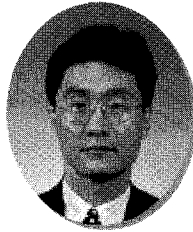


토목구조물의 3차원 디지털 위치정보 활용



조 성 하
(주)다산이엔지 기술연구소 전무
shacho@kornet.net

1. 서론

대상 지역 및 구조물에 대한 공간정보를 취득하여 설계에 반영하고 기록물로 보관하며, 좀 더 나아가서 이를 거동분석, 방재기술까지 연결시킬 수 있는 필요성이 대두되고 있다. 본 고에서는 3차원 공간정보를 취득할 수 있는 기법에 대하여 고찰할 예정인데, 디지털 카메라를 활용하는 영상기술, 레이저 스캐너 및 기타 측량기법 등을 대상으로 한다. 먼저 3차원 디지털 위치정보를 취득하여야 하는 배경에 대하여 논하고, 적용기술을 특성별로 설명하고자 한다.

2. 3차원 디지털 위치정보의 특성 및 적용분야

대상구조물의 3차원 위치정보는 x, y, z 정보 뿐 만 아니라 취득시간 및 주변 구조물과의 연계성을 모두 고려한 종합적인 위치정보를 말한다. 과거에는 이러한 정보를 얻

기 위해 재래식 측량작업을 시행하였으나, 측량기술의 발달로 인해 짧은 시간에 3차원 공간정보를 취득하는 기법이 소개되고 있다. 따라서 기존에는 불가능했던 3차원 디지털 정보를 활용하여 측량에 직접 활용되거나 이를 응용하여 암반불연속면 관측과 같이 지질분야, 구조물의 상대 거동을 파악할 수 있는 계측분야, 기존의 구조물을 도면화하는 역공학(reversed engineering) 분야에 활용도가 높아지고 있는 상황이다.

2.1 측량분야에의 활용

국토의 약 70%가 산악지인 우리나라의 지형학적 상 황에 활용부지 면적을 최대로 활용하려는 일련의 시도가 지속적으로 수행되고 있다. 무분별한 도심개발의 결과로 노후화된 도심지를 재생하려는 움직임이 일고 있다. 방대한 규모의 개발 예정 대상지(그림 1, 2)에 대한 공간정보를 취득하여 설계에 반영하고 기록물로 보존할 필요가 있는데, 대체로 대상규모가 방대하여 전체 공간에 대한 정

기술기사 2

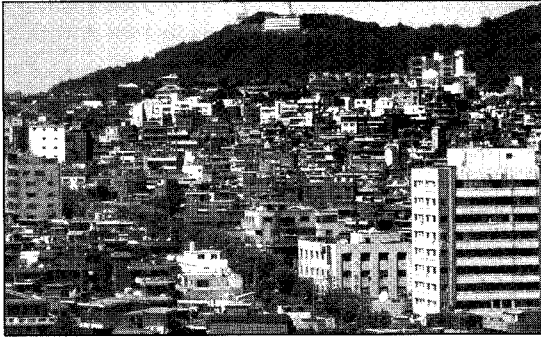


그림 1. 한남동 뉴타운 개발대상지



그림 2. 한남동 뉴타운 개발예정 조감도

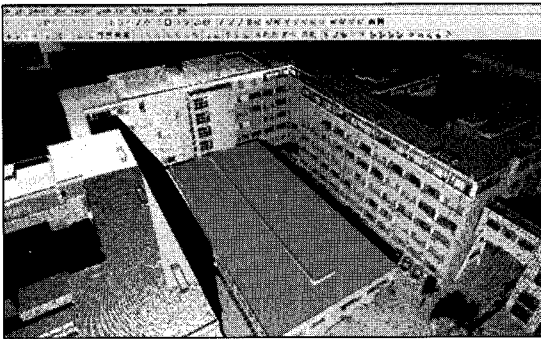


그림 3. 건축구조물의 point cloud data

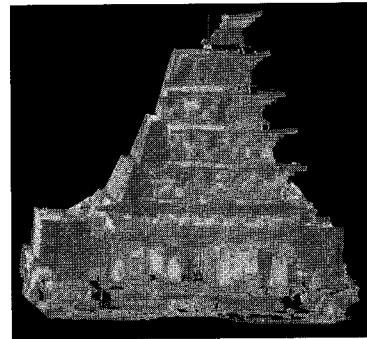


그림 4. 익산 미륵사지 석탑 point cloud data

보를 빠른 시간에 취득할 수 있는 측량방법이 많지 않은 실정이다. 이와 같은 상황에서 대상규모가 큰 지역에 대하여 지상 또는 항공 레이저 스캐너가 활용되고 있다.

