터널 정보화 시공을 위한 계측 최적방안 분석

Analysis of optimized survey methods for tunnel construction using IT

최원일* 조국환** 박성욱***
Choi, Won Il Cho, Kook Hwan Park, Sung Wook

ABSTRACT

D&B method in tunnel construction requires accurate and rapid measurement of the ground movement, which of essential for feedback analysis. Recently, survey technique adapting IT is getting more and more emphasized in the field of construction and tunnel survey also follow the same trend. Case study and adaptability of IT technique for tunnel survey will be discussed in this study. The application of laserscannig method in the field of tunnel construction was reported in several advanced country including Austria and Japan. Survey for the crown and shoulder movements by IT survey method was conducted and the results were compared to those do the conventional method. The pipe-roof, grouting, ring-cut are installed in the this site to prevent expected large ground settlement. The result show that laserscanner system is prefered rather than conventional method in that better understanding for the displacement condition and origin condition was liable by the lasersacnnig method. IT survey solution makes if possible to execute more economic and safe construction.

key words : tunnel survey, feedback analysis, laserscanner

1. 서 론

D&B(drill & blast)공법은 터널 시공시 현장지반조건에 대한 신속한 대응능력이 장점으로서, 정보화 시공에 의한 feedback analysis가 필수적이며 이때 터널변위에 대한 신속하고 정확한 계측이 요구된다. 최근 계측분야도 첨단 IT기법을 이용한 정보화 계측의 중요성이 대두되고 있으며, 터널 계측분야에서도 활용이 증가하고 있는 추세에 있다.

본 연구에서는 터널내공변위 계측에 있어서의 첨단 IT기법을 이용한 계측사례와 적용성을 분석하고자 한다. 적용성 평가를 위해 00지하철 현장에서 내공 및 천단침하 비교 계측실험을 실시하였다. 본 현장은 30~40m의 풍화토 지반의 토피고를 갖는 현장으로 터널굴착에 의한 대규모의 내공변위가 발생되었으며, 링컷굴착, 강단다단 및 보강그라우팅이 실시되고 있다.

현장 실험 결과 기존 광파측량기가 한정된 포인트의 상대거리를 산출하고 포인트와 포인트 사이에 대해서는 보간을 하는 한계를 가지는 반면, 레이저스캐너를 이용하면 터널내공변위 발생의 3차원적인 분포 경향을 파악할 수 있는 장점을 가지는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 관리자로 하여금 터널의 거동양상에 대한 입체적인 분석자료를 제시함으로써 대책수립에 보다 효율적인 것으로 판단된다. 따라서 터널 시공시 기존방법에 비해 보다 안전하고 경제적인 시공에 기여함으로써 첨단 IT기법을 응요한 레이저스캐너의 현장 적용성이 높다고 판단된다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정, 한국철도시설공단 차장, cwiktx@yahoo.co.kr
** 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수
*** (주) 넥스지오, 부장, 석사

2 터널 레이저스캐너 시스템 개요

2.1 하드웨어

현장부분의 하드웨어는 스캐너, 노트북, 전력공급장치, 손수레로 구성된다. 레이져 스캐너는 오스트리아의 Riegl사의 LMS-Z360i이며 1~200m 거리의 대상구조물에 대해 초당 12,000 포인트의 자료를 획득할 수 있으며, 자세한 장비사양은 다음 표 1과 같다. 일반적으로 터널 현장이 분진, 진동, 지하수 누수, 습도, 낙석발생 등으로 인해 정밀장비에 대해서는 열악한 사용조건임을 감안할 때, 터널 레이저스캐너는 야외에서 사용되는 일반 스캐너에 비해 우수한 내구성을 요구한다. 특히 터널에서의 분진, 누수 및 낙석의 위험조건을 고려할 때, 견고한 하우징(housing) 및 방수기능은 필수적 요구 사항이다.

