

터널공사의 효율성 향상을 위한 측량시스템 개발 The Development of Survey System for Efficiency Improvement of Tunnel Work

박하동¹⁾, 임현량²⁾, 정성혁³⁾, 최석근⁴⁾

Park, Ha-Dong · Im, Hon-Ryang · Jung, Sung-Heuk · Choi, Seok-Keun

- 1) 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail : ew4sn@hanmail.net)
- 2) 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail : imhr@moct.go.kr)
- 3) 충북대학교 공과대학 토목공학과 강사(E-mail : idealharry@gmail.com)
- 4) 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : skchoi@chungbuk.ac.kr)

요 지

본 연구는 터널공사현장을 대상으로 기존의 터널 측량 방법에서의 문제점을 분석하여 오차요인과 경비절감 문제 등을 해결할 수 있는 측량시스템을 개발하여 기존방법과 본 연구방법을 적용하여 측량 및 시공하였을 경우를 비교·분석함으로써 공정관리의 효율성 증대를 위한 측량방법을 제안하였다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 측량 장비와 Note book을 연결하여 현장에서 실시간으로 터널측량과 동시에 위치 및 오차들을 결정할 수 있는 시스템을 개발하였다.

터널측량시스템을 개발함으로써 종래의 터널 측량시 오차발생을 최소화하고, 터널 굴착시의 미굴 및 여굴의 가능성을 최소화하여 시공품질의 향상과 원가 절감 및 공기 단축 등의 효과를 가져 올 수 있도록 하였다.

1. 서 론

우리나라의 경우 65% 이상이 산으로 이루어져 상대적으로 국토의 절대면적이 부족하므로 지하 공간 및 터널 등의 개발이 불가피한 실정이다. 이와 같이 측량은 설계 및 시공과정이나, 준공 등 모든 과정에서 공사비, 공사기간 등에 밀접한 관계가 있기 때문에 매우 중요하다. 또한, 측량에서 오차는 전 공정상의 시공 품질의 저하, 공사비 과다 지출, 공사기간의 지연 등의 결과로 나타나게 된다. 그러나 종래의 터널측량방법은 터널 중심선에서 낚시대를 잡고 돌려 터널을 측량하거나, 데오돌라이트 및 광과기를 이용하여 관측하였기 때문에 오차가 발생되고, 이로 인하여 시공시 미굴이 발생하게 되어 또 다시 굴착해야하는 등의 재작업으로 인한 공사비 과다지출과 공사기간이 늘어나는 등의 원인이 되었다.

본 연구는 도로 건설에 따른 터널공사현장을 대상으로 기존의 터널 측량 방법을 적용하여 시공하였을 경우와 본 터널 측량 시스템을 이용하여 측량 및 시공하였을 경우를 비교·분석하여 공정관리의 효율성 증대를 위한 측량방법을 제안하였다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 측량 장비(total station)와 Note book을 Interface하여 현장에서 실시간으로 터널측량과 동시에 위치 및 오차를 결정할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

따라서, 본 연구는 터널측량시스템을 개발함으로써 종래의 터널 측량시 오차발생을 최소화하고, 터널 굴착시의 미굴 및 여굴의 가능성을 최소화하여 시공품질의 향상과 원가 절감 및 공기 단축 등의 효과를 가져 올 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 터널측량의 기본 이론

터널 측량은 크게 갱외측량, 갱내측량과 갱내의 연결측량으로 나누어진다. 터널공사에 필요한 각종 측량은 그 지역의 지형상태, 터널의 규모, 시공방법 등에 의하며, 목적에 적합한 터널을 결정하기 위해서

는 반드시 일정한 순서로 실시되어야 한다. 터널측량은 답사, 예측, 지상중심선측설, 지하중심선측설, 향내외 연결측량, 수준측량, 단면측량 등의 순으로 이루어진다. 답사는 미리 실내에서 개략적인 계획을 세우고 현장 부근의 지형이나 지질을 조사하여 터널의 위치를 예정한다.

