

# 영상기반 모델링 및 라이팅 기술

황용호\* · 홍현기\*\*

## 1. 서 론

최근 컴퓨터 및 그래픽스 관련 하드웨어 성능의 발전으로 보다 사실적인(photo-realistic) 장면을 표현할 수 있게 되었으며, 이에 따라 영상 콘텐츠 등의 응용분야에서 사실적 표현에 대한 사용자의 기대감과 요구를 만족시키기 위한 연구가 계속되고 있다. 3차원 공간에서 사실적인 장면을 표현하기 위해 기존 모델기반 방법은 많은 데이터와 처리 시간을 필요로 한다. 이런 제약을 해결하기 위해 영상기반(image-based) 모델링(modeling), 렌더링(rendering), 라이팅(lightning) 등의 컴퓨터 그래픽스 기술이 1990년대 초반부터 제안되었다.

영상기반 그래픽스 기술은 영상을 입력으로 하기 때문에 모델링과 렌더링 관점에서 대상 장면의 복잡도와는 관계없이 더 적은 비용으로 사실감 높은 장면을 표현할 수 있는 장점이 있으며, 사실적 표현이 매우 강조되는 영상합성 및 시각효과(visual effects), 증강현실(augmented reality), 실제 장면으로 구성된 실감형 가상환경(virtual environment) 구현 등에 활발히 응용되고 있다.

영상기반 렌더링은 장면에 대한 복잡한 모델링 과정 없이 새로운 시점에서 영상을 생성할 수 있으며, 영상기반 모델링은 2차원 영상으로부터 3차원 기하(geometry) 정보를 해석하기 때문에 대상 물체의 반사특성 등에 영향 받는 기존의 레이저 스캐닝 방법에 비해 상대적으로 쉽게 모델링이 가능하다. 그리고 영상기반 라이팅은 실제 영상으로부터 조명 정보를 추출하여 이를 가상 물체에 적용하거나 영상기반 방법에 의해 얻어진 이미지 텍스처 맵에 새로운 조명효과 등을 표현할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 이러한 영상기반 그래픽스 기술 중에서 영상기반 모델링 관련 연구 및 응용 프로그램 등을 소개하고, 3차원 공간에서 새로운 조명 환경을 적용하도록 하는 영상기반 라이팅 기술에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

본 연구의 구성은, 2장에서 최근까지 진행된 영상기반 모델링 및 라이팅 기술에 대한 기존 연구와 이를 응용해 개발된 관련 프로그램, 그리고 본 연구실에서 구현된 실험 결과 등을 소개한 다음, 3장에서 결론을 맺는다.

## 2. 영상기반 그래픽스 연구

### 2.1 영상기반 모델링

영상기반 모델링 기술은 한 장 이상의 영상으

※ 교신저자(Corresponding Author) : 홍현기, 주소 : 서울특별시 동작구 흑석동 221 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과(156-756), 전화 : 02)820-5417, FAX : 02)814-5404, E-mail : honghk@cau.ac.kr

\* 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 (E-mail : hwangyh@wm.cau.ac.kr)

\*\* 종신회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 교수

로부터 3차원 구조를 추출하는 일련의 과정을 의미하며, 컴퓨터 비전(computer vision) 기술과 컴퓨터그래픽스 분야에서 지금까지 매우 다양한 연구가 진행되어 왔다.

일반적으로 인간은 2차원 영상으로부터 대상 물체에 대한 3차원 구조를 자연스럽게 인식하며, 이런 과정은 인간의 시각 지능을 구현을 목적으로 하는 컴퓨터 비전의 중요한 연구 주제 중 하나이다. 입력영상에 대한 3차원 해석을 위해 스테레오 비전, 카메라 보정(calibration), 움직임(motion) 추정 등의 관련 기술이 1970년대부터 활발히 연구되고 있다. 또한 컴퓨터그래픽스는 모델의 자료구조 등을 이용해 사실적인 장면을 표현하는 관점 위주로 연구가 진행되었다. 따라서 입력 영상에서 특징(feature) 추출과 입력 영상간의 대응관계(correspondence)와 가려짐의 문제 등을 주로 사용자 입력으로 해결하여 3차원 모델링과 텍스처링을 통해 새로운 시점의 장면을 구현하였다.

