

# 비행 VR 시뮬레이터를 위한 가상환경 구축과 MR\*

이중환<sup>1</sup>, 유병현, 한순흥  
한국과학기술원 기계공학과  
paper@icad.kaist.ac.kr<sup>1</sup>

## Building Virtual Environment and Mixed Reality for a VR Flight Simulator\*

Jonghwan Lee, Byounghyun Yoo, Soonhung Han  
Department of Mechanical Engineering, KAIST

### 요약

가상현실 비행 시뮬레이터에 사용하기 위한 실제 지형의 가상환경을 제작하고, 이를 스포츠 헬리콥터 시뮬레이터에 적용하였다. 실제 지형모델을 사용하기 위하여 국가지리정보시스템의 수치지도로부터 지형 모델을 만들고, 위성 사진을 적용하여 높은 고도에서도 사용자에게 실제와 같은 가상환경을 보여주도록 하였다. 비행 시뮬레이터의 특성상 이착륙시와 같은 낮은 고도에서도 실제감을 높이기 위하여 한국과학기술원의 3 차원 모델을 지형모델과 함께 사용하였다. 또한 크로마키 기법을 이용한 혼합 가상 현실 시스템을 구축하였다. 사용자는 블루 스크린에 투영된 가상환경만이 아니라 자신의 손과 발을 포함한 조향장치를 HMD 에 부착된 CCD 카메라를 통하여 볼 수 있다. 본 연구를 통하여 비행 시뮬레이션을 위한 대규모 가상환경 제작과 혼합 가상환경 개발에 필요한 요소 기술과 경험을 축적하였다.

Keyword : 가상환경 구축, 시뮬레이터, Mixed Reality, Virtual Reality,

### 1. 서론

1990 년대 초부터 활발하게 연구되기 시작한 가상현실 기술은 컴퓨터 그래픽스 기술의 발전에 힘입어 발전하게 되었다[1]. 가상현실 기술의 대표적인 활용분야로는 운동감을 동반한 가상현실 시뮬레이터가 있으며, 항공기의 모의비행 훈련장치를 위해 발전되어온 시뮬레이터 기술은 군사용 시뮬레이터를 중심으로 발전되어 오다가, 최근에는 민간 산업용 시뮬레이터로 그 기술이 전파되어 산업 훈련용, 특수 상황 체험용, 게임용 등의 다양한 분야에 적용되고 있다[2,3]. 시뮬레이터를 구성하는 요소기술 중 가상환경의 시각화를 담당하는 시각 시뮬레이터는 시뮬레이터의 동적 이미지를 실시간

으로 생성 및 재생하여 사용자가 체험하는 가상세계를 시각적으로 표현한다. 인간이 외부세계로부터 받아들이는 감각 정보의 70% 이상은 시각정보로, 시뮬레이터에서도 시각은 큰 비중을 차지하기 때문에, 시각적 현실감을 높이기 위해 다양한 방법이 이용되고 있다[4,5]. 특히, 비행시뮬레이터는 대규모 지형 데이터베이스가 필요하고, 가상환경을 생성하는 시스템 역시 현실감이 중요하기 때문에, 시각 시뮬레이터가 담당하는 역할은 여타 드래이빙 시뮬레이터보다 크다[6]. 국내외에서 이러한 비행 시뮬레이터의 개발사례는 다수 찾아볼 수 있는데, 그 중 대표적인 사례는 항공우주연구소의 항공기 설계 및 시험평가를 위한 비행 시뮬레이터, Iowa State 대학 VRAC 의 6 자유도 운동판과 입체영상, 서라운드 사운드를 이용한 1 인승 헬리콥터

\* 본 연구는 한국과학재단 가상현실연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

시뮬레이터, **Simpkins Design Group**의 상용 시뮬레이터인 **FLYIT** 등을 들 수 있으며, 도담시스템 등의 국내 업체에서도 군사용 항공기를 모사하는 시뮬레이터를 개발하였다[7,8]. 시뮬레이터 이외에도 가상현실 기법을 동원하여 승용구의 조종에 도움을 주기 위한 연구사례도 볼 수 있는데, 전자통신 연구원의 헬리콥터 항법용 증강현실 소프트웨어의 개발에 관한 연구를 들 수 있다[9]. 본 논문은 **HELICAT**이라는 실제 존재하는 경량 스포츠 헬리콥터를 모사하는 시뮬레이터를 개발하면서 수행된 가상환경의 구축과 생성에 관한 내용을 설명한다. 그림 1은 개발된 시뮬레이터의 개념도이며, 전체 시뮬레이터는 가상환경을 제공하는 시각시스템, 헬리콥터의 동역학을 계산하고 운동감을 제공하는 동역학 시스템, 헬리콥터 조종기구의 입력과 촉감을 제공하는 햅틱 시스템, 3차원 가상 음장을 제공하는 음향시스템으로 구성되며 각 서브시스템은 네트워크로 연결되어 있다.



