

역분석공학기법을 이용한 불연속면 분석 프로그램 개발

박의섭¹⁾, 천대성^{1)*}, 정용복¹⁾, 류창하¹⁾, 선우춘¹⁾, 최용근²⁾, 허 승²⁾

Discontinuity Analysis Method using Reverse Engineering

Eui-Seob Park, Dae-Sung Cheon, Yong-Bok Jung, Changha Ryu,

Choon Sunwoo, Yongkun Choi and Sung Heo

Abstract The technique, which reproduces the figures of objects from measured data of the objects using 3-D laser scanner, is called reverse engineering. Recently, research studies into applications of reverse engineering to rock engineering are increasing in number, in the discontinuity surveys for rock slopes out of man's reach, or rapid discontinuity surveys for wide range areas. For analysis of discontinuity using reverse engineering, a program for processing point clouds data from the 3-D laser scanner, for sampling from these point clouds data, and finally analyzing the discontinuity is needed. However, existing programs rarely have sufficient functions to properly analyze the discontinuities. In this study, a program was developed, which can automatically sample discontinuities from the point clouds data which measured in a rock slope using a 3-D laser scanner, and which can also undertake statistical analysis of the discontinuities. This developed program was verified by the application of discontinuity surveys in a rock slope and a tunnel. By undertaking the discontinuity survey using a 3-D laser scanner and the developed program, the feasibility and rapidity of such surveys is expected to improve in areas out of man's reach in geotechnical surveys. Taking into consideration the fact that the international level of related techniques is at a rudimentary stage, the possibility of prior occupation of a broad market is also expected.

Key words 3-D laser scanner, reverse engineering, point clouds data, discontinuity survey

초 록 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 사물의 형상을 측정하고, 이로부터 얻어진 데이터를 이용해서 측정된 사물의 형상을 재현하는 기술을 역분석공학이라고 한다. 최근 암반공학분야에서도 사람 손이 닿지 않는 암반사면이나 넓은 지역에 대한 신속한 불연속면 조사를 위해 이러한 역분석공학 기술을 응용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 기술을 이용하여 불연속면을 조사하고 분석하기 위해서는 레이저 스캐너로부터 얻어진 3차원 점군데이터를 처리하고 이로부터 불연속면을 추출하고 분석하는 프로그램이 필수적이다. 그러나 기존 프로그램들은 불연속면 조사에 필요한 기능을 충분히 갖추었다고 보기 어려운 실정이다. 따라서 이 연구에서는 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 암반면을 측정된 점군데이터로부터 불연속면을 추출하고 통계분석하는 일련의 과정을 자동화된 하나의 프로세스로 처리하는 프로그램을 개발하였으며, 개발된 프로그램을 암반 사면과 터널 벽면의 불연속면 조사에 적용하여 조사기법과 프로그램의 적용성을 검증하였다. 3차원 레이저를 이용한 불연속면 조사와 개발된 프로그램을 이용함으로써 부지 조사시 접근이 곤란한 지역의 조사 용이성이 증대될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 관련 기술의 국제적인 수준이 초보 단계인 것을 감안하면 앞으로 해외시장 선점 가능성도 클 것으로 기대된다.

핵심어 3차원 레이저 스캐너, 역분석공학, 점군데이터, 불연속면 조사

1. 서 론

레이저를 이용하는 원격측정 장치로 사물의 형상을 측정하고, 이로부터 얻어진 데이터를 이용해서 측정된 사물의 형상을 재현하는 기술은 이미 실용화되어 있는 단계이며, 이 기술을 산업의 여러 분야에 적용하기 위한 응

¹⁾ 한국지질자원연구원 지반안전연구부

²⁾ (주) 지오제니컨설팅트

* 교신저자 : cds@kigam.re.kr

접수일 : 2007년 4월 16일

심사 완료일 : 2007년 5월 18일

용 프로그램 개발도 국내·외에서 활발히 진행되고 있다.

이러한 원격측정 장치로 측정된 사물의 형상은 점군 데이터(point clouds data)의 형태로 저장되며, 이 점군 데이터로부터 고품질, 고정밀의 다각형(polygon)과 곡면을 재구성함으로써 사물의 형상을 재현하는 기술을 역공학 또는 역분석공학(reverse engineering)이라 한다. 점군데이터에 역분석공학 기술을 적용하여 사물의 형상을 재구현하기 위한 프로그램으로는 국내 INUS사에서 개발한 RapidForm과 미국 Raindrop사에서 개발한 Geomagic Studio, 미국 Paramform사의 Paraform 등이 있다. 그러나 이와 같은 응용 프로그램들은 공장, 철도, 자동차와 인체 등과 같은 일반적인 3차원 형상의 사물을 측정하고, 이를 재현하기 위한 프로그램으로서 암반 사면에 대한 조사와 같이 어느 특정한 분야에 적용하기에는 프로그램이 지나치게 복잡한 구조를 가지고 있다. 최근 미국의 Split Engineering사에서 개발한 Split-FX 프로그램은 레이저를 이용한 원격측정 데이터를 이용하여 불연속면을 추출하는 기능을 가지고 있으나, 불연속면의 길이나 간격을 점군데이터로부터 얻을 수 없는 등 불연속면 조사에 필요한 기능을 충분히 갖추었다고 보기 어려운 점이 있다.

