

가상 디자인 품평을 위한 Virtual Engineering 기술

Virtual Engineering Technology for Virtual Design Evaluation

유비쿼터스 시대를 주도할
디지털콘텐츠 기술 특집

목 차

- I . Virtual Engineering 개요
- II . 기술 및 시장 현황
- III . 가상 디자인 품평 시스템
- IV . 가시화 기술
- V . 상호작용 기술
- VI . 연구 개발 사례
- VII . 결론

양용연 (U.Y. Yang)	가상현실연구팀 선임연구원
김상원 (S.W. Kim)	가상현실연구팀 선임연구원
김용완 (Y.W. Kim)	가상현실연구팀 선임연구원
조동식 (D.S. Jo)	가상현실연구팀 연구원
강 현 (H. Kang)	가상현실연구팀 연구원
이 건 (G. Lee)	가상현실연구팀 연구원
손욱호 (W.H. Son)	가상현실연구팀 팀장

Virtual Engineering은 가상현실 기술이 산업계에 적용되고 있는 대표적인 활용 분야이다. 본 글에서는 Virtual Engineering 기술을 소개하고 가상현실 시장 동향을 정리한다. 그리고, 관련 산업계의 대표적인 기술 수요 사례인 “자동차 디자인 가상 품평” 시스템의 구축을 중심으로 가상 디자인 품평 기술의 현황을 정리한다. 이상적인 가상현실 품평 시스템은 사용자가 현업에서의 품평 상황과 동일한 체험을 얻을 수 있도록 지원해야 하는데, 이를 위한 핵심 기술로 실사 수준의 고품질 영상 출력을 위한 고해상도 몰입형 가시화 기술과, 사용자가 가상 자동차 사이를 자연스럽게 조작하는 상호작용 지원 기술을 소개한다. 끝으로, 현재 한국전자통신연구원 디지털콘텐츠연구단에서 개발하고 있는 “자동차 내관 디자인 가상 품평 시스템”을 대표적인 연구 사례로 소개한다.

I. Virtual Engineering 개요

Virtual Engineering(VE, 가상공법) 기술은 제품 라이프사이클(product lifecycle)¹⁾의 일련 과정에 가상현실 기술을 접목하여, 제품 개발 기간의 단축과 비용을 절감하는 정보통신(IT) 기술이다.

Virtual engineering 기술은 자동차, 선박 분야 이외에 정보 통신 기기 등의 제조업 전 분야에 폭 넓게 적용될 수 있는 산업 공통 기술로, 본 기술의 중요성, 필요성 및 효과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 제품 제조 공정을 실제와 유사하게 시뮬레이션화 하여, 제품 설계, 제품의 조립성 및 사용성 등의 결함과 오류를 사전에 발견하여 제품 출시 기간 및 제조 비용을 획기적으로 절감
- 네트워크 협업 기능을 통하여 지역적으로 분산되어 있는 협업자들의 공동 작업 환경의 편의성/보안성 증대를 통한 생산성 향상
- 라이프사이클이 짧은 정보 통신 기기, 통신 단말기 관련 산업 등에서의 세계 경쟁력 확보를 위해서, 빠른 시제품 제작(fast prototyping) 기술 확보와 현장 적용
- 기존의 CAD/CAM/CAE²⁾ 툴이 3차원 시각화에

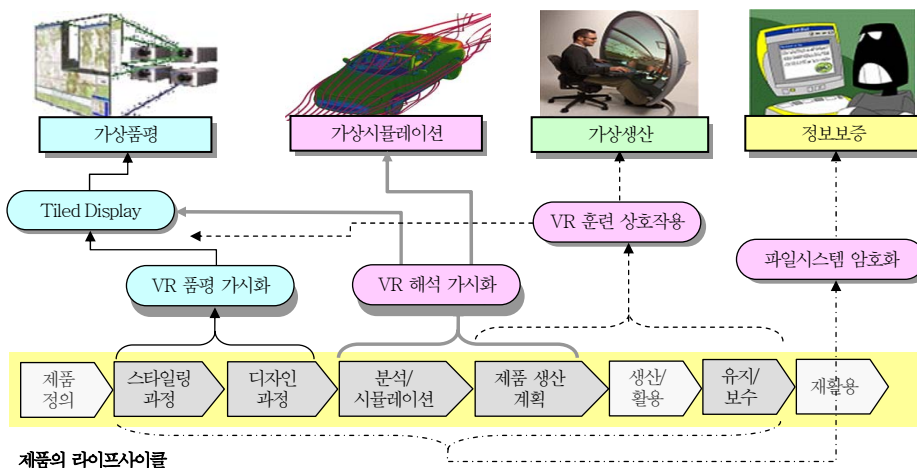
의존하는 것을 벗어나, 촉각 및 스테레오 디스플레이를 통해 사용자가 보다 직관적으로 제품을 디자인하거나 조립 등의 제작 공정을 시뮬레이션 할 수 있는 핵심 기술 개발과 도구가 필요

그러므로, virtual engineering 기술은 현재 제품의 설계, 생산, 해석 과정에서 사용되는 기존의 시스템에 대한 한계점을 극복하기 위하여 신기술 개발 차원에서 산업계로부터 요구되고 있는 기술이다 ((그림 1) 참조).

