

# RTK-GPS와 TS를 이용한 측위기법별 토량 변화에 관한 연구

## Study about earthworks variation positioning technique using RTK-GPS and TS

박운용\* · 홍순헌\*\* · kwak재하\*\*\* · 백기석\*\*\*\*

Park, Woon yong\* · Hong, Soon Heon\*\* · Kwak, jae ha\*\*\* · Back, ki suk\*\*\*\*

### 1. 서론

해안지형변화는 해수면 상승에 의한 해수범람이나 역류에 의한 침수피해, 연안침식으로 인한 국토의 유실, 연안방제를 위한 기존 구조물의 재정비 등 사회적, 경제적으로 매우 큰 손실을 발생시킬 수 있으므로 최근 해안지형 변화에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다. 특히 사질해안의 모래 유실에 대한 인공적 양빈(Beach Nourishment)의 효율성 재고 및 미래의 해안선 변화의 예측을 위해 사질 해안지형 변화에 대한 연구가 필수적이다. 국내에서는 정확한 해안선의 정확도에 관한 관심을 가진 연구는 없었으므로 본 연구에서는 모래연안을 중심으로 연구를 수행하였다. 따라서, 본 연구에서는 사질지형의 효율적 관측방법과 사질 해안지형 변화를 분석하기 위해 연구대상지에서 1999년도와 2002년 2회에 걸쳐 GPS와 TS를 이용 지형측량을 실시하여 3차원 위치결정의 정확도와 토공량 산정 방법에 따른 토공량을 비교분석하였다. 그리고 연차별 토공량과 사질의 유실을 비교분석하여 보았다.

### 2. 본론

#### 2.1 RTK-GPS 자료전송

RTK 측위 방법은 이동국이 움직일 동안 이동국 위치가 현장에서 결정되어야 하는 경우로 기지국은 위치가 고정되어 있으며 의사거리 관측값과 반송파 위상을 결정한다. 기지국 수신기는 관측값의 형식을 자료연결장치를 통해 이동국으로 전송한다. 이동국에 있는 GPS는 반송파 위상과 의사거리를 기지국과 동일시간에 추적한다. 이동국에서는 기지국에서 자료연결 장치를 통해 얻은 동일시간 반송파 위상과 의사거리 관측값을 사용해서 위치를 계산한다. 처리절차와 자료가 충분한 경우에 이동국 위치는 기지국 좌표에 대해서 수 mm정확도로 계산될 수 있다. 여기서, 자료전송 표준은 RTCM-SC 104(Radio Technical Commission for Maritime services, Special Committee 104)는 버전 2.1에서 메시지 형식 18~21을 제작함으로써 이런 문제를 해결하였다. 하지만 RTCM 메시지의 자료 구성을 가지고 자료 연결 장치에 효율적으로 사용하기 위한 중요한 자료 압축 알고리즘을 포함하고 있지는 않으나 공용 기준국 기본구조가 보충됨에 따라 간결한 전송표준의 도움으로 이동국 장치만 사용하고자 하는 사용자간 동적 관측 기술이 보편화되기 시작했다. 처음에는 RTK 자료전송 표준은 모든 사용자들이 이용할 수 있도록 하기 위하여 공개되었다. CMR(Compact Measurement Record) 형식은 원 L1과 L2 반송파 위상과 의사거리 자료 외에 기준국 위치와 관련 메시지에 대한 패킷구성과 메시지 유형을 포함하고 있으며, 간결한 자료전송에 대한 세부적 내용도 포함되어 있다. 상이한 수신기 유형 결합에 대한 문제와 반송파 위상과 의사거리 편위와 안테나 위상중심 변위가 중요한 문제로 인식되고 있으며, CMR 표준은 9개 위성을 관측할 수 있을 때 2주파 반송파 위상과 의사거리 자료는 1초에 2000 bits이하로 전송할

\*동아대학교 공과대학 토목·해양 공학부 교수  
\*\*밀양대학교 토목공학과 조교수  
\*\*\*부산정보대학 건설환경시스템과 조교수  
\*\*\*\*동아대학교 일반대학원 박사과정

수 있게 해준다. CMR 자료 형식은 동일량의 RTCM-SC 104 메시지의 1/2 밴드 대역을 필요로 한다.

