

계절별 RTK GPS의 Mapping 정확도 평가

이인수*

Accuracy Estimation of RTK GPS mapping in the Different Seasons

In-Su Lee*

요 약

본 연구에서 RTK GPS의 매핑 도구로서의 가능성을 알아보고 RTK GPS의 정확도에 영향을 주는 요인을 알아보기 위해 각각 봄과 여름에 동일대상지역에서 두 번의 현장 작업을 수행하였다. 실험결과, 겨울뿐만 아니라 나무숲이 우거진 봄에도 고층건물과 나무숲으로 둘러싸인 일부환경을 제외한 곳에서 RTK GPS로 매핑이 가능하였다. 하지만 RTK GPS의 이용성과 매핑 정확도는 높지 않았다. 따라서 위성신호수신이 용이하지 않은 도심지 등에서 RTK 매핑 시 Total Station 등의 기타 장비에 의한 현장보완측량이 필요할 것으로 사료된다.

주요어 : RTK GPS, Mapping, 가시위성 수, 계절, Total Station

ABSTRACT : In this study, RealTime Kinematic GPS(RTK GPS) was conducted twice at the same site in two different seasons, respectively to check the possibility of it as the mapping tool, and know the factor affecting the accuracy of it. As a result, most parts of a small garden except for the worst environments surrounded with lots of tree canopy and several buildings were mapped using RTK GPS even in spring, full of a green foliage and winter as well. However, the mapping accuracy and the availability of RTK GPS were not so high. The study showed that it is recommended in RTK GPS mapping to utilize Total Station, etc. in the worst urban environments unable to track the satellite signals with ease.

Keywords : RTK GPS, Mapping, Availability, Spring and Winter, Total Station

3) Ph. D, Visiting Postdoctoral Fellow, School of Surveying and Spatial Information Systems, University of New South Wales, Sydney, Australia. (E-mail: lis9919@yahoo.co.kr)

1. 서 론

Global Positioning System(GPS)는 다양한 응용분야에서 널리 사용되고 있다. 두 개의 GPS 반송파 신호, 즉 L1과 L2는 지적 측량, 지형 및 공사측량, 그리고 나아가 위성영상이나 수치영상을 이용한 정밀 수치지형모형(Digital Elevation Model; DEM) 제작을 위한 지상기준점 측량, 지진예지, 기상관측, 항법 등에 성공적으로 이용되고 있다.

반송파 사용에는 반송파 신호의 위상측정값에 포함된 미지정수(integer ambiguity)의 확인이 필요하다. 미지상수(ambiguity parameters)가 결정되어 일정한 정수로 고정(fixed)이 되면, 이동국(rover unit)의 위치는 대개 기준국(reference station)에 대해 수 센티미터(cm) 정확도로 추정될 수 있다. 기준국과 이동국을 사용하는 기술을 "differential positioning" 이라고 한다. 차분 기술(differential technique)로 GPS 관측값에 영향을 주는 많은 오차들을 제거할 수 있다. 위치 추정값에 남아있는 잔차(residual errors)는 대개 다중경로오차(multipath), 궤도오차(orbital errors) 그리고 대기에 의한 오차(atmospheric errors)에 기인한다. 이런 요소로 인해 GPS를 높은 정밀도를 요구하는 응용분야에 적용하는 것이 쉽지 않다. 키네마틱 GPS (kinematic GPS) 응용분야에서는 점유시간(occupation periods)이 대개 1분(minutes) 미만이므로, 잔차의 평균화(averaging)를 제약하게 된다(Timothy

R. Lemmon et al., 1999).

최근에는 이런 차분기술이 데이터의 후처리(post-processing)뿐만 아니라 실시간(real time)에서도 사용되고 있다. 실시간 자료전송이 일상화 되어, 기선벡터를 실시간으로 계산할 수 있게 해주고 있다(B. Hofmann-Wellenhof 외 2인, 1997). 따라서 이동국의 위치를 현장에서 실시간으로 계산할 수 있다. 이런 기술을 "RealTime Kinematic (RTK)" 라고 하고, 이 기법이 GPS의 다양한 응용분야 활용을 촉진시키는 하나의 "혁명(revolution)" 이 되고 있다.

