

# 자동차 인포테인먼트 시스템의 그래픽 사용자 인터페이스 컬러 일관성 향상을 위한 개발환경 최적화 연구

## Research on optimizing development environments to improve color consistency of GUI in automotive infotainment systems

김환<sup>1\*</sup>, 김현서<sup>2</sup>

Howard Kim<sup>1\*</sup>, Hyun-Suh Kim<sup>2</sup>

### 요약

본 연구에서는 차량 내 인포테인먼트 시스템의 그래픽 사용자 인터페이스 (GUI) 디자인과 개발 과정에서 중요한 요소로 작용하는 컬러 일관성을 확보하기 위한 새로운 개발환경 워크플로우에 대해 탐구하였다. 이 워크플로우는 다양한 차량용 디스플레이 환경에서 일관된 컬러 표현을 가능하게 하는 것을 주목표로 삼았다. 이를 위한 첫 번째 단계로, AVNT, 클러스터, HUD 등 차량에 탑재되는 다양한 종류의 디스플레이들의 특성을 철저히 분석하였다. 이 분석 과정을 통해, 각 디스플레이의 컬러 재현 특성과 한계를 이해하였으며, 이를 통해 컬러 일관성 확보를 위한 최적의 기술적 접근 방식을 도출하였다. 이에 따라, 컬러 관리의 국제 표준 기술인 국제컬러컨소시엄(ICC)의 프로파일을 기반으로 한 ISO 15076-1:2010 표준을 GUI 개발 환경에 적용하였다. 이 표준을 적용함으로써, 개발자는 원래의 디자인 의도가 각기 다른 디스플레이 환경에서도 일관되게 재현될 수 있도록 하는 워크플로우를 구현하였다. 이 연구를 통해 제안된 기술적 접근법은, 컬러 일관성을 유지하면서도 차량용 디스플레이의 GUI를 효과적으로 디자인하고 개발할 수 있는 새로운 방법론을 제공한다. 이 연구의 결과는 차량용 디스플레이의 사용자 경험을 향상시키는데 큰 기여를 할 것으로 예상된다. 특히, 컬러 일관성이 사용자의 시각적 경험에 미치는 중요성을 고려하였을 때, 이 연구의 중요성은 더욱 강조된다.

핵심어 : 인포테인먼트 디스플레이, GUI 컬러, 이미지 품질, 컬러 매니지먼트

### Abstract

This research explored a new development environment workflow for ensuring color consistency, which is an important factor in the design and development of graphical user interfaces (GUIs) for in-vehicle infotainment systems. The main goal of this workflow is to enable consistent color representation across different automotive display environments. The first step was to thoroughly analyze the characteristics of the different types of displays found in vehicles, including AVNTs, clusters, and HUDs. Through this analysis,

1 Future Multidisciplinary Studies, Seoul Cyber University, Seoul, Korea [Professor]  
e-mail: howardkim@iscu.ac.kr (Corresponding author)

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

\* 본 논문은 2022년도 차세대컨버전스정보서비스학회 동계학술대회에서 발표한 논문을 수정 및 보완한 것임.

Received(July 3, 2023), Review Result(1st: July 19, 2023), Accepted(August 11, 2023), Published(August 31, 2023)



© 2023 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/>.

we understood the color reproduction characteristics and limitations of each display, which allowed us to identify the optimal technical approach to ensure color consistency. As a result, the ISO 15076-1:2010 standard, based on profiles from the International Color Consortium (ICC), the international standard for color management, was applied to the GUI development environment. By applying this standard, developers implemented a workflow that ensures that the original design intent is consistently reproduced in different display environments. The technical approach proposed in this research provides a new methodology to effectively design and develop GUIs for automotive displays while maintaining color consistency. The results of this research are expected to make a significant contribution to improving the user experience of automotive displays. In particular, the importance of this research is highlighted by the importance of color consistency to the user's visual experience.

