

3차원 수치영상을 이용한 암반사면의 지표정보 획득

The Surface Information Acquisition of Rock Slope using 3D Digital Image

엄 대 용¹⁾ · 강 준 목²⁾

Um, Dae Yong · Kang, Joon Mook

¹⁾ 국립충주대학교 건설응용화학공학부 토목공학과 전임강사(E-mail:dyum@chungju.ac.kr)

²⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:kangjm@cnu.ac.kr)

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.

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 공간 상에서 다루어지는 자료는 2차원에서 3차원의 자료로 확장되어 가고 있으며, 이는 2차원 자료로부터 획득할 수 있는 정보의 한계성을 극복하고 다양한 정보의 제공이 가능한 자료 구조에 대한 사용자의 요구에서 기인한다 하겠다.

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 수치영상을 들 수 있으며 이는 실제 대상물을 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.

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

2. 3차원 수치영상 생성 시스템 개발

3차원 수치영상 생성시스템은 수치사진측량의 처리공정에 의한 3차원 수치영상 생성부와 생성한 3차

원 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 격자망과 3차원 수치영상의 활용성 확대를 도모하고 자료의 호환성을 확보하기 위해 3차원 자료전환 모듈을 구현하여 ASCII포맷으로의 전환을 가능케 하였다.

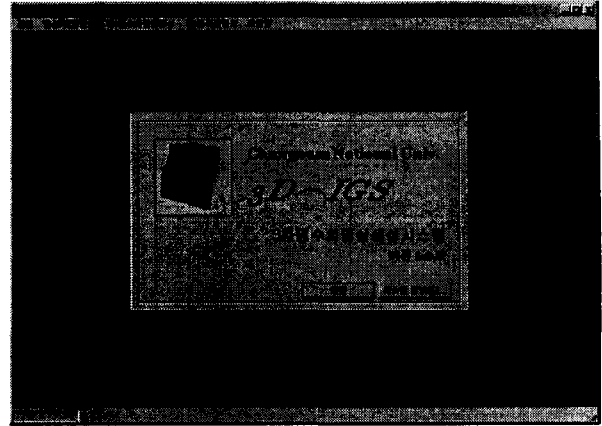


그림 1 3차원 수치영상생성 시스템 주화면

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

표 1 하드웨어 구성조건

항 목	내 용
프로세서	펜티엄 III or 펜티엄 IV 이상
메모리	256 MB이상, 512 MB 적정
비디오 메모리	8 MB 이상
하드디스크	인스톨을 위한 최소 20 MB 공간 이상 최소 100 Mbytes 이상의 자료저장 공간
운영체제	윈도우즈 NT 버전 4.0 Build 5.0
그래픽 요구	1024×768 픽셀 이상의 스크린 해상도

그림 1은 본 연구에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템의 주화면을 나타낸 것으로 3차원 수치영상 생성을 위해 설정한 처리과정순서에 입각하여 메뉴 형식으로 설계하였으며, 시스템에 대한 정보는 Splash화면으로 구성하였다.

3. 시스템 분석 및 적용

3.1 기초실험 대상선정 및 영상획득

본 연구에서 구현한 시스템에 대한 분석을 수행하기 위해 기초실험 대상을 선정하여 영상을 획득하고 영상해석을 위한 기준점 성과를 획득하였다. 그리고 현장에서 획득한 영상과 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 영상을 획득하였다. 영상획득을 위한 카메라로는 현장작업의 효율성을 증대시키고 비전문가들도 쉽게 수치영상을 획득할 수 있는 비측량용 디지털 카메라인 Nikon D1X 디지털 카메라와 측량용 디지털 카메라인 DCS200을 이용하였으며, 비측량용 카메라의 경우 렌즈의 왜곡에 대해 실험적 검정방법인 평면투영변환식을 이용한 정밀검정을 통해 기하학적 안정성을 확보할 수 있도록 하였다.



