

# VRS RTK를 이용한 원거리 표적좌표획득의 정확도 향상에 대한 연구

이동녕<sup>\*,1)</sup> · 윤근식<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방기술품질원 신뢰성시험센터

## Study for Improving Target Coordinate Acquisition Accuracy from Long Distance by VRS RTK

Dongnyok Lee<sup>\*,1)</sup> · Keunsig Yoon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Reliability Test Center, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

(Received 19 January 2018 / Revised 2 May 2018 / Accepted 20 July 2018)

### ABSTRACT

Accurate target coordinate is very important in military operations especially field artillery's ground-to-ground attack and air-force's air-to-ground attack. DOS(or TAS) is used to acquire target coordinates from long distance. DOS is comprised of LRF and goniometer. LRF measures distance between DOS and target. Goniometer is comprised of azimuth and vertical angular sensors, DMC and internal GPS receiver. DOS must set the position and orientation(finding grid north) before measurement step(target coordinate acquisition). To improve accuracy of target coordinate, VRS RTK and reference point method are proposed in DOS setup step. VRS RTK provides accurate location coordinate with small deviations, providing high accuracy and precision in positioning and orientation. As a result, horizontal coordinate(easting and northing) accuracy is improved from 2.68 mil(C.L. = 0.95) mil to 0.58 mil(C.L. = 0.95).

Key Words : VRS RTK(가상기준국 RTK), DOS, TAS-1K, Reference Point Method(참조위치법), GMA(도자각)

### 1. 서 론

포병사격과 공군의 공대지사격뿐만 아니라 군사작전에서 표적의 좌표를 정확하게 아는 것은 중요하다.

표적의 좌표를 근거리가 아닌 원거리에서 정확하게

얻을 수 있다면 전략적으로 유리할 것이다. 표적좌표를 얻을 수 있는 관측장비에는 DOS(Digital Observation Station, Digital Observation System)가 있다. DOS는 제조사나 사용 군에 따라서 TAS(Target Acquisition System)로 불리기도 한다. 대표적으로는 삼성탈레스社(現 한화시스템)에서 개발한 TAS-1(K), 스위스 Vectronix AG(現 Safran Vectronix AG)의 GonioLight, 미국 Kearfott社의 DOS가 있다.

\* Corresponding author, E-mail: dnlee@dtaq.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

DOS는 멀리 떨어진 표적을 확인하고 거리를 측정하는 LRF(Laser Range-Finder)와 DOS의 정치(定位)위치(Positioning) 및 방위(Orientation)를 설정하고 각도(Azimuth & Vertical Angle)를 측정하는 Goniometer(측각기)로 구성된다.

DOS의 정치위치와 방위에 대한 정확도와 정밀도는 표적좌표의 정확도와 정밀도에 영향을 준다. DOS는 내부 GPS 수신기로 정치위치를 설정하며, DMC(Digital Magnetic Compass)로 방위를 설정한다. 일부 DOS는 North-Finding Gyroscope, CADS(Celestial Attitude Determination System) 등 부가적인 장비를 이용하여 보다 정확하게 방위를 설정할 수 있다. DMC는 North-Finding Gyroscope나 CADS에 비하여 저렴하지만 자침 오차와 도자각(GMA : Grid Magnetic Angle)오차는 크다. 방위오차는 표적까지의 거리에 비례하여 표적좌표의 오차를 증가시킨다.

본 연구는 DOS의 설정단계(Positioning & Orientation)에 VRS RTK(Virtual Reference Station Real Time Kinematic)와 Reference Point Method를 사용하여 표적좌표의 정확도를 향상하는 방안을 제안하였다. 또한 시스템의 오차를 구하여 개선 전/후의 정확도와 정밀도를 비교하였다.

연구에서 사용된 DOS는 스위스 Vectronix AG의 GoniLight이며 DOS에 설치된 소프트웨어의 버전은 1.08.12이다.

## 2. 배경이론

직교좌표(Cartesian Coordinate)의 두 점(혹은 Vector)  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ 은 식 (1)의 극좌표(Polar Coordinate)로 나타낼 수 있다.

$$x_2 = x_1 + d \cdot \cos\theta \tag{1a}$$

$$y_2 = y_1 + d \cdot \sin\theta \tag{1b}$$

여기서,  $d$  = 두 점 사이의 직선거리

$\theta$  = 두 Vector 사이의 각

또한 식 (1)을 통해  $(x_1, y_1)$ 의 좌표,  $d$ 와  $\theta$ 를 알고 있다면,  $(x_2, y_2)$ 의 좌표를 알 수 있다. 3차원 직교좌표( $x, y, z$ )에서도 Fig. 1과 같이 동일한 원리를 적용할 수 있다.

