

## RTK GPS측량과 토탈스테이션에 의한 교내 평면도 제작 Production of A Plane Figure of Campus with RTK GPS and TS

이인수\* · 이기부\*\* · 박운용\*\*\*

Lee, In Su · Lee, Kee Boo · Park, Woon Yong

### 要 旨

오늘날에 정보는 토목공학에서 매우 중요하다. 대개 이 정보는 측량 및 지형공간정보체계로부터 획득된다. 또한 이 정보는 지능형교통체계(ITS), 항법, 시설물 관리, 그리고 수치지도제작, 기타 등의 분야에서 매우 중시되고 또한 앞으로 다양한 분야에서 응용될 것이다. 그리고 측량분야에서, GPS 위성이 새로이 도입되어 중요한 역할을 하고 있다.

본 연구에서는 GPS 위성을 이용한 측위기술 중 하나인 실시간 동적측량(RTK)을 대학의 평면도 제작에사용하였다. 이를 통해 화단 일부분과 도로에 대한 정보를 획득할 수 있었지만 주위 건물에 대해서는 획득이 불가능 하였다. 그러므로 이것은 전체 작업에서 작업의 효율성을 저하시키게 된다. 그래서 이런 경우 토탈스테이션, 평판, 그리고 테오도라이트 등의 기타 보조장비가 사용되어야 할 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

Nowadays information is very important for Civil Engineering. This information is acquired mostly via Surveying & Geo-spatial Information System. Also this information is close to the ITS(Intelligent Transformation System), Navigation, Facility Management, and Digital Mapping, etc and applicable to versatile fields from now on. And in surveying fields, GPS satellites are introduced newly and play a great rules.

In this study, RTK(Real-Time Kinematic GPS), one of the positioning technology with GPS satellites, is used for the production of Plane Figure of Campus. The results shows that it is possible to extract the information for some part of a flowerbed and road, but not so for the buildings surrounded. Therefore this give occasion to the a lowering of work effectiveness over the total work-flow. So at such a time, it will be expected that the supplementary systems such TS(Total Station), Plane-table, and theodolite, etc have to be used.

\* (주)한성유아이엔지니어링 부설연구소 연구원(lis9919@hsuie.co.kr, 053-382-4400)

\*\* 영남이공대학 토목과 교수(kblee@ync.ac.kr, 053-650-9311)

\*\*\* 동아대학교 건설해양공학부 토목공학전공 교수(uypark@daunet.donga.ac.kr, 051-200-6708)

## I. 서론

현대시대는 컴퓨터와 인간의 지능이 결합되어 운영 되는 최첨단 정보화 시대이다. 인간은 과거부터 지금까지 무한한 정보를 획득하고자 노력하였다. 특히 우리 인간생활과 밀접한 토목분야에서의 위치정보는 도로시설물 관리, 지능형 교통시스템(ITS : Intelligent Transportation System), 항법(Navigation) 등 여러 분야와 관련되어 서로 결합되고 있다. 특히, 측량장비의 발전으로 위치결정분야는 신속하고 정확하게 자료를 제공할 수 있게 되었다.

최근에는 전자파 거리측량기(EDM)와 각과 거리를 동시에 측정할 수 있는 토탈스테이션(TS) 등과 같은 첨단측량장비가 실용화되어 보다 정확하고 신속한 측량이 가능하여 졌으며, 최근에는 미국방성에 의해 개발된 범지구위치측정시스템(GPS)에 의한 정밀 장거리 측정이 가능하게 되어 전세계적인 측량이 이루어 질 수 있게 되었을 뿐만 아니라 컴퓨터와 연결되는 정밀측정기의 개발로 실시간으로 3차원좌표를 현장에서 직접 획득할 수 있게 되었다.

이에 본 연구에서는 GPS 위성측량으로 영남이공대학 교내의 평면도를 제작하여 그 작업의 효율성을 TS에 의한 작업성과 비교 검토하였다.

