

# 재귀반사체를 이용한 지하시설물 위치측정 타깃의 정확도 분석에 관한 연구

## A Study on the Accuracy Analysis of Position Measurement Target for Underground Facilities by Retro-reflection

민 관 식\*      김 재 명\*\*      최 윤 수\*\*\*  
Kwan Sik Min      Jae Myeong Kim      Yun Soo Choi

**요약** 최근 도심기반 지하시설물 정보에 대한 체계적인 관리를 위해 현장시공 시 되메우기 전에 시설물에 대한 3차원 측량을 권장하고 있다. 시설물에 대한 정확한 위치측정 요구 증가와 함께 보다 신속하고 정확하게 각종 지하시설물의 DB 구축을 위해서는 타깃을 포함한 측량방법의 간소화로 비용의 절감 및 데이터 구축의 일관성을 유지할 필요성이 있다. 본 연구에서는 지하시설물 DB 구축을 위한 시설물 위치측정 방법으로 현재 측량에 이용되는 광학프리즘의 재귀반사 원리를 이용하여 최적의 반사체 타깃을 제작(삼각형, 사각형 및 반구형)하여 현장에서 측량자에 의해 되메우기 전에 위치측정을 수행할 수 있는 새로운 유형의 측량타깃을 개발하는데 목적이 있다. 새로운 측량타깃은 지하시설물 측량이 가능하고 데이터의 신뢰성 및 정확도 확보를 위해 유형별로 토털스테이션 측량좌표와의 정량적 비교를 통하여 위치측정의 정확도를 비교하여 보았다. 연구결과 시설물 위치측정을 위한 반사체 타깃의 유용성을 입증 하였으며 새로운 타깃의 사용으로 보다 신속하고 정확하게 측량자에 의해 지하시설물 DB 구축을 위한 3차원 위치를 획득할 수 있는 기반을 마련하였다.

**키워드** : 지하시설물, 3차원측량, 재귀반사, 측량타깃

**Abstract** Recently 3D surveying is recommended to manage underground facilities systematically before refilling of site operation. As the demand of realtime localization increases, cost reduction and consistent data construction which are realizable by using one man surveying method with unmanned target, are necessary for constructing DB of all sorts of the underground facilities with more speediness and correctness. This study sets a goal to develop a new type of surveying target which allows realtime localization to be performed by one man, through making an optimum reflector(triangle, quadrangle, and semispherical shape) by using the retro-reflection principle of optical prism which is being used for surveying currently. The new surveying target makes realtime surveying possible. To check reliability of its data, the accuracy is compared with surveying coordination of total station for each type in a quantitative method.

In the result, the usefulness of the reflector for Underground Facilities localization is proved. Thus the foundation for underground DB construction conducted by one man is established for acquisition of 3D location information in more efficient way through using unmanned target.

**Keywords** : Underground Facilities, 3D Surveying, Retro-Reflection, Surveying Target

### 1. 서론

오늘날 도시기반시설 확충과 더불어 효율적인 공

간정보체계 구축을 위해 각종 지하시설물 정보에 대한 통합적 관리를 추진하고 있다. 국내의 경우 지하시설물 전산화 사업은 1994년 서울 아현동 및

† This work was supported by the Hannam University Research Grant of 2012(2012A012)

\* Kwan Sik Min, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Hannam, geodesy@hnu.kr

\*\* Jae Myeong Kim, Special Resercher, Institute of Urban Sciences, jm927k@naver.com(Corresponding Author)

\*\*\* Yun Soo Choi, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul Research Expertise, choiys@uso.ac.kr

1995년 대구지하철 가스폭발 사고를 계기로 지하시설물의 위치정보를 체계적으로 관리하기 시작하여 2015년에는 군 지역까지 확산되어 지하시설물 통합관리체계가 전국적으로 이루어질 것으로 보고 있다. 국토해양부 보도자료(2011.4.12.)에 의하면 전국 82개시의 7대 지하시설물(상수도, 하수도, 전기, 통신, 가스, 송유, 난방)의 매설위치 등에 관한 데이터 통합작업을 완료한 것으로 나타났다[1].

