

가상현실 헤드셋 디스플레이의 컬러에 대응하는 개발환경 워크플로우 설계

Design environment corresponding to the Color of Virtual Reality Headset Display

김현서¹

Hyun Suh Kim¹

요 약

본 연구는 가상현실 그래픽 작업환경에서 재현되는 시각콘텐츠의 컬러를 초기 설정된 색상 값과 최대한 근접할 수 있도록 ISO 15076를 기준으로 개발 설계를 시도하였다. 이를 이용해 가상현실 개발을 위한 작업절차에서 색상의 일관성을 구비하기 위한 합리적인 방법을 제안하고자 하였다. 실험 결과 명확한 색상 재현을 위해서는 개발 시 Rift CV1을 색공간으로 선택하는 것이 오쿨러스 퀘스트를 포함한 독립형 HMD 디바이스에 적절한 것으로 관찰됐다. 이것은 컬러 샤프니스와 정확도 밸런스를 유지에 유리하며 올레드 HMD에서 쓰이는 모든 컬러 영역을 사용 할 수 있는 Rift CV1 색공간의 특성에서 기인한다. 연구 결과 개발환경에서 sRGB 급 디스플레이를 사용하는 경우 실제 VR 기기에서의 결과는 VR 앱에서 디스플레이가 표시할 수 없는 채도가 높은 색상을 타겟팅할 수 있게 되어 색이 바래는 결과를 초래하였다. 오쿨러스의 런타임은 Rec.2020 색공간을 설정하는 것에서 원인을 찾을 수 있으며, VR 개발환경에서는 DCI-P3 색공간을 100% 커버리지 할 수 있는 디스플레이의 사용이 중요함을 확인하였다.

핵심어 : 가상현실, 헤드 마운티드 디스플레이, 개발환경 설계, 오쿨러스

Abstract

This study tries to develop and design based on ISO 15076 so that the color of visual content reproduce in the virtual reality graphic work environment could be as close as possible to the initially set color value. I propose a reasonable method to ensure color consistency in the work procedure for virtual reality development. It is observed that selecting the Rift CV1 as the color space during development is appropriate for standalone HMD including Oculus Quest for clear color reproduction. This is advantageous for maintaining the balance of color sharpness and accuracy, and it is due to the characteristics of the Rift CV1 color space that can use all color gamuts used in OLED HMD. When an sRGB-class display is used in the development environment, the actual VR device results are able to target highly saturated colors that the display could not display in the VR app, resulting in color fading. It is important to use a display that can cover 100% of the DCI-P3 color space in the VR development environment.

Keyword : VR, HMD, Headset Display, Design Environment, Oculus

¹ School of Photography & Video, Kyung-il University, Gyeongsan, Korea [Professor]
e-mail: hyunsuh@kiu.kr

* 본 논문은 2021년도 차세대컨버전스정보서비스학회 동계학술대회에서 발표한 논문을 수정 및 보완한 것임.

Received(February 18, 2022), Review Result(1st: March 8, 2022), Accepted(March 17, 2022), Published(March 31, 2022)



© 2022 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

1. 서론

헤드셋 디스플레이에서 재현되는 VR(Virtual Reality) 콘텐츠는 메타버스의 글로벌화와 함께 점진적으로 확장되어 왔다. 색 충실도(Color Fidelity)는 더욱 실감나는 VR의 구현에 중요한 효과를 미치는 속성이다. 이러한 가상현실 색상 관리에 대한 필요성의 증가는 같은 브랜드에서 출시된 헤드셋이라 해도 내장된 패널의 종류에 따라 재현 가능한 색상 영역이 달라지는 VR 디스플레이의 특성에서 원인을 찾을 수 있다 [1].