RTK는 수치지적도(Digital Cadastral Map)의 매핑도구로서 이미 이용되었고(홍성언·박수홍, 2002), 또한 RTK와 TS를 이용하여 도로선형분석 및 GIS 구축에도 활용되는(장상규·홍순현, 2003) 등 그 활용범위가 증대하고 있다. 또 나아가 모바일 매핑(mobile mapping), 긴급통신(emergency communication), 원격통신(telecommunication) 그리고 재해방지(the prevention of disaster), 등 그 활용범위가 확대되고 있다. 하지만 RTK는 기준국과 이동국사이의 원활한 데이터 전송과 미지정수를 결정할 수 있는 충분한 위성추적이 이루어지지 않을 경우에 이 기법의 수행이 어려워지는 등 해결해야 될 많은 과제를 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 나무숲과 건물 등으로 둘러싸인 도심지에서 계절별로 RTK 실험을 수행하여 측정의 위치정확도를 평가하고, 나아가 TS 측량 성과와의 비교검증을 통해 매핑도구로서의 가능성을 확인하고자 한다.

2. 측위 이론

2.1 RTK 위성측량

실시간으로 높은 측위 정확도(decimeter or centimeter level)를 확보하기 위해서는, 반송파 위상측정값(carrier phase measurements)을 이용한 이중차분기술(double differencing technique)이 이행되어야 한다. 반송파 위상을 이용한 측위는 위성들과 수신기사이에서 동시에 관측된 측정값에 존재하는 공통 측정 바이어스(biases)를 제거하거나, 크게 감소시킬 수 있는 능력이 중요하게 작용한다. 만약 여러 위성에 대해 수신기에서 측정된 GPS 관측값들이 차분되면, 수신기와 관련된 바이어스는 제거될 수 있다. 나아가, 동일 위성에 대해 여러 대의 수신기들을 이용해서 동시에 다수의 GPS 관측값들이 형성되면, 위성과 관련된 바이어스들은 제거된다. 어떤 순간의 측정값에서도, 위성 s와 q에 대해 수신기 k와 i에 의해 동시에 측정된 반송파 위상측정값들을 차분함으로써, 다음과 같은 “이중-차분(double-difference)” 관측값을 얻을 수 있다.

$$\nabla \Delta P_{ki}^{sq} = P_k^s - P_k^q - P_i^s - P_i^q = \rho_k^s - \rho_k^q - \rho_i^s - \rho_i^q - \nabla \Delta v_{ki}^{sq} \quad (1)$$

여기서, i 와 k 는 수신기, s 와 q는 위성이며, P는 측정된 의사거리(the measured pseudo-range), ρ 는 수신기에서 위성까지의 실질적인 기하거리(the true geometric range from one receiver to one satellite), v는 관측모델에서 고려되지 않은 오차들(any other errors)이다.

그러므로 4개의 의사거리 측정값의 결합으로 1개의 새로운 관측값이 만들어진 다(일 방향 의사거리 측정값의 잡음보다 두 배 큰 잡음을 가지게 되어, 궁극에는 수m의 크기가 된다). 일반적으로, 의사거리 측정값은 L1 반송파의 C/A 코드로 만들어진다. 이런 동일한 과정이 반송파 위상측정값(L1 이나 L2 반송파)에도 적용되어, 미터(m) 단위를 가진 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\nabla \Delta \Phi_{ki}^{sq} = \Phi_k^s - \Phi_k^q - \Phi_i^s - \Phi_i^q = \rho_k^s - \rho_k^q - \rho_i^s - \rho_i^q + \lambda \cdot \nabla \Delta N_{ki}^{sq} + \nabla \Delta v_{ki}^{sq} \quad (2)$$

여기서, Φ 는 반송파 위상측정값, λ 는 파장 (L1 이나 L2), $\nabla \Delta N_{ki}^{sq}$ 은 이중차분 미지정수로서, 식 (1)과 비교해 볼 때 식 (2)에서 유일하게 새로 등장한 항으로 정수(integer)이다. 이중차분 반송파 위상의 잡음은 1센티미터(cm)이하이다. 반송파 위상의 이용은 데이터 처리기법을 통해 기선변수, Δx_{ki} , Δy_{ki} , Δz_{ki} (기하학적 거리 항인 $\Delta \rho_{ki}^{sq}$ 에 포함된) 와 미지변수 $\nabla \Delta N_{ki}^{sq}$ (개개 위성 s, q의 각각의 쌍에 대해)를 명확히 해야 하기 때문에 문제가 될 수 있다. 최소제곱조정(least squares adjustment)에서 위치와 미지정수를 분리할 수 있을 정도의 1시간 이상의 충분한 자료의 수집에 의해 static GPS 측량을 적용함으로써 “모호한” 반송파 위상자료를 정확하게 처리할 수 있다. 기선성분이 하나의 옵션인 것처럼 동시에 미지변수들이 실수값으로 추정되더라도, 그 해의 강도를 더욱 강화시키기 위해 이들 변수들은 정수이어야 한다는 사실을 강조해야 한다. 만

