



## 현장측량시스템을 이용한 터널공사의 효율성 향상

# Improvement Efficiency of Tunnel Work using Site Surveying System

최석근\* · 안원태\*\*

Choi, Seok Keun · Ahn, Won-Tae

### 要 旨

기존의 터널 측량 방법은 관측시간이 많이 소요되고, 이로 인한 공사비 증가 및 공사기간 지연 등의 문제점을 가지고 있기 때문에 터널측량에서의 오차요인과 시간 및 경비절감 문제 등을 해결할 수 있는 측량시스템을 개발하여 효율성 증대를 위한 측량방법을 제안하였다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 측량 장비와 Note book 컴퓨터를 연결하여 현장에서 실시간으로 터널측량과 동시에 위치 및 오차들을 결정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 터널측량시스템을 개발함으로써 터널 측량시 오차발생과 터널 굴착시의 미굴 및 여굴의 가능성을 최소화하여 시공품질의 향상과 원가 절감 및 공기 단축 등의 효과를 가져 올 수 있도록 하였다.

**핵심용어 :** 현장측량시스템, 터널측량, 원가절감, 품질향상

### Abstract

The existing tunnel survey method contains many problems of taking much measuring time, increasing construction expenses, and delaying a term of construction. Therefore the site survey system for an improvement efficiency is developed. This system will be able to solve the error factor and the problem of curtailment of time and expenditure. In order to solve these problems it connected a measurement equipment and a notebook computer, and developed the system which simultaneously with tunnel measurement it will be able to decide locations and errors from site at real-time. The development of the tunnel survey system minimize the error occurrence as measuring tunnel, and the probability of more or less excavation. Therefore this site survey system leads to the effect of the improvement execution quality of work, the cost reduction and the construction term reduction.

**Keywords :** Site survey system, Tunnel survey, Cost reduction, Improvement execution quality

## 1. 서 론

건설공사에서의 측량은 설계 및 시공과정이나, 준공 등의 모든 과정에서 공사비, 공사기간 등에 밀접한 관계가 있고, 또한 측량에서 오차는 전 공정상의 시공 품질 저하, 공사비의 과다 지출, 공사기간 지연 등의 결과로 나타나기 때문에 토목공사에서 측량은 매우 중요하다. 그러나 종래의 터널측량방법은 터널 중심선에서 낚시대 선을 연결하여 터널 내부를 회전하며 측량하거나, 테오돌라이트 및 광파기만을 이용하여 관측하였기 때문에 오차발생 및 관측시간 지연 등의 문제가 발생하고, 이로 인하여 터널 굴착 시 미굴 및 여굴 등이 발생하게 되어 또 다시 굴착해야하는 등의 재작업으로 인한 공사비 과다지

출과 공사기간이 늘어나는 등의 원인이 되었다.

본 연구는 도로 건설에 따른 터널공사 현장을 대상으로 기존의 터널 측량 방법의 문제점을 분석하여 공정관리 효율성증대를 위한 측량방법을 제안하였다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 측량 장비와 Note book 컴퓨터를 Interface하여 현장에서 실시간으로 터널 측량과 동시에 위치 및 오차를 결정할 수 있는 측량시스템을 개발하고자 하였다.

따라서, 본 연구는 현장측량시스템을 개발함으로써 종래의 터널 측량시 오차발생을 최소화하고, 터널측량과 동시에 현장에서 실시간으로 위치결정을 할 수 있도록 하여 미굴 및 여굴의 가능성을 최소화하며, 시공품질의 향상과 원가 절감 및 공기 단축 등의 효과를 가져 올 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2006년 7월 18일 접수, 2006년 8월 23일 채택

\* 충북대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (skchoi@chungbuk.ac.kr)

\*\* 한양측량시스템 대표 (gpsgeoid@hanmail.net)

## 2. 터널측량의 기본 이론

터널공사에 필요한 각종 측량은 그 지역의 지형상태, 터널의 규모, 시공방법 등에 의하며, 목적에 적합한 터널을 결정하기 위해서는 반드시 일정한 순서로 실시되어야 한다. 표 1은 터널공사에서의 측량방법 및 성과를 나타낸 것이다.

