

# 집적 영상 현미경과 집적 영상 디스플레이를 이용한 미세 시료의 3차원 영상 재생

정희원 임 영 태\*, 박 재 형\*\*, 권 기 철\*, 종신회원 김 남\*

## Three-dimensional Display of Microscopic Specimen using Integral Imaging Microscope and Display

Young-Tae Lim\*, Jae-Hyeung Park\*\*, Ki-Chul Kwon\* *Regular Members,*  
Nam Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상을 이용하여 집적 영상 디스플레이에서 재생하였다. 일반화된 서로 다른 두 렌즈 어레이를 이용하는 집적 영상의 획득과 재생의 관계를 이용하여 집적 영상 현미경 및 디스플레이 시스템에 적용하였다. 집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상을 재생하기 위해서 스케일링이 적용된 요소 영상이 필요하다. 집적 영상을 재생할 때 요소 영상의 정보 손실을 최소화하는 스케일링 계수와 요소 영상의 왜곡을 최소화하는 스케일링 계수를 선택해야 한다. 본 연구에서는  $125\mu\text{m}$  피치 사이즈의 마이크로 렌즈 어레이를 가지는 집적 영상 현미경으로 시료를 촬영하고 1mm 피치 사이즈의 렌즈 어레이를 가지는 집적 영상 디스플레이로 촬영된 시료를 3차원 영상으로 재생하는 실험을 수행하였다. 이 때, 요소 영상의 스케일링 계수는 집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상의 정보 손실을 최소화 하는 값으로 설정하였다.

Key Words : Integral Imaging, Microscope, Scaling Coefficient, 3D Display, 3D Image Acquisition

### ABSTRACT

Microscopic specimen was captured by an integral imaging microscope and displayed as a three-dimensional image by an integral imaging display system. We applied the generalized relationship between pickup and display using two different lens arrays to our integral imaging microscope and display system. In order to display three-dimensional microscopic image, scaling of the captured elemental images is required. We analyzed the effect of the scaling coefficient in terms of the distortion of the displayed three-dimensional image and the loss of the captured elemental images. In our experiment, microscopic specimen is picked up by an integral imaging microscope having  $125\mu\text{m}$  elemental lens pitch and displayed as three-dimensional image by an integral imaging display system having 1mm elemental lens pitch. The scaling coefficient was chosen to minimize the elemental image loss.

※ 본 연구는 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2008-313-D00727) 및 2009년 교육과학기술부로부터 지원(지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단) 및 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

\* 충북대학교 광정보처리 연구실(namkim@cbnu.ac.kr)

\*\* 충북대학교 3차원 정보처리 연구실(jh.park@cbnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-08-347, 접수일자 : 2009년 8월 13일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 30일

## I. 서 론

현미경의 발명은 관심 물체를 확대하여 미세한 영상을 자세히 볼 수 있게 해주었다. 현미경은 의학, 화학, 생물학, 물리학과 같은 다양한 분야에서 시료의 형태, 반응, 특성 등의 분석을 위해 사용되어 왔다. 그러나 초기 발명은 대물렌즈를 이용하여 단순히 시료를 확대하기 때문에 표면 위주의 정보만을 제공하기 때문에 공간적인 정보의 제공이 부족하였다. 이를 극복하기 위한 방법으로 실체 현미경(stereoscopic microscope), 공초점 현미경(Confocal microscope), 디지털 홀로그래픽 현미경(digital holographic microscope) 등이 발명되어 사용되어 왔다. 공초점 현미경의 경우 물체를 깊이 방향으로 여러 장의 영상을 찍은 후, 이를 2차원 디스플레이에서 3차원 구조의 영상으로 재생한다<sup>1)</sup>. Digital holographic microscope 는 시료에 직접 레이저를 투사하는 방식으로 살아 있는 생물체를 관측하는 경우 문제가 발생할 수 있다<sup>2)</sup>. 이러한 문제점을 해결하는 현미경으로 3-D 실체 현미경 시스템이 있다<sup>3)-[4]</sup>. 3-D 실체 현미경 시스템은 두 대의 Charge Coupled Device(CCD) 센서를 실체 현미경의 좌안과 우안에 어댑터를 이용하여 부착하거나 물체의 정보를 전달하는 위치에 빔스플리터(beam splitter)를 장착하여 좌, 우 영상을 모니터에 전달하여 3차원 디스플레이(stereoscopic display)에서 재생하는 시스템이다. 실시간으로 영상의 재생이 가능하며 깊이감을 느낄 수 있지만 안경을 착용하여 영상을 관찰해야 하고 cardboard effect와 puppet theater effect 등이 발생한다. 따라서 물체의 깊이감을 제공하지만 깊이 방향의 오차가 발생되며 눈의 피로감을 유발 한다<sup>5)</sup>. 안경이 필요 없고 물체의 평면 방향 및 깊이 방향에 대한 영상을 표현하기 적합한 현미경으로 집적 영상 현미경이 있다<sup>2),6)</sup>. 집적 영상 현미경은 물체를 한 번의 촬영을 통해 요소 영상을 생성한다. 생성된 요소 영상을 다양한 복원 방법을 이용하여 물체의 연속적인 시점을 제공하며, 안경을 쓰지 않아 눈에 피로를 주지 않는다. 현재 집적 영상의 3-D 복원 방법으로는 computational integral imaging reconstruction, orthographic view reconstruction method가 이용되고 있으며, 2차원 디스플레이에서 물체의 다양한 시점 영상의 재생이 가능하다<sup>6)-[7]</sup>. 이러한 복원 방법은 광학적 복원 방법이 아니며 요소 영상의 크기에 따라 복원되는 시

