

RTK GPS에 의한 DTM 생성과 토공량 산정

DTM Generation and Earth Volume Calculation with RTK GPS

박운용¹⁾ · 이기부²⁾ · 차성렬³⁾ · 이동락⁴⁾*

- 1) 동아대학교 토목해양공학부 교수·공학박사(E-mail : uypark@daunet.donga.ac.kr)
- 2) 영남이공대학 토목과 교수 · 공학박사 (E-mail : kblee@ync.ac.kr)
- 3) 양산대학 건설교통정보과 교수 · 공학박사(E-mail : sycha@mail.yangsan.ac.kr)
- 4)* 창신대학 건설환경과 교수, 공학박사 · (E-mail : drlee@changshin.ac.kr)

1. 서론

토공량을 결정하기 위한 방법으로 사용된 것은 종이지도에서 등고선을 이용하여 자동독취(digitizing)하는 방법, 항공사진을 이용하여 도화작업에 의한 방법, 레벨(level)을 이용한 지형측량 방법, 그리고 토탈스테이션(TS : Total Station)를 이용한 방법 등이 널리 이용되고 있다. 하지만 이런 방법들은 많은 현장작업과 실내 수작업이 필요하며, 시간과 인력도 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.

지구 표면은 연속적인 형상으로 이를 모델화하기 위해서는 무수한 점이 필요하다. 하지만 이런 작업은 일부 디지털 시스템에서는 불가능하므로 유한한 저장자료를 사용해서 디지털 형태로 연속적인 표면을 표현하기 위해 수치지형모델(DTM : Digital Terrain Model)이 대두하였다.

따라서 본 연구에서는 측량기준점 측설이나 구조물 설치에 있어 신속·정확하게 현지에서 3차원 위치정보를 제공해 줄 수 있는 것으로 증명된 GPS측량의 한 기법인 RTK-GPS를 이용하여 토공량 산정과 DTM 자료 취득에도 이용가능 한지를 TS와 비교 검증하여 분석하였다.

2. 수치지형모델을 위한 자료구축

수치지형모델을 위해 다양한 자료구축의 방법들이 오랫동안 사용되어 왔으나, 오늘날 사각형 격자(rectangular grid) 또는 불규칙삼각망(T.I.N : Triangulated Irregular Network)등이 널리 이용되고 있다.

2.1 보간법 개요

보간법(Interpolation method)은 동일영역이나 지역 내 측점에 대한 관측값으로부터 표본이 추출되지 않은 측점의 표고를 예측하는 것이다. 보간은 이런 관측값들에 의한 공간패턴(spatial pattern)이 다른 공간 엔티티(entities)의 공간패턴과 비교될 수 있도록 하기위해 자료를 점 관측값에서 연속적인 면으로 전환하는 데 사용된다. 특히 수치지형모델은 표면을 연속적으로 표현하기 위해서, 표고값뿐만 아니라 저장된 점들 사이의 보간이 필요하며, 매우 중요하다. 보간법은 특히 다음 두 가지 경우에 필요하다. 첫째, 지도 자료의 기준점으로부터 수치지형모델의 절점을 유도하는 경우, 둘째는 수치지형모델이 생성된 후에 이 자료를 응용할 때 유용하다.

2.2 보간법 종류

현재 널리 이용되는 보간기법은 역거리 보간법(I.D.P : Inverse distance to a power) , 최근린 보간법(N.N : Nearest neighbor), 크리징 보간법(Kriging), 불규칙삼각망(T.I.N : Triangulated Irregular Network) 등이 있다.

i) 역거리보간법은 도플러(doppler)의 법칙을 근거로, 절대위치의 값을 계산할 때 측정거리보다 가까운 이웃점들의 값이 더욱 영향력이 있다는 개념이다. ii) 최근린 보간법은 최근린 자료점들의 값을 개개 격자절점에 부여하는 방법이다. iii) 크리징 보간법은 관측점이 불규칙한 경우에 등고선이나, 곡면의 보간 등에 유용하다. 또한 크리징 보간법은 자료의 경향(trend)을 나타낼 수 있으며, 자료의 특성을 분산도(variogram) 분석으로 나타내므로, 적절한 분산도 모형이 설정되어 있으면 보간이 잘 이루어질 수 있다. iv) 불규칙삼각망 보간법은 수치지형모델이 가지는 자료 중복도를 줄일 수 있으며, GIS와 지도자동제작, 그리고 등고선처리 프로그램 등에서 다양하게 사용되고 있다.