터널측량은 답사, 예측, 지상중심선측설, 지하중심선측설, 향내외 연결측량, 수준측량, 단면측량 등의 순으로 이루어진다.

터널의 내공단면은 도로 규격에 따른 소요의 도로 폭원과 시설한계를 만족시킬 뿐 만 아니라 환기, 방재, 조명, 내장 등 시설대 공간을 확보하고 터널의 안정성, 시공성 및 차량의 주행성도 고려하여 합리적인 단면형상·치수로 하여야 한다.

여기에서 터널 내공단면은 터널 라이닝 공사와 바닥 원지반 혹은 인버트로 둘러 쌓인 안쪽부분의 크기와 모양을 말한다.

따라서, 터널의 내공단면은 도로 규격에 따라 필요한 도로 폭원 및 시설한계를 만족시켜야 할 뿐 아니라 환기·방재·조명·내장·배수·표지판의 설치 공간과 보수 점검을 위한 검사원 통로의 설치 공간도 확보해야 한다.

터널 단면은 응력·변형 등에 대하여 구조적으로 한정

하고 굴착량 등도 고려하여 선택하는데, 최근의 도로 터널에서는 대부분 난형을 채택하고 있다. 난형은 구조적으로나 양수압에 안정하고, 원형은 구조적으로 가장 안정하며, 마제형은 굴착 시공성이 양호한 특성을 가지고 있다. 단면형상에 따른 특성은 그림 1과 같다.

터널은 시공 중 지보공에 복토의 변형과 파괴에 따라 하중이 걸려있는지 알 수 있고, 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.

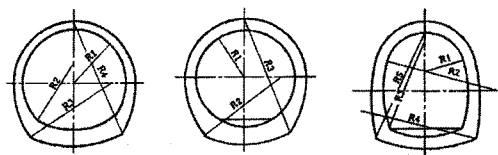
터널측량의 위치는 터널규모, 지반조건, 시공방법 등을 고려하여 측량목적에 적합하도록 결정하여야 하며, 주요 결정사항은 표 2와 같다.

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  $\rho$ 와 각도  $\alpha$ 를 읽어 그림 2와 같이 기입한다.

내공 변위와 천단침하의 측정빈도는 변위가 수렴할 때까지의 일수, 변위량, 굴착법 등에 따라 다르지만 기본적으로 변위속도(1일당 변위량) 및 막장으로부터의 거리에

표 1. 터널공사의 측량방법

구분	시기	목적	내용	성과
지형측량	조사 단계	터널의 노선선정, 선형, 구매의 설정	항공사진측량, 기준점측량, 평면측량	1/10,000 ~ 1/5,000 지형도
갱외 기준점측량	설계 완료후 시공전	굴착을 위한 측량의 기준점의 설치	삼각측량, 외각측량 및 고저측량	기준점 설치 및 중심선 방향의 설치
세부측량	갱외 기준점 설치후 시공전	갱구 및 터널 가설 계획에 필요한 상세한 지형도의 작성	평판측량, 고저측량	1:200 지형도
갱내측량	시공중	설계 중심선의 갱내 설정 및 굴삭, 지보공, 형틀 등 조사	외각측량, 고저측량	갱내 기준점의 설치
작업갱으로부터 터측량	작업갱 완성후	작업갱으로부터 터 중심선 및 수도 도입	위와 동일 또는 특수측량 방법	갱내 기준점의 설치
완공측량	공사 완공후	터널의 사용목적에 따라 완공형 측량	중심선측량, 고저측량, 단면측량	준공도



