

# 3차원 수치영상을 이용한 암반사면의 불연속면 정보 추출

## The Discontinuity Information Extraction of Rock Slope using the 3D Digital Image

엄대용<sup>1)</sup> · 이성순<sup>2)</sup>

Um, Dae Yong · Lee, Sung Soon

### Abstract

Recently, digital image is increasing greatly practical use degree in several industry fields including construction. And interest about 3D digital image that can express practical object realistically is augmented greatly. In this study, developed 3D digital image generation system based on digital photogrammetry and created 3D digital image for object. And, wished to verify of 3D digital image through comparative analysis with processing result by digital photogrammetry system been using much the latest for acquisition of 3D information. Also, wished to apply to surface information acquisition about rock slope and execute investigation about discontinuity of joint etc. As the result, could created 3D digital image for object using the 3D digital image generation system developing in this study, and acquire surface information about rock slope efficiently.

Keywords : 3D digital image, Digital photogrammetry, Discontinuity information, Rock slope

### 요 지

최근 건설 분야를 비롯한 여러 산업분야에서 대상물에 대한 사실적인 표현이 가능한 3차원 수치영상에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 본 연구에서는 수치사진측량기법을 기반으로 3차원 수치영상 생성시스템을 개발하고 이를 이용하여 대상물에 대한 3차원 수치영상을 시범적으로 생성하였다. 그리고 3차원 수치정보의 획득을 위해 최근에 많이 활용되는 수치사진측량시스템에 의한 처리결과와 비교 분석을 통해 3차원 수치영상의 활용 가능성을 도출하고자 하였다. 또한 3차원 수치영상의 적용가능성을 점검하기 위해 암반사면의 불연속면 조사에 적용하였다. 연구결과, 본 연구에서 개발한 3차원 수치영상생성 시스템을 이용하여 대상물에 대한 3차원 수치영상을 효율적으로 생성할 수 있었으며, 암반사면에 대한 지표정보를 효과적으로 획득할 수 있었다.

핵심어 : 3차원 수치영상, 수치사진측량, 불연속면 정보, 암반사면

## 1. 서 론

최근 GIS를 비롯한 여러 분야에서 3차원 형상의 다양한 대상물을 효과적으로 표현할 수 있는 3차원 수치자료에 대한 요구가 급증하고 있다. 특히 컴퓨터 기술과 자료처리 기술의 발달로 인해 컴퓨터 공간상에서 다루어지는 자료는 2차원에서 3차원의 자료로 확장되어 가고 있으며, 이는 2차원 자료로부터 획득할 수 있는 정보의 한계성을 극복하고 다양한 정보의 제공이 가능한 자료 구조에 대한 사용자

의 요구에서 기인한다 하겠다(손정영, 2001 ; 허병희, 1994).

그리고 인간 중심의 실감 정보화 시대가 도래함에 따라 실제의 대상을 원형과 동일한 형상으로 표현하고자 하는 요구는 3차원 자료의 생성과 활용에 대한 새로운 분야를 태동하게 되었다. 3차원 자료의 인식과 생성을 위한 각종 매체 기술 중 인간이 주변 세계로부터 받아들이는 정보의 80% 이상을 시각을 통해 얻고 있으므로 영상매체가 차지하는 비중이 커지게 되었다(한국과학기술원, 2001). 이러한 영상매체 중 가장 유용한 자료의 형태로 3차원 수치영상

1) 연결저자 · 정희원 · 충주대학교 토목공학과 전임강사, 공학박사(E-mail:dyum@chungju.ac.kr)

2) 정희원 · 한국지질자원연구원 선임연구원, 공학박사(E-mail:gisyi@kigam.re.kr)

을 들 수 있으며 이는 실제 대상을 컴퓨터 3차원 공간상에 구현한 것으로서 2차원 영상에서 제공할 수 없는 현실감과 입체감을 부여함으로써 시각적 형상화 및 분석 그리고 다각도의 기하학적 분석을 가능케 할 것으로 기대된다 (Yokoyama 등, 2000).

이에 본 연구에서는 3차원 수치영상의 효율적인 생성을 위해 수치사진측량기법에 기반을 둔 3차원 수치영상 생성 시스템을 개발하고 3차원 자료의 획득에 이용되고 있는 다른 방법에 의해 획득한 성과와의 비교·분석을 통해 본 연구에서 생성한 3차원 수치영상의 수행성을 평가하였다. 또한 이로부터 획득한 3차원 수치영상의 활용성을 제시하기 위해 도로인접 암반사면의 현장지표지질조사에 3차원 수치영상을 적용하여 불연속 선구조의 추출 및 분석을 위한 기초 자료를 획득하고자 하였다.

## 2. 3차원 수치영상 생성시스템

3차원 수치영상 생성시스템은 수치사진측량의 처리공정에 의한 3차원 수치영상 생성부와 생성한 3차원 수치영상을 이용한 기하학적 정보의 생성부로 크게 구분하여 구현하였다. 3차원 수치영상 생성부는 프로젝트 설정 및 기초자료 입력, 영상보정 및 처리, 외부표정요소 결정, 영상정합 그리고 3차원 격자망 및 영상생성 등의 단계로 구성하였고 일련의 해석과정을 모듈로 작성하였다. 그리고 생성한 3차원 수치영상을 이용한 기하학적 정보의 생성부는 3차원 수치영상으로부터 각종 정보의 효율적 추출을 위해 히스토그램 분석, 경계선 검출, 수치영상의 이진화 및 세션화 등의 처리를 위한 영상처리 모듈을 구현하고 대상물에 대한 점, 선, 면 형태의 3차원 위치정보의 측정기능과 측정자료의 분석을 위한 분석툴과의 인터페이스를 실현하였다. 또한 시스템에 의해 생성되는 3차원 격자망(mesh)과 3차원 수치영상의 활용성 확대를 도모하고 자료의 호환성을 확보하기 위해 3차원 자료전환 모듈을 구현하여 ASCII 포맷으로의 전환을 가능케 하였다.

본 연구에서 3차원 수치영상 생성시스템의 개발을 위해 사용한 언어는 Microsoft Visual Basic 6.0을 이용하였으며, 하드웨어의 구성은 펜티엄 III 이상(CPU : 500MHz이상, Memory : 256MB이상)의 프로세서를 지닌 컴퓨터로 구성하였고 운영체제는 Windows NT를 이용하였다.

