

RTK-GPS에 의한 일필지 좌표 결정의 정확도 분석에 관한 연구

A Study on the Accuracy Analysis of Parcel Coordinate by RTK-GPS

강 태 석*

홍 성 언**

Kang, tae seok

Hong, sung eon

요 旨

RTK-GPS 측량 방법은 실시간으로 cm 수준의 정확도로 3차원적인 위치정보의 획득이 가능하다. 그리고 수신자료의 처리 방식이 후처리로 이루어지지 않고 실시간으로 이루어지기 때문에 현장에서 직접 일필지의 좌표를 산출해야 하는 지적세부측량에서의 활용이 가능하다.

본 연구에서는 실시간 위치결정 측량시스템인 RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS) 측량 방법을 활용하여 일필지 경계점의 위치정보를 도출하고, 이에 대한 정확도를 기존의 TS(Total Station) 측량 성과와 비교·분석함으로써 RTK-GPS 측량의 효용성을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS) surveying technique which allows centimeter level three-dimensional coordinates in real time has been recognized as a major advance in the science of GPS positioning. And no longer is it necessary to wait until post-processed results are computed after the surveying has been completed in field.

The purpose of this study is to present the accuracy and effectiveness of the determined parcel coordinate by RTK-GPS surveying technique, through the analysis and comparison of the surveying results both in Total Station and RTK-GPS.

1. 서 론

1.1 연구목적

지적측량은 삼각점, 지적삼각점, 지적삼각보조점, 도근점 등 지적측량기준점을 근거로 하여 토지의 경계 및 면적을 확정하며, 정확한 국토기본자료를 얻기 위하여 지적공부에 등록할 목적으로 시행하는 측량을 말한다(지적법 제25조).

지적측량은 전반적으로 지적삼각측량에서 시작하여

최종적으로 필지의 경계를 정하기 위한 세부측량을 시행하게 된다. 전통적으로 이러한 측량을 실시함에 있어 데오달라이트(theodolite), EDM(Electronic Distance Measurement)장비 등을 활용하게 되는데 최근에는 GPS 장비를 활용하여 지적삼각측량이나 도근측량에 활용하고 있다.¹⁾

이러한 GPS 측량은 현행 지적측량업무의 효율화와 향후 지적재조사사업 또는 통일대비 북한지역 지적측량업무시에 신속하고 단기간에 어떠한 기술을 활용하여야 정확하고 합리적인 성과를 추출할 수 있는가를 고려할 때 이러한 대안으로서 GPS(Global Positioning

* 청주대학교 사회과학대학 지적학과 교수

** 인하대학교 대학원 지리정보공학과 박사과정

System) 측량 기술을 적용하는 것이 효율적인 방안으로 대두되고 있다.

그러나 지적세부측량에 있어서는 GPS 측량을 적용할 방법이 아직까지는 개발되지 않고 있었으나 수년 전부터 각 장비사별로 현장에서 실시간으로 좌표를 산출하여 결정하는 GPS 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하여 제공하고 있다.

우리나라의 경우 1995년에서 1997년에는 GPS에 대한 연구와 이를 활용하려는 움직임이 활발히 진행되어, 지적측량에서도 지적재조사사업에서 GPS 측량 방법을 활용하고자 하는 시험사업이 시행되었으며, 지적기준점의 위치해석, 지적측량을 위한 GPS 측위 특성 해석 등이 연구되었다.²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 1998년 말부터 2000년도에는 RTK-GPS를 이용 실시간으로 현장에서 직접 일필지의 좌표를 산출하려는 연구가 진행되었다.⁷⁾

GPS 측량 방법 중 지적삼각측량에는 static 측량 방법이 활용되고 있고, 도근측량에는 스톱앤고(stop & go) 또는 래피드 스테틱(rapid static) 측량 방법 등이 활용되고 있으며, 이에 대한 성과는 양호하고 실제 지적측량에 활용이 가능하다는 선행 연구가 많이 있어 왔다.⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾ 그러나 이러한 방법은 위성신호의 수신시간이 장시간 소요되고, 관측성과의 처리 방식이 후처리방식으로 이루어지기 때문에 현장에서 바로 경계결정이 필요한 지적세부측량에는 활용하기가 적절하지 못하다.

따라서 본 연구에서는 실시간 위치결정 측량시스템인 RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS) 측량 방법을 활용하여 일필지 경계점의 위치정보를 도출하고, 이에 대한 정확도를 기존의 TS(Total Station) 측량 성과와 비교·분석함으로써 RTK-GPS 측량의 효용성을 제시하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

1.2.1 연구범위

본 연구에서는 실험측량의 대상지역으로서 현재 새로이 택지개발이 이루어지고 있는 충북 청원군 오창면 양청리의 오창 과학

산업단지내 총 4개블럭 29필지를 선정하였다. 이는 ① GPS 위성신호의 수신가능성, ② 전파에 영향을 미치는 장애물의 유·무 등을 고려한 것이다.

연구대상지역의 관측은 ① 2001년 5월 24일 RTK-GPS 기지국 선점을 위한 보조삼각측량을 시행하였으며, ② 익일(25일) 일필지 측량을 위한 RTK-GPS 관측이 이루어졌다.

특히, RTK-GPS 측량에 있어 시간대별 수신 가능한 위성의 수와 위성의 배치도 및 위성들의 상대적인 기하학이 위치결정에 미치는 오차를 나타내는 PDOP(Position Dilution of Precision)를 고려하여, 위성의 수신상태가 좋지 못하고, 위성수가 적은 시간대인 00시~04시와 11시~13시 시간대를 피하여 관측하였다.

RTK-GPS 측량 방법으로 일필지 경계점의 좌표를 산출하여 기존 TS 측량에 의하여 산출된 좌표와 비교를 통해 중·횡선오차, 점간 거리오차, 면적오차와 이에 대한 RMSE(Root Mean Square Error)를 산출하여 RTK-GPS 측량의 정확도를 분석하고자 한다.

1.2.2 연구방법

RTK-GPS 측량 방법을 일필지 측량에 적용시 정확도 분석을 통하여 지적세부측량에서의 효용성 및 응용가능성을 제시하고자 GPS 기본 위치결정 원리를 바탕으로 RTK-GPS의 위치결정 방식과 이론을 정립하였다. 이를 토대로 대상지역의 관측점에 대한 효율적인 망(network)을 구성하고, 각 필계점에 대하여 RTK-GPS 관측을 시행한 후, 기존 TS 측량에 의하여 산출된 좌표와 특성과 정확도를 분석·평가하였다.

RTK-GPS 측량은 측정범위가 수신기의 성능에 따라 500m 이내 또는 불과 몇 km 이내에 한정되는 제약사항이 있으므로, 본

연구에서는 가장 최적의 RTK-GPS 측량 기지국(reference station)을 선점하기 위하여 기준점측량에 있어 최적 관측 방법인 스테틱 GPS 측량을 실시하여 성과와 제한거리가 고려된 기지국의 선점으로 일필지 경계점 관측시 RTK-GPS 측량의 정확도 및 정밀도를 높이도록 하였다.