(a) 난형 (b) 원형 (c) 마제형  
그림 1. 터널 단면의 형상에 따른 특성

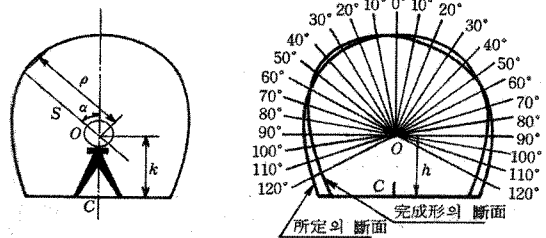


그림 2. 터널단면 측정의 원리

표 2. 터널측량의 주요 결정사항

항 목	주요 검토 및 평가사항
갱내 관찰조사	①막장 자립성 및 굴착면 안정성 ②암질, 단층 파쇄대, 습곡구조, 변질대 등 정상파악 ③숫크리트 등 지보공 변형파악 ④당초 지반 재평가
갱내 탄성파 속도 측정	①당초 지반구분의 재평가 ②이완 영역 ③ 지층 균열 및 변질정도 ④암반으로서의 강도 파악
내공변위측정	변위량, 변위속도, 변위수렴 상황, 단면변형상태에 따라 ①지반 안정성 ②1차 지보 설계 시공의 타당성 ③2차 복공 타석 시기 등 판단
천단 침하측정	터널 천단의 절대 침하량을 관찰하여 단면 변형상태를 알고, 터널 천단의 안정성을 판단
지중 변위측정	터널 주변 이완영역, 변위량, 록볼트 길이, 설계, 시공의 타당성 판단
록볼트 축력시험	록볼트에 발생하는 록볼트 축력, 효과 확인, 길이 및 직경 등을 판단
록볼트 인발시험	록볼트 인발내력으로부터 적정 정착방법, 적정 록볼트 길이 등 판단
라이닝 응력측정	1차 라이닝의 배면 토압, 숫크리트의 응력
지표, 지층의 침하측정	터널 굴착에 의한 지표 영향, 침하방지 대책의 효과 판정, 터널에 작용하는 하중 범위 추정
강지보재 응력측정	강지보재의 응력에 의한 크기, 피치, 지보재의 필요성 등을 판단, 강지보재에 작용하는 토압 크기, 방향, 축압계수 추정
지반의 팽창성	인버트의 필요성, 효과 판정

표 3. 내공변위, 천단 침하의 측정빈도

측정 빈도	변위 속도	막장 거리
1~2 회 / 일	10mm / 일 이상	0~1 D
1 회 / 일	10~5mm / 일	1D~2D
1 회 / 2일	5~1mm / 일	2D~5D
1 회 / 주	1mm / 일 이하	5D 이상

따라 표 3과 같이 정하고 있다.

### 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 하도 Parameter Setting을 수행하였다.

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

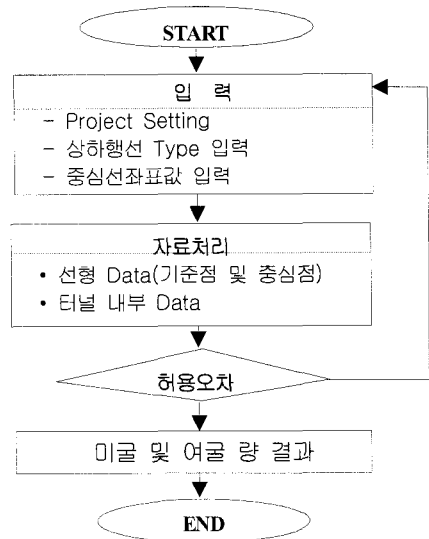


그림 3. 측량시스템 개발 흐름도

#### 3.2 터널측량시스템 개발

본 연구에서 터널측량시스템 개발 언어는 Total Station과 컴퓨터의 Interface 및 Library 장치연결을 위해 Visual Basic 및 C++을 사용하였다. 개발운영체제는 Microsoft Windows 2000 Professional을 사용하였고, Microsoft Visual Studio 6.0을 이용하였다.

