	33.137	33.131	0.006
A02	36.646	36.636	0.010
A03	36.783	36.780	0.003
A04	37.471	37.463	0.008
A05	40.183	40.179	0.004
A06	40.275	40.270	0.005
A07	39.777	39.772	0.005
A08	36.515	36.511	0.004
A09	33.582	33.580	0.002
B01	34.979	34.977	0.002
B02	36.681	36.677	0.004
B03	38.074	38.073	0.001
B04	37.509	37.509	0.000
B05	31.318	31.322	-0.004
B06	31.741	31.745	-0.004
C01	37.236	37.217	0.019
C02	30.087	30.071	0.016
C03	28.503	28.485	0.018
RMSE			± 0.009

4.2 GPS/RTK에 의한 도근점측량

GPS/RTK 측량을 위해서는 RTK 기준국이 필요하다. 본 연구에 사용된 RTK용 라디오 모뎀의 수신범위는 약 3km 정도이지만 대학시설물과 같이 고층 빌딩이 존재할 경우 수신범위는 현저히 저하된다. 따라서 본 연구에서는 RTK 기준국을 교내에서 가장 높은 위치에 자리한 제3공학관 옥상에 설치하고, 교내 기준점 2점을 고정된 GPS 정지측량 방법으로 위치를 결정하였다.

GPS/RTK에 의한 현황측량에 앞서, RTK 측량의 정확도를 검증하기 위하여 4.1절에서 결정한 도근점에 대하여 RTK 측량을 실시하였다. RTK 측량에서는 기지점을 대상으로 미리 자체검정을 실시하는 것이 좋으므로 이동용 GPS 수신기로 AS.01과 AS.02에서 자체검정을 실시하여 위치오차를 확인하였으며, A04, C02를 추가적으로 확인하여 현장검증을 실시하였다. RTK의 적용에 있어서 수신시간은 측정당 5초를 기준으로, 오차범위 한계는 수평으로 0.015m, 수직으로 0.030m의 기준을 가지고 데이터를 받았다. 그 결과, 대부분 도근점의 성과를 취득했지만 A06과 A07에서는 라디오 모뎀의 수신이 되지 않아 성과를 취득하지 못했다. 그림 5는 RTK 기준국에 설치된 수신기와 라디오 모뎀의 모습을 나타낸다.

RTK에 의한 도근점측량 성과를 분석하기 위하여 수평위치에 대해서는 토털스테이션의 성과를 기준으로, 표고에 대해서는 직접수준측량 성과와 비교하였다. 그 결과, 표 5에 나타난 바와 같이 수평위치의 평균제곱근오차는 $\pm 33\text{mm}$, 표고의 평균제곱근오차는 $\pm 15\text{mm}$ 로 나타나 비교적 정확함을 알 수 있다. 여기서 수평위치오차가 표고오차보다 크게 나타난 것은 RTK 측량시 이동용 수신기를 삼각대를

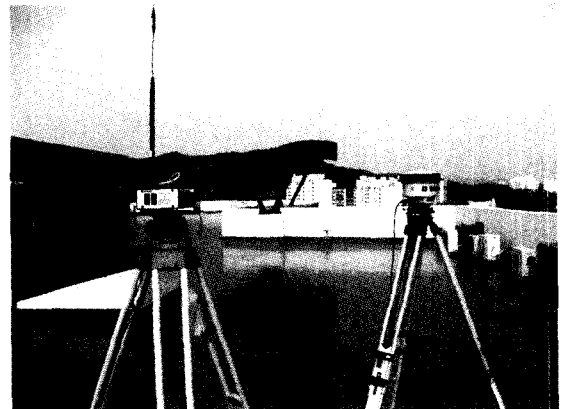


그림 5. RTK 기준국의 수신기와 라디오 모뎀

표 5. GPS/RTK에 의한 도근점측량의 정확도 분석

측점	RTK-토탈스테이션			RTK-직접수준
	dX(m)	dY(m)	dXY(m)	dH(m)
A01	0.006	0.035	0.036	-0.005
A02	0.024	0.015	0.028	-0.002
A03	0.003	-0.010	0.010	-0.007
A04	0.018	0.018	0.026	-0.006
A05	-0.024	0.021	0.032	0.025
A06	-	-	-	-
A07	-	-	-	-
A08	-0.052	-0.037	0.064	0.005
A09	-0.022	-0.005	0.023	-0.018
B01	-0.018	0.010	0.021	-0.006
B02	-0.021	0.021	0.030	-0.08
B03	0.021	0.029	0.036	-0.016
B04	0.033	0.001	0.033	0.000
B05	-0.033	0.016	0.037	0.007
B06	-0.003	0.001	0.003	0.003
C01	0.038	-0.034	0.051	-0.044
C02	-0.012	0.003	0.012	0.007
C03	-0.027	0.016	0.031	0.005
RMSE	±0.025	±0.021	±0.033	±0.015

사용하여 정확히 구심하지 않고 폴을 활용하였기 때문인 것으로 판단된다.