그림 1은 본 연구에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템의 처리루틴을 나타낸 것으로 수치사진측량의 처리과정

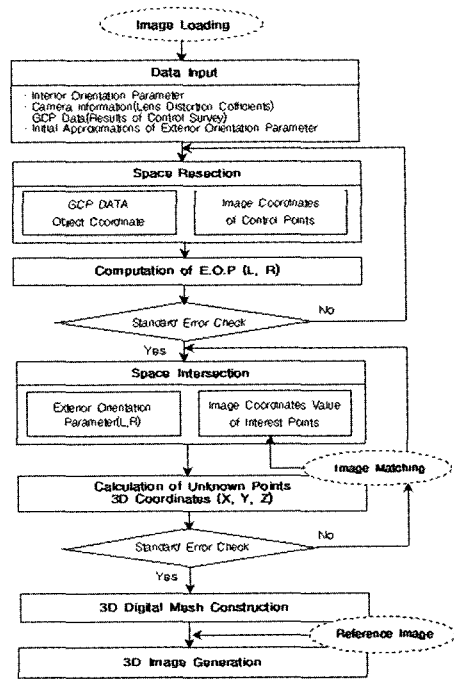


그림 1. 3차원 수치영상 생성 처리루틴

순서에 입각하여 프로그램을 구현하였다(임대용 등, 2004).

## 3. 시스템 수행성 평가

본 연구에서 개발한 3차원 수치영상 생성시스템과 이를 이용하여 생성한 3차원 수치영상의 수행성을 평가하기 위해 현재 검증되어 활용되고 있는 영상분석 시스템에 의한 처리 성과와의 비교 평가를 수행하였다.

### 3.1 기초실험 대상선정 및 영상획득

본 연구에서 생성한 3차원 수치영상에 대한 분석을 수행하기 위해 기초실험 대상을 선정하고 수치영상 및 영상해석을 위한 기준점 성과를 획득하였다. 그리고 현장에서 획득한 수치영상과 기준점 성과를 이용하여 구현한 시스템의 처리에 의해 실험대상에 대한 3차원 수치영상을 생성하였다. 시스템 기초분석을 위한 실험 대상으로는 도로에 인접한 소규모의 암반사면(그림 2)를 선정하였으며, 이에 대해 미리 설정한 촬영계획에 의거하여 수치영상을 획득하였다. 수치영상의 획득을 위한 카메라로는 현장작업의 효율성을 증대시키고 비전문가들도 쉽게 수치영상을 획득할 수 있는 비측량용 디지털 카메라인 Nikon D1X 디지털 카

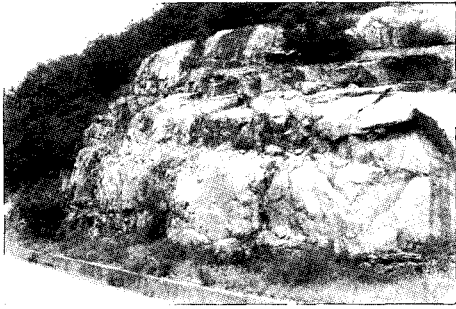


그림 2. 기초실험대상 전경

표 1. Nikon D1X 디지털 카메라의 제원

항 목	내 용
유형	교환렌즈 SLR-Type
촬영 소자	*픽셀수: 547만(유효 532만)픽셀 *크기: 23.7×15.6mm RGB CCD
기록 방식	*해상도(픽셀): 3,008x1,960/2,000x1,312 *파일포맷: JPEG/비압축(12-bit Raw, 8-bit YCbCr-TIFF, 8-bit RGB-TIFF)/흑백 모드 *기록매체: 콤팩트 플래쉬(TYPE I / II)
촬영 방식	*렌즈: Nikon자동초점렌즈 및 수동 초점렌즈 *셔터: 30~1/16,000초(1/3 단계 스텝) *연속촬영: 초당 3장씩 9 프레임 *촬영감도: ISO125-800(1/3, 1/2, 1EV)
연결 단자	*A/V 관련: 비디오출력(NTSC/PAL)(switchable) *Data I/O: IEEE1394, RS-232C(GPS usable)
크기	157 × 153 × 85mm

메라(표 1)를 이용하였으며 카메라에 따른 정확도의 영향을 고려하기 위하여 측량용 디지털 카메라인 DCS200을 이용하여 동일한 조건하에 추가적으로 촬영하였다. 그리고 비측량용 카메라의 경우 렌즈의 왜곡에 대해 실험적 검증방법인 평면투영변환식을 이용한 정밀검정을 통해 기하학적 안정성을 확보할 수 있도록 하였다.

### 3.2 시스템 수행성 평가

영상분석 시스템은 그 종류와 구현을 위한 알고리즘 및 해석기법에 따라 서로 다른 측정정확도를 나타낸다(Steven 등, 1991). 그러므로 영상분석 시스템의 구현시 검증되어 활용도가 높은 타 시스템과의 비교 평가를 통해 사용한 해석기법 및 알고리즘의 적절성과 성능을 필히 검토하여야 한다(Sabry 등, 1992). 그리고 영상분석 시스템과는 무관하게 영상획득기기의 특성에 따라 정확도의 차이가 발생

할 수 있어 영상분석 시스템의 분석에 따른 정확도의 검증 및 평가가 곤란해질 수 있으므로 영상획득기기와의 조합·분석을 통해 보다 종합적인 분석을 수행하고자 하였다.

이에 본 논문에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템의 평가를 위해 정확도의 검증을 거친 타 시스템과의 영상해석 정확도를 비교 평가하였다. 이를 위해 우선 분석 시스템 간의 구성과 특성을 고찰하고 동일한 조건에 의해 획득한 영상 및 기준점 성과를 이용하여 영상처리를 수행하여 그 성과를 획득하였다.

3차원 자료의 획득을 위한 방법으로 본 연구에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템과 수치사진측량 시스템인 VirtuZo를 이용하여 평가를 위한 자료를 획득하였다. 이때 분석을 위한 영상은 기초실험 사면에 대하여 DCS200 측량용 카메라와 Nikon D1X 비측량용 카메라에 의해 촬영거리 12m에서 획득된 영상을 각각 이용하였다. 획득한 수치영상은 촬영조건에 따라 각기 다른 밝기값 분포를 갖게 되므로 각각의 영상을 동일한 색상분포를 갖게 하기 위해 영상의 히스토그램을 분석하여 좌측영상의 밝기 정보를 기준으로 우측영상의 평균값과 표준편차를 일정하게 보정한 다음 히스토그램 평활화를 수행하였다. 획득한 영상은 영상분석 시스템별 처리과정에 의해 3차원 수치영상

표 2. 비교·분석을 위한 시스템 조합

시스템	영상획득기기		영상분석시스템	
	비측량용 카메라 (Nikon D1X)	측량용 카메라 (DSC200)	3차원수치 영상생성 시스템	수치사진측 량시스템 (VirtuoZo)
조합경우				
조합경우1	○		○	
조합경우2	○			○
조합경우3		○	○	
조합경우4		○		○