특히 지상 레이저 스캐너를 통해 취득되는 디지털 정보는 지상대상물에 대한 상세한 점군(點群: point cloud)(그림 3) 형태로 저장되고, 측정구간별 데이터를 합성하면 전체 구조물 및 지역에 대한 3차원 지형공간정보를 취득하게 된다. 이와 같이 얻어진 데이터는 디지털 정보이므로 가공이 용이하며 필요에 따라 평면도, 단면도 등의 자료로 변환이 가능하다. 이러한 기법은 문화재의 보존 및 보수 분야에 이미 활용되고 있으며 국내에서도 익산 미륵사지 석탑, 남대문 등의 문화재 관리에 활용되고 있다.

2.2 토목·지질 분야에의 활용

앞서 설명한 지상 레이저 스캐너를 활용하여 구조물의 위치정보를 용이하게 확보할 수 있는 기법을 사용하여 구조물의 형상을 디지털화하는 것뿐만 아니라 노출되어 있으나 접근이 어려운 암반 불연속면의 조사(그림 5)가 가능하다. 아울러 기간차이를 두고 측정하여 상호 중첩시켜 비교할 때, 대상물의 거동변화(그림 6), 물량 변경 등의 토목분야에 활용이 가능하다.

지상 레이저 스캐너와 더불어 고품질의 디지털 카메라가 일반화되면서 중량이 크고, 데이터 가공에 시간이 많이 소요되는 지상 레이저 스캐너의 단점을 극복할 수 있는 지상 디지털 카메라의 활용도 또한 높아지고 있다. 이는 3차원 대상물을 점의 형태로만 나타낼 수 있는 레이저 자료에 비하여 대상물의 texture 정보도 함께 취득할 수 있어 레이저 자료와 융합하여 특히 암반사면의 조사 분야

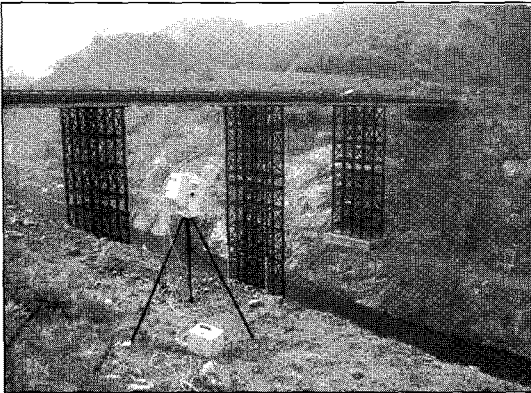


그림 5. 임반불연속면 조사

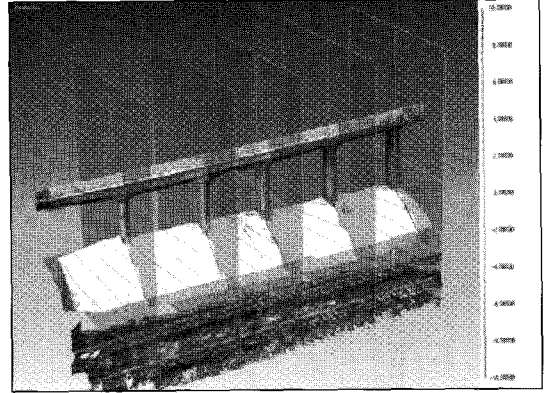


그림 6. 구조물의 거동변화

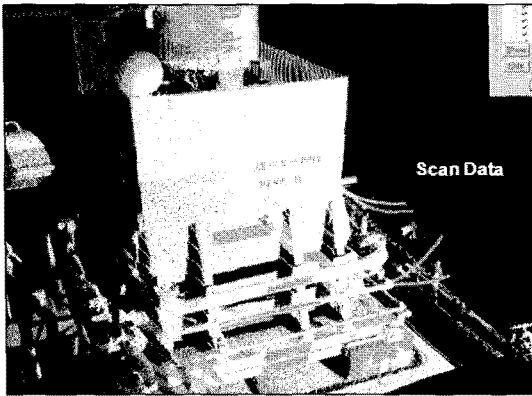


그림 7. 스캔 데이터



그림 8. 3차원 모델링

에 적극적으로 적용되고 있다.

2.3 플랜트 분야의 활용

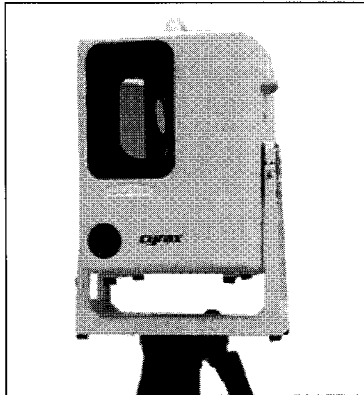
역공학이 가장 활용도가 높은 분야중의 하나로 각 종 배관의 상대위치에 대한 위치정보를 디지털화하고 이를 근거로 재배치, 보수 및 보강에 활용(그림 7, 8)되고 있다. 특히 플랜트는 필요에 따라 증설, 삭제되는 공정이 빈번하게 발생하고 있어서 각 단계를 종합하여 배관상태를 조망할 수 있는 기법이 필수적이기 때문에 최근의 3차원 취득기술의 활용이 필수적이라 할 수 있다.

