

곡선경로를 가지는 마이크로 터널링 굴진경로의 자동측량을 위한 토탈스테이션의 개발

이진이, 전중우*, 남장현**
조선대학교 전자정보공과대학
*영광기전 기술연구소
**한국통신 운영시스템연구소

Development of Total Station for In-line Measuring of Curved Course in Micro-Tunneling

Jinyi Lee, Jongwoo Jeon*, Janghyun Nam**
Division of Information & Control Measurement Eng., Chosun University
R&D Center, Gloria Techniques Service*
R&D Center, Korea Telecommunication**
E-mail : jinyilee@mail.chosun.ac.kr

Abstract

새로운 원리에 의한 원격 거리 및 각도측정 시스템 [1][2](이하 TS, Total Station)을 개발하였다. 본 시스템은 마이크로 터널링 공법의 굴진기의 후미 또는 입구의 기준점에 원격으로 점멸할 수 있는 십자형의 발광체를 부착하고, 추진관에 고정시킨 상하좌우 각도측정 및 비접촉식 레이저 거리측정기가 부착된 무인 원격 제어장치에 의하여 십자형 발광체의 중심을 자동으로 검출한다. 또한, 회전각과 CCD 라인 스캔 센서의 조합에 의하여 각도를 정밀하게 원격 측정하게 된다. 한편 본 시스템을 이용하면 마이크로 터널링 공법에 의한 추진관내의 측정 가능한 범위를 연결하는 위치에 복수의 TS를 배치하여 서로의 위치를 자동으로 계속하고 그들 데이터를 컴퓨터에 의하여 계산함으로써, 맨홀의 입구의 기준점으로부터 굴진기의 현재 좌표를 신속하고 정확하게 계산할 수 있다.

지역, 하천 및 제방 등 지하수위가 높은 지역에서의 안정된 공사를 하기 위하여 발전되어온 공법이며, 특히 상하수도관, 통신망 및 전기선로, 가스관등을 비개착식으로 시공하는데 유리하다[3]. 한편, 곡선경로를 가지는 마이크로 터널링 작업에 있어서, 계획 굴진경로와의 오차발생을 최소화하고, 맨홀간의 간격을 넓히며, 측량 작업자의 위험부담을 경감시키며, 측량시간의 단축에 의한 전체 공사기간의 단축을 위하여, 굴진현황을 정밀하게 원격으로 추적하기 위한 무인 원격 측량시스템의 개발은 매우 중요하다[4].

본 논문은 새로운 원리에 의한 TS의 개발, 즉 굴진기의 후미에 원격으로 점멸할 수 있는 십자형의 발광체를 부착하고, 추진관에 고정시킨 상하좌우 각도측정 및 비접촉식 레이저 거리측정기가 부착된 무인 원격 제어장치에 의하여 십자형 발광체의 중심을 자동으로 검출한 후, 각도 및 거리를 측정하는 장치의 개발에 대하여 보고한다.

I. 서론

마이크로 터널링 공법이란, 교통이 복잡한 도로 아래에 관로 설치, 주택지역의 지하관로 공사로 인한 소음, 분진 등 환경문제 해결, 공항과 도로, 철도와 같이 지반침하로 인한 교통 장애등 피해가 우려되는

II. 계측의 기본원리

2.1 타깃의 자동검색

본 시스템은 이제까지 제시되었던 타깃 자동 검색방법과는 다른 새로운 방식의 타깃 자동검색

방식을 적용하였다. 본 시스템에서 도입한 타깃은 그림 1 과 같이 기본적으로 수직방향의 발광장치와 수평방향의 발광장치로 구성된다. 그림 1 (a)는 2 대 이상의 TS 를 연동하여 사용할 때, 각각의 TS 에 일체화되어 현재의 위치를 계속하기 위한 타깃이며, 그림 1(b)는 굴진기에 부착되는 타깃을 나타낸다.