3. 자료 취득 및 분석

3.1 실험 대상지



그림 1. 실험대상지역

실험 대상지는 그림 1과 같이 요(凹)형의 지형기복 변화가 확연하며, 주위에 장애물 등이 없어서 위성측량이 용이하고

기타 측량이 용이한 곳을 선택하였다. 또한 이 곳은 본 연구에서 추구하는 다중장비를 이용한 토공량 산정에 적합한 지형 분포를 가지고 있다.

3.2 자료획득 및 분석

3.2.1 자료획득

관측 장비로는 RTK 정밀도 2cm+2ppm 인 Trimble사의 4000SSi 수신기를 이용하였으며, 토탈스테이션은 SOKKIA사의 SET 3C를 이용하였으며, 정밀도는 거리 5mm+3ppm이다.

먼저 상대측위(relative positioning)를 통해 두 기준점의 세계측지좌표계(WGS-84 : World Geodetic System - 84) 성과를 획득하여 Bessel 성과로의 좌표변환을 수행하여 TS의 기계점과 후시점으로 이용하였다. 다음으로 TS로 두 기준점을 사용해서 방위각을 설정하여 실험 지역의 지형측량을 수행하여 약 60점의 3차원 위치정보를 획득하였다.

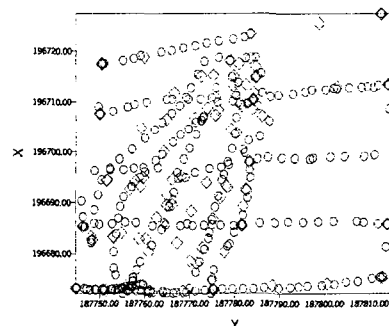


그림 2. RTK GPS와 TS로 획득한 자료분포

또한 RTK GPS는 기지국에서 보내오는 오차보정량을 이동국에서 수신하여 이동국의 좌표와 통합하여 이동국에서 3차원 위치정보를 획득하는 기법으로, 실험에선 지형의 변곡점에 대해 5초간격으로 약 300점의 자료를 획득하였다. 그림 2는 RTK GPS(원)와 TS(사각형)로 획득한 자료분포를 나타낸 것이다.

3.2.2 기준점 성과분석

등고선도와 수치지형모델의 생성에 앞서 RTK GPS에 의해 측정성과의 정밀도를 평가하기 위해 TS와 동시에 현장에 미리 박은 13개의 말뚝에 대한 3차원측량을 수행하였다.

RTK GPS와 TS로 획득한 13개 측점에 대한 dx, dy, dh 및 측정점들의 성과차이의 평균 (Mean)과 표준편차(Std.Dev.)를 구한 결과는 dx, dy, 그리고 dh의 평균은 -0.02m, 0.00m, 그리고 0.006m였으며, 표준편차는 0.020m, 0.032m, 0.010m로 두 측량시스템은 서로 cm 정밀도를 보였다. 따라서 위 성과를 통해 등고선도와 수치지형모델의 허용오차 이내 제작이 가능할 것이다.

3.3 수치지형모델 생성

측량시스템별 등고선도와 수치지형모델을 나타내기 위해서 상용 프로그램을 이용하여 RTK GPS, TS, RTK GPS+TS로 자료를 분석하고 그림 3과 그림 4의 등고선도를 통해 RTK GPS가 자료량이 많으므로 TS에 의한 등고선도보다 더 조밀하지만 등고선도 형상은 유사한 분포를 가지고 있다.

또한 지형이나 다른 표면들과 관련된 현상을 모델화하거나 수치적으로 표현할 수 있는 수치지형모델을 측량시스템별로 분석하여 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 RTK GPS에 의한 수치지형모델의 A부분이 그림 1과 비교해 실제지형과 매우 유사함을 알 수 있었다.