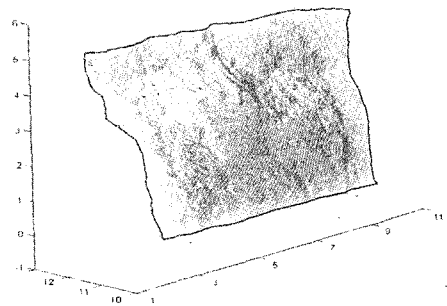


그림 3. 해석 대상면에 대한 3차원 격자망

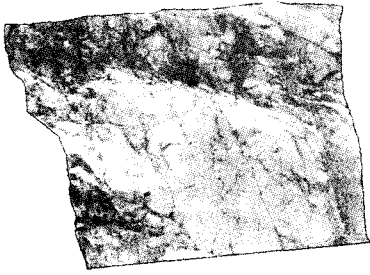


그림 4. 해석 대상면에 대한 3차원 수치영상

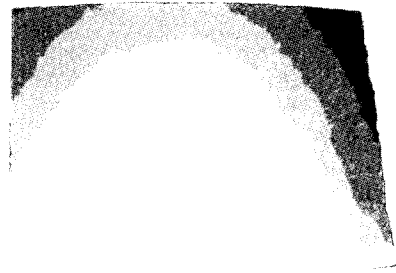


그림 5. VirtuZo 시스템 해석에 의한 수치표고모형

을 생성하였다. 또한 영상분석 시스템과 영상획득기기의 조합(표 2)을 달리하여 위와 동일한 방법에 의해 각각 3차원 자료 획득을 위한 3차원 수치영상을 생성하였다.

그림 3은 3차원 수치영상 생성시스템에 의해 생성한 해석 대상면에 대한 3차원 격자망을 나타낸 것이고, 그림 4는 3차원 격자망과 기준영상으로 설정한 좌측영상을 이용하여 제작한 3차원 수치영상을 나타낸 것이다.

3차원 수치영상 생성시스템의 해석을 요하는 조합경우1과 조합경우3의 성과는 6단계에 의해 구현된 시스템의 처리공정에 의해 순차적으로 처리를 가하여 3차원 수치영상을 생성하였다. 그리고 VirtuZo 시스템에 의한 영상해석을 설정한 조합경우2와 조합경우4에 대한 성과는 현장에서 획득한 영상을 기하학적 해석에 적합한 영상으로 변환하고, 내부표정, 상호표정과정을 통해 촬영당시의 카메라와 대상공간 좌표계의 관계를 재현하여 입체 모델을 생성하였다. 모델의 생성을 위한 내부표정 정확도는 0.01mm 정도였으며, 상호표정의 정확도는 약 0.15픽셀의 정확도를 보였다. 표정 과정을 수행한 후 에피플라 영역을 결정하고 영상정합 과정을 수행하여 수치표고모형을 생성하였다. 이때 수치표고모형의 생성에 있어 일정 크기의 격자에 의해 대상의 3차원 성과를 저장하는 격자형 방법을 택하였으며, 단일 격자 크기를 10mm 간격으로 설정하여 대상 해석면에 대한 수치표고모형을 생성하였다. 그림 5는 VirtuZo의 작업을 통해 생성한 해석 대상면에 대한 수치표고모형 성과를 나타낸 것이다.

각 경우별로 생성한 3차원 수치영상으로부터 해석 대상면에 배치하여 기준점 측량작업시 결정한 20점의 검사점들에 대해 3차원 좌표를 독취하였다. 그리고 3차원 수치영상 생성시스템의 수행성 평가를 위해 3차원 수치영상 생성시스템에 획득한 3차원 좌표성과(조합경우1, 3)와 VirtuZo 시스템에 의해 획득한 3차원 좌표성과(조합경우2, 4)를 검

표 3. 영상분석 시스템별 3차원 편차 (단위:m)

검사점	3D_IGS		VirtuoZo	
	조합경우1	조합경우3	조합경우2	조합경우4
1	0.0169	0.0148	0.0156	0.0108
2	0.0191	0.0161	0.0170	0.0141
3	0.0220	0.0167	0.0182	0.0127
4	0.0174	0.0170	0.0137	0.0117
5	0.0205	0.0153	0.0180	0.0156
6	0.0162	0.0137	0.0167	0.0121
7	0.0184	0.0175	0.0129	0.0111
8	0.0190	0.0165	0.0171	0.0141
9	0.0169	0.0153	0.0161	0.0136
10	0.0202	0.0176	0.0158	0.0150
11	0.0175	0.0151	0.0159	0.0135
12	0.0201	0.0173	0.0136	0.0107
13	0.0176	0.0148	0.0158	0.0116
14	0.0182	0.0159	0.0164	0.0135
15	0.0165	0.0149	0.0149	0.0133
16	0.0209	0.0179	0.0162	0.0113
17	0.0189	0.0160	0.0153	0.0103
18	0.0187	0.0155	0.0160	0.0142
19	0.0175	0.0170	0.0146	0.0109
20	0.0203	0.0172	0.0130	0.0109

표 4. 영상분석 시스템별 3차원 오차 (단위:m)

영상분석 시스템	3차원수치영상 생성시스템		VirtuoZo 시스템	
	조합경우1	조합경우3	조합경우2	조합경우4
평균 제공근오차				
X-좌표	0.00850	0.00710	0.00666	0.00455
Y-좌표	0.00776	0.00639	0.00644	0.00499
Z-좌표	0.01537	0.01354	0.01318	0.01107
3차원 오차	0.01920	0.01657	0.01611	0.01297

사점에 대한 측량성과와 비교하여 편차를 산출하였다.

표 3은 각 시스템으로부터 산출된 결과를 3차원의 성과로 정리한 것이며, 표 4는 산출된 편차를 이용하여 X, Y, Z축별 평균제곱근오차를 산출한 것이다. 그림 6과 그림 7은 위의 성과를 각각 도시한 것이다.

각 경우별 3차원 정확도를 도출한 결과, 모든 경우에서 0.02m 이내의 정확도를 확보할 수 있었으며, VirtuozO 시스템을 이용하여 처리한 경우인 조합경우 2와 4에서 3차원 수치영상 생성시스템에 의해 처리한 조합경우 1과 3보다 다소 높은 정확도를 보였다.

동일한 조건의 부여에 의한 시스템 평가를 위해 동일한 영상획득기기에 의해 획득된 영상의 처리를 통한 3차원 정확도 평가 결과를 살펴보면, 3차원 수치영상생성 시스템과 VirtuozO 시스템간의 정확도의 차이는 측량용 카메라인 DCS200으로부터 획득한 영상을 이용하였을 경우 3.60mm, 비측량용 카메라인 Nikon D1X로부터 획득한 영상을 이용하였을 경우 3.09mm의 편차를 보였다. 또한 최대 편차를 보이고 있는 조합경우1과 조합경우4의 경우에는 6.23mm정도의 차를 보이고 있어, 본 논문에서 구현한

3차원 수치영상생성 시스템에 의한 처리 정확도는 검증된 VirtuozO시스템의 정확도에 상당히 접근하는 성과를 제시하고 있음을 확인할 수 있었다. 위의 정확도 분석으로부터 3차원 수치영상 생성시스템의 수행성을 검증할 수 있었으며, 측정분야에의 활용 가능성을 제시할 수 있었다.

