

RTK-GPS를 이용한 지적불부합지의 면적 정확도 비교

Comparison of Areal Accuracy in Cadastral Uncoincidence using the RTK-GPS

장상규* · 김진수** · 이동락***
Jang, Sang-Kyu · Kim, Jin-Soo · Lee, Dong-Lak

要 旨

국토의 효율적인 관리와 운영을 위해서 지적측량의 정립이 요구되는 실정이며 국가 지리정보체계의 자료기반 구축을 위해 지적측량의 확립이 필요하다.

대부분의 GPS 적용은 실시간으로 이동국에서 수 cm의 정확도를 요구하지만 더 높은 측위 정확도를 성취하기 위해서는 반송파를 이용한 이중차 기법으로 성취될 수 있다. 이 방법은 기준국과 이동국의 자료 연결 장치를 이용하여 기준국 보정값을 이동국에 전송하며, 이동국에 수신된 보정값은 기준국과 이동국 수신기 사이의 차분 관측값을 형성하여 이동국 관측값에 적용됨으로 고정확도 위치를 획득한다.

본 연구에서는 이러한 실시간 동적 GPS를 이용하여 지적측량에 적용함으로써 일필지의 면적을 산출하고, 이를 토지대장과 TS 관측에 의한 면적과 비교하여 평균오차가 최소 $2.42 m^2$ ~ 최대 $13.69 m^2$ 를 나타내었으며, RMSE는 최소 0.00329 ~ 최대 0.01846를 나타내었다.

Abstract

The cadastral surveying is essential for the effective management of a country, the D/B building of NGIS.

Many of GPS applications require a positioning accuracy of several centimeters for rover in real-times. But, to achieve higher positioning accuracies in real-time, the double differencing technique should be implemented using carrier phase data. Corrected observations at the reference station can be transmitted and used to form double difference observations at the rover using a data link.

In this study, the area accuracy of cadastral survey using the RTK GPS will be assessed, and will produce area of parcel of land. As the result of comparison among area by TS, planer surveying and RTK GPS, parcels-register for site is analyzed by this data. The results show that mean error of area calculated min. $2.42 m^2$ ~ max. $13.69 m^2$ and RMSE calculated min. 0.00329 ~ max. 0.01846.

* 상주대학교 토목공학과 교수

** 상주대학교 토목공학과 겸임강사

*** 창신대학 토목과 조교수

1. 서론

토지는 용도가 다양하고 아무리 사용하여도 소거되거나 부식되지 않는 영속성을 가지고 있기 때문에 현대를 살아가는 우리에게는 가치보존의 수단으로 중요시되고 있다. 그러나 토지는 다른 일반상품과는 달리 생산비를 도입하여도 면적을 증가시킬 수도, 외국에서 수입할 수도 없는 자연적 특성인 불증감성을 가지고 있기 때문에 현대사회는 토지이용의 극대화를 추구하기에 이르렀으며 이로 인한 지가의 상승은 국민의 토지에 대한 관심을 더욱 고조시키고 있다. 더구나 우리 나라는 국토가 협소할 뿐만 아니라 인구성장이가 계속되고 있어 세계적으로 과밀국가 가운데 하나로 손꼽히고 있기 때문에 국민의 토지에 대한 관심은 어찌면 당연한 현상일지도 모른다.¹⁾²⁾

토지에 대한 국민 관심의 고조와 토지이용의 극대화는 오늘날 NGIS(National Geographic Information System)인 국가지리정보체계를 구축하게 되었으며, 이의 근간을 이루는 토지정보시스템(LIS: Land Information System)이 자연스럽게 등장하였다. 이러한 정보시스템을 구축하기 위해서 개선되어야 할 사항 중 가장 중요한 사항이 바로 지적불부합지에 대한 처리이다.³⁾⁴⁾ 본 연구에서는 토지정보시스템 구축에 필요한 지적불부합지의 처리를 연구하기 위해서 현실적으로 처리 가능한 지적불부합지의 처리방안을 분석함으로써 그 실효성을 얻을 수 있도록 지적불부합의 원인과 이들의 유형을 분류하고, 지적불부합지를 대상으로 삼각점과 도근점을 연결하여 범지구적 위성측량 시스템인 GPS(Global Positioning System)로 불부합지 인근에 임시 기준점 좌표를 산출하여 그 기준점을 기준으로 실시간 측위 시스템으로 도근점 좌표를 산출하였다.

