

논문 2005-42SP-6-13

## 3차원 차분 룩업 테이블을 이용한 실시간 색역 사상 기법

(Real-Time Color Gamut Mapping Method Based on the  
Three-Dimensional Difference Look-Up Table)

한 동 일\*

(Dongil Han)

### 요 약

본 논문에서는 실시간 색역 사상을 위한 3차원 룩업 테이블을 좀더 효과적으로 구현하기 위한 하드웨어 구조를 제시하였다. 기존의 해상도 절감 3차원 룩업 테이블에 대해서 기술하고 하드웨어의 구조를 간소화시킨 해상도 절감 3차원 차분 룩업 테이블의 개념을 소개한다. 새로 제안하는 3차원 차분 룩업 테이블의 경우 기존의 방법과 같이 3차원 룩업 테이블을 8개의 1차원 룩업 테이블로 분해하여 구성하며 색역 사상 규칙은 현재 입력 영상 값과 색역 사상된 출력 값과의 차분 값만을 저장시키고 삼차원 보간 이후에 최종적으로 덧셈기를 추가함으로써 구성한다. 이를 통하여 필요로 하는 하드웨어의 양을 더욱 감축시킬 수 있으며 기존의 방법에 비해서 좀 더 고속으로 구현이 가능하다. 새로 제안된 하드웨어 구조는 FPGA나 ASIC으로 쉽게 구성이 가능하며 실시간 화질 개선의 용도로 쉽게 적용이 가능하다.

### Abstract

A cost effective three-dimensional color gamut mapping architecture is described. The conventional three-dimensional reduced resolution look-up table is considered and the concept of three-dimensional reduced resolution difference look-up table is introduced for cost effective and real-time color gamut mapping. The overall architecture uses one-dimensional memory decomposition of three-dimensional gamut mapping look-up table, three-dimensional interpolation and simple addition operation for generating the final gamut mapped colors. The required computational cost is greatly reduced by look-up table resolution adjustment and further reduced by the gamut mapping rule modification. The proposed architecture greatly reduces the required memory size and hardware complexity compared to the conventional method and it is suitable for real-time applications. The proposed hardware is suitable for FPGA and ASIC implementation and could be applied to the real-time display quality enhancement purposes.

**Keywords :** Color gamut mapping, Image processing, Display quality enhancement

### I. 서 론

최근 디스플레이 산업의 지속적인 성장으로 인하여

기존의 CRT뿐만 아니라 PDP, LCD, OLED, DLP, LCoS 등 다양한 종류의 디스플레이 기기들이 개발되고 양산되고 있다. 또한 기존의 아날로그 TV 방송의 2010년 중지 일정이 확정되고 디지털 TV 방송이 지역별로 시작됨에 따라서 고해상도의 디스플레이 장치를 장착한 디지털 TV의 보급이 확대되고 있다. 그리고 기존의 아날로그 TV의 대다수를 차지하고 있던 CRT 디스플레이 장치의 경우 대형화가 어려운 단점으로 인해서 디지털 TV 시대에서는 점차 사용이 줄어들 것으로 예측되는

정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과  
(Department of Computer Engineering, Sejong University)

\* 본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10785-0)지원과 시스템IC 2010사업 및 IDEC의 Tool지원으로 수행되었음.

접수일자: 2005년6월7일, 수정완료일: 2005년9월22일

반면 PDP TV, LCD TV, LCD 프로젝션 TV, DLP 프로젝션 TV 등 대화면이 용이한 디스플레이 장치들의 사용이 점차 증가될 것으로 예측되고 있다. 그러나 새롭게 개발되는 디스플레이 장치들의 경우 대화면이 용이한 반면 CRT 디스플레이 장치와 비교하여 화질, 시야각, 명암비, 밝기, 수명 등 여러 가지 면에서 CRT의 성능에 못 미치고 있는 것도 사실이다. 특히 제일 중요한 화질의 경우 CRT 디스플레이 장치의 화질과 비교하면 그 수준이 떨어져 있고 있는 실정이며 영상 처리 기법을 이용한 화질 개선과 관련하여 다방면의 연구 개발이 이루어지고 있다<sup>[1~6]</sup>.

특히 색역 사상(Color Gamut Mapping) 기법은 다양한 컬러 재현 미디어 간의 색 재현성을 보정하는 기술로 기존에 PC용 컬러 모니터와 컬러 프린터 간의 색 재현성의 차이를 보정하는 데에 많이 사용되어 왔다<sup>[7~11]</sup>. 일반적으로 프린터의 색역은 모니터의 색역에 비해서 상대적으로 작으며 프린터에서 표현할 수 있는 색의 종류가 모니터에 비해서 상대적으로 적은 것을 의미한다. 따라서 기존의 색역 사상 기법<sup>[7~11]</sup>들은 대부분 모니터에서 재현되는 색을 프린터 장치에 효과적으로 표현하기 위한 색역 축소 기법에 대한 해결책 들을 제시하고 있다.

또한 최근에는 LED나 Laser와 같은 넓은 색역을 갖는 디스플레이 장치가 제안되고 이러한 장치를 위한 색역 확장을 위한 기법이 제시된 바 있다<sup>[12]</sup>. 이 기법의 경우 XYZ 색공간과의 선형 변환을 통하여 얻을 수 있는 WYV 색공간을 사용함으로써 TV와 같이 실시간 디스플레이 장치에 쉽게 적용할 수 있는 색역 사상 기법을 제안하였다. 그러나 WYV 색 공간의 경우 인간의 시각 특성에 기반을 두지 않은 불균일 색 공간으로 최종 성능에 대한 평가가 추가 될 필요가 있다. 또한 고속 처리를 위해서 불균일 색 공간인 WYV 색 공간을 이용하였으나 실시간 디스플레이 장치를 위한 하드웨어 구조를 제안하지는 못하였다.

이와 같이 다양한 색역 사상 기법이 제안되고 우수한 성능을 제공하고 있지만 대부분의 색역 사상 기법이 디스플레이 장치에 실시간으로 적용되기에는 매우 큰 어려움이 존재한다. 색역 사상 알고리즘이 HD(High Definition)급 디지털 TV의 디스플레이 장치에 적용이 되기 위해서는 75MHz의 동작 속도가 필요하며 처리 시간 기준으로는 약 10 나노 초 정도의 처리 속도가 필요하다. 따라서 기존의 소프트웨어 알고리즘에 기초한 여러 기법을 직접 이용해서 구현하기는 거의 불가능하다.