그림 2 기초실험대상 전경

표 2 Nikon D1X 디지털 카메라의 제원

항 목	내 용
유 형	교환렌즈 SLR-Type
촬영소자	*픽셀수: 547만(유효 532만)픽셀 *크기: 23.7x15.6mm RGB CCD
기록방식	*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)
촬영방식	*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 스텝씩 조절가능)
연결단자	*A/V 관련: 비디오출력(NTSC/PAL)(switchable) *Data I/O: IEEE1394, RS-232C (GPS usable)
크 기	157 x 153 x 85mm

3.2 3차원 수치영상 생성

해석 대상면에 대해 획득한 영상을 이용하여 3차원 수치영상 생성시스템의 처리에 의해 3차원 격자망과 3차원 수치영상을 각각 생성하였다. 3차원 수치영상 생성시스템에 의한 처리는 6단계에 의해 구현된 처리공정에 의해 순차적으로 처리를 가하였으며 그림 3은 생성한 해석 대상면에 대한 3차원 격자망을 나타낸 것이고 그림 4는 3차원 격자망과 기준영상으로 설정한 좌측영상을 이용하여 제작한 3차원 수치영상을 나타낸 것이다.

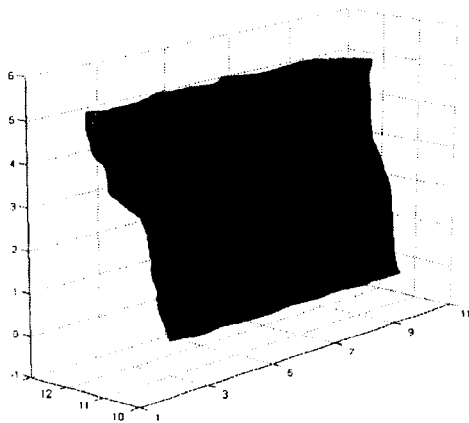


그림 3 해석 대상면에 대한 3차원 격자망

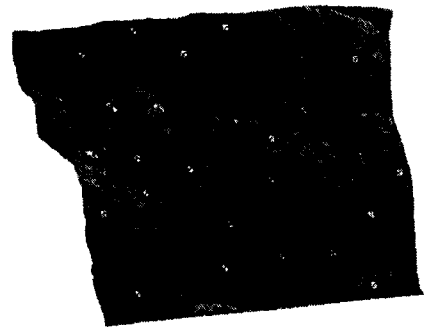


그림 4 해석 대상면에 대한 3차원 수치영상

3.3 시스템 수행성 평가

본 연구에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템의 수행성을 평가하기 위해 현재 검증되어 활용되고 있는 영상분석 시스템에 의한 처리성과와의 비교 평가를 수행하였다. 이를 위해 우선 분석 시스템간의 구성과 특성을 고찰하고 동일한 조건에 의해 획득한 영상 및 기준점 성과를 이용하여 영상처리를 수행함으로써 그 성과를 각각 획득하였다. 3차원 자료의 획득을 위한 방법으로는 두가지의 영상획득기기와 본 연구에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템 및 수치사진측량 시스템인 VirtuZo를 조합하여 구성하고 이를 각각 처리하여 평가를 위한 3차원 수치영상을 비롯한 각종 자료를 획득하였다. 표 3은 영상분석시스템과 영상획득기기의 조합 방법을 나타낸 것이다.

3차원 수치영상 생성시스템의 경우 시스템 구현을 위해 설정한 처리루틴에 의거하여 조합 경우 1과 조합 경우 3을 이용하여 3차원 수치영상을 생성하였으며, 수치사진측량시스템을 이용한 조합 경우 2와 조합 경우 4의 경우에는 기하학적 해석에 적합한 영상으로 변환을 수행한 후 내부표정, 상호표정과정은

표 3 비교 분석을 위한 시스템 조합

시스템 분류	영상획득 기기		영상분석 시스템	
	비측량용 카메라 (Nikon D1X)	측량용카메라 (DSC 200)	3차원수치영상 생성 시스템	수치사진측량 시스템(VirtuoZo)
조합경우				
조합 경우 1	○		○	
조합 경우 2	○			○
조합 경우 3		○	○	
조합 경우 4		○		○

통해 촬영당시의 카메라와 대상공간 좌표계의 관계를 재현하여 입체 모델을 생성하였다. 이때 모델의 생성을 위한 내부표정 정확도는 0.01mm 정도였으며, 상호표정의 정확도는 약 0.15픽셀의 정확도를 보였다. 표정과정을 수행한 후 에피폴라 영역을 결정하고 영상정합 과정을 수행하여 수치표고모델을 생성하였다.