한편, 기존 지하시설물 통합 DB의 경우 대부분 시공 완료 후 지표에서 탐사용도면 및 지하탐사장비를 이용하여 지하시설물 종류 및 재질에 따라 급속관로, 비급속관로, 케이블로 분류하여 매설관의 위치를 탐사하는 간접방식으로 시설물에 대한 정확한 위치정보 취득에는 한계가 있다. 또한, 탐사오차의 허용범위도 매설깊이 3m 이하인 경우 급속관로는 평면(±20cm), 깊이(±30cm)의 허용범위를 비급속관로(관경 100mm 이상)은 평면(±20cm), 깊이(±40cm)의 허용범위를 두고 있으며 매설깊이 3m 이상인 경우는 급속관로 및 비급속관로 모두 매설깊이의 20% 이내의 허용범위를 두고 있어 전산화된 기존 정보를 이용한 도로굴착 시 정밀한 위치정보 제공에는 한계가 있을 것으로 생각된다. 이에 국토해양부는 최근 도로법 개정(도로법 시행령 제21조 준공도면의 제출 및 관리, 제22조 점용공사완료 및 원상회복의 확인신청 2010.9.13.)으로 주요지하매설물 및 일반매설물 공사 시 시설물의 정확한 위치를 측량한 준공도면(지하시설물도)을 전자도면으로 제출할 것을 의무화하고 있다. 이는 지하매설물의 매설위치를 되메우기 전에 매설관이 노출된 상태에서 3차원 측량을 함으로써 정밀한 위치측정을 권장하고 있다. 이에 따라 일선 지하시설물 관련 공사 시 현장에서 되메우기 전에 3차원 측량을 실시하여 지하시설물도 제작을 위한 속성정보 DB를 획득하고 있다. 이는 측량데이터의 최신성 및 정밀성의 향상을 가져올 수 있으나 3차원 측량에 따른 측량자의 현장 상주 필요성이 제기되어 결국 측량비용의 증가로 이어질 수 밖에 없다. 따라서 비용절감을 위해서는 기존 측량방식에 대체하여 새로운 방식의 도입 및 기존 측량방식의 개선이 필요하다 하겠다.

본 연구에서는 토털스테이션과 프리즘을 이용한 기존측량 방식의 개선으로 광학프리즘의 재귀반사원리를 이용하여 신속한 측량을 위한 최적의 타깃을 제작하여 지하시설물 시공 현장에 적용할 수 있

는지를 확인해 보고자 한다. 제작된 타깃은 신속한 측량이 가능하고 데이터의 신뢰성 및 정확도 확보를 위해 삼각형, 사각형 및 반구형으로 제작하여 토털스테이션 측량좌표와의 정량적 비교를 통하여 위치측정의 정확도를 분석해 보고자한다.

## 2. 위치측정 타깃

### 2.1 측정원리

토털스테이션과 프리즘을 이용한 지하시설물에 대한 3차원 위치측정원리는 측량장비인 토털스테이션에서 타깃인 프리즘을 향해 파장( $\lambda$ )과 주파수( $f$ )를 아는 광파를 발신하고 측정위치의 프리즘은 광파를 발신위치로 정반사하는 시간( $t$ )을 측정하여 거리( $d=1/2 \cdot \lambda \cdot f \cdot t$ )와 각도( $\theta$ )를 계산하여 측정점의 3차원 좌표값( $x, y, z$ )을 알 수 있다. 단거리 관측에 주로 사용하는 토털스테이션을 이용하여 거리를 관측하기 위해서는 목표점 타깃인 프리즘의 역할이 중요하며 반사프리즘의 경우 어느 반사 위치를 불문하고 항상 광원으로 정확히 반사할 수 있어야 한다. Figure 1은 반사프리즘의 원리를 나타내고 있다.

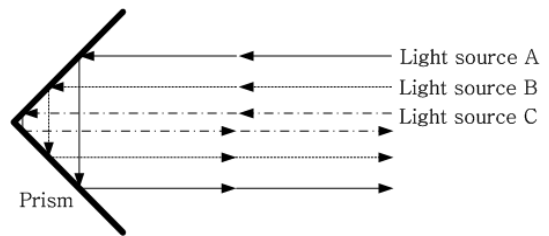


Figure 1. Principle of reflection prism

광파를 이용한 토털스테이션 정밀도의 경우 장거리 측정을 전파거리측정기(보통 수십 km)와 달리 굴절에 의한 영향을 받지 않으므로 온도, 습도 및 기압 등을 정밀히 측정할 필요는 없으나 시계 확보 및 시준선의 흔들림에 주의를 할 필요성이 있으며 [2]. 특히 광파기 및 반사프리즘 등은 정밀도에 영향을 주는데 정밀도는 다음 식(1)과 같으며 표준오차  $\sigma_D$ 는  $\pm [emm \pm pmm/km]$ 로 나타낸다.

$$\sigma_D^2 = e^2 + [D \cdot p \cdot 10^{-6}]^2 \quad (1)$$

여기에서, D는 관측된 총거리이며 e는 기계오차, p는 관측오차로 관측거리에 비례한다. 따라서 관측

거리가 짧은 토털스테이션의 경우 기계오차가 관측오차보다 더 중요하게 작용하고 있다는 것을 알 수 있다.