간이 다르므로, 실시간으로 살아 있는 시료의 움직임의 표현에 있어서는 제약이 따른다. 따라서 집적 영상 디스플레이에 요소 영상을 재생할 경우 실시간으로 영상을 표현할 수 있으며, 안경을 쓰지 않고 다시점의 영상을 볼 수 있다.

미세 시료의 3차원 영상의 재생을 위해 집적 영상 기술을 적용한 현미경에 대한 기초 연구가 진행되었다<sup>6)</sup>. 집적 영상 현미경은 미세 시료의 정보가 대물렌즈와 튜브 렌즈를 거쳐 intermediate plane면에 정보가 생성되면 렌즈 어레이를 이용하여 다시점에서 영상을 획득 한다. 따라서 대물렌즈의 개구(exit pupil)의 직경에 따라 렌즈 어레이의 크기가 정해진다. 일반적으로 대물렌즈의 크기가 수mm 이하이기 때문에 미세 시료의 영상 정보를 획득하기 위해서는 렌즈 어레이의 크기도 작아진다. 집적 영상 현미경에서 사용되는 렌즈 어레이의 크기는 수십에서 수백  $\mu\text{m}$ 의 피치사이즈(pitch size)를 가지며, 획득한 요소 영상을 재생하기 위해서는 동일한 크기의 렌즈 어레이를 사용하기 어렵다.

서로 다른 렌즈 어레이의 크기를 가지는 시스템에서 재생하는 연구에서는 물체의 공간 정보를 집적 영상 시스템에서 획득과 재생의 기하학적 구조 분석을 통해 각각의 요소 영상에 스케일링 계수(scaling coefficient)를 적용하여 물체의 3차원 정보를 재생한다<sup>8)</sup>. 그러나 획득 과정과 재생 과정에서의 렌즈 어레이의 크기 비가 크게 차이나지 않았다. 또한 기존의 집적 영상 기술을 이용한 물체의 재생은 일반적으로 CG(Computer Graphic)로 생성된 물체를 이용하여 재생하는 연구가 주를 이루었으며<sup>9)</sup> 요소 영상의 광학적 재생의 경우 요소 영상의 획득 과정에서 마이크로 렌즈 어레이만을 이용하기 때문에<sup>10)</sup> 집적 영상 현미경에 적용하기 위해서는 현미경의 특성을 고려한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상을 집적 영상 디스플레이에서 재생 하는 방법을 설명한다. 미세 시료를 집적 영상 현미경을 이용하여 집적 영상 디스플레이에서 광학적으로 재생하는 것을 구현하였다. 이를 위해 집적 영상 현미경과 집적 영상 디스플레이 사이의 평면 방향의 확대율과 깊이 방향의 확대율의 변화를 기하학적으로 분석하였고 두 확대율에 의해 발생하는 왜곡에 대해서 살펴보았다. 시료의 시점 정보를 잃지 않기 위해 스케일링 계수로 두 렌즈 어레이의 피치사이즈의 비를 이용하여 요소 영상을 확대하고 이를 재생하는 실험을 하였다.

## II. 집적 영상 현미경 및 디스플레이 시스템

집적 영상 현미경 및 디스플레이 시스템은 크게 시료 정보를 획득(pickup) 부분과 재생(display) 부분으로 나누어진다. 그림 1은 집적 영상 현미경 및 디스플레이의 구조를 나타낸다. 일반적인 광학 현미경을 이용하여 시료의 영상 정보를 대물렌즈와 튜브 렌즈를 이용해 획득한 후 이를 다시 마이크로 렌즈 어레이로 전달하여 서로 다른 방향에서 바라보는 시료의 영상 정보를 CCD에서 획득한다. 일반적으로 영상의 왜곡을 줄이기 위해 대물렌즈와 튜브 렌즈는 infinity corrected optical system을 이용하여 대물렌즈의 개구에서 나오는 영상의 정보를 평행하게 전달하여 intermediate plane에서 초점을 맺는다. 이는 튜브 렌즈로부터 마이크로 렌즈 어레이, CCD를 동일한 광축(optical axis)에서 평행하게 전달하여 왜곡을 줄일 수 있게 한다. 일반적으로 대물렌즈의 개구의 직경이 작기 때문에 시료의 시점 정보를 많이 획득하기 위해 마이크로 렌즈 어레이를 이용한다. 그러나 마이크로 렌즈 어레이의 경우 초점거리가 매우 짧으며 요소 렌즈의 크기가 작기 때문에 CCD에서 영상을 획득 할 때 CCD 센서의 면적이 크고, 픽셀 사이즈가 작을수록 더 많은 시점의 영상정보를 가질 수 있다. 집적 영상 디스플레이의 경우 렌즈 어레이의 초점거리와 요소 렌즈의 피치 사이즈가 집적 영상 현미경의 마이크로 렌즈 어레이와 다르므로, 집적 영상을 재생하기 위해 집적 영상 현미경에서 획득한 영상을 확대 또는 축소하여 재생해야 한다.

