한국지형공간정보학회
(Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science)
Vol.24 No.1 March 2016 pp.35-41

ISSN: 1598-2955 (Print)
ISSN: 2287-6693(Online)
http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2016.24.1.035

연구논문

Network-RTK측량에서 심플렉스해법을 이용한 최적표고 결정

Determination of the Optimal Height using the Simplex Algorithm in Network-RTK Surveying

이석배* · 어수창**
Lee, Suk Bae · Auh, Su Chang

要 旨

GNSS/Geoid 측위 기술은 GNSS측량으로 결정한 타원체고와 지오이드모델에서 계산된 지오이드고를 이용하여 측정위치의 정표고 결정을 가능하게 한다. 본 연구에서는 Network-RTK 방식에 의한 표고결정 적용성을 분석하기 위하여 연구대상지역의 수준점에 대한 Network-RTK 측량을 실시하였다. 그리고 우리나라의 KNGeoid13 지오이드모델을 적용하여 Network-RTK에 의한 표고를 산출하고 현장최적화를 적용한 계산결과와 적용하지 않은 계산결과를 비교하였다. 현장최적화 여부에 상관없이 모든 관측결과를 가지고 심플렉스법을 이용하여 최적표고값을 결정하였으며 이 결과를 국토지리정보원의 수준점 성과와 비교하였다. 연구결과 현장최적화를 적용하지 않은 Network-RTK 관측의 표고 정확도의 평가결과 평균오차값은 0.060m, 표준편차는 0.072m 이었으며, 현장최적화를 적용한 Network-RTK 관측 표고정확도의 평균오차값은 0.040m, 표준편차는 0.047m 이었다. 모든 관측값을 선형화에 사용하여 최적표고를 구한 경우 Network-RTK 측량은 0.033m의 정확도로 표고산출이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 선형 계획법, 심플렉스법, Network-RTK, 최적표고

Abstract

GNSS/Geoid positioning technology allows orthometric height determination using both the geoidal height calculated from geoid model and the ellipsoidal height achieved by GNSS survey. In this study, Network-RTK surveying was performed through the Benchmarks in the study area to analyze the possibility of height positioning of the Network-RTK. And the orthometric heights were calculated by applying the Korean national geoid model KNGeoid13 according to the condition of with site calibration and without site calibration and the results were compared. Simplex algorithm was adopted for liner programming in this study and the heights of all Benchmarks were calculated in both case of applying site calibration and does not applying site calibration. The results were compared to Benchmark official height of the National Geographic Information Institute. The results showed that the average value of the height difference was 0.060m, and the standard deviation was 0.072m in Network-RTK without site calibration and the average value of the height difference was 0.040m, and the standard deviation was 0.047m in Network-RTK with the application of the site calibration. With linearization method to obtain the optimal solution for observations it showed that the height determination within 0.033m was available in GNSS Network-RTK positioning.

Keywords : Linear Programming, Simplex Algorithm, Network-RTK, Optimal Height

1. 서 론

RTK(Real Time Kinematic)는 실시간 데이터 취득이 가능하고 위상 관측치를 이용하여 높은 정확도를 확보 할 수 있기 때문에 지형의 변화, 건축물의 변위 측정, 토목 시공 등과 같은 정밀한 위치를 요구하는 분야에서 많이 활용되고 있다. 우리나라도 2000년대에 들어서면서 RTK기술을 활용한 연구가 활성화되어 RTK 측량의 위치정확도를 높이려는 연구(Choi and Lim, 2004, Lee et al. 2005)가 있었고, RTK 측량기술을 활

Received: 2016.02.05, revised: 2016.03.07, accepted: 2016.03.17

* 정회원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 교수(Member, Professor, Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, sblee@gntech.ac.kr)

** 교신저자 · 정회원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 박사과정(Corresponding Author, Member, Doctoral Student, Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, pig9456@naver.com)

용한 연구로서 RTK기술을 이용한 해안선 변화탐지 연구(Lee et al. 2012)와 RTK기술을 하천측량에 적용하는 연구(Lee and Choi, 2007)가 있었다. 또한 지적세부측량에 RTK 방식을 실용화하려는 연구(Hong et al. 2009)가 수행되었다. 이러한 연구들은 하나의 기준국을 기준으로 하는 전통적인 단일기준점측위방식에 대한 연구였다.