터널 설계 제원은 프로그램 및 공학용 프로그램이 내장된 전자계산기를 이용하여 터널 프로그램의 기본 데이터로 사용하였으며, 개발화면은 그림 5와 같다.

측량은 측량할 위치를 변경하거나 측량 Data 입력, 측량기 종류 선택, 터널측량제원, 기계점 Data 입력 등의 사항을 처리하도록 하였고, Data 편집은 공사명을 입력하고, 측량작업 전에 선형 Data, 계획고 Data, 단면고도 Data, 선형이격거리 Data, 편구배 Data 등을 입력하도록 개발하였다.

관측 Data는 X와 Y좌표, 지반고 등이 계산되어 화면에 나타나도록 그림 6과 같이 개발하였다.

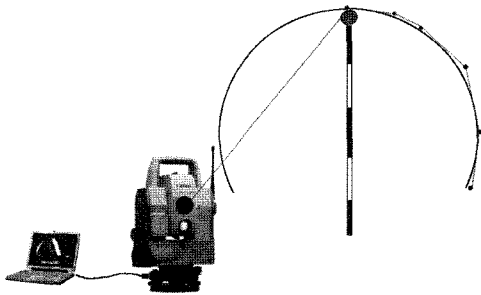


그림 4. 현장측량시스템

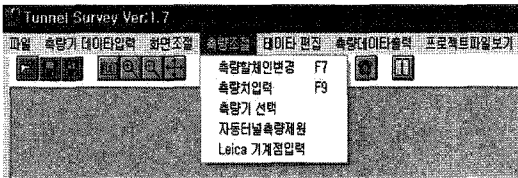


그림 5. 현장측량시스템 개발화면

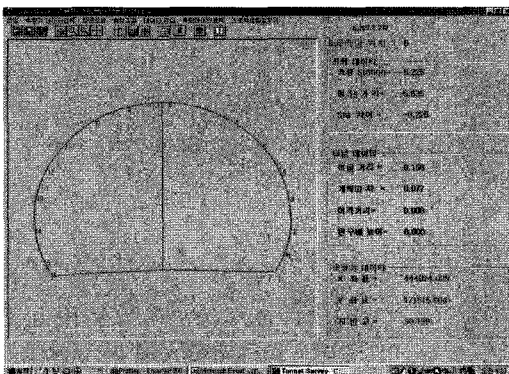


그림 6. 터널 제원에 따른 Data 처리 화면

### 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·분석함으로써 경제성 및 효율성에 대해 분석하였다. 그림 7은 본 연구대상지역의 노선설계도를 나타낸 것이다.

터널 중심점 및 내부공간의 위치결정은 기존 설계과정에서 관측한 매설점에 설계좌표(C.P)를 선정하여 기준점 측량을 실시하였고, 허용오차는 국토지리정보원에서 고시한 다각측량 규정에 의거하여 3급 기준점 측량의 허용범위를 적용하였다.

측량 방법은 트레버스 망을 구성하여 다각측량을 실시하였고, 기존의 설계과정에서 관측된 측량성과와 현장에

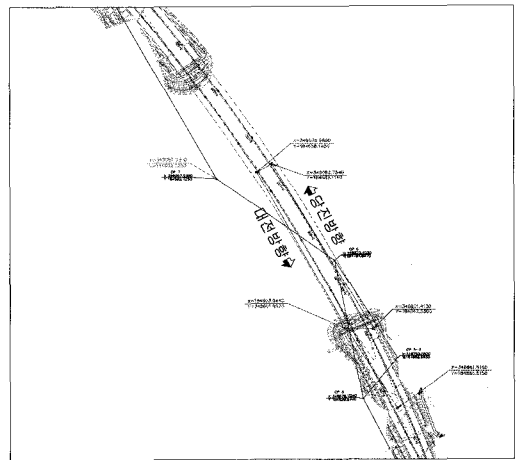


그림 7. 연구대상지역의 평면도



그림 8. 터널 내측량 진행

서 실측한 결과값을 비교하여 정확도를 분석하였으며, 그 결과는 표 4와 같다.

