

# 무안경식 입체 모니터를 이용한 지형공간 데이터의 디스플레이 기법

## Geospatial Data Display Technique for Non-Glasses Stereoscopic Monitor

이선근<sup>1)</sup> · 이동천<sup>2)</sup>

Lee, Seun Geun · Lee, Dong Cheon

### Abstract

Development of computer and electronic technology leads innovative progress in spatial informatics and successful commercialization. Geospatial information technology plays an important role in decision making in various applications. However, information display media are two-dimensional plane that limits visual perception. Understanding human visual processing mechanism to percept stereo vision makes possible to implement three-dimensional stereo image display. This paper proposes on-the-fly stereo image generation methods that are involved with various exterior and camera parameters including exposure station, viewing direction, image size, overlap and focal length. Collinearity equations and parameters related with stereo viewing conditions were solved to generate realistic stereo imagery. In addition stereo flying simulation scenery was generated with different viewing locations and directions. The stereo viewing is based on the parallax principle of two viewing locations. This study implemented anaglyphic stereogram, polarization and lenticular stereo display methods. Existing display technology has limitation to provide visual information of three-dimensional and dynamic nature of the real world because the 3D spatial information is projected into 2D plane. Therefore, stereo display methods developed in this study improves geospatial information and applications of GIS by realistic stereo visualization.

Keywords : 3D geospatial data, Auto stereoscopic monitor, Stereo visualization

### 초 록

전자 및 디스플레이 기술의 진보에 따라 공간정보 분야는 급속히 발전되고 있으며, 다양한 공간정보 콘텐츠의 3차원 입체화가 기술이 상용화되고 있다. 공간정보기술은 여러 분야에서 의사결정에 중요한 역할을 하고 있지만, 3차원 데이터 및 결과물은 2차원 평면상에서 시각화되고 있다. 그러나 실세계 공간에 존재하는 지형지물 등 다양한 3차원 객체들을 2차원 평면에서 시각화한 결과를 기반으로 의사결정에 활용하는 것은 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 3차원의 객체를 실감적이고 입체적으로 디스플레이 하기 위하여 가상의 3차원 공간 좌표계를 형성하였다. 입체 디스플레이를 위한 공간좌표계상에서 관측자의 위치, 방향, 영상의 크기 및 중복도, 축척 등을 동적으로 설정할 수 있도록 공선조건식을 적용하여 관측자의 동적인 시점을 고려하여 신속하게 입체영상을 생성하고 디스플레이 할 수 있는 방법을 개발하였다. 생성된 3차원 대상물의 회전, 이동 및 축척변화에 대응되는 다양한 관측자 시점에서 실시간 입체영상을 생성하였으며, 또한 flying-trough 및 walking-trough를 시뮬레이션 할 수 있는 입체 동영상 제작 알고리즘을 구현하였다. 3차원 대상물을 입체로 디스플레이하기 위해서는 양안시차의 원리에 의해 대상물을 좌안 및 좌측영상으로 분리하고 무안경식, 편광식, 여색방식 등의 입체시 기법을 적용하여 동시에 디스플레이하여야 한다. 본 연구는 입체 모니터상에서 실감적 입체 디스플레이 기법을 구현하여 실세계에 존재하는 3차원 대상물을 효율적이고 실감적으로 생성하므로써 지형공간 데이터의 입체 시각화를 향상시킬 수 있다. 특히 차세대 모니터인 무안경식 입체 모니터에 디스플레이 할 수 있는 지형공간 데이터의 입체 콘텐츠 제작 방법을 개발하여 무안경식 모니터의 GIS 분야에서의 활용 가능성을 연구하는데 목적이 있다.

핵심어 : 3차원 공간데이터, 자동 입체 모니터, 3차원 시각화

1) 세종대학교 대학원 지구정보공학과 박사과정(E-mail:sglee@sju.ac.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 세종대학교 대학원 지구정보공학과 교수(E-mail:dcllee@sejong.ac.kr)

## 1. 서 론

GIS분야에서 활용되는 컴퓨터 테크놀로지로서 영상은 2차원 혹은 3차원으로 표현하지만 대부분의 영상을 포함하는 모니터, 스크린, TV 등의 정보전달 매체는 2차원 평면에 표현되고 있다. 3차원 그래픽 데이터의 구조는 3차원의 구조를 가지고 있다고 하여도 2차원의 공간에서 다루어지므로 평면화면에 구현하는 것에 지나지 않는다. 실제 투영된 것은 2차원으로 실제적으로 사람이 인지하기에는 2차원으로 인지하는 한계를 지니고 있다. 현대의 기술에 의해 우리가 입체를 지각하는 방법을 인간공학적인 입장에서 파악하게 되면 3차원의 입체로 구현 가능할 뿐만 아니라 3차원 입체 동영상의 구현도 가능하게 된다. 이러한 기반이 구축되면 컴퓨터라는 수단을 이용해 우리의 눈이 지각하는 방법과 같이 3차원 정보를 가지면서 실제 공간에 대한 가상현실 구현이 가능한 것이다. 이러한 지형공간정보에서 이점을 갖는 컴퓨터 그래픽은 3차원으로 구축하였음에도 불구하고 일반적으로 2차원의 화면에 디스플레이 된다. 입체시각 원리에 의해서 두 개의 영상이나 객체를 영상면에 투영해서 왼쪽 영상은 왼쪽 눈에서 보이게 하고 오른쪽 영상은 오른쪽 눈에서만 보이도록 좌우 영상을 분리하여 3차원 객체를 입체감을 획득하게 된다(손태진, 2004). 입체시각을 구현하여 3차원 위치정보를 획득하기 위한 원리는 기계식 및 해석식 도화기와 수치도화기(DPW)에서 이미 오래 전부터 적용되어 왔다.

본 연구는 3차원 지형공간 데이터를 입체적으로 시각화 하는 것을 목적으로 하며, 이를 위하여 3차원 좌표값으로 이루어진 지형공간 데이터를 영상이 촬영되는 기하학적 조건인 공선조건식을 적용하여 입체영상을 생성하였다. 생성된 입체영상은 다양한 입체 시각화 기법을 이용하여 실감적으로 디스플레이하는 기법을 제시하였다. 관측자 시점, 즉 관측위치와 방향이 변함에 따라 실시간으로 입체영상을 효율적으로 생성하는 방법을 개발하였으며, 현재까지 개발된 입체 시각화 방법인 여색 입체시, 편광 입체시 및 무안경 입체시에 적용하였다.

