

삼중 프렌넬 렌즈 시스템에서 재생된 입체부양영상의 올바른 깊이감을 구현하기 위한 시차보정 방법에 대한 연구

이광훈^{1,2} · 김수호 · 윤영수

¹건국대학교 생명환경대학 신기술융합학과
Ⓣ 143-701 서울시 광진구 화양동 1번지

김성규[†]

²3D-display lab. 한국과학기술연구원 영상미디어센터
Ⓣ 136-791 서울시 성북구 하월곡동 39-1

(2007년 6월 15일 받음, 2007년 8월 24일 수정본 받음)

부양영상시스템은 광학계를 통하여 입력영상 또는 물체의 상을 표시소자의 최종면으로부터 떨어진 특정 공간 내에 재생하는 장치이다. 재생된 입력영상은 표시소자와 관찰자 사이의 공간상에 위치하며 관찰자에게 가상의 입체효과를 제공한다. 입체부양영상시스템은 입체영상 및 입체상을 입력영상으로 하여 재생된 부양영상 내에 돌출 및 후퇴방향의 입체효과를 부과하여 기존의 입체영상 표시소자보다 효과적인 깊이감을 제공한다. 일반적으로 입체영상으로 쓰이는 입력영상의 크기 및 시차량은 광학계를 통하지 않는 입체영상 표시소자에 최적화 되어 있다. 따라서 광학계를 통하여 입체상을 재생할 경우, 관찰자에게 재생된 입력영상의 크기 및 시차량은 광학계의 최종배율에 따라 축소 또는 확대된다. 그러나 관찰자와 디스플레이의 최종 면 사이의 관찰거리는 불변이므로 광학계를 통하여 재생된 입체부양영상은 관찰자에게 최종배율과 다른 깊이감을 제공한다. 본 논문은 삼중 프렌넬 렌즈로 이루어진 광학계에서 입체부양영상용 입력영상의 시차량을 광학계의 최종배율에 비례하도록 보정하고, 관찰자에게 올바른 깊이감을 제공하는 방법 및 결과를 제시하였다. 이 광학계는 부양영상의 부양 심도 및 영상의 질 향상을 위하여 사용되었고, 입력영상으로는 19인치 무안경식 입체영상 표시소자를 통하여 재생된 입체영상이 사용되었다.

주제어 : Floating image system, Correct 3D depth, Compensated disparity

I 서 론

2D 디스플레이 기반의 입체영상시스템은 표시면을 기준으로 전, 후방의 입체감을 제공하지만, 표시면 후방의 깊이감에 대한 임장감은 관찰자가 직접 체험할 수 없다는 단점이 있다. 입체부양영상시스템은 기존의 2D 기반의 입체영상시스템의 단점을 보완할 수 있는 것으로서, 부양영상시스템과 입체영상시스템을 접목하여 관찰자에게 가상의 입체감 및 전, 후방의 입체감을 함께 제공하여 보다 실질적인 임장감을 제공한다. 더불어 사용자의 선택에 따라 2D 및 3D 영상정보를 선택적 또는 동시에 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다.^[1-3] 이러한 장점은 교육, 문화, 오락, 과학 및 의학분야 전반에 대한 효과적인 적용이 가능하다. 본 논문에서 논의될 입체부양영상시스템은 부양영상시스템과 양안시차 방식의 입체영상시스템으로 구성되어 있다. 부양영상시스템은 삼중 프렌넬 렌즈의 조합으로 이루어진 광학계로 구성되어 있으며, 입력된 영상 또는 실 물체를 관찰자와 표시소자 사이의 공간 내에 재생하여 관찰자에게 가상입체효과를 제공한다. 입체영상시스템은 스테레오영상이 정합된 시차영상을 통하여, 시차량

조절에 따른 전, 후방의 깊이감을 제공한다. 따라서 관찰자는 공간상에 부양된 영상으로 가상의 입체효과 및 전, 후방의 입체감을 함께 제공받아 기존의 입체영상시스템보다 효과적이고 체험적인 임장감을 얻을 수 있다.^[2-3]

시차영상내의 시차량은 영상으로부터 구현하고자하는 재생상의 깊이감을 정의한다. 기존 2D 기반의 시차영상은 광학계를 사용하지 않는 입체영상표시소자에 최적화 되어 있다. 이에 입체부양영상시스템을 통해 재생된 기존의 시차영상 및 시차영상내의 시차량은 사용된 광학계의 렌즈의 거리 조합 및 굴절능에 따라 그 크기가 축소 또는 확대된다. 그러나 축소 또는 확대된 시차영상으로부터 재생된 입체부양영상의 깊이감은 광학계의 배율과 같지 않다. 따라서 기존의 시차영상을 입력영상으로 사용할 시, 입체부양영상시스템으로부터 재생된 입체부양영상은 사용된 광학계의 단순 배율에 비례하지 않는 시차량으로 인하여 관찰자에게 왜곡된 깊이감을 제공한다.

본 논문은 광학계가 적용된 입체부양영상시스템으로부터 재생된 부양영상의 왜곡된 깊이감에 대한 문제점을 해결하고, 사용자에게 정확한 깊이감을 제공하는 시차량보정방법을 제시하였다. 입체부양영상시스템을 통한 재생상에서, 왜곡된 깊이감에 대한 원인으로는 렌즈에 의한 왜곡수차를 들 수 있겠지만 본 논문에서는 시차량 보정을 통한 왜곡된 깊이감을

[†] E-mail: geniuspb@kist.re.kr

보정하는데 중점을 두었다. 렌즈에 의한 왜곡수차는 렌즈간 최적의 거리 조합으로 해결하였다. 본 논문에 사용된 입체부양영상시스템은 평면-블록면의 프레넬렌즈가 삼중 조합된 광학계 및 편광안경 방식의 입체영상시스템으로 구성되었고, 입력영상용 시차영상은 두대의 카메라로부터 얻어진 좌, 우 영상을 각각 홀수 짝수행으로 나누어 제작되었다.

II 이 론

1. 부양영상 시스템

부양영상시스템의 원리는 입력된 입체영상 또는 입체상을 광학계를 통하여 관찰자와 표시소자 사이의 공간내에 재생시키는 것으로서 관찰자에게 가상입체효과를 제공한다.^[4] 이때, 재생된 출력영상을 부양영상이라 한다. 입체부양영상시스템의 근간을 이루고 있는 부양영상시스템의 모식도는 그림 1과 같다.

이론적 접근 방법으로는 사용 렌즈 수에 따른 기하적 모델을 세우고 근축렌즈 방정식을 사용하여 각 렌즈에 따른 물체

거리 및 상거리(깊이), 배율, 시야각, 시거리 등의 이론적 결과값을 도출하였다.^[5] 부양영상 시스템의 모든 구성요소들은 광축을 중심으로 회전대칭형 소자들이라 가정하였고, 광축은 각 소자들의 중심을 잇고 관찰자의 방향으로 진행되는 중심선이라 정의하였다. 각 소자들은 또한 광축과 수직인 형태로 정렬되어 있고, 부양영상 시스템에 사용된 모든 프레넬 렌즈는 모두 근축방정식을 만족한다고 가정하여 이론을 전개하였다. 그림 2는 삼중 프레넬 렌즈가 적용된 시스템의 구성을 나타낸다.

