

## 2D 애니메이션에서 색 변환행렬을 이용한 캐릭터의 자동 색 변환

정현선<sup>†</sup>, 문용호<sup>\*\*</sup>, 김재호<sup>\*\*\*</sup>

### 요 약

본 논문은 2D 애니메이션 캐릭터의 자동 색 지정을 위하여 애니메이션 장면 간의 캐릭터 색 변환 기술에 대해 제안한다. 사람이 지각하는 색은 조명이 달라지면 다른 색으로 지각된다. 이와 마찬가지로 애니메이션 장면에 등장하는 캐릭터도 의상, 피부 등의 색이 장면 분위기에 따라 각각 다르게 지정되고 있다. 본 논문은 이러한 2D 애니메이션 장면 간의 캐릭터 색 지정을 수작업에 의존하지 않고 수학적으로 해결하기 위해 시도한 것으로써 조명에 따른 색 원리를 이용하여 장면 간의 캐릭터 색 변환을 위한 행렬을 유도하였다. 이 색 변환행렬은 애니메이션 장면마다 각각 구해지는데, 기존의 2D 애니메이션에 등장하는 동일캐릭터의 기본색과 각 장면속의 색을 이용해서 구해진다. 이렇게 구한 색 변환행렬은 어떠한 캐릭터의 기본색만 주어진다면 다양한 장면 분위기와 잘 어울리는 색으로 변환이 가능해진다.

## Automatic Color Transformation of Character Using Color Transformation Matrix in 2D Animation

Hyun-Sun Jung<sup>†</sup>, Yong-Ho Moon<sup>\*\*</sup>, Jae Ho Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

We introduce technique for color transformation of characters between scenes in 2D animation. As colors are perceived differently owing to light source, so character colors like clothes, skin and so on are colored differently owing to atmosphere of each scene. This paper is made an attempt to solve mathematically color assignment of characters which has been worked by hand so far. We can find a matrix for color transformation of characters by applying principle of color stimulus to our algorithm. In scenes of existing 2D animation, basic colors and colors under light source of characters are used for the matrix. And matrixes are obtained for each scenes of 2D animation. If we are known basic colors of some characters, you can derive character colors under other light source environments using the matrix. Therefore, this paper describes automatic color transformation of characters between animation scenes.

**Key words:** Color Transformation(색 변환), Color Signment of Character(색 지정), Light Source(조명), Color Stimulus values(색 자극)

※ 교신저자(Corresponding Author): 정현선, 주소: 부산시 금정구 장전2동 산30번지(609-735), 전화: 051)510-1699, FAX: 051)515-5190, E-mail: morley@hanmail.net  
접수일: 2007년 5월 8일, 완료일: 2007년 10월 19일

<sup>†</sup> 정희원, 부산대학교 영상정보공학과

<sup>\*\*</sup> 경상대학교 정보과학과

(E-mail: yhmoon5@gnu.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정희원, 부산대학교 전자 전기 통신 공학부

(E-mail: jhkim@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 2007년 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 지역문화산업연구센터(CRC)지원사업의 연구결과로 수행되었음(1-05-4005-001-2401-00-0002)

## 1. 서 론

2D 애니메이션에서 색은 내러티브의 흐름에 따른 분위기를 연출하기 위해 사용되어지고 있다. 즉, 시간의 흐름과 사건 진행의 정보를 제공하거나 내포된 심리적, 상징적 의미를 표현하기 위해 사용되어진다 [1]. 특히 캐릭터에 표현되어지는 색은 캐릭터의 성격이나 역할을 반영할 수 있는 색을 사용하고 있다. 그러나 한편의 2D 애니메이션은 수많은 장면으로 이루어져있고 각각의 장면은 서로 다른 배경분위기를 연출하고 있다. 그러므로 각 장면에 등장하는 캐릭터 색도 배경 분위기에 어울리는 색으로 표현되어진다. 이와 같이 각 장면에 어울리는 색을 지정해 주는 것을 캐릭터 색 지정이라고 하는데 이것은 그 날의 빛이나 조명을 가정하여 아트 디렉터(art director)의 지휘 아래에서 연출되고 있다. 따라서 그들의 색깔에 따라 표현되어지는 캐릭터 색은 작품의 질적 수준을 결정하는 하나의 요소로서 애니메이션 제작에 있어 매우 중요한 부분이 된다. 그러나 국내의 경우, 오래 하청제작으로 인해 캐릭터 색 지정의 노하우가 매우 부족하다고 알려져 있다[2]. 매년 모든 색이 이미 지정되어 오기 때문에 우리나라의 형편으로는 그 색이 어떻게 지정되어 오는지 알 수도 없고, 국산 애니메이션의 제작이 활성화 되지 못해서 그 노하우를 쌓을 수 있는 여건도 허락되지 않았다. 또한 색 지정은 매우 방대한 작업이어서 한편의 극장용 2D 애니메이션의 경우 약 30개의 장면에 대해 10개의 배색을 가진 캐릭터가 5명만 등장해도 1,500개의 색 지정이 필요하다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문은 2D 애니메이션에 있어서 과학적인 방법으로 캐릭터의 색 지정을 도와줄 수 있는 새로운 색 지정론을 제안하고자 한다. 이것은 캐릭터 색의 상징적, 심리적인 역할에 대한 연구가 아니라 본래의 캐릭터 기본색을 장면분위기에 맞게 변환시키는 시스템에 대한 연구이다.

