Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 2003 / Busan / Korea

RTK GPS 측량에 의한 토공량 산정과 DTM 자료 취득에 관한 연구

A Study for Earth Volume Calculation and DTM Data acquirement with RTK GPS

박운용[1], Park, Woon-Yong · 정창식[2], Chung, Chang-sik · 이동락[3], Lee, Dong-Rak · 배경호[4], Bae, Kyoung-Ho

[1] 동아대학교 공과대학 토목해양공학부 교수
[2] 부경대학교 공과대학 해양공학과 교수
[3] 창신대학 조교수
[4] 동아대학교 토목공학과 대학원 박사과정

1. 서론

지구 표면은 이산형체가 아니라 연속적인 형상으로 이를 모형화하기 위해서는 무수한 점이 필요하다. 하지만 이런 작업은 일부 디지털 시스템에서는 불가능함으로 유한한 저장자료를 사용해서 디지털 형태로 연속적인 표면을 표현하기 위해 수치지형모형(DTM : Digital Terrain Model)이 대두하였다. 이후로는 수치표고모형(DEM : Digital Elevation Model), 수치고도모형(DHM : Digital Height Model), 수치지상모형(DGM : Digital Ground Model) 그리고 수치지형표고자료(DTED : Digital Terrain Elevation Data)들은 이것을 묘사하기 위해 서로 결합되었다.

최첨단의 위치결정체계인 GPS(Global Positioning System)의 동향은 건설, 항만, 지형정보시스템(GSIS : Geo-Spacial Information System), 기타 여러 응용분야에서 크게 활용되고 있다. 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 실내수작업이 필요하며, 시간과 인력도 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. 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 DTM 자료 취득과 토공량 산정에도 이용가능 한지를 TS와 비교 검증하여 분석하였다.

2. 본론

2.1 RTK GPS 와 TS개요

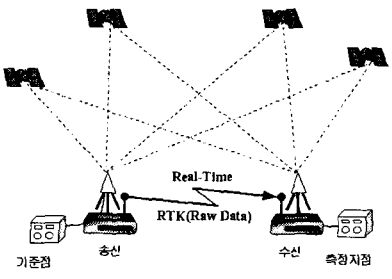

Fig. 1. RTK GPS

NAVSTAR GPS(NAVigation System Time And Ranging Global Positioning System)는 미 국방성이 군사적 목적으로 운영하는 항법 시스템으로, 약 20,183 km의 고도를 운행하는 24개의 위성들을 이용하여 지상, 해상 및 공중의 사용자에게 기상상황이나 사용자의 수에 구애받지 않고 위치정보를 제공한다.

GPS 측량기법 중 하나인 실시간 동적측량에서 수cm의 높은 정밀도를 얻기 위해서 반송파 위상을 이용하는 이중차분법(double differencing method)을 사용한다. 원시(raw) 의사거리와 반송파 위상 관측값 또는 그 보정량은 기지국에서 이동국으로 0.5~2초(sec)

간격으로 갱신하여 전송되어야 한다. 정수부 미지정수는 이동중 초기화로 고정 할 수 있고 또는 실수해로 해결할 수 있다. 정수부 미지정수가 고정되면, cm 수준의 정확도를 획득할 수 있다. TS는 속도가 알려진 전자파 에너지가 두 점간을 진행한 시간을 관측하여 두 점간의 거리를 계산하는 전자파거리관측기(EDM : Electronic Distance Measurement Devices)와 각 관측기인 전자 데오돌라이트와 마이크로 컴퓨터의 조합에 의해 각과 거리를 동시에 관측하고 내장된 마이크로프로세서에 의하여 수평 거리, 연직거리 등 필요한 사항들의 실시간 계산뿐만 아니라 모든 데이터는 자동적으로 기록되어 야장이 필요 없으며 주 컴퓨터 등 다른 주변장치와 연결되어 후속 작업을 할 수 있는 측량 장비이다.

2.2 수치지형모형

수치지형모형은 1950년대 이래로 지구과학의 응용분야에서 사용되어 왔으며, 지형정보의 처리에 있어서 가장 중요한 요소가 되어 왔다. 이것은 지표면 해석과 이공학분야등 수많은 응용분야에 있어서 기초가 되었으며, 또한 지형공간정보체계에 있어서도 지형이나 또는 다른 표면들과 관련된 현상을 보여 줄 수 있도록 모형화시켜 준다.

