Stereoscopic 가상현실 동영상 실험연구

A study on the test of movie stereoscopic Virtual Reality

최 성
남서울대학교 컴퓨터학과
Choi Sung,
Dept. of Computer Science,
Namseoul University

백 청 호
강원대학교 전자계산학과
Baek Cheong Ho
Dept. of Computer Science,
Kangwon University

1. 서언

입체영상의 분야는 희소성에서 오는 오락성 및 흥미위주의 상업성에 일부 활용되고 있다. 그러나 최근 들어 정보통신의 발달은 멀티미디어의 대중화가 되고 있으며, 이러한 환경변화는 가상현실분야의 연구를 가속화시키고 있다. 가상현실의 본연의 취지에 부합하기 위해서 입체영상의 구현은 필수적이다. 또한 입체영상의 필요성은 멀티미디어의 방향이 그렇듯 정보전달의 리얼리티를 높이는 차원에서 다루어지고 있으며 2차원 영상으로는 표현할 수 없던 많은 부분을 표현할 수 있게 하고 과학적 연구분야의 정확도를 높이는 데 필수 요소가 되고 있다.

최근의 실례에서 우리는 입체영상의 도움으로 인하여 지금까지 인간이 접근하기 힘든 곳을 현장에서 보는 듯하게 정보를 제공받고 있다. 이는 20세기말 과학사의 커다란 이벤트인 화성 탐사선 소저너호의 화성 탐사가 대표적인 사례이다. 소저너호는 인간의 눈처럼 두개 카메라를 장착하고 그 눈에 들어오는 영상을 지구로 전송해 오고 있다. 이를 지구의 우주과학연구소에서는 입체영상을 볼 수 있는 도구를 사용하여 우리가 실제로 화성의 모습을 보는 것과 같은 자연스런 입체영상을 통하여 실질적인 연구활동을 하고 있다.

대부분의 입체영상의 제품들은 구현방식, 사용방법 및 호환성 면에서 취약한 약점을 지니고 있어서 대중적이고 사용이 간편하면서도 사용자가 구입하기 쉬운 가격의 제품을 필요로 하고 있다. 본 연구는 개인용 컴퓨터를 이용한 입체영상 관련 아이템을 개발하여 제품화하고 이를 세계시장에 유통을 할 수 있는 stereoscopic 동영상 가상현실에 대하여 연구하였다.

2. 가상현실 시스템 기술

가상현실 기술은 실세계에서 우리가 경험하고 행동하는 것과 같이할 수 있는 기술을 말하며 앞으로 다가오는 21세기의 핵심기술로 부각되는 기술이다. 자율성, 상호 작용성, 입장감으로 표현되는 가상공간에서 현실감을 느끼기 위해서는 아직도 해결되어야 할 많은 기술적인 문제점이 있지만, 현재 가능한 기술을 바탕으로 여러 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 가상세계는 현 세계와 비슷하게 자극을 줄 수 있어야 한다. 부드러운 화면 이동, 실세계와 같은 객체들의 표현, 실제와 같은 소리 효과 등 사용자가 실세계에서 얻을 수 있는 자극들을 가상세계도 나름대로 정해진 가상세계의 체계에 맞게 제공할 수 있어야 한다.

가상현실 시스템은 컴퓨터가 만들어낸 가상의 세계를 사용자에게 다양한 감각 채널을 통해 제공함으로써 사용자로 하여금 이 가상세계에 몰입할 수 있도록 하는 동시에 가상 세계 내에서 현실세계와 같은 자연스러운 상호작용을 가능케 하는 시스템을 의미한다.

가상현실 시스템은 가상환경을 생성하는 컴퓨터 시스템과 하나 또는 여럿의 인간 작업자와 합성된 가상세계와 사용자가 여러 장치를 통하여 상호 작용하는 인터페이스로 구성되어 있으며 사용자는 가상 환경 내에서 청각, 시각에 의한 가상환경을 느끼고 체험할 수 있다.