터널은 시공 중 혹은 완성 후에도 여러 가지 원인에 따라 변형하여 공사 진행이 불가능하게 되는 경우가 있다. 시공 중의 경우는 지보공에 복토의 변형과 파괴에 따라 하중이 걸려있는지 알 수 있으며, 파괴로까지 이르지 않는 경우나 변형이 적은 경우는 조기발견이 곤란하며, 완성 후에는 특히 알기가 곤란하다. 그러므로 이들 변형의 모양은 중심측량, 고저측량, 단면측량 등의 3항목을 정기적으로 측량하여 변형 모양을 기록하고, 터널 대응거리의 신축측량이 시공 중에 이용된다.

터널 중심측량은 시공기면 또는 포장상면에 측벽간의 중심을 취하여 일반적으로 20m 간격으로 표시하고, 터널 갱구로부터 소정의 중심선을 따라 가면 이 중심선 C'과 C가 일치하도록 한다. 터널 완공 시나 시공 중의 변형상태 조사에 반드시 행하는 단면측량은 중심 C를 구하여 측정척 S의 선단을 터널 내면에 맞추어 회전시켜 신축조절하고, 그때의 측정척 읽음 ρ 와 각도 α 를 읽어 그림 1과 같이 기입한다.

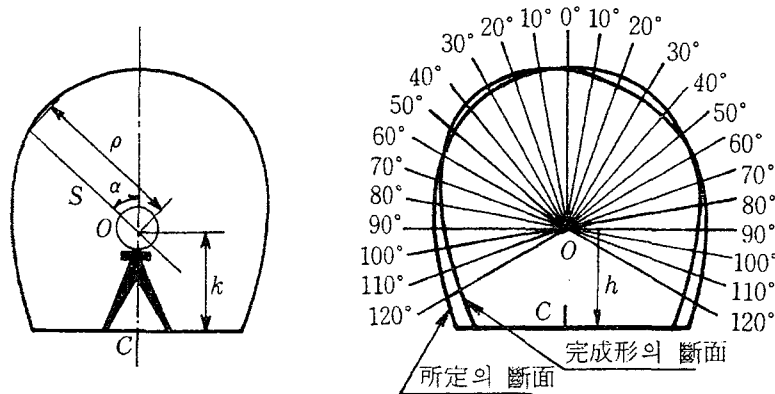


그림 1. 터널단면 측정의 원리

3. 터널측량시스템 설계 및 개발

3.1 터널측량시스템 설계

본 연구의 터널측량시스템 설계는 Total Station과 컴퓨터를 연결하여 현장에서 작업과 동시에 좌표 및 오차, 이동량 등을 결정할 수 있도록 개발하였다. 이를 위해 먼저 Total Station과 컴퓨터를 연결하기 위한 Table을 설정하였고, 장비의 Interface는 On-Line으로 다른 외부장치, 컴퓨터와 접속, 통신 등을 하도록 그림 2와 같이 Parameter Setting을 수행하였다.

