

연구논문

어안렌즈 카메라를 이용한 터널 모자이크 영상 제작 Tunnel Mosaic Images Using Fisheye Lens Camera

김기홍* · 송영선** · 김백석***

Kim, Gi Hong · Song, Yeong Sun · Kim, Baek Seok

要 旨

최근 각종 건설현장에서 최신측량기술을 이용한 다양한 정보 취득을 통해 시공성 및 안전성을 높이는 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 영상은 영상 취득이 간편할 뿐만 아니라 영상으로부터 다양한 정보를 취득할 수 있기 때문에 최근 영상처리기술의 발전과 더불어 많은 활용성이 기대되고 있다. 본 연구에서는 터널과 같은 지하공간의 경우 일반렌즈로는 영상 촬영이 어려운 단점을 극복하기 위하여 어안렌즈를 활용한 영상 취득을 제안하였으며, 터널벽면을 모자이크 영상으로 매핑하는 프로그램을 개발하였다. 터널벽면에 대한 모자이크영상은 터널현장에서 절리면의 검출과 콘크리트 라이닝의 균열, 누수, 백화, 박리 등의 이상을 검출하고 분석하는데 활용될 수 있다.

핵심용어 : 터널, 어안렌즈, 모자이크 영상

Abstract

A construction can be more convenient and safer with adequate informations. Consequently, studies on collecting various informations using newest surveying technology and applying these informations to a construction have been making progress recently. Digital images are easy to obtain and contain various informations. Therefore, with the recent development of image processing technology, the application field of digital images is getting wider. In this study, we proposed to use a fisheye lens camera in underground construction sites, especially tunnels, to overcome inconvenience in photographing with general lens cameras. A program for mapping the surface of a tunnel and making a mosaic image is also developed. This mosaic image can be applied to observe and analyze abnormal phenomena on tunnel surface like cracks, water leakage, exfoliates, and so on.

Keywords : Tunnel, Fisheye lens, Mosaic image

1. 서 론

최근의 국토변화는 대규모 건설 사업에 기인하는 바가 매우 크며, 이러한 변화를 신속하게 도면 및 영상정보의 형태로 제공하여 시간과 경비절감 및 안전성, 시공성, 환경성을 높이기 위한 원천기술의 수요가 증가하고 있다. 또한 건설도면과 건설현장의 실공간 사이에 건설자원의 위치 인식 및 이동 추적이 가능한 위치인식 기술과 형상 정보를 획득하기 위한 측량기술을 응용하여 건설 중 시설의 변형, 변위량 계측 기술의 개발이 요구되고 있다. 특히 사진측량분야에서는 수치영상자료를 통해 3차원 위치정보를 취득하고 영상으로부터 각종 시공환경에 대한

속성정보를 취득함으로써 건설현장에서의 활용성을 높이고 있다.

우리나라는 70%가 산지로 구성되어있기 때문에 불가피하게 터널 및 지하공간의 개발이 많이 이루어지고 있다. 지하공간은 특성상 건설현장이 협소하며 시공성 및 안전성 측면에서 측량의 중요성이 더욱 크다. 터널측량은 무타겟 토탈스테이션과 컴퓨터 프로그램을 결합한 자동화된 시스템이 개발되어 많은 현장에서 활용되고 있다. 연구사례로는 최석근과 안원태(2006)가 무타겟 토탈스테이션장비와 노트북을 연결하여 현장에서 실시간으로 측량하는 시스템을 제안하였고, 배상호와 이형석(2006)은 3차원 측량을 통해 노후터널의 역학적 안정성과 건축한

2009년 2월 23일 접수, 2009년 3월 17일 채택

* 강릉대학교 토목공학과 조교수 (ghkim@kangnung.ac.kr)

