

# 레이저스캐너를 이용한 앵커리지 지하공동의 토공량 산정 Earthwork Volume Calculation of Anchorage Underground Capacity Using Laser Scanner

최석근\* · 김동윤\*\*  
Choi, Seok Keun · Kim, Dong Yeun

### 要 旨

기존의 구조물 지하공동의 용량측정은 일반적인 측량방법은 불규칙한 단면측정이 곤란하고, 사진측량방법은 시공 중의 먼지나, 소음, 진동, 조명조건 등의 문제로 인하여 정확한 단면결정이 곤란하다. 레이저스캐너시스템은 레이저 펄스를 주사하여 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사 타깃 없이 지형·지물 및 구조물의 3차원 좌표를 취득할 수 있는 것으로 3차원 모델링에 많이 이용되고 있다.

따라서, 본 연구는 교량 구조물 공사가 이루어지고 있는 지하 앵커리지 굴착 공사에 레이저스캐너를 사용함으로써 정확한 단면 및 토공량을 결정하였다.

핵심용어 : 지하공동, 토공량, 레이저스캐너, 단면측정

### Abstract

When the capacity of underground caverns' structures is measured, a general surveying is difficult to decide an accurate section of irregular shape and a photographic surveying has problems on picture acquisition due to underground dusts, noise and lighting conditions, etc.

The laser scanner system is being much used for 3-dimensional modeling such as topography, planimetric features and structures, etc. without a target by measuring arriving time of a laser pulse reflected after scanning the laser pulse and calculating space coordinates of the reflection position.

Accordingly, the present research carried out section and earthwork volume measurement of a tunnel by using a laser scanner in underground anchorage excavation work that a bridge construction is being executed.

Keywords : underground caverns, earthwork volume, laser scanner, section measurement

## 1. 서 론

교량 앵커리지는 지상·지하에 설치되므로 지하부분은 설계도에 따라 정확하게 굴착하여야 안전시공, 공사비 절감 등의 효과를 가져 올 수 있기 때문에 지하공간구조에 대한 정확한 단면측정이 매우 중요하다(이재원의, 2007).

그러나, 지하 터널과 같은 공동구조물의 용량 측정은 일반측량으로 정확한 단면결정이 곤란하고, 사진측량은 지하의 먼지나 소음 등으로 인한 장애와, 조명조건이 맞아야 정확한 영상을 취득할 수 있기 때문에 연속적으로 이루어지는 공사에서는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위

하여 지상레이저스캐너를 이용하여 정확한 단면결정 및 용량측정을 하고자 한다.

지상레이저스캐너(LiDAR)시스템은 레이저 펄스를 주사하여 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사지점의 공간위치좌표를 계산하여 3차원 정보를 추출하는 측량기법이다. 또한 지상레이저스캐너는 3차원 대상물을 컴퓨터 상에서 형상화하는 방식으로 반사 타깃 없이 지형·지물 및 구조물 등의 3차원 좌표를 취득할 수 있는 기술로 교각, 댐, 건물, 대형플랜트, 선박 등의 구조물 3차원측정, 터널, 도로사면 등의 변위 측정, 자동차 사고 재현, 자연동굴의 공간정보 구축 등의 3차원 측정에 많이 이용되고 있다(강준목외, 2010),

2010년 6월 21일 접수, 2010년 7월 19일 채택

\* 교신저자 · 정희원 · 충북대학교 공과대학 토목공학부 교수(skchoi@cbnu.ac.kr)

\*\* 충북대학교 대학원 공학석사(kdy226@hanmail.net)

(박세훈, 2009).

따라서, 본 연구에서는 현재 교량공사가 이루어지고 있는 앵커리지 지하 공동구 굴착공사에서 지상레이저 스캐너를 이용하여 단면 및 토공량을 결정함으로써 정확한 시공으로 인한 교량공사의 안정성, 공사비절감 및 공기단축 등의 효과를 가져 올 수 있도록 정확한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 2. 레이저스캐너 및 앵커리지 공동구 측정원리

### 2.1 레이저스캐너시스템 개요

지상 레이저스캐너는 상대적으로 짧은 시간 안에 대상물체 표면에 수많은 측정점(point-cloud)으로 스캐닝 하는 방식의 3차원 좌표관측 장비이다. 이것은 기존 토탈스테이션과 같은 1점 시준방식을 탈피하여 관측 대상물의 표면에 조밀한 간격으로 무수히 많은 레이저광선을 주사하여 얻은 3차원 좌표값을 이용해 대상물의 형태를 직관적으로 취득하는 첨단 레이저 측량장비이다.