각 경우별로 생성한 3차원 수치영상으로부터 해석 대상면에 배치하여 기준점 측량작업시 결정한 20점의 검사점들에 대해 3차원 좌표를 독취하였다. 그리고 3차원 수치영상 생성 시스템의 수행성 평가를 위해 3차원 수치영상생성 시스템에 획득한 3차원 좌표성과(조합경우1, 3)와 VirtuoZo시스템에 의해 획득한 3차원 좌표성과(조합경우2, 4)를 검사점에 대한 측량성과와 비교하여 편차를 산출하였다. 표 4는 산출한 편차를 이용하여 X, Y, Z축별 평균제곱근오차를 산출한 것이며, 그림 5은 이를 도시한 것이다.

표 4 영상분석 시스템별 3차원 오차 (단위 : m)

영상분석 시스템	3차원수치영상 생성시스템		VirtuoZo 시스템	
	조합경우1	조합경우3	조합경우2	조합경우4
평균 제곱근오차				
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

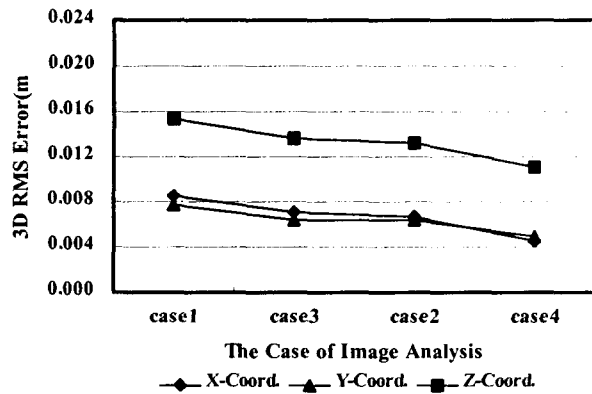


그림 5 영상분석시스템별 X, Y, Z축 평균제곱근오차

각 경우별 3차원 정확도를 도출한 결과, 모든 경우에서 0.02mm이내의 정확도를 확보할 수 있었으며, VirtuoZo시스템을 이용하여 처리한 경우인 조합 경우 2와 4에서 3차원 수치영상 생성시스템에 의해 처리한 조합 경우 1, 3보다 높은 정확도를 보였다. 그리고 최대편차를 보이고 있는 조합경우1과 4의 경우에는 6.23mm정도의 차를 보이고 있어 본 논문에서 구현한 3차원 수치영상 생성시스템에 의한 처리정확도는 검증된 VirtuoZo시스템의 정확도에 상당히 근접하는 성과를 제시할 수 있음을 확인 할 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 생성시스템으로부터 획득한 3차원 수치영상을 이용하여 암반사면의 불연속 요소의 검출 및 벡터맵 작성의 가능성을 검토하기 위해 노두에 불연속면이 잘 발달한 암반사면을 적용대상으로 선정하여 영상을 획득하고 3차원 수치영상 생성시스템의 처리과정에 의해 3차원

영상을 생성하였다. 선정된 적용사면은 경상북도 성주군 30번 국도변에 위치한 높이 25m, 폭 35m 정도의 암반사면으로 반상변정 편마암체로 구성되어 있으며, 절취면의 경사각은 거의 수직에 가깝다. 또한 이 암체에는 규칙절리가 잘 발달되어 있고 절리의 방향은 북서방향이며, 남서쪽 방향의 60~70° 경사를 가지고 있다. 사면에 대한 영상은 촬영거리 23m, 중복도 65%의 조건으로 직각수평촬영 방법에 의해 총 4모델을 형성하도록 획득하였으며, 영상획득기기로는 Nikon D1X 디지털 카메라를 이용하였다. 그림 6은 3차원 수치영상 생성 처리에 의해 획득한 적용사면의 3차원 수치영상을 나타낸 것이다.