일반적으로 대상물의 입체시를 위해서는 좌측 영상과 우측 영상을 획득하여야 하며 이를 위해서 다른 위치 또는 방향에서 촬영하여 시차가 발생한 입체사진을 이용하여야 한다. 그러므로 다양한 관측시점 및 관측방향에 대하여 모든 입체영상을 획득하는 것은 한계가 있으며, 대용량 저장매체가 필요하다. 또한 관측시점을 변경하거나

대상물을 이동, 회전, 축소 및 확대할 경우 영상에 왜곡이 발생하는 문제점이 있다. 그러므로 본 연구는 기존의 입체 시각화 방법의 한계를 극복하고 GIS의 주요 데이터인 3차원 수치지도의 효과적인 입체 시각화 및 디스플레이를 위하여 관측시점과 방향을 결정하기 위한 구면좌표계를 설정하고 구면좌표와 지상 직교좌표계 사이의 변환을 통하여 동적으로 관측시점을 실시간으로 결정하여 다양한 입체 디스플레이 모니터에 적용함으로써 기존의 2.5D로 표현되는 공간정보를 완전한 입체 시각화 하였다. 본 연구에서 개발한 방법은 다양한 분야에 활용이 가능하며 특히 지형공간정보, GIS 및 실감적 3차원 디스플레이가 요구되는 응용분야에 핵심기술이 될 것이다.

입체영상에 대한 기술과 활용은 사진측량학이 그 시초이며 3차원 공간데이터를 원천적으로 수집하고 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 가공 처리하는 기술을 기반으로 하고 있다. 그 동안 입체 시각화를 위한 기법은 기술의 진보에 따라 광학식 입체 측정 시스템인 기계식 및 해석식 도화기, 전자식 입체 디지털 시스템인 DPW 등에서 다양한 방법이 개발되었다. 최근에는 세계적으로 차세대 모니터인 무안경식 입체 모니터의 개발이 본격적으로 진행됨에 따라 향후 입체시가 요구되는 시스템에서는 무안경식 입체 모니터의 사용이 예측되며, 이를 위하여 차세대 모니터를 기존의 시스템에 적용할 수 있는 기반 디스플레이 기술 및 콘텐츠 생성 기술 개발이 시급한 실정이다. 이에 본 연구는 다양한 입체 디스플레이 기술과 지형공간정보의 기반이 되는 3차원 수치지도 데이터의 입체 시각화 알고리즘을 개발하고 차세대 입체 모니터에 적용할 수 있는 소프트웨어를 구현하였다.

## 2. 국내외 차세대 입체 디스플레이 기술

21세기의 세계적인 10대 핵심기술 및 상품목록 중에는 차세대 무안경식 입체 디스플레이 모니터가 선정되었으며, 국내외의 주요 디스플레이 기업에서도 신기술 개발과 상용화 계획을 발표한 바 있다. 원래의 계획에 의하면 2000년도 중반 경에는 차세대 입체 모니터 상용화에 성공하여야 하는데, 여러 가지 여건상 시제품 수준에 머물러 있는 실정이다. 일본 및 유럽 등 선진 외국의 경우에는 이미 상용화에 성공하여 여러 제품들이 출시되고 있으며, 다양한 입체 콘텐츠 제작 기술 개발에 중점을 두고 있으며, 여러 활용분야 중에서 GIS 및 지형공간정보 분야

에서의 입체 디스플레이 콘텐츠가 점점 활성화되고 있다.

국내의 입체 디스플레이에 관한 연구로는, 윤창옥 등(2007)은 3차원 모델링 도구에서 양안의 카메라를 생성하고 사용자가 주시거리와 주시각을 조절하면서 실시간으로 입체감을 확인할 수 있는 입체영상 제작 시스템을 제안하였다. 이적식(2003)은 인간의 시각체계에 기반한 교차시각 스테레오 카메라 모델을 사용하여 교차시각에서 획득한 스테레오 영상을 고정점에 대해서 4개의 영역으로 구분하고 사분면 형태의 영역분할을 인간의 시각체계 측면에서 그 타당성을 연구하였다. 안진호 등(1995)은 안경을 착용하지 않는 렌티큘라 방식의 3차원 영상 디스플레이 시스템을 고안하였고, 입력된 좌우 영상을 실시간으로 분리하기 위한 디지털 영상 마스킹 방법을 제안하였다. 또한 렌티큘라 방식 3차원 영상의 입체 시야각을 확장시키기 위한 방법으로 관찰자의 위치를 파악하여 좌우 영상을 조정하는 방식을 사용하였다. 이남호 등(1996)은 안경식 입체 디스플레이의 단점인 특수안경 착용의 문제점을 극복하기 위하여 parallax barrier를 이용한 무안경식 자동입체 디스플레이에 대한 연구를 수행하였다.

최근 삼성, LG, 대우, 현대, KBS 등 대기업 및 연구소에서는 멀티미디어 산업의 급속한 발전에 따라 기존의 LCD 디스플레이 기술 이후의 차세대 첨단기술 분야로서 입체영상 생성 및 디스플레이 개발이 진행되고 있다. 2006년 KINTEX에서 개최된 한국전자전에 출시된 국내의 무안경식 입체 모니터는 파버나인사에서 개발하여 상품화한 무안경식 입체 모니터인 17인치 및 19인치 DIMEN, LG전자의 42인치 입체 모니터 시제품 및 삼성전자의 17인치 입체 모니터 시제품 등이 있다. 차세대 디스플레이 시장점유를 위해 각 업체들의 상품화 기술 개발은 계속되고 있다. 입체영상 기술은 LCD와 PDP 등 평면 디스플레이의 시장확대와 함께 차세대 멀티미디어 정보 산업 분야의 핵심기술이 되고 있으며, 응용분야로서는 개인용 모니터, 게임기, 의료기, 산업계측기 등이 있으며, 현재 여러 연구기관 및 산업계에서 입체영상 기술에 대한 기초연구를 수행하는 단계이며, 향후 입체 모니터의 세계적인 시장확보와 국제 경쟁력 강화를 위하여 독자적인 원천 및 핵심기술의 확보와 상품화에 많은 연구와 투자를 하고 있다.

국외의 차세대 입체 모니터 기술로는 Peterka 등(2006)은 35개의 패널 조각을 이용하여 경제적인 3차원 자동 입체 품질을 제공하는 무안경식 parallax barrier 디스플레이

이를 설계 및 제작하였다. Shan 등(2006)은 사진측량 목적으로 개발된 수치도화기(DPW)에 기존의 편광 입체 모니터 대신에 무안경식 입체 모니터를 사용하여 항공영상을 이용하여 3차원 측정의 정확도를 평가하였으며, 실험 결과 3차원 좌표측정의 정확도는 기존의 편광 입체 모니터와 비교하여 대략 75% 정확도 수준임을 발표하였다. 향후 차세대 입체 모니터 기술의 발전이 예상되고 있으므로, 무안경식 입체 모니터를 이용한 3차원 측정의 정확도가 획기적으로 향상될 것으로 기대하고 있다.