2. RTK GPS 측위

도근점 측량이나 지적 도해 측량과 같이 많은 자료수집이 요구되는 경우에 사용하는 정적 방법에 의한 GPS 관측은 많은 시간과 노력이 요구된다. 또한 현장 자료수집 및 처리 등과 같은 과정에서 자료 편

집과 수정이 필요하며, 필요에 따라 현장을 재방문하여 관측해야 하는 단점이 있다. 이에 따라 기지국을 중심으로 변복조 장치(modem)를 이용하여 기지국의 위성자료를 보정하지 않고 이동국에 전송하여 이동국의 위치정확도를 향상시키는 실시간 동적 관측(Real-Time Kinematic GPS : RTK GPS)이 고안되었다. RTK GPS 측위로 관측된 측량방법은 도근점 측량과 같이 많은 자료수집이 요구되는 분야에서 비용과 시간을 상당히 절약할 수 있고, 현장에서 관측 오류나 오차를 직접 확인할 수 있으므로 요구정확도를 확보할 수 있다. RTK GPS 측위는 그림 1과 같이 기지국과 이동국 사이의 자료 연결 장치에 좌우되며, 기준국은 반송파 위상과 코드파 위상 관측값을 이동국에 전송하고, 이동국은 지역적으로 수집된 관측값을 기준국에서 얻은 관측값과 결합하여 위치 결과값을 획득한다.⁵⁾⁶⁾

RTK GPS 측위방법은 이동국이 움직일 동안 이동국 위치가 결정되어야 하기 때문에 기준국은 위성신호를 수신하는 위성안테나와 기지 좌표성과와의 차이를 발견하고 그 보정값을 변복조 장치를 통해 이동국으로 전송하고, 이동국은 기지국에서 전송된 보정값을 수신하여 위치를 결정하게 된다.

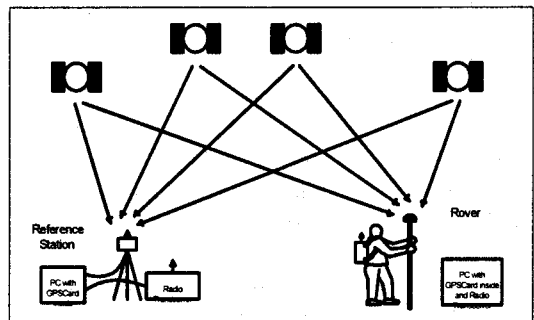


그림 1. RTK GPS 측위의 구성

2.1 RTK GPS 관측값

RTK GPS 측위는 오차량을 전송하는 신호종류에 따라 코드만을 사용하는 RTCM (Radio Technical Commission for Maritime service), NMEA(National Marine Electronics Association)과 반송파 형식의

CPD(Carrier Phase Differential)로 구분할 수 있다. 따라서, RTK GPS 측위는 이중차 반송파 위상의 모호정수들을 실시간으로 관측하는 것을 필요하기 때문에 CPD형식으로 관측하며, 정확한 이중차 모호정수들은 이동국의 위치를 간단한 매개변수 최소제곱식으로 풀이할 수 있다.⁷⁾

$$\begin{aligned} I + v &= Hx \\ v &= H\delta + w \end{aligned} \quad (2-1)$$

여기서, I : 이중차 반송파 위상 관측치
 v : Zero 평균 Gaussian 분포에 의한 잔차
 I 와 분산-공분산 행렬 C^ϵ
 H : 이중차 반송파 위상 설계 행렬
 x : 위치벡터
 $\delta = x - x_0$: 위치벡터 x_0 에 대한 x 의 보정량 벡터
 $w = Hx_0 - I$

