

오디오 스펙트럼을 이용한 LED 감성 조명 알고리즘과 응용

정회원 장 영 범*^o, 준회원 석 상 철*

LED Emotional Lighting Algorithm and Application using Audio Spectrum

Young-Beom Jang*^o Regular Member, Sang-Chul Seok* Associate Member

요 약

이 논문에서는 오디오 신호의 스펙트럼을 가시광선 스펙트럼으로 매핑하는 감성 조명 방식을 제안한다. 인간의 청각이 인지하는 오디오 스펙트럼의 전 대역을 시각이 인지하는 가시광 스펙트럼의 전 대역으로 매핑하는 조명 알고리즘을 제안하며 특히 기본적인 선형 매핑 방식과 특정 주파수 대역을 강조하는 비선형 스펙트럼 매핑 방식에 대하여 논한다. 알고리즘의 효과를 실험하기 위하여 DSP 보드로 구현함으로써 제안된 조명 방식의 응용 가능성을 보였다. 따라서 제안된 조명 방식은 스탠드 LED 조명, 화병 LED 조명, 분수용 LED 조명, 건축물용 LED 조명, 노래방용 LED 조명, 청각 장애인용 LED 음악조명 등의 분야에 응용될 수 있을 것이다.

Key Words : emotional lighting, LED, audio spectrum, visible spectrum, psychological lighting

ABSTRACT

In this paper, efficient functions for audio spectrum mapping with visible spectrum are proposed. Through mapping overall hearing frequency band with visible frequency band, emotional lighting might be possible. We propose a basic linear mapping function and non-linear mapping functions emphasizing specific audio frequency bands. For the algorithm implementation, spectrum analysis method and filter method are introduced. Especially, in this paper, a prototype LED lighting equipment using the digital filter method is implemented. The proposed lighting method can be applied to many LED lighting area using music.

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 디스플레이 장치 뿐 아니라 조명에도 널리 이용되고 있으며, 이에 따라 LED 조명에 대한 국제표준화도 이루어지고 있다.^[1,2] 특히 최근에는 LED 조명을 감성 조명과 연계시키는 연구 결과가 발표되고 있다.^[3-5] 감성 조명이란 인간의 감성과 조명을 연계시키는 기술이며 심리조명(psychological lighting)과 생리조명(physiological lighting) 기술 등이 있다.^[6] [4]에서는 온도, 습도, 조도를 감성

조명에 연계시키는 연구가 발표되었고, [5]에서는 색 온도와 조도를 최적화하여 감성 조명에 이용하려는 연구가 발표되었다. 또한 도, 미, 술의 음계가 색채의 빨강, 초록, 파랑의 이미지와 감성적으로 연계되어 있다는 연구도 진행되었다.^[7,8] 이와 같은 음계와 색깔의 연관성에 착안하여 음악을 영상으로 변환시키는 기술인 S2V라는 소프트웨어가 개발되기도 하였다.

음악과 같은 오디오 신호는 인간의 가청주파수인 20 Hz부터 20 KHz이하의 주파수로 구성되며 이를 오디오 스펙트럼이라고 부른다. 그리고 인간의 눈에

* 상명대학교 정보통신공학과(ybjang@smu.ac.kr, silyun@smu.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-08-338, 접수일자 : 2011년 8월 4일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 12일

인지되는 전자기파를 빛 또는 가시광선이라고 부르며 770 nm부터 380 nm의 파장으로 구성된다. 이와 같은 백색광은 프리즘을 통하면 여러 가지 색깔의 단색광으로 분해되며 백색광을 구성하고 있는 여러 가지 단색광을 가시광 스펙트럼이라고 부른다. 이와 같은 가시광선 스펙트럼은 450 THz부터 790 THz의 주파수로 구성된다. 오디오 신호와 가시광선은 신호의 측면에서 관찰하면 웨이브(wave)로 해석될 수 있으며 모두 스펙트럼이라고 불리는 주파수(frequency) 성분으로 구성되어있다. 인간의 청각이 인지하는 오디오 주파수 스펙트럼과 시각이 인지하는 가시광선 주파수 스펙트럼은 감성적인 관계를 갖고 있을 것으로 추측된다. 따라서 이와 같은 오디오 스펙트럼의 전체 대역을 가시광선 스펙트럼의 전체 대역으로 매핑하여 LED를 발광시키는 조명 알고리즘이 제안되었다.^[9-11]

이 논문의 2절에서는 [9]에서 제안된 알고리즘을 바탕으로 다양한 오디오 스펙트럼 매핑 방식을 제안하고, 3절에서는 필터 방식을 사용하여 제안된 알고리즘을 구현해 본다. 4절에서는 이 논문이 제안하는 감성 조명 알고리즘을 응용할 수 있는 다양한 응용 분야를 제시하고 5절에서 결론을 맺는다.

