

## Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법

유병현, 한순홍

한국과학기술원 기계공학과, fermi@bomun.kaist.ac.kr, 042-869-3080

한국과학기술원 기계공학과, shhan@kaist.ac.kr, 042-869-3040

### A simple generation of stereographic image using Z-buffer

Byoung-Hyun Yoo\*, Soonhung Han\*\*

\*:KAIST,

\*\*KAIST

#### ABSTRACT

In 3D computer graphics, especially entertainments, game, CAD, 3D graphic design, virtual reality and simulation, the stereography is used to augment the sense of presence or to increase three-dimensional effects. The stereography is one of methods to represent artificial image in three-dimension. But all conventional three-dimensional stereographic image generation methods require the amount of computation, which is twice the amount for generating non-stereo image. This results in considerable restrictions in use of stereographic images in three-dimensional real-time rendering.

This paper has been made from the observation of the above problem. The objective of this paper is to provide a method for generating a stereographic image using the Z-buffer, where two planar images required for generation of the stereographic image are created through generation of one image and simple additional tasks which are based on the created two-dimensional image, color information, and depth information stored in the Z-buffer.

Compared to the conventional three-dimensional stereographic image generation method, which requires twice the amount of computer calculation time of the non-stereo image generation method, the present method can readily and rapidly generate the stereographic image through the simple algorithm without doubling the calculation load of the computer.

**Key Words : Scientific visualization, Computer graphics, 3D, Stereography, Z-buffer**

#### 1. 서론

3 차원 그래픽을 이용하는 컴퓨터 응용분야 중, 엔터테인먼트, 게임, 컴퓨터응용설계, 그래픽 디자인, 가상현실, 시뮬레이션 등의 분야에서는 실제의 물체를 보는 것과 같은 현실감을 증가시키기 위한 하나의 방법으로 스테레오영상 재현기술이 사용되고 있다. 스테레오영상이란 인공적으로 만들어낸 영상에 입체감을 표현하기 위한 방법중의 한가지로, 최근 가상현실 분야의 발전과, 적용의 용이성으로 적용범위와 수요가 증가하고 있다.

인간의 감각 중 현실감의 지각에 가장 큰 영향을 주

는 것은 시각이며, 시각정보의 표현에 있어서 입체감의 표현은 현실감을 증가시키는데 가장 큰 제약이 되어 왔으나, 최근에는 고가의 가상현실 장비들을 이용하여 스테레오영상을 생성하고 입체감을 재현하는 방법으로 현실감을 표현하는 추세이다. 그러나 기존의 스테레오영상 생성방법은 일반영상의 생성방법에 비하여 고가의 장비와 높은 계산량을 필요로 하기 때문에 여러 가지 제약이 따른다.

본 논문은 기존의 스테레오영상 생성방법과는 달리 최소한의 계산량을 유지하면서 쉽고 빠르게 스테레오영상을 생성하는 방법에 관한 것이다. 본 논문에서 제안하는 스테레오영상 생성방법은 컴퓨터로부터 생성된 2 차원 평면 이미지와 Z-버퍼에 저장된 각 픽셀의 깊이

정보로부터 3 차원 입체영상을 생성하는 방법에 관한 것이다. 3 차원 렌더링에 이용되는 컴퓨터의 그래픽 파이프라인 중, Z-버퍼에는 이미지의 모든 픽셀에 해당되는 깊이 정보가 들어 있으므로, 이를 이용하면 두 번의 독립된 렌더링을 거치지 않고 스테레오영상의 구성에 필요한 좌, 우 두 눈에 비춰지는 두 개의 이미지를 생성할 수 있다. 이때 픽셀의 이동량을 Z-버퍼에 저장된 깊이 정보를 사용하여 계산하면 스테레오영상을 생성하기 위한 컴퓨터의 계산량과 속도, 장비의 용량 및 비용을 획기적으로 감소시킬 수 있다.

## 2. 스테레오영상

### 2.1 입체의 지각

이미지의 3 차원 거리를 지각하는 방법은 한쪽 눈을 사용하느냐, 혹은 양쪽 눈을 모두 사용하느냐에 따라 다음과 같이 두 가지로 나뉘어진다.

먼저, 단안(monocular)에 의한 지각 방법으로는 원근, 평행이동, 물체의 상대적인 크기, 겹침, 광휘와 그림자, 초점적응 등이 있다. 여기서, 원근이란 평행한 선들이 소실점으로 모이는 현상에 대한 지각을 말하며, 평행이동은 관찰자의 머리가 움직이면 관찰점에서 가까운 곳에 있는 물체는 투사면에 대하여 먼 곳에 있는 물체보다 상대적으로 많이 움직이는 현상에 대한 지각을 말한다. 겹침이란 가까운 곳에 있는 물체가 멀리 있는 물체를 가리는 현상에 대한 지각이며, 초점적응이란 다른 거리에 놓여있는 물체를 보기 위해서는 눈의 근육에 걸리는 근 장력의 차이가 달라지는 현상에 대한 지각을 말한다.

양안(binocular)을 이용하여 물체를 바라보면 상기한 단안에 의한 지각이외에도 양안의 수렴 각에 의하여 망막 상의 투사위치가 달라지는 현상이 발생한다. 즉, 관찰자와 물체와의 거리에 따라 물체가 투사되는 눈의 망막의 위치가 달라지게 된다. 단안에 의한 지각은 3 차원 거리감을 제공하지만 매우 약한 지각만을 제공한다. 반면에 인간의 두뇌와 눈의 조직체계는 두 눈에서 각각 생성되는 두 개의 서로 다른 화상들을 융합하여 사용하기 때문에 양안에 의한 지각은 매우 강력한 3 차원 거리감의 지각을 제공한다.

위에서 설명한 양안을 이용한 지각 특성 중, 특히 두 눈 사이의 거리 때문에 발생하는 양쪽 눈에 들어오는 시각정보의 불일치를 이용하는 방법을 스테레오그래피(stereography)라고 하며, 스테레오그래피를 구현하기 위한 스테레오영상을 생성하는 여러 가지 기술적 방법이 제안되고 있다.

### 2.3 기존의 스테레오영상 생성방법

일반적인 3 차원 그래픽 이미지는 컴퓨터 내에서 Fig.