기준점 좌표를 이용하여 폐합트래버스측량을 실시하였고, 결과는 표 5와 같다.

터널 내부의 중심점 위치를 결정하기 위하여 기준점측량 값을 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 기존 설계좌표와 터널 중심점의 실측좌표를 표 6과 같이 비교하였다.

터널의 평면선형은 지형·지질의 상황, 수직갱의 위치, 도로로서의 선행, 주행성과 시공성 등을 고려한 직선, 원곡선 및 크로소이드 등을 주로 사용하며, 도로중심과 터널 중심과의 이격 거리에 대한 오차 발생을 주의하여야 한다. 특히 본 연구의 경우 당진 방향은 좌우측으로 4.36m Offset이 발생 하였으며, 관측 결과값은 표 7과 같이 나타났다.

표 4. 기준점 측량 성과

점 명	설계좌표(m)		실측좌표(m)	
	X 좌표	Y 좌표	X 좌표	Y 좌표
CP4 #	347,662.0520	185,331.1830	347,662.0520	185,331.1830
CP4 CP5	348,678.7040	184,829.9300	348,678.7040	184,829.9300
CP5 CP5-A	348,750.5820	184,886.6830	348,750.5620	184,886.6590
CP5 CP6	348,923.4030	184,784.8470	348,923.3900	184,784.8480
CP6 CP7	349,067.9300	184,592.7250	349,067.9110	184,592.7170
CP7 보 점	349,455.1388	184,385.9070	349,455.1388	184,385.9070
보 점 CP8-1	350,002.7718	184,025.8930	350,002.7508	184,025.9140
			-0.0210	0.0210

표 5. 폐합트래버스 관측결과(단위: m)

측선	관측각	거리	위거	X좌표	Y좌표
AO				348661.815	184885.615
AB	42.53440	162.205	140.144	348801.957	184803.944
BC	182.28271	313.060	277.035	349078.988	184658.140
CD	267.09505	29.012	14.766	349093.754	184683.114
DE	271.14203	335.400	-292.336	348801.413	184847.530
EA	194.05396	144.698	-139.596	348661.815	184885.615
AO	302.07561		0.000	348661.815	184885.615
합계	179.59576	984.375	0.013		1 /74,841

표 6. 터널 중심점좌표의 정확도 비교(m)

STA6+	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

표 7. 터널 중심점과 이격거리 측정 결과

STA.6	터널중심 좌표	이격거리 (m)	차이값 (m)
323	322.997	-4.365	-0.005
343	343.002	-4.359	0.001
363	363.002	-4.364	-0.004
383	383.001	-4.358	0.002
403	403.002	-4.359	0.001
423	423.000	-4.364	-0.004
443	442.996	-4.358	0.002
463	463.002	-4.359	0.001
483	483.001	-4.363	-0.003
503	502.997	-4.355	0.005
523	523.005	-4.360	0.000
543	542.998	-4.354	0.006
563	563.001	-4.358	0.002
583	583.007	-4.363	-0.003
603	603.002	-4.369	0.001
623	623.001	-4.358	0.002
643	642.995	-4.363	-0.003
663	663.006	-4.355	0.005
683	683.000	-4.357	0.003

4.2 결과분석

기준점측량의 수평위치 폐합차는 공공측량 작업규정에 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 관측계산되었으므로 측량규정에 만족한 결과를 나타냈다. 터널 중심점에 대하여 설계좌표와 실측좌표를 비교한 결과 X축은 설계좌표와 평균 2.8mm의

차이를 나타냈고, Y축은 3mm의 평균오차를 그림 9와 같이 나타냈다.