II. 제안된 오디오 스펙트럼 매핑 방법

2.1 선형 매핑 방법

일반적으로 음악과 같은 오디오 신호는 그림 1의 가로축에서 보듯이 20 Hz부터 20000 Hz의 가청 주파수로 구성된다. 이와 같은 오디오 신호는 주파수 성분 분석을 통하여 어떤 주파수로 구성되어있는지 해석할 수 있다. 예를 들면 MP3에서는 26.12ms(1152 samples)마다 주파수 성분을 분석하여 코딩되어 있다. 오디오 신호가 스펙트럼을 갖고 있듯이 가시광선도 스펙트럼으로 구성된다. 예를 들면 백색광이 갖고 있는 스펙트럼은 프리즘을 통하여 가시광선으로 변환되어 인간의 눈으로 관찰할 수 있으며 그 주파수 대역은 그림 1의 세로축과 같다. 전체 전자파(electromagnetic wave)의 주파수에 따른 분류는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보듯이 오디오 신호의 주파수 대역은 20-20,000 Hz의 대역이고 가시광 주파수 대역은 448-790 THz의 대역이다. 즉 인간의 청각이 인지하는 신호와 시각이 인지하는 신호 모두 주파수로 구성되어 있으며 약 50억 배의 차이가 있다. 따라서 그림 1에서 보듯이 음악과 같은 오디오 신호가 연주될 때에 오디오 주파수를 가시광 주파수로 매핑하여 조명을 연주하면 감성적인 조명을 만들 수 있을 것이다.

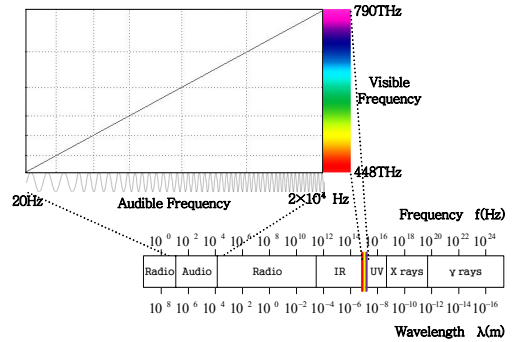


그림 1. 주파수에 따라 분류한 전자파 대역

즉 음악이 연주되고 있을 때에 자동적으로 조명이 반응되는 방법을 제안한다. 특히 저전력 조명이 가능하고 다양한 색깔의 구현이 가능한 LED(Light Emitting Diode)의 상용화로 다양한 감성 조명이 가능해졌다. 그림 1에서 보듯이 20-20,000 Hz의 오디오 주파수를 448-790 THz의 오디오 주파수로 매핑하는 방법을 제안한다.

그림 1에서 보듯이 가시광선의 파장은 약 750~380nm이다. 가시광선은 파장에 따라 각각의 색깔로 나타나며 빨강색으로부터 보라색으로 갈수록 파장이 짧아진다. 이 논문에서는 파장에 따라서 6가지의 색깔을 다음과 같이 정의한다. 즉 빨강색의 단색광은 670~620nm, 620~570nm는 주황, 570~530nm는 노랑, 530~480nm는 초록, 480~430nm는 파랑, 430~380nm의 파장은 보라색으로 정의한다. 이와 같은 각각의 파장을 갖고 있는 단색광의 주파수를 계산하면 다음과 같다. 즉 모든 가시광선의 속도는 일정하게 30만 km($3 \times 10^8 m$)이므로 670nm 파장의 빨강색의 주파수는 속도를 670nm($650 \times 10^{-9} m$)로 나누면 448 THz의 주파수를 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 파장에 따른 주파수를 분류하면 표 1과 같다.