## II. GPS와 TS 기초 이론

### 1. 범지구위치측정시스템

범지구위치측정시스템인 GPS는 미국방성(DoD : Department of Defense)이 개발한 위성 무선항법시스템으로 전세계에서 전천후로 언제 어디서나 정확한 3차원 좌표를 획득할 수 있다. 적도에 대해 55°의 경사각을 가진 6개 궤도면에 24개 위성이 배치되어 있다. 위성은 약 12시간 주기로 상공 20,183km 높이에서 원 궤도운동을 하고 있다. 또한 지구에서 언제 어디서 최소 4개 위성을 관측할 수 있도록 21개 활동 위성과 3개의 예비 위성으로 구성되어 있다. 표 1은 GPS 위성측량 방식과 기존의 측량방식의 장단점을 서로 비교한 것이다.

### 2. 토탈스테이션

일반적으로 거리는 전자파 거리 측정기로, 각은 트랜짓(Transit)으로 측정하여 왔으나, 최근에 토탈스테이션으로 거리와 각을 동시에 관측할 수 있으며 계산 및 제도에까지 일괄하여 처리할 수 있다.

토탈스테이션은 기본적으로 각도측정, 거리측정, 좌표측정을 수행하며, 응용측량으로서 후방교회법(resection), 트래버스측량(traverse), 스테이크아웃(statke-out), 지거측정(offsets), 원격높이측정(REM : Remote Elevation Measurement), 대변측량(MLM : Missing Line Measurement) 그리고 지형측량 등을 수행한다. 그림 1은 토탈스테이션을 이용한 현재의 작업 구조를 보여주고 있다. 그림에서 토탈스테이션으로 획득한 자료를 측량계산프로그램을 통해 각종

표 1. 기존측량방식과 GPS 위성측량 방식의 특징 비교

기존측량방식	GPS 위성측량 방식
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1차원, 2차원, 3차원 측량</li> <li>· 날씨의 제약을 받음</li> <li>· 시통의 제약이 있음</li> <li>· 개인차에 의한 오차발생</li> <li>· 비표준 좌표계가 다수 존재</li> <li>· 측량시 과다한 시간과 비용</li> <li>· 측량결과 계산 처리 복잡</li> <li>· 측량작업 중 Q. C 불가능</li> <li>· 노동 집약적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3차원 측량</li> <li>· 날씨의 제약 없음</li> <li>· 시통의 제약 없음</li> <li>· 개인차가 고정밀도 측량</li> <li>· 단일 표준좌표계</li> <li>· 짧은 시간에 많은 측량작업 수행</li> <li>· 측량 후 즉시 처리</li> <li>· 측량작업 중 Q. C 가능</li> <li>· 첨단 컴퓨터시스템</li> </ul>

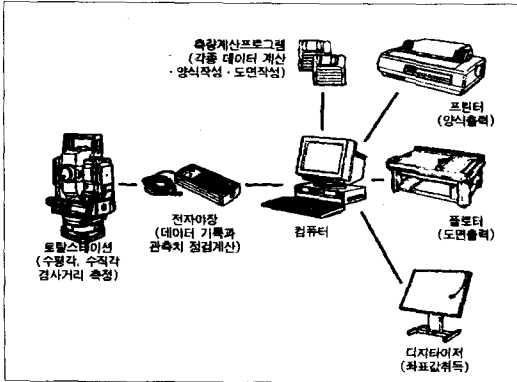


그림 1. 토탈스테이션을 이용한 작업구조

데이터와 도면을 작성하여 원하는 출력장치를 통해 수요자에게 전달된다.

### 3. 실시간 동적측량

실시간으로 고정밀도 위치결정을 위해서 이중차분은 반송파 위상을 이용해서 보완되어야 한다. 이것은 원시(raw) 의사거리, 반송파, 또는 그것들의 보정량이 0.5~2s 간격으로 기지국으로부터 이동국에 전송되어야 한다. 이것을 “실시간 동적측량(RTK : Real-Time Kinematic)” 라고 한다. 공간적 비상관성 (decorrelation)이 이중차분 관측값의 정확도를 격하시키므로, 기지국과 이동국의 거리는 수십 km로 제한되어야 한다. 미지정수는 이동 중 초기화 기법으로 고정되거나 실수해(float solution)로 결정될 수 있다. 미지정수가 정수가 되면 수cm 정확도를 얻을 수 있다. 실수해를 사용해서 1m~10m의 정확도를 얻을 수 있다.