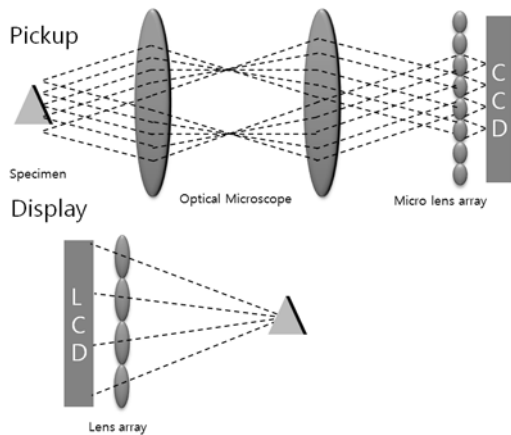


그림 1. 집적 영상 현미경 및 디스플레이 시스템의 구조

## III. 서로 다른 렌즈 시스템의 스케일링 방법

서로 다른 렌즈 시스템의 스케일링에 대한 연구<sup>18)</sup>에서는 물체가 위치한 면의 한 점이 집적 영상 시스템에서 요소 영상의 획득과 재생 과정을 통해 재생시의 위치의 변화를 분석하고 이에 대한 스케일링 계수를 적용하여 집적 영상의 재생에 대한 연구가 이루어 졌다. 이러한 분석은 그림 2를 이용해 설명한다. 그림 2는 서로 다른 렌즈 시스템을 이용하여 요소영상의 획득과 재생의 구조 분석을 나타낸다. 그림 2(a)는 집적 영상 시스템에서 영상의 획득 과정을 나타낸다. 렌즈 어레이로부터 임의의 거리  $z_1$ 만큼 떨어진 위치의 점을  $P_1(x_1, z_1)$ 로 정의할 경우 이 점은 렌즈 어레이의  $k$ 번째 요소 렌즈와 대응하여 지역 좌표(local coordinates)  $S_{1,k}$ 를 생성

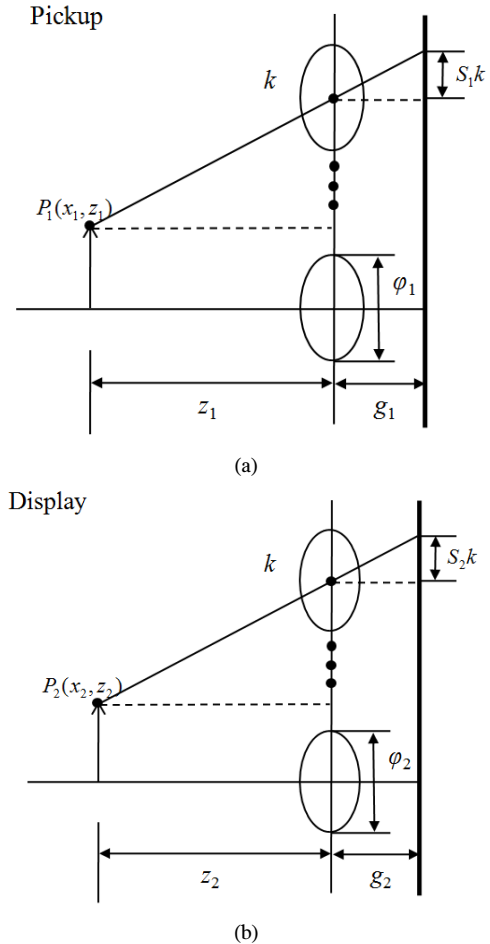


그림 2. 집적 영상 시스템에서 요소 영상의 획득 및 재생 (a) 요소영상의 획득 (b) 요소영상의 재생

한다.  $k$ 번째 렌즈와 대응하는  $S_{1,k}$ 는

$$S_{1,k} = \frac{g_1}{z_1}(k\phi_1 - x_1) \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서  $g_1$ 은 렌즈 어레이로부터 CCD 까지의 거리,  $\phi_1$ 은 획득 과정의 요소 렌즈의 피치 사이드를 나타낸다. 그림 2(b)는 집적 영상 시스템에서 요소 영상의 디스플레이 과정을 나타낸다. 재생 과정에서의 지역 좌표  $S_{2,k}$ 로부터  $k$ 번째 렌즈와 대응하여 재생되는 점을  $P_2(x_2, z_2)$ 로 정의한다. 확대된  $S_{2,k}$ 는  $S_{2,k} = aS_{1,k}$ 로 나타낼 수 있으며 여기서  $a$ 는 스케일링 계수를 나타낸다.  $S_{2,k}$ 를 식(1)처럼 표현하면