이러한 문제점을 해결하면서 실시간 색역 사상을 수행하기 위하여 해상도 절감 3차원 록업 테이블<sup>[13]</sup>을 이용한 하드웨어 구조가 제안된 바 있으며 R, G, B 각각의 색 성분에 대하여 각각의 신호 값의 범위를 8등분하여 3차원 록업 테이블을 근사화 하고 각 근사점에서의 색역 사상 값을 저장하여 출력하고 최종적으로는 3차원 보간을 이용하여 새로운 사상 값을 계산함으로써 디스플레이 장치의 색역 사상 문제를 실시간으로 해결한 바 있다.

본 논문에서는 해상도 절감 3차원 록업 테이블의 구조를 좀 더 효과적으로 개선하여 거의 동일한 성능을 제공하면서 필요한 하드웨어의 양을 20% 정도 줄인 해상도 절감 3차원 차분 록업 테이블의 개념을 도입하고 이의 타당성 및 실험 결과를 제공하며 이를 통해서 디지털 TV의 화질을 실시간으로 개선할 수 있는 새로운 색역 사상 방법을 제안한다.

## II. 색역 사상 기법

기존의 색역 사상 기법은 모니터의 경우 RGB 색 공간에서 인간의 시각 특성에 기반을 둔 균형 색 공간인 CIELAB 색 공간으로 변환 한 후 색 재현 미디어의 특성을 반영한 색역 사상을 수행하고 이를 다시 프린터의 경우 CMYK 색 공간, 디스플레이 장치의 경우 새로운 RGB 색 공간으로 변환하여 출력함으로써 색 재현성의 향상을 도모하게 된다. 그러나 기존의 방법들은 이러한 과정을 소프트웨어로 처리하게 되며 고속의 디스플레이 장치에 바로 적용하기에는 여러 가지 문제점들이 존재하게 된다.

따라서 하드웨어적인 구현을 고려하여 해상도 절감 3차원 록업 테이블<sup>[13]</sup>의 개념이 처음 도입되었으며 R, G, B 각각의 색 성분에 대하여 입력되는 각각의 RGB 값에 대한 색역 사상된 새로운 값을 출력하는 3차원 록업 테이블을 구현함에 있어서 3차원 색 공간 각각의 신호의 MSB 3 비트 정보를 이용하여 각각의 신호 값의 범위를 8등분하여 3차원 록업 테이블을 근사화하고 각 근사점에서의 색역 사상 값을 저장하여 사용한다. 최종적인 색역 사상 값의 계산을 위하여 입력 컬러 신호를 포함하고 있는 정육면체 형태의 8개의 꼭짓점에서의 색역 사상 값을 이용하여 3차원 보간을 통해서 최종적인 색역 사상 값을 계산함으로써 디스플레이 장치의 색역 사상 문제를 실시간으로 해결한 바 있다.

이 기법의 경우 각각의 색 신호 입력을 각각  $R_{in}$ ,  $G_{in}$ ,

Bin 으로 나타내고 각각의 컬러 성분에 대한 사상 함수를  $gm_{component}()$ 라고 정의하면 색역 사상에 의한 새로운 색 신호 값  $R_{out}, G_{out}, B_{out}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$R_{out}[7:0] = gm_{red}(R_{in}[7:5], G_{in}[7:5], B_{in}[7:5]) \quad (1)$$

$$G_{out}[7:0] = gm_{green}(R_{in}[7:5], G_{in}[7:5], B_{in}[7:5]) \quad (2)$$

$$B_{out}[7:0] = gm_{blue}(R_{in}[7:5], G_{in}[7:5], B_{in}[7:5]) \quad (3)$$

그림 1에 CIE  $L^*a^*b^*$  색공간에 표현된 같은 컬러 신호 입력에 대한 CRT 디스플레이 장치와 LCD 디스플레이 장치의 색역을 나타내었다. 이 그림에서 CRT 디스플레이 장치의 색역을 그물(mesh) 형태로 나타내었으며 LCD 디스플레이 장치의 색역을 색입체 형태로 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 두 디스플레이 장치의 색역이 일치하지 않으며 다양한 종류의 컬러 영역에서 디스플레이 특성의 차이를 나타내고 있다.

그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 두 디스플레이 장치의 색역은 각 컬러 영역 별로 조금씩 차이를 가지고 나타나고 있으며 상당히 비선형적으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 같은 컬러 신호 입력에 대한 두 디스플레이 장치의 재현색의 차이는 그다지 크지는 않음

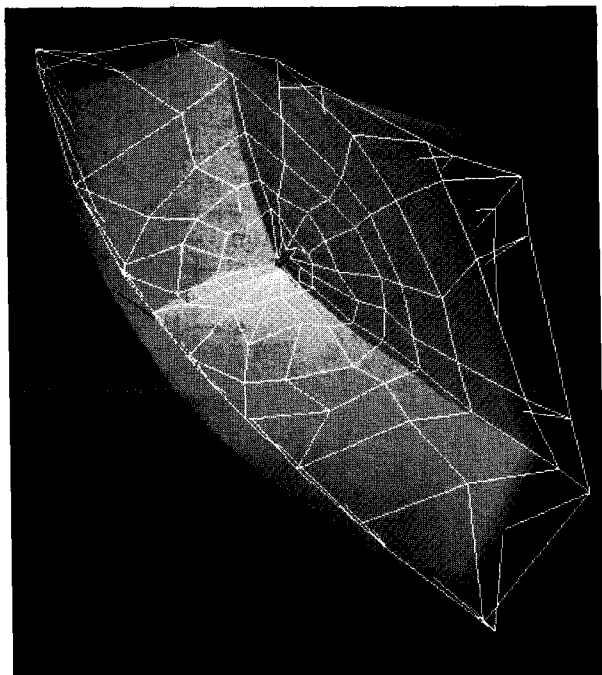


그림 1. CRT와 LCD 샘플의 색역 차이(CRT: 그물형태, LCD: 색입체형태)

Fig. 1. The color gamut difference between a sample CRT and LCD(CRT: Mesh, LCD: Color solid).

며 따라서 대응점에 새로운 색역 사상 값을 저장하는 대신에 새로운 색역 사상 값과 입력 컬러 신호 값의 차이 값만을 저장하면 좀 더 효과적으로 색역 사상 데이터를 저장할 수 있다.