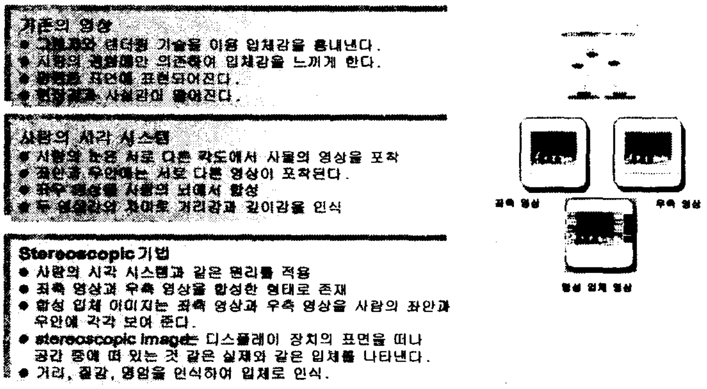
사용자가 몰입 할 수 있도록 하는 가상 현실 시스템의 구현에 있어서 어떤 요소들이 생각되어져야 하고, 그러한 요소들이 어떻게 구현되는지에 관하여 기술하였다. 가상현실은 컴퓨터시스템을 이용하여 생성한 인공의 세계에 인간이 몰입(Immersion)하여 실시간으로 보고 듣고 만지며 대상물을 능동적으로 조절하는 현실감을 체험하는 것이다. 가상현실시스템은 4가지 구성요소로서 이

루어지는데 가상환경(VE : Virtual Environment), 컴퓨터환경, 입출력기술, 상호작용방식(Mode of Interaction)로 이루어진다. VE구현에는 컴퓨터그래픽, 애니메이션, 물리적 제한성, 충돌검출 등이 고려되어야 한다. 컴퓨터환경에서는 처리장치의 구조, 입출력채널, VE 데이터베이스, 실시간 운영체제 등이 포함된다. 가상현실 입출력 기술은 머리 위치 추적, 영상디스플레이, 소리, 촉감 및 손위치 추적 등에 관한 기술이다. Polhemus 3 space magnetic tracker, HMD, 3D sound 발생장치, Force-feedback시스템, Dataglove등이 사용된다.

3. 가상현실 제작 연구

3.1. 가상현실 시스템 구현

컴퓨터를 이용한 가상 현실감의 구축은 인간의 감각기관을 통해 외부로부터 들어오는 각종 감각 신호를 분석함으로써 환경에 대한 정보를 얻고 이들 정보가 통일성을 가질 때 현실감을 느끼게 됨으로써 가능하다. 인간은 대부분 시각을 통하여 외부의 정보를 수용하고 있다. 이러한 환경정보를 이용하여 주변의 환경을 생성할 때 평범한 인간의 두 눈은 서로 다른 각도로 사물에 대한 2차원 영상을 받아들이게 된다.



(그림1 : Stereoscopic가상현실시스템 개요)

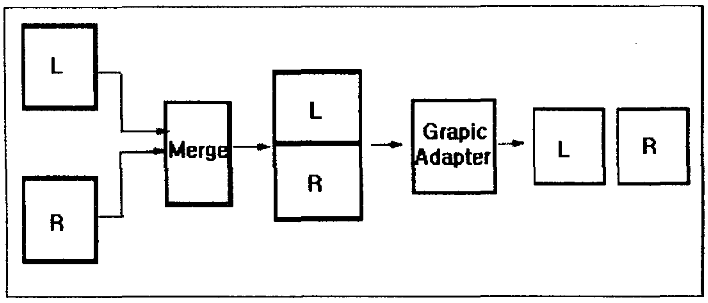
이러한 점을 이용하여 사용자가 한 명인 경우에는 3차원 환경에서 사용자의 눈이 카메라의 뷰 포인트가 되고 사용자의 눈의 위치 변화에 맞게 부위가 달라지는 양식을 취하면 사용자의 눈에 비처지는 이미지, 좌측 이미지와 우측 이미지의 두 영상이 생성하여 좌측의 이미지는 사용자의 좌측의 눈에 우측의 이미지는 사용자의 우측의 눈에 보여주면 사용자는 기존의 VRML, OPENGL 등의 3D그래픽으로 처리한 데이터를 보여주는 것보다 한 번의 과정을 추가함으로 생생한 입체감을 느끼는 입체영상을 보게됨으로서 가상의 세계에 들어온 것처럼 느끼게 된다.

이와 같은 기법에서는 두 영상에 나타나는 사물들은 수직선상으로 같은 위상을 가지며 수평선상으로는 다른 이미지를 가지게 된다. 이러한 각도의 차에 의하여 가상 환경을 구현하는 방법에는 다음과 같은 방법이 있다.