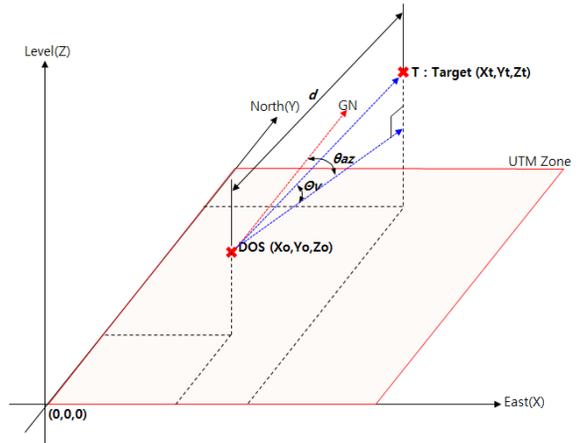


Fig. 1. Target coordinate acquisition

DOS의 정치위치( $x_o, y_o, z_o$ ), DOS와 표적까지 직선거리( $d$ ), 표적의 방위각(Azimuth Angle :  $\theta_{az}$ ), 수평면에서 표적까지의 경사각(Vertical Angle :  $\theta_v$ )을 알면 식 (2)와 같이 표적좌표( $x_t, y_t, z_t$ )를 계산할 수 있다.

$$x_t = x_o + d \cdot \cos(\theta_v) \cdot \sin(\theta_{az}) \tag{2a}$$

$$y_t = y_o + d \cdot \cos(\theta_v) \cdot \cos(\theta_{az}) \tag{2b}$$

$$z_t = z_o + d \cdot \sin(\theta_v) \tag{2c}$$

### 2.1 UTM 좌표

지구좌표계는 평면좌표계(평면직교좌표, 평면극좌표, UTM 좌표), 곡면좌표계(경위도좌표, 구면극좌표), 3차원 지심좌표계(WGS 좌표) 등으로 구분할 수 있다<sup>[1]</sup>.

본 연구에서는 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표를 사용하였다. UTM 좌표는 지구를 경도 6°간격으로 나누어 횡측 메르카토르 도법으로 평면에 투영하고, 위도 8° 간격으로 총 60 × 20 개의 구역으로 나누었다. 직사각형으로 나누어진 각 구역(Zone)마다 설정된 원점에서 종축과 횡축의 좌표로 위치를 나타낸다. UTM 좌표는 직사각형 구역 안에서 거리, 면적, 방향을 계산하므로 곡면좌표에 비하여 편리하다.

### 2.2 높이체계

지구는 완전한 구가 아니므로 표준화된 타원체 모델이 필요하다. 대표적인 타원체 모델인 WGS 84(World Geodetic Reference System of 1984)로 GPS의 기준계로 사용되고 있다<sup>[2]</sup>.

높이(Height)는 흔히 해발고도라고 표현하는 표고

(Orthometric Height, MSL : Mean Sea Level)와 기준 타원체로부터의 높이인 타원체고(Ellipsoid Height)가 있다. 표고는 수준측량을 통해 결정할 수 있으나 기준점으로부터 거리가 멀어질수록 오차가 증가하는 단점이 있다. 이러한 단점을 지오이드(Geoid) 모델로 해소하였다. 지오이드는 평균해수면에 가장 가까운 등포텐셜면(Equipotential Surface)이다.

표고는 평균 해수면으로부터의 연직거리이며, 지오이드로부터의 연직거리와 같다. 타원체고와 지오이드고(Geoid Height)의 차이를 통해 수준측량 없이 표고를 얻을 수 있다.

국토지리정보원은 2011년부터 국가 지오이드 모델을 구축하였으며, 2013년 완성된 지오이드 모델인 KNGeoid13의 적합도는 3.08 cm, 정밀도는 3.41 cm이다<sup>[3]</sup>.

### 2.3 방위

UTM 좌표를 이용하여 표적좌표를 측정하기 위해서는 도북(GN : Grid North) 방위각을 측정해야한다. 북쪽은 지구자기장 기준의 자북(MN : Magnetic North), 지구자전축 기준인 진북(TN : True North), 지구 타원체모델로부터 지도와 같이 평면좌표계로 투영하면서 생기는 도북이 있다.

자북, 진북, 도북은 지구상의 위치에 따라서 차이가 있다. 도북과 자북간의 각도를 도자각(GMA : Grid Magnetic Angle)이라고 한다. 도북과 자북간의 차이를 반영하기 위하여 정량편차(DC : Declination Constant)를 이용하기도 한다.

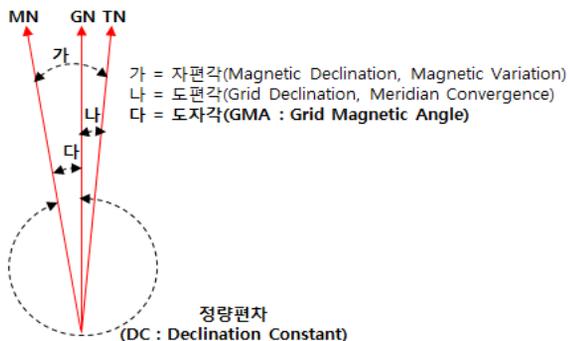


Fig. 2. Definition of the north

도편각(Grid Declination, Meridian Convergence)은 도북과 진북의 차이이다. 지표면 상의 두 점 사이의 거

리가 10 km 보다 가까울 경우, 두 점의 방위각은 타원체면(Surface of Ellipsoid) 상에서 방위각( $\alpha_{AB}$ )과 평면(Horizon Plane) 상에서 방위각( $\alpha_{AB}$ )은 매우 근사( $\alpha_{AB} \approx \alpha_{AB}$ )하다. 그러므로 DOS와 표적까지의 거리가 10 km 보다 가까운 거리라면 도편각은 무시할 수 있다<sup>[4]</sup>.