$$S_{2,k} = \frac{g_2}{z_2}(k\phi_2 - x_2) \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $z_2$ 는 렌즈 어레이로부터 점  $P_2$ 까지의 거리,  $g_2$ 는 렌즈 어레이로부터 디스플레이까지의 거리,  $\phi_2$ 는 재생 과정의 요소 렌즈의 피치 사이드를 나타낸다. 점  $P_1(x_1, z_1)$ 은 반드시 획득 과정의  $k$ 번째 요소 렌즈를 통과하며 재생 과정의  $k$ 번째 요소 렌즈를 통과해야 한다. 따라서 식(2)에서  $k$ 에 관계없이 항상 성립하기 위해  $S_{2,k}$ 에  $aS_{1,k}$ 를 대입하면

$$k \left( g_2 \phi_2 - \frac{z_2}{z_1} a g_1 \phi_1 \right) = \frac{z_2}{z_1} a g_1 x_1 - g_2 x_2 \quad (3)$$

로 나타낼 수 있다. 식(3)으로부터 점  $P_2(x_2, z_2)$ 는

$$P_2 \left( \frac{\phi_2}{\phi_1} x_1, \frac{g_2 \phi_2}{a g_1 \phi_1} z_1 \right) \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 식(4)로부터 점  $P_1(x_1, z_1)$ 은 평면 방향으로  $\phi_2/\phi_1$ 배 만큼, 깊이 방향으로  $g_2\phi_2/a g_1\phi_1$  배 만큼 확대됨을 알 수 있다.

식(4)를 통해 알 수 있는 것은 스케일링 계수  $a$ 를 이용하여 평면 방향으로의 확대율과 깊이 방향의 확대율을 제어할 수 있다는 것이다. 그러나 이때 추가적으로 고려해야 하는 사항은 획득된 요소

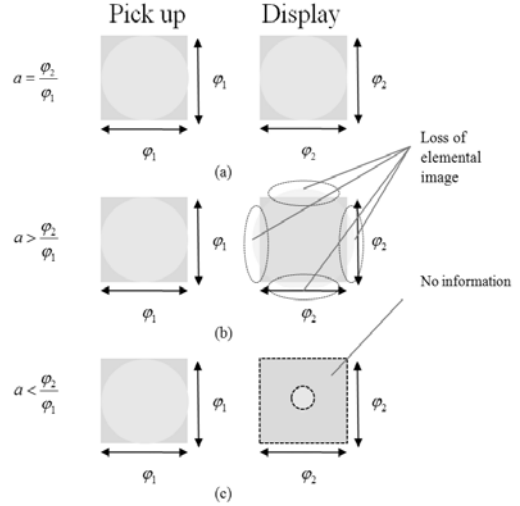


그림 3. 스케일링 계수에 따른 요소 영상 재생시 시차 정보의 변화

영상의 활용도가  $a$ 에 따라 변한다는 것이다.

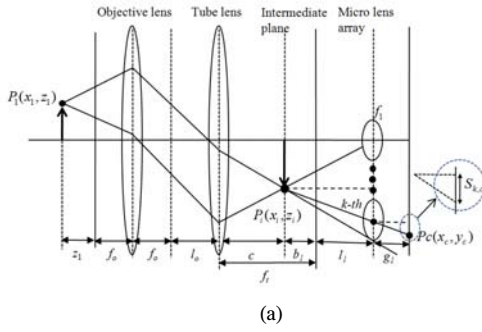
그림 3(a)의 경우 디스플레이에서의 요소 영상은 획득 시의 정보를 모두 재생할 수 있다. 그러나 그림 3(b)일 경우 디스플레이에서 재생할 때 표현하지 못하는 요소 영상이 발생되며 그림 3(c)일 경우 정보가 없는 영역이 발생한다. 따라서 평면 방향의 확대율과 깊이 방향의 확대율이 같을 경우와 요소 영상의 활용도를 동시에 고려하여  $a$ 값을 정할 필요가 있다.

#### IV. 집적 영상 현미경 영상의 스케일링

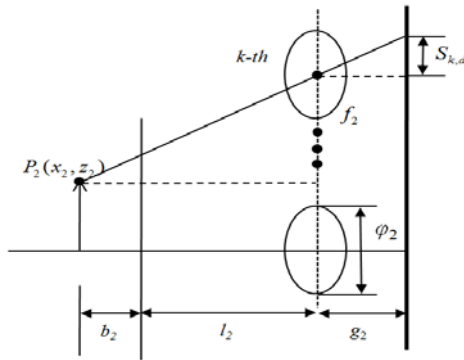
그림 4는 집적 영상 현미경의 구조를 나타낸다.