평면 모니터 디스플레이(LCD)의 경우 국제 색상 컨소시엄(ICC, International Color Consortium)을 기반으로 색상 관리 시스템 기술이 발전하였다. ISO 15076-1에 따르면 가상현실용 헤드셋에서도 같은 방식으로 CMS를 적용할 수 있다 [2]. ITU(International Telecommunication Union)에서 정의한 고화질 텔레비전 표준 BT. Rec.709와 초고해상도 텔레비전 표준인 BT. Rec. 2020가 디스플레이에서 구현되는 영상과 이미지의 컬러 기준규격으로 사용되고 있다. 영화 산업의 경우 디지털 시네마 표준용으로 설계된 DCI-P3가 OLED, Micro LED 등의 차세대 디스플레이 표준으로 모바일 디바이스에서 널리 사용되고 있다 [3-5].

색상관리(color management)의 표준은 ISO 15076-1:2010를 기준으로 규정되어 있으며 해당 규격을 영상과 이미지의 정확한 색상을 재현하는 척도의 근거로 사용한다 [6]. 마이크로소프트의 윈도우나 애플의 MacOS 운영체제에서 구동되는 어도비 포토샵이나 언리얼 엔진 같은 응용프로그램으로 가상현실 콘텐츠를 제작할 때 ISO 15076를 알맞게 도입하여 색상과 관련한 더 나은 결과를 도출할 수 있다. ISO 15076은 ICC(International Color Consortium)에서 규정한 프로파일 표준 형식을 기술한다 [7].

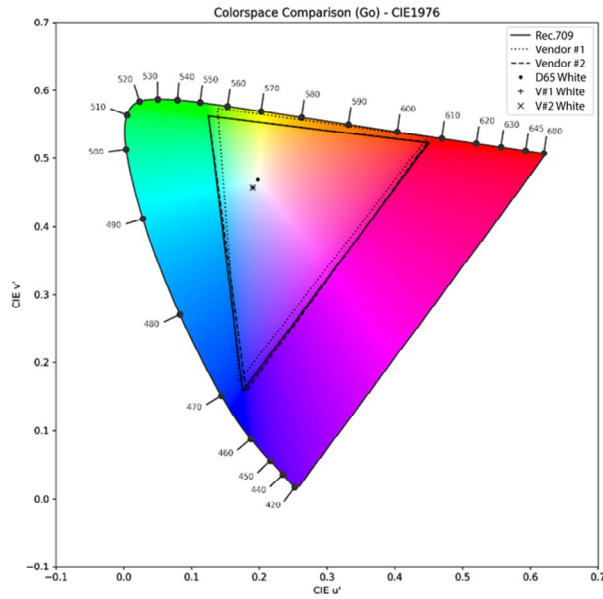
본 연구를 통해 가상현실 GUI를 개발할 때 장비에 실제로 구현될 색상과 콘텐츠 작업자인 디자이너의 모니터 디스플레이에서 선택한 색상의 차이를 감소시키기 위해 ISO 15076의 도입을 시도하였다. 결과적으로 VR 개발에 사용되는 요소들이 집합된 과정에서 색상의 일관성을 유지하기 위한 솔루션을 제안하고자 하였다.

2. VR 헤드셋의 색재현영역

오쿨러스 고(Oculus Go)와 같은 VR 헤드셋 장치에 삽입되는 디스플레이 패널은 제작 시 다양한 업체로부터 물품이 제공되기 때문에 [그림 1]과 같이 완성된 제품에서 구현되는 컬러 재현 영역이 각기 다른 RGB 원색으로 표시되거나 백색점(White Point)의 색온도가 일치하지 않는 현상이 발생한다. [그림 1]에서 제조 업체별로 다른 컬러 재현 영역을 확인할 수 있다.

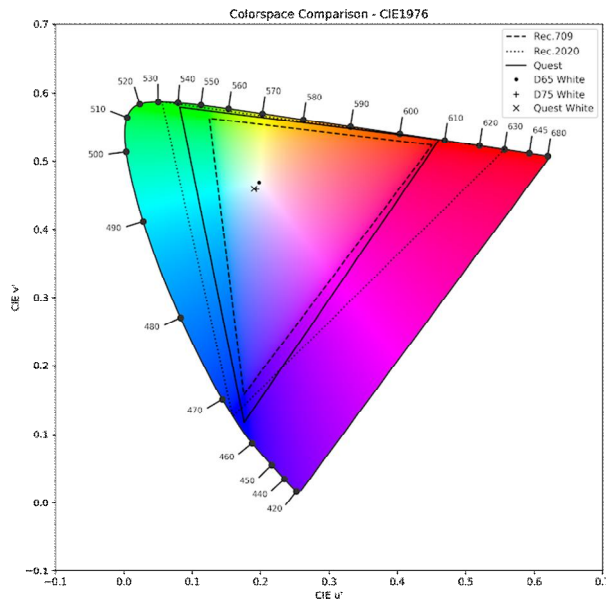
컬러개뎃(Color Gamut)의 RGB 균형을 찾고 디스플레이의 색상재현특성을 표준값과 부합되도록