Keyword : infotainment display, graphic user interface color, image quality, color management

## 1. 서론

자동차 인포테인먼트 시스템의 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)의 컬러 일관성은 사용자 경험(UX)과 직접적으로 관련되어 있으며, 이는 시스템의 효율성, 사용자 만족도, 그리고 안전성에 결정적인 요소가 된다 [1]. 디스플레이 기술의 발전과 디지털 영상 처리 기술의 급속한 진보에 따라, 우리는 점점 더 다양하고 섬세한 컬러를 재현할 수 있게 되었다. 그러나 이러한 기술적 진보는 새로운 문제를 야기하기도 한다. 그 중 하나가 바로 디스플레이 간의 컬러 일관성이다 [2].

이미지와 영상의 컬러 표현의 기준으로는 대표적으로 ITU에서 발표한 HDTV 표준인 BT. Rec.709와 UHD TV 표준인 BT. Rec. 2020이 있다 [3][4]. 또한, 디지털 시네마의 표준으로는 DCI-P3가 널리 사용되고 있다 [5]. 이들 모두는 각각의 분야에서 고유한 컬러 공간을 정의하고, 이를 통해 다양한 디스플레이 환경에서도 일관된 컬러 표현을 가능케 하는 역할을 한다.

그러나 자동차 인포테인먼트 시스템은 독특한 환경적 특성을 가지고 있다. 차량 내부의 광학 환경, 디스플레이의 위치, 그리고 사용자와의 상호작용 방식 등이 모두 고려되어야 한다. 이러한 특성에 맞는 컬러 표준을 정의하는 것은 중요한 도전 과제이다. 이에 대응하기 위해, IEEE P2020 Automotive System Image Quality에서는 자동차에서 사용되는 이미지와 영상의 품질에 대한 구체적인 규약의 제정을 위해 working group 단계에서 논의를 진행하고 있다 [6].

이 연구에서는 이러한 문제에 대해 ISO 15076을 활용한 해결책을 제안한다. ISO 15076은 이미지 기술 표준인 ICC(International Color Consortium) 프로파일의 표준이며, 다양한 디스플레이 환경에서도 일관된 컬러 표현을 가능케 하는 방법을 제시한다 [7]. 본 연구에서는 자동차 인포테인먼트 시스템의 GUI 개발시 실제 자동차의 디스플레이에 재현될 컬러와 디자이너의 모니터에서 작업한 컬러와의 차이를 줄이기 위해 ISO 15076의 적용을 시도하였다. 이를 통해 GUI 개발환경의 전체 워크플로우에서 컬러 일관성 확보를 위한 방법론을 제시하고자 한다 [8].

## 2. 연구설계

### 2.1 디스플레이 컬러 통제를 위한 속성 도출

영상과 이미지 표준인 ITU Rec.709와 ISO 15076을 근거로, 우리는 컬러 일치를 위한 컬러 관리에서 중요하게 고려되는 디스플레이 속성을 살펴보았다 [9]. 이 속성들은 GUI 작업 환경을 통제하고 관리하는데 필수적인 요소로, 디스플레이의 종속 변수로 설정된다. 이렇게 설정된 변수들은 [표 1]에서 확인할 수 있다.

[표 1] 디스플레이 종속 변수

[Table 1] Display Attributes

| 속 성                    | 기 준           |
|------------------------|---------------|
| 디스플레이 휘도(Luminance)    | White level   |
| 색온도(Color Temperature) | White point   |
| 톤재현(Tone Reproduction) | Curve (Gamma) |
| 색재현영역(Color Gamut)     | RGB Primary   |

그러나 이 중에서도 Black의 휘도(Black level)와 색상(Black point)는 디스플레이의 특성 상 white level과 white point에 상대적인(relative) 변수로서, 이 변수들은 디스플레이 환경에 따라 크게 변할 수 있다. 즉, 이 두 변수는 다른 요소들에 비해 표준화하기 어렵고, 또한 이 두 변수를 조절하는 것이 GUI의 전체 컬러 일관성에 큰 영향을 미치지 않는다는 판단 하에, 이 두 변수를 분석 대상에서 제외하기로 결정하였다.