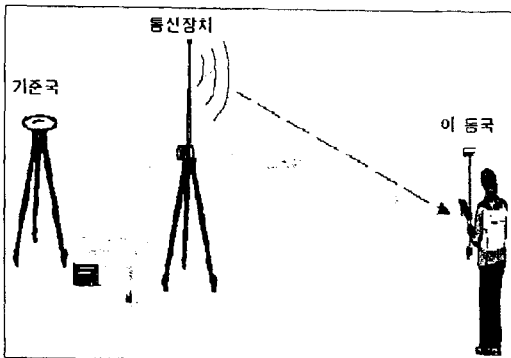


그림 2. 실시간 동적측량 원리

그리고 그림 2는 실시간 동적측량의 개념도를 나타내고 있다.

RTK는 기준국에서 반송파 위상과 보정자료를 이동국에 전송하여 이동국의 관측치와 결합하여, 최종의 이동국의 좌표를 획득한다. 보통 현장에서 각 측정당 공유시간은 3초 이상이 된다. 그리고 위치결정을 위한 초기화 시간(initialization)은 정지관측 시에는 1분, 기지점 초기화에는 10초, 그리고 이동 중 초기화 (OTF : On the Fly) 기법을 이용할 경우 10초 정도의 시간이 소요된다.

## III. 실험 및 자료관측

### 1. 실험

#### 가. 실험대상지역

본 대학은 GPS 위성측량의 실험지로는 주위에 고층건물과 나무 등의 장애물이 많이 있어서 좋은 환경은 되지 못한다. 하지만 연구의 목적이 GPS 위성측량의 장점과 단점을 파악하여 현장 실무의 적응성을 파악하는 데 있다. 다른 여러 분야에서의 연구와 달리 GPS 위성의 신호수신이 용이하지 못한 곳에서 실험을 수행함으로써, 실질적인 GPS 위성측량의 효용성을 판단할 수 있을 것으로 사료되어, 이 지역을 실험지로 선택하였다. 평면도 제작은 대학교내의 중심부의 좌우지역에 분포한 주요 건물과 화단 등을 그 대상으로 하였다. 그림 3은 실험지역의 전경을 나타내



그림 3. 대학 교내 전경

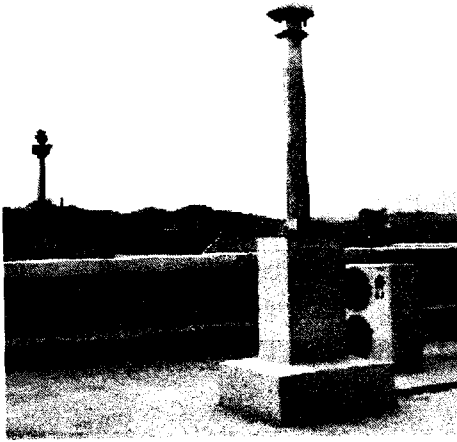


그림 4. GPS 상시관측소



그림 5. 이동국 수신기와 안테나

고 있다.

나. 실험장비

실험을 위해 Ashtech사의 Z-Fx 상시관측소 시스템과 Choke Ring 안테나, 그리고 Ashtech UZ-12 수신기와 Marine III-L1/L2 안테나를 사용하였으며, 정지 측량일 경우 5 mm+1 ppm의 정밀도를 가지고 있다. 그리고 토달스테이션은 Leica사의 TPS 1000 시리즈의 TC-1100으로 각측정 정확도는 1"이며, 거리측정은 자외선을 이용하여 표준모드 정확도는 2mm + 2ppm 이었다. 그리고 RTK 측량을 위해서는 Trimble사의 4700 SSI 시스템을 이용하였으며, 이 시스템은 최소 4대의 위성 추적 시 최소 2 epoch 관측의 경우 2cm + 2ppm의 정밀도를 가지고 있다. 여기서 그림 4는 상시관측소, 그리고 그림 5는 GPS 수신기와 안테나를 도시한 것이다.

