

## 실시간 동적 GPS 측량에 의한 지형 해석 Analysis of Topography by Real-Time Kinematic GPS Positioning

신상철\* · 김정동\*\* · 박운용\*\*\*

Shin, Sang-Cheal · Kim, Joung-Dong · Park, Woon-Yong

### 요 旨

반송파 위상을 이용하는 고정밀도의 실시간 동적 GPS 측량을 위해 OTF 초기화에 따른 위치결정 정확도는 20 km의 기선거리 범위 내에서는 5분 이상의 초기화로 1 cm 이내의 정확도로 기선을 결정할 수 있었으며, 위성의 기하학적인 배치상태가 측위 정확도에 미치는 영향은 크므로 PDOP과 RDOP은 4.0 이하를 유지할 수 있는 시간대를 계획하는 것이 좋다고 판단된다. 실시간 동적 GPS 측량을 위한 초기 조건과 관측 시간대를 고려한 다음, 후처리에 의한 연속 동적 GPS 측량과 실시간 동적 GPS 측량을 수행하였다. 본 연구를 위해 실시간으로 GPS 관측 자료를 저장할 수 있는 프로그램을 개발하여 결과값을 동시에 저장하고 controller를 통해 관측 당시의 위성 상태를 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안하였다. 그 결과 측량시 발생할 수 있는 오차 요소에 대한 보정이 가능하여 정확도 향상에 기여함을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

For a high resolution real-time kinematic GPS surveying using carrier phase, positioning accuracy according to the OTF initialization was better than 1 cm with more than 5-minute initialization within 20 km baseline. Also, it is recommended that measurements be carried out when PDOP and RDOP can be kept less than 4.0 since the geometrical layout of satellites has a great influence on the positioning accuracy. After considering the initial conditions and measuring time zone for real-time kinematic GPS, post-processed continuous kinematic GPS and real-time kinematic GPS measurements have been carried out. A new system has been proposed to store measured data by using a program developed to store GPS data in real time and to monitor the satellite condition through controller at the time of measurement. As a result, it has been revealed that possible noise in surveying could be corrected and the accuracy could be improved.

### 1. 서 론

반송파 위상을 이용한 실시간 동적 GPS 측위는 GPS 측량 분야의 효율성을 증대하였으며, 보다 정확한 지형 정보의 획득과 수치지형모델의 구축을 비롯해 차량의 모니터링, GPS-Van Photogrammetry 그리고 항공사진측량(Airborne GPS)에 이르기까지 그 활용범위가 확대되어가고 있다. 그러나 반송파 위상을 이용한 실시간 동적 GPS의 경우 초기 미지정수를 결정해야하는 초기화 과정과 미지정수가 결정된 4대 이상의 위성을 항상 추적해야 하는 단점이 있으며, 위성 신호의 차단이 발생할 경우

재 초기화를 수행해야하는 번거로움을 지니고 있다. 또한, 위성의 기하학적 배치상태와 기선거리에 따라 정확도가 좌우된다.

GPS의 여러 응용분야에서는 수 m에서 1 m 이하의 정확도가 요구되어지는데 DGPS 기술로 가능하다.<sup>1)</sup> 그러나, m 이하 정확도나 cm 정확도는 정밀측지는 물론 실시간 작업을 요하는 분야인 건설분야 측량, 준설, 해양측량과 지진측량, 그리고 항공기 이착륙 등에서도 요구된다.<sup>2)</sup>

이러한 응용분야들은 OTF 미지정수(Ambiguity resolution On The Fly) 탐색기술이 요구되며, 이것을 RTK GPS(Real-Time Kinematic GPS)라고 한다. 실시간 동적 GPS 측량의 개념은 1985년 Remond<sup>3)</sup>에 의해 연구된 이후에 동적 측량은 semi-kinematic GPS<sup>4)</sup>, pseudo-kinematic GPS<sup>5)</sup> 등을 수행하기 위해 여러 기법

\*정회원 · 동아대학교 토목해양공학부 강사

\*\*정회원 · 양산대학 토목과 조교수

\*\*\*정회원 · 동아대학교 토목해양공학부 교수

이 개발되었다.<sup>6)</sup> 최근에는 OTF 미지정수 결정에 초점을 두고 이 목적을 위해 여러 기법이 개발되고 있다. 동적 측위 알고리즘은 1980년대 말에 개발되었으나, 1993년까지 통합된 실시간 동적측위 시스템은 사용되지 않았다. 완전한 통합 RTK 시스템은 GPS 수신기가 소형, 경량이어야 하고 전원공급이 적을 것이 요구되며, 적절한 계산 능력과 자료 전송능력이 필요하다.

본 연구에서는 실시간 동적 GPS 측위에 OTF 기법을 적용하여 기선벡터의 정확도를 분석하고 미지정수 결정에 영향을 미치는 요소를 파악하여 3차원 위치결정의 정확도를 향상시키고자 한다. 동적 GPS 측위시 후처리에 의한 연속 동적 관측 자료와 실시간 동적 관측 자료를 동시에 저장할 수 있는 프로그램을 개발하여 적용하였다. 그 결과 실시간 관측시 동적관측 자체의 특성에 의해 발생할 수 있는 오차를 후처리에 의한 관측자료를 통하여 보정할 수 있어 실시간 관측 자료의 정확도를 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다.