이 경우 이러한 차이를 표현하기 위한 효과적인 방법으로서 임의의 색 입력 값  $p$ 에 대해서 각각의 색 신호 입력을 각각  $R_{in,p}, G_{in,p}, B_{in,p}$ 으로 나타내고 각각의 컬러 성분에 대한 사상 함수를  $gm_{component}()$ 라고 정의하면 색역 사상에 의한 색역 사상 차이값  $RD_{out,p}, GD_{out,p}, BD_{out,p}$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$RD_{out,p}[7:0] = R_{in,p}[7:5] - gm_{red}(R_{in,p}[7:5], G_{in,p}[7:5], B_{in,p}[7:5]) \quad (4)$$

$$GD_{out,p}[7:0] = G_{in,p}[7:5] - gm_{green}(R_{in,p}[7:5], G_{in,p}[7:5], B_{in,p}[7:5]) \quad (5)$$

$$BD_{out,p}[7:0] = B_{in,p}[7:5] - gm_{blue}(R_{in,p}[7:5], G_{in,p}[7:5], B_{in,p}[7:5]) \quad (6)$$

여기서 각각의 색 성분에 대한 사상 함수  $gm_{red}()$ ,  $gm_{green}()$ ,  $gm_{blue}()$ 의 출력은 8비트 정보를 가지며 실제 데이터에 의한 분석 결과 대부분의 경우  $RD_{out,p}[7:0]$ ,  $GD_{out,p}[7:0]$ ,  $BD_{out,p}[7:0]$  신호의 MSB 부분의 경우 대부분 0 값을 가짐을 알 수 있다. 이 경우 8비트 정보로 색역 사상값의 차이값을 저장할 필요 없이 4~7비트 정보만으로도 거의 모든 대부분의 사상값을 저장할 수 있으며 만약 6비트 정보를 이용하여 색역 사상의 차이값을 저장할 경우 식(4)~(6)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$RD_{out,p}[5:0] = R_{in,p}[7:5] - gm_{red}(R_{in,p}[7:5], G_{in,p}[7:5], B_{in,p}[7:5]) \quad (7)$$

$$GD_{out,p}[5:0] = G_{in,p}[7:5] - gm_{green}(R_{in,p}[7:5], G_{in,p}[7:5], B_{in,p}[7:5]) \quad (8)$$

$$BD_{out,p}[5:0] = B_{in,p}[7:5] - gm_{blue}(R_{in,p}[7:5], G_{in,p}[7:5], B_{in,p}[7:5]) \quad (9)$$

따라서 대부분의 경우에 기존의 방법에서 색역 사상을 위해 저장하던 8비트나 10비트의 색역 사상 정보 대신에 색역 사상 차이 정보를 저장함으로써 전체적인 저장 공간과 하드웨어 양을 추가적으로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

### III. 실시간 처리용 하드웨어 구조

그림 2에 본 논문에서 제안하는 해상도 절감 3차원 차분 룩업 테이블의 하드웨어 구조를 나타내었다. 그리고 그림 2의 3-D Difference LUT의 경우는 실제적으로 하나의 어드레스 디코더, 8개의 1차원 룩업 테이블 그리고 데이터 스위치로 구성되며 그림 3에 자세히 나타내었다.

해상도 절감 3차원 룩업 테이블과 마찬가지로  $9 \times 9 \times 9 = 729$ 개의 색역 사상 위치의 색역 사상 값을 저장하기 위하여 크기가 조금씩 다른 8개의 일차원 룩업 테이블을 사용하며 이때 색역 사상의 차이 값을 저장하는 용

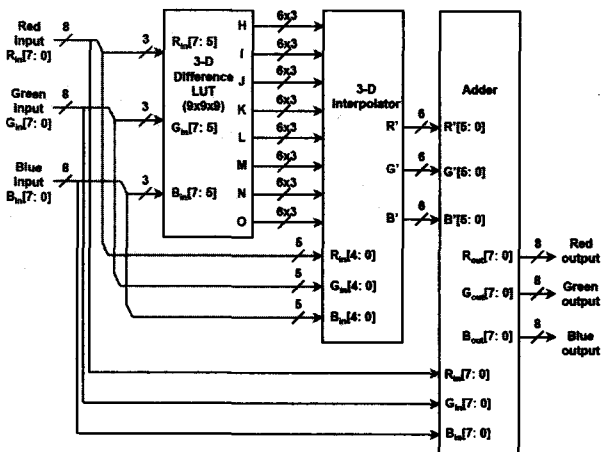


그림 2. 해상도 절감 3차원 차분 룩업 테이블의 하드웨어 구조

Fig. 2. The 3-dimensional reduced resolution difference look-up table architecture.

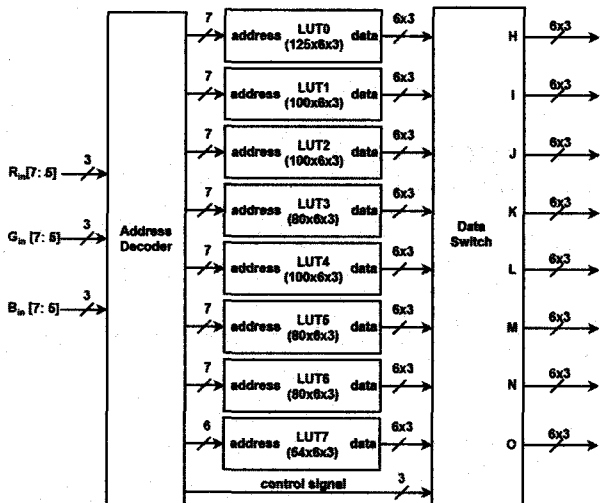


그림 3. 3차원 차분 룩업 테이블의 실제 구현  
Fig. 3. The one-dimensional decomposed architecture of 3-D difference look-up table.

도로 전체 일차원 룩업 테이블의 데이터 폭은 8비트 대신에 6비트의 룩업 테이블이 사용되었다.