II. 기술 및 시장 현황

1. 세계 기술 현황

자동차, 조선, 항공분야 등을 중심으로 세계적으로 유명한 기업에서는 기존에 구축된 CAD 중심의 디지털 시스템에 가상현실 기술을 접목한 virtual engineering 시스템을 활발히 도입하여 활용하고 있다. 미국은 Big3³⁾를 중심으로 USCAR,⁴⁾ PNGV⁵⁾ 등의 단체와 연계하여, 가상현실 기술을 자동차 설계 및 생산에 응용하고 있다. 독일은 컴퓨터 그래픽



(그림 1) Virtual Engineering의 개요

1) 기획/디자인/설계/생산/판매/유지보수 단계로 구성됨
2) Computer Aided Design/Manufacturing/Engineering

3) General Motors, Ford, Chrysler
4) United States Council for Automotive Research
5) Partnership for a New Generation of Vehicles

및 가상현실 분야의 응용 기술 개발 국책 연구 기관인 Fraunhofer IGD가 자동차 산업에 응용된 virtual engineering 기술을 지속적으로 개발하여 BMW와 Benz 등에 공급할 목적으로 상용화를 시도하고 있다. 유럽에서는 국제간의 생산 정보 관리 데이터의 표준화 모델 구축과 디지털 목업(mock-up) 데이터의 공유를 최종 개발 목표로 하는 유럽 자동차 생산 국가간의 AIT⁶⁾ 프로젝트에 적극적으로 참여하고 있다. 일본은 Nissan, Toyota, Mazda를 중심으로, 자동차 생산에 있어서의 설계 기간 및 개발 비용 단축을 목표로 디지털 이노베이션을 실시하고 있다.

2. 국내 기술 현황

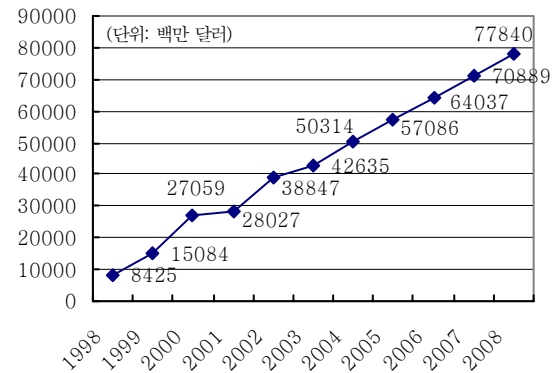
국내의 virtual engineering 적용 사례는 해외의 경우보다 적은 상황이며, CAD/CAM/CAE 시스템을 중심으로 업무 프로세스 및 데이터 관리의 디지털화를 추진하고 있는 상태이다. 부분적인 사례로, 현대 자동차에서는 가상 시제품 제작을 위해 몰입형 CAVE 및 PowerWall 디스플레이 시스템 등의 외산 가상 품평 솔루션을 도입하여 개발 기간을 27개월에서 20개월로 단축시킨 사례가 있으나, 원천 기술의 확보가 미약한 상태이다. 한국철도기술연구원은 철도 시스템 선진화 연구 과제로 virtual engineering 기술을 활용한 철도 시스템 성능 평가 기법 및 체계를 구축하여, 설계 변경 요청과 전동차 생산 주기를 각각 6만 건에서 3만 건으로, 18개월에서 16개월로 단축시켰다. 삼성 중공업에서는 고부가가치 선박 개발용 디지털 통합 건조 공법 개발(2002~2004년) 과제를 통하여 조선소의 제품, 설비, 공정, 공법 등을 3차원 모델링을 통한 디지털화를 통하여, 컴퓨터상으로 미리 선박 건조 과정을 시뮬레이션 해봄으로써 잠수함 설계 및 구축 과정의 경우 14년에서 7년으로 단축시켰다.

6) Advanced Information Technology in Design and Manufacturing

3. 국내외 시장 현황

CyberEdge사의 시장 보고서를 참조하면, (그림 2)와 같이 가상화 기술로 대표되는 가상현실 기술의 전세계 산업 규모는 2003년 말에 약 426억 달러에 이르고 있으며, 2004년도 이후 2008년까지 연평균 약 10%의 시장 증가를 전망하고 있다[1]. 현재 가상현실 기술은 CAD/CAM 가상화 및 전시, 약품 제조업, 군사 훈련, 자동차 도로 주행 훈련, 항공 제조업을 중심으로 애플리케이션이 활용되고 있으며, 화학 제조업, 비즈니스용 데이터 가상화 연구, 재난 복구 훈련, 건설 분야에서도 가상현실 기술의 상용화가 활발히 진행되고 있다.

국내 시장의 경우 1990년대의 기술 도입 및 적용 평가 단계를 지나서, 2000년대에는 군사/자동차/건축 등의 분야를 중심으로 시장이 형성되고 있다. 매출액의 경우 2003년 약 10억 달러의 규모로 전체 시장이 형성되고, 약 13%의 연평균 성장률이 지속되는 것으로 전망되고 있다[2],[3].



(그림 2) 국외 VR 산업 총 매출 동향 및 전망

Ⅲ. 가상 디자인 품평 시스템

가상현실의 일반적인 정의는 컴퓨터로 제어되는 가상 시뮬레이션 공간에서 현실 세계의 사용자가 인터페이스 시스템을 이용하여 상호 작용함으로써, 마치 현실 상황에서 느낀 것과 같은 체험을 전달하는 것이다. 앞의 정의에 따라서 가상현실 기술은 크게

가상 환경의 구축과 사용자 인터페이스 시스템, 그리고, 작업 내용의 모델링 및 사용자 특성 분석의 3부분으로 구성된다. 가상현실 연구의 목표를 대표하는 용어인 “presence(존재감)”을 설명하는 다양한 모델들은 앞에서 제시한 3가지 요소들의 상호작용으로 시스템의 이상적인 활용 효과를 이끌어 낼 수 있다고 한다[4].

디자인 품평은 제품의 라이프사이클의 단계 중 스타일 디자인 단계에 속하는 작업으로, 기획 작업을 마친 제품에 대하여 초기 디자인을 설계하고, 빠른 초기 모델 제작(fast prototyping)을 통하여 후보가 되는 디자인의 선별 작업에 대한 의사 결정을 돕는 작업이다.