물체에 투사된 Laser Point의 위치를 결정하는 것은 거리와 각이므로 각 측정의 높은 정밀도는 매우 중요하다(Blais et al., 2000). 또한 측량용 무타겟 토탈스테이션과 동일한 원리로 작동되어 근적외선 또는 가시광선 파장대의 레이저를 송신하고, 물체에 반사되어 돌아오는 레이저를 수신하여 거리를 측정하며, 거리측정과 동시에 레이저 빔의 수평·수직각을 정밀히 측정하여 이를 3차원좌표로 환산한다.

지상라이더의 특징은 1초당 5,000 포인트 이상의 측정속도를 가지고 측정하고자 하는 3차원 영역을 원하는 간격으로 조밀하게 측정하여 컴퓨터상에서 특정점의 좌표를 계산하는 방식이다. 따라서 지상라이더시스템은 암반조사 및 각종 문화재 측량 등에서 현장 접근성, 측정시간 및 조사 인력 등의 한계성을 극복하기 위하여 현재 가장 정밀한 3차원 측량자료를 도출하는 측정방법으로 이용되고 있다.

지상레이저스캐너는 Time of Flight 방식을 사용하여 측량하고자 하는 물체에 레이저 빔을 발사하고, 반사되어 되돌아오는 시간을 계산하여 거리를 산출한다.

따라서 무수한 DATA를 획득하므로 기존 측량 방식 보다는 정밀하고 신뢰성있는 결과물을 획득할 수 있다.

### 2.2 터널 관측

터널 관측항목은 일상의 시공관리를 위해 반드시 실시되어야 할 관측항목인 A관측과 B관측으로 구분된다. 여기에서 A관측은 시공관리상 반드시 관측해야 할 항목으로 갱내관찰조사, 내공변위측정, 천단침하측정 등

표 1. 내공변위 천단침하의 측정빈도

측정빈도	변위속도	거리	비고
1~2회/1일	100mm/일 이상	0~1D	D:터널의 굴착 폭
1회/1일	10~5mm/일	1~2D	
1회/2일	5~1mm/일	2~5D	
1회/1주	1mm/일 이하	5D이상	

이 있고, B관측은 지반조건에 따라 관측A에 추가하여 선정하는 항목으로 지중변위측정, 지표·지중 침하측정, 갱외측정, 갱내 탄성과 속도측정 등이 있다.

천단침하 측정점은 터널 천단의 중심점에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 일반적으로 레벨 또는 토탈스테이션 등으로 관측하고 있다. 터널 내부의 관측지점은 터널 외부에 설치한 수준점을 기준으로 좌상 측점, 천단 측점, 우상 측점 등의 높이 값을 결정한다.

내공변위측정은 터널 벽면간 거리의 상대적 변화를 파악하기 위한 것으로, 터널 내공의 변화현상, 침하나 용기의 절대량 및 편압현상, 변위의 증가상태 또는 변위의 안정화시기 등 막장의 공사 진행과 관련하여 많은 정보를 얻을 수 있을 뿐 만 아니라, 이를 통해 사고를 예방할 수 있다(한국도로공사, 2001). 내공변위 및 천단침하의 측정빈도는 표 1과 같으며, 변위량이 작은 터널(내공변위량이 25mm 이하, 50mm 이하)의 경우에는 비교적 빨리 수렴하므로 변위량이 일정치에 달하고부터 1주일 정도를 1회 2일의 빈도로 안정상태 및 변위의 수렴상태를 확인한 후 결정한다(한국도로공사, 2001).