3.2 스테레오 그래픽 구현방법

3.2.1 필드방식

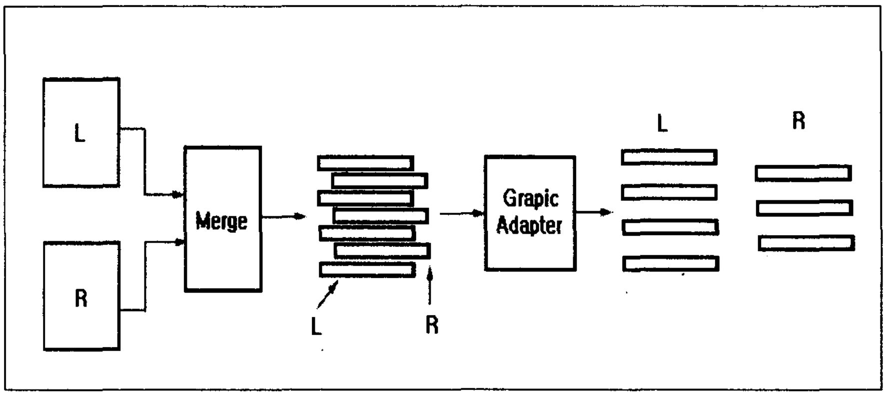
완전한 좌·우 이미지를 비디오 메모리의 두 페이지에 나누어 저장한 뒤 모니터의 화면 갱신을 번갈아 두 페이지를 지정하도록 하면 모니터가 화면을 갱신할 때마다 좌·우 이미지를 차례로 그리게 되고 이 시점에 맞추어 LCD 안경을 차례로 마크하면 스테레오 효과를 만드는 원리이다. 이 방식은 두 개이상의 페이지가 가능한 모드에서만 사용할 수 있다.



(그림 2 : 필드방식의 개념도)

3.2.2 인터레이스 방식

비디오 페이지를 바꾸지 않고 현재 화면에 보이는 비디오 메모리 페이지에 좌우 이미지를 각각 짝수줄과 홀수줄을 번갈아 보여주는 효과를 내므로 이 시점에 맞추어 안경을 차례로 마크하여 스테레오 효과를 만드는 원리이다. 한 개의 페이지만을 쓰며 화면 전환이 필요 없다. 위의 페이지 방식보다 Memory의 양을 적게 차지하는 장점이 있다.



(그림 3 : 인터레이스 방식의 개념도)

가상현실의 구현 기술 중에 하나의 간과 못할 기법 또는 기술중의 하나가 입체영상의 구현이다. 우리가 영위하고 있는 세상은 모두가 3차원 입체공간이며 보고 느끼는 모든 것이 입체로 이루어져 있다. 그러나 대부분의 영상 정보전달 매체-종이, 컴퓨터 모니터, 영화 스크린, TV 모니터 등은 2차원이며 평면에 표현되고 있다. 3D 그래픽이 데이터 구조상 3차원의 구조를 가지고 있으나 이 역시 표현방법이 2차원 공간에서 이루어지므로 평면화면에 지나지 않는다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위하여 최근 여러 입체영상 제작자들이 VR입체영상 기법을 이용하여 가상현실시스템을 제작하고 있다.

4. 영상 VR 실험연구

입체영상을 보다 효과적으로 영상을 나타내기 위한 방법을 연구하였다. 이미지의 분리거리와 관찰자의 거리, 그리고 눈동자사이의 거리와 상관관계를 실험을 통해서 연구하였다. 또한 입체를 보면서 느끼게되는 눈의 피로도를 조사하였다. 조사 방법은 다음과 같다.

1) 이미지의 분리 간격를 고정시키고 관찰자의 위치를 변경시켜 위치에 따른 심도의 차이와 눈의 피로도를 실측한다.
2) 제시거리와 실제 관찰자가 느끼는 심도의 차이를 조사한다.
3) 배경 색에 따른 심도의 차이를 조사한다.
4) 주위 환경 (밝은 곳과 어두운 곳)에 따른 심도의 차이를 조사한다.

실제 조사연구를 위하여 9명의 시력을 조사하였으며 다음과 같은 실험을 하였다.