오culus 고(Oculus Go)를 응용프로그램 적용 단계에서 ITU Rec.709 색공간에서 백색점 D65를 기준으로 매핑하여 색공간을 변환하였다 [8].



[그림 1] Oculus Go의 공급업체별 원시 색역의 차이

[Fig. 1] Native Color Gamut Difference by Vendors on Oculus Go



[그림 2] Oculus Quest 1의 색역과 Rec.709, Rec.2020의 비교

[Fig. 2] Comparison between Oculus Quest 1's Color Gamut and Rec.709 and Rec.2020

[그림 2]는 Oculus Quest 1의 색역, ITU BT Rec.709, ITU BT Rec.2020 색공간을 비교한 결과이다. [그림 2]와 같이 OLED 패널을 사용하는 오쿨러스 퀘스트 1(Oculus Quest 1)의 경우 표준색공간 Rec.709보다 녹색과 파란색에서 더 많은 영역을 표시하며 컬러개뎃(Color Gamut)은 Rec.709와 Rec.2020의 중간 정도의 값을 가지는 것으로 관찰된다.

3. VR 에서의 색공간 변환

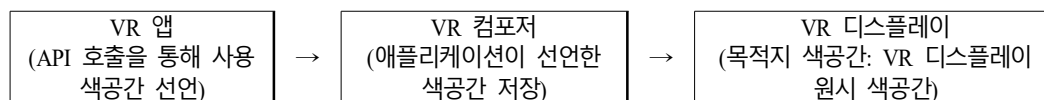
가상현실 헤드셋의 색공간 변환을 수행하려면 VR 응용프로그램이 적용된 색상공간에서 헤드셋에 삽입된 디스플레이의 색상공간으로 삼원색과 백색점(White Point)의 매핑이 선행되어야 한다. 더불어 양쪽 눈에 맞추어 나뉘어진 개별 디스플레이를 사용할 때 각 디스플레이 각각의 밝기, 색상, 백색점의 차이를 없애기 위해 양쪽 디스플레이에 각개로 색공간 변환을 진행할 수 있다.

DCI-P3 및 sRGB 등의 색공간 표준에서는 디스플레이의 밝기를 별도로 정의하고 있다. 예를 들어 sRGB는 주변의 시정 환경을 200lx 로 가정한 상태에서 80칸델라의 화면 휘도 수준을 정의한다 [9]. VR의 경우 주변 조명이 없는 상황이기 때문에 색공간 표준에서 정의한 밝기 기준은 대개 무시한다. 다만, 양쪽 눈에 맞추어 나뉘어진 개별 디스플레이를 사용하는 경우 각 디스플레이의 밝기의 차이가 존재하는 경우 낮은 밝기를 보이는 디스플레이에 맞추어 밝기를 조정하는 방식을 사용한다 [10].

오쿨러스 퀘스트(Oculus Quest)의 경우 VR 런타임에서 색공간 보정 파이프라인을 통해 RGB 원색 및 화이트포인트를 목표값으로 매핑할 수 있는 3x3 색상보정행렬(color correction matrix)을 사용한다. [표 1]에서는 VR 애플리케이션 내에서의 컬러 정보의 흐름을 나타내며, [그림 2]는 VR 애플리케이션 내에서의 렌더링의 흐름을 나타낸다 [11].