스테틱 GPS에 의한 측량 결과는 WGS84(World Geodetic System) 타원체에 의한 3차원 지심좌표계로 산출되어지기 때문에 국내에서 이용하고 있는 벡셀(bessel) 타원체에 의한 평면직각좌표계로 전환할 필요성이 있어 7 파라미터(parameter)에 의한 2차원 좌표변환방법을 채택하여 좌표변환을 거쳐 산출하였다.

일필지 좌표 산출의 정확도를 높이기 위하여 static GPS 측량에 의한 기준점 측량시에 지역좌표 변환 파라미터를 산출하여 이를 RTK-GPS 측량시 미리 설정하여 주었다.

RTK-GPS 측량에 의하여 산출된 일필지 경계점의 좌표를 TS 측량방법에 의하여 산출된 기존 좌표와 비교하여 각 측점별 중·횡선오차를 산출하고, 이 중·횡선오차로 연결오차를 산출하였다. 그리고 중·횡선오차에 대한 RMS오차와 연결오차의 RMS 오차를 산출하여 분석을 하였다. 필계점간 거리오차의 분석은 TS 측량에 의하여 산출된 좌표를 역계산하여 산출한 거리와 RTK-GPS에 의한 산출거리의 비교를 통하여 오차를 분석하였고, 필지별 면적오차 분석은 각 필지의 기존 TS 측량방법에 의하여 산출된 면적과 RTK-GPS 측량으로 산출된 좌표를 가지고 좌표면적계산법으로 면적을 산출하여 상호 비교·분석을 통하여 RTK-GPS 측량 방법의 정확도를 평가하였다.

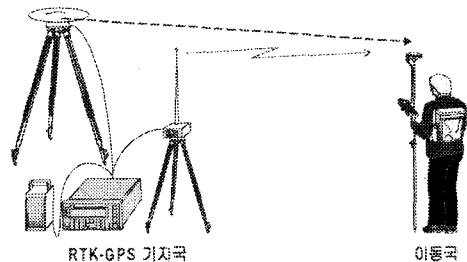
2. RTK-GPS에 의한 일필지 측량

GPS는 통상적으로 관측성과에 대한 후처리를 기본으로 한다. 그러나 RTK-GPS 측량은 두 점간의 거리, 방위, 고도차를 실시간으로 측량할 수 있는 측량방식이다. 다시 말하면, 실시간에 즉각적인 성과결정 즉, 현장에서 바로 좌표를 산출하여 측량성과를 결정하는 방법을 말한다. 이는 기존 전통적인 측량방법에 있어서 데오들라이트를 사용하여 현장에서 경계복원 및 현황측량을 실시하는 방법과 동일한 개념이다.

2.1 RTK-GPS 측량의 위치결정방식

키네메틱 GPS 측량 기법의 개발은 GPS의 활용범위를 크게 넓히고 있다. 키네메틱 GPS 측량 기법이라 하더라도 후처리 방법을 채택할 경우에는 기지국(reference station)과 이동국(rover)간의 데이터통신이 불필요하다. 그러나 RTK-GPS 측량을 기지국 및 이동국에서 동시에 관측한 GPS 위성신호를 조합처리하여 측량 현장에서 곧바로 이동국 관측점의 좌표를 산출하게 된다. 그러므로 실시간으로 현장에서 위치결정을 위해 기지국과 이동국간의 데이터통신이 필요하다.

RTK-GPS 측량은 베이스가 되는 기지국에서 송신되는 보정데이터(correction data)를 이동국인 이동국에서 무선통신을 이용하여 수신하고, 이를 이동국 수신기에서 위성으로부터 직접 수신한 데이터와의 조합처리에 의해 실시간으로 이동국의 위치를 구하게 된다. RTK-GPS 측량의 기본적 구성 시스템은 <그림 1>과 같다.¹⁴⁾



<그림 1> RTK-GPS 측량 시스템

RTK-GPS의 위치결정에 있어 중요한 것은 기지국이 적절히 배치되어야 하며, 기지국과 이동국간의 관

측데이터 통신이 원활해야 한다. 그리고 기지국과 이동국이 공통으로 최소 5개 이상의 가시 인공위성이 확보되어야 하므로 위성의 배열 및 시통, 전파장애 등 주변 환경을 정확히 고려해야 한다.

인공위성과 수신기간의 신호단절에 의한 영향은 인공위성과 수신기간의 거리계산에 필요한 정수파장해(integer bias), 즉 미지정수의 결정에 부정확성을 초래한다. 이에 따라 기지국과 이동국간 이격거리가 클 경우에는 서로 다른 전리층 지연오차를 가지기 때문에 미지정수의 결정에 불확실성이 높아진다. 부정확한 정수해(整數解)는 RTK-GPS 측량에 있어 후속측량에 직접 계통적 오차를 수반한다.

모든 GPS장비는 초기화과정을 거쳐 관측이 시작되는데 RTK-GPS의 초기화 과정은 특히 중요하다. 기준점 측량시 GPS장비를 한 곳에 계속 고정하여 오랫동안 데이터를 관측함으로써 한번 초기화시키면 되지만 계속 경계점을 옮겨가는 이동측량의 경우에는 주위의 장애여건 및 수신기의 수평상태를 유지시키지 못함으로써 초기화를 잃는 상황이 발생하게 된다.

보통 초기화를 놓칠 경우는 출발 기지점으로 다시 가야하는 번거로움이 있으나 초기화를 잃은 장소에서 바로 새로이 초기화 할 수 있는 OTF(On-The-Fly) 기법이 개발되어 현재로서는 이 기법을 이용시 상당한 시간단축을 할 수 있다.¹⁵⁾

OTF 초기화를 위해서는 1~3초의 높은 관측률로 신호 단절이 없는 200~300초가 필요하다. 최소 5개 이상의 위성신호를 받아야 하고, PDOP 5이하에서 고도15° 이상의 위성신호를 받도록 하여야하며, 가능하면 기지국과 이동국간의 거리는 가까울수록 좋다.

실시간 GPS와 후처리방식의 GPS간의 근본적인 차이는 RTK 경우 관측 중에 데이터가 병합되어 처리된다는 것이다. 실시간 보정을 위해서는 기준점에서 기지국 수신기의 보정 데이터를 이동국 수신기에 전송하기 위하여 최소 4800baud 이상의 데이터 전송능력을 가진 UHF/VHF 무선 송수신 시스템이 필수적으로 수반되어야 한다.

2.2 RTK-GPS 보정 데이터 형식

RTK-GPS 데이터 가운데 가장 중요한 RTK 보정 데이터 형식으로서 국제적으로 인정된 RTCM SC-104(Radio Technical Commission for Maritime Service, Special Committee 104) 와 TRIMBLE CMR(Compact Measurement Record)이 있다.