### 2.2 재귀반사

현재 측량에 이용되는 광학 프리즘의 경우 반사 원리를 이용하고 있으며 일반적으로 반사의 종류로는 광원이 거친 표면을 비추었을 때 빛이 여러 방향으로 흩어져서 광원으로 돌아오는 반사량이 적은 난반사(diffuse reflection)와 광원이 유리같이 매끄러운 표면을 비추었을 때 표면에 입사하는 각도만큼 반대 방향으로 반사하는 거울반사(mirror reflection) 및 광원으로부터 온 빛이 표면에 반사되어 다시 광원으로 돌아가는 재귀반사(retro reflection)가 있다.

현재 측량에서 사용하는 프리즘의 경우 이 재귀반사의 원리를 이용하고 있으며 광학 프리즘은 광원이 어느 방향에서 어느 각도로 들어오더라도 광원의 방향으로 빛을 반사한다. 즉 측량 기지점의 광과기에서 나온 광원은 미지점에 설치한 프리즘에 닿은 뒤 원래의 자리로 다시 돌아가는 반사를 말한다.

이러한 재귀반사를 일으키는 소재로는 미세한 유리구슬을 필름에 균일하게 코팅 처리한 제품과, 고분자 필름 위에 입방체 형태의 마이크로 프리즘을 만드는 마이크로 프리즘 제품이 있는데 마이크로 프리즘 재귀반사지는 유리구슬을 사용한 재귀반사지에 비해 뛰어난 휘도와 측면 휘도를 가지고 있는 특성이 있다[3],[5]. Figure 2는 재귀반사의 원리를 나타낸 것으로 직각 프리즘(모서리각 45°, 45°, 90°)의 전반사를 나타낸 것이다.

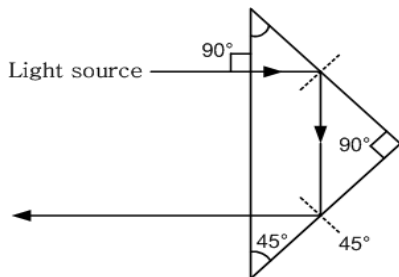


Figure 2. Principle of retro-reflection

### 2.3 마이크로 프리즘 반사지 타깃

일반적으로 마이크로프리즘 방식을 이용하여 제

조된 재귀반사지는 프리즘의 미세 배열 및 형성에 따라 반사율과 정확도가 다르게 나타나는데 본 연구에 사용된 마이크로 프리즘 반사지는 3M 스퀘어라이트 제품(3M 4090)중 반사성능이 가장 높은 백색 반사지를 이용하여 가로 6cm × 세로 6cm 규격의 실험용 타깃을 제작 하였다. Figure 3은 본 연구를 위해 제작된 실험용 측량 타깃이며 Table 1은 제조사에서 제시한 반사성능을 나타내고 있다.

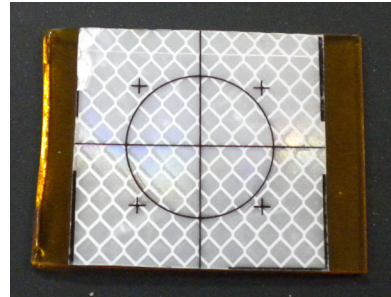


Figure 3. Surveying targets(6cm×6cm)

Table 1. Reflection performance of micro prism reflective paper(cd/lx\*m<sup>2</sup>)

Observed each	Angle of incidence	white	yellow	red	blue
0.1°	-4°	1000	750	200	45
	30°	460	345	115	26
0.2°	-4°	700	525	150	34
	30°	325	245	86	20
0.5°	-4°	240	180	48	11
	30°	135	100	27	6