자동 검색용 타깃은 RS-232 통신에 의하여 원격으로 제어할 수 있도록 제어회로를 별도로 설치하고 있으며, 통신신호에 의하여 수평방향 또는 수직방향의 LED 배열을 점등할 수 있다. 수직방향 또는 수평방향의 광이 점등하였을 때 회전스테이지 및 고니오미터에 의하여 대물렌즈와 미러 및 접안 렌즈에 의하여 구성되는 망원경의 시야각안에 광이 입사될 때까지 회전시킨다. 즉, 수직방향의 LED 배열을 점등하고 망원경을 수평방향으로 회전시키면, 망원경의 시야각내의 점을 검색하는 것이 아니라 선을 검색하므로 보다 빠른 시간내에 타깃을 검색할 수 있게 된다. 한편, 망원경의 시야내에는 그림 2 와 같이 2 개의 cubic type beam splitter (이하 CBS)에 의하여 1 개의 광전센서와 두 개의 CCD Linear Sensor (이하 CLS)가 동일 광축상에 배열되어 있다. 이러한 구조에 의하여, LED 광원이 망원경의 시야각내에 위치하였을 때, 그 상은 각각 1 개의 광전센서와 두 개의 CLS 에 결상된다. 또한, 일단 수직방향의 LED 의 배열을 점등하여 수직방향으로 망원경의 시야각을 검색하여 발광체의 유무를 검색한다.

한편, LED 는 일반 광원에 비하여 선별적인 파장의 선택이 가능하므로 검색함에 있어서 광학필터의 도입에 의하여 주변 환경의 영향을 비교적 쉽게 피할 수 있으며, 방사각을 28° 정도로 국한시킬 수 있으며, 충분한 광량과 광변환 효율이 좋으며 체적이 작아 소형 경량화가 가능하며, 전력소모량이 적으며 응답속도가 빠르다는 장점이 있다. 또한 시야각내의 광을 검출하기 위하여 적용한 광전센서는 파장선택이 비교적 수월하고 광 검출능력이 뛰어나며 응답속도가 빠르다.

타깃 자동검색의 흐름은 먼저 수직 방향 또는 수평방향의 LED 를 점등하고, 각각 수직방향 또는 수평방향으로 망원경의 시야각을 이동하면서 광전센서 신호가 시야각내에 LED 광이 입사하였다는 정보인 임계광량보다 크면 회전을 멈추고, 회전각도를 좁히면서 보다 정확한 회전스테이지의 회전각에 접근해 나가는 방식이다.

