다시점 3차원 디스플레이 특성 측정 및 분석

윤선규(한국광기술원 광응용연구본부 공간광정보연구센터)

1. 서 론

홀로그램, light-field와 다시점 방식 등의 무안경 3차원 디스플레이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 이중 light-field와 다시점 3차원 디스플레이는 상용화 가까운 기술이라 할 수 있다. 그리고 ICE와 ICDM외에도 다양한 위원회에서는 해당 기술에 대한 특성 측정 및 분석에 대한 표준화를 준비하고 있다. 하지만, 무안경 3차원 디스플레이의 특성에 대한 측정 및 분석에 대한 연구는 상대적으로 미진한 상태이다.

본 기고에서는 다시점 무안경 방식의 연구와 관련된 측정 방법을 소개하고, 그 중 CCD를 이용한 측정방법을 이용한 분석중 일부를 소개하여 관련 연구를 진행하는 이에게 조금의 도움을 주고자한다.

다시점 무안경식 입체 디스플레이는 관찰자의 양안 간격과 유사한 거리를 두고 촬영된 영상을 표시하여 시청자로 하여금 시청된 영상을 두뇌에서 조합하여 입체감을 느끼도록 하는 것이다. 이러한 입체 디스플레이에서 깨끗한 영상을 시청할 수 없도록 방해하는 요인 중 하나가 crosstalk이다. 이는 입체 디스플레이를 제작하는 방법에 따라서 그 정도가 다르다. 이는 다시점 입체 디스플레이에서 양안시차를 우선시 할 경우에는 crosstalk가 최소가 되어야 하지만, 운동시차를 위해서는 crosstalk가 최소화 되어야 하는지에 대한 기준이 명확하지 않다.

Crosstalk를 측정하는 방법은 여러 가지 방식이 있다. 카메라를 이용하여 영상의 변화를 측정하여 영상을 분석하는 방식, 휘도계를 이용하여 공간상의 밝기 변화를 측정하는 방식, 광학판에서 발산되는 빛의 경로를 측정하여 계산식으로 분석하는 방식, 렌즈가 없는 CCD를 이동하며 측정공간의 밝기 분포를 측정하는 방식 등이 있다.[1-6]

2. 무안경식 디스플레이 측정방법

2.1. 영상을 이용한 측정방법

영상을 이용하여 측정하는 방법은 다시점 디스플레이 특성을 가장 손쉽게 측정할 수 있는 방법이다.[2] 디스플레이를 중심으로 카메라를 일정간격으로 이동 회전하고, 시점 영상을 변화 시키면서 촬영하거나, 하나의 시점 영상을 표시한 후 일정한 간격으로 이동 회전하면서 촬영한 사진 정보를 분석 하는 방법이다. 이때 디스플레이와 카메라 사이의 간격은 설계상의 최적 시청 거리를 기준으로 촬영한다.

이는 디스플레이 중앙을 중심으로 한 호에서의 일정한 간격을 이동 시키며 촬영하는 방법으로, 간격이 좁을수록 정확한 정보를 분석할 수 있다. 측정한 모든 정보를 사용하기 보다는 촬영된 영상의 중앙의 데이터를 주로 사용하기 때문에 측정된 데이터를 전부 활용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 또한 설계상의 최적 시청거리와 실제 디스플레이의 최적 시청거리가 동일하다는 가정 하에 측정되는 방식이기 때문에, 디스플레이 특성에 따라서 변화된 변수를 분석하기 어렵다.

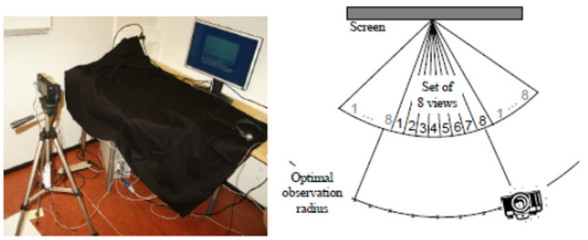


그림 1. 영상을 이용한 다시점 디스플레이 측정방법[2]

2.2. 휘도계를 이용한 측정방법

휘도계를 이용한 측정방법은 기존 2차원 디스플레이를 측정하는 방법을 응용한 것이다. 시점별로 백색 영상을 전환시켜가며, 휘도를 측정하는 방식으로 기존 시스템을 이용하는 장점을 가지고 있지만, 다시점 디스플레이를 측정하기에는 한계가 있다.