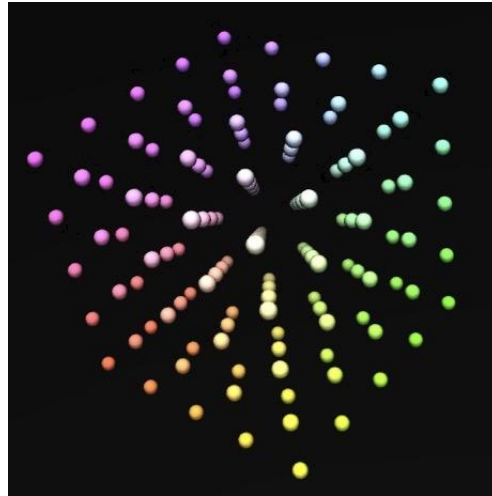
### 2.2 디스플레이 특성 파악을 위한 샘플링 컬러 도출

자동차 인포테인먼트 디스플레이와 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 개발환경에 대한 깊은 이해를 도모하는 것이 필수적이다. 특히, 디스플레이의 색상 표현 능력을 제대로 이해하고, 그에 따른 컬러 매핑(Color Gamut Mapping) 전략을 세우는 것은 디스플레이와 GUI 사이에서 일관된 컬러 표현을 달성하기 위해 중요하다 [10]. 디스플레이의 색상 특성을 파악하고 이를 표현하는 데 필요한 샘플링 컬러는 다음 [표 2]와 같이 설정하였다.

디스플레이 프로파일 생성에 있어서, 빠른 계산 처리를 위해 일반적으로 사용되는 방법은 3 x 3 행렬 방식이다. 이 방법은 간단하면서도 효과적이지만, 각 컬러 샘플 간의 정확도를 최우선으로 고려하는 경우에는 이 방법의 한계가 명확하다. 따라서, 이러한 경우에는 LUT(look up table) 방식을



도출된 샘플링 컬러를 3차원 색공간에서 배열하였을 때의 각 컬러간 간격은 아래 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 3차원 공간에 배열된 샘플링 컬러  
[Fig. 2] Sampling Colors arranged in three-dimensional space

### 2.3 인포테인먼트 디스플레이 분석

2.2에서 도출한 175 샘플링 컬러를 사용하여 AVNT 3종 및 HUD 2종의 인포테인먼트 디스플레이에서 화질과 컬러의 특성을 분석한 결과는 다음 [표 3]과 같다.

[표 3] 인포테인먼트 디스플레이의 특성

[Table 3] Characteristics of infotainment displays

| Display    | Luminance | CCT   | TRC  | Color Gamut |
|------------|-----------|-------|------|-------------|
| AVNT 10.3" | 1,011.52  | 8292K | 2.27 | 88.03%      |
| AVNT 12.3" | 920.86    | 8449K | 2.30 | 83.70%      |
| AVNT 14.5" | 857.63    | 7951K | 2.33 | 82.64%      |
| HUD 1      | 90.35     | 6352K | 2.26 | 54.56%      |
| HUD 2      | 93.44     | 8262K | n/a  | 58.14%      |

각 시료 디스플레이의 밝기(White Luminance)는 857.63~1011.52 칸델라(cd/m<sup>2</sup>) 수준이며, HUD는 반사면 프로젝션 이후 기준으로 90.35~93.44 칸델라(cd/m<sup>2</sup>) 수준을 보였다.

색온도(CCT)는 7951 ~ 8449K 수준으로 약 500K 내외의 차이를 가지고 있음을 확인하였다.