따라서 이 연구에서는 사람의 손이 닿지 않는 조사지역이나 넓은 조사지역에 대한 불연속면 조사를 용이하게 하고, 불연속면 자료의 분석과정에서 여러 프로그램을 동시에 운용함으로써 발생하는 시간적, 경제적 비용을 줄이기 위하여 3차원 레이저 스캐너로 측정된 암반 사면의 점군데이터로부터 불연속면을 추출하고 통계 분석하는 일련의 과정을 자동화된 하나의 프로세스로 처리하는 프로그램을 개발하였다(한국지질자원연구원, 2006). 또한 암반 사면과 터널 벽면의 불연속면 조사에 3차원 레이저 스캐너를 활용하고, 개발된 프로그램을 이용하여 불연속면 분포특성을 분석함으로써 조사기법의 타당성과 프로그램의 적용성을 검증하였다.

2. 프로그램 개발에 적용된 이론

2.1 점군데이터 처리 방법

3차원 레이저 스캐너를 이용한 원격측정 방법으로 획득된 자료는 3차원 공간 상에 수만 또는 수백만의 점좌표 값으로 저장되며, 그 형태가 구름의 형상을 띠고 있다고 하여 점군데이터로 부른다. 이러한 점군데이터로부터 조사된 암반 사면의 원형을 복원하기 위해서는 공간 상의 점좌표를 정교하게 연결한 다각형 모델을 생성해야 하며, 다각형 모델을 생성하기 위한 전처리 과정으로서 필터링(filtering), 스무딩(smoothing), 삼각망 생성

(triangulation)의 기본적인 절차를 수행하여야 한다. 이러한 전처리 과정에 포함되는 일련의 역분석공학 기술은 이를 직접 개발할 경우 전문적인 수학적 지식과 엔진 설계능력을 필요로 하며, 개발된 기술을 검사하고 분석하는데 많은 시간을 필요로 한다. 따라서 이 연구에서는 효율적인 프로그램의 개발을 위해 Italy E.G.S.사의 LMLib를 적용하여 점군데이터의 전처리와 삼각망 생성에 사용하였다. LMLib는 점군데이터의 전처리 및 삼각망 생성 기능을 DLL(dynamic-load library) 형태의 라이브러리로 제공한다.

2.2 불연속면 군 분류를 위한 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘(genetic algorithm, GA)은 생물의 진화과정을 인공적으로 모델링한 것으로 Holland(1975)에 의해 창안되었다. 자연계에 있는 생물의 진화과정, 즉 어떤 세대를 형성하는 개체들의 집합을 개체군이라 하며, 개체군 중에서 환경에 대한 적합도가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 재생할 수 있게 된다. 이때, 교배(crossover), 돌연변이(mutation)로서 다음 세대의 개체군을 형성하게 된다.

이 연구에서 불연속면 군 분류를 위한 유전자 알고리즘은 정용복과 선우춘(2005)의 이론을 적용하였다. 기존의 불연속면 군 분류에 주로 사용된 도식적 방법의 경우 주관적인 결과가 나올 가능성이 있으며, 퍼지 기법의 경우 전역해를 구하지 못할 가능성이 있다는 단점이 있다. 그러나 정용복과 선우춘(2005)의 유전자 알고리즘은 전역적 해를 구할 가능성이 타 기법보다 높고, 분석자의 주관적 판단을 배제할 수 있는 장점이 있으므로 자동 불연속면 군 분류를 위한 알고리즘으로 적합하다고 판단된다.

3. 프로그램의 구조와 기능

3.1 자료처리 흐름

개발된 프로그램은 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 암반의 점군데이터와 디지털 카메라로부터 획득한 사진데이터를 기본 자료로 사용하여, 암반의 불연속면 특성을 분석하는데 사용된다. 암반의 불연속면은 최종적으로 3차원 점군데이터를 사용하여 생성된 삼각망 메시로부터 추출된다. 삼각망을 생성하기 전에, 삼각망 생성이 용이하도록 여러 가지 전처리 과정을 거쳐 자료의 품질을 향상시킨다. 전처리 과정을 거친 점군데이터로부터 암반의 3차원 형상을 표현하는 삼각망이 생성된다.

이 프로그램에는 자동 및 수동 불연속면 추출 기능이 포함되어 있으며, 이를 이용해 삼각망과 암반의 사진자

료로부터 불연속면을 추출한다. 부가적인 기능으로 현장 지표지질조사와 유사한 형태의 불연속면 조사를 위해 점군데이터로부터 조사영역 및 조사선(scanline)을 이용한 불연속면 추출이 가능하다. 프로그램에 입력된 조사영역이나 조사선을 이용하여 추출된 불연속면의 방향 및 길이 정보는 불연속면 분석 도구에 의해 불연속면 군 분류, 불연속면 밀도와 연장성 등의 통계적 자료로 변환된다. 이상과 같은 자료처리 과정을 단계적으로 도시하면 그림 1과 같다.