가상 디자인 품평 시스템은 I장에서 정리된 virtual engineering의 중요성 및 필요성을 충족시키는 기술로서, 기존의 데스크톱 환경에서 행해지는 단순 가상화 작업의 한계를 극복하고, 사용자가 완성된 결과물과 유사한 제품을 직접 체험해 볼 수 있도록 함으로써, 보다 정확하고 효율적인 디자인 평가 작업을 가능하도록 한다. 이상(ideal)적인 자동차 디자인 가상 품평 시스템의 경우를 예로 들면, 스타일 디자인 작업 단계의 사용자가 단순히 2차원 또는 3차원 이미지로 가상화되는 자동차 모델을 제3자 입장에서 구경하는 것이 아니라, 완성된 차량을 둘러보거나 직접 시승하여 내부를 조작해 볼 수 있는 상황을 체험할 수 있다면 보다 정확한 품평 의사 결정을 내릴 수 있을 것이다. 그리고, 이와 같은 시나리오는 미국 General Motors의 사례와 같이, 자동차 전시장에서 새로운 차량을 구매하는 고객이 제품 카탈로그만을 참조하는 것에 그치지 않고, 자신이 직접 선택한 모델을 가상현실 시스템을 통하여 경험해 본다면 제품 구매 결정에 도움이 될 수 있을 것이다.

가상 현실 시스템의 강점은 현실과 같은 가상 체험에 있으므로, 이상적인 가상 체험(존재감; presence)의 구현을 위해서는 “자동차 내관 품평 시나리오”와 같은 작업 환경에서의 사용자의 요구 분석과 사실감 높은 가상 환경의 구축, 그리고, 현실 공간과 일치도가 높은 자연스러운 상호작용을 지원하

는 인터페이스 기술이 필요하다. 그러므로, 본 논문에서는 가상화 기술과 상호작용 기술을 중심으로, 현재 기술 동향을 정리한다.

IV. 가상화 기술

사실적 가상환경 구축을 위한 시각 디스플레이 플랫폼 중에서 사용자의 시각 영역을 완전히 덮어 버리는 것이 몰입형 디스플레이(immersive display) 장치이다. 사용자가 시각적으로 인식하는 주변을 완전히 가상 공간으로 채움으로써, 사용자의 공간적 위치 인식을 가상 공간으로 한정하도록 한다.

제한된 화면 크기와 해상도, 착용하기 불편한 점 등으로 아직까지 널리 보급되지 못한 HMD와 달리, 대형 디스플레이를 사용한 가상현실 시스템은 영상 프로젝터의 보급에 따라 널리 개발, 구축되고 있다. 영상 프로젝터를 사용하여 대형 디스플레이를 구성하는 방법은 대형 LCD 패널이나 플라즈마 디스플레이를 이용하는 방법에 비해 저렴한 비용에 큰 화면을 구성할 수 있어 널리 사용된다. 하지만, 한 대의 프로젝터로 표현할 수 있는 영상 해상도에는 한계가 있어 큰 화면 크기와 더불어 높은 해상도를 동시에 만족시키기에 어려움이 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 여러 대의 프로젝터를 사용하여 하나의 화면을 구성하고자 하는 노력들이 이루어졌다 [5]. 이 중, 가장 간단한 방법으로 화면을 동일한 형태 및 크기의 격자로 분할하고, 프로젝터들이 각각 하나의 격자 영역의 영상을 투영하도록 하는 방법을 들 수 있다. 이 방법의 경우 각 프로젝터들의 물리적 위치와 자세를 정밀 조정하여 각각이 정확히 스크린상의 담당 영역을 비추도록 해야 하는데 이러한 과정을 경계 일치(edge-matching)라 한다.

모서리를 물리적으로 맞추는 방법의 경우 기술적으로 안정적이어서 이미 상용화된 제품들도 있는데, 그 대표적인 예로 Fakespace Systems사의 PowerWall[6]을 들 수 있다. PowerWall은 3대의 프로젝터를 가로로 일렬로 배치하여 가로 6m, 세로

1.8m의 대형 화면을 구성한다. 각각의 프로젝터는 1600×1200 정도의 해상도를 가지며, 필요에 따라 입체 안경(shutter glass)을 사용하여 스테레오 영상을 생성할 수 있다.

상용화된 제품의 경우 2~3대의 프로젝터를 사용하는 경우가 많은데 비해, 최근에는 10대 이상을 사용하는 사례들도 늘고 있는데, 최근의 대표적인 사례로 48대의 프로젝터를 사용하는 HeyeWall[7]이 있다. HeyeWall은 가로 5m 정도의 스크린을 가로 6, 세로 4의 24개 격자로 나누어 각 격자 당 1024×768의 해상도를 갖는 프로젝터를 사용하여 총 6144×3072의 해상도를 갖는 영상을 생성한다. 이러한 초 고해상도의 지원은 지도나 인공위성 사진과 같은 정밀 영상을 보여주는 데 매우 효과적이다. Heye-Wall은 또한 각 격자 당 2대의 프로젝터를 겹쳐 투사함으로써 수동 입체(passive stereo) 영상을 구현한다(그림 3 참조).

다수의 프로젝터를 이용한 대형 영상 생성에서 기본적으로 해결해야 될 문제가 단위 화면의 접합부분을 자연스럽게 연결하는 것이다. 모서리를 물리적으로 맞추는 방식의 경우 프로젝터의 해상도를 최대한 활용하는 장점이 있는 반면, 그 과정이 물리적으로 이루어지기 때문에 사용하는 프로젝터의 수가 늘어남에 따라 설치하는 데 시간이 오래 걸리는 어려움이 있다. 이를 위한 대안으로 각 프로젝터의 영상을 일부 겹치게 배치한 후, 겹치는 영역 영상이 점진적으로 섞이도록 하는 방법(gradation 효과를 이용한 edge-blending)이 있다. 이 경우, 겹치는 영역을 검출하기 위해 카메라 영상을 분석해 정보를 얻어내는 컴퓨터 비전 기술을 많이 사용한다[8],[9].