Sharp사는 parallax barrier 방식을 적용하여 무안경방식의 입체시 모니터를 개발하였다. Sharp사가 초기에 개발한 입체 모니터는 보급형 저가 무안경식 입체모니터로서 최초로 상용화에 성공한 제품으로 알려져 있다. 그러나 초기의 모니터는 입체 관측 시야각이 좁으며, 관측위치에 따라 역입체시가 발생하는 단점이 있다. 최근에는 이를 보완하고 대형의 입체 모니터를 개발하여 본격적인 앙상블체에 들어갔다. Philips사는 lenticular 방식을 적용한 다시점 무안경식 자동 입체 모니터(Multi-view Auto-stereoscopic display monitor)를 개발하여 입체 관측 시야각이 획기적으로 향상된 상품화에 성공하였다. 특히 Philips는 WOWvx 기술에 기반한 3D 지적 디스플레이 기법(Intelligent display solution)을 개발하여 전 세계적으로 차세대 입체 모니터로 각광을 받고 있다. Susami 등(2005)은 눈의 피로를 절감시키기 위해 일본의 TAO (Telecommunication Advancement Organization)가 최근 개발한 초다안(Super multi-view)입체 디스플레이 방식과 그 실험 연구결과를 소개하였다. 그림 1은 무안경식 입체 모니터의 종류를 보여주고 있다.

### 3. 연구방법 및 범위

본 연구는 대상물의 좌측영상 및 우측영상을 취득하여 대상물을 임의의 방향에서 바라본 입체영상을 실시간으로 생성함에 있어, 대상물의 좌측영상 및 우측영상을 취득하기 위하여 카메라 및 대상물의 실물은 필요 없고 단지 대상물의 공간좌표와 가상의 카메라(보다 정확하게는 카메라의 내부, 외부표정 요소)만이 필요하고, 공선조각식에 의해 관측자의 시선(즉, 관측방향)이동에 따른 대상물의 좌우측 영상이 실시간으로 제작되어 입체영상이 생성되고, 대상물의 입체영상이 보다 정확하고 신속하게 생성될 수 있는 실시간 입체영상 생성방법을 연구함을 목적



(a) DIMEN



(b) LG



(c) Sharp



(d) SeeReal



(e) DTI



(f) Philips

그림 1. 무안경식 차세대 입체 모니터의 종류

으로 한다.

본 연구의 실시간 입체영상 생성방법은 대상물을 임의의 방향에서 바라본 입체영상을 동적으로 생성하기 위해 3차원 공간데이터를 입력하여 대상물의 한 점이 가상의 구 중심에 위치하는 대상물 3차원 공간좌표를 취득하고 좌표계 변화 단계에서 가상의 구 표면위의 임의위치에서 구의 중심을 투영중심으로 하여 대상물의 영상을 취득하기 위한 관측시점의 외부표정요소를 실시간으로 취득하며, 외부표정요소 중 카메라가 구의 수직방향(즉, 구의 XZ면 또는 YZ면)으로 이동한 위치는 관측자의 위치좌표로부터 취득된다.

Z축 회전 단계에서 카메라가 구의 수평방향(즉, 구의 XY면)으로 이동한 위치는 대상물을 Z축으로 회전시켜 변경된 대상물의 공간좌표로 취득하고 중복도 및 수렴각 단계에서 구의 수직방향으로 이동한 카메라의 위치좌표를 양안시차의 원리에 의해 좌측좌표와 우측좌표로 분리하고 수렴각을 설정하여 관측 방향을 결정한다. 좌측 영상과 우측영상 생성 단계에서 공선조건식을 적용하여 좌

측 영상과 우측 영상의 화면좌표(x,y)를 획득한다. 마지막으로 무안경식 입체 디스플레이 장치에 출력하여 입체효과를 확인한다.

## 4. 실험방법

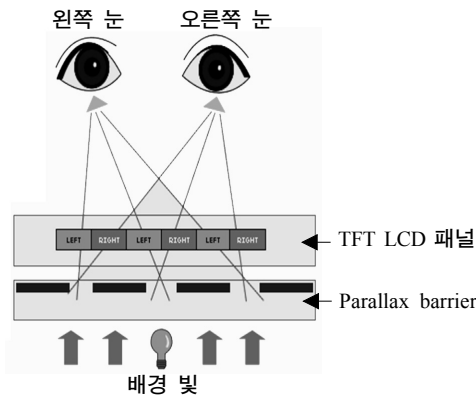
### 4.1 실험 데이터 및 무안경식 입체 모니터

공간정보 데이터로부터 3차원 객체를 입체적으로 디스플레이하기 위하여, 항공사진으로부터 입체 도화된 도화원도로부터 생성한 청주지역의 3차원 수치지도 데이터를 사용하였다(그림 2 참조). 본 연구에서는 3차원 입체 효과의 식별이 명확한 건물과 지표면을 대상으로 하였다. 건물은 도화원도의 건물 레이어로부터 추출하였으며, 3차원 지표면 데이터는 등고선 레이어로부터 생성한 수치지형모델(DTM) 데이터이다.

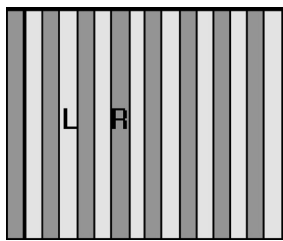
무안경식 디스플레이 모니터는 Sharp사의 LL-151-3D를 이용하여 실험하였다. Sharp사의 입체 디스플레이 기술은 그림 3과 같이 TFT(Thin film transistor) LCD 패널



그림 2. 도화원도로로부터 생성된 3차원 수치지도



(a) 입체모니터의 parallax barrier



(b) Interlaced 방식

그림 3. Parallax barrier 입체 모니터 원리와 디스플레이 방식

뒤에 parallax barrier 장치를 설치하여 입체영상을 관측자의 왼쪽 및 오른쪽 눈에 분리하여 디스플레이 하는 interlaced 입체시각 원리를 채택하고 있다. Parallax barrier의 현재 기술은 시야각 범위 및 관측자 위치에 따른 제한이 있으며, 이를 극복하기 하여 보다 넓은 시야각과 다중 시점에서 입체시가 가능한 기술이 개발되고 있다.

## 4.2 3차원 영상과 입체시

대상을 현실에서 실제로 보는 형상은 3차원이지만, 이 대상을 TV, 영화, 컴퓨터 등을 통해 화면으로 볼 때는 화면의 평면성으로 인해 통상 2차원(또는 원근감이 표현된 2.5차원)이다. 그러나 최근에는 평면(2D)의 화면을 통해서도 대상을 입체적(3D)으로 보고자 하는 시도가 적극적으로 행해지고 있다. 일반적으로 3차원을 표현하는 입체영상은 두 눈을 통한 스테레오 시각의 원리에 의존하는데, 두 눈의 시차 즉, 약 65mm 정도 떨어져 존재하는 두 눈 사이의 간격에 의한 양안시차는 입체감의 가장 중요한 요인이라 할 수 있다.