3.2 프로그램의 주요 기능

개발된 프로그램은 효율적인 불연속면 자료 추출을 위해 불연속면의 자동 및 수동 추출 기능이 있고, 사진 데이터 처리와 조사선 조사수행 기능을 가지고 있다.

또한 불연속면의 통계분석 기능 강화를 위한 자동 및 수동 불연속면 군 분류 기능이 있다. 이 프로그램의 개략적인 기능은 표 1과 같다.

3.3 프로그램 인터페이스

개발된 프로그램은 하나의 파일을 하나의 프로그램이 관리할 수 있도록 하는 SDI(Single Document Interface) 형태를 가진다. 프로그램에 의해 생성된 파일은 점군데이터, 사진데이터 등의 기본 자료에서부터 불연속면 통계처리 결과까지의 모든 정보를 포함한다. 또한 이 프로그램은 주요 기능에 따라 독립된 3가지 인터페이스를 지원함으로써 자료처리 과정의 효율성을 제공할 수 있다. 각각의 독립된 인터페이스는 다음과 같은 기능을 제공한다.

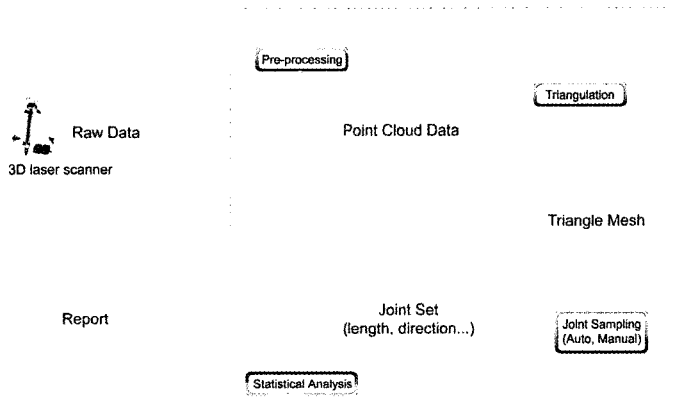


그림 1. 개발 프로그램의 자료처리 흐름도

표 1. 개발된 프로그램의 주요 기능

구 분	주요 기능
점군데이터 처리, 삼각망 생성	<ul style="list-style-type: none"> • Point cloud data 입출력 • Point cloud sampling
	<ul style="list-style-type: none"> • Point cloud merging • Point cloud smoothing
	<ul style="list-style-type: none"> • Triangulation • Triangle mesh smoothing • Triangle mesh decimation • Triangle mesh refinement
불연속면 추출	<ul style="list-style-type: none"> • 불연속면 자동 추출 기능 • 사진 자료 입력 기능 • 조사선을 이용한 불연속면 추출 기능
불연속면 통계분석	<ul style="list-style-type: none"> • 수동 불연속면 군 분류 • 유전자 알고리즘 자동 불연속면 군 분류 기능 • 클러스터링 기법 자동불연속면군 분류 기능

자료처리 인터페이스

레이저 스캐너로부터 획득한 3차원 점군데이터를 불러들이고 이를 전처리한 후 불연속면 추출을 위해 삼각망을 생성한다. 또한 생성된 삼각망을 후처리할 수 있는 기능을 제공하며 디지털카메라로 획득한 사진을 입력할 수 있는 기능을 제공한다. 자료처리 인터페이스는 그림 2와 같다.

불연속면 추출 인터페이스

자료처리 인터페이스를 통해 생성된 삼각망으로부터 자동 또는 수동으로 불연속면을 추출하는 인터페이스이다. 여기에는 자동 및 수동 불연속면 추출기능, 조사선 입력 기능, 평사투영망을 활용한 방향특성 확인 등의 기능을 포함한다. 그림 3(a)는 불연속면을 자동 추출하는 인터페이스를, 그림 3(b)는 수동 추출하는 인터페이스를 보여준다. 노출된 하나의 불연속면은 수십에서

수백 개 이상의 삼각망으로 만들어지며 주변에 이 불연속면에 속하지 않는 수많은 삼각망이 존재한다. 이 경우 불연속면을 자동 추출하면 추출하고자 하는 불연속면뿐만 아니라 주변에 있는 불필요한 삼각망까지 선택하게 되므로 하나의 불연속면을 이루는 삼각망만을 선택하는 기능이 필요하다. 그림 3(b)의 평사투영망은 이러한 기능을 수행하는 창으로 선택된 모든 삼각망의 극점을 보여준다. 분석자는 이 평사투영망에서 하나의 불연속면을 구성하는 삼각망이 아닌 것으로 판단되는 극점을 선택한 후 이를 제거함으로써 수동 추출의 정확성을 높이게 된다.

불연속면 분석 인터페이스

이 인터페이스는 수동 불연속면 군 분류 기능과 유전자 알고리즘 및 클러스터링 기법을 적용한 자동 불연속면 군 분류 기능을 제공하여 불연속면 추출 인터페이스로부터 얻어진 불연속면을 통계 분석한다. 또한 불연속면의 길이와 간격 등의 추출 결과를 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 불연속면 분석 인터페이스는 그림 4와 같다.

