

SPSPSPSP
SPSPSPS
SPSPSP
SPSPS
SPSP
SPS

SPS-C EDIRAK 0005-7393

SPS

광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한
홀로그래픽 이미지의 화질 평가법

SPS-C EDIRAK 0005-7393:2020

한국디스플레이연구조합

2020년 04월 07일 제정

목 차

머 리 말	ii
1 적용범위	3
2 인용표준	3
3 용어와 정의	3
3.1 광위상 변조(optical phase modulation)	3
3.2 마이크로 디스플레이(micro-display)	4
3.3 홀로그래픽 이미지(holographic image)	4
3.4 스페클(speckle)	4
3.5 스페클 대비(speckle contrast)	4
3.6 단색 스페클(monochromatic speckle)	4
3.7 컬러 스페클(color speckle)	4
3.8 보정 해상도(corrected resolution)	4
4 측정 조건 및 장치	4
4.1 측정 환경	4
4.2 측정 장치 조건	5
5 측정방법	7
5.1 스페클 대비(speckle contrast)	7
5.2 보정 해상도(corrected resolution)	8
5.3 컬러 스페클(color speckle)	9
6 보고서	12
SPS-C EDIRAK 0005-7393:2020: 해 설	13
1 제정의 취지	13
2 제정 경위	13

머 리 말

이 표준은 사단법인 한국디스플레이연구조합에서 원안을 갖추고 산업표준화법 시행규칙 제19조 및 단체표준 지원 및 촉진 운영 요령에 따라 단체표준심의회회의 심의를 거쳐 제정한 단체표준이다.

이 표준은 저작권법에 의해서 보호 대상이 되고 있는 저작물이다.

이 표준의 일부가 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 저촉될 가능성이 있다는 것에 주의를 환기한다. 한국디스플레이연구조합 및 단체표준심의회는 이러한 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 관계되는 확인에 대하여 책임을 지지 않는다.

한국디스플레이연구조합 단체표준

SPS-C EDIARK 0005-7393: 2020

광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가법

Evaluation method of holographic image quality using micro-display based on an optical phase modulation

1 적용범위

이 표준은 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가 항목 중 스펙클 대비, 보정 해상도, 컬러 스펙클에 대해 2차원(2D) 이미지 센서 기반의 측정 장치를 이용한 화질 평가법을 규정한다.

2 인용표준

다음의 인용표준은 전체 또는 부분적으로 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

IEC 62341-6-3: ED2. 2017, Organic light emitting diode (OLED) displays – Part 6-3: Measuring methods of image quality

IEC TR 62629-41-1: ED1.2019, 3D display devices-Part 41-1: Holographic display-General information

IEC 62906-1-2: ED1.2009, Laser display devices -Part 1-2: Terminology and Letter symbols

IEC 62906-5-2: ED1.2015, Laser display devices -Part 5-2: Optical measuring methods of speckle contrast

IEC 62906-5-4: ED1.2018, Laser display devices -Part 5-4: Optical measuring methods of colour speckle

3 용어와 정의

이 표준의 목적을 위하여 용어와 정의는 IEC TR 62629-41-1과 IEC 62906-1-2에서 주어지고, 언급되지 않은 것에 대해서는 다음을 적용한다.

3.1

광위상 변조(optical phase modulation)

공간에 이미지를 생성하기 위해서 광의 파동성을 결정짓는 주요 특성 중에 하나인 위상을 변화시키는 방식

3.2

마이크로 디스플레이(micro-display)

일반적으로 대각 2인치 이하의 화면 크기를 가진 소형 디스플레이

3.3

홀로그래픽 이미지(holographic image)

광 회절을 이용하여 임의의 공간의 각 지점으로 광을 수렴하게 하여 생성하는 이미지

3.4

스펙클(speckle)

관찰자의 시각각각 시스템의 센서 평면에 대한 간섭의 결과로서, 파동성의 높은 가간섭성(coherence) 또는 부분 가간섭성을 가진 광에 의해 기인한 불규칙적으로 배열된 공간적 변조 이미지로 디스플레이에서 입자 모양을 띤 노이즈의 일종.

3.5

스펙클 대비(speckle contrast)

스펙클 패턴의 평균에 대한 표준편차의 비율.

3.6

단색 스펙클(monochromatic speckle)

광원이 단색일 때의 스펙클

3.7

컬러 스펙클(color speckle)

광원이 멀티 파장(예; 적색(R), 녹색(G), 청색(B))일 때, 각 단색 스펙클의 혼합에 의해 생성된 스펙클

3.8

보정 해상도(corrected resolution)

광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지에 있어서, 마이크로 디스플레이의 기본 해상도와 비교하여, 음영 대비 표현 가능성을 기준으로 보정한 해상도

4 측정 조건 및 장치

4.1 측정 환경

4.1.1 온도, 습도 및 압력조건

모든 측정은 정해진 주변 온도 조건에서 수행되어야 한다. 광학 측정의 표준 환경 조건으로 온도는 $(25 \pm 3) ^\circ\text{C}$, 상대습도는 25 %~85 %, 압력은 86 kPa ~ 106 kPa이다.