그리고, 각종 건설분야에 동적 GPS 측위의 활용성을 제시하고자 해안 지형에서 연속 동적 GPS 측량과 실시간 동적 GPS 측량을 수행하여 얻어진 관측값을 분석함으로써 지형공간정보체계의 자료기반으로 그 활용 가능성과 기존의 측량 방식에 의해 산출된 면·체적과 비교 분석을 통하여 현장 적용성을 검증하였다.

## 2. 자료전송 형식

실시간 동적 관측(Real-Time Kinematic : RTK)는 기지국과 이동국사이의 자료 송수신 장치의 역할이 중요하며, 여러 목적의 응용분야에 사용된다. 기지국은 반송파 위상과 코드위상 관측값을 한 대 이상의 이동국에 보낸다. 이동국은 지역적으로 수집된 관측값을 기지국에서 얻은 관측값과 결합하여 cm 수준 정확도의 위치 결과값을 얻는다. 실시간 동적 관측 시스템의 자료 송수신 장치는 디지털 라디오와 모뎀으로 구성된다. 모든 자료 송수신 장치에서 최적으로 이용할 수 있는 자료전송 표준설계는 밴드 폭을 최소로 하는 것이다. 실시간 동적 관측 시스템 제조업체는 그들 자신만의 독립된 자료전송 표준을 채택해 왔기 때문에 기존의 표준은 상이한 제조업체가 만든 기지국과 이동국 장비를 자유롭게 결합할 수 없다. RTCM-SC 104(Radio Technical Commission for Maritime services, Special Committee 104)는 버전 2.1

에서 메시지 형식 18-21을 제작함으로써 이런 문제를 해결하였다.<sup>7)</sup>

CMR(Compact Measurement Record)<sup>8)</sup> 형식은 원 L1 과 L2 반송파 위상과 의사거리 자료 외에 기준국 위치와 관련 메시지에 대한 정보를 포함하고 있으며, 자료전송에 대한 세부 내용은 문서화되어 있다. 상이한 수신기 유형 결합에 대한 문제와 반송파 위상과 의사거리 편차 및 안테나 위상중심 변동 등이 중요한 문제로 고려되고 있으며, 전송속도는 9개 위성을 관측할 경우, 2주파 반송파 위상과 의사거리 자료를 1초에 2000 bits 이하로 전송할 수 있게 해준다. CMR 자료 형식은 동일량의 RTCM-SC 104 메시지의 1/2 밴드 대역을 필요로 한다.

### 2.1 자료전송 원리

DGPS(differential GPS)는 기준국 수신기와 동시에 동일 위성을 추적하는 이동국 수신기와 연결된다. 두 기지국 사이의 거리가 10 km이하인 경우, 위성 종속오차는 제거되며, 기지국과 이동국 수신기가 반송파 위상과 의사거리 관측값을 추적할 수 있으면 이동국 위치를 수 cm 정확도로 측정할 수 있다.

RTK 측위 방법은 이동국이 움직일 동안 이동국 위치가 현장에서 결정되어야 하는 경우로 RTK 시스템의 기본구성 요소는 그림 1과 같다.

기지국은 위치가 고정되어 있으며 의사거리 관측값과 반송파 위상을 수신한다. 기지국 수신기는 이 관측값의 형식을 자료연결 장치를 통해 이동국으로 전송한다. 이동국 수신기는 반송파 위상과 의사거리를 기지국과 동

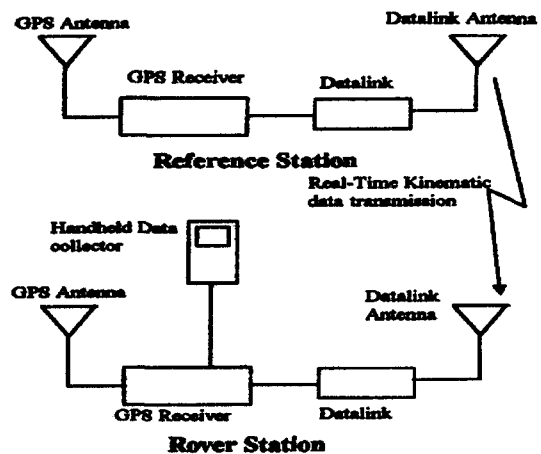


그림 1. 실시간 동적 관측 시스템의 구성

일시간에 추적한다. 이동국에서는 송신된 동일시간 반송파 위상과 의사거리 관측값을 사용해서 위치를 계산한다. 적절한 처리절차와 자료가 충분한 경우에 이동국 위치는 기지국 좌표에 대해서 수 cm 정확도로 계산될 수 있다.<sup>9)</sup>

## 2.2 CMR 형식

CMR(Compact Measurement Record) 형식<sup>8)</sup>은 메시지 프로토콜 외에 관측자료의 압축, 해제 알고리즘 모두를 포함한다.

각 CMR 메시지는 6 byte의 기본구조로 이루어져 있으며, 각 메시지 구조는 헤드부분과 자료영역으로 구성되어 있다. 메시지 형태는 L1/L2 반송파 위상과 의사거리 관측값, 기준국에 대한 WGS-84 직교좌표와 안테나 이격거리, 기준국의 이름과 설명을 위한 ASCII 메시지로 정의된다. 관측값은 1초당 한번씩 전송되며, 기준국의 위치와 설명은 10초당 한번씩 전송된다.