2. 자료관측

본 실험에서는 기존의 삼각점을 활용한 기준점 측량을 배제하고, 본 대학의 토목공학관 옥상에 설치된 GPS 상시관측소를 이용하여 교내에 기준점을 설치하였다. GPS 상시관측소 좌표를 획득하기 위해 국립지리원의 상시관측소인 SUWN(수원 국립지리원), WULJ(울진기상대), CNJU(충북대학교), JUNJ(전북대학교), JINJ(진주 상수도 사업소)와 YNTC(영남이공대학)을 연결하는 상시관측소 망을 형성하였다. 2002. 4. 3일 정지측량(static surveying)을 통해 각각 24시간의 위성 데이터를 30초 마다 기록 저장하였으며, 영남이공대학의 GPS 상시관측소 시스템은 2주과 신호를 수신할 수 있으며, 실시간 이동측량의 방송자료를 전송할 수 있는 강력한 성능을 보유하고 있다. 실험에

표 2. WGS-84 및 BESSEL의 지리좌표

측점	WGS-84			BESSEL		
	위도[Deg, N]	경도[Deg, E]	타원체고[m,h]	위도[Deg, N]	경도[Deg, E]	정표고[m, H]
YNTC	35-50-54.43804	128-34-51.1269	117.174	35-50-43.7781	128-34-59.13764	88.750
SUWN	37-16-31.8536	127-03-15.2620	83.867	37-16-21.6559	127-03-22.8290	60.112
WULJ	36-59-31.1154	129-24-46.7800	80.756	36-59-20.7234	129-24-55.1066	52.235
CNJU	36-37-36.8211	127-27-40.4150	93.535	36-37-26.3463	127-27-48.0886	68.104
JUNJ	35-50-36.4277	127-08-06.4470	77.199	35-50-25.6447	127-08-14.0052	52.184
JINJ	35-10-23.1139	128-02-58.8240	122.032	35-10-12.0242	128-03-06.6384	93.796

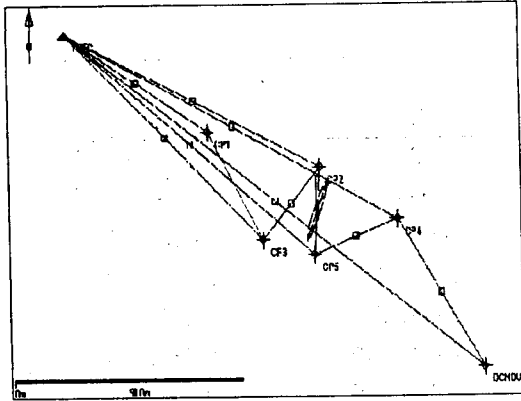


그림 6. 기선처리도

서는 상시관측소 망을 구성한 측점들에 대해 상용 S/W를 사용해서 기선거리, 망 조정 그리고 좌표변환을 통해 기존의 5개 상시관측소 성과를 고정하고, YNTC값의 성과를 획득하였으며, 표 2는 기존의 5개 상시관측소와 YNTC의 GRS80타원체에 의한 경위도 좌표와 타원체고와 Bessel 타원체에 대한 경위도 좌표와 정표고를 정리한 것이다.

표 3. WGS-84(지리좌표)

Point No.	위도[Deg, N]	경도[Deg, E]	타원체고[m, h]
CP1	35-50-53.36065	128-34-53.59317	97.788
CP2	35-50-52.96834	128-34-55.56817	97.144
CP3	35-50-52.17349	128-34-54.54483	97.251
CP4	35-50-52.39496	128-34-56.91582	97.230
CP5	35-50-52.00907	128-34-55.46035	97.202
BONBU	35-50-50.76510	128-34-58.41034	104.787
YNTC	35-50-54.43804	128-34-51.12690	117.174

표 4. WGS-84(지리좌표)

Point No.	위도[Deg, N]	경도[Deg, E]	타원체고[m, h]	sN[mm]	sE[mm]	sH[mm]
CP1	35-50-53.36065	128-34-53.59317	97.788	457.4	199.7	507.9
CP2	35-50-52.96947	128-34-55.56724	97.155	65.1	42.9	141.4
CP3	35-50-52.17350	128-34-54.54480	97.248	27.2	20.8	63.6
CP4	35-50-52.39492	128-34-56.91585	97.231	20.3	13.9	42.1
CP5	35-50-52.00882	128-34-55.46037	97.202	39.1	22.9	74.9
BONBU	35-50-50.76511	128-34-58.41046	104.782	30.6	19.0	78.4
YNTC	35-50-54.43804	128-34-51.12690	117.174	0.0	0.0	0.0