### 2.4 World Magnetic Model(WMM)

지구자기장 모델인 World Magnetic Model(WMM)로 자북방위(Magnetic Bearing)를 진북방위(True Bearing)로 변환할 수 있다. WMM은 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 NGDC(National Geophysical Data Center)와 영국의 BGS(British Geological Survey)에 의해 만들었다. WMM는 지구의 어느 위치에서나 지표면 아래 1 km에서부터 지면 위로 850 km까지 자편각(Magnetic Declination)이 모델링 되어있다<sup>[5]</sup>.

### 2.5 GNSS

GNSS(Global Navigation Satellite System)는 범지구적 위성 항법 시스템으로 보통 GPS(Global Positioning System)로 더 많이 알려져 있다. GNSS는 GPS로 불리는 미국의 NAVSTAR GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo, 중국의 BeiDou 등이 대표적이다.

GNSS는 유형에는 Stand-Alone Satellite Navigation, Differential GNSS(DGNSS) Navigation, Network-Assisted GNSS(A-GNSS) Navigation 등이 있다. Stand-Alone Satellite Navigation은 위성에서만 신호를 수신하는 일반적인 방법으로 공공에서 사용하는 GPS Standard Positioning Service(SPS)가 해당한다<sup>[6]</sup>.

DGNSS는 Stand-Alone 방식의 정확도를 향상하기 위하여 Reference Station으로부터 위성의 오차 정보를 함께 수신하는 방식으로 미국의 WAAS(Wide Area Augmentation System)가 대표적이다. A-GNSS는 DGNSS의 분류에 해당하며 라디오나 인터넷 등의 통신망을 이용하여 보정정보를 수신하는 방식이다<sup>[6]</sup>.

### 2.6 VRS RTK

RTK(Real Time Kinematic)는 A-GNSS 방식으로 단일 기준국(Base)에서 전송된 반송파 위상 보정정보를 이동국(Rover)에서 수신하고 위성측량과 조합하여 1~3 cm 정확도의 측위결과를 얻는다<sup>[7]</sup>. 하지만 RTK측량은 기준국(Base)으로부터 거리가 멀어짐에 따라 오차가 증가한다. 국토지리정보원은 RTK의 오차를 보완할 수

있도록 Network RTK인 VRS(Virtual Reference Station) RTK 체계를 구축하였다.

VRS RTK는 여러 기준국의 관측데이터를 이용하여 이동국 근처에 가상기준국을 생성한다. 생성된 가상기준국의 데이터와 보정정보는 인터넷망 이용하여 이동국에 전송된다<sup>[2]</sup>.

VRS RTK의 2D RMSE(Root Mean Square Error) 평균은 3.1 cm이며, 일반 RTK 측량에서 2D RMSE의 평균 2.0 cm 인 것과 비교하여 1 cm 정도 차이가 있다<sup>[7]</sup>.

2.7 좌표오차지표

좌표의 오차는 RMSE, CEP, SEP 등으로 표현 할 수 있다. CEP(Circular Error Probable)는 Median Horizontal Error로 실제위치(True Position)가 있을 확률이 50 %인 원(Circle)의 반지름에 해당한다. SEP(Spherical Error Probable)는 Median 3D Error로 실제위치가 있을 확률이 50 %인 구(Spherical)의 반지름에 해당한다. 차원에 따라 RMSE는 식 (3)과 같이 정의한다<sup>[8]</sup>.

$$RMS\ vertical\ error = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta z_j^2} \quad (3a)$$

$$2D\ rms\ error = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta x_j^2 + \Delta y_j^2)} \quad (3b)$$

$$3D\ rms\ error = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta x_j^2 + \Delta y_j^2 + \Delta z_j^2)} \quad (3c)$$

여기서,  $\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j$ 는  $j$ 번째 좌표의 동거, 북거, 높이 오차

오차지표 사이의 관계는 식 (4), (5), (6)과 같으며, Horizontal Error(95 %)(=  $R0.95$ )는 실제 위치(True Position)가 포함될 확률이 95 %인 원의 반지름으로 정의된다<sup>[8]</sup>.

$$RMS\ vertical\ error \approx 0.5 \times vertical\ error(95\%) \quad (4a)$$

$$\approx 0.9 \times 3D\ rms\ error \quad (4b)$$

$$2D\ rms\ error \approx 0.6 \times horizontal\ error(95\%) \quad (5b)$$

$$\approx 1.2 \times CEP \quad (5b)$$

$$3D\ rms\ error \approx 2.2 \times 2D\ rms\ error \quad (6a)$$

$$\approx 1.2 \times horizontal\ error(95\%) \quad (6b)$$

$$\approx 1.3 \times SEP \quad (6c)$$

3. 정확도 향상연구

3.1 DOS 소개

DOS는 표적좌표를 얻는 측정단계 이전에 정치위치와 방위를 결정하는 설정단계가 필요하다. 설정단계를 통해 정치위치( $x_0, y_0, z_0$ )와 방위각(Azimuth Angle :  $\theta_{az}$ )의 기준인 도복을 설정한다.