### 2.4 실험용 측량타깃 테스트

실험용 초고휘도 프리즘형 타깃은 반사지 안에 입방체 구조의 미세한 프리즘이 형성된 것으로 타깃 규격은 BAR(6cm×6cm) 및 삼각형(6cm×6cm×6cm) 규격으로 제작된 것을 ±(2mm+2ppm×D ")의 정밀도를 가지는 TOPCON GTS-723 (최대사거리 : 1프리즘 3000m)를 이용하여 측량가능거리 및 좌표 정밀도를 확인하여 보았다. 확인결과 반사지 타깃의 측량가능 거리는 약 150m로 확인 되었으며 정밀도도 타깃을 다루는 작업자의 부정오차를 제외한 광학프리즘과의 사거리 오차 비교 시 1.5cm 이하인 것으로 나타났다. 좌표분석 결과 또한 기존 광학 프리즘과의 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. 이에,

실험용 측량타깃의 현장적용 가능성을 알아보기 위해 현장 Test-bed(전남 영광군 LNG 현장)을 선정하여 기존에 사용하던 광학 프리즘과 실험용 타깃의 오차를 비교하여 보았다. 현장 적용 타깃은 마이크로 프리즘 반사지를 이용하여 BAR 및 삼각형(피라미드) 측량타깃을 제작하여 활용하였다. Figure 4는 본 연구를 위해 제작된 현장적용 측량타깃 및

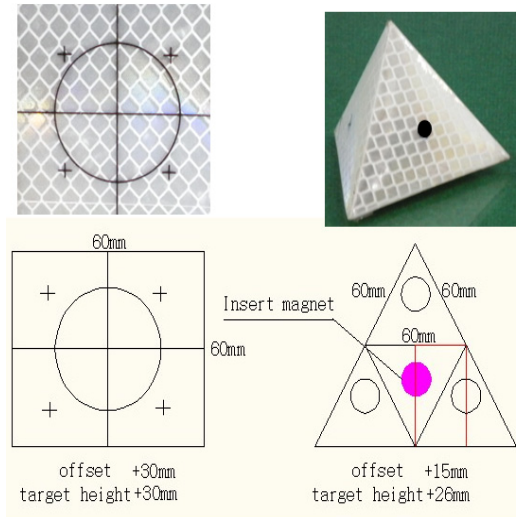


Figure 4. Specifications of bar and triangle target

제원을 나타내고 있다. 또한, 현장에서 실험용 타깃을 이용한 측량이 가능한지 여부를 판단하기 위해 1인이 측량 및 타깃고정을 수행 하였다. 실험결과 기존 광학 프리즘과의 오차는  $\Delta X = -0.009 \sim 0.006m$ ,  $\Delta Y = -0.003 \sim 0.006m$ ,  $\Delta H = -0.007 \sim 0.009m$ ,  $\Delta S = 0.001 \sim 0.010m$ 의 값을 얻을 수 있었다. 또한, 측량거리도 30~150m의 범위에서 양호한 측량 타깃성적을 얻을 수 있었다. 기존의 광학프리즘과 실험용 타깃의 현장 적용 실험결과를 Table 2와 같다.

### 3. 3차원 위치측정을 위한 타깃개발

#### 3.1 측량타깃 제작

지하시설물 관련 현장에서 3차원 측량에 사용할 수 있는 마이크로 프리즘 반사지를 이용한 측량타깃은 현장에서 측량자에 의한 3차원 측량을 고려하여 광파기(Topcon GTS-723)의 배율(30x)을 고려한 최소한의 크기로 경량화 하여 제작 하였으며 측량타깃 모양은 반사지를 이용한 형상 제작의 한계로 피라미드 형태의 삼각형(60mm×60mm×60mm) 타깃과 직육면체 형태의 사각형(40mm×40mm×40mm) 타깃 및 반구형( $\pi \times 25mm \times 25mm$ ) 형태의 타깃을 제작하였다. 타깃의 상·중·하 설정은 현장에서 타깃의 위치가 보통 지면아래에 위치함으로 광파기에 의한