2.2.1 RTCM SC-104

RTCM SC 104는 미국 Radio Technical Commission for Maritime Service에서 해상 항법용으로 개발된 보정 데이터 형식으로 현재는 주로 DGPS 보정 데이터를 전송하기 위해 사용된다. <표 1>은 RTCM SC-104, v. 2.2에 포함된 보정 메시지 종류를 보이고 있다.¹⁶⁾ 메시지 타입(message type) 1, 2는 DGPS에서 필수적인 의사거리 보정치 및 그에 관련된 부가적인 보정 정보를 담고 있으며 메시지 타입 3은 DGPS 기지국 위치를 담고 있다. 메시지 타입 18, 19는 RTK를 위한 기지국의 각 위성에 대한 의사거리 및 반송파 위상 측정치를 담고 있고, 타입 20, 21은 RTK를 위한 각 위성에 대한 반송파 위상 보정치를 담고 있다. RTCM SC-104를 사용하여 RTK를 수행하기 위해서는 메시지 타입 3과 함께 메시지 타입 18, 19 또는 20, 21을 RTK 사용자에게 전송해야 한다.¹⁷⁾¹⁸⁾

타입 18, 19, 20, 21과 같은 메시지들은 각 관측시간 간격(epoch)마다 L1데이터에 1회, L2 데이터에 1회, 즉 2회씩 송신되어야 한다. 그러므로 2주와 수신기인 기지국에서는 각 위성에서 8개의 RTCM words(총 240bits)가 송신되어야만 한다.

실제 보정 메시지는 측량자나 항해자가 사용하는 많은 종류의 정보를 포함한다. 이들 메시지는 관측점의 위치, 양호상태, 위성배치상태, 그리고 직접 GPS 관측에 적용되기 위한 보정에 대해 광범위한 정보를 중계한다. 메시지에 공통적으로 사용된 대부분은 실제 의사거리보정을 포함한 타입 1이 된다. 타입 2 메시지는 관측위치에서 궤도나 시간 변수들이 새로운 것으로 바뀌는 동안에 타입 1 데이터를 중대시키기 위해 사용된다.¹⁹⁾

<표 1> RTCM SC-104에 포함된 보정 메시지 (버전 2.2)

형식 번호	결정 상태	메시지 내용	비 고
1	확정	DGPS 보정치	보정의 기본형, 단 형식은 9에 이행 예정 $PRC(t)=PRC(T_s)+RRC(t-T_s)$
2	확정	멀티 DGPS 보정치	기지국과 이동국에서의 측위사용
3	확정	기지국의 파라메타	기지국의 X,Y,Z 좌표
4	폐지	측 량	
5	확정	케도상 위성의 건강	케도상 위성의 ID, 데이터 건강, C/N ₀ , 강제적 건강, 물건강 예고 등
6	확정	제로 프레임	내용없음(헤더만 또는 1010패터 1어) 회선 유지용 등
7	확정	표지의 알마낙	비콘국의 위도, 경도, 통달거리, 주파수, 국ID, 비트속도 등
8	잠정	의사 위성의 알마낙	없 음
9	확정	부준적 위성조합의 DGPS 보정치	필요에 따라 임의의 위성 조합의 DGPS 보정치, 기본적으로는 형식 1과 같음, 강제 형식 1은 형식 9로 이행
10	잠정	P코드 DGPS 보정치	
11	보류	GA코드 L1,L2의 멀티 보정치	
12	보류	의사 위성국의 파라메타	
13	잠정	지상송신기의 파라메타	
14	잠정	측량보조 메시지	
15	잠정	진리층(대기권)메시지	
16	확정	특별메시지	ASCII코드에 의한 임의의 메시지
17	잠정	케도 데이터의 알마낙	
18	확정	RTK용, 미보정의 반송파 위상 측정치	RTK에서는 에이타 반복 0.5~2초 VHF/UHF 1200~9600bps 필요
19	확정	RTK용, 미보정의 의사거리 측정치	RTK에서는 에이타 반복 0.5~2초 VHF/UHF 1200~9600bps 필요
20	확정	RTK용, 반송파 위상의 보정치	RTK에서는 에이타 반복 0.5~2초 VHF/UHF 1200~9600bps 필요
21	확정	0000 RTK용 의사거리 보정치	RTK에서는 에이타 반복 0.5~2초 VHF/UHF 1200~9600bps 필요
22~30	미정	관리 소유자용 메시지	
31	잠정	다목적 사용을 위한보류	
32	보류		
33~38	잠정		
59	잠정		
60~63	보류		

자료 : Leick, A, 「GPS Satellite Surveying」, 1995. 포함 지방해양수산청 (<http://www.loran99330.go.kr>).

2.2.2 트림블 CMR

CMR은 대표적인 수신기 제조업체인 트림블사에서 개발한 RTK전용 보정데이터 형식으로서 트림블사의 RTK수신기에서 모두 호환되는 것은 물론, 데이터 형식을 공개하여 다른 GPS 수신기를 사용하더라도 RTK를 구현할 수 있다.

<표 2>에서 알 수 있듯이 CMR 보정데이터는 3가지 메시지를 포함한다. 메시지 0번은 의사거리 및 반송파위상 측정치와 시각 정보를 담고 있고, 메시지 1번 및 2번은 각각 기지국 위치 및 상세 이름에 관련된 정보를 담고 있다. 최적화된 구조를 지니고 있으므로 매우 적은 양의 보정 데이터를 사용하여 RTK를 구현할 수 있다. 메시지 0번은 매초마다 메시지 1, 2번은 10초마다 한 번씩 전송된다.

<표 2> 트림블 CMR 보정 메시지 종류

Type	내 용
0	L1/L2 의사거리 및 반송파 위상 측정치(9ch), GPS 시각정보
1	RTK 기지국 X,Y,Z 좌표 및 정확도, 각종 설정 정보
2	RTK 기지국 상세 이름 및 ID

2.3 일필지 측량 방법

2.3.1 측관측량에 의한 세부측량

측관측량은 측관을 사용하여 현장에서 직접 도해하고 도면을 작성하는 측량을 말하며, 지적측량기준점이나 결정된 측관점에서 세부측량을 한다. 이때 측정점의 묘화는 측관에서 측정점까지 방향선을 그리고 거리를 측정하여 측정점의 위치를 결정하게 된다.²⁰⁾

측관측량에 의한 세부측량 방법에는 교회법, 도선법, 방사법, 지거법, 비례법으로 하며, 지적측량에서는 현행법 등을 사용하고 있으며, 측관측량의 절차로서는 도면의 등사, 측량준비도의 작성, 지적측량 자료조사, 현지측량, 측량결과도 작성, 측량성과 검사 등의 순서로 진행된다.²¹⁾

2.3.2 경위의측량에 의한 세부측량

경위의에 의하여 세부측량을 실시하기 위해서는 토지구획정리사업 등에 의한 지적확정측량과 시가지지역의 축척변경을 위한 측량이 있으며 수치지적시행지

역의 측량에 있어서도 경위의측량 방법에 의한다고 규정되어 있다(지적법시행령, 제24조 제4항).