이와 같이 현재의 터널관측은 일반적인 측량방법 및 사진측량에 의해 주로 이루어졌으나, 관측장비, 컴퓨터 및 통신장비 등의 발달로 점차 자동화 관측 시스템으로 바뀌고 있다.

따라서, 지상레이저스캐너는 기존 측량방법에 비하여 현장조건에 많이 영향을 받지 않고 신속정확한 자료를 얻을 수 있기 때문에 터널과 같은 열악한 관측조건에서 유용하다.

## 3. 관측 및 결과분석

### 3.1 대상지역선정 및 관측

전라남도는 여수국가산단 진입도로 개설사업을 건설 중에 있으며, 규모는 총 8.5Km에 8800억원이 투입되는 공사이다. 여기에 묘도~광양간 광양컨테이너부두 앞 해상에는 세계 3위 규모에 해당하는 중앙경간장 1,545m의 현수교가 건설되고, 여수산단 앞 해상에는 중앙경간장 430m의 사장교가 건설된다. 본 연구는 이들 대상지역중 여수산단 진입로의 앵커리지 수직구의

표 2. 레이저스캐너 장비 제원

항 목	규 격
스캔 속도	최대 5,000pts/sec
스캔 영역	수평 360° / 수직 60°
스캔 해상도	3mm @ 50m
데이터 획득 S/W	PointScape (Notebook Laptop) PocketScape(PDA)
데이터 처리 S/W	Real Work Survey 3Dipsos

챔버공사를 대상으로 선정하였다.

본 연구의 자료취득은 Trimble 사의 GX 3D 지상레이저스캐너를 사용하였고, 제원은 표 2와 같다.

자료취득은 측정하고자 하는 대상지역의 범위 및 정확도를 결정하고, 현장답사를 통하여 기준점 위치를 선정하였으며, 현장 작업시 3D 스캐너의 격자간격을 결정하였다.

기준점측량의 수평위치는 GPS와 토탈스테이션을 이용하였고, 수직위치는 레벨을 사용하였다. 수직구 챔버의 단면도는 그림 1과 같고, 기준점측량에 의한 선형계산 좌표값은 표 3과 같다.

레이저스캐너를 이용하여 1m 간격으로 터널구간의 스캔작업을 수행하였다.

작업순서는 작업계획 및 준비, 현장답사, 기준점측량, 데이터취득(3D스캐닝), 데이터처리(후처리), 정리점검 등의 순으로 그림 2와 같이 수행하였다.