3. 3차원 디지털 위치정보 취득기술

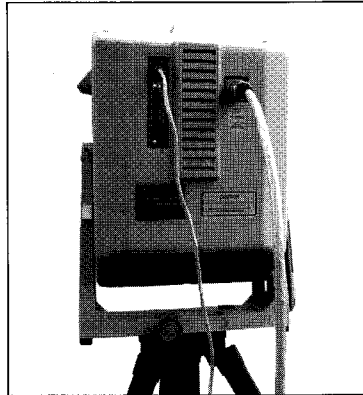
3.1 지상 레이저 스캐너

초기의 3차원 지상 레이저 스캐너는 기계분야와 산업디자인 분야에 활용 할 목적으로 개발되었다. 기존의 제품의 형상 정보를 얻어내어 CAD로 재설계하는 목적으로 사용했으며, 근래 들어 초정밀 혹은 광대역 스캐너가 개발되어 토목, 건축, 산업디자인, 미술, 영화, 광고, 의료, 문화재 등 여러 분야에서 사용하고 있다. 이 기술은 초기 단계를 벗어나 여러 분야에 활용되고 있으며, 스캐너와 스캔된 데이터를 가공하는 소프트웨어의 지속적인 발전으로 응용 분야는 더 다양해질 것으로 보인다. 지상 사진 한 장으로 2차원 texture 정보를 취득할 수 있지만 3차원 지상 레이저 스캐너는 대상물의 정확한 3차원적 형상정보와

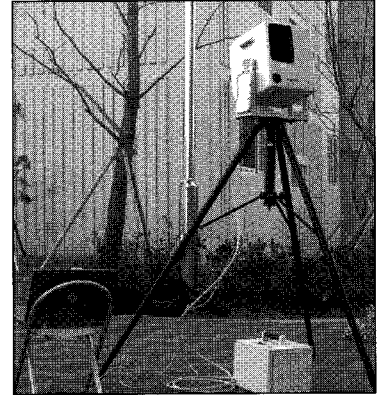
기술기사 2



스캐너 정면



스캐너 후면



스캔 시스템

그림 9. 지상 레이저 스캐너

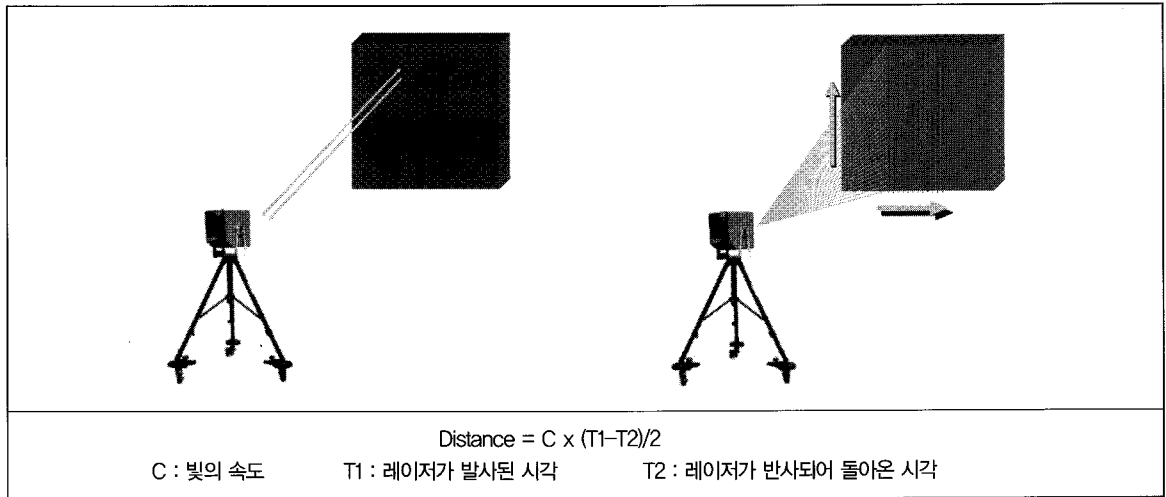


그림 10. Laser Scanning

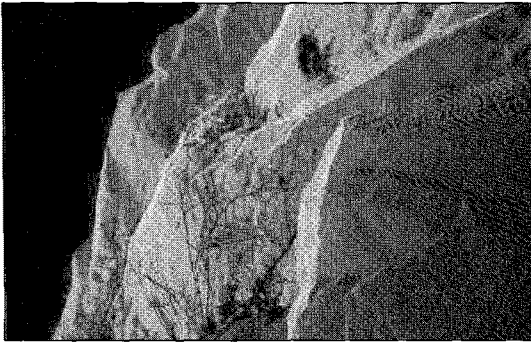
데이터 분석이 가능하다.

지상 레이저 스캐너 본체를 일반 측량용 삼각대 위에 올려놓고 사용하며, 시스템은 노트북 컴퓨터로 제어하고 스캔데이터를 저장한다. 순간적으로 짧은 시간에 레이저 광선을 대상물에 발사하여 스캐너로 되돌아오는 시간을 관측하여 3차원 디지털 형태의 형상을 얻는다(그림 9).