최소제곱법을 이용하여 관측식 (2-1)을 풀면, 위치 벡터의 최소제곱법은

$$\hat{x} = x_0 + [H^T C^{\epsilon^{-1}} H]^{-1} H^T C^{\epsilon^{-1}} w \quad (2-2)$$

이고, \hat{x} 의 분산-공분산 행렬은

$$C_x = [H^T C^{\epsilon^{-1}} H]^{-1} \quad (2-3)$$

이다. 이중차 관측치가 정확하다고 가정하면 분산-공분산 행렬 C^ϵ 은 다음의 형태로 획득된다.

$$C^\epsilon = 2\sigma^2 \begin{bmatrix} 2 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 2 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

여기서, σ^2 는 반송파 위상 관측치의 사전 분산이다.

2.2 RTK GPS의 보정량 계산

2.2.1 반송파 위상과 의사거리 보정량

반송파 위상 정수부 모호정수를 고려해야 하기 때

문에 기지국에서 의사거리 보정량보다 반송파 위상 보정량을 생성하는 것이 더 복잡하다. 반송파 위상 보정량을 결정하기 위해서, 각각의 위상 관측은 근사적인 정수부 모호정수를 결정해야한다. 이들 모호정수들은 위성에서 수신기로 획득된 첫 번째 epoch (t_0)의 코드 관측치를 가진 최상의 반송파 위상 관측치의 epoch를 설정한다.⁸⁾

$$N_R^S = \int (P_R^S(t_0)/\lambda - \phi_R^S(t_0)) \quad (2-5)$$

여기서, N_R^S ; 수신기 R 에서 위성 S 의 근사적인 정수부 모호정수(cycle)
 INT ; 가장 가까운 정수 연산자
 $P_R^S(t_0)$; t_0 시간에 코드측정치 (m)
 λ ; 신호 파장 (m/cycle)
 $\phi_R^S(t_0)$; t_0 시간에 반송파 위상측정치(cycle)

관측된 반송파 위상 $\phi_R^S(t_0)$ 은 반송파 위상 관측치를 수정하기 위해 N_R^S 으로 변경한다.

$$\phi R_R^S = \phi_R^S(t_0) + N_R^S \quad (2-6)$$

2.2.2 이동국 보정량

이동국의 반송파 위상과 의사거리 측정치는 기지국으로부터 전송된 보정치를 이용하여 보정된다.

$$\bar{\phi}_U^S = \phi_U^S + \phi C_R^S \quad (2-7)$$

여기서, $\bar{\phi}_U^S$; 보정된 이동국 반송파 위상

ϕ_U^S ; 이동국 반송파 위상 관측치

ϕC_R^S ; 기지국으로부터 수신된 반송파위상 보정치(cycle)

이것은 수신기간의 차분으로 해석한다. 위성 사이의 보정된 반송파 위상과 의사거리 관측치를 차분하여 이중차 관측치가 형성된다. 레도오차와 대기오차를 포함하는 위성파 수신기 시계오차는 소거되거나 상당히 축소된다.

식 (2-7)로부터 형성되는 이중차 모호정수들은 미보정 반송파 위상 관측치로부터 형성되는 이중차 모호정수들과는 다르다. 이것은 위상 보정량이 생성될 때 근사적인 정수부 모호정수들이 기지국 반송파 위상 관측치를 포함하기 때문에 야기된다. 모호정수들의 정수부 특성은 고정되지만 크기는 바뀐다. 이것은 모호정수들이 실수부 모호정수해와 정수부 모호정수해 둘 다의 매개변수로 추정되기 때문에 모순이 아니다.