#### 4. 3차원 수치영상을 이용한 암반사면 조사

본 연구에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템의 적용 가능성과 3차원 수치영상을 이용한 공간정보의 생성 및 분석 가능성을 검토하고자 암반사면의 불연속면 조사 및 공간분석에 적용하였다.

암반사면은 기존의 암반의 응력상태에서 상호간의 균형을 잃게 됨으로써 노출된 암괴의 경우 중력에 의한 평형상태의 파괴가 발생하고 이는 곧 암반의 낙석 및 붕괴를 초래하게 되어 인적, 물적으로 큰 손실이 발생하게 된다. 그러므로 암반사면에 대한 정밀조사를 기반으로 한 안전진단을 통해 암반사면의 안정성을 검토하고 필요시 적절한 보수 및 보강 대책을 수립하여 구조적 안정성을 확보하여야 한다(선우춘, 2001). 현행 불연속면의 조사는 조사자가 직접 사면에 접근하여 불안전 요소들의 조사를 수행하고 있으며, 특수한 장비를 이용하지 않는 조건에서는 사면 전반에 대한 조사가 현실적으로 어려운 실정이다. 또한 조사자의 안정성의 결여나 측정 결과의 객관성 결여라는 문제점을 내포하고 있으며, 이러한 문제점으로 인해 지속적인 관측을 통한 사면거동의 탐지가 불가능하여 이에 대한 지속적인 체계적인 관리가 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 현장조사에 있어 비접근 조사를 통한 조사자의 안정성 확보와 사면전반에 대해 동일한 정확도에 의한 측정을 실현하고 조사자의 주관적 판단에 따른 측정결과의 객관성 결여의 문제를 해결함과 동시에 암반사면의 조사에 있어 보다 효율적인 측정방법을 제시하기 위해 수치사진측량 기법을 기반으로 하여 생성한 3차원 수치영상을 이용한 측정 방법을 적용하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서 구현한 시스템을 이용하여 3차원 수치영상을 생성하고 이로부터 불연속 선구조를 추출하였다. 그리고 방향성, 연속성, 간극 및 간격등과 같은 선구조 특성을 대표하는 요소에 대한 측정을 수행하고, 현장지표지질 조사에 의한 실측성과와 비교함으로써 3차원 수치영상을 이용한 불연속 요소의 추출 정확도를 분석하였다. 분석 결과를 기반으로 하여 등고선도, 음영기복도, 경사도 및 경사방향도를 측정성과를 이용하여 생성하였다(그림 8). 이로

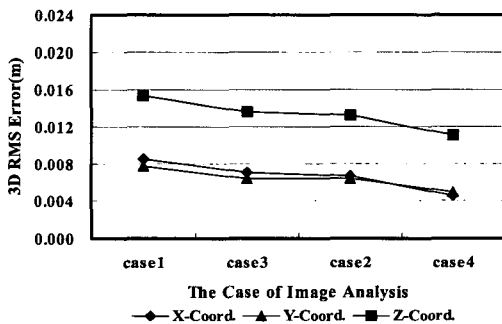


그림 6. 영상분석시스템별 X, Y, Z축 평균제곱근오차

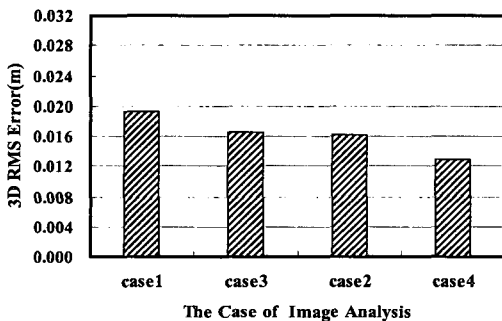


그림 7. 영상분석 시스템별 3차원 오차

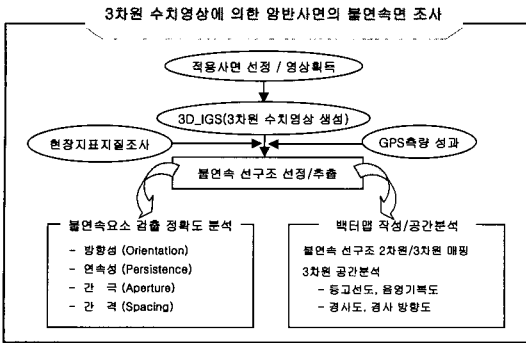


그림 8. 3차원 수치영상에 의한 암반사면의 불연속면 분석 흐름도

부터 사면특성의 모니터링과 안정성 평가 및 붕괴대책 입안에 기초 자료의 제공을 위한 3차원 수치영상과 개발한 시스템의 활용 가능성을 제시하고자 하였다.

#### 4.1 적용실험 및 3차원 수치영상 생성

개발한 3차원 수치영상 생성시스템으로부터 획득한 3차원 수치영상을 이용하여 암반사면의 불연속 요소의 검출 및 공간분석의 가능성을 검토하기 위해 노두에 불연속면이 잘 발달한 대규모의 암반사면(그림 9)을 적용대상으로 선정하여 영상을 획득하였다.

사면에 대한 수치영상은 촬영거리 23m, 중복도 65%의 조건으로 직각수평촬영 방법에 의해 총 4모델을 형성하도록 획득하였으며, 영상획득기기로는 Nikon D1X 디지털 카메라를 이용하였다. 영상해석을 위한 기준점은 사면전체에 걸쳐 총 45점을 선정하여 측정하였으며, 보조적으로 촬영한 필름영상의 입체시를 수행하여 인식이 명확한 자연점을 기준점으로 활용하였다. 또한 기준점측량 원점에 대한 절대좌표의 획득을 위해 Trimble 4800 2주파 수신기를 이용하여 정지측량 방법으로 1시간 이상 관측을 실시하

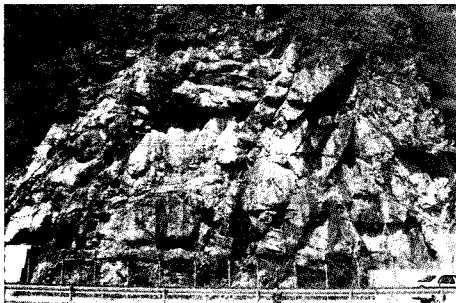
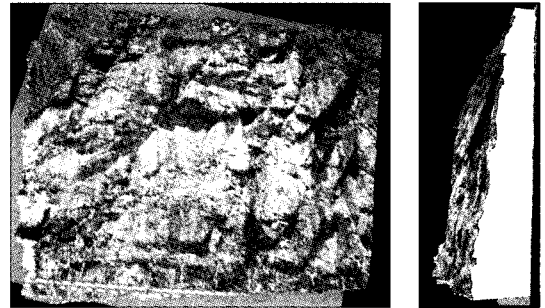


그림 9. 적용사면 전경

표 5. 적용사면 기준점측량 원점의 절대좌표

	초기좌표	조정량	조정좌표
위도	35°53' 53.52110"	+0.00021"	35°53' 53.52131"
경도	128°02' 59.13152"	-0.00036"	128°02' 59.13116"
표고	337.74631m	-0.00520m	337.74111m

기준계: WGS-84, 좌표계: 지리, 구역: Global



(a) 전 면

(b) 우측면

그림 10. 적용사면의 3차원 수치영상

였고, GPSurvey V2.35a 상용 프로그램을 이용하여 처리하였다. 좌표의 획득을 위해 GPS 상시관측소 중 대구, 전주, 진주 그리고 상주에 있는 상시관측소 자료를 이용하였다. 자료 처리시 우선 WGS84 상에서 상주의 상시관측소 자료를 기준점으로 하여 좌표를 도출하였으며, 표고의 획득을 위해 EGM96 지오이드 모형을 이용하였다. 표 5는 GPS관측에 의해 획득한 기준점측량 원점의 좌표를 나타낸 것으로 사면에 발달한 절리의 방향성의 측정시 진북방향의 결정에 활용하였다.