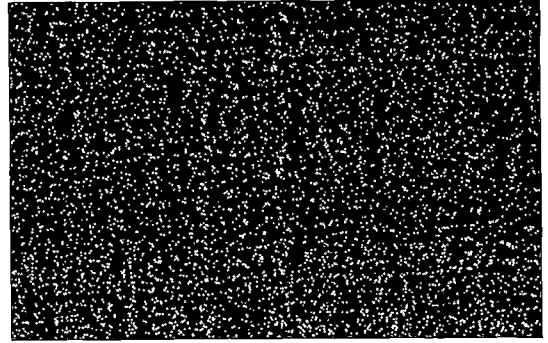
대상물에 반사되어 돌아온 레이저는 스캐너 본체 내부의 2개의 반사경으로부터 정확한 벡터값을 산출하여 컴퓨터 3차원 공간상에 물체의 표면을 구성하는 수많은 측점

들인 초기 x,y,z 점 좌표들을 생성한다. 이 수많은 점군들 레이저 스캐너로부터 취득된 point cloud 라고 한다. 원리는 그림 10에 나타난 것과 같이 빛의 속도로 발사된 레이저가 대상물에 부딪혀 되돌아 오는 시간과 각을 이용하여 대상물의 정확한 3차원 위치를 구하게 된다. 그림 11은 취득된 3차원 point cloud 자료를 나타낸다.

한 번 스캔할 때 스캔 범위는 장치 종류에 따라 0°~360°까지 적용이 가능하며 측정 가능 거리는 기계의 종류에 따라 틀리지만 최대 1 km 전후이다. 레이저를 1초에



(a) Point cloud



(b) Point cloud 확대

그림 11. Point Cloud 이미지

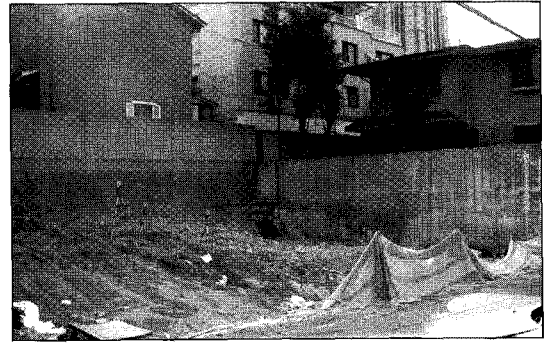


그림 12. 역삼동 현장

7000번 정도 발사해 되돌아오는 시간을 측정하여 데이터를 얻으면 오차가 6mm 정도 생긴다. 하지만 이러한 데이터를 후 가공하게 되면 오차는 2mm 정도로 줄어들게 된다. 사용되는 레이저는 녹색으로 인체에 무해하며, 어두운 야간에서도 측정이 가능하다.

도심지 굴착공사는 대부분 근접시공이 불가피하다. 공사전후에 공사현장과 인접구조물에 대한 공간정보를 취득하여 축적하게 되면 인접 구조물에 대한 안전성 유지 및 민원인 간의 법적분쟁의 증거자료로 활용이 가능하다. 다음 그림은 신축 공사 현장과 주위 건물들을 대상으로 레이저 스캔을 실시하고 As-built 드로잉 과 모델링 작업을 통해 시공 전 현장과 주변구조물의 현황도와 3차원 가상 모델을 획득한 사례이다. 현황도를 획득하는 3차원 모델

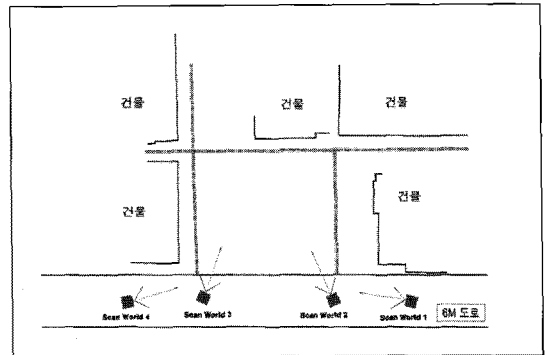


그림 13. 스캔위치도

은 스캐너에서 획득한 포인트 데이터를 도면화 과정을 거치지 않고 리버스 엔지니어링 소프트웨어의 모델링 연산을 통해서 직접 획득하여 가공하였다. 작업 현장의 모습은 그림 12와 같다. 레이저 스캔은 그림 13에 보이는 4개 지점