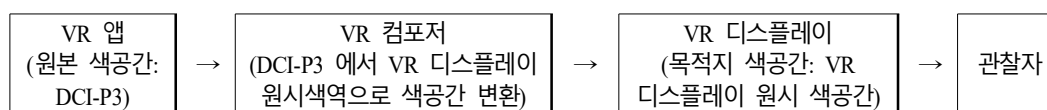
[표 1] VR 애플리케이션 흐름

[Table 1] VR Application Flow



[표 2] VR 렌더링 흐름

[Table 2] VR Rendering Flow



[표 2]와 같은 색공간 렌더링 흐름은 원래 여러 공급업체간의 색공간 차이를 해결하기 위해 도

입되었다. 오쿨러스 고(Oculus Go)는 Rec.709 표준으로 보정되어 대체적으로 잘 작동하였으나 오쿨러스 퀘스트(Oculus Quest)에서는 더 넓은 색역으로 인해 예상치 못한 결과를 초래하게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 그리고 장래의 모든 HMD 색공간과의 호환을 위해 오쿨러스는 가장 넓은 표준화된 색 공간인 Rec.2020을 표준으로 사용한다.

4. 연구 실험

VR 디스플레이에서의 VR 런타임의 색공간 보정의 품질을 확인하기 위해 [그림 3]의 샘플링 컬러를 사용하여 VR 디스플레이에서 재현되는 컬러에 대한 측정을 실시하였다. 컬러의 계측은 X-rite사의 Eyeone Display Pro Plus를 사용하였으며, VR 헤드셋은 오쿨러스 퀘스트 2 제품을 사용하였다. [그림 3]은 샘플링에 사용된 총 175컬러를 보여주고 있으며, 50단계의 그레이스케일 패치, 다차원 구조의 120 컬러 패치, 흰색과 검정색의 5 패치로 구성되어 있다.