4.1.2 조도

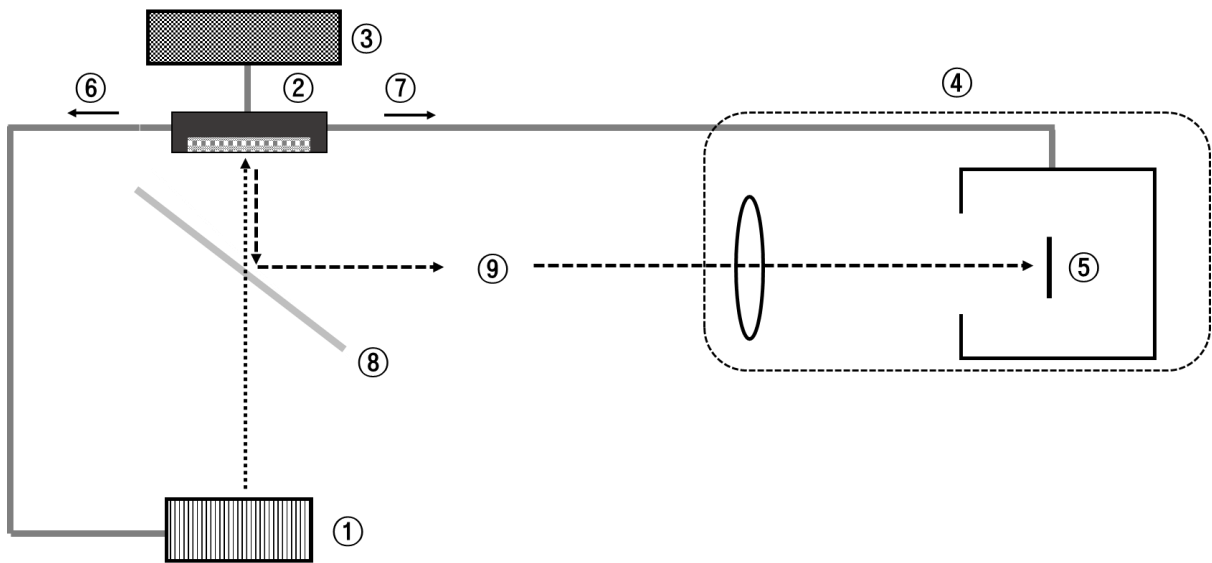
모든 측정은 정해진 조도 조건에서 수행되어야 한다. 홀로그래피 이미지 화질 평가는 암실에서 수행된다. 암실의 조도는 1 lux 이하여야 한다.

4.2 측정 장치 조건

4.2.1 측정 구성

측정 구성은 그림 1과 같다. 이해를 돕기 위해 영상 측정 장치를 포함해서 다른 핵심 요소가 포함된 전체 기본 구성도를 제시한다. 전체 구성 예시는 다음과 같다.

- 광원 모듈(RGB)(①)
- 디스플레이 패널(②)
- 디스플레이 구동 모듈 (홀로그램 데이터 생성 기능 포함)(③)
- 영상 측정장치(④)



①	광원 모듈(RGB)	⑥	연동 신호 (1): 디스플레이→광원
②	디스플레이 패널	⑦	연동 신호 (2): 디스플레이→영상 측정 장치
③	디스플레이 구동 모듈 (홀로그램 데이터 생성 기능 포함)	⑧	빔 스플리터
④	영상 측정 장치	⑨	홀로그래픽 이미지
⑤	2차원 이미지 센서	②~⑨	복원거리

그림 1 - 시스템 구성도 예시

작업 전 준비 사항은 다음과 같다.

- 레이저 광원, 디스플레이 패널, 구동 모듈을 켜고 안정적인 상태가 되도록 10분 이상 동작한다.
- 영상 측정 장치를 켜고, 안정적인 상태가 되도록 10분 이상 동작한다.
- 레이저 광원과 디스플레이 패널, 측정 장치의 광학 정렬을 확인한다.
- 레이저 광원의 직사 반사광이 측정 장치에 직접 입사되지 않도록 한다.
- 디스플레이 패널로부터 홀로그래픽 이미지 복원 거리는 작업용 증강현실의 경우 5cm 이내, 옥외용 증강현실 또는 헤드업디스플레이의 경우 5~10m로 하고 그 거리를 보고서에 명시한다.

4.2.2 측정 방식

측정 장치는 디스플레이 구동 방식에 기초한다. 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이는

컬러를 표현하는데 있어서 기본이 되는 원색인 적색, 녹색, 청색에 해당하는 픽셀들이 순차적으로 구동하는 방식이다. 따라서 그림 2처럼 광원 및 측정 장치는 디스플레이 패널의 구동에 연동하여 작동할 수 있도록 구성한다. 그림 2를 좀더 구체적으로 살펴보면, 마이크로 디스플레이 패널에서는 원색 표현에 해당하는 픽셀들이 순차적으로 펄스 구동된다. 이에 기인한 연동 신호는 두개로 분리되어 동시에 광원과 측정 장치로 전달된다. 이 연동 신호에 따라 적색, 녹색, 청색 광원의 순차 구동 및 이미지 측정이 수행된다. 측정장치에서는 일차적으로 각 원색에 대해 픽셀별 강도 수치 데이터를 취득한다. 다음으로 이미지 프로세싱 과정을 통해 컬러 이미지로 출력된다.