1 과 같은 그래픽 파이프라인(graphics pipeline)을 거쳐서 생성된다. Fig. 1 의 응용명세 프로세싱(application specific processing)은 사용자가 응용 프로그램을 이용하여 3 차원 모델을 조작하거나 움직이는 작업에 해당한다. 이때 사용자가 선택하는 모델, 조명, 배경 등의 변화에 따라 장면(scene)이 변화한다. 각각의 변화는 장면의 구체적인 정보가 담겨있는 장면 그래프(scene graph)에 저장된다. 장면 그래프는 장면을 정의하기 위한 모델, 조명, 사운드 등의 모든 정보가 담겨있는 그래프 구조의 데이터이다. 장면 프로세싱(scene processing)은 실제 3 차원 장면을 화면에 나타내기 위한 작업으로 장면 그래프로부터 필요한 정보를 읽어서 필요 없는 폴리곤을 생성하지 않도록 추려내거나(culling), LOD(Level of Detail) 등의 작업을 하고, 최종적으로 3 차원 폴리곤들의 집합을 만들어낸다. 폴리곤 프로세싱(polygon processing)은, 폴리곤 집합들을 2 차원의 모니터 화면상에 디스플레이하기 위한 작업을 수행한다. 즉, 3 차원 폴리곤을 투영(projection)하여 2 차원 폴리곤으로 변형한다. 이때, 조명에 의한 밝기나 물체의 질감 등의 정보가 계산된다. 픽셀 프로세싱(pixel processing)은, 최종적으로 화면에 디스플레이 되는 영상의 각 픽셀의 컬러정보를 생성한다. 즉, 2 차원 폴리곤과 색상정보를 이용하여, 텍스처링(texturing), 블렌딩(blending), 및 anti-aliasing 등의 작업들을 통해 왼쪽 눈에 대한 2 차원 이미지의 각 픽셀의 컬러정보를 프레임 버퍼(frame buffer)에 저장한다. 또한, 물체의 원근에 따른 효과를 위하여, Z-버퍼링(Z-buffering)작업을 수행하여 각 픽셀에 대한 거리정보를 Z-버퍼(Z-buffer)에 저장한다.

일반적인 그래픽 파이프라인에서는 물체를 표현하기 위하여 위와 같은 4 가지 과정들을 거쳐야 하며, 스테레오영상을 위해서는 두 눈에 필요한 두 개의 영상을 필요로 한다.

종래의 스테레오영상 생성방법은 하나의 물체(또는 scene graph)를 왼쪽 눈과 오른쪽 눈 각각에 대하여 렌더링을 수행하여 독립된 두개의 이미지를 생성하는 방법을 사용하였다.