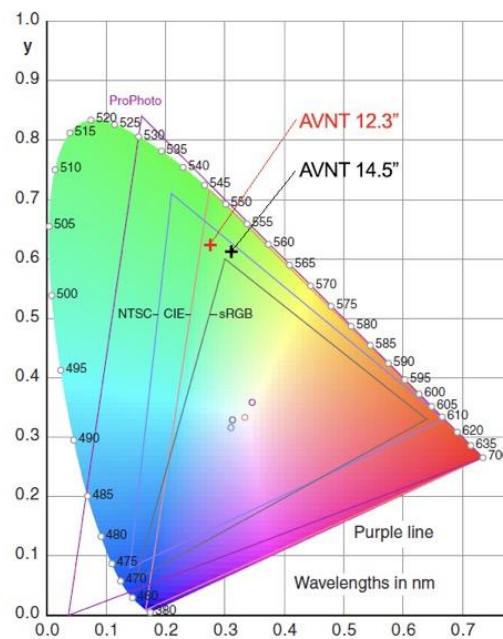
톤재현특성(TRC)은 감마 2.27~2.33 수준의 차이를 보였다. 감마값이 낮아질수록 중간계조(예; RGB 100~150)가 상대적으로 밝은 특성을 보이게 되고, 이에 따라 전체 영상 또는 이미지의 명암(Contrast)이 떨어져 보이는 결과를 보였다.

색재현영역(Color Gamut)은 sRGB Coverage 기준 82.6~88% 수준으로 LCD 디스플레이에서는 AVNT 14.5"가 가장 낮은 재현성을 보였다. HUD는 LCD 디스플레이 대비 20% 내외로 색역 재현능력이 저하됨을 확인하였다.

[표 4] 인포테인먼트 디스플레이의 원색 특성

[Table 4] Primary Color Characteristics of infotainment displays

| Display    | Red    |        | Green  |        | Blue   |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | x      | y      | x      | y      | x      | y      |
| AVNT 10.3" | 0.6367 | 0.3411 | 0.2984 | 0.6070 | 0.1477 | 0.0533 |
| AVNT 12.3" | 0.6327 | 0.3414 | 0.2899 | 0.6199 | 0.1490 | 0.0522 |
| AVNT 14.5" | 0.6335 | 0.3397 | 0.3098 | 0.6082 | 0.1510 | 0.0536 |
| HUD 1      | 0.5854 | 0.3784 | 0.3198 | 0.5899 | 0.1633 | 0.1553 |
| HUD 2      | 0.5716 | 0.3733 | 0.3173 | 0.6018 | 0.1607 | 0.1574 |
| BT.709     | 0.6400 | 0.3300 | 0.3000 | 0.6000 | 0.1500 | 0.0600 |
| DCLP3      | 0.6800 | 0.3200 | 0.2650 | 0.6900 | 0.1500 | 0.0600 |



[그림 3] CIE xy 색도도상 ITU-R BT.709 및 디스플레이 별 Green의 차이

[Fig. 3] Difference between CIE xy chromaticity diagram ITU-R BT.709 and display-specific Green

실험한 모든 인포테인먼트 디스플레이는 [표 4] 에서의 결과와 같이 ITU-R BT.709 에서 정의한 RGB xy 수치에 가깝거나 모자란 수준으로 RGB 원색 컬러를 재현하였으며, 스마트폰 등 모바일 장치에서 사실상의 기준으로 사용되고 있는 DCI-P3 에서 정의한 수치와는 많은 차이가 있음을 확인하였다. 가장 큰 차이를 보이는 원색은 Green으로 AVNT 12.3" 와 AVNT 14.5" 는 x에서 0.0199, y에서 0.0117 수준의 차이를 보이는 특성을 보여주었다. 이를 CIE xy 색도도상으로 확인하면 [그림 3]과 같다.

여러대의 시료를 측정하여 편차를 분석한 결과 [표 5] 에서와 같이 AVNT 10.3"은 tone reproduction characteristic (TRC), Green 에서 상대적으로 편차가 크게 나타났다. AVNT 12.3"은 밝기를 제외한 나머지 영역에서 편차가 크지 않은 것으로 측정되었으며, AVNT 14.5"는 tone reproduction characteristic (TRC), 색재현영역 및 Blue 편차가 큰 것으로 확인되었다.