적용 암반사면 전체에 분포하고 있는 모든 불연속면의 빠르고 효율적인 추출 및 해석을 위해 3차원 수치영상을 이용하여 불연속 선구조에 대한 2차원 및 3차원 벡터맵을 작성하였다. 포인트 측정에 의한 불연속면의 추출의 경우 측정자의 주관적 판단이 개입됨으로써 발생할 수 있는 오차를 감소시키고, 추출 자료의 객관성을 최대한 확보할 수 있도록 경계선추출 기법을 적용하여 벡터맵을 작성하였다. 이 때 암반사면의 절리를 구분하기 위하여 3차원 수치영상에서 밝기값의 차이가 뚜렷하게 변화하는 경계를 암반 불연속면으로 정의하였으며, 경계선검출 방법의 선택에서는 암반사면의 불연속면의 특성, 방향성 및 간극을 고려하여 이들의 표현에 적합한 연산자를 선택하였다. 불연속 선구조의 추출을 위해 경계선검출 기법의 가장 일반적인 마스크인 Zero-sum 마스크를 이용하여 경계선을 추출하였다. 이렇게 추출된 경계선은 여러 픽셀로 표현되어 정확한 가장선의 결정이 어렵고, 잡음의 발생으로 인해 추출된 경계가 불명확하게 된다. 발생한 잡음의 제거를 위해 침식연산을 수행하였으며, 이와 동시에 경계 불확실성의 해결을 위해 세선화 기법을 적용하여 영상의 본질적인 구조를 보존한 채 선형의 두께가 1픽셀이 되도록 함으로써 정보의 양을 최대한 압축한 다음 이를 인식하도록 하였다. 추출된 경계는 자동 및 반자동 벡터라이징에 의해 벡터 자료로 변환하였다. 본 연구에서 경계선의 벡터화를 위해 4방향의 연결성을 먼저 탐색하고 인접되는 픽셀이 없을 경우에는 8방향의 연결성을 탐색하는 방법을 이용하여 불연속선을 추출하였다. 그리고 자동 벡터라이징에 의해 벡터화되지 못한 불완전 구간에 대해서는 수동적인 방법에 의해 수정 및 보완하였다.