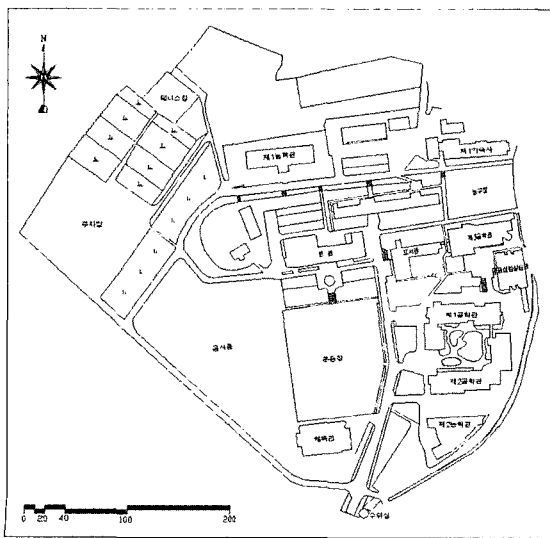


그림 6. 토탈스테이션을 이용한 현황측량 평면도

5. 현황측량

도근점을 기지점으로 하여 토탈스테이션에 의한 현황측량을 실시하였다. 구체적으로는, 이미 좌표가 결정된 기준점 또는 도근점을 기계점과 후시점으로 각각 선정하여 방향각을 설정한 후 지형 및 시설물의 가장자리에 프리즘을 세워 현황측량을 수행하였다. 토탈스테이션의 경우 접근이 불가능한 지역을 제외하고는 모든 부분에서 측량이 가능하여 대상지 전체의 성과를 얻는데 전혀 문제가 없었다. 그림 6은 토탈스테이션을 이용하여 얻은 현황측량 성과를 나타낸 것이다.

GPS/RTK에 의한 현황측량은 토탈스테이션 측량과는 달리 도근점을 이용할 필요가 없다. 본 연구에서는 제3공학관 옥상의 RTK 기준국에 GPS 수신기 및 라디오 모뎀을 고정시키고, RTK 이동용 GPS 수신기를 토탈스테이션으로 현황측량한 시설물과 같은 위치로 이동시키는 방법으로 현황측량을 실시하였다. 그림 7은 RTK 이동측량에 의한 현황측량 성과를 나타낸 것이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 RTK의 경우 운동장 주변이나 주차장 같이 위성신호 수신에 장애가 없는 부분에서는 성과를 취득하는데 문제가 없었으나, 건물주변은 RTK 기준국이 높은 위치에 있음에도 불구하고 위성신호 수신에 불가능하여 거의 성과를 얻지 못하였다. 따라서, 고층건물 주위와 같은 경우에는 GPS에 의한 현황측량보다는 토탈스테이션을 이용하여 측