본 연구에서는 두 분야의 기존 연구를 입력 영상, 카메라의 보정, 사용자의 입력 유무에 따라 표 1과 같이 정리했다.

2.1.1 스테레오(stereo) 카메라 시스템

스테레오 시스템은 서로 다른 위치에서 획득된 두 영상으로부터 3차원 거리 정보를 인식하는 인간의 시각 체계를 구현한 컴퓨터 비전의 한 분야이다. 이 방법은 초음파와 레이저를 이용해 거리를 측정하는 3차원 계측방법보다 효과적이며 공간 환경에 대한 제약이 적기 때문에 의료 영상, 공장 자동화 등에 널리 이용되고 있다.

미리 보정된 스테레오 카메라를 이용해 영상을 획득하고, 두 장의 영상에 공통으로 존재하는 점, 선분, 영역 등의 특징 성분을 추출한다. 두 장의 영상에 대한 매칭(matching) 알고리즘을 통해 시차 맵(disparity map)을 구하고, 기지의 카메라 시스템의 파라미터를 이용해 실제 3차원 거리 정보를 계산한다. 스테레오 영상에서 적합한 특징을 추출하고 스테레오 영상에서 이를 정확하게 매칭하는 대응관계의 설정은 매우 어려운 작업이며, 특징 기반과 영역 기반(area-based)의 접근방법으로 크게 구분된다.

스테레오 매칭 분야에서 특징점의 검색(search) 영역의 크기 결정[1], 다중 해상도 상에

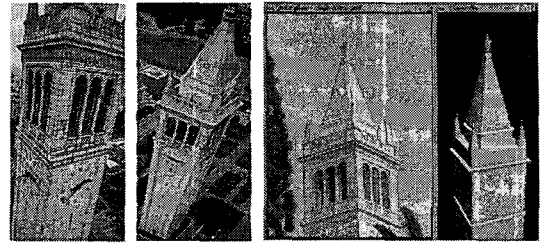
표 1. 입력영상에 따른 3차원 해석 분류

입력 영상	기존 방법	카메라 보정	사용자 입력
스테레오 영상	T. Kanade & M. Okutomi[1]	정확한 사전 보정 필요 (스테레오 시스템)	없음
	T. Kanade & P. Tander [6]	다중 스테레오 기반	없음
전방향 영상	R. Bunschoen & B. Krose [8]	전방향 센서 이용	반자동
	B. Micusik & T. Pajdla [9]	자동보정	자동
영상 시퀀스	P. Debevec & J. Malik[10]	사용자 입력으로 해결	대화형(interactive) 모델링
	S. Gibson, et. al.[18]	자동보정	반자동 (가상환경 모델링을 위한 사용자 입력)
	T. Sato, et. al.[7]	내부 파라미터 이용	자동 (다중 기저선 기반 스테레오)
	A. Zisserman, et. al.[29] S. Gibson, et. al.[15] A. Heyden, et. al.[30]	자동보정	자동

서 계층적인 매칭[2], 보다 정확한 매칭을 위해 신경망을 이용하는 알고리즘 등을 포함해 매우 다양한 연구가 제안되었다[3,4,5]. 표 1에서 소개된 T. Kanade의 연구[1]는 적응적(adaptive) 윈도우를 이용한 스테레오 매칭 방법으로 두 영상에서 초기 시차를 추정한 다음 윈도우 크기를 각 픽셀에 따라 달리하면서 반복적으로 시차를 계산한다. 윈도우의 크기를 적응적으로 결정하기 위해 시차의 특성을 통계적으로 모델링하였다. 그리고 [6]는 51대의 동기된(synchronized) 카메라가 설치된 3차원 돔 공간에서 다중 기저선(multiple baseline) 기반 스테레오 시스템을 실시간 상에서 구현하여 사람의 움직임을 해석하고 3차원으로 재구성하는 연구이다. [7]도 다중 스테레오 방법으로 깊이 정보를 계산하며 영상에서 일치 문제를 해결하기 위해 마커(marker) 등을 이용하고 공간상의 교차 사영(projection)을 통해 체적소(voxel) 기반 3차원 모델을 구성한다. 그러나 스테레오 시스템에서 사용되는 두 대 이상의 카메라를 정확하게 보정하기 어렵고 시스템의 크기 및 취득 환경 등에 한계가 있기 때문에 스테레오 시스템의 적용 범위가 제한된다는 단점이 있다. [8]는 전방향(omnidirectional) 센서를 장착한 모바일 로봇에서 취득한 정보로부터 3차원 환경을 재구성하였으며, [9]는 시계(field of view)가 180도 이상인 어안(fish-eye)렌즈를 장착한 디지털 카메라로부터 취득한 스테레오 영상을 통해 카메라의 사영 모델을 자동 추정하였다.