획득한 영상에 대해 구현한 3차원 수치영상 생성 시스템의 처리과정을 순차적으로 수행하여 해석 대상면의 입체적 분석이 가능한 3차원 수치영상을 획득하였다(그림 10).

#### 4.2 불연속 선구조 추출

생성한 3차원 수치영상을 이용하여 적용사면 노두에 분포하고 있는 절리를 추출하고, 선구조 추출의 정확도 검증을 위한 각종 자료를 획득하였다. 우선 3차원 수치영상에서 적용사면 노두에 분포하고 있는 20여개의 절리를 추출하고, 이 중 현장지표지질조사에서 조사자의 접근이 가능한 8개의 절리를 분석을 위한 대상으로 선정하였다. 그림 11은 적용 암반사면 노두에 분포하고 있는 절리의 양상과 본 연구에서 분석 대상으로 선정한 절리를 나타낸 것이다. 적용사면에 대해 생성한 3차원 수치영상은 컴퓨터 공간

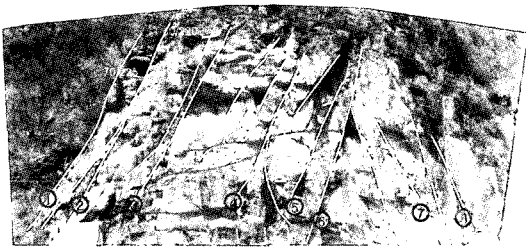


그림 11. 적용사면내 대상절리 분포

상에서 입체감을 가지므로 선정된 각각의 절리상에 존재하는 깊이 방향 변곡점의 선정이 가능하게 된다. 3차원 수치영상 생성시스템의 3차원 위치측정 모듈을 이용하여 이들 변곡점의 절점에 대하여 일정한 측정방향을 설정하여 순차적으로 3차원 좌표를 측정하고, 성과는 텍스트 파일로 저장하였다. 각 절리별로 측정된 절점에 대한 3차원 좌표는 절리의 방향성(orientation)과 연속성(persistence), 간격(spacing) 및 간극(aperture) 등 불연속 요소의 측정을 위해 Microstation®SE에 MDL Application을 이용하여 자동 입력하였다.

### 4.3 불연속 요소 검출

국제암반역학회(ISRM)에서 제안한 암반 불연속면의 정량적 기제에 관한 지침에서는 암반 불연속면의 기제사항으로 방향, 간격, 연속성, 거칠기, 벽면 강도, 간극, 충전물, 용수, 절리군의 수, 그리고 블록크기 등 총 10가지 요소를 제안하고 있다. 특히, 절리의 경우에는 암석특성 조사분석 기준(김영근, 1996)에 의거 방향성, 연장성, 간격, 간극 등의 요소를 주요 특성으로 분류하고 있다. 이에 본 연구에서는 3차원 수치영상을 이용한 불연속면 조사 항목으로 이들 4가지 요소를 대상으로 하여 정량적 측정을 시도하였으며, 측정 결과에 대한 정확도 검증을 병행하여 수행하였다.

#### 4.3.1 방향성

암반 불연속면의 방향성은 공간상의 불연속면의 방향으로 정의되며, 불연속면에서 가장 경사진 선구조의 주향과 경사로 표시하거나, 경사방향과 경사로 표시한다. 주향이라 함은 수평면과 지층면의 교선이 진북방향과 이루는 방향을 말하며, 경사는 주향에 직각방향으로 지층면과 수평면이 이루는 각이 최대인 각을 나타낸다. 또한 이것이 가리키는 방향을 경사방향이라 한다. 일반적으로 현장조사에 의한 절리의 방향성 측정은 콤팩스나 클리노미터를 사용

하며, 측정값의 표시는 암반사면 노두에 나타난 절리의 경사방향과 경사를 측정하여 [경사방향/경사]와 같이 표현하는 공학적 표시방법을 채택한다.

본 연구에서 3차원 수치영상을 이용한 방향성의 측정을 위해 적용사면에서 선정된 8개의 절리 각각에 대하여 측정된 변곡 절점에 대한 좌표를 Microstation®SE 상에 입력한 후, 절점들의 좌표를 이용한 3차원 회귀분석을 수행하여 대표절리를 작성하였다. 그리고 현장에서 취득한 GPS관측 성과를 이용하여 진북 방향을 결정하고 이로부터 대표절리에 대한 경사방향과 경사를 측정하였으며, 동일한 작업과정에 의해 8개의 절리에 대한 방향성을 측정하였다. 또한 3차원 수치영상을 이용하여 획득한 절리들의 방향성 측정결과와 정확도 검증을 위해 적용사면에서 선정된 8개의 절리에 대하여 현장지표지질조사를 실시하였다. 현장지표지질조사는 경험이 풍부한 조사자에 의해 수행되었으며, 조사자의 접근이 가능한 지점에서 클리노미터를 이용하여 직접 취득하였다. 그림 12는 현장지표지질조사에 의해 획득한 절리들의 방향성 측정결과를 모식도로 나타낸 것이며, 표 6은 3차원 수치영상을 이용한 방향성 측정결과와 현장지표지질조사에 의해 획득한 측정결과를 나타낸 것이다.