(표1 : 실험자 9명의 시력표)

	최성진	박철웅	성필수	박찬주	윤나	정성철	김성희	윤선영	이중석
교 정 좌 시 력 우	1.0 1.0	1.2 1.2					0.9 0.9		0.8 1.0
나 안 좌 시력 우	0.1 0.1	0.2 0.2	0.6 0.7	0.5 0.7	0.8 1.0	1.0 1.2			-6.5 -6.7
난시	있음	있음	없음	있음	없음	있음	없음	있음	없음
눈동자 사이의 거리	6.1cm	6cm	6.1cm	6.1cm	5.4cm	6.1cm	6cm	5.6cm	5.9cm

4.1 . VR 실험 방법.

실험 방법 및 준비물로서 17인치 모니터, 줄자, 3d 안경, 컴퓨터, 입체영상기재를 사용하였다.

1) 실험 방법은 동일 이미지를 관찰할 때 관찰자의 위치 변경에 따른 심도지각(depth)의 변화를 체크한다.
2) 이미지의 분리간격을 변경하며, 심도지각의 변화를 체크한다.
3) 관찰자의 위치와 이미지의 분리 간격의 변화에 따른 눈의 피로도를 체크한다.
4) 참고사항으로서는

①심도 : 깊이(depth) 감

②제시 거리 : 입체상의 제공자가 의도하는 심도의 길이

③제시거리 구하는 공식

* 제시거리 = 동일이미지의분리간격×관찰거리÷(눈동자간거리＋동일이미지의분리간격)
* 입체시에 대한 일반적인 이론과 심도지각이론 (수식 1)

$$f = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n}}$$ .... 심도지각과 거리간 상관 표준편차

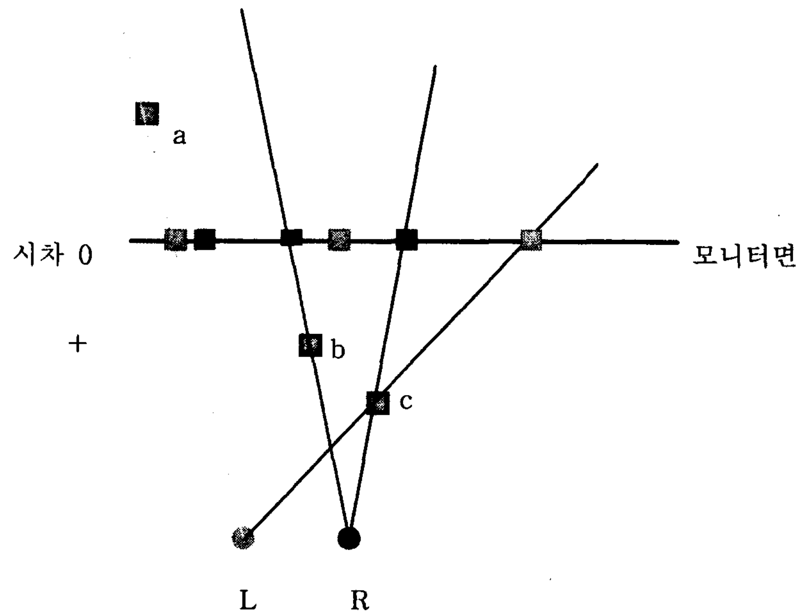
4.2. VR 실험결과

이미지의 분리거리를 고정시키고 관찰자의 위치를 변경시켜 위치에 따른 심도의 차이와 눈의 피로도를 조사한다. 표 1 에서의 시력표와 실험치 결과를 통해서 볼 때 이미지를 고정시키고 관찰자의 위치가 모니터에서 멀어질수록 심도의 폭은 커지는 것을 알 수가 있다.(그림4 참조) 관찰자의 위치가 모니터에서 멀어질수록 제시 거리보다 적게 반응하고 모니터와 근접할수록 제시거리에 가까워짐을 알 수 있고(그림 5 편차 그래프 참조) 상대적으로 눈의 피로 도는 관찰자의 위치가 가까워질수록 증가하는 것을 알 수가 있다. 관찰자의 거리가 150cm 넘지 않을 경우 이미지의 분리간격이 3.5cm 를 넘었을 경우 눈의 피로감 (두통 및 ghost 현상)이 증가하는 것을 알 수 있다. 모니터와 최소 20cm이상 떨어져서 보는 것이 눈의 피로감을 덜 느끼게 한다.