(a) HeyeWall (b) PowerWall

(그림 3) 대형 디스플레이 기술

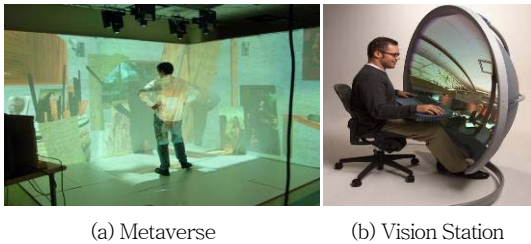
대형 화면을 사용하여 사용자의 시야각을 넘는 영상을 생성함으로써 몰입감(immersion)을 증대시킬 수는 있으나, 평면화면의 경우 그 크기가 크다 해도 사용자가 바라보는 방향을 바꾸게 되면 시야가 화면을 벗어나게 되는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 복수의 평면 화면을 구성하여 사용자를 물리적으로 둘러싸는 방 형태의 디스플레이들이 개발되었는데, 그 대표적인 예로 CAVE[10]를 들 수 있다. CAVE는 정육면체 형태의 방을 구성하여 사용자가 그 방 안에서 각 벽면에 맺힌 영상을 관찰하게 되는 형태의 디스플레이이다. CAVE의 경우 한 면 당 하나의 프로젝터를 사용하는 경우가 대부분이어서 한 면 당 해상도에 한계가 있으며, 각각의 면에 해당되는 프로젝터의 위치와 자세를 물리적으로 조정하여 각 면의 영상을 일치시켜야 하는데, 최근에는 이를 위한 대안으로 앞서 평면 대형 디스플레이에서처럼, 여러 대의 프로젝터를 영상이 겹치도록 배치하고 비전 기술을 사용하여 이를 보정하는 방식[11]도 연구되고 있다(그림 4 참조)[8].

CAVE의 경우 각 면이 만나는 모서리에 물리적 불연속성이 있어 각 면의 영상간의 불일치를 초래하게 된다. 이에 대한 대안으로 모서리 없이 사용자를 둘러싸는 형태의 스크린으로 반구(半球) 형태의 스크린을 이용한 방법을 들 수 있다. 스크린의 앞에서 영상을 투사하는 전면 투사 방식의 경우 반경 1.5m 크기의 반구형 스크린을 Elumens[12]사에서 제작, 판매하고 있으며, 최대 직경 5m에 이르는 돔 형태의 스크린도 제작 가능한 것으로 알려져 있다. 이러한 Elumens사의 Vision station과 Vision dome 제품은 어안 렌즈를 사용하여 프로젝터 영상을 왜곡시키



(그림 4) 경계 정합(edge-blending) 기법

는 방식으로 한 대의 프로젝터를 이용해 반구면에 영상을 맺히도록 한다. 하지만, 이러한 방식의 경우 후면 투사에 응용하기 어려우며, 사용하는 프로젝트의 수가 1대로 제한되어 있어 고해상도 영상을 얻기 어려운 문제가 있다(그림 5) 참조).



(그림 5) 몰입형 디스플레이

최근에는 렌즈를 사용하는 광학적, 물리적 접근 방법의 한계를 극복하기 위해 소프트웨어적으로 영상을 변형(warping)하여 스크린의 형태로 인한 영상의 왜곡을 보정하는 연구도 진행되고 있다[9], [13]. 이러한 방식은 먼저 일반적인 평면 스크린과 동일한 방법으로 영상을 생성하고, 평면이 아닌 스크린 위에 영상이 투사되었을 때에도 사용자시점에서 영상이 바로 보이도록 생성된 이미지를 변형하여 다시 영상을 생성하는 방식으로, 영상을 2번 생성한다 하여 2-패스 렌더링[13]이라 한다.

사실적 가상 환경 제시를 위한 영상 생성 방법으로 컴퓨터그래픽 분야에서 제안된 실사 렌더링(photo-realistic rendering) 기법이 있다. 2000년대 이전에 컴퓨터 시스템의 성능 한계를 고려할 때에는 실시간 상호작용의 측면을 중요시하여, 최적화된 폴리곤(polygon) 렌더링 및 다단계 재질감(multilevel texture) 기법 등을 활용했으나, 고성능 GPU의 개발로 실시간에 사진과 같은 영상물을 생성하기 위한 광원 및 재질감 표현 기술이 도입되고 있다.

3차원 영상을 사실적으로 표현하기 위해 필요한 그래픽 연산들을 표현하기 위해서, 셰이딩(shading) 언어라고 알려진 GPU를 위한 특별한 컴퓨터 언어가 만들어졌다. 현재 대표적인 셰이딩 언어에는 2002년 NVIDIA사의 Cg, 2002년 Microsoft사의

HLSL, 2003년 OpenGL ARB⁷⁾ Shading Language 등이 있다.

대표적인 Cg의 경우를 보면, C와 같은 기존의 프로그래밍 언어와 유사한 형식으로 되어 있기 때문에 개발자가 쉽게 Programmable GPU를 이용하여 빠르게 특수 효과를 표현하고 높은 수준의 품질을 만들어 낼 수 있게 해준다. 기존에 특수 효과를 표현하기 위해서 많은 시간을 들여 디자이너들이 세밀한 작업을 하고 또 많은 시간을 들여 미리 렌더링을 해야 했던 반면에, Cg와 같은 셰이딩 언어는 Programmable GPU를 이용하여 실시간에 그와 비슷한 품질의 결과 영상을 얻을 수 있게 한다(그림 6) 참조)[14],[15].