부양영상시스템의 기하모델을 세우기 위하여 입력된 물체의 크기(y_0), 물체거리(s_{ok}), 부양영상의 크기(y_{ik}), 부양영상의 부양깊이(s_{ik}), 사용된 렌즈의 굴절능(f_k), 렌즈간 거리(W_k), 시야각(VA_k) 및 시야거리(VD_k)의 구속조건들을 고려하였다. 본 논문에서 사용된 시야각은 재생된 입체부양영상이 관찰자의 위치에서 좌우 눈에 모두 들어갈 수 있는 각으로 정의된다. 관찰거리는 입체부양영상시스템의 최종면으로부터 재생된 영상의 시야각을 만족할 수 있는 관찰자와의 최소거리로 정의된다. 식 (1), (2)는 이중렌즈 시스템을 기본으로 렌즈 수의

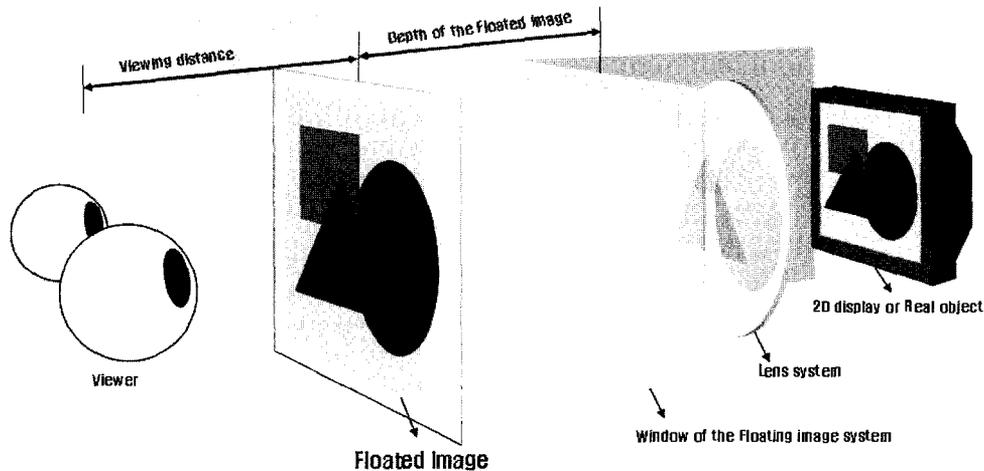


그림 1. 부양영상시스템의 모식도.

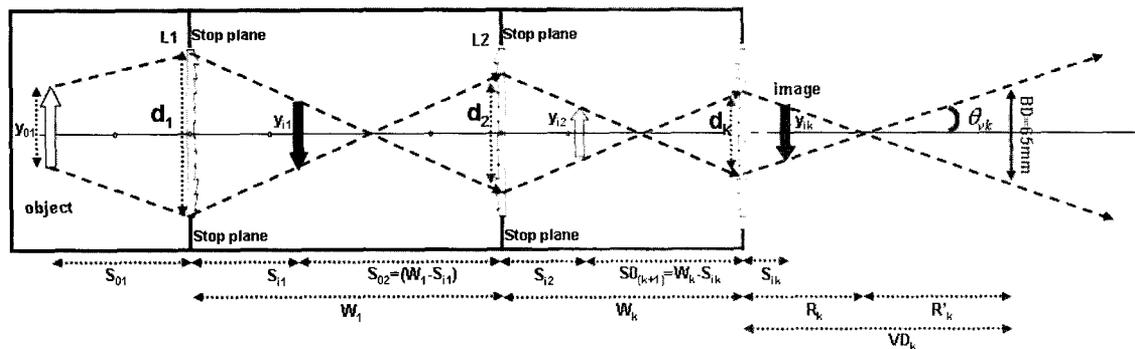


그림 2. 삼중렌즈가 적용된 부양영상 시스템의 구성.

확장에 대한 근축방정식의 일반화이다. 식 (1)의 물리적 의미는 다음과 같다. 부양된 영상의 부양 깊이는 k-1번째 렌즈에 의해 결상된 영상의 위치는 k번째 렌즈의 입장에서는 입력되는 물체의 위치가 된다. 따라서 연속적인 관계에 의해 최종 렌즈를 통해 결상된 영상의 상거리가 최종 부양영상의 깊이가 된다. 밀접자 k는 2 이상이고, 이를 포함한 변수는 렌즈수의 증가에 따른 각 구속조건들을 나타낸다. 근축방정식을 사용하여 부양영상에 대한 부양깊이, 시야각, 시야거리를 식 (1)에 정리하였다. 식 (2)는 렌즈수에 따른 재생된 부양영상의 크기 및 관찰거리에 대한 유도식이다. d는 각 물체의 끝광선이 프레넬렌즈를 통과하는 크기이다.

$$s_{ik} = \frac{s_{ok} f_k}{s_{ok} - f_k}$$

$$VA_k = 2\theta_{vk}$$

$$VD_k = R_k + R'_k \tag{1}$$

s_{o1}, y_{o1}, d_1 : 초기값.

f_k, W_k : 상수값

$$d_k = \left| \frac{d_{(k-1)}(W_{(k-1)} - R_{(k-1)})}{R_{(k-1)}} \right|$$

$$y_{o(k+1)} = y_{ik} = - \frac{\left(\frac{s_{ok} f_k}{s_{ok} - f_k} \right) y_{i(k-1)}}{s_{ok}}$$

$$R_k = \frac{s_{ik} d_k}{d_k + y_{ik}}$$

$$R'_k = \frac{BD}{2 \tan \theta_{vk}} \tag{2}$$

2. 편광안경식 입체부양영상시스템

본 연구에 사용된 입체부양영상시스템은 구성이 비교적 단순하고 입체효과가 뛰어나며 입체시역의 제한이 없는 편광안경방식이 사용되었다. 부양영상 시스템에 편광안경식 양안시차용 입체영상을 정합하여 입체부양영상 시스템을 구현하였고 모식도는 그림 3과 같다. 사용된 입체영상은 양안시차를 이용한 좌우 분리형 시차영상이다.

2.1 입체영상 구현

좌우 이미지로 분리된 물체에 대한 위치정보는 양안시차방식의 입체영상 디스플레이로부터 구현 될 수 있도록 한 장의 통합된 이미지로 제작되어야 한다.^[6] 융합된 영상을 시차영상(stereogram)이라 한다. 시차영상의 구성방법은 디스플레이의 화면을 1/2로 분할하여 각각 획득된 좌우 이미지를 통합시키는 방법과, 디스플레이의 수직 주사선을 교대로 한 행씩 좌, 우 분리된 이미지 정보를 주입시키는 방법이 있다. 본 연구에 사용되었던 방법은 획득된 좌우 이미지를 수직 주사선이 교차하며 입체영상을 이루는 방법이다. 그림 4는 시차영상을 통해 물체의 좌표를 얻는 모식도이다. 그림 4에 사용된 기호 및 문자의 의미는 다음과 같다.