기존 연구 중 2D 애니메이션 캐릭터의 색 지정에 관해서서 캐릭터 배색 연구가 있다. 이것은 주어진 형용사에 어울리는 배색을 설문을 통해 제안하였고 [3] 어떤 캐릭터에 색 지정을 하려면 캐릭터의 성격을 고려하여 제안된 배색 중 적합한 것을 선택하는 방식이다. 이 연구는 색을 의미론적으로 분류하여 배색을 만든 것으로 캐릭터의 기본색을 지정할 때는

적용할 수 있으나 장면분위기에 따라 변화되는 캐릭터 색을 표현할 수는 없다. 장면분위기에 맞게 색을 변환시킬 수 있는 연구로는 색 변환(color transfer) 기술이 있다. 이것은 원 영상(source image)의 색을 목표 영상(target image)의 색으로 매핑하는 기술로서 영상 전체의 분위기(mood) 변환에 적용되고 있다 [4-6]. 하지만 기존의 색 변환 기술은 실사 이미지에 적합하게 개발되었기 때문에 2D 애니메이션 캐릭터의 색 지정에 적용하기에는 부적절하다. 그래서 자동 채색(colorization) 연구에서는 이러한 2D 애니메이션 캐릭터의 채색문제를 기술적으로 접근하고 있다. 즉, 흑백영상으로 채색된 캐릭터에 자동으로 색상을 복원해 주는 기술로서 이는 캐릭터의 외곽선(outline)을 추출한 후, 경계면(region)에 지정된 색으로 채색이 가능하게 해준다[7-9] 그러나 자동채색은 아트디렉터에 의해 모든 장면에서의 캐릭터 색이 먼저 지정되어있어야 하는 문제점을 가지고 있다. 이와 같이 애니메이션을 제작하거나 색을 복원함에 있어 색 지정이 중요함에도 불구하고 캐릭터의 색 지정을 아트 디렉터에만 의존할 뿐 이를 위한 기술적 개발은 미비한 실정이다[10]. 그래서 본 논문에서는 2D 애니메이션의 다양한 장면에 대한 캐릭터 색 지정 방법을 제안하고자 한다. 이는 기존의 주관적이고 상징적인 색 지정과는[2] 차별화된 방법으로 색과학적이고 수학적인 방법에 의해 제안된다. 즉 가장 정오의 태양광인 표준광 D65에서의 캐릭터 색을 알고 있다고 할 경우, 어떠한 조명 환경하이던지 색의 변환 과정을 수학적으로 모델링하여 자동으로 색의 변화를 알아낼 수 있게 된다. 본 논문에서 제안하는 이 시스템을 이용할 경우 다음과 같은 장점이 있다. 첫째로, 표준광 D65 조명 아래서의 캐릭터 색 지정만 하고 나면 나머지 다른 조명과 분위기하에서의 모든 색은 자동으로 지정될 수 있다. 둘째로, 기존에 만들어진 채색이 잘된 2D 애니메이션들의 분위기를 그대로 연출 하는 것이 수학적으로 모델링 가능하기 때문에 예술적으로 높은 경지의 아트 디렉터가 아니더라도 좋은 색 지정이 가능하도록 도와 줄 수가 있다. 셋째로, 기존의 많은 2D 애니메이션의 장면에 대한 색변환 매트릭스를 구하여 DB화함으로써 애니메이션 제작에 활용할 수 있게 해준다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 애니메이션 캐릭터의 색 지정 프로세스와 조명에 의

한 색 자극 원리를 소개하고 3장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 색 변환을 위한 행렬을 유도한다. 그리고 4장에서 제안된 방법에 대한 검증을 한 후, 이를 애니메이션 캐릭터에 적용함으로써 본 논문을 통해 제안된 색 변환 방식이 적합함을 보여준다.

## 2. 색이론 고찰

### 2.1 아트 디렉터의 캐릭터 색 지정 프로세스에 대한 모델링

캐릭터 색 지정에 있어 3D 애니메이션은 캐릭터 기본색만 지정하면 된다. 왜냐하면 3D 애니메이션은 장면 속에 조명을 모델링해주면 캐릭터 색이 수학적으로 계산되어 렌더링되기 때문이다. 이와는 달리 2D 애니메이션은 장면마다 등장하는 캐릭터 색의 지정이 모두 필요한데 이것은 2D 애니메이션의 색 지정이 수작업으로 연출되고 있기 때문이다. 따라서 본 논문은 2D 애니메이션의 캐릭터 색 지정을 연산으로 구하는 방법에 대해 제안하고자 한다.

2D 애니메이션 장면에서 조명 변화에 따른 캐릭터의 색 지정은 아트 디렉터에 의해서 연출된다. 즉 아트 디렉터는 어떤 배경 분위기속에 등장하는 캐릭터의 색을 자신의 색감에 의해 창의적으로 표현하는 것이다. 이 과정에서 한편의 애니메이션에 등장하는 동일 캐릭터일지라도 장면속의 조명이 다르면 캐릭터의 색도 다르게 표현해 주고 있다. 그림 1은 2D 애니메이션에 있어서 아트 디렉터의 캐릭터 색 지정 과정을 보여주고 있다. 우선 아트 디렉터는 캐릭터의 기본색을 지정해주는데, 이것을 색과학적 입장에서 보면 표준광 D65 하에서의 캐릭터 색으로 가정할 수 있다. 왜냐하면 표준광 D65는 한낮의 태양광으로 물체의 기본색을 가장 잘 표현하는 조명이기 때문이다. 다음으로 어떤 다른 장면 즉 실외, 실내, 날씨와 시간, 계절의 변화 등이 표현된 여러 장면이 주어지게 될 때, 아트 디렉터는 캐릭터 색을 각각의 장면의 배경 분위기에 어울리는 색으로 지정해 준다. 즉, 조명으로부터 입사하는 빛을 받아서 물체는 색을 띠는 색의 원리에 입각하여 자신만의 예술적 감성에 의해 캐릭터 색을 유추해 내는 것이다. 그림 1에서 (a)는 캐릭터의 기본색이 있는 표준광 D65의 장면이다. 이때 캐릭터의 얼굴 피부색을 RGB로 나타내면 (184, 89, 57)이다. 그리고 조명이 다른 (b), (c) 각 장면에

대해 피부색을 RGB로 나타내면 각각 (199, 76, 43), (81, 52, 83)를 가진다. 이 값들은 어떠한 색 이론이나 시스템도 없이 오직 아트 디렉터의 색감에 의존하여 색을 정해 온 것이다. 즉, 아트 디렉터는 각 장면 속에 표현되어진 조명이 색과학적으로 어떤 조명인지 알 수는 없지만, 그 조명 분위기에 가장 잘 어울리는 캐릭터 색을 표현하는 능력이 있는 것이다. 그러므로 아트 디렉터는 2D 애니메이션 장면속의 환경이나 조명에 따른 배경분위기에 어울리는 색을 지정할 수 있는 자신만의 시스템을 가지고 있다고 가정할 수 있다.