인간의 좌우 눈이 각각 서로 연관된 2D 영상을 볼 경우에 이들 두 영상이 망막을 통해 뇌로 전달되면 뇌는 이를 서로 융합하여 본래 3차원 영상의 깊이감과 실제감을 재생하게 된다. 이와 같이 2D 화면에서 대상을 3D로 보기 위해서는 양안시차의 원리에 의해 대상을 좌안으로 관측한 2D의 좌측영상과 우안으로 본 2D의 우측영상을 화면에 동시에 디스플레이하고 무안경식(Interlace), 편광입체방식(Side-by-Side) 기법을 통해 관측자에게 좌측영상은 좌안으로 우측영상은 우안으로 분리하여 디스플레이하여 입체시를 제공한다.

## 4.3 기존 입체시 기법

대상을 관측자가 원하는 방향에서 실시간으로 바라본 입체영상을 생성하는 방법에 관한 것으로, 대상을 모든 방향에서 본 좌측영상 및 우측영상이 필요하며, 대상물의 좌측영상과 우측영상을 획득하는 방법 중의 하나는 일정거리로 이격되어 있는 두 개의 카메라로 대상을 직접 모든 방향에서 촬영하는 방법이다. 이 방법은 좌측영상 및 우측영상을 획득하기는 쉬우나, 대상물이 실제로 존재하고 카메라가 대상을 직접 촬영해야 하는 번거로움이 있고, 대상을 모든 방향에서 촬영한 영상 데이터를 저장해야 하므로 대용량이 필요하고, 관측자가 시시각각으로 관측방향을 변경 시에 그에 맞는 좌우측영상을 불러오기 위해서는 복잡한 연산과정이 필요하다.

## 4.4 3차원 지형공간 데이터의 입체 시각화

공선조건식은 한 쌍의 스테레오 이미지를 가지고 입체영상을 생성하는 것에 사용되어 왔다. 3차원 공간 데이터를 이용하여 동적인 입체영상을 표현하기 위해선 공선조건식의 외부표정요소인 사진기의 위치나 촬영방향을 동

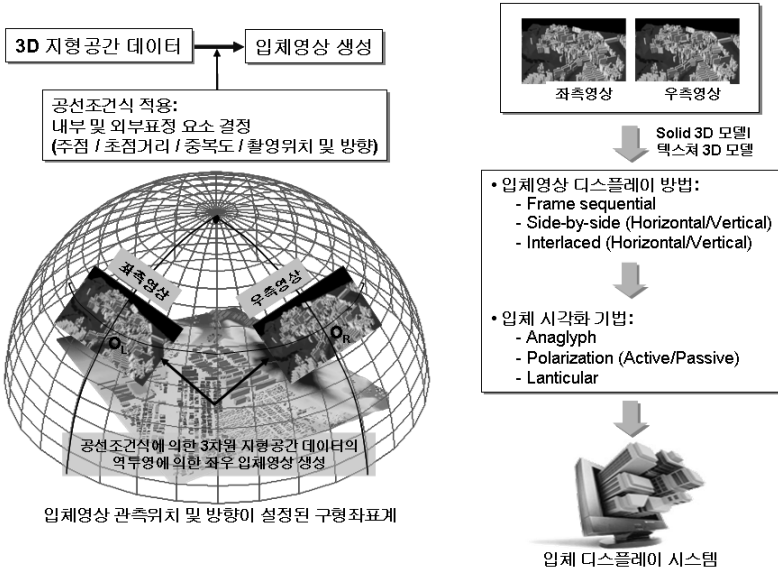


그림 4. 3차원 지형공간 데이터의 입체 시각화 과정

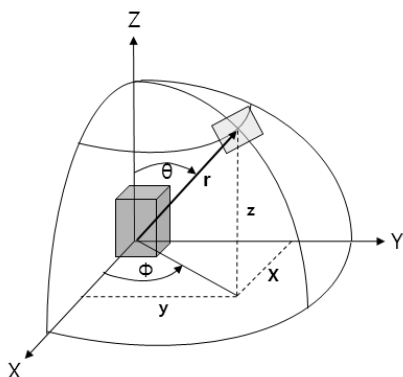


그림 5. 대상을 투영하기 위한 영상면과 구면좌표계

적으로 계산하여 표현해야만 동적 입체영상, 비행 시뮬레이션 등의 입체 영상이 만들어 진다. 외부표정요소를 동적으로 변경하기 위해 가상의 구를 설정하고 구면좌표계의 원점과 지상좌표계의 원점을 일치시키고 좌표계 변환을 통하여 사진기의 위치와 촬영방향을 결정한다. 또한, 구면 좌표계를 통하여 회전, 수렴각 등을 쉽게 결정할 수 있는 시스템을 구축한다.

그림 4의 3차원 지형공간 데이터의 입체 시각화 과정은 실제계의 효과를 반영하는 입체 영상을 만들기 위하여 가상의 구면을 생성하고 구면을 따른 촬영점 위치, 회전, 영상크기, 증폭도, 사진기 초점거리, 수렴각등을 이용하여 공선조건식에 대입되는 좌우영상의 외부표정요소를

결정한 후 좌측영상과 우측영상을 생성하여 무안경식 입체 디스플레이 모니터에 디스플레이 한다.

#### 4.5 좌표계 변환과 공선조건식

좌표계 변환(구좌표계에서 직교좌표계로의 변환)을 통하여 공선조건식의 외부표정요소 중 카메라의 위치(x, y, z) 값을 결정할 수 있다. 그림 5는 대상을 촬영하는 카메라를 도기한 것으로서, 그림 5에서 보는 바와 같이 대상물의 어느 한 점은 가상의 구 중심에 위치하고, 카메라는 반지름이 r인 가상의 구 표면에 위치한다. 수직방향으로 이동한 각도  $\theta$ 와 수평방향으로 이동한 각도  $\phi$ 에 임의의 값을 대입하여 카메라의 위치(x, y, z)를 결정한다. 그러나 공선조건식은 세 개의 각으로 회전각을 결정하기 때문에 수직방향으로 이동한 각도  $\theta$ 와 수평방향으로 이동한 각도  $\phi$ 가 공선조건식 외부표정요소 중 회전 각  $\omega$ (X축 회전),  $\phi$ (Y축 회전),  $\kappa$ (Z축 회전)에 대응되지 않으므로 수직방향으로 이동한 각도  $\theta$ 만을 이용하여 좌표계 변환을 실행한다.