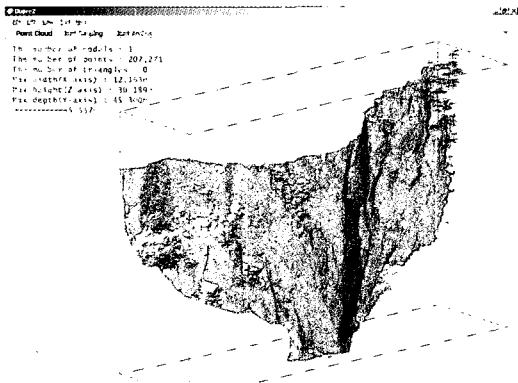


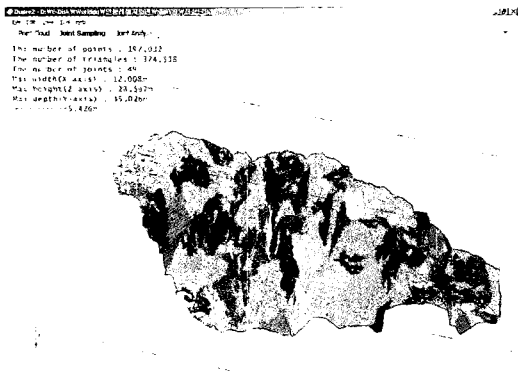
그림 2. 자료처리 인터페이스

4. 프로그램 적용사례

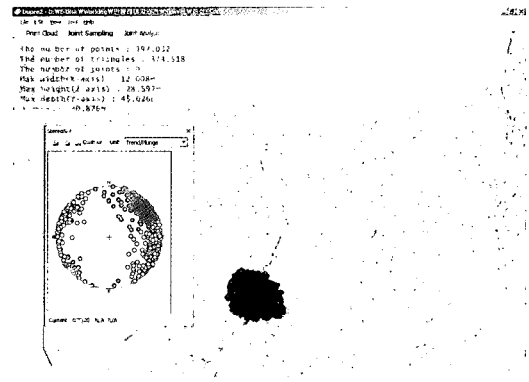
4.1 자연사면의 불연속면 조사

3차원 레이저 스캐너를 이용한 조사 결과

접근이 곤란하여 불연속면의 현황을 파악할 수 없는 사면의 입체형상을 3차원 레이저 스캐너를 사용하여 획득하고(그림 5), 이를 개발된 프로그램으로 분석하여 불연속면의 방향성 정보를 추출하였다. 조사 대상 사면을 그림 6과 같이 3개 구역으로 구분하고, 각각의 구역에 대해 별도의 측정을 수행하였다. 측정된 사면의 입체



(a) 자동추출 인터페이스



(b) 수동추출 인터페이스

그림 3. 불연속면 추출 인터페이스

형상은 그림 7과 같다.

각 구역에서 자동으로 추출된 면들은 그림 8과 같으며, 이와 같이 추출된 면들의 정보로부터 얻어진 불연속면의 방향성을 그림 9에 도시하였다.

접근이 가능한 지역에 대한 직접조사 결과

접근이 가능한 사면의 하단부에 대해서는 직접 조사를 수행하였다. 사면 하단부에서는 총 47개의 불연속면이 조사되었으며, 조사된 불연속면의 방향성 분포는 그림 10과 같다. 불연속면들의 방향성은 5개 그룹으로 구분되며, 3개의 수직 불연속면군과 2개의 수평 불연속면 즉 판상으로 발달하고 있다.

Set 1의 불연속면군은 230/76(경사방향/경사)로서 사면의 주향에 직교하는 급경사의 불연속면이며, set 2의 불연속면군은 337/89로서 이 그룹은 거의 사면의 주향과 평행한 급경사의 불연속면들이고, set 3(012/24)과 set 4(076/25)는 완경사의 불연속면들인 판상절리들로 분류된다(표 2).

3차원 레이저를 이용한 측정과 직접측정 결과의 비교

사면의 하단부에서만 조사가 이루어진 직접측정의 경우 230/76의 방향을 가진 set 1이 가장 우세한 불연속면군으로 평가되었으며, 주향이 다른 두 개의 수평 불연속면군이 조사되었다. 반면, 같은 구역에 대한 3차원 레이저를 이용한 측정에서는 직접측정의 set 5에 해당하는 불연속면군이 가장 우세한 것으로 나타났으며, 완경사 불연속면들은 일부만이 측정되었다. 직접측정과 비교자료가 없는 사면 상부에 대한 3차원 레이저 측정에서는 수직에 가까운 3조의 불연속면군이 각각 측정되었으며, 각 구역별로 다른 분포특성을 보인다.

