



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2010년 8월
석사학위논문

명암비 향상 필름을 채용한 플라즈마
디스플레이 패널의 고스트 현상 및
명실 명암비 측정 시스템 모델링에
관한 연구

조선대학교 대학원

광기술평학과

범태원

명암비 향상 필름을 채용한 플라즈마
디스플레이 패널의 고스트 현상 및
명실 명암비 측정 시스템 모델링에
관한 연구

Study of Ghost Phenomenon Induced by Contrast
Enhancement Film and Modeling of a Bright-Room
Contrast Ratio Measurement System for Plasma
Display Panels

2010년 8월 25일

조선대학교 대학원

광 기 술 공 학 과

범 태 원

명암비 향상 필름을 채용한 플라즈마
디스플레이 패널의 고스트 현상 및
명실 명암비 측정 시스템 모델링에
관한 연구

지도교수 박 종 락

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2010년 4월

조선대학교 대학원

광 기 술 공 학 과

범 태 원

범 태 원의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김진태 인

위원 한국광기술원 박사 장원근 인

위원 조선대학교 교수 박종락 인

2010년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제1장 서 론	1
제2장 조명 광학계	3
제1절 조명광학 이론	3
1. 복사 측정학과 광도 측정학	3
2. 광도 측정학의 단위	3
제2절 명암비 향상 필름	9
제3장 PDP용 명암비 향상 필름에 의해 발생하는 고스트 현상 분석	15
제1절 고스트 현상	15
1. 굴절률 차이에 의한 고스트 현상	15
2. 필름 방향에 따른 고스트 현상	16
제2절 결상 광학 시스템 설계	22
제3절 결과 및 논의	27
제4장 명암비 향상 필름을 채용한 PDP의 명실 명암비 측정 시스템 모델링	38
제1절 명실 명암비 및 측정 표준	38
1. 명실 명암비	38
2. 측정 표준	39

제2절 명실 명암비 측정 시스템 모델링	41
1. 명실 명암비 측정 시스템 구성	41
2. 명실 명암비 측정 시스템 모델링 과정	42
3. 모델 변수값 결정	43
4. 명암비 향상 필름 모델링	44
제3절 결과 및 논의	55
제5장 결론	59
[참고문헌]	60
[감사의 글]	63

그림 목차

그림. 2.1 전자기파 스펙트럼	8
그림. 2.2 PDP 필터의 구성 및 기능	11
그림. 2.3 명암비 향상 필름이 부착된 일반적인 PDP 필터	12
그림. 2.4 명암비 향상 필름의 단면도	13
그림. 2.5 일반적인 BS의 형상	14
그림. 3.1 평행광을 이용한 명암비 향상 필름($\Delta n > 0$)의 광선 추적도	18
그림. 3.2 평행광을 이용한 명암비 향상 필름($\Delta n < 0$)의 광선 추적도	19
그림. 3.3 명암비 향상 필름($\Delta n < 0$)의 부착 방향A에 대한 광선 추적도	20
그림. 3.4 명암비 향상 필름($\Delta n < 0$)의 부착 방향B에 대한 광선 추적도	21
그림. 3.5 고스트 영상 결상에 사용된 두 가지 형태의 광원	24
그림. 3.6 고스트 영상 결상 광학계 설계를 위해 선정된 기본 광학계	25
그림. 3.7 최적화된 고스트 영상 결상 광학계의 구성도 및 각 필드별 스폿 다이어그램	32
그림. 3.8 명암비 향상 필름의 구조 변수	32
그림. 3.9 고스트 영상 결상 시뮬레이션의 구성도	33
그림. 3.10 환형 광원을 이용한 고스트 영상 결상 시뮬레이션 결과	34
그림. 3.11 직사각형 광원을 이용한 고스트 영상 결상 시뮬레이션 결과	35
그림. 3.12 필름 부착 방향 A에 대한 고스트 영상 조도 분포	36
그림. 3.13 필름 부착 방향 B에 대한 고스트 영상 조도 분포	37
그림. 4.1 명실 명암비 측정 시스템 구성도	48
그림. 4.2 T-10 및 CS-2000의 외관	49
그림. 4.3 모델링된 명실 명암비 측정 시스템의 구성도	50
그림. 4.4 색보정 필름이 부착된 명암비 향상 필름	51

그림. 4.5	과녁 변수와 모델 변수를 이용한 매칭 시뮬레이션 과정	52
그림. 4.6	각 모델 변수에 대한 매칭 시뮬레이션 결과	53
그림. 4.7	모델링된 명암비 향상 필름의 단면도	54
그림. 4.8	명암비 향상 필름을 채용한 PDP 모듈의 명실 명암비 측정값과 시뮬레이션 결과 값의 비교	58

표 목차

표 2.1 광도 측정학에 사용되는 기본 단위계	6
표 2.2 복사 측정학에 사용되는 기본 단위계	7
표 3.1 시뮬레이션에 사용된 명암비 향상 필름의 Δn 에 따른 굴절률 값	30
표 3.2 고스트 영상의 총 광속값 (필름 부착 방향 B, $\Delta n = 0$ 의 총 광속값에 대한 상대치로 계산한 결과임.)	31
표 4.1 IEC 61988 2-2에서 명시한 PDP 명실 명암비 측정 표준 관련 주요 내용	40
표 4.2 과녁 변수, 모델 변수 및 실험 조건	46
표 4.3 시뮬레이션에 사용된 명암비 향상 필름의 구조 변수	47
표 4.4 명암비 향상 필름을 채용한 PDP 모듈의 명실 명암비 측정값과 시뮬레이션 결과값	57

ABSTRACT

Study of Ghost Phenomenon Induced by Contrast Enhancement Film and Modeling of a Bright-Room Contrast Ratio Measurement System for Plasma Display Panels

By Tae Won Beom

Advisor : Prof. Jong-Rak Park, Ph.D.

Department of Photonic Engineering

Graduate School of Chosun University

In this thesis, we have studied the ghost image phenomenon of plasma display panels (PDPs) adopting a contrast enhancement film (CEF) and performed the modeling and simulation of a bright-room contrast ratio (BRCR) measurement system by using an illumination design tool. First, an imaging optical system was designed and used for simulating the ghost image phenomenon. The ghost image phenomenon is strongly affected by the film orientation relative to the PDP module and the difference between the

refractive index of the ultraviolet (UV) curable layer and that of the black stripes (BSs). We have found that when the top side of the BSs faced the PDP module and the refractive index difference was small, the ghost image phenomenon was weakened.

Next, a simple model of the BRCR measurement system was developed on the basis of the International Electrotechnical Commission (IEC) measurement standard. In the model, only four model parameters were used: flux of fluorescent lamps, scattering rate of the PDP module, illuminance of the white pattern, and absorption coefficient of the color adjusting film (CAF). The values of the model parameters were determined by matching simulations, and the model was employed for simulating the BRCR values of the PDP module in the case of four different CEF samples. The simulated results were found to be in agreement with the experimental results within an error of about 10%.

The results of the ghost image simulations reported in this thesis will provide useful fundamental information for CEF design. In addition, the model developed in this study can be utilized for the development of high-performance CEFs through optimization of the optical and structural parameters.

제1장 서 론

현재 디스플레이 산업은 급속한 발전을 이루며 종래 브라운관(CRT) 위주에서 탈피하여 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD), 플라즈마 디스플레이(Plasma display panel, PDP), 유기 발광 다이오드(Organic Light-Emitting Diode, OLED) 등 차세대 디스플레이 장치를 주축으로 하는 최첨단 산업으로 변모하고 있다. LCD는 고휘도의 영상 구현이 가능하고 소비전력이 상대적으로 작은 장점이 있어 네비게이션 및 휴대폰과 같은 모바일 디스플레이(Mobile display), 노트북(Laptop computer), 프로젝터, TV 등 다양한 분야에 사용되고 있다.^[1] 한편, PDP는 자체 발광형 디스플레이 소자로서, 고휘도, 넓은 시야각, 고명암비 등 우수한 광학적 특성을 갖고 있기 때문에 차세대 디스플레이 장치로 큰 관심을 받아왔으며, LCD와 오랜 경쟁 관계에 있었다.^[2-3] 최근에는 3D TV에 대한 관심이 높아지면서 대면적, 고응답속도의 장점 때문에 재 주목받고 있다.

PDP는 일반적으로 광학적 특성 및 기타 성능 향상을 위해 전자파 차폐, 자외선 광(Ultra-violet light) 차폐, 적외선 광(Infra-red light) 차폐, 명암비 향상, 색보정 등 다양한 기능을 갖는 기능성 필름을 채택하고 있다.^[4-5] 최근에는 보편적인 사용 환경을 고려해 높은 명실 명암비 특성을 갖는 디스플레이 장치가 요구되고 있으며, 이에 따라 명암비 향상 필름 등 PDP 명암비 향상을 위한 광학 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[6]

본 논문에서는 PDP용 명암비 향상 필름을 사용함에 따라 발생하는 고스트 현상에 대해 분석 하였고, 시뮬레이션을 통해 PDP의 명실 명암비를 쉽게 예측할 수 있도록 명실 명암비 측정 시스템을 모델링 하였다. 제 2장에서는 조명광학과 관련된 기본 광학 이론을 설명하였고, 본 논문의 주제인 명암비 향상 필름의 일반적인 구조에 대해 소개하였다. 제 3장에서는 먼저 명암비 향상 필름의 굴절률 구조 및 부착 방향에 따른 고스트 경향에 대해 정성적으로 논의 하였다. 그 다음 명암비 향상 필름의 사용에 따른 고스트 현상에 대해 좀 더 상세히 살펴보기 위해 결상 광학계를 모델링 하였고, 조명 광학 설계 프로그램을 이용하여 고스트 현상에 대해 정성적 및 정량적으로 분석하였다. 제 4장에서는 명실 명암비 측정

시스템에 대해 소개 하였고, 서로 다른 구조를 갖고 있는 4종의 명암비 향상 필름을 제작 하여 이를 채용한 PDP 모듈의 명실 명암비를 실험적으로 측정 하였다. 명실 명암비 측정 시스템을 모델링하였고 명실 명암비에 대한 시뮬레이션을 수행하여 실험 결과와 비교하였다. 제 5장에서는 본 논문의 연구내용을 요약하여 정리 하였고, 연구 결과의 활용 방안을 제시하였다.