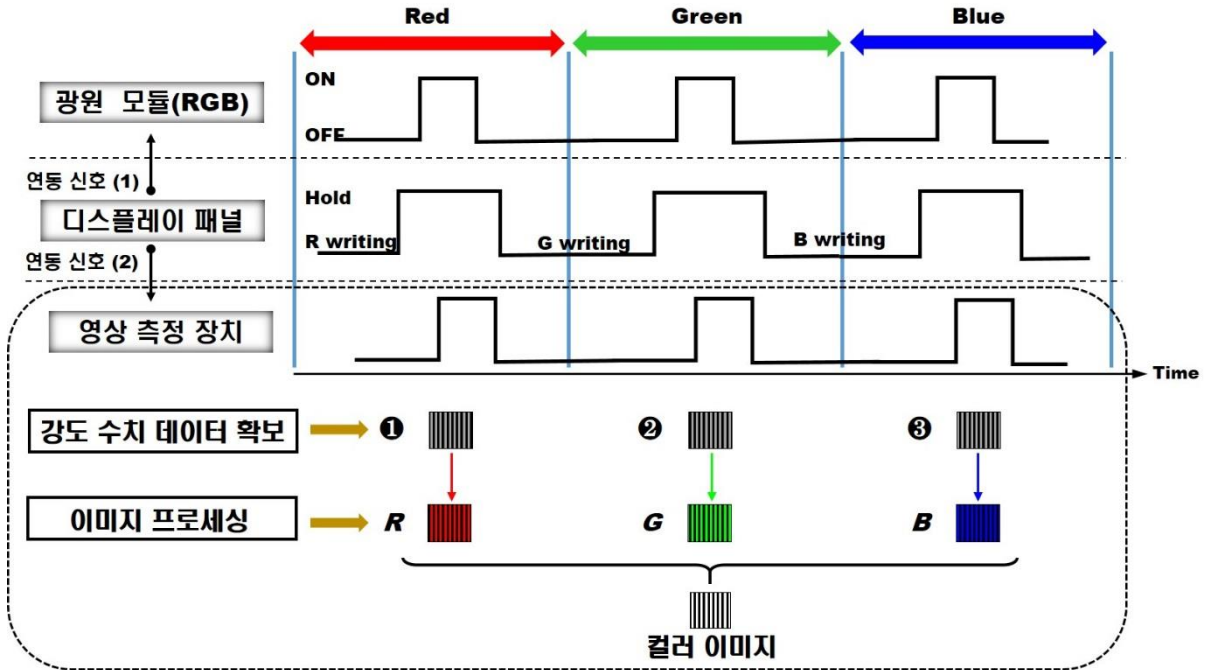


그림 2 - 광위상 변조 마이크로 디스플레이 패널 구동에 따른 적색/녹색/청색 광원 및 영상 측정장치와의 연동 체계 원리

4.2.3 측정 장치의 요건

측정 장치의 기능 및 요건은 다음과 같아야 한다.

- 2차원 이미지 센서 타입: 시모스(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor/CMOS) 센서 또는 시시디(Charge-Coupled Device/CCD) 센서
- 센서 픽셀 해상도: 측정하고자 하는 디스플레이 해상도의 5배 이상 수준^(주)
- 디스플레이 패널 연동 기반 신호 검출 및 송신 기능
- 데이터 저장 형태: 강도 수치 데이터와 이미지 저장 기능

^(주) 해상도 조건이 충족되지 않을 경우, 디스플레이의 일부 영역을 측정하도록 하여, 국부적으로 해상도 조건을 충족시켜 측정을 진행할 수 있음

5 측정 방법

5.1 스페클 대비(speckle contrast)

5.1.1 측정 패턴

- 측정용 패턴은 그림3과 같이 각 적색, 녹색, 청색에 대해 전체 화면 크기의 4% 면적을 가진 사각 패턴을 사용한다.
- 패턴의 위치는 그 중심이 전체 디스플레이의 정중앙에 오도록 한다.

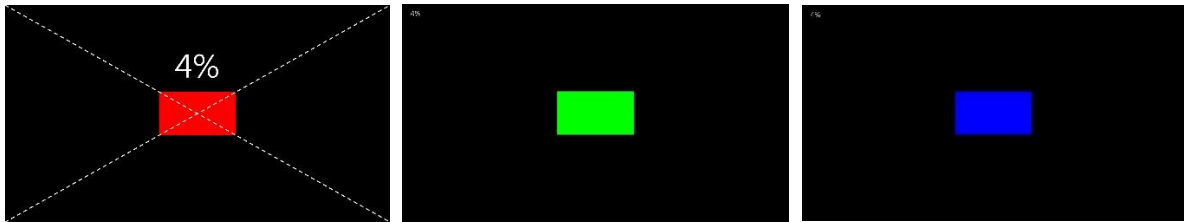


그림 3 - 스페클 대비 측정용 패턴 예시

5.1.2 측정 방법

측정 방법은 IEC 62906-5-2에서 제시한 정의에 기초하여 진행한다. 세부적인 측정방법은 다음과 같다.