## 2.3 관측값 압축

관측 자료는 일반적으로 초간격으로 전송된다. 관측값은 2400 baud를 얻기 위해 관측값을 압축하여야 한다. 많은 관측자료를 전송하는 것 대신에 관측값의 차를 전송하는 것이 가능하다. 전체 거리 관측값 대신에 의사거리의 부분 위상을 전송하는 것이 좋으며, CMR 형식에서 기지국 의사거리는 광속의 파장대로 나누어지고 단지 부분 위상만이 전송된다.<sup>10)</sup>

관측시간 동안 반송파로 측정된 거리의 변화는 근사적으로 동일위성에 대한 코드 의사거리 변화량과 일치할 것이다. 그러므로 반송파 위상을 의사거리 자료에 대한 이격거리로 표현할 수 있으며, 의사거리-반송파 차의 동적 범위는 두 개 신호의 전리층 차로 제한된다. 이동국이 관측값의 우수한 추정값을 가지고 있을 때 기지국의 시간과 전 epoch 자료를 전송하는 것은 낭비이므로 공급은 자료 전송 지연과 같이 이루어져야 하며, CMR 형식에서는 관측값의 epoch 간격은 240 second로 주어진다.

## 3. 초기화 기법에 따른 미지정수 결정 정확도

실시간 동적 GPS 측량을 수행하기 전에 초기화 기법에 따른 미지정수 결정 정확도를 분석하고자 약 1 km

표 1. 시험망의 각 측정점 관측값

Point	Baseline length (m) (Standard deviation)	Initialization time	Satellite number
CP 01	1277.532 (0.001)	2분~10분	6
CP 02	3137.538 (0.002)	2분~15분	5
CP 03	5217.162 (0.002)	2분~15분	5
CP 04	7062.371 (0.001)	2분~20분	5
CP 05	9802.481 (0.001)	2분~15분	7
CP 06	10512.229 (0.001)	2분~15분	8
CP 07	13926.419 (0.001)	2분~10분	6
CP 08	15264.213 (0.002)	2분~15분	5
CP 09	17215.537 (0.001)	2분~20분	7
CP 10	19196.421 (0.001)	2분~15분	6

~19 km의 기선거리 분포를 갖는 10개 측정점의 망을 구성하였다. 기준국은 해운대 해수욕장에서 실시간 동적 관측을 수행할 때 사용할 지점을 고정하고 Trimble 4000 SSI 수신기를 사용해 각 측정점에 1시간씩의 정적 GPS 측량을 실시하였다. 정적측량 자료처리에 있어서 전리층 보정은 기선길이에 따라 L1/L2 선형조합에 의한 L1/L2 Iono free 옵션과 L1 Fixed를 적용했고, 대류권 보정을 위해 Hopfield 모델을 사용했으며, 고정해에 대한 분산비의 한계는 1.5로 설정하였다. 표 1은 기준국과 각 측정점 간 기선해석 결과, 초기화 소요시간 및 위성수를 나타낸 것으로 모든 측정점에 대해 0.002 m 이내의 정밀도로 기선을 결정할 수 있었다.

동적 GPS 측위의 초기화 자료는 1시간 동안의 정적측량 자료로부터 RINEX 변환과 편집을 통해 획득되었으며, 2분에서부터 20분까지의 초기화 시간과 4~8대까지의 위성 수 변화를 고려하여 분석하였다.

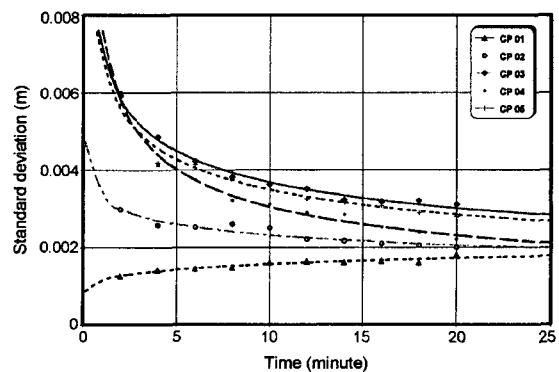


그림 2. 초기화 시간에 따른 기선거리 정확도(1~10 km)

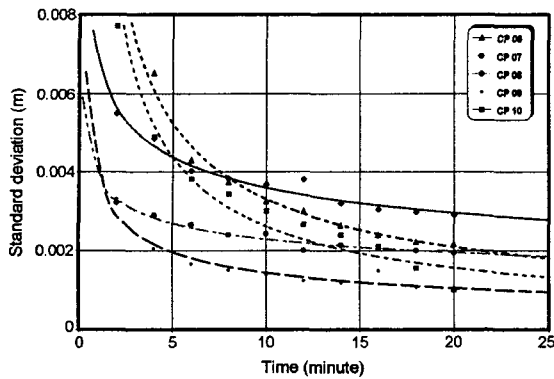


그림 3. 초기화 시간에 따른 기선거리 정확도(11~20 km)

기선거리별 초기화 시간에 따른 미지정수 결정의 정확도를 분석하기 위해 각 측점에 대해 2분에서 최대 20분까지의 초기화 시간을 부여하고 정적 초기화 기법과 OTF 기법을 적용하였다. 그림 2는 기선거리 약 1 km~10 km에 분포된 측점에 적용한 정적 초기화 기법의 미지정수 결정에 따른 기선길이의 표준편차를 도시한 것이다.