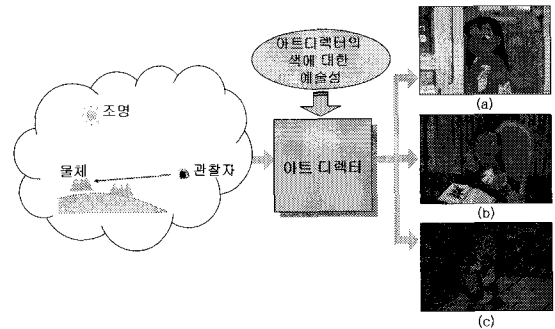


그림 1. 캐릭터 색 지정 프로세스에 대한 모델링

### 2.2 조명과 물체의 분광분포에 의한 색 자극 원리

색 시스템을 다루기 위해서는 장치 독립형 색 공간(Device Independent Color Space) 인 XYZ 색좌표계로 변환하는 것이 바람직하다. 잘 알려진 마와 같이 수식(1)에 의해 CIE 표준측색관찰자의 등색합수에 따른 삼자극치 XYZ와 RGB와의 관계가 표현된다[11]. 이때 RGB의 범위는 [0,1]이다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3575 & 0.1804 \\ 0.2126 & 0.7151 & 0.0721 \\ 0.0193 & 0.1191 & 0.9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

삼자극치 XYZ는 조명의 분광분포  $L(\lambda)$ , 물체의 분광 반사율  $O(\lambda)$ , 그리고 CIE 표준측색관찰자의 등색함수(color matching function)  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ 에 의해 다음의 수식(2)와 같이 표현된다[12].

$$\begin{aligned} X &= k \int L(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int L(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int L(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 물체가 완전 반사체일 경우  $Y$ 를 1로 만드는 정규화 계수이다.

그림 2는 동일한 물체  $O(\lambda)$ 에 대해 서로 다른 조명  $L_1(\lambda)$ 와  $L_2(\lambda)$ 가 각각 비쳐진 경우를 나타내고 있다. 이와 같이 어떤 동일 물체에 비쳐지는 조명이 달라지면 색 자극도 다르게 된다[12-13]. 즉 동일 물체의 분광 반사율  $O(\lambda)$ 에 대해 조명의 분광분포  $L_1(\lambda)$ 와  $L_2(\lambda)$ 가 서로 다르면 삼자극치도 달라진다. 이러한 원리를 생각해보면, 2D 애니메이션에서 조명이 다른 각 장면마다 캐릭터의 색 지정이 달라짐을 수학적으로 모델링해 볼 가능성이 있다는 것을 알게 된다.

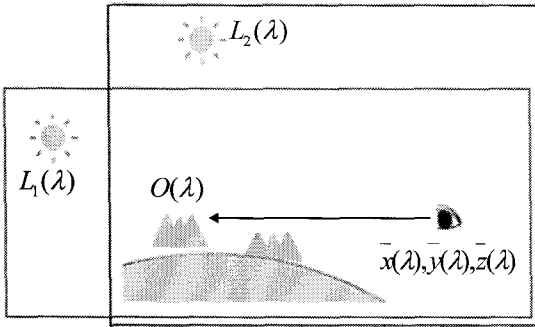


그림 2. 동일한 물체  $O(\lambda)$ 에 대해 조명이 각각  $L_1(\lambda)$ ,  $L_2(\lambda)$ 일 때, 관찰자의 색 자극은 다르다.

### 3. 조명 변화에 따른 색 변환행렬

이 장에서는 동일 물체에 대해 비쳐지는 조명이 다른 색 자극도 달라짐을 이용하여 다른 장면사이의 색 변환을 위한 수학적 모델을 다음과 같이 제시한다.

먼저, 기준광의 스펙트럼을  $L_1(\lambda)$ , 목표광의 스펙트럼을  $L_2(\lambda)$ 라 할 때, 동일 물체가 갖는 삼자극치는 식(2)에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$X_1 = k \int L_1(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$Y_1 = k \int L_1(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z_1 = k \int L_1(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

$$X_2 = k \int L_2(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$$Y_2 = k \int L_2(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z_2 = k \int L_2(\lambda) \cdot O(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

여기서  $X_1, Y_1, Z_1$ 과  $X_2, Y_2, Z_2$ 는 기준광  $L_1(\lambda)$ 와 목표광  $L_2(\lambda)$ 에 대한 삼자극치를 각각 나타낸다. 일반적으로 CIE 표준색측관찰자가 느끼는 물체의 색은  $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ 의 선형조합으로 근사한다고 가정할 수 있다. 아래의 수식은 이를 나타낸다.

$$L_1(\lambda) \cdot O(\lambda) \approx X_1 \cdot \bar{x}(\lambda) + Y_1 \cdot \bar{y}(\lambda) + Z_1 \cdot \bar{z}(\lambda) \quad (5)$$

식(5)를 식(4)에 대입하여  $X_2, Y_2, Z_2$ 를 각각 정리하면 식(6), 식(7), 식(8)과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} X_2 &\approx k \int L_2(\lambda) \left\{ X_1 \cdot \frac{\bar{x}(\lambda)}{L_1(\lambda)} + Y_1 \cdot \frac{\bar{y}(\lambda)}{L_1(\lambda)} + Z_1 \cdot \frac{\bar{z}(\lambda)}{L_1(\lambda)} \right\} \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda \\ &= X_1 k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{x}^2(\lambda) \cdot d\lambda + Y_1 k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &+ Z_1 k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y_2 &= X_1 \cdot k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda + Y_1 \cdot k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{y}^2(\lambda) \cdot d\lambda \\ &+ Z_1 \cdot k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= X_1 \cdot k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda + Y_1 \cdot k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda \\ &+ Z_1 \cdot k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{z}^2(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (8)$$

우선 위 수식으로부터 식(9)와 같이 색 변환 계수를 정의한다.