도해측량 성과는 도면에 보관, 관리되고 있으므로 오랜 기간을 사용하면 신축, 더럽혀지거나 헐어지는 등 변질로 인하여 정확한 성과의 유지관리에 많은 어려움이 따르게 된다. 따라서 도해측량 방식을 수치측량 방식에 의하여 필계점의 좌표를 산출하고 좌표의 연결로서의 정보를 보관·관리한다면 정밀한 현형의 성과를 취득할 수 있게 된다.

그러나 정밀한 현형성과를 산출하는데는 많은 인력과 경비가 소요될 뿐만 아니라 상당기간의 노력이 필요하게 되며 자료의 관리 또한 가시성이 없으므로 세심한 주의를 필요로 하는 단점도 있다.

3. 실험측량 및 분석

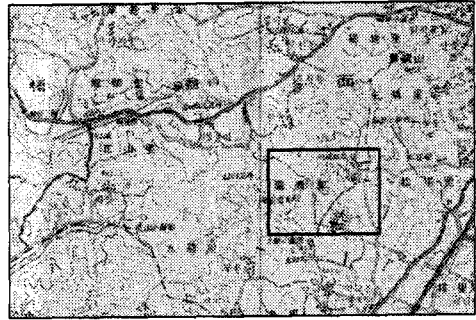
3.1 실험측량

3.1.1 관측망 구성 및 관측장비

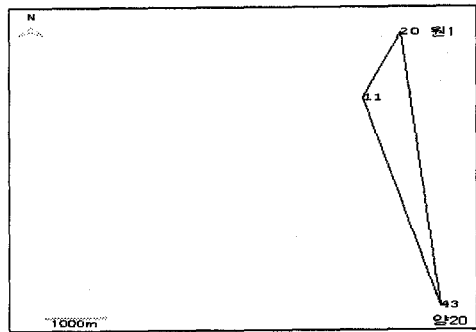
1) 관측망 구성

연구대상 지역은 사전답사와 도상계획을 통하여 접근방법, GPS 위성신호의 수신가능성, 전파에 영향을 미치는 장애물의 유·무 등을 검토하여 중복 청원군 오창면 양청리의 오창 과학산업단지내 4개블럭을 선정하였다. 이 지역은 최근에 새로이 택지개발을 시행하고 있는 지역으로서 TS 관측에 의한 확정측량이 완료된 상태로 RTK-GPS 측량에 있어 가장 중요한 위성신호의 수신에 장애가 없고, 주변의 전파에 영향을 미치는 장애물이 없는 택지개발지구이다. 따라서, RTK-GPS 관측에 의한 성과와 기존 TS 관측성과와의 정확한 비교·분석이 이루어질 수 있을 것으로 판단하여 선정을 하였다.

RTK-GPS 측량의 기지국을 선정하기 위하여 먼저 주변 삼각점의 점검을 통하여 스테틱 GPS 측량에 의한 삼각망을 구성하였다. <그림 2>는 연구대상지역의 위치를 나내고, 삼각망의 구성은 <그림 3>과 같다.



<그림 2> 연구대상지역의 위치도(지형도 1/50,000)



<그림 3> static GPS 관측망도

2) 관측장비

본 연구에서의 관측은 크게 두 가지로 분류될 수 있는데, RTK-GPS 측량시 기지국으로 사용할 보조삼각점 설치에 필요한 스테틱 GPS 측량과 스테틱 GPS 측량 후 실제 일필지의 경계를 결정하기 위한 RTK-GPS 측량이다.

스테틱 GPS 측량의 경우 탑컨(topcon)사의 터보(turbo) SII 수신기로 총 3대의 정밀측지용 수신기를 사용하였으며, RTK-GPS 측량의 경우는 트림블사의 4000ssi를 사용하였다.

RTK-GPS 기지국 선점을 위한 스테틱 측량에 사용된 소프트웨어는 탑컨사의 TGPS 이다. 수신장비의 주요 제원은 <표 3>과 같다.

<표 3> GPS 수신장비의 주요 제원

장비	Channel	Cycle	Code	Antenna	Weight	Memory size
TOPCON TURBO SII	8ch	P1,P2/C/A	Full	Microstrip L1/L2	3.8kg	2MB
TRIMBLE 4000ssi	12ch	P1,P2/C/A	Full	Compact L1/L2	3.1kg	2.5MB

장 비	Software	Static 정확도			Kinematic 정확도	
		수평	수직	방위	수평	수직
TOPCON	TURBO SD	$\pm(5mm + 2ppm \cdot D)$	$\pm(1cm + 2ppm \cdot D)$	1초(각도)+ 5/기선장(km)	1~2cm	2~3cm

3.1.2 관측방법

1) 기준점 측량

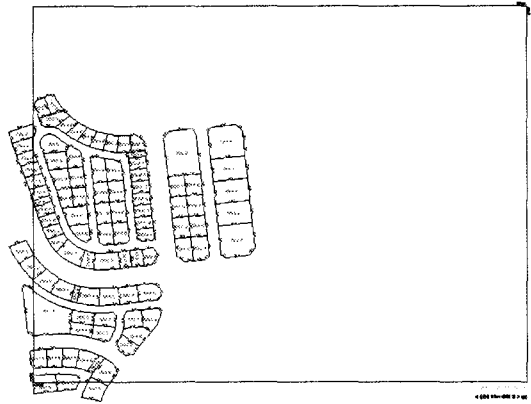
RTK-GPS 실험 측량에 앞서 지지국 선점을 위한 대상지역을 포괄하는 주변 삼각점에 대한 스테틱 GPS 측량이 실시되었다. 대상지역 주변의 삼각점에 대한 GPS 성과로부터 1차적으로 관측삼각점에 대한 기선점점이 이루어졌으며, 이 삼각점들을 기지로 RTK-GPS 측량의 지지국을 선정하였다. 지지국의 선정은 모뎀의 전송거리와 성과를 고려하여 최적의 위치를 선정하였다.

RTK-GPS 측량 방법의 현장적용을 위해서는 실제 측량에 앞서 지역에 적합한 지역좌표변환 파라미터를 산출하여야 한다. 이 때문에 필지경계점의 측량에 선행하여 측량지역의 삼각망 구성을 통하여 내부 및 외부의 인근 기준점을 관측하고 이로부터 지역좌표변환 파라미터를 산출하였다.