1	100.00	100.00	100.00	W	89	75.000	25.000	25.000	45	56.863	56.863	56.863	k	133	75.000	50.000	100.00
2	100.00	100.00	75.000	y	90	0.0000	50.000	0.0000	46	58.824	58.824	58.824	k	134	25.000	25.000	75.000
3	100.00	100.00	100.00	W	91	0.0000	50.000	25.000	47	60.784	60.784	60.784	k	135	25.000	50.000	100.00
4	100.00	100.00	100.00	W	92	25.000	50.000	25.000	48	62.745	62.745	62.745	k	136	0.0000	25.000	50.000
5	0.0000	0.0000	0.0000	K	93	50.000	50.000	25.000	49	64.706	64.706	64.706	k	137	0.0000	25.000	75.000
6	25.000	0.0000	0.0000	R	94	75.000	50.000	25.000	50	66.667	66.667	66.667	k	138	0.0000	50.000	75.000
7	50.000	0.0000	0.0000	R	95	0.0000	75.000	0.0000	51	68.627	68.627	68.627	k	139	25.000	50.000	75.000
8	75.000	0.0000	0.0000	R	96	0.0000	75.000	25.000	52	70.588	70.588	70.588	k	140	50.000	50.000	75.000
9	100.00	0.0000	0.0000	R	97	25.000	75.000	25.000	53	72.549	72.549	72.549	k	141	75.000	50.000	75.000
10	100.00	0.0000	25.000	R	98	50.000	75.000	25.000	54	76.471	76.471	76.471	k	142	74.510	74.510	74.510
11	100.00	25.000	25.000	R	99	75.000	75.000	25.000	55	78.431	78.431	78.431	k	143	0.0000	75.000	75.000
12	100.00	50.000	25.000	R	100	0.0000	100.00	0.0000	56	80.392	80.392	80.392	k	144	25.000	75.000	75.000
13	100.00	75.000	25.000	R	101	0.0000	100.00	25.000	57	82.353	82.353	82.353	k	145	50.000	75.000	75.000
14	0.0000	0.0000	25.000	B	102	25.000	100.00	25.000	58	84.314	84.314	84.314	k	146	0.0000	75.000	50.000
15	25.000	0.0000	25.000	B	103	50.000	100.00	25.000	59	86.275	86.275	86.275	k	147	0.0000	100.00	50.000
16	75.000	0.0000	100.00	B	104	75.000	100.00	25.000	60	88.235	88.235	88.235	k	148	0.0000	100.00	75.000
17	100.00	0.0000	100.00	B	105	0.0000	0.0000	50.000	61	90.196	90.196	90.196	k	149	25.000	100.00	75.000
18	1.9608	1.9608	1.9608	K	106	25.000	0.0000	50.000	62	92.157	92.157	92.157	k	150	50.000	100.00	75.000
19	3.9216	3.9216	3.9216	K	107	50.000	0.0000	50.000	63	94.118	94.118	94.118	k	151	75.000	100.00	75.000
20	5.8824	5.8824	5.8824	K	108	75.000	0.0000	50.000	64	96.078	96.078	96.078	k	152	75.000	100.00	100.00
21	7.8431	7.8431	7.8431	K	109	100.00	0.0000	50.000	65	98.039	98.039	98.039	k	153	25.000	0.0000	100.00
22	9.8039	9.8039	9.8039	K	110	100.00	0.0000	75.000	66	25.000	25.000	0.0000	V	154	50.000	0.0000	100.00
23	11.765	11.765	11.765	K	111	100.00	25.000	75.000	67	50.000	25.000	0.0000	V	155	0.0000	0.0000	75.000
24	13.726	13.726	13.726	K	112	75.000	0.0000	25.000	68	75.000	25.000	0.0000	V	156	0.0000	0.0000	100.00
25	15.686	15.686	15.686	K	113	75.000	25.000	50.000	69	100.00	25.000	0.0000	V	157	0.0000	25.000	100.00
26	17.647	17.647	17.647	K	114	100.00	25.000	50.000	70	100.00	50.000	0.0000	V	158	25.000	25.000	100.00
27	19.608	19.608	19.608	K	115	25.000	25.000	50.000	71	50.000	50.000	0.0000	V	159	50.000	25.000	100.00
28	21.569	21.569	21.569	K	116	25.000	50.000	50.000	72	75.000	50.000	0.0000	V	160	75.000	25.000	100.00
29	23.529	23.529	23.529	K	117	75.000	50.000	50.000	73	25.000	50.000	0.0000	V	161	100.00	25.000	100.00
30	27.451	27.451	27.451	K	118	100.00	50.000	50.000	74	25.000	75.000	0.0000	V	162	100.00	50.000	100.00
31	29.412	29.412	29.412	K	119	100.00	50.000	75.000	75	50.000	75.000	0.0000	V	163	50.000	25.000	75.000
32	31.373	31.373	31.373	K	120	25.000	75.000	50.000	76	75.000	75.000	0.0000	V	164	50.000	50.000	100.00
33	33.333	33.333	33.333	K	121	50.000	75.000	50.000	77	100.00	75.000	0.0000	V	165	0.0000	50.000	50.000
34	35.294	35.294	35.294	K	122	75.000	75.000	50.000	78	25.000	100.00	0.0000	V	166	0.0000	50.000	100.00
35	37.255	37.255	37.255	K	123	100.00	75.000	50.000	79	50.000	100.00	0.0000	V	167	0.0000	75.000	100.00
36	39.216	39.216	39.216	K	124	100.00	75.000	75.000	80	75.000	100.00	0.0000	V	168	25.000	75.000	100.00
37	41.176	41.176	41.176	K	125	25.000	100.00	50.000	81	100.00	100.00	0.0000	V	169	50.000	75.000	100.00
38	43.137	43.137	43.137	K	126	50.000	100.00	50.000	82	100.00	100.00	25.000	V	170	75.000	75.000	100.00
39	45.098	45.098	45.098	K	127	75.000	100.00	50.000	83	50.000	0.0000	25.000	V	171	100.00	75.000	100.00
40	47.059	47.059	47.059	K	128	100.00	100.00	50.000	84	50.000	25.000	50.000	V	172	0.0000	100.00	100.00
41	49.020	49.020	49.020	K	129	25.000	0.0000	75.000	85	0.0000	25.000	0.0000	V	173	25.000	100.00	100.00
42	50.980	50.980	50.980	K	130	50.000	0.0000	75.000	86	0.0000	25.000	25.000	V	174	50.000	100.00	100.00
43	52.941	52.941	52.941	K	131	75.000	0.0000	75.000	87	25.490	25.490	25.490	V	175	100.00	100.00	100.00
44	54.902	54.902	54.902	K	132	75.000	25.000	75.000	88	50.000	25.000	25.000	V				