그림 1. 스포츠 헬리콥터 VR 시뮬레이터의 개요

## 2. 지형 데이터의 구축

일반적인 가상환경의 구축은 시각적 현실감을 효율적으로 높이기 위하여, 지형 데이터의 전처리, 도로 및 지형지물의 제작, 모델의 단순화, 텍스처 맵핑, Level of Detail 등의 다양한 방법을 이용하여 이루어진다[5,10]. 그러나 지형의 범위와 모델링 방법 측면에서, 저해상도 global view에서 고해상도 local view까지의 시뮬레이션이 필요한 비행 시뮬레이터에 어려움이 있다. 비행 시뮬레이터에서는 사용자의 시점이 지표면 부근으로 제한되는 자

동차 드라이빙 시뮬레이터와는 달리, 시점의 고도가 자유롭고, 이동 범위가 넓기 때문에, 효과적이고 현실감 있는 지형 데이터의 구축이 필요하다. 특히 헬리콥터 시뮬레이터는 그 움직임이 자유롭기 때문에 가상환경을 제작하고 표현함에 있어서 어려움이 따른다[6].

### 2-1. 수치지형도와 TIN의 생성

지형 데이터의 구축은 사용 방법과 소스 정보의 형태에 따라 여러 가지 방법이 있다. 일반적으로 위성 영상으로부터 DEM (Digital Elevation Model)과 텍스처를 생성하여 3차원 지형 모델을 제작하는 방법이 쓰이는데, 이 방법은 위성 이미지의 해상도와 방법의 자체적인 한계로 인하여 DEM의 격자를 원하는 만큼 자세하게 줄이기 어렵고, 건물 등의 시설물이 포함된 표고모델이라는 단점이 있다. 이러한 특징은 일정 고도를 유지하는 비행기의 시뮬레이션에는 적합하나, 고도범위가 자유로운 헬리콥터의 시뮬레이션에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 위성 이미지로부터 생성한 DEM이 아닌 GIS(Geographic Information System)용 수치지형도를 3차원 지형 모델의 소스 정보로 사용하였다.



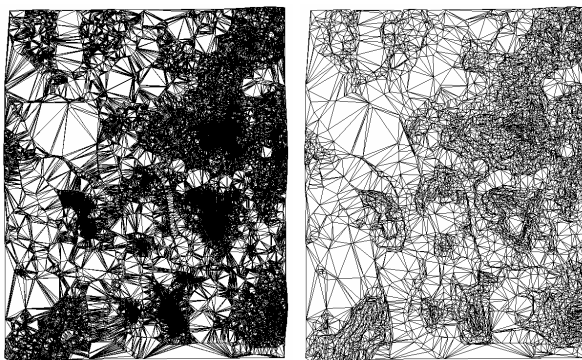
그림 2. KAIST 주변의 수치지형도

본 연구에서 사용한 수치지형도는 국립지리원에서 발행한 NGIS(국가지리정보시스템) 수치지형도로서, NGIS의 추진현황과 보안의 문제로 인하여 가장 자세한 1:1000도 대신 1:5000도를 사용하였다[11].

그림 2 는 사용된 KAIST 주변의 수치지형도이며, 작은 직사각형은 수치지형도의 각 도엽을 나타내는데, 이는 가로 약 2.2km 세로 약 2.7km 의 영역을 표현한다. 국립지리원에서 발행하는 수치지형도는 DXF 형식의 파일로 제공되는데, 다양한 정보를 포함하고 있는 수치지형도에서 지형 데이터를 골라내기 위하여 AutoCAD 2002 를 이용하였다. 수치지형도의 DXF 형식은 3 차원 좌표계를 이용하지만, 지형과 관련된 등고선은 Polyline 으로 정의되어 있기 때문에, 가상현실 시뮬레이터에 사용하기 위해서는 이를 3 차원 곡면으로 변경해야 한다. 등고선으로 구성된 지형 데이터를 3 차원 곡면으로 변경하기 위해서, 등고선에서 삼각형 패치로 이루어진 TIN (Triangulated Irregular Networks)을 생성하였으며, 이 작업은 상용 프로그램인 ESRI 사의 ArcGIS[12]을 사용하였다.