Base Distance(BD) : 관측자의 두 눈 사이의 이격거리

$\vec{C}'_{l,r}$: 관측자의 좌우 눈의 위치

$\vec{P}'_{l,r}$: 융합된 입체영상내의 동일 물체점에 대한 좌우 사영점

\vec{O}' : 재생된 물체점

시차영상으로부터 추출할 수 있는 물체점의 위치는 그림 6과 같은 모식도를 통하여 얻을 수 있다. 시야거리(Viewing distance)는 디스플레이 면과 관측자와의 거리이다. 물체점의 위치는 관측자의 두 눈의 좌표와($\vec{C}'_{l,r}$) 시차영상내의 좌표

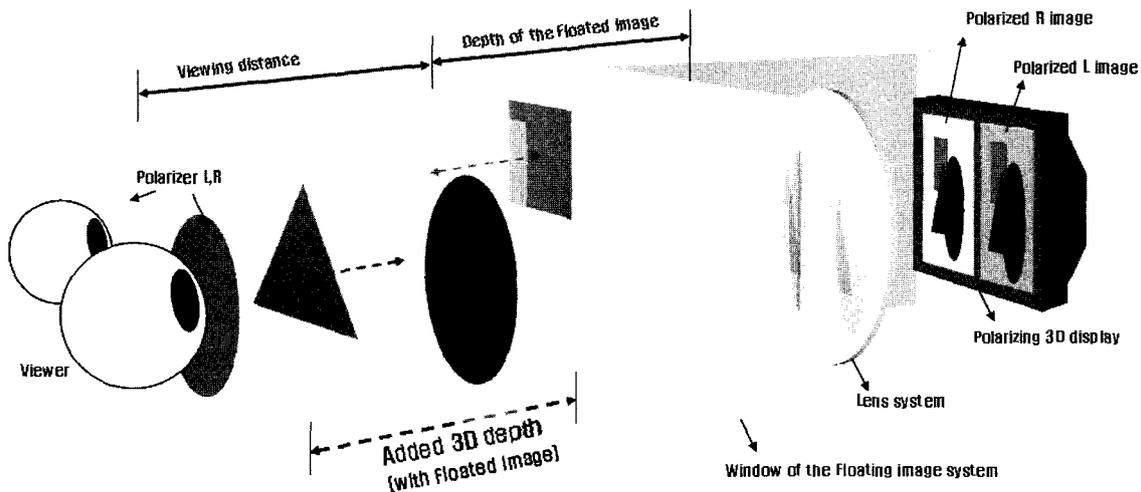


그림 3. 편광안경방식 입체부양영상 시스템 모식도.

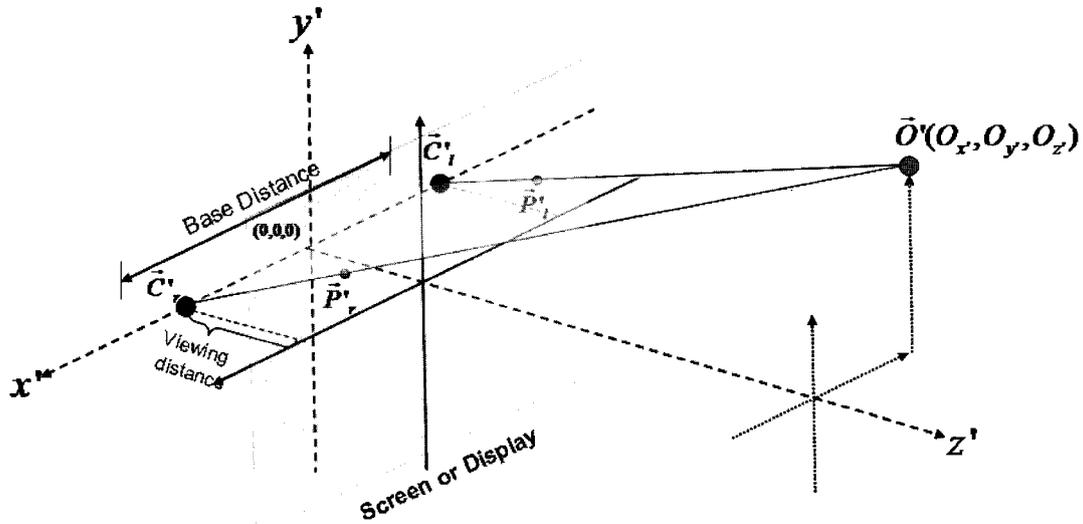


그림 4. 시차영상과 물체점의 재생.

$(\vec{P}'_{l,r})$ 를 연장한 두 직선의 교차점이다. 물체점의 깊이값은 시차영상내의 시차량에 비례한다. 시차량은 수평시차와 수직 시차로 구분할 수 있다. 그러나 입력된 시차영상은 평행시차만 사용되었으므로 수직시차는 고려하지 않아도 된다. 시차량은 왼쪽카메라로부터 얻은 영상좌표($P'_{lx,y}$)를 기준으로, 이와 대응하는 오른쪽 영상좌표($P'_{rx,y}$)와의 차이 값으로 정의된다. 수평, 수직 시차량의 정의는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Disparity}_{Horizontal} &= P'_{lx} - P'_{rx} \\ \text{Disparity}_{Vertical} &= P'_{ly} - P'_{ry} \end{aligned} \quad (3)$$

입체영상을 통하여 나타낼 수 있는 깊이값의 방향은 두가지이다. 하나는 시차영상면을 기준으로 관측자 방향으로 깊이값을 갖는 경우(돌출 깊이)이고, 나머지는 반대 방향으로 깊이값을 갖는 경우(후퇴 깊이)이다. 입체방향에 따른 재생되는 물체의 깊이값 조절은 관측자의 시야거리가 고정된 경우, 시차영상내의 시차량을 증가 혹은 감소 시킴으로써 가능하다. 돌출 깊이의 경우, 시차량은 음의 값을 가지며, 물체점은 각각의 $\vec{P}_l - \vec{C}_l$ 의 연장선과 $\vec{P}_r - \vec{C}_r$ 의 연장선이 시차영상과 관찰자 사이 공간내에 교차점을 이루며 생성된다. 후퇴 깊이의 경우, 시차량은 양의 값을 가지며 물체점은 각각의 $\vec{P}_l - \vec{C}_l$ 의 연장선과 $\vec{P}_r - \vec{C}_r$ 의 연장선이 시차영상 뒷편에서 교점을 이루며 생성된다. 그림 5는 돌출 깊이값과 후퇴 깊이값에 대한 시차량 및 부호에 대한 모식도이다.