이제 20-20,000 Hz의 오디오 스펙트럼을 6개의 가시광선 스펙트럼에 선형적으로 매핑하는 방법을 제안

표 1. 가시광선의 파장에 따른 주파수 분류

색깔	파장(nm)	주파수(THz)
빨강(red)	670-620	448-484
주황(orange)	620-570	484-526
노랑(yellow)	570-530	526-566
초록(green)	530-480	566-625
파랑(blue)	480-430	625-698
보라(purple)	430-380	698-790

한다. 이 선형 매핑은 오디오 신호의 주파수가 0부터 20 KHz까지 균일하게 분포하는 경우에 적당한 방법이다. 0부터 20 KHz의 오디오 스펙트럼을 448-790 THz의 가시광선 스펙트럼으로 선형 매핑하면 그림 2와 같다. 가시광선 주파수로 선형 매핑하는 식은 다음과 같다.

$$F = (F_{\max} - F_{\min}) \frac{f}{f_{\max}} + F_{\min} \quad (1)$$

이 식에서 f 는 0에서 20 KHz의 입력 오디오 주파수이며, f_{\max} 는 입력 오디오 주파수의 최대값인 20 KHz이다. 또한 F 는 출력 가시광선 주파수이며, F_{\min} 과 F_{\max} 는 각각 출력 주파수의 최소값과 최대값인 448 THz와 790 THz이다. 식 (1)을 이용하여 입력 오디오 주파수를 출력 가시광선 주파수로 선형 매핑한 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 출력 가시광 주파수는 고정된 값이며 이에 해당하는 오디오 주파수 대역을 나타내고 있다.

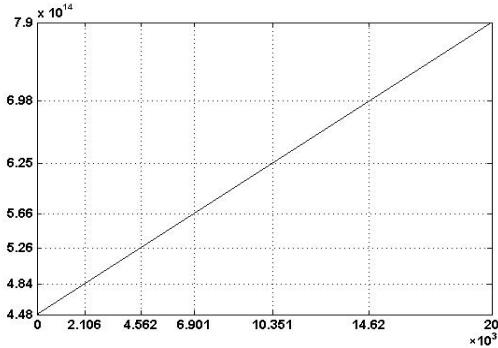


그림 2. 오디오 주파수와 가시광선의 주파수의 선형 매핑

표 2. 오디오 주파수와 가시광선 주파수의 선형 매핑 표

Output visible freq(THz)	Input audio freq(KHz)
448-484 (red)	0 - 2.106
484-526 (orange)	2.106 - 4.562
526-566 (yellow)	4.562 - 6.901
566-625 (green)	6.901 - 10.351
625-698 (blue)	10.351 - 14.620
698-790 (purple)	14.62 - 20.0

2.2 비선형 매핑 방법

음악과 같은 오디오 신호의 주파수 성분을 조사해 보면 전 대역에 대하여 주파수가 균일하게 분포되어

있지 않다. 즉 10 KHz 미만의 주파수 성분이 대부분을 차지하는 경우가 많으므로 선형 매핑을 사용하면 파랑색이나 보라색의 조명은 거의 나타나지 않는다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 오디오 신호를 가시광선 주파수로 매핑할 때 비선형으로 매핑하는 것이 효율적이다. 이러한 비선형 매핑으로서 저역 주파수가 대부분인 오디오 신호에 대한 비선형 매핑 방법을 제안한다. 일반적으로 음성 신호가 많이 포함된 오디오 신호는 저역 스펙트럼이 많으므로 그림 3과 같은 Rayleigh 분포의 pdf (probability density function)를 가정할 수 있다.

이와 같은 저역 오디오 신호에 대한 주파수 매핑으로서 다음과 같은 비선형 매핑의 방정식을 제안한다.

$$F = (F_{\max} - F_{\min}) \frac{\ln(1 + \mu \frac{f}{f_{\max}})}{\ln(1 + \mu)} + F_{\min} \quad (2)$$

이 식에서 μ 는 비선형 정도를 나타내는 변수로서 $2^N - 1$ 의 값을 사용한다. 여기에서 N 은 1 이상의 정수를 사용한다. 즉 $N=2$ 를 사용하면 μ 는 3이 되고, $N=3$ 을 사용하면 μ 는 7이 된다. 나머지 변수들은 식 (1)에서 정의한 것과 같다. 저역 주파수 강조 비선형 매핑은 μ