하지만 RTK 방식은 기준점과 이동점사이의 기선의 길이가 길어질수록 대기효과(전리층 및 대류층)에 대한 오차들의 상관관계가 적어지기 때문에 관측범위를 10~15km로 제한하고 있으며, 기준국으로 사용 할 기준점의 위치 좌표가 부정확하거나 존재하지 않는 경우에는 기준점 측량을 별도로 수행해야 하는 단점이 있다(NGII, 2003).

이러한 실시간이동측위 방식의 단점을 보완하기 위해 GNSS 상시 관측소망으로부터 수신된 데이터를 이용하여 이동국 인근에 가상기준점(Virtual Reference Station)을 생성하고, 계통오차를 계산한 후 보정값을 이동국에 전송하여 상대 측위를 통해 정밀한 위치를 계산하는 Network-RTK 방식이 도입 되었다(NGII, 2005).

Network-RTK 측량방법은 GNSS측량이 가지고 있는 구조적 오차를 계산하는 상대측위를 효율적으로 수행할 수 있는 실시간 측량방법이다. Network-RTK는 기존의 RTK방식에 비해 기선 길이의 제한이 적으며, 상시관측소의 데이터를 이용함에 따라 별도의 기준점 측량없이 실시간으로 이동국의 정밀한 위치를 결정할 수 있어 다양한 분야에서 활용되고 있다. 우리나라의 경우 Network-RTK서비스는 2005년 서비스가 개시된 후 이용자가 꾸준히 증가하였으며 2013년 8월에는 이용자 증가에 따른 서비스 지연현상을 막기 위하여 서버를 증설하여 동시다중접속자수를 200명에서 1000명으로 늘리기도 하였다(NGII, 2013). 이는 현장에서 이용자수가 급격하게 증가하였다는 것을 의미하며 실제로 지적재조사측량, 엔지니어링 측량 등에 활발하게 이용되고 있다. 또한 Network-RTK 측위는 평면위치 결정뿐 아니라 표고 결정에도 활용되고 있으나 이에 대한 작업규정의 마련이 시급한 실정이다(Lee, 2013).

국토지리정보원 Network-RTK측량이 대중화됨에 따라 시스템의 정확도를 평가하는 연구(Kim et al. 2008)와 Network-RTK를 활용한 평면 정확도 평가를 평가하는 연구(Jang et al. 2009)가 발표된 바 있으나 아직까지 표고 정확도에 관련 연구는 활발히 연구되지 못하고 있다.

본 연구에서는 지리산 일대를 연구대상지역으로 선정하고 1,2등 수준노선을 대상으로 직접 Network-RTK 측량을 실시하였으며, 그 결과를 국토지리정보원의 수준점 성과와 비교하여 표고정확도를 분석하고자 하였다. 관측 시에 정확도를 향상시킬 수 있는 방법으로 현장최적화(Site Calibration)를 적용한 계산결과와 적용하지 않은 계산결과를 비교하였으며, 관측결과의 정확도를 향상시킬 수 있는 방법으로 현장최적화를 적용한 결과와 적용하지 않은 결과 모두를 대상으로 선형 계획법을 적용하여 최적 해를 결정하는 방법을 연구하였다.

2. 기본이론

Network-RTK 관측의 표고정확도를 향상하는 방법으로 두 가지 방법을 검토하였다. 첫 번째는 관측 전 관측값을 향상하는 방법으로 현장 최적화 방법을 사용하였으며, 관측 후 관측결과를 향상하는 방법으로 심플렉스에 의한 최적표고 결정을 사용하였다.

2.1 현장최적화

현장최적화란 RTK측량 방법으로 수신기에 취득된 WGS84 좌표점들과 지역좌표계 상의 위치관계를 나타내고 이를 관측결과에 보정하는 일련의 과정을 말한다. 지역좌표계는 평균해수면을 기준으로 하는 표고를 높이의 기준으로 사용하지만 GNSS수신기에 수신되는 높이 값은 WGS84타원체의 높이이며, 평면좌표 또한 지심직각좌표를 투영으로 지역적 편차를 고려하지 못한다. 이러한 편차를 줄이고 보다 정확한 지역 좌표계를