$$C_{ij} = k \int \frac{L_2(\lambda)}{L_1(\lambda)} \cdot \bar{i}(\lambda) \cdot \bar{j}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (9)$$

여기서 i와 j 는  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  중 하나가 된다. 식(6), 식(7), 식(8)을 행렬식 형태로 표현하면 식(10)과 같이 표현된다.

$$[X_2 \ Y_2 \ Z_2] = [X_1 \ Y_1 \ Z_1] \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{xy} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{xz} & C_{yz} & C_{zz} \end{bmatrix} = [X_1 \ Y_1 \ Z_1][C] \quad (10)$$

여기서 [C]는 기준광에서의 삼자극치  $X_1, Y_1, Z_1$ 을 목표광에서의 삼자극치  $X_2, Y_2, Z_2$ 로 바꿔주는 색 변환행렬을 나타낸다. 따라서 색 변환행렬 [C]에 대해 정리하면 식(11)과 같다.

$$[C] = [X_1 \ Y_1 \ Z_1]^{-1} [X_2 \ Y_2 \ Z_2] \quad (11)$$

만약  $X_1, Y_1, Z_1$ 와  $X_2, Y_2, Z_2$ 의 값이 과잉결정(overdetermined)으로 주어진다면 유사역행렬(pseudo-inverse matrix)기법을 적용하여 식(12)와 같은 수식이 사용된다[14].

$$[C] = [X_1 \ Y_1 \ Z_1]^+ [X_2 \ Y_2 \ Z_2] \quad (12)$$

식(12)에서 삼자극치  $X_1, Y_1, Z_1$ 는 2D 애니메이션에서 설정된 캐릭터의 기본색을, 삼자극치  $X_2, Y_2, Z_2$ 는 임의의 장면에서의 캐릭터의 색을 말한다. 여기서 캐릭터의 기본색은 기준광 아래에서의 색을 의미하는데, 이것은 애니메이션 장면 중 표준광 D65로 설정된 장면, 즉 가장 밝은 정도의 장면에서 나오는 색으로 가정한다. 이와 같이 색 변환행렬에 입력될 삼자극치를 2D 애니메이션 캐릭터의 색으로 사용하는 것은 2D 애니메이션에서의 캐릭터 색이 아트 디렉터에 의해 장면속의 조명에 영향을 받은 색으로 지정된 것이기 때문이다. 즉, 조명에 영향을 받은 캐릭터 색을 본 논문은 아트 디렉터에 의해 표현된 삼자극치로 가정하고 있기 때문이다. 본 논문을 위해 사용되는 캐릭터 색은 기존에 이미 제작된 애니메이션 중 우수한 작품에 있는 것들을 사용한다. 그 이유는 아트 디렉터가 애니메이션을 통해 연출했던 캐릭터에 대한

우수한 색감을 그대로 재현할 수 있는 색 변환행렬이 필요하기 때문이다. 그리고 이를 통해 얻어진 색 변환행렬을 다른 새로운 캐릭터에 적용함으로써 그 조명에 어울리는 색 지정이 수학적 계산에 의해 해결되는 것이다.

## 4. 실험결과

### 4.1. 색 변환행렬을 이용한 색 변환의 검증 예시

이 절에서는 색 변환행렬에 의한 색 지정 방식이 타당한지를 검증해 본다. 검증방법은 표준광 D65에서 측색된 삼자극치가 색 변환행렬에 의해 어떻게 변환되는지를 구해보고, 이것을 표준광 A에서 측색된 삼자극치와 얼마나 유사한지 비교해 보는 과정을 가진다.

<실험1> : 표1에서 보여 지는 것과 같이 24개의 색이 표준광 D65와 표준광 A에서 각각 측색되었을 때의 데이터가 있다. 이 데이터는 <BRUCELIND-BLOOM.COM>에서 제공된 데이터로써 표준관찰자의 스펙트럼과 표준광의 스펙트럼, 그리고 X-Rite 938 분광기로부터 얻은 24개 색의 스펙트럼을 5nm 간격으로 계산해서 얻은 값이다[15]. 이때 XYZ는 [0,1]의 범위를 가진다. 실험1은 24개의 색 중에서 일부의 색을 통해 색 변환행렬을 구하고 이 변환행렬을 나머지 색에 적용했을 때 색 변환이 제대로 되는지를 알아보기 위한 실험이다. 따라서 24개의 색 중 상대적으로 순색에 가까운 색(채도가 높은 색) 12개를 (가)그룹으로 분류하고, 나머지 색은 (나)그룹으로 분류한 후, 그림 3과 같이 두 단계를 거쳐서 실험한다. 먼저 1단계에서는 표준광 D65에서 측색된 데이터를 표준광 A에 알맞은 색으로 바꿔주는 색 변환행렬을 구한다. 이때 변환행렬은 (가)그룹의 색을 이용해서 구하는데 이것은 (가)그룹의 색이 비교적 순색에 가까우므로 대표색으로 설정하기에 적합하기 때문이다. 따라서 (나)그룹의 색은 대표색의 혼합으로 만들어진다고 볼 수 있다. 그런 다음 1단계에서 구한 색 변환행렬이 제대로 색 변환을 하는지 검증하기 위해 2단계에서는 표준광 D65에서 측색된 (나)그룹의 데이터가 이 변환행렬에 의해 어떤 색으로 변환되었는지를 구해본다.

본 논문에서 제안한 방법의 검증을 위해 이와 같이 표준광에서 측색된 표1의 데이터를 이용하는 것

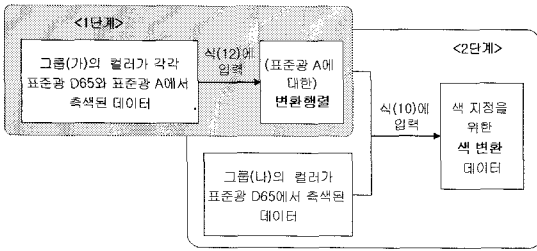


그림 3. 실험 1(1단계-색 변환행렬을 구하기, 2단계-색 지정을 위한 색 변환 데이터 구하기)

은 이 데이터가 색과학적으로 얻어진 삼자극치이기 때문이다. 따라서 제안된 색 변환행렬 또한 조명 변화에 따른 삼자극치를 통해 유도되었으므로 표1과 같이 색과학적으로 얻어진 삼자극치를 제대로 변환시킬 수 있어야 하기 때문이다.