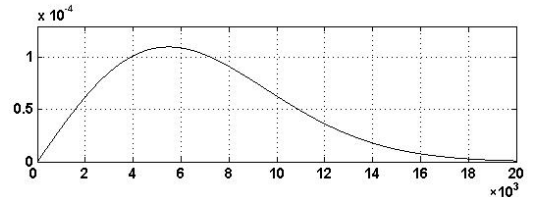


그림 3. 저역 오디오 신호의 pdf

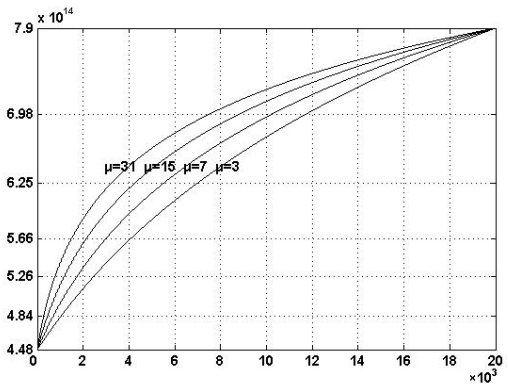


그림 4. μ 에 따른 저역 주파수 신호의 비선형 매핑 곡선

에 따라 비선형 정도를 조절할 수 있도록 하였다. 이와 같이 μ 에 따라 매핑되는 주파수의 대역이 달라지며 식 (2)의 비선형 매핑을 사용한 결과는 그림 4와 표 3과 같다.

출력 주파수 526-566 THz인 노랑색 조명 대역을 살펴보면 μ 의 값이 3일 때 2.480-4.089 KHz에 매핑되며, μ 의 값이 7일 때는 1.734-2.998 KHz, μ 의 값이 15일 때는 1.176-2.137 KHz, 마지막으로 μ 의 값이 31일 때는 0.777-1.488 KHz로 매핑된다. 즉 μ 의 값을 크게 할수록 저역 주파수의 신호일지라도 6가지 가시광선 조명이 모두 나타나도록 매핑할 수 있다.

표 3. μ 에 따른 저역 주파수 신호의 비선형 매핑 표

출력 주파수 (THz)	입력주파수(KHz)			
	$\mu=3$	$\mu=7$	$\mu=15$	$\mu=31$
448 - 484	0 - 1.048	0 - 0.70	0 - 0.452	0 - 0.285
484 - 526	1.048 - 2.480	0.70 - 1.734	0.452 - 1.176	0.285 - 0.777
526 - 566	2.480 - 4.089	1.734 - 2.998	1.176 - 2.137	0.777 - 1.488
566 - 625	4.089 - 6.995	2.998 - 5.525	2.137 - 4.265	1.488 - 3.234
625 - 698	6.995 - 11.7	5.525 - 10.208	4.265 - 8.785	3.234 - 7.482
698 - 790	11.7 - 20.0	10.208 - 20.0	8.785 - 20.0	7.482 - 20.0

III. 제안된 알고리즘을 사용한 음악 감성 조명기구 구현

LED 조명에 사용되는 음악은 44.1 KHz로 샘플링된 디지털 오디오 신호를 사용하기로 한다. 지난 절에서 제안한 입력 오디오 신호 주파수에 대한 출력 가시광선 주파수 매핑 방법을 구현하는 방법은 주파수 분석기를 사용하는 방법과 디지털 필터를 사용하는 방법이 가능하다. 주파수 분석기 방법은 FFT를 사용하여 주파수 영역에서 처리하는 방식이며, 디지털 필터 방법은 디지털 필터를 사용하여 시간 영역에서 처리하는 방식이다.

이 절에서는 디지털 필터를 사용하는 방법을 구현한다. 이 방식의 전체 블록도는 그림 5와 같다.



그림 5. 필터를 사용한 LED 조명기 블록도

이 방식의 구현에서 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑 등 5개의 LED를 사용하였으며 반드시 5개의 색깔을 사용할 필요는 없다. 5개의 LED 광원을 사용하므로 5개의 필터를 사용하여 주파수를 분리하게 되며 각각의 필터 통과대역은 표 4와 같이 설계하였다.

연속되는 오디오 신호에 대하여 5개의 필터를 사용하여 필터링한 후에, 각각의 필터 출력에 대하여 10ms 마다 RMS 값을 계산한다. 이 RMS 값이 5가지 LED의 밝기를 조정하도록 제한한다. 이와 같은 디지털 필터 방식을 DSP를 사용하여 보드로 제작하였으며 제작된 보드는 그림 6과 같다.

그림 6의 보드에서는 LINE IN으로 오디오 신호가 입력되면 내장된 DSP 필터가 동작하여 LED 제어 신호가 출력되도록 설계하였다. 부가적으로 이 보드에서 볼륨 제어와 뮤트(mute) 기능을 추가하였다. 이 보드를 사용한 전체 구현 시스템은 그림 7과 같다. 그림 6의 보드의 출력은 그림 7의 LED lighting 보드로 입력되어 5가지 색깔의 LED의 광량을 제어하는데 사용하였다.

