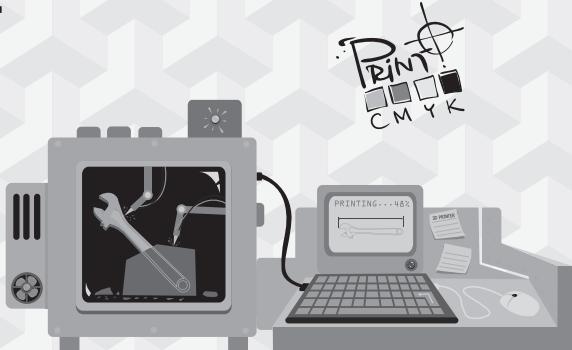




# 3D 프린팅 색상 변환 프로세스

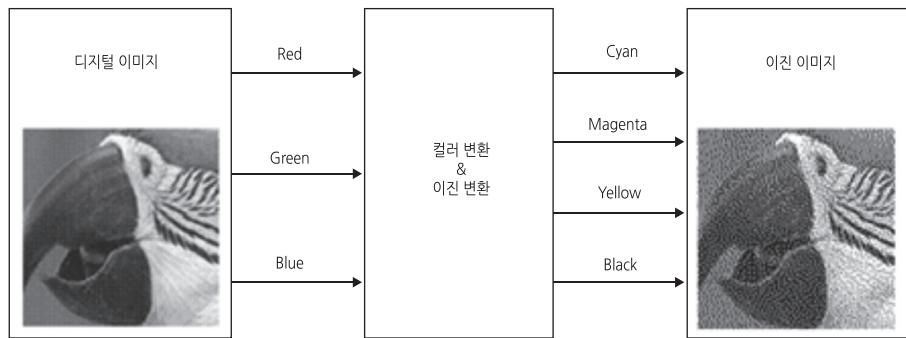


장인수 ETRI 인터랙티브입체영상연구실 선임연구원  
김진서 ETRI 인터랙티브입체영상연구실 실장

## 1. 머리말

보급형 3D 프린터의 등장으로 일반인들도 쉽게 자신들이 원하는 제품을 직접 제작하여 사용해 볼 수 있게 되었다. 물건의 도면이나 사진을 보면서 간단한 3D 제작 툴을 사용하여 원하는 디자인으로 3D 모델을 생성하고, 저장된 데이터를 3D 프린터로 옮겨 출력하면 상상 속의 그 물건이 자신의 손에 들어오게 된다. 그러나 현재 출시되고 있는 3D 프린터 제품들은 고가의 몇몇 장비를 제외하고는 그 출력물을 그대로 상용 제품으로 판매하기에는 품질 면에서 한계가 있다. 일반적으로 많이 사용하고 있는 잉크젯, 레이저 프린터의 경우도 기술이 정착되기까지 많은 시행착오를 거쳐 오늘날의 안정된 기술에 이른 것처럼, 3D 프린팅 기술도 현재 진행형으로 많은 부분이 수정, 보완되어야 한다. 그 중에서도 특히 컬러는 제품의 품질을 결정하는 결정적인 요소 중의 하나이다. 출력 시간과 재료의 단가가

비싼 3D 프린팅 과정에서 디자이너가 제작한 제품의 컬러가 출력물의 컬러와 다르게 나올 경우 다시 프린팅해야 하기 때문에 많은 비용이 소모된다. 디자이너가 수정하여 다시 출력하더라도 출력 후 결과물을 확인해 봄야 검증이 가능하다. 이는 기존의 2D 프린팅에서와 같이 종이와 잉크를 이용하여 출력하는 것이 아니라 출력물의 목적에 맞게 다양한 재질과 안료를 사용하여 출력하기 때문에 컬러 재현에 어려움이 있다. 사용되는 재질과 안료의 조합 그리고 프린팅 방식에 따라 재현되는 컬러가 다르게 나타나기 때문에 디지털 콘텐츠의 제작과정에서 디스플레이에 나타나는 컬러를 그대로 프린팅하여 재현하기 위해서는 사용되는 3D 프린터의 컬러 특성을 반영한 디지털 콘텐츠의 컬러 변환 과정이 필요하다. 이에 본고를 통해 3D 프린터의 컬러 재현 특성 분석하고 이를 모델링하여 디지털 콘텐츠의 컬러를 변환하는 방법 및 절차에 대하여 소개하고자 한다.



