

# UHDTV 방송 프로그램 생성 및 호환용 광색역 삼원색 및 색부호화 방식 표준화

최서영, 박두식, 이호영, 김윤태, 홍지영, 김창용  
삼성전자 기술원 Advanced Media Lab



## 1. 머리말

HDTV 방송 프로그램의 생성 및 국제적인 호환을 위해 현재 ITU-R BT.709 권고안이 사용되고 있다[1]. 이 권고안은 CRT 디스플레이의 내재적인 특성에 기초하여 마련되었다. 그런 이유로, 그것에 의해 정의되는 표준 Red(R), Green(G), Blue(B) Primaries로 재현 가능한 색 범위(색역: Color Gamut)는 실세계 물체색(Real-World Surface Colors)의 범위를 모두 포함하기에는 충분하지 않다. 최근 연구 개발된 LED 백라이트를 채용한 LCD, AMOLED 등의 평판 디스플레이(Flat Panel Displays)의 색역은 ITU-R BT.709 권고안의 색역보다 넓은 범위를 재현할 수 있어, 대부분의 실세계 물체색의 색역을 포함할 수 있을 만큼 증가되고 있는 추세이다.

이러한 디스플레이의 발전에도 불구하고, 방송에서 사용되는 영상신호는 여전히 기존 신호 규격을 사용하고 있어, 디스플레이의 성능을 충분히 발휘할 수 없는 제한요소가 되고 있다. 따라서 최근 개발된 디스플레이의 색 재현 성능을 충분히 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 실세계의 물체색을 대부분 표현할 수 있어, 방송 및

영상 통신에 있어 현실을 올바르게 반영할 수 있는 새로운 광색역 RGB Primaries와 이를 효율적으로 부호화할 수 있는 색부호화(Color Encoding)방식에 대한 연구가 필요하다.

새로운 TV 표준화를 위한 여러 번의 논의에서, 밝기 정보를 보존할 수 있는 색부호화 방식(Constant Luminance Coding)을 포함하지는 제안은 주기적으로 제기되었다[2]. 하지만, 지금까지 밝기 정보를 보존할 수 있는 색부호화 방식의 역호환에 대한 문제점 극복 여부에 관하여 증명되지 않았다. 뿐만 아니라, 이 방식의 우수성에 대한 과학적인 증거를 보여줄 수 있는 연구 또는 이 방식에 의하여 만들어지는 비디오 신호가 색차 신호 부표본화(Subsampling)에 미치는 영향에 대한 연구가 없었다[3].

본 고에서는 기존의 HDTV 시스템에서 사용되고 있는 CRT 기반 색역 보다 넓은 색역을 갖는 새로운 RGB Primaries를 정의하고, 이에 기반한 RGB 신호로부터 밝기 신호(Luma Signal)와 색차 신호(Color-Difference Signal)를 분리하는 새로운 색부호화 방식을 제안하고자 한다. 본 고에서 소개하는 연구 결과는 궁극적으로 차세대 초고화질 방송(UHDTV:

Ultrahigh Definition TV) 프로그램의 생성 및 국제 호환 영상 포맷을 정의하는 ITU-R 권고안에 반영되는 것을 목적으로 한다.

## 2. 광색역 RGB Primaries 설계

### 2.1 물체색 데이터

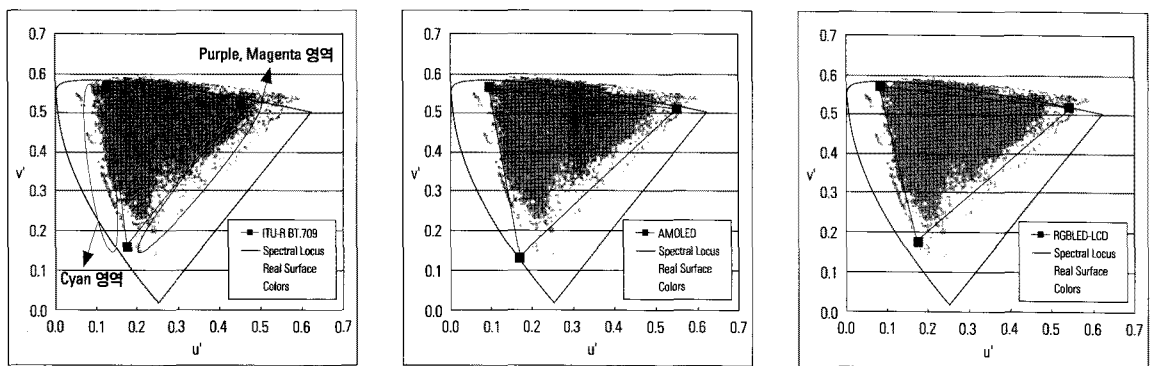
HDTV 방송용 프로그램 생성과 국제 호환 목적으로 전 세계 방송국에서 사용되고 있는 ITU-R BT.709 권고에서는 CRT 기반 RGB Primaries로 형성되는 색역 내로 비디오 카메라에 의하여 획득되는 원영상의 색 정보를 맵핑하도록 정의하고 있다[1]. 하지만, 현 수준의 카메라와 평판 디스플레이는 ITU-R BT.709의 CRT 기반 색역보다 더 넓은 색역의 색정보를 획득 후 재생이 가능하도록 한다. 따라서, 차세대 방송용 시스템인 UHD TV 시스템을 위해서는 광색역 RGB Primaries를 설계할 필요가 있다. 본 연구에서는 실제 지구상에 존재하는 모든 물체색 데이터를 가능한 최대한 효율적으로 포함할 수 있는 광색역 RGB Primaries를 설계하고자 하였다. 현재까지 가장 널리 이용된 물체색을 대표할 수 있는 데이터는 Pointer가 1980년에 제안한 것과, 최근 2003년 ISO에서 원영상의 색정보 획득을 위하여 사용되는 입력 디바이스(Color Imaging Input Device)의 평가를 위해 수집한 아주 많은 물체의 반

사/투과(Reflectance/Transmittance) 데이터로 구성된 SOCS(Standard Object Color Spectra) 데이터가 있다[4,5]. 본 연구에서는 이 두 가지 데이터그룹을 지구상에 존재하는 모든 물체색 데이터를 대표할 수 있는 것으로 가정하고, 광색역 RGB Primaries 설계에 이용했다.

### 2.2 물체색 데이터와 ITU-R BT.709의 색역 비교

[그림 1]의 (a)에서는 ITU-R BT.709의 CRT 기반 색역이 2.1절에서 소개한 물체색 데이터('x'로 표시)를 어느 정도 포함할 수 있는지를 CIE  $u'v'$  색좌표계에서 보여준다. 가까운 미래에는 대화면 AMOLED와 LCD가 UHD TV 및 3D TV 방송 프로그램을 표현할 수 있는 주요 평판 디스플레이로 사용될 것이므로, AMOLED[6]와 RGBLED 백라이트를 가진 LCD[6]의 색역을 또한 물체색 데이터와 비교해 [그림 1]의 (b)와 (c)에서 확인할 수 있다.

CRT에서 가장 일반적으로 사용되고 있었던 RGB 형광체의 색특성 기반으로 설정된 ITU-R BT.709의 색역은 Cyan, Purple, Magenta 영역에서 순도가 높은 물체색 데이터 상당 부분을 포함하지 못함을 [그림 1]의 (a)에서 알 수 있다. 하지만, 대부분의 물체색 데이터를 AMOLED와 LCD의 색역은 포함할 수 있음을 [그림 1]의 (b)와 (c)에서 확인할 수 있다. 따라서 차세대



[그림 1] 2.1절에서 소개한 물체색 데이터와 (a) CRT기반 ITU-R BT.709의 색역, (b) AMOLED의 색역, (c) RGBLED 백라이트의 색역을 CIE  $u'v'$  색좌표계에서 비교

UHDTV 방송 프로그램의 생성 및 호환에 사용될 수 있는 광색역은 다음의 세 가지 요구사항들을 고려해서 설정되도록 하였다.

### ① 2.1절에서 소개한 물체색 데이터를 최대한 효율적으로 포함할 수 있는 광색역

영상 획득을 위하여 사용되는 스캐너, 카메라와 같은 입력 디바이스 및 획득된 영상을 재현하기 위하여 사용되는 평판 디스플레이와 같은 출력 디바이스의 개발은 실제로 인간이 생활에서 볼 수 있는 모든 색을 정확하게 획득 및 재현하는 것을 목적으로 한다. 이 관점에서 볼 때, 차세대 방송용 광색역은 2.1절에서 소개한 물체색 데이터를 최대한 많이 포함할 수 있도록 설정하는 것이 합리적 접근이다.

### ② AMOLED와 RGBLED 백라이트 LCD의 색상(Hue) 특성을 고려하여 광색역 RGB Primaries의 설정

차세대 UHDTV 및 3D TV 방송 프로그램은 대화면 AMOLED와 LCD에 의하여 구현될 확률이 높으므로, AMOLED와 LCD의 RGB Primaries의 색상 특성에 근접하도록 새로운 광색역 RGB Primaries의 위치를 설정하는 것이 구현 측면에서 합리적인 접근이라 할 수 있다. 즉, 본 고에서 제안하는 광색역 RGB Primaries의 색역 내로 맵핑된 색 정보들이 광색역과는 조금 다른 R"G"B" Primaries로 구성된 AMOLED가 입력 신호로 받아서 구현해야 하는 경우, 색정보 맵핑(Gamut Mapping)이 필요할 수 있다. 이 경우, 광색역 RGB Primaries의 색상 특성과 AMOLED의 R"G"B" Primaries의 색상 특성이 서로 비슷하면, 맵핑 결과 영상의 화질 열화는 그렇지 않은 경우와 비교하여 적게 발생하게 된다.

### ③ 물리적 표현이 가능한 색(Actual Color)을 사용해 광색역 RGB Primaries를 도출

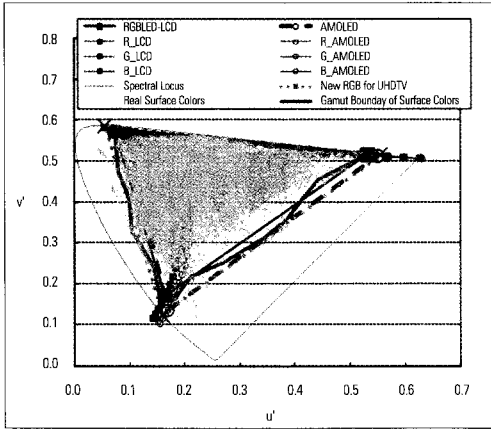
물체색을 최대한 포함하는 광색역 RGB Primaries가 물리적 표현이 불가능한 영역에 설정되면, 이

RGB Primaries를 구현할 수 있는 디스플레이는 존재하지 않는다. 따라서, 새롭게 도출되는 광색역 RGB Primaries는 디스플레이에 의하여 구현될 수 있도록 물리적 표현이 가능한 색범위 내부에 위치하도록 도출해야 한다.

### 2.3 광색역 RGB Primaries의 설계 및 평가

본 절에서는 2.2절에서 설명한 차세대 UHDTV 방송 프로그램 생성용 광색역 설계에서 고려한 세 가지 요구사항을 반영하여 선정된 새로운 RGB Primaries를 소개한다. [그림 2]에서는 2.1절에서 소개한 물체색 데이터('x'로 표시)를 포함하는 경계선('Orange선'으로 표시)을 CIE u'v' 색좌표계에서 보여준다. AMOLED[6]와 RGBLED 백라이트 LCD[6]의 기준 RGB Primaries의 XYZ 삼자극치 값을 CIELAB L\*C\*h로 변환 후 얻을 수 있는 일정한 색상 라인(Constant h Line)을 또한 보여준다. 일정한 색상 라인상의 '○○○ (AMOLED)' 또는 '■,■,■ (LCD)'로 표시된 점들은 크로마(Chroma) 값은 서로 다르지만 동일한 색상(h)을 가지는 색들을 의미한다. 임의의 RGB Primaries로 형성되는 삼각형의 면적과 [그림 2]에서 물체색의 경계선('Orange선'으로 표시) 내의 면적이 최대한 겹쳐질 수 있도록 최적화 조건을 설정하여 물체색 데이터를 최대한 포함할 수 있는 RGB Primaries 후보군을 먼저 찾았다. 또한 2.2절에서 제시한 (2)와 (3)의 조건을 만족할 수 있도록 AMOLED와 LCD의 각 RGB 색상 라인을 중심으로 색차(CIELAB  $\Delta E^*_{ab}$ )= $\pm 2$ 의 범위 내에 후보군이 위치하도록 하였다. 이렇게 선정된 후보군 중에서 물체색 데이터를 최대한 효율적으로 포함할 수 있는 RGB Primaries('Magenta x'로 표시)를 선택하였으며 [그림 2]에서 소개한다.

차세대 UHDTV 방송 프로그램 생성 및 호환용으로 선정된 새로운 RGB Primaries로 형성되는 색역('Magenta 삼각형'으로 표시)은 순도가 아주 높은 Cyan 영역의 색들의 일부를 포함하지 못함을 [그림



[그림 2] 차세대 UHDTV 방송 프로그램 생성 및 호환용으로 선정된 광색역 RGB Primaries('Magenta x'로 표시)

2]에서 확인 할 수 있다. 이 Cyan색들의 출처는 ISO-SOCS의 컬러 프린터그룹에 포함되는 것으로 확인하였다[5]. [그림 2]에서 가장 바깥쪽 회색선으로 표시되는 Spectral Locus는 물리적으로 표현할 수 있는 색의 영역을 나타낸다. 순도가 아주 높은 Cyan색들까지 포함하기 위해서는 Green Primary가 Spectral Locus 외부에 위치해야만 한다. 즉 물리적으로 표현할 수 없는 위치에 Green Primary가 존재해야만 한다. 이 경우, Green Primary는 디스플레이에 의하여 구현되지 못할 뿐 아니라 카메라에 의해서 획득될 수도 없다. 따라서, Green Primary는 물체색을 가능한 최대한 포함할 수 있고, 물리적 표현이 가능한 위치인 [그림 2]의 Spectral Locus상에 위치하도록 최종 선정되었다.

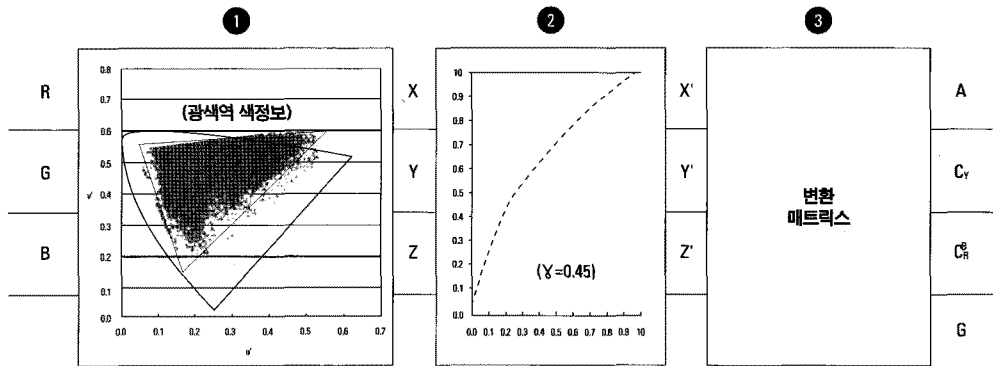
### 3. 광색역 색정보를 독립적인 밝기와 색차 신호로 변환할 수 있는 색부호화 기술

#### 3.1 독립적인 밝기와 색차 신호 생성방법

HDTV 방송 프로그램의 생성 및 호환용 영상 포맷을 정의하고 있는 ITU-R BT.709 권고안에서 정의하는 색부호화 방법은 원영상의 밝기 정보를 보존하지 못하도록 밝기 신호를 생성하는 점과, 이 점에 기인하여 서

로의 정보를 포함하는 밝기와 색차 신호를 생성하는 문제점을 가지고 있다[7]. 이 문제점은 원영상 정보량 감소 목적으로 색차 신호를 부표본화 후 압축하는 경우, 결과영상 화질 열화의 주요 원인이 된다. 본 고에서는 이 문제점들을 해결할 수 있는 독립적인 비디오 신호를 생성하는 새로운 방법을 제시하고자 한다. '독립적인 비디오 신호(Independent Video Signal)'는 밝기와 색차 신호가 서로의 정보를 거의 포함하지 않는 것을 의미한다. 새로운 색부호화 방법은 다음의 네 가지 요구사항들을 고려하여서 만들어졌다. 이 요구사항들은 인간의 시각계가 색을 인지하는 메커니즘으로 현재 가장 일반적으로 인정되고 있는 Zone Theory에 바탕을 두고 정해졌다[8]. 본 고에서 제안된 새로운 색부호화 방법에 의하여 생성되는 새로운 밝기와 색차 신호는 'A'(밝기 신호), 'C<sub>YB</sub>'(Yellow-Blue 색차 신호), 'C<sub>RG</sub>'(Red-Green 색차 신호)로 명명하였다. [그림 3]은 아래의 네 가지 요구사항이 고려된 독립적인 밝기와 색차 신호 생성과정을 간략하게 도식화하여 보여준다.

- ① 가시광 파장 대역, 장/중/단 파장에 대한 인간 시각 감도특성이 반영된 CIE XYZ 삼차극치 값들의 효과적 분리에 의하여 최소 상관관계 특성을 갖는 밝기와 색차 신호를 생성
- ② 인간이 자연계의 빛에 대해 인지하는 밝기와 유사한 특성을 가지는 밝기 신호(A)를 생성(예를 들면, 선형 RGB 신호의 합인 Y신호를 비선형화 함으로써 얻어지는 밝기 신호)
- ③ 밝기 신호(A)와 색차 신호 세쌍의 신호 조합인 'R-G 색차 신호와 밝기 신호', 'Y-B 색차 신호와 밝기 신호', 'R-G 색차 신호와 Y-B 색차 신호'에서 상관관계 특성이 최소가 되도록 하는 색차 신호를 생성
- ④ 원영상의 정보량을 감소시키기 위하여 색차 신호를 부표본화하는 경우에도 원영상의 밝기 정보는 보존되도록 밝기와 색차 신호를 생성



[그림 3] XYZ신호 기반 독립적인 밝기와 색차 신호 생성을 위한 새로운 색부호화 방법

### 3.2 차세대 방송용 새로운 색부호화 방법과

#### 기존 ITU-R BT.709 색부호화 방법 비교

3.1절에서 소개한 XYZ신호 기반 새로운 색부호화 방법과 기존 ITU-R BT.709의 색부호화 방법에 따라서 만들어진 서로 다른 밝기와 색차 신호가 색차 신호 부표본화 후 결과 화질에 미치는 영향을 [그림 4]의 (a)의 원영상을 사용하여 분석했다. [그림 4]의 (b)와 (c)는 기존 ITU-R BT.709의 색부호화 방법으로 만들어진 색차 신호를 4:2:0과 4:1:0 포맷으로 부표본화 후, Bicubic 보간법을 사용하여 원영상의 해상도 수준으로 색차 신호를 복원한 결과영상들을 보여준다. [그림 5]의 (b)와 (c)는 XYZ 신호 기반 새로운 색부호화 방법으로 만들어진 색차 신호를 4:2:0과 4:1:0 포맷으로 부표본화 후 얻어진 결과영상들이다. [그림 5]의 (a)에서 보여지는 원영상은 [그림 4]의 (a)의 영상과 동일하다. [그림 4]와 [그림 5]에서 원영상과 결과영상 아래 위치에, 색차 신호 부표본화 후 결과영상에서 원영상 대비 Blurred Appearance를 띄는 부분(Dark Red Mango 옆에 놓여져 있는 Light Red Mango의 가장 자리)의 일부 화소들을 확대하여 보여준다. 확대된 2x4 화소들에 대한 밝기값(CIECAM02-UCS J)을 원영상과 결과영상 아래에 함께 보여준다[9].

[그림 4]의 (a)의 원영상에서 상대적으로 낮은 밝기

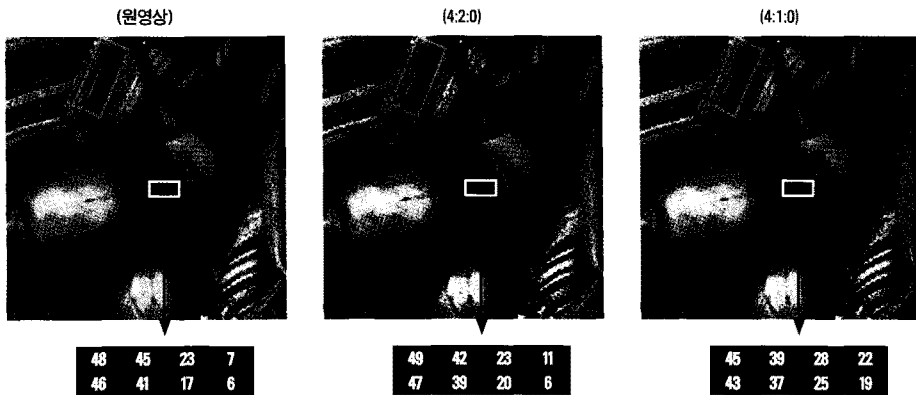
값을 보여주는 오른쪽 4개의 화소들은 [그림 4]의 (c)의 4:1:0 포맷으로 색차 신호를 부표본화 후의 결과영상에서는 증가된 밝기값을 가짐을 확인할 수 있다. 반면, [그림 4]의 (a)의 원영상에서 상대적으로 높은 밝기값을 보여주는 오른쪽 4개의 화소들은 [그림 4]의 (c)의 4:1:0 포맷으로 색차 신호를 부표본화 후의 결과영상에서는 감소된 밝기값을 가진다. 원영상에서 Dark Red Mango 옆에 놓여져 있는 Light Red Mango의 가장 자리를 선명하게 보이도록 한 원인은 'Dark Red Mango 와 Light Red Mango의 밝기값의 차이'에 기인한다고 할 수 있다. 하지만, 색차 신호를 4:1:0 포맷으로 부표본화 후 결과 영상에서는 'Dark Red Mango 와 Light Red Mango의 밝기값의 차이가 감소'되는 현상에 기인하여 가장 자리가 선명도가 감소한다고 할 수 있다. 따라서, 기존 ITU-R BT.709의 색부호화 방법에 따라서 생성된 밝기 신호와 색차 신호의 경우, 색차 신호를 변화시키면, 밝기 신호 정보까지 왜곡됨을 확인할 수 있다.

본 연구에서 제안하는 XYZ 신호 기반 새로운 색부호화 방법으로 만들어진 색차 신호를 4:1:0 포맷으로 부표본화 후의 결과영상인 [그림 5]의 (c)와 [그림 5]의 (a)의 원영상에 있어서, Dark Red Mango 옆에 놓여져 있는 Light Red Mango의 가장 자리 부분의 밝기값을 비교하면, 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다. 따라서,

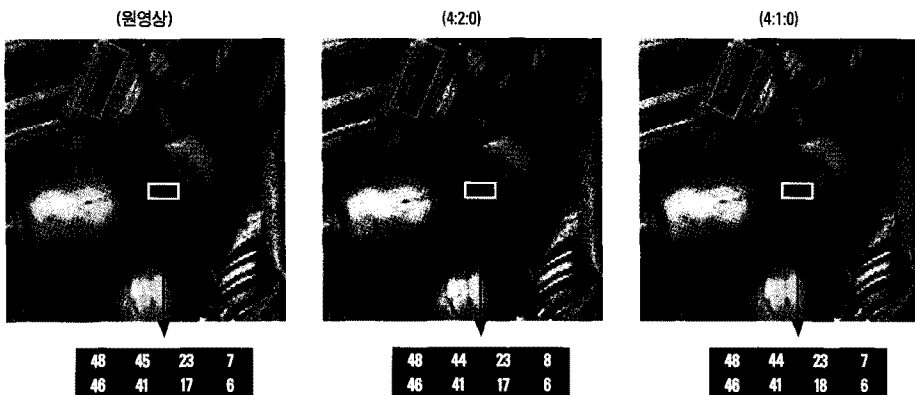
XYZ 신호 기반 새로운 색부호화 방법 사용하여 밝기 신호와 색차 신호를 생성하는 경우, 색차 신호의 변화가 밝기 신호에 영향을 미치지 않고 보존된다는 것을 확인 할 수 있다. [그림 4]의 (c)와 [그림 5]의 (c)의 두 개의 결과영상에서 Green 상자 내의 Black Strip Line의 Appearance를 비교하면, [그림 5]의 (c)에서 좌우로의 흐트러짐이 작은 Black Stripe Line을 관찰 할 수 있다. 따라서, XYZ 신호 기반 새로운 색부호화 방법을 사용하여 만들어지는 색차 신호는 Black Stripe와 같은 Detail이 있는 원영상의 정보 보존에도 유리하다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 맺음말

본 연구에서는 차세대 초고화질(UHDTV) 방송 프로그램 생성 및 국제 호환 과정에 적용될 수 있는 광색역 RGB Primaries와 이 광색역의 색정보를 독립적인 밝기와 색차 비디오 신호로 변환할 수 있는 새로운 색부호화 방법을 제안했다. 광색역 RGB Primaries는 지구상에 존재하는 물체색 데이터와 평판 디스플레이의 색특성을 고려하여 도출되었다. 기존 HDTV 방송 프로그램 생성 및 호환에 사용되는 ITU-R BT.709 권고안의 색부호화 방법은 원영상의 밝기 정보를 보존하지



[그림 4] 기존 ITU-R BT.709의 색부호화 방법으로 생성된 밝기와 색차 신호에서 색차 신호 부표본화 후 결과 화질에 미치는 영향을 관찰하기 위한 (a) 원영상, (b) 4:2:0 포맷 적용 부표본화 결과 영상, (c) 4:1:0 포맷 적용 부표본화 결과 영상



[그림 5] XYZ신호 기반 새로운 색부호화 방법으로 생성된 밝기와 색차 신호에서 색차 신호 부표본화 후 결과 화질에 미치는 영향을 관찰하기 위한 (a) 원영상, (b) 4:2:0 포맷 적용 부표본화 결과 영상, (c) 4:1:0 포맷 적용 부표본화 결과 영상

못하며, 서로의 정보를 포함하도록 밝기와 색차 신호를 생성하는 문제점을 가지고 있다. 새로운 색부호화 방법에서는 선형 RGB신호의 합인 Y 자극치로 밝기 신호 생성 후, 가시광 장/중/단 파장에 대한 인간시각 감도 특성을 반영하는 XYZ 삼자극치를 효과적으로 분리하여 독립적인 밝기와 색차 비디오 신호를 생성할 수 있도록 함으로써, 기존 권고안 색부호화 방법의 문제점을 해결하도록 하였다. 본 고에서 제안한 광색역은 현재 초고화질 방송 시스템의 영상 포맷을 정의하는 ITU-R 권고안에 반영되었으며, 독립적인 비디오 신호를 생성할 수 있는 색부호화 방법에 대해서는 권고안 제정 작업이 진행 중이며 2012년 내에 마무리 될 것으로 예상된다. 따라서, 향후 현재 준비 중인 새로운 ITU-R 권고안이 반영될 차세대 초고화질 방송이 실시되면, 기존 HDTV 방송 대비, 카메라와 디스플레이의 광색역의 잇점을 이용할 수 있고, 영상 압축/복원 후에도 기존 HDTV 대비 화질 열화가 감소된 프로그램을 시청자들에게 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

#### [참고문헌]

- [1] Recommendation ITU-R BT. 709-5, "Parameter values for the HDTV standards for production and international program exchange", 2002.
- [2] W. F. Bailey, "The Constant Luminance Principle in NTSC Color Television", Proceedings of the I.R.E., 42:1, pp.60-66, 1954
- [3] C. Poynton, A Technical Introduction to Digital Video, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [4] M. R. Pointer, "The gamut of real surface colors", Color Research and Application, 5:145, 1980.
- [5] ISO/TR 16066, "Graphic technology - Standard object color spectra database for color reproduction evaluation", 2003.
- [6] Samsung Electronics Products
- [7] C. Poynton, Digital Video and HDTV Algorithms and Interface, Elsevier Science, 2003.
- [8] G. Wyszecki and W. S. Stiles, Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. John Wiley & Sons, Inc., 1982.
- [9] M. R. Luo, G. Cui and C. Li, "Uniform color spaces based on CIECAM02 color appearance model" Color Research and Application, 31:320, 2006. 