## 2.2 미지정수 결정을 위한 동적 초기화와 선형화

OTF 기법은 초기화의 단점을 보완한 것으로 미지점에서 뿐만 아니라 이동중에도 초기화를 실시할 수 있는 기법이며, 후처리와 실시간 Kinematic GPS에 모두 응용 가능한 기법이다. OTF 초기화에 필요한 시간은 기선거리, 위성수, 위성의 기하학적인 조건(GDOP) 및 전리층의 활동정도에 따라 1초에서 최대 10분 정도가 소요된다. OTF 기법도 일반적인 탐색기법에 기초하고 있으며, 첫 번째 단계는 P-code나 C/A-code를 이용한 이중차 기법으로 초기좌표를 결정하고 이로부터 정육면체의 검색범위를 결정하는 것이다. 이때 정육면체의 검색범위는 초기좌표의 평균 표준편차에 일정한 곱을 취하는 방법으로 형성되며, 한 모서리에 대한 위치를  $a$ 로 정의하면 미지정수는 식 (1)로부터 계산된다.

$$N_{km,a}^{pq}(1) = \Phi_{km}^{pq}(t) - \frac{f}{c} [\rho_k^p(t) - \rho_{m,a}^p(t)] + \frac{f}{c} [\rho_k^q(t) - \rho_{m,a}^q(t)] \quad (1)$$

위성과 수신기 사이의 거리인  $\rho$ 는 비선형 함수로 식 (2)와 같이 나타나며,  $X_i, Y_i, Z_i$  은 미지점의 좌표를 나타낸다.

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2} = f(X_i, Y_i, Z_i) \quad (2)$$

미지점에 대한 근사값을  $X_0, Y_0, Z_0$  로 가정하면 근사거리  $\rho_0^j(t)$ 는 식 (3)과 같다.

$$\rho_0^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_0)^2 + (Y^j(t) - Y_0)^2 + (Z^j(t) - Z_0)^2} = f(X_0, Y_0, Z_0) \quad (3)$$

미지수  $X_i, Y_i, Z_i$  는 근사값을 이용함으로써 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_i = X_0 + \Delta X_i \quad Y_i = Y_0 + \Delta Y_i \quad Z_i = Z_0 + \Delta Z_i \quad (4)$$

여기서,  $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$  는 새로운 미지수가 되며 각 좌표성분의 보정값이다. 함수  $f=(X_i, Y_i, Z_i)$ 를 근사값에 대해 Taylor 급수전개하고  $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$  는 비선형 함수이므로 편미분하여 식 (5)과 같은 선형화된 방정식을 얻을 수 있다.

$$\rho_i^j(t) = \rho_0^j(t) - \frac{X^j(t) - X_0}{\rho_0^j(t)} \Delta X_i - \frac{Y^j(t) - Y_0}{\rho_0^j(t)} \Delta Y_i - \frac{Z^j(t) - Z_0}{\rho_0^j(t)} \Delta Z_i \quad (5)$$

상대측위를 위해서는 반드시 한 점의 좌표는 알아야만 하며, 이런 경우에 있어서  $\Delta X_A = \Delta Y_A = \Delta Z_A = 0$  이므로 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ell_{AB}^{jk}(t) = \lambda \Phi_{AB}^{jk}(t) - \rho_{B0}^k(t) + \rho_{A0}^j(t) + \rho_A^k(t) - \rho_A^j(t) \quad (6)$$

## 3. 실험 및 분석

### 3.1 실험 대상지 및 관측 자료분석

1999년, 2002년 2회에 걸쳐 위성측량과 TS를 이용하여 사질 해안 지역의 토공량 변화에 대한 연구를 수행하였다. 실험대상지역은 TS작업 및 위성수신이 용이하여 위성측량의 조건이 양호한 해운대 해수욕장 일원의 모래사장을 선정하였다. 1999년, 2002년의 연차별 지형측량을 동일 조건하에서 수행하기 위해 해안지역 경계는 조위표에 의해 저조위시로 하였고, 높이의 기준은 평균해수면(Mean Sea Level : MSL)으로 측정하였다. 그리고, 위성 측량기법의 경우 1999년에는 동적 측량 기법을 이용하였고, 2002년도에는 실시간 이동측량 기법을 이용하여 측량하였다. 그리고 토공량 산정은 양단면 평균법, 의주(각주, 프리스모이달)공식과 비례중항법을 이용하여 산출하였다. 1999년도의 동적 GPS 측량의 경우, 위성의 수는 4~6개 취득되었으며, PDOP은 2~4로 우수한 상태의 조건이었으며, 동적 GPS의 RMS는 0.01~0.02m로 측정되었다. 그리고 2002년도의 RTK-GPS 측량의 경우 위성의 수는 5~7개 정도 취득되었으며, PDOP은 2~4로 우수한 상태의 조건이었고 RMS는 0.01~0.02m로 측정되었다.