- 스페클 대비를 계산하기 위해 데이터 획득을 그림 4와 같이 4% 패턴 면적의 중앙에서 가로(H) 세로(V) 절반의 영역(면적으로 1/4에 해당)으로부터 취한다.
- 데이터 획득 영역의 측정 데이터로부터 평균(\bar{I})과 표준편차(σ)를 산출한다.
- 스페클 대비(C_s)는 그 정의에 따라 강도의 표준편차 대 평균 비율로 계산된다.

$$C_s = \frac{\sigma}{\bar{I}} \quad (1)$$

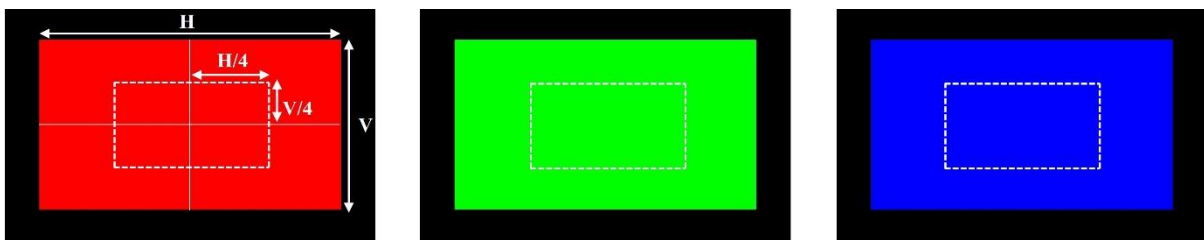


그림 4 - 스페클 대비 계산을 위한 데이터 획득 영역

5.2 보정 해상도(corrected resolution)

5.2.1 측정 패턴

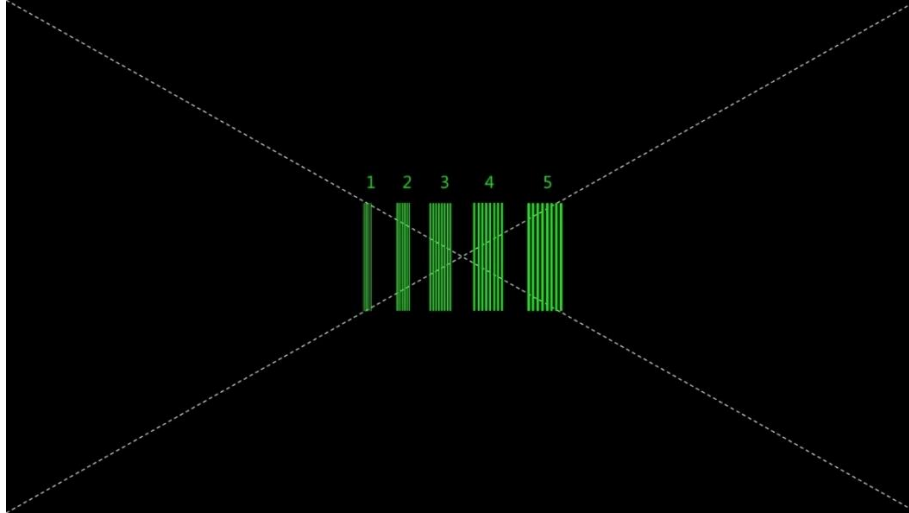


그림5 - 수평 방향의 보정 해상도 측정용 패턴 예시

- 측정용 패턴은 줄무늬 형태로 구성된 변조 변환 함수(Modulation Transfer Function 또는 MTF) 패턴을 사용한다. 그림 5는 수평 방향의 보정 해상도 측정용 패턴의 예로 수직 방향의 줄무늬가 반복된다.
- 그림 5에서는 녹색에 해당하는 패턴만 제시되었으나 적색과 청색에도 동일하게 적용된다.
- 측정용 패턴의 원본 이미지와 디스플레이 패널의 해상도는 보고서에 제시한다(예: 1920 x 1080 또는 3840 x 2160 픽셀).
- 원본 이미지 패턴에서 줄무늬의 명암(밝음과 어둠)의 폭이 각각 차지하는 픽셀수(N)은 그림 5에서 숫자로 표현되는 것과 같이 1픽셀부터 시작하여 최소 5픽셀 이상으로 배치한다.

5.2.2 측정 방법

측정 방법은 IEC 62341-6-3에서 제시한 바와 같이 변조 변환 함수(MTF) 패턴을 이용한 명암 대비 변조(contrast modulation, 또는 C_m)에 기초하여 진행한다. 세부적인 측정방법은 다음과 같다.

- 그림 6(a)와 같이 일차적으로 측정 사진을 취득하여 해상도 패턴의 시각적인 평가를 한다.
- 그림 6(b)와 같이 측정된 데이터를 이용하여 명암의 픽셀수(N) 별 상대 휘도 분포를 확인한다. 여기서, $N=1$ 은 명암의 줄무늬 폭이 각각 1 픽셀로 구성됨을 의미한다.
- 그림 6(c)와 같이 명암의 픽셀수 별 휘도 분포를 통해 각각의 명암 대비 변조(contrast modulation, 또는 C_m)을 계산한다.

$$C_m = \frac{L_w(n) - L_k(n)}{L_w(n) + L_k(n)} \quad (2)$$

여기에서

$L_w(n), L_k(n)$: 명, 암 각각의 강도 평균값,

n : 명, 암 줄무늬의 개수

- 해상도의 기준이 되는 임계 C_m 값이 이미지와 텍스트에 대해서 구분되며, IEC 62341-6-3에 제시된 바와 같이 각각에 대해 0.25와 0.5를 사용한다.