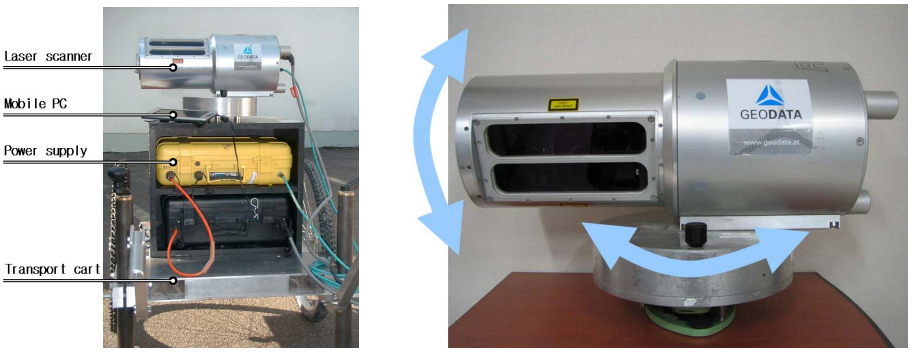

그림 1. 하드웨어 구성

본 하드웨어 시스템의 이동을 위해 픽업트럭에 거치하거나, 그림 1과 같이 손수레에 거치하는 두 가지 방법이 사용된다.

표 1. 레이저스캐너 주요 장비사양

항목	사양
모델명 (Model)	LMS-Z360i
해상도 (Measurement resolution)	5 mm
측정범위 (Measurement range)	1 ~ 200 m
레이저안전등급 (Eye safety class)	Laser class 1
측정속도 (Measurement rate)	12,000 pts/sec
연결 (Interface)	Ethernet TCP/IP, 10/100MB/sec
중량 (Weight)	approx. 13 kg

손수레의 경우 측정시 원위치 고정을 위해 스크류식 봉이 바닥을 지지하도록 설계되었으며, 노트북과 스캐터간의 고속 데이터 통신을 위해 TCP/IP 포트(10/100MB)를 사용한다.

2.2 현장 운용

터널 건설현장에서 중요한 요소가 작업공정의 관리임을 감안할 때, 계측시스템 현장운용 소요시간은 시스템의 효용성을 판단하는 주요 사항이다. 본 시스템의 경우 발파, 환기 및 버력처리, 지보공 설치, 천공으로 이어지는 일반적인 터널 건설공정 중 버력처리 후 지보공 설치전의 5~7분 사이에 작업을 마칠 수 있어 전체 공정에 영향을 주지 않는다. 또한, 측정된 데이터가 즉시 사무실의 컴퓨터로 전송되어 30분 정도 소요되는 분석작업을 마칠 경우, 관리자는 발파 후 약 1시간 내에 당회 발파 단면의 정확성 및 발파작업의 적정성여부를 판단할 수 있다.

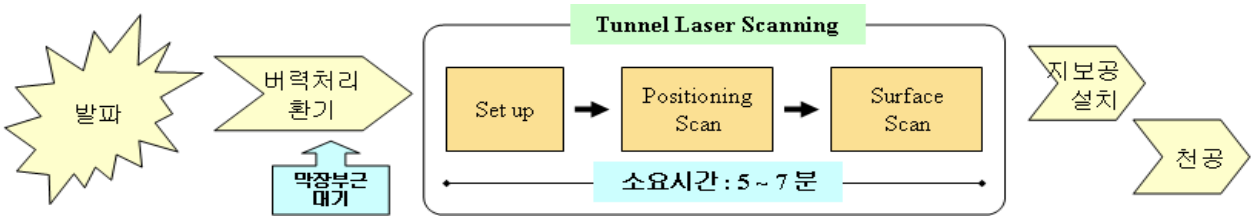

그림 2. 측정 과정 순서도

스캐닝 작업은 현장설치, Positioning scan, surface scan으로 구성되어진다. 설치 지점에서 막장 후방으로 주시하였을 때, 기준점 측량을 통해 절대좌표를 이미 알고 있는 최소 4개 이상의 기준점(반사타겟)이 시야에 확보되어야 하며 한다. 설치 및 기준점 점검이 완료되면 레이져스캐너의 설치 위치파악을 위한 Positioning scan 작업을 실시한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 Positioning scan을 실시하게 되면 기준점 DB에서 자동으로 기준점을 인식하게 되며 fine scan 과정을 통해 기준점의 변위발생여부 및 정확한 기계위치를 파악하게 된다.