## 2-2. 삼차원 지형 데이터의 최적화

생성한 TIN 데이터는 1 도엽당 10 만개가 넘는 삼각형으로 이루어진 방대한 양의 삼각형 패치망이다. 이렇게 생성된 TIN 데이터는 시뮬레이터에서 실시간으로 처리하기 불가능하기 때문에, 필요 없는 폴리곤을 제거하고 폴리곤 수를 줄이는 모델 간략화 작업이 필요하다.



(a) (b)

그림 3. VRML 모델의 최적화

모델의 간략화는 TIN 데이터를 변환한 VRML 모델로 이루어졌는데, Parallel Graphics 사의 Internet model optimizer 를 사용하였으며, Vertex concatenation radius 를 이용하여 Preprocessing 을 한 후 Crease angle 을 이용하여 Optimization 을 이용하

였다. 그림 3 의 (a)는 간략화를 수행하기 전의 VRML 모델이며, (b)는 폴리곤 수를 1/10 로 감소 시킨 후의 VRML 모델이다.

### 2-1-3. 지형텍스처의 처리와 다단계 모델

간략화 작업을 거친 지형모델은 MultiGen 에서 실제 시뮬레이터에서 사용할 수 있도록 추가적인 작업을 거쳐 OpenFlight 와 같은 실시간 시뮬레이션용 모델로 제작한다[13]. 일반적인 위성 이미지는 촬영 각도에 따라 왜곡된 정보를 갖고 있기 때문에 수치지형도 상의 지상 좌표와의 상관 매칭과 역변환 과정을 통하여 정사영상으로 변형한다[14]. 위성 영상의 변형은 위성의 위치, 각도 등과 같은 영상의 촬영정보를 이용하는 것도 가능하나, 본 연구에서는 지형모델과 보다 정확한 매핑을 위하여 그림 4 와 같이 위성 영상 위에 수치지도를 포개어 수치지도의 지형지물과 위성 영상의 지형 지물을 1:1 로 매핑하는 과정을 통해 변형하여 가상 환경의 구축하였다. 텍스처 이미지의 소스 데이터로는 1m 해상도 영상보다 상대적으로 경제적이면서 해상도가 높은 6.6m 해상도의 아리랑 위성의 흑백 영상을 사용하였다. 이 영상의 컬러화는 10m 해상도의 컬러 영상을 이용하였는데, 그림 4 와 같이 흑백 위성영상 위에 지형지물을 이용하여 10m 컬러 위성영상을 매핑한 후, 이 컬러 위성영상의 색 정보를 이용하여 흑백 위성영상의 명암에 색 정보를 추가하여 6.6m 해상도의 컬러 위성영상을 생성하였다.



그림 4. 텍스처 적용을 위한 위성 영상의 가공 준비된 3 차원 기하학적 모델(지형모델)과 텍스처를 이용하여 MultiGen 에서 텍스처 매핑을 하고

시각적 현실감과 성능 향상을 위하여 LoD(Level of Detail)기법을 적용하였다. 스포츠 헬리콥터 시뮬레이터는 그 특성상 시점의 이동 범위가 넓고, 고도의 변화가 자유롭기 때문에, 낮은 고도에서 바라본 좁은 영역의 지표면 부근 영상과 높은 고도에서 바라본 넓은 영역의 영상 모두 적정수준의 현실감을 제공해 주어야 한다. 이를 위하여 4 단계의 Level of Detail 을 적용한 가상환경을 구축하였다. 그림 5 와 같이 헬리콥터의 이륙과 착륙에 사용되는 KAIST 캠퍼스 지역은, 도로, 건물과 같은 지형지물을 3 차원 모델로 구축하여, 근거리에서도 현실감을 재현할 수 있도록 하였다. 표 1 의 LOD1 은 KAIST 캠퍼스의 3 차원모델을 포함한 가장 자세한 지형모델이고, LOD2 는 캠퍼스의 3 차원 모델을 포함하지 않는 자세한 위성영상만을 사용한 지형모델이며, LOD3, LOD4 는 점차 넓은 영역에 해당하는 지형모델이다. 넓은 영역의 비교적 자세하지 않은 지형 모델은 20m 해상도의 DEM(Digital Elevation Map)에서 TIN 을 생성하여 구축하였다. 그림 6 은 LoD 에 따른 지형모델의 변화를 나타낸다.