방위각과 경사각은 Goniometer의 각도센서로 측정하며, 표적까지의 거리는 LRF를 이용하여 측정한다. GonioLight의 구성은 Fig. 3과 같으며 사양은 Table 1과 같다.<sup>[9]</sup>



Fig. 3. Configuration of DOS

Table 1. Specification of DOS(GonioLight)

구 분		Accuracy (1σ)	Resolution
Goniometer	Horizontal Angle( $\theta_{az}$ )	1 mil	0.1 mil
	Vertical Angle( $\theta_v$ )	1 mil	0.1 mil
	Orientation by DMC	5 mil	0.1 mil
LRF	Accuracy	±5 m	1 m

GonioLight는 동거(Easting)와 높이(Height)의 경우 유효숫자 2자리로 저장하며, 북거(Northing)의 경우 0.5 미만은 0.5로 저장하고 0.5 이상은 반올림하여 유효숫자 1자리만 저장한다.

3.2 정확도 향상방안

DOS의 사용은 설정단계와 측정단계로 나뉜다. 측정단계와 관련된 Goniometer의 각도센서와 LRF의 거리

측정센서의 교체는 불가하다. 설정단계는 부수적인 장비비를 이용하여 개선이 가능하다. 정치위치의 정확도는 GNSS 방식에 따른 것으로 DGNSS 등을 이용할 수 있고, 방위설정은 North-finding Gyroscope, CADS, DGPS 등이 이용 가능하다. 본 연구에서는 설정단계를 Table 2와 같이 변경하였다.

Table 2. Change of setup step

	Before	After
Positioning (DOS Position)	Internal GPS Receiver (SPS C/A-Code)	VRS RTK (CMRx)
Orientation (Grid North)	DMC with WMM	Reference Point Method with VRS RTK(CMRx)

\* CMRx : A real-time message format developed by Trimble for transmitting more satellite corrections resulting from more satellite signals, more constellations, and more satellites. Its compactness means more repeaters can be used on a site.

VRS RTK의 측정오차는 3.1 cm(2D RMS 기준)로 매우 정확할 뿐만 아니라 높은 정밀도의 측정결과를 보여준다. VRS RTK로 DOS의 정치위치( $x_o, y_o, z_o$ )와 참조위치( $x_r, y_r, z_r$ )를 정확하게 얻을 수 있고, 두 점의 좌표정보와 Reference Point Method로 도복을 결정할 수 있다.

Reference Point Method의 기본원리는 다음과 같다. Fig. 4와 같이 평면직교좌표에서 두 점의 좌표를 알고 있다면, 도복을 기준으로 한 점에서 다른 점까지의 방위각을 계산할 수 있다. 만약 계산된 방위각과 DOS의 각도센서가 측정한 방위각 사이의 차이를 보정하면 도복을 설정할 수 있다.

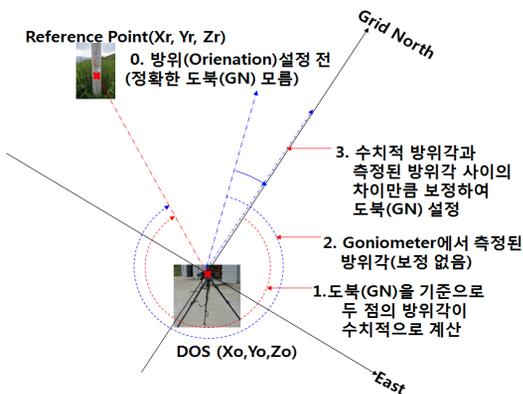


Fig. 4. Concept of reference point method

SPS C/A-Code의 오차가 8.0 m( $1\sigma$ )<sup>[10]</sup>인 점과 GoniLight 내부의 DMC 정확도는 5 mil( $1\sigma$ ) 이나 Reference Point Method 정확도는 1 mil( $1\sigma$ )<sup>[9]</sup>인 점을 볼 때, 설정단계 개선으로 원거리 표적좌표획득의 정확도 향상을 기대할 수 있다.

#### 4. 정확도의 비교

##### 4.1 비교시험의 설계

비교시험은 설정단계와 측정단계를 순차적으로 반복 수행하였다. 이는 DOS의 설정단계와 측정단계를 모두 포함하여 시스템의 전체 오차를 얻기 위함이다. 측정단계 오차의 영향은 측정단계에는 변경이 없으므로 개선 전/후에 동일하다. 비교시험은 Table 3과 같이 20회 반복하여 측정한 결과를 비교하였다.

Table 3. Test cases

	Setup Step		Procedure
	Positioning	Orientation	
Case1	Internal GPS (SPS C/A-Code)	DMC + WMM	[Setup Step 1 time → Measurement 1 time] × 20 times
Case2	VRS RTK	Reference Point Method	[Setup Step 1 time → Measurement 1 time] × 20 times

1 m × 1 m의 표적판을 Fig. 5와 같이 설치하고 표적판의 조준점 좌표를 VRS RTK로 측정하였다. 높이는 KNGeoid13 지오이드 모델을 적용하여 표고를 얻었다. 측량에 사용한 GNSS 수신기는 Trimble社의 R-4 모델이다. 표적좌표는 52S 431013.95E 4239082.00N이며, 높이는 533.96 m이다. 높이는 측정지점(Measuring Point)에서 0.5 m 더한 값이다.