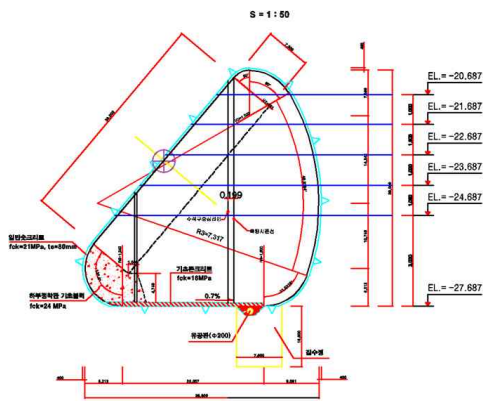


그림 1. 수직구 챔버 단면도

표 3. 기준점 좌표측정값

	X	Y	ELE
BP	155230.6143	264299.5004	-27.687
EP	155230.5588	264368.5004	-27.687

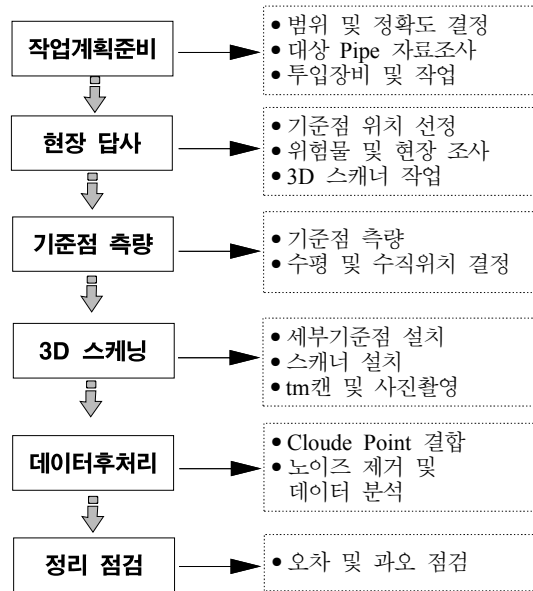


그림 2. 레이저스캐너 자료처리과정

대상지역은 14개 라인을 생성하여 스캐닝하였고, 전체 대상지역의 스캐닝 작업을 위하여 대상지역에 그림

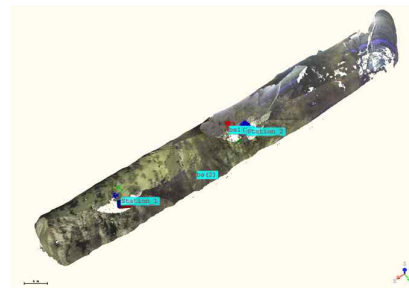


그림 3. 타겟점의 평면위치

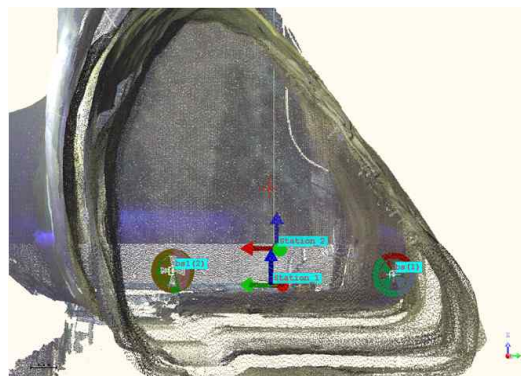


그림 4. 타겟점과 기계점의 지하구조

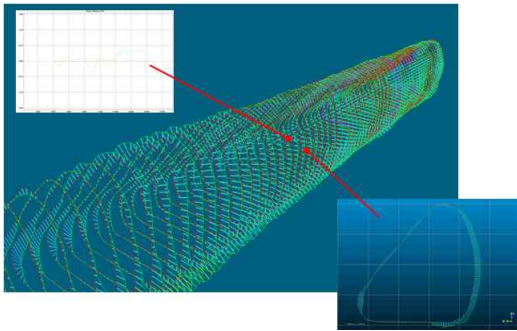


그림 5. 1m 간격의 스캐닝한 영상자료

3과 같이 2개의 측점을 설치하였으며, 스캐닝한 영상은 그림 4, 타깃점의 기하구조는 그림 5와 같다.

3.3 천단부의 정확도 분석

천단부의 측점분석은 5m 간격으로 각 측점에 대한 설계값과 관측값을 표 4와 같이 비교하였다.

표 4. 터널 천단부의 종단높이 관측값

측점 (m)	천단부 최대거리(m)	천단부 설계값(m)	관측값
0	0.343	19.887	20.23
5	0.234	19.887	20.121
10	0.492	19.887	20.379
15	0.383	19.887	20.27
20	0.111	19.887	19.998
25	0.141	19.887	20.028
30	0.192	19.887	20.079
35	0.183	19.887	20.07
40	0.327	19.887	20.214
45	0.118	19.887	20.005
50	0.145	19.887	20.032
55	0.381	19.887	20.268
60	0.253	19.887	20.14
65	시공중	19.887	시공중

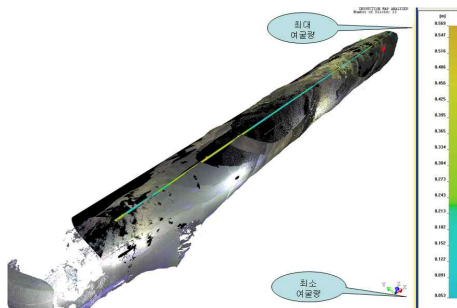


그림 6. 천단부의 종단 계획고 차

설계도면을 기준으로 관측값을 분석한 결과 측점 10m, 15m, 55m 지점 등에서 가장 많은 차이를 나타냈고, 20m, 25m, 45m 지점 등에서 비교적 정확한 값을 나타냈다.