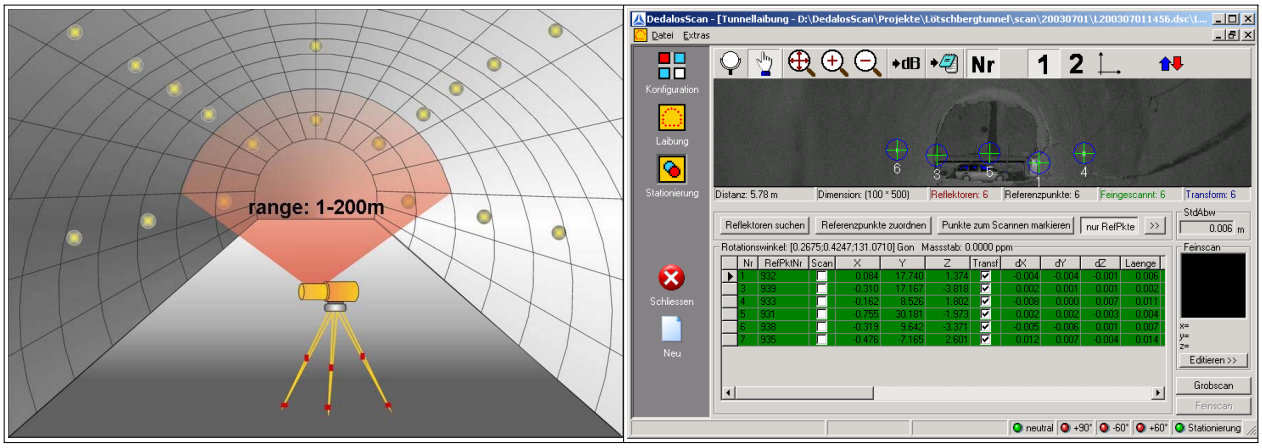

그림 3. 좌:Positioning Scan, 우:결과

Positioning scan시에 스캐너는 터널축과 90도 를 이루며, Surface scan을 위해서는 스캐너를 0도 위치로 회전하여 고정시킨다. 분석자료 획득을 위한 Surface scan을 종료하면 그림 4과 같이 숏크리트면과 발파면이 Intensity 영상(Gray scale image)으로 얻어진다. 내업작업시 숏크리트 타설면과 암반노출면의 각 영역을 분리하여 해당 DB에 병합 저장한다.