2.2.1 수치지형모형을 위한 자료와 보간법

수치지형모형을 위해 다양한 자료구축의 방법들이 오랫동안 사용되어 왔으나 오늘날 대부분이 사각형 격자(rectangular grid) 또는 불규칙삼각망(T.I.N : Triangulated Irregular Network)의 자료구축방법을 따르고 있다.

보간기법(Interpolation method)은 관측을 통해 얻어진 관측값을 이용하여 관측이 실행된 영역 내에서 조사되지 않은 변수값을 평가하는 과정이다. 보간법은 표면을 정확하게 표현하는 수치지형모형으로부터 몇 개의 점을 선택하는 과정과는 반대로 진행된다. 보간법의 이론적 근거는 공간에서 함께 근접해 있는 점들이 멀리 떨어져 있는 점보다는 가까운 이웃점들이 유사한 값을 가진다는 것이다. 따라서 보간법은 많은 지형공간정보체계들에서 사용되는 가장 중요한 특징이다. 보간법의 적용은 지도 자료의 기준점으로부터 수치지형모형의 절점을 유도하는 경우에 발생하며, 두 번째는 수치지형모형이 완결된 후에 수치지형모형자료가 응용될 때 필요하다.

기법별로는 역거리(Inverse distance to a power) 보간법, 최근린(Nearest neighbor) 보간법, 크리징(Kriging) 보간법, 불규칙삼각망(T.I.N) 보간법이 있다.

2.2.2 수치지형모형의 응용

특히, 최근 기술발전과 더불어 더욱 복잡한 지형모형체계가 여러 응용분야를 해결하기 위한 강력한 수단으로 변모해 가고 있다. 수치지형모형의 응용분야는 측량과 사진측정학, 토목공학, 계획과 자원관리, 지구과학, 군사분야와 같이 크게 5가지 분야로 나눌 수 있다.

3. 자료 관측 및 분석

3.1 자료 관측

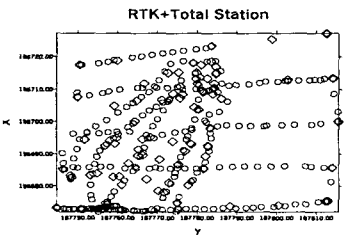

Fig. 2. Data distribution with RTK + TS

실험지역은 주위에 장애물 등이 없어서 위성측량에 용이하고 기타 측량을 위한 최적의 대상지로서 실험대상지역에서 GPS 단독측위(absolute positioning)를 통해 2개 측점의 세계측지좌표계(WGS-84 : World Geodetic System-1984) 성과를 획득하였다. TS로 실험지역의 굴곡부분 등에 대한 지형측량을 수행하여 3차원 위치정보를 약 60점 획득하였다. 또한 GPS 위성측량은 RTK GPS기법으로 관측하였고 지형의 변곡점에 대한 3차원 위치정보를 5초마다 약 300점을 획득하였다. 이렇게 획득한 자료를 측량장비별로 등고선도(Contour map)와 수치지형모형을 구축하였고, 또한 보간기법(Interpolation method)별로 토공량을 산정하여 서로 성과를 비교 분석함으로써 RTK 기법에 의한 토공량 산정의 가능성을 검토하였다.

3.2 자료 분석

Table 1. Difference of plane cartesian coordinates between TS and RTK

측 점	dx (m)	dy (m)	dh (m)
1	-0.016	-0.040	0.001
2	-0.009	-0.014	0.000
3	-0.067	-0.010	0.011
4	-0.046	-0.029	0.003
5	-0.014	-0.019	0.002
6	-0.026	-0.003	0.014
7	-0.011	-0.007	0.003
8	-0.022	0.017	0.003
9	0.018	-0.009	0.000
10	-0.019	-0.028	0.031
11	-0.004	0.024	0.011
12	-0.026	0.076	0.010
13	-0.018	0.041	-0.010
Mean	-0.020	0.000	0.006
Std. Dev	0.020	0.032	0.010

토공량을 산정하기에 앞서 측량시스템의 수평위치와 수직위치의 정밀도를 비교분석하기 위해 TS와 RTK로 실험대상지역에 골고루 분포시켜 놓은 말뚝의 윗 부분의 수평위치와 수직위치를 측정하였다.

각 측점들에 대한 dx, dy, 그리고 dh의 평균은 -0.02m, 0.00m, 그리고 0.006m였으며, 표준편차는 0.020m, 0.032m, 0.010m를 나타내어 두 측량시스템은 서로 cm 정도의 차이를 보였다. TS와 RTK 측량의 기준점 성과 차이가 미소하게 나타나는 것을 알수 있으며 RTK관측으로도 충분히 TS에 접근함을 보이고 있다.