기선거리가 3 km 이내인 경우에는 초기화 시간에 따라 표준편차가 감소하였고, 3 km~10 km인 경우에도 표준편차로 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서, 초기화에 따른 기선거리의 정확도를 향상시키기 위해서는 4분 이상의 초기화가 바람직함을 알 수 있었다.

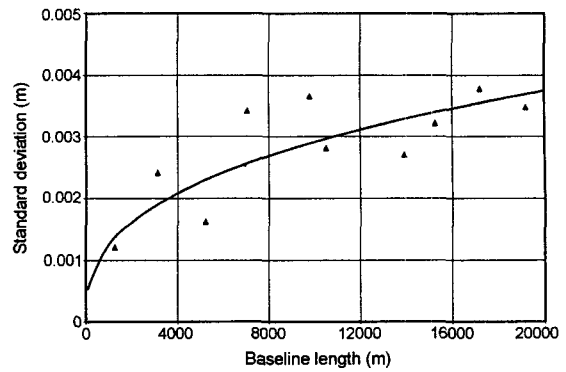


그림 4. 기선거리에 따른 미지정수 결정 정확도

기선거리 11 km~20 km의 분포는 그림 3과 같이 초기화 시간의 변화에 따라 표준편차 변화를 나타내고 있으며, 5분 이상의 초기화를 통해 정적측량으로 결정된 기선과 1 cm 이내의 편차를 갖는 기선을 결정할 수 있었다.

OTF 초기화와 정적 초기화의 결과는 거의 유사한 정확도 차이를 보였으며, 5분 이상의 OTF 초기화에서는 정적 초기화와 거의 차이가 없었다. 또한 기선거리 증가에 따른 초기화 기법별 미지정수 결정의 정확도는 그림 4와 같은 정확도 변화를 나타내고 있다. 이는 동적 GPS 측위에 있어서 20 km이내의 단기선에 대해서는 큰 변화

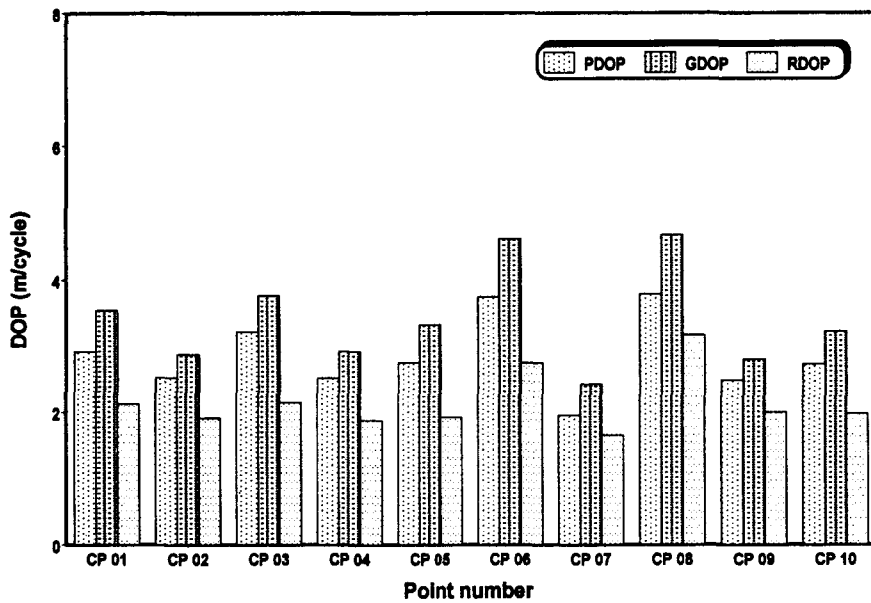


그림 5. 각 측점별 PDOP, GDOP 및 RDOP

가 없음을 나타낸다.

미지정수 결정에 따른 동적 GPS 측위의 정확도를 분석하고자 각 측점에 대해 5분간의 정적 및 OTF 초기화를 수행하여 미지정수를 결정하고 이를 Backward Processing 기법을 이용해 초기화에 사용된 각 epoch에 재 적용하였다. 각 측점에 대해 epoch별 RMS와 RDOP(Relative DOP)은 4.0 이하의 PDOP과 GDOP에 대해 기선거리 증가에 따라 RMS가 증가하는 경향을 보였다.

이러한 결과는 동적 GPS 측위를 수행함에 있어 4.0 이하의 PDOP과 GDOP이 유지되는 것이 바람직하다는 것을 보여주는 것으로 망의 전 측점으로부터 획득된 PDOP, GDOP과 RDOP의 관계는 그림 5와 같다.

#### 4. 후처리에 의한 연속 동적 GPS 측량에 의한 지형 해석

해운대 해수욕장의 지형해석을 위해 연속동적 GPS 측량을 실시하였다. 이동국의 장비 조합은 동적관측 속도



그림 6. 이동국에 대한 장비 설치

에 따른 특성을 분석하고자 타이어 장비를 처음 사용하였으나, 실험지역의 지형 조건과 맞지 않아 그림 6과 같이 무한케도 중장비를 이용하였다.