Table 2. Survey results by targets

No.	Division	X	Y	H	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta H$	$\Delta S$
05-2702-259	Optical prism	202029.244	164373.561	45.130	-	-	-	-
	Bar	202029.246	164373.561	45.135	0.002	0.000	0.005	0.002
	Triangle	202029.250	164373.562	45.132	0.006	0.001	0.002	0.006
05-2702-260	Optical prism	202041.231	164374.000	44.953	-	-	-	-
	Bar	202041.234	164373.999	44.962	0.003	-0.001	0.009	0.003
	Triangle	202041.230	164374.000	44.955	-0.001	0.000	0.002	0.001
05-2702-261	Optical prism	202053.080	164372.425	44.833	-	-	-	-
	Bar	202053.071	164372.426	44.832	-0.009	0.001	-0.001	0.009
	Triangle	202053.070	164372.427	44.829	-0.010	0.002	-0.004	0.010
05-2702-262	Optical prism	202064.530	164368.862	44.724	-	-	-	-
	Bar	202064.531	164368.864	44.722	0.001	0.002	-0.002	0.002
	Triangle	202064.530	164368.860	44.717	0.000	-0.002	-0.007	0.002
05-2702-263	Optical prism	202097.965	164355.464	43.940	-	-	-	-
	Bar	202097.963	164355.466	43.945	-0.002	0.002	0.005	0.003
	Triangle	202097.960	164355.461	43.937	-0.005	-0.003	-0.003	0.006
05-2702-264	Optical prism	202075.747	164364.604	44.505	-	-	-	-
	Bar	202075.744	164364.606	44.500	-0.003	0.002	-0.005	0.004
	Triangle	202075.743	164364.610	44.501	-0.004	0.006	-0.004	0.007
05-2702-265	Optical prism	202068.077	164357.604	44.554	-	-	-	-
	Bar	202068.076	164357.605	44.551	-0.001	0.001	-0.003	0.002
	Triangle	202068.075	164357.607	44.552	-0.002	0.003	-0.002	0.003

타깃 시준 시의 위치에 따른 세부 설정 위치이다. Figure 5는 삼각형, 사각형 및 반구형 측량타깃을 나타내고 있다.

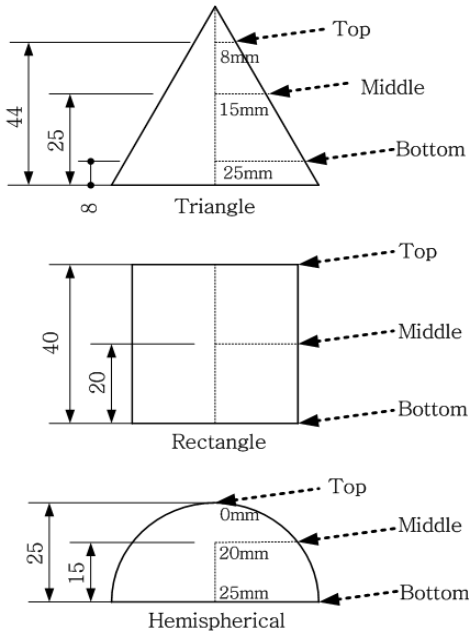


Figure 5. Specifications of survey targets

한편, 각 유형별 측량타깃의 거리별 측량 가능 범위를 확인하여 지하시설물 현장측량 적용 시 활용하고자 하였다. Topcon GTS-723 장비를 이용하여 현장 확인결과 직육면체 형태의 사각형 타깃은 130m, 피라미드 형태의 삼각형 타깃은 110m, 반구형 타깃은 100m 까지 측량이 가능하다는 것을 알았다. 이는 마이크로 프리즘 반사지의 각도에 따른 반사정도에 기인한다고 할 수 있다. 향후 측량거리를 고려한 지하시설물 BD 구축 시 타깃 유형 제작 및 선정에 참고할 필요가 있다. 현재 지하시설물의 경우 1일 시공 구간이 100m 미만임을 고려한다면 삼

Table 3. Surveying distance of targets

Target \ m	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Triangle	○	○	○	○	○	X	X	X	X
Rectangle	○	○	○	○	○	○	○	X	X
Hemispherical	○	○	○	○	X	X	X	X	X

각형, 사각형 및 반구형의 모든 타깃을 활용할 수 있을 것이다. Table 3은 타깃 유형별 측량가능 범위를 나타내고 있다.