수평방향으로 이동한 각도  $\phi$ 는 대상물의 회전을 통해 반영한다. 즉,  $\theta$ 는 임의로 설정가능이 가능하며,  $\phi$ 는 0도로 설정하여 각을 고정시킨다. 이와 같이 카메라가 구의 수직방향으로 이동한 위치만을 카메라의 촬영위치로 하는 것은 공선조건식에 의해 대상물의 좌측영상 및 우측영상의 제작하는 연산속도를 높이기 위한 것이다. 이를 보

다 구체적으로 설명하면, 식 (5)와 식 (6)에서 보는 바와 같이 공선조건식에 적용되는 파라미터에는 카메라의 위치좌표  $(X_L, Y_L, Z_L)$  또는  $(X_R, Y_R, Z_R)$ 와 카메라의 촬영각도  $(\omega, \phi, \kappa)$ 가 필요하다.

여기서  $(\omega, \phi, \kappa)$ 는 카메라가 각각 X축, Y축, Z축으로 회전한 각도를 나타내는 것으로서 카메라의 촬영위치를 나타내는 각도  $(\theta, \phi)$ 와 관계는 있지만 같은 값을 갖지는 않는다. 따라서 카메라가 구의 수직방향과 수평방향으로 모두 이동된 위치를 카메라의 촬영위치 좌표로 사용하는 경우에는 카메라의 촬영각도  $(\omega, \phi, \kappa)$ 는  $(\theta, \phi)$ 로부터 직접적으로 구할 수 없고 카메라의 투영중심이 구의 중심을 향한다는 조건을 부가시켜 복잡한 수식을 통해 구해진다.

그러나 카메라가 구의 수직방향으로 이동한 위치만을 카메라의 촬영위치 좌표로 사용(즉,  $\phi=0$ ) 하고, 카메라가 구의 수평방향으로 이동한 위치는 대상물을 회전시켜 변경된 공간좌표를 사용하는 경우에는 카메라의 촬영각도는  $(\omega=\theta, \phi=0, \kappa=0)$  이 된다. 즉, 이때는 카메라의 촬영각도 셋 중 하나는 카메라가 구 표면에서 수직으로 이동한 각도와 같아지고 나머지 둘은 0도가 됨으로 카메라의 촬영각도  $(\omega, \phi, \kappa)$ 를 별도로 구할 필요가 없다. 구의 반지름  $r$ 은 입체영상의 축적을 결정한다. 즉, 반지름  $r$ 이 크면 입체영상으로 생성되는 대상물은 작게 표현되고, 작으면 대상물은 크게 표현된다.

반지름  $r$ 은 임의로 설정하며 실시간으로 변경이 가능하다. 그리고 카메라는 가상의 구 표면에서 이동하여 대상물을 촬영하며, 그 투영중심은 구의 중심을 향한다. 카메라의 모든 촬영위치  $(X, Y, Z)$ 는 그림에서 알 수 있듯이 카메라가 구의 수직방향(즉, 구의 XZ면 또는 YZ면)으로 이동한 각도  $\theta$ 와 카메라가 구의 수평방향(즉, 구의 XY면)으로 이동한 각도  $\phi$ 로 표현 가능하고, 카메라의 촬영위치  $(x, y, z)$ 를 결정함에 있어, 식 (1)은 카메라가 구의 표면을 따라 수직방향으로 이동한 수직관측위치를 결정하는데 사용된다(Wang, 1990).

$$\begin{aligned} X &= r(\sin\theta\cos\phi) \\ Y &= r(\sin\theta\sin\phi) \\ Z &= r\cos\theta \end{aligned} \quad (1)$$

#### 4.6 대상물 회전

그림 5의 입체 영상면이 구의 수평방향으로 이동한 수평관측위치는 그림 6의 대상물을 Z축을 축으로 회전시켜

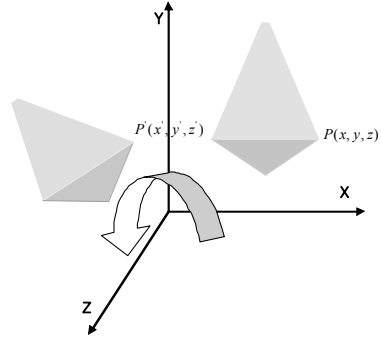


그림 6. 대상물의 회전

대상물의 공간좌표를 변경시켜 간접적으로 결정된다. 대상물의 공간좌표 회전은 아래의 식 (2)에 의해 수행된다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $(x, y, z)$ 는 회전된 후 대상물의 공간좌표이고,  $(x', y', z')$ 는 회전되기 전 대상물의 공간좌표이고,  $\alpha$ 는 Z축으로의 회전각도로서  $\alpha=\phi$ 이다.

#### 4.7 중복도에 의한 시차 적용

양안시차의 원리에 의해 영상면이 구의 수직방향으로 이동한 위치좌표  $(X, Y, Z)$ 를 좌측좌표  $(X_L, Y_L, Z_L)$ 와 우측좌표  $(X_R, Y_R, Z_R)$ 로 분리한다. 양안시차 원리는 사람의 좌우안이 직선상에 일정거리 이격되어 있고, 좌우안이 보는 영역 중 일부는 중복(공유)된다는 것을 적용한 것으로서, 카메라가 구의 수직방향으로 이동한 초기 위치  $(X, Y, Z)$ 에서 카메라를 좌우측으로 일정거리 이동시키는 것으로서, 카메라의 X좌표가 변한다. 좌우측으로 각각 이동된 두 카메라의 간격  $\Delta x$ 는 아래의 식 (3)으로부터 구해진다.

$$\Delta x = b \left( \frac{Z_0 - Z}{f} \right) \left( 1 - \frac{P}{100} \right) \quad (3)$$

$b$ 는 카메라가 촬영하는 대상물이 포함된 영역(즉, 영상)의 한 변의 길이,  $f$ 는 카메라의 초점거리,  $Z_0$ 는 카메라에서 영상의 바닥면까지의 수직거리로서 통상 가상의 구 반지름  $r$ 에 상응한다. 그리고  $Z$ 는 영상의 바닥면에서 돌출