그림 7과 그림 8은 각각 이동용 수신기가 관측한 위성상태와 자료처리에 사용된 위성상태를 나타낸 것이다.

또한, 해운대 해수욕장 전체에 대한 후처리에 의한 연속 동적 처리 결과는 그림 9와 같으며, 그림 10, 그림

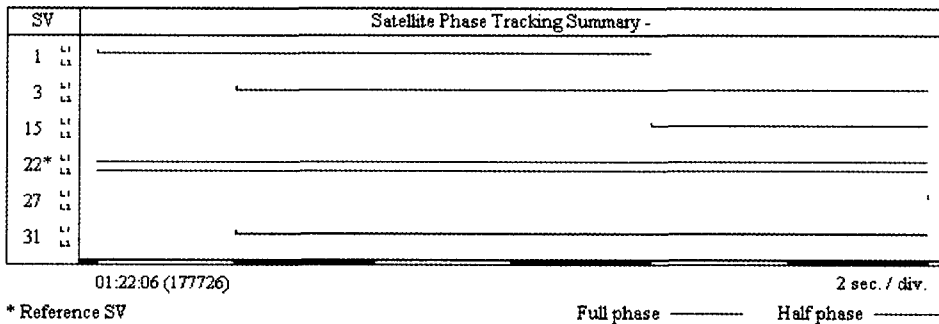


그림 7. 이동국 수신기가 관측한 위성상태

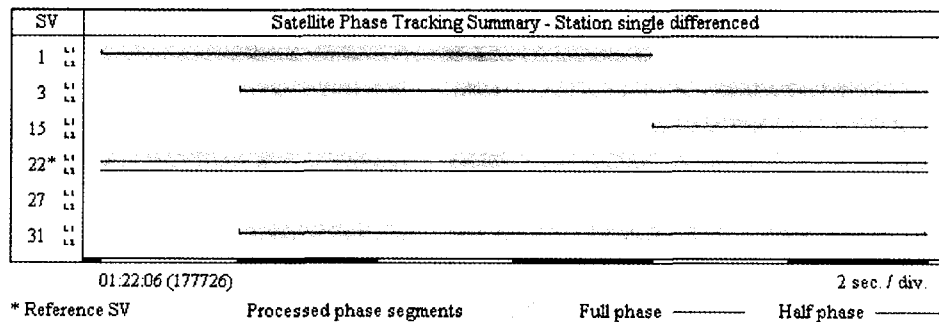


그림 8. 이동국의 자료처리에 사용된 위성상태

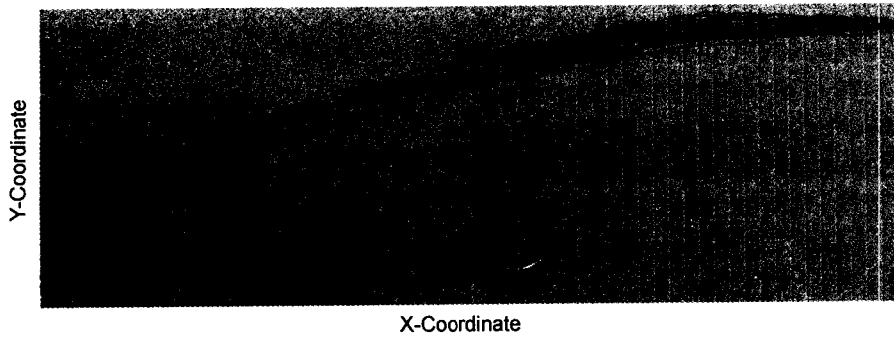


그림 9. 해운대 해수욕장에 대한 연속 동적 측량 결과

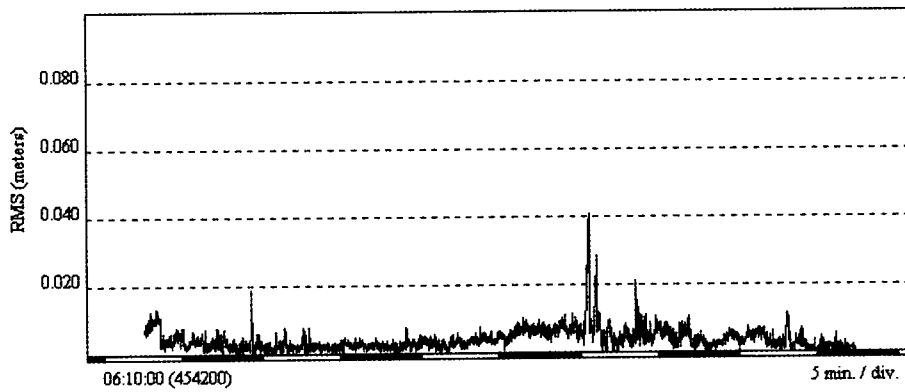


그림 10. 연속 동적 측량 관측값의 평균제곱근오차

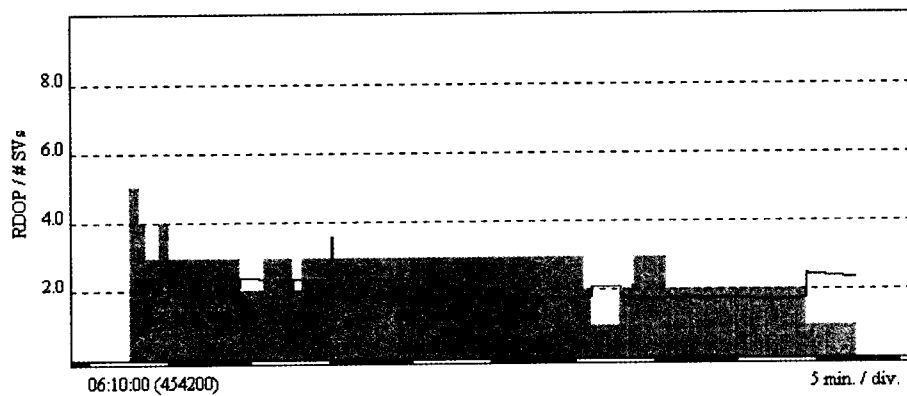


그림 11. 연속 동적 측량 관측값의 RDOP

11과 같이  $\pm 0.01$  m의 RMS와 2.0의 RDOP을 보이고 있다.

OTF 초기화 방법에 의한 연속 동적 GPS를 적용하여 m이내의 정확도를 갖는 WGS-84 좌표 성과를 획득할 수

있었으며, 이는 각종 건설현장 등의 공사측량에 적용 가능할 것으로 사료된다.

이러한 측량 결과의 정확도와 적용가능성을 분석하기 위하여 연구대상지에 대하여 Total station을 이용하여 현

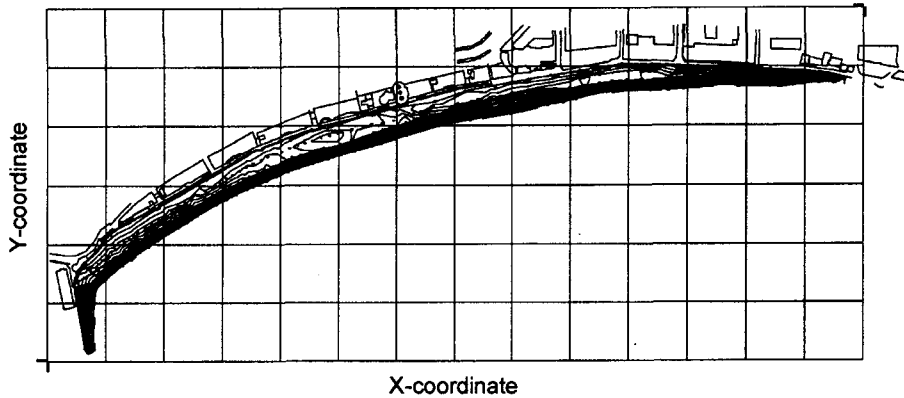


그림 12. 해운대 해수욕장의 현황평면도