[그림 3] VR 디스플레이 측정을 위하여 사용된 샘플링 컬러

[Fig. 3] Sampling Color Used for VR Display Measurements

sRGB, AdobeRGB, DCI-P3 콘텐츠를 VR 헤드셋에서 재현하고 각 콘텐츠에 대해 각각 계측을 진행한 결과는 아래 [표 3]과 같다.

실측 결과 sRGB, AdobeRGB, DCI-P3 등 일반적인 색공간을 사용한 콘텐츠에 대해 VR 디스플레이의 VR 런타임의 색상보정 행렬은 평균 색차 1 수준 내외에서 작동하는 것을 확인하였다. 최대 색차의 경우 콘텐츠 색공간에 따라 2에서 4 수준으로 발생하였다. 콘텐츠의 색공간으로 sRGB를 사용하는 경우 평균 색차는 1.94, 최대 색차는 3.35 수준을 보여주었으며, AdobeRGB를 사용한 경우 평균 색차는 2.10, 최대 색차는 4.28을 나타내었다. DCI-P3를 콘텐츠의 색공간으로 사용한 경우 평균 색차는 1.02, 최대 색차는 2.90 수준으로 가장 만족스러운 결과를 나타내었다.

최대색차와 평균색차를 감안하였을 때 DCI-P3 콘텐츠의 색차가 가장 적은 수준을 보여주는 원인을 추정해 볼 때, 오쿨러스 퀘스트의 런타임이 기본적으로 Rec.2020 색공간을 기준으로 하고 있기 때문으로 판단된다. AdobeRGB 색공간은 가장 높은 색차를 나타내었으며, AdobeRGB를 작업 색공간으로 이용하는 것은 작업 컬러에 오류를 초래할 수 있음을 보여주었다.

[표 3] 콘텐츠별 VR 디스플레이 실측 결과

[Table 3] VR Display Measurement Results by Content

결과 항목	콘텐츠 색공간		
	sRGB	AdobeRGB	DCI-P3
목표 화이트포인트 대비 실측 화이트포인트	1.61	1.79	1.71
평균 색차 (ΔE^*00)	1.94	2.10	1.02
최대 색차 (ΔE^*00)	3.35	4.28	2.90

5. 결론

오쿨러스 퀘스트(Oculus Quest)와 같은 독립형 헤드 마운트 디스플레이 장비를 사용하여 정확한 콘텐츠의 컬러를 재현하기 위해서는 개발 단계부터 Rift CV1을 컬러개뎃(Color Gamut)로 선택해야 한다. 이는 OLED 헤드 마운트 디스플레이에서 적용할 수 있는 전체 재현 색공간을 포함하면서 색상 선명도와 정확도에 고르게 구현할 수 있는 Rift CV1의 장점을 채택한 것이다. 대부분의 케이스에서 sRGB기반 콘텐츠는 별도의 변경 없이 안정적으로 시각정보가 전달될 수 있다. 대부분의 산업 색상 표준은 D65를 사용하도록 규정되어 있으나 Rift CV1은 색공간 백색점이 D75이다. 그래서 애초에 sRGB 사용목적으로 만든 콘텐츠는 D65 컬러가 D75로 표시되어 디스플레이에서는 더 차가운 색조로 출력된다.

연구 결과 개발환경에서 sRGB 급 디스플레이를 사용하는 경우 실제 VR 기기에서의 결과는 VR 앱에서 디스플레이가 표시할 수 없는 채도가 높은 색상을 타게팅할 수 있게 되어 색이 바라는 결과를 초래한다. 오쿨러스 퀘스트의 런타임은 기본적으로 Rec.2020 색공간을 설정하는 것에서 원인을

찾을 수 있다. 헤드셋 디스플레이에서 재현되는 콘텐츠의 색공간으로 AdobeRGB를 사용하는 경우 작업 컬러에 오류를 나타낼 가능성이 상대적으로 가장 높았으며, 콘텐츠의 색공간을 DCI-P3로 사용하는 것이 가장 안정적인 결과를 보여주는 것을 최종적으로 확인하였다.