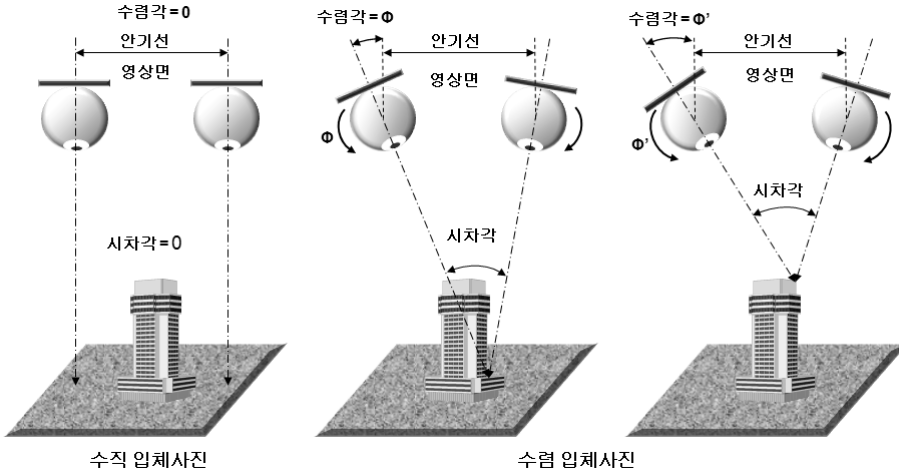


그림 7. 인간의 입체시 원리와 수렴입체 영상

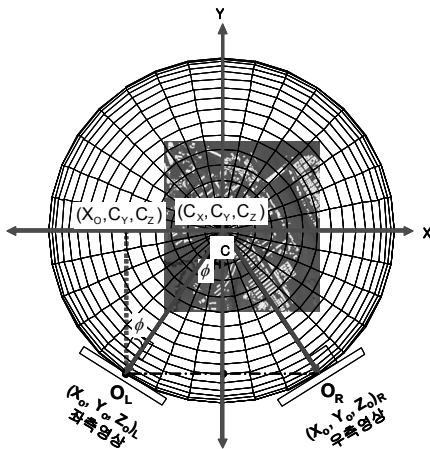


그림 8. 수렴각 결정

된 대상물의 최고높이 이고, P는 작업자(관측자)가 임의로 선택하는 좌측영상과 우측영상의 중복도로서 그 값은 60~90% 인 것이 바람직하다.

카메라가 구의 수직방향으로 이동한 초기 위치좌표(x, y, z)와 좌우측으로 각각 이동된 두 카메라의 간격  $\Delta x$ 로부터 좌측좌표는  $(X_L, Y_L, Z_L)=(X-\Delta x/2, Y, Z)$ , 우측좌표는  $(X_R, Y_R, Z_R)=(X+\Delta x/2, Y, Z)$ 로 결정된다. 물론, 좌측좌표는  $(X_L, Y_L, Z_L)=(X, Y, Z)$ , 우측좌표는  $(X_R, Y_R, Z_R)=(X+\Delta x, Y, Z)$ 로 결정해도 된다.

#### 4.8 수렴각 결정

입체영상 카메라의 주요 구성법은 소실점이 평행한 평행식과 소실점이 수렴각을 유지하며 교차하는 교차식이

있다. 평행식은 가장 기본적인 형식이지만 실제로는 수렴 영상에 의한 교차식을 사용하면 인간의 입체시각 원리에 의하여 입체효과가 향상된다(그림 7 참조). 그림 8의  $(X_0, Y_0, Z_0)$ 는 카메라의 위치를 나타내며, 구의 중심을 지나 는 X축에 직각으로 수선을 내린  $(X_0, C_Y, C_Z)$  방향을 향 하고 있는 카메라의 촬영 각에  $\phi$ 만큼 가감 연산을 하여 중심을 향하도록 결정한다.

중심을 향하는 각( $\phi$ )은 식 (4)를 통해 도출되었으며, 각 ( $\phi$ )를 식 (6)의 Y축 회전( $\phi$ )각에 대입하여 교차식 카메라를 구현하였다. 식 (4)를 통해서 얻어진 결과는 카메라의 촬영각도(시선방향)가 구의 중심을 향하도록 설정 된다.

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{(X_0 - C_X)^2 + (C_Y - C_Y)^2 + (C_Z - C_Z)^2}}{\sqrt{(X_0 - C_X)^2 + (Y_0 - C_Y)^2 + (Z_0 - C_Z)^2}} \right) \quad (4)$$

결과적으로 장면이 화면을 기준으로 밖으로 나오는 상이거나 들어가는 상이거나 또는 완전 중복을 이뤄서 화면 중앙에 위치하는 사진으로 결정된다. 구의 중심을 향하는 각( $\phi$ )을 고려한 좌우 수렴영상이 교차 되어 대상지역의 입체영상이 화면을 중심으로 모니터의 화면 안으로 들어 가고 밖으로 돌출하는 영상이 모두 표현되는 입체영상이 생성된다.

#### 4.9 공선조건식에 의한 입체 디스플레이

앞에서 설명한 과정에 의하여 관측자의 관측위치 변화



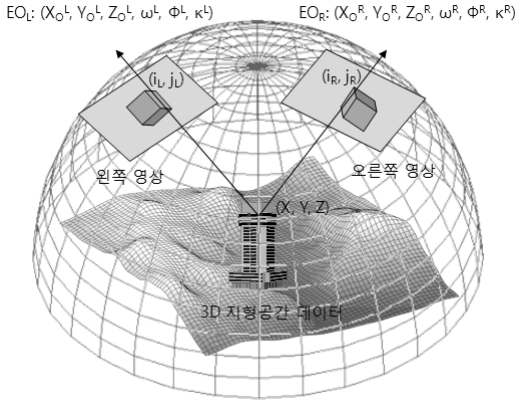


그림 9. 공선조건식을 적용한 수렴입체영상의 생성

에 따른 카메라의 좌측좌표 ( $X_L, Y_L, Z_L$ ) 및 우측좌표 ( $X_R, Y_R, Z_R$ ), 그리고 대상물의 변경된 공간좌표 ( $X_O, Y_O, Z_O$ )를 계산한 후, 식 (5)의 공선조건식에 적용하여 수렴 좌측영상과 우측영상을 제작한다(Schenk, 1999; Wolf and Dewitt, 2000; Moffitt and Mikhail, 1980; Slama, 1980; Mikhail 등, 2001; McGlone, 2004; Atkinson, 2001). 그림 9는 3D 벡터 데이터인 지형공간 데이터에 공선조건식을 적용하여 수렴 좌측영상과 우측영상을 생성하여 최종적으로 3D 입체 모니터에 디스플레이 한다.