2.1.2 기하원형(primitive)을 이용한 대화형 모델링

P. Debevec은 그림 1의 항공사진 (a)을 이용하여 실물과 거의 유사한 3차원 건물을 모델링 및 렌더링했다[10]. 사용자는 미리 정의된 기하 원형을 사진 위에 이동하여 그 경계선을 맞추는 대화



(a) 항공사진 (b) 사용자에게 의한 모델링  
그림 1. 기하원형을 이용한 모델링

형 작업으로 복잡한 건물을 모델링하였다. 사용자의 대화형 작업을 이용하는 이 모델링 방법은 건축물이 가지는 직선성분과 대칭성을 최대한 이용하여 기존 스테레오 및 카메라 자동 보정 방법들의 단점인 정합문제를 효과적으로 해결하였다. 또한 시점에 따라 사실감이 높은 텍스처를 맵핑[11]하는 기술 등을 제안하여 영상기반 모델링 분야의 다양한 응용 가능성을 제시하였다.

2.1.3 사진 측량법(photogrammetry)을 이용한 3차원 모델링

사진측량법은 삼각측량에 기반한 항공 지형측량 분야에서 비롯되었지만, 최근에는 영상으로부터 3차원 구조 및 거리 정보를 추정하는 연구 분야 전반을 의미한다. 카메라의 이동과 회전 등의 외부(extrinsic) 파라미터와 초점거리, 원리점(principle point) 등의 내부(intrinsic) 파라미터를 미리 측정하였는지 여부에 따라 보정 및 비보정 영상 시퀀스로 구분되며, 특히 1990년대부터 사용자의 입력을 이용하지 않는 자동화된 3차원 재구성 연구가 활발히 진행되고 있다.

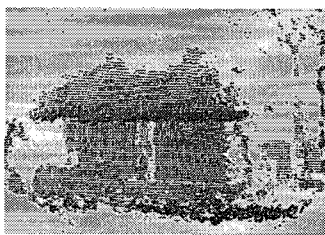
O. Faugeras 등은 비보정 영상 시퀀스로부터 카메라 파라미터 정보를 해석하고 장면의 구조를 3차원적으로 재구성하였다[12, 13]. 이들 연구는 먼저 두 장 이상의 영상에서 공통의 특징점을 추출하고 일치관계를 구성하여 에피폴라 기하

(epipolar geometry)와 대수적인 표현인 기본행렬(fundamental matrix)을 추정한다. 얻어진 기본행렬로부터 프로젝티브 구조를 복구하고 평면사영(homography) 행렬을 계산하여 대상 장면을 재구성한다[14]. 또한 S. Gibson 등은 개선된 특징점 추적 기법을 이용한 계층적 정합 과정을 통해 프로젝티브 구조를 복원하였으며, 카메라의 자동 보정 과정에 RANSAC 기법을 도입하여 전체 카메라 궤적을 추정하였다[15].

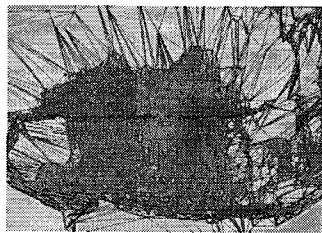
영상 시퀀스에 대한 3차원 재구성은 카메라 궤적을 추정하여 가상 물체를 합성하는 증강 현실과 영상합성, 온라인, 가상현실 등의 다양한 분야에 활용될 수 있으며, 관련된 연구가 계속 발표되고 있다[16,17]. 본 연구실에서는 비보정 영상 시퀀스로부터 자동으로 장면을 재구성하는 기존 연구[13,14,15]를 구현하였으며, 정합된 점 데이터로부터 삼각형 메쉬를 구성하고, 웨이딩된 3차원 모델에 텍스처 매핑을 하는 구체적인 모델링 과정과 영상 시퀀스로부터 해석된 카메라 정보를 그림