2.2 입체영상 내의 동일 시차량에 대한 돌출 및 후퇴의 다른 깊이값

앞서 2.1절에서는 시차영상내의 시차량을 통하여 물체점의 깊이값 및 방향에 대하여 논의하였다. 본 절은 동일한 시야거리(VD) 및 시차량에서 발생할 수 있는 깊이값의 왜곡에 대하여 논의하고자 한다.^[5] 고정 시야거리 내에서 시차량이 같

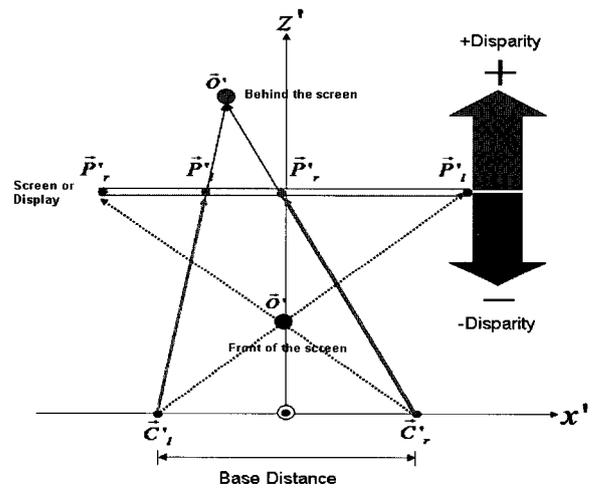


그림 5. 돌출, 후퇴 깊이값에 대한 시차량 및 부호.

은 경우, 돌출 깊이와 후퇴 깊이의 양은 다르다. 그림 6은 동일 시야거리 및 동일 시차량에 대한 돌출 및 후퇴의 깊이량을 나타내는 모식도이다.

관측자의 양안의 이격거리가 BD 이고 시야거리가 VD 인 조건에서, 점 A 는 관찰자의 좌우 눈과 시차영상내의 사영점 A_l 과 A_r 을 연장하였을 때 이루는 직선의 교차점이고 음의 시차량으로서 시차영상 면을 기준으로 앞으로 돌출된 깊이를 갖는다. 점 A' 는 관찰자의 좌우 눈과 시차영상내의 사영점 A'_l 과 A'_r 을 연장하였을 때 이루는 직선의 교차점이고 양의 시차량으로서 시차영상 면을 기준으로 후퇴된 깊이를 갖는다. 동일 시차량에 대한 돌출, 후퇴의 깊이에 대한 관계는 그림 7과 같다. x 축은 시차량의 변화, y 축은 시차량의 변화에 대한 깊이값을 절대값으로 나타내었다. 식 (4)는 동일 시차량에 대한 돌출, 후퇴 깊이량의 관계식이다. 식 (4)에서 사용된 문자 A 와 A' 는 돌출 및 후퇴 깊이값을 나타내고, P 와 P' 은 각 깊이값에 대한 시차량을 나타낸다.

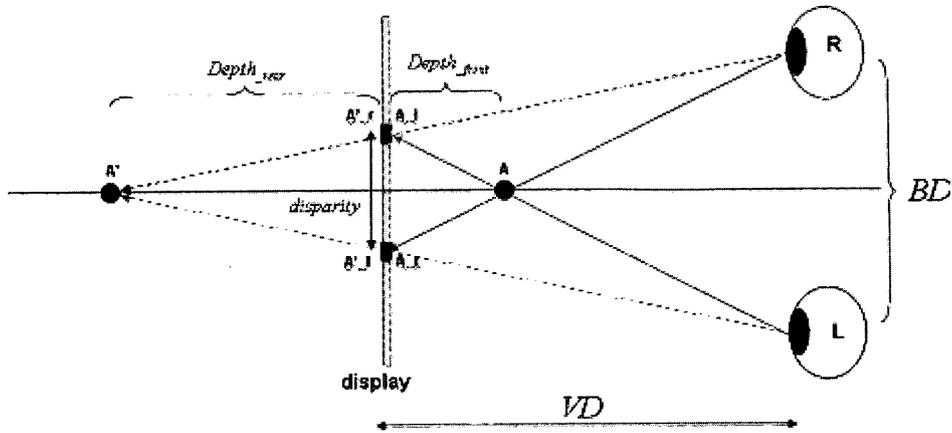
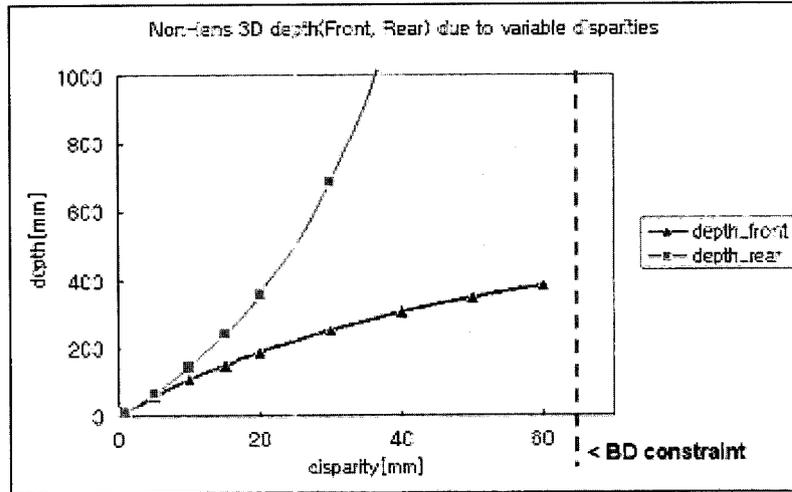


그림 6. 동일 시차량에 대한 돌출, 후퇴 깊이에 대한 모식도.



fixed constraints are $VD = 800\text{mm}$ & $BD = 65\text{mm}$

그림 7. 동일 시차량에 대한 돌출, 후퇴 깊이량의 변화 그래프.

$$P \equiv \text{Disparity}_{\text{front}} \quad , \quad P' \equiv \text{Disparity}_{\text{rear}}$$

$$A = \frac{P(VD)}{(BD + P)} \quad , \quad A' = \frac{P'(VD)}{(BD - P')} \quad (4)$$

2.3 광학계의 배율이 적용된 시차영상

입체부양영상시스템에서는 사용된 광학계의 배율에 따른 재생상의 축소 또는 확대에 따라 시차영상에 주어진 시차량도 함께 축소 및 확대된다. 그러나 관찰자와 디스플레이의 최종 면 사이의 관찰거리는 불변이므로 광학계를 통하여 재생된 입체부양영상은 관찰자에게 최종배율과 다른 깊이감을 제공한다. 다시 말하자면, 사용된 광학계의 최종배율과 다른 깊이감의 생성 원인은 시차량이 축소 및 확대되는 것과 달리 관찰자의 좌우 눈 사이의 거리 BD 와 시야거리 VD 는 불변이기 때문이다. 결과적으로 관찰자의 거리가 고정되어 있는 경우 원래의 시차영상과 다른 깊이감을 제공한다. 그림 8은 원시차영상 및 광학계를 통해 축소된 시차영상 대한 각각의 시차량 및 깊이감을 나타낸 모식도이다. 사용된 표기문자 A, A'

과 B, B' 은 각각 원시차영상 그리고 광학계를 통해 재생된 입체부양영상으로부터 재생된 돌출 및 후퇴의 깊이이다.

3. 깊이감의 정량화

자주 쓰이는 용어를 다음과 같이 정의한다. 시차보정전의 깊이감을 ‘그릇된 깊이감’, 보정후의 깊이감을 ‘올바른 깊이감’이라 한다. 올바른 깊이감은 광학계의 최종배율에 비례하고, 고정된 관찰자의 관찰거리 및 양안거리가 고려된 보정된 시차량을 통하여 제공되는 깊이감이다.