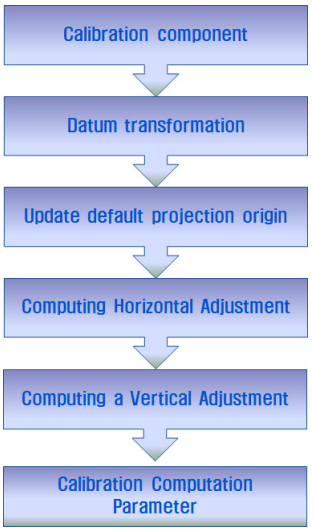

Figure 1. Flow diagram of Site Calibration process

얻기 위해서는 현장최적화 과정을 거치게 되며, Fig. 1은 그 과정을 설명하고 있다.

현장최적화의 첫 번째 단계(Step 1)은 현장최적화계산에 포함된 현장최적화 변수를 선택하여 요소(component)를 정의하는 것이다.

두 번째 단계(Step 2)는 원점(Datum)을 변환하는 단계로 만약 이전의 좌표계를 사용한다면, 3~7-변수변환과 같은 이미 정의된 원점변환을 사용하며, 일반적으로 다중회귀변환 또는 Datum Grid file을 이용하게 된다. 이러한 경우, 다른 원점변환을 요구하는 것은 바람직하지 않으므로 Datum transformation은 적용하지 않고 측량을 진행하는 것이 좋다. 그러나 만약 사용할 수 있는 원점변환 정보가 없거나 사용할 수 있는 변수가 의심이 가는 경우에는 원점변환을 적용하여 현장최적화를 수행하는 것이 권장되고 있다.

세 번째 단계(Step 3)는 초기투영원점(Default projection origin)을 갱신하는 것이다. TM투영은 위도·경도의 원점으로 정의되지만 지역에 따른 평면좌표의 원점좌표가 없기 때문에, 그 지역의 투영원점의 갱신이 필요하다. 해당지역의 측점이나 좌표를 가지고 있는 기준점을 투영기준으로 선택하는 작업이 필요하다. 초기투영의 원점을 갱신하기 위해, 먼저 기준점의 평면좌표만을 사용한다.

네 번째 단계(Step 4)는 수평조정의 계산을 수행하는 것이다. 수평조정은 다음 세 가지로 구성된 변환계획이다. 동 · 서 · 남 · 북 방향으로의 변환, 정의된 원점으로 회전, 축척계수의 계산이다.

GNSS관측으로 동일한 측점에 대한 다수의 위치좌표가 주어졌을 때 가장 적합한 좌표를 얻을 수 있는 방법은 조정변수가 주어지는 변환을 찾기 위해 최소제곱법을 사용하여 변환계수를 계산하는 것이다. 평면조정은 조정좌표계와 GNSS 위치로부터 계산된 좌표들 사이의 잔차를 최소화한다.

다섯 번째 단계(Step 5)는 수직조정 계산이다. 이단계의 수행을 위해서는 3개의 3차원 현장최적화 점들이 필요하다. 수직조정의 변수들은 최소제곱법에 의하여 계산된다. 최소제곱계산은 기지점의 표도와 GNSS 타원체고로부터 가장 적합한 높이의 보간면을 찾는 것이다. 단지 하나의 3차원 현장최적화 점을 사용하여도 수직이동 변수의 계산이 가능하며 두 개의 3차원 기지점을 사용할 수 있다면 사용한 점들에 가장 적합한 조정면을 결정할 수 있다. 그러나 세 점을 사용하여 계산하게 되면, 높이고정에 사용한 점들의 신뢰도를 계산 할 수 있기 때문에 3점 이상의 표고기지점 사용을 추천한다. 만약 지오이드모델을 사용한다면, 수직조정은 수정지오이드모델과 GNSS에서 계산된 타원체고의 차이로 계산된다.

마지막 여섯 번째 단계(Step 6)는 GNSS 현장최적화에서 선택된 현장최적화 점들을 이용하여 변수들을 계산하고 최종좌표 결정에 적용하는 단계이다(Landau, 2003; Trimble, 2013).