	지형모델	텍스처	지형지물
LOD1	1:5000 NGIS 수치지형도	6.6m 아리랑 위성 영상	KAIST Campus
LOD2	20m DEM	6.6m 아리랑 위성 영상	-
LOD3	20m DEM	10m 위성 영상	-
LOD4	평면	위성영상 (연속)	-

표 1. LOD 구축에 사용한 가상환경 모델의 정보

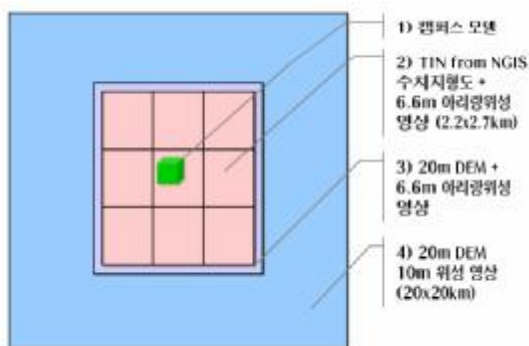


그림 5. 가상환경의 LOD 구조

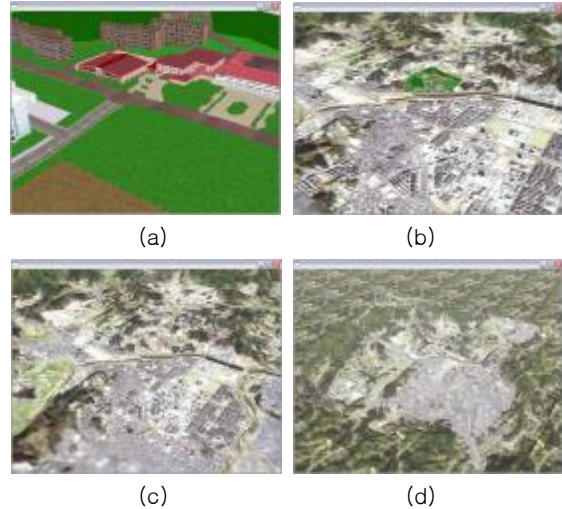


그림 6. LOD 에 따른 가상환경의 변화

### 3. 가상환경의 생성

구축된 지형 데이터베이스는 동역학 모듈, 음향 모듈과 같은, 타 서브시스템과 실시간으로 필요정보를 공유하면서 시각화된다. 본 연구에서 구축된 가상현실 시각화 시스템은 실시간으로 시각화되는 영상을 스크린이나 HMD 로 직접 주사하지 않고, 탑승자의 신체나 조종장치 등과 같은 실영상을 합성한 후 주사하여, 이러한 물체가 가상 객체로 표현될 경우 느껴질 수 있는 이질감을 최소화하도록 하였다.

#### 3-1. 실시간 가시화

구축된 가상환경은 실시간으로 가시화 된다. 실시간 가시화 과정에서 현실감을 높이기 위하여 지표면과 하늘, 구름 등의 특수효과를 추가하였고, 헬리콥터에서 멀리 떨어진 지표면의 현실감을 높이기 위하여 안개효과를 적용하였다. 헬리콥터 시뮬레이터 조종의 편의를 위하여, 가시화된 영상 위에 헬리콥터의 상태, 위치, 속도 등의 물리적인 정보를 수치적으로 표시하였다.

가시화 프로그램은 스포츠 헬기 시뮬레이터의 동역학, 음향, 운동감 재생 모듈과 실시간으로 통신을 하면서 가상환경을 재현한다. 응용 프로그램은 Vega™의 API 를 이용하여 가상환경을 설정하고 [15], 시뮬레이터의 각 요소에서 필요한 데이터들을 가공하며, 이 데이터들을 송수신하도록 구현하였다. 기본적으로 시뮬레이터에 필요한 동적영상

을 재생하기 위하여, 동역학 시스템에서 탑승자의 위치정보, 시야각 정보를 입력 받고, 헬기와 지형과의 접촉여부, 헬기로부터 지형까지의 거리, 그리고 법선벡터를 구하여 동역학 계산 시스템으로 전달한다. 가상환경의 현실감을 향상시키기 위하여, 음원 정보를 입체 음향 시스템으로 넘겨주는데, 이때, 넘겨주는 정보는 음향객체의 ID, 탑승자의 시각에 대한 상대방의 위치와 속도 등으로, 입체 음향을 구성하기 위하여 필요한 정보이다.