(그림 6) 사실적 렌더링 기술의 발전

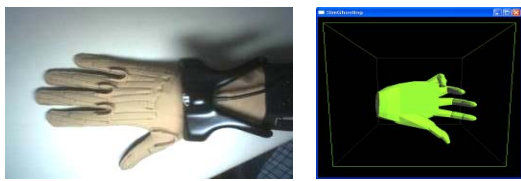
V. 상호작용 기술

상호작용 기술은 애플리케이션이 시연되는 가상 공간과 현실 세계의 사용자 양단의 특성과 요구 조건을 고려하여 사용자 인터페이스 부분을 개발하는 분야이다. 본 기술은 사용자의 의도를 시스템에 전달하는 입력 수단(input modality)과 가상 공간에서 사용자를 포함한 가상 개체 사이의 상호작용을 위한 수단(interaction metaphor), 그리고, 가상 공간의 상호작용 결과를 사용자에게 전달하기 위한 출력 수단(output modality)으로 분류할 수 있다.

자동차 디자인 품평 시나리오와 같이 사용자의 신체 활동이 중심이 되는 경우, 사용자의 움직임을 실시간으로 추적(tracking)하는 기술을 사용한다. 대부분 사용자의 몸에 소형 센서를 부착하고, 기준

7) Architecture Review Board

점(transmitter)으로부터 상대적으로 떨어진 센서(receiver)의 위치를 얻어내는 방법으로 3자유도(3축 방향 위치 값) 또는 6자유도(3축 방향의 위치 값과 기울기 자세 값) 정보를 추적한다. 추적 기술의 종류는 센서의 동작 원리에 따라서 전자기장(electromagnetic field) 방식[16], 초음파(ultrasonic) 방식, 컴퓨터 비전 방식[17] 등으로 분류되며, 최근에는 Intersense사의 IS-900 장치와 같이 각각의 동작 방식 장단점을 고려한 하이브리드형 추적장치[18]가 사용되는 추세이다. 직접 물체를 만지고 조작하는 시나리오를 위해서는 사용자의 손 동작을 정확하게 추적하는 장치가 필요하다. 장갑형 입력 장치로 대표적인 제품은 Immersion사의 Cyber-glove[19] 장치로, 최대 22개의 밴드형 센서를 손가락 주요 관절 부위에 부착하여 각도의 변화를 추적함으로써, 3차원 가상 손 모델의 모양을 실시간으로 결정한다(그림 7) 참조).



(그림 7) IS-900 6자유도 추적 장치가 부착된 Cyber-glove(22개 센서)와 3차원 핸드 모델

사용자 동작 추적 장치를 통해서 입력된 사용자의 품평 동작을 가상 공간에 가시화하여, 자동차 운전대와 같은 가상 개체와 상호작용이 가능하도록 하는 수단이 상호작용 메타포어이다. 상호작용 메타포어는 3차원 사용자 인터페이스 디자인 기술[20]에 속하는 것으로, 자동차 내관 디자인 품평 시나리오와 같이 사용자의 직접적인 신체적 움직임을 가상 공간에서도 동일하게 사용하기 위해서 가상 인체 모델을 사용한다. 대표적인 사례로, Thalman 교수 연구실[21]은 사실적인 가상 인체 모델의 가시화 및 제어에 대한 연구를 진행하고 있으며, 최근에는 자연스러운 의복 및 헤어스타일 시뮬레이션, 그리고 인공지능 기법을 이용한 행동 제어 기술을 연구하고 있다(그림 8) 참조).



(그림 8) Thalman 교수 연구실의 Virtual Human 관련 연구 결과물

마지막으로, 출력 수단에는 “멀티모달 인터페이스” 키워드로 대표되는 다양한 표현 기술들이 있다 [22]. 기반 기술로는 가상 개체 사이의 상호작용 결과를 사실적인 수준에 가깝게 하기 위해서 물리엔진 [23]과 같은 시뮬레이션 기술이 활용되고 있다. 멀티모달 인터페이스 기술 중에서 우선적으로 개발된 분야는 시각 인터페이스 장치이며, 직접 상호작용 시나리오를 고려하는 경우에 중요한 비중을 차지하는 것이 햅틱(haptic) 인터페이스이다. 사용자의 세세한 손동작에 대응하는 적절한 힘을 전달하기 위하여, 외골격(exo-skeleton) 형태의 햅틱 인터페이스(예; CyberForce) 장치가 개발되어 시판되고 있으나, 사용성(usability)이 떨어지고 가격대 성능비가 낮기 때문에, 착용성 및 햅틱 렌더링의 정확도 향상을 중심으로 해당 분야에 대한 추가적인 연구 개발이 요구되고 있다(그림 9) 참조[19].



(그림 9) Immersion사의 햅틱 인터페이스 장치

VI. 연구 개발 사례

앞에서 정리된 기술 동향에 따라서, 본 절에서는 현재 한국전자통신연구원 디지털콘텐츠연구단에서

수행하는 “자동차 내관 디자인 가상 품평 시스템”의 개발 현황을 소개한다. III장에서 정리된 요구 조건을 충족시키기 위한 반구형 고해상도 몰입형 디스플레이, 다수의 프로젝터 기반의 초고해상도 영상 생성을 위한 렌더링 클러스터 시스템, 반구형 스크린에 자연스러운 단일 영상 표현을 위한 정합 및 보정 기술, 사실적인 자동차 내관 및 외관 영상 생성을 위한 실사 렌더링 기술의 구현 현황을 소개한다. 그리고, 자연스러운 상호작용을 위한 사용자 일치형 신체 모델과 핸드 인터페이스 하드웨어 장치의 개발 현황을 소개한다.