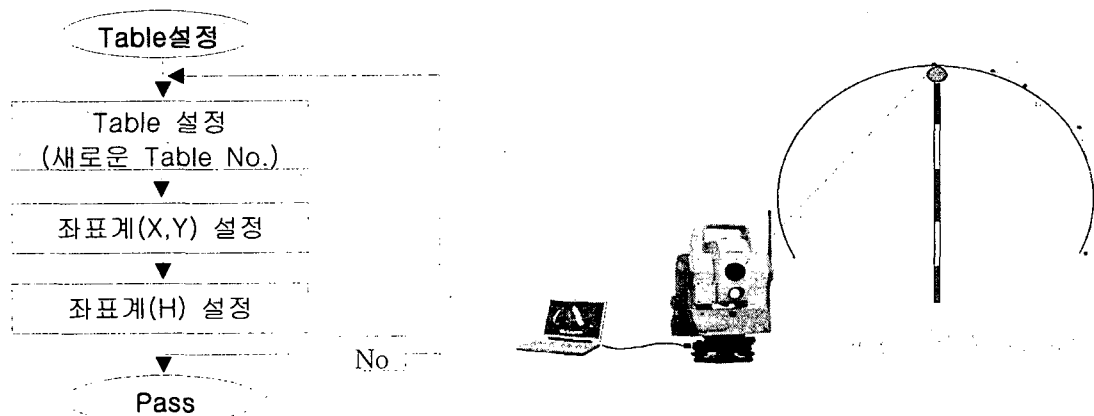


그림 2. 측량기와 컴퓨터간의 Parameter Setting Flow

3.2 터널측량시스템 개발

본 연구에서의 터널측량시스템 개발 언어는 Total Station과 컴퓨터의 Interface 및 Library 장치연결 부분을 위해 Visual Basic 및 C++을 사용하였다. 개발운영체제는 Microsoft Windows 2000 Professional 을 사용하였고, Microsoft Visual Studio 6.0을 이용하였다.

터널 제원 입력은 선형 Data로 측정위치와 횡단거리, 측정간 차이가 계산되고, 터널 Data에서는 여 굴거리와 계획고 차, 도로 중심에서 터널 중심까지의 이격거리, 편구배 높이 등이 계산된다.

관측 Data는 X와 Y좌표, 지반고 등이 계산되어 화면에 나타나도록 그림 3과 같이 개발하였다.

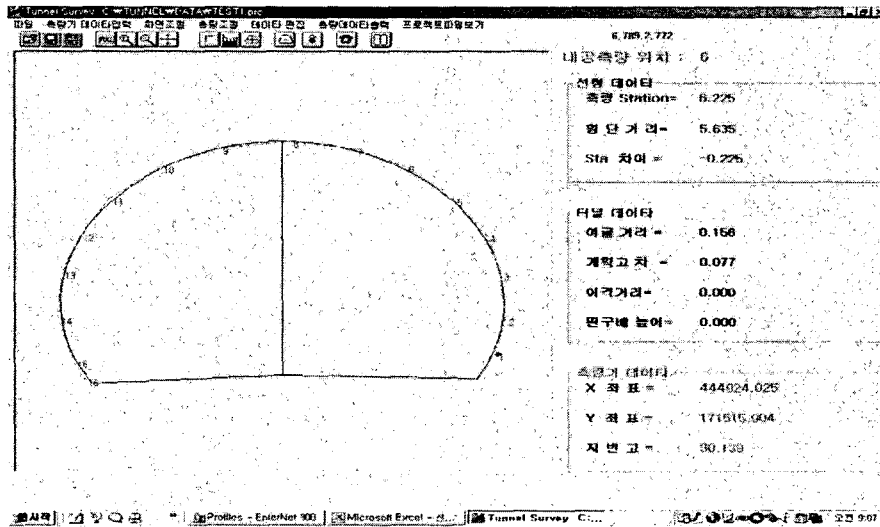


그림 3. 터널 제원에 따른 Data 처리 화면

4. 현장관측 및 결과분석

4.1 터널측량

본 연구는 도로 건설에 따른 당진-대전 간 터널공사현장을 대상으로 기존 방법과 터널측량시스템을 이용하여 측량 및 시공하였을 경우를 비교·분석하여 경제성 및 효용성에 대해 분석하였다.

터널 중심점 및 내부공간위치 결정은 기존 매설점의 설계좌표(C.P)를 선정하여 기준점측량을 실시하였고, 허용오차는 국토지리정보원에서 고시한 다각측량 규정에 의거하여 3급 기준점 측량의 허용범위를 적용하였다. 측량 방법은 트래버스 망을 구성하여 다각측량을 실시하였고, 기존의 설계과정에서 관측된 측량성과와 현장에서 실측한 결과값을 비교하여 정확도를 분석하였으며, 그 결과는 표 1과 같다.