기술기사 2

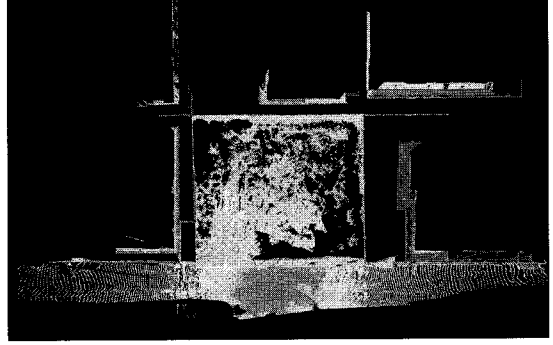
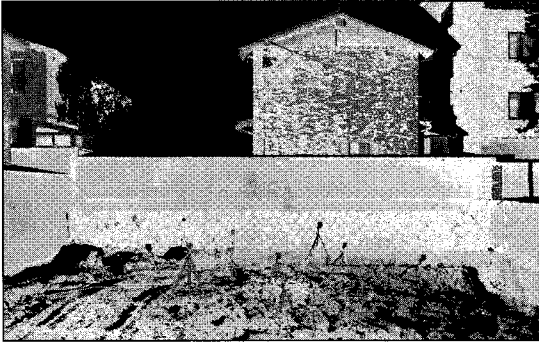


그림 14. 스캔 이미지

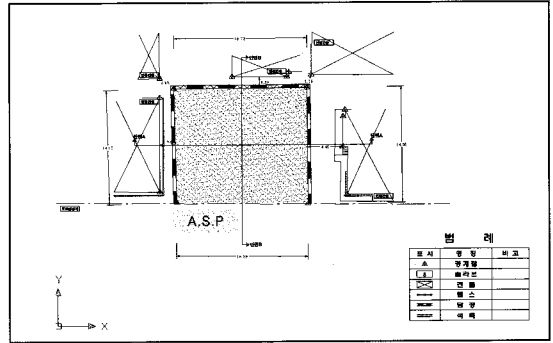
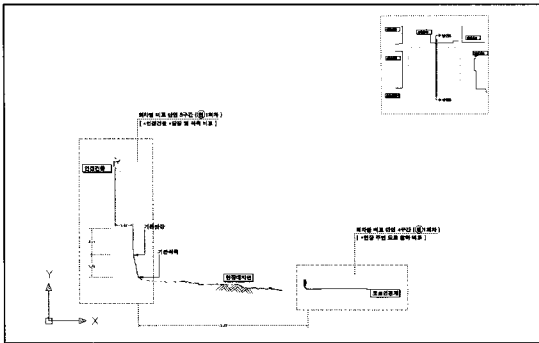


그림 15. 단면 작업

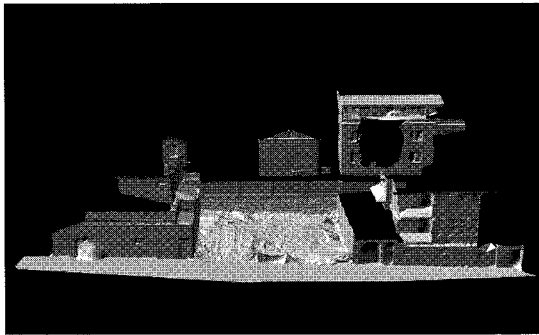


그림 16. 3D 폴리건 모델

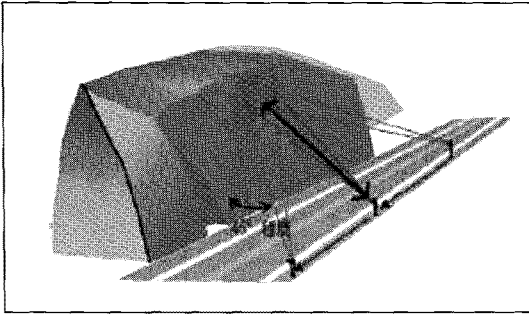
대되고 있다. 정밀 3차원 사진측량 시스템은 촬영위치를 달리하여 촬영한 복수의 디지털 영상으로부터 대상물의 3차원 좌표를 디지털 사진측량기법으로 산출하는 것이 가능하다. 정밀 3차원 사진측량은 대상물로부터 떨어진 위치에서 다수의 관측점을 동시에 관측할 수 있어 사면 거동이나 터널 변위 계측에 효과적인 계측방법이다. 또한 현장에서의 측량이나 조사 시간이 현저히 짧으며, 공사의 방해나 위험 장소에의 직접적인 출입이 적다. 디지털 카메라의 기술특징을 기술하면 다음과 같다.

에서 1회씩 실시하였으며 총 소요 시간은 3시간 이다.

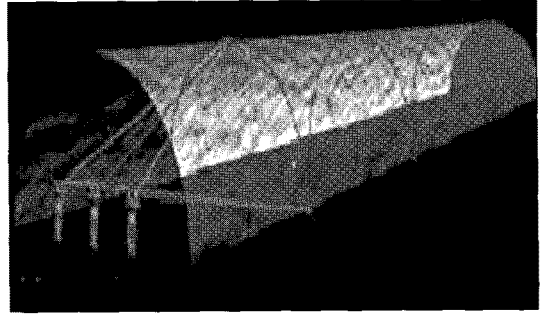
3.2 디지털 카메라

사진측량시스템을 통해 경제적이고 정확한 측정 데이터의 취득이 가능하며 다양한 응용분야로 사용범위가 확

- ① 렌즈 왜곡 등을 시스템에서 해석적으로 보정하는 것이 가능하기 때문에 계측전용의 고가의 특수 카메라는 필요치 않다.
- ② 현장에서는 사진을 촬영하는 것만으로 작업이 끝나므로 계측기기의 이동이나 설치에 걸리는 시간을 대