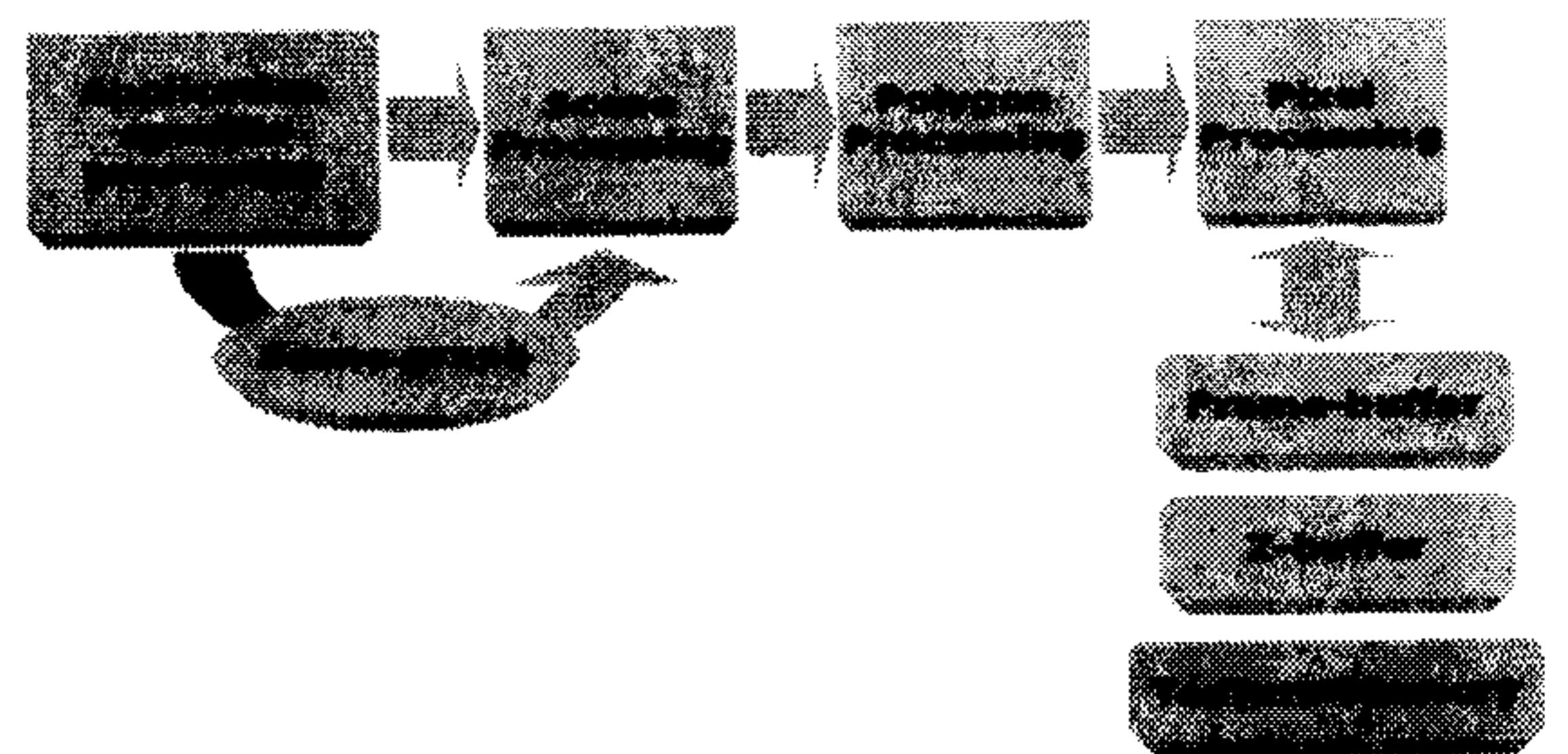


Fig. 1. Computer graphics pipeline

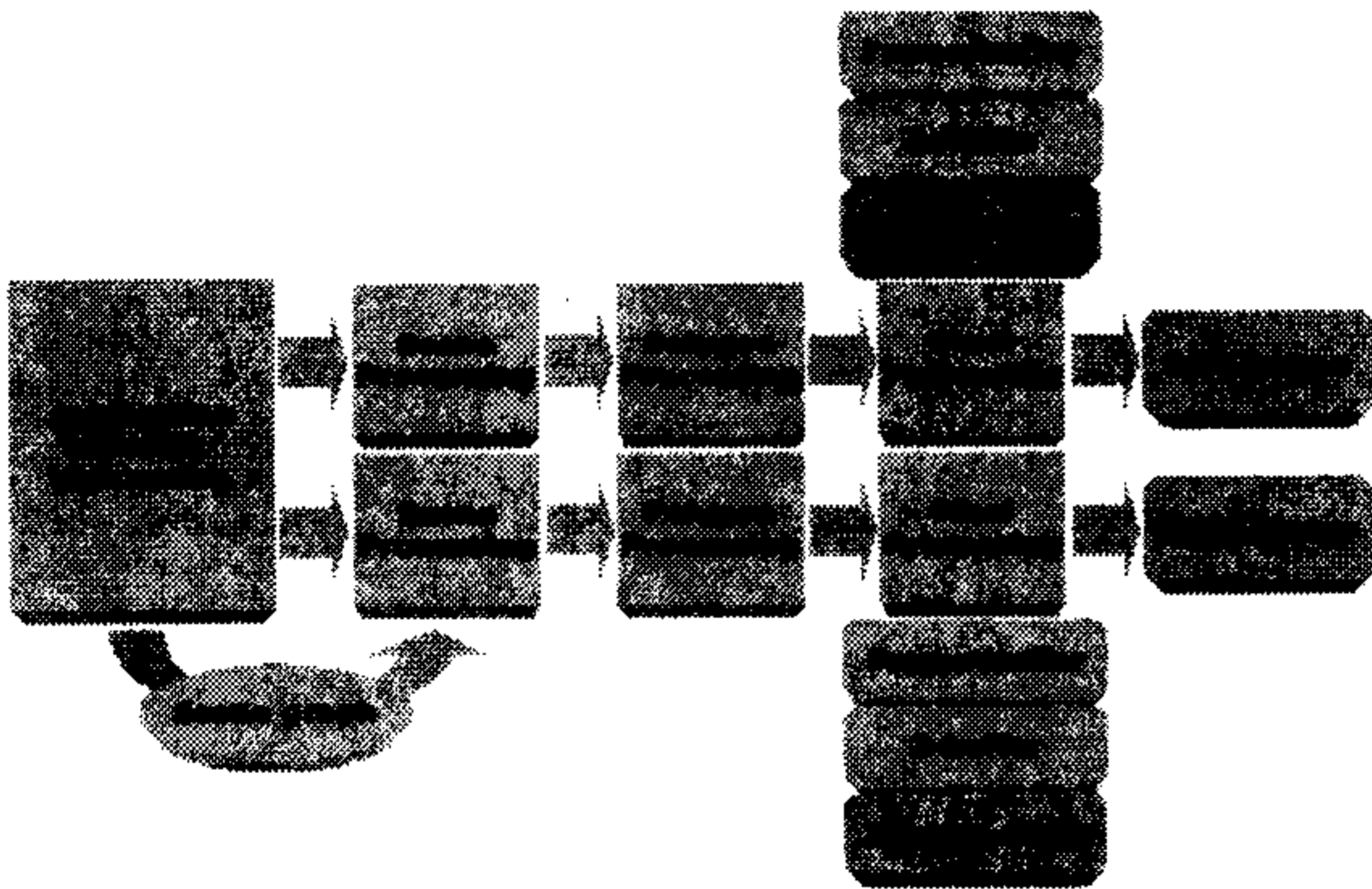


Fig. 2. Graphics pipeline for conventional stereography

즉, Fig. 1 과 같은 일반적인 그래픽 파이프라인이 병렬로 2 개 존재하는 이중 그래픽 파이프라인(double graphics pipeline)을 이용하거나, 시간을 나누어 순차적으로 한번은 왼쪽 눈에 대한 이미지를, 한번은 오른쪽 눈에 대한 이미지를 렌더링 하여야 한다. 전자의 경우는 Fig. 2 와 같이 하드웨어적으로 독립된 2 개의 그래픽 파이프라인이 필요하기 때문에 고가의 하드웨어를 사용해야 하며, 후자의 경우는 Fig. 1 과 같은 일반적인 그래픽파이프라인을 이용할 수도 있지만 렌더링 속도가 반감하는 효과가 있고, 동시에 두 이미지를 생성하지 못하기 때문에 추가적인 장치가 필요하다.

위와 같이 컴퓨터 상에서 입체영상을 생성하기 위해서는 3 차원 물체를 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 필요한 두 개의 이미지를 생성하며, 이를 위하여 입체투영뿐만 아니라 최종적으로 컴퓨터 화면에 보이는 이미지에 이르기까지의 과정을 모두 두 번씩 수행해야 한다. 현재의 3 차원 스테레오영상 생성방법은 모두 이러한 과정을 거치며 따라서 일반적인 영상에 비하여 컴퓨터의 계산시간이 두 배로 필요하기 때문에, 3 차원 시뮬레이션이나 애니메이션에서 입체영상을 사용하는데 큰 제약이 되고 있다.

### 3. Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법

본 논문에서 새롭게 제안하는 스테레오영상 생성방법은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 종래의 스테레오영상 생성방법이 두 눈에 필요한 두 개의 이미지를 각각 렌더링 하여 얻는 것과는 달리, 한번의 렌더링으로 하나의 이미지를 얻은 후, 적은 계산량만으로 나머지 하나의 이미지를 추가적으로 생성한다.