### 3-2. 혼합형 가상환경의 구축

가상 세계의 가시화를 위해서 일반적인 스크린이나 HMD 로의 직접 주사방식이 아닌, 실제 객체를 가상환경에 혼합한 방식이 쓰였다[16]. 탑승자의 손이나 조종간 등을 가상객체로 만들어 가상환경에 삽입할 경우 생길 수 있는 이질감을 최소화하기 위함이다. 물론, 다채널 스크린을 통한 가시화 기법은 이런 문제를 해결할 수 있지만, 공간과 비용 면에서 효율적이지 못하다.

혼합 가상 현실 시스템을 구축하기 위하여, 크로마키 기법을 이용하였다. 크로마키 기법은 카메라로부터 나오는 신호를 전자적으로 읽고 특정한 성분들을 체계적으로 제거하여 공백으로 만든 후, 이 공백을 다른 영상신호로 채워넣어 결과적으로 실제로 존재하지 않는 가상의 전자적으로 결합된 화면을 구성하는 기법이다. 크로마키를 수행하는 전용 PC 는, 실시간 가시화를 담당하는 시각 시뮬레이터에서 나온 영상신호와 CCD 카메라에서 나오는 영상신호를 합성한다. 크로마키 작업은 다림비전의 전용 하드웨어를 사용하여 수행하였으며, 그림 7은 이러한 구조를 간략히 보여준다.

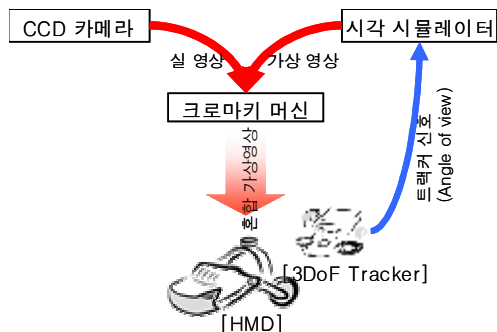


그림 7. 혼합 가상영상 시스템의 구조

뒷면을 제외한 5 면이 블루 스크린으로 씌워진 시뮬레이터 본체 위에서, 탑승자는 CCD 카메라와 3 자유도 Tracker 가 부착된 HMD 를 통해 가상환경과 실제 객체가 혼합된 영상을 보게 된다. 블루 스크린에 적절한 조명을 주기 위하여, 고효율 반사판이 부착된 조명이 바닥면에 3 개, 시뮬레이터 후면 상단에 1 개 부착되었다. 적용된 크로마키 하드웨어는 제거할 색농도의 입력범위를 파라미터 조절을 통해 결정할 수 있어, 그림자 등으로 생길 수 있는 색의 변화를 제거할 색에 포괄하는 튜닝 작업이 이루어졌다. 탑승자는 자신의 손과 발을 포함한 조향장치를 HMD 에 부착된 소형 CCD 카메라를 통하여 볼 수 있으며, HMD 의 부착된 Tracker 가 정해주는 시야에서 가상환경을 동시에 체험할 수 있다. 즉, HMD 의 앞에 부착된 CCD 카메라는 탑승자의 직접적인 시선의 역할을 하게 되며, 탑승자의 신체나 조종석을 제외한 청색계열의 배경에는 가상환경이 덧씌워지게 된다. 그림 8 은 제작된 5 면의 블루스크린과 CCD 카메라가 부착된 HMD 를 보여준다.



그림 8. 5 면 블루스크린(좌)과 CCD 부착 HMD(우)

그림 9는 시각화 시스템에서 나온 원본 영상과 크로마키 기법을 통해 가공된 최종 영상을 비교한 것이다. 원본 영상에 탑승자의 손과 조향장치 등을 볼 수 있다.