약, 실수 값을 가진 미지상수 추정값과 그들의 정밀도를 토대로, 그 미지상수의 실질적인 정수 값을 결정할 수 있으면, 식 (2)에 포함된 추정변수집합으로부터 그것들은 제거될 수 있을 것이다. 그 결과 미지의 이중차분 관측값 $\nabla\Delta\Phi$ 은 기지의 이중차분 의사거리 관측값 $\nabla\Delta P$ 으로 전환-그리고 위치추정 문제는 매우 정밀한 "range" 관측값을 포함하는 문제가 된다. 이런 일련의 미지변수 추정과, 최적의 정수를 선정하는 절차를 "ambiguity resolution" 이라고 하며, 이것은 기선길이, 위성의 수, 위성-수신기 사이의 기하, 이 주파수 사용 유무 그리고 관측세션 (session)의 길이에 종속 된다.

미지정수 결정이 단지 static GPS 반송파 위상자료에 적용될 수 있는 절차라고 위에서 언급하였지만, 최근에는 수신기들 중 한 대가 이동 중에도 미지정수를 결정할 수 있는 "on-the-fly" 알고리즘이 개발되었다. 미지정수가 결정되면, 모든 반송파 위상자료는 정확한(centimeter level), 순간측위에 사용될 수 있는 range-like 관측값으로 전환될 수 있다.

최근에 이중차분 관측값을 생성하고, 미지정수를 결정하기 위해 그리고 위치계산을 위해, 기지국 수신기에서 수집된 반송파 위상자료가 이동국 수신기에 탑재된 컴퓨터에서 이용가능 하도록 적절한 통신 링크가 제공되면 동적(kinematic) 반송파위상 기반 측위가 실시간(in real-time)으로도 가능할 것이다(Rizos. C, 1999). 이것을 "실시간 이동 GPS 측량 (RealTime Kinematic; RTK)" 이라고 한다.

2.2 Total Station 측량

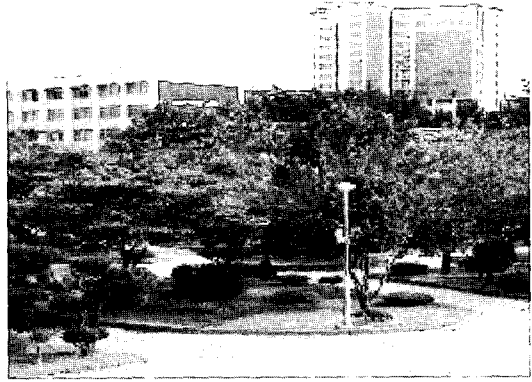
토탈스테이션(Total Station; TS)은 현재 가장 널리 이용되는 측량장비 중 하나로 디지털 theodolite와 전자파 측거기(Electromagnetic Distance Measurement; EDM)의 기능이 결합되어 있으며 보다 작업을 빠르게 그리고 정확하게 수행하기 위해 마이크로프로세서(microprocessor)가 탑재된 일체형이다. 전자파측거기는 광파를 송신하는 TS의 상부에 장착된 장치로, 빛이 프리즘(prism)에 반사되어 광파거리측정기로 되돌아오는 데 소요되는 시간을 측정하여, 이를 거리로 환산한다. 이런 기능을 통해 TS는 수평각과 수직각, 경사거리, 수평거리와 수직거리를 관측할 수 있다. 또한 자료저장을 위해 전자야장과 실시간으로 삼각계산을 수행하는 계산기를 가지고 있으며, 자료전송을 위해 컴퓨터와도 인터페이스(interface) 할 수 있다.

3. 현장 자료 획득

본 연구에서는 RTK의 이용성 및 위치 정확도를 평가하기 위해 동일 실험지역에서 서로 다른 두 계절(봄과 겨울)에 실험을 수행하였다. 봄에는 그림 2와 같이 나무잎이 무성하게 자란상태이고, 겨울(그림 1)에는 나뭇잎이 모두 떨어져 가지만 앙상하게 남은 상태이므로 나무숲(또는 잎)이 RTK의 정확도에 어떠한 영향을 가져오며, 나아가 도심지 등에서 RTK의 이용성을 짐작할 수 있는 좋은 계기가 될 것으로 사료된다. 또한 그림을 통해서 볼



[그림 1] 겨울



[그림 2] 봄

수 있듯이 실험대상지역의 근접지에는 5층~6층 건물들이 놓여있다. 그리고 RTK 이용성 및 매핑 정확도를 검증하기 위하여 TS에 의한 현장측량도 동시에 수행하였다.