휘도계를 이용하여 측정하는 방법은 입체 디스플레이의 미소영역을 측정하여, crosstalk를 계산하는 방법이다. 이 방법으로 crosstalk, OVD, valid viewing area를 측정하기 위해서는 측정하고자 하는 대상에 따라서 새로운 setup을 구성해야한다.

2.3. 퓨리어 렌즈를 이용한 측정방법

휘도계를 이용한 측정방법의 장점을 최대한 유지하기 위해서 사용하는 방법이 퓨리어 렌즈를 이용하여 측정하는 방식이다.[4] 이는 휘도계 앞에 퓨리어 렌즈를 부착하여 입체 디스플레이에서 발산되는 시점별 광 경로와 휘도를 동시에 측정하는 방식이다.

그림 2은 그 퓨리어 렌즈를 이용한 측정장비와 계념도이다. (a)와 같이 해당 장비는 ELDIM에서 상용화한 장비이다. (b)는 해당 장비의 측정원리도로, 측정장비가 디스플레이와 일정한 거리를 유지한 상태에서 렌즈에 입사한 시점 정보의 광경로를 분석한다. 그리고 신뢰도를 유지하기 위해서는 렌즈에 최소 3주기 이상의 3차원 광학계 정보가 입사되어야 한다. 따라서 대형 디스플레이나 시점수가 많은 입체 디스플레이를 측정하기에는 한계가 있다.

이 측정방법은 디스플레이 일부를 측정하기 때문에 측정공간을 최소화 할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 중소형 무안경식 입체 디스플레이 일부분을 측정하여 균일도를 검증하기에는 좋은 방법이다.

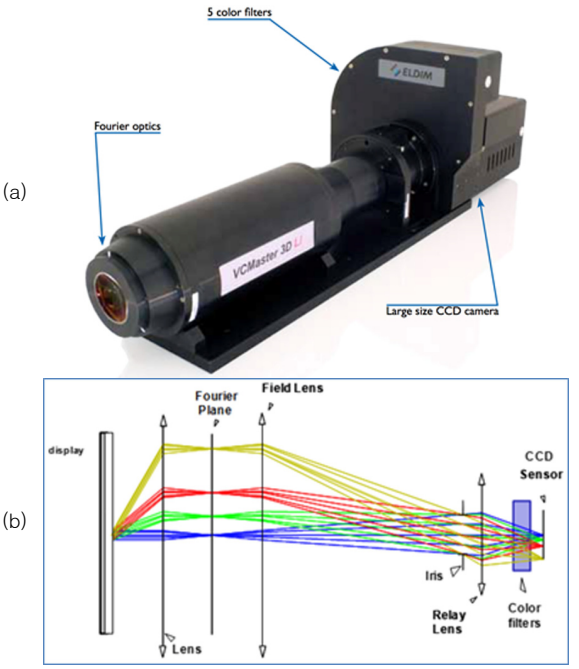


그림 2. 퓨리어 렌즈를 이용한 측정방법[4] ; (a) Eldim 사의 VCMaster 3D, (b) 퓨리어 렌즈를 이용한 측정방법 원리도

하지만, 대형 무안경식 입체 디스플레이는 완벽한 평면으로 보기 어렵기 때문에 일부분을 측정한 데이터를 이용하여 디스플레이 전체를 대표하는 특성 분석하기에는 부적합 할 수 있다.

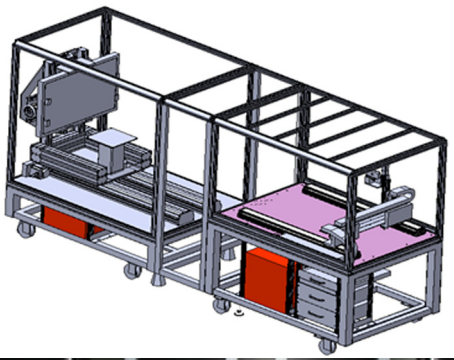
2.4. CCD를 이용한 측정방법

렌즈가 없는 이미지 센서(CCD)를 사용하여 다시점 디스플레이를 측정할 수 있다.[6]

그림 3의 (a)는 해당 측정방법을 이용한 구성도이고, (b)는 설제 측정장비를 구성한 사진이다. 그림에서처럼 CCD는 x-축과 z-축으로 움직이는 자동 이송장치를 이용하여 움직인다. 제한되는 공간이지만 측정 가능한 모든 위치에서의 밝기 값을 측정할 수 있다. 측정한 데이터를 이용하여 최적시청거리를 찾고, 시역에서의 밝기 분포와 crosstalk를 확인 할 수 있다.