직접측정과 3차원 레이저를 이용한 측정 결과의 차이는 다음의 4가지 원인에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 첫 번째는 측정 레이저의 직진성에 의해 측정되지 않는 음영대가 발생하기 때문이다. 즉 측정기의 측정방향과 암반 돌출부의 기하학적 배치에 따라 돌출부 후면이 측정되지 못하는 문제가 발생한다. 두 번째는 레이저 측정을 위한 기준점의 측량오차로 인해 발생하는

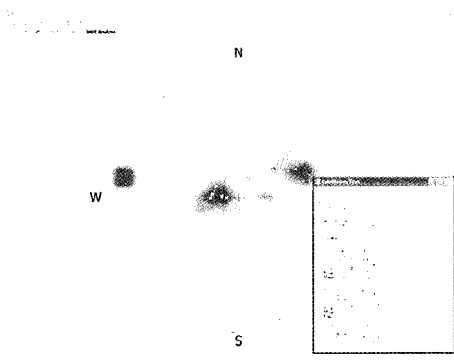


그림 4. 불연속면 분석 인터페이스

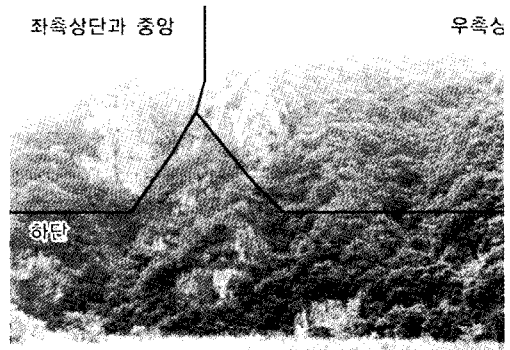


그림 6. 3개의 구역으로 구분된 조사 대상 사면

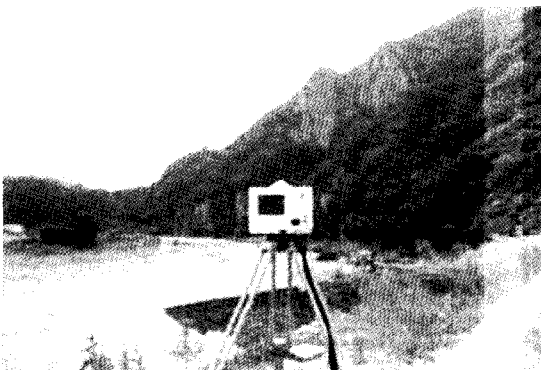


그림 5. 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 사면의 입체 형상을 측정하는 모습

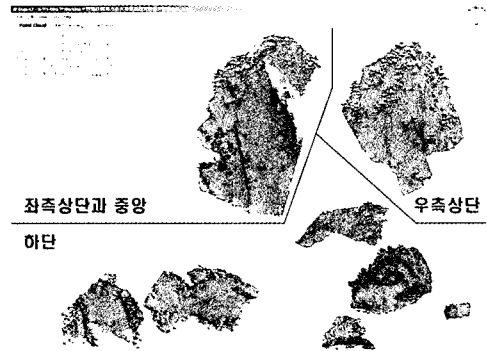


그림 7. 3차원 입체형상 측정 결과

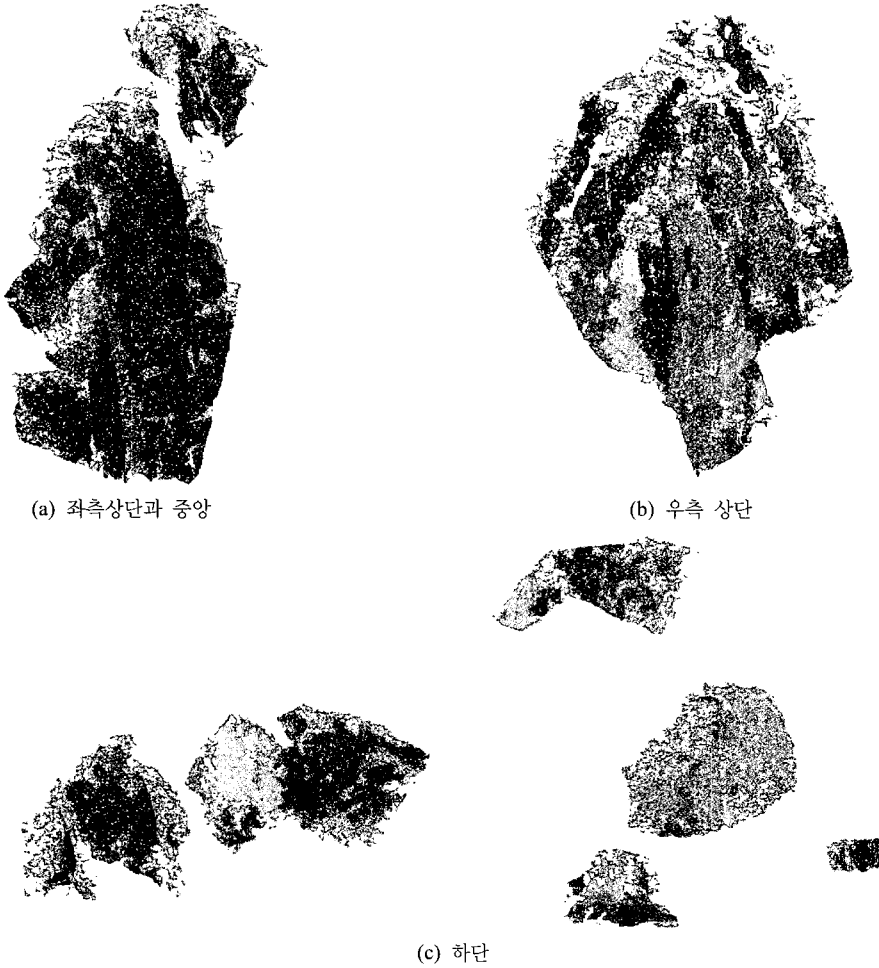


그림 8. 자동추출된 면들의 분포

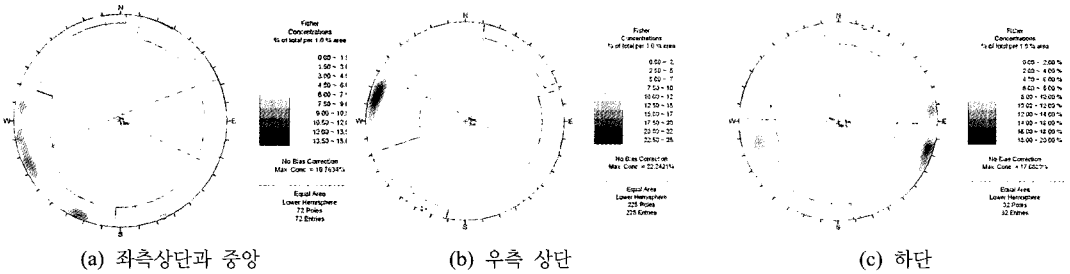


그림 9. 자동 추출된 면으로부터 얻어진 불연속면의 방향성 분포

표 2. 직접측정에서 얻어진 불연속면의 군분류 결과

구 분	set 1	set 2	set 3	set 4	set 5
불연속면군의 대표방향	230/76	337/89	012/24	076/25	293/88