2) 일필지 측량

일필지 측량은 측량지역의 주변의 삼각점을 중심으로 스테틱 GPS 측량에 의하여 삼각망 구성을 통하여 모뎀 전송의 제약거리와 성과를 고려한 보조삼각점(RTK-GPS 측량 지지국)을 설치하고, 이 보조삼각점에 지지국을 설치하여 각각의 필계점들을 관측하였다. 이동국의 초기화는 초기화를 잃은 장소에서 바로 새로이 초기화 할 수 있고, 이동 중 신호단절 등을 고려하여 OTF(On-The-Fly) 기법에 의하여었다.

RTK 측량은 지지국에 설치한 라디오 안테나를 통하여 지지국에서 수신한 위성관측데이터를 이동국에 전송하게 되며, 이동국은 기준점의 위치관측데이터를 기초로 실시간으로 WGS84 위치를 계산하고, 이를 미리 설정해 놓은 좌표변환 파라미터를 이용하여 현행 좌표계상의 위치로 산출하게 된다. <그림 4>는 대상 지역의 수치지적도를 나타낸 것이다.



<그림 4> 대상지역의 수치지적도

3.2 성과산출 및 분석

3.2.1 기준점 성과 분석

스테틱 GPS 관측자료를 TGPS로 처리하여 망조정된 삼각점의 WGS84 좌표값과 표준오차는 <표 4>와 같다. 평균적으로 표준오차는 위도, 경도 및 고도에서 0.001m, 0.001m, 및 0.003m로 양호한 성과를 나타내었다. 따라서 11번측점(보조삼각점)을 RTK-GPS 측량의 지지국으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

<표 4> 스테틱 GPS 측량의 WGS84좌표와 표준오차

(ϕ :위도, λ :경도, h:표고)

측점	성분	좌표성과	1 σ (m)	평면직각좌표	비고
11	ϕ	36° 43' 1.92617"	0.001	X 357730.09	RTK-GPS 지지국
	λ	127° 25' 41.34416"	0.001		
	h	56.381	0.003	Y 238246.65	
20 (원1)	ϕ	36° 43' 56.65912"	FIXED	X 359419.99	지지점
	λ	127° 26' 7.25187"	FIXED		
	h	228.740	FIXED	Y 238881.86	
43 (양20)	ϕ	36° 40' 5.13461"	FIXED	X 352286.84	지지점
	λ	127° 26' 33.87603"	FIXED		
	h	59.640	FIXED	Y 239575.34	

3.2.2 RTK-GPS 성과 분석

RTK-GPS 측량성과는 지지국에서 모뎀을 통하여 이동국에 보정데이터를 전송하여 각각의 필지경계점을 관측하여 현장에서 직접산출하였다. 이러한 방법으로 각 블록의 WGS84 좌표와 평면직각좌표를 산출하였다.

1) TS와 RTK-GPS좌표의 비교·분석

TS 좌표와 RTK-GPS 산출좌표와의 비교·분석은 기존 TS 관측으로 확정이 되어있는 좌표값과 RTK-GPS 측량에 의하여 산출된 좌표값을 비교하였다. 분석은 TS 좌표와 RTK-GPS 산출좌표의 중·횡선오차를 산출하고, 산출된 ΔX , ΔY 로 연결오차를 산출하여 분석하였다. <표 5>는 TS 측량과

RTK-GPS 측량을 비교하여 측정별 중·횡선오차, 연결오차, 이에 대한 RMS오차의 산출을 나타낸 것이다. <표 5>와 같이 과대오차를 배제하고 산출한 중·횡선오차의 RMSE는 $X=0.08m$ $Y=0.06m$ 로 나타나 성과가 양호한 것으로 분석되었다. 중·횡선오차를 이용하여 산출한 연결오차의 RMSE는 $0.08m$ 로 분석되었다.

<표 5> 중·횡선오차 비교

블럭	측점명	TS		GPS		중·횡선오차		연결오차	비고
		X	Y	X	Y	ΔX	ΔY		
771	1	357859.67	238132.60	357859.75	238132.51	0.08	-0.09	0.12	
	2	357867.52	238138.79	357867.49	238138.71	-0.03	-0.08	0.09	
	3	357869.65	238160.26	357869.70	238161.24	0.05	0.98	0.98	Y축 과대오차
	4	357865.82	238164.89	357865.70	238165.08	-0.12	0.19	0.23	
	5	357734.19	238176.79	357733.86	238178.88	-0.33	2.09	2.11	과대오차
	6	357730.45	238174.10	357730.50	238174.51	0.05	0.41	0.41	Y축 과대오차
	7	357728.34	238153.62	357728.38	238153.67	0.04	0.05	0.06	
	8	357734.31	238145.54	357735.55	238150.48	1.24	4.94	5.09	과대오차
	9	357822.13	238169.70	357822.04	238169.70	-0.09	0.00	0.09	
	10	357800.28	238171.96	357800.30	238171.91	0.02	-0.05	0.06	
	11	357778.43	238174.22	357778.39	238174.19	-0.04	-0.03	0.05	
	12	357756.49	238176.48	357756.48	238176.49	-0.01	0.01	0.02	
	13	357729.26	238162.56	357729.21	238162.63	-0.05	0.07	0.08	
	14	357753.13	238143.60	357753.10	238143.55	-0.03	-0.05	0.06	
	15	357775.02	238141.34	357775.00	238141.30	-0.02	-0.04	0.04	
	16	357796.92	238139.08	357796.91	238139.02	-0.01	-0.06	0.06	
	17	357818.77	238136.82	357818.81	238136.81	0.04	-0.01	0.04	
	18	357820.44	238153.18	357820.45	238153.17	0.01	-0.01	0.01	
	19	357798.59	238155.43	357798.58	238155.39	-0.01	-0.04	0.04	
	20	357776.71	238157.68	357776.77	238157.56	0.06	-0.12	0.14	
	21	357754.80	238159.93	357754.92	238159.88	0.12	-0.05	0.13	
772	22	357755.79	238123.18	357755.70	238123.18	-0.09	0.00	0.09	
	23	357751.17	238121.27	357751.22	238121.30	0.05	0.03	0.06	
	24	357749.88	238109.31	357749.91	238109.41	0.03	0.10	0.10	
	25	357753.02	238105.38	357753.40	238105.39	0.38	0.01	0.38	X축 과대오차
	26	357840.92	238114.42	357840.89	238114.37	-0.03	-0.05	0.05	
	27	357828.34	238115.72	357828.35	238115.67	0.01	-0.05	0.05	
	28	357815.62	238117.03	357815.64	238116.95	0.02	-0.08	0.08	
	29	357802.90	238118.33	357802.88	238118.29	-0.02	-0.04	0.05	
	30	357790.22	238119.64	357790.18	238119.57	-0.04	-0.07	0.08	
	31	357777.37	238120.95	357777.50	238120.88	0.13	-0.07	0.14	
	32	357764.80	238122.25	357764.80	238122.17	-0.01	-0.08	0.08	
	33	357762.96	238104.35	357762.94	238104.33	-0.02	-0.02	0.03	