2에 보였다. 스테레오 매칭을 통해 조밀한(dense) 3차원 모델을 구성하여 그림 3과 같이 얻었으며, 그림 4는 해석된 카메라 정보를 바탕으로 추정된 카메라의 궤적에 따라 가상의 물체를 재구성된 3차원 공간상에 합성한 결과이다.

앞에서 살펴본 자동화된 알고리즘과는 달리, 사진 측량법을 이용하는 반자동화된 모델링 방법은 카메라의 보정과 3차원 구조를 해석하기 위해 사용자가 직접 개입한다. 그러나 카메라 보정에 필요한 특징점을 충분히 구분하기 위해서는 사용자의 입력이 많이 필요하게 되어 입력 영상의 수가 제한된다. 이런 문제를 해결하기 위해 대부분의 상용화된 프로그램에서는 사용자 입력과 함께 자동화된 특징점 추출 및 트래킹 방법을 사용한다. S. Gibson은 비디오 영상의 각 프레임에 대해 카메라 보정과 특징점 매칭 등을 자동화 하고, 가상환경을 구현하기 위해 사용자가 공간 모델링을 일부 담당하는 시스템을 제안하였다[18]. 제안된 방법은 카메라의 자동 보정, 쌍방향 모델 재구성,



(a) 정합된 점 데이터



(b) 삼각형 메쉬 구성



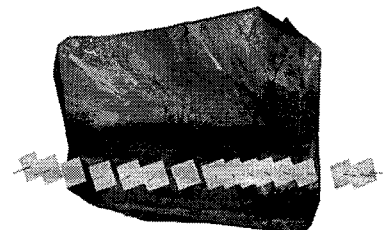
(c) 웨이딩된 3차원 모델



(d) 텍스처 매핑된 모델



(e) 임의 시점에서의 모델



(f) 3D 모델과 해석된 카메라 정보

그림 2. 비보정 영상기반 3차원 모델링 과정



그림 3. 비보정 영상으로부터 재구성된 조밀한 3차원 모델



그림 4. 카메라 자동보정을 통한 3차원 영상 합성

텍스처의 자동 추출 및 합성 기술 등으로 구성된다. 그림 5는 사용자의 입력정보를 이용해 비디오 영상으로부터 재구성된 결과 모델이다. 또한 구성된 환경을 영상기반 라이팅 및 전역 조명(global illumination) 모델을 이용해 가상의 물체를 효과적으로 합성하는 방향으로 이후 연구가 진행되고 있다[19].

#### 2.1.4 영상기반 모델링 프로그램

EOS Systems社에서 개발한 PhotoModeler는 입력영상에서 적은 수의 기준(reference) 특징을 사용자가 입력하고 이를 자동적으로 매칭하며, 사진 측량에 기초한 재구성 알고리즘과 오차를 줄이

기 위한 무리 조정(bundle adjustment)을 적용하여 카메라 파라미터와 3차원 모델을 얻는다[20]. Realviz社의 ImageModeler도 사용자가 입력한 9~20개 정도의 특징점을 이후 영상에서 자동으로 매칭하여 카메라를 자동 보정한다. 이 프로그램은 기본적으로 폴리곤 기반의 대화형 모델링 툴로서 좌표값, 거리, 각도 등의 파라미터를 실시간으로 확인하고 수정할 수 있다[21]. Precision Lightworks社의 Nverse Photo는 대형 항공 또는 위성사진으로부터 복잡한 도시 경관을 3차원으로 모델링하는 프로그램으로 입력 영상에서 건물의 특징점과 선분 등을 사용자가 지정하고 관련 정보를 이용하여 건물의 높이, 크기 등의 3차원 정보와 텍스처를 효과적으로 복구할 수 있다[22]. 그리고 Adobe社의 Canoma는 P. Debevec 연구와 같이 대화형 작업으로 기하 원형을 이용해 3차원 모델을 구성하는 프로그램이며, S. Gibson이 제안한 기술을 바탕으로 대화형 모델링 작업과 자동 카메라