것으로써 여러 위치에서 측정된 자료를 합치는 과정에서 오차가 발생한다. 세 번째는 불연속면 자체가 가지는 굴곡 때문에 불연속면에 도달한 레이저가 산란됨으로써 측정 자료를 왜곡시키는 경우이다. 네 번째는 직접측정시 측정자에 의한 문제로서 제한된 지역에서 불연속면 분포상태를 조사할 경우 그 지역에만 특징하게 노출된 불연속면을 우세하게 조사(sampling)하게 되면서 발생하는 오류이다.

그러나 그림 9에서 볼 수 있듯이 원격탐사 기법을 이용하여 사람의 손이 닿지 않는 부분까지 조사를 수행할 경우에는 불연속면분포의 대표성 확보를 위한 충분한 수의 불연속면을 조사할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 터널 벽면에서의 불연속면 조사

터널 벽면에 대한 조사는 한국원자력연구원의 지하연구시설에서 이루어졌다. 자연 사면에 대한 조사에서와 마찬가지로 동일 구간의 터널 벽면에 대해 3차원 레이저 스캐너를 이용한 원격측정과 한정훈(2007)이 수행한 직접측정 결과를 비교하였다.

3차원 레이저 스캐너를 이용한 측정 결과

한국원자력연구원의 지하연구시설은 그림 11과 같은 구조의 터널로 이루어져 있다(권상기 외, 2004). 측정 위치는 진입터널의 입구로부터 안쪽에 위치하고 있다. 진입터널의 방향은 N56W이며, 이에 직교하는 방향으로

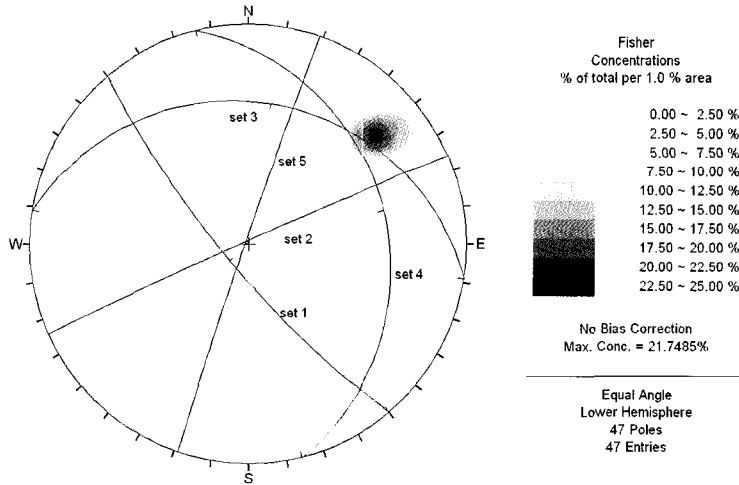


그림 10. 사면 하단부에서 조사된 불연속면의 방향성 분포

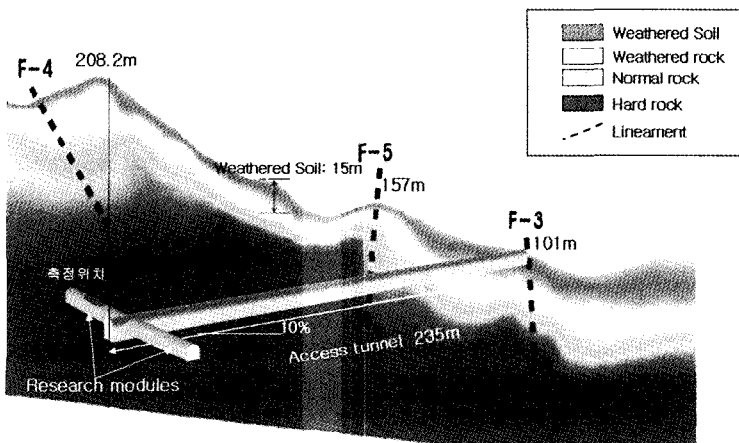


그림 11. 지하연구시설의 평면도 (진입터널 방향: N56W)

굴착된 터널의 우측벽면에서 측정이 이루어졌다. 측정이 이루어진 터널의 방향은 N34E이며, 터널 폭과 높이는 6.5 m로 같다.