그림 3의 어드레스 디코더부의 경우 입력되는 컬러 신호 영상에 대응하여 입력 영상을 둘러싸는 입방체의 8개의 꼭짓점에 해당하는 좌표를 선택하게 되며 이 좌표에 대응하는 어드레스에서 새로운 색역 사상 값을 출력시킴으로서 추후 최종적인 색역 사상 값을 추출할 수 있게 한다. 어드레스 디코딩과 관련된 세부 내용은 기존

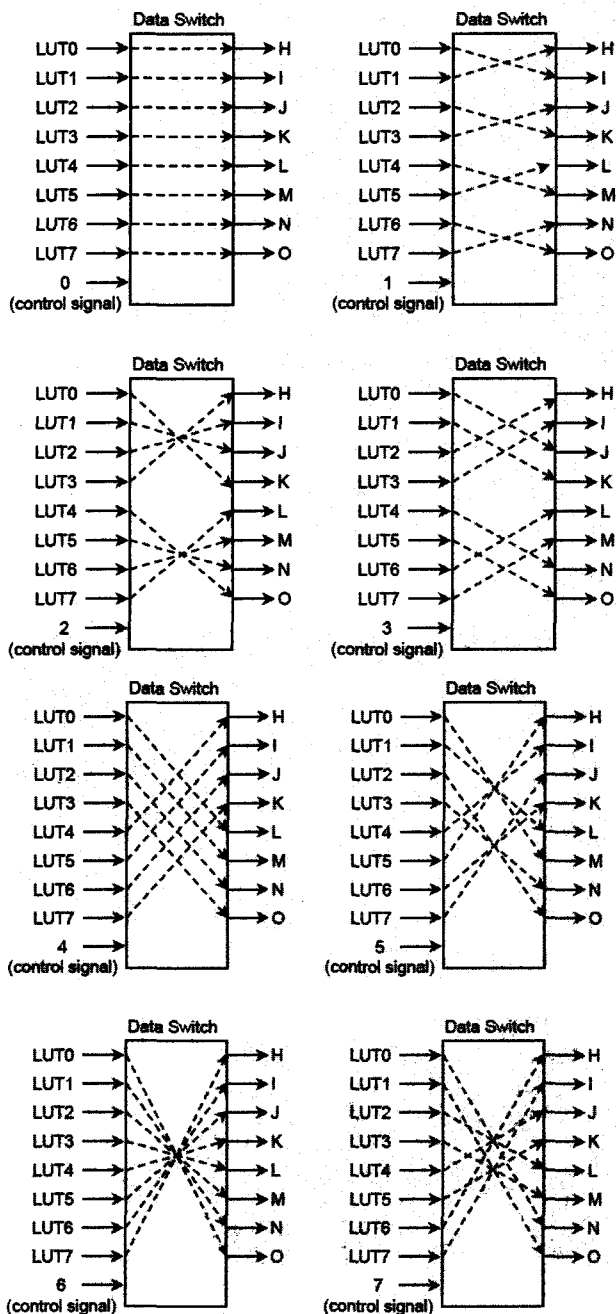


그림 4. 제어 신호 값에 따른 스위치부의 연결 상태도  
Fig. 4. The data switching functions for each control signal value.

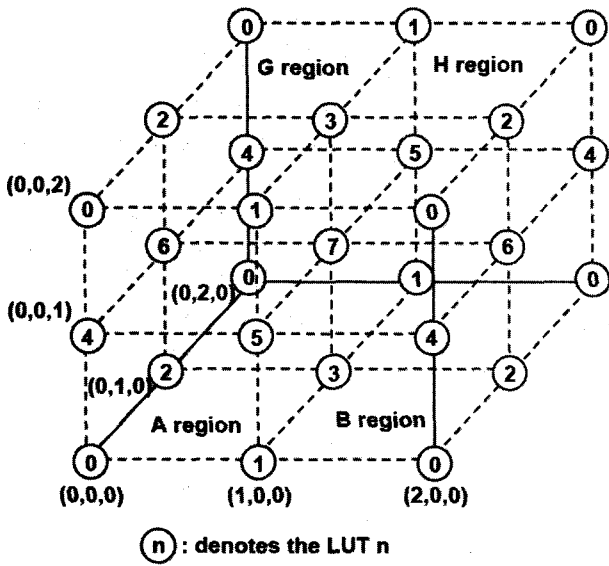


그림 5. 일차원 룩업 테이블이 저장하고 있는 색역 사상 위치 관계  
 Fig. 5. Each look-up table stores the mapping value of particular vertex points.

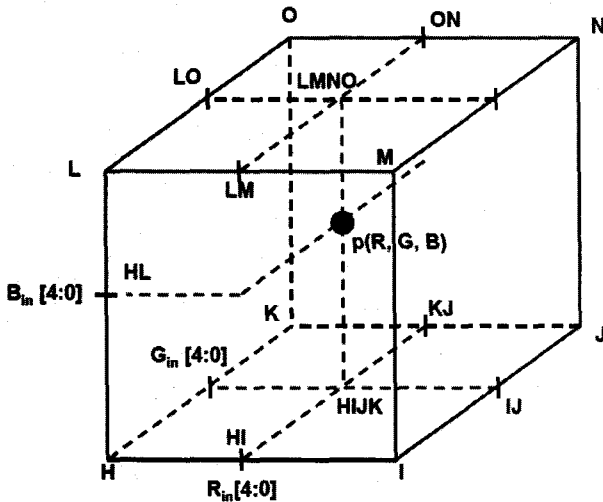


그림 6. 삼차원 보간을 위한 사상 점들  
 Fig. 6. Three-dimensional interpolation method.

의 해상도 절감 3차원 룩업 테이블의 구조와 거의 같으며 참고문헌 [13]에서 관련 사항을 파악할 수 있다.

그림 3의 데이터 스위치의 경우 뒷부분에 위치한 3차원 보간부의 구성을 용이하게 하기 위하여 사용되는 블록으로 그림 4에 나타난 바와 같이 8개의 일차원 룩업 테이블에서 출력되는 색역 사상 차분 값을 3차원 보간에 필요한 위치로 변경시켜 주는 역할을 수행한다.

예를 들어 설명하면, 컬러 신호 입력 값이 그림 5의 영역 A에 위치할 경우, LUT0는 그림 6의 H 위치에서의 색역 사상값을 발생시키고 LUT1의 경우 그림 6의 I 위치에서의 색역 사상 값을 발생시키게 된다.

그러나 컬러 신호 입력 값이 그림 5의 영역 G에 위치할 경우, LUT0는 그림 6의 O 위치에서의 색역 사상값을 발생시키고 LUT1의 경우 그림 6의 N 위치에서의 색역 사상 값을 발생시키게 된다. 그리고 그림 6의 H 위치에 해당하는 사상 값은 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 LUT6에서 발생되며 그림 6의 I 위치에 해당하는 사상 값은 LUT7에서 발생됨을 그림 5에서 쉽게 알 수 있다.