집적 영상 현미경을 이용해 집적 영상을 재생하기 위해서 시료상의 한 점이 디스플레이 상에서 최종적으로 집적 되는 위치를 파악해야 한다. 그러나 기존의 연구와 같이 단순히 시료상의 한 점이 디스플레이 상에서 최종적으로 집적되는 위치는 현미경의 특성에 의해 변하게 된다. 현미경은 intermediate plane에서 영상면이 생성되고, 이 면에서 다시 렌즈 어레이를 통과하여 최종적인 요소 영상이 생성되기 때문에 요소 영상을 재생하기 위해서도 intermediate plane을 고려하여 유도된 관계식을 통해 스케일링 계수를 적용해야 한다. 따라서 집적 영상 현미경의 구조 분석을 통해 intermediate plane상의 시료의 위치에 따른 좌표의 변화를 살펴보아야 한다.

시료상의 한 점을  $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 로 정의 하면 이



(a)



(b)

그림 4. 집적 영상 현미경의 요소 영상의 획득과 재생  
(a) 집적 영상 현미경에서의 요소 영상 획득 (b) 현미경 요소 영상의 재생

점은 대물렌즈와 튜브 렌즈를 통과하여 intermediate plane 위의 점  $P_i(x_i, y_i, z_i)$ 에 대응한다.  $z_i$ 의 깊이를 가지는 점  $P_i(x_i, y_i)$ 는

$$P_i(x_i, y_i) = \left( \frac{f_o f_1}{z(l_0 - f_1) - f_o^2} x_1, \frac{f_o f_1}{z(l_0 - f_1) - f_o^2} y_1 \right) \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $f_o$ 는 대물렌즈의 초점거리,  $l_0$ 는 infinity space, 그리고  $f_1$ 는 튜브 렌즈의 초점 거리이다. 점  $P_i(x_i, y_i)$ 는 마이크로 렌즈 어레이를 통과하여 CCD에서 점  $P_c(x_c, y_c)$ 에 대응하며 점  $P_c(x_c, y_c)$ 는

$$P_c(x_c, y_c) = \begin{pmatrix} \frac{k_x \phi_1 g_1 (z_1(l_0 - f_1) - f_1^2) - g_1 f_0 f_1 x}{(b_1 + l_1)(z_1 l_0 - z_1 f_1 - f_1^2) - z_1 f_1^2} \\ \frac{k_y \phi_1 g_1 (z_1(l_0 - f_1) - f_1^2) - g_1 f_0 f_1 y}{(b_1 + l_1)(z_1 l_0 - z_1 f_1 - f_1^2) - z_1 f_1^2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $k_x$ 와  $k_y$ 는 각각  $x$ 축 방향과  $y$ 축 방향으로 대응하는 요소 렌즈의 번호,  $\phi_1$ 는 마이크로 렌즈 어레이의 피치 사이즈,  $b_1$ 는 시료가 대물렌즈의 초점 거리에 위치했을 때의 intermediate plane으로부터 시료가  $z_1$ 의 깊이에 있을 때 intermediate plane까지의 거리,  $l_1$ 은 시료가 대물렌즈의 초점거리에 위치했을 때의 intermediate plane으로부터 마이크로 렌즈 어레이까지의 거리이고  $g_1$ 은 마이크로 렌즈 어레이로부터 CCD까지의 거리이다.

집적 영상 현미경에서 식(5)와 (6)을 이용하여 평면 방향과 깊이 방향의 확대율을 얻기 위해서는 그림 2와 같은 구조의 분석이 필요하다. 그림 4(b)처럼 재생하기 위해 식(1), (2) 그리고 (3)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{k,c} = \frac{g_1}{l_1 + b_1} (k\phi_1 - x_i) \quad (7)$$

$$S_{k,d} = \frac{g_2}{l_2 + b_2} (k\phi_2 - x_2) \quad (8)$$

여기서  $S_{k,c}$ 는 점  $P_i$ 가 마이크로 렌즈 어레이를 통과하여 CCD상에 위치할 때의 지역좌표를 말하며  $S_{k,d}$ 는 디스플레이 상에  $S_{k,c}$ 에 대응하는 확대된 지역좌표이고,  $g_2$ 는 디스플레이에서 렌즈 어레이까지의 거리이다. 따라서  $S_{k,d} = a S_{k,c}$ 이므로 식(8)에 (7)을 대입하면

$$k \left( \frac{g_2 \phi_2}{l_2 + b_2} - \frac{a g_1 \phi_1}{l_1 + b_1} \right) = \frac{g_2}{l_2 + b_2} x_2 - \frac{a g_1}{l_1 + b_1} x_i \quad (9)$$

로 전개할 수 있다. 렌즈의 번호에 상관없이 요소 영상에서 대응하는 점들은 항상 점  $P_2$ 에 모여지게 되므로 식(9)은  $k$ 에 상관없이 성립 되어 한다. 따라서 식(9)의 좌항과 우항을 각각 분리하여 전개하면

$$b_2 = \frac{(l_1 + b_1) g_2 \phi_2}{a g_1 \phi_1} - l_2 \quad (10)$$

$$x_2 = \frac{\phi_2}{\phi_1} x_i \quad (11)$$

로 나타낼 수 있으며  $l_2$ 는 렌즈 어레이로부터

중심 깊이까지의 거리이다.  $g_1$ 과  $g_2$ 는 렌즈의 법칙에 의해

$$g_1 = \frac{l_1 f_1}{l_1 - f_1} \quad (12)$$

$$g_2 = \frac{l_2 f_2}{l_2 - f_2} \quad (13)$$

으로 나타낼 수 있으며, 여기서  $f_2$ 는 디스플레이에서 렌즈 어레이의 초점거리이다. 깊이 방향의 비를 알기 위해 식(10)의  $b_2$ 에  $g_1$ 과  $g_2$ 를 대입하면