** 정희원·인하공업전문대학 지형공간정보과 전임강사 (point196@inhac.ac.kr)

*** 교신저자·강릉대학교 토목공학과 석사과정 (sugy2006@naver.com)

계 확보를 해석하였으며, 박경식 등(2007)은 1인 무프리지 터널 측량시스템의 효율성을 소요시간과 정확도 등으로 평가하였다. 최근에는 지상 3차원 레이저 측량시스템을 이용한 터널 측량연구들이 발표되고 있다. 이재원과 윤부열(2007)은 레이저 스캐닝시스템을 이용하여 터널의 천단 및 내공변위를 관측하는 기법을 제안하였고, 김인섭과 임수봉(2007)은 NATM 터널공사 시 레이저 스캐닝을 이용한 신속한 측량기법 및 굴착면 관리기법을 제시하였으며, 윤정숙 등(2007)은 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 터널의 손상부위 검출알고리즘을 제안하였다. 2008년에는 조형식 등(2008)이 지상 LiDAR를 이용한 터널측량시 관측간격에 대한 기준을 제시하였다.

사진측량 분야의 경우 터널시공현장에 대한 연구사례로는 정성혁과 이재기(2004)가 스테레오 사진을 통해 최소한의 현장 작업시간으로 터널 천단 및 내공변위를 3차원 좌표로 추출하는 연구를 수행하였고, 김광염 등(2007)은 디지털 영상계측을 이용하여 내공변위 계측면만 상에 위치한 광파 타겟의 변위를 측정하였다. 3차원 위치관측뿐만 아니라 터널현장에서 취득한 디지털 영상은 터널 천단 및 벽면에 대한 다양한 속성정보를 취득할 수 있다. 관련 연구사례로 박석균과 이강문(2008)은 일반카메라를 이용하여 터널을 촬영하고 영상처리를 통해 콘크리트 터널 라이닝의 균열, 누수, 백화, 박리, 손상 등의 결함을 효율적으로 조사 분석하는 기법을 제안하였고, 김백석 등(2008)은 어안렌즈 영상을 이용한 터널벽면 영상 취득 및 처리에 관한 기법을 제시하였다.

본 연구에서는 터널영상 취득을 위해 기존의 일반 카메라가 가지는 단점을 개선하고자 하였다. 촬영공간 확보가 어려운 터널공간의 특성상 촬영범위가 협소한 일반 카메라의 경우 영상 취득에 어려움이 있으며 터널 전체를 촬영하기 위해서는 수많은 촬영지점과 시간이 필요하며 자료량이 방대해진다. 어안렌즈의 경우 촬영각이 약 180도에 이르며 터널 중심에서 촬영할 경우 터널 벽면 전체가 영상에 포함되기 때문에 촬영시간 감소 및 영상 자료의 관리에 최적이다. 따라서 본 논문에서는 초광각 렌즈인 어안렌즈를 이용하여 터널현장의 전체벽면을 모자이크 영상으로 매핑하는 영상처리기술을 제안함으로써 파노라믹 영상이 터널도면과 관련된 다양한 정보 처리 및 분석에 활용되는 기초자료로 이용될 수 있도록 하였다.