이러한 변화는 전체  $8 \times 8 \times 8 = 512$ 개의 입방체에서 사상 위치 변화를 관찰해 보면 총 8가지 종류로 분류할 수 있으며 그림 5에 이러한 변화를 모두 표현할 수 있도록 나타내었다. 따라서 이러한 변화를 3차원 보간부에서 고려할 경우 보간부의 하드웨어 복잡도가 증가하기 때문에 이전에 데이터 스위치부에서 이러한 변화를 모두 보정하게 하는 역할을 수행하게 된다.

그림 4에 나타난 바와 같이 데이터 스위치부의 입력으로서 8가지 종류의 색역 사상 입력을 알려 주는 제어 신호를 사용하게 되며 예를 들어 제어 신호가 0일 경우 LUT0의 출력 값을 H점으로 연결시켜주고 LUT1의 출력 값을 I점으로 연결시켜 주게 된다. 제어신호가 7일 경우 LUT6의 출력 값을 H점으로 연결시켜주고 LUT7의 출력 값을 I점으로 연결시켜 줌으로써 뒷 단의 3차원 보간부에서 항상 일정한 규칙으로 보간을 수행할 수 있게 하며 3차원 보간부의 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있으며 그 결과 전체적인 하드웨어 양을 줄일 수 있게 된다.

3차원 보간 방법은 그림 6을 이용하여 설명 가능하다. 3차원 보간부의 입력은 그림 2에 나타난 바와 같이 컬러 신호 입력값을 둘러싸는 8개의 꼭짓점에서의 새로운 색역 사상값이 데이터 스위치부를 통과하여 일정한 순서로 들어오며 이와 동시에 컬러 입력 신호의 LSB 부분이 들어온다. 즉 컬러 입력 신호의 상위 3비트의 정보는 컬러 입력을 둘러싸는 입방체를 선택하는 데에 사용되고 하위 5비트 정보가 3차원 보간부로 입력되어 3차원 보간에 사용되게 된다.

3차원 보간은 적, 녹, 청 각각의 컬러 신호 성분에 대해서 보간을 병렬로 수행하게 되며 각각의 신호에 대해서는 양선형 보간 기법을 연속적으로 적용하여 입력 컬러 신호의 최종적인 색역 사상 차분 값을 계산해 낸다. 그림 6의 p점에서의 적색 신호의 색역 사상 차분 값을 계산하기 위해서는 아래 식과 같이 H, I, J, K 점에서의 색역 사상 차분값  $R_H, R_I, R_J, R_K$ 를 이용하여 HI점과 KJ점에서의 적색 신호의 새로운 사상값을 먼저 계산해 내

고 HIJK 점에서의 색역 사상 차분 값을 두 번째로 계산해 낸다. 그리고 같은 방식으로 얻어진 LMNO 점에서의 색역 사상 차분 값을 이용하여 최종적으로 점 p에서의 적색 신호의 색역 사상 차분 값을 계산해 낸다. 그리고 이와 같은 과정을 녹색, 청색 신호에 대해서도 병렬로 처리함으로써 최종적인 색역 사상 차분 값을 얻게 된다.

즉 식 (10), (11)과 같이  $R_{HI}$ ,  $R_{KJ}$  값은 다음과 같이 얻어지며,

$$R_{HI} = (R_H \times (32 - r) + R_I \times r) / 32 \quad (10)$$

$$R_{KJ} = (R_K \times (32 - r) + R_J \times r) / 32 \quad (11)$$

여기서

$$r = R_m[4:0] \quad (12)$$

$$R_H = RD_{out,H}[5:0] \quad (13)$$

$$R_I = RD_{out,I}[5:0] \quad (14)$$

를 이용한다. 두 번째 단계로서

$$R_{HIK} = (R_{HI} \times (32 - b) + R_{KJ} \times b) / 32 \quad (15)$$

를 얻는다. 그리고 마지막 단계로서

$$R_p = (R_{HIK} \times (32 - g) + R_{LMNO} \times g) / 32 \quad (16)$$

를 얻을 수 있으며 여기서

$$b = B_m[4:0] \quad (17)$$

$$g = G_m[4:0] \quad (18)$$

를 이용한다.

위와 같은 방식으로 녹색, 청색 신호에 대한 최종적인 색역 사상 차분 값은 다음과 같이 얻을 수 있으며 각각의 처리 과정을 병렬로 수행하여 얻게 된다.

$$G_p = (G_{HIK} \times (32 - g) + G_{LMNO} \times g) / 32 \quad (19)$$

$$B_p = (B_{HIK} \times (32 - g) + B_{LMNO} \times g) / 32 \quad (20)$$

위의 연산들은 간단한 사칙 연산으로 이루어지고 있고 나눗셈 연산 또한 shift left 연산으로 쉽게 구현이

가능한 2의 배수 값이므로 하드웨어로 매우 쉽게 구현이 가능한 장점이 있다.

최종적인 색역 사상 값은 3차원 보간부에서 계산해 낸 입력 값에 대한 색역 사상 차분값과 컬러 입력 신호 값을 더함으로써 계산해 내며 매우 간단한 덧셈기를 이용하면 된다.

앞서 설명한 바와 같이 본 논문에서 제안하는 해상도 절감 3차원 차분 록업 테이블의 경우 8개의 1차원 록업 테이블과 어드레스 디코딩부, 데이터 스위치부, 그리고 사칙 연산으로 구현이 가능한 3차원 보간부 및 덧셈부로 이루어지기 때문에 구현이 매우 간단하고 또한 필요한 메모리의 양도 대폭 절감하여 저가로 구현이 가능한 장점이 있다.

#### IV. 실험 결과

샘플 PDP의 색 재현성 향상을 위해 얻어진 색역 사상 규칙의 일부를 그림 7에 나타내었으며 색역 사상 기법은 참고논문 [14]의 색역 축소 및 확장 기법이 사용되었다. 이해를 돕기 위하여 그림 1과 같은 3차원 색역 표현 대신에 색역 사상 값을 1차원으로 나타내었다. 예를 들어서 설명하면 적색 신호의 사상 그래프를 구성함에 있어서 두 개의 녹색, 청색 성분을 일정하게 유지시키면서 적색 성분의 색역 사상 값을 추출하였으며 이러한 과정을 서로 다른 녹색, 청색 값에 대하여 반복함으로써 그림 7의 적색 신호의 사상 값을 추출하였다. 그리고 위와 비슷한 방법으로 녹색과 청색에 대한 색역 사상 값을 추출한 그래프를 그림 7에 각각 나타내었다.