(수식 2)

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}$$ ... 제시거리와 입체감 상관관계식

동일 이미지를 관찰 할 때 눈동자 사이가 좁은 사람이 넓은 사람에 비해서 심도의 폭이 커짐을 알 수가 있다. (그림5 참조) 윤나씨의 실험 결과를 통하여 보통 사람에 비해서 3cm 에서 5cm 정도 더 반응함을 하는데 이는 윤나씨의 눈동자 사이의 간격이 5.4cm이기 때문이며, 나머지 관찰자의 눈동자 사이의 거리는 평균 6cm이었다.



(그림 3 : 입체상의 모니터 표현 방법)

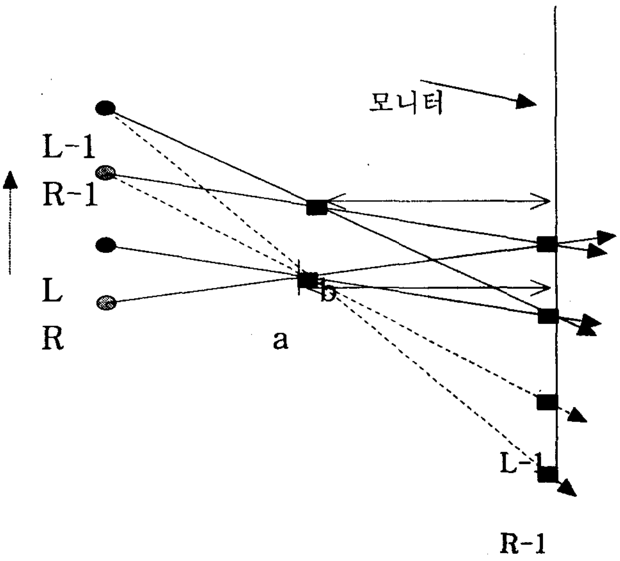
입체영상의 기본적인 원리와 입체영상의 제작방법 및 응용에 대하여서는 3차원 입체구조의 사물을 입체로 인지하는 이유는 시각적으로 인체구조상 가로로 6~7cm 떨어진 두 눈을 가지고 있기 때문이다. 인간이 입체감이나 원근감등 거리를 느낄 수 있는 것은 눈을 2개 갖고 있으며, 인간의 눈과 눈사이의 간격은 평균 6.3㎝라 하는데, 어느 물체나 풍경을 볼 경우 좌우의 눈은 각각 다른 각도에서 같은 것을 보게 된다.

보는 각도가 다른 만큼, 오른쪽 눈으로 본 상과 왼쪽 눈으로 본 상은 다른데, 각각은 뇌의 움직임에 따라 하나로 결합되어 깊이 있는 상으로써 인식되는 것이다. 이러한 원리를 응용하여 인간이 좌우의 눈으로 본 것과 같이 복수의 화상을 만들어 인쇄하고, 오른쪽 눈으로 본상은 오른쪽 눈, 왼쪽 눈으로 본 상은 왼쪽 눈으로 인식되기 위한 도구가 필요하다.

이를 연구개발해서 나온 것이 lenticular sheet 란 도구이며, lenticular sheet는 명플라스틱제로 두께 0.3~1.3㎜, 간격 0.4㎜정도의 어묵을 몇 개로 늘어 논 것처럼, 아래 부분은 편평하게 , 표면은 파형(波形)을 한 렌즈이다. 이 렌즈를 통해서 위의 교착된 이미지를 보게 되면 실제로는 평면이며, 정적인 이미지 상에서 입체, 동영상, 혹은 다른 효과들을 육안으로 확인할 수 있게 된다. lentech은 이러한 기법을 응용하여 완전히 새로운 차원의 세계로 나갈 수 있으며, 그 다양한 효과들은 제품에는 새로운 생명을 고객에게는 깊은 만족을 준다.