$$i_L = -f \frac{r_{11}(X - X_{O^L}) + r_{12}(Y - Y_{O^L}) + r_{13}(Z - Z_{O^L})}{r_{31}(X - X_{O^L}) + r_{32}(Y - Y_{O^L}) + r_{33}(Z - Z_{O^L})}$$

$$j_L = -f \frac{r_{21}(X - X_{O^L}) + r_{22}(Y - Y_{O^L}) + r_{23}(Z - Z_{O^L})}{r_{31}(X - X_{O^L}) + r_{32}(Y - Y_{O^L}) + r_{33}(Z - Z_{O^L})}$$

$$i_R = -f \frac{r_{11}(X - X_{O^R}) + r_{12}(Y - Y_{O^R}) + r_{13}(Z - Z_{O^R})}{r_{31}(X - X_{O^R}) + r_{32}(Y - Y_{O^R}) + r_{33}(Z - Z_{O^R})}$$

$$j_R = -f \frac{r_{21}(X - X_{O^R}) + r_{22}(Y - Y_{O^R}) + r_{23}(Z - Z_{O^R})}{r_{31}(X - X_{O^R}) + r_{32}(Y - Y_{O^R}) + r_{33}(Z - Z_{O^R})} \quad (5)$$

여기서, ( $i_L, j_L$ )은 좌측영상의 픽셀이고, ( $i_R, j_R$ )은 우측영상의 픽셀이다. 그리고  $r_{11} \sim r_{33}$ 는 카메라의 촬영각도에 관련된 것으로서 아래의 식 (6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\kappa & \sin\omega\sin\phi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa & -\cos\omega\sin\phi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa \\ -\cos\phi\sin\kappa & -\sin\omega\sin\phi\sin\kappa + \cos\omega\cos\kappa & \cos\omega\sin\phi\sin\kappa + \sin\omega\cos\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega\cos\phi & \cos\omega\cos\phi \end{bmatrix} \quad (6)$$

전술한 바와 같이 임의의 관측위치에 대하여 구의 표면에서 수직방향으로 이동한 수직관측위치는 카메라가 각도  $\theta$ 만큼 회전한 카메라의 위치의 좌표로 구하고, 구의 표면에서 수평방향을 이동한 수평관측위치는 대상물을 Z축을 축으로 각도  $\alpha (= \phi)$ 만큼 회전시켜 변경된 대상물의 공간좌표로 구한다.

수렴각은 중심을 향하는 각( $\phi$ )로 결정하므로, 식 (6)의 ( $\omega, \phi, \kappa$ )에 각각 ( $\theta, \phi, 0$ )을 적용하면 식 (5)와 식 (6)은 식 (7)과 식 (8)과 같이 단순해진다.

$$i_L = -f \frac{r_{11}(X - X_{O^L}) + r_{12}(Y - Y_{O^L}) + r_{13}(Z - Z_{O^L})}{r_{31}(X - X_{O^L}) + r_{32}(Y - Y_{O^L}) + r_{33}(Z - Z_{O^L})}$$

$$j_L = -f \frac{r_{22}(Y - Y_{O^L}) + r_{23}(Z - Z_{O^L})}{r_{31}(X - X_{O^L}) + r_{32}(Y - Y_{O^L}) + r_{33}(Z - Z_{O^L})}$$

$$i_R = -f \frac{r_{11}(X - X_{O^R}) + r_{12}(Y - Y_{O^R}) + r_{13}(Z - Z_{O^R})}{r_{31}(X - X_{O^R}) + r_{32}(Y - Y_{O^R}) + r_{33}(Z - Z_{O^R})}$$

$$j_R = -f \frac{r_{22}(Y - Y_{O^R}) + r_{23}(Z - Z_{O^R})}{r_{31}(X - X_{O^R}) + r_{32}(Y - Y_{O^R}) + r_{33}(Z - Z_{O^R})} \quad (7)$$

여기서,

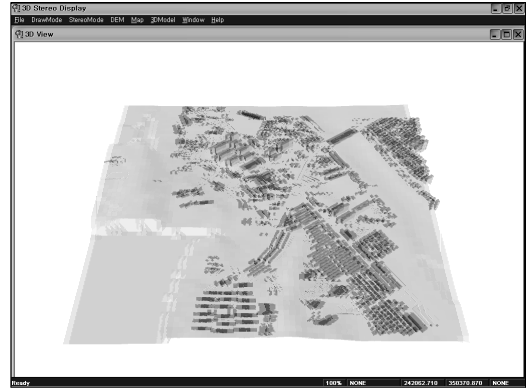
$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\kappa & \sin\omega\sin\phi\cos\kappa & -\cos\omega\sin\phi\cos\kappa \\ 0 & \cos\omega\cos\kappa & \sin\omega\cos\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega\cos\phi & \cos\omega\cos\phi \end{bmatrix} \quad (8)$$

좌측영상 및 우측영상을 생성하여 입체 디스플레이 하기 위해서는 일반적으로 interlace 방식, side-by-side 방식, anaglyph 방식을 적용하여 대상물의 입체영상을 생성한다.

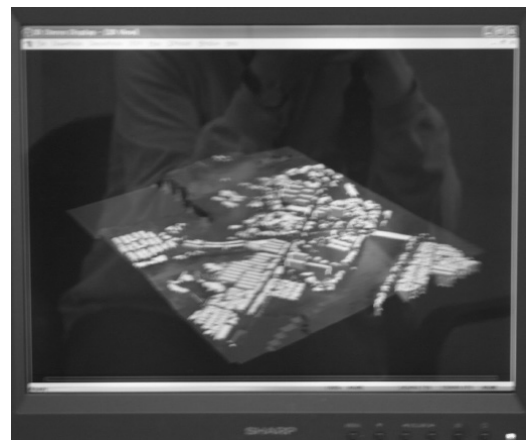
본 연구에서 적용한 interlace 방식은 무안경 방식으로,

좌측영상과 우측영상을 일정거리로 이격시켜서 좌우측 영상간의 거리를 조절하면서 디스플레이 하는 방식이며, 입체영상의 생성과정, 즉 3차원 공간좌표를 갖는 대상물의 어느 한 점이 가상의 구 중심에 위치하도록 대상물의 공간좌표를 변환시켜서 대상물의 좌측영상 및 우측영상을 제작하고, 이들 좌우측영상을 일정거리 이격시켜 배치하거나 겹치도록 배치하는 과정은 컴퓨터상에서 수행된다. 구의 반지름  $r$ , 카메라의 초점  $f$ , 좌우측영상의 중복도  $P$ , 좌우측영상의 한 변의 길이  $b$ 는 작업자(관측자)가 직접 결정하여 컴퓨터에 입력시키고, 변수의 성격을 갖는 대상물의 관측위치를 결정하는 카메라가 구의 수직방향으로 이동한 수직관측위치  $\theta$ 와, 카메라가 구의 수평방향으로 이동한 수평관측위치  $\phi$ 는 작업자가 컴퓨터의 모니터에서 이동시키는 마우스의 이동거리에 의해 실시간으로 연산된다.