[그림 1] 디지털 프린팅을 위한 이미지 변환 과정

## 2. 주요 내용

### 2.1 프린터 컬러 특성

일반적인 2D 프린팅에서는 종이와 잉크를 이용하여 디지털 영상을 재현한다. 종이와 잉크를 만드는 재료, 프린팅 방법에 따라 출력물의 품질이 달라질 수 있으나 프린터 제조사에서는 표준 컬러 파일을 기반으로 동일한 컬러를 재현한다. 표준 컬러 프로파일은 특정 종이와 잉크를 대상으로 각 제조사의 프린터로 출력하였을 경우 나타나는 출력물의 컬러 특성을 정보화하여 저장하고 있다. 이를 이용하여 이용자들은 동일한 컬러를 출력할 수 있다.

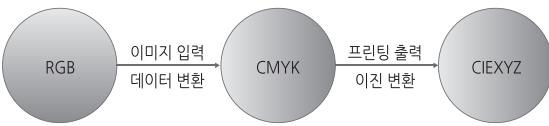
이와는 달리, 3D 프린터에서 사용되는 재료 및 안료는 그 용도에 따라 플라스틱, 금속, 고무, 실리콘 등 다양하게 사용되고 있으며, 컬러를 재현하는 방법 또한 컬러 잉크를 재료에 섞거나 표면에 일정량을 흡수시키는 등 다양한 방법으로 적용되고 있다. 따라서 동일한 디지털 콘텐츠라도 출력되는 프린터의 출력 방식, 재료, 컬러 잉크에 따라 컬러가 다르게 나타난다. 이러한 출력물의 컬러 품질을 높이기 위해서는 이러한 주변 환경 변수를 고려한 프린팅 컬러 특성 정보가 필요하다.

프린터로 디지털 이미지를 출력하기 위해서는

일반적으로 [그림 1]과 같이, 디지털 입력 이미지의 RGB(Red, Green, Blue) 컬러 값을 프린터 잉크의 CMYK(Cyan, Magenta, Yellow, Black) 컬러 값으로 변환하는 컬러 변환 과정과 도트로 다양한 밝기 계조를 나타내기 위한 이진 변환 과정이 수행된다. 따라서 디스플레이된 디지털 이미지의 컬러를 정확하게 프린팅하기 위해서는 프린터의 용지와 잉크, 프린팅 특성을 고려하여 컬러 변환 및 이진 변환이 수행되어야 한다.

특히 컬러 변환 과정은 컬러 재현 범위가 상대적으로 큰 디스플레이의 컬러를 컬러 재현 범위가 작은 프린터의 컬러로 변환해야 하기 때문에 단순한 수식을 통한 변환으로는 정확한 컬러를 재현하기 어렵다. 도트를 이용하여 다양한 계조를 표현하는 이진 변환의 경우 도트의 가시성을 최대한 줄이면서 연속적인 계조를 표현하기 위한 기술이 프린터에 내장되어 프린터 제조사 고유의 기술로 변경이 어렵지만 컬러 변환의 경우 입력 RGB 신호에 대한 출력 컬러를 미리 알고 있으면 이에 대한 수정 및 보정이 가능하다. 이러한 프린터의 입력에 대한 출력 신호를, 혹은 그 역을 추정하는 기술이 프린터 특성화 기술이다.

