

# 디지털 현미경에서 2만 배의 배율이 정말로 유효한가?

## 소개

디지털 현미경에는 이미지 관찰용 카메라만 있고 접안렌즈는 없습니다. 실제 현미경 같이 시각적 관찰을 위한 접안렌즈가 있는 현미경에도 디지털 카메라를 장착할 수 있습니다.

두 종류의 현미경 모두 광범위한 분야와 산업에서 다양한 용도로 사용됩니다.

광학 현미경의 성능을 평가하려면 최고 허용 배율을 알아야 합니다. 디지털 현미경 검사에서 20,000x 같은 매우 높은 배율값이 자주 언급됩니다. 이 보고서에서는 디지털 현미경 검사의 유효 배율 범위에 관한 몇 가지 유용한 정보를 소개합니다.

## 배율의 정의

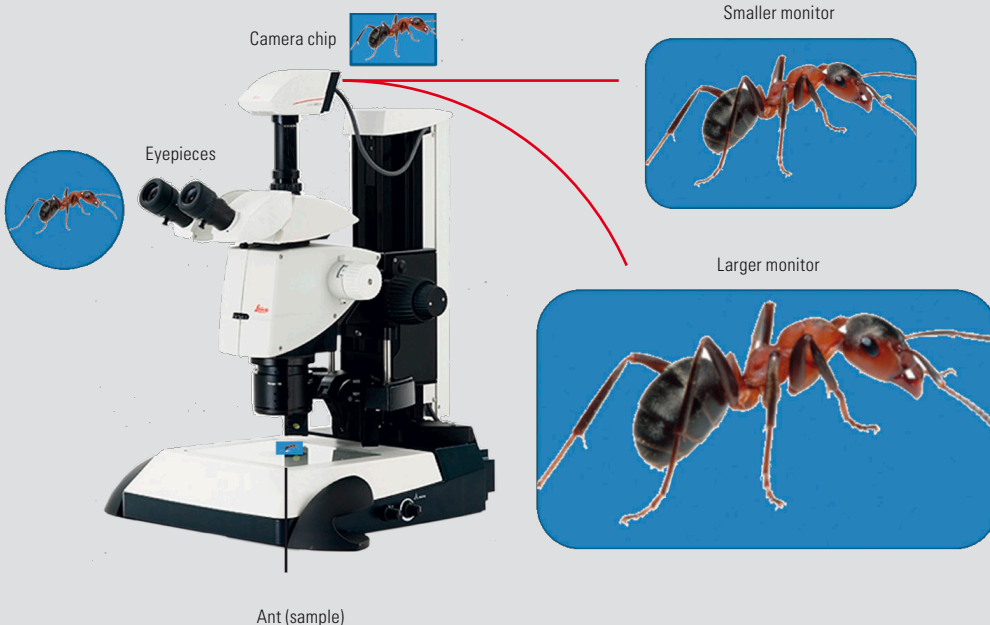
배율은 대상의 실제 크기와 대물렌즈에서 이미지로 보여지는 크기의 비율로 정의됩니다. 2차원 배율은 다음 공식으로 결정됩니다.

$$\text{배율} = \frac{\text{이미지로 보여지는 대상의 치수}}{\text{대상의 실제 치수}}$$

아래 그림은 디지털 현미경과 접안렌즈 및 디지털 카메라가 장착된 실제 현미경의 예입니다.

왼쪽: Leica DFC450 디지털 카메라가 장착된 Leica M205 C 실제 현미경. 카메라를 통한 이미지 검출을 위해 접안렌즈나 디스플레이 모니터(그림에는 2가지 크기 표시)를 통해 개미 시료를 관찰할 수 있습니다.

오른쪽: 이미지 표시를 위해 다양한 모니터 크기를 사용하는 Leica DMS1000 디지털 현미경



## 디지털 현미경 검사의 유효 배율 범위

20.000x 수준의 배율이 유효 범위를 벗어난다는 사실은 더 이상의 디테일을 관찰할 수 없는 공확대(empty magnification)가 아니냐는 질문을 항상 불러일으킵니다. 그렇다면 이미지를 모니터의 디스플레이를 통해 관찰하는 디지털 현미경 검사에서 유효 배율 범위를 결정하는 요소는 무엇일까요? 2가지 주요 요소는 현미경 시스템 분해능과 이미지 관찰 거리입니다.

### 현미경 시스템 분해능

3가지 주요 요소가 디지털 현미경이나 접안렌즈와 디지털 카메라가 장착된 일반 현미경의 시스템 분해능에 영향을 미칩니다.

- › 대물렌즈, 줌, 튜브, 카메라 마운트 렌즈의 광학적 분해능
- › 카메라 칩의 이미지 센서 분해능
- › 전자식 모니터의 이미지 디스플레이 분해능

디지털 현미경 시스템의 분해능 한계는 위에서 언급한 3가지 분해능 값 중 최소값에 의해 결정됩니다.

### 유효 배율 범위

먼저, 관찰자의 눈과 표시된 이미지 사이의 거리인 관찰 거리가 항상 유효 범위 내라고 가정합니다. **관찰 거리의 유효 범위**는 명확한 초점이 가능한 인간 눈의 가장 가까운 평균 지점인 25 cm 기준입니다.

디지털 현미경 검사의 유효 배율 범위는 다음과 같이 정의될 수 있습니다.

$$\frac{\text{시스템 분해능}}{6} < \text{유효 배율} < \frac{\text{시스템 분해능}}{3}$$

그러므로 유효 배율 범위는 현미경 시스템 분해능의 1/6과 1/3 사이입니다.

최신 카메라 칩의 픽셀 크기는 10 μm 미만이고 최신 모니터의 픽셀 크기는 1 mm 미만입니다. 시료에서 카메라 칩까지 높은 배율(예: 150x)에서는 현미경 시스템

분해능이 광학적 분해능 한계에 의해 결정됩니다. 최대 개구수인 1.3과 최소 가시광선 파장인 400 nm의 광학적 분해능 한계는 약 5.400라인 쌍/mm입니다. 바로 앞에서 정의한 유효 범위에 속하는 **최대 배율**은 1.800x입니다.

시료에서 카메라 칩까지 매우 낮은 배율(예: 1x)에서는 보통 개구수가 아주 작지만, 픽셀 크기가 2 μm보다 큰 카메라 칩과 픽셀 크기가 0.5 mm보다 큰 모니터의 분해능 한계는 일반적으로 광학적 분해능보다 작습니다. 따라서 매우 낮은 배율에서는 칩 또는 모니터 분해능 한계가 결정 요인입니다.

### 공확대

배율값이 디지털 현미경 검사의 유효 배율 범위인 1.800x를 초과할 때마다 이미지가 더 크게 보이지만 시료에 대한 추가 디테일은 관찰할 수 없는 공확대가 발생합니다. 20.000x의 배율은 1.800x배보다 훨씬 더 높기 때문에 분명히 공확대입니다.

### 결론

다른 광학 현미경과 마찬가지로 디지털 현미경에도 분명한 유효 배율 범위 한계가 있습니다. 이 배율 범위를 벗어나면, 즉 1.800x를 초과하면 공확대만 발생할 뿐입니다. 디지털 현미경 검사의 유효 배율 범위에 대한 더욱 자세한 정보는 아래 추가 자료의 기술 보고서를 참조하시기 바랍니다.

### 추가 자료

[DeRose, J.A., Doppler, M.: What Does 30,000x Magnification Really Mean? Some Useful Guidelines for Understanding Magnification in Today's New Digital Microscope Era, Leica Science Lab, February 2015](#)

저자: J.A. DeRose, M. Doppler, Leica Microsystems