8개의 대상절리에 대한 경사방향과 경사를 현장지표지질조사방법에 의해 측정된 값과 3차원 수치영상으로부터 획득한 측정값과의 편차를 산출한 결과, 경사방향의 경우 8개의 절리 전 체에서 1°이내의 편차를 보였으며, 경사의 경우에는 대부분의 절리에서 1°이내의 편차를 보였다. 산출된 편차는 비교적 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있는데 이는 현장지표지질조사시 각 절리에 대하여 조사자가 접근할 수 있는 사면의 하단부에서 측정이 이루어짐으로써 3차원 수치영상에서 획득한 성과와 같이 절리 전체의 방향

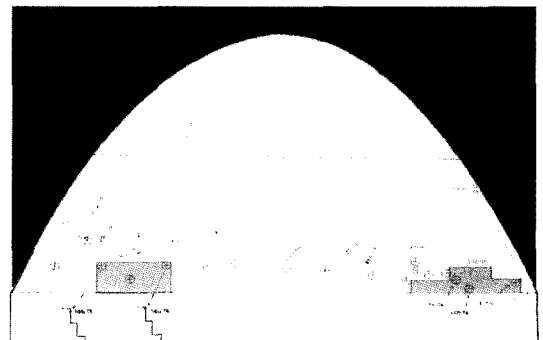


그림 12. 현장지표지질조사에 의한 방향성 측정 모식도

표 6. 절리의 방향성 측정결과(경사방향/경사) 및 편차

절리 번호	측정방법 현장지표지 질조사(°)	3차원수치영상 측정(° ' ")	편 차 (° ' ")
1	255 / 70	254-28-55 68-50-43	0-31-05 1-09-17
2	189 / 70	187-59-56 69-12-42	1-00-04 0-47-18
3	215 / 55	215-39-12 54-55-47	0-39-12 0-04-13
4	210 / 55	209-23-32 53-56-29	0-36-28 1-03-31
5	217 / 57	217-48-24 58-04-33	0-48-24 1-04-33
6	220 / 60	219-24-22 59-30-03	0-35-38 0-29-57
7	067 / 88	067-11-12 88-09-42	0-11-12 0-09-42
8	066 / 80	064-59-43 79-25-26	1-00-17 0-34-34

을 대상으로 하지 못함으로써 발생한 편차라 판단된다. 그리고 현장지표지질조사에서 사용한 클리노미터의 경우 측정이 도(°)단위로 이루어지므로 측정단위에서 발생하는 편차 역시 상당한 영향을 미친 것으로 예상된다.

일반적으로 암반사면 노두에 발달한 절리의 방향성 측정에 대한 허용범위를 5° 이내로 보았을 때(김영근, 1996), 3차원 수치영상으로부터 관측된 성과는 절리의 방향성 측정값으로 충분한 정확도를 확보할 수 있을 것으로 사료되며, 현장지표지질조사보다 정밀한 측정이 가능하리라 판단된다. 그리고 조사자의 접근이 곤란한 사면 상단에 발달한 절리의 경우에도 3차원 수치영상을 이용한 측정방법을 활용함으로써 측정이 가능해짐에 따라 기존의 국부적인 측정의 한계를 극복하고 사면 전면에 대한 광역적인 측정이 가능할 것으로 사료된다.

### 4.3.2 연속성

암반 불연속면의 연속성은 한 평면내에서 불연속면의 크기나 면적의 정도를 나타내는 것으로, 노두에 나타난 불연속면의 자취 길이로 표시된다. 이 요소는 대략적으로 노출된 표면에서의 불연속면의 길이를 관측함으로써 정량화될 수 있으며, 현행 연속성의 측정은 조사자에 의해 테이프를 이용한 측정이 가장 일반적인 방법이다. 그러나 이러한 측정방법 역시 조사자의 접근이 용이한 지점에서 가능한

것으로 접근이 용이하지 못한 지점에 대해서는 조사된 지점의 자료를 이용하여 조사자의 경험에 의해 예측하거나, 사면 전면에 대해 촬영된 사진으로부터 측정만을 고려하여 사진상에서 측정하는 방법을 사용하고 있다. 또한 많은 변화를 가지는 절리의 발달 방향을 고려하지 않고 시점과 중점을 연결한 직선적인 측정이 이루어짐으로써 높은 정확도의 측정을 기대할 수 없는 실정이다.

본 논문에서 3차원 수치영상을 이용한 불연속면의 연속성 측정을 수행함에 있어 측정값의 정확도 분석을 위해 무반사경 토탈스테이션(Geodimeter Total Station 600s DR200+;GTS)을 이용하여 대면측량 방법에 의해 대상절리 전체 중 일부분을 선택하여 측정하였으며, 절리의 발달 방향을 고려할 수 없으므로 가능한 직선적으로 발달한 절리를 대상으로 연속성을 측정하였다.

3차원 수치영상을 이용한 불연속면의 연속성 측정은 3차원 수치영상으로부터 변곡점에 대한 좌표를 측정하고 이들 측정점들의 배치양상을 이용하여 변곡이 크게 발생하는 지점을 선정하여 개개의 구간으로 구별하였다. 각 구간 내에서는 다수 측정된 좌표를 이용한 회귀분석을 수행하여 대표직선을 추출하였고, 이 직선의 길이를 각 구간의 길이로 간주하였다. 그리고 최종적으로 구간별 측정값을 합산함으로써 전체 절리에 대한 연속성을 측정하였다.

3차원 수치영상을 이용한 연속성 측정은 무반사경 토탈스테이션에 의해 측정된 동일지점을 대상으로 하였으며, 10개소에 대한 부분적 절리의 길이를 측정하였다. 표 7은 무반사경 토탈스테이션과 3차원 수치영상으로부터 추출한 좌표성공을 이용한 불연속면의 연속성 측정결과를 나

표 7. 절리의 연속성 측정결과 및 편차 (단위:m)

측정 지점번호	측정방법 현장지표지질 조사(GTS)	3차원수치 영상측정	편 차
1	2.758	2.748	0.010
2	3.284	3.270	0.014
3	1.986	1.994	-0.008
4	2.986	2.968	0.018
5	3.112	3.134	-0.022
6	1.548	1.557	-0.009
7	4.006	4.018	-0.012
8	3.332	3.316	0.016
9	2.249	2.231	0.009
10	3.365	3.376	-0.011



표 8. 대상 절리의 연속성 측정 (단위:m)

연속성 측정값 절리번호	연속성	연속성 측정값 절리번호	연속성
1	22.450	5	15.884
2	23.787	6	21.015
3	20.145	7	14.468
4	16.564	8	13.753

타낸 것이며, 두 방법에 의해 획득한 성과의 상호 비교를 통해 편차를 산출하였다.

연속성 측정의 정확도 검증 결과, 두가지 측정방법에 의한 측정값간의 평균편차는 0.0129m로 비교적 양호한 결과를 보였다. 이러한 결과로부터 암반사면 노두에 발달한 절리에 대한 연속성의 추출에 있어 3차원 수치영상을 이용한 측정방법의 적용 가능성을 입증할 수 있었으며, 사면 전체에서 대상 절리로 선정한 8개의 절리에 대하여 3차원 수치영상을 이용한 측정방법에 의거하여 절리 길이를 측정하여 표 8에 나타내었다.

#### 4.3.3 간극

암반 불연속면의 간극은 하나의 불연속면에 서로 인접한 암석간에 분리되어 있는 수직거리를 나타내는 것으로, 간극의 변화는 불연속면의 전단응력에 영향을 미치게 되며 암반과 불연속면의 투수성과 물의 전도율에 큰 영향을 미치는 요소이다. 현장지표지질조사에 의한 간극의 측정은 보통 mm단위의 단위를 갖는 3m 이상의 자나 얇은 간극의 측정을 위한 간극게이지가 주로 이용된다. 측정방법은 주로 조사 참조선과 교차하는 모든 불연속면의 간극을 기록하거나 주요한 불연속면의 간극의 변화를 불연속면을 따라 측정한다.