황측량을 실시하였다. 인근의 정밀1차 기준점을 이용하여 삼각측량 방법에 의한 골조측량을 실시한 다음 그 성과를 이용하여 현황측량을 한 결과, 그림 12와 같은 결과를 얻었으며, 횡단측량을 실시하여 얻은 면적과 체적을 동적 GPS 측량 성과와 비교한 결과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

### 5. 실시간 동적 GPS 측량에 의한 지형 해석

이동수신기는 이동수신기에서 관측한 자료와 기준국에서 전송된 결과를 처리하며, 이 방법으로 GPS를 이용하여 cm 수준의 정확도로 현장에서 측점들의 위치를 결정할 수 있었다.

해운대 해수욕장에서 후처리에 의한 연속 동적 GPS 측량을 수행하면서 동시에 실시간 동적 GPS 측량을 수행하였다. 동일 실험 지역에 대한 후처리 방식과 실시간

자료 처리 방식을 적용함으로써 두 기법상의 특성을 파악하고 정확도를 비교 분석하고자 하였다.

본 연구에서는 이동 중에 OTF에 의해 자동 초기화를 하는 2주파 수신기를 사용하였으며, 기준국 수신기의 GPS 관측 자료를 이동 수신기에 CMR 표준에 의해 전송하는 무선 통신을 이용하였다.

일반적으로 후처리에 의한 자료는 GPS 수신기와 안테나를 연결하는 케이블을 통하여 관측시 설정한 epoch의 간격으로 자료가 저장되고, 실시간 자료 처리에서는 TDC1/Survey controller와 수신기를 통하여 실험을 수행할 수 있다. 본 연구에서와 같이 모래나 동체의 이동이 자유롭지 못한 지역에서는 주행속도가 빠르지 못한 관계로 일반적인 수신기로는 저장 용량이 부족하다. 광범위한 지역에서의 관측과 정밀한 관측값을 얻기 위하여 epoch 간격을 짧게 하였을 경우 저장용량의 한계가 있고 한번의 관측시 후처리 방식과 실시간 방식으로 실험을 수행할 수 없으므로 두 가지 방법에 의한 연구를 동시에