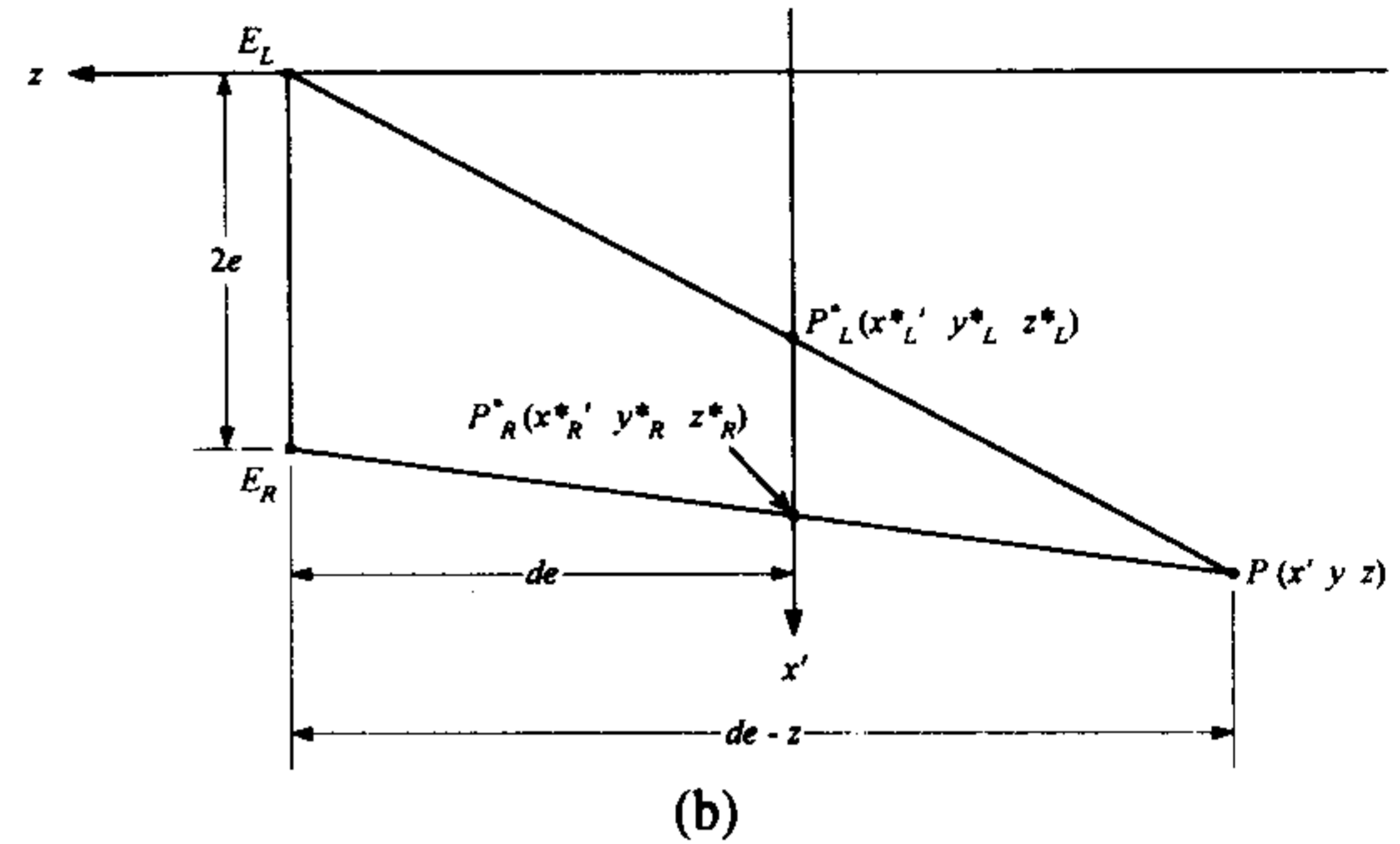
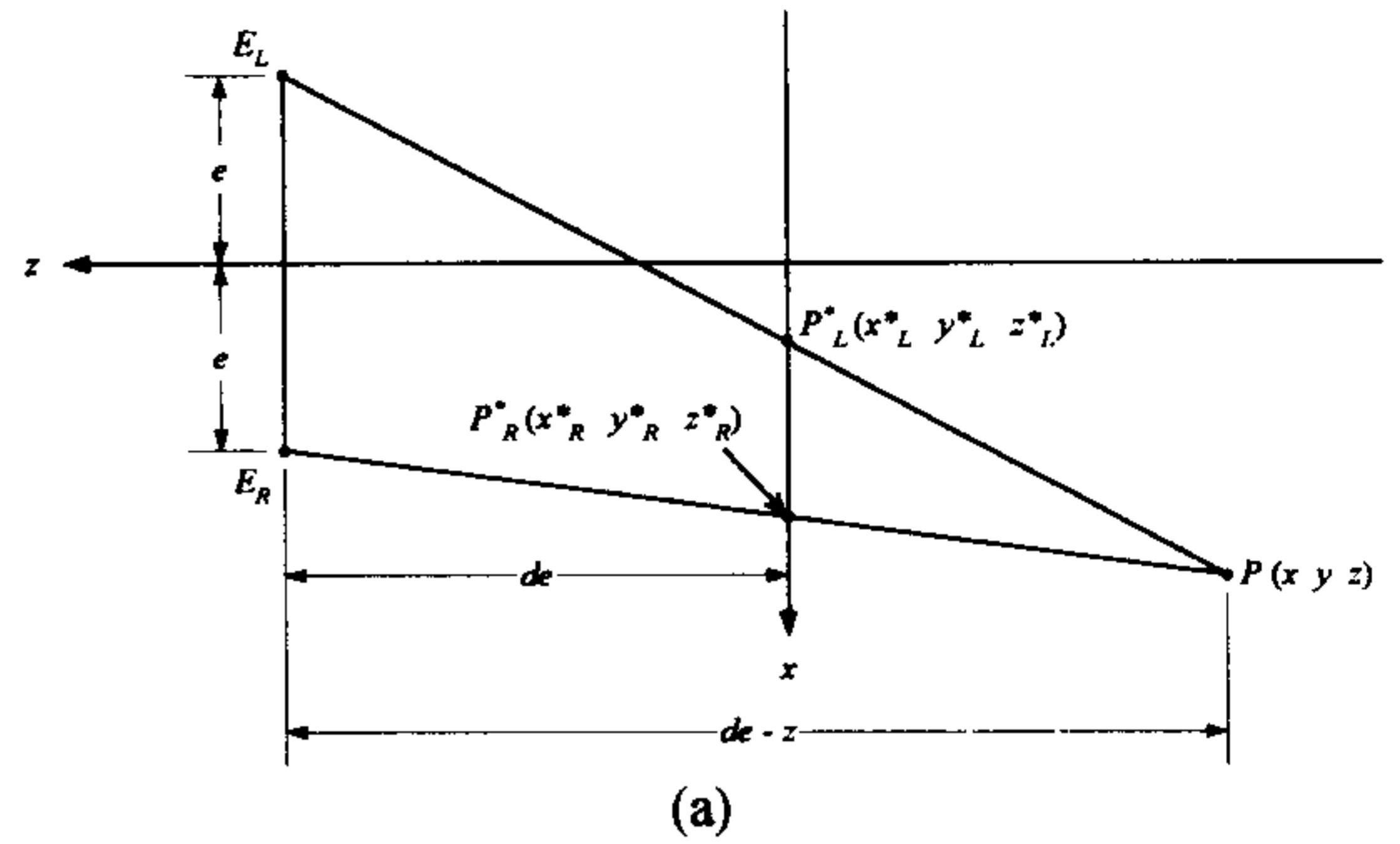