제2장 조명광학계

제1절 조명 광학 이론

1. 복사 측정학과 광도 측정학

빛을 측정 하는 방법은 크게 복사 측정학(Radiometry)과 광도 측정학(Photometry)으로 나뉜다. 복사 측정학은 전 파장 영역에서의 전자기파 복사(Electromagnetic radiation) 에너지를 측정하는 분야이다.^[7] 광도 측정학은 사람의 눈으로 인지 할 수 있는 가시광선(Visible light, 380 nm ~ 780 nm) 영역에서의 복사 에너지를 측정하는 분야이다.^[7] 복사 측정학과 광도 측정학의 기본단위는 각각 와트(W)와 루멘(lm)이 사용된다. 특히 루멘은 눈의 상대 분광 감도 곡선(Relative spectral sensitivity)에 의해 결정 된다.^[8] 그림 2.1은 전자기파의 스펙트럼을 보여준다. 그림 2.1의 상단 그림은 복사 측정학에서 다루는 감마선(Gamma rays), X선(X-rays), 자외선, 가시광선, 적외선 영역을 나타내며, 하단 그림은 광도 측정학에서 다루는 가시광선 영역을 보여준다.

2. 광도 측정학의 단위

가. 광속(Luminous Flux)

광속은 사람 눈의 시각 특성을 고려한 전자기파의 단위 시간당 전달 에너지를 의미하며 단위는 lm을 사용한다. 보통 ‘ Φ ’로 표기한다. 1 광속(1 lm)은 점광원으로부터 1 광도(1 cd)의 빛이 1 입체각(1 sr)으로 방사될 경우의 광량과 같다.

나. 조도(Illuminance)

조도는 광원으로부터 발산된 빛이 특정 영역에 입사 하였을 때, 단위 면적당

광속을 의미하며 단위는 lx(1 lx = 1 lm/m²)가 쓰인다.^[9] 보통 ‘E’로 표기한다. 면적 A[m²]를 갖는 영역에 균등하게 투사되는 Φ 의 광량이 입사하였다면 입사 영역의 단위 면적당 광속, 즉 조도는 다음과 같이 표현된다.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

다. 광도(Luminous Intensity)

광도는 광원으로부터 발산되는 단위 입체각(Solid angle, 단위: sr) 당 광속의 세기를 의미하며 단위는 cd(1 cd = 1 lm/sr)를 사용한다.^[9] 보통 ‘I’로 표기한다. 특정 방향에 위치한 입사 영역의 면적을 A라 하고, 점광원으로부터 입사 영역까지의 거리를 r이라고 할 때 입체각 ‘ Ω ’와 광도 ‘I’는 다음과 같이 표현된다.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.2)$$

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2.3)$$

라. 휘도(Luminance)

휘도는 단위 면적당 단위 입체각당 광속을 의미하며, 단위는 nit(1 nit = 1 cd/m²)를 사용한다.^[9] 보통 ‘L’로 표기한다. 휘도는 사람의 눈으로 인지하는 발광체의 밝기에 가장 근접하는 광도 측정 단위로 알려져 있다. 광원의 면적을 A, 광원에서 발산하는 빛의 입체각을 ‘ Ω ’라 할 때, 광원의 휘도 ‘L’은 다음과 같이 표현된다.

$$L = \frac{\Phi}{A \times \Omega} \quad (2.4)$$

마. 단위 요약

가 ~ 라의 설명을 통해 광도 측정학에서 기본적으로 사용되는 광속(lm), 조도(lx, lm/m²), 광도(cd, lm/sr), 휘도(nit, lm/sr/m²)에 대해 알아보았고, 수식을 통해 각 단위들은 서로 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수 있었다. 광도 측정학에서 사용되는 기본 단위를 표 2.1에 요약하였다.^[10]

광도 측정학의 광속에 대응하는 복사 측정학의 물리량을 복사속이라 하며 W(1 W = 1 J/s)를 기본단위로 사용한다. 복사 측정학에서도 단위 면적당 복사속의 세기(W/m²), 단위 입체각당 복사속의 세기(W/sr), 단위 면적당 단위 입체각당 출사하는 복사속의 세기(W/sr/m²)가 광도 측정학과 동일한 방법으로 정의되어 있으며 각각 복사조도, 복사광도, 복사휘도라 한다. 표 2.2는 복사 측정학에서 사용되는 기본 단위계를 정리한 것이다.^[10]

표 2.1 광도 측정학에 사용되는 기본 단위계

용어	단위	의미
광속	lm	사람 눈의 시감특성을 고려한 전자기파의 단위 시간당 전달 에너지
조도	lx (lm/m^2)	단위 면적당 광속
광도	cd (lm/sr)	단위 입체각당 광속
휘도	nit ($\text{lm}/\text{m}^2/\text{sr}$)	단위 면적당 단위 입체각당 광속

표 2.2 복사 측정학에 사용되는 기본 단위계

용어	단위	의미
복사속	W	단위 시간당 전자기파의 전달 에너지
복사조도	W/m ²	단위 면적당 복사속
복사광도	W/sr	단위 입체각당 복사속
복사휘도	W/m ² /sr	단위 면적당 단위 입체각당 복사속

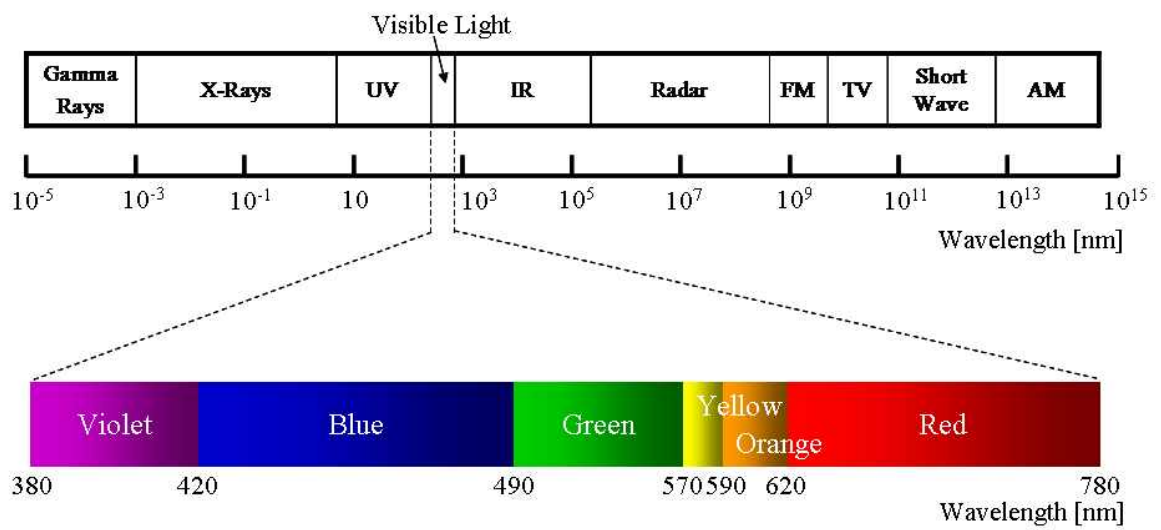


그림 2.1 전자기파의 스펙트럼.

제2절 명암비 향상 필름

다양한 디스플레이 장치 중에서 PDP는 높은 명암비, 넓은 시야각, 고휘도, 낮은 제조 가격 등의 특징을 갖기 때문에 차세대 디스플레이 장치로서 많은 관심을 받고 있다. PDP는 플라즈마 상태의 기체를 갖는 다수의 발광셀로부터 사람이 인식할 수 있는 가시광을 발생시켜 정보를 전달하기 때문에 자발 방출 특성을 갖는다. PDP는 그림 2.2와 같이 PDP내부의 구조적인 문제로부터 발생하는 유해 전자파, 근적외선, 네온광 방사 등의 문제점을 해결하기 위해 전자파 차폐 필터(EMI filter), 근적외선 차폐 필터(NIR filter), 색보정 필름(Color adjusting film)등 다양한 구조의 필름을 사용한다. 동시에 무반사 필름(AR coating film), 명암비 향상 필름(Contrast enhancement film)을 이용하여 PDP의 광학적 특성을 향상 시킬 수 있다.

PDP는 우수한 광학적 성질을 갖고 있는 반면에 명실 명암비가 낮은 특성이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해서 명암비 향상 필름을 일반적으로 채용하고 있다. 명암비 향상 필름은 블랙 스트라이프(Black stripe, BS)를 사용하여 외부광을 흡수하는 동시에 내부 전반사를 이용하여 PDP광원의 투과율을 향상시키기 때문에, PDP의 고휘도 및 높은 명실 명암비를 실현 할 수 있다. 그림 2.3은 명암비 향상 필름을 포함한 PDP 필터의 모습을 보여준다. 그림 우측에 위치한 사다리꼴 형상(검정색)은 BS의 일반적인 모습을 보여준다.

그림 2.4는 일반적인 PDP용 명암비 향상 필름의 단면도를 보여준다. 명암비 향상 필름은 그림과 같이 BS를 포함한 자외선 경화층(Ultra-violet curable resin layer)과 기저필름(Base film)으로 구성되어 있다. 자외선 경화층중 BS를 제외한 나머지 부분은 PDP 내부에서 외부로 출사하는 빛이 통과 할 수 있는 투과부 역할을 담당한다. BS는 광 흡수 물질인 카본 블랙(Carbon black)을 포함하고 있어 외부광을 효과적으로 흡수할 수 있으나, 구조적으로 내부에서 출사하는 빛 또한 흡수하기 때문에 내광 투과 및 외광 흡수를 동시에 고려한 최적 구조설계가 필수적이다.