측정에 사용되는 정보는 각 시점 별 백색 영상, 모든 시점이 꺼진 검정색 영상과 모든 시점이 켜진 백색 영상을 측정한다. 각 시점별 백색 영상은 밝기 분포와 crosstalk 양을 확인하기 위한 영상정보이다. 검정색 영상은 디스플레이가 기본적으로 유출하는 빛과 암실내에서 발생하는

(a)



(b)

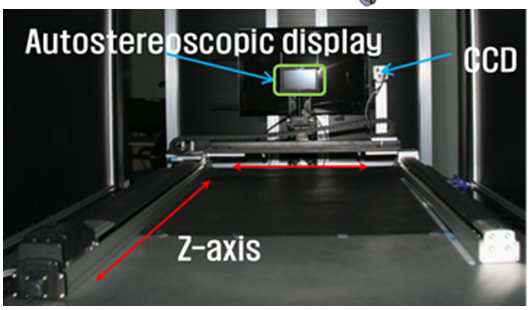


그림 3. CCD를 이용한 측정방법[6] ; (a) 측정장비 구성도(KIST), (b) 측정 set-up

빛의 분포를 측정하기 위한 것이다. 마지막으로 전 시점이 백색인 영상은 각 위치에서의 밝기의 최대치를 측정하기 위한 것이다.

최종으로 사용되는 데이터는 전체 밝기 데이터와 시점별 밝기 데이터의 비로 사용하게 된다. 이때 각각의 데이터는 검정색 영상일 때 측정값을 제거하여 사용한다.

이러한 CCD를 이용한 측정방법은 측정 공간 전체를 측정해야 입체 디스플레이의 특성을 분석할 수 있기 때문에 다른 방법에 비하여 측정시간이 오래 걸리고, 휘도를 별도로 측정해야 하는 단점이 있다. 하지만, 측정 공간이 충분 할 경우에는 평편비가 낮은 다시점 입체 디스플레이를 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

해당 측정장비는 한국과학기술연구원(KIST), 한국광기술원(KOPTI)와 전자부품연구원(KETI)에 설치되어 있는 것으로 확인된다.

3. 분석 방법

3.1. Crosstalk

다시점 입체 디스플레이에서 2시점 이상의 영상이 겹쳐서 보이는 현상은 2차원 디스플레에서 발생하는 고스트 영상과 유사한다. 이는 시점 영상간의 간섭으로 발생하는 것이며, 이를 정량적으로 평가하는 것이 crosstalk이다.[7]

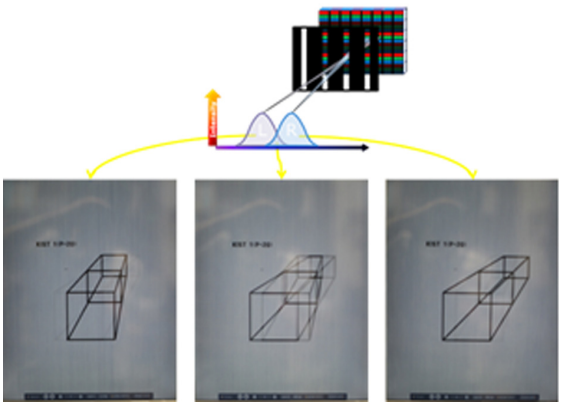


그림 4. 2시점 무안경 입체 디스플레이의 crosstalk

그림 4는 2시점 다시점 입체 디스플레이에서의 시점 중심과 경계에서의 촬영된 영상이다. 각 시점 중심에서는 다른 시점의 영상이 보이는 정도가 최소가 되어 정확한 양안시를 제공할 수 있지만, 관찰자의 위치가 해당 위치를 이탈 할 경우에는 두 시점의 영상이 겹쳐진 영상을 관찰하게 되어 정확한 입체 영상을 볼 수 없게 되는 것이며, 이를 고스트 영상이라 한다. 이를 정량화하기 위하여 시점영상의 밝기 또는 휘도를 측정하여 crosstalk를 계산할 수 있다.