작업자가 마우스를 좌우로 이동시키면 그 이동거리에 비례하여 수직관측위치를 나타내는  $\theta$ 의 각도가 변하여 카메라의 위치좌표가 실시간으로 연산되고, 작업자가 마우스를 모니터상에서 이동하여 상하로 움직이면 이동거리에 비례하여 수평관측위치를 나타내는  $\phi$ 의 각도가 변하여 대상물의 회전된 공간좌표가 실시간으로 연산된다. 마우스의 이동방향에 따라 카메라의 위치좌표와 대상물의 공간좌표가 연산되면, 그와 동시에 대상물의 좌측영상 및 우측영상이 제작되고, 제작된 좌측영상과 우측영상은 모니터에 디스플레이 되어 대상물의 입체영상이 생성된다.



(a) 입체 디스플레이 소프트웨어



(b) 무안경식 모니터에 디스플레이 결과  
그림 10. 무안경식 interface 방식의 입체시 결과

## 5. 결 과

공선조건식은 하나의 입체영상을 생성 할 수는 있으나, 동적인 표현의 한계 때문에 좌표계 변환을 통해서 반영된 데이터를 공선조건식에 실시간 반영함으로써 동적인 페이지 생성이 가능해진다. 3차원 공간좌표(X, Y, Z)로 생성된 대상물을 입체 영상의 회전 및 이동에 따른 관측자의 다양한 시점에서 동적 입체영상을 생성하고, 또한 이동하는 시점 및 방향에 따라 입체 flying through 및 walk through 시뮬레이션을 생성하였다. 그림 10은 본 연구를 통하여 개발한 무안경식 입체영상 생성 및 디스플레이 소프트웨어와 interlaced 방식의 무안경식 입체 모니터에 디스플레이한 결과를 보여주고 있다.

## 6. 결 론

기존의 디스플레이 기술은 3차원 공간상에 존재하는 다양하고 동적인 현상과 정보를 2.5D로 평면상에서 표현하므로 정보의 레벨과 입체 시각적 효과가 저하될 수밖에 없다. 따라서 본 연구는 기존의 입체 시각화 방법의 한계를 극복하고 GIS의 주요 데이터인 3차원 수치지도의 효과적인 입체 시각화 및 디스플레이를 위하여 관측시점과 방향을 결정하기 위한 구면좌표계를 설정하고 구면좌표와 지상 직교좌표계 사이의 변환을 통하여 동적으로 관측시점을 실시간으로 결정하여 무안경식 입체 디스플레이 모니터에 적용함으로써 기존의 2.5D로 표현되는 공간정보를 완전한 입체 시각화 하였다.

이를 위해 관측하고자 하는 대상물의 공간좌표만이 필요하고, 대상물을 임의의 방향에서 본 좌우측영상은 양안

시차의 원리와 공선조건식에 의해 실시간으로 생성되므로 관측자의 시선이동에 따른 대상물의 입체영상이 생성된다. 관측자의 관측방향 즉, 입체영상의 외부표정요소는 입체시각화를 위한 가상의 좌표계에서 수직으로 이동한 수직관측위치는 카메라의 위치좌표로 구성되고, 가상의 구 표면에서 수평방향으로 이동한 수평관측위치는 카메라는 이동되지 않고 대상물이 회전되어 변경된 대상물의 공간좌표로 구성됨으로써, 좌우측영상이 제작을 위한 연산속도가 빨라지고 입체영상의 소실점이 실제와 다른 방향에 생기는 것이 방지된다.

그러나 현재까지 개발된 무안경식 입체 모니터는 기술적인 한계로 인하여 완전한 입체시는 불가능하다. 관측자 시점의 위치에 따라 좌우영상이 역전되는 역입체시와 관측자와 화면간의 거리, 대상물의 거리 등의 변화에 따라 불완전한 입체시가 생성된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 선진국에서는 차세대 입체 모니터 기술에 대한 연구가 진행되고 있으며, 가까운 장래에 보다 완벽한 입체 모니터가 상용화될 것으로 기대하고 있다. 향후 GIS 및 사 진측량분야에서 다양한 3차원 공간정보의 실감적 콘텐츠 생성 및 디스플레이를 위하여 차세대 입체 모니터의 역할이 클 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10540)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

손태진 (2004), 假想現實建築에서 立體映像을 이용한 사이버 공간 구현에 관한 연구, 大韓建築學會論文集 構造系, Vol.

- 20, No. 4, pp. 117-124.
- 안진호, 권용무, 이제호, 오봉환, 김상국, 박상희 (1995) 렌티클라 방식에 의한 실시간 입체 영상 표시 시스템 설계, 1995 대한전자공학회 학술대회 논문집(신호처리 합동), Vol. 8, No. 1, pp. 1104-1107.
- 윤창욱, 윤태수, 이동훈 (2007), 3차원 모델링 도구에서의 대화식 입체 영상 저작 시스템, 한국콘텐츠학회, 한국콘텐츠학회 2007 춘계 종합학술대회 논문집, Vol. 5, No. 1, pp. 11-15.
- 이남호, 박순용, 이용범, 이종민 (1996), 무안경식 입체영상 디스플레이 연구, 대한전자공학회, 대한전자공학회 학술대회 논문집, Vol. 19, No. 1, pp. 523-526.
- 이적식 (2003), 인간시각체계에 기초한 교차시각 스테레오 영상의 깊이 추출, 한국통신학회논문지 02-2, Vol. 27, No. 4A, pp. 371-382.
- Atkinson, E. (2001), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, p. 371.
- McGlone, J. (2004), *Manual of Photogrammetry Fifth Edition*, the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, p. 1151.
- Mikhail, E., Bethel, J., and McGlone, J. (2001), *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sone, p. 479.
- Moffitt, F., and Mikhail, E. (1980), *Photogrammetry Third Edition*, Harper & Row, p. 648.
- Peterka, T., Sandin, D., Ge, J., Girado, J., Kooima, R., Leigh, J., Johnson, A., Thiebaut, M., and DeFanti, T. (2006), Personal Barrier: Autostereoscopic virtual reality display for distributed scientific visualization, *Future Generation Computer Systems*, 22, pp. 976-983.
- Schenk, T., (1999), *Digital Photogrammetry, Volume I*, Terra Science, p. 428.
- Shan, J., Fu, C., Li, B., Bethel, J., Kretsch, J., and Mikhail, E. (2006), Principles and Evaluation of Autostereoscopic Photogrammetric Measurement, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 8, No. 4, pp. 365-372.
- Slama, C. (1980), *Manual of Photogrammetry Fourth Edition*, American Society of Photogrammetry, p. 1056.
- Wang, Z. (1990), *Principles of Photogrammetry with Remote Sensing*, House of Surveying and Mapping, Beijing, p. 575.
- Wolf, P., and Dewitt, B. (2000), *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS 3rd edition*, McGraw-Hill, p. 604.

(접수일 2008. 10. 24, 심사일 2008. 11. 12, 심사완료일 2008. 12. 17)