- e) 0.25와 0.5에 대응하는 명암의 픽셀수인 N_I 와 N_T 를 구한다.
- f) 최종적으로 복원 이미지 및 텍스트에 대한 수평 방향의 보정 해상도는 각각 {수평 방향의 원본 해상도/ N_I }와 {수평 방향의 원본 해상도/ N_T }로 계산된다.
- g) 필요에 따라, 수직 방향의 보정 해상도를 구하기 위해 상기의 측정 및 계산을 수평 방향으로 배열된 줄무늬 명암 패턴을 이용하여 위 측정 방법의 a) ~ f) 과정을 동일하게 수행하고 그 방향에 따른 평가 결과를 제시한다.

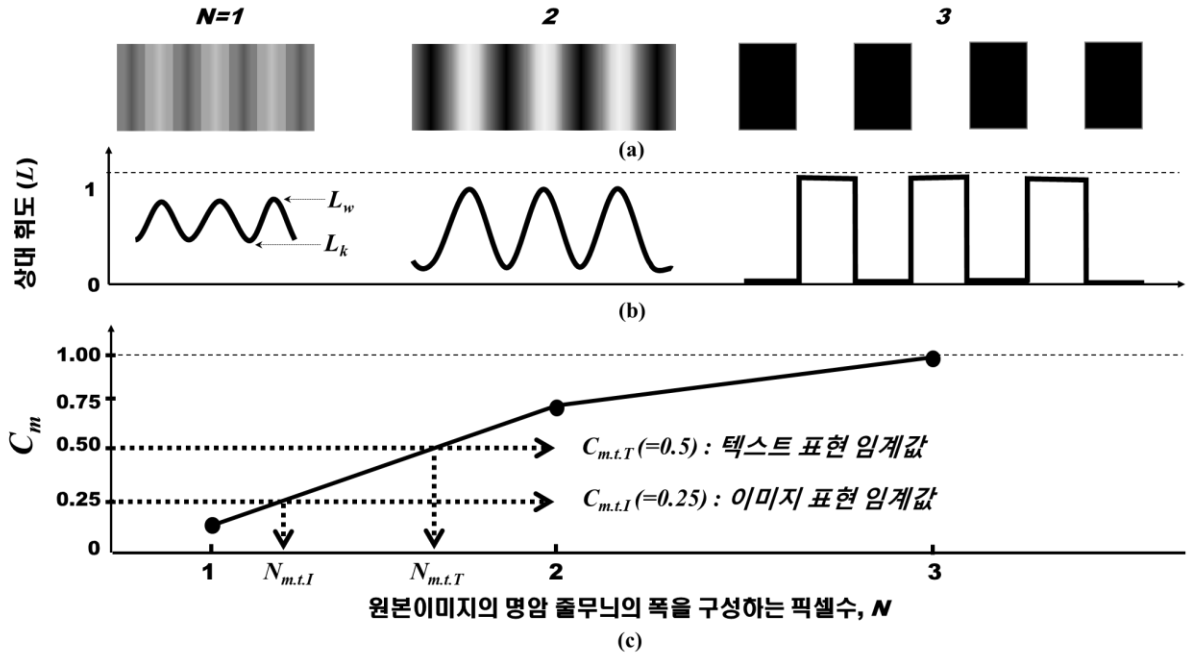


그림 6 - 보정 해상도 평가를 위한 데이터 예시. (a) 측정 이미지 (b) 상대휘도 (c) 명암 대비 변조(C_m)

5.3 컬러 스페클(color speckle)

5.3.1 측정 패턴

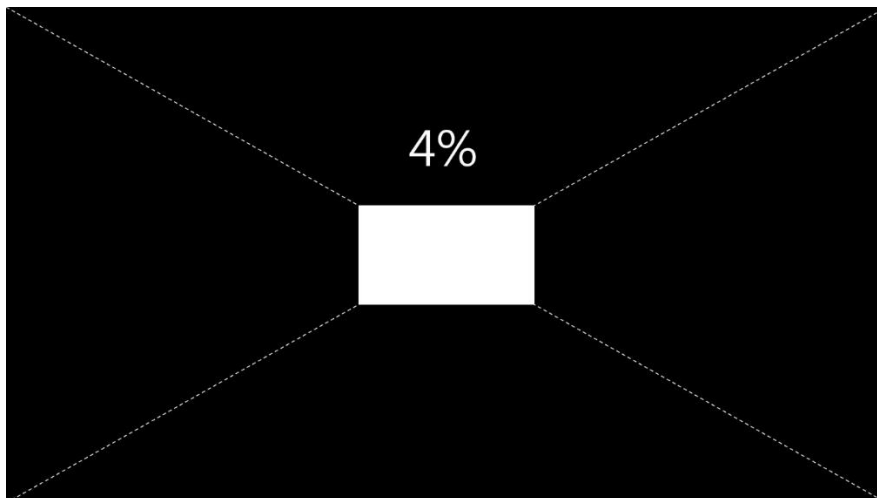


그림 7 - 컬러 스페클 측정용 패턴 예시

- a) 측정용 패턴은 그림7과 같이 전체 화면 크기의 4% 면적을 가진 흰색 사각 패턴을 사용한다.
- b) 패턴의 위치는 그 중심이 전체 디스플레이의 정중앙에 오도록 한다.