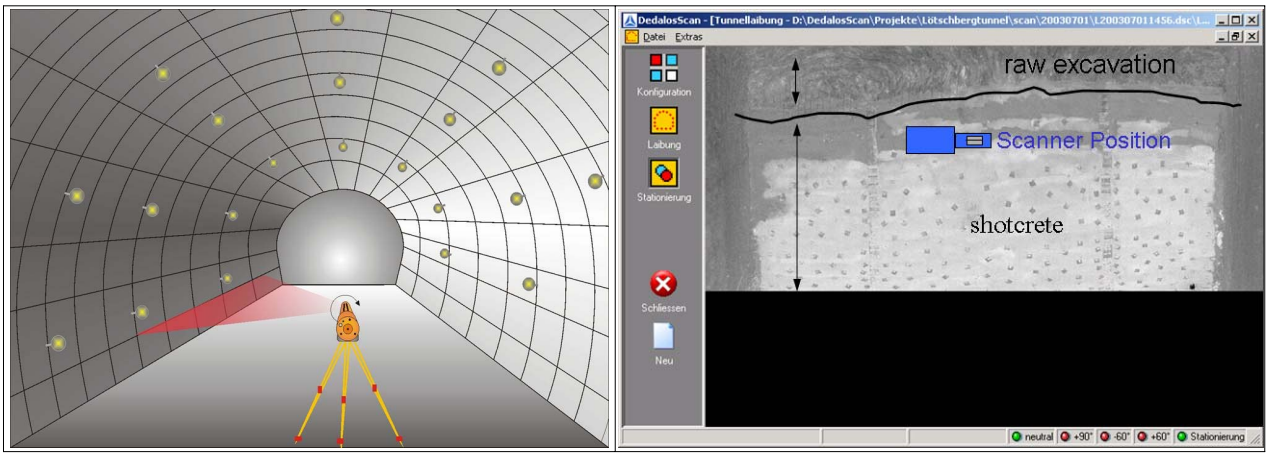

그림 4. 좌:Surface Scan, 우:결과

3. 분석결과

3.1 여굴량 미굴량 분석

레이저스캐너에서 발생된 광원은 대상물체의 표면의 거칠음, 습윤 상태에 따라 그림 5.의 좌와 같이 흡사 흑백사진 형태의 전개도 정보가 취득된다. 그림 5의 좌는 숏크리트 타설 후 표면의 3차원 입체영상을 전개도 형태로 보여주고 있다. 그림5의 우는 동일지점에서의 숏크리트 타설 후 두께분포 양상을 컬러화 하여 도시하고 있다. 0.6m 간격의 강관다단 설치에 따른 연속적인 우산모양의 숏크리트 타설 상태와 숏크리트 타설 시간차에 따른 명암차가 잘 관찰되고 있다. 이로써 현장 관리자는 위치에 따른 숏크리트 타설두께를 정량적으로 파악할 수 있다.

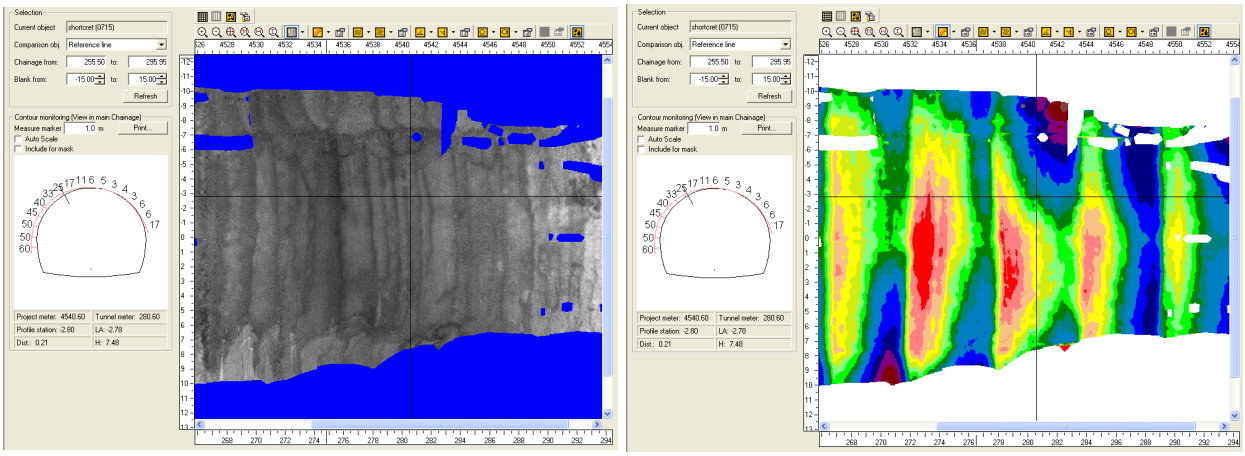

그림 5. 좌:쇼크리트면 3차원 전개도, 우:여미굴 발생 현황 분석

그림 6은 STA. 4+540 부근의 단면 프로파일로써 설계단면과 레이저스캐너로 측정된 숏크리트 타설면과의 위치 및 두께를 단계별 컬러화 하여 보여준다. 좌 그림의 경우 전반적으로 발파면이 설계단면에 비해 우측으로 치우쳐 굴착되었음을 보여주고 있다. 그림 6. 우의 그림은 천정부에서 약간의 미굴이 발생된 현황을 보여주고 있다. 따라서 시공관리자는 각 섹션별 미굴 및 여굴 위치, 추가 굴착 물량 등을 정량적으로 파악할 수 있다. 또한 기존 계측장비가 일정 점과 점사이의 거리나 좌표를 산정하고 두 점사이에 대해서는 선형보간을 하여 추정하는 반면, 레이저스캐너를 이용하면 실제 측정데이타로 정확한 분석이 가능하다.