2. 어안렌즈 카메라

초 광각렌즈는 표준렌즈보다 초점 거리가 매우 짧은 렌즈로 표준렌즈보다 화상은 작아지게 되고 화각은 넓어지

게 되며 원근감이 과장되게 표현되고 피사체 심도는 깊어지게 된다. 촬영각이 약 180도에 이르며 보통 물고기의 눈이 전방과 좌우측면 180도 각도를 동시에 볼 수 있기 때문에 어안렌즈라고 불리운다. 어안렌즈에는 등근 화상만을 만드는 6-8mm의 원주어안렌즈와 15-16mm의 대각선어안렌즈가 있다. 어안 렌즈는 동일 위치에서 훨씬 넓은 장소를 사진에 담을 수 있지만 사진의 테두리에서 심한 왜곡 현상이 발생한다. 하지만 어안 렌즈는 표준 렌즈보다 더 넓은 영역을 영상으로 취득할 수 있기 때문에 촬영공간이 제한되어 있거나, 적은 사진으로 방대한 영역을 촬영하는데 매우 적합하다. 어안렌즈는 이러한 효과와 더불어서 원근감을 강조시키는 역할을 한다. 즉, 가까이 있는 물체는 더욱 가까이 있는 것처럼, 멀리 있는 것은 더욱 멀리 있는 것처럼 보이게 하며 피사체를 가까이 두고 촬영할 경우에는 이러한 느낌이 더욱 잘 살아나며, 왜곡된듯 한 이미지를 얻을 수도 있다. 또한, 피사체 심도를 깊게 표현해줌으로써 화면이 전체적으로 초점이 맞은 듯이 선명하게 보이게 한다.

본 연구에서는 1,280만 유효픽셀의 풀프레임 CMOS센서 DSLR인 Canon EOS 5D 카메라 바디에 촬영각 180도, 초점거리 8mm의 SIGMA Circular Fisheye Lens를 장착하여 연구에 이용하였다. 사용된 카메라와 렌즈는 그림 1과 같다.

속이 빈 정육면체의 그리드를 촬영하면 어안렌즈를 통해 얻은 영상은 그림 2와 같이 표준렌즈에 의한 영상과는



그림 1. 사용된 카메라와 렌즈

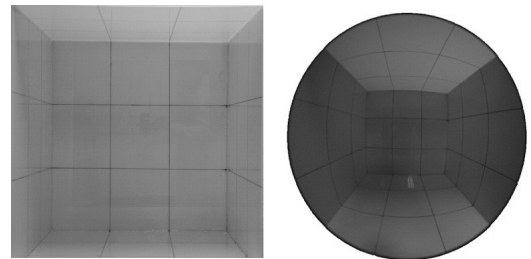


그림 2. 표준렌즈 영상과 어안렌즈 영상

많은 차이점이 있다. 촬영방향과 수직에 가까운 직선일 수록 공간상에서는 곡선으로 왜곡되어 표현된다. 특히, 영상의 가장자리에 가까울수록 이러한 왜곡이 심하게 나타난다.

3. 어안렌즈 영상처리 알고리즘

어안렌즈를 통해 촬영된 터널영상을 매핑하기 위해서는 영상에 포함된 터널벽면에 해당하는 영상소를 평면상에 동일한 실제공간상의 크기를 가지는 그리드로 재배열하는 과정을 수행하여야 한다.

그림 3에서 보듯이 Canon EOS 5D 어안렌즈 전체 영상의 크기는 너비 4367, 높이 2912로 영상의 중심좌표는 2184, 1456이다. 영상의 중심은 촬영방향으로 터널의 막장 방향을 의미한다. 중심에서 멀어지는 방사구간에 터널벽면의 영상정보가 포함되게 된다. 따라서 터널 벽면의 영상만 따로 평면으로 재구성하기 위해서는 영상의 중심으로부터 일정 반지름의 원 부분을 추출하여야 한다. 영상을 중심 부분을 많이 포함하게 될 경우 관측 간격을

줄일 수 있으나, 영상의 중심부분은 실제 공간상의 대상 공간에 비해 촬영된 영상소의 수가 매우 적기 때문에 해상도가 저하되는 문제가 발생한다. 따라서 적절한 범위에서 영상의 중심 부분을 잘라내야 하며 상황에 따라 조정이 가능하여야 한다. 예를 들어 연구에 사용된 영상은 중심픽셀이 2184, 1456의 영상좌표를 가지며 중심으로부터 약 1150 픽셀거리를 바깥원의 반지름으로 생각한다면 어안렌즈 영상의 벽면부분은 그림 4와 같은 평면상의 그리드로 재배열될 수 있다. 이때 최대 해상도를 가지는 바깥원의 둘레는 7225 픽셀이며 중심을 기준으로 영상상원의 하단부가 0 rad, 영상의 상단부가 3.142 rad, 시계방향으로 돌아서 원의 하단부가 6.283 rad이 된다. 재배열된 평면 그리드는 그림 5와 같이 수평축은 총 6.283 radian의 각을 가지게 되므로 0.001rad을 한 픽셀로 구성하면 총 6283 픽셀이다. 수직축은 해당영상소의 중심으로부터 픽셀거리이며 최대거리의 경우 1150 픽셀거리이며 최소거리의 경우 사용자의 임의로 해상도의 저하문제로 제외한 영상의 중심부분까지의 픽셀거리이다.