5.3.2 측정 방법

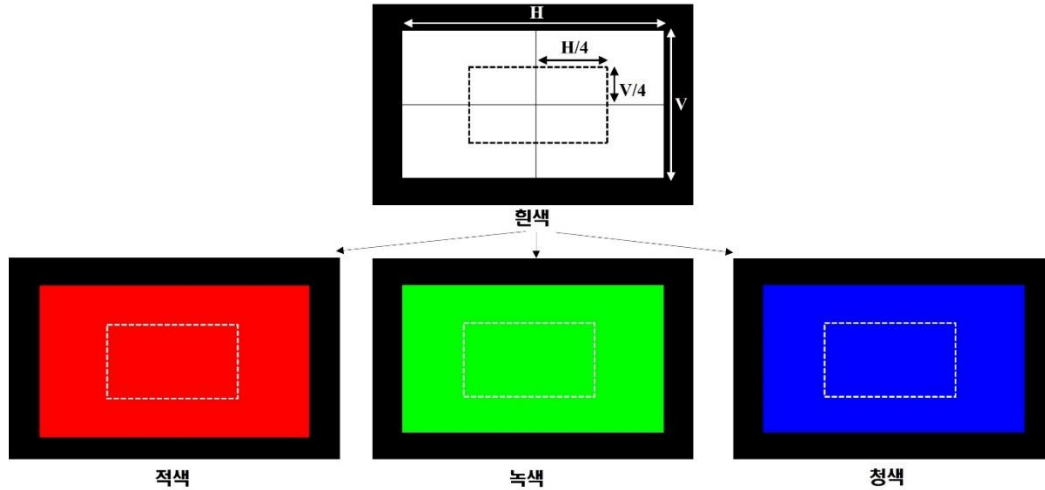


그림 8 - 컬러 스펙클 계산을 위해 원색(적색/녹색/청색)에 대한 데이터 획득 영역

측정 방법은 IEC 62906-5-4에서 제시한 바에 기초하여 진행한다. 일반적으로 측정 패턴의 원본 이미지가 홀로그래픽 이미지로 생성될 때 컬러 스펙클에 의해서 원본의 색상과 다른 색상으로 나타나게 된다. 이렇게 위치별로 원본과 다른 색상의 분포는 색도도(CIE 1931 또는 CIE 1976)에서 색도 좌표 (x,y) 또는 (u',v') 로 수치화 시킬 수 있다. 색도 좌표는 디스플레이의 위치별 삼자극값(X,Y,Z)으로부터 계산된다. 이러한 원리를 기반으로 한 컬러 스펙클의 세부적인 측정 과정은 아래와 같다.

- a) 컬러 스펙클을 계산하기 위한 데이터 획득 영역은 그림 8과 같이 전체 면적의 4% 면적을 가진 흰색 사각 패턴의 중앙에서 가로(H) 세로(V) 절반의 영역(면적으로 1/4에 해당)으로부터 취한다.
- b) 데이터 획득 영역으로부터 각 적색, 녹색, 청색의 원색에 대해 위치(픽셀)별 휘도 배열 $L_{R(i,j)}$, $L_{G(i,j)}$, $L_{B(i,j)}$ 를 얻는다. 여기서, 아래 첨자의 R, G, B는 각각 적색, 녹색, 청색의 원색을 나타내고, i 와 j 는 데이터 획득 영역 내의 각 위치(픽셀)의 행과 열에 해당한다. 이 데이터를 이용하여 그림 9와 같은 순서로 진행한다.
- c) 광원의 원색에 대한 파장을 측정하고, 이를 근거로 각 원색에 대해서 CIE 1931 색도 좌표 $(x_R, y_R)_{ij}$, $(x_G, y_G)_{ij}$, $(x_B, y_B)_{ij}$ 를 구한다.
- d) 이를 각 위치의 백색의 휘도 $L_{W(i,j)}$ 와 CIE 1931 색도 좌표 $(x_w, y_w)_{ij}$ 로 변환한다.
- e) 각 위치의 백색의 CIE 1931 색도 좌표 $(x_w, y_w)_{ij}$ 를 CIE 1976 색도 좌표 $(u'_w, v'_w)_{ij}$ 로 변환한다.