Fig. 3. Projection

먼저, 두 눈에 대한 두개의 이미지들 사이의 관계식을 도출하기 위하여 2 차원 평면 이미지의 투영과정을 살펴보면 다음과 같다. Fig. 3-a는  $y = 0$  평면 위에 있는 점  $P(x, y, z)$ 를 왼쪽 눈( $E_L$ ) 과 오른쪽 눈( $E_R$ )에 대하여 투영한 것을 도시한 것이다. Fig. 3-b 와 같이 왼쪽 눈( $E_L$ )의 시점이 Z 축 상에 오도록 투영중심을 이동하면, 삼각형의 비를 이용하여 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

<수식 1>

$$\frac{x_L^*}{d_e} = \frac{x'}{d_e - z}$$

<수식 2>

$$x_L^* = \frac{x'}{1 - z/d_e} = \frac{x'}{1 + rz}$$

$$r = -1/d_e$$

또한, 오른쪽 눈의 시점에 대하여도 같은 방법으로 다음의 관계를 얻을 수 있다.

<수식 3>

$$\frac{x_R^*}{d_e} = \frac{x''}{d_e - z}$$

<수식 4>

$$x_R^* = \frac{x''}{1-z/d_e} = \frac{x''}{1+rz}$$

이때 양쪽 눈의 y 좌표는 동일하므로 y 에 대하여는 다음의 관계를 갖는다.

<수식 5>

$$y^* = \frac{y}{1-z/d_e} = \frac{y}{1+rz}$$

Fig. 3-a 와 3-b 의 관계로부터 수식 2, 4, 5 는 다음과 같이 변형할 수 있다.

<수식 8>

$$x_L^* = \frac{x+e}{1-z/d_e}$$

<수식 9>

$$x_R^* = \frac{x-e}{1-z/d_e}$$

<수식 10>

$$y^* = \frac{y}{1-z/d_e}$$

이렇게 얻은 수식 8, 9, 10 은 각각 투영평면상의 좌표를 의미한다. 수식 8 과 9 를 정리하면  $x_L^*$  과  $x_R^*$  에 대하여 다음의 관계를 얻을 수 있다.

<수식 11>

$$x_R^* = \frac{x-e}{1-z/d_e} = \frac{x+e}{1-z/d_e} - 2\frac{e}{1-z/d_e} = x_L^* - 2\frac{e}{1-z/d_e}$$

<수식 12>

$$x_L^* = \frac{x+e}{1-z/d_e} = \frac{x-e}{1-z/d_e} + 2\frac{e}{1-z/d_e} = x_R^* + 2\frac{e}{1-z/d_e}$$

이는 투영평면상의 왼쪽 눈의 이미지와 오른쪽 눈의 이미지 사이의 각 픽셀의 좌표 사이의 관계를 의미한다. 따라서, 만약 왼쪽 눈에 사용될 이미지의 정보를 알고 있다면 수식 11 과 같이 오른쪽 눈에 사용될 이미지상의 좌표는, 각 픽셀의 Z 축 방향 거리정보 z 와, 왼쪽 눈에 사용된 이미지의 좌표로부터 두 눈 사이의 거리의 반에 해당하는 불일치도 e, 그리고 시점에서 투영평면까지의 거리에 해당하는  $d_e$  만 알고 있으면 쉽게 계산해 낼 수 있다.

위에서 설명한 바와 같이 두 눈 사이의 거리에 의하여 발생하는 두 개의 이미지의 차이는 x 축 방향으로만 나타나기 때문에 수식 11 의 계산은 이미지의 한 행에 해당하는 픽셀에 대하여 계산하고 이를 각 행에 대하여 반복함으로써 계산을 완료할 수 있다.

왼쪽 이미지로부터 오른쪽 이미지를 얻는 것은 바꾸어 말하면 오른쪽 이미지의 각 픽셀의 컬러 정보를 얻어 내는 것이라고 할 수 있다. 즉 왼쪽 이미지의 컬러 정보를 오른쪽 이미지에 매핑하는 문제가 된다. 이 컬

러 정보는 다음과 같은 방법으로 얻는다.

수식 11 을  $x_L^*$  에 대하여 다시 정리하면 다음과 같다.

<수식 13>

$$x_L^* = x_R^* + 2\frac{e \times d_e}{d_e - z}$$

오른쪽 이미지의 각 픽셀의 좌표에 해당하는  $x_R^*$  의 컬러 정보를 얻기 위하여 수식 13 을 이용하여 반대로 원본 이미지의 좌표  $x_L^*$  을 계산한다.

계산한  $x_L^*$  로부터  $x_R^*$  의 컬러 정보를 계산한다. 각 픽셀의 좌표는 정수이기때문에 수식 14 와 같은 방법으로 보간을 하여 이미지의 질을 높인다. 여기서  $C_{x_R}$  은  $x_R^*$  픽셀의 컬러 정보,  $C_{x_L}$  은 계산한  $x_L^*$  을 정수화한 왼쪽 이미지의 좌표에 해당하는 픽셀의 컬러정보, 그리고  $C_{x_{L+1}}$  은 그 다음 픽셀의 컬러 정보 이다.