2.3절에서 논의된 바와 같이 광학계의 배율에 따른 시차량의 축소 및 확대는 광학계의 최종배율에 비례하지 않는 깊이감을 야기한다. 따라서 축소 또는 확대된 원시차영상의 크기에 비례하는 깊이감을 관찰자에게 제공하기 위하여 보정된 입체부양영상용 시차영상의 제작이 필요하다. 시차량은 광학계의 배율에 관계된 것이므로 사용하고자 하는 광학계의 배율과 재생된 시차영상내의 시차량과의 관계를 정량화하여 축소 및 확대의 최종배율에 비례하는 올바른 깊이감을 나타

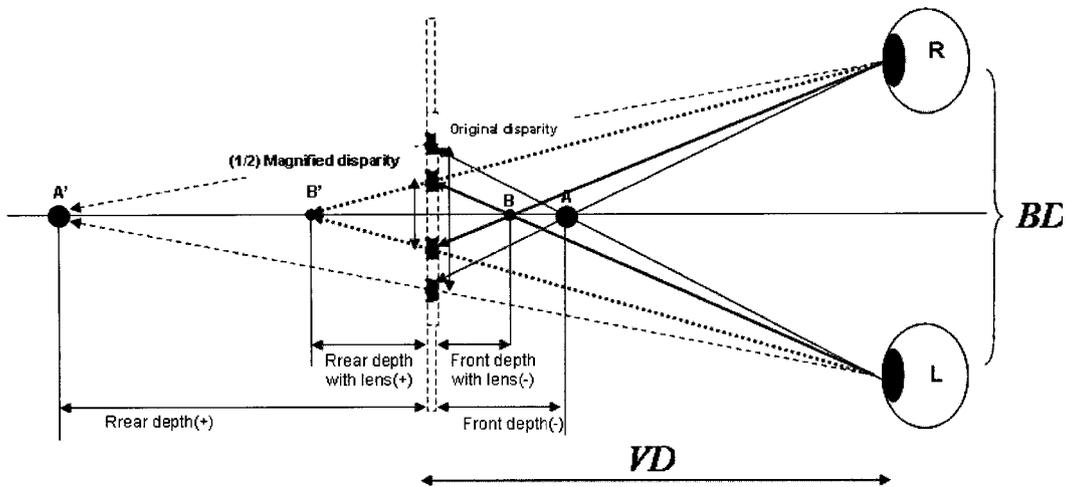


그림 8. 원시차영상 및 광학계를 통해 축소된 시차영상에 대한 시차량 및 깊이감의 모식도.

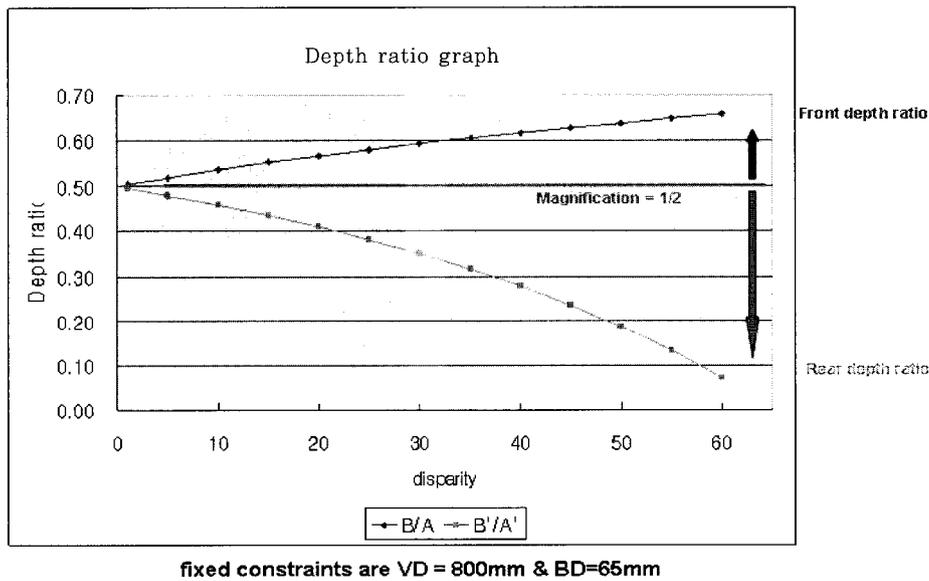


그림 9. 고정 횡배율 및 BD, VD 조건에서의 시차량 증가에 대한 입체부양영상의 돌출 및 후퇴 깊이감의 비율 그래프.

낼 수 있다. 식 (5-1,2)는 광학계의 배율에 따른 시차량 및 깊이감의 관계식이다. 여기서 M_{Tk} 는 렌즈의 횡배율을 의미하며 k 는 사용된 렌즈의 수이다. 식 (5-1)은 돌출 깊이감에 대한 시차량(P_k) 및 깊이감(A_k)을 나타내고, 식 (5-2)는 후퇴 깊이감에 대한 시차량(P'_k) 및 깊이감(A'_k)을 나타낸다.

$$P_k = M_{Tk} P$$

$$A_k = B = \frac{P_k(VD)}{(BD + P_k)} \quad (5-1)$$

$$P'_k = M_{Tk} P'$$

$$A'_k = B' = \frac{P'_k(VD)}{(BD - P'_k)} \quad (5-2)$$

광학계의 배율에 따른 시차량의 변화 및 시야거리에 따른 올바른 깊이감을 정량화하였다. 그러므로 원 시차영상의 시

차량을 통해 재생된 입체영상과 입체부양영상 시스템을 통하여 재생된 입체부양영상의 돌출 및 후퇴깊이의 비율을 보정한다면 입체부양영상의 그릇된 깊이감을 보정할 수 있다. 광학계를 통한 시차영상의 크기는 광학계의 배율에 의해 축소 및 확대된다. 축소 확대된 배율은 사용하는 렌즈의 최종 배율이며 그 값은 상수값을 갖는다. 따라서 시차량 또한 상수배로 축소 확대가 적용되어지나 고정된 BD 및 VD 로 인하여 입체부양영상의 돌출 및 후퇴의 깊이비는 횡배율의 고정값을 갖지 않는다. 그림 9는 고정 횡배율($M_{T3} = 1/2$) 및 고정 BD (65 mm), VD (800 mm)를 조건으로 하여 원 시차영상의 시차량을 증가하였을 경우 변화하는 입체부양영상의 돌출 및 후퇴 깊이감의 비율을 나타낸 그래프이다. 식 (6-1,2)는 그림 9의 관계식이고, 식 (6-1)은 돌출방향에 대한 깊이의 비율을, 식 (6-2)는 후퇴방향에 대한 깊이의 비율을 나타낸다.

$$\frac{B}{A} = \frac{M_{Tk}(BD + P)}{(BD + M_{Tk}P)} \quad (6-1)$$

$$\frac{B'}{A'} = \frac{M_{Tk}(BD - P')}{(BD + M_{Tk}P')} \quad (6-2)$$

3.1 입체부양영상용 시차량 보정

3절에서 논의된 깊이감의 정량화를 통하여 입체부양영상용 시차영상을 제작할 수 있다. 깊이감은 정량화된 시차량에 비례하므로, 그릇된 깊이감을 정량화하고 역으로 시차영상의 시차량을 보정한다. 시차량 보정의 검증을 위하여 다음의 4 단계의 단계를 수행하였다.