이와 같은 과정을 수식으로 표현하면 재구성된 좌표계는 가로축이 라디안 단위이며 세로축은 중심으로부터의 거리이다. 즉, 평면그리드 좌표축의 가로축 $m_x = \theta$ (radian)이고, 세로축은 $m_y = r$ (거리)이다. 이때 거리는 그림 4에서와 같이 원영상의 영상좌표가 x, y 이고 영상 중심의 좌표가 ic_x, ic_y 일 때, 식 (1)과 같다.

$$r = \sqrt{(x - ic_x)^2 + (y - ic_y)^2} \tag{1}$$

영상좌표계로 흔히 쓰이는 영상의 좌측상단을 원점으

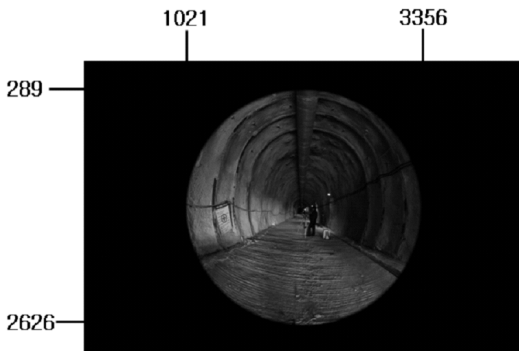


그림 3. 어안렌즈를 이용한 터널영상

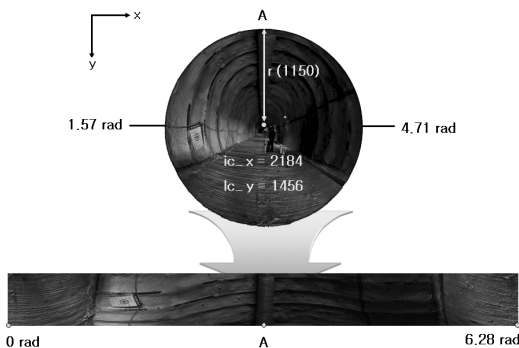


그림 4. 평면 그리드 영상변환

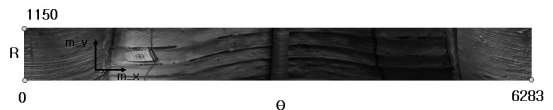


그림 5. 평면 그리드의 좌표체계

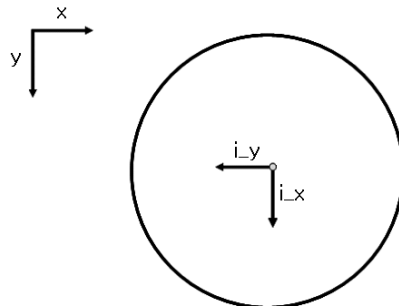


그림 6. 영상좌표계 변환

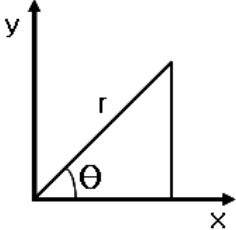
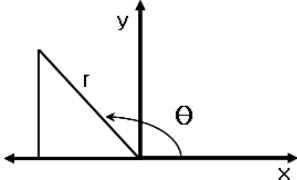
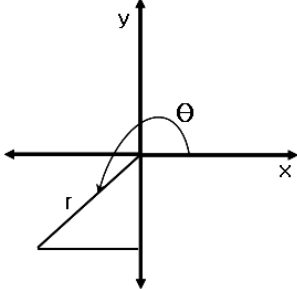
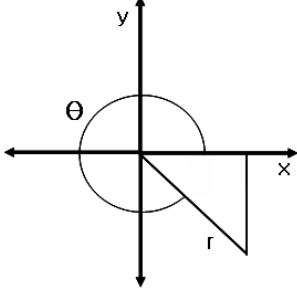
로 하고 수평을 x축, 수직을 y축으로 하는 좌표계 x, y는 식 (2)와 (3)을 이용하여 영상의 중심을 원점으로 하는 좌표계 i_x, i_y 로 변환한다. 이때 영상 중심좌표를 이용한 평행이동과 함께, 평면그리드 상에서 중심부분(3.14 rad 부분)을 터널영상의 위쪽 중심부분과 일치시키는 것이 영상을 판독하는 사용자가 편하기 때문에 그림 6과 같이 x축과 y축을 바꾸고 y축의 축방향을 반대로 변환한다.

$$i_x = y + ic_y \tag{2}$$

$$i_y = ic_x - x \tag{3}$$

어안렌즈 영상을 평면 그리드로 매핑하는 과정은 평면 그리드 상에서 각각 위치를 의미하는 라디안 각(θ)과 중심으로부터의 픽셀거리(r)에 해당하는 영상좌표를 계산한 후, jpg 이미지 파일 상에서 원영상 좌표의 밝기값을 추출하여 그리드에 심는 과정이다. 평면그리드의 각과 중심으로부터의 픽셀거리에 해당하는 영상좌표 계산은 표 1과 같다.