[표 5] 동일 인포테인먼트 디스플레이간 편차

[Table 5] Deviation between identical infotainment displays

| Display    | Luminance        | CCT               | TRC             | Color Gamut     |
|------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| AVNT 10.3" | 1.59%<br>(16.05) | 0.83%<br>(69.00)  | 7.50%<br>(0.17) | 8.96%<br>(7.89) |
| AVNT 12.3" | 6.90%<br>(63.63) | 2.82%<br>(238.00) | n/a             | 2.16%<br>(1.81) |
| AVNT 14.5" | 2.10%<br>(18.04) | 0%<br>(0)         | 6.00%<br>(0.14) | 6.97%<br>(5.76) |

인포테인먼트 디스플레이의 화면 크기별 색상의 차이는 [표 6]과 같다. 디스플레이간 원색 (Primary Color)의 차이는 Red에서 x|y 0.0002~0.0017, Green에서 x|y 0.0011~0.0198, Blue에서 x|y 0.0003~0.0043 수준의 차이를 보이는 것으로 계측되었다.

[표 6] 인포테인먼트 디스플레이 화면 크기별 색상 편차

[Table 6] Color deviation by infotainment display screen size

| Display    | Red             |                 | Green           |                 | Blue            |                 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|            | x               | y               | x               | y               | x               | y               |
| AVNT 10.3" | 0.27%<br>0.0017 | 0.26%<br>0.0009 | 6.64%<br>0.0198 | 2.41%<br>0.0148 | 1.88%<br>0.0028 | 3.63%<br>0.0019 |
| AVNT 12.3" | 0.22%<br>0.0014 | 0.38%<br>0.0013 | 0.65%<br>0.0019 | 0.19%<br>0.0012 | 0.20%<br>0.0003 | 2.12%<br>0.0011 |
| AVNT 14.5" | 0.03%<br>0.0002 | 0.20%<br>0.0007 | 1.52%<br>0.0047 | 0.18%<br>0.0011 | 1.85%<br>0.0028 | 8.06%<br>0.0043 |

### 3. 최적화 워크로우 구축

#### 3.1 GUI 디스플레이 캘리브레이션 팩터 도출

인포테인먼트 디스플레이와 유사한 GUI 작업환경을 도출하기 위한 캘리브레이션 팩터는 아래 [표 7]과 같이 도출되었다.

[표 7] GUI 작업환경을 위한 캘리브레이션 팩터

[Table 7] Calibration factors for GUI workflows

| Factor              | Value                      |
|---------------------|----------------------------|
| Observer            | CIE 1931 2°                |
| Whitepoint          | 8231K (x 0.2916, y 0.3068) |
| White Level         | Display Maximum            |
| Black Level         | Display Minimum            |
| Tone Curve          | Gamma 2.2 (relative)       |
| Black output offset | 100%                       |

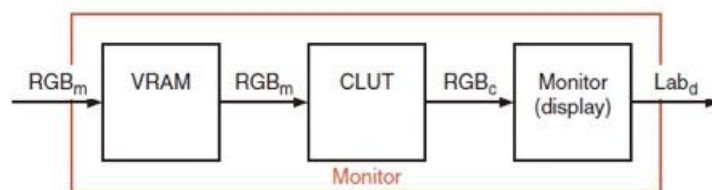
#### 3.2 GUI 디스플레이 프로파일링 팩터 도출

인포테인먼트 디스플레이와 유사한 GUI 작업환경을 도출하기 위한 디스플레이 프로파일링 팩터는 아래 [표 8]과 같이 도출되었으며, [그림 4]와 같이 적용하였다 [12].