- 가) 원시차영상내에 동일한 시차량($P=P'$)을 대입하여 재생상(A, A')을 계산.
- 나) P 를 기준으로 동일 비율의 깊이감($A'/A = 1$)을 갖는 보정된 시차량 P'_c 계산.
- 다) 입체부양영상의 돌출 및 후퇴 깊이감(B, B')을 계산하고 동일한 깊이감($B'/B = 1$)을 갖는 보정된 시차량 P'_{lc} 계산.
- 라) 원 시차영상으로 재생된 돌출 및 후퇴 깊이감의 비율($A',$

A)과 동일한 깊이감 비율(B'/B)을 갖는 보정된 입체부양영상용 시차량 P'_r 계산.

위의 4단계를 적용한 관계식은 다음의 표 1과 같다.

표 1에서 A 와 A' 은 원 시차영상을 재생하였을 때 돌출 및 후퇴의 깊이이고 B 와 B' 은 광학계를 통해 축소된 입체부양영상의 돌출 및 후퇴의 깊이이다. VD 는 시야거리, BD 는 관찰자의 양안 사이의 거리이고 M_T 는 광학계의 횡배율이다. P 는 돌출 깊이감에 대한 시차량, P' 은 후퇴 깊이감에 대한 시차량, P'_c 는 돌출 시차량을 기준으로 돌출 및 후퇴 깊이를 동일하게 하였을 때의 후퇴 시차량, P'_{lc} 는 광학계를 사용하여 재생된 입체부양영상의 돌출 시차량을 기준으로 돌출 및 후퇴 깊이를 동일하게 하였을 때의 후퇴 시차량, P'_r 은 원 시차영상의 재생상에서 돌출 및 후퇴 깊이감의 비율과 동일한 입체부양영상의 돌출 및 후퇴 깊이감의 비율을 갖는 후퇴 시차량이다. 프라임(') 표기는 후퇴에 해당하는 표기이며 프라임이 없는 것은 돌출에 관한 표기이다. 그림 10의 (a), (b), (c), (d)는 원시차영상의 돌출 깊이감에 해당하는 시차량($P = 20$ mm)을 기준으로, 상기 기술한 가), 나), 다), 라) 4단계에 해당

표 1. 입체부양영상용 시차보정 표

$VD, BD, M_T : \text{Constant}$

Meaning	Front disparity	Rear disparity	$A = A'$	$B = B'$	$A'/A = B'/B$
Disparity	P	P'	P'_c	P'_{lc}	P'_r
Relations (Std;P)	$\frac{A(BD)}{(A - VD)}$	$\frac{A'(BD)}{(A' + VD)}$	$\frac{P(BD)}{(2P - BD)}$	$\frac{P'(BD)}{(2M_T P - BD)}$	$\frac{A'B(BD)}{M_T(VD A + A'B)}$
Disparity	P	P'	P_c	P_{lc}	P_r
Relations (Std;P')	$\frac{A(BD)}{(A - VD)}$	$\frac{A'(BD)}{(A' + VD)}$	$\frac{-P'(BD)}{(BD - 2P')}$	$\frac{-P'(BD)}{(BD - 2M_T P')}$	$\frac{-AB'(BD)}{M_T(VD A' + AB')}$

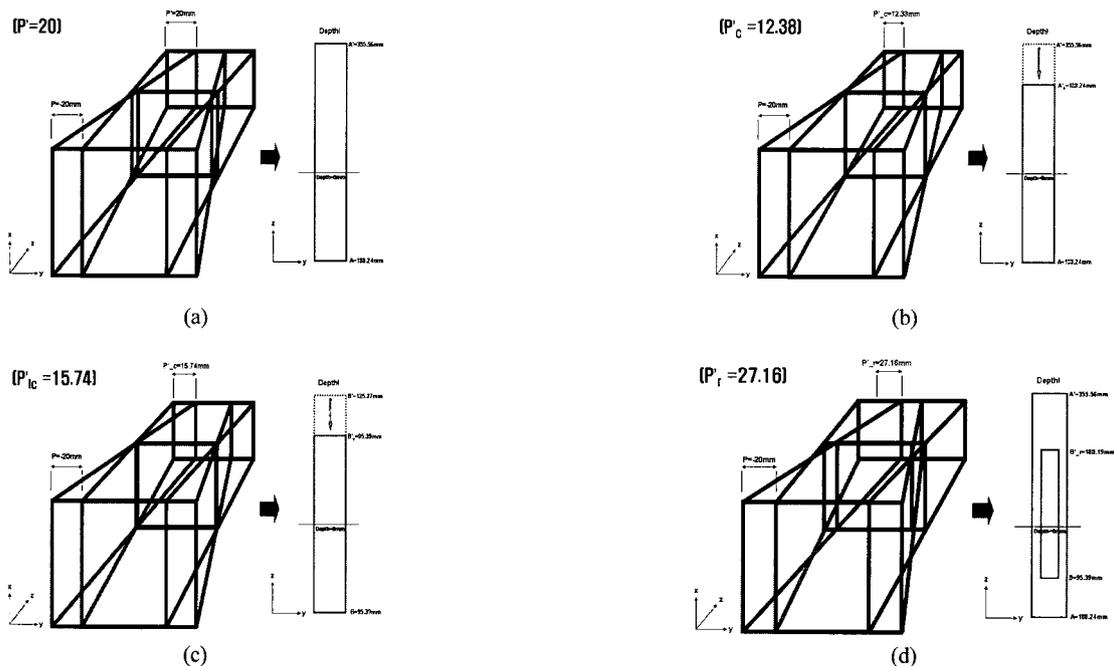


그림 10. 보정된 시차량의 전산시뮬네기 결과.

하는 보정된 시차량 P' , P'_c , P'_{lc} , P'_r 값 및 이를 적용하여 재생되는 입체영상의 깊이감을 나타낸 모식도이다. 특히 그림 10-(a),(b)는 광학계를 사용하지 않는 입체디스플레이를 통해 재생된 시차영상의 깊이감에 대한 모식도이고, 특히 그림 10-(b)는 입체영상 재생 시, 돌출 및 후퇴의 깊이감이 동일하도록 보정된 시차량이 적용된 시차영상의 재생에 대한 모식도를 나타낸다. 그림 10-(c), (d)는 배율 $M_T = 0.44$ 가 적용된 삼중 프레넬 렌즈로 이루어진 입체부양영상시스템(AFIS)를 통해 재생된 시차영상의 깊이감에 대한 모식도이다. 특히 그림 10-(c)는 AFIS를 지나 확대 및 축소된 시차량을 보정하여 10-(b)의 경우와 같이 돌출 및 후퇴의 깊이가 동일하도록 보정된 시차영상의 재생에 대한 모식도를 나타내고, 그림 10-(d)는 그림 10-(a)와 같이 광학계를 사용하지 않은 입체디스플레이에서 재생된 원시차영상의 돌출 및 후퇴의 깊이감과 비교하여, AFIS내에서 M_T 비율로 축소 및 확대된 돌출 및 후퇴의 깊이감을 갖는 입체영상을 재생하기 위한 보정된 시차량이 적용된 시차영상의 재생에 대한 모식도를 나타낸다. 그림 10-(a), (b), (c), (d)에서, 각 그림 오른쪽에 위치한 이중 직사각형 중 내부의 사각형은 계산된 시차량에 의해 올바른 깊이감으로 보정된 형태를 나타내고 외부의 사각형은 조건 가)에 해당하는 3D 깊이감을 갖는 기준 형상이다. 원시차영상은 돌출 및 후퇴 깊이에 대한 시차량을 모두 20 mm로 하였을 때를 나타낸다. 돌출과 후퇴방향에 동일한 시차량