터널 천단부에 대한 최고점의 굴착값을 분석한 결과 그림 6과 같은 결과를 나타냈다.

3.4 미굴 및 여굴 면적 분석

각 단면의 미굴 및 여굴 면적을 분석하기 위하여 1m 간격으로 터널 단면에 대한 스캐닝 작업을 수행하였고, 기존 설계 단면과 본 연구에서 얻은 결과값을 분석하였다.

면적분석은 스캐닝한 데이터를 5m 간격으로 각 단면에 대한 미굴 및 여굴 면적을 분석하였다. 그림 7은 전체 단면 영상이고, 그림 8은 스캔작업에 의한 모델링한 결과를 나타낸 것이다.

터널의 각 단면에 대한 면적분석을 위하여 5m 간격의 단면모형을 그림 9와 같이 분석하였다.

표 5에서 미굴량은 5지점에서 가장 많이 나타났고, 0m지점과 10m지점의 순으로 나타났으며, 여굴량은 5, 10, 15m 지점에서 많이 나타난 것으로 분석되었다. 측정된 각 단면에 대한 여러 각도에서 나타낸 영상은 그

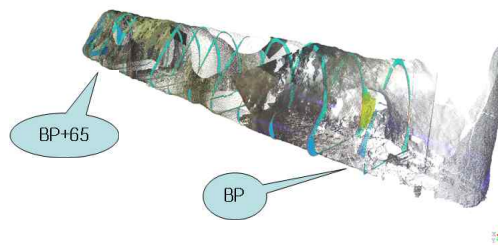


그림 7. 여굴 및 미굴량 분석 결과

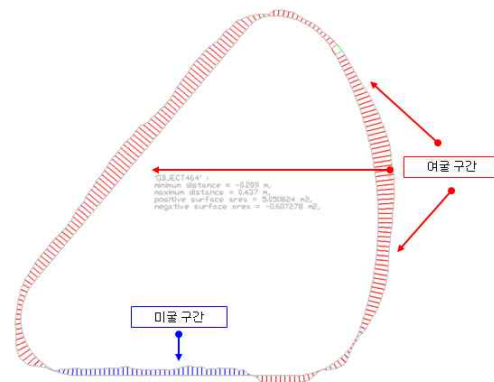
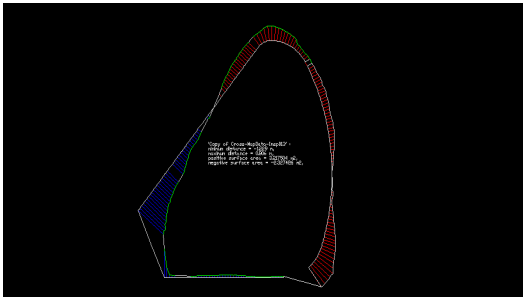
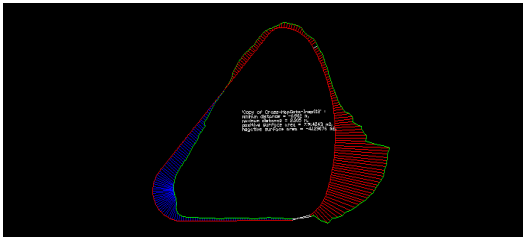