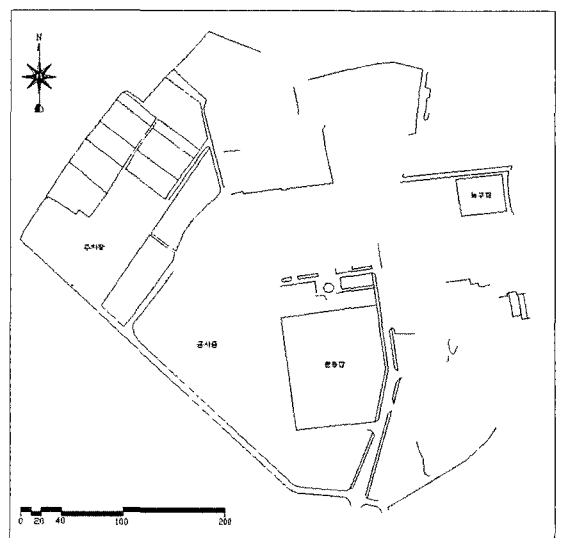


그림 7. GPS/RTK를 이용한 현황측량 평면도

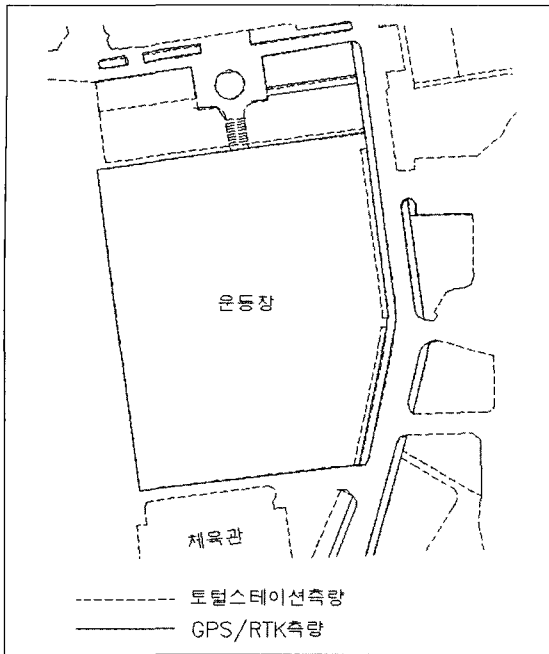


그림 8. 운동장 주변의 현황측량 성과 비교도

량을 하여야 함을 알 수 있다.

토탈스테이션 및 GPS에 의한 현황측량 성과의 일치정도를 파악하기 위하여, GPS/RTK에 의한 현황측량 성과가 비교적 많이 취득된 운동장 주변의 평면도를 서로 중첩시켜 수평위치를 비교하여 보았다. 그 결과를 그림 8에 나타냈으며, 두 성과가 상당히 잘 일치함을 알 수 있다.

한편, RTK 측량으로는 거의 현황측량 성과를 얻을 수

표 6. 현황측량 투입시간 및 인력 비교

구 분	측량일	측량시간	투입인력
토탈스테이션 현황측량	3월 22일	8시간	4명
	4월 5일	6시간	3명
	4월 6일	5시간	3명
	4월 13일	6시간	2명
	4월 19일	6시간	2명
	소 계	31시간	
GPS/RTK 현황측량	4월 26일	9시간	1명
	5월 1일	6시간	1명
	소 계	15시간	

없었던 건물에 대하여 건물 옥상에서 RTK 측량을 실시하고 그 결과를 토탈스테이션 성과와 비교하여 보았다. 그림 9는 제3공학관과 공동실험실습관에 대한 성과 비교로서 서로 유사한 결과를 나타내고 있다(공동실습관의 원형 테라스 부분은 옥상에서 접근할 수 없어 차이가 발생함).

현황측량의 경제성을 분석하기 위하여 각 측량방법별로 현황측량에 투입된 시간과 인력을 산정하였으며, 그 결과를 표 6에 나타냈다. 토탈스테이션 현황측량의 경우 약 3명씩 31시간을 측량한 반면, RTK 현황측량의 경우 1명이 15시간 정도 측량을 하여 성과를 얻었다. 물론 RTK 측량에서는 자료취득이 불가능한 지역이 많았으므로 정확히 비교 평가할 수는 없지만, 인력 및 투입시간에 있어서 RTK 측량이 토탈스테이션 측량에 비해 2~3배 정도 경제적이고 신속함을 알 수 있다.

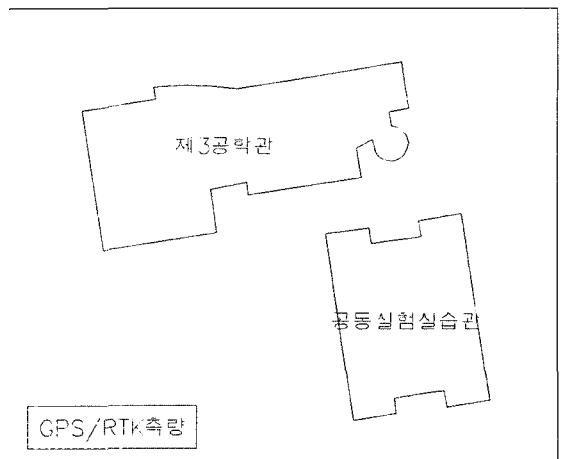
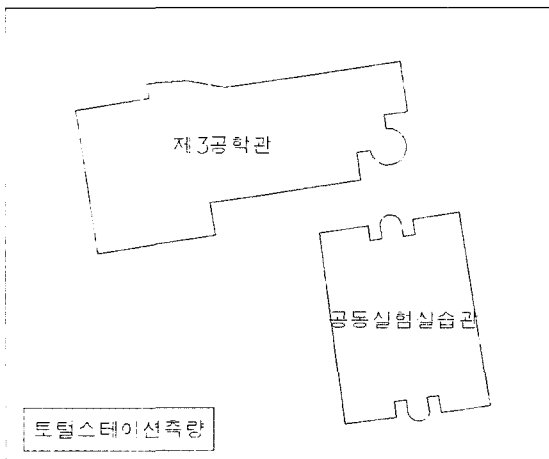