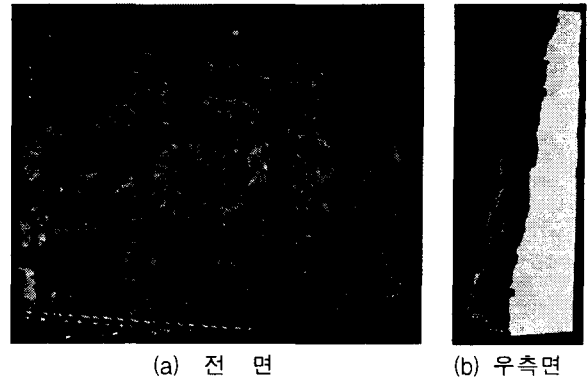


그림 6 적용사면의 3차원 수치영상

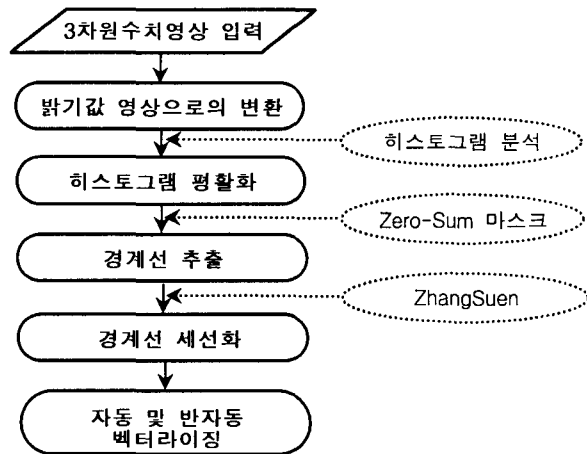


그림 7 불연속선구조의 2차원 매핑 작업흐름도

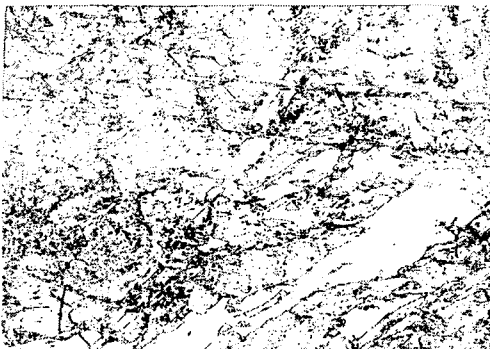


그림 8 불연속 선구조의 경계선 추출 결과

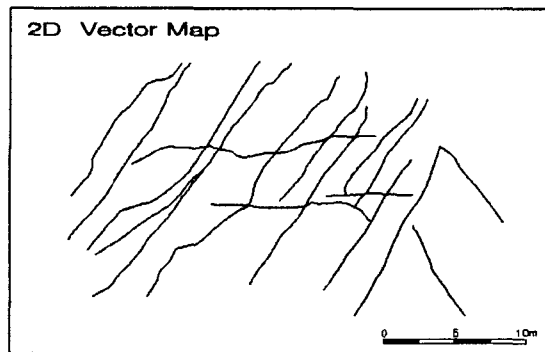


그림 9 불연속 선구조의 2차원 벡터맵

그림 7은 적용사면에 대한 2차원 불연속 선구조의 자동 추출 및 매핑을 위한 작업 흐름도를 나타낸 것이며, 그림 8은 경계선 추출에 의해 획득한 샘플 영역의 불연속 선구조를 나타낸 것이다. 그리고 그림 9는 자동 및 반자동 벡터라이징에 의해 제작한 2차원 불연속 선구조의 벡터맵을 나타낸 것이다.

그리고 3차원 수치영상의 생성과정에서 제작된 3차원 격자망은 전환옵션을 이용하여 ASCII포맷으로 전환하여 Arcview 3.1(spatial analyst or 3D analyst)에 입력하여 수치표고모델을 생성하는 한편, 이 성과를 이용하여 암반사면의 샘플영역에 대한 경사 및 경사방향의 분포도, 음영기복도, 그리고 등고선도를 작성할 수 있었다. 이상과 같이 3차원 수치영상 생성시스템의 처리에 의해 획득한 3차원 자료를 이용하여 대상사면에 대한 2차원 벡터맵을 작성할 수 있었으며, 응용 어플리케이션과의 자료 호환성을 확보함으로써 각종 공간분석을 성공적으로 수행 할 수 있었다.

5. 결론

본 논문은 3차원 수치영상 자료의 효율적 생성을 위해 3차원 수치영상생성 시스템을 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 설계하는 한편, 사용자 인터페이스를 강화한 이벤트 중심의 객체지향 기법을 이용하여 3차원 수치영상생성 시스템을 구현하였다.

둘째, 3차원 수치영상으로부터 획득한 성과를 검증할 수 있는 기존의 시스템에 의해 획득한 성과와 비교 분석함으로써 그 수행성을 평가할 수 있었다.

셋째, 3차원 수치영상의 실제 적용 가능성을 검증하기 위해 암반사면의 불연속면 조사에 적용하고 2차원 벡터맵의 작성 및 GIS 어플리케이션을 이용한 다양한 공간분석을 수행함으로써 3차원 수치영상생성 시스템과 3차원 수치영상에 대한 활용 가능성을 제시할 수 있었다.

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

참고문헌

- 김은수, 이승현(1995), **3차원영상의 기초**, NHK 방송기술연구소, 기다리, pp.143-146.
- 손정영 (2001), 3차원영상기술 현황 및 전망, **한국광학회지**, 제5권 제2호, pp.7-12.
- 유환희, 안충현, 오성남, 성민규 정보 분석을 위한 수치사(1999), 3차원 지형진측량시스템 개발, **한국측량학회지**, 제17권 제1호, pp.11-19.
- 이정인 (1997), 불연속 암반의 안정성 평가기술에 대한 연구, **한국학술진흥재단**.
- 장동혁 (1999), **디지털 영상 처리의 구현**, pc어드밴스, pp.157-188.
- 한국과학기술연구원 (2001), 고현장감 3차원 영상 디스플레이 기술개발, pp.183-208.
- 허병희 (1994), 3차원영상 획득기술의 동향과 응용기술, **대한전자공학회지**, 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 입력 기술; 실시간 스테레오 카메라, **영상정보미디어학회지**, 제54권 제3호, pp.328-331.