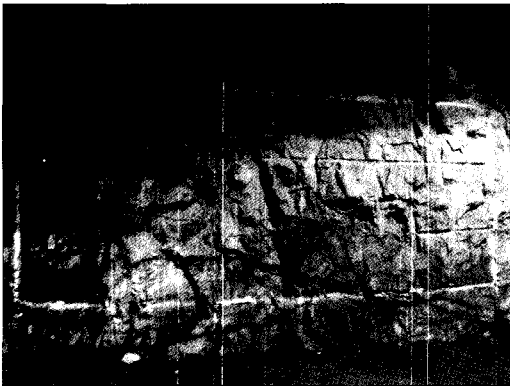
그림 12(a)는 측정대상 벽면을 사진 촬영한 이미지이며, (b)는 원격측정으로 얻어진 점군데이터로부터 재현된 벽면의 형상이다. 재현된 형상에는 터널 벽면의 굴곡뿐만 아니라 발파 후 남겨진 최외곽공의 천공자리까지 나타나 있다. 그림 13은 점군데이터로부터 자동과 수동 추출과정을 거쳐 얻어진 불연속면들을 보여주고 있다. 자동과 수동으로 총 201개의 면이 추출되었다. 추출된 면이 201개에 달하는 이유는 하나의 불연속면에 대해서도 여러개의 면으로 분할되어 추출되었기 때문이다. 3차원 레이저 측정을 통해서 조사된 불연속면의 군분류 결과는 그림 14와 같다. 군분류 결과 3개의 수직할 불연속면군과 1개의 원경사 불연속면군이 분포하는 것으로 분석되었다.

직접측정에 의한 조사 결과

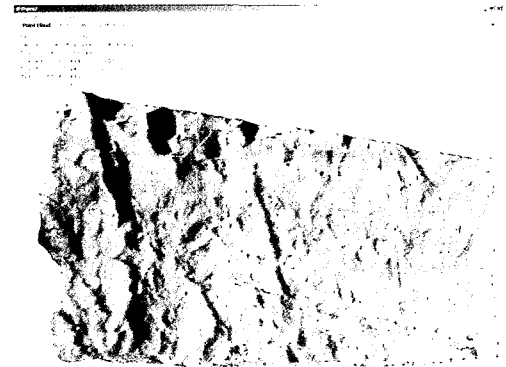
직접측정을 통한 조사에서는 총 51개의 불연속면이 조사되었다. 불연속면조사는 그림 12(a)에서 벽면에 페인트로 표시한 사각형 영역 내부에 나타난 것을 조사창 조사기법으로 수행하였다. 직접 측정에 의해 조사된 불연속면의 방향분포 특성은 그림 15와 같다.

3차원 레이저를 이용한 측정과 직접측정 결과의 비교

직접측정에 의한 조사와 3차원 레이저 스캐너를 이용한 측정 결과는 크게 다르지 않으나, 3차원 레이저 스캐너를 이용한 측정에서는 터널 방향(N34E)에 수직할 불연속면은 거의 나타나지 않았다. 이는 자연사면에 대한 조사와 마찬가지로 측정방향과 측정 대상체의 기하학적인 배치로 인해 발생하는 문제이다. 측정 대상 벽면에 수직하게 배치된 면은 측정시 레이저와 일직선상에 있게 됨으로 면으로 인식되지 못하고 선의 형태로만 인