$$b_2 = \frac{l_2 f_2 \phi_2 (l_1 - f_1)}{a f_1 \phi_1 (l_2 - f_2)} - l_2 + \frac{l_2 f_2 \phi_2 (l_1 - f_1)}{a l_1 f_1 \phi_1 (l_2 - f_2)} b_1 \quad (14)$$

로 전개할 수 있다. 식(14)에서  $b_2$ 는  $b_1$ 에 대하여 일정한 오프셋을 가지고 선형적으로 대응되는 것을 알 수 있다. 이 때, 0이 아닌 오프셋은 중심 깊이면에 위치한 시료가 디스플레이의 중심 깊이면에서 그 오프셋만큼 이동한 면에서 재생된다는 것을 의미한다. 요소 영상의 획득과 3차원 영상으로의 재생이 중심 깊이면에서 최대의 해상도를 가진다는 사실을 고려할 때, 이러한 오프셋은 재생 영상의 질을 저하하는 요인으로 작용한다. 따라서 오프셋을 0으로 조정하는 것이 필요하며 이를 위한 디스플레이에서 깊이 방향까지의 거리  $l_2$ 를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$l_2 = \frac{f_2 (\phi_2 (l_1 - f_1) + a f_1 \phi_1)}{a f_1 \phi_1} \quad (15)$$

따라서 식(14)에 식(15)을 대입하면  $b_2$ 는

$$b_2 = \frac{f_2 (\phi_2 (l_1 - f_1) + a f_1 \phi_1)}{a l_1 f_1 \phi_1} b_1 \quad (16)$$

으로 나타낼 수 있다.

지금까지는 시료의 깊이  $z_1$ 에 따라 변하는 intermediate plane상의 좌표  $x_i$ 와  $b_1$ 에 대한 값을 스케일링 한 것이므로 최종적인 관계식을 얻기 위해서  $x_i$ ,  $b_1$ 은

$$x_i = \frac{f_1 f_1}{z_1 (l_0 - f_1) - f_0^2} x_1 \quad (17)$$

$$b_1 = \frac{-f_t^2 z_1}{z_1 (l_0 - f_t) - f_0^2} \quad (18)$$

로 나타낼 수 있으므로 여기서  $z_1$ 의 의존성을 없애기 위해  $l_0 = f_t$ 로 조정하면

$$x_i = -\frac{f_t}{f_0} x_1 \quad (19)$$

$$b_1 = \frac{f_t^2}{f_0^2} z_1 \quad (20)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서  $x_2$ ,  $b_2$ 를 얻기 위해 식 (19), (20)를 식(11), (16)에 각각 대입하면

$$x_2 = \frac{\phi_2}{\phi_1} x_i = -\frac{\phi_2}{\phi_1} \cdot \frac{f_t}{f_0} x_1 \quad (21)$$

$$b_2 = \frac{f_2 (\phi_2 (l_1 - f_1) + a f_1 \phi_1)}{a l_1 f_1 \phi_1} \cdot \frac{f_t^2}{f_0^2} z_1 \quad (22)$$

로 나타낼 수 있다.

집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상을 디스플레이 할 경우 영상의 활용도를 최대로 하기 위해서는 스케일링 계수는  $a = \phi_2 / \phi_1$ 이어야 한다. 이와 같은 스케일링 계수  $a$ 에서 식 (21), (22)에 의한 재생 영상의 위치  $P_2(x_2, b_2)$ 는

$$P_2(x_2, b_2) = \left( -\frac{\phi_2}{\phi_1} \cdot \frac{f_t}{f_0} x_1, \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{f_t^2}{f_0^2} z_1 \right) \quad (23)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 요소 영상의 활용도를 최대로 하기 위한 스케일링 계수를 사용할 경우, 재생 3차원 영상의 원래 시료에 대한 평면 방향 확대율은  $-\phi_2 f_t / \phi_1 f_0$ , 깊이방향 확대율은  $f_2 f_t^2 / f_1 f_0^2$ 로 서로 다르게 주어짐을 알 수 있다.

집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상을 디스플레이 할 때 왜곡을 최소화하여 요소 영상을 재생하기 위해서는 평면 방향과 깊이 방향의 확대율이 같아야 하므로 아래와 같은 조건이 만족되어야 한다.

$$\left| \frac{x_2}{x_1} \right| = \left| \frac{b_2}{z_1} \right| \quad (24)$$

위와 같은 조건을 만족하기 위해 식 (21)과 (22)을 전개하면

$$\frac{\phi_2}{\phi_1} = \frac{f_t}{f_0} = \frac{f_2(\phi_2(l_1 - f_1) + af_1\phi_1)}{af_1f_1\phi_1} = \frac{f_t^2}{f_0^2} \quad (25)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 평면 방향과 깊이 방향의 확대율이 같을 때 왜곡이 최소화 되며 이때의 스케일링 계수  $a$ 는

$$a = \frac{f_2f_t\phi_2(l_1 - f_1)}{l_1f_0f_1\phi_2 - f_1f_2f_t\phi_1} \quad (26)$$

로 나타낼 수 있다.