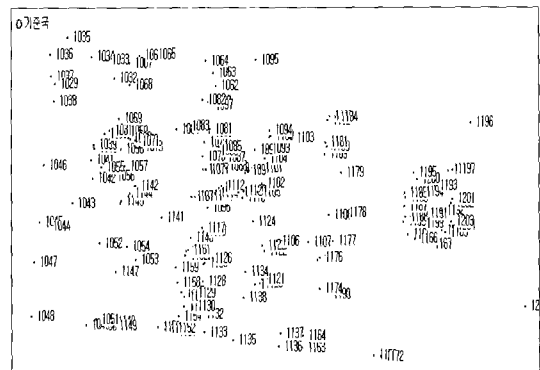
실험장비로서 TS는 Leica사의 TPS 1000 시리즈의 TC-1100으로 각 정확도는 1"이며, 거리측정은 자외선을 이용방식이며, 표준모드에서 정밀도는 2mm+2ppm이다. 그리고 RTK 매핑을 위해서 Trimble사의 4700SSi 1set을 이용하였으며, 이 시스템은 최소 4대의 위성 추적 시 최소 2epoch 관측의 경우 2cm+2ppm의 정밀도를 가지고 있다.

4. 자료 분석 및 평가

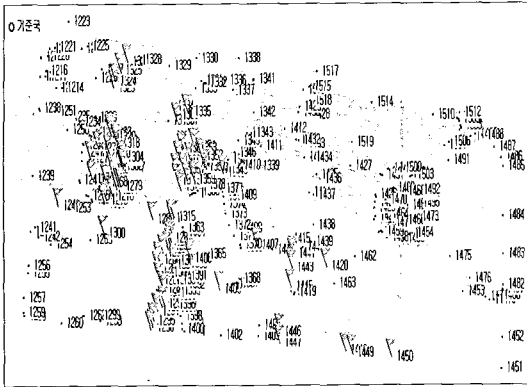
4.1 계절별 가시위성 수와 PDOP의 변화

본 실험에서는 먼저, 실험대상지역의 조건이 겨울과 봄이라는 완전히 다른 환

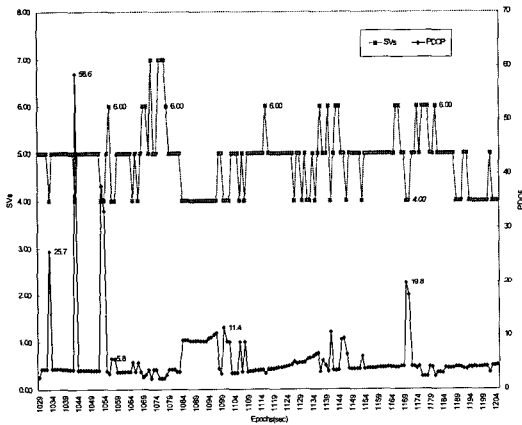
경을 가지고 있으므로 계절별 가시위성수(SVs)를 조사하여, 그에 따른 위치정밀도 저하율(Position Dilution of Precision; PDOP)의 변화를 알아보았다. 정밀도 저하율(Dilution of Precision; DOP)은 위성으로부터 수신된 GPS 데이터의 질의 측정수단이다. 그리고 PDOP는 GPS 위성분포의 기하학적 강도의 측정값을 나타낸다. [그림 3]은 겨울철에 수행된 RTK실험(이하, RTK1)을 통해, [그림 4]는 봄철에 수행된 RTK 실험(이하, RTK2)을 통해 획득한 각 측정점의 분포를 나타내고 있다.



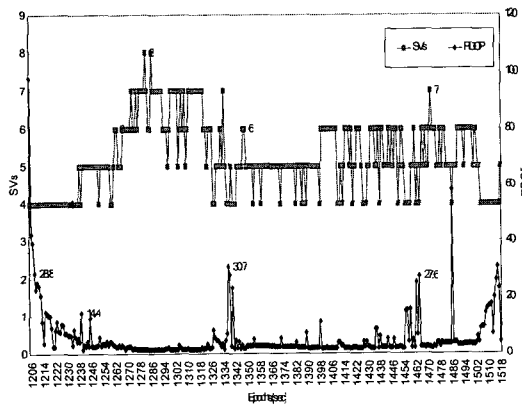
[그림 3] 측정분포 (RTK1)