- 1단계 : 표1에서 (가)그룹의 색이 표준광 D65에서 측색된 데이터를 기준광에서의 삼자극치  $X_1, Y_1, Z_1$ 로 두고, 표준광 A에서 측색된 데이터를 목표광에서의 삼자극치  $X_2, Y_2, Z_2$ 로 두어 식(12)에 대입하면 식(13)과 같은 변환행렬이 구해진다. 이 변환행렬은 표준광 D65에서의 삼자극치를 표준광 A에서의 삼자극치로 바꿔주는 색 변환행렬이 된다.

$$[C_{\text{expl}}] = \begin{bmatrix} 1.8438 & 0.5265 & -0.0380 \\ -0.4250 & 0.6241 & 0.0496 \\ -0.1882 & -0.1142 & 0.3180 \end{bmatrix} \quad (13)$$

- 2단계 : 색 변환행렬  $[C_{\text{expl}}]$ 을 (나)그룹의 기본색에 적용한다. 즉 표준광 D65에서 측색된 (나)그룹의 데이터를 기준광에서의 삼자극치  $X_0, Y_0, Z_0$ 로 두

표 1. 1~24의 색이 표준광 D65와 표준광 A에서 각각 측색된 데이터(XYZ)

	No.	Color	(R, G, B)	표준광 D65에서 측색된 데이터			표준광 A에서 측색된 데이터		
				X	Y	Z	X	Y	Z
(가) 그룹	1		(115, 80, 64)	0.1054	0.0942	0.0612	0.1434	0.1073	0.0202
	2		(217, 122, 37)	0.3461	0.2704	0.0527	0.5037	0.3444	0.0177
	3		(91, 59, 107)	0.0844	0.0671	0.1506	0.0953	0.0694	0.0461
	4		(46, 60, 153)	0.0846	0.0722	0.3061	0.0589	0.0546	0.0976
	5		(71, 150, 69)	0.1510	0.2262	0.0877	0.1707	0.2113	0.0321
	6		(177, 44, 56)	0.1832	0.1106	0.0483	0.3000	0.1604	0.0158
	7		(238, 200, 27)	0.5550	0.5669	0.0851	0.7683	0.6364	0.0344
	8		(187, 82, 148)	0.2747	0.1904	0.3039	0.3753	0.2292	0.0947
	9		(-49, 135, 166)	0.1450	0.2088	0.3764	0.1222	0.1636	0.1277
	10		(243, 242, 237)	0.8344	0.8834	0.9068	0.9868	0.8868	0.2999
	11		(122, 122, 121)	0.1845	0.1946	0.2051	0.2170	0.1951	0.0675
	12		(50, 49, 50)	0.0298	0.0312	0.0338	0.0350	0.0313	0.0111
(나) 그룹	13		(195, 151, 130)	0.3666	0.3471	0.2529	0.4877	0.3802	0.0852
	14		(94, 123, 156)	0.1787	0.1964	0.3407	0.1763	0.1775	0.1100
	15		(88, 108, 65)	0.1051	0.1285	0.0673	0.1275	0.1281	0.0231
	16		(130, 129, 177)	0.2476	0.2460	0.4439	0.2674	0.2335	0.1431
	17		(100, 190, 171)	0.3161	0.4309	0.4322	0.3344	0.3863	0.1489
	18		(72, 91, 165)	0.1325	0.1280	0.3710	0.1130	0.1072	0.1187
	19		(194, 84, 98)	0.2626	0.1833	0.1353	0.3878	0.2361	0.0437
	20		(160, 188, 60)	0.3364	0.4165	0.1003	0.4280	0.4263	0.0383
	21		(230, 163, 42)	0.4531	0.4084	0.0772	0.6352	0.4846	0.0273
	22		(201, 201, 201)	0.5536	0.5843	0.6226	0.6497	0.5848	0.2050
	23		(161, 161, 161)	0.3376	0.3564	0.3815	0.3954	0.3564	0.1255
	24		(83, 83, 83)	0.0823	0.0869	0.0937	0.0961	0.0868	0.0308

고 이것을 색 변환행렬  $[C_{exp1}]$ 과 함께 식(10)을 다시 정리한 식(14)에 대입하여  $X_b, Y_b, Z_b$ 를 구한다. 이때  $X_b, Y_b, Z_b$ 는 (나)그룹의 기본색을 색 변환행렬에 적용시킨 결과 값으로써 색 지정을 위해 색이 변환되어 나온 유추된 데이터를 의미한다. 그리고 이것은 표 2와 같이 구해진다.

$$[X_b \ Y_b \ Z_b] = [X_a \ Y_a \ Z_a][C_{exp1}] \quad (14)$$

여기서 표 2의 표준광 A에서 측색된 데이터와 색 변환행렬  $[C_{exp1}]$ 로 구해진 데이터와의 차이를 알기 위해 색차(color difference)를 구해본다. 본 논문은 XYZ로 변환식을 유도했으므로 색차는 식(15)를 사용하여 구한다[13]. 식(15)에서 물체가 완전 반사체 일 때 Y를 100으로 정하고 색차를 구하였다. 색차는 표 3과 같이 구해진다.

$$\Delta E_{XYZ} = [(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2 + (\Delta Z)^2]^{1/2} \quad (15)$$

평균색차는 표 3에서 보여 지는 것과 같이  $\Delta E_{XYZ} = 0.6$ 으로써 아주 작은 색차를 가진다[16]. 이 색차는 측색된 본래의 데이터와 색 변환행렬로 구한 데이터가 눈으로 차이를 가늠하기 힘들만큼 거의 유사함을 의미한다. 그리고 이것은 색 변환행렬로 구한 색이 아주 과학적인 방법으로 구해졌다는 것을 입증해 주고 있다.