본 논문에서 불연속면에 대한 간극의 측정은 대상절리 중 2번과 3번 절리의 하단부를 샘플로 하여 간극 변화를 현장지표지질조사에 의해 측정하였으며, 간극 게이지와 캘리퍼스를 이용하였다. 3차원 수치영상을 이용한 간극의 측정은 현장지표지질조사가 이루어진 동일 지점에 대해 3차원 좌표를 측정하여 거리로 환산하였다.

현장지표지질조사와 3차원 수치영상에 의한 좌표 측정은 총 10개 지점을 대상으로 하였으며, 그림 13은 간극의 측정 지점을 나타낸 것이다. 표 9는 불연속면의 간극에 대하여 간극게이지를 이용한 직접측정 성과와 3차원 수치영

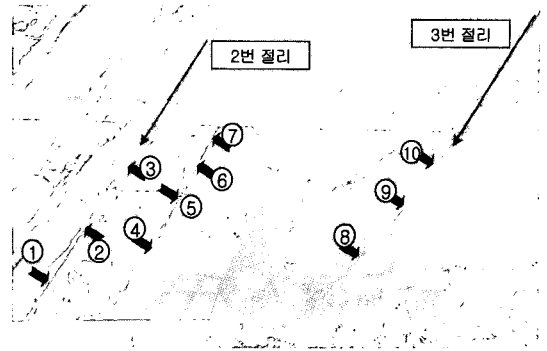


그림 13. 절리 간극의 측정지점

표 9. 절리 간극의 측정결과 및 편차 (단위:mm)

측정방법 측정 지점번호	현장지표 지질조사 (간극게이지)	3차원수치 영상측정	편 차
1	38.4	36.8	1.6
2	60.6	59.9	0.7
3	35.7	34.6	1.1
4	25.9	24.6	1.3
5	28.2	27.0	1.2
6	22.5	21.2	1.3
7	23.4	22.4	1.0
8	46.2	45.6	0.6
9	27.6	26.3	1.3
10	25.3	24.1	1.2

상으로부터 획득한 성과를 나타낸 것이며, 동일 측정지점에 대한 측정 방법별 측정값의 편차를 구하였다.

불연속면의 간극에 대한 정확도 검증 결과, 두 가지 방법에 의한 측정값의 평균 편차는 1.13mm로서 1mm내외의 편차를 보였으며, 이러한 측정 결과로부터 3차원 수치영상을 이용한 불연속면 간극측정에서 매우 양호한 상태의 정확도를 확보할 수 있음을 입증할 수 있었다. 또한 조사자의 접근이 불가능한 사면 상단의 절리 간극에 대해서도 검증 결과 정확도에 준하는 측정이 가능하리라 사료된다.

#### 4.3.4 간격

암반 불연속면의 간격은 인접한 불연속면간의 직선거리로 측정이 이루어지며 일반적으로 같은 군에 속하는 불연속면의 평균거리로 표시한다. 현장지표지질조사에 의한 간격의 측정은 측정할 불연속면군에 기준자를 수직이 되도록 배치하여 측정하고, 이것이 불가능할 경우에는 기준

자를 수평으로 배치하여 불연속면 사이의 수평거리를 측정 후 불연속면과 기준자가 이루는 각을 콤팩스로 측정하여 수직거리로 환산하는 방법을 사용한다. 측정값의 표시는 최소, 평균 및 최대 간격으로 기록하며 측정이 이루어진 모든 자료는 빈도분포도로 작성한다.

3차원 수치영상을 이용한 불연속면의 간격 측정을 위해 사면 전체에 발달되어 있는 모든 절리를 추출하고 인접한 절리면 사이의 수직거리를 절리군당 3개소씩 관측하였다. 간격의 측정은 모든 절리를 대상으로 하여야 하므로 대상 절리로 선정한 8개의 절리를 비롯하여 모든 절리를 간격 측정을 위한 대상으로 포함하였다. 간격 측정시 절리들이 모두 평행한 상태가 아니므로 좌측 절리면을 기준면으로 설정하고 이 절리면에 수직방향을 설정하여 측정을 수행하였으며, 총 42측점의 간격 측정성과는 빈도분포도로 표현하였다. 그림 14는 3차원 수치영상으로부터 획득한 절리 간격의 측정성과에 대한 빈도분포도를 나타낸 것이다. 빈도분포도의 수평축은 ISRM에 의해 정의된 등급으로 하였으며, 수직축은 측정 빈도를 나타낸다.

대상사면의 절리들에 대한 간격 측정결과, 최소 절리간격은 231.5mm이었으며 최대 절리간격은 사면 중앙하단부의 3번과 4번 절리 사이로 4480.7mm이었다. 그리고 측정된 전체 절리간격의 평균은 1,681mm이었다.

#### 4.4 3차원 자료를 이용한 공간분석

3차원 수치영상 생성시스템의 처리에 의해 생성한 자료를 이용하여 공간정보의 획득 가능성을 제시하고 더불어 3차원 수치영상의 활용성을 증진시키고자, 적용사면에 대해 획득한 3차원 수치영상과 3차원 격자망을 다양한 공간 분석을 수행하였다.

3차원 수치영상의 생성과정에서 제작된 3차원 격자망은 3차원 수치영상생성 시스템의 파일포맷전환 옵션에 의해

ASCII포맷으로 전환될 수 있다. 이렇게 전환된 ASCII 파일은 GIS 응용 소프트웨어를 이용한 공간분석의 입력 자료로써 활용될 수 있다. 본 연구에서는 전환되어 생성된 ASCII 파일을 Arcview 3.1(spatial analyst or 3D analyst)에 입력하여 수치표고모형을 생성하고, 이를 이용하여 다양한 공간분석을 수행함으로써 3차원 격자망의 활용성을 향상시키고자 하였다.

3차원 격자망은 암반사면에 대해 촬영한 단 모델의 영상을 이용하여 생성한 것으로 격자망을 구성하고 있는 3차원 좌표성과를 이용하여 불규칙 삼각망을 작성하고 이를 이용하여 수치표고모형을 생성하였다. 그리고 수치표고모형 성과를 이용하여 암반사면의 샘플영역에 대한 경사 및 경사방향의 분포도, 음영기복도 그리고 등고선도를 작성하였다. 그림 15는 3차원 격자망을 이용하여 생성한 수치표고모형을 나타낸 것이며, 그림 16, 그림 17, 그림 18 그리고 그림 19는 수치표고모형을 이용한 각종 공간분석의 결과로 생성한 등고선도, 음영기복도, 경사도 및 경사 방향도를 나타낸 것이다.