2.2 심플렉스 해법

심플렉스 해법은 선형계획문제의 최적표고를 해석적으로 구하는 해법으로서 1947년 Dantzig에 의하여 개발된 해법이다. 선형 계획법(linear programming)은 최적화 문제의 일종으로 주어진 선형 조건들을 만족시키면서 선형인 목적 함수를 최적화하는 방법이다. 선형계획법은 응용 과학, 미시 경제학, 네트워크 경로 최적화 등 많은 분야에서 사용되고 있으며, 선형 계획법은 최적화 문제 중에서 가장 일반적인 기법이다(Dantzig, 1955).

Fig. 2는 선형계획법의 개념을 도해적으로 풀이한 그림이다. 각각의 선형조건에 따라서 가능영역을 생성하고 가능영역 중에 가장 멀리 있는 점을 추적하여 최확값으로 계산하는 방법을 선형계획법이라 한다.

심플렉스(simplex method) 방법은 반복적인 선형계획 해석법이다. 우선 실행 가능한 초기 해를 구한 후에 그를 기점으로 하여 더 나은 해가 더 이상 없다고 판단될 때까지 점점 나은 해로 발전시켜가는 증분 분석적 방법으로써 매 반복 단계마다 연립방정식의 해법을 사용하여 가능해를 찾아낸다. 기하학적으로는 가능해 구역의 하나의 꼭짓점에서 시작하여 다른 꼭짓점으로 이동해가는 것이고, 대수적인 측면에서 보면 연립방정식의 무한히 많은 해중 독립적인 변수가 0 값을 갖고(Nonbasic) 그에 따른 종속적인 변수의 값(Basic)이 음(-)의 해를 갖지 않는 해를 찾아 더 이상 더 좋은 해가

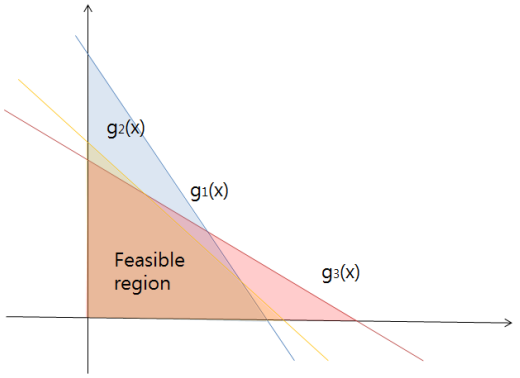

Figure 2. Diagram Analysis of Linear Programming

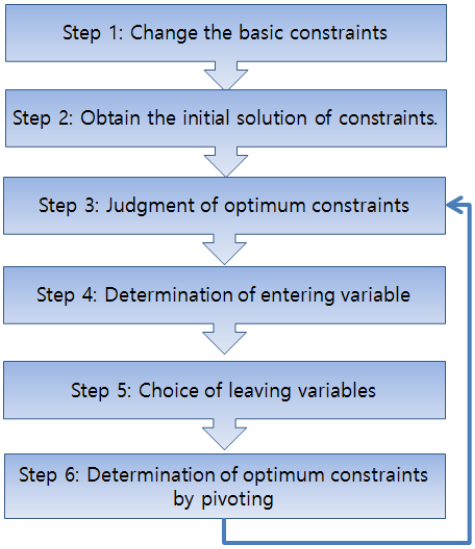

Figure 3. Flow diagram of simplex method

없다는 판단이 될 때까지 반복적으로 연립 방정식의 해를 변경시켜가는 해법이다. 심플렉스 해법의 단계별 과정은 Fig. 3과 같다.

첫 번째 단계(Step 1)는 제약식을 기본형으로 바꾼다. 우선 주어진 문제의 연립방정식의 해를 구하기 쉽게 정규형(canonicalform)의 문제로 바꾼다.

두 번째 단계(Step 2)는 초기 가능해를 구성할 연립방정식의 기저(basis)를 찾아서 초기해를 구성해본다. 연립방정식의 해는 Gauss-Jordan(G-J) 법을 사용하는데 여기서도 G-J법을 적용하여 종속변수 XB와 독립변수 XN로 구분하여 독립변수인 XN을 비 기저변수(NBV: Nonbasic Variable)로 하여 XN=0으로 할 때, 기저변수(BV:Basic Variable) XB들이 취하는 연립방정식의 특수해 XB=B-1b를 구하고 초기 가능해라고 부른다.