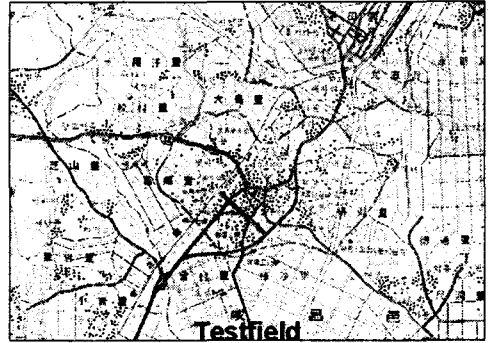


그림 2. 실험 지역

3. 관측 및 실험

3.1 실험지역

지적 불부합지는 민원발생의 원인이 될뿐만 아니라 지적재조사나 수치지적도 작성의 주요 문제점으로 등장하고 있기 때문에 지적 불부합지에 대한 해결 방안을 제시하기 위해서 본 연구의 실험지역은 현재 불부합지중의 하나인 그림 2와 같은 상주시 함창읍에 위치한 지역을 선정하였다. 또한, 실험지역의 정확한 불부합의 원인을 파악하고, 해결방안의 대안을 제시하기 위해, 현재 많이 사용하고 있는 실시간 위성측위 기법인 RTK GPS와 국부지역에서 정확한 3차원 위치를 결정할 수 있는 TS(Total Station)을 이용하여 기준점 관측 및 지적측량을 실시하였다.

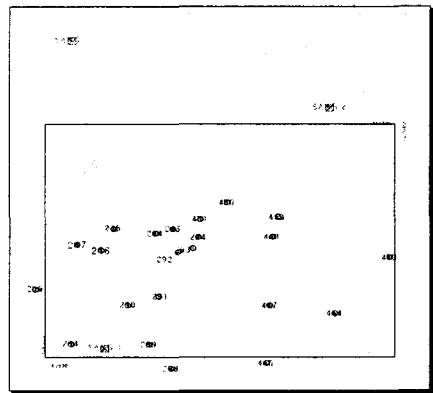


그림 3. 도근점 위치도

3.2 도근점 측량

도근점 측량은 기준점 측량에서 관측된 실험지역의 기준점을 이용하여 도근점까지 수평거리와 경사거리를 TS와 GPS로 관측함으로써, 도근점에 대한 평면직각좌표를 획득하게 된다. 관측된 성과를 비교하여 분석하였다. 그림 3은 실험지역에 대한 기준점과 도근점을 나타내는 것으로, 기준점의 관측 결과를 바탕으로 도근점의 좌표를 결정하고, 이들 도근점으로부터 지적측량을 실시하기 위해서 관측되었다.

TS는 근거리에서 정확하게 거리 및 좌표를 관측할 수 있기 때문에 최근에 지적측량에 자주 사용되고 있다. 따라서, 본 연구에서 TS에 의한 도근점 관측은 두 가지 방법으로 수행되었다. 먼저 기준점에

기계를 설치하고 다른 기준점에 후시를 뚫어서 3차원 관측을 수행하였고, 다른 방법은 단지 기준점으로부터 도근점까지의 경사거리와 수평거리를 관측하였다. 그러나 실험대상지역의 지물과 지모 때문에 하나의 기준점으로부터 모든 도근점을 관측하기에 어려움이 있어 세 기준점으로 모두 이용하여 관측이 수행되었으며, 관측된 값들을 이용하여 전체 도근점에 대한 수평거리와 좌표를 획득하였다.

GPS에 의한 도근점 관측은 3개의 기준점에 각각의 GPS를 고정하고, 2개의 GPS만으로 모든 도근점에 대해 관측하여 그림 4와 같은 도근망도를 형성하였다. 관측된 사용된 수신기는 Ashtech 3대와 Trimble 2대를 이용하여 수행되었으며, 도근점의 수가 많기 때문에 모든 도근점에 대해 GPS를 관측할 수 없을 뿐만 아니라 시간적으로도 제약이 있기 때문에 실제 지적불부합이 발생하는 지역의 도근점에 대해 관측하였다.