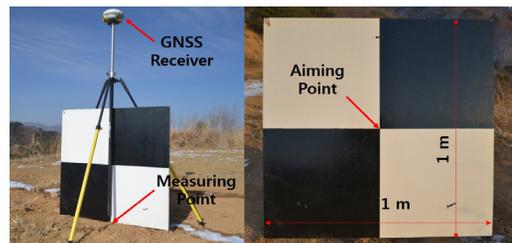


Fig. 5. 1 m × 1 m target board

LRF Scope의 중앙에는 표적을 조준하는 Pointing Circle이 있으며 크기는 1 mil이다. 만약 1.4 km 떨어진 거리에서 표적을 본다면 Fig. 6과 같이 Pointing Circle (표적 대각선 길이 1.4 m / 거리 1.4 km = 1 mil)을 채운다.

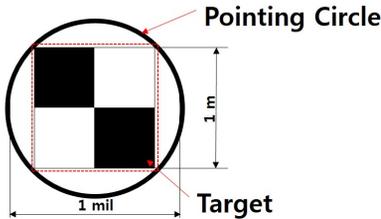


Fig. 6. Target view at 1.4 km by LRF

1 m × 1 m 표적판으로 정확도의 한계를 비교하기 위해서는 최소한 1.4 km 이상 거리가 떨어져야 한다. 본 연구에서는 1.6 km 거리에 Fig. 7과 같이 표적을 설치한 후 DOS로 좌표를 획득하였다.

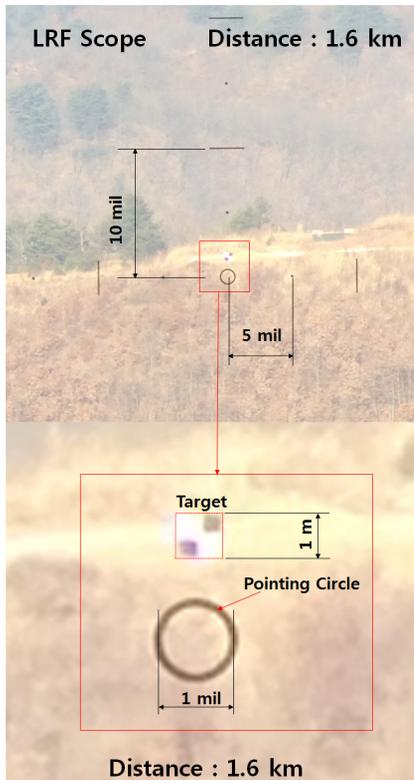


Fig. 7. LRF scope view

Case2에서는 GNSS 수신기를 Fig. 8과 같이 설치하고 Pole의 하단을 기준으로 DOS의 정치위치를 측정하였다.



Fig. 8. Positioning by VRS RTK

#### 4.2 결과분석

각 Case에 대하여 정치위치, 방위, 획득된 표적좌표의 정밀도와 정확도를 비교하였다. DOS 정치위치의 개선 전/후 비교는 내부 GPS 수신기와 VRS RTK의 정확도와 정밀도의 차이로 비교할 수 있다. 방위는 내부 DMC와 Reference Point Method로 측정된 방위각의 정확도와 정밀도의 차이로 비교할 수 있다.

측정단계에 영향을 미치는 요인(즉, LRF와 각센서의 정확도, 정밀도)은 개선 전/후가 동일하므로 측정결과를 통해서 설정단계의 개선 결과를 비교할 수 있다.

먼저 정치위치( $x_0, y_0, z_0$ )에 대한 정확도와 정밀도 비교이다. 수평좌표(동거, 북거 =  $x_0, y_0$ )에 대한 내부 GPS 수신기의 결과(Case1)는 Fig. 9이며, VRS RTK의 결과(Case2)는 Fig. 10과 같다. 정치위치의 기준은 VRS RTK로 20회 측정된 결과의 평균값으로 52S 430745.59E 4237493.33N이다. 정치위치에 대한 수평오차  $R0.95$ 는 Case1이 2.73 m, Case2는 0.01 m로 Case1과 Case2의 정확도와 정밀도가 273배 차이가 있다.

정치위치의 높이(수직 =  $z_0$ ) 오차는 다음과 같다. 내부 GPS의 결과(Case1)는 Fig. 11이며 VRS RTK의 결과(Case2)는 Fig. 12와 같다. 높이의 RMS 오차는 Case1이 5.96 m, Case2가 0.015 m이다. 내부 GPS는 타원체고를 측정하고 VRS RTK는 표고를 측정하는 기준이 다르므로 인해 Case1의 오차가 크다. 하지만 표준편차는 내부 GPS가 2.10 m, VRS RTK가 0.015 m로 정밀도는 134배 차이가 있다.