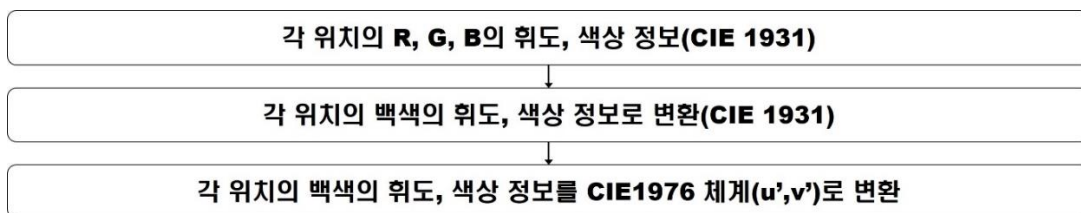


그림 9 - 컬러 스펙클 계산을 위한 전체 순서(흐름)도

f) 그림 10 과 같이 CIE 1976 체계로 표현된 위치별 색도좌표를 색도도에 표시하고 시각화 한다. 즉, 표시된 각 점들은 위치별 색상을 나타낸다. 만약 이상적인 경우라면, 위치별 색도좌표들은 원본 색상의 특정한 색도좌표 값과 동일하게 표시될 것이다. 그러나 만약 컬러 스펙클에 의해 원본 색상과 다르게 표현된다면, 위치별 색도좌표들은 원본 색상의 색도좌표를 기준으로 흩어진 형태로 분포할 것이다.

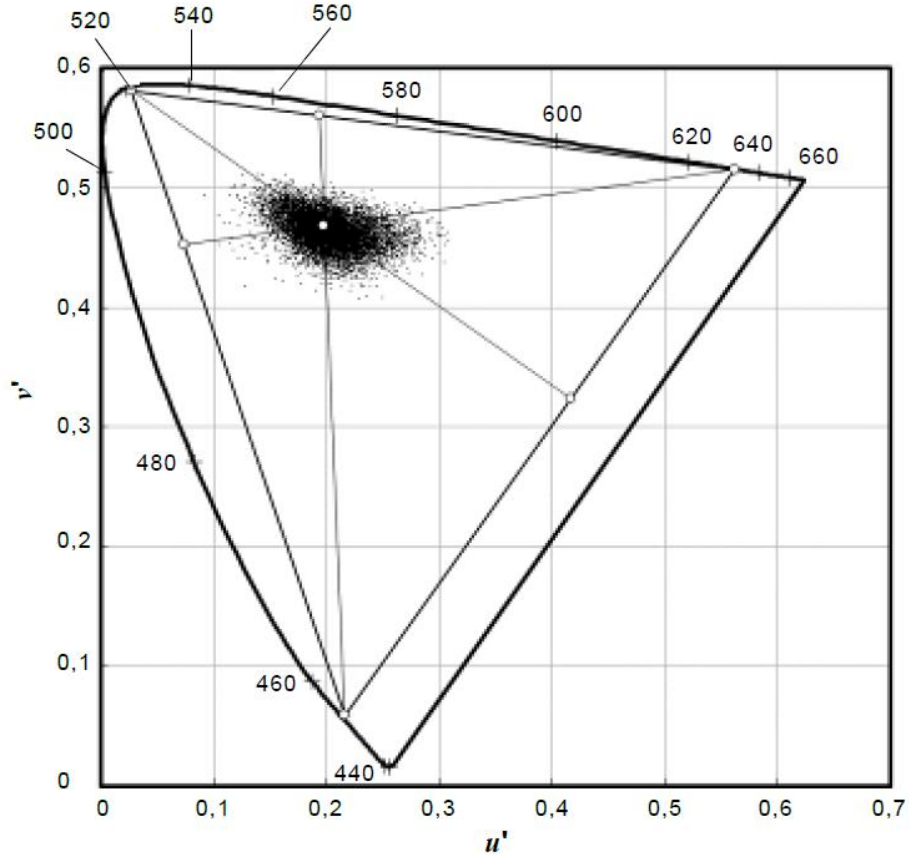


그림 10 - CIE1976 색도도의 색도좌표에 의해 표시되는 컬러 스펙클 분포 예시

g) 이 컬러 스펙클의 분포를 정량화 또는 수치화 하기 위해 IEC 62906-5-4에 제시된 바와 같이, CIE 1976 체계로 표현된 색도 좌표 u' 과 v' 값들에 대해 분산(σ^2) 및 공분산(μ) 값을 계산하고 보고서에 제시한다(σ : 표준편차).

$$\sigma_w^2 = \langle (u - \langle u \rangle)^2 \rangle \tag{11}$$

$$\sigma_v^2 = \langle (v - \langle v \rangle)^2 \rangle \tag{12}$$

$$\mu_{u'v'} = \langle (u - \langle u \rangle)(v - \langle v \rangle) \rangle \tag{13}$$

상기 수식들에서의 부호는 다음과 같이 정리된다.

u', v' : CIE 1976 색도좌표, $\langle \rangle$: 평균, σ : 표준편차, σ^2 : 분산, μ : 공분산

6 보고서

보고서에는 표 1과 같은 항목이 포함되어야 한다.

표 1 - 측정 항목 및 측정결과 보고 양식

	항목	표기	단위	값
측정환경	온도	T	°C	
	습도	H	%	
	압력	P	Pa	
	조도	L_u	lux	
설정항목	디스플레이크기 (가로*세로)	A	cm ²	
	복원거리	L_r	cm	
평가항목	스펙클 대비	C_s	-	
	수평 보정 해상도	R_H	pixels	
	수직 보정 해상도	R_V	pixels	
	컬러 스펙클 분산	σ^2	-	
	컬러 스펙클 공분산	μ	-	

SPS-C EDIARK 0005-7393: 2020

해 설

이 해설은 본체에 기재한 사항 및 이들과 관련된 사항을 설명하는 것으로 표준의 일부는 아니다.