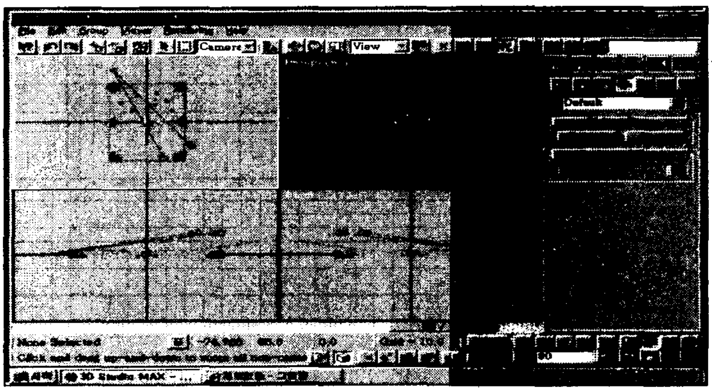
(수식 3)

$$f_k = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n} \quad , \quad n = \sum_{i=1}^{k} f_i$$ ......각도에 따른 화상 분산도수분포



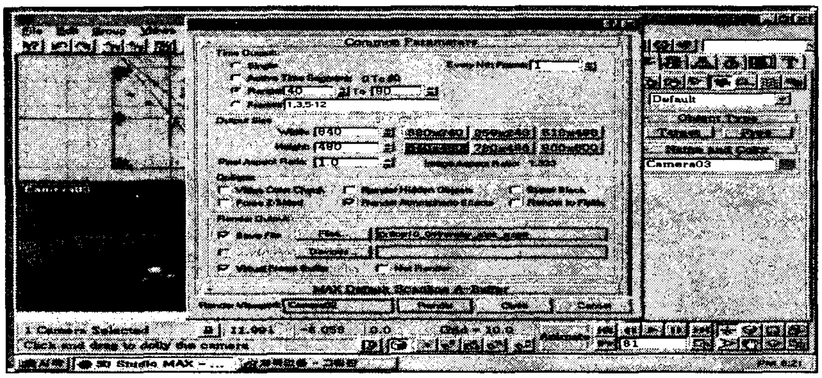
(그림 5 : 영상을 통한 형상이미지의 편차그래프)

그림5에서 보는 바와 같이 우리의 두 눈은 사물의 형상 이미지를 다른 각도로 바라보고 있기 때문에 엄밀히 말하면 두 눈에 들어오는 형상이미지는 똑같은 형상이미지는 아니다. 이러한 서로 다른 각도의 형상이미지가 시신경을 통하여 우리의 뇌에 전달되고 이를 비교 분석하여 부피감이나 거리감을 감지하여 비로소 우리는 입체로 인지하게 되는 것이다. 간단한 실험을 통하여 확인 해보자면, 각자의 한 손을 펴서 손등과 바닥이 좌우 측을 향하게 하고 눈앞에 20cm정도 앞에 고정하여 두고 다른 한 손으로 왼쪽과 오른쪽 눈을 가려가며 두 눈에 인지되는 모습을 보면 우리의 두 눈이 얼마나 많은 시각차이를 보이는가를 알 수 있다. 입체의 시각적 인지원리를 이해하면 쉽게 입체영상을 만들어 낼 수 있다.



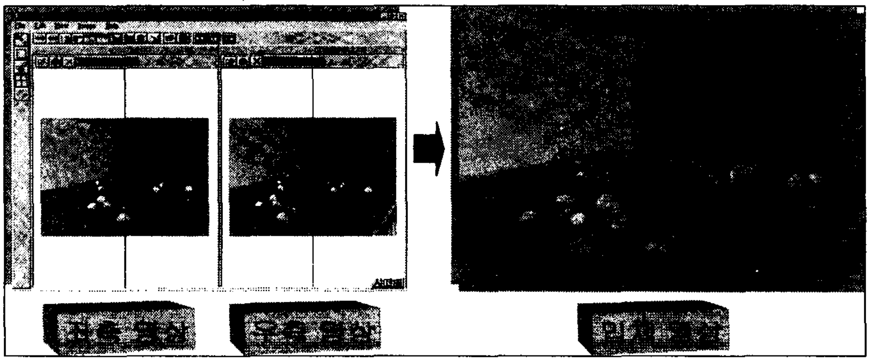
(그림 6 : 좌우측으로 촬영카메라 설치)

예를 들어 그림 6에서 보는 바와 같이 사물을 두 눈의 각도에서 카메라로 촬영하여 그 촬영된 사진을 동시에 우측 사진은 우측 눈에만 보이게 하고 좌측 사진은 좌측에만 보이게 하면 실제 사물을 바라보는 것과 같은 입체감을 인지하게 된다. 이러한 입체의 원리를 바탕으로 제품을 제작할 때 우측 눈 각도의 영상과 좌측 눈 각도의 영상을 각각 만들어 모니터에 나타내고 우측영상은 우측 눈에만 좌측영상은 좌측 눈에만 보이게 한다면 우리는 그 영상을 입체로 보게된다. 입체 영상게임의 제작기법을 소개하기 앞서 모니터에 표현하는 방법과 입체로 보는 방법의 한 예를 들었다.