Tunnel의 내공단면은 도로의 규격에 따른 요소로 도로의 폭원과 건축한계를 만족 하여야 한다. 특히 설계상의 표준단면은 암질에 따라 여러 타입으로 설계되므로 측량 제원 입력시 주의하여야 한다.

내공 측량점은 3~5m 간격으로 강지보와 무지보를 컴퓨터에 자동 저장하며, 측량과 동시에 터널 단면에 여굴, 미굴의 데이터를 실시간으로 계산할 수 있었다. 미굴 및 여굴에 대한 결과값은 표 8과 같다.

토탈스테이션을 통하여 관측된 측점 좌표는 바로 케이블을 통하여 노트북으로 입력되며, 그 성과는 모니터 상에서 실시간으로 확인할 수 있다. 이러한 여굴 및 미굴에 따른 면적을 계산함으로써 미굴시 장비의 재투입을 막을 수 있고, 여굴 시에는 그에 맞는 물량의 정확한 슷크리트 양을 계산해 낼 수 있다.

내공측량에서 관측시간은 1단면을 기준으로 측량하였을 경우 기존 측량방법은 1.5~2시간이 소요되는 반면 본 시스템을 이용하였을 경우 10~15분정도가 소요되었

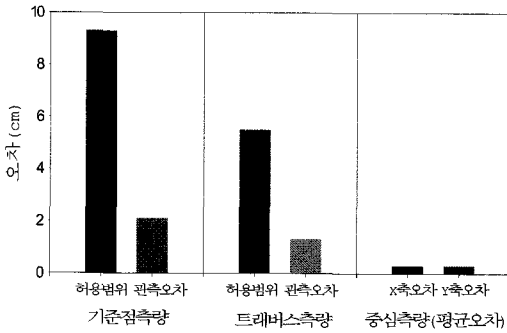


그림 9. 관측값의 정확도 비교

표 8. 터널의 미굴 및 여굴값 측정(m)

측점	여굴	미굴	측점	여굴	미굴
6318.4	0.887	-0.5789	6474.5	2.266	0.0000
6326.6	1.157	-0.0601	6483.5	1.547	-0.0740
6335.8	1.486	0.0000	6492.5	2.119	0.0000
6345.4	2.042	0.0000	6501.5	1.717	-0.1171
6355	1.682	0.0000	6510.5	2.631	-0.0620
6366.5	1.512	0.0000	6519.5	1.028	-0.0193
6379	2.212	-0.2923	6528.2	1.182	-0.1306
6388	0.694	-0.4935	6540.2	3.092	0.0000
6397	1.125	-0.7439	6549.8	1.505	0.0000
6406	0.732	-0.0154	6559.4	5.226	0.0000
6415	1.151	-0.3277	6569	4.398	0.0000
6419.5	2.251	-0.1590	6578.6	1.989	-0.4374
6428.6	1.374	-0.0173	6588.2	2.165	-0.1522
6438.2	1.632	-0.0271	6597.8	3.559	-0.0424
6447.8	1.446	-0.0066	6606.5	3.866	0.0000
6456.5	2.381	-0.0134	6611	3.962	0.0000
6465.5	5.248	-0.0065	6615.5	3.645	-0.0051

표 9. 현장측량시스템을 이용한 원가절감

구분	항목	산출근거
기존 터널 좌표 측량	인건비	126,667(일) / 6m (1일굴진장)21,111
	"(측량)	20,000(일) / 6m (1일굴진장)3,333
	장비비	287,500(일) / 6m (1일굴진장)47,917
	숫크리트	3,626,884(일) / 6m (1일굴진장)604,481
	콘크리트	4,729,400(일) / 6m (1일굴진장)788,233
	계	1,465,075 원
터널 프로그램 측량	인건비	95,000(일) / 6m (1일굴진장)15,833
	"(측량)	11,667(일) / 6m (1일굴진장)1,945
	장비비	215,625(일) / 6m (1일굴진장)35,938
	숫크리트	3,392,891(일) / 6m (1일굴진장)565,482
	콘크리트	4,508,400(일) / 6m (1일굴진장)751,400
	계	1,370,598 원
절감액		94,477 원