1. 반구형 디스플레이 시스템

반구형 디스플레이 시스템은 하드웨어적으로 영상을 생성하는 렌더링 클러스터, 영상을 투사하는 프로젝터 세트, 그리고 영상이 맺히는 반구형 스크린 이렇게 크게 3가지로 구성된다. 렌더링 클러스터는 복수의 PC를 네트워크로 연결하여 구성된 클러스터로 고해상도의 영상을 각각의 PC가 부분적으로 나누어 생성하는 역할을 담당한다. 이렇게 각 PC에서 생성된 영상은 연결이 적절히 배치된 프로젝터들이 하나의 스크린 상에 투사하여 고해상도의 대형 단일 영상을 구성한다(그림 10) 참조).

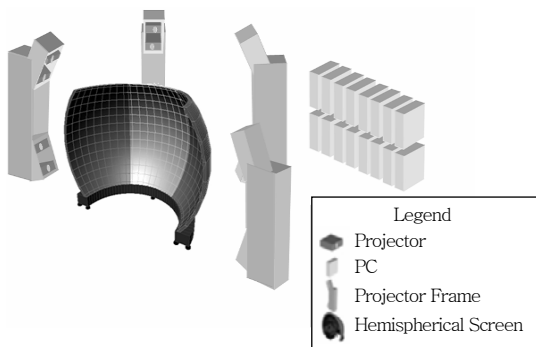
한 영역의 영상은 하나의 렌더링 노드(rendering node)가 담당하여 생성하며, 이렇게 스크린에 투사된 영상들이 하나로 합쳐져 단일 영상을 구성할 수 있도록 하기 위해 각각의 렌더링 노드에 적절한 영

상 파라미터를 지정하고 관리하는 역할은 매니저 노드(manager node)가 담당한다. 따라서 렌더링 클러스터는 하나의 매니저 노드와 분할된 화면 개수만큼의 렌더링 노드로 구성된다. 본 논문에서 설명하는 반구형 디스플레이 시스템에서는 이러한 렌더링 클러스터를 구성하기 위해 OpenSG⁸⁾ 소프트웨어를 사용한다.

OpenSG는 다른 가상현실 소프트웨어들과 같이 3차원 가상 공간을 장면 그래프(scene graph) 형태의 자료구조로 관리한다. OpenSG의 클러스터링 기능은 매니저 노드가 관리하는 scene graph 정보를 각각의 렌더링 노드가 공유할 수 있도록 네트워크로 전송해주고 갱신시켜 주며, 이에 더해 디스플레이 전체 이미지를 생성하기 위한 하나의 가상 카메라를 분할하여, 각 렌더링 노드가 담당한 화면 영역의 영상을 생성할 수 있도록 가상 서브 카메라(virtual sub-camera)를 생성하고 관리해준다.

본 논문에서 기술하는 반구형 디스플레이는 영상을 가로 4, 세로 2의 총 8영역으로 분할하여 생성하며, 이를 위해 각 프로젝터들이 반구형 스크린을 둘러싸는 형태로 배치되어 반구형 스크린의 중심을 향하여 영상을 투영한다. 구면에 투영되는 영상의 왜곡 현상을 보정하기 위해 각각의 렌더링 노드는 영상을 생성할 때 이러한 왜곡을 보정하여 구면에 투영된 영상이 생성되도록 한다. 이러한 형태 왜곡을 보정하는 계산을 빠르게 수행하기 위해 본 반구형 디스플레이에서는 PC의 3차원 가속을 지원하는 그래픽스 인터페이스 카드의 GPU 프로그래밍(vertex programming) 기능을 활용한다.

영상이 구면상에 맺히는 데서 오는 문제점 외에, 각 프로젝터의 자세와 위치가 다르기 때문에 오는 좌표의 불일치 또한 반구형 디스플레이에서 기하적으로 해결해야 하는 문제이다. 이를 해결하기 위해서는 각 프로젝터 영상들의 좌표관계를 파악하여, 하나의 단일 좌표계를 이루도록 각각의 영상 좌표계를 변환시켜 주어야 하는데, 이를 위해 스크린과 각



(그림 10) 반구형 디스플레이 시스템 구조

8) www.opensg.org

프로젝터들의 상대적인 위치와 자세를 알아야 한다. 이 때, 물리적으로 프로젝터의 위치와 자세를 조절하고 측정하는 데에 한계가 있으므로, 스크린에 맺힌 프로젝터의 영상을 카메라로 찍고, 이 영상을 분석하여 필요한 정보를 계산해 낸다.

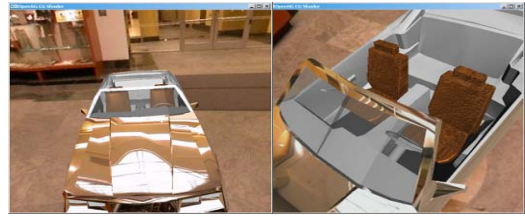
평면 스크린을 사용할 때는 달리, 구면 스크린의 경우 투영된 영상의 왜곡으로 인해 각 프로젝트의 영상을 겹침 없이 일치시켜 맞추는 것은 불가능하다. 이를 해결하기 위해서, 반구형 디스플레이에서는 각 프로젝트의 영상들이 겹치는 영상 영역을 검출하고, 영상 생성 시 한 쪽 영상의 다른 영상과 겹치는 영역을 차단하거나, 겹치는 두 영상의 겹침 영역의 밝기를 조절하여 겹쳐졌을 때 제 밝기로 보이도록 처리를 한다. 이 때, 복수의 영상이 겹치는 데서 오는 밝기의 차이뿐 아니라, 프로젝트의 램프의 빛이 스크린을 투과하여 더 밝게 보이는 핫 스팟(hot spot) 영역의 밝기차이도 같은 방법으로 보정한다(그림 11) 참조.