1 제정의 취지

현재 국내에서는 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽을 활용하여 증강 현실용 디스플레이 혹은 자동차용 헤드업 디스플레이에 활용하는 사례가 늘고 있으나, 이에 대한 화질을 평가할 수 있는 표준이 제정되지 않아 많은 어려움을 야기하고 있다. 본 연구를 통하여 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 측정 방법에 대한 표준을 마련하여, 화질을 정확하고, 객관적으로 평가할 수 있는 기반을 확보하고자 한다.

1.1 항목의 적용 근거 및 인용표준과의 차이점

본 단체표준에서는 IEC 62906-1-2와 IEC TR 62929-41-1의 용어와 정의를 인용하여 적용하였으며, 스펙클 대비와 컬러 스펙클 측정과 관련하여서는 IEC 62906-5-2와 IEC 62906-5-4에 제시된 측정 방법을 인용하여 적용하였다. 다만, IEC 62906 시리즈는 레이저를 활용한 디스플레이의 측정방법으로, 측정 방법에 있어서 스펙클 대비와 컬러 스펙클의 용어 정의와 수식만을 제시하고 있어, 산업 현장에서 적용하기 어려운 점이 있다. 이에 본 단체표준에서 구체적인 시스템 구성도와 측정 패턴 등을 제시하며, 광변조 디스플레이의 특성을 고려한 데이터 취득 영역 등을 제시하여 보다 안정적인 데이터를 얻을 수 있는 측정 방법과, 절차를 기술하였다. IEC 표준과 본 단체표준의 차이를 표 2에 간략히 기술하였다.

표 2 - 본 단체표준과 IEC 표준과의 차이점

	본 단체 표준	IEC 표준	
측정 환경 조건	인용 기술됨	온도: (25±3) °C 습도: 25% ~ 85% 압력: 86 kPa ~ 106 kPa	IEC 62906-5-2
용어 및 정의	인용 기술됨	Speckle contrast Corrected resolution Colour speckle	IEC 62906-1-2 IEC 62906-5-4 IEC 62906-5-4
측정을 위한 시스템 구성 조건	홀로그래픽 이미지 평가 목적 기반	프로젝션 이미지 평가 목적 기반	IEC 62906 Series
측정 패턴 및 데이터 취득 조건	본 단체 표준에서 제시된 평가 항목에 대해 구체적으로 기술*	구체적으로 정리되어 기술되어 있지 않음.	

* 본 단체 표준에 기술된 측정 패턴과 데이터 취득 조건은 산업통상자원부 과제 (과제번호: 2000844) 2차년도(2019년) 실적보고서를 근거로 작성되었음.

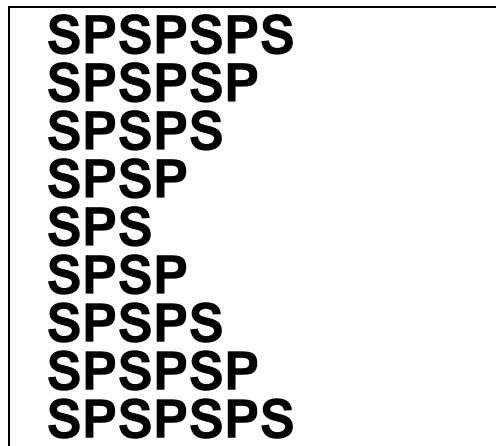
2 제정 경위

융복합 디스플레이 산업체, 연구계, 학계가 참여하는 포럼 및 표준화 세미나를 통해 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 측정 방법 단체표준 제정에 대한 필요성을 확인하였고, 추후 개최된 표준화 전문가 회의를 통해 필요한 단체표준 항목을 도출하였다. 도출된 항목을 대상으로 단체표준 위원회 회의에서 우선순위를 선정하였고, 광위상 변조

방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가법에 대한 단체표준을 개발, 홈페이지 의견수렴 실시를 통해 표준 내용을 공유하여 모든 회사들이 단체표준 제정에 동의함을 확인하였다.

- 융복합 디스플레이 포럼 및 표준화세미나 개최(2018.11.29.)
 - 산학연 의견수렴을 통해 단체표준 필요성 확인
 - 마이크로 디스플레이 화질 측정방법에 대한 단체표준 제정 추진키로 함
- 단체표준회의 개최(~2019.11.1. / 5 회)
 - 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가법 제정 우선순위 선정
 - 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가법 단체표준 문건 검토의견 수렴
- 단체표준 심사위원회(2019.11.1.)
 - 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가법 단체표준 최종안 확정
- 의견수렴 실시(2019.11.6~12.5)
 - 광위상 변조 방식의 마이크로 디스플레이를 적용한 홀로그래픽 이미지의 화질 평가법 단체표준 최종안 의견 수렴

SPS-C EDIRAK 0005-7393:2020



**Evaluation method of holographic image
quality using micro-display based on an
optical phase modulation**

ICS 31.120