이 적용될 경우, 깊이감은 돌출 및 후퇴방향에 따라 다르다. 그림 10의 모든 그림들은 직사각형을 이등분하는 내의 가로 실선이 표현되어 있는데 이는 돌출 및 후퇴깊이감을 구분 짓는 시차영상면을 의미한다. 따라서 시차가 0인 곳을 의미한다. 표 2는 표 1의 관계식으로부터 도출된 보정 시차량이다.

III. 실험

이론을 근거로 삼중 프레넬렌즈를 이용한 부양영상시스템과 편광안경식 입체영상을 사용하여 올바른 깊이감을 제공하는 입체부양영상시스템을 구축하였다. 다음은 실험에 사용된 장비 및 구축조건이다.

1. 부양영상 시스템

입체부양영상 시스템에 사용된 렌즈는 평면-볼록 프레넬 렌즈이며, 총 3장을 사용하였고 초점길이 f 값은 각각 700, 400, 700 mm, 크기는 400 mm²이다. 부양영상을 위한 물체는 17" wide 평면 모니터를 사용하였다. 관찰자의 시야거리는 800 mm이며, 광학계의 배율(M_T) 및 상의 상태는 0.44배 및 도립상의 이론값을 갖는다. 재생된 입체부양영상의 기하적 왜곡수차(distortion)를 최소화하기 위하여 렌즈간 거리를 각각 렌즈 1과 2, 2와 3의 경우 400 mm, 100 mm로 설정하였다. 물체거리는 608 mm이며 입력된 시차영상으로부터 렌즈 1까지의 거리이다. 그림 11은 본 실험에 사용된 부양영상장치이다.

표 2. 보정된 시차량 표

[mm]

Meaning	Front disparity	Rear disparity	$A = A'$	$B = B'$	$A'/A=B'/B$
Disparity	P	P'	P'_c	P'_{lc}	P'_r
	20	20	12.38	15.74	27.16
깊이 (원시차영상)	A	A'	A'_c		
	-188.24	355.56	188.24		
깊이 (입체부양영상)	B	B'		B'_c	B'_r
	-95.39	125.27		95.39	180.19

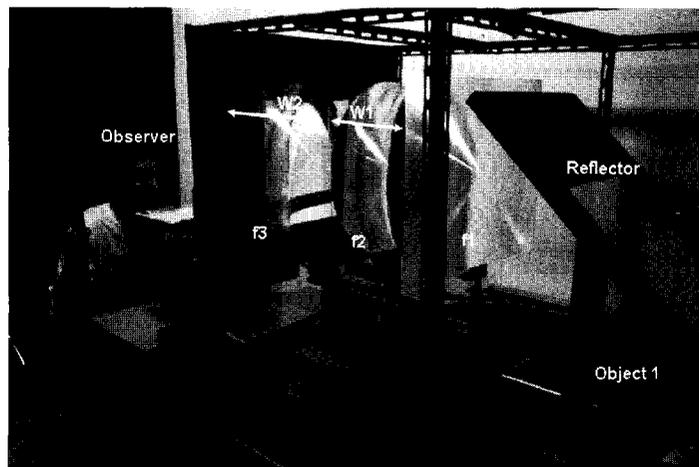


그림 11. 실험에 사용된 부양영상장치.

2. 편광안경방식의 시차영상

입체부양영상시스템의 입력영상은 이론에서 얻은 결과를 기준으로 시차량이 보정된 시차영상을 제작하여 사용하였다. 시차영상의 구성방법은 디스플레이의 화면을 1/2로 분할하여 각각 획득된 좌우 이미지를 통합시키는 방법과, 디스플레이의 수직 주사선을 교대로 한 행씩 좌, 우 분리된 이미지 정보를 주입시키는 방법이 있다. 본 연구에 사용되었던 방법은 획득된 좌우 이미지를 수직 방향의 주사선이 교차하며 입체영상을 이루는 방법이 사용되었다. 제작된 시차영상은 돌출 및 후퇴 시차량(P, P')을 최초 20 mm로 고정하여 깊이감 재생시 그릇된 깊이감을 표현하도록 하였다.

IV. 결 과

그림 10-(b), (c), (d)와 같이 보정된 시차량을 대입하여 입체부양영상용 시차영상을 제작하였다. 그림 10-(a)의 원시차영상은 돌출 깊이 방향으로 20 mm의 시차량을 갖도록 제작되었다. AFIS로 입력된 시차영상이 재생될 시, 깊이감을 갖는 물체의 형태는 직육면체이고 부양되어 재생된 시차영상면을 기준으로 돌출 및 후퇴 깊이를 갖는다. 돌출 깊이 방향의 부호는 '-'이며, 반대로 후퇴 깊이 방향은 '+'이다. 기준 시차량($P' = 20$ mm)으로 계산된 원시차영상의 재생상은 각각 돌출 및 후퇴 깊이가 -188.24 mm, 355.56 mm이고, 이는 그림 10-(a)의 경우에 해당하는 값이다. 재생된 시차영상의 돌출 및 후퇴 깊이를 동일하게 하기 위하여 보정된 후퇴 시차량 P'_c 은 12.38 mm이고, 깊이는 각각 -188.24 mm, 188.24 mm으로 원시차영상의 깊이감이 보정되었다. 이는 그림 10-(b)에 해당하는 결과이다. AFIS의 배율은 이론값 0.44배이고, 이 배율이 적용된 부양영상의 시차량 P_k, P'_k 는 8.8 mm이며, 이에 따른 돌출 및 후퇴 깊이는 -95.39 mm, 125.27 mm을 갖는다. 그림 10-(c)의 경우, 광학계를 통한 입체부양영상의 깊이감을 동일하게 하기 위하여 계산된 시차량 P'_c 는 15.74 mm이고, 돌출 및 후퇴의 깊이감은 -95.39 mm, 95.39 mm으로 입체부양영상의 깊이감이 보정되었다. 그림 10-(c)의 경우, 광학계를 통