표 3. 표준광 A에서 측색된 (나)그룹 데이터(XYZ)와 색 변환행렬  $[C_{exp1}]$ 로 구해진 (나)그룹 데이터(XYZ) 사이의 색차  $\Delta E_{XYZ}$

$\Delta E_{XYZ}$		
(나) 그 룹	13	0.71
	14	0.57
	15	0.12
	16	0.14
	17	1.62
	18	0.71
	19	0.73
	20	0.40
	21	1.21
	22	0.56
	23	0.38
	24	0.11
	평균	0.60

표 2의 데이터에 대한 색차를 균등지각 색좌표계(uniform perceptual color space)인 CIE  $L^*u^*v^*$  좌표계에서 다시 구해보면 평균  $\Delta E_{L^*u^*v^*} = 3.46$ 으로써 CIE XYZ 색좌표계에서 구한 것보다 큰 오차가 발생한다. 이것은 색 변환을 위한 행렬을 불균등지각 색좌표계에서 유도하였기 때문에 나타나는 현상이다. 따라서 차후에 색 지정을 위한 변환식을 균등지각 색좌표계

표 2. 표준광 A에서 측색된 (나)그룹 데이터(XYZ)와 색 변환행렬  $[C_{exp1}]$ 에 의해 구해진 (나)그룹 데이터(XYZ)

		표준광 A에서 측색된 데이터			색 변환행렬 $[C_{exp1}]$ 에 의해 구해진 데이터( $X_b, Y_b, Z_b$ )		
		X	Y	Z	X	Y	Z
(나) 그 룹	13	0.4877	0.3802	0.0852	0.4808	0.3807	0.0837
	14	0.1763	0.1775	0.1100	0.1819	0.1777	0.1113
	15	0.1275	0.1281	0.0231	0.1265	0.1278	0.0238
	16	0.2674	0.2335	0.1431	0.2684	0.2332	0.1440
	17	0.3344	0.3863	0.1489	0.3183	0.3860	0.1468
	18	0.1130	0.1072	0.1187	0.1201	0.1073	0.1193
	19	0.3878	0.2361	0.0437	0.3808	0.2372	0.0421
	20	0.4280	0.4263	0.0383	0.4243	0.4256	0.0398
	21	0.6352	0.4846	0.0273	0.6473	0.4846	0.0276
	22	0.6497	0.5848	0.2050	0.6552	0.5850	0.2060
	23	0.3954	0.3564	0.1255	0.3992	0.3566	0.1262
	24	0.0961	0.0868	0.0308	0.0972	0.0869	0.0310

에서 유도해 볼 필요가 있다.

#### 4.2 색 변환행렬을 이용한 2D 애니메이션 캐릭터의 색 변환

이 절에서는 본 논문에서 제안한 방법을 실험 2를 통하여 2D 애니메이션의 캐릭터에 적용해 본다. 따라서 주어진 캐릭터가 임의의 장면에서 등장할 때 나타나는 색을 색 변환행렬을 통해 구해본다.

<실험2> : 2D로 제작된 애니메이션을 선정한 후, 동일 캐릭터가 등장하는 표준광 D65의 장면과 임의의 조명이 있는 장면을 선택하여 캡처해 놓는다. 캡처된 표준광 D65의 장면을 기준광으로 두고 임의의 조명이 있는 장면은 목표광으로 둔다. 그리고 각 장면에서 캐릭터 색을 RGB로 추출해 내고 이를 식(1)에 의해 XYZ 값으로 변환해 놓는다. 표4는 드림웍스사의 애니메이션 <엘도라도> 중 기준광과 목표광에 해당되는 장면[17]과 각 장면에 등장하는 동일 캐릭터의 색 데이터 XYZ를 보여주고 있다.

색 변환행렬과 색 변환 데이터를 구하는 과정은 입력되는 데이터만 다를 뿐 실험1과 동일하다.

- 1단계 : 표 4에서 기준광과 목표광에 등장하는 동일 캐릭터에 대해 삼자극치를 각각  $X_1, Y_1, Z_1$ 과  $X_2, Y_2, Z_2$ 로 둔다. 이것을 식(12)에 대입하면 식(16)과 같이 구해진다. 따라서 식(16)은 캐릭터의 기본색을 목표광에 어울리는 색으로 바꾸주는 색 변환행렬이 된다.

$$[C_{exp2}] = \begin{bmatrix} 0.1042 & -0.2480 & 0.2936 \\ 0.3898 & 0.7379 & -0.1440 \\ 0.0255 & 0.0456 & 0.4504 \end{bmatrix} \quad (16)$$

- 2단계 : 다음으로 색 변환행렬  $[C_{exp2}]$ 를 새로운 캐릭터에 적용해 보자. 표5는 디즈니 애니메이션 <라이언 킹>에 등장하는 캐릭터가 표준광 D65의 장면 즉, 기준광에 있을 때의 장면[18]과 그때의 색 데이터  $X_a, Y_a, Z_a$ 를 나타낸다.

표 5의 데이터  $X_a, Y_a, Z_a$ 를 색 변환행렬  $[C_{exp2}]$ 와

표 4. 애니메이션 <엘도라도> 중에서 기준광과 목표광에 대한 장면과 각 장면에 등장하는 동일 캐릭터의 색 데이터(XYZ)

기준광의 장면과 캐릭터의 색 데이터( $X_1, Y_1, Z_1$ )			
	$X$	$Y$	$Z$
1	0.7558	0.7851	0.4938
2	0.7164	0.7177	0.4457
3	0.0037	0.0039	0.0043
4	0.3008	0.2667	0.1655
5	0.5187	0.4943	1.0139
6	0.3939	0.4264	0.3175
7	0.7638	0.7750	0.5693
8	0.8071	0.9000	0.4650
9	0.4842	0.3154	0.1689
10	0.6411	0.6225	0.2496
11	0.9497	0.9997	1.0850