그림 7의 시스템은 음악 소스용 스마트 폰, 조명제어용 DSP 보드, LED 조명 보드, 스피커 등으로 구성하였다. 스마트 폰으로부터 입력되는 오디오 신호는

표 4. μ 에 따른 저역 주파수 신호의 비선형 매핑 표

필터	통과대역(KHz)	RMS 값	색깔의 세기
필터1	0.0 - 0.4	28	빨강 14
필터2	0.4 - 1.0	17	노랑 8
필터3	1.0 - 2.5	12	초록 5
필터4	2.5 - 6.25	21	파랑 11
필터5	6.25 - 20.0	9	보라 4

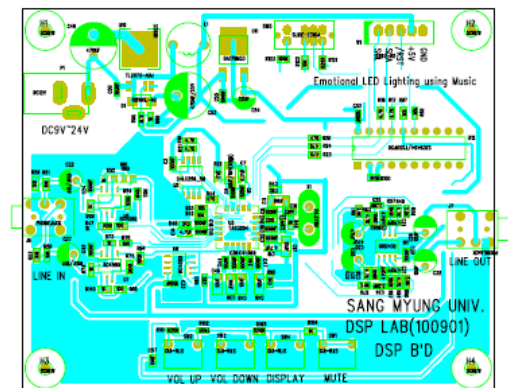


그림 6. 필터방식 DSP 보드

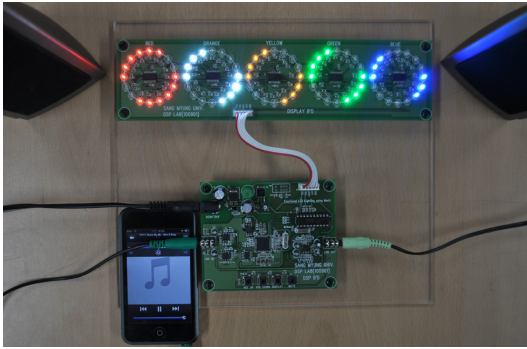


그림 7. 제안된 방식의 구현

조명제어용 DSP 보드에서 처리되어 LED 조명보드를 제어하도록 설계하였으며, 바이패스된 오디오 출력이 스피커로 입력되도록 하였다. 이 시스템을 구동하여 실제로 다양한 음악을 감상해 본 결과 단지 음악만 들을 때와는 다른 느낌을 받을 수 있었다. 이와 같은 감성의 변화를 논문에 표현하기는 어렵지만 제안된 알고리즘의 실용화 가능성은 있음을 알게 되었다. 앞으로 다양한 응용 분야의 프로토타입을 제작해 봄으로써 실용화 가능성을 입증하기로 한다.

제작된 LED 조명 보드는 각 색깔의 밝기를 0에서 16까지 제어하도록 설계하였다. 즉 그림 7에서 하나의 색깔에 대하여 16개의 LED를 사용하여 밝기를 제어하였다. 각각의 LED 색깔에 대하여 1개의 LED 만

을 사용하여 밝기를 제어해도 된다. 또한 색깔의 위치를 분리하여 구현할 필요는 없으며, 여러 가지 색깔의 LED를 한 곳에 위치시켜 색깔이 섞이도록 구성할 수 있다.

IV. 제안된 음악 감성 조명의 응용 분야

제안된 감성 조명 방식은 다양한 분야에서 응용될 수 있다. 음악을 들을 때에 조명을 연계할 수 있는 응용 분야로는 그림 8에서 보듯이, LED 스탠드 조명, LED 화병 조명, 분수용 LED 조명, 건축물용 LED 조명, 노래방용 LED 조명, 문화 공간 조명 등을 예상할 수 있다.

그림 8의 LED 스탠드 응용 분야에서는 이미 여러 가지 모드를 제공하는 스탠드가 상용화되었다. 즉 휴식 모드, 수학공부용 모드 등이 제공되어 상황에 맞게 조명의 색상이 변화하는 제품이다. 이 논문에서 제안된 방식이 추가되면 음악을 들을 때에 음악에 반응하는 조명을 제공할 수 있다. 분수 응용 분야에서도 이미 음악과 연계한 조명이 사용되고 있다. 그러나 기존의 음악 분수 조명은 조명을 설계하는 설계자가 음악과 어울리도록 조명을 창작하는 방식이다. 제안된 방식을 사용하면 어떤 음악이 연주되더라도 자동으로 분수의 조명을 제어할 수 있게 된다.