등고선도와 수치지형모델이 TS와 RTK GPS의 경우에 크게 차이를 보이지 않는다, 하지만 실제 현장 작업에서는 TS에 의한 3차원 위치정보 획득은 60여점을 획득하는데 30분 소요가 되었으며, RTK GPS기법으로는 지형의 변곡점에 대한 3차원 위치정보를 약 300점을 획득하는데 25분 정도 소요가 되었다. 따라서 시간과 인력 소요 면에서 큰 차이를 보였다.

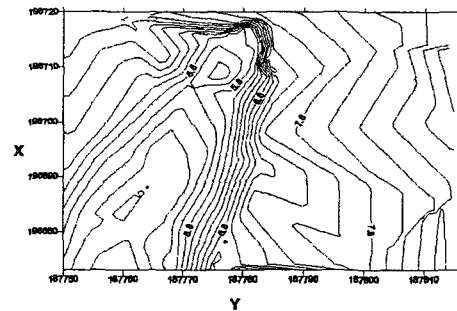


그림 3. TS에 의한 등고선도

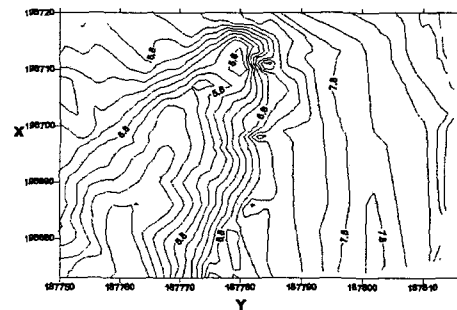


그림 4. RTK에 의한 등고선도

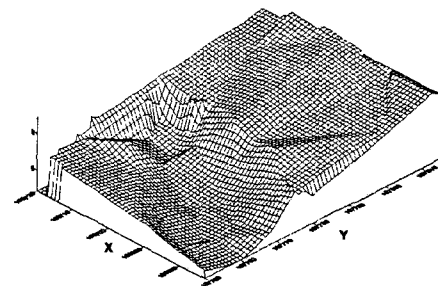


그림 5. TS에 의한 수치지형모델

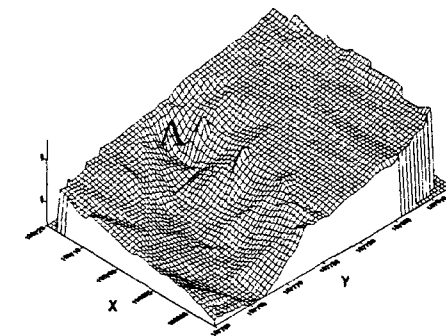


그림 6. RTK GPS에 의한 수치지형모델

3.4 토공량 분석

3.4.1 보간기법별 및 표고별 분석

TS측량의 경우 절토량은 I.D.P가, 성토량은 T.I.N이 가장 적었다. 또 보간기법별 절토량과 성토량의 분포는 I.D.P가 5870.02~-6309.74m³, KRIGING는 6862.72~-6226.22m³, N.N은 6617.77~-6274.14m³ 그리고 T.I.N은 6353.94~-6095.26m³였다. 보간기법별 평균절토량은 6426.112m³, 평균성토량은 -6109.34m³ 이고, 표준편차는 368.03m³와 279.90m³로 5.727%와 4.582%였다.

RTK GPS의 경우 절토량은 T.I.N이 가장 적었고, 성토량은 I.D.P가 다른 기법에 비해 크게 나타났다. 그리고 보간기법별 절토량과 성토량의 분포는 I.D.P는 6382.1~-6378.01m³, KRIGING는 6369.47~-6175.53m³, N.N은 6384.99~-6367.33m³, 그리고 T.I.N은 6012.46~-6175.53m³ 분포를 보였다. 평균절토량은 6287.26m³, 평균성토량은 -6274.10m³였으며, 보간기법별 절토량과 성토량의 표준편차는 158.76m³와 98.62m³로서, 각각 2.51%와 1.53%로 큰 차이가 없었다. 그래서 RTK GPS와 TS의 평균절토량 차이는 138.86m³, 평균성토량 차이는 164.76m³로서 이것은 평균절·성토량에 대해 2.18%, 2.66%를 차지하는 매우 미소한 양이었다.