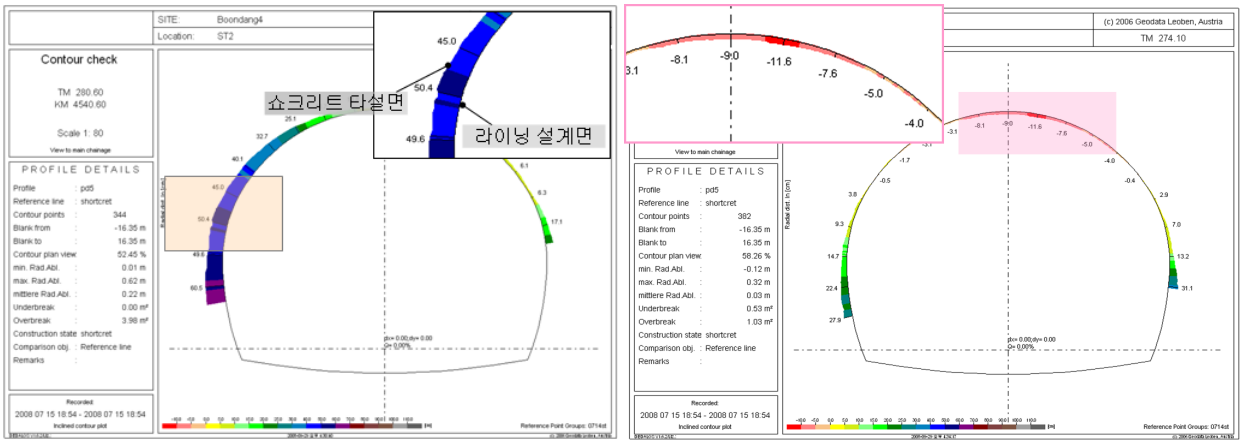

그림 6. 좌:여굴량 분석, 우:미굴량 분석

3.2 천단 및 내공변위 계측 결과 분석

본 현장은 풍화토층에 의한 연역지반 출현으로 터널 굴착에 따른 지표침하 및 내공변위가 발생되었다. 따라서 현장 직상부 도로주변에 철근봉을 지표에 설치하고 이를 레벨측량기를 이용한 수동측량을 주기적으로 실시하였다. 그림 7은 STA. #1 환기구 부근에서의 지표 침하 계측그래프로써 총 10cm이상의 침하가 단계별로 발생되었을 알 수 있다. 각 단계별 침하 발생요인을 살펴보면, 환기구 개착에 따른 침하, 터널의 단계적 굴착에 따른 즉시 침하, 장기적인 지하수위 저감에 따른 침하 등으로 분석할 수 있다.

일반적으로 지표침하량과 터널내부의 천단/내공변위량은 터널공사의 진행 경과에 따라 변화양상이 유사하게 나타나는데, 실례로 그림 7에 본 현장의 STA. #1 환기구 STA.4+550 지점의 지표침하 계측자료와 레이져 스캐너를 이용한 터널내부 천단/내공변위 계측자료를 비교하여 나타내었다. 두 그래프에 표시된 A~D는 동일한 계측시기를 나타낸다. A는 본 STA.4+550 지점에 최초로 굴착이 이루어져, 레이져 스캐너를 이용한 터널내부의 천단/내공변위 계측이 시작된 시점이며, B는 인접한 구간에 진행된 하반 굴착작업의 영향으로 소폭의 지표침하 및 천단/내공변위가 발생된 시점이다. C는 중단되었던 상반 굴진작업이 재개되면서 지표침하 및 천단/내공변위가 큰 폭으로 발생되기 시작한 시점이며, D는 굴진작업의 영향권에서 멀어지면서 차츰 지표침하량 및 천단/내공변위량이 수렴되는 단계이다.