<수식 14>

$$C_{x_R} = (1-a)C_{x_L} + aC_{x_{L+1}}$$

$$a = x_L^* - \text{int}(x_L^*)$$

위의 두 과정을 요약하여 설명하면 렌더링 하여 생성한 왼쪽 이미지(원본 이미지)로부터 오른쪽 이미지를 생성하기 위하여, 오른쪽 이미지의 각 픽셀에 대한 컬러 값을 왼쪽 이미지로부터 얻어내는데, 그 방법은 새로 만들어낸 오른쪽 이미지의 각 픽셀에 대하여 수식 13 을 이용하여 대응되는 원본 이미지의 픽셀을 찾아낸 후 수식 14 를 이용하여 원본 이미지의 대응되는 픽셀의 컬러 값을 보간 하여 구하고자 했던 오른쪽 이미지의 컬러 값으로 사용한다. 이 방법을 오른쪽 이미지의 각 픽셀에 대하여 반복하여, 이미지의 한 행(픽셀 단위)에 대하여 계산이 끝나면 다음 행을 계산한다.

이와 같은 방법을 이용하여 입체 영상을 구현 하기 위해서는 위에서 설명한 두 가지의 계산이 현재 사용되고 있는 컴퓨터의 그래픽 파이프라인에 추가되면 가능하다. 이를 그래픽 파이프라인 형태로 표현하면 Fig. 4 와 같다.

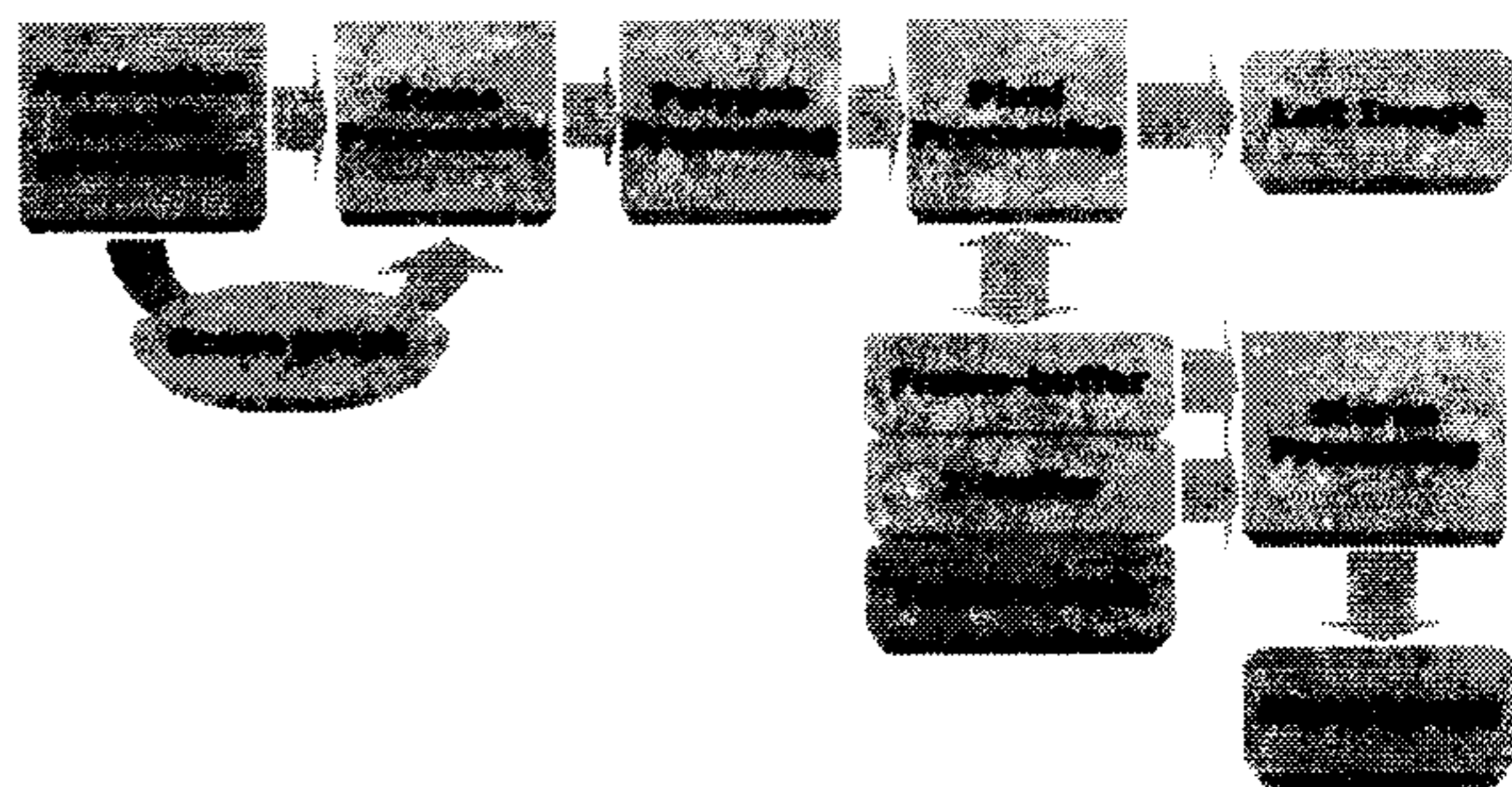


Fig. 4. Graphics pipeline for new Z-buffer method

Fig. 4 의 stereo processing 은 위에서 설명한 오른쪽 이미지를 얻기 위한 추가 계산과정을 나타낸다. Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법은 이와 같이 하나의 그래픽 파이프라인과 간단한 추가계산만을 이용하기 때문에 저 비용의 하드웨어로도 높은 효과를 얻을 수 있다.

#### 4. 실험 및 결과

위에서 설명한 Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성 방법을 실제로 컴퓨터에 적용하여 이용하기 위해서는 Fig. 4 와 같이 하드웨어적으로 그래픽 파이프라인에 stereo processing 과정이 추가되어야 한다. 그러나 우선 하드웨어적인 구현에 앞서 추가적인 계산 부분을 소프트웨어적으로 구현하는 것이 가능하기 때문에 본 논문에서는 stereo processing 을 소프트웨어 적으로 구현하여 Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법을 실험하였다.

실험을 위하여 Intel 기반의 일반 PC 와 SGI사의 O2 를 사용하였으며, 실험에 사용된 하드웨어 및 소프트웨어의 사양은 다음과 같다.