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^{N} L_j - L_i}{L_i} = \frac{\sum_{j=1}^{N} L_j}{L_i} - 1 \qquad (1)$$

수식 (1)처럼 crosstalk는 기준 시점에 다른 시점의 영상정보가 겹치는 정도를 수치화한 것이다. 전체 시점수가 N인 입체 디스플레이의 i번째 시점의 crosstalk는 전체 시점에서 i번째 시점의 밝기를 제외한 밝기가 i번째 밝기보다 얼마나 강한지는 계산하는 것으로, 전체 시점을 i번째 시점의 밝기로 나눈 값에 비례한다. 따라서 crosstalk 수치가 낮을수록 정확한 입체 영상을 시청할 수 있는 것이고, crosstalk가 증가할수록 여러 시점영상이 겹쳐진 입체 영상이 제공되어 입체영상 시청을 방해하게 된다.

해당 분석 방법은 시점간격이 양안 사이의 거리 이상인 디스플레이에는 적합하다. 하지만, 초다시점 디스플

레이에 대한 연구가 진행되면서, 양안 간격 내에 시점수가 증가하고 있기 때문에 단위 시점별 crosstalk이외에도 양안간에 crosstalk도 중요한 요소이다.

3.2. 최적 시청거리

무안경식 입체 디스플레이에서 입체 영상을 정확히 시청할 수 있는 거리를 최적 시청거리(optimum viewing distance, OVD)라 한다. 이론적으로 설계 시청 거리(designed viewing distance, DVD)와 제작된 디스플레이의 OVD는 동일해야 하지만, 공차 및 광학판과 디스플레이 간격을 일정하게 유지하기 위한 투명 간격제의 굴절률 등으로 인하여 설계와 다른 시청거리를 형성하게 된다.[8-10]

OVD를 분석하는 방법으로는, 한 시점이 영상이 디스플레이 전체에서 관찰되는 거리를 측정하는 방법,[11] 시점영상의 밝기 분포에서 반치폭이 최소가 되는 거리를 분석하는 방법,[12] 디스플레이의 최외각에서 발산하는 시점영상의 교점을 찾는 영상방법,[9] crosstalk가 최소인 위치를 찾기 위하여 상대적인 밝기를 이용하는 방법[10,13]이 있다.

만약 디스플레이와 광학판 사이의 간격이 일정하지 않거나, 투명 간격제의 굴절률이 높을수록 OVD는 하나의 위치로 특정 할 수 없다.[8-10] 그림 5는 유리 간격제의 굴절률로 인하여 시점이 곡선 형태로 배치된 경우를 나타낸다.

그림 5는 CCD를 사용하여 시점 영상을 밝기 분포를 측정하고, 이를 상대적 밝기로 변환하여 표현한 그래프이다. 일반적인 OVD 정의에 따라서 디스플레이 중심에 수직 위치에서의 OVD를 분석한 결과가 검은색 선으로 나타낸 것이다. 하지만 측정된 상대적 밝기가 크게 나타나는 시점이 직선이 아닌 곡선 형태로 배치된 것을 확인할 수 있다.

3.3. 유효 시점 영역

유효 시점 영역이란 각 시점 영역을 인접한 시점영상의 겹침으로 인한 시청 방해가 최소화 되는 공간이다. 이는 기준 시점의 밝기 크기가 좌우에 인접한 시점의 밝기보다 큰 영역을 계산하여 표현할 수 있다.