그림 5. 반자동 시스템으로 재구성된 3차원 모델(16)

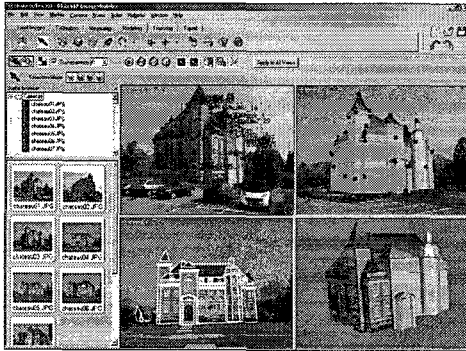


그림 6. ImageModeler의 작업 윈도우



그림 7. Nverse Photo를 이용해 모델링된 유타주 슬트레이크 시티

라 보정 등을 통해 가상환경을 구현하기 위한 ICARUS 시스템 등이 개발되었다[23].

## 2.2 영상기반 라이팅 기술

실사영상은 기존 모델기반으로 렌더링된 장면 에 비해 일반적으로 실제감이 높으며, 모델링 및 렌더링 작업이 대상 장면의 복잡도에 크게 영향 받지 않는 장점이 있다. 그러나 영상의 픽셀값이 취득 당시의 입력 조건에 따라 고정되기 때문에 조명 조건과 카메라 위치가 변해도 이에 따라 새로운 장면을 표현할 수 없는 단점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 조명 환경의 래디언스(radiance)를 측정하고 전역 조명 알고리즘을 사

용해 대상 영상에 가상 물체를 합성하는 연구[24], 물체 자체의 BRDF(bi-directional reflectance function)를 추정하는 연구[25], 환경에 대한 기하 모델을 바탕으로 환경의 래디언스를 해석하는 역(inverse) 전역 조명 연구[26], 가상환경에서 연기자의 실시간 합성을 위한 조명 연구[27] 등의 다양한 영상기반 라이팅 기술이 제안되었다. 본 연구에서는 영상기반 라이팅 연구에서 주변 조명 환경을 분석하기 위해 기본적으로 사용되는 HDR(high dynamic range) 영상 및 관련된 응용 프로그램에 대해 보다 자세히 살펴본다.

### 2.2.1 HDR 영상

그림 8의 영상 취득 파이프라인과 같이 필름 혹은 디지털 카메라로 촬영된 사진은 여러 단계의 비선형적 맵핑이 존재한다. 결국 최종으로 얻어진 영상의 픽셀값은 실세계 환경의 래디언스 값과는 차이가 발생한다. 실세계의 조명 환경을 정확하게 분석하기 위해 P. Debevec[28]은 노출이 다른 여러 영상으로부터 이미징 시스템의 응답함수를 복원하고 래디언스 맵을 구성하는 알고리즘을 제안하였다. 여기서 DR(dynamic range)은 영상에서 가장 밝은 부분과 가장 어두운 부분의 비를 의미한다. HDR 영상으로부터 입력 장치의 포화(saturation) 영역 등에 영향받지 않으면서 장면의 복사량(irradiance)을 계산할 수 있다.

HDR 래디언스 맵을 생성하기 위해 먼저, 그림 8의 카메라 응답함수를 복원한다. 그리고 이를 이용해 노출값이 알려진 픽셀에 대해 상대적인 래디언스 맵을 구한다. 본 연구실에서는 그림 9와 같이 16장의 서로 다른 노출값에서 촬영된 영상 시퀀스에서 HDR 래디언스 맵을 생성하였다. 위 과정에서 얻어진 맵과 MAYA Ver. 5.0과 MentalRay 렌더러를 이용해 제작된 애니메이션 일부를 그림 10에 보였다. 그림 11은 가상 물체가 각각 다른

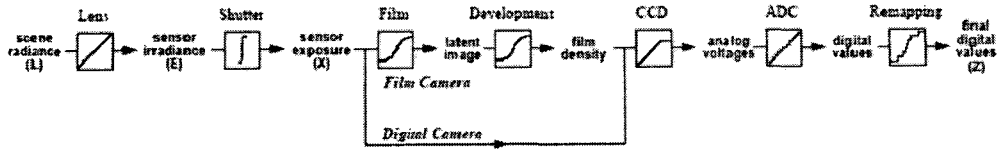


그림 8. 영상 입력 파이프라인(28)

장면에서 취득한 HDR 래디언스 맵을 이용해 분산광선추적기법(distributed ray tracing)[31]으로 렌더링한 결과를 합성한 영상이다.