[그림 4] 측점분포 (RTK2)



[그림 5] 가시위성 수 vs. PDOP (RTK1)



[그림 6] 가시위성 수 vs. PDOP (RTK2)

겨울에는 나뭇잎이 모두 떨어진 상태에서 위성신호 수신에 용이하지만, 봄에는 일부지역에서는 GPS 안테나 위쪽에 나뭇잎이 무성한 가지가 드리워진 경우도 있어서 위성신호 수신에 어려움이 있을 것으로 예상하였다. 그러나 [그림 5]와 [그림 6]에서 알 수 있듯이, 가시위성 수는 RTK1 실험 시 평균 4.85개, RTK2 실험에서는 평균 5.22개로 오히려 RTK2에서 더욱 많은 가시위성이 추적되었다. PDOP의 경우도 각각 5.52와 5.41로서 RTK2가 더 좋은 값을 보였다. 이 값들은 일반적으로 권장되는 PDOP(대개, 5이하)을 초과하는 경우로서, 이 실험지역의 특성을 잘 보내주고 있다. 그리고 [그림 5]와 [그림 6]을 통해 계절에 따른 가시위성수와 PDOP의 상대적 관계는 서로 비슷한 경향을 보여주고 있다. 또한 PDOP은 가시위성 수에 따라 직접적으로 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

4.2 수평정확도와 수직정확도 분석

두 번의 실험을 통해 얻은 좌표성공률 수평정확도(the accuracy in horizontal)과 수직정확도(the accuracy in vertical)로 나누어 비교하였다. 좌표의 정밀도는 미지정수의 정수해(fixed solution)와 실수해(float solution)의 비율을 통해 판단할 수 있다. 본 실험에서 RTK1의 경우 전체 178개 측점 가운데서 169점은 실수해, 정수해는 8점으로 4.47%를 차지한 반면에, RTK2의 경우는 전체 314개 측점 중에서 150점은 실수해, 정수해는 164개로서 47.77%를 차지했다. 일반적으로, 측점의 정수해를 구하기 위해서는 최소 추적위성이 5개 이상이며,

위성신호품질이 양호해야 하므로, RTK2가 실험시간대에서 평균 5개 이상의 위성을 계속적으로 추적하였기에 높은 정수해 비율을 가지는 것은 당연하다고 볼 수 있다.

<표 1>에는 RTK1과 RTK2에서 얻은 수평정확도와 수직정확도의 성과를 평균제곱근오차(Root Mean Square Error; RMSE)의 평균과 평균제곱근오차의 표준편차(standard deviation)로 나누어 정리하였다. <표 1>에서 수평정확도와 수직정확도의 RMSE의 평균값은 RTK1이 RTK2보다 0.283m, 0.358m 우수한 편이지만, RMSE의 표준편차는 오히려 RTK2보다 1.556m, 3.068m 높게 나타났다. 이것은 비록 RTK1의 경우가 RTK2보다 수평정확도와 수직정확도에서 우수한 결과를 보였지만, 측

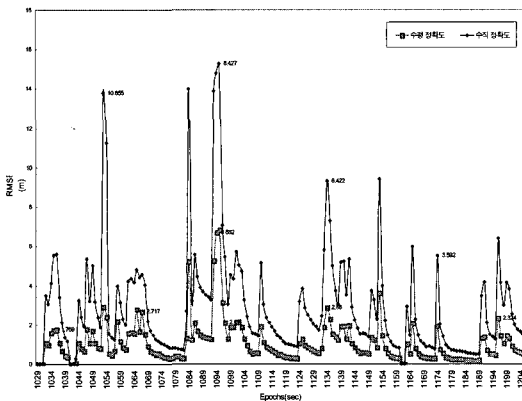
량시간대에 다른 요인에 의해 많은 영향을 받아서 불규칙적인 결과를 보여주고 있는 것으로 짐작할 수 있다.

본 실험에서는 나뭇잎 등이 무성한 지역에서의 RTK의 이용성 및 매핑 정확도를 평가하는 데 목적이 있었으므로, 여기서 언급된 수치들은 정확히 RTK의 특성(수 cm 정확도 유지)을 보여주지 못하고 있다. <표 1>은 수치들은 봄, 겨울이라는 서로 다른 두 계절 동안에 RTK 실험에서 실제로 얻은 결과를 단지 그대로 (즉, 과대오차 (outliers)의 제거 없이) 보여주고 있다.