그림 6에서 붉은색 실선으로 표시된 영역은 그림 5의 데이터에서 유효 시점 영역을 계산한 결과이다. 그 결과 주시역에 해당하는 유효 시점 영역은 연속적으로 배치되어 있는 것을 확인 할 수 있으며, 부시역에 해당하는 유

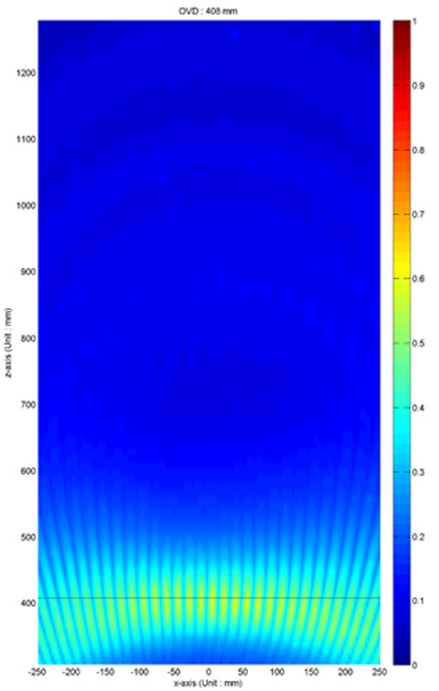


그림 5. CCD를 이용한 측정 데이터와 OVD

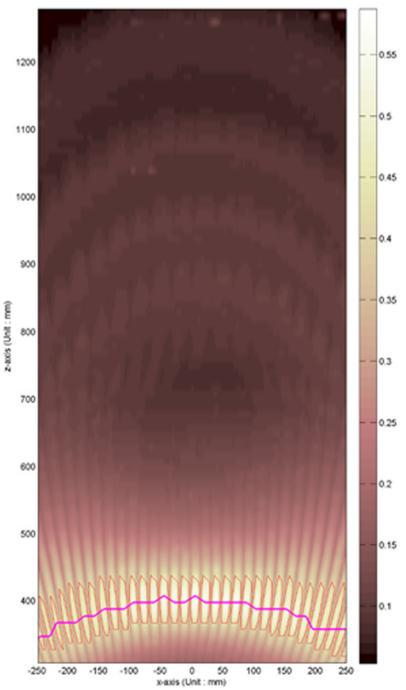


그림 6. 유효 시점 영역 및 sweet spot 연결선

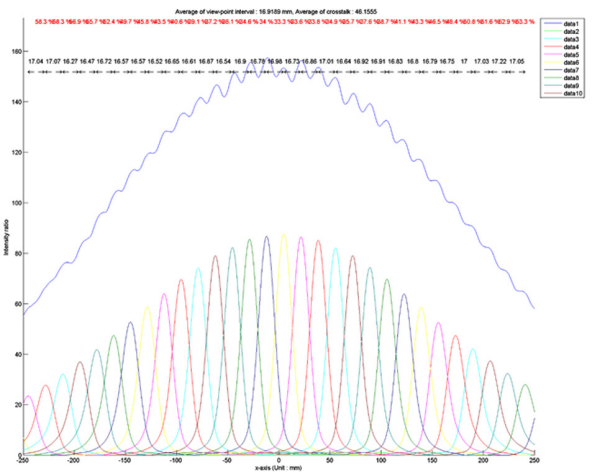


그림 7. sweet spot 연결선에서의 밝기 분포 및 크로스토크 분석 결과

효 시점 영역은 불연속적인 것을 확인 할 수 있다. 그리고 모든 유효 시점 영역이 일직선상에 배치되어 있지 않은 것도 확인된다.

각 유효 시점 영역 내에서 crosstalk가 가장 작은 위치(sweet spot)가 존재한다. 해당 위치를 연결하여 표시하면, 그림 6에서 굵은 보라색 실선처럼 나타난다. 해당 실선이 다시점 디스플레이에서 가장 깨끗한 영상을 시청할 수 있는 위치가 되며, 기존 OVD정의와는 다른 형태임이 확인된다.

따라서 유효 시점 영역을 계산함으로서 기존의 OVD 분석 방법만으로는 확인 만족할 수 없는 최적 시청거리를 계산할 수 있는 것이다. 또한 해당 실선상의 밝기 분포를 이용하여 crosstalk를 계산하면, 그림 7처럼 나타날 수 있다.

Sweet spot을 연결한 선상에서 밝기 분포 데이터를 추출하고, crosstalk를 계산함으로서 다시점 디스플레이에서 최적 시청 환경에 대한 정량적으로 정보를 제공하게 되는 것이다.