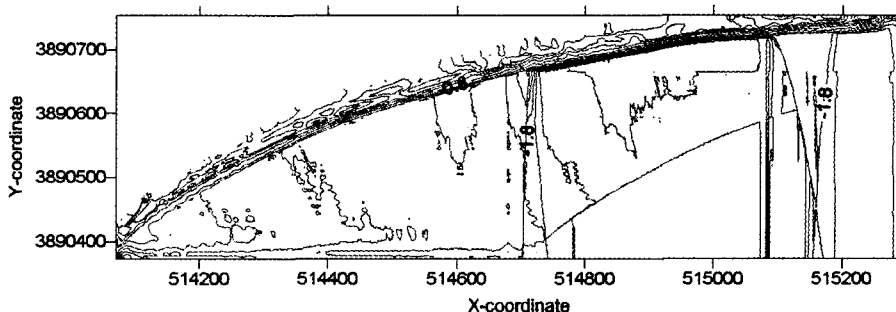


그림 13. 실시간 동적 관측값을 이용한 해운대 해수욕장의 등고선도

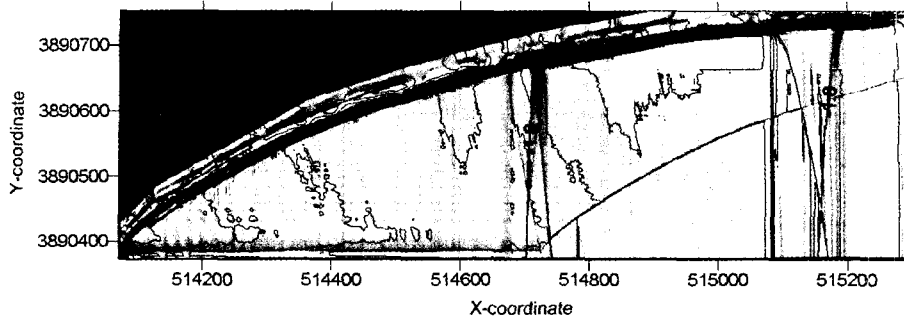


그림 14. 실시간 동적 관측에 의한 등고선도와 음영기록도의 조합

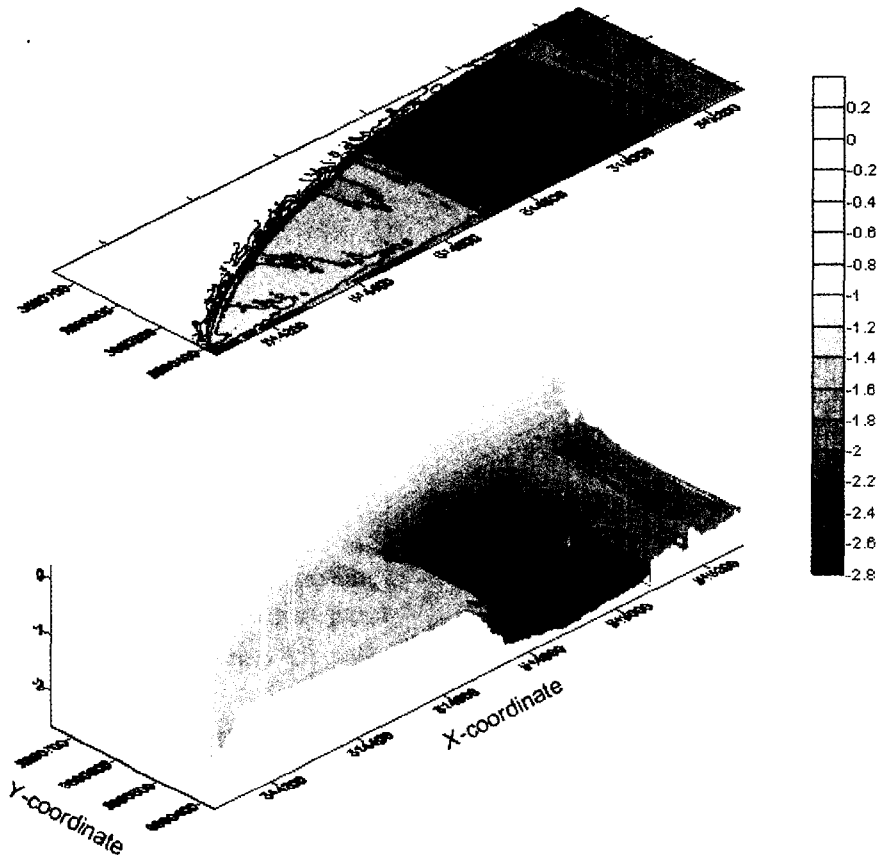


그림 15. 실시간 동적 관측에 의한 3차원도

수행하기 위한 프로그램을 개발하였다.

연구에서 사용한 GPS 수신기는 안테나에서 관측된 GPS 관측값을 2개의 출력 port에서 동시에 출력을 할 수 있는 시스템이다. 따라서, 하나의 port에서 출력되는 값을 연속 동적 모드로 저장하는 프로토콜로 하고, 다른 port에서 출력되는 값을 실시간 동적 모드로 저장하는 프로토콜로 구

성하여 실시간 동적 관측값은 NMEA(National Marine Electronics Association) 0183의 형식으로 저장할 수 있도록 Visual Basic을 이용하여 프로그래밍한 후 다음과 같은 방법을 적용하여 연구를 수행하였다.

앞 절의 실험에서와 마찬가지로 고정국 GPS는 같은 기준점에 배치하고, 이동국 수신기는 무한계도 중장비에



GPS 안테나를 고정하여 수신되는 관측값을 실시간으로 저장하기 위하여 노트북 컴퓨터와 수신기를 연결하였으며, 수신기에서는 2개의 출력 port에서 각각 연속 동적 GPS 자료와 실시간 동적 GPS 자료를 출력하여 연결된 케이블을 통하여 저장하였다. 관측시간 동안 실시간으로 관측되는 위성의 수, 초기화 상태, DOP 등을 TDC1/Survey controller를 통하여 확인하였다.