그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 색역 사상 값의 경우 다양한 편차를 가지고 존재하나 입력 값 대비 그 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 따라서 입력 컬러 신호의 색역 사상 값과 현재 컬러 입력 신호의 차이값을 계산한 차트를 그림 8에 나타내었으며 대부분의 차이 값이 8비트보다 적은 비트 수 정보로 표현 가능함을 알 수 있다.

차분 록업 테이블의 구현 시 적절한 비트 수를 결정하기 위하여 'smile' 영상에 대하여 비트 수 절감에 따른 영상의 변화 및 8비트를 사용한 경우와의 PSNR을 비교하여 보았으며 이를 그림 9와 표 1에 각각 나타내었다.

그림 9와 표 1의 PSNR에서 알 수 있는 바와 같이 7비트를 사용한 경우는 8비트 전부를 사용한 경우와 같은 결과를 제공하였으며 PSNR이 무한대 값을 나타냄을

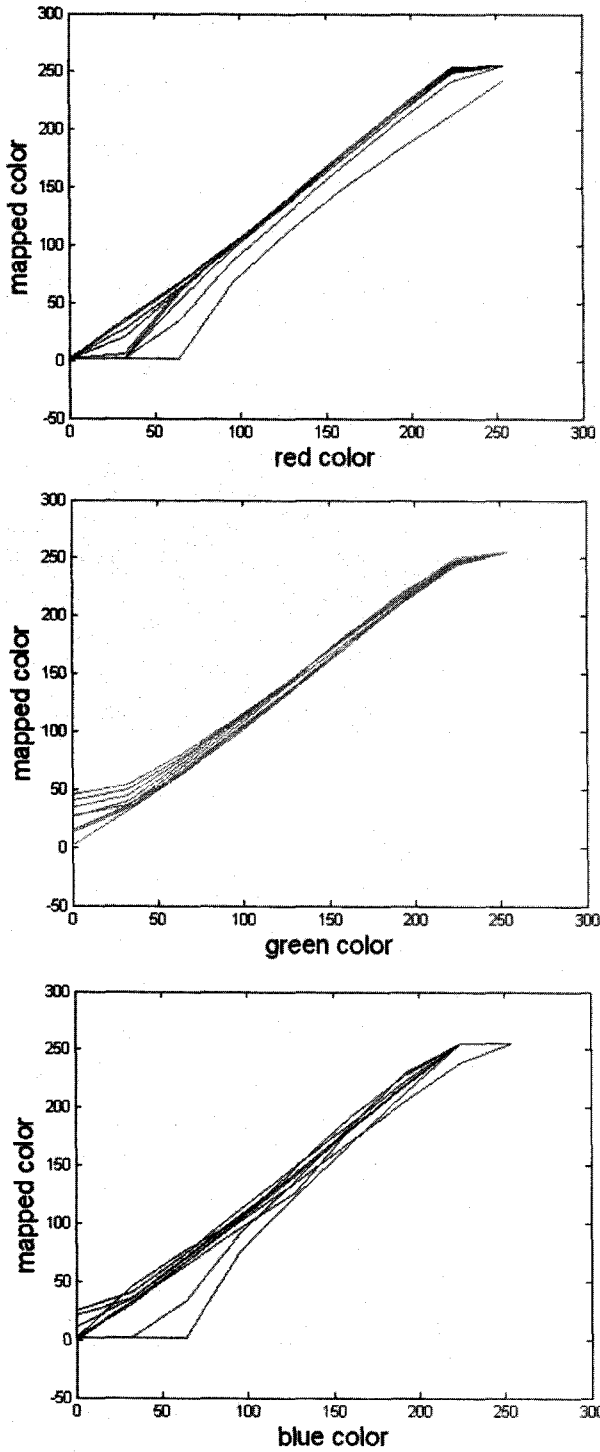


그림 7. 색역 사상 값들의 1차원 표현  
Fig. 7. One-dimensional gamut mapping rules.

알 수 있다. 즉 'smile' 영상의 경우 화질 저하 없이 색역 사상에 필요한 하드웨어 구현 해상도를 낮출 수 있음을 알 수 있다.

차분 룩업 테이블을 6비트를 이용하였을 경우에도 영상만을 비교하였을 경우 화질 차이를 인지할 수 없으며 PSNR 비교 시 약 48dB 값을 가지며 8비트를 사용