(그림 7 : 좌·우측 렌더링의 입체영상제작)

그림7에서처럼 우측영상과 좌측영상을 모니터에 각각 번갈아 가며 순차적으로 디스플레이 시키고 이 순서에 맞추어 우측 상이 나타날 때는 안경의 우측이 열리고 좌측은 닫히고 좌측 상이 나타날 때는 안경의 좌측이 열리고 우측이 닫히는 방법을 통하여 입체로 영상게임을 즐길 수 있게 된다. 이 방법은 좌우 측의 영상이 적어도 1초에 30회 이상씩 번갈아 모니터에 디스플레이 되게 하고 안경 또한 그에 맞추어 동작하여야 한다. 또한 그 횟수가 많을수록 눈에 부담을 덜 주게된다. 이때 사용하는 안경은 LCD 셔터 안경이 대부분 이용된다.



(그림 8 : 좌우측 영상합성)

또한 그림8에서 처럼 두 개의 디스플레이 장치가 부착된 HMD 같은 장비를 사용하여 우측 디스플레이에는 우측 상을 좌측에는 좌측 상만을 디스플레이 시킨다면 이러한 HMD를 착용하고 게임을 하면 우리는 또한 입체영상게임을 즐길 수 있다. 실제로 입체영상게임을 제작하는 방법에 관하여 연구하여 보면, 입체영상게임을 제작하기 위해서는 앞에서와 같이 적어도 좌우 측 각도의 두 개이상의 영상이 필요하다. 영상게임인 둠(Doom)과 같은 3D게임은 사용자의 진행방향에 따라 3D로 리얼타임 랜더링 되는 게임은 비교적 용이하다. 이러한 영상게임들은 렌더링 될 때에 카메라 방향을 설정하게 되는데 이때 카메라를 2개 사용하고 인간의 좌·우측 시각 방향으로 각각 설정하여 2중 렌더링을 하게 한다. 다시 말하여 기존의 랜더링시 1개의 카메라를 사용하던 것을 2개 사용하고 게임의 디스플레이 스캔속도를 증가시키고 타이밍제어를 통하여 두 개의 카메라각도로 번갈아 가며 랜더링하여 모니터에 디스플레이 시키고 이 타이밍주기 신호를 LCD안경 제어기 쪽으로 보내주거나 HMD의 좌우측 디스플레이에 각각 디스플레이 시킨다. 또한 리얼타임 랜더링 게임이 아니고 각각의 장면마다의 배경 및 오브젝트의 이미지를 가지고 제작되는 게임은 미리 좌우측 각도의 이미지를 만들어 제작하여야 한다. 이때에는 앞서 설명한 라인 프리퀀시 방법을 사용한 다면 좌우측의 이미지를 라인 프리퀀시 방법으로 머지하여 배경 및 오브젝트 이미지를 만들기만 하면 되고, 그 외에는 기존방법 그대로이다. 위와 같은 게임제작에 필요한 도구는 제작자용 소프트웨어인 SDK를 사용하여야 한다. 가상현실 개념에 입각하여 영상게임을 제작하기 위하여서는 리얼타임 렌더링을 통한 3D그래픽과 입체영상 기법을 도입하여야 한다. 최근에는 앞에서 언급

한 LCD안경을 이용한 입체영상 게임 및 가상현실용 제품이 대중적 차원으로 보급되기 시작하고 있고 유럽에서는 큰 인기를 얻어가고 있는 추세이다. 앞서 지적한 바와 같이 많은 유수한 영상게임 제작자들이 가상현실 모드(입체모드)를 탑재한 영상게임 제작에 노력을 기울이고 있다. 이러한 추세는 저가형 가상현실 장비의 보급의 확산에 힘입어 더욱 활발하게 전개되고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 우리가 영화 속에서 보는 그러한 가상현실구현 모습을 갖춘 영상게임이 대중적 차원으로 보급되려면 아직 시간이 필요하다. 최근 들어 PC에서도 더욱 빠르고 미려한 그래픽을 표현하고자 그래픽 가속기가 그래픽 카드에 장착되어 보급되기 시작하였고 PC의 성능이 더욱 향상되고, 기술의 발전이나 노력으로 앞으로 더욱 빠른 속도로 생생한 가상현실을 체험하기 충분한 환경을 제공하게 된다.