하지 않은 원시차영상으로부터 재생된 돌출 및 후퇴 깊이의 비율(A'/A)와 동일한 비율(B'/B)의 입체부양영상을 얻기 위하여 보정된 입체부양영상의 시차량 P'_c 은 27.16 mm이고, 돌출 및 후퇴의 깊이는 각각 -95.39 mm, 180.19 mm으로 원시차영상의 재생된 깊이비율($A'/A = 1.88$)과 보정된 시차량으로 계산된 입체부양영상의 깊이비율($B'/B = 1.88$)이 동일한 결과를 얻었다. 각 보정된 시차량은 원시차영상의 시차량으로 환산된 값이다. 시차영상은 1280×1024의 해상도를 가지며, 수직주사 방향으로 홀수행은 왼쪽 영상이, 짝수행은 오른쪽 영상이 삽입된 형태로 제작되었다. 본 연구에서 수행한 깊이감의 이론값들은 양안거리 65 mm, 관찰거리 800 mm인 가상의 관찰자를 기준으로 유도한 것이다. 실측값은 수치적으로 제시한 이론값과 완벽히 대변할 수 없다. 그 이유는 관찰자 개인마다의 입체시 인지정도가 달라 깊이감에 대한 평가가 매우 주관적이기 때문이다. 따라서 본 논문에는 실측치를 대신하는 이론값으로 논의의 주장을 대신하였다. 그림 12의 좌상, 우상, 좌하 그리고 우하의 이미지는, AFIS를 통해 순차적으로 그림 10-(a), (b), (c), (d)에 대한 각각의 시차영상을 재생한 입체부양영상의 실측이다. 흰색 배경의 직사각형은 렌즈간 간격을 조절하여 기하적 왜곡수차가 최소화된 부양영상의 크기이다. 그림 12의 재생상의 형태는 각각 직사각형이 흰색 영상면을 기준으로 돌출 및 후퇴방향의 깊이감을 제공하고, 최종돌출면과 기준영상면 그리고 최종후퇴면에 해당하는 사각형은 순차적으로 그 크기가 축소하여 관찰자에게 크기의 향상성을 제공한다.

결과적으로, 부양영상시스템과 보정된 시차영상을 이용한 입체부양영상은 광학계의 배율에 따른 올바른 돌출 및 후퇴 깊이감의 표현이 가능하다.

V. 결 론

기존의 양안시차 방식의 입체영상 디스플레이는 사용자에게 후퇴 깊이감보다는 돌출 깊이감을 효과적으로 제공한다. 이는 공간적으로 확인해 볼 수 있는 돌출 깊이감에 비해 후퇴 깊이감은 공간적인 확인을 해볼 수 없기 때문이다. 또한 시차영상 구현에 있어 광학계를 통하여 구현된 시차영상은 그릇된 깊이감의 문제를 야기한다. 입체영상시스템은 관찰자에게 정확한 깊이감을 제공하여야 한다. 이에 입체부양영상시스템은 부양영상을 통하여 돌출 및 후퇴 깊이에 대한 효과를 관찰자가 실감할 수 있으며, 보정된 시차량을 통하여 원시차영상의 올바른 깊이감을 구현할 수 있다. 따라서 입체부양영상시스템은 관찰자에게 정확하고도 효과적인 깊이감을 제공하는 입체영상 표시소자이다. 활용처로서는 의료영상 및 바이오 영상 등 정확한 깊이감뿐만 아니라, 후퇴 깊이감에 대한 임장감 또한 함께 요구 되는 곳으로 사료된다.

본 연구는 부양영상시스템을 통해 재생되는 시차영상의 시차왜곡을 정성적, 정량적 방법으로 분석함으로써, 공간상 특정 영역을 기준으로 돌출 및 후퇴의 왜곡이 보정되어 원시차영상과 동일한 깊이비를 갖는 입체영상을 구현하였다.

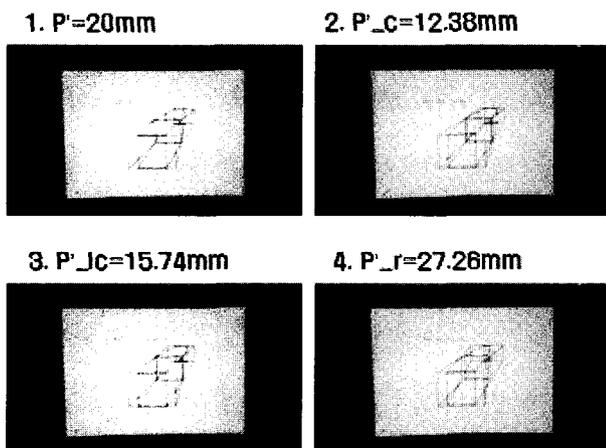


그림 12. 입체부양영상시스템을 통하여 구현된 입체부양영상.

참고문헌

- [1] T. Okoshi, "Three-dimensional displays," *Proc. IEEE* 68, pp. 548-564, 1980.
- [2] S.-W. Min, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional electro-floating display system based on integral imaging technique," in *Stereoscopic Displays and Applications XVI, Electronics Imaging*, paper 5664A-37, San Jose, CA, 2005.
- [3] S. W. Min, M. Hahn, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional electro-floating display system using an integral imaging method", *Optics Express*, vol. 13, no. 12, pp. 4358-4369, 2005.
- [4] G. Lippmann, "La photographie integrale," *Comptes-Rendus* 146, 446-451, Academie des Sciences, 1908.
- [5] Eugene Hect, "Optics-4th edition", *Addison Wesley*, Ch. 5, 2002.
- [6] A. Woods, T. Docherty, and R. Koch "Image Distortions in Stereoscopic Video Systems", *Proc. SPIE V1915*, pp. 36-48, 1993.

A Study on Compensation of Disparity for Incorrect 3D Depth in the Triple Fresnel Lenses Floating Image System

K. H. Lee^{1,2}, S. H. Kim, and Y. S. Yoon

¹*Dept. Advanced Technology Fusion, Konkuk Univ., 1 Hwayang-Dong, Gwangjin-Gu 143-791, Korea*

S. K. Kim[†]

²*3D-lab, Imaging Media Research Center, Korea Institute of Science and Technology, 39-1 Hawolgok-dong, Seongbuk-gu 136-791, Korea*

[†]*E-mail: geniuspb@kist.re.kr*

(Received June 15, 2007, Revised manuscript August 24, 2007)

The floating image system (FIS) is a device to display input source in the space between last surface of the display and an observer and it provides pseudo 3D depth to an observer when input source as real object or 2D image was displayed through the optical lens system in the FIS. The Advanced floating image system (AFIS) was designed to give more effective 3D depth than existing FIS by adding front and rear depth cues to the displayed stereogram, which it was used as input source. The magnitude of disparity and size of stereogram were strongly related each other and they have been optimized for presenting 3D depths in a non-optical lens systems. Thus, if they were used in optical lens system, they will have reduced or magnified parameters, leading to problem such as providing incorrect 3D depth cues to an observer. Although the size of stereogram and disparity were demagnified by total magnifying power of optical system, the viewing distance (VD) from the display to an observer and base distance (BD) for the gap between the eyes were fixed. For this reason, the quantity of disparity in displayed stereogram through the existing FIS has not kept the magnifying power to the total optical system. Therefore, we proposed the methods to provide correct 3D depth to an observer by compensating quantity of disparity in stereogram which was satisfied to keep total magnifying power of optical lenses system by AFIS. Consequently, the AFIS provides a good floating depth (pseudo 3D) with correct front and rear 3D depth cues to an observer.