3.4.2 토공량 산정공식별 분석

대부분의 보간기법에서 표고차 6m 까지는 절토부를 형성하였고, 7m이상에서는 성토부를 형성하였다. 이를 통해 실험대상 지역이 절(凸)형보다는 요(凹)형이 많음을 알 수 있었다. 각 보간기법에 대해 제형법, 심프슨 1/3법, 그리고 심프슨 3/8법을 이용하여 토공량을 산출하였다.

표 1. 보간법별/산정공식별 토공량분석

산정공식 시스템	제형법		심프슨 1/3		심프슨 3/8	
	TS (m ³)	RTK GPS (m ³)	TS (m ³)	RTK GPS (m ³)	TS (m ³)	RTK GPS (m ³)
절 토 량	6426.03	6294.34	6431.15	6289.41	6429.55	6289.01
성 토 량	6226.52	6276.00	6226.50	6278.29	6227.38	6278.11
절토량 - 성토량	131.39(2.07%) -49.48(0.80%)		141.74(2.23%) -51.79(0.83%)		140.54(2.21%) -50.73(0.81%)	
평균절토량	6360.19		6360.28		6359.28	
평균성토량	6251.26		6252.40		6252.75	

위 표에서 알 수 있듯이 보간법별/산정공식별 토공량산정에서 TS와 RTK GPS의 경우에 절·성토량이 서로 0.80%에서 최대 2.23%까지 차이를 보였다. 그리고 산정공식별 토공량산정에서 세가지 공식에서 절·성토량에서 각각 -9.15m³, -2.31m³ 차이를 보였다.

4. 결론

토공량을 산정하기 위해서 RTK GPS와 토탈스테이션에 의해 자료를 획득하여 보간기법별/산정공식별로 토공량을 구한 결과,

1. RTK GPS와 토탈스테이션의 기준점 성과는, 표준편차가 X, Y에서 0.02m, 0.032m, 그리고 h에서 0.010m 차이를 보였다. 따라서 등고선도와 수치지형모델의 허용오차 이내 제작이 가능할 것이다.
2. RTK GPS기법으로 300점을 취득하는데 25분 정도가 소요됨으로 고정밀도의 DTM 자료 취득원, GIS 데이터 베이스 구축의 자료로서 큰 역할이 기대된다.
3. 토공량을 보간법별로 분석에서, TS와 RTK GPS의 절토량과 성토량의 차이는 138.857m³(2.184%)과 164.76m³(2.660%)로서 매우 미소한 차이를 보였으며,

4. 토공량의 산정공식별 분석에서는 RTK GPS와 TS의 절토량은 제형법 2.067%, 심프슨 1/3법 2.229%, 심프슨 3/8법 2.210% 차이를, 그리고 성토량은 제형법 0.797%, 심프슨 1/3법 0.828%, 심프슨 3/8법 0.811%를 보여 매우 근접한 값을 보였다. 이를 통해 소규모지역에서 RTK GPS로 신속한 정밀한 토공량산정이 가능할 것으로 사료된다.

향후 RTK GPS의 토공량 산정에 효율적으로 이용하기 위해서는 가시위성 확보가 어려운 곳에서의 RTK GPS 측량을 수행할 수 있는 방법을 강구하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

Miller, C. and LaFlamme(1958), F.A., "The Digital Terrain Modelling-theory

and applications", McGraw-Hill, Inc., New York, USA, 1958.

Petroe, G and Kennie, T.J.M(1990)., "Terrain Modeling in Surveying and Civil Engineering", McGraw-Hill, Inc., New York, USA.

조영호(1989), "수치지형 모델을 이용한 도로의 토공량산정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제7권, 제2호, pp. 7~19.

유복모, 박운용, 권현, 문두열(1990), "수치지형모형에 있어서 지형의 분석과 조합보간법의 적용에 관한 연구", 한국측지학회지, 제8권, 제2호, pp. 53~61.

이진덕, 정한상(1999), "반송파 위상관측을 이용한 실시간 Kinematic GPS 측량기법의 정확도와 효용성 평가", 한국측지학회지, 제17권, 제3호, pp. 301~310.