PDP용 명암비 향상 필름은 고휘도의 광학적 특성을 유지하기 위해 내부광에 대

해서 높은 투과율을 보여야 하며, 외광이 강한 실내에서도 높은 명암비를 얻기 위해서는 반대로 높은 흡수 성능을 나타내야 한다. 명암비 향상 필름의 내광투과 및 외광 흡수 효율은 BS의 구조 변수에 따라 큰 차이를 보인다. 그림 2.5는 명암비 향상 필름에 적용된 BS의 일반적인 형상을 보여준다. 그림 2.5(a)와 (b)는 각각 삼각형, 사다리꼴 모양의 BS를 보여주고 있으며 사각으로 입사하는 외부광을 효율적으로 흡수하고 사면에서의 반사를 이용하여 내광 투과율을 향상 시킬 수 있는 구조이다. 그림 2.5(c) 직사각형 형태의 BS는 제작이 어렵고 내광 투과율이 저하되는 단점이 있으나, BS의 부피비 증대를 통해 외광 흡수율을 향상 시킬 수 있는 구조이다. 본 논문에서는 그림 2.5(b) 모델을 기준으로 연구를 진행 하였다. 제작 및 모델링한 모든 명암비 향상 필름은, 자외선 경화층으로 자외선 경화 우레탄 아크릴레이트(UV curable urethane acrylate) 물질을 사용하였고, 기저 필름으로는 투명 PET(Polyethylene terephthalate film) 필름을 사용하였다.

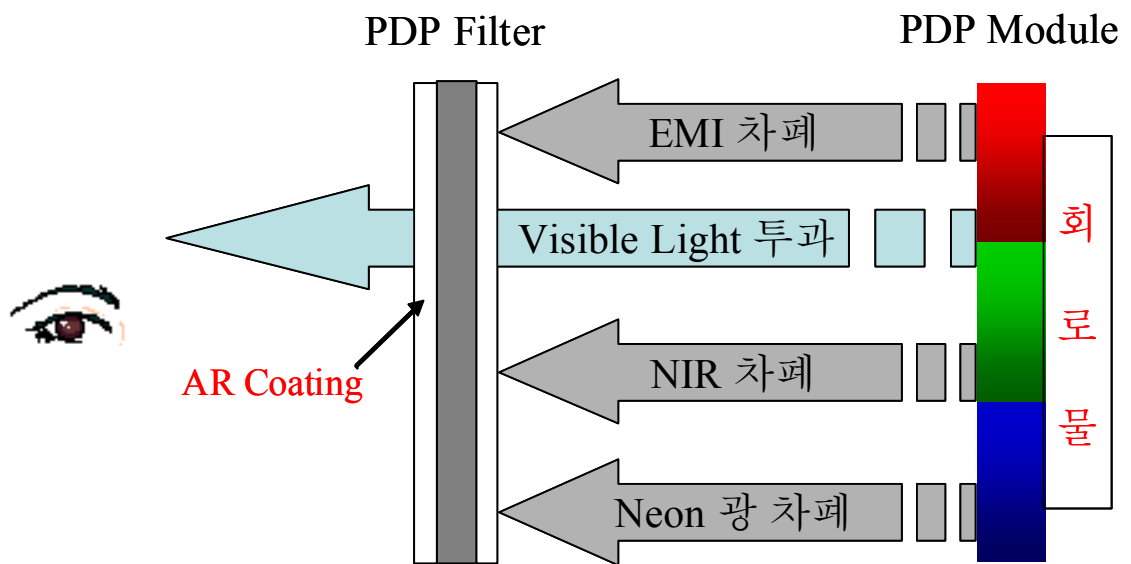


그림 2.2 PDP 필터의 구성 및 기능.

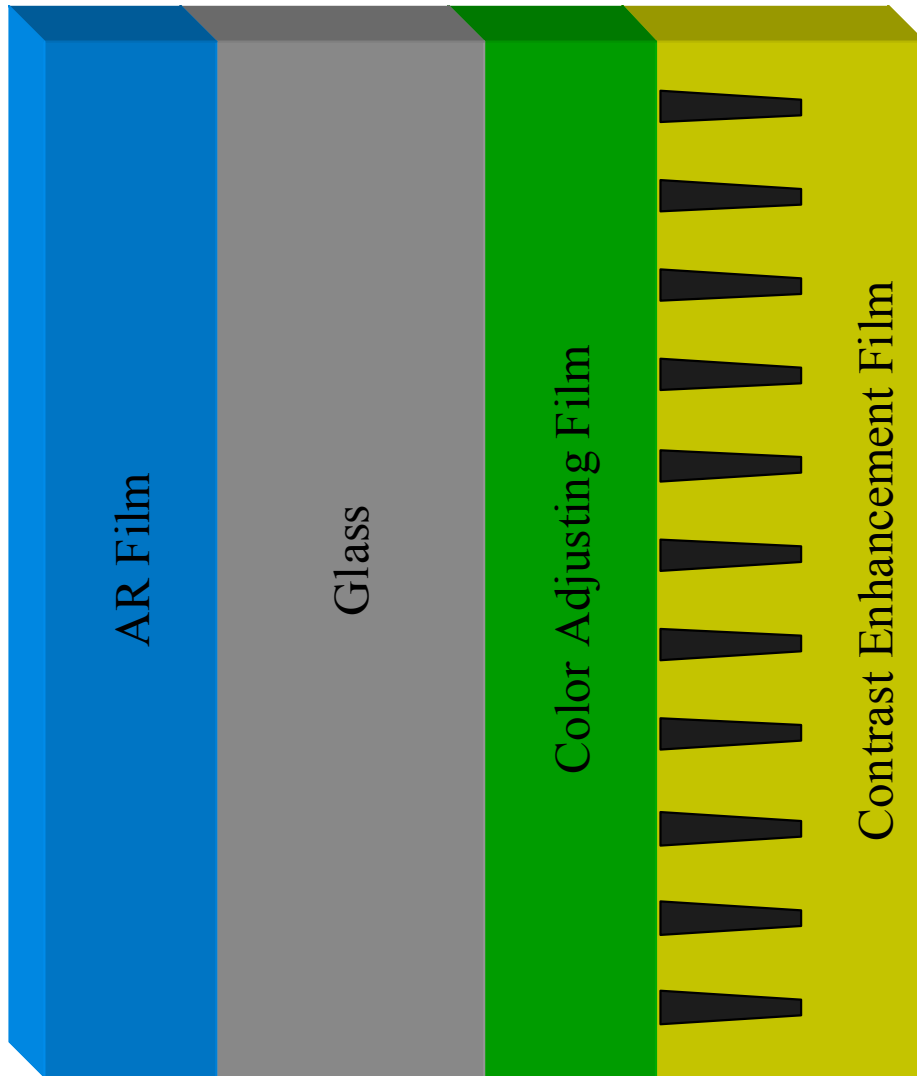


그림 2.3 명암비 향상 필름이 부착된 일반적인 PDP 필터.

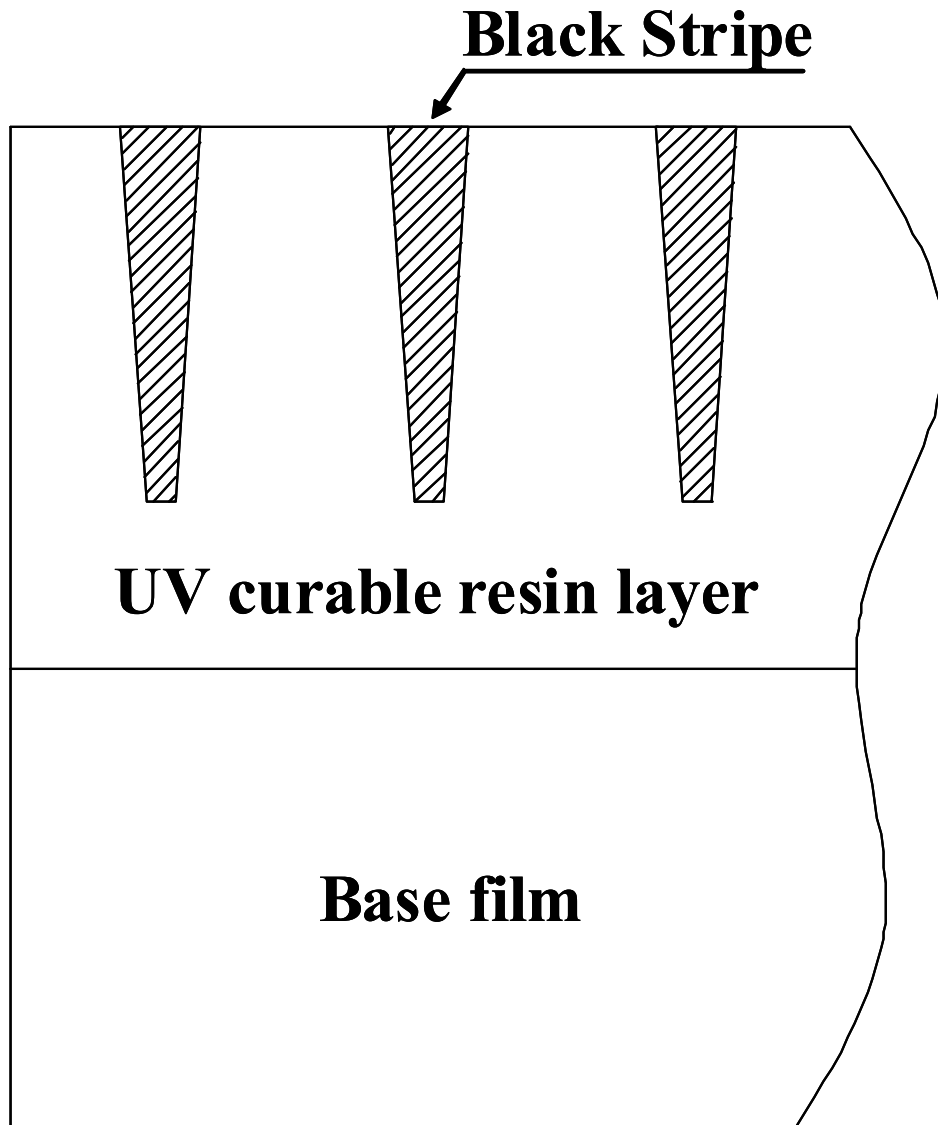


그림 2.4 명암비 향상 필름의 단면도.