2.2.2 영상기반 라이팅 프로그램

HDRShop은 HDR 영상을 확인하고 조절하기 위한 이미지 프로세싱 시스템으로 HDR 영상의 16비트 또는 부동점(floating point) TIFF 파일 형식을 지원하며 사용자의 조작이 용이하도록 GUI(graphic user interface) 기능을 제공한다[32]. Mkhdr은 노출이 다르게 촬영된 여러 입력 영상으로부터 HDR 영상을 생성하는 툴로서 P. Debevec이 제안한 HDR 래디언스 맵의 생성 기법을 기반으로 하며, 입력 카메라의 응답함수를 복원하는 기능을 제공한다[33]. HDRView는 간

단하게 설계된 윈도우 버전의 HDR1 뷰어[34]로서 래디언스 RGBE 등의 다양한 HDR 영상 형식을 지원하며 파일간의 형식 변환, 노출 조절, 회전, 팬(pan), 줌(zoom)인/아웃 등의 기능을 제공한다.

Spheron VR社의 SpheroCam HDR은 HDR 영상 형식을 지원하는 특수 카메라로서 라이트 프루브(probe)를 사용하지 않고 스티칭(stitching) 작업 없이 전체 구(full spherical) 영역의 HDR 영상을 취득할 수 있다[35]. 이를 위해 어안렌즈 등을 원격제어하여 사용한다. ESC Entertainment社의 Lighting Reconstruction Toolkit은 라이트 프루브를 이용해 취득된 영상으로부터 주변 환경의 라이팅 정보를 정확하게 재구성하였으며[36], 실제로 측정된 물체 표면의 BRDF 정보 및 3차원

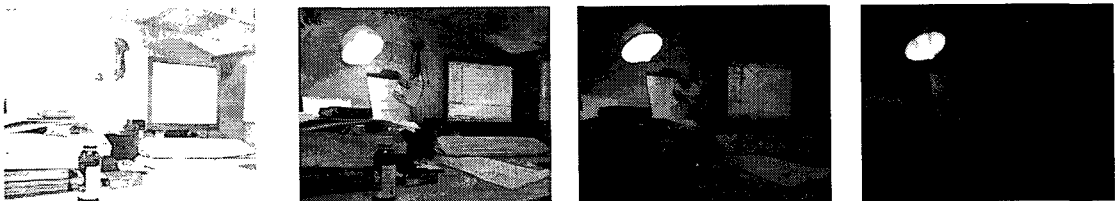


그림 9. HDR 맵 구성을 위한 영상 시퀀스 중 일부

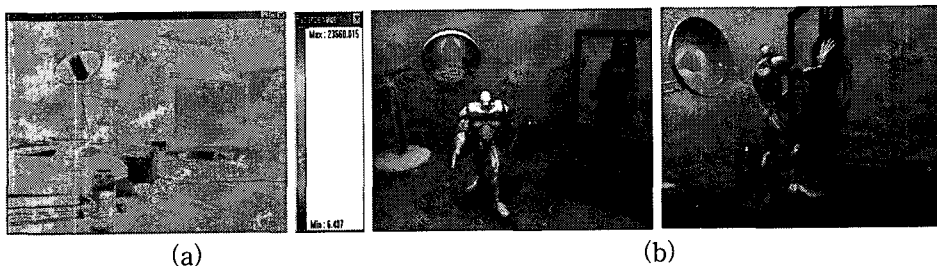


그림 10. (a) 래디언스 맵과 분포도 (b) 이를 활용한 3D 애니메이션 중 일부



그림 11. 각각 다른 HDR 레디언스 맵을 이용해 렌더링된 결과 영상

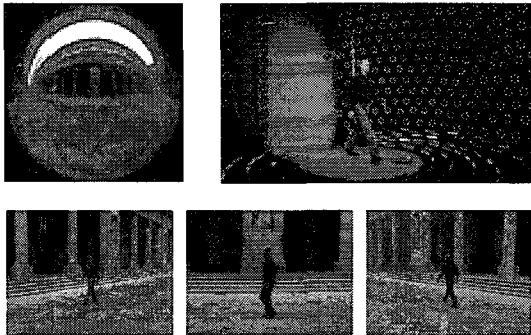


그림 12. 유동적인 반사 필드를 이용한 사람의 이동에 따른 재조명(37)