## IV. 자료 분석

### 1. 자료처리

#### 가. 기선처리

현장에서 실시간 이동측량을 위해 영남이공대학의 YNTC를 기준점으로 하여 교내의 7개 측점에 대한 정지측량을 수행하여 관측망을 구성하였다. 각 측점 사이는 거리가 50m 이내의 단기선이므로 관측시간은 20분, 그리고 저장은 30초 간격으로 수행하였다. 표 3은 기선처리 후 측점성과(지리좌표) 그리고 그림 6은 기선 처리도를 나타내고 있다.

#### 나. 망조정

망조정 전에 처리된 기선들은 관측망의 기선과 정확히 일치하지 않는다. 그래서 이 두 가지를 서로 일치시키기 위해 망조정 과정이 필요하다. GPS 관측망은 잉여 관측값을 포함하고 있으므로 이를 이용해서 모든 관측값(X, Y, Z)과 관측값의 차는 일관성을 가지도록 조정되어야 한다. 이미 처리된 기선의 성과과

표 5. Bessel(지리좌표)

Point No.	지리좌표		평면직각좌표	
	위도[Deg, N]	경도[Deg, E]	X(m)	Y(m)
CP1	35-50-42.70050	128-35-01.60413	260974.422	162142.072
CP2	35-50-42.30923	128-35-03.57838	260962.152	162191.558
CP3	35-50-41.51319	128-35-02.55582	260937.729	162165.795
CP4	35-50-41.73460	128-35-04.92710	260944.298	162225.323
CP5	35-50-41.34848	128-35-03.47147	260932.555	162188.749
BONBU	35-50-40.10458	128-35-06.42180	260893.903	162262.613
YNTC	35-50-43.77810	128-34-59.13764	261007.897	162080.327

표준편차를 기선 입력값으로 사용된다. 기준점 입력 값은 대학의 YNTC를 이용하였다. 표 4는 조정된 지리좌표를 나타낸 것이다.

다. 좌표변환

망 조정을 통해 획득한 WGS-84의 지심직각좌표 성분을 7변수 기법을 이용하여 Bessel 타원체의 지심 직각좌표 성분으로 변환하고, 이 지심직각좌표 성분(Bessel)을 지리좌표(Bessel)로 전환한 다음 동부원점에 대해 횡메르카토르 투영에 의해 평면직각좌표(X, Y)로 전환하였다. 표 5는 WGS-84에서 좌표변환된 Bessel 타원체 상의 지리좌표와 평면직각좌표(X, Y)를 나타낸 것이다.

가장자리로 이동하면서 1 측점 당 3~10초 정도의 점유시간을 가졌다. 실험을 통해 위성신호 수신에 용이한 장소에서는 수초 안에 고정해(정밀해)를 얻었고, 한 측점에 수분(minutes)을 점유하여 고정해를 얻는 경우도 있었으며, 그렇지 못한 경우에는 유동해나 단독해를 얻게 된다. 그림 7은 RTK 기법에 의한 평면도 성과이다.

나. 토달스테이션을 이용한 경우

토달스테이션으로 대학의 평면도를 작성하기 위해 Leica 사의 TPS 1000 시리즈인 TC-1100을 사용하였다. 기준점측량을 통해 획득한 기준점들에 기계점과 후시점을 선정 후 방향각을 설정한 후 지형의 가장자리로 프리즘을 이용하여 측량을 수행하였다. 이를

2. 대학의 평면도 제작

가. RTK 측량을 이용한 경우

본 연구에서도 실시간으로 현장에서 측점의 위치를 획득하기 위해 실시간 이동측량인 RTK 기법으로 대학의 평면도를 작성하였고, 이의 검정을 위해 현재 가장 널리 사용되는 토달스테이션으로 동일지역에 대한 평면을 작성하였다. RTK로 평면도를 제작 하기위해 작업지역에서 기준점 측량을 통해 평면직각좌표(X, Y)를 획득하기 위해 위성신호 수신에 용이한 곳에 GPS 기준국을 설치하고 기준국의 오차보정량을 실시간으로 이동국으로 전송하기 위한 통신장치인 모뎀과 무선안테나를 기준국근처에 설치하였다. 다음으로 작업지역의 평면도를 작성하기 위해 이동국을 지형의