### 3.2 측량타깃 성과 분석

시공 현장에서의 지하시설물 측량을 공공측량 작업규정 세부사항(제82조 및 제321조)에 따라 측량자 1인이 미지점의 타깃 설치와 함께 측량을 실시한다고 할 때 제321조 지하시설물의 위치측량 정확도는 지형·지물로부터 측량하는 경우 10cm 이내를 허용오차로 규정하고 있다. 따라서 현장 여건 및 제작된 측량타깃(삼각형, 사각형, 반구형)을 고려할 때 읍셋값과 타깃을 지정하지 않고 측량을 해도 허용오차 이내의 정확도를 확보 할 수 있다. 각각의 측량타깃을 확인해본 결과 다양한 오차가 나타났다. 읍셋값을 지정하지 않았을 때의 오차는 측량 좌표별로 대부분 일정하게 나타났으며, 삼각형 타깃의 오차가 가장 낮았고, 반구형 타깃이 가장 높았다. 반면 사각형 타깃은 오히려 상·중·하 별로 오차의 정도가 균일하였다. 실제로 사각형의 형태가 오차가 상·중·하 평균오차에서는 월등하였다. 반면에 반구형 타깃의 경우 최상단부에 대한 거리오차가 보정후에도 좋지 않았다. 본 연구에서 제작된 세 종류의 타깃은 결과적으로 공공측량작업규정 세부사항에 명시된 평면오차범위(10cm)를 벗어나지 않았으므로 현장에서 측량타깃으로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 현장에서 측량자가 좀 더 정확도 높은 DB 구축을 원한다면 측량타깃 높이값 지정이 필요하며 이 값은 각 측량타깃 제원을 참고해 적용하면 된다. 또한, 광파기의 기계구조나 조정불완전(위상측정기, 전자부품의 민감도)에 의해 영향을 받는 기계오차를 고려할 필요성이 있다. 일반적으로 표고에 대한 값은 측량기기 즉 광파기의 연직각에 의해 정해지는 것으로 실제 결과치는 형태 및 위치별로 균등하게 나와 타깃 유형 별로 타깃고의 값을 쉽게 정립 할 수 있다. 따라서, 측량자는 공공측량 작업규정 세부사항에 명시된 오차범위 이내라 할지라도 타깃의 지정된 높이 값을 입력하여 정밀한 측량데이터를 획득할 필요가 있다. Table 4에 나타나듯이 타깃고를 입력해서 보정한 후의 오차는 전체수치가 2cm 이내에 들어옴으로 각 측량타깃의 높이값 지정으로 정밀도를 높일 수 있다. 형태별로는 삼각형 타깃이 가장 우수하였고, 사각형 타깃과 반구형 타깃은 비슷한

결과를 보였다. 비록 삼각형 타깃이 좋은 결과를 보였다 하더라도, 실제 타깃들 간의 차이는 1cm 내에 있어 오히려 측량자의 타깃 위치결정과 측량기술에 따라서 정확도가 좌우된다고 판단된다. 실제 현장에서 측량을 시행할 시에 소거할 수 없는 우연오차들이 발생하는데 광학프리즘의 경우에도 정밀도나 사거리가 우수하다 하더라도 타깃을 고정하는 기술자마다 오차는 다양해 질 수밖에 없다. 이런 우연오차까지 계산해서 생각하면 마이크로 프리즘 반사지 타깃의 정밀도는 광학프리즘과 차이가 없다고 할 수 있다. Figure 6은 각 타깃의 오프셋값 및 타깃 고를 나타내고 있다.

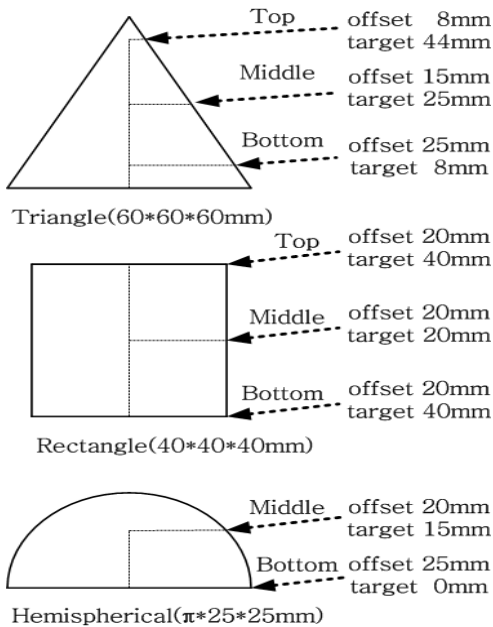


Figure 6. Offset and target height

본 연구에서는 피라미드 형태의 삼각형 타깃과 직육면체 형태의 사각형 타깃 및 반구 형태의 타깃에 대하여 타깃 높이(상·중·하)별로 실제 지하시설물 시공 현장에서 정밀 테스트를 실시하였다. 실시 장소는 전라남도 영광군의 한국가스공사 시공 현장으로 Topcon GTS-723 장비를 이용하여 4곳을 선정하여 먼저 광학프리즘에 의한 측량을 실시하고 삼각형 타깃, 사각형 타깃 및 반구형 타깃 순으로 정확도 테스트를 실시하였다. Figure 7은 현장 테스트를 실시한 지역을 나타내고 있으며, Table 4는 타깃 유형별 측량 정확도 테스트 결과이다.