세 번째 단계(Step 3)은 두 번째 단계에서 찾은 비 기저변수(NBV) XN을 구성하는 요소 중 어떤 요소 값을 0으로 부터 증가시키고자 할 때, 어떤 XNj를 증가시킴이 목적함수 값을 가장 많이 개선시킬 수 있는 변수인지를 알아본다.

네 번째 단계(Step 4)는 세 번째 단계에서 최적표고로 판명이 되지 않았으므로 어떤 하나의 비 기저 변수 XNj를 선택하여 될 수 있는 만큼 크게 증가시켜야 하는데, 되도록 이면 목적함수 값을 가장 크게 개선시키는 비 기저변수, X*Nj를 (보통 비 기저변수들 중에서 Cj-Zj가 가장 큰 값을 취함) 진입변수(entering variable)로 선택한다.

다섯 번째 단계(Step 5)는 네 번째 단계에서 선택된 비 기저 진입변수를 취하여 증가 시키고자 할 때, 얼마나 크게 할 수 있을까를 결정해야하는데, 이때 기저변수 XB=B-1b-B-1NXN이 가능해 구역에서 벗어나지 않도록 하는 비 기저변수, X*Nj의 최대 증가분은 얼마나 되는가를 판단하는 단계이다.

마지막 여섯 번째 단계(Step 6)는 네 번째 단계에서 선택한 비 기저변수 XNj를 다섯 번째 단계에서 결정된 최대 증가 값만큼 증가시키면, 새로운 가능해 XB가 생성되는데 이 과정을 pivoting이라고 부른다. 그리고 이 새로운 가능해를 구성하는 벡터축들을 새로운 기저라고 하고 기저들로 이루어진 정방행렬을 기저행렬(B)이라고 한다. 이때 현재의 가능해를 이루는 기저에서 새로운 기저로 변경될 때 한 변수만 바뀌게 되는데 바뀔 변수를 탈락변수(leaving variable)라 하고 새로 들어올 변수를 진입변수라고도 한다. pivoting에 의해 구한 새로운 가능해 XB를 가지고 세 번째 단계로 돌아가서 위의 단계를 반복 수행한다(Cho, 2006). 현실적으로 존재하는 대부분의 선형계획법 문제는 그 규모나 계산 효율상 심플렉스법을 적용한 컴퓨터 프로그램에 의해 해결하는 것이 효과적이며 실제적인 문제의 답을 구하기 위하여 ILOG CPLEX, LINDO, Express-MP, GAMS 등 상용 프로그램들이 많이 개발되어 왔다. 심지어는 Microsoft EXCEL과 같은 사무용 스프레드시트 프로그램들에도 기본 기능으로 내장하고 있어 선형계획 문제의 해를 간편하게 구할 수 있으며, EXCEL 환경에서도 수천 개의 변수와 제약조건식을 가진 문제까지 다룰 수 있다(Lee, 2015). 본 연구에서는 Fig. 4와 같이 Microsoft EXCEL을 이용하여 최적표고값을 결정하였다.

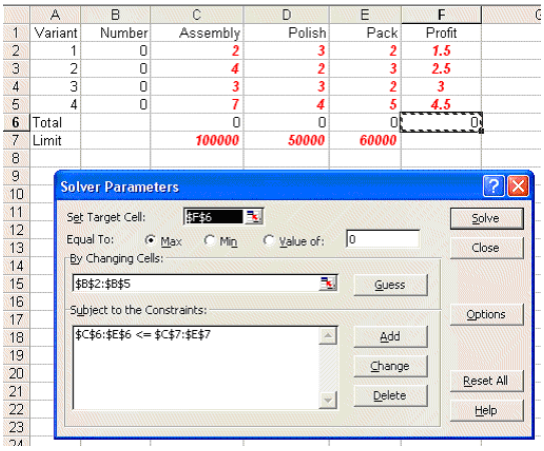

Figure 4. Simplex method supported by Microsoft EXCEL

3. 관측 및 분석

2015년 6월 지리산 주변의 수준점 43점에 대한 Network-RTK 측량을 실시하였다. Fig. 5는 관측점의 위치와 관측 경로를 표시한 것으로 2개 관측팀을 구성하여 청색으로 표시한 관측팀은 진주에서 곤양, 하동을 거쳐 지리산으로 관측을 진행하였으며, 적색으로 표시한 관측팀은 지리산에서 관측을 시작하여 운봉, 산청을 지나 진주로 관측을 수행하였다. 각 팀의 Network-RTK측량은 다음의 과정으로 실행하였다.