이상과 같이 3차원 수치영상 생성시스템의 처리에 의해 획득한 3차원 자료를 이용하여 응용 어플리케이션과의 자료 호환성을 확보함으로써 각종 공간분석을 성공적으로

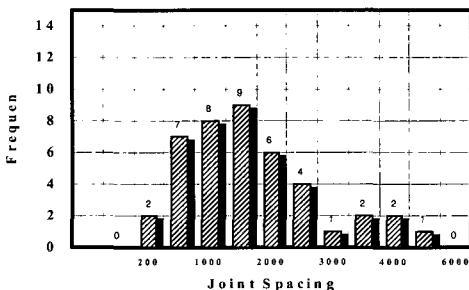


그림 14. 불연속면의 간격 빈도분포도

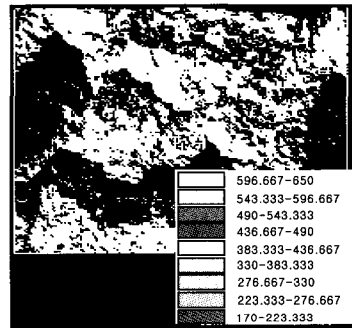


그림 15. 수치표고모형

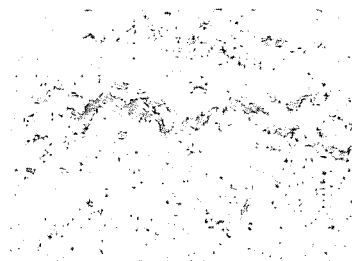


그림 16. 등고선도

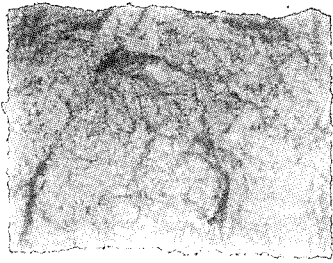


그림 17. 음영기복도

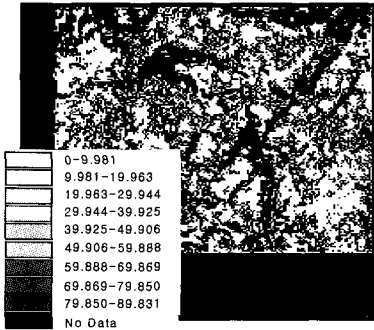


그림 18. 경사도

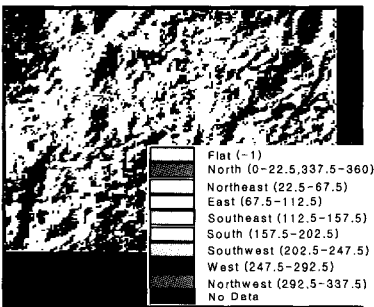


그림 19. 경사 방향도

수행할 수 있었다. 그러므로 본 연구에서 생성한 3차원 자료는 다양한 응용 분석에 효과적으로 적용 가능할 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 논문은 3차원 수치영상의 생성과 적용성을 평가하기 위해 3차원 수치영상 생성시스템을 구현하고 이에 대한 수행성 평가와 3차원 수치영상의 활용 가능성을 검토한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 3차원 수치영상의 생성을 위해 수치사진측량 기법을 적용하고 영상처리 공정의 단순화를 위한 절차형 루틴을 설계하여 3차원 수치영상 생성 시스템을 구현하였다.

둘째, 3차원 수치영상 생성시스템에 의해 3차원 수치영상을 생성하여 기존의 수치사진측량시스템에 의해 획득한 성과와 비교 분석함으로써 그 수행성을 평가하였다. 그 결과, 분석을 위해 설정한 모든 조합경우에서 0.02m이내의 측정정확도를 확보할 수 있었으며, 각 경우별 최대편차는 6.23mm로 검증된 시스템의 정확도에 상당히 근접하는 성과를 제시할 수 있었다.

셋째, 3차원 수치영상의 실제 적용 가능성을 검증하기 위해 암반사면의 불연속면 조사에 적용하고 불연속 요소에 대한 측정 정확도를 평가한 결과, 측정에 요구되는 허용 정확도를 만족시킬 수 있었으며 불연속면의 지표정보를 보다 효율적으로 추출 할 수 있었다.

넷째, 3차원 수치영상 생성시스템의 처리에 의해 획득한 자료를 GIS 어플리케이션을 이용하여 다양한 공간분석을 수행함으로써 3차원 수치영상생성 시스템과 3차원 수치영상에 대한 활용 가능성을 제시할 수 있었다.

향후, 3차원 수치영상 생성시스템의 측정 정확도 향상을 위한 지속적인 연구와 더불어 보다 진전된 수치영상 해석의 자동화를 실현한다면, 3차원 수치영상은 3차원 지형정보 구축을 위한 효율적인 자료 형태로서 제시 가능할 것이며, 지형정보의 생성 및 데이터베이스 구축에 있어 정보의 전달능력 향상과 활용성의 향상을 꾀할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 김영근 (1996), 암반불연속면의 정량적 기제에 대한 고찰, 한국암반공학회지, 한국암반공학회, 제6권, pp. 348-364.
- 선우춘 (2001), 지질조사와 불연속면의 방향성 특성, 한국지반공학회 특별세미나논문집, 한국지반공학회, pp. 117-136.
- 손정영 (2001), 3차원영상기술 현황 및 전망, 한국광학회지, 한국광학회, 제5권, 제2호, pp. 7-12.
- 엄대용, 윤희천 (2004), 수치사진측량 기반 3차원 수치영상 생성 시스템 개발, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, pp. 327-335.
- 유환희, 안충현, 오성남, 성민규 (1999), 3차원 지형정보 분석을 위한 수치사진측량 시스템 개발, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제17권, 제1호, pp. 11-19.
- 이재원, 홍순현, 김경희, 정공운 (2003), 근거리 수치 사진측량을 이용한 국부지형모형의 생성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권, 제2호, pp. 147-154.
- 한국과학기술연구원 (2001), 고현장감 3차원 영상 디스플레이 기술개발, pp. 183-208.

허병희 (1994), 3차원영상 획득기술의 동향과 응용기술, 대한전자공학회지, 대한전자공학회, 제21권, 제10호, pp. 1036-1045.  
Yokoyama, A., H. Oyaizu, T. Yoshigahara, K.Hayashi, Y. Miwa, T. Ushira (2000), 3차원 영상 미디어의 컴퓨터 합성 기술: 3차원 영상의 입력기술; 실시간 스테레오 카메라, 영상정보미디어학회지, 영상정보미디어학회, 제54권, 제3호, pp. 328-331.

Sabry, F. and Hakim, E, L(1992), Application and Performance a Evaluation of a Vision-Based Automated Measurement System, *SPIE*, Vol.1820, Videometrics, pp. 181-195.  
Steven, A. S. and Winne, J. C (1991), Digital Image Analysis Hardware/Software Use at U.S Forestry Schools, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, Vol.57, No.2, pp. 209-211.

---

(접수일 2004. 8. 4, 심사일 2004. 9. 1, 심사완료일 2004. 9. 7)