표 1. 영상좌표의 계산

	$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ $x = \cos \theta \cdot r$ $y = \sin \theta \cdot r$
	$\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ $y = \sin(\pi - \theta) \cdot r$ $x = \cos(\pi - \theta) \cdot r \cdot -1.0$
	$\pi \leq \theta \leq \frac{3}{2}\pi$ $y = \cos\left(\frac{3}{2}\pi - \theta\right) \cdot r \cdot -1.0$ $x = \sin\left(\frac{3}{2}\pi - \theta\right) \cdot r \cdot -1.0$
	$\frac{3}{2}\pi \leq \theta \leq 2\pi$ $x = \cos(2\pi - \theta) \cdot r$ $y = \sin(2\pi - \theta) \cdot r \cdot -1.0$

4. 터널현장 영상처리 프로그램 개발 및 적용

터널의 어안렌즈 영상처리를 위하여 프로그램을 개발하였다. 개발언어는 C++를 이용하였으며 프로그램은 윈도우 환경에서 구동되도록 인터페이스를 구성하였다. 어안렌즈 영상을 불러온 프로그램 실행화면은 그림 7과 같으며 기본적으로 디지털 카메라 영상에서 가장 많이 쓰이는 jpg 형식의 이미지를 지원한다. 기본적인 인터페이스로 현재 마우스 위치에 해당하는 영상좌표 및 영상소

의 밝기값 정보가 하단의 바에 나타나며 줌인, 줌아웃, 패닝, 영상 크랍, 영상 저장 등의 기본적인 기능을 탑재하였다.

어안렌즈 영상을 불러온 후 평면 그리드 영상으로 변환하기 위해서 메뉴를 클릭하게 되면 그림 8과 같이 자동으로 영상의 헤더 정보로부터 영상정보를 읽어 대화상자에 표시되게 된다. 어안렌즈 영상의 중심으로부터 평면 그리드로 매핑할 영역은 사용자가 직접 최소거리와 최대거리로 입력한다. 그림 9는 영상처리 과정을 표현한 것이다.