VRS RTK를 이용한 원거리 표적좌표획득의 정확도 향상에 대한 연구

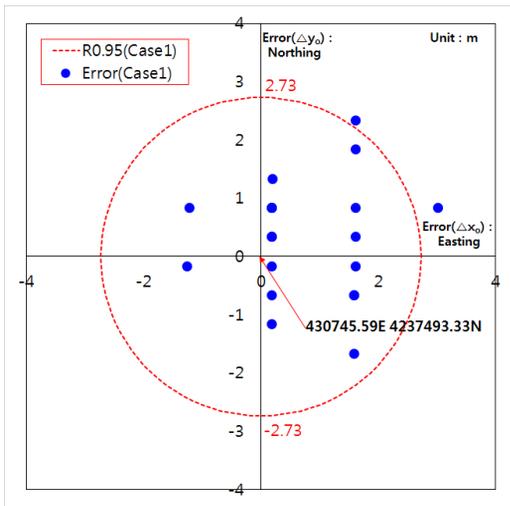


Fig. 9. Internal GPS horizontal positioning error(Case1)

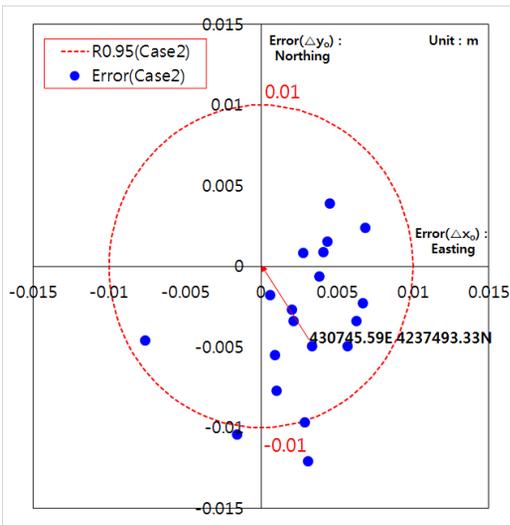


Fig. 10. VRS RTK horizontal positioning error(Case2)

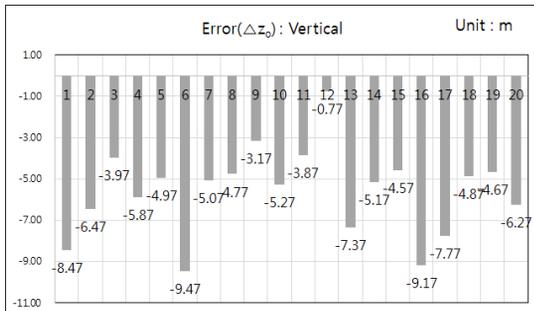


Fig. 11. Internal GPS vertical positioning error(Case1)

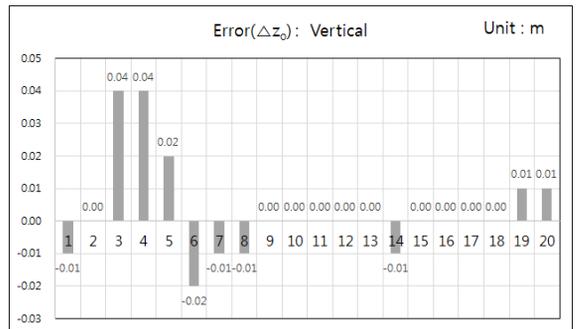


Fig. 12. VRS RTK vertical positioning error(Case1)

Table 4. Azimuth angle & error : Case1 & Case2

	Case1		Case2	
	Az. Angle ( $\theta_{az}$ : mil)	Az. Angle Error ( $\Delta\theta_{az}$ : mil)	Az. Angle ( $\theta_{az}$ : mil)	Az. Angle Error ( $\Delta\theta_{az}$ : mil)
1	167	-3	171	1
2	169	-1	171	1
3	169	-1	171	1
4	169	-1	171	1
5	170	0	170	0
6	171	1	171	1
7	171	1	171	1
8	170	0	170	0
9	169	-1	171	1
10	170	0	170	0
11	171	1	170	0
12	171	1	171	1
13	170	0	171	1
14	171	1	171	1
15	170	0	171	1
16	171	1	171	1
17	170	0	170	0
18	171	1	170	0
19	171	1	170	0
20	171	1	171	1
$\bar{X}$	170.1	0.1	170.6	0.6
SD	1.04	1.04	0.48	0.48

다음으로 DMC+WMM(Case1)과 VRS RTK+Reference Point Method(Case2)의 방위설정 비교이다. 표적좌표와 정치위치로 방위각을 계산할 수 있다. 방위각의 정확

도와 정밀도로 방위설정의 차이를 비교할 수 있으며 결과는 Table 4와 같다. 방위각 170 mil을 기준(DOS와 표적좌판 사이의 방위각)으로 하였다. Case1과 Case2의 평균 방위각은 각각 170.1 mil과 170.6 mil로 큰 차이가 없으나 표준편차는 각각 1.04 mil과 0.48 mil로 2.17배 차이가 난다. 방위설정 방법에 따른 정밀도 차이가 표적좌표 획득에 영향을 줄 수 있다는 것을 예상할 수 있다.