(그림 11) 컬러맵과 밝기 보정을 이용한 보정용 영상 생성

2. 자동차 내/외관 실사 렌더링

자동차 외관에 대한 실사 렌더링을 위해서 금속의 반사 효과를 GPU 프로그래밍 언어인 Cg를 이용하여 구현한다. 크롬과 같은 반사율이 높은 물체 표면에 주변 환경을 반사하는 효과를 나타내기 위해(그림 12)와 같이 배경 이미지를 이용하는 환경 매핑(environment mapping) 기법을 사용한다. 대다수 실세계 물체의 표면은 미세한 기하학적 구조를 가진 경우가 많기 때문에, 이들을 세세히 3차원 폴리곤 모델로 모델링 하기에는 어려움이 있고, 이런 영상을 실시간에 생성하기 위해서는 높은 그래픽 시스템 성능을 요구한다. 이러한 비효율적인 모델링 및 렌더링 작업을 해결할 수 있는 방법이 범프 매핑



(그림 12) Cg를 이용한 표면 반사 및 좌석의 가죽 재질감 표현

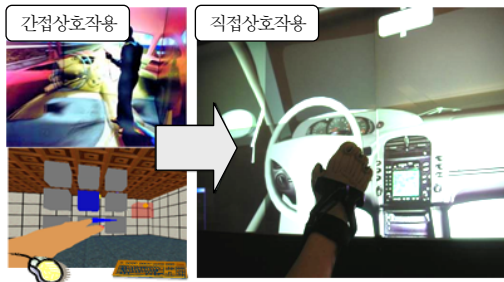
(bump mapping) 기법을 이용하는 것이다. 기하학적 복잡성을 높이지 않아도 높은 수준의 시각적 복잡성을 줄 수 있으며, 아티스트들의 입장에서 보면 극도로 자세한 3D 모델을 제작하는 대신에 텍스처 표면에 세부 묘사를 저장할 수 있기 때문에 간단하게 내용물을 만들 수 있다[14]. 본 과제에서도 차량의 내부 표면의 자연스러움을 증대시키기 위하여 가죽의 재질감을 표현하는 부분에 이 기술을 적용하고 있다.

3. 사용자 일치형 상호작용 메타포어

가상현실 분야에서 상호작용 기술은 물리적으로 존재하지 않는 가상 세계의 개체와 현실의 사용자 사이의 상호작용을 가능하게 하는 방법으로, 가상 세계와 현실 세계를 연결하는 인터페이스 기술이다. 가상현실 세계를 다룬 영화 MATRIX⁹⁾의 두뇌 제어 인터페이스처럼, 인간의 감각 기관의 기능을 100% 대체할 수 있는 기술의 실현이 현재는 불가능하므로, 사용자의 존재감에 관련된 요소를 모델링하고 이들을 충실히 구현하는 방법론[4]을 따른다.

사용자가 자동차 내관 환경에 있다는 느낌의 만족도를 높이는 차원에서 앞의 6.1~6.2절에서 정립된 기술이 활용될 수 있다. 그리고, 사용자가 직접 내관 품평을 진행한다는 느낌의 만족도를 높이기 위해서, 본 과제에서는 사용자와 일치된 가상 인체 모델을 사용한다. 일반적인 “자동차 내관 디자인 품평 시나리오”의 경우, 사용자는 차량 내부의 운전대 및

9) <http://whatisthematrix.warnerbros.com/>

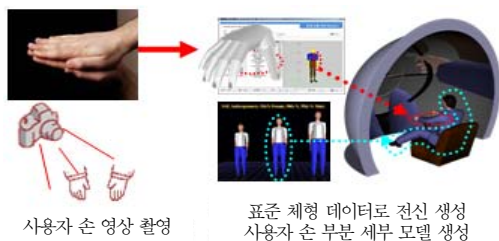


(그림 13) 3차원 마우스가 아닌 손 작업을 이용한 직접상호작용 품평 지원

손잡이 등 자동차의 기능을 조작하기 위한 개개의 사용자 인터페이스 개체를 직접 손으로 또는 발로 접촉하는 방법으로 “직접적 상호작용”을 한다(그림 13) 참조.

시스템에 참여하는 사용자의 가상 인체 모델을 간단한 과정으로 빠르게 생성하기 위해서, 컴퓨터 그래픽 영화 제작 과정과 같은 복잡한 과정을 거치지 않고 (그림 14)와 같이 간단한 단계로 모델을 생성한다. 가상 인체의 전신 부분을 한국인 표준 체형 데이터베이스[24]를 기준으로 생성하고, 손을 중점적으로 사용하는 상호작용 시나리오를 위해, 사용자의 손 부분 영상을 촬영하여 핸드 모델의 세부적인 치수를 결정하고 피부 이미지가 유사한 모델이 생성 되도록 한다.

실시간에 자연스러운 품평 작업을 진행하는 데 장애가 되는 요인 중 하나가 실시간 충돌 처리 기능이다. 특히, 실감형 품평을 위해 약 100만 폴리곤 단위로 디자인된 3차원 자동차 모델의 경우에는 실시간 렌더링뿐만 아니라, 가상 개체 사이의 충돌 이벤트 계산을 실시간에 처리하려면 서버급 사양의 컴퓨



(그림 14) 상호작용 신체 모델 생성

터 시스템이 필요하다. 본 과제에서는 대용량 자동차 데이터 중 상호작용 관심이 되는 부분 개체를 미리 분류(sub-object extraction)하는 방법으로, 품평 작업 시간(run-time)에 필요한 계산 시간을 단축시키고, 계층적(hierarchical) 충돌 탐색 기법을 활용하여 실시간 충돌 처리를 구현한다.