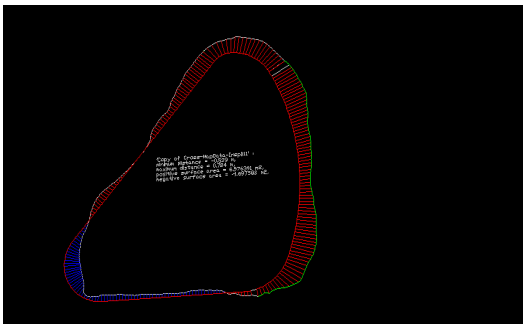
그림 8. 지하공간 단면측정모형



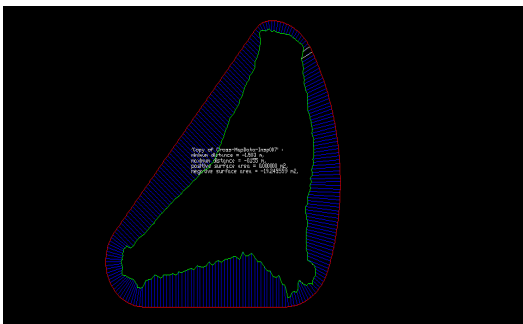
(a) BP지점 단면



(b) 5m 지점 단면



(c) 10m 지점 단면



(d) 65m 지점 단면

그림 9. 각 측정별 미굴 및 여굴 측정 단면

림 10과 같다. 상단 좌측영상은 위에서 본 터널 폭의 단면을 나타낸 것이고, 상단 우측은 3차원 영상이며, 아래 좌측은 측면에서 본 영상, 아래 우측은 터널 정면에서 나타낸 3차원 영상이다.

표 5. 미굴 및 여굴량 측정값

거리(m)	미굴 면적(m <sup>2</sup> )	여굴 면적(m <sup>2</sup> )	설계단면적(m <sup>2</sup> )
0	2.327426	3.217504	38.43
5	4.129076	7.914243	38.91
10	1.697582	6.976391	39.38
15	0.952949	5.865855	39.86
20	0.709158	4.106113	40.33
25	1.134940	3.220421	40.33
30	0.554002	4.327004	40.33
35	0.006531	5.508852	40.33
40	0.662193	4.503262	40.33
45	0.665463	4.452431	40.33
50	0.585621	5.360022	40.33
55	0.107191	5.039758	40.33
60	0.565451	4.957366	40.33
65	시공중	시공중	40.33
Sum	14.0976	65.4492	559.88

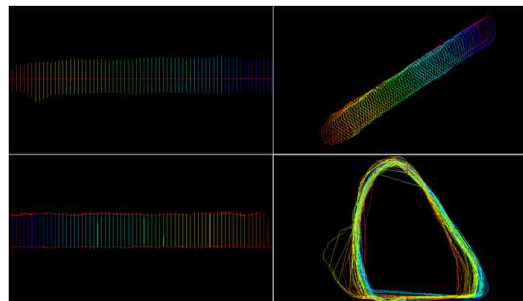


그림 10. 여러 각도에서 나타낸 스캔 영상

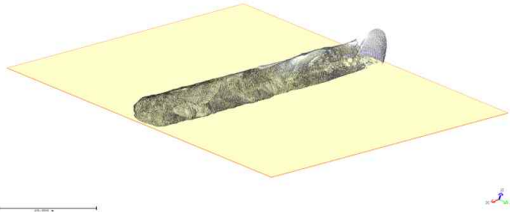
### 3.5 미굴 및 여굴 토공량 분석

연구 대상지역에 대한 미굴 및 여굴량에 대한 토공량을 결정하였다. 토공량계산은 3차원 모델링한 자료를 이용하여 기준 투시면을 만들고, 투시면을 기준으로 3cm×3cm (resolution 설정) 크기의 사각박스를 공간에 넣어 그 량을 측정하여 그림 11과 같이 토공량 계산을 수행하였다. 그림에서 (a)는 3차원 모형자료를 기준투시면에 나타낸 것이고, (b)는 토공량계산과정의 모형을 확대한 사진을 나타낸 것이다.

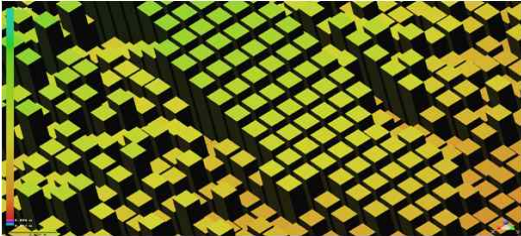
그림 12에서 (a)는 설계도에 대한 3차원 단면이고, (b)는 레이저스캐너를 이용한 3차원 스캐닝 데이터 단면이며, (c)는 설계도와 스캐닝 데이터를 중첩하여 나타낸 것이다.

연구대상지역의 스캐닝하여 얻은 데이터를 가지고 3차원모델링을 수행하였으며, 모델링한 외부영상은 그림 13과 같고, 내부형상은 그림 14와 같다.