법면, 사면 등의 거동 감시



터널의 변위 계측

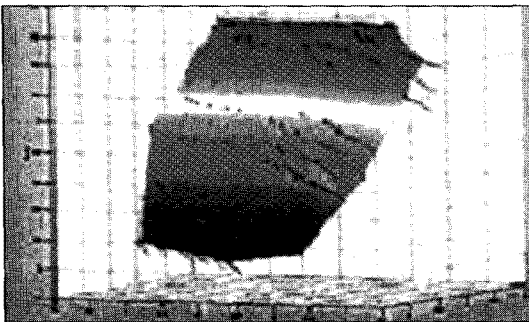


사진 계측 시스템에 의한 3차원 좌표 산출 및 해석 예

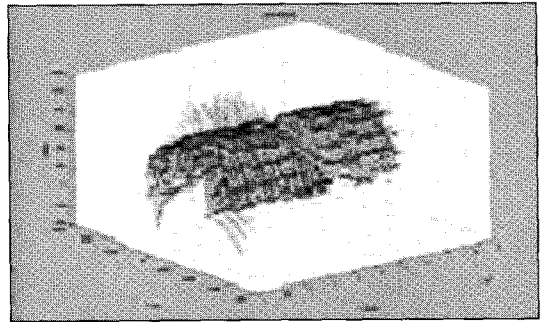


그림 17. 디지털 카메라의 활용

폭 단축할 수 있다.

- ③ 다수의 계측점을 동시에 계측하는 것이 가능하기 때문에 종래의 광파기 등에 의한 계측과는 달리 법면, 사면이나 터널 벽면의 거동을 면의 개념으로 계측하는 것이 가능하다.
- ④ 사진에 찍히는 범위의 계측은 언제라도 필요에 따라 바로 계측하는 것이 가능하며, 이전의 계측치와 시스템적으로 비교 분석하는 것이 가능하다.
- ⑤ 일반적인 지상측량의 결과가 대상물에 대한 위치, 크기, 형상에 대한 정보만을 담고 있는데 반하여, 사진측량은 위치정보와 함께 산림조사, 환경, 수문, 기상, 지질, 토지이용, 도시변화 등에 대한 특성을 조사할 수 있다.
- ⑥ 한번의 사진 측량 과정을 통하여 제작된 사진은 대

상물의 이동이나 변화에 대한 자료를 지속적으로 추적할 수 있으며 순간적인 상황에 대해서도 사진으로 촬영된 경우 지속적인 활용이 가능하다. 즉 공사 전후 변화 상황의 점검, 홍수에 따른 피해 범위의 조사, 산불 피해 조사, 식생변화의 조사, 오염원의 추적, 구조물의 변형 등에 지속적인 관리를 할 수 있다.

위와 같은 특징을 살려서 토목구조물을 대상으로 활용할 경우, 터널 굴착 시의 정보화 시공(터널내공, 천단 변위 계측 등), 노후 터널의 변형 감시 및 유지 관리, 붕괴 위험 개소의 모니터링, 지형의 모델화, 지반의 유동량 평가, 하천 구조물 등의 침하 측정, 구조물의 변형 및 균열 진행의 모니터링, 평면도, 입체도, 조감도 등의 간편한 작성 등이 가능하다(그림 17).