목표광의 장면과 캐릭터의 색 데이터( $X_2, Y_2, Z_2$ )			
	$X$	$Y$	$Z$
1	0.4129	0.4069	0.3201
2	0.3651	0.3683	0.2855
3	0.0269	0.0356	0.0574
4	0.1388	0.1412	0.1683
5	0.2033	0.1972	0.4613
6	0.1801	0.2091	0.2349
7	0.4164	0.4076	0.3720
8	0.4164	0.4521	0.2508
9	0.1997	0.1453	0.1733
10	0.2526	0.2598	0.2037
11	0.5984	0.6632	0.7196



함께 식(10)을 다시 정리한 식(17)에 대입하면  $X_b, Y_b, Z_b$ 를 표 6과 같이 계산해 낼 수 있다.  $X_b, Y_b, Z_b$ 은 색 변환행렬에 의해 변환되어 나온 데이터로써 색 지정을 위해 구해진 유추된 색을 의미한다.

$$[X_b \ Y_b \ Z_b] = [X_a \ Y_a \ Z_a][C_{exp2}] \quad (17)$$

표 5. 애니메이션 <라이언 킹> 중에서 기준광에 대한 장면과 등장 캐릭터 색 데이터(XYZ)


기준광의 장면과 캐릭터의 색 데이터( $X_a, Y_a, Z_a$ )			
			
	X	Y	Z
1	0.3529	0.3412	0.5373
2	0.0549	0.0235	0.1725
3	0.9333	0.9922	1.0157
4	0.8549	0.8980	0.9412
5	0.4745	0.3333	0.0431
6	0.6627	0.6902	0.1608
7	0.6235	0.6510	1.0392
8	0.3961	0.3176	0.0392
9	0.0078	0.0078	0.0078

표 6. 표 5의 캐릭터가 색 변환행렬  $[C_{exp2}]$ 에 의해 색 변환된 데이터(XYZ)

색 변환행렬 $[C_{exp2}]$ 에 의해 변환된 데이터( $X_b, Y_b, Z_b$ )			
	X	Y	Z
1	0.1835	0.1887	0.2965
2	0.0193	0.0116	0.0904
3	0.5099	0.5469	0.5887
4	0.4631	0.4935	0.5457
5	0.1805	0.1302	0.1108
6	0.3422	0.3522	0.1677
7	0.3452	0.3731	0.5574
8	0.1661	0.1379	0.0882
9	0.0041	0.0042	0.0047



그림 4. <라이언 킹>에 등장하는 캐릭터의 기본색을  $[C_{exp2}]$ 에 의해 변환시킨 후, <엘도라도>의 목표광의 장면 속에 등장 시킨 결과 데이터

그림 4는 표 5의 캐릭터를 표 6의 색으로 채색하여 목표광의 장면 속에 임의로 등장시킨 것이다.

그림 4에서 볼 때, 서로 다른 작품의 캐릭터이지만 상당히 자연스러운 장면임을 보여준다. 그동안 색 지정이 아트 디렉터의 예술적인 영역으로만 간주되었지만 본 논문에서 제시하는 변환식을 사용하면 수식으로 쉽게 해결할 수가 있다. 그러나 여기서 문제점은 본 논문에서는 주광에 의한 1차 광원만을 언급하여 그때의 캐릭터 색만 다루고 있다. 그림 4의 <엘도라도>의 본래 캐릭터들은 2차 광원, 즉 주광이 아닌 반사된 빛에 의해 그림자 진 부분의 색도 표현되어 있다. 그러므로 좋은 색 지정을 위해서는 2차광원에 의한 색 변환부분이 보완되어야 한다.

그림 5는 장면(a),(b),(c)에 대한 색 변환행렬을 각각 구하고 이것을 표 5의 캐릭터에 각각 적용시켜서 해당 장면에 등장시킨 예들이다.

## 5. 결 론

2D 애니메이션을 제작함에 있어서 색 지정은 캐릭터의 기본색 뿐 아니라, 다양한 시간, 날씨, 환경에 따른 색 지정도 필요하다. 이는 조명이 달라지면 사람이 느끼는 색도 달라지기 때문에 이같이 표현된 것이다. 기존의 2D 애니메이션에서는 이러한 조명 변화에 따른 캐릭터의 색 지정을 아트 디렉터에 의해 창의적으로 지정해 주고 있는데, 본 논문에서는 2D 애니메이션 장면 사이의 색 변환을 통하여 캐릭터 색 지정을 자동으로 구할 수 있는 방법을 제안하였다. 즉 캐릭터 자동 색 변환을 위해 표본 애니메이션 장면을 선정하고 디지털 이미지를 통해 얻어낸 캐릭

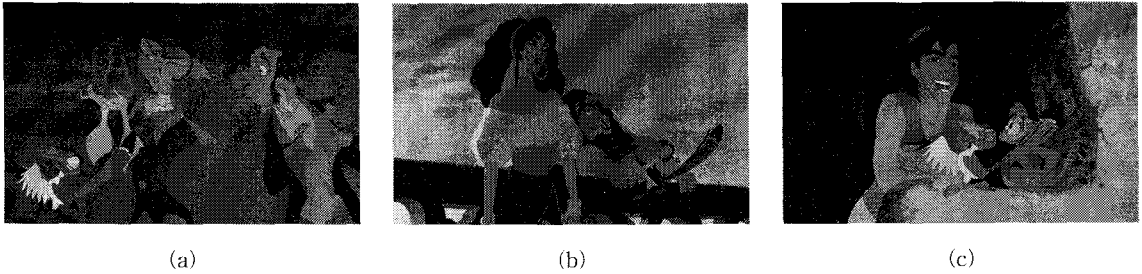


그림 5. 각 장면에 대한 색 변환행렬을 구하고 이것을 표 5의 <라이언 킹> 캐릭터에 적용한 후 각 장면에 등장시킨 예 (a) <보물섬>의 장면(19)에 적용한 결과 데이터, (b) <노틀담의 꼽추>의 장면(20)에 적용한 결과 데이터, (c) <알라딘>의 장면(21)에 적용한 결과 데이터

터 색을 유도된 변환식에 입력한다. 그러면 장면에 대한 색 변환행렬이 구해지는데 이 변환행렬은 2D 애니메이션 각각의 장면마다 구해진다. 따라서 어떠한 캐릭터라도 기본색만 주어진다면 색 변환행렬을 통하여 장면에 어울리는 캐릭터 색 지정을 자동으로 구할 수가 있다. 또한 색 변환행렬은 기존의 우수한 애니메이션 장면속의 캐릭터 색을 입력 값으로 사용하기 때문에 아트 디렉터가 연출했던 색감을 재현할 수 있다는 장점을 가진다. 따라서 제안된 자동 색 변환 기술은 아트 디렉터가 부족한 국내 애니메이션이나 저예산 애니메이션 제작에 있어 질 높은 캐릭터 색 지정을 연출하는데 활용이 가능하다.