[표 8] GUI 작업환경을 위한 프로파일링 팩터

[Table 8] Profiling factors for GUI environments

| Factor          | Value                             |
|-----------------|-----------------------------------|
| Profile Type    | XYZ LUT + Matrix                  |
| Sampling Colors | 175 (125 Multidimensional colors) |



[그림 4] 디스플레이에 LUT 적용

[Fig. 4] Applying a LUT to a Display





시뮬레이션 결과 컬러 정확도(색차, Color Difference)는  $\Delta E_{2000}$  기준 평균 1.218, 최대 3.36 의 결과를 얻었으며, 각 컬러별 색차는 아래 [그림 7]과 같다.

| #  | Measured Values |        |         |          | Color distance      |                     |                     |                 |
|----|-----------------|--------|---------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
|    | L*              | a*     | b*      | $\gamma$ | $\Delta L^*_{00/w}$ | $\Delta C^*_{00/w}$ | $\Delta H^*_{00/w}$ | $\Delta E_{00}$ |
| 01 | 24.36           | 45.51  | 36.54   |          | -0.09               | -0.13               | 0.24                | 0.29            |
| 02 | 54.13           | 79.99  | 74.07   |          | -0.18               | 0.43                | 1.83                | 1.89            |
| 03 | 67.25           | 51.17  | 25.82   |          | -0.01               | -0.29               | 0.19                | 0.35            |
| 04 | 43.62           | -48.88 | 46.09   |          | -0.03               | 0.61                | 1.1                 | 1.26            |
| 05 | 87.64           | -85.48 | 81.34   |          | -0.12               | 0.77                | 1.23                | 1.45            |
| 06 | 90.17           | -62.32 | 51.43   |          | -0.11               | 0.66                | 1.14                | 1.33            |
| 07 | 11.08           | 42.26  | -63.16  |          | 0.37                | 0.33                | 2.23                | 2.18            |
| 08 | 30.49           | 75.68  | -110.99 |          | 0.63                | 0.49                | 3.42                | 3.36            |
| 09 | 56.46           | 31.93  | -68.08  |          | 0.47                | 0.28                | 2.51                | 2.41            |
| 10 | 45.46           | -29.35 | -8.88   |          | 0.18                | 0.18                | 0.13                | 0.29            |
| 11 | 90.65           | -51.1  | -15.24  |          | -0.01               | 0.16                | 0.08                | 0.18            |
| 12 | 94.31           | -28.76 | -9.24   |          | -0.02               | 0.3                 | -0.01               | 0.3             |
| 13 | 28.05           | 54.97  | -34.79  |          | 0.16                | 0.35                | 0.3                 | 0.49            |
| 14 | 60.4            | 96.03  | -60.48  |          | 0.18                | 0.36                | 0.45                | 0.6             |
| 15 | 79.33           | 44.93  | -30.9   |          | 0.15                | 0.14                | 0.21                | 0.3             |
| 16 | 49.25           | -11.64 | 53.91   |          | 0                   | 0.3                 | 1.54                | 1.57            |
| 17 | 97.38           | -19.77 | 94.6    |          | -0.13               | 0.38                | 1.81                | 1.86            |
| 18 | 98.39           | -12.07 | 42.76   |          | -0.07               | 0.05                | 1.67                | 1.67            |
| 19 | 43.98           | 37     | 18.74   |          | -0.45               | 0.2                 | 0.34                | 0.6             |
| 20 | 60.63           | -45.14 | 37.29   |          | -0.09               | 1.04                | 0.91                | 1.39            |
| 21 | 36.16           | 23.17  | -49.37  |          | -0.36               | 0.78                | 2.16                | 1.87            |
| 22 | 62.39           | -28.2  | -8.92   |          | 0.07                | 0.45                | 0.11                | 0.47            |
| 23 | 46.73           | 48.02  | -31.77  |          | -0.21               | 0.69                | 0.32                | 0.78            |
| 24 | 66.18           | -11.66 | 45.69   |          | -0.02               | 0.61                | 1.56                | 1.67            |
| 25 | 56.67           | 86.58  | -14.74  |          | 0.04                | 0.15                | -0.05               | 0.17            |
| 26 | 91.46           | -54.93 | 86.61   |          | -0.14               | 0.58                | 1.43                | 1.56            |
| 27 | 64.45           | -8.02  | -55.64  |          | 0.32                | -0.17               | 1.63                | 1.78            |
| 28 | 88.76           | -71.08 | 27.89   |          | -0.1                | 0.68                | 0.8                 | 1.06            |
| 29 | 45.37           | 83.45  | -85.78  |          | 0.52                | 0.44                | 1.46                | 1.57            |
| 30 | 75.39           | 25.03  | 80.76   |          | -0.08               | 0.19                | 1.82                | 1.83            |