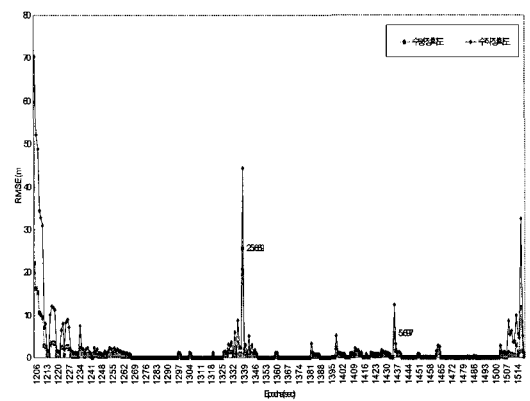
[그림 7]과 [그림 8]은 각각 RTK1과 RTK2에서 얻는 수평정확도와 수직정확도를 측정(또는 epoch별) 획득 시간에 따라 도시한 것이다. 두 그림을 통해서 RTK2,

<표 14> 측정의 정확도 비교

실험명	정확도	수평정확도(m)		수직정확도(m)	
		RMSE의 평균	RMSE의 표준편차	RMSE의 평균	RMSE의 표준편차
RTK1, 겨울		1.069	1.038	1.848	1.760
RTK2, 봄		0.786	2.594	1.490	64.828



[그림 7] 정확도 vs. 측정 ID (RTK1)



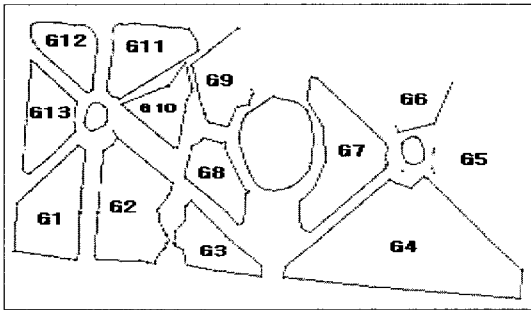
[그림 8] 정확도 vs. 측정 ID (RTK2)

즉 봄에 수행한 실험이 훨씬 우수한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이것은 앞에서 언급했듯이 봄철에 수행한 측량시점에 보다 많은 위성을 추적할 수 있었기 때문이다. 그리고 두 그림에서, 그래프 상의 처음, 중간, 끝부분 등에서 정확도가 저하되는 경향을 보여주었다. 이것은 실험지역 중에서 다른 곳과 비교하여 무성한 나무들이 밀집한 장소나, 건물 근처에 GPS 안테나가 점유되어 다중경로오차나 위성신호 차단에 의한 사이클 슬립(cycle

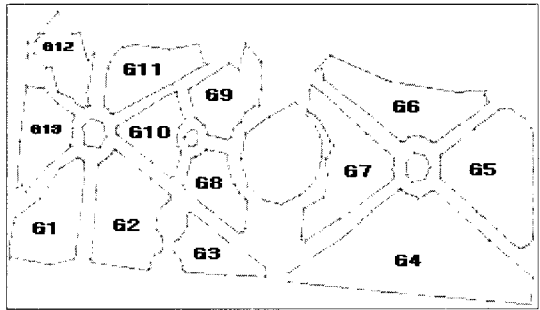
slips) 등의 영향을 받은 것으로 사료된다.

4.3 TS 측량과 RTK 매핑에 의한 평면도 비교

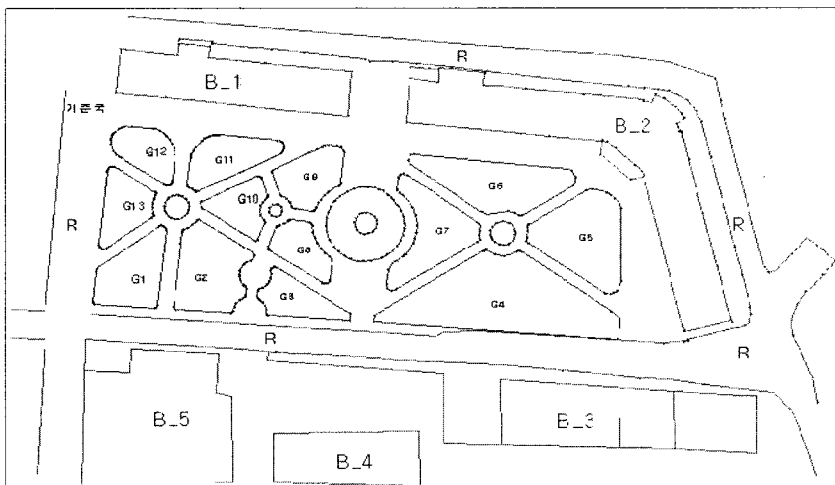
앞 절에서 위성 수, PDOP, 그리고 수평 및 수직정확도 등을 분석하였고, 본 절에서는 참값으로서의 TS 측량과 RTK 매핑으로 획득한 평면도를 서로 비교하여 RTK의 매핑분야 적용 가능성을 더욱 세밀하게 분석하였다. [그림 9]와 [그림 10]