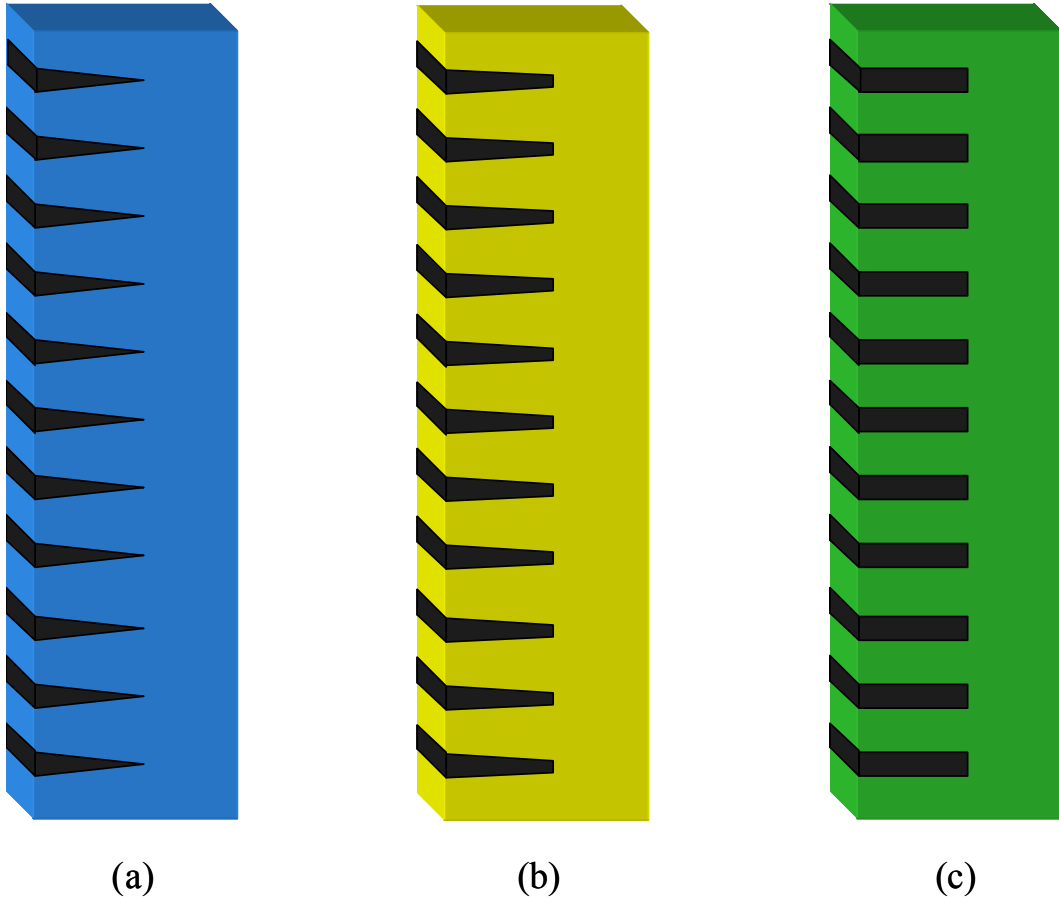


그림 2.5 일반적인 BS의 형상. (a) 삼각형, (b) 사다리꼴, (c) 직사각형.

제3장 PDP용 명암비 향상 필름에 의해 발생하는 고스트 현상 분석

제1절 고스트 현상

본 절에서는 PDP용 명암비 향상 필름에 의해 발생하는 고스트 현상의 원인을 분석하였다. 고스트 현상은 자외선 경화층과 BS구조 사이의 계면반사에 의해 발생하는 것으로 이해할 수 있다. 먼저 자외선 경화층과 BS구조의 굴절률 차이가 존재하는 경우 고스트 현상이 발생할 수 있음을 평행광을 입사광으로 사용하여 살펴 보았고, 그 다음 사다리꼴 모양의 BS 방향에 따라 나타날 수 있는 고스트 현상의 양상에 대해 분석해 보았다.

1. 굴절률 차이에 의한 고스트 현상

제 2장에서 설명한 바와 같이 명암비 향상 필름은 외광 흡수를 위한 BS 구조를 포함하고 있다. BS 구조는 카본 블랙과 같은 광 흡수체로 구성되어 있어 외광뿐만 아니라 내광의 흡수가 동시에 발생한다. 외광의 흡수를 유지 하면서도 전반사에 의한 내광의 투과율 향상을 유도하기 위해 삼각형 또는 사다리꼴의 사면을 갖는 저굴절률 BS구조의 명암비 향상 필름이 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 구조는 명실 명암비 측면에서 그 실효성이 입증되었다. 그러나, 굴절률이 다른 두 매질 사이의 경계면에서 발생하는 굴절, 부분 반사 및 전반사 등에 의해 이중상 혹은 고스트 영상이 발생하는 문제점이 보고되고 있다.^[11]

기존의 명암비 향상 필름의 경우 보통 $\Delta n (= n_{res} - n_{BS}) > 0$ 인 굴절률 구조를 갖는다. 굴절률 n_{res} 와 n_{BS} 는 각각 자외선 경화층과 BS의 굴절률을 의미한다. 굴절률 차이에 의한 고스트 현상을 알아보기 위해 그림 3.1과 같이 명암비 향상 필름($\Delta n > 0$)

에 평행광을 입사시켰고, 출사되는 빛의 경향을 분석 하였다. 그림 3.1의 명암비 향상 필름의 경우 $n_{res} = 1.55$, $n_{BS} = 1.54$ 이며, BS 사면은 필름법선으로 부터 약 4.5° 기울어져 있다. 그림 3.1은 굴절률 차이에 의해 전반사된 내부광의 진행 방향을 보여주는 데, 필름에 입사각이 0° 인 빛이 진행 하였음에도 입사 방향과 다른 방향으로 출사 하는 고스트 영상 광선들을 볼 수 있다. 이 광선들이 고스트 영상을 만들어 내는 주된 원인이다.

$\Delta n < 0$ ($n_{res} = 1.55$, $n_{BS} = 1.56$)인 경우, 내부광이 BS의 사면에서 굴절 및 반사되는 현상을 관찰 할 수 있다. BS 내부로 굴절된 내부광의 대부분은 흡수되지만, 일부 굴절 후 투과된 광과 부분 반사된 광에 의해 고스트 영상이 발생 하게 된다.(그림3.2 참조) 이런 고스트 영상 광선은 일반적으로 전반사된 광에 비해 그 세기가 약하므로 $\Delta n < 0$ 인 경우가 그 반대의 경우 보다 고스트 영상의 세기가 작을 것으로 예측된다.

2. 필름 방향에 따른 고스트 현상

명암비 향상 필름의 내부 굴절률 구조에 의해 발생하는 고스트 현상은 필름의 부착 방향에 따라 크게 다른 양상을 보인다. 굴절률 구조가 동일하고 서로 다른 부착 방향을 갖는 명암비 향상 필름을 그림 3.3(부착 방향 A, 사다리꼴의 윗변이 PDP 내광을 향함.), 3.4(부착 방향 B, 사다리꼴의 밑변이 PDP 내광을 향함.)와 같이 모델링 하였고, 6° 기울어진 평행광을 각 필름에 입사시켰다. 그림 3.3과 3.4의 명암비 향상 필름은 $n_{res} = 1.55$, $n_{BS} = 1.56$ 이며, BS 사면은 필름법선으로 부터 약 4.5° 기울어져 있다. 그림 3.3과 3.4는 명암비 향상 필름의 부착 방향에 따른 입사평행광의 진행경로를 보여준다. 필름에 입사한 평행광은 그림과 같이 자외선 경화층을 통과하는 주 영상 광선과 BS로 진행하는 고스트 영상 광선으로 나뉜다. 필름 부착 방향 A의 경우, 고스트 영상 광선은 입사평행광의 반사 현상에 의해 주요하게 발생함을 확인할 수 있다. 반면 필름 부착 방향 B의 경우 고스트 영상 광선은 BS 내부로 진행한 입사평

행광의 굴절에 의해 주로 생성됨을 알 수 있다. 이 때, 고스트 영상 광선은 BS 내부를 통과한 광선에 의해 생성되기 때문에, 필름 부착 방향 A의 경우 보다 그 세기가 작을 것으로 예측할 수 있다.

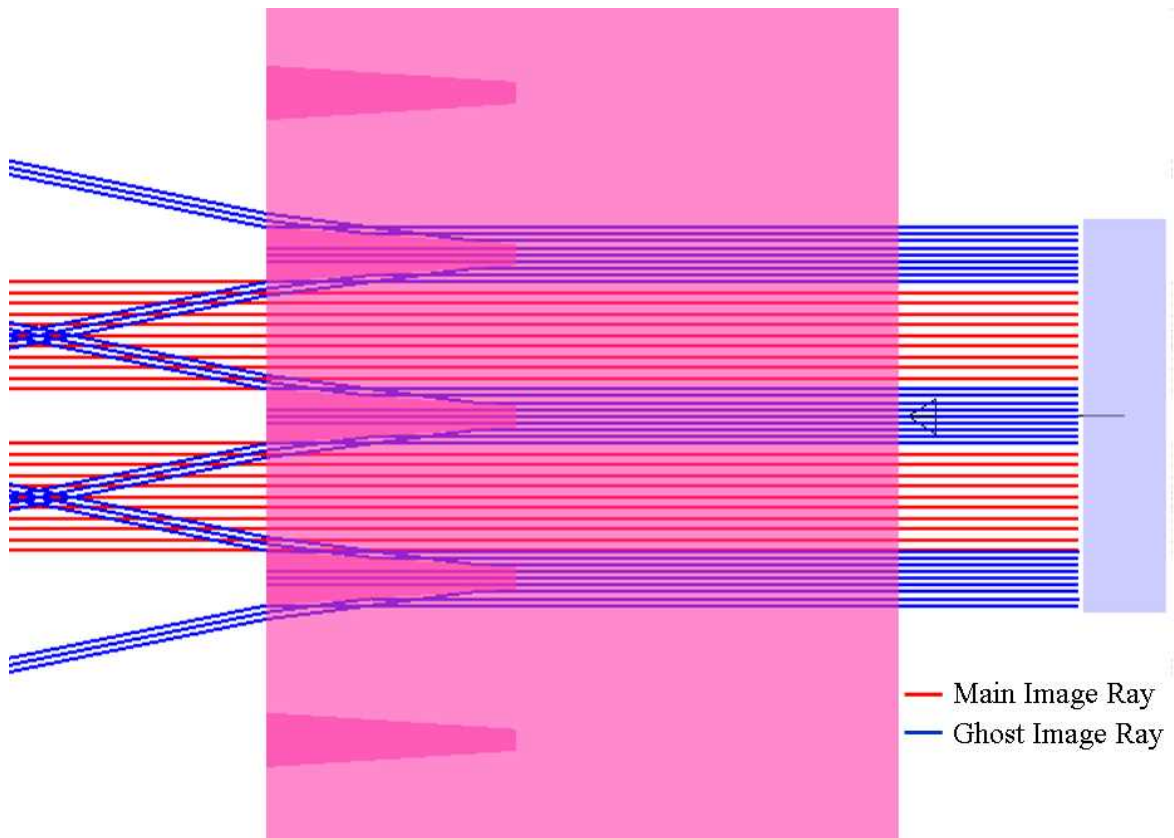


그림 3.1 평행광을 이용한 명암비 향상 필름($\Delta n > 0$)의 광선 추적도.