3.3 DTM 생성

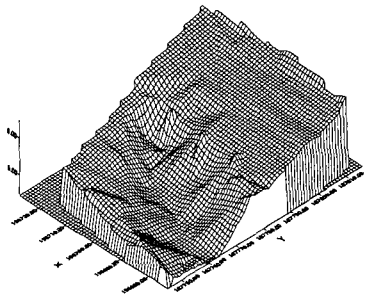

Fig. 3. DTM with RTK

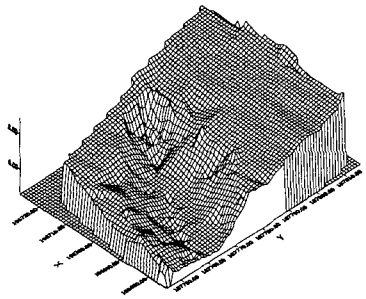

Fig. 4. DTM with RTK+TS

수치지형모형은 지형이나 다른 표면들과 관련된 현상을 모형화하거나 수치적으로 표현함으로서 여러 기능들을 수행할 수 있다. Fig. 3은 Static GPS로 관측된 기준점으로부터 좌표변환을 거쳐 평면직각좌표를 획득한 다음 기준점에 기준국을 설치하고 이동국으로 관측된 자료들이고 Fig. 4는 RTK GPS+TS에 의해 관측된 자료들을 결합하여 수치지형모형으로 나타낸 것이다.

3.4 토공량 분석

TS로 측정한 측점들의 3차원 자료를 이용해서 각 보간기법별로 계산한 표고별 면적과 절토량/성토량을 기록하였다. (+) 면적에서는 T.I.N 기법이 가장 적었고, 절토량은 I.D.P 기법이 가장 적었고, 성토량은 T.I.N 기법이 가장 적게 나타났다. 또 각 보간기법별 절토량과 성토량의 분포는 I.D.P는 5870.02~-6309.74㎥, KRIGING는 6862.72~-6226.22㎥, N.N은 6617.77~-6274.14㎥ 그리고 T.I.N은 6353.94~-6095.26㎥ 였다. 평균절토량은 6426.112㎥, 평균성토량은 -6109.34㎥ 이고, 각 보간법의 절토량과 성토량의 표준편차는 5.727%와 4.582% 였다.

RTK GPS 측량으로 측정한 각 측점들의 3차원자료를 이용해서 각 보간기법에 따른 표고별 면적과 절토량/성토량을 나타낸 것이다. 여기에서는 (+) 면적은 T.I.N이 가장 적었고, 절토량은 T.I.N이 가장 적었고, 성토량은 I.D.P가 다른 기법에 비해 크게 나타났다. 그리고 보간법별 절토량과 성토량의 분표는 I.D.P는 6382.1~-6378.01㎥, KRIGING는 6369.47~-6175.53㎥, N.N은 6384.99~-6367.33㎥, 그리고 T.I.N은 6012.46~-6175.53㎥ 분포를 보였다. 평균절토량은 6287.255㎥, 평균성토량은 -6274.1㎥였으며, 각 보간법별 절토량과 성토량의 표준편차는 2.513%와 1.527%로 큰 차이가 없었다.

Table 2. Cross-sectional calculation of cuts and fills volumes (TS, RTK, RTK + TS)