### V. 스케일링을 적용한 요소 영상의 재생 실험

실험에서는 집적 영상 현미경을 이용하여 요소 영상을 획득하고 결과를 간단히 보여주기 위해 스케일링 계수를 두 렌즈의 피치사이즈의 크기의 비율로 정한 후 디스플레이에서 영상을 확대하였다. 실험에 사용된 CCD는 6000x4000 픽셀을 가지며 픽셀 피치의 크기는 6 $\mu$ m이다. 대물렌즈와 튜브렌즈의 초점은 각각 20mm, 200mm 을 사용하였고 배율은 10 $\times$ 이다. 집적 영상 현미경에서 사용된 마이크로 렌즈 어레이는 125 $\mu$ m의 피치 사이즈를 가지며 초점거리는 2.4mm 이며 디스플레이에서 사용된 렌즈 어레이는 1mm의 피치 사이즈를 가지며 초점 거리는 3.3mm이다. 마이크로 렌즈 어레이는 100 $\times$ 100의 렌즈 배열로 구성되어 있으며 이 중 86 $\times$ 86개의 렌즈를 이용하여 요소 영상을 획득영상였다. 집적 영상 현미경을 이용해 3mm이다. 마이는 1930 $\times$ 1930 픽셀 사이즈를 가지며 단일이다. 마이는 22.441860 픽셀을 가진다. 집적 영상 디스플레이의 경우 1mm의 피치 사이즈를 가지는 렌즈 어레이를 사용하며 디스플레이의 픽셀 사이즈가 124 $\mu$ m 이을 획득 렌즈 어레이의 피치 사이즈의 비를 스케일링 계수 획사용하면 스케일링 계수는 8배가 되며 집적 영상 디스플레이에서 환되어 있으며 이 집적 영상 현미경으로부터 3mm이다. 마이에 약 0.359 배만큼 픽셀 사이즈를 조절해용 이용해서 집적 영상 디스플레이에서 확대된 다. 마이에 약 693 $\times$ 693 픽셀 사이즈를 가져용 이용해서 그림 5는 집적 영상 현미경을 이용하여 획득한 요소 영상을

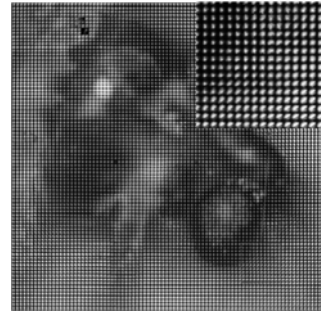


그림 5. 집적 영상 현미경을 이용한 곤충 영상

1930 $\times$ 1930 픽셀 사이즈에서 693 $\times$ 693 픽셀 사이즈로 크기를 조절한 요소 영상이다.

그림 5의 요소 영상에서 전체적으로 단일 요소 영상당 경계면이 뚜렷하게 보인다. 이는 집적 영상 현미경에서 획득한 영상에서는 시료에 충분한 빛이 전달되지 않을 경우 또는 시료의 특정 부위에 의해 빛이 가로 막혀 보이지 않는 경우 마이크로 렌즈 어레이에 영상의 정보가 완전히 전달되지 않기 때문이다. 그림 6은 직접 영상 디스플레이에서 방향 별로 바라본 집적 영상을 촬영한 이미지다.

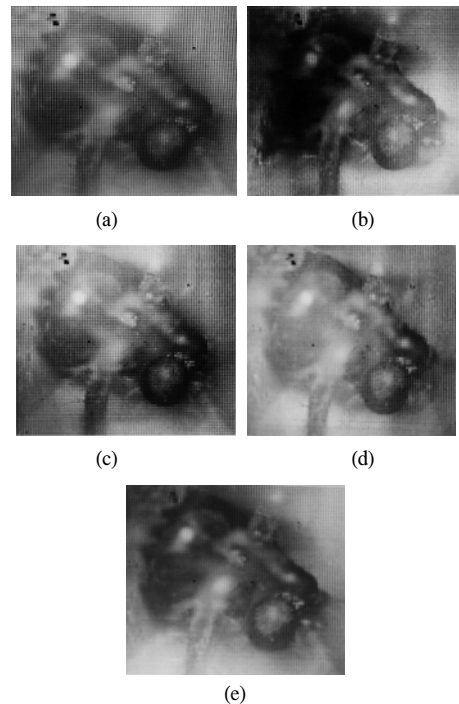


그림 6. 다양한 위치에서 촬영한 집적 영상 (a) 위에서 본 영상 (b) 왼쪽에서 본 영상 (c) 중앙에서 본 영상 (d) 오른쪽에서 본 영상 (e) 아래에서 본 영상