Figure 7. Underground facilities surveying using targets

#### 4. 결론

본 연구에서는 지하시설물 DB 구축을 위한 시설물 위치측정 방법으로 채귀반사 원리를 이용하여 타깃을 제작하여 현장 실험을 통해 지하시설물 위치측정을 수행할 수 있는 새로운 유형의 측량타깃을 개발하였으며 연구 수행 결과 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 지하시설물 위치측정을 위한 채귀반사 타깃의 유용성을 입증 하였으며 제작된 측량타깃의 사용으로 보다 신속하고 정확하게 측량자에 의해 지하시설물 DB 구축을 위한 3차원 위치를 획득할 수

Table 4. Surveying accuracy of targets

No.	Division	Po.	X	Y	H	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta S$	$\Delta H$	offset	Target height	Distance error	Height error
1	Optical prism		200299.178	161032.249	22.406								
	Triangle	T	200299.170	161032.265	22.455	0.008	-0.016	0.018	-0.049	0.008	0.044	0.010	0.005
		M	200299.169	161032.266	22.440	0.001	-0.001	0.001	0.015	0.015	0.025	0.014	0.010
		B	200299.167	161032.270	22.427	0.011	-0.021	0.024	-0.021	0.025	0.008	0.001	0.013
	Rectangle	T	200299.167	161032.270	22.456	0.011	-0.021	0.024	-0.050	0.020	0.040	0.004	0.010
		M	200299.168	161032.269	22.441	0.010	-0.020	0.022	-0.035	0.020	0.020	0.002	0.015
		B	200299.165	161032.273	22.425	0.013	-0.024	0.027	-0.019	0.020	0.000	0.007	0.019
	Hemispherical	T	200299.165	161032.273	22.448	0.013	-0.024	0.027	-0.042	0.000	0.025	0.027	0.017
		M	200299.163	161032.276	22.436	0.015	-0.027	0.031	-0.030	0.020	0.015	0.011	0.015
	B	200299.162	161032.279	22.425	0.016	-0.030	0.034	-0.019	0.025	0.000	0.009	0.019	
2	Optical prism		200293.731	161042.953	22.565								
	Triangle	T	200293.722	161042.969	22.613	0.009	-0.016	0.018	-0.048	0.008	0.044	0.010	0.004
		M	200293.721	161042.970	22.597	0.010	-0.017	0.020	-0.032	0.015	0.025	0.005	0.007
		B	200293.717	161042.977	22.582	0.014	-0.024	0.028	-0.017	0.025	0.008	0.003	0.009
	Rectangle	T	200293.718	161042.975	22.610	0.013	-0.022	0.026	-0.045	0.020	0.040	0.006	0.005
		M	200293.717	161042.977	22.595	0.014	-0.024	0.028	-0.030	0.020	0.020	0.008	0.010
		B	200293.717	161042.977	22.577	0.014	-0.024	0.028	-0.012	0.020	0.000	0.008	0.012
	Hemispherical	T	200293.722	161042.969	22.603	0.009	-0.016	0.018	-0.038	0.000	0.025	0.018	0.013
		M	200293.716	161042.978	22.592	0.015	-0.025	0.029	-0.027	0.020	0.015	0.009	0.012
	B	200293.713	161042.982	22.578	0.018	-0.029	0.034	-0.013	0.025	0.000	0.009	0.013	
3	Optical prism		200287.157	161062.082	22.681								
	Triangle	T	200287.160	161062.067	22.731	-0.003	0.015	0.015	-0.050	0.008	0.044	0.007	0.006
		M	200287.162	161062.058	22.711	-0.005	0.024	0.025	-0.030	0.015	0.025	0.010	0.005
		B	200287.162	161062.055	22.694	-0.005	0.027	0.027	-0.013	0.025	0.008	0.002	0.005
	Rectangle	T	200287.162	161062.056	22.725	-0.005	0.026	0.026	-0.044	0.020	0.040	0.006	0.004
		M	200287.163	161062.053	22.711	-0.006	0.029	0.030	-0.030	0.020	0.020	0.010	0.010
		B	200287.163	161062.053	22.692	-0.006	0.029	0.030	-0.011	0.020	0.000	0.010	0.011
	Hemispherical	T	200287.161	161062.061	22.720	-0.004	0.021	0.021	-0.039	0.000	0.025	0.021	0.014
		M	200287.162	161062.056	22.709	-0.005	0.026	0.026	-0.028	0.020	0.015	0.006	0.013
	B	200287.163	161062.050	22.695	-0.006	0.032	0.033	-0.014	0.025	0.000	0.008	0.014	
4	Optical prism		200303.145	161024.778	22.312								
	Triangle	T	200303.137	161024.792	22.363	0.008	-0.014	0.016	-0.051	0.008	0.044	0.008	0.007
		M	200303.134	161024.797	22.341	0.011	-0.019	0.022	-0.029	0.015	0.025	0.007	0.004
		B	200303.133	161024.799	22.324	0.012	-0.021	0.024	-0.012	0.025	0.008	0.001	0.004
	Rectangle	T	200303.139	161024.789	22.358	0.006	-0.011	0.013	-0.046	0.020	0.040	0.007	0.006
		M	200303.133	161024.799	22.342	0.012	-0.021	0.024	-0.030	0.020	0.020	0.004	0.010
		B	200303.131	161024.803	22.326	0.014	-0.025	0.029	-0.014	0.020	0.000	0.009	0.014
	Hemispherical	T	200303.133	161024.800	22.354	0.012	-0.022	0.025	-0.042	0.000	0.025	0.025	0.017
		M	200303.131	161024.803	22.341	0.014	-0.025	0.029	-0.029	0.020	0.015	0.009	0.014
	B	200303.130	161024.804	22.327	0.015	-0.026	0.030	-0.015	0.025	0.000	0.005	0.015	