(a) LED 스탠드 (송백테크)

(b) LED 화병 스탠드 (엑스투로즈)

(c) 분수조명 (휴먼엘이디)

(d) 건물 조명 (에세라이트)

(e) 노래방 조명 (영특수조명)

(f) 문화공간 조명 (kring)

그림 8. 제안된 LED 음악 조명의 응용 가능 분야 (자료출처 : 네이버, LED Mall)

기존 노래방 조명은 음악이 연주될 때에 여러 가지 색깔의 조명이 동시에 플레이된다. 이 경우에 제안된 방식을 사용하여 연주되는 노래의 주파수와 연계된 조명이 점등되면 또 다른 느낌을 받을 수 있을 것이다. 또한 청각장애인용 음악조명도 가능하다. 청각장애인은 음악을 인지하기 위하여 큰 스피커에서 나오는 소리를 청음실의 마루를 통하여 전달되는 바닥의 떨림으로 느끼기도 한다. 이와 같은 청각장애인은 눈을 통하여 음악의 느낌을 인지할 수 있을 가능성이 있기 때문이다.

V. 결 론

이 논문에서는 오디오 신호의 스펙트럼을 가시광선 스펙트럼으로 매핑하여 LED를 조명하는 다양한 매핑 방법을 제안하였다. 매핑하는 방법으로서 기본적인 선형 매핑 방식과 저주파수 대역을 강조하는 비선형 매핑 방식을 제안하였으며, 제안된 알고리즘을 디지털 필터 방식을 사용하여 구현해 보았다. 제안된 조명 방식은 앞으로 스탠드 LED 조명, 화병 LED 조명, 분수용 LED 조명, 건축물용 LED 조명, 노래방용 LED 조명, 청각 장애인용 LED 음악조명 등의 분야에 응용될 수 있을 것이다. 제안된 조명 방식은 오디오 신호의 스펙트럼만을 이용하여 가시광 신호를 만들어 내는데, 앞으로 연구를 통해 color temperature 등의 다양한 감성 인자를 포함시키는 연구가 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 김태훈, "LED조명의 수명평가 및 국제표준," *대한전자공학회지*, 제37권 제2호, pp.40-46, 2010년 2월.

[2] 조성재, 이성민, 문철홍, "zigbee 통신을 이용한 LED 조명 제어 시스템 구현," *대한전자공학회 하계학술대회* 제31권 제1호, pp.323-324, 2008년 6월.

[3] 노시청, "감성조명의 이해," *한국디자인학회 학술발표대회 논문집*, pp.86-87, 2005년.

[4] 이재홍, 박주원, 임진강, 이상배, "선박용 감성조명 LED 제어기의 설계 및 구현," *한국항해항만학회지*, 제34권 제10호, pp.763-768, 2010년.

[5] 박양재, 최중현, 장명기, "감성조명용 조명기기의 조도 및 색온도 시뮬레이션을 통한 광원 조합의 최적화," *한국콘텐츠학회논문지*, 제9권 제8호, pp.248-254, 2009년.

[6] 유영문, "LED 시장 및 기술 동향," *대한전자공학회지*, 제37권 제2호, pp.24-39, 2010년 2월.

[7] Roads, Curtis. "Computer Music Tutorial," The MIT Press, 1996.

[8] O'Sullivan, Dan "Physical Computing," Thomson, 2004.

[9] 장영범, 최병주, "음악을 사용한 LED 감성 조명," *한국공학예술학회논문지*, 제2권 제1호, pp.5-12, 2010년 8월.

[10] 장영범, 장해린, 최병주, 최한묵, 유재욱, 석상철, "오디오 신호를 사용한 LED 조명기," *한국공학예술학회 학술대회 논문집*, 제8권 제1호, pp. 62-65, 2010년 10월.

[11] 장영범, "오디오 스펙트럼과 가시광 스펙트럼 매핑을 통한 감성 조명 장치 및 방법," *특허출원(출원번호 10-2010-0109035)*, 출원일자 2010년 11월 4일.

장 영 범 (Young-beom Jang)

정회원



1981년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1990년 Polytechnic University 대학원 졸업(공학석사)
 1994년 Polytechnic University 대학원 졸업(공학박사)
 1983~1999년 삼성전자 System LSI 사업부 수석연구원

2000년~2002년 이화여자대학교 정보통신학과 교수
 2002년~현재 상명대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> 통신신호처리, 비디오신호처리, SoC설계

석 상 철 (Sang-chul Seok)

준회원



2010년 2월 상명대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2010년 3월~현재 상명대학교 대학원 컴퓨터정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 통신신호처리, SoC 설계