VI. 결 론

집적 영상 현미경에서 획득한 요소 영상을 이용하여 집적 영상 디스플레이에서 재생하였다. 이를 위해 기하학적 분석을 통해 서로 다른 피치 사이드를 가지는 두 렌즈 어레이에서 획득과 재생한 영상을 정보의 손실 없이 보여주기 위한 관계식을 도출하였다. 일반적으로 평면 방향의 확대율과 깊이 방향의 확대율이 다르기 때문에 이를 각각의 비율을 같게 할 경우 집적 영상 디스플레이에서 정보가 정확히 전달되지 않는다. 따라서 두 렌즈 어레이의 피치 사이드의 비를 이용해 영상을 재생하는 방법을 설명하고 이를 실험적으로 보였다.

참 고 문 헌

[1] J.-S. Jang and B. Javidi, "Three-dimensional integral imaging of micro-objects," *Opt. Lett.*, 29, 1230-1232, 2004.

[2] M. Levoy, R. Ng., A. Adams, M. Footer, and M. Horowitz, "Light Field Microscopy," *ACM Transactions on Graphics*, 25, 31-42, 2006.

[3] 권기철, 김남, 홍종면, "편광방식 입체영상 디스플레이 시스템의 의료분야 응용기술 구현," *한국정보디스플레이학회지*, 제6권, 14-20, 2005

[4] N. Kim, "Bio/Medical Applications Using High Definition 3-D Stereo Camera and Monitor System," *Optics and Photonics Congress*, DTuA6, 2008.

[5] H. Yamanoue, M. Okui, and F. Okano, "Geometrical analysis of puppet-theater and cardboard effects in stereoscopic HDTV images," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 16, 744-752, 2006

[6] Y.-T. Lim, J.-H. Park, N. Kim, and K.-C. Kwon, "Dense light field microscopy," *Proc. SPIE*, 7237, 72371Q, 2009.

[7] D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Computational integral imaging reconstruction of 3D Object using a depth conversion technique," *J. Opt. Soc. K.*, 12, 131-135, 2008.

[8] J.-H. Park, H. Choi, Y. Kim, and B. Lee, "Scaling of three-dimensional integral imaging," *Japanese Journal of Applied Physics*, 44, 216-224, 2005.

[9] J.-H. Park, G. Baasantseren, N. Kim, G. Park, J.-M. Kang, and B. Lee, "View image generation in

perspective and orthographic projection geometry based on integral imaging," *Opt. Express*, 16, 8800-8813, 2008.

[10] J. Arai, H. Kawai, and F. Okano, "Microlens arrays for integral imaging system," *Appl. Opt.*, 45, 9066-9078, 2006.

임 영 태 (Young-Tae Lim)

정회원

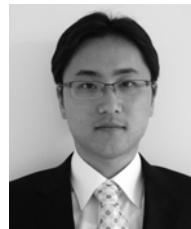


2005년 2월 충북대학교 전기전  
자컴퓨터공학부 학사  
2007년 2월 충북대학교 전기전  
자컴퓨터공학부 석사  
2007년 3월~현재 충북대학교 전  
자정보대학 박사과정  
<관심분야> 3차원 디스플레이,

광정보처리

박 재 형 (Jae-Hyeung Park)

정회원



2000년 2월 서울대학교 전기공  
학부 학사  
2002년 2월 서울대학교 전기공  
학부 석사  
2005년 8월 서울대학교 전기공  
학부 박사  
2005년 9월~2007년 8월 삼성

전자 책임연구원

2007년 10월~2009년 9월 충북대학교 전임강사  
2009년 10월~현재 충북대학교 조교수  
<관심분야> 3차원 디스플레이, 광정보처리

권 기 철 (Ki-Chul Kwon)

정회원



1996년 2월 상주대학교 전기전  
자공학과(공학사)  
2000년 2월 충남대학교 전자공  
학과(공학석사)  
2005년 2월 충북대학교 정보통  
신공학과(공학박사)  
2002년~2008년 프리즘테크 부

설연구소 연구원

2008년~현재 충북대학교 연구교수

<관심분야> 디지털 영상처리 및 의료영상처리, 입  
체영상 처리 시스템



김 남 (Nam Kim)

중신회원



1981년 2월 연세대학교 전자공  
학과 학사

1983년 2월 연세대학교 전자공  
학과 석사

1988년 8월 연세대학교 전자공  
학과 박사

1989년 2월~현재 충북대학교 전

자정보대학 교수

1992년 8월~1993년 8월 미 Stanford 대학교 교환  
교수

1998년 5월~현재 한국광학회 평의원/이사

1999년 1월~현재 한국통신학회 평의원/이사

2001년 3월~2002년 2월 미 CalTech 방문연구원

2005년 4월~현재 충북 BIT 연구중심대학 육성사업  
단 사업단장

2006년 6월~현재 BEMS 이사

<관심분야> 3차원 디스플레이, 광정보처리, 이동통  
신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로해석, EMI/  
EMC 및 전자파 인체보호 규격