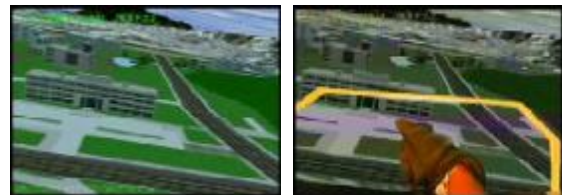


그림 9. 혼합형 가상현실의 적용 결과:  
(좌) 원본 영상, (우) 가공 후 영상

#### 4. 결론

대규모 지형모델의 구축 작업을 수행하였으며, 탑승자의 신체일부와 조향장치를 동시에 시각화하는 혼합형 가상현실 시스템을 구축하였다. 탑승자는 HMD 를 통하여 후면과 바닥면 일부를 제외한 모든 방향에 대해 가상환경을 관찰할 수 있다. 이때 탑승자로 하여금 조종간과 자기 신체에 대한 실영상을 볼 수 있도록 하여, 가상영상에 대한 이질감을 줄이고, 조종의 편의성을 향상시켰다. 가상세계를 이루는 대규모 지형모델은 실제 수치지도를 바탕으로 위성영상이 입혀졌으며, 가상 헬리콥터의 위치에 따라 다단계로 복잡도(LOD)가 변화한다. 구축된 시스템은 동역학, 음향, 햅틱 시스템과 결합하여 현실감을 재현하였으며, 이를 통해 비행 시뮬레이터용 시각화 시스템 개발에 필요한 대규모 지형 데이터베이스 구축 기술과 실시간 혼합형 시각화 시스템 개발 기술을 축적하였다.

#### 5. 향후 과제

보다 향상된 시각 시스템을 구축하기 위해서, CCD 카메라 렌즈의 위치가 실제 눈보다 앞에 위치하고 있어, 실영상이 실제보다 가깝게 보이는 현재의 HMD 와 CCD 카메라의 구조적 결합을 개선시킬 필요가 있으며, 가상환경 구축에 쓰인 KAIST 중심의 대규모 지형모델도 현실감 증대를 위해서 좀 더 확장시켜야 한다. 또한, HMD 의 착용으로 인한 Sickness 에 관한 연구도 필요하다.

#### 참고문헌

[1] Pollefeys M., "Obtaining 3D Models With a Hand-Held Camera", Lecture Notes SIGGRAPH Course, August 12, 2001

[2] 이종환, 한순홍, "가상현실 자전거 시뮬레이터에서의 시각화" 한국컴퓨터그래픽스학회 2001 학술대회 논문집, pp. 159-165, 2001년 11월

[3] 이종환, 한순홍, "1 축 운동의자를 이용한 가상현실 시뮬레이터에서 그래픽과 운동의 통합", 한국정보과학회 2001 가을 학술발표논문집(II), Vol. 28, No. 2, pp. 262-264, 2001년 10월.

[4] 원광연, 박재희, "감성공학과 가상현실", 한국정밀공학회지, Vol. 18, No. 2, pp. 40-45, 2001.

[5] 서혜원, 좌수진, 원광연, "버추얼 캠퍼스 : 대규모 가상 세계의 제작", 한국컴퓨터그래픽스학회논문지, Vol. 3, No. 2, pp. 15-25, 1997.

[6] 유병현, 한순홍, "비행 시뮬레이션을 위한 실시간 지형 데이터의 구축", 2002 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, 2002년 2월

[7] 노갑성, 이상혁 외, "항공기 설계 및 시험평가를 위한 비행 시뮬레이터의 개발", 대한기계학회 동영학 및 제어부문 동계 Workshop, pp. 18-23, 2000년 1월.

[8] Iowa State University, "Virtual Reality Application Center (VRAC)", <http://www.vrac.iastate.edu/>

[9] 장병태 외, "헬리콥터 항법용 S/W 개발에 관한 연구(1 단계)", 한국전자통신연구원, 2001년

[10] 한순홍 외, "한국과학기술원 자전거 주행 시뮬레이터 개발", 한국과학기술원, 1999년

[11] 국립지리원, <http://www.ngi.go.kr>

[12] ESRI, "Overview of ArcGIS 3D Analyst", <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisxtensions/3danalyst/overview4.html>

[13] Multigen-Paradigm, "Multigen Creator user's guide", 1998

[14] 김상희, "임무비행 시뮬레이션을 위한 효율적인 실시간 지형 렌더링 시스템", 한국과학기술원 박사학위 예비심사, 2001년 12월

[15] Multigen-Paradigm, "Vega on-line user's guide", 2000

[16] P. Milgram and F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays," IEICE Trans. Information Systems, vol. E77-D, no. 12, 1994, pp. 1321-1329.