Table 1에서 보는 바와 같이 수준점에 대한 Network-RTK 관측은 관측 정밀도의 변화를 보기 위하여 1분 간격으로 1점당 3회 관측을 수행하였다. 다음날 관측값을 이용하여 현장최적화상수를 계산하고 동일점에 적용하여 3회 관측을 수행하였으며, 관측시간과 수신기에 따른 Network-RTK 측량의 영향을 알아보기 위하여 현장최적화상수가 적용되지 않은 조건으로 다시 3회 관측을 수행하였다. 관측간격은 1분으로 동일하다.

관측에 사용된 43개의 수준점당 6개의 현장최적화상수가 적용되지 않은 조건의Network-RTK 측량결과와 현장최적화상수가 적용된 3개의 관측값을 수집하여 비교 검토 하였다.

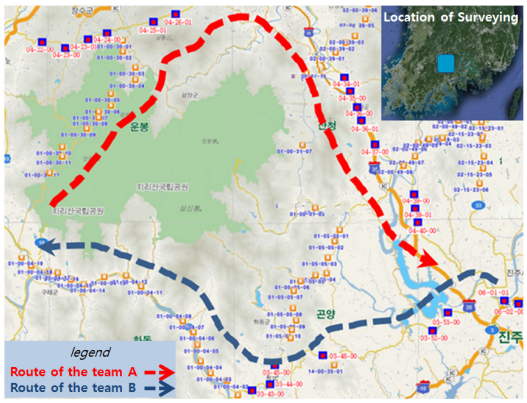

Figure 5. Observed network in the Network-RTK survey

Table 1. Network-RTK surveying condition and surrounding

Surveying period	Jun.29~Jul.1, 2015
Occupation time	Three times during one-minute
Session numbers	3 Session (2 times of general Network-RTK observations 1 time of Network-RTK observations apply site calibration)
Receiver	Trimble R7, R10

표고(H)의 결정은 관측에서 결정된 타원체고(h)에 KNGeoid13 지오이드모델을 기반으로 추출한 지오이드고(N)를 제하여 결정하였다(H=h-N). Fig. 6은 43점의 수준점에 대하여 3회씩 두 차례로 Network-RTK측량을 실시한 결과(258개)로 결정된 표고에서 수준점 성과를 제하여 평균오차를 표시한 것이다.

표고의 정확도를 확인하기위하여 수준점 각각의 관측값에서 국토지리정보원에서 고시한 수준점의 높이와 Network-RTK 측정으로 계산된 표고의 차이로 계산하였다.(Lee and Auh, 2015) 현장최적화상수가 적용되지 않은 일반적 Network-RTK 관측의 표고 정확도의 평가 결과는 평균오차 0.060m, 표준편차는 0.072m의 결과를 도출하였다.

Fig. 7은 현장최적화에 사용한 5개의 수준점과 최적화 결과를 보여주고 있다. Fig. 8은 43점의 수준점에 대하여 현장최적화를 적용하여 1분 간격으로 3회 Network-RTK 측량을 수행한 결과(129개)로 결정된 표고에서 수준점 성과를 제하여 평균오차를 표시한 것이다.

현장최적화를 적용한 Network-RTK 관측의 표고 정확도의 평균오차값은 0.040m, 표준편차는 0.047m 이었다. 현장최적화를 적용하는 경우 일반 Network-RTK

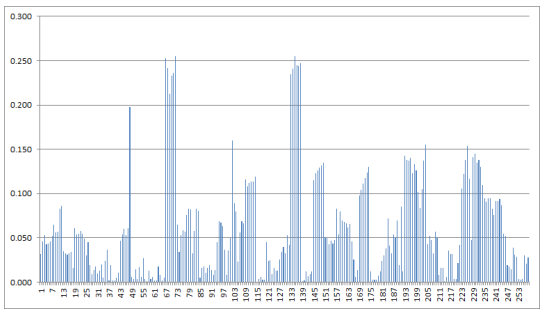

Figure 6. Average error of the general Network-RTK observations (unit:m)