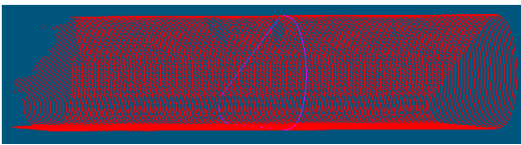




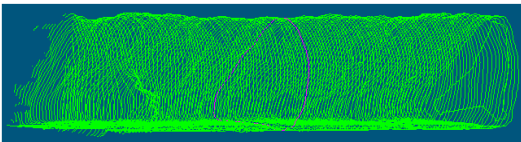
(a) 기준 투시면



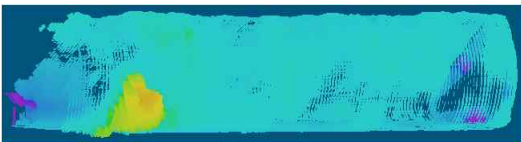
(b) 체적계산 확대사진  
그림 11. 체적계산 단면모형



(a) 설계도에 의한 3차원 단면



(b) 3차원 스캐닝 데이터 단면



(c) 설계도와 스캐닝 데이터의 중첩 단면  
그림 12. 3차원 스캔 데이터



그림 13. 3차원 외부 모형



그림 14. 3차원 내부 모형

표 6. 대상지역의 여굴 및 미굴량 관측값

측점(m)	미굴량(m³)	여굴량(m³)	설계물량(m³)
0~5	23.369	17.868	192.15
5~10	13.638	29.632	194.55
10~15	5.550	29.330	196.90
15~20	4.845	23.032	199.30
20~25	5.829	15.357	201.65
25~30	4.446	19.951	201.65
30~35	1.901	25.520	201.65
35~40	3.255	20.403	201.65
40~45	3.181	24.326	201.65
45~50	1.382	17.795	201.65
50~55	0.427	22.796	201.65
55~60	2.586	21.551	201.65
60~65	시공중	시공중	201.65
Sum	70.409m³	267.561m³	2,597.75

그림 13 및 14에서 보는 바와 같이 여굴 및 미굴 구간에 대한 위치를 알 수 있고, 그 값은 표 6과 같다.

표 6에서 보는 바와 같이 전체 미굴량은 70.409m³로 나타났고, 여굴량은 267.561m³로 나타났다. 미굴량은 전체설계물량의 2.71%로 나타났으며, 여굴량은 10.30%로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 교량 앵커리지 수직구 챔버를 설치하기 위하여 굴착한 지하 공동의 정확한 토공량을 결정하기 위하여 지상레이저스캐너를 이용하여 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 설계도면을 기준으로 변위량을 분석한 결과 10m 지점에서 49.2cm의 가장 많은 차이를 나타냈고, 20m 지점에서 11.1cm의 비교적 정확한 굴착값을 나타냈다.
2. 미굴 및 여굴 면적에 대한 분석결과 미굴량은 0~5m지점에서 가장 많이 나타났고, 여굴량은 5~15m지

점에서 많이 나타났으며, 전체 미굴 및 여굴면적은  $70.409\text{m}^3$  및  $267.561\text{m}^3$ 으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 2009학년도 충북대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었음.

#### 참고 문헌

1. 강준목, 이종신, 원재호, 박준규, 2010, 지상라이다에 의한 동굴의 3차원 공간정보 구축, 한국측량학회지, 제28권 제2호, pp.207-215.
2. 박세훈, 최득화, 한동엽, 2009, "지상레이저스캐너를 이용한 댐의 변위관측", 한국측량학회지, 제27권 제1호, pp.13-22.
3. 이재원, 윤부열, 2007, "3차원 레이저 스캐닝을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위관측", 한국지형공간정보학회, 제 15권 2호, pp.67-76.
4. 한국도로공사, 2001, 도로설계요령(제4권 터널), pp.18-25.
5. Blais, F., Beraldin, J. A. and El-Hakim, S. F., 2000, Range Error Analysis of an Integrated Time-of-Flight, Triangulation, and Photogrammetry 3D Laser Scanning System. Proc. 18th Int. Symp. DIPA 2001, pp.445-453.