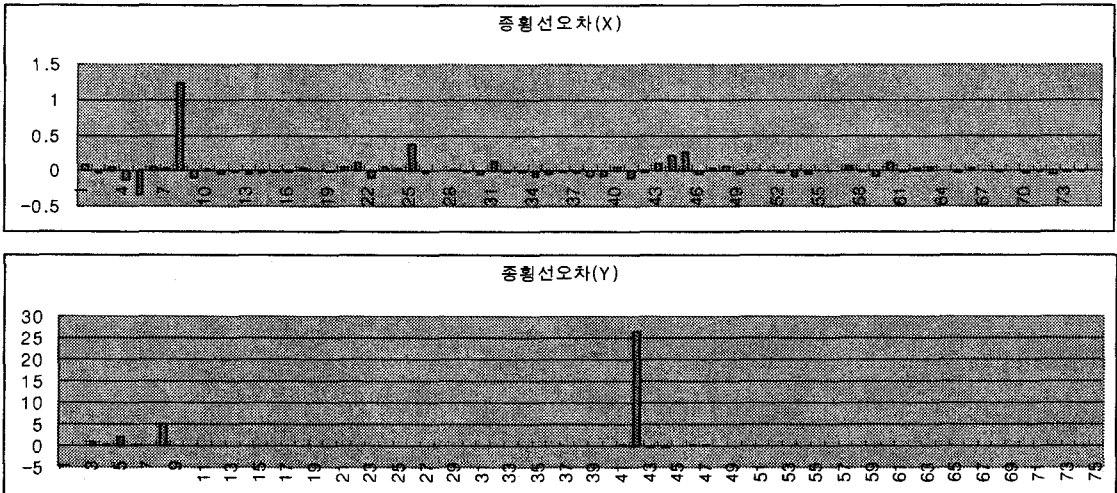
블럭	측점명	TS 좌표		GPS 좌표		중·횡선오차		연결 오차	비고
		X	Y	X	Y	ΔX	ΔY		
772	34	357775.69	238103.04	357775.62	238103.02	-0.07	-0.02	0.07	
	35	357788.37	238101.73	357788.33	238101.64	-0.04	-0.09	0.10	
	36	357801.07	238100.42	357801.05	238100.39	-0.02	-0.03	0.04	
	37	357813.80	238099.11	357813.77	238099.10	-0.03	-0.01	0.03	
	38	357826.47	238097.80	357826.40	238097.76	-0.07	-0.04	0.08	
	39	357839.17	238096.49	357839.09	238096.48	-0.08	-0.01	0.08	
774	40	357837.45	238057.49	357837.50	238057.50	0.05	0.01	0.05	
	41	357841.07	238062.01	357840.97	238062.37	-0.10	0.36	0.37	Y축 과대오차
	42	357839.11	238070.14	357839.09	238096.48	-0.02	26.34	26.34	Y축 과대오차
	43	357837.12	238085.34	357837.22	238084.96	0.10	-0.38	0.39	Y축 과대오차
	44	357833.58	238088.97	357833.79	238088.75	0.21	-0.22	0.31	과대오차
	45	357752.26	238097.38	357752.53	238097.33	0.27	0.05	0.27	X축 과대오차
	46	357748.35	238094.27	357748.30	238093.94	-0.05	0.33	0.33	Y축 과대오차
	47	357745.83	238070.22	357745.87	238070.65	0.04	0.43	0.43	Y축 과대오차
	48	357749.21	238066.54	357749.28	238066.48	0.07	-0.06	0.09	
	49	357838.68	238072.40	357838.64	238072.37	-0.04	-0.04	0.05	
	50	357815.32	238090.86	357815.33	238090.82	0.01	-0.04	0.04	
	51	357793.43	238093.12	357793.43	238093.13	0.00	0.01	0.01	
	52	357771.6	238095.38	357771.57	238095.33	-0.03	-0.05	0.06	
	53	357747.05	238081.83	357746.98	238081.78	-0.07	-0.05	0.08	
	54	357768.43	238064.56	357768.39	238064.54	-0.04	-0.02	0.04	
	55	357790.32	238062.31	357790.32	238062.30	0.00	-0.01	0.02	
	56	357812.22	238060.06	357812.23	238060.05	0.01	-0.01	0.02	
	57	357813.72	238074.97	357813.79	238074.90	0.07	-0.07	0.10	
58	357791.85	238077.22	357791.83	238077.12	-0.02	-0.10	0.10		
59	357769.96	238079.47	357769.88	238079.47	-0.08	0.00	0.08		
776	60	357867.08	238177.17	357867.20	238177.11	0.12	-0.06	0.13	
	61	357871.88	238180.77	357871.86	238180.72	-0.02	-0.05	0.05	
	62	357874.47	238206.11	357874.50	238206.20	0.03	0.09	0.10	
	63	357867.73	238213.49	357867.79	238213.49	0.06	-0.00	0.06	
	64	357742.97	238225.21	357742.97	238225.21	-0.00	0.00	0.00	
	65	357735.06	238218.81	357735.03	238218.79	-0.03	-0.02	0.03	
	66	357732.66	238195.51	357732.70	238195.56	0.04	0.05	0.06	
	67	357736.17	238190.65	357736.17	238190.74	-0.00	0.09	0.09	
	68	357841.26	238215.00	357841.25	238214.93	-0.01	-0.07	0.07	
	69	357817.41	238217.48	357817.41	238217.39	-0.00	-0.09	0.09	
	70	357793.57	238219.95	357793.54	238219.86	-0.03	-0.09	0.09	
	71	357769.65	238222.44	357769.64	238222.41	-0.01	-0.03	0.03	
	72	357766.04	238187.57	357765.99	238187.54	-0.05	-0.03	0.06	
	73	357789.94	238185.11	357789.93	238185.11	-0.01	-0.00	0.01	
	74	357813.77	238182.66	357813.76	238182.68	-0.01	0.02	0.03	
	75	357837.63	238180.22	357837.63	238180.22	0.00	0.00	0.00	
RMSE						0.08	0.06	0.08	

총 측점의 90%이상이 지적법시행규칙 제34조에 의한 측량성과 인정범위인 0.10m 이내로 분석되어 위성의 수신장애를 받지 않는 경지정리지역, 수치지적시행지역, 일반 공사 측량에서 시간이나 경제적인 면에서 매우 효율적일 수 있다. 또한, 향후 시행될 지적 재조사사업에 있어서도 매우 효율적일 것이라 판단된다. <그림 5>는 과대오차를 포함하여 분석하였을 경우의 중·횡선오차의 변화량을 나타낸 그래프이고, <그림 6>은 과대오차를 배제하였을 경우의 중·횡선오차의 변화량을 나타낸 것이다.