마지막으로 표적좌표의 비교이다. Case1과 Case2 표적좌표와 그 오차는 Table 6, 7과 같다. Case1과 Case2의 오차(C.L. = 0.95)는 Table 5와 같이 정리할 수 있으며, 수평오차와 정밀도는 Fig. 13, 14와 같다. 수평오차는 Case1이 Case2 보다 4.63배 크다.

Table 5. Total error(C.L. = 0.95) : Case1 vs Case2

	Horizontal Error(R0.95)	Vertical Error(0.95)
Case1	4.31 m (2.68 mil)	12.54 m (7.78 mil)
Case2	0.93 m (0.58 mil)	0.98 m (0.61 mil)

Case1과 Case2의 높이에 대한 RMS 오차는 12.8배 차이가 나지만, 이것은 Case에서 정치위치의 높이 기준이 다름에 있다. 그렇지만 표준편차의 비교는 유의미하다. 높이의 표준편차는 Case1이 2.33 m, Case2가 0.48 m로 정밀도가 4.9배 차이가 있다.

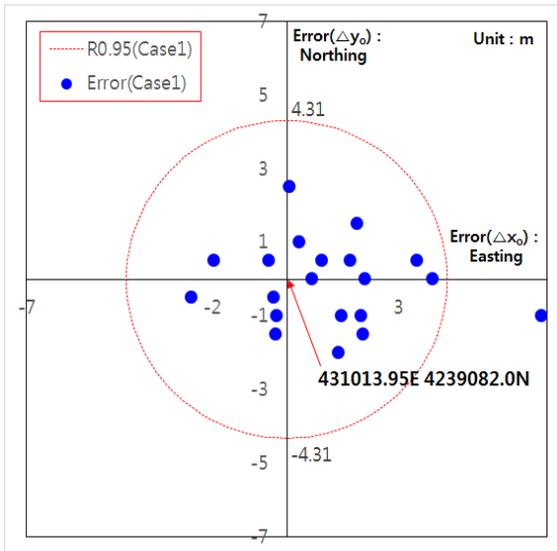


Fig. 13. Target horizontal coordinate error(Case1)

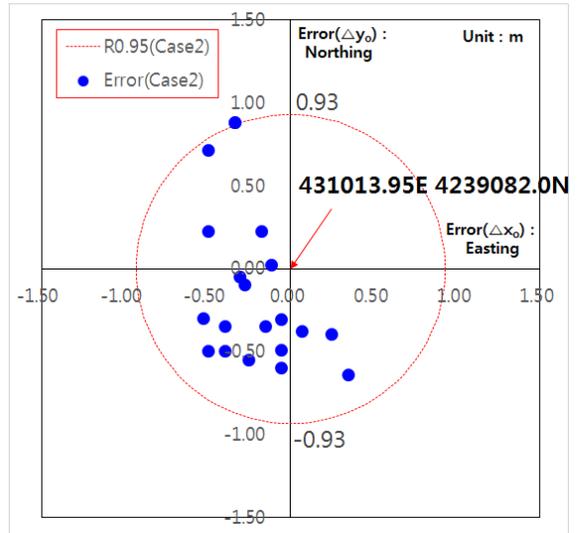


Fig. 14. Target horizontal coordinate error(Case2)

Table 6. Target coordinate & error : Case1

	Horizontal		Vertical	Horizontal Error		Vertical Error
	Easting ( $x_i$ )	Northing ( $y_i$ )	Height ( $z_i$ )	$\Delta x_i$	$\Delta y_i$	$\Delta z_i$
1	431007.10	4239083.0	543.31	6.85	-1.0	-9.35
2	431012.25	4239081.5	539.66	1.70	0.5	-5.70
3	431011.84	4239082.0	538.85	2.11	0.0	-4.89
4	431011.90	4239083.5	540.26	2.05	-1.5	-6.30
5	431011.94	4239083.0	538.69	2.01	-1.0	-4.73
6	431013.88	4239079.5	543.75	0.07	2.5	-9.79
7	431015.90	4239081.5	539.48	-1.95	0.5	-5.52
8	431012.06	4239080.5	538.46	1.89	1.5	-4.50
9	431010.44	4239081.5	539.31	3.51	0.5	-5.35
10	431010.03	4239082.0	539.49	3.92	0.0	-5.53
11	431014.44	4239081.5	535.81	-0.49	0.5	-1.85
12	431014.22	4239083.0	534.81	-0.27	-1.0	-0.85
13	431012.47	4239083.0	542.27	1.48	-1.0	-8.31
14	431014.25	4239083.5	539.05	-0.30	-1.5	-5.09
15	431013.28	4239082.0	538.82	0.67	0.0	-4.86
16	431013.00	4239081.5	543.26	0.95	0.5	-9.30
17	431013.62	4239081.0	542.65	0.33	1.0	-8.69
18	431014.30	4239082.5	538.95	-0.35	-0.5	-4.99
19	431012.56	4239084.0	538.97	1.39	-2.0	-5.01
20	431016.50	4239082.5	540.35	-2.55	-0.5	-6.39
$\bar{X}$	431012.80	4239082.13	539.81	1.15	-0.13	-5.85
SD	2.10	1.11	2.33	2.10	1.11	2.33