데이터 등을 사용하여 사실감 높은 장면을 효과적으로 표현하였다.

### 3. 결 론

기존의 모델기반 방법으로 사실적인 영상을 표현하기 위해서는 많은 시간이 소요되고, 실시간성을 보장하기 위해서는 사실감이 떨어지기 때문에 이 두 가지를 동시에 충족하는 것은 매우 어려운 문제이다. 기존 모델기반 그래픽스 기술의 대안으로 1990년대부터 활발하게 제안되고 있는 영상기반 기술은 대상 영상의 복잡도에 크게 영향받지 않으면서 사실적인 장면을 효과적으로 생성할 수 있는 장점이 있다. 또한 영상기반 표현기술은 영상 처리 및 3차원 해석을 위한 컴퓨터 비전 기술과 해석된 영상으로부터 실감형 영상을 생성하는 컴퓨터 그래픽스 기술을 동시에 이용한다.

본 연구에서는 영상기반 모델링 및 라이팅 분야의 관련 연구와 응용 사례 등을 실제 시물레이션한 결과와 함께 소개하였다. 최근 영상기반 모델링과 라이팅 기술을 결합하여 영상 콘텐츠 제작을 위한 사실적인 영상합성, 가상환경에서의 시물레이션 등의 분야에 적극적으로 활용하고 있으며, 이후로도 이와 관련된 연구가 국제적으로 계속될 것으로 예상된다.

### 감사의 글

본 연구는 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠연구실지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Kanade and M. Okutomi, "A stereo matching algorithm with an adaptive window: theory and experiment," IEEE Transactions of Pattern Anal. Machine Intell., vol. 16, no. 9, pp. 920-932, 1994.
- [2] C. Sun, "A fast stereo matching method," Digital image computing: techniques and applications, pp. 95-100, 1997.
- [3] 최우영, 박래홍, "Stereo vision 및 응용," 대한전공학회지, 제 21권, 제 10호, pp. 1010-1020, 1994년 10월.
- [4] U. Dhond and J. K. Aggarwal, "Structure from