RTK-GPS를 이용한 지적불부합지의 면적정확도 비교

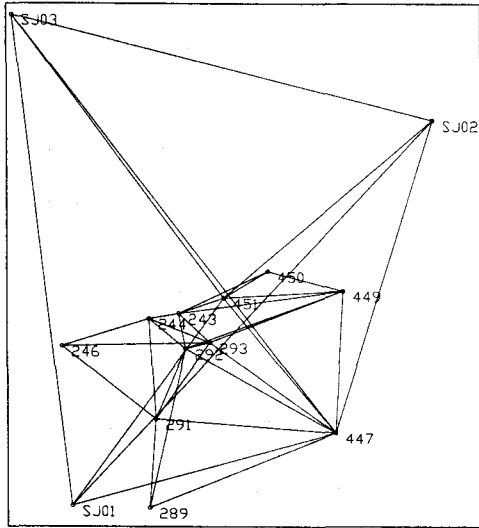


그림 4. GPS망도

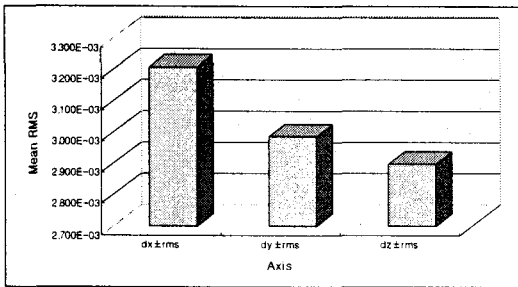


그림 5. 기선벡터의 RMSE

3.3 도근점 좌표 분석

도근점 좌표를 분석하는데 있어서 먼저 기준점에서 도근점까지의 수평거리와 좌표를 TS와 GPS로 각각 관측하였지만, GPS 관측시간의 한계 때문에 관측되지 못한 도근점을 제외하고 두 방법으로 모두 관측된 기준점과 도근점간의 수평거리를 표 1에 나타내었다.

표 1의 Sang 1과 Sang 2에서 도근점까지의 수평 거리에 대한 표준편차는 $\pm 0.00271m$ 과 $\pm 0.00279m$ 로서 거의 비슷하지만, Sang 3에서 도근점까지의 수평 거리에 대한 표준편차는 $\pm 0.00375m$ 로서 더 크게 나타났다. 그러나 이 값들은 수평거리에 비해 미소함으로 그대로 사용하여도 무방하리라 판단된다.

표 2는 RTK DGPS와 TS로 관측된 도근점 좌표

를 나타낸 것으로써 그림 6은 X축에 대한 차이값을 나타내었고, 그림 7은 Y축에 대한 차이값을 나타내었다.

표 2. TS와 GPS에 의한 수평거리

St.	TS(m)			GPS(m)		
	Sang 1	Sang 2	Sang 3	Sang 1	Sang 2	Sang 3
243	227.723	305.813	352.853	227.722	305.814	352.854
244	211.623	328.794	350.701	211.629	328.794	350.708
246	130.212	633.718	660.265	130.217	633.718	660.270
289	63.025	481.649	533.008	63.027	481.647	533.005
291	118.582	405.205	455.856	118.585	405.207	455.857
292	195.963	329.250	392.938	195.969	329.256	392.940
293	213.285	310.522	395.820	213.288	310.526	395.822
447	246.322	350.286	535.179	246.325	350.290	535.177
449	335.416	201.017	422.013	335.417	201.015	422.015
450	306.384	218.210	355.686	306.386	218.215	355.686
451	260.936	265.916	356.809	260.933	265.916	356.803