[그림 9] 평면도(RTK1)



[그림 10] 평면도(RTK2)



[그림 11] 평면도 (Total Station)

은 각각 RTK1, RTK2, 그리고 TS에 의해 계산된 좌표성과를 CAD(Computer Aided Design) 소프트웨어를 이용하여 전산작업을 통해 도시한 평면도이다.

[그림 9](RTK1)와 [그림 11](TS)을 비교해보면, G10부분은 서로 전혀 다른 형상을 가지고 있고, G5, G6, G9, G11, G12의 평면도는 부분적으로 형상이 나타나지 않았다. 이 부분에 대해 공통적인 특징은 우측 편에 건물이 높게 자리하고 있어서 충분한 위성수를 획득하지 못하여 위치결정이 불가능함을 보여주고 있다는 것이며, 특히, G10의 경우는 미지정수결정이 불가능하여 실수해를 유발하여 큰 오차가 발생한 것으로 사료된다.

[그림 10](RTK2)과 [그림 11](TS)을 비교한 경우, 두 평면도는 매우 유사한 형상을 보여주고 있다. RTK2의 경우, 이전 절에서 언급하였듯이 높은 정수해와 5개 이상의 가시위성을 실험동안 계속적으로 확보하여 측량 시 큰 문제점을 야기하지 않았다. 하지만 그림 10에서 G12의 경우는

실험초기에 가시위성의 부족과 주위건물(B-1, [그림 11])이나 나무숲에 의한 다중경로오차 등에 의해 올바른 결과를 보여주지 못하고 있다. 특히, RTK2 실험 시, 기지국과 이동국간 거리가 약 100m 임에도 불구하고, 기준국과 이동국간의 통신 오류가 자주 발생하여 위치결정이 중단되었다. 이것이 획득된 측정의 성과의 품질에도 영향을 주어 단독측위해(절대측위해)도 유발되었다. RTK1과 RTK2의 평면도의 직접 비교결과, 주위에 건물이 놓인 지역을 제외하고대개 비슷한 형상을 보여주어, 향후 동일지역, 동일시간대, 동일 가시위성 수 등의 조건이 충족될 경우 서로 비슷한 형상을 보여줄 것이다.

<표 2>에는 위 세 개의 평면도를 서로 중첩하여 각 평면도의 각 부분(예, G1, G4, etc.)에서 임의로 수개의 측정점을 선정하여 각 부분별, 각 시스템별로 평면직각좌표를 구하여 그 차이의 RMSE를 정리하였다. 여기서 사용한 RMSE는 다음 식을 이용하여 구하였다; $RMSE = \sqrt{(DX)^2 + (DY)^2}$, 여기서,

<표 2> RTK1, RTK2, 그리고 TS 사이의 평면직각좌표차이 비교

Case \ System	RTK1-Minus-TS	RTK2-Minus-TS	RTK1-Minus-RTK2
	RMSE (m)	RMSE (m)	RMSE (m)
G1	0.593	0.352	0.758
G4	1.798	0.978	1.074
G5	0.337	0.400	0.416
G6	1.256	0.458	1.120
G7	1.185	2.202	2.422
G9	1.386	1.360	1.507
G10	5.286	4.616	2.861
G11	3.500	3.469	1.136

DX-두 시스템에서 평면직각좌표의 X성분 차이, DY-두 시스템에서 평면직각좌표의 Y성분차이를 나타낸다. 참고로, TS에 의해 제작된 평면도에서 추출한 측점들의 평면직각좌표를 참값(the true value)으로 하였으며, 지면상 세 개 평면도에서 추출한 평면직각좌표의 X, Y성분의 기입은 생략하였다. 그리고 RTK1-TS, RTK2-TS, 그리고 RTK1-RTK2의 X, Y성분차이의 전체 RMSE의 평균은 2.811m, 2.245m, 그리고 1.767m로 그 값이 크게 나타났다. 여기서 값들이 수m 차이가 나는 것은 평면도에서 시각적으로 측점들의 평면직각좌표를 구하여 서로 비교한 것이, 그 첫 번째 이유가 되며, 두 번째는 각각 RTK의 실험시의 위성상태와 주위 건물이나 나뭇잎 등에 의한 다중경로오차 등에 의한 위치오차의 증대가 그 이유이다.