- stereo—A review,” *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics*, vol. 19, no. 6, pp. 1489-1510, 1989.
- [5] R. Szeliski and R. Zabih, “An experimental comparison of stereo algorithms,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1883, pp. 1-19, 1999.
- [6] T. Kanade and P. Tander, “Virtualized reality: constructing virtual worlds from real scenes,” *IEEE Multimedia*, vol. 4, pp. 34-47, 1997.
- [7] T. Sato, M. Kanbara, N. Yokoya, and H. Takemura, “Dense 3-D reconstruction of outdoor scene by hundreds-baseline stereo using a hand-held video camera,” In *proc. of IEEE Workshop on Stereo and Multi-baseline vision*, 2001.
- [8] R. Bunschoen and B. Krose, “Robust scene reconstruction from an omnidirectional vision system,” *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 19, no. 2, pp. 358-362, 2003.
- [9] B. Micusik and T. Pajdla, “Estimation of omnidirectional camera model from epipolar geometry,” *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 485-490, 2003.
- [10] P. Debevec, C. Taylor, and J. Malik, “Modeling and rendering architecture from photos: a hybrid geometry and image-base approach,” In *proc. of SIGGRAPH 96*, pp. 11-20, July, 1996.
- [11] P. Debevec, Yizhou Yu, and G.D. Borshukov, “Efficient View-Dependent Image Based Rendering with Projective Texture Mapping,” In *Proc. of 9th Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 105-116, June, 1998.
- [12] O. Faugeras, Q. Luong, and S. Maybank, “Camera self-calibration: Theory and experiments,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 588, pp. 321-334, 1992.
- [13] M. Pollefeys, R. Koch, and L. Van Gool, “Self calibration and metric reconstruction in spite of varying and unknown internal camera parameters,” *Proc. in ICCV*, pp. 90-96, 1998.
- [14] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple view geometry in computer vision*, Cambridge Univ. Press., 2000.
- [15] S. Gibson, J. Cook, T. Howard, R. Hubbard, and D. Oram, “Accurate camera calibration for off-line, video-based augmented reality,” In *proc. of IEEE and ACM ISMAR*, pp. 37-46, Darmstadt, Germany, Sep. 2002.
- [16] K. Cornelis, M. Pollefeys, M. Vergauwen, and L. V. Gool, “Augmented reality from uncalibrated video sequences,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2188, pp. 144-160, 2001.
- [17] A. Zisserman, A. Fitzgibbon, and G. Cross, “VHS to vrml: 3D graphical models from video sequences,” In *Proc. of the IEEE international conference on multimedia and systems*, pp. 51-57, June 1999.
- [18] S. Gibson, R. J. Hubbard, J. Cook, and T. Howard, “Interactive reconstruction of virtual environments from video sequences,” *Computer Graphics*, vol. 27, pp. 293-301, 2003.
- [19] S. Gibson and A. Murta, “Interactive rendering with real-world illumination,” In *proc. of Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, pp. 365-376, June 2000.
- [20] <http://www.photomodeler.com>
- [21] <http://www.realviz.com>
- [22] <http://www.precisionlightworks.com>
- [23] <http://aig.cs.man.ac.uk/icarus>
- [24] P. Debevec, “Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-Based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography,” In *SIGGRAPH98* pp. 189-198, 1998.
- [25] Y. Sato, M. Wheeler, and K. Ikeuchi, “Object shape and reflectance modeling from observation,” In *SIGGRAPH97* pp. 379-387, 1997.
- [26] Y. Yu, P. Debevec, J. Malik, and T. Hawkins, “Inverse global illumination: recovering reflectance models of real scenes from photographs,” In *SIGGRAPH99* pp. 215-224, 1999.

[27] P. Debevec, A. Wenger, C. Tchou, A. Gardner, J. Waese, and T. Hawkins, "A lighting reproduction approach to live-action compositing," In SIGGRAPH2002, pp. 547-556, 2002.

[28] P. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," In SIGGRAPH 97, pp.369-378, Aug, 1997.

[29] A. W. Fitzgibbon and A. Zisserman, "Automatic camera recovery for closed or open image sequences," In proc. of 6th European Conference on Computer Vision, pp. 311-326, June 1998.

[30] A. Heyden, R. Berthilsson, and G. Sparr, "An iterative factorization method for projective structure and motion from image sequences," Image and Vision Computing, pp. 981-991, 1999.

[31] R. L. Cook, T. Porter, and L. Carpenter, "Distributed ray tracing," In proc. of the 11th annual conference on computer graphics and interactive techniques, ACM Press, pp. 137-145, 1984.

[32] <http://www.debevec.org/HDRShop/>

[33] <http://www.debevec.org/FiatLux/mkhdr/>

[34] <http://www.debevec.org/FiatLux/hdrview/>

[35] <http://www.spheron.com/>

[36] <http://www.esafx.com/>

[37] P. Einarsson *et al.*, "Relighting human locomotion with flowed reflectance fields," Eurographics Symposium on Rendering, 2006.



황 용 호

- 1996년 명지대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 명지대학교 전자공학과(공학석사)
- 1998년~2000년 ㈜윤익 C&C 부설연구소 연구원
- 2000년~2003년 ㈜컴텍시스템 기술연구소 주임연구원
- 2003년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 재학 중
- 관심분야 : 컴퓨터 비전, 컴퓨터그래픽스 등



홍 현 기

- 1993년 중앙대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 중앙대학교 전자공학과(공학석사, 박사)
- 1998년~1999년 서울대학교 자동제어특화연구센터 연구원
- 1999년~2000년 중앙대학교 정보통신연구소 연구교수
- 2002년~2003년 Univ. of Colorado at Denver 방문연구원
- 2000년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 부교수 재직 중
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 응용 등