	Intel PC	SGI O2
OS	MS Windows 2000	IRIX 6.3
Compiler	MS Visual C++	MIPSpro C++
Library	OpenGL	
Graphics H/W	nVidia RIVA TNT, Geforce2 GTS	SGI O2

Stereo processing 과정을 소프트웨어 적으로 계산하기

위하여 일반적인 렌더링 과정을 통해 생성한 원본 이미지(왼쪽 이미지)의 color buffer 와 depth buffer 의 정보를 읽어 추가적인 계산을 통해 오른쪽 이미지에 사용할 color buffer 의 값을 생성한다. 원본이미지의 각 버퍼의 정보를 읽기 위하여 OpenGL 의 ReadPixel 함수를 사용하였고, 추가적인 계산을 통하여 얻은 결과로 오른쪽 이미지를 생성하기 위하여 DrawPixel 함수를 사용하였다.

Fig. 5 는 가장 기본적인 실험을 위하여 사용한 cubic test 이다. Fig. 5-a 는 원본 이미지(Fig. 5-b)의 depth buffer 의 정보를 읽어 가시화 한 것이다. 이를 이용하여 stereo processing 을 거친 오른쪽 이미지는 Fig. 5-c 와 같다.

Fig. 6 은 주전자 모델을 이용하여 동일한 실험을 한 결과로 6-a 는 Microsoft Windows 환경에서의 실험 결과이며, 6-b 는 SGI IRIX 환경에서의 실험 결과이다.

Fig. 7 은 원본 이미지와 stereo processing 한 이미지를 비교하기 쉽도록 처리한 것이다. 이와 같이 생성한 스테레오 영상은 HMD 를 이용하여 실제 사용자가 입체감을 느낄 수 있는지 실험해 보았고, 기존의 스테레오 영상 생성방법과 동일한 수준의 입체감을 느낄 수 있었다.

기존의 스테레오영상 생성방법과 성능을 비교하기 위해서는 스테레오영상의 품질과 계산량, 계산시간 등을 비교하여야 하지만, 본 논문에서 수행한 실험은 논문에서 제안하고 있는 Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법을 검증하기 위한 것으로 소프트웨어 수준의 실험이기 때문에 정확한 계산량과 계산시간의 비교는 불가능 하였다.