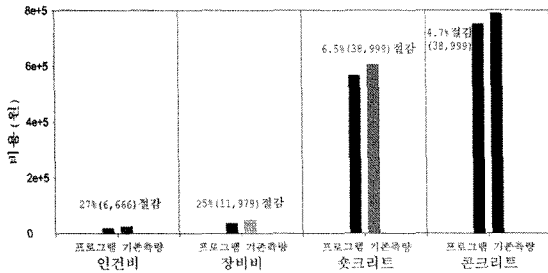


그림 10. 원가절감 비교(단위 : m)

다. 천공측량에서도 기존의 측량방법은 1막장을 측량하는데 약 2시간이 소요되고, 본 시스템을 이용하였을 경우에는 약 30분이 소요되었다.

터널작업의 특성상 여러 공정이 한 작업장에 집중되어 있기 때문에 한 공정의 작업지연이 전체 작업의 지연으로 연결되어 막대한 원가증가의 원인이 되는 경우가 많다. 그러나 본 연구에서 개발한 터널측량 시스템을 이용하여 미굴 및 여굴의 양을 실시간으로 확인할 수 있어 장비의 재투입으로 인한 비용이나 과도한 샷크리트 물량의 사용 등으로 인한 부수적인 비용들을 줄일 수 있게 되었다.

표 9는 기존 측량방법으로 시공하였을 경우와 본 시스템을 이용하였을 경우의 무지보 경암층에 대한 m당 원가 절감의 비교효과를 나타낸 것이다.

그림 10은 기존 측량방법으로 시공하였을 경우와 본 시스템을 이용하였을 경우의 무지보 경암층에 대한 m당 원가절감의 비교효과를 그래프로 나타낸 것이다.

### 5. 결 론

본 연구는 터널공사에서 발생하는 각종 문제점을 해결하기 위하여 현장측량시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 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.

둘째, 현장측량 시스템을 이용한 결과 1단면 내공측량 관측시간은 기존 측량방법은 1.5~2시간이 소요되는 반면 본 시스템은 10~15분정도 소요되었으며, 1막장 천공 측량에서도 기존방법은 약 2시간, 본 시스템은 약 30분이 소요되었다.

셋째, 본 시스템을 이용하여 경제성을 비교한 결과 무지보 경암층을 대상으로 m당 절감 효과를 비교한 결과 인건비는 27%, 장비비는 25%, 샷크리트는 6.5%, 콘크리트는 4.7% 등의 효과를 가져왔기 때문에 원가 절감 및 공기의 단축 등의 경제적 효과를 얻을 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구지원비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, 2000, "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침", pp. 266-361.
2. 유복모, 2002, *디지털측량공학*, 박영사, pp. 487-506.
3. 한국도로공사, 1991, "고속도로 건설공사 설계 기본", pp. 289-341.
4. 한국도로공사, 2002, "도로설계요령 제 4권 터널", pp. 21-227.
5. 김진수, 장호식, 이종출, 2003, 측위위성자료를 활용한 터널 내 평면선형 추출기법 개발, *한국지형공간정보학회지*, pp. 39-46.
6. 최병길, 김중식, 2005, GIS를 이용한 도로의 노면결빙구간 추출, *한국지형공간정보학회지*, pp. 19-26.
7. www.geoidmeter.co.kr 동산측량.
8. Chrzanowski, A., 1981, "Optimization of the Breakthrough Accuracy in Tunneling Surveys", *Can. Surv. Vol. 35.1*, pp. 23-67.
9. Van Mierlo, J., 1988, "Statistical tests in tunnel surveying, Precision and reliability of the break through error", pp. 102-137.