표 3. TS와 GPS 좌표의 비교

St.	X-coordinate(m)		Y-coordinate(m)	
	TS	GPS	TS	GPS
243	341021.040	341021.043	126681.580	126681.576
244	341013.650	341013.652	126657.410	126657.368
246	340984.630	340984.608	126580.540	126580.575
289	340821.870	340821.835	126647.730	126647.731
291	340904.830	340904.810	126662.240	126662.211
292	340980.730	340980.753	126689.300	126689.356
293	340987.170	340987.163	126710.670	126710.621
447	340888.510	340888.450	126820.130	126820.204
449	341041.050	341040.053	126832.690	126832.650
450	341065.850	341066.810	126760.680	126760.638
451	341037.250	341037.212	126721.440	126721.413

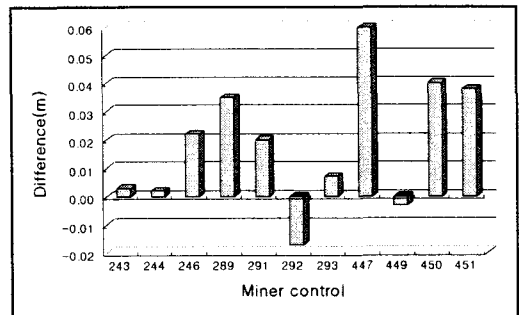


그림 6. X축 좌표차

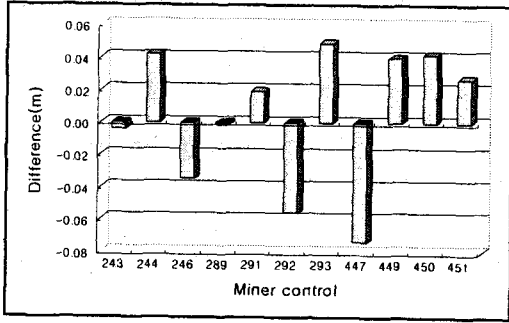


그림 7. Y축 좌표차

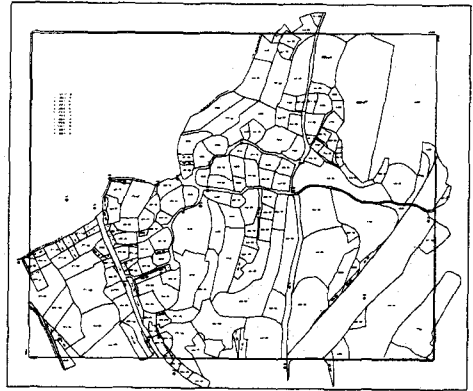


그림 8. 실험지역의 지적도

4. 면적 측량

실험지역의 면적 측량은 여러 관측 방법으로 측량 되었으며, 가장 먼저 1910부터 1918년 사이의 일제시대에 시행되었던 평판측량을 실시하여야 하지만 넓은 관측지역과 정확한 관측을 위해서 광학 앨리데이드인 Mini AR을 이용하여 평판측량을 실시하였다. 또한 실험지역에 대한 정확한 면적산출을 위해서, 3차원 관측기체인 TS와 실시간 동적 측위방법인 RTK GPS 측위 관측을 실시하였다.

광학 앨리데이드에 의해 평판측량은 도근점을 기지점으로 기계를 설치하고, 관측 대상점에는 반사경을 설치하여 관측되었으며, 면적은 디지털이저에 의해 입력된 값을 이용하여 Auto CAD상에서 산출하였다.

TS 측량은 두 기지점을 필요로 하기 때문에 하나의 도근점에 기계를 세워 다른 도근점을 후시로 하여 관측되었고, 도근점에 의해 관측되지 않는 지역은 새로운 임시 도근점을 만들어 측량되었다. 또한 관측된 자료를 전자자장(SDR 33)에 바로 저장하여 컴퓨터로 다운로드한 후, AutoCAD상에서 각각의 필지에 대한 정확한 면적을 산출하였다.