정방향 프린터 특성화는 프린터에 임의의 RGB



[그림 2] 프린팅 과정에서의 데이터 변환

데이터 입력하였을 때 출력되는 실제 컬러 정보를 추정한다. 추정 방법은 일반적으로 RGB 데이터에서 프린터 잉크에 해당하는 CMYK 데이터 변환 방법을 알고 있을 경우, 즉, 프린팅 정보가 알려진 상태에서는 CMYK 데이터에 대한 출력 컬러를 표준 컬러 공간인 CIEXYZ 컬러 공간 데이터로의 변환 과정을 추정한다. 그러나 이러한 프린터의 컬러 변환 정보가 없을 경우 RGB 입력 데이터에 대한 CIEXYZ 출력 데이터를 직접 추정하는 방법밖에 없다. 전자의 경우 입력 CMYK 데이터에 대한 출력 CIEXYZ 컬러 정보를 직접 추정하기 때문에 간단한 채널별 입출력 모델을 이용하여 정확한 추정이 가능한 반면, 후자의 경우 단순한 입출력 모델로는 추정이 어려워 정확도를 높이기 위해서는 많은 샘플 데이터를 필요로 한다.

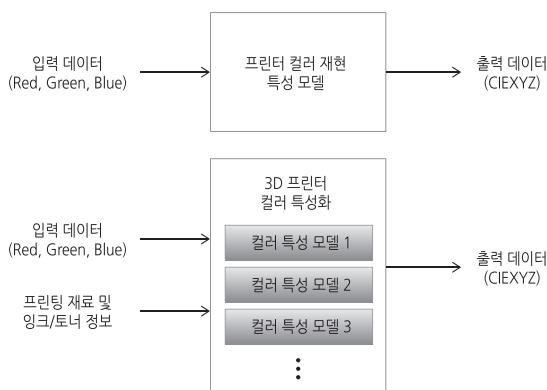
프린터의 입출력 특성을 추정하기 위해 입력 RGB 데이터를 샘플링하여 컬러 패치 이미지를 만든다. 디스플레이의 경우, 입력 값에 따른 출력 밝기가 일정한 비례 값을 가지며 증가하는 반면, 프린터는 그 증가율이 일정하지 않고 불균일하기 때문에 샘플링 과정에서 이를 고려하여야 한다. 컬러 패치 이미지는 프린터로 출력하고 측정을 통해 각 컬러 패치에 해당하는 CIEXYZ 컬러 정보를 획득한다. 따라서 획득된 입력 RGB 데이터에 대한 출력 CIEXYZ 컬러 정보 사이의 관계를 이용하여 프린터 특성 정보를 추정한다. 프린터에 적용되어 있는 프린팅 엔진의 RGB에서 프린터 잉크에 해당하는

CMYK 데이터 변환 방법을 알고 있을 경우 정확도를 더 높일 수 있다. 입출력 특성을 추정하기 위해 일반적으로 디스플레이의 경우 각 RGB 채널의 입출력 특성을 선형화한 후  $3 \times 3$  변환 행렬을 이용하는 방법을 사용하지만, 프린터의 경우 RGB 컬러 데이터가 CMYK 데이터로 변환되어 사용되기 때문에 컬러 재현 특성이 복잡하다. 따라서 일반적으로 다항회귀법을 사용하거나 많은 컬러 패치 데이터를 측정하고 기반으로 3차원 공간에서 보간법을 사용한다. 다항회귀법의 경우 컬러 패치의 종류와 수에 따라 그 성능이 다르게 나타나며, 보간법을 사용할 경우 컬러 패치의 수와 성능이 비례한다.

역방향 프린터 특성화에서는 임의의 CIEXYZ 컬러를 출력하기 위한 입력 RGB 데이터를 추정한다. 정방향 프린터 특성화 모델의 역변환이 가능하면 그대로 적용이 가능하나, 그렇지 않은 경우는 정방향 프린터 특성화와 같이 동일한 과정을 거쳐 변환 관계를 추정하여야 한다.