(a) 측정 대상 터널 벽면



(b) 점군데이터로부터 재현된 터널 벽면

그림 12. 측정대상 터널 벽면의 실제 형상과 원격측정으로 재현된 형상

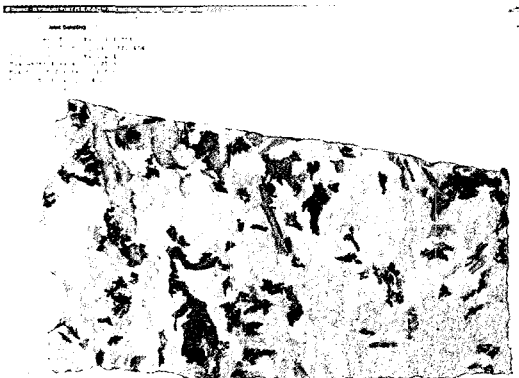


그림 13. 자동 및 수동으로 추출된 불연속면

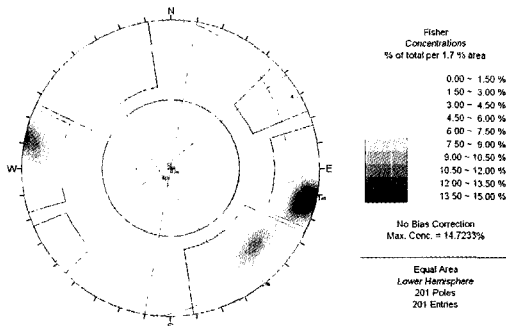


그림 14. 3차원 레이저 측정을 통해 얻어진 불연속면의 군 분류 결과

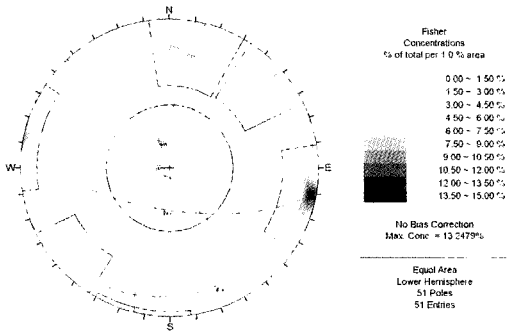


그림 15. 직접측정에 의해 조사된 불연속면의 방향분포 특성

식되기 때문이다.

또한 3차원 레이저 스캐너를 이용한 측정결과는 직접 측정에 비해 더 많은 불연속면이 조사되었다. 이는 프로그램에서 굴곡이 있는 불연속면을 여러 개의 면으로 분할되어 추출하였기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구에서는 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 암반면을 측정하고 이로부터 얻어진 3차원 점군데이터로부터 불연속면을 추출하고 분석하는 프로그램을 개발하였다. 또한 개발된 프로그램을 자연사면과 터널벽면의 조사에 적용하여 3차원 레이저 스캐너를 이용한 원격측정 방법의 타당성과 프로그램의 적용성을 검증하였다. 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

3차원 레이저 스캐너를 이용하여 암반의 불연속면을 조사할 경우 측정 대상체의 기하학적인 배치로 인해 측정이 일부 이루어지지 않는 음영대가 생김으로써 일부 불연속면이 측정되지 않는 문제가 있다. 이런 문제를 해결하기 위해서 여러 방향에서 대상 암반면을 측정하여 이를 합치는 방법을 사용하게 되나, 이 경우에는 측정위치와 방향에 대한 정확한 측량이 선행되어야 오차를 최소화할 수 있다.

개발된 프로그램은 3차원 레이저 스캐너로부터 얻어진 점군데이터를 처리하고, 불연속면을 추출하여 분석하는 일련의 과정을 충분히 수행하는 것으로 확인되었다. 그러나 조사된 불연속면의 길이나 간격 등을 분석하는 기능이 없으므로 이를 보완하는 작업이 이루어져야 할 것이다.

3차원 레이저 스캐너를 이용한 불연속면 조사는 몇 가지 제한적인 요인들이 있음에도 불구하고 사람의 손이 닿지 않는 지역에 대한 조사나 넓은 지역에 대한 신속한 조사에 적절히 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 이 연구에서 나타난 제한적인 요인들을 개선하기 위한 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘고심도 지하연구실험실(URL)구축 및 실증실험연구’ 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권상기, 박정화, 조원진, 2004, 원자력연구소내 지하 처분연구 시설 건설을 위한 지반조사 및 개념설계, 터널과 지하공간, Vol. 14, pp. 175-187.
2. 정용복, 선우춘, 2005, 불연속면 군 분류를 위한 유전자알고리즘의 응용, 터널과 지하공간, Vol. 15, pp. 47-54.
3. 한국지질자원연구원, 2006, 고심도 지하공간 개발을 위한 지하연구실험실 구축 및 핵심요소기술개발, 기본연구사업보고서, p204.
4. 한정훈, 2007, 입체사진 측량 기법의 암반절리 조사의 대한 적용성 연구, 서울대학교 공학석사학위논문.
5. Holland, 1975, Adapatation in natural and artificial system, Ann Arbor, The University of Michigan Press.



박 의 섭

1989년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1991년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2000년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학박사
Tel: 042-868-3098
E-mail: espark@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구
부 선임연구원



천 대 성

1997년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1999년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2006년 서울대학교 대학원 지구환경시
스템공학부 공학박사
Tel: 042-868-3248
E-mail: cds@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구
부 선임연구원



정 용 복

1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2000년 서울대학교 대학원 지구환경시스
템공학부 공학박사
Tel: 042-868-3097
E-mail: ybjung@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구
부 선임연구원



류 창 하

1976년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1979년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1989년 University of Utah(in USA) 공학
박사
Tel: 042-868-3236
E-mail: cryu@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구
부 책임연구원



선 우 준

1978년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1984년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1985년 Paris VI 대학(France) DEA
1988년 Paris VI 대학 지구구조학과
(France) 공학박사
Tel: 042-868-3235
E-mail: sunwoo@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구
부 책임연구원



최 용 군

1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2005년 서울대학교 대학원 지구환경시
스템공학부 공학박사
Tel: 02-3472-2261
E-mail: ykchoi@geogeny.biz
현재 (주)지오제니컨설팅트 상무



허 승

1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
Tel: 02-3472-2261
E-mail: metal@geogeny.biz
현재 (주)지오제니컨설팅트 기술영업부
부장