그림 9. 건물의 현황측량 성과 비교도

6. 결 론

본 연구에서는 최근 지상측량의 주류를 이루어 가고 있는 GPS 및 토털스테이션 측량을 대학교의 시설물 현황측량에 적용하기 위한 구체적인 방법을 제시하였으며, 각각의 측량 단계에서 정확도 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GPS 정지측량에 의한 기준점측량에서 4등 삼각점의 X, Y, H를 고정하여 구한 기준점의 표고값과 2등 수준점을 이용하여 직접수준측량한 성과를 비교한 결과, 본 연구에 사용된 4등 삼각점의 표고 신뢰도가 약 10cm 정도임을 알 수 있었다.

2. 측점간 평균거리가 90m인 도근점에 대하여 토털스테이션과 직접수준측량의 표고 성과를 비교한 결과, 직접수준측량 결과를 기준으로 할 때 토털스테이션에 의한 표고 결정의 평균제곱근오차가 $\pm 9\text{mm}$ 로 나타나, 토털스테이션에 의한 표고 측정도 비교적 정확함을 알 수 있었다.

3. 도근점을 이용하여 GPS/RTK 방법의 정확도 분석을 실시한 결과 평균제곱근오차는, 수평위치에 대해서는 토털스테이션의 성과를 기준으로 $\pm 33\text{mm}$, 표고에 대해서는 직접수준측량의 성과를 기준으로 $\pm 15\text{mm}$ 로 나타났다.

4. 현황측량에 대하여 토털스테이션과 GPS/RTK 측량을 비교한 결과, GPS/RTK 측량이 가능한 지역에서는 토털스테이션보다 GPS 측량방법이 더욱 신속하고 경제적이거나, GPS 현황측량은 건물 등에 의해 측량이 불가능한 지역이 많음을 알 수 있었다. 따라서 도시지역의 현황측량에 있어서는 사전조사를 통하여 GPS/RTK 측량과 토털스테이션

측량의 측량범위를 정하여 병행하는 것이 효과적이라고 판단된다.

5. 2002년 12월 국토지리정보원에서 공고한 국가좌표 변환계수를 전국의 14개 GPS 상시관측점에 적용하여 좌표변환 성과를 분석한 결과 평균제곱근오차가 $\pm 0.546\text{m}$ 로 나타나, 당초 국토지리정보원에서 제시한 바와 같이 1/10,000 이하의 축척에 이 변환계수를 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 서용운, 최윤수 (2000), 실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 18권, 제 4호, pp. 343-350.
- 안기덕 (2003), 세계측지계와 측량성과 운영방안, 측량, 2003년 1·2월호, 대한측량협회, pp. 36-41.
- 유상근, 이규석 (2000), GPS 및 TotalStation을 이용한 PC용 개체지향 도시 기반 시설물 관리 시스템 구축, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 18권, 제 1호, pp. 41-49.
- 이영진, 차득기, 김홍진 (1997), 한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구(III), 국립지리원, pp. 10-12.
- 이인수, 이기부, 박운용 (2002), RTK GPS측량과 토털스테이션에 의한 교내 평면도 제작, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 10권, 제 4호, pp. 69-76.
- 장상규, 김진수, 신상철, 박운용 (2001), GPS에 의한 댐 변형 모니터링의 범위 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 19권, 제 3호, pp. 237-244.
- 최윤수, 박병욱, 김웅 (2002), GNSS 활용을 위한 공항 주요시설물의 WGS-84 좌표결정 및 성과분석, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 22권, 제 6-D호, pp. 1297-1304.
- 최윤수, 윤홍식 (2001), 한국 지구 중심 좌표계 결정을 위한 성과산출 등에 관한 학술연구, 국립지리원, pp. 93-96.

(접수일 2003. 11. 15, 심사일 2003. 12. 1, 심사완료일 2003. 12. 7)