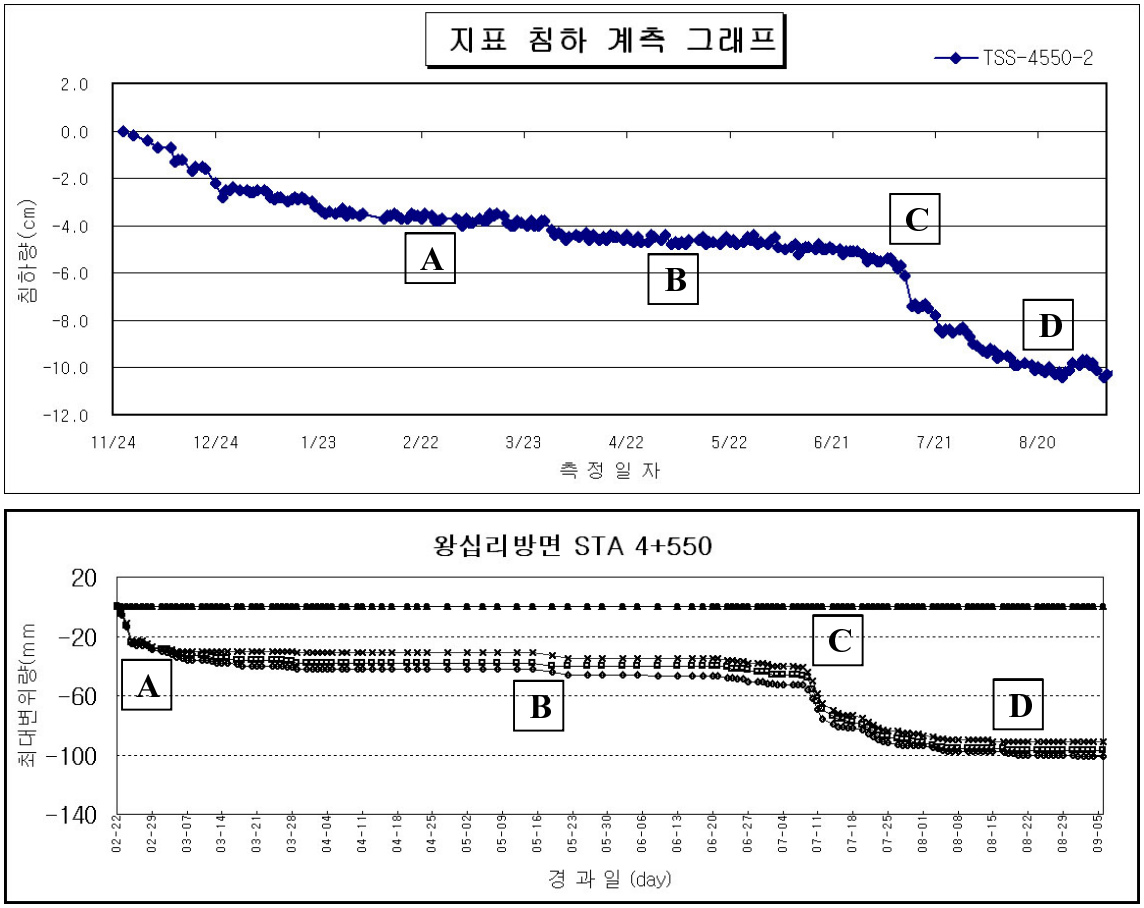

그림 7. 상:지표침하 그래프, 하:터널내공변위 그래프

이와 같이 터널 공사 현장에서 레이져 스캐너를 이용하면 공사의 진행 단계에 따라 공사 안정성을 판단할 수 있는 정확한 계측자료를 얻을 수 있어 현장의 지반조건과 변위 발생규모에 따라 적절히 대처하는데 적용성이 높다고 판단된다.

4. 결론

현장 실험 결과 기존 광파측량기가 한정된 포인트의 상대거리를 산출하고 포인트와 포인트 사이에 대해서는 보간을 하는 한계를 가지는 반면, 레이저스캐너를 이용하면 터널내공변위 발생의 3차원적인 분포 경향을 파악할 수 있는 장점을 가지는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 관리자로 하여금 터널의 거동양상에 대한 입체적인 분석자료를 제시함으로써 대책수립에 보다 효율적인 것으로 판단된다.

또한 최대 변위량 발생지점에 대한 위치, 변위 발생영역을 정확히 분석함으로써 경제적인 보강량 산정 및 시공에 도움을 주는 것으로 판단된다. 따라서 터널 시공시 기존방법에 비해 보다 안전하고 경제적인 시공에 기여함으로써 첨단 IT기법을 응요한 레이저스캐너의 현장 적용성이 높다고 판단된다.

참고문헌

1. 윤운상 외(2005), “레이져 스캐닝을 이용한 단층대 구간 암반사면의 붕괴특성 분석”, 2005년 한국지반공학회 사면안정 학술발표회 논문집, pp.87～95.
2. 이승호(2005), “3차원 영상처리를 이용한 암반사면 절리측정연구”, 대한목학회논문집, 2005년 제25권 2C호, pp.79～84.
3. RIEGL(2006), "Datasheet LMS-Z360i", RIEGL, pp.2～5.
4. RIEGL(2005), "System Configuration LMS-Z360i", RIEGL, pp.21～35.
5. GEODATA(2006), "Arbeitsanweisung Tunnelscanner Auswertung", GEODATA, pp.5～10.