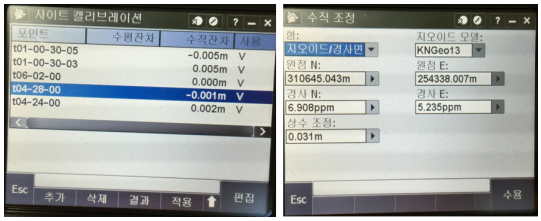

Figure 7. Calculations and apply of site calibration

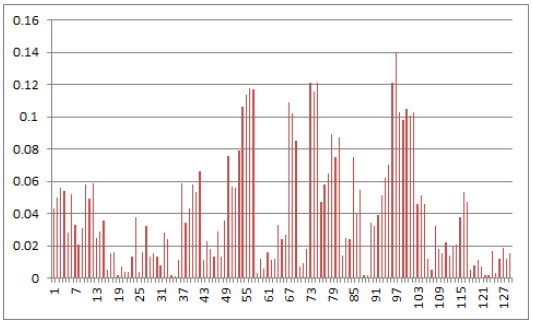

Figure 8. Average error of the Network-RTK with site calibration (unit:m)

측량에 의한 표고정확도 보다 안정적인 표고결정이 되고 있음을 확인하였다. 심플렉스 해법을 사용하기 위해서 현장최적화가 적용되지 않은 3개씩 2회분의 6개 관측값과 현장최적화가 적용된 3개의 관측값 모두를 사용하여 제약식을 세웠다. 조건별 3개씩의 관측값에서 첫 번째 관측값과 세 번째 관측값의 차이를 이용하여 1차함수의 기울기를 결정하고 중간값의 차이를 계산하여 제약조건을 결정하였다. 서로 다른 관측조건을 이용하여 선형화 하고 관측값에서 관측 장비의 정확도 차이와 현장최적화를 변수로 가정하여 선형화 조건을 만들었다. 계산은 Excel의 데이터 해찾기 기능을 이용하였다.

Fig. 9에서 43점의 수준점에 대하여 수집된 관측결과

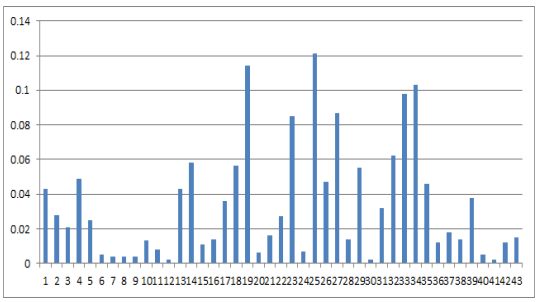

Figure 9. Average error of the elevation is extracted using the simplex method(unit:m)

Table 2. Average error and standard deviation of calculation height

	General Network-RTK	Site calibration	Simplex method
Average error	0.060m	0.040m	0.033m
Standard deviation	0.072m	0.047m	0.042m

를 이용하여 선형화 하여 최적표고를 결정하고 그 결과를 수준점의 고시 성과에서 제하여 평균오차를 표시한 것이다.

Table 2에서 보는 바와 같이 Network-RTK 측량 결과를 활용하여 심플렉스해법을 이용한 최적표고를 결정하고 추출된 표고의 정확도를 평가한 결과 평균오차값은 0.033m, 표준편차 0.042m이다. 관측결과를 선형화 하여 최적표고를 결정하는 경우 관측값의 편차량에 따라 최적표고의 정확도가 많이 좌우되는 것을 확인하였으며, 최적표고 결정을 위해서 관측값의 분석을 통하여 알맞은 제약조건을 사용하면 양질의 해를 추출 할 수 있을 것이라 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 지리산 일원의 43개 수준점에 대하여 Network-RTK측량을 실시하고 표고 정확도를 검토하였으며 현장 최적화를 이용하여 관측값의 표고정확도 향상을 확인하였다. 다양한 관측조건의 관측값으로 부터 Excel을 이용한 심플랙스 해법을 적용하여 최적표고를 추출할 수 있었다. 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 시험 대상지의 수준점에서 현장최적화상수가 적용되지 않은 6회의 일반적인 Network-RTK관측의 평균에서 표고 정확도를 분석한 결과 평균오차값은 0.060m, 표준편차는 0.072m이다.