### 3.2 관측결과

1999년과 2002년 측량결과를 비교분석하기 위하여 우선 해운대 지역의 수치지도를 그림 1에 나타내었으며, 그림 2과 그림 3은 1999년도와 2002년의 측량성과를 나타내었으며 토공량 산정을 위하여 그림 4와 그림 5에는 각 연도의 횡단면도를 나타내었다.

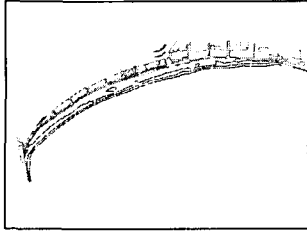


그림 1. 실험지역의 수치지도

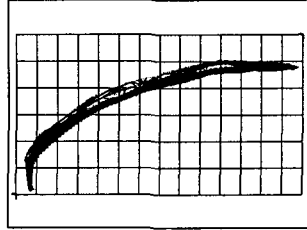


그림 2. 실험지역의 TS 측량 성과(1999)

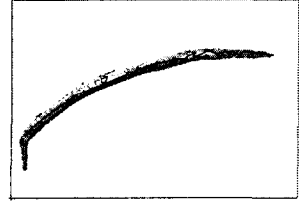


그림 3. 실험지역의 TS 측량 성과(2002)

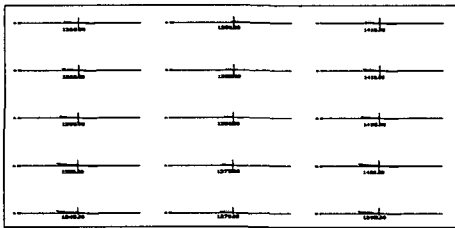


그림 4. 횡단면도(1999)

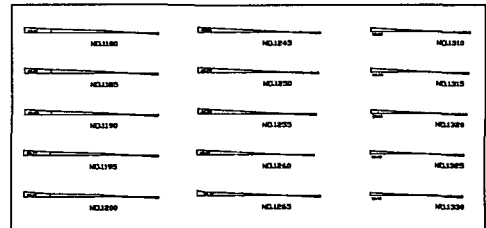


그림 5. 횡단면도(2002)

그리고 위성시스템을 이용한 궤적을 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

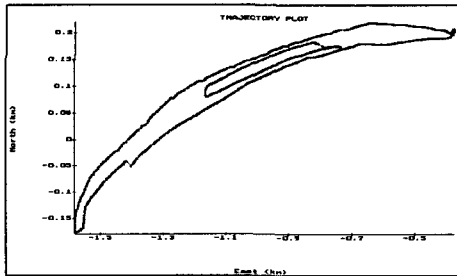


그림 6. 동적 궤적(1999)

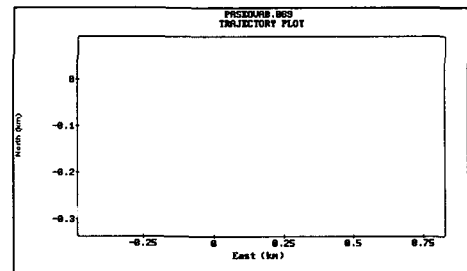


그림 7. RTK 궤적(2002)

### 3.3. 토공량 산정

표 1에는 1999년 동적 GPS와 TS의 토공량과 2002년 RTK-GPS와 TS의 토공량을 적용공식별로 산정하여 정리하였다. 토공량을 산정해 본 결과 TS관측에 의한 토공량을 비교하여 보면 1999년도 토공량에 비해 2002년도 토공량이 5.25%정도 증가한 것을 알 수 있었다. 그리고 양단면 평균법 뿐만 아니라 나머지 두 방법 또한 4.78%정도 증가하였다. 각 적용공식에 의해 알 수 있는 것은 양단면 평균법의 토공량이 가장 많이 나왔으며 그 다음으로는 비례중항법 그리고 의주공식 순으로 나타났다. 그림. 8과 그림. 9는 1999년 토공량과 2002년 토공량을 적용공식에 따라 비교 도시하였다.