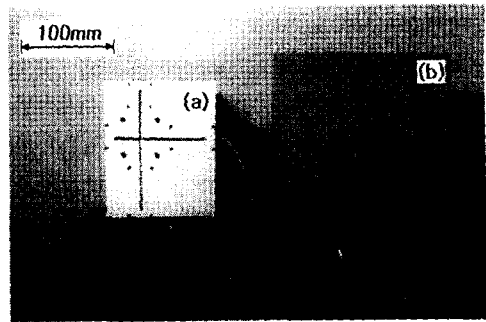


그림 1 자동 검색용 타깃
(a) TS 일체형 타깃 (b) 굴진기 부착용 타깃

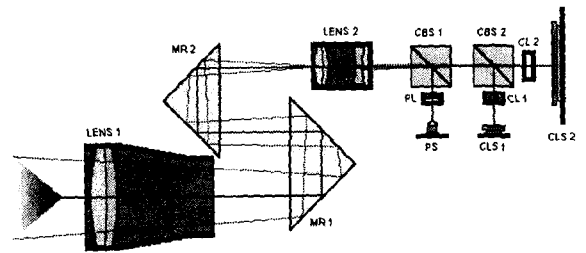


그림 2 TS 광학계의 개략도

2.2 정밀 각도 계산

상술한 타깃 자동 검색에 의해 측정된 각도는 엔코더 방식에 의하여 회전스테이지는 0.0025°, 고니오미터는 0.0008° 의 분해능을 가지나, 실제로는 시야각내의 발광 LED 배열의 결상 유무를 판별하므로 약 ± 1.0° 정도의 분해능을 가지게 된다. 실제로 이러한 각도정밀도는 굴진경로의 측량결과에 매우 큰 오차를 부여하게 된다. 따라서 본 연구에서는 CLS 를 이용한 정밀 각도 측정 장치를 개발하였다. CLS 는 14 μm × 56 μm의 미소한 광전센서를 14 μm간격으로 2048 개 규칙적으로 배열한 CLS(SONY, ILX554B)를 이용하여 최고 광량 입사위치를 출력하는 CLS 시스템을 이용하였으며, 그림 3 과 같은 원리를 가진다. 즉, CLS 에 그림 3 (a)와 같이 빛이 입사되면, 그림 3 (b)와 같은 광량분포와 그림 3 (c)와 같은 광전압 분포를 가지게 된다. 여기에서 망원렌즈의 정중앙에 LED 가 위치하였을 때의 광전압 분포의 중심점 Y_C로부터, 임의 각도에서의 LED 위치에 따른 광전압 분포의 중심점 Y_i까지의 픽셀수 ΔY_i는,

$$\Delta Y_i = Y_C - \frac{N - M}{2} \quad \dots (식 1)$$

과 같이 표현할 수 있다. 여기에서 M 과 N 은 각각 임의의 광량에 의한 CCD 셀의 임계전압이하의 광전 센서를 나타낸다. 따라서, CLS 로부터 출력되는 광량 분포를 저장, 비교, 분석하여 망원경 시야각내의 LED 발광부의 중심위치를 계산할 수 있다.

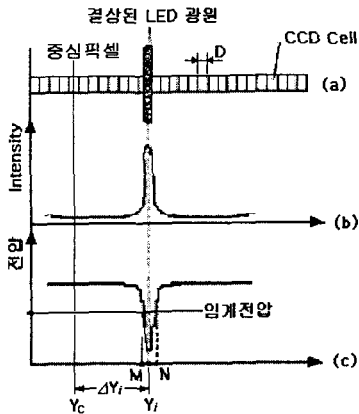


그림 3 CCD Linear Sensor 의 원리

그림 4 는 상술한 CLS 에 의하여 정밀각도를 측정하는 원리를 나타낸다. 회전스테이지 또는 고니오미터에 의하여 임의의 각도, θ_1 만큼 망원렌즈를 회전하였을 때는 망원경의 시야각내에 타깃의 LED 발광부가 들어오지 않으나, θ_2 만큼 회전하였을 때는 망원경의 시야각내에 LED 가 들어오게 된다. 또한, 등각도 간격 $\Delta\theta$ 만큼 회전하여 θ_3 및 θ_4 가 되었을 때도 LED 는 망원경의 시야각을 벗어나지 않는다. 한편, θ_2 회전하였을 때의 CLS 에 조사되는 LED 광의 최고치 위치로부터 LED 가 시야각의 중심에 위치하였을 때의 CLS 에 조사되는 LED 광의 최고치 위치까지의 거리를 ΔY_2 , θ_3 만큼 회전하였을 때의 CLS 에 조사되는 경우를 ΔY_3 , θ_4 만큼 회전하였을 때의 CLS 에 조사되는 경우를 ΔY_4 라고 하면 LED 가 시야각의 정중앙에 위치했을 때의 각도 θ_c 는 다음과 같이 표현된다. 즉,

$$\theta_c = \theta_3 + \frac{\Delta\theta}{\Delta Y} \cdot \left[\frac{\Delta Y_2 + \Delta Y_3 + \Delta Y_4}{3} \right] \quad \dots \text{(식 2)}$$

에 의하여 정밀하게 구할 수 있음을 알 수 있다. 여기에서 ΔY 및 $\Delta\theta$ 는 각 TS 의 고유치이며, θ_3 는 회전스테이지 또는 고니오미터의 엔코더에 의하여 얻어지는 데이터로써 각각 0.0025° 및 0.0008° 의

분해능을 가진다. 또한, $\Delta Y_2, \Delta Y_3, \Delta Y_4$ 는 CLS 로부터 얻어지는 데이터로써 약 0.0001° 의 분해능을 가진다. 따라서 비록 LED 가 망원경을 통하여 CLS 의 중심에 결상되지 않더라도, 시야각내에서 CLS 에 결상하는 위치를 파악함으로써 0.0025° 의 분해능으로 각도를 산출할 수 있다.