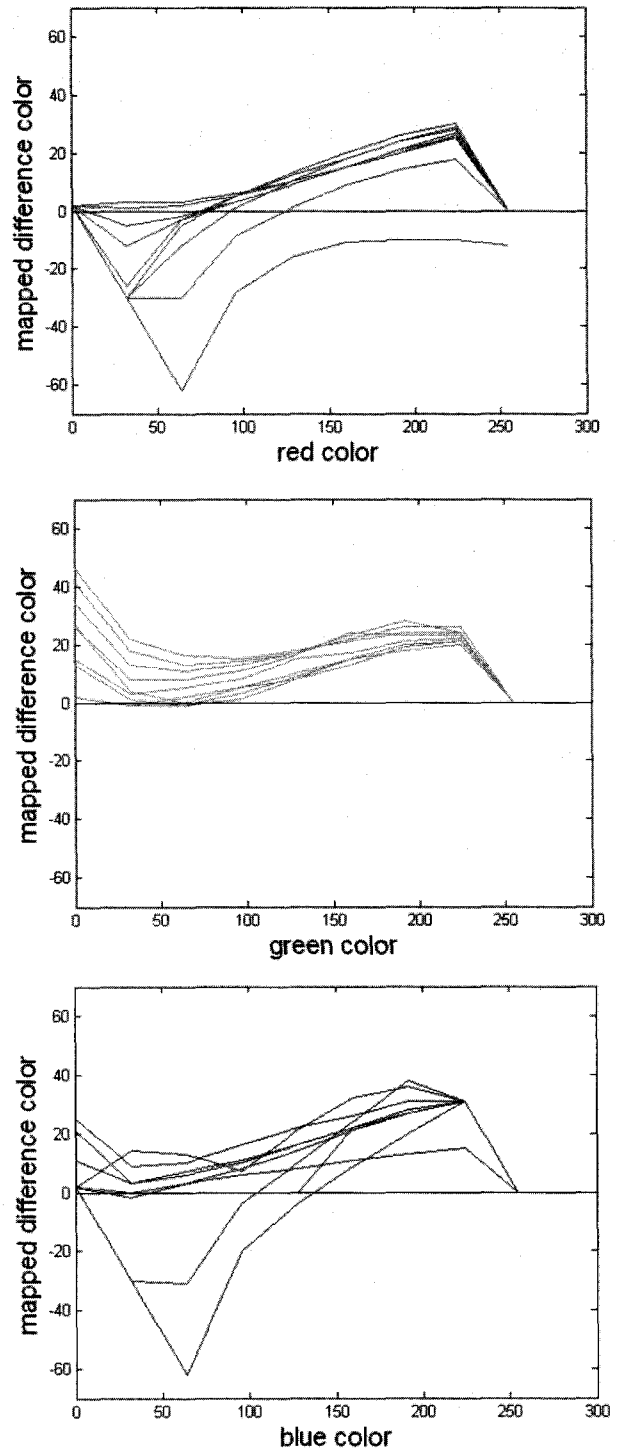


그림 8. 차분 룩업 테이블의 색역 사상 규칙 예  
Fig. 8. Gamut mapping rules of difference LUT.

한 경우와 거의 화질 차이가 없음을 알 수 있다. 이 경우  $729 \times 3 = 2187$  개의 색역 사상 규칙 중 121개 (5.5%)의 색역 사상 규칙이 6비트 범위를 넘어서서 6비트 범위로 제한되었으며 이 경우 큰 오차를 유발하지 않았음을 알 수 있다.

차분 룩업 테이블을 5비트 이하로 구성하였을 경우에



(a) 8비트 (b) 7비트 (c) 6비트 (d) 5비트 (e) 4비트  
 (a) 8bit (b) 7bit (c) 6bit (d) 5bit (e) 4bit

그림 9 차분 룩업 테이블의 비트 수 조정 결과  
 Fig. 9. Results of bit reduction of Difference LUT.

표 1. 비트 수 조정에 따른 clipping된 규칙 수 및 PSNR 비교

Table 1. The number of clipped mapping rules and PSNR comparison with the bit reduction of Difference LUT.

		7 bit	6 bit	5 bit	4 bit
PSNR(dB)	red	inf	49.38	31.07	25.51
	green	inf	50.41	32.55	26.87
	blue	inf	43.14	27.46	23.67
Clipping된 rule수 (전체:2187개)		3	121	980	1464

도 결과 영상은 적절한 화질을 제공해 주었으나 8비트로 구현한 영상과는 눈으로도 그 차이를 확인할 수 있었다. 이 경우 PSNR이 30dB나 그 이하로 떨어져서 화질 열화가 비교적 있음을 알 수 있었다.

색역 사상 차분 값이 구현 해상도의 범위를 초과할 경우는 클리핑을 통하여 최대값으로 처리할 수밖에 없으며 이 경우에는 원래의 색역 사상을 이용하는 경우와 차이를 유발하게 된다. 그러나 이 경우에도 전체 색역 중에서 일부 해당되는 색역에서만 차이를 유발하게 되며 대부분의 경우 기존의 색역 사상 기법과 동일한 결과를 제공하게 된다.

이러한 결과를 바탕으로 차분 룩업 테이블의 실제 구현 시 색역 사상 비트 수는 6비트를 사용하게 되었으며 제안된 하드웨어 구조는 먼저 C simulation을 통해서 알고리즘의 정당성을 확인하였고 VHDL로 구현하여 C simulation 결과와 동일함을 확인하였다. 새로이 제안된 하드웨어 구조의 경우 기존의 해상도 절감 3차원 룩업 테이블에 비해서 25% 정도의 메모리 감축을 가져왔다.

또한 연산량이 가장 많은 3차원 보간부의 경우 데이터 폭의 절감을 통해 하드웨어의 양을 대폭 줄일 수 있었으며 전체적으로 20% 이상의 게이트 수를 줄일 수 있었다. 전체적으로 사용된 메모리의 크기와 게이트 수를 기존의 방법과 비교한 데이터를 표 2에 나타내었다.

표 2. 기존의 방식과 제안된 방식의 게이트 수 비교  
 Table 2. The used gate count for implementing 3-D RRLT and RRDLT(Reduced Resolution Difference Look-up Table).

Method	Memory	Logic	Total
RRLT	47,303	45,658	92,961
RRDLT	35,475	35,887	71,362



(a) 원 영상 (b) 색역 사상된 영상  
 (a) original image (b) gamut mapped image

그림 10 실시간 색역 사상 결과 예  
 Fig. 10. An example of real-time color gamut mapping.

본 논문에서 제안한 하드웨어 구조는 해상도 절감 3차원 룩업 테이블과 마찬가지로 색역 사상 알고리즘의 종류와 무관하게 사용할 수 있으며 실제 테스트를 위해서는 참고문헌 [14]의 색역 확장 알고리즘을 사용한 결과를 그림 10에 나타내었다. 즉 PDP의 청색 성분을 확장하고 녹색 성분을 축소시키는 색역 사상을 행한 결과 원영상에 비해서 보다 자연색에 가까운 색이 재현됨을 확인할 수 있었으며 참고문헌 [13]의 결과와 거의 완벽히 일치함을 확인할 수 있었다. 그림 11에 또 다른 영상에 대한 처리 결과를 나타내었으며 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

최종적으로 본 논문의 하드웨어 구조는 FPGA를 이용하여 구현하였으며 실시간 테스트를 통하여 본 하드웨어 구조의 정당성을 확인하였다. FPGA는 Xilinx의 Spartan XC2S300E를 이용하여 XGA 화면을 디스플레이 할 수 있도록 구현하였으며 그림 12에 FPGA 보드의 사진을 나타내었다. 이 FPGA 보드를 이용한 실시간 화면을 캡처한 사진을 그림 13에 나타내었으며 화면을 반으로 나누어서 왼쪽 부분이 차분 룩업 테이블을 이용하여 색역 사상한 결과를 나타내었으며 화면의 오른쪽 부분은 원 영상을 그대로 나타내었다. 그림 13에서 바로



### IV. 결 론

본 논문에서는 해상도 절감 3차원 차분 룩업 테이블의 개념에 대해서 설명하고 이의 타당성을 제시하였다. 이전의 해상도 절감 3차원 룩업 테이블에 비해서 하드웨어 구현 비용을 대폭 감축하였으며 대부분의 경우에 기존의 해상도 절감 3차원 룩업 테이블과 동일한 결과를 제공하는 것을 확인하였다. 또한 차분 룩업 테이블을 사용할 경우 기존의 기법에서 가장 복잡도가 높은 3차원 보간부의 해상도를 줄임으로써 하드웨어의 절감 효과와 더불어 고속 동작에 보다 적합한 장점이 있다.