실험결과를 통해 겨울과 봄으로 나누어 실험을 수행한 결과, 나뭇숲 (혹은 잎)에 의한 영향은 높지 않은 대신, 실험 시에 추적되는 위성수가 RTK에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만, 본 논문에서 구체화되지 않은 나뭇잎을 통과한 위성신호의 강도분석과 나뭇잎이나 주위건물에 의한 다중경로오차 부분도 앞으로 고려해야 할 주요 연구분야로 사료되며, 향후 RTK를 매핑분야에 활용하고자 할 경우, TS등의 기타 보조장비와 결합하여 현장측량작업을 수행하는 것이 합리적일 것으로 사료된다.

5. 결 론

봄과 겨울의 두 번에 걸친 RTK 위성측

량을 수행하여, 그 성과를 Total Station과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가시위성 수는 겨울철 실험의 경우에 평균 4.85, 봄철에 5.22개, 그리고 PDOP의 비교 시 겨울철에 5.52, 봄철에 5.41의 결과를 보여, GPS 신호가 나뭇숲을 통과하여 지상의 수신기에 도달할 수 있음을 보여 주었다.
2. 측점들의 수평과 수직정확도의 평균은 겨울철 실험의 경우 1,069m, 1.848m, 봄철에는 0.769m, 1.490m으로 나뭇잎들이 무성한 봄철의 경우에 오히려 좋은 결과를 보였지만, 수평과 수직정확도의 표준편차에서는 겨울철의 경우에 1.038m, 1.760m, 그리고 봄철에는 2.594m, 4.828m을 보여 봄철의 나뭇잎이나 기타 요인이 정확도에 일정부분 영향을 준 것으로 판단할 수 있다.
3. 참값으로서의 Total Station의 성과와 RTK 결과를 비교한 결과, 겨울철의 경우 두 시스템사이의 성과차이 값의 평균제곱근 오차가 2.811m, 봄철의 RTK 결과와는 2.245m, 그리고 RTK 실험 상호간의 경우는 1.767m의 값을 보였다.

위 결과를 정리하면, 봄철에 겨울철보다 많은 가시위성을 확보하여 우수한 성과를 보였지만, 전체적으로 관측값의 질이 떨어져서 나뭇숲이나 건물로 둘러싸인

곳에서의 RTK에 의한 매핑은 큰 효율을 보지 못했다. 따라서 향후 RTK 매핑 시 Total Station 등 기타 장비와의 상호 보완 측량작업이 필요할 것으로 사료된다. 나아가, 나뭇숲이나 건물 주위 등 다중경로 오차 등 RTK의 질에 영향을 주는 요인에 대한 연구도 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 박운용 · 홍순현 · 이재원 · 이인수, 2001, “GPS와 GLONASS 결합에 의한 동적 위치결정에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제21권 3-D, pp. 375-382.
- 이인수 · 윤경철 · 박운용 · 이기부, 2003, “위성 가시성에 따른 RTK 위성측량 정밀도 비교”, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp.93-96.
- 장상규 · 홍순현 · 김가야, 2003, “RTK-GPS와 TS를 이용한 도로선형분석 및 GIS 구축”, 한국측량학회 제21권 제4호, pp.293-299.
- 홍성언 · 박수홍, 2002, “RTK-GPS를 이용한 수치지적도 작성방법에 관한 연구”, 한국지적학회 제18권 제2호, pp.121-132.
- B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, 1997, GPS : Theory and Practice, pp.181-200.
- Ashtech Office Suite for Survey : User's Manual, 1997, p.231.
- Ashtech Inc., 1997, GPS+GLONASS Technology and the GG24TM Receiver-Technical papers, Kifer Road, Sunnyvale, CA 94086 USA(Price, 1989).
- Rizos. C, 1999, GPS enhancements In: Chris Rizos (Ed), Notes on Basics GPS Positioning and Geodetic Concepts, School of Surveying and Spatial Information, University of New South Wales, pp.15-16, electric version, (available at http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_notes.htm).
- Lemmon, T. R., and Gerdan, G. P, 1999, The Influence of the Number of Satellites on the Accuracy of RTK GPS Positions, Department of Land Information RMIT University, Melbourne, Victoria, THE AUSTRALIAN SURVEYOR, Vol. NO. 1, pp.64-70.