우리나라는 지형적 특성에 의해 매년 장마와 태풍내습

기술기사 2

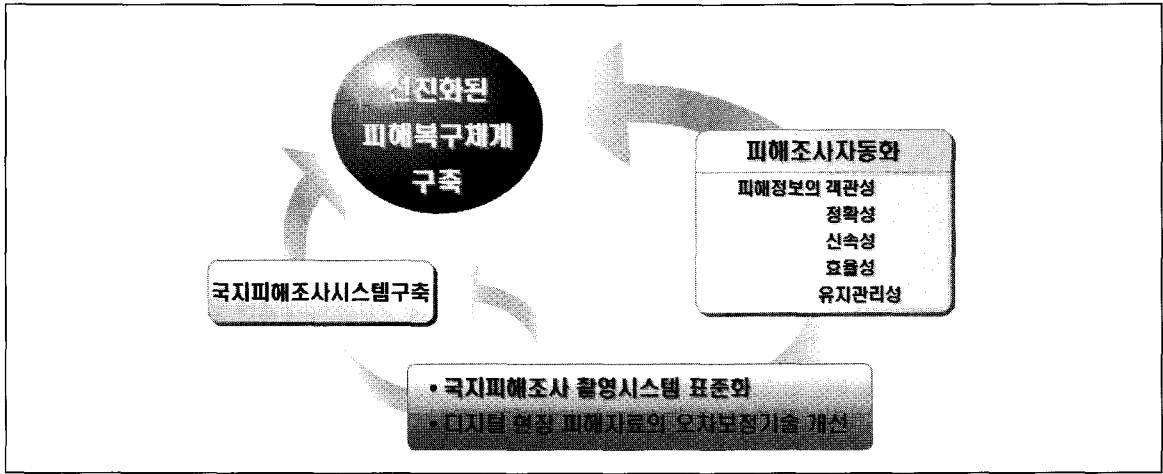


그림 18. 디지털 영상 자료를 활용한 피해복구체계 구축 개념도

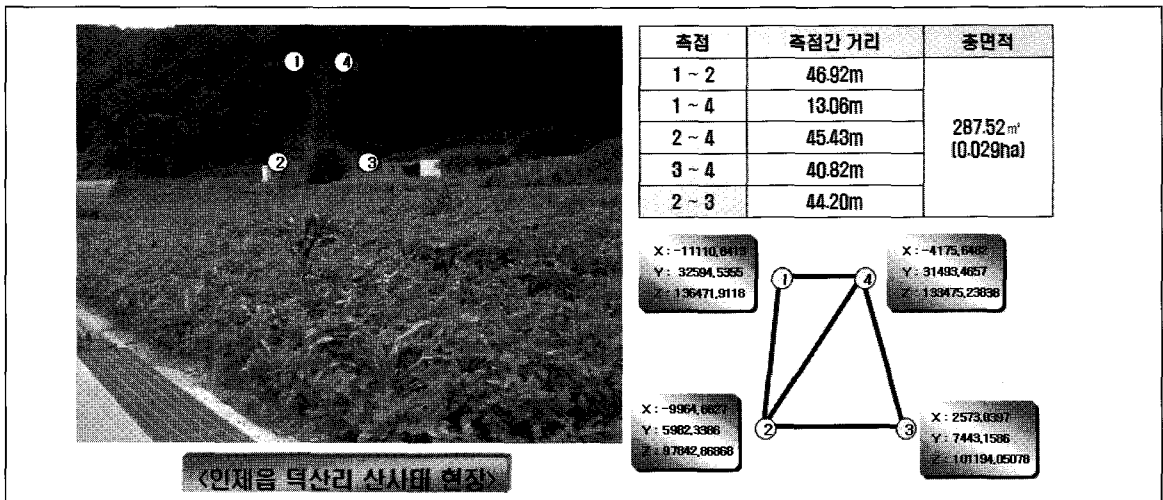


그림 19. 디지털 영상을 활용한 산사태 현장의 피해규모 파악

을 경험하고 있다. 2002년 루사, 2003년 매미 등의 초대형 태풍을 비롯한 국지성 호우로 인해 산사태, 교량붕괴, 제방범람등의 피해가 발생하고 있다. 이와 같이 피해가 발생할 경우, 신속한 복구와 재발방지를 위해 피해규모를 조사할 필요가 있다. 재해의 특성상 신속한 규모파악과 접근 용이성을 필요로 하는데 이때 디지털 사진측정 기술이 효과적으로 사용될 수 있다. 즉 재해현장의 영상정보를 객관적이고 정확한 재해정보로 구현하여 선진화된 재

해복구 시스템을 갖추는 개념으로서 이를 도식화하면 그림 18과 같이 표현할 수 있다.

실제 산사태가 발생한 지역은 그림 19에서 보는 바와 같이 규모면에서 접근이 용이하지 않을뿐더러 피해 직후에는 안전상 직접 측량하기가 어렵다. 디지털 카메라를 통해 사진측량 기법으로 필요지점의 위치정보를 취득하여 간편하게 피해 면적을 산정하므로써 신속·정확한 규모를 산정할 수 있다.