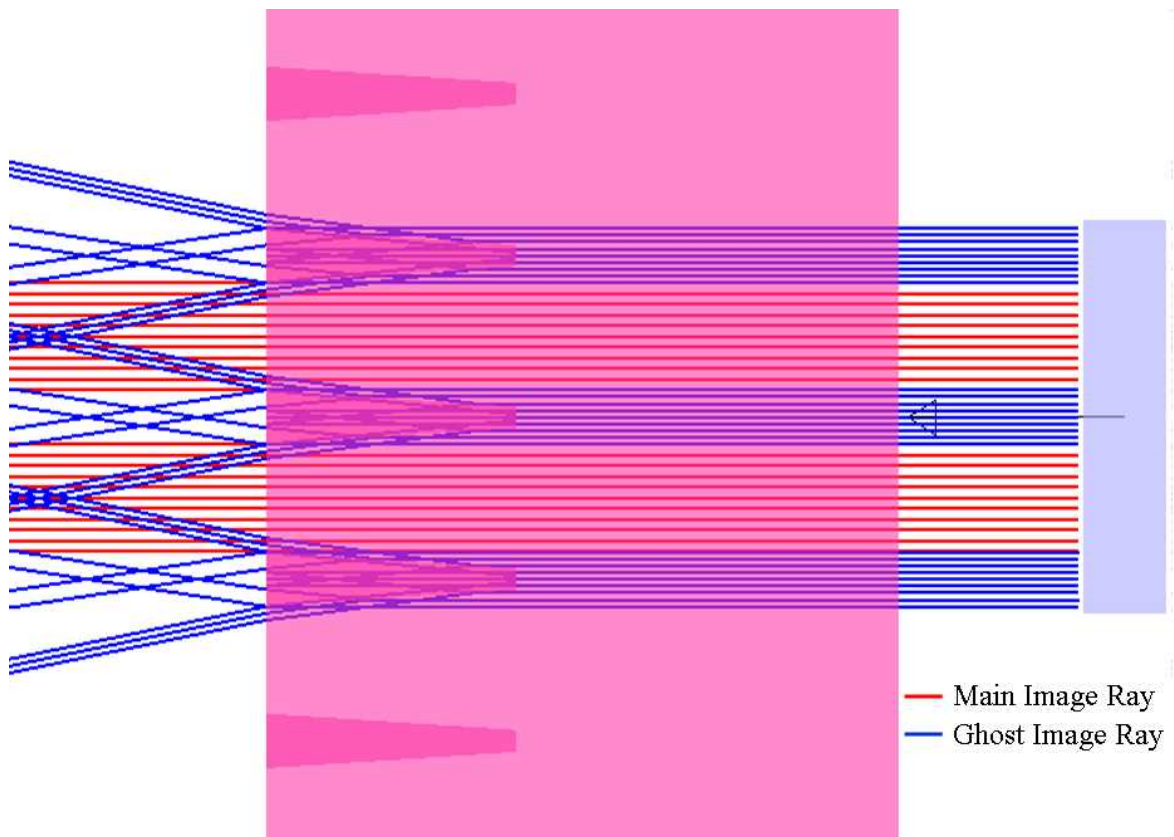


그림 3.2 평행광을 이용한 명암비 향상 필름($\Delta n < 0$)의 광선 추적도.

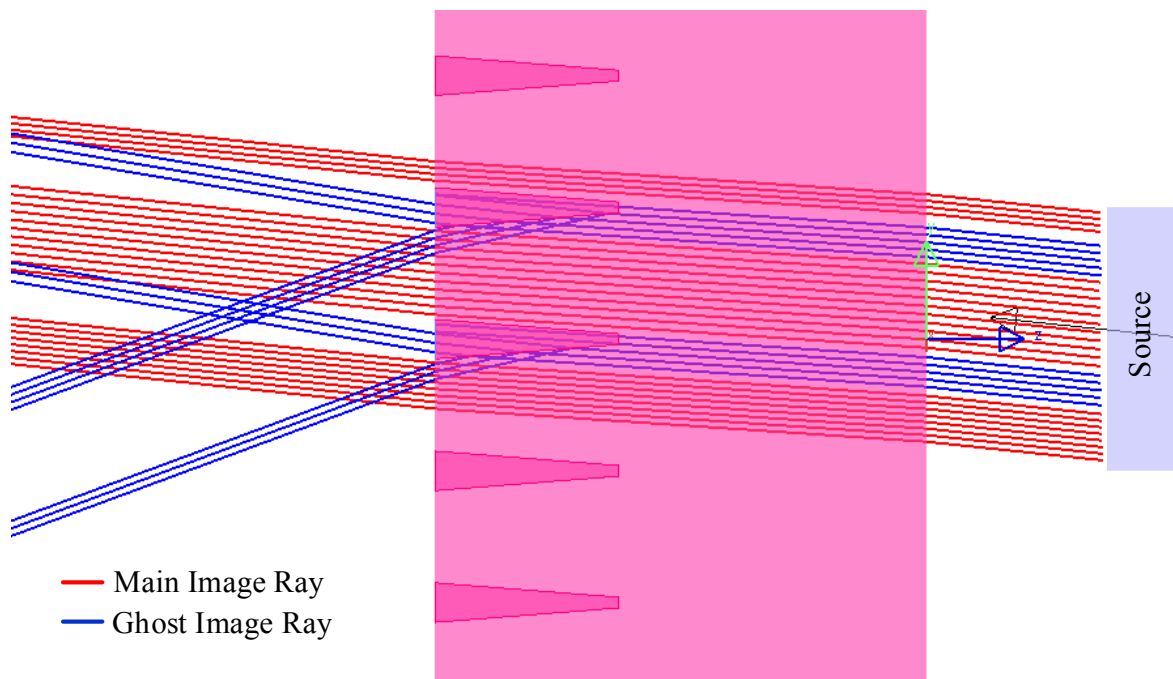


그림 3.3 명암비 향상 필름($\Delta n < 0$)의 부착 방향A에 대한 광선 추적도.

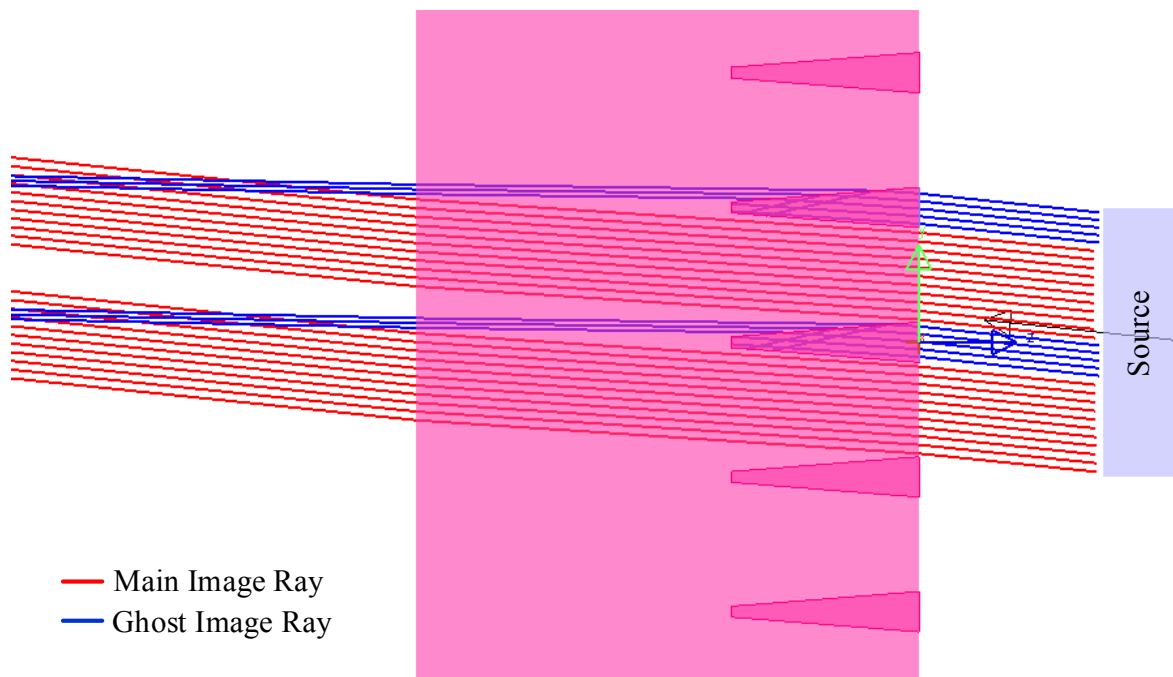


그림 3.4 명암비 향상 필름($\Delta n < 0$)의 부착 방향B에 대한 광선 추적도.

제2절 결상 광학 시스템 설계

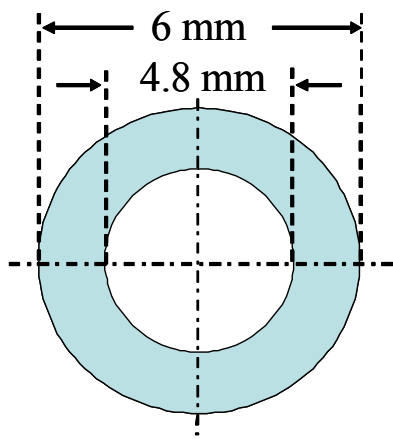
고스트 영상은 광량이 매우 극소하고 주 영상과 겹쳐 보이는 등, 실험적으로 측정하는데 많은 제약이 있다. 또한 고스트 영상에 대한 측정 표준이 아직 정립되어 있지 않아 명암비 향상 필름의 고스트 현상에 대한 정량적 연구가 전무한 상태이다. 본 절에서는 고스트 영상의 결상을 위한 광학 시스템을 설계 하였고, 결상된 영상의 분석을 통하여 명암비 향상 필름의 굴절률 구조 및 부착 방향에 따른 고스트 현상에 대해 정량적 연구를 수행 하였다.

그림 3.5는 결상 광학계 설계와 분석에 사용된 환형(Annular) 및 직사각형(Rectangular) 형태의 광원 모습을 보여준다. 환형 광원의 직경 및 폭은 각각 6 mm, 0.6 mm 이었고, 직사각형 광원의 가로 및 세로 길이는 각각 6 mm, 0.6 mm 이었다. 여기서 환형 광원의 폭은 발광 영역의 두께를 말한다.(그림 3.5(a) 참조) 환형 광원은 고스트 영상의 양상을 정성적으로 살펴보기 위해 선정하였고, 직사각형 광원은 주 영상과 고스트 영상의 분리를 통해 고스트 영상을 정량적으로 분석하기 위해 선정하였다.

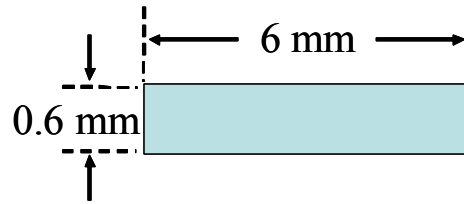
결상 광학 설계 소프트웨어인 Code-V(Optical Research Associates)의 특허 검색 기능을 이용하여 고스트 영상 결상 광학계 설계에 사용할 기본 광학계를 선정 하였다. 프로젝션 TV에 사용되는 명암비 향상 필름의 경우, 자외선 경화층 내의 영상광선은 필름 법선 방향을 기준으로 최대 10°의 각도를 갖고 있는 것으로 알려져 있다.^[12] 이를 기준으로 BS 사면(필름 법선 방향으로부터 2.86° 기울어진 것으로 가정)에 입사하여 반사되는 광은 필름 법선 방향을 기준으로 최대 약 25°의 각도로 필름(굴절률 1.55로 가정)으로부터 출사되는 것으로 계산 된다. 따라서 광학계 설계에 사용할 기본 광학계는 F/# 1.2이하여야 한다. Code-V에서 제공하는 특허 렌즈계 중 F/# 1.2 이하인 광학계를 검색 하였고, 검색된 결과들 중 렌즈 수가 4개인 특허 렌즈계 U.S. Patent No. 2,310,502를 기본 광학계로 선정하였다.^[13] 그림 3.6은 선정된 기본 광학계의 구성도를 보여주고 있다.

고스트 결상 광학계는 Zemax(Zemax Development Corporation)를 이용하여 최적화 하였다. 우선 광학계가 1배율이 되게 하기 위해 선택한 특허 렌즈계를 좌우 대칭으로 배치하였다. 최적화 변수로는 모든 렌즈의 반지름(Radius), 두께(Thickness), 코닉 계수(Conic constant)를 사용하였고, 최적화 과정 중 광학계의 좌우 대칭성을 유지하도록 Zemax의 Pick-up Solve 기능을 이용하였다.^[14] 최적화를 위한 메리트 함수(Merit function)로는 스폿 반경(Spot radius)값을 사용하였다. 결상 광학 시스템을 최대한 단순화 하기위해 모든 렌즈의 재질은 BK7으로 가정 하였고, 광원의 파장은 555 nm만을 사용하였다.

그림 3.7은 최적화된 결상 광학계의 구성도 및 각 필드별 스폿 다이어그램을 보여 준다. 그림 3.7(b)의 필드 1, 2, 3은 각각 광원에서 출사한 광선의 높이가 0 mm, 2.121 mm, 3 mm인 경우를 의미한다. 그리고 스폿 다이어그램의 중심에 위치한 원은 광학계의 에어리 디스크(Airy-disk)를 나타낸다. 각 필드별 유효 반지름(Root-mean-square radius, RMS radius)값은 각각 0.563 μm , 0.323 μm , 0.620 μm 로 에어리 디스크의 반지름 값인 0.801 μm 보다 작아 최종 설계된 광학계는 회절 한계 이하로 최적화되었음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 3.5 고스트 영상 결상에 사용된 두 가지 형태의 광원.

(a) 환형 광원, (b) 직사각형 광원.

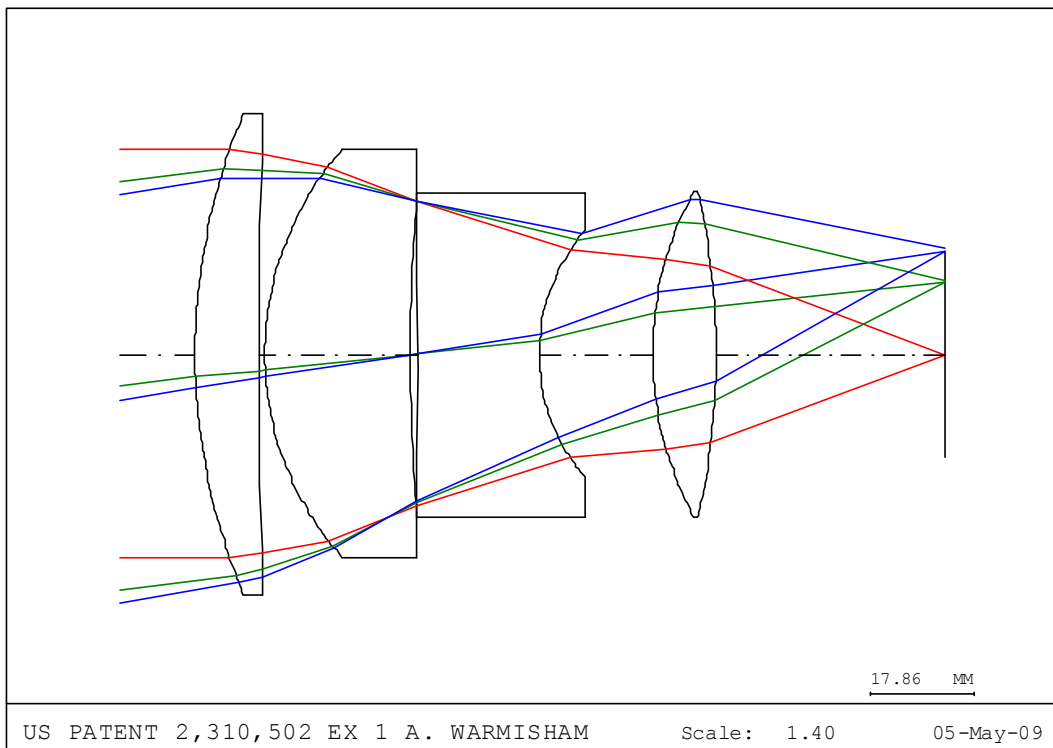


그림 3.6 고스트 영상 결상 광학계 설계를 위해 선정된 기본 광학계
(U.S. Patent No. 2,310,502)

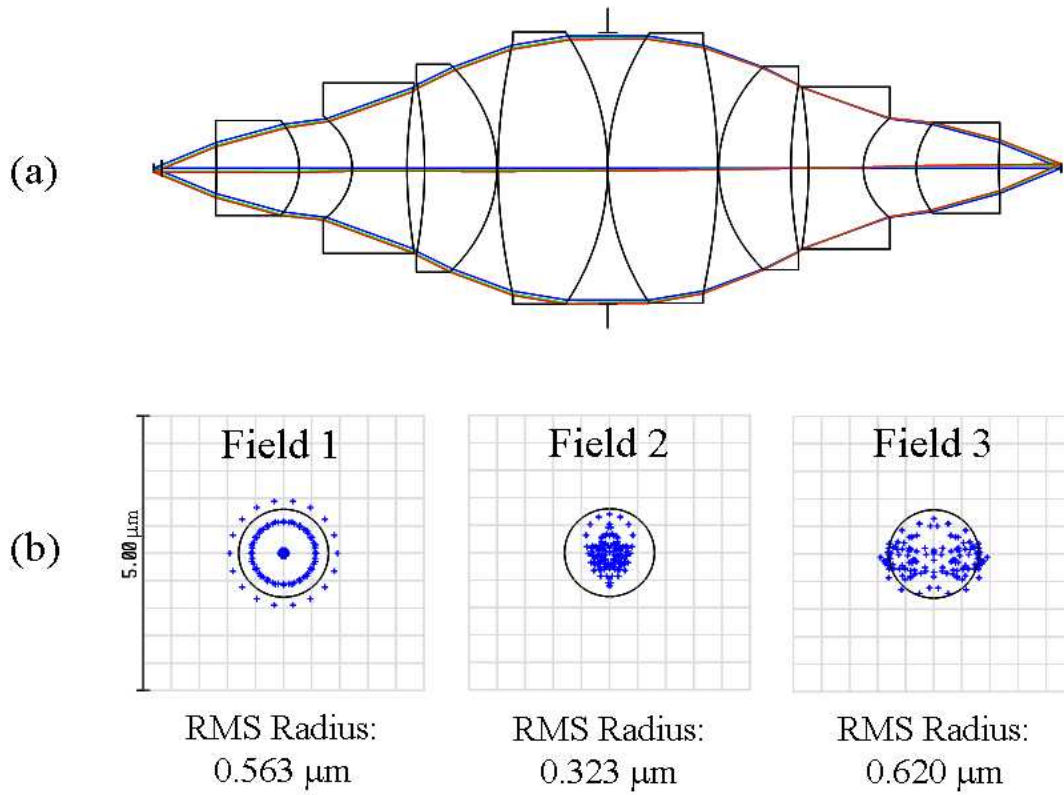


그림 3.7 최적화된 고스트 영상 결상 광학계의
 구성도 및 각 필드별 스폿 다이어그램(Spot diagram).
 (a) 고스트 결상 광학계의 구성도, (b) 각 필드별 스폿 다이어그램.

제3절 결과 및 논의

최적화된 결상 광학계를 이용하여 고스트 영상 결상 시뮬레이션을 수행 하였다. 그림 3.8은 시뮬레이션에 사용된 명암비 향상 필름의 구조 변수들을 보여준다. 여기서 t , b , d , p 는 BS의 상단 너비, 하단 너비, 깊이, 간격을 의미하며, 각각 25 μm , 10 μm , 150 μm , 74 μm 이었다.^[15] BS의 흡수계수는 $0.0679 \mu\text{m}^{-1}$ 이었다. 고스트 영상 결상 시뮬레이션에서는 표 3.1과 같이 자외선 경화층의 굴절률은 1.55로 고정하고 BS의 굴절률을 1.53 ~ 1.57 까지 변경 시켜 필름의 Δn 값을 -0.02부터 0.02 까지 변화 시켰다.

그림 3.9는 LightTools를 이용하여 구현한 고스트 영상 결상 시뮬레이션의 전체적인 모식도를 보여준다. 그림과 같이 LightTools 시뮬레이션 환경에 명암비 향상 필름, 광원 및 고스트 영상 결상 광학계를 배치하였다. 우선 환형 형태의 광원을 이용하여 명암비 향상 필름의 Δn 및 필름 부착 방향에 따라 시뮬레이션을 수행 하였다. 명암비 향상 필름은 광원으로부터 5 mm 거리에 놓았으며,^[16] 총 20,000,000개의 광선을 추적 하였다.

그림 3.10은 환형 광원을 이용한 고스트 영상 결상 시뮬레이션 결과이다. 여기서 (a)행은 필름 부착 방향 A, (b)행은 필름 부착 방향 B의 결과를 나타낸다. 각 시뮬레이션 결과는 LightTools에서 제공하는 조도 표면 차트 (Illuminance surface chart)를 보여준다.^[17] 필름 부착 방향에 따른 관점에서 보았을 때, A의 결과가 B보다 고스트 영상이 뚜렷하고, 고스트 영상의 발생 영역이 더 넓음을 알 수 있다. 동시에, 결과 (a)와 (b) 모두 $|\Delta n|$ 이 증가할수록 고스트 영상이 뚜렷해지고 고스트 영상의 발생영역이 넓어지고 있음을 정성적으로 보여준다. 특히 $\Delta n > 0$ 인 경우, $\Delta n < 0$ 인 경우보다 이러한 경향이 더욱 뚜렷함을 알 수 있다. 고스트 광선은 자외선 경화층의 투과부를 통해 입사한 내부광이 BS 사면과의 경계면에서 반사되었을 때 주로 발생 한다. 자외선 경화층과 BS의 굴절률 차이가 커지면 반사되는 빛의 세기가 증가하는데, 이 때문에 $|\Delta n|$ 이 증가 할수록 고스트 현상이 심화되는 것으로 이해할 수 있다. $\Delta n =$

0인 경우에도 희미한 고스트 영상을 관찰 할 수 있다. 광 흡수특성을 갖는 매질의 굴절률은 복소수로 표현된다. $\Delta n = 0$ 의 경우 발생하는 고스트 영상은 BS의 복소 굴절률에 기인한 현상 이다. 굴절률 실수부 값이 동일한 투명 매질로부터 흡수매질로 광이 입사 할 경우 굴절률 허수부 차이에 의해 반사 현상이 발생하게 된다.

고스트 현상을 정량적으로 분석하기 위해 직사각형 형태의 광원을 이용하여 위와 동일한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 수직 방향으로 충분히 얇은 형태의 직사각형 광원을 이용하여 주 영상과 고스트 영상의 중첩을 최소화 하였다. 그림 3.11은 주 영상과 고스트 영상을 포함한 조도 분포 시뮬레이션 결과에서 주 영상의 조도 분포를 감산한 것이다. 감산된 주 영상의 조도 분포는 BS 표면 모두를 흡수체로 가정하여 얻은 결과이다. 그림 3.11 (a)와 (b)는 각각 필름 부착 방향 A, B의 결과를 나타낸다.

먼저 각 고스트 영상의 조도값을 합산 하여 고스트 영상의 총 광속값을 구했고, Δn 및 필름 부착 방향에 따라 비교해 보았다. 표 3.2는 각각의 총 광속값을 그림 3.11(b) $\Delta n = 0$ 의 총 광속값에 대한 상대치로 계산한 결과 이다. 참고로 주 영상의 광속은 약 0.5 lm 이었고, 기준으로 채택한 그림 3.11(b) $\Delta n = 0$ 인 경우의 고스트 영상 광속은 0.004 lm 이었다.

필름 부착 방향 A와 B를 먼저 비교해 보면 B의 경우가 A의 경우보다 항상 고스트 영상의 광속이 적음을 알 수 있다. $\Delta n = 0.02$ 일 때 고스트 영상이 최대로 발생하였으며 이 때 필름 부착 방향 A 및 B의 경우 각각 약 30배 및 16배 정도의 고스트 영상이 생성되었다. 또한 필름 부착 방향 A의 결과는 $|\Delta n|$ 이 증가할수록 고스트 현상이 심해지는 경향을 정량적으로 확인 할 수 있다.(표 3.2 2열 참조) 이는 앞서 환형 광원을 이용해 살펴본 것과 정성적으로 일치하는 결과이다. 하지만, 필름 부착 방향 B의 경우 $\Delta n = -0.02$ 의 고스트 광속값이 -0.01 의 것보다 조금 작은 결과를 보이고 있다. (표 3.2 3열 참조) 이는 Δn 이 -0.01 에서 -0.02 로 감소하면서 BS 내부로 굴절된 후 BS 사면에서 전반사 되는 광량이 증가하고 이에 따라 고스트 영상에 기여하는 광량이 줄어들었기 때문인 것으로 사료된다.

그림 3.12와 3.13은 그림 3.11의 결과를 각각 가로방향으로 평균하여 얻은 조도 분

포도 이다. 앞서 정성적으로 확인한 결과와 동일하게 $|\Delta n|$ 값이 커질수록 고스트 영상의 발생 영역도 함께 넓어지는 경향을 확인 할 수 있다. 특히 $\Delta n = 0.02$, 필름 부착 방향 A인 경우 중심으로부터 약 4 mm 위치까지 고스트 영상이 발생하고 있다. 반면에 $\Delta n = 0.02$, 필름 부착 방향 B인 경우 약 2 mm 위치까지 고스트 영상이 관찰된다.

위의 결과를 종합해 보면, 고스트 영상 총 광속과 고스트 발생 영역의 크기 관점에서 필름 부착 방향 A에 비해 필름 부착 방향 B가 더욱 바람직한 필름 배치 방법을 알 수 있다. 또한 자외선 경화층과 BS의 굴절률 차이를 되도록 이면 작게 하는 것이 고스트 영상을 최소화 하는 방법 이다.

명암비 향상 필름을 구성하는 자외선 경화층과 BS는 모두 자외선 경화 우레탄 아크릴레이트 물질로 제작되지만, BS의 경우 카본 블랙이 첨가 되어 있고, 경화 과정 전후로 각 물질의 굴절률이 달라지기 때문에 실제 제작과정에서 자외선 경화층과 BS의 굴절률을 동일하게 제작하는 것은 매우 어렵다. $\Delta n = 0$ 이 되도록 하는 것이 가장 이상적이지만, 제작 공정의 한계로 이를 달성하기 어렵다면 $\Delta n > 0$ 인 경우 보다는 $\Delta n < 0$ 인 경우가 고스트 현상을 최소화 하는데 유리한 것으로 판단된다.

표 3.1 시뮬레이션에 사용된 명암비 항상 필름의 Δn 에 따른 굴절률 값.

Δn	자외선 경화층	BS	기저 필름
0.02	1.55	1.53	1.60
0.01	1.55	1.54	1.60
0.00	1.55	1.55	1.60
-0.01	1.55	1.56	1.60
-0.02	1.55	1.57	1.60

표 3.2 고스트 영상의 총 광속값 (필름 부착 방향 B, $\Delta n = 0$ 의 총 광속값에 대한 상대치로 계산한 결과임.)

	필름 부착 방향 A	필름 부착 방향 B
$\Delta n = 0.02$	30.2	16.1
$\Delta n = 0.01$	16.8	13.0
$\Delta n = 0$	1.2	1
$\Delta n = -0.01$	7.8	6.4
$\Delta n = -0.02$	9.6	5.7

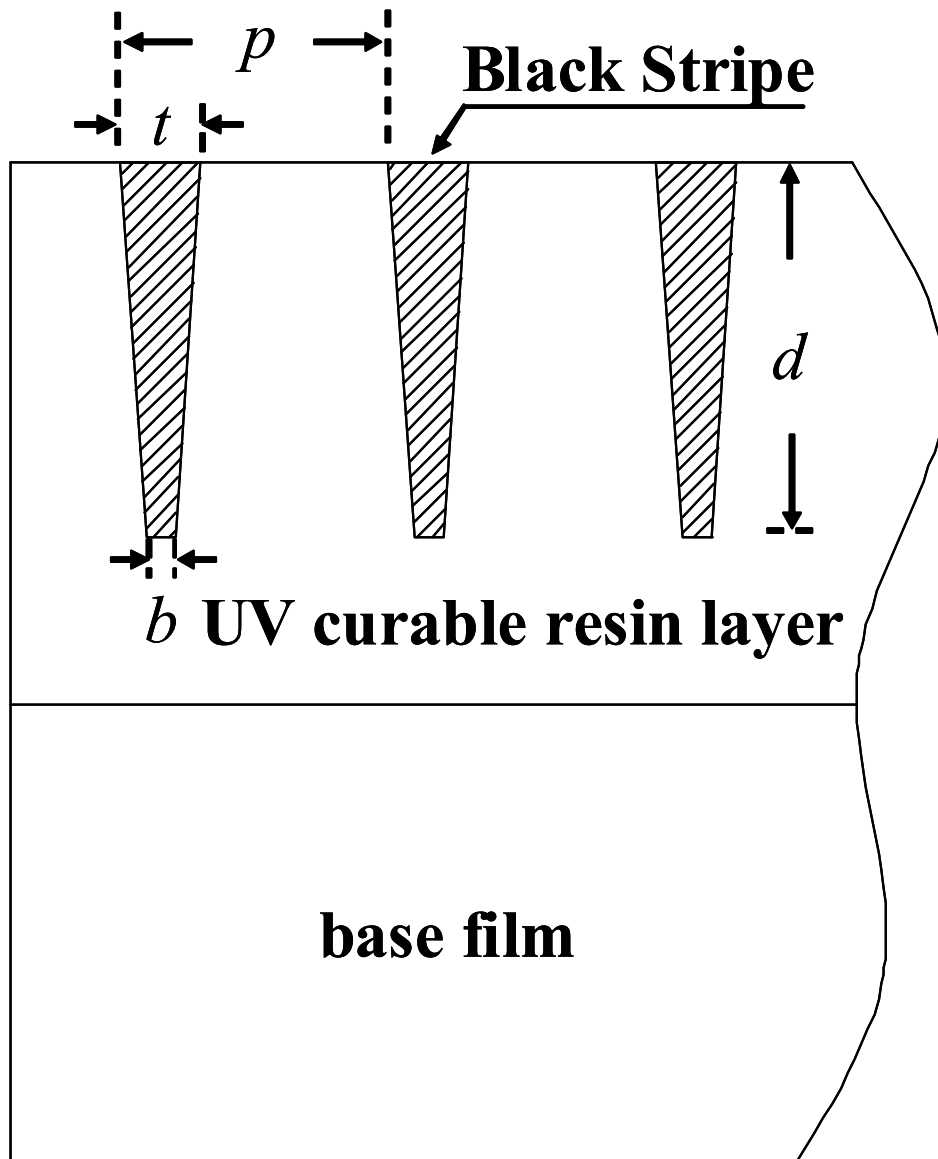


그림 3.8 명암비 향상 필름의 구조 변수.

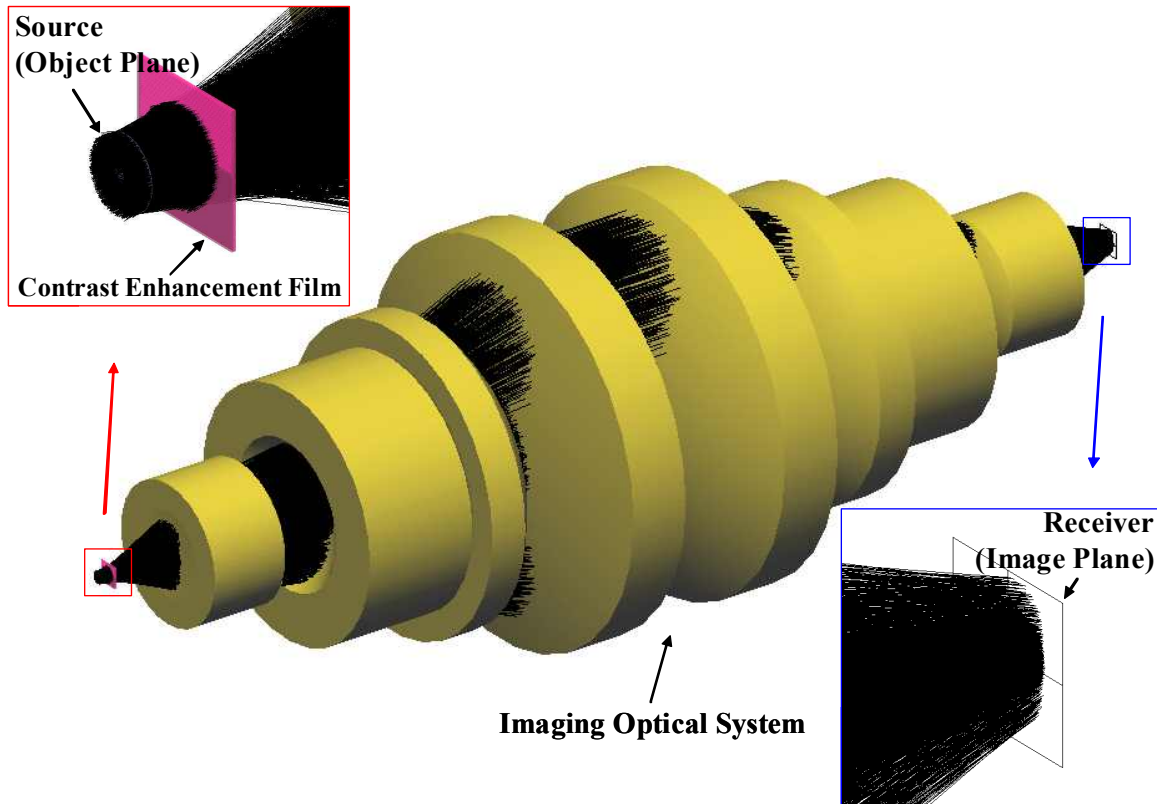


그림 3.9 고스트 영상 결상 시뮬레이션의 구성도.

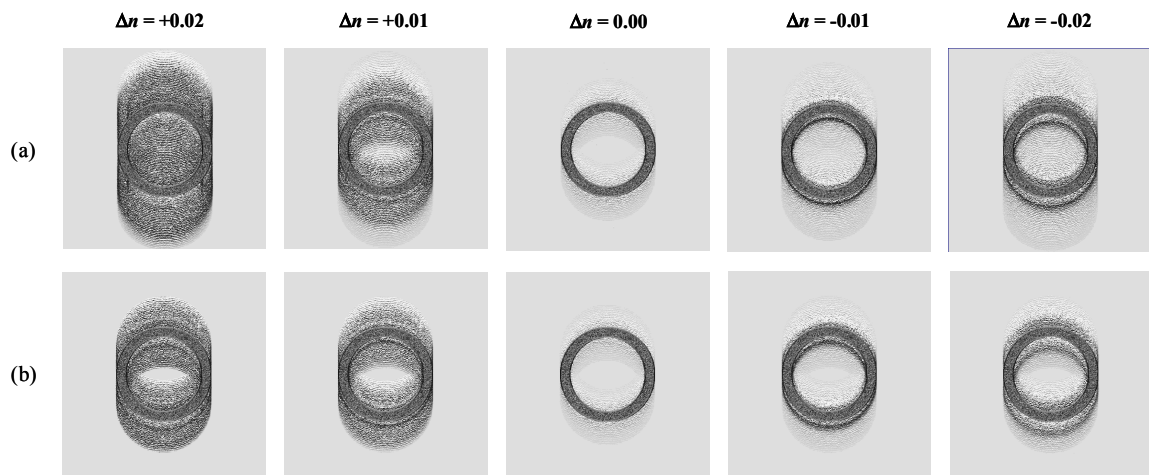


그림 3.10 환형 광원을 이용한 고스트 영상 결상 시뮬레이션 결과.

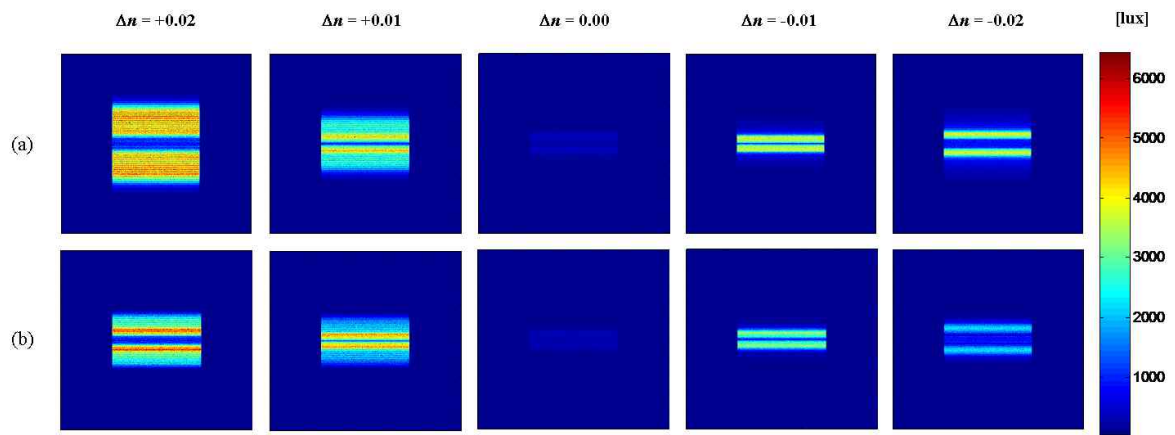


그림 3.11 직사각형 광원을 이용한 고스트 영상 결상 시뮬레이션 결과.

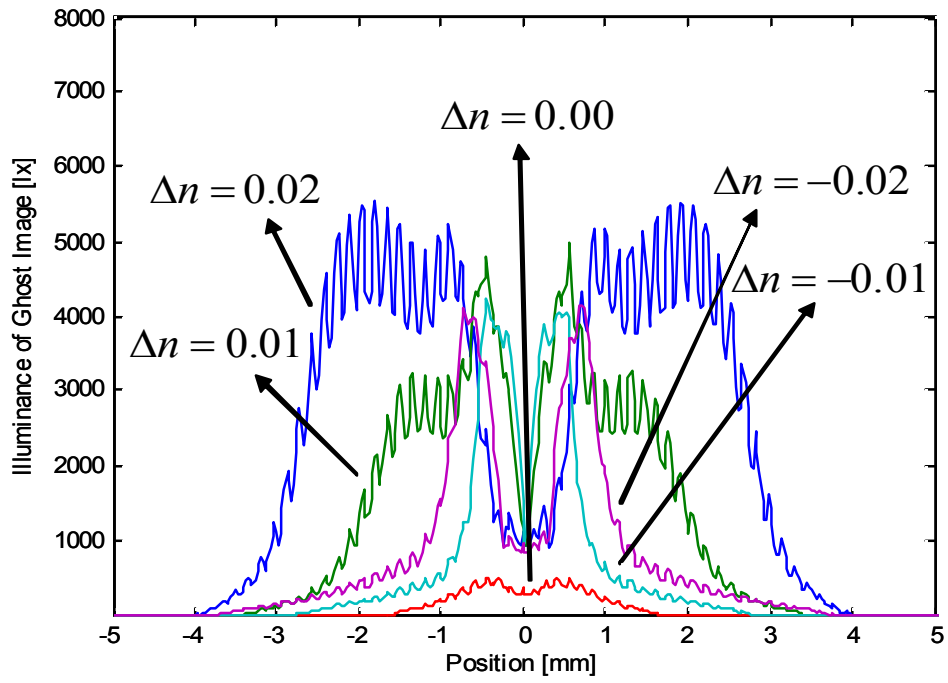


그림 3.12 필름 부착 방향 A에 대한 고스트 영상 조도 분포.