본 논문은 색 변환행렬을 구할 때 입력했던 캐릭터 색이 한정적으로 사용되었다. 이것은 기존 2D 애니메이션의 캐릭터 색만으로는 모든 색에 대해 좋은 변환 결과를 기대할 수 없음을 말해주고 있다. 따라서 향후 연구방향으로는 어떠한 캐릭터의 배색이라도 좋은 색 변환이 가능한 시스템 개발이 필요하다. 이것은 변환 시스템에 입력되는 색을 많이 추출하기 위한 방법을 모색한 후 균등지각 색좌표계에서 신경 회로망을 이용하여 연구할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정현선, 정미강, 김재호, “애니메이션 배경색채에 대한 기호학적 연구,” 한국디자인학회, 본 학술대회, pp. 182-183, 2005.
- [2] 허인욱, 한국애니메이션영화사, 신한미디어, 2002.
- [3] 김재웅, 애니메이션 실용색채학, 서울애니메이션센터, 2002.
- [4] M. Grundland, “Color Histogram Specification by Histogram Warping,” *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, Vol.5667, pp. 610-621, 2005.
- [5] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P. Shirley, “Color Transfer between Images,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 34-40, 2001.
- [6] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, “Transferring Color to Greyscale Images,” in *Processing ACM SIGGRAPH*, pp. 378-384, 2002.
- [7] J. Qiu, H.S. Seah, F. Tian, Q. Chen, and K. Melikhov, “Computer-Assisted Auto Coloring by Region Matching,” in *proceeding of the 11th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pp. 175-184, 2003.
- [8] J. Qiu, H.S. Seah, F. Tian, Z. Wu, and Q. Chen, “Feature-and region-based auto painting for 2D animation,” *the Visual Computer 21*, pp. 928-944, 2005.
- [9] D. Sykora, J. Buriánek, and J. Zara, “Unsupervised Colorization of Black-and-White Cartoons,” *Conference on NPAR*, 2004.
- [10] 김현수, “Cell과 digital 애니메이션의 제작기법에 관한 연구 : 2D 애니메이션에 사용되는 3D기법을 중심으로,” 숙명여대 영상미디어디자인, 석사논문, 2003.
- [11] [http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/t\\_convert.html](http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/t_convert.html).
- [12] O. Noboru, 색채공학, 도서출판국제, 2003.

[13] W. Rred and Jr. Billmeyer, *Principles of Color Technology*, 2nd en, John Wiley & Sons, New York, 1981.

[14] <http://www.cvl.iis.u-tokyo.ac.jp/~miyazaki/tech/teche22.html>.

[15] [www.bruceindbloom.com/index.html?Color-DifferenceCalc.html](http://www.bruceindbloom.com/index.html?Color-DifferenceCalc.html).

[16] <http://www.dqaa.mil.kr/qm/qm-11/13%C0%AF%B0%C7%BC%BA.htm>.

[17] E. Bergeron and W. Finn, *The Road To El Dorado*, Dreamworks Animation, DVD, 2000.

[18] R. Allers and R. Minkoff, *The Lion King*, Disney Animation, DVD, 1994.

[19] R. Clements and J. Musker, *Treasure Planet*, Disney Animation, DVD, 2002.

[20] G. Trousdale and Wise, *The Hunchback of Notre Dame*, Disney Animation, DVD, 1996.

[21] J. Musker and R. Clements, *Aladdin*, Disney Animation, DVD, 1992.



정 현 선

1992년 3월 ~ 1996년 2월 동아대학교 물리학과, 이학사

2000년 3월 ~ 2002년 2월 부산대학교 영상정보공학과, 공학석사

2002년 3월 ~ 2004년 2월 부산대학교 영상정보공학과, 공학박사수료

2002년 3월 ~ 현재 부산대학교 시간강사



문 용 호

1988년 3월 ~ 1992년 2월 부산대학교 공과대학 전자공학과(공학사)

1992년 3월 ~ 1994년 2월 부산대학교 일반대학원 전자공학과(공학석사)

1994년 3월 ~ 1998년 8월 부산대학교 일반대학원 전자공학과(공학박사)

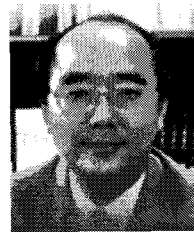
1998년 9월 ~ 2001년 8월 삼성전자 중앙연구소 DM Lab. (책임 연구원)

2001년 9월 ~ 2003년 2월 부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부 (BK21 기금교수)

2003년 3월 ~ 2007년 2월 부산외국어대학교 디지털미디어학부 (조교수)

2007년 3월 ~ 현재 경상대학교 컴퓨터과학부 정보과학전공(조교수)

관심 분야 : Signal & Image processing, Image Communication, Video Coding Standard and related VLSI design, Color Theory



김 재 호

1976년 3월 ~ 1980년 2월 부산대학교 전기기계공학과, 공학사

1980년 3월 ~ 1982년 2월 한국과학기술원 산업전자공학과, 공학석사

1983년 3월 ~ 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과, 공학박사

1992년 3월 ~ 1993년 1월 삼성전자 정보통신 연구소 자문교수

1997년 10월 ~ 1998년 9월 현대전자 자문교수

2002년 4월 ~ 현재 부산대학교 전자공학과 정교수

2007년 3월 ~ 현재 부산대학교 영상 콘텐츠 개발원 원장

2007년 3월 ~ 현재 부산대학교 NURI 차세대 영상IT 전문인력 양성사업단 단장