실시간 동적 GPS 관측값을 통하여 얻어진 결과와 후처리 방식의 연속 동적 GPS에 의한 결과는 거의 일치하였으며, 이러한 분석으로 얻어진 관측자료를 GIS의 자료 기반으로 활용 가능성을 확인하기 위하여 여러 가지 분석을 해 본 결과 그림 13~그림 15와 같은 결과들을 얻을 수 있었고, 실시간 동적 GPS 측량을 통하여 실시간 GIS 자료기반 구축이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 적용한 기법을 이용하여 차후에 연구를 수행하고자 할 때에 두 가지 관측값의 비교 분석도 가능하고, 실제 실시간 동적측량으로 프로젝트 수행시에 발생할 수 있는 여러 가지 오차에 대해서도 보정이 가능함을 알 수 있었다. 또한 실시간으로 현장에서 TDC1/Survey controller를 통하여 측량시 상황을 모니터링 할 수 있는 장점이 있었다.

## 6. 결 론

실시간 동적 GPS 측량의 효율성을 제고하기 위해 초기화에 따른 미지정수 결정 특성을 고찰하였고, 연속 동적 GPS 방법과 실시간 동적 GPS 방법을 지형 분석에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 반송파 위상을 이용하는 고정밀도의 실시간 동적 GPS 측량을 위해 OTF 초기화에 따른 위치결정 정확도는 20 km의 기선거리 범위 내에서는 5분 이상의 초기화로 1 cm 이내의 정확도로 기선을 결정할 수 있었고, 위성의 기하학적인 배치상태가 측위 정확도에 많은 영향을 미치므로 PDOP과 RDOP은 4.0 이하를 유지할 수 있는 시간대를 계획하는 것이 좋다고 판단된다.

둘째, 실시간으로 GPS 관측 자료를 저장할 수 있는 프로그램을 개발하여 후처리에 의한 연속 동적 GPS 측량과 실시간 동적 GPS 측량 결과를 동시에 저장할 수 있었고, 실시간으로 측량시 발생할 수 있는 오차를 후처리에 의해 보정이 가능하였다.

셋째, 실시간 동적 GPS에 의해서도 후처리에 의한 성

과와 매우 접근된 결과를 얻을 수 있었으므로 지형공간 정보체계 자료기반 구축에 효율적으로 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 “2000특정기초연구”(과제번호 : 2000-1-31100-003-3) 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Abousalem, M. A., “Development and Analysis of Wide Area Differential GPS Algorithm”, Ph. D Dissertation of Department of Geomatics Engineering, No. 20083, The University of Calgary, 1996.
2. RTCM, “Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service (Version 2.1)”, RTCM SC-104, Washington, D. C., 1994.
3. Remondi, B. W., “Performing Centimeter Accuracy Relative Surveys in Seconds Using GPS Carrier Phase”, Proceedings of First International Symposium on Precise Positioning with GPS, Rockville, Maryland, April 1985, pp. 789-797.
4. Cannon, M. E., “High Accuracy GPS Semi-kinematic Positioning : Modeling and Results”, Proceedings of the Institute of Navigation 2nd International Technical Meeting on GPS, Colorado Springs, CO, Sept. 27-29, 1988, pp. 405-418.
5. Remondi, B. W., “Kinematic and Pseudo-Kinematic GPS”, Proceedings of the Institute of Navigation 1st International Technical Meeting on GPS, Colorado Springs, CO, 1988.
6. Griffioen, P., Allison and S. Dreier, “Real Time Kinematic : The Next Surveying Tool”, Proceedings of 1993 National Technical Meeting of the Institute of Navigation, San Francisco, CA, 1993.
7. Goguen, J. P., Allison, M. T., “Precise RTK Positioning Using the New RTCM-104 V2.1 Standard”, ION GPS-95, Palm Springs, California, September 12-15, 1995, pp. 1461-1466.
8. Dr. Nichols, C. Talbot., Trimble Navigation, “Compact Data transmission Standard for High-Precision GPS”.
9. Lanigan, C. A., Pflieger, K., Enge, P. K., “Real-Time Differential Global Positioning System (DGPS) Data Link Alternatives”, ION GPS-90, Colorado Springs, Colorado, September 19-21, 1990, pp. 599-606.

10. Rockwell International Corporation, "Navstar GPS space segment", Downey, California, Interface Control Document, ICD GPS-200, 1984.
11. 박운용, 강준목, 이재원, "GPS-인공위성 보조에 의한 소규모 지역의 항공삼각측량", 대한토목학회 논문집, 제15권, 제6호, 1995, pp. 1731-1742.
12. 박운용, 이동락, 신상철, "GPS 코드파 관측에 의한 항공삼각측량의 외부표정요소의 결정", 한국측지학회지, 제15권, 제2호, 1997, pp. 157-164.
13. 박운용, 신상철, 이홍규, "GPS에 의한 동적 자세결정에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제20권, 제2-D호, 2000, pp. 191-199.

---

(2001년 6월 5일 원고접수)