3.4. 향후 추가적으로 요구되는 분석 방법

유효 시점 영역을 계산하여 sweet spot을 계산함으로서, 각 시점의 최적 시점 거리를 계산하였고 해당 시청거리에서의 crosstalk를 분석 할 수 있었다. 하지만 주/부 시역의 폭 또는 시청 각도, 무안경 디스플레이의 모아레 분석, 시점간의 대조비, 각 시점에서의 휘도 및 디스플레이의 휘도 균일성 등에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

이외에도 분석된 데이터를 이용하여 디스플레이 패널과 시차장벽 또는 렌즈 어레이간의 정렬 정밀도 등도 분석되어야 할 것이다. 또한 해당 측정 방법을 이용하여 light-field 디스플레이를 분석할 수 있는 방법에 대한 연구도 추가 적으로 진행될 것으로 예상된다.

4. 결 론

렌즈가 없는 CCD를 이동하여 측정하는 방법으로 다시점 입체 디스플레이의 정량적인 분석 중 최적 시청 거리, 유효 시점 영역 및 크로스토크를 분석하는 방법에 대하여 기술하였다. 본 기고의 내용이 가장 정확한 측정 및 분석 방법이라고는 주장 할 수는 없다. 이는 앞으로도 관련 연구, 다양한 디스플레이에 대한 측정 및 분석 데이터가 누적되어 신뢰성이 확보되어야 하며, 기존의 다른 측정 및 분석 방법과의 정량적인 비교 등이 필요하다.

해당 측정 및 분석 방법은 고가의 측정 장비가 없어도 CCD와 이송장치를 이용하여 시스템을 구성하여 측정할 수 있기 때문에 관련 연구자에게 도움이 될 것으로 예상된다. 또한 3차원 디스플레이에 대한 연구 이외에도 특성을 측정하고 분석하는 연구도 활발히 진행되어야 3차원 시스템에 대한 심도 있는 연구가 진행 될 것이다.

참고문헌

[1] A. Boev, A. Gotchev, K. Egiazarian, *Proc. 3DTV conf.*, **1** (2007).

[2] V. Skala, *Proc. 3DTV conf.* **1** (2009).

[3] R. Fukushima, K. Taira, T. Saishu, Y. Momonoi, M. Kashiwagi, and Y. Hirayama, *Proc. SPIE* **7237**, 72370W (2009).

[4] P. Boher, T. Leroux, T. Bignon, V. Collomb-Patton, *Proc. SPIE* **7237**. 72370Z (2009).

[5] M. Salmimaa, and T. Jarvenpaa, *Proc. SPIE* **7001**, 102 (2008).

[6] S. K. Yoon, S.-K. Kim, *Proc. SPIE* **8384**. 83840Y (2012).

[7] A. J. Woods, *Proc. SPIE* **7863**, 78630Z (2011).

[8] K.-C. Huang, Y.-H. Chou, L.-C. Lin, H.Y. Lin,

F.-H. Chen, C.-C. Liao, Y.-H. Chen, K. Lee, W.-H. Hsu, *J. Soc. Inf. Disp.* **21**, 263 (2013).
[9] K.-C. Huang, Y.-H. Chou, L. Chin Lin, H.Y. Lin, F.-H. Chen, C.-C. Liao, Y.-H. Chen, K. Lee, W.-H. Hsu, *Opt. Express* **22**, 4751 (2014).
[10] S. K. Yoon, S. K. Kim, H. Ju, *Optics Communications* **392**, 135 (2017).
[11] International Committee for Display Metrology, SID, Chap. 17, (2012).
[12] K.-H. Yoon, H. Ju, H. I. Park, and S.-K. Kim, *Opt. Express* **22**, 22616 (2014).
[13] S. K. Yoon, S. W. Khym, H. W. Kim, S. K. Kim, *Optics Communications* **370**, 319 (2016).

저자약력

윤선규

- 2007년~2016년 : 한국과학기술연구원 (KIST) 영상미디어센터 학생연구원
- 2016년 : 고려대학교 물리학과 양자광학 박사
- 2016년~2017년 : 한국과학기술연구원 (KIST) 영상미디어연구단 박사 후 연구원
- 2017년~현재 : 한국광기술원 광응용연구본부 공간광정보연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 3차원 디스플레이 시스템, 다시점/초다시점 3D 디스플레이, 다초점 디스플레이 시스템, 디지털 홀로그래피, 3차원 디스플레이 시스템 특성 측정/분석