Table 7. Target coordinate & error : Case2

	Horizontal		Vertical	Horizontal Error		Vertical Error
	Easting ( $x_i$ )	Northing ( $y_i$ )	Height ( $z_i$ )	$\Delta x_i$	$\Delta y_i$	$\Delta z_i$
1	431014.10	4239082.5	534.31	-0.15	-0.5	-0.35
2	431014.44	4239082.5	533.25	-0.49	-0.5	0.71
3	431014.28	4239082.0	533.08	-0.33	0.0	0.88
4	431014.28	4239082.0	533.08	-0.33	0.0	0.88
5	431013.60	4239082.5	534.60	0.35	-0.5	-0.64
6	431014.44	4239082.5	533.74	-0.49	-0.5	0.22
7	431014.25	4239082.5	534.01	-0.30	-0.5	-0.05
8	431014.00	4239082.5	534.45	-0.05	-0.5	-0.49
9	431014.34	4239082.5	534.46	-0.39	-0.5	-0.50
10	431014.00	4239082.5	534.56	-0.05	-0.5	-0.60
11	431013.88	4239082.5	534.34	0.07	-0.5	-0.38
12	431014.44	4239082.5	534.46	-0.49	-0.5	-0.50
13	431014.12	4239082.5	533.74	-0.17	-0.5	0.22
14	431014.47	4239082.5	534.26	-0.52	-0.5	-0.30
15	431014.22	4239082.5	534.06	-0.27	-0.5	-0.10
16	431014.34	4239082.5	534.31	-0.39	-0.5	-0.35
17	431014.00	4239082.5	534.27	-0.05	-0.5	-0.31
18	431013.70	4239082.0	534.36	0.25	0.0	-0.40
19	431014.06	4239082.5	533.94	-0.11	-0.5	0.02
20	431014.20	4239082.5	534.51	-0.25	-0.5	-0.55
$\bar{X}$	431014.16	4239082.43	534.09	-0.21	-0.43	-0.13
SD	0.24	0.18	0.48	0.24	0.18	0.48

5. 결론

표적좌표를 정확하게 아는 것은 매우 중요하다. 특히 정밀요격이나 곡사포 사격에서 사거리와 사격방향 계산에 정확한 표적좌표를 얻는 것은 필수적이다.

본 연구는 관측장비인 DOS를 VRS RTK 및 Reference Point Method와 사용하는 방법을 제안하여 표적좌표획득의 정확도를 향상하고자 하였다. DOS의 시스템의 오차를 계산하여 개선 전/후의 정확도와 정밀도를 비교하였다.

DOS의 설정단계를 개선함으로써 표적좌표의 수평오차(C.L. = 0.95)가 1.611 km 거리에서 4.31 m(2.68 mil)

에서 0.93 m(0.58 mil)로 약 1/4.6배 감소하여 정확도와 정밀도가 개선되는 것을 확인하였다.

이는 VRS RTK를 통해서 DOS의 정치위치와 참조 위치를 정밀하고 정확하게 측정할 수 있었기 때문에 가능하였다. 하지만 측정단계에 관여하는 각도센서와 거리측정센서의 정확도 한계, 소프트웨어의 수치뺄셈 법규칙 등 개선이 어려운 요인들로 인하여 VRS RTK로 정확하게 위치가 측정되더라도 표적좌표 획득정확도 향상에 모두 반영되지 않는 한계가 있었다.

본 연구의 결과는 DOS와 VRS RTK를 이용하여 보다 정확하게 표적의 좌표를 획득할 수 있음을 제안했을 뿐만 아니라 군의 TAS-1(K)의 성능개량에 참고할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 포의 위치와 DOS를 이용하여 탄착점의 좌표를 획득한다면 사거리와 분산도 평가에 활용할 수 있다.

References

[1] K. Yoon, "Understanding and Reading of Map," Jinsil Media, pp. 91-122, 2007.

[2] K. Kwon, et al., "Understanding of GNSS," Donghwa, pp. 62-94, 2011.

[3] K. Beak, et al., "Construction and Precision Verification of Korean National Geoid Model KNGeoid13," Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 2014, pp. 111-114, 2014.

[4] T. Soler and R. J. Fury, "GPS Alignment Surveys and Meridian Convergence," Journal of Surveying Engineering, Vol. 126, No. 3, pp. 69-82, 2000.

[5] A. Chulliat, et al., "The US/UK World Magnetic Model for 2015-2020 : Technical Report," NOAA, pp. 1-19, 2015.

[6] S. Gleason and D. Gebre-Egziabher, "GNSS Applications and Methods," Artech House, pp. 3-5, 2009.

[7] H. Kim, et al., "Accuracy Evaluation of VRS RTK Surveys Inside the GPS CORS Network Operated by National Geographic Information Institute," Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 25, No. 2, pp. 139-147, 2008.

[8] P. Misra and P. Enge, "Global Positioning System.

- Signals, Measurements and Performance,” Ganga-Jamuna Press, pp. 209-216, 2001.
- [9] Vectronix AG, “GonioLight Operator Manual,” Vectronix AG, pp. 125-129, 2014.
- [10] E. D. Kaplan, “Understanding GPS : Principles and Applications,” Artech House, INC., p. 262, 1996.