Interpolation	Heights (m)	Area (㎡)				Cuts & Fills Volumes (㎥)								
		Planar area	Surface area			Cut			Fill			Cut-Fill		
		TS+ RTK	TS	RTK	TS+ RTK	TS	RTK	TS+ RTK	TS	RTK	TS+ RTK	TS	RTK	TS+ RTK
I.D.P	4.898	**3102.00**	3123.64	3119.05	**3123.40**	5870.02	6382.1	**6350.07**	0	0	**0**	5870.02	6382.100	**6350.07**
I.D.P	7	**1619.68**	1222.89	1623.67	**1625.21**	797.862	1353.41	**1373.43**	1533.86	1547.09	**1542.86**	-735.998	-193.677	**-169.438**
I.D.P	8	**618.551**	334.366	590.424	**619.976**	98.3024	194.442	**209.81**	3936.3	3490.12	**3481.25**	-3837.998	-3295.68	**-3271.44**
I.D.P	8.895	**0**	0	0	**0**	0	0	**0**	6309.74	6378.01	**6048.66**	-6309.74	-6378.01	**-6048.66**
KRIGING	4.899	**3102.00**	3123.01	3119.35	**3123.26**	6862.72	6369.47	**6279**	0	0	**0**	6862.72	6369.47	**6279.00**
KRIGING	7	**1624.02**	1629.66	1622.45	**1629.66**	1340.81	1353.42	**1340.81**	1579.58	1547.84	**1579.58**	-238.772	-194.422	**-238.77**
KRIGING	8	**580.998**	582.499	590.147	**582.499**	177.98	194.341	**177.98**	3518.75	3490.76	**3518.75**	-3340.77	-3296.42	**-3340.77**
KRIGING	8.93	**0**	0	0	**0**	0	0	**0**	6226.22	6175.53	**6226.32**	-6226.22	-6175.53	**-6226.32**
N.N	4.851	**3102**	3258.28	3191.82	**3200.91**	6617.77	6384.99	**6409.15**	0	0	**0**	6617.77	6384.99	**6409.15**
N.N	7	**1610.65**	1703.63	1639.63	**1639.16**	1522.78	1340.93	**1334.63**	1661.16	1550.79	**1591.68**	-138.38	-209.86	**-257.052**
N.N	8	**609.915**	803.07	593.842	**613.597**	343.637	192.542	**182.225**	3584.02	3504.4	**3541.28**	-3240.383	-3311.586	**-3359.055**
N.N	8.985	**0**	0	0	**3200.91**	0	0	**0**	6274.14	6367.33	**6414.52**	-6274.14	-6367.33	**-6414.52**
T.I.N	4.883	**3007**	3031.39	2953.61	**0**	6353.94	6012.46	**6135.09**	0	0	**0**	6353.94	6012.46	**6135.09**
T.I.N	7	**1539.93**	1586.94	1474.57	**1484.54**	1448.96	1212.35	**1276.27**	1609.47	1533.56	**1578.76**	-160.51	-321.203	**-302.489**
T.I.N	8	**549.42**	655.925	507.006	**2480.13**	227.22	140.142	**150.629**	3424.9	3442.51	**3493.78**	-3197.68	-3302.37	**-3343.16**
T.I.N	8.9	**0**	0	0	**3032.37**	468	0	**0**	6095.26	6175.53	**6079.42**	-5627.26	-6175.53	**-6079.42**

4. 결론

토공량을 산정하기 위해서 RTK GPS 측량과 토탈스테이션에 의해 토공량을 관측하고, 이를 측위시스템별, 보간기법별로 토공량을 산정한 결론은 1. RTK의 좌표 정밀도를 검사하기 위해 TS의 성과와 비교한 결과, X, Y에서 0.02m, 0.032m, 그리고 h에서 0.010m 차이를 보여 세부측량에도 RTK기법이 이용 가능함을 입증하고 2. TS와 RTK 측량의 절토량과 성토량의 차이는 138.857㎥(2.184%)과 164.76㎥(2.660%)로서 매우 미소하여, RTK 측량의 성과는 충분히 토공량 산정에 적용될 수 있음을 보여주고 있으며. 3. RTK GPS는 연속 관측이 가능하므로 지형의 조밀한 관측을 할 수 있었기 때문에 최저표고차 자료를 더욱 많이 획득 할 수 있었으며 관측시간도 절약될 수 있어 정밀토공량 산정에도 경제적임을 알 수 있었다. 수치지형모형(DTM) 형성, 위성영상의 기하보정 자료, 그리고 GSIS D/B구축의 자료로서 RTK역할이 기대된다.

참고문헌

1. Miller, C. and LaFlamme, F.A., "The Digital Terrain Modelling-theory and applications", McGraw-Hill, Inc., New York, USA, 1958.

2. 박운용, 문두열, 차성열, "비선형해석에 이한 부등간격의 토공량에 계산에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 제2호, 1991, pp. 19~36.

3. 양인태, 천기선, 박재호, "수치표고모형에 의한 유역에서의 지형인자", 한국측지학회지, 제17권 제1호, 1999, pp. 61~ 67.

4. 이진덕, 정한상, "반송파 위상관측을 이용한 실시간 Kinematic GPS 측량기법의 정확도와 효용성 평가", 한국측지학회지, 제 17 권, 제 3 호, 1999, pp. 301~ 310.