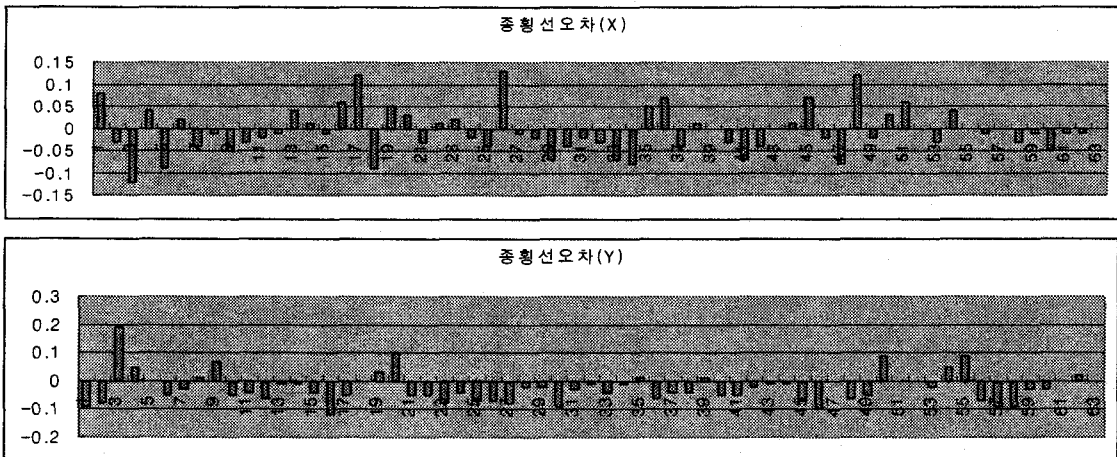
2) TS와 RTK-GPS의 필계점간 거리오차 분석

TS와 GPS의 필계점간 거리 분석은 기존 TS에 의하여 산출된 좌표를 역계산하여 산출한 대상 필계점간 거리와 RTK-GPS 측량에 의하여 산출된 거리를 비교·분석하였다.

TS와 GPS 산출좌표의 비교·분석에 있어과대오차를 배제하였기 때문에 분석에서 과대오차를 제거한 측점들을 가지고 필계점간 거리오차를 산출하여 분석하였다. <표 6>은 필계점간 거리오차를 나타낸 것이다. 필계점간 거리오차의 RMSE와 평균오차는 각각 0.06m, 0.05m로 나타나 성과가 양호한 것으로 분석되었다.



<그림 5> 과대오차가 포함된 중·횡선오차의 변화량 (단위 m)



<그림 6> 과대오차가 배제된 중·횡선오차의 변화량 (단위 m)

<표 6> 필계점간 거리오차

(단위 m)

블럭	지번	점간번호		계산거리	관측거리	오차	비고	
		에서	까지					
771	771-1	2	3	21.58	22.63	0.05		
		17	9	33.05	33.05	0		
	771-2	17	9	16.61	16.61	0		
		19	10	16.62	16.61	0.01		
	771-3	19	10	16.62	16.61	0.01		
		20	11	16.63	16.70	-0.07		
	771-4	20	11	16.63	16.70	-0.07		
		21	12	16.64	16.68	0.04		
	771-5	21	12	16.64	16.68	0.04		
		13	7	8.99	8.99	0		
	771-6	14	21	16.42	16.43	0.01		
		14	21	16.42	16.43	0.01		
	771-7	15	20	16.43	16.35	-0.08		
		15	20	16.43	16.35	-0.08		
	771-8	16	19	16.44	16.45	0.01		
		16	19	16.44	16.45	0.01		
	771-9	17	18	16.45	16.44	-0.01		
		39	26	18.02	18.00	-0.02		
772	772-12	27	38	18.02	18.02	0		
		27	38	18.02	18.02	0		
	772-13	28	37	18.01	17.95	-0.06		
		37	28	18.01	17.95	-0.06		
	772-14	36	29	18.00	18.00	0		
		36	29	18.00	18.00	0		
	772-15	35	30	18.01	18.02	0.01		
		35	30	18.01	18.02	0.01		
	772-16	34	31	18.00	18.00	0		
		34	31	18.00	18.00	0		
	772-17	33	32	18.00	17.93	-0.07		
		32	33	18.00	17.93	-0.07		
	772-18	24	25	12.03	12.00	-0.03		
		40	41	5.81	5.97	0.04		
	774	774-1	56	57	14.99	14.93	-0.06	
			57	50	15.97	15.99	0.02	
		774-2	57	50	15.97	15.99	0.02	
			58	51	15.98	16.09	0.11	
774-3		58	51	15.98	16.09	0.11		
		59	52	15.99	15.94	-0.05		
774-4		59	52	15.99	15.94	-0.05		
		54	59	14.99	15.00	0.01		
774-5		54	59	14.99	15.00	0.01		
		55	58	14.99	14.89	-0.10		
774-6		55	58	14.99	14.89	-0.10		
		56	57	14.99	14.93	-0.06		
776		776-1	61	62	25.47	25.61	0.14	
			75	68	34.99	34.90	-0.09	
		776-2	75	68	34.99	34.90	-0.09	
			74	69	35.01	34.90	-0.11	
		776-3	74	69	35.01	34.90	-0.11	
			73	70	35.03	34.93	-0.1	
	776-4	73	70	35.03	34.93	-0.1		
		72	71	35.06	35.06	0		
	776-5	72	71	35.06	35.06	0		
		66	65	23.42	23.30	-0.12		
	RMSE						0.06	

점간 거리오차의 경우는 지적법시행규칙 제34조에 의한 측량성과 인정범위인 수치지적시행지역 경계점 오차범위 10cm로 규정되어 있는 것을 고려할 경우

95%이상이 10cm이내의 성과를 보이고 있어 매우 양호한 성과를 나타내고 있다.

3) TS와 RTK-GPS의 면적오차 분석

TS와 GPS의 면적오차 분석은 TS에 의해 산출된 좌표를 좌표면적계산법으로 계산한 면적과 RTK-GPS 관측으로 산출한 좌표 역시 동일 계산법으로 계산을 하여 면적의 차이를 비교·분석한 것이다.

<표 7>은 필지별 면적오차를 나타내는 것으로 RMS오차가 1.3m²로 나타나 성과가 양호한 것으로 분석되었고, 평균오차 역시, 1.0m²로 산출되어 양호한 성과로 분석되었다.