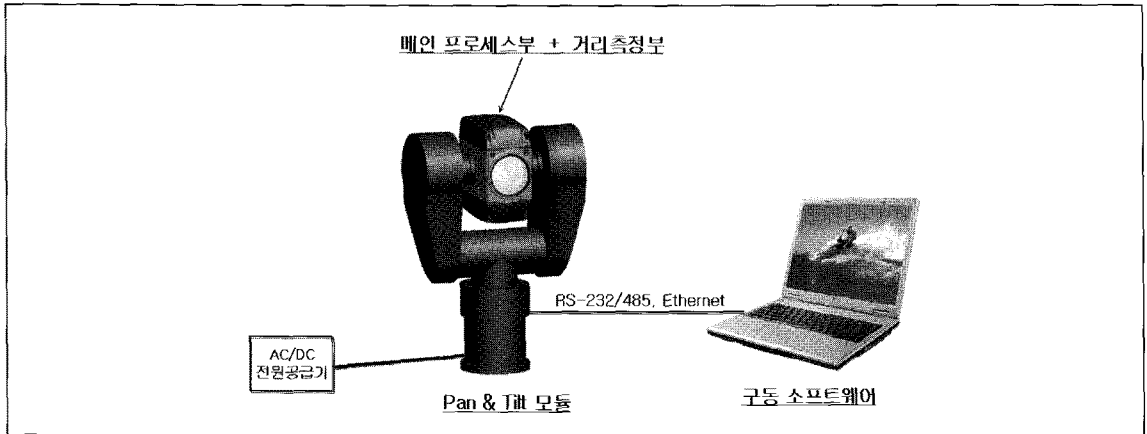


그림 20. 맞춤형 Total Station의 개념도

3.3 기타 적용 장비

토탈스테이션 (total station)은 이미 측량분야에 널리 사용되고 있는 기구로서 각도와 거리를 함께 측정할 수 있는 측량기로 전자식 세오돌라이트(electronic theodolite)와 광파측량기(EDM:electro-optical instruments)가 하나의 기기로 통합되어 있어 측량한 자료를 빠른 시간 안에 처리하고, 결과를 출력하는 전자식 3차원 위치관측 시스템이다.

토탈스테이션을 측량목적 뿐만 아니라 이를 목적에 맞게 변형하면 토목구조물의 형상을 단시간내에 확보할 수 있는 기기로 응용될 수 있다. 이른 바 맞춤형 토탈스테이션이 개발 중에 있는데, 맞춤형 토탈스테이션은 크게 PC에 설치된 구동 소프트웨어로부터 제어명령을 수신하여 이를 분석하여 거리측정부, Pan & Tilt 모듈 등에 적절한 명령을 전달하고 주변장치들을 제어하는 역할을 하는 메인 프로세서부(Main Processor Unit), 레이저를 이용하여 고속으로 거리를 측정하여 측정 데이터를 메인 프로세서에 전송하는 거리측정부(Electronic Distance Measurement Unit), 수평/수직방향으로 원하는 각도로 이동하도록 하는 Pan & Tilt 모듈, 외부전원을 공급하는 AC/DC 전원공급기로 구성된다. 구동 소프트웨어는 외부

노트북 PC 등에 설치되어 시리얼(RS-232/485) 케이블이나 Ethernet 케이블을 통하여 맞춤형 토탈스테이션을 운영하고 측정 데이터를 수집하는 기능을 가지고 있다(그림 20). 이러한 맞춤형 토탈스테이션의 개발은 토목분야에서 다양한 요구조건을 상황에 맞게 구동할 수 있는 시스템을 말한다.

3.4 3차원 디지털 공간정보 취득 기법의 비교 고찰

시대의 흐름에 발맞추어 다양한 기계가 개발되어 적용 중에 있다. 레이저 스캐너는 다량의 정보를 획득할 수 있는 장점이 있는 반면 현재로서는 고가이고, 중량이 커서 다루는데 개선의 여지가 있다. 아울러 대용량 데이터를 다루게 되므로 데이터 처리속도와 처리용량 부분에서 개선의 여지가 있다. 반면에 별도의 조명이 불필요하므로 야간이나 지하공간에서도 활용도가 높다고 볼 수 있다.

사진측량 기술을 바탕으로 디지털 카메라를 활용한 기법의 경우에는 일반 고화질 디지털 카메라를 사용하게 되므로 매우 편리한 측정수단이라고 볼 수 있다. 그러나 레이저 스캐너와 비교할 때, 측량면적이 축소되고, 광학기 기입을 감안할 때 조명, 왜곡현상 등의 기술적인 개선점

기술기사 2

이 잔존하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 전자기술의 발전 속도가 매우 빠르므로 유용한 수단이 될 가능성이 매우 높다고 평가된다.

맞춤형 토털스테이션의 경우에는 특수목적에 맞게 제작되어 적용 탄력성이 매우 높으며, 레이저 스캐너에 비해 측정범위가 다소 축소되나, 오차범위 내에서 필수적인 데이터만 획득할 수 있어서 활용성이 높게 평가될 수 있다. 아직 토목분야의 인지도가 높지 않아 상품으로서의 가치가 발휘되려면 다소 경험과 사례 축적이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 언

토목 및 건축 구조물 뿐만 아니라 생활 주변에서 존재하는 모든 구조물은 시간의 장단은 있지만 보수, 개선, 제거 등의 일련의 변화과정을 겪게 된다. 아주 드문 일이지

만 남대문 화재사고와 같이 불의의 변화도 겪을 수가 있는데, 그 변화의 정도가 기록되거나, 비교분석할 필요가 있다면, 각 단계의 상태를 기록·보존하는 것이 필수적이다. 아울러 공간정보는 도면형태를 넘어 디지털 데이터로 취득하여 자료의 가공성을 높이는 것이 매우 필요하다. 이러한 배경하에 앞서 간추려서 언급한 획득기술은 활용도가 높을 것으로 예상되며, 나아가서 분석 기술 및 소프트웨어를 확충함으로써 방재기술에도 적용할 수 있어, 전반적인 삶의 질을 높이는 데도 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

[감사의 글]

본고는 국토해양부 지능형국토정보기술혁신사업단 연구과업 중 "측량기술 활용 건설도면 작성 및 검증 기술개발"의 연구성과의 일부를 게재한 것으로 후원한 관계기관에 감사드립니다.