4. 핸드 인터페이스 장치

본 과제에서는 (그림 13)과 같이 사용자의 직접 상호작용을 통한 내관 품평 시나리오 지원용 핸드 인터페이스 장치를 개발한다. 앞의 V장에서 소개된 기존의 핸드 인터페이스 장치와 차별되는 특징으로, 극미세 위치 변위센서¹⁰⁾를 이용하여 사용자 체형 차이에 따른 설정(calibration) 작업이 불필요한 장점을 가지고 있다. 현재는 (그림 15)와 같이 한 손가락에 2개의 센서를 부착(한 손에 10개의 센서 적용)해서, 착용성을 고려하여 고정밀 손 모양 추적이 가능한 핸드 인터페이스 장치를 개발하고 있다.



(그림 15) 고정밀 핸드 추적용 인터페이스 장치

VII. 결론

본 논문에서는 시장 동향에 따라서 기술 수요가 증가하고 있는 자동차 디자인 가상 품평 시스템을 중심으로 virtual engineering 기술을 소개하였다.

10) biometric absolute displacement sensor, 일본 우주개발 사업단(NASDA) 제품, 4kHz 속도의 실시간 추적 기능, 12bit 해상도의 고정밀 추적 기능

사용자가 실생활의 품평 상황과 동일한 체험을 얻을 수 있도록 지원하기 위해서, 고해상도 몰입형 가상화 기술과 상호작용 기술이 필요하며, 현재 한국전자통신연구원 디지털콘텐츠연구단에서는 관련된 핵심 기술을 개발하고 있다.

Virtual engineering 기술의 현장 적용으로, 기업은 제품의 전체적인 생산 기간의 단축 효과를 얻을 수 있다. 그리고, 본 기술은 제품의 디자인 및 생산 훈련, 더 나아가서 제품의 전시 판매 및 유지 보수 활동에도 폭 넓게 활용될 전망이다.

약어 정리

CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
GPU	Graphic Processing Unit
HMD	Head/Helmet Mounted Display

참고 문헌

- [1] The Market for Visual Simulation Virtual Reality Systems – Sixth Edition, CyberEdge Information Services, Inc., winter 2003~2004.
- [2] World Visual Simulation Markets, Frost & Sullivan, 2001. 10.
- [3] 가상현실 기술/시장 보고서, 50대 품목 기술/시장 보고서, 한국전자통신연구원, 2001.
- [4] K.E. Bystorm, W. Barfield, and C. Hendrix, A Conceptual Model of the Sense of Presence in Virtual Environments., Presence: Teleoperators and Virtual Environments, MIT, Vol.8, No.2, 1999, pp.241-244.
- [5] M. Hereld, I. Judson, and R. Stevens, “Introduction to Building Projection-based Tiled Display Systems,” in *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.20, No.4, 2000, pp.22-28.
- [6] PowerWall, <http://www.fakespace.com/powerwall.shtml>, fakespace systems.
- [7] HeyeWall, <http://www.heyewall.com/>, Darmstadt IGD.
- [8] A. Raij, G. Gill, A. Majumder, H. Towles, and H. Fuchs, “PixelFlex2: A Comprehensive, Automatic, Casually-Aligned Multi-Projector Display,” in *Proc. of IEEE Int'l Workshops on Projector-Camera Systems*, 2003.
- [9] R. Raskar, J. Barr, T. Willwacher, and S. Rao, “Quadric Transfer for Immersive Curved Screen Displays,” in *Computer Graphics Forum*, Vol.23, No.3, Sep. 2004, pp.451-460.
- [10] C. Cruz-Neira, D.J. Sadin, and T.A. Defanti, “Surround-screen Projection-based Virtual Reality: the Design and Implementation of the CAVE,” in *Proc. of SIGGRAPH '93*, pp.135-142.
- [11] Metaverse. M. Steele and C. Jaynes, “Parametric Subpixel Matchpoint Recovery with Uncertainty Estimation: A Statistical Approach,” in *Proc. of IEEE Workshop on Statistical Analysis in Computer Vision*, June 2003.
- [12] Vision station, vision dome., <http://www.elumens.com/Elumens>.
- [13] R. Raskar, M.S. Brown, R. Yang, W. Chen, G. Welch, H. Towles, B. Seales, and H. Fuchs, “Multi-Projector Displays Using Camera-Based Registration,” in *Proc. of Visualization '99*, Oct. 24-29, 1999, pp.161-168.
- [14] NVIDIA Cg Tutorial, http://developer.nvidia.com/object/gpu_programming_guide.html
- [15] NVIDIA Cg Presentation, http://download.nvidia.com/developer/presentations/2005/I3D/I3D_05_ProgrammingLanguages.pdf
- [16] Polhemus, <http://www.polhemus.com>
- [17] Motion Analysis, <http://www.motionanalysis.com>
- [18] Intersense, <http://www.intersense.com>
- [19] Immersion, <http://www.immersion.com>
- [20] D.A. Bowman et al., 3D User Interfaces Theory and Practices, Addison Wesley, 2004.
- [21] <http://ligwww.epfl.ch>
- [22] P.C. Yuen et al., Multimodal Interface for Human - Machine Communication, Series in Machine Perception and Artificial Intelligence, Vol.48, World Scientific Pub, 2002.
- [23] <http://www.havok.com/>
- [24] 산업자원부 기술표준원, 한국인인체치수조사, http://www.standard.go.kr/CODE02/user/0A/04/BusSiz_Outline.asp