그림 7. 실행화면

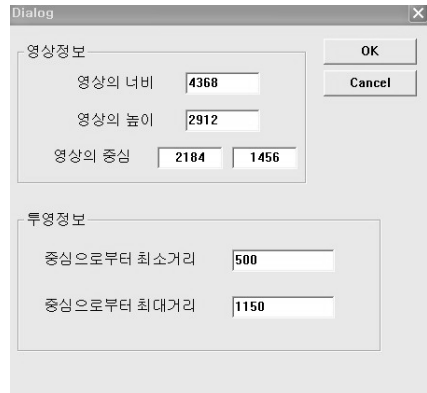


그림 8. 영역 설정 대화상자

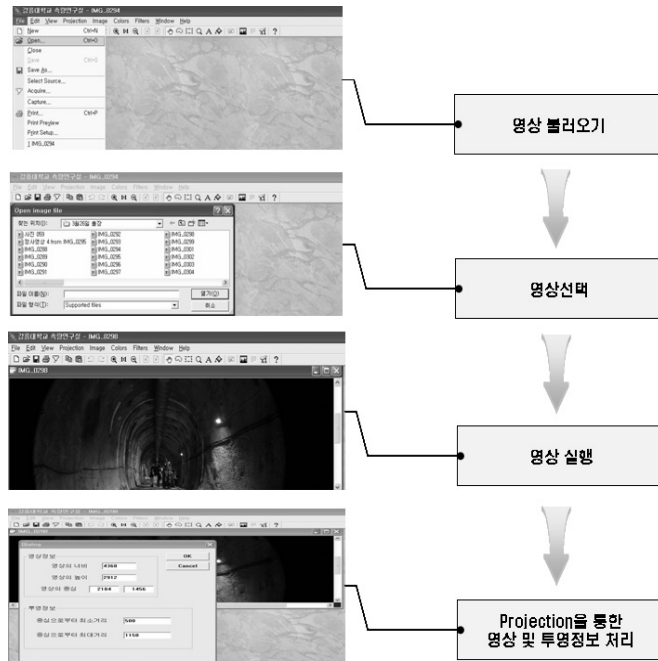


그림 9. 영상처리 과정

개발된 프로그램의 적용을 위해 적용한 터널현장은 현대건설 연구소의 가상터널을 이용하였다. 가상터널의 재원은 그림 10과 같다.

터널 내부에서 그림 11과 같이 막장 방향으로 전진하

면서 영상을 취득하였다. 취득한 영상은 프로그램을 통해 평면 그리드 영상으로 변환하였으며 이렇게 얻어진 영상을 연결하여 그림 12와 같이 모자이크 영상으로 제작하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 터널 건설현장에서 디지털 카메라 영상을 취득하여 터널 시공이나 시공후 유지관리를 위해 사용될 수 있는 영상자료를 제작하는 기법을 제안하고 프로그램으로 개발하였다. 특히 기존의 표준렌즈를 이용한 카메라의 경우 터널벽면 전체를 모두 촬영하기 위해서는 매우 많은 영상을 취득해야 하는 번거로움과 함께 취득된 방대한 양의 영상을 처리하기 어려운 단점을 가지고 있기 때문에 이를 극복할 수 있는 어안렌즈 영상을 적용한 기법을 제시하였다. 본 연구를 통하여 어안렌즈는 일반렌즈보다 터널에서 보다 효율적인 영상취득과 영상처리가 가능한 것을 확인할 수 있었으며 이렇게 제작된 평면 영상