있는 기반을 마련하였다.

둘째, 유형별 측량 타깃의 측량 가능 범위에서는 사각형 타깃이 130m로 나타났으며 삼각형 타깃은 110m, 반구형은 100m 내외의 범위를 기록했는데 각종 지하시설물의 1일 시공범위가 80~100m/day 임으로 거리제한은 극복할 수 있으리라 판단된다.

셋째, 제작된 세 종류의 타깃은 공공측량 작업규정의 허용오차 범위를 모두 충족하였으며 특히, 삼각형 타깃이 다른 타깃보다 효율적이며 정밀도가

높은 것으로 나타나 현장에서 지하시설물 측량타깃으로 활용도가 높을 것으로 기대한다.

### References

[1] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs, 1998, Work rules Underground Facilities Map, Minister of Land, Transport and Maritime Affairs Decree No.134.



- [2] Cho, K. J, 2011, Geomatics engineering, Yangseogak.
- [3] Kim, J. M; Lee, B. W; Choi, Y. S; Yoon, H. S, 2010, Improving the Detection of the Water Mains Underground Facilities, Journal of Korea Spatial Information Society, 18(4):23-32.
- [4] Lee, M. H; Lim, D. H; Ahn, J. H; Park, J. W; Yu, J. H; Kim, J. E; Ryu, H. S; Ahn, H. J; Kim, I. H, 2011, Preparation and Physical Properties of Diamond Grade Reflective Sheets Using Microprism, Department of Chemical and Biological Engineering and Engineering Research Institute, 46(4):284~289
- [5] Lee, J. E, 2011, Study on Retroreflection Measurement Technique and its Instrumentation for Retroreflectors, The Graduate School Of Hannam University.
- [6] Lim, D. H; Lee, M. H; Ahn, J. H; Park, J. W; Yu, J. H; Kim, J. E; Ryu, H. S; Ahn, H. J; Kim, I. H, 2011, Structural and Physical Properties of Reflective Sheets Prepared by Using Glass Beads, Department of Chemical and Biological Engineering and Engineering Research Institute, 46(4):277~283
- [7] Min, K. S; Choi, M. H, 2011, A Demonstration Construction of Sewerage Underground Facilities Map Based on Aerial Photograph, Journal of Korea Spatial Information Society, 19(6):67-74.

---

논문접수 : 2013.01.02  
수정일 : 1차 2013.02.18 2차 2013.02.20  
심사완료 : 2013.02.21