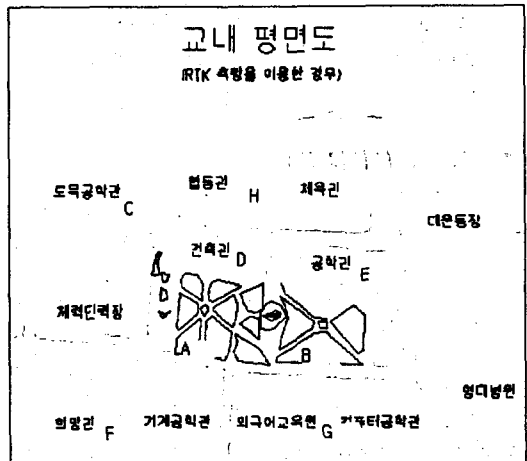


그림 7. RTK를 사용한 경우의 평면도

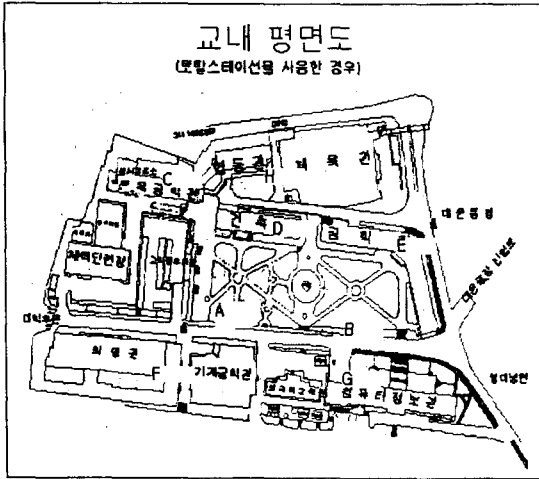


그림 8. 토탈스테이션을 이용하여 제작한 평면도

통해 그림 8과 같은 성과를 얻었다.

이 두 그림을 통해 나무가 우거진 장소나 건물이 밀집한 곳에서는 위치결정에 충분한 위성을 추적할 수 없으므로, RTK 기법의 경우, 평면도 제작이 거의 불가능함을 알 수 있었다.

그림 7을 통해 알 수 있듯이 RTK의 경우 A, B 지역의 경우에만 일부 평면도만 제작이 가능한 것으로 나타났고, 그 외에 지역에서는 거의 평면도 제작이 불가능하였다. 이 지역에서는 안테나의 상공이 거의 폐쇄되어 있거나 상공 15°방향에 장애물이 많아 위성신호 수신에 불가능하였기에 이런 현상이 발생한 것으로 사료된다. 그래서 이런 부분의 경우 토탈스테이션

으로 평면도를 제작하는 것이 효율적임을 그림 8에서 알 수 있다. 따라서 RTK 측량의 경우, 그 사용영역이나 사용범위에 대한 정확한 사전 지식이 있어야 할 것으로 사료된다.

다. 임의 기준점의 좌표차이와 해 유형 비교

(1) 토탈스테이션과 RTK 측량에 의한 임의 기준점 좌표 비교

RTK 측량과 재래식 측량기법(토탈스테이션)에 의한 측량 정밀도를 비교하기 위해 동일기준점을 사용하여 임의 기준점에 대한 평면직각좌표를 획득하였다.

표 6과 7에서 알 수 있듯이 측점 1, 2, 3, 9 (건축관 앞) 에서는 수평정밀도와 수직정밀도가 각각 약 0.25m-0.79m, 0.60m-1.27m로 매우 큰 오차를 보였고, 해유형도 미보정으로서 이 측점 지역에서는 4개 이상의 위성을 추적할 수 없으므로 모호정수를 결정할 수 없었거나 위성의 기하가 불량함을 알 수 있다.