<표 7> 필지별 면적오차

(단위 : m²)

블럭	지번	TS 관측면적	GPS 관측면적	오차	비고	
771	771-2	364.9	364.0	-0.9		
	771-3	365.4	366.0	0.6		
	771-4	366.6	367.3	0.7		
	771-5	419.0	422.1	3.1		
	771-7	361.5	360.6	-0.9		
	771-8	361.6	360.9	-0.7		
	771-9	361.1	361.8	0.7		
	772	772-12	228.9	228.1	-0.8	
		772-13	229.9	229.1	-0.8	
772-14		230.4	230.2	-0.2		
772-15		229.7	230.0	0.3		
772-16		229.8	229.7	-0.1		
772-17		230.1	228.9	-1.1		
772-18		231.3	230.1	-1.2		
774		774-1	401.5	400.9	-0.6	
		774-3	351.0	353.8	2.7	
	774-4	351.8	352.8	1.0		
	774-7	329.8	329.8	-0.0		
776	776-2	839.4	836.9	-2.5		
	776-3	839.1	837.2	-1.9		
	776-4	842.3	841.7	-0.6		
	RMSE				1.3	

이러한 결과는 현행 지적법시행령 제48조에 규정된 신규면적 오차 허용 범위인 $0.026^2 MV\sqrt{F}$ 에 적용할 경우 모든 산출값이 오차 허용 범위 이내의 성과에 포함이 되어 RTK-GPS 측량 성과의 높은 정확도를 보여주고 있다.

따라서, RTK-GPS에 의한 측량은 택지개발지역에서의 세부측량과 경지정리지구, 농경지, 임야지 등 위 성전과 수신에 장애를 받지 않는 곳에서의 위치정보 획득에 있어 시간이나 비용면에서 높은 효율성이 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

GPS는 정확도가 인정되어 위치결정을 위한 측지측량, 지적측량, 공사측량에 광범위하게 이용되고 있다. 본 연구에서는 RTK-GPS에 의한 일필지 좌표결정의 정확도를 분석·평가하기 위하여 기존의 TS 관측에 의하여 산출된 좌표와 RTK-GPS 측량에 의하여 산출한 좌표값에 대해 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 대상지역의 일필지 경계점의 좌표 값을 분석한 결과 중·횡선오차의 RMSE는 $X=0.08m$, $Y=0.06m$, 연결오차의 RMSE는 $0.07m$ 로 양호한 성과를 보여 RTK-GPS 측량의 정확도를 확인할 수 있었다.

2. 점간 거리오차는 RMSE $6cm$, 평균오차 $5cm$ 를 나타냈고, 블럭별로는 최대오차가 $7cm\sim 14cm$, 평균오차의 경우는 $2cm\sim 8cm$ 로 나타나 기존 TS 관측성과 비교하여 큰 차이가 없었다.

3. 필지별 면적오차를 분석한 결과 RMSE $1.3m^2$, 평균오차 $1.0m^2$ 로 나타났고, 블럭별로는 최대오차 $1.2m^2\sim 3.1m^2$, 평균오차 $0.6m^2\sim 1.7m^2$ 로 나타나 TS 관측에 의한 면적산출과 많은 차이가 없었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 중·횡선오차와 필계 점간 거리오차, 면적오차는 현행 지적법에서 규정하고 있는 중·횡선오차, 신·구면적오차의 허용범위내에 약 90%가 포함되므로, 택지개발지역과 경지정리지구, 농경지, 임야지 등 위성의 전파수신에 장애를 받지 않는 곳에서 RTK-GPS 측량방법의 효율성이 기대된다.

끝으로 본 연구는 위성 수신에 장애가 없는 지역을 대상으로 하였으나 시가지 같은 곳의 건물 밀집지역의 경우에는 위성의 수신장애가 있을 것으로 판단된다. 따라서 시가지의 경우는 TS 측량과 RTK-GPS 측량을 연계하여 시행할 수 있는 연구가 지속되어야 할 것이다. 그리고 RTK-GPS 측량에 있어서 가장 정

확한 위치정보를 획득하기 위해서는 RTK-GPS 측량의 기지국 역할을 하게되는 GPS 상시관측소에 대하여 현재 기관별로 구축되고 있는 것을 연계하여 광역정밀 GPS 상시관측망의 구축이 필요하고, RTK-GPS 측량의 실용화를 위하여는 GPS에 의한 일반 기준점 측량, RTK-GPS를 이용한 세부측량 등에 관한 세부적인 규정이 조속한 시일내에 마련되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 1) 대한지적공사, GPS 전국 동시관측 및 RTK 측량 실험 사업 보고서, 1998. p.46
- 2) 강태석 외 3인, 지적재조사사업을 위한 GPS의 활용에 관한 기초연구, 지적기술연구소, 1996.7
- 3) 행정자치부·대한지적공사, 필지중심토지정보시스템 구축사업추진, 1996
- 4) 지적기술연구소, GPS 측량의 실용화 연구 보고서 (GPS 측량작업지침 및 관련 S/W 개발), 1997
- 5) 지적기술연구소, GPS에 의한 지역별·계절별 변동 추이분석, 1997
- 6) 김영선, GPS를 이용한 세부측량의 정밀도 분석, 조선대학교 산업대학원 석사학위논문, 1997
- 7) 대한지적공사·행정자치부, 지적재조사 기반 기술 확보를 위한 GPS 측량기법의 실용화 연구, 2000
- 8) 강준묵·윤희천·김홍진, "GPS에 의한 지적삼각망의 정합성 분석" 한국지형공간정보학회논문집, 제 2권 제 1호, 1994
- 9) 김홍진, GPS에 의한 측지학적 위치결정의 정확도 해석에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 1996
- 10) 김정호, GPS를 이용한 기준점 좌표변환에 관한 연구, 경기대학교 대학원 박사학위논문, 1998

- 11) 박상갑, 지적측량에 있어서 GPS 측량의 실용화 방안, 청주대학교 행정대학원 석사학위논문, 2000. 12
- 12) 최한영, GPS를 이용한 일필지 좌표결정에 관한 연구, 조선대학교 산업대학원 석사학위논문, 1999
- 13) 행정자치부·대한지적공사, GPS를 이용한 지적측량 시범사업 구획·경지정리 확정 측량지구, 1997
- 14) 양철수, RTK-GPS 측량의 실용화 실험 연구, 지적재조사 기반기술 확보를 위한 GPS 측량기법의 실용화 연구, 행정자치부·대한지적공사, 2000, pp.185~186
- 15) 대한지적공사, GPS 전국 동시관측 및 RTK 측량 실험 사업보고서, 1998, P.65
- 16) Ekberg, P., RTK Compression for DARC, Department of Electrical Engineering Linköping University, pp.8~14
- 17) 기창돈, GPS 상시관측소망 데이터의 활용기반 연구, 지적재조사 기반기술 확보를 위한 GPS 측량기법의 실용화 연구, 행정자치부·대한지적공사, 2000. p.45.
- 18) 포항지방해양수산청(<http://www.loran99330.go.kr>).
- 19) 정한상, “반송파 위상관측을 이용한 실시간 GPS 측량의 효용성”, 금오공과대학교 대학원 석사학위논문, 1998, pp.9~10.
- 20) 강태석, 지적측량학, 형설출판사, 2000. pp.18~23
- 21) 대한지적공사, 도해지역의 측판측량 개선방안, 2000., pp.19~20

(2002년 2월 14일 원고접수)