5. 결론

미래의 영상산업을 발전시킬 원동력의 세 가지 요소는 3차원 그래픽, 네트-웍크, 가상현실 기술이다. 3차원 그래픽 기술의 발전을 위해서는 예술과 기술의 결합이 중요하며 자체 프로그래밍 기술과 기존의 환경과 통합할 수 있는 기술이어야 한다. 네트-웍크는 온라인 게임 타이틀이 96년도를 기점으로 크게 증가하고 있으며 초고속통신망의 확장과 더불어 JAVA, VRML, MBONE의 발전을 통하여 인터넷게임은 미래에 많은 발전을 예상 할 수 있다. 가상현실 기술은 과거에는 군사적 목적과 비행기시뮬레이션을 중심으로 발전되어 왔으나 향후에는 LBE(Location Based Entertainment)등 오락게임에 적용을 통하여 발전될 것으로 전망되며, DIS등으로 구현한 수만명이 참여하는 대규모 네트-웍크 가상현실 영상게임이 등장할 것이다.

끝으로 가상현실이 아니더라도 영상의 전달은 입체화되어야 한다. 이러한 이유로 우리가 삶을 영위하는 세계는 3차원의 세상인데 반해 우리가 전달하고자 하는 영상의 대부분의 매체는 2차원 평면인 것이다. 지금 우리가 추구하고 있는 멀티미디어의 세계는 통신 및 대중 매체를 통하여 정보의 전달을 보다 현실에 가까운 모습으로 시공을 초월하여 전달하고 전달받고자 하는 노력이다. 이러한 차원에서 영상의 전달방식도 입체화되어야 하며, 이는 보다 정확하고 현실감 있는 정보를 주고받을 수 있고 또한 우리들의 사고 구조와 사고능력을 한 차원 끌어올리게 될 것이다. 다행히도 LCD안경 및 HMD를 이용한 가상현실 장비는 우리가 비교적 세계시장을 앞서나가고 있고 이러한 추세에 우리의 영상산업이 선진국에 다소 내용과 기술면에서 부족하다 하더라도 입체 게임으로 특화시켜 경쟁한다면 우리 영상산업도 세계시장에서 큰 역할을 할 수 있는 좋은 기회라 사료되며 많은 연구개발자들의 관심과 노력을 기대한다.

<참 고 문 헌>

[1] 정보과학회지,' 첨단게임기술동향', 고 욱저, 1997년8월
[2] 한국정보문화센타, '97 SOFT EXPO세미나자료,
'미래의 청소년과 엔터테인먼트로서의 게임',1997년12월10일
[3] 정보통신연구관리단, 첨단게임산업 기술정책기획, 1996년6월
[4] 과학기술원, 첨단 전자엔터테인먼트 심포지움,1994년, 1995년.
[5] 한국어뮤즈먼트연구조합, '게임산업 발전계획', 1996년.
[6] 멀티미디어소프트웨어 교육센터 연구보고서,'교육성과보고서',1996년,1997년.
[7] Designing Real-Time 3D Graphic for Entertainment, SIGGRAPH '95
[8] D. Zelter, Autonomy,Interaction, and Presence, Vol.1, No.1,PP.127-132, Winter 1992.
[9] 권태경, Cyber Tech가상현실, 사이버출판사, 1996
[10] 멀티미디어교육센타, 게임그래픽의 기초, 한국어뮤즈먼트 S/W연구조합,1996.
[11] 황대훈, 여인국공저, 멀티미디어시스템, 정익사, 1997.
[12] 전자신문,영상면, '국산 VR시대 열린다',1998년 3월4일
[13] 성필문, CAD그래픽스,'가상현실응용사례',1997년 5월
[14] 박남은 · 최성, 한국정보처리학회지, '오락게임산업에서의 가상현실'특집,1998.3