[그림 7] 시뮬레이션 결과 컬러 정확도

[Fig. 7] Simulation Result Color Accuracy

#### 4. 결론

최적화 워크플로우를 구축하기 위해 본 연구에서는 3단계의 연구 실험 과정을 거쳤다. 첫번째, 실제 구현될 인포테인먼트 디스플레이의 화질 특성에 대한 연구를 실시하였다. 특성 분석에 이용된 속성으로는 Luminance, Color Gamut, Whitepoint, Blackpoint, Tone Reproduction 등 ITU BT.Rec.709 등의 영상 규격에서 다루는 디스플레이의 기본 화질 특성을 분석하였다. 분석을 통해 도출된 결과는 ISO 15076 기반의 ICC 컬러 프로파일의 형태로 생성하고, 규격화를 진행하였다.

첫번째 결과를 기초로 GUI 디자인에 사용되는 디스플레이에 요구되는 특성을 정의하였다. Luminance, Color Gamut, Whitepoint, Blackpoint, Tone Reproduction 등 디스플레이 calibration 및 characterization 에서 요구되는 값을 정의하였으며, 이 속성값을 기반으로 디자인 작업자의 디스플레이 환경에 일관성을 확보할 수 있도록 캘리브레이션 및 프로파일링 워크플로우를 구축하였다.

마지막으로 인포테인먼트 시스템의 컬러 프로세싱 및 재현 특성을 분석하였다. GUI 결과물의 implementation 따른 컬러 및 계조(tone)의 변동사항을 파악하고 이를 보상(compensation)할 수 있는 색역 매핑 및 톤 매핑(color gamut and tone mapping) 방법을 설계하였다. 이와 같은 연구 진행을 통해 최종적으로 GUI 디자인 작업자의 디스플레이에서 실제 인포테인먼트 시스템에 재현될 컬러와 톤 계조, 이미지와 영상을 미리 확인하고 시뮬레이션할 수 있는 작업 환경을 구축할 수 있었다. 연구 결과 다음과 같은 산출물을 도출해 낼 수 있었다.

1. 인포테인먼트 디스플레이(AVNT, 클러스터, HUD)의 컬러재현 특성 분석을 통해, GUI 디자인의 baseline 및 tolerance 기준 마련
2. GUI 설계시 실제 디스플레이에 재현될 컬러 시뮬레이션 워크플로우 구축
3. GUI 디자인 디스플레이의 minimum requirement 및 tolerance 기준 구축
4. 범용적 컬러 통일 환경 구축
5. 통합 디자인 컬러 관리 워크플로우 제시

이를 통해 향후 인포테인먼트 시스템의 디스플레이 부분(AVNT, 클러스터, HUD) 표준화 및 품질 관리에 기여하고, GUI 디자인 작업에서의 컬러 통일 환경 구축 및 최종 타겟 단말에 의도한(예측한) 색상을 표시하도록 하여 고객 만족도 향상에 기여할 것으로 판단한다.

본 연구는 다음의 한계점을 가진다. 인포테인먼트 디스플레이는 GUI 작업용 디스플레이에 비해 최대 4~5배 이상 밝은 특성을 가지고 있어, 밝기 차이에 기인한 인지 컬러의 차이는 보상하지 못한다. 색온도(whitepoint)는 인간의 색순응(chromatic adaptation) 특성으로 디스플레이 주변(ambient)의 색온도에 상대적으로 인지하는 특성상 계측기기가 동일하게 판단한 컬러라도 시각적으로는 불일치될 수 있다. 본 연구에서 인포테인먼트 디스플레이의 특성은 골든 샘플을 기준으로 진행하였으며, 이에 따라 편차가 있는 제품에는 대응할 수 없다. CIE가 1976년 규정하여 현재까지 ISO15076 등 컬러 매니지먼트의 기준 공간으로 사용되고 있는 CIELAB 색상 모델은 100칸델라 내외의 낮은 밝기를 기준으로 설계되어 인포테인먼트 디스플레이와 같은 1,000칸델라 내외의 높은 밝기에서는 오차가 커지는 문제점이 있다. 이 부분은 hdr-CIELAB와 같은 새로운 기준이 준비되고 있는 상황이나 현재 시점까지는 컬러 매니지먼트 워크플로우에서는 본격적으로 도입되지 않았다 [14]. 따라서 1,000칸델라 내외의 높은 휘도에서 보다 정확한 매칭을 위해서는 별도의 시스템 설계가 요구되며, OLED와 같은 새로운 디스플레이 기술이 컬러에 미치는 영향에 대한 추가적인 접근이 요구된다.

## References

- [1] H. Kim, H. S. Kim, “Development Environment Workflow for GUI Color Consistency of Automotive Infotainment Display”, Next-generation Convergence Information Services Society Conferences 2022, December 19-20, 2022, Suncheon, Korea, pp. 19-20.
- [2] H. Kim, D. H. Kim, “Display Characterization Methods for Accurate Color Representation Quality”, Journal of Digital Art Engineering & Multimedia, vol. 9, no. 1, March 2022, pp. 85-92, doi: 10.29056/jdaem.2022.03.08.
- [3] Recommendation ITU-R BT.709, Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange, International Telecommunication Union, 2010.
- [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, May 2014, pp. 170-174, doi: 10.1109/MSP.2014.2302331.
- [5] SMPTE, ST 431-1:2006 - SMPTE Standard - D-Cinema Quality - Screen Luminance Level, Chromaticity and Uniformity, SMPTE, 2006.
- [6] IEEE SA P2020, IEEE P2020 Automotive Imaging, IEEE, 2018.
- [7] International Color Consortium, Image technology colour management-Architecture, profile format, and data structure. Specification ICC. 1: 2004-10 (Profile version 4.2. 0.0), ICC, 2004.
- [8] 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/.
- [9] R. Berns, “Methods for characterizing CRT displays”, Displays, vol. 16, no. 4, May 1996, pp. 173-182, doi: 10.1016/0141-9382(96)01011-6.
- [10] K. E. Spaulding, G. J. Woolfe, E. J. Giorggianni, “Reference input/output medium metric RGB color encodings”, PICS 2000: Image Processing, Image Quality, Image Capture Systems Conference, March 26-29, 2000, Portland, OR, USA, pp. 155-163.
- [11] H. Kim, D. H. Kim, “Machine Learning Approaches for OLED Display Color Profiling”, Journal of Digital Art Engineering & Multimedia, vol. 9, no. 3, September 2022, pp. 247-254. doi: 10.29056/jdaem.2022.09.02.
- [12] M. L. Nielsen, M. Stokes, “The creation of the SRGB ICC profile”, Final Program and Proceedings, vol. 6, no. 1, January 1998, pp. 253-257, doi: 10.2352/cic.1998.6.1.art00054.
- [13] J. Morovi, Color gamut mapping, John Wiley & Sons, 2008.
- [14] M. D. Fairchild, D. R. Wyble, “HDR-CIELAB and HDR-IPT: simple models for describing the color of High-Dynamic-Range and Wide-Color-Gamut images”, Final Program and Proceedings, vol. 18, no. 1, January 2010, pp. 322-326, doi: 10.2352/cic.2010.18.1.art00057.