RTK GPS는 가장 최근에 도입된 측량방법으로서 실시간으로 관측된 기준국의 GPS 위성자료를 안테나를 통해 이동국의 안테나로 전송함으로써 이동국의 GPS 관측 자료과 전송받은 보정자료가 함께 처리되어 정확한 위치값을 산출하게 된다. 그림 9는 실제 관측에 사용된 RTK GPS의 이동국에 대해 보여주고 있다.



그림 9. RTK GPS의 이동국

실시간 이동 측량을 하는데 있어서, 위성의 수와 위치정밀도 저하율은 상당히 중요하다. 그림 10은 위치정밀도 저하율을 나타내는 것으로서, 전체 값을 나타낼 수 없기 때문에 일부만을 나타내었으며, 전체적으로 PDOP값이 4.5이하의 값을 가지고 있다. 이는 4.0의 값이 보통이고, 그 이하의 값이 양호한 값으로 보기 때문에 대체로 양호하게 관측되었다는 것을 알 수 있다.

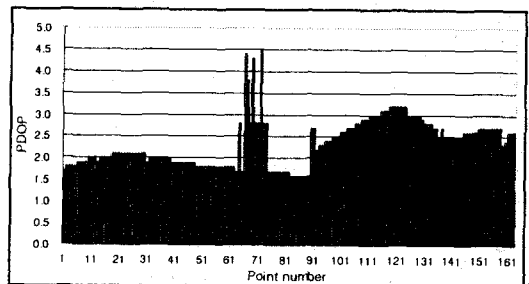


그림 10. RTK GPS의 PDOP

RTK-GPS를 이용한 지적불부합지의 면적정확도 비교

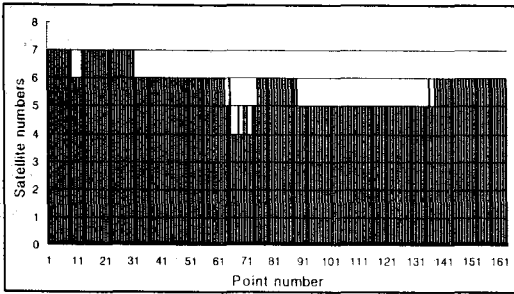


그림 11. RTK GPS의 위성수

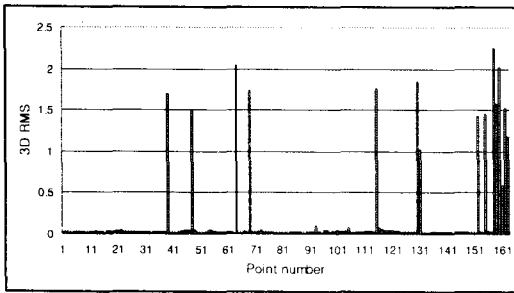


그림 12. RTK GPS의 3D RMSE

세 관측방법으로 각각의 지번에 대해 관측된 자료를 이용하여 면적을 산출하였으며, 산출된 면적에 대한 평균오차와 표준오차를 그림 13에 표시하였다.

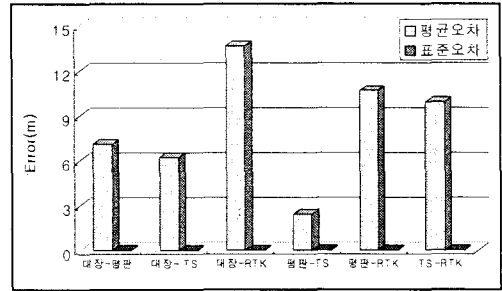


그림 13. 평균오차와 RMSE

6. 결론

지적 불부합지의 발생원인과 유형 분석을 위해서 실시간 관측기법인 RTK GPS를 이용하여 지적 기준점과 필계점을 관측하였고, 이를 비교하기 위해서 광파 앨리데이드에 의한 면적과 TS에 의한 면적을 산출하여 비교하였다. 또한 토지대장의 면적과도 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었을 수 있었다.