둘째, 동일한 수준점에서 현장 최적화를 적용하여 3회 관측한 Network-RTK 관측의 평균에서 표고정확도를 분석한 결과 평균오차는 0.040m, 표준편차는 0.047m였다. 현장최적화를 적용하는 경우 일반 Network-RTK측량에 의한 표고정확도 보다 안정적인 표고결정이 가능함을 확인하였다.

셋째, Network-RTK 측량을 다양한 조건으로 실시한 경우 관측값을 관측조건별로 선형화하여 심플렉스 해법을 이용하면 0.033m의 정확도로 정확도가 가장 높은 표고결과를 추출할 수 있었다.

높은 정확도의 연속측량이 가능한 Network-RTK 측량 방법은 매우 효율적인 측량방법으로 다양한 분야에서 적용되고 있다. 그러나 높이측정분야에서는 측정 결과물에 대한 검토 및 확인이 쉽지 않고 간접수준측량방법으로 이해되어 측량값을 인정받지 못하는 측면이 있다. 또한 아직까지 국내에는 Network-RTK 측량의 작업규정에서 높이에 대한 기준이 명확히 정의되어 있지 않다. 그러나 현재의 3급 수준측량에서 노선길이가 10㎞의 경우 교차 허용범위는 0.032m가 되므로 본 연구

에서 제시된 현장최적화와 심플렉스 해법을 이용한 최적표고 추출방법을 Network-RTK 표고측량에 적용한다면 낮은 등급의 공공수준측량에서 Network-RTK 표고측량을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 Network-RTK 측량의 측량결과에 대한 유효범위를 확인하였으며, 보다 다양한 환경의 측량 결과를 충분히 분석하여 Network-RTK 표고측량의 매뉴얼화가 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2014년도 일반연구자지원사업의 연구과제 (2014R1A1A20593 83)로 수행되었습니다.

References

1. Choi, B. and Lim S., 2004, Study on the improvement of the positioning accuracy for inverted RTK using FARA, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 22, No. 3, pp. 217-223.
2. Cho, N., Kim, J. and Kim, S., 2006, An Interactive Multi-criteria Group Decision Making with the Minimum Distance Measure, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 32 No. 1, pp. 42-50.
3. Dantzig, G. B. 1955, Linear programming under uncertainty, Management Science. Vol. 1, No. 3, pp. 197-206.
4. Hong, S., Lee, W. and Oh, Y., 2009, Direction for the Practical Use of RTK-GPS in Cadastral Detail Surveying, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System Vol.17 No. 1 2009 pp. 89-95.
5. Jang, S., Kim, J. and Jeong, G., 2009. Accuracy Evaluation of Boundary corner point using VRS GPSS, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 17, No. 1, pp. 37-42.
6. Kim, H., Yu, G., Park, K. and Ha, J., 2008, Accuracy evaluation of VRS RTK surveys inside the GPS CORS network operated by national geographic information institute, Korean Journal of Geomatics, Vol. 26, No. 2, pp. 139-147.
7. Lee, G. W., Kim, J. J., 2015, Management Science with Excel, HanKungSa, pp. 58-84.
8. Lee, H., Park J. and Lim, S., 2005, Error assessment of altitude determination using wireless internet-based DGPS, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 23, No. 2, pp. 101-108.
9. Lee J., Kim, Y. and Lee, I., 2012, An accuracy evaluation of algorithm for shoreline change by using RTK-GPS, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 1D, pp. 81-88.
10. Lee, S. and Choi, B., 2007, Hydrographic surveying in river by RTK-GPS, Korean Journal of Geomatics, Vol. 25, No. 3, pp. 267-275.
11. Lee, S. B., 2013, Accuracy Evaluation of the Height Determined by Network-RTK VRS Positioning, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol.21 No. 4 pp. 55-63.
12. Lee, S. B. and Auh, S. C. 2015, Applicability analysis of the orthometric height by Network-RTK, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, pp. 62-63.
13. National Geographic Information Institute, 2003, Study on the virtual reference point (VRS) introduced, http://gnss.ngii.go.kr/vrs/VrsUserView.do
14. National Geographic Information Institute, 2005, Notice, installed a virtual reference point (VRS) system in Korea, http://gnss.ngii.go.kr/info/notice/
15. National Geographic Information Institute, 2013, VRS system upgrade notification, http://gnss.ngii.go.kr/
16. Trimble, 2013, Trimble GPS Site Calibration, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079