따라서 결론으로 VR 개발환경에서는 DCI-P3 색공간을 100% 커버리지 할 수 있는 디스플레이를 사용하는 것이 권장된다. 보다 정확한 컬러를 얻기 위해서는 VR API 와 엔진에서도 DCI-P3 색공간을 선택할 수 있을 것이다.

6. 연구의 한계점

본 연구는 운영체제에서 특정 VR 런타임을 사용하는 VR 기기(오큘러스 퀘스트) 디스플레이를 기준으로 진행된 연구로 다른 제조사의 VR 기기나 다른 디스플레이 유형, 다른 운영체제를 사용하는 경우 다른 결과치를 보일 수 있는 한계를 가진다.

OLED 유형 디스플레이와 LCD 유형 디스플레이의 명암비 차이에 의한 개발환경 워크로우 역시 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 이같은 디스플레이 유형에 따른 차이를 회피하기 위해서 편의적으로 디자인 개발 단계에서 감마 공간 256 레벨 중 13 미만의 레벨은 고려하지 않는 방법이 고려될 수 있다.

References

- [1] H. Kim, "Development environment design corresponding to the color of VR headset", Next-generation Convergence Information Services Society Conference, December 29-30, 2021, Jeju, Korea, pp. 25-28.
- [2] International Color Consortium, Image technology colour management-Architecture, profile format, and data structure. Specification ICC. 1: 2004-10 (Profile version 4.2. 0.0), 2004.
- [3] International Telecommunication Union, "Recommendation ITU-R BT.709-6", itu.int, https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.709-6-201506-I!!PDF-E.pdf, (accessed February 1, 2022).
- [4] M. Sugawara, S. Choi, D. Wood, "Ultra-High-Definition Television (Rec. ITU-R BT.2020): A Generational Leap in the Evolution of Television [Standards in a Nutshell]", IEEE Signal Processing Magazine, vol. 31, no. 3, pp. 170-174, May 2014, doi: 10.1109/MSP.2014.2302331.
- [5] SMPTE, "ST 431-1:2006 - SMPTE Standard - D-Cinema Quality - Screen Luminance Level, Chromaticity and Uniformity", April 2006, pp. 1-5, doi: 10.5594/SMPTE.ST431-1.2006.
- [6] H. Kim, D. H. Kim, "OLED Display Color Characterization with Deep Learning Method", Next-generation Convergence Information Services Society Conference, December 29-30, 2021, Jeju, Korea, pp. 13-16.
- [7] M. Fairchild, D. R. Wyble, "Colorimetric characterization of the apple studio display (flat panel LCD).", Munsell Color Science Laboratory Technical Report, Center for Imaging Science Rochester Institute of Technology, Rochester, NY, USA, July 1998. [online]. Available: scholarworks.rit.edu/article/920/.

- [8] G. Sharma, W. Wu, E. Dalal, "The CIEDE2000 color difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations", *Color Research & Application*, vol. 30, no. 1, December 2004, pp. 21-30, doi: 10.1002/col.20070.
- [9] M. Nielsen, M. Stokes, "The creation of the sRGB ICC profile", *Color and Imaging Conference. Society for Imaging Science and Technology*, November 17-20, 1998, Scottsdale, AZ, USA, pp. 253-257.
- [10] P. R. Desai, P. N. Desai, K. D. Ajmera, K. Mehta, "A review paper on oculus rift-a virtual reality headset", *A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset*, vol. 13, no. 4, August 2014, doi: 10.48550/arXiv.1408.1173.
- [11] P. Tania, M. Patrick, T. Sylvain, M. Nicholas, "Color Management for VR Production", *The Virtual Reality International Conference - Laval Virtual (VRIC '18)*, April 4-6, 2018, Laval, France, pp. 1-8, doi: 10.1145/3234253.3234286.