표 1. 기준점 측량 성과

점 명	거리	방 위 각	우개요차	경개요차	설계좌표		실측좌표	
					X 좌표	Y 좌표	X 좌표	Y 좌표
CP4 #		0° 0' 0.00"			347,662.0520	185,331.1830	347,662.0520	185,331.1830
CP4 CP5	1,133.5060	333° 45' 17.00"	0.0000	0.0000	348,678.7040	184,829.9300	348,678.7040	184,829.9300
CP5 CP5-A	91.5820	38° 17' 37.33"	-0.0200	-0.0240	348,750.5820	184,886.6830	348,750.5620	184,886.6590
CP5 CP6	200.5933	329° 29' 27.53"	-0.0130	0.0010	348,923.4030	184,784.8470	348,923.3900	184,784.8480
CP6 CP7	240.4141	306° 57' 10.54"	-0.0190	-0.0080	349,067.9300	184,592.7250	349,067.9110	184,592.7170
CP7 보 점	438.9810	331° 53' 31.90"	0.0000	0.0000	349,455.1388	184,385.9070	349,455.1388	184,385.9070
보 점 CP8-1	655.3720	326° 40' 44.60"	-0.0210	0.0210	350,002.7718	184,025.8930	350,002.7508	184,025.9140
	2,760.4484						-0.0210	0.0210

기준점 좌표값을 이용하여 폐합트래버스측량을 실시하였고, 관측된 결과값은 표 2와 같다.

표 2. 폐합트래버스 관측결과

측선	관측각	오차	방위각	거리	위거	위거오차	경거	경거오차	X좌표	Y좌표
AO			286.52203						348661.815	184885.615
AB	42.53440	0.4	329.46047	162.205	140.144	-0.002	-81.671	0.000	348801.957	184803.944
BC	182.28271	0.4	332.14322	313.060	277.035	-0.004	-145.803	-0.001	349078.988	184658.140
CD	267.09505	0.4	59.24231	29.012	14.766	0.000	24.974	0.000	349093.754	184683.114
DE	271.14203	0.4	150.38438	335.400	-292.336	-0.005	164.417	-0.001	348801.413	184847.530
EA	194.05396	0.4	164.44238	144.698	-139.596	-0.002	38.085	0.000	348661.815	184885.615
AO	302.07561	0.4	286.52203		0.000		0.000		348661.815	184885.615
합계	179.59576	2.4		984.375	0.013	-0.013	0.002	-0.002		1 / 74,841

터널 내부의 중심점 위치를 결정하기 위하여 기준점측량 결과값을 이용하여 중심점 위치를 결정하였고, 이들 좌표는 기존의 터널 설계시 계획된 설계좌표와 비교하여 위치결정 및 오차계산을 수행하였다.

터널 중심점의 위치는 설계좌표를 터널측량 시스템에 정확하게 입력하여 현장 측량과 동시에 오차를 확인할 수 있다. 터널 중심점좌표의 정확도 분석을 위하여 기존의 설계좌표와 현장 관측한 터널 중심점의 실측좌표를 표 3과 같이 비교하였다.

표 3. 터널 중심점좌표의 정확도 비교

STA.6+	터널 설계좌표		터널 실측량성과표		오 차	
	X	Y	X	Y	X	Y
323	348799.929	184807.739	348799.925	184807.737	-0.004	-0.002
343	348817.889	184799.000	348817.891	184799.001	0.002	0.001
363	348835.793	184790.149	348835.794	184790.146	0.001	-0.003
383	348853.642	184781.187	348853.644	184781.189	0.002	0.002
403	348871.434	184772.112	348871.437	184772.113	0.003	0.001
423	348889.169	184762.927	348889.168	184762.925	-0.001	-0.002
443	348906.847	184753.631	348906.845	184753.636	-0.002	0.005
463	348924.466	184744.225	348924.469	184744.226	0.003	0.001
483	348942.026	184734.709	348942.026	184734.707	0.000	-0.002
503	348959.526	184725.084	348959.527	184725.090	0.001	0.006
523	348976.966	184715.349	348976.971	184715.347	0.005	-0.002
543	348994.344	184705.505	348994.346	184705.512	0.002	0.007
563	349011.661	184695.553	349011.664	184695.555	0.003	0.002
583	349028.915	184685.493	349028.920	184685.488	0.005	-0.005
603	349046.106	184675.325	349046.104	184675.317	-0.002	-0.008
623	349063.233	184665.050	349063.235	184665.052	0.002	0.002
643	349080.295	184654.668	349080.290	184654.669	-0.005	0.001
663	349097.293	184644.180	349097.301	184644.182	0.008	0.002
683	349114.224	184633.586	349114.226	184633.589	0.002	0.003

터널의 평면선형은 지형, 지질의 상황, 수직갱의 위치, 도로로서의 선행, 주행성과 시공성을 고려한 직선, 원곡선 및 크로소이드를 주로 사용하며 도로중심과 터널 중심과의 이격 거리 발생을 주의하여 연구하여야 한다. 특히 본 연구의 경우 당진 방향은 우측으로 4.36m Offset이 발생 하였으며 대전방향은 좌측으로 4.36m Offset 되었고, 관측결과값은 표 4와 같다.