또한 본 논문에서 제안한 하드웨어 구조는 색역폭 매핑 기법의 종류에 무관하게 실시간으로 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한 제안된 하드웨어 구조는 가능한 하드웨어 크기에 따라서 해상도를 조절할 수 있으며 하드웨어나 ASIC으로 쉽게 구현이 가능한 구조이다. 제안된 하드웨어 구조는 추후 색역 사상뿐만 아니라 색좌표 변환, 감마 변환 등 기존의 색 처리 알고리즘을 동시에 구현이 가능하여 다양한 색 신호 처리 알고리즘에 범용으로 적용이 가능한 장점이 있으며 고급 디지털 TV나 저가형 휴대 장치의 디스플레이 화질 개선에 적용될 수 있다.

본 논문의 하드웨어 구조는 실제 FPGA로 구현 시 XGA의 동작속도를 갖도록 설계하였으나 향후 ASIC으로 구현 시 180MHz 이상의 동작 속도 이상을 갖도록 쉽게 설계할 수 있는 장점이 있다. 또한 향후 차분 룩업 테이블에 효과적으로 적용할 수 있는 색역 사상 기법을 개발하면 클리핑에 의한 화질 열화 효과를 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 판단되며 향후 이러한 연구를 계속 진행할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] LeRoy DeMarsh, "Colorimetry for HDTV," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 37, no. 1, pp. 1-6, 1991.
- [2] Jerry C. Whitaker, "Video Display Engineering", McGraw-Hill, 2001.
- [3] Phil Green and Lindsay MacDonald, "Color Engineering : Achieving Device Independent Colour," Wiley SID Series in Display Technology, 2002.
- [4] Rec. ITU-R BT 709, "Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange," 2000.



(a) 원 영상 (b) 색역 사상된 영상  
(a) original image (b) gamut mapped image

그림 11 실시간 색역 사상 결과 예  
Fig. 11. An example of real-time color gamut mapping.

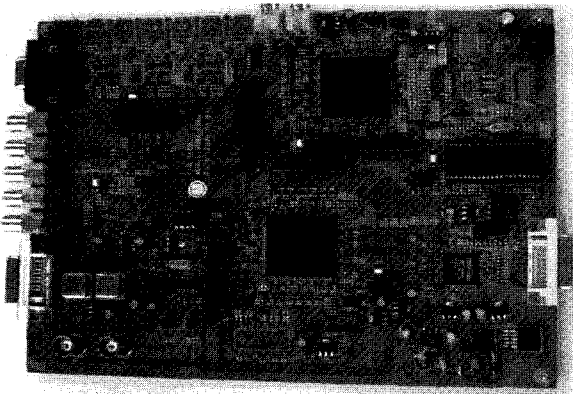


그림 12 개발된 FPGA 보드  
Fig. 12. Developed FPGA board.



그림 13 실시간 디스플레이 화면의 사진 예  
Fig. 13. A snapshot of real display image.

알 수 있는 바와 같이 색역 사상이 처리된 왼쪽 부분이 화면이 디스플레이 장치에서 재현되는 하늘이나 잔디의 색상이 훨씬 자연스럽게 표현되고 있음을 알 수 있다.

- [5] CIE, "Uniform Color Spaces - Color Difference Equations Psychometric Color Terms," Commission Internationale de L'Eclairage, Publication No. 15, Supplement No. 2, Paris, 1978.
- [6] CIE, "Colorimetry," 2nd edition. CIE Publication No. 15.2. Vienna, Austria: CIE. 1986.
- [7] Raja Bala, Ricardo deQueiroz, Reiner Eschach and Wencheng Wu, "Gamut Mapping to Preserve Spatial Luminance Variations," *Journal of Image Science and Technology*, Vol. 45, no. 5, pp.436-443, September/October 2001.
- [8] Chae-Soo Lee, Yang-Woo Park, Seok-Je Cho and Yeong-Ho Ha, "Gamut Mapping Algorithm Using Lightness Mapping and Multiple Anchor Points for Linear Tone and Maximum Chroma Reproduction," *Journal of Image Science and Technology*, Vol. 45, no. 3, pp.209-223, May/June 2001.
- [9] Hung-Shing Chen and Hiroaki Kotera, "Three-dimensional Gamut Mapping Method Based on the Concept of Image Dependence," *Journal of Image Science and Technology*, Vol. 46, no. 1, pp.44-52, January/February 2002.
- [10] B. Pham and G. Pringle, "Color Correction for an Image Sequence," *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp.38-42, 1995.
- [11] H. Haneishi, K. Miyata, H. Yaguchi and Y. Miyake, "A New Method for Color Correction in Hardcopy from CRT Images," *Journal of Image Science and Technology*, Vol. 37, no. 1, pp.30-36, 1993.
- [12] 엄진섭, 신윤철, 김문철, "광 색역 디스플레이 장치의 색역 사상에 관한 연구", *전자공학회 논문지 제 42권 SP 제2호*, pp. 69-80, 2005.
- [13] Dongil Han, "Real-Time Color Gamut Mapping Method for Digital TV Display Quality Enhancement," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 50, no. 2, pp. 691-699, 2004.
- [14] Byoung-Ho Kang, Jan Morovic, M. Ronnier Luo, and Maeng-Sub Cho, "Gamut Compression and Extension Algorithms Based on Observer Experimental Data," *ETRI Journal*, Vol. 25, no. 3, pp.156-170, 2003.

---

 저 자 소 개
 

---



한 동 일(정회원)

1988년 2월 고려대학교 전자전산공학과 졸업(학사)

1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사)

1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사)

1995년 2월~2003년 2월 LG전자 디지털 TV 연구소 책임연구원.

2003년 3월~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수

&lt;주관심분야 : 영상 처리, 컴퓨터 비전, 디지털 TV, 시스템 온 칩&gt;