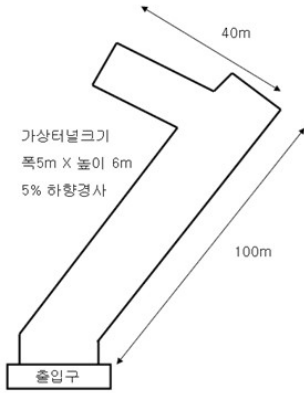


그림 10. 가상터널 재원

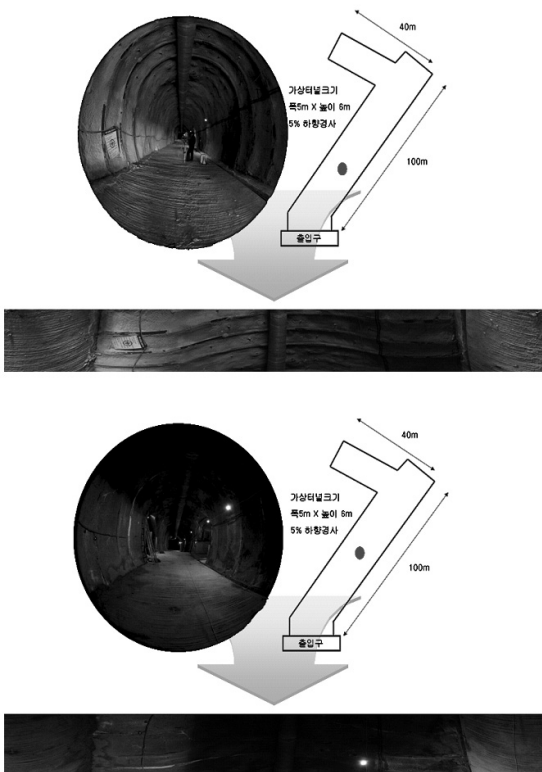


그림 11. 터널 영상 취득 및 변환



그림 11. 터널 모자이크 영상

및 모자이크 영상은 향 후 터널현장에서 절리면 검출, 슛 크리트 타설 후 크랙, 누수, 백화, 박리 등의 손상부 검출, 터널 유지관리 등에 활용성이 클 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보 C04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 최석근, 안원태, 2006, "현장측량시스템을 이용한 터널공사의 효율성 향상", 한국지형공간정보학회지, 제14권 제3호, pp. 31-37.
2. 박경식, 함창학, 이재기, 2007, "터널계측을 위한 1인 무프리즘 측량시스템의 효율성 평가", 한국지형공간정보학회지 제15권 제4호, pp. 89-96.
3. 배상호, 이형석, 2006, "3차원 측량에 의한 노후 터널의 건축한계 확보 해석", 한국측량학회지, 제24권 제3호, pp. 251-259
4. 이재원, 윤부열, 2007, "3차원 레이저 스캐닝을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위 관측", 한국지형공간정보학회지, 제15권 제2호, pp.67-75.
5. 김인섭, 임수봉, 2007, "터널굴착시 3차원 레이저스캐너에 의한 내공단면 측량에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제27권 제4D호, pp. 541-546.
6. 조형식, 손홍규, 김종석, 이석균, 2008, "지상 LiDAR를 이용한 터널의 Reverse Engineering", 대한토목학회논문집, 제28권 제6D호, pp. 931-936.
7. 윤정숙, 사공명, 이준석, 이규성, 2007, "레이저 스캐닝 데이터를 이용한 터널 시설물 및 손상부위 검출 알고리즘" 한국터널공학학회논문집, 제9권 제1호, pp. 19-28.
8. 정성혁, 이재기, 2004, "산업사진측량을 이용한 터널의 천단 및 내공 변위 관측", 한국측량학회지, 제22권 제3호, pp. 209-215.
9. 김광엽, 김창용, 이승도, 서용석, 이정인, 2007, "디지털 영상을 이용한 터널 3차원 계측", The Journal of Engineering Geology, 제17권 제4호, pp. 567-576.
10. 박석균, 이강문, 2008, "콘크리트 터널 라이닝의 외관조사를 위한 자동화 결합인식 시스템 개발", 대한토목학회논문집, 제28권 제6A호, pp. 873-880.
11. 김백석, 김기홍, 원상연, 홍성창, 2008, "어안렌즈 영상을 이용한 터널현장 정보 취득", 2008 대한토목학회 정기학술대회, pp. 3983-3986.