표 4. 터널 중심점과 도로 중심점의 이격거리 계산 결과

STA.6+	터널실측량성과표		결과값	
	X	Y	STA.6+	이격거리
323	348799.925	184807.737	322.997	-4.365
343	348817.891	184799.001	343.002	-4.359
363	348835.794	184790.146	363.002	-4.364
383	348853.644	184781.189	383.001	-4.358
403	348871.437	184772.113	403.002	-4.359
423	348889.168	184762.925	423.000	-4.364
443	348906.845	184753.636	442.996	-4.358
463	348924.469	184744.226	463.002	-4.359
483	348942.026	184734.707	483.001	-4.363
503	348959.527	184725.090	502.997	-4.355
523	348976.971	184715.347	523.005	-4.360
543	348994.346	184705.512	542.998	-4.354
563	349011.664	184695.555	563.001	-4.358
583	349028.920	184685.488	583.007	-4.363
603	349046.104	184675.317	603.002	-4.369
623	349063.235	184665.052	623.001	-4.358
643	349080.290	184654.669	642.995	-4.363
663	349097.301	184644.182	663.006	-4.355
683	349114.226	184633.589	683.000	-4.357

4.2 결과분석

기준점측량의 수평위치 폐합차는 공공측량 작업규정 제2장 12조에 의한 점검계산에서 3급 기준점 측량을 적용하였으며, 공공측량 작업규정에 따라 계산한 결과 2.97cm가 나타났으므로 허용범위 9.3cm 내에서 만족한 결과를 나타냈으며, 정밀도는 1/74,841로 나타났다. 트래버스측량 결과 폐합차는 1.32cm ($\sqrt{(1.3^2 + 0.2^2)} = 1.32cm$)로써 규정의 5.50cm 이내로 관측·계산되었으므로 측량규정에 만족한 결과를 나타냈다. 터널 중심점에 대하여 설계좌표와 실측좌표를 비교한 결과 X축은 설계좌표와 평균 2.8mm의 차이를 나타냈고, Y축은 3mm의 평균오차를 그림 4와 같이 나타냈다.

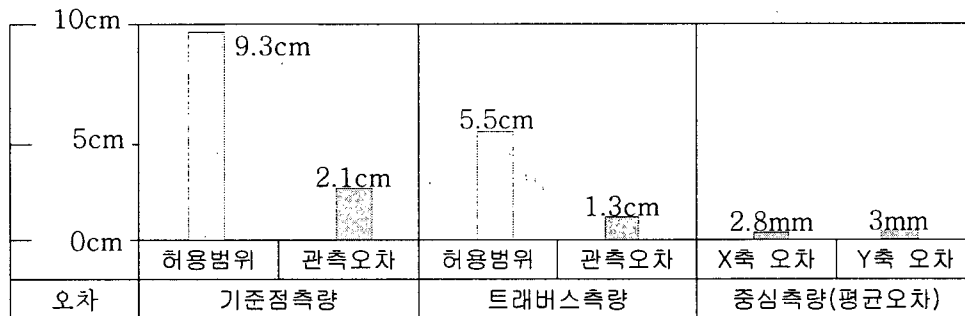


그림 4. 허용기준값과 관측값의 정확도 비교

내공측량에서 관측시간은 1단면을 기준으로 측량하였을 경우 기존 측량방법은 1.5~2시간이 소요되는 반면 본 시스템을 이용하였을 경우 10~15정도가 소요되었다. 천공측량에서도 기존의 측량방법은 1막장을 측량하는데 약 2시간이 소요되고, 본 시스템을 이용하였을 경우에는 약 30분이 소요되었다.