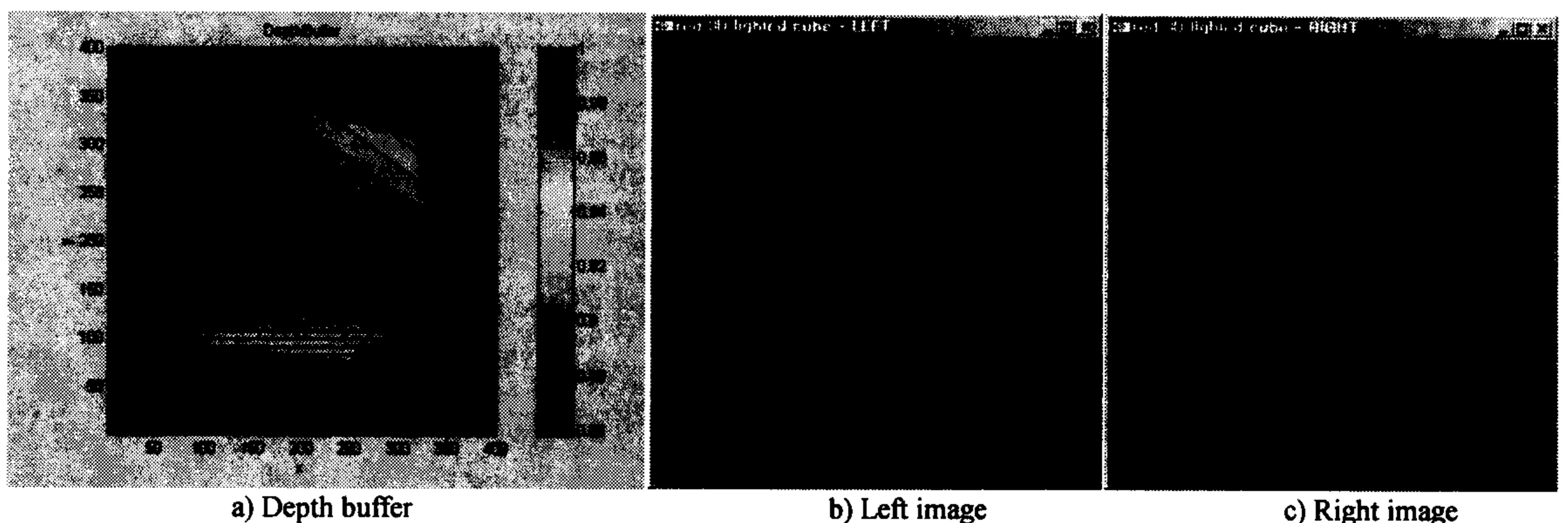


Fig. 5. Result of cubic test

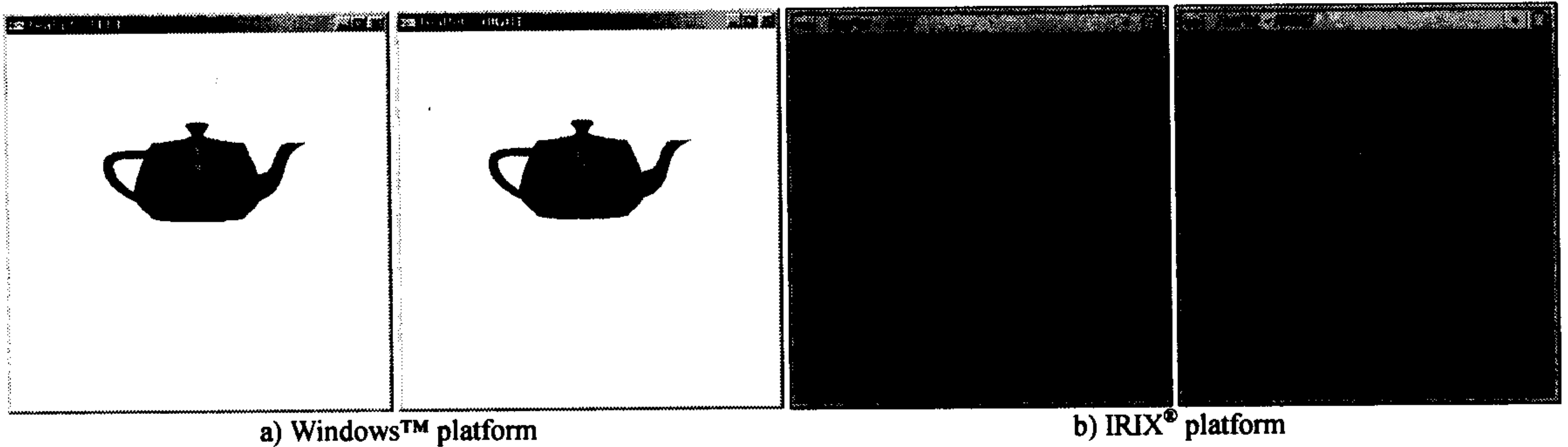


Fig. 6. Result of teapot test

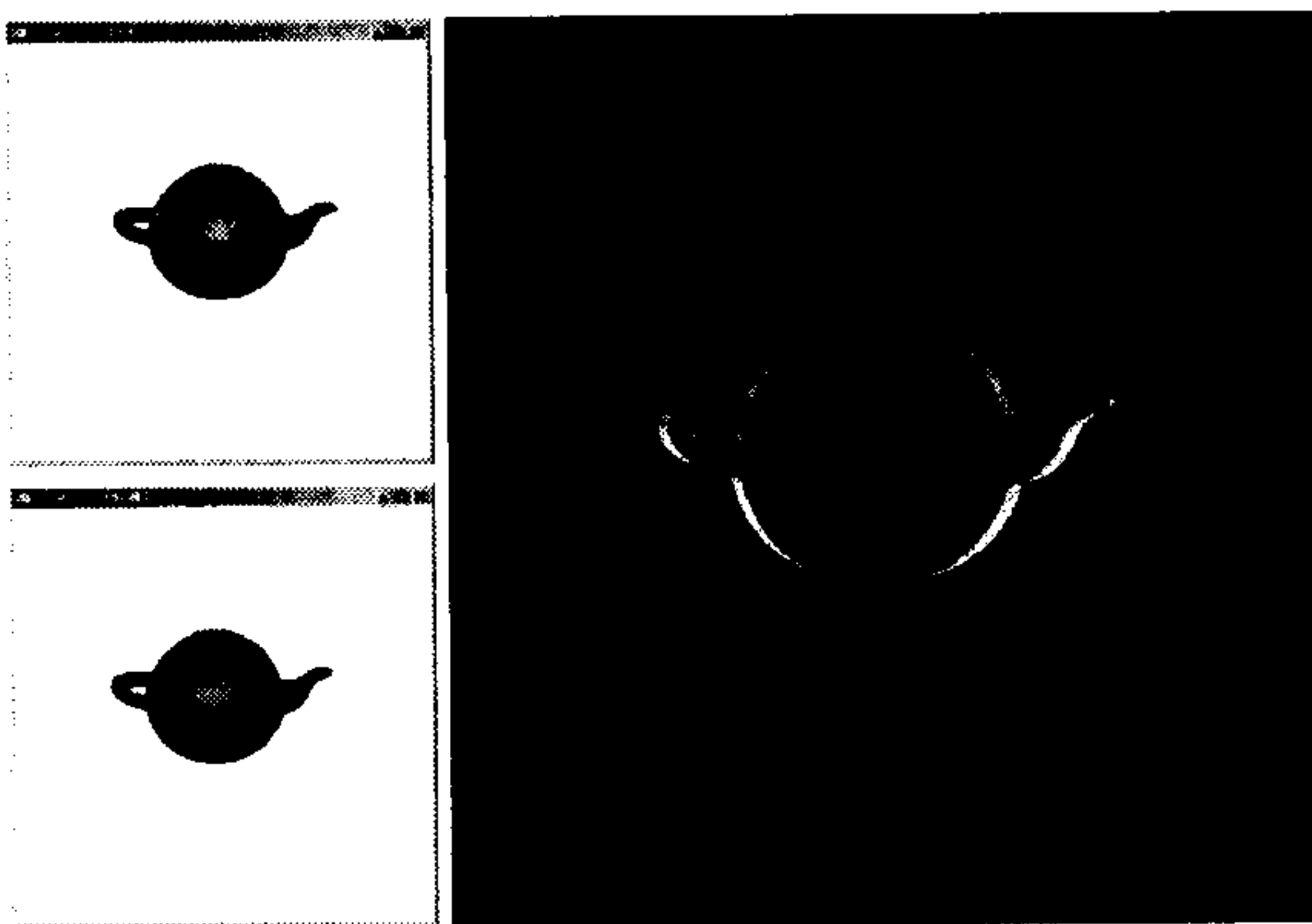


Fig. 7. Teapot test and result of image processing

### 5. 결론

이상과 같이 본 논문에서 제안한 Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법에 의하면, 3 차원 모델을 일반적인 영상 생성방법에 적용하여 하나의 이미지를 생성하고, 이 이미지를 stereo processing 과정에 적용하여 또 다른 하나의 이미지를 생성하여, 두 개의 이미지를 이용하여 스테레오영상을 만든다. 따라서, 기존의 스테레오영상 생성방법은 일반 영상을 생성하는 것과 비교하여 두 배의 계산량을 필요로 하지만, 본 논문에서

제안하고 있는 방법은 간단한 계산식을 통하여 나머지 하나의 이미지를 쉽고 빠르게 생성할 수 있기 때문에, 컴퓨터의 성능을 두 배로 늘리지 않고서도 입체영상을 쉽고 빠르게 생성할 수 있는 효과가 있다.

본 논문에서 수행한 연구의 결과는 소프트웨어적인 실험과 검증에 국한된 것으로, 향후 추가적인 실험 및 검증과 하드웨어적인 연구가 계속될 것이다.

본 논문에서 제안한 Z-버퍼를 이용한 스테레오영상 생성방법은 현재 한국(99-51079), 미국, 일본과 독일에 특허 출원을 완료하였다.

### 참고문헌

1. Rogers, D.F. and Adams, J.A., Mathematical elements for computer graphics, Second edition, McGraw-Hill, pp.187-195, 1990
2. Foley, J.D., Dam, A., Feiner, S.K. and Hughes, J.F., Computer graphics principles and practice, Addison-Wesley, pp.668-813, 1996
3. Anand, V.B., Computer graphics and geometric modeling for engineers, John Wiley & Sons, 1993
4. Kalawsky, R.S., The science of virtual reality and virtual environment, Addison-Wesley, 1993
5. Lavroff, N., Virtual reality playhouse, Waite group press, 1992
6. Stereo3D.com, <http://www.stereo3d.com>