반면에 측점 4, 5, 6, 7(토목공학과 주차차 내) 에서는 수평정밀도와 수직정밀도가 0.004m-0.036m로서 이 지역은 모호정수 결정에 용이한 충분한 위성을 추적할 수 있었고 위성기하도 좋았음을 알 수 있다. 그래서 매우 좋은 성과를 보여 재래식 측량기법을 대체할 수 있을 것으로 사료되며 작업시간도 줄어들 수 있을 것이다.

표 6. 기준점의 좌표 차이

Points	Total Station			RTK-GPS		
	N(m)	E(m)	H(m)	N(m)	E(m)	H(m)
1	260974.158	162142.904	66.763	260974.523	162148.192	66.586
2	260972.272	162161.873	66.629	260971.573	162161.275	64.434
3	260946.566	162124.903	64.404	260946.946	162125.244	63.589
4	260966.241	162126.032	64.317	260966.199	162126.047	64.353
5	260976.925	162118.957	64.318	260976.894	162118.980	64.314
6	260977.646	162111.025	64.189	260977.609	162111.064	64.222
7	260978.396	162103.075	64.005	260978.368	162103.101	64.019
8	260967.952	162107.309	64.126	260966.592	162106.861	68.382
9	260942.980	162105.161	64.010	260943.630	162105.003	62.982

표 7. 기준점의 해 유형 비교

Points	dN	dE	dH	수평정밀도	수직정밀도	해유형
1	-0.365	-5.288	0.177	0.358	0.595	미보정
2	0.699	0.598	2.195	0.785	1.272	미보정
3	-0.380	-0.341	0.815	0.419	0.636	미보정
4	0.042	-0.015	-0.036	0.020	0.030	L1 고정
5	0.031	-0.023	0.004	0.022	0.032	L1 고정
6	0.037	-0.039	-0.033	0.012	0.017	L1 고정
7	0.028	-0.026	-0.014	0.028	0.065	L1 고정
8	1.36	0.448	0.744	0.837	1.175	L1 유동
9	-0.65	0.158	1.028	0.727	0.993	미보정

V. 결론

RTK 측량에 의한 대학 평면도 제작의 결과 일부 화단과 도로부분에 대해서만 현황을 획득할 수 있었고, 건물 주위 현황은 얻을 수 없었으며 획득한 현황도 토달스테이션에 의한 성과와 큰 차이를 보였다. 이 경우 RTK 측량은 기존의 측량방식에 비해 정밀도와 시간측면에서 효율성이 크게 저하됨을 알 수 있었다.

또한 RTK 측량이 어려운 지역에서 임의 기준점 위치는 모두 미보정 또는 L1 유동해로 X, Y의 정밀도가 수평에서 수십cm, 수평에서 수십cm에서 수m로 결정되었으며 일부지역에서는 측점의 성과를 획득하기 위해 수분 이상 측점점유가 요구되었다.

따라서 향후 이런 지역에서 위치를 결정하고자 할 경우 다른 보조측량장비(토달스테이션, 광파기 등)를 활용하여야 할 것이며 GPS 위성측량장비를 더욱 더 경제적이고 효율적으로 사용하기 위해서는 먼저, 정밀한 현장조사를 통해 효율적인 인력구성과 장비의 결합이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 박운용, 이인수, 이기부, "RTK GPS/GLONASS 결합에 의한 차량의 이동궤적의 정확도 평가" 대한토목학회 논문집, 제 22 권 2-D, 2002.
2. 박운용, 홍순현, 이재원, 이인수, "GPS와 GLONASS 결합에 의한 동적 위치결정에 관한 연구", 대한토

목학회 논문집, 제 21 권 3-D, 2001.

3. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins (1997) GPS : Theory and Practice, pp.181-200.
4. Ashtech Office Suite for Survey : User's Manual(1997), pp 231.
5. Ashtech Inc(1997) GPS+GLONASS Technology and the GG24TM Receiver - Technical papers. Kifer Road, Sunnyvale, CA 94086 USA.
6. Günter Seeber(1993) Satellite Geodesy Foundations, Method, and Applications, pp. 350-355.
7. T.Hall, B.Burke, M.Pratt, and P. Misra(1997) Comparison of GPS and GPS+GLONASS Positioning Performance, Proceedings of ION GPS-97, pp. 1543-1550.