그림 5는 기존 측량방법으로 시공하였을 경우와 본 시스템을 이용하였을 경우의 무지보 경암층에 대한 m 당 원가절감의 비교효과를 그래프로 나타낸 것이다.

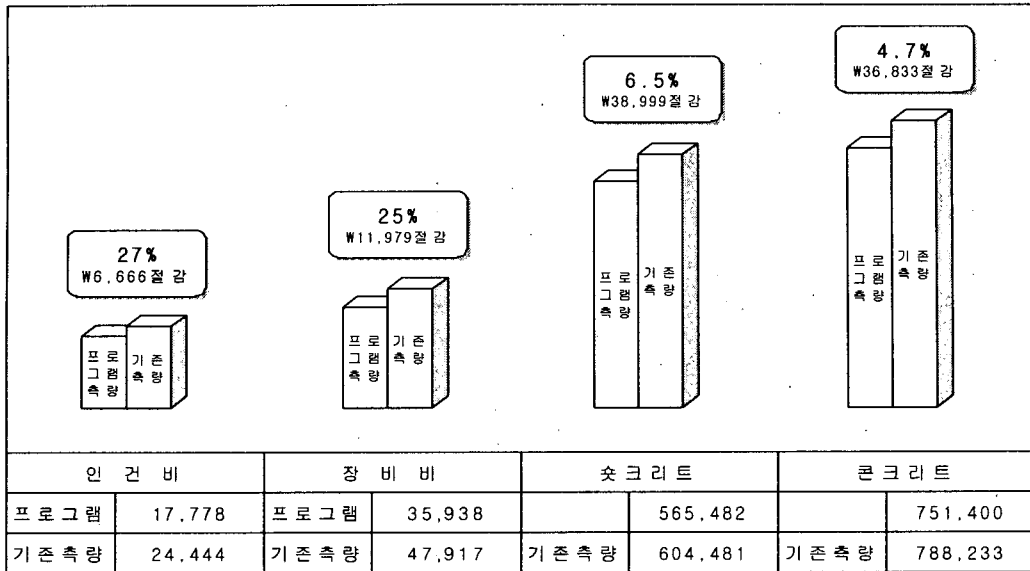


그림 5. 원가절감 비교(단위 : m)

5. 결론

본 연구는 터널공사에서 각종 측량시 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 터널측량시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 터널측량 시스템을 개발하여 트래버스측량에 이용한 결과 1.32cm의 오차가 발생하여 허용오차 5.5cm 이내에서 만족한 결과를 나타냈고, 터널 중심점측량은 X축 2.8mm, Y축 3mm의 평균오차 등 매우 정확한 결과를 나타냈다.
2. 본 연구의 터널측량 시스템을 이용한 결과 1단면 내공측량 관측시간은 기존 측량방법은 1.5~2시간이 소요되는 반면 본 시스템은 10~15정도가 소요되었으며, 1막장 천공측량에서도 기존방법은 약 2시간, 본 시스템은 약 30분이 소요되었다.
3. 본 시스템을 이용하여 경제성을 비교한 결과 무지보 경암층을 대상으로 M당 절감 효과를 비교한 결과 인건비는 27%, 장비비는 25%, shotcrete는 6.5%, 콘크리트는 4.7% 등의 효과를 가져왔기 때문에 원가 절감 및 공기의 단축 등의 경제적 가치를 창출하는 효과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Van Mierlo, J., 1988, "Statistical tests in tunnel surveying, Precision and reliability of the breakthrough error", pp. 102~137.
2. Chrzanowski, A., 1981, "Optimization of the Breakthrough Accuracy in Tunneling Surveys", Can. Surv. Vol. 35.1, pp. 23~67.
3. 한국도로공사, 2002, "도로설계요령 제 4권 터널", pp. 21~227.
4. www.geoidmeter.co.kr 동산측량.
5. 유복모, 2002, 디지털측량공학, 박영사, pp.487~506.
6. 건설교통부, 2000, "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, pp. 266~361.
7. 한국도로공사, 1991, "고속도로 건설공사 설계 기본", pp. 289~341.