1. 지적 도근점의 좌표를 산출하기 위해서, GPS 정지 관측을 세 기준점과 연결하여 위치를 획득하였고, 이를 TS와 비교한 결과, X축 방향에서는 -0.02m

4.1 면적 분석

관측된 면적을 분석하기 위해서 각각의 관측 방법별로 산출된 면적과 토지대장상의 면적을 비교하였다. 실험지역에 대해 총 124필지중에서 관측된 필지는 105필지이며, 이중 12개 필지만을 나타내었다.

표 4. 면적 비교

지 번	지목	토지대장(m ²) ①	평판(m ²) ②	TS(m ²) ③	GPS(m ²) ④
599	답	871	871.885	886.9652	888.931
598-1	답	2,855	2838.549	2840.7978	2800.2209
602-2	답	3,517	3504.308	3502.4370	3458.6031
603-1	답	888.931	2287.700	2296.9498	2258.9639
604-4	답	2,759	2771.271	2768.9793	2770.7582
596-4	전	829	817.596	822.0468	812.525
602-7	답	1,751	1774.849	1782.4698	1830.9961
596-3	전	3,415	3417.828	3414.3216	3363.5251
595-10	전	342	332.538	333.0077	332.0369
595-7	전	276	287.427	287.4286	285.786
595-5	대	418	419.328	419.4640	441.1896
595-1	전	328	335.533	336.1405	333.7327

~ 0.06m의 차이를 나타내었고, Y축 방향에서는 -0.08m ~ 0.06m의 차이를 나타내었다. 이들 차이는 TS관측에서 세 기준점과 도근점들간에 직접 관측을 수행하지 못한 결과라고 판단된다.

2. 도근점 좌표로부터 일필지에 대한 면적을 획득하여 불부합의 원인을 파악하기 위해서, 평판측량, TS, RTK GPS를 수행하여 획득된 면적과 토지 대장의 면적을 각각 비교한 결과, 평균오차가 최소 $2.42 m^2$ ~ 최대 $13.69 m^2$ 를 나타내었으며, RMSE는 최소 0.00329 ~ 최대 0.01846를 나타내었다.

3. 실험지역에 대해 여러 가지 측량기법으로 관측된 면적을 분석한 결과, 토지대장상의 면적과 실측 면적이 큰 차이를 보이는 지역이 상당수 발생함으로써 세부측량 당시의 오류와 토지소유자들의 토지이동으로 인하여 연구지역에 대한 불부합의 유형은 복합형으로 판단할 수 있다.

Positioning in Real-Time: System Design, Performance and Real-Time Results", Proceeding of IEEE 1994 Position Location and Navigation Symposium, pp. 540~546, 1994.

8. Dong Hyn, Kim, "A New On-The-Fly Algorithm for Real-Time Precise GPS Surveying", Seoul National University, Ph. D. Thesis, pp. 73~78, 1997

(2002년 5월 9일 원고접수)

참고문헌

1. 박운용외 2명, "GPS와 GPS/GLONASS의 측위수행 능력 비교", 한국지형공간정보학회지 제 9권 1호, pp.59~66, 2001.
2. 오창수의 1명, "Total Solution을 이용한 지적경계 측량의 개선방안", 대한토목학회 학술발표회 논문집 (III), pp. 27~31. 1997.
3. 유복모외 1명, "지형공간정보체계를 이용한 수치지적도의 오차전파해석", 대한토목학회논문집 제 19호 제 III-5호, pp. 955~963, 1999.
4. 이찬우, "지적정보의 효율적 이용에 관한 연구", 한양대 대학원 석사논문, pp. 13~14. 1991.
5. 강준목, "지적측량을 위한 GPS 측위정확도 분석", 국제학술 세미나 논문집, 1997.
6. Blomenhofer, H, and G. W. Hein, "Development of a Real-Time DGPS System in the Centimeter Range", Proceedings of IEEE Position Location and Navigation Symposia, April 11-15, pp. 532~539, 1994.
7. Euler, H. J., "Achieving High-Accuracy Relative