표 1. 토공량 산정

적용공식	1999년 토공량		2002년 토공량	
	Total Station	동적 GPS	Total Station	RTK-GPS
양단면 평균법	98,834.7m <sup>2</sup>	96,858.0m <sup>2</sup>	104,026.0m <sup>2</sup>	105,266.3m <sup>2</sup>
의주공식	96,514.7m <sup>2</sup>	94,584.5m <sup>2</sup>	101,114.7m <sup>2</sup>	102,325.8m <sup>2</sup>
비례중항법공식	97,953.9m <sup>2</sup>	95,994.9m <sup>2</sup>	102,920.8m <sup>2</sup>	104,150.0m <sup>2</sup>

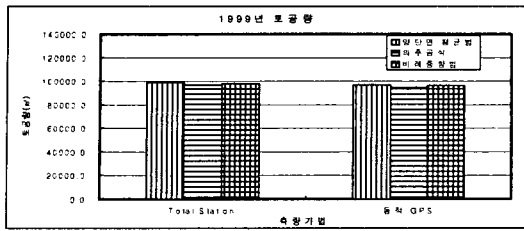


그림 8. 1999년 토공량

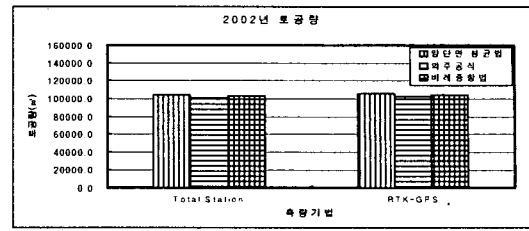


그림 9. 2002년 토공량

그리고 위성항법시스템의 방법변화에 따라 관측한 토공량을 비교하여 보면 1999년도 토공량에 비해 2002년도 토공량이 8.68% 정도 증가한 것을 알 수 있다. 마찬가지로 각 적용방법에 의한 방법에서도 8.18%정도 증가한 것을 알 수 있었다.

표 2. 토공량 잔차

적용공식	TS	RTK/GPS-동적 GPS
양단면 평균법	5,191.3m'	8,408.3m'
의주공식	4,600.0m'	7,741.3m'
비례중항법	4,966.9m'	8,155.1m'

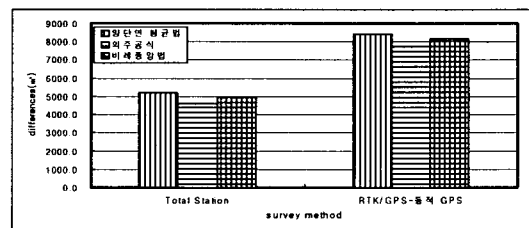


그림 10. 토공량 잔차

토공량 산정 적용공식에 의한 차이는 거의 없는 것으로 나타났으며 연도별 측량기법에 따른 잔차를 표 2에 나타내었으며 그림. 10은 측량기법에 따른 잔차를 도시하였다.

#### 4. 결론

연도별 사질해안의 토공량을 비교분석한 결과 약 8.5%이상이 1999년 보다 2002년 사질 토공량이 증가하였다. 측량방법과 대상지의 경계는 저조위수로 하여 동일 조건으로 측정하였으나 사질 토량이 증가한 것은 인공적 양빈에 의한 결과라고 판단되고, 위성항법 측위 기법별 토공량을 비교한 결과, 최신 기법인 RTK-GPS에 의한 토공량이 동적 GPS에 의한 토공량에 비하여 많았다. 이는 RTK-GPS에 의한 측위에 있어 그 측위 방법과 간편성에 의해 동일 지역에 대해 동일시간으로 측위 하였을 경우 TS, 동적 GPS에 비해 현저히 많은 측정수를 획득 할 수 있었기 때문이다. 토공량 산정에 있어서 기존의 측량방법인 TS를 이용하는 것보다 RTK-GPS를 사용하여 자료를 수집할 경우 시간과 인력면에서 보다 효율적이었다. 그리고 해안지형 관측과 해안지형 모니터링 시스템 구축에 있어 시스템의 정밀한 Data Base구축과 지속적인 모니터링에 있어서 RTK-GPS기법을 사용한다면 그 시간과 비용의 절감 효과가 매우 높을 것으로 기대된다.

#### 5. 참고문헌

1. 김정동, "실시간 동적 GPS 측량에 의한 해안 지형 해석", 동아대학교 대학원 박사청구논문 2000학년도, pp. 54~75
2. 김동현, "실시간 GPS 정밀측량을 위한 이동 중 위치결정에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 1997. pp. 49~59
3. B. Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System -Theory and Practice", Technische Universitat Graz Austria, pp 198~200
4. Hubiao Lan, "Development of A Real-Time Kinematic GPS System : Design, Performance and Results" Department of Geomatics Engineering Calgary, Alberta Decemer, 1996