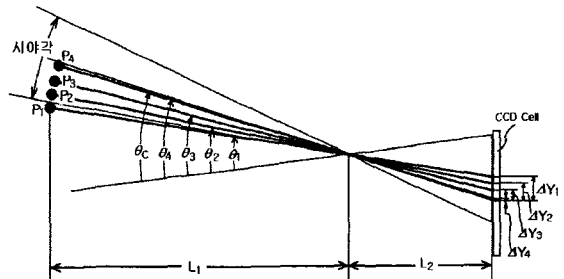


그림 4 CCD Linear Sensor 에 의한 정밀각도계산

2.3 Total Station 과 실험결과

그림 5 는 상술한 기술적인 내용에 입각하여 자체 제작한 TS 를 나타낸다. TS 는 자동정준대 (a)위에 회전스테이지(b) 및 고니오미터(c)를 설치하고, 그 위에 상기 그림 2 의 광학계(d)를 고정하였다. 한편, 광학계 내부에 설치한 광전센서 및 CLS 는 물론, 자동 정준대, 회전스테이지, 고니오미터, 타깃은 별도의 스테이션 박스 (e)와 분리하여 소형, 경량화를 실현하였다.

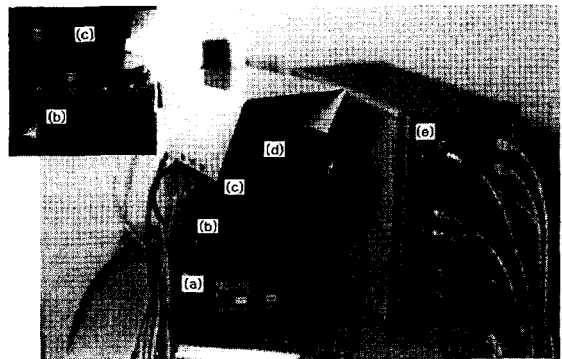


그림 5 Total Station 시작품

그림 6 은 TS 의 망원렌즈 시야각 실험 결과를 나타낸다. TS 로부터 타깃까지의 거리를 5~20m 에 고정하고,

시아각도 전후에서 0.025° 씩 회전($\Delta\theta$)하면서 CCD 에 입사되는 광량분포중 최고광량을 추적한 결과로서, 전체적으로 시야각내에서는 각도 변화량과 최고광량 중심 픽셀의 위치가 거리 및 각도에 관계없이 선형적인 관계가 있으며, 이들 결과로부터 렌즈의 왜곡현상은 무시할 수 있음을 알 수 있다. 특히 각 그래프의 선형영역에서의 기울기 즉, CCD 의 1 개 픽셀당 각도분해능($\Delta\theta / \Delta Y$)은 약 0.0049° 정도로서 고정밀한 각도 측정이 가능함을 알 수 있다.

그림 7 은 장시간에 걸쳐 고정된 타깃을 자동 검색한 CLS 의 반복정밀도 실험결과를 나타내며, 1 픽셀 정도의 차이를 보이는 도중에 130 픽셀정도의 큰 변화가 몇 차례 발생하고 있다. 이것은 식 2 의 $\Delta Y_2, \Delta Y_3, \Delta Y_4$ 가 크게 변하여 θ_c 에 큰 영향을 미쳐 약 0.638° 의 반복정밀도 저하 요인이 된다. 그러나, 실제로는 그림 8 의 회전스테이지의 엔코더값(θ_3, θ_c 에 해당)에서 알 수 있듯이 그림 7 의 각각의 Y_i 값이 크게 변화하는 것과 동기하여 θ_3 도 약 -0.640° 의 차이를 나타내고 있다. 따라서, $\Delta Y_2, \Delta Y_3, \Delta Y_4$ (Y_c 는 1100) 및 θ_3 에 의하여 식 2 의 θ_c 를 구해보면 그림 8 에 나타낸 바(0)와 같이 본 시스템이 약 $\pm 0.006^\circ$ 의 반복정밀도(RMS= 0.00024°)를 가진다는 것을 알 수 있다.

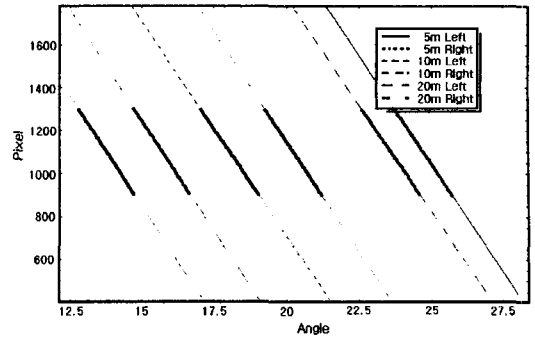
V. 결론

새로운 원리에 의한 원격 거리 및 각도측정 시스템을 개발하였다. 본 시스템은

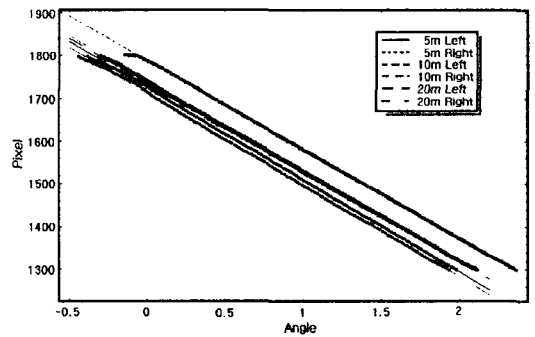
- (1) 십자형 발광체의 중심을 자동으로 원격 검출할 수 있다.
- (2) 엔코더와 CCD 라인 스캔 센서의 조합에 의하여 0.0025° 의 각도분해능과 $\pm 0.006^\circ$ 의 반복정밀도로 정밀하게 원격 각도 계측이 가능하다.

참고문헌

[1] <http://www.topcon.co.jp/sokuryo/gts80.html>
 [2] <http://www.trimble.com/totalstation5600.html>
 [3] 최명진, 이창호, 김명모, “마이크로터널링 기술의 현재와 미래”, 지반, Vol.16, No.1, 2000
 [4] 측량연구회편, “실용측량학”, 형설출판사, 1997



(a) 회전스테이지에 의한 좌우 자동스캔 결과



(b) 고니오미터에 의한 상하 자동스캔 결과

그림 6 시야각 실험결과

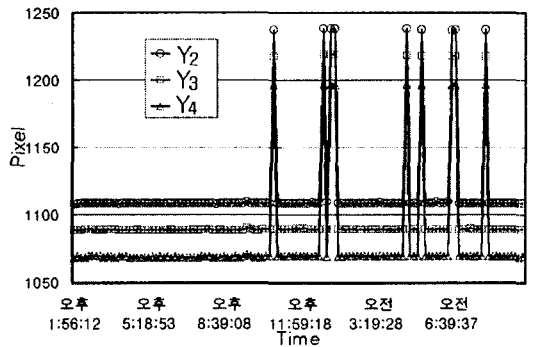


그림 7 자동검색 결과(CLS)

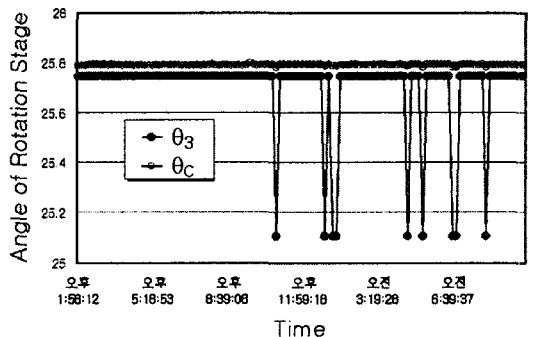


그림 8 보정 전후의 각도출력 비교