## 2.2 3D 프린터 컬러 특성화

3D 프린터는 종이에 잉크나 토너로 출력하는 일반 프린터와 달리 출력되는 재료가 다양하게 사용될 수 있다. 플라스틱, 금속, 고무, 종이, 왁스, 세라믹, 모래, 식재료 등 출력물의 용도와 특성에 따라 소재를 선택하여 출력할 수 있기 때문에 동일한 콘텐츠에 대해 결과물의 컬러가 다양하게 재현된다. 따라서 이러한 3D 프린터의 출력 컬러를 추정하기 위해서는 각 재료마다의 컬러 재현 특성 정보가 필요하다. 3D 프린터 컬러 특성화도 일반 프린터 특성화 과정과 동일하게 수행할 수 있다. 일반 프린터가 하나의 컬러 출력 특성을 가지는 반면, 3D 프린터는 사용 가능한 재료의 종류 가지 수만큼의 컬러 출력 특성을 가진다. 따라서 각 재료에 대한 프린터



[그림 3] 일반 프린터 특성화 과정과 3D 프린터 특성화 과정

특성화 과정이 필요하며, 각각의 프린터 특성화 과정으로 생성된 특성화 정보는 출력 환경에 맞게 사용된다.

### 2.3 디지털 콘텐츠 컬러 변환 작업 절차

디지털 콘텐츠의 컬러 보정을 위해 먼저 디스플레이의 컬러 특성 정보와 3D 프린터의 컬러 특성 정보를 획득한다. 디지털 콘텐츠의 컬러 정보는 디스플레이의 컬러 특성 정보를 이용하여 장치 독립적 컬러 공간인 CIEXYZ 컬러 공간으로 변환한다. 3D 프린터 컬러 특성 정보를 이용하여 컬러 정보를 보정한 후 출력한다. 전반적인 작업 절차를 정리하면 다음과 같다.

#### 1단계: 디스플레이의 컬러 특성 정보 추정

- 컬러 패치를 이용한 디스플레이 입출력 컬러 재현 특성 측정
- 측정 데이터를 이용한 입출력 컬러 재현 특성 추정

#### 2단계: 3D 프린터의 컬러 특성 정보 추정

- 프린팅 재료에 따라 출력된 컬러 패치의 컬러 측정
- 측정 데이터를 이용한 입출력 컬러 재현 특성 추정

#### 3단계: 디지털 콘텐츠 컬러 변환

- 디지털 콘텐츠의 컬러 정보를 디스플레이의 컬러 특성 정보를 이용하여 장치 독립적 컬러 공간인 CIEXYZ 컬러 공간으로 변환
- 디스플레이의 컬러 특성 정보와 프린팅 재료와 이에 해당하는 3D 프린터의 컬러 특성 정보를 비교하여 변환된 CIEXYZ 컬러를 보정
- CIEXYZ 컬러 데이터를 선택된 재료와 이에 해당하는 3D 프린터의 컬러 재현 특성을 기반으로 역변환 특성화 과정을 통해 해당 RGB 혹은 CMYK 데이터로 변환
- 변환된 데이터를 이용하여 출력하여 원하는 컬러를 최종 출력물에서 재현

### 3. 맺음말

사용자가 원하는 제품을 직접 디자인하고 제작해 볼 수 있다는 점에서 3D 프린팅 산업은 무한한 발전 가능성을 잠재하고 있다. 이러한 프린팅 시장은 현재 3D 프린팅 시장은 수요의 증가로 인해 점진적으로 커져가고 있으며, 이를 뒷받침하기 위한 추가 기술 개발이 필요하다. 다양한 컬러와 재질을 이용하여 고품질 제품을 출력하기 위해서는 본 원고에서 소개한 컬러 변환 과정뿐만 아니라 재질의 질감에 대한 재현 기술도 진행되어야 한다.

#### [참고문헌]

- [1] TTA, '3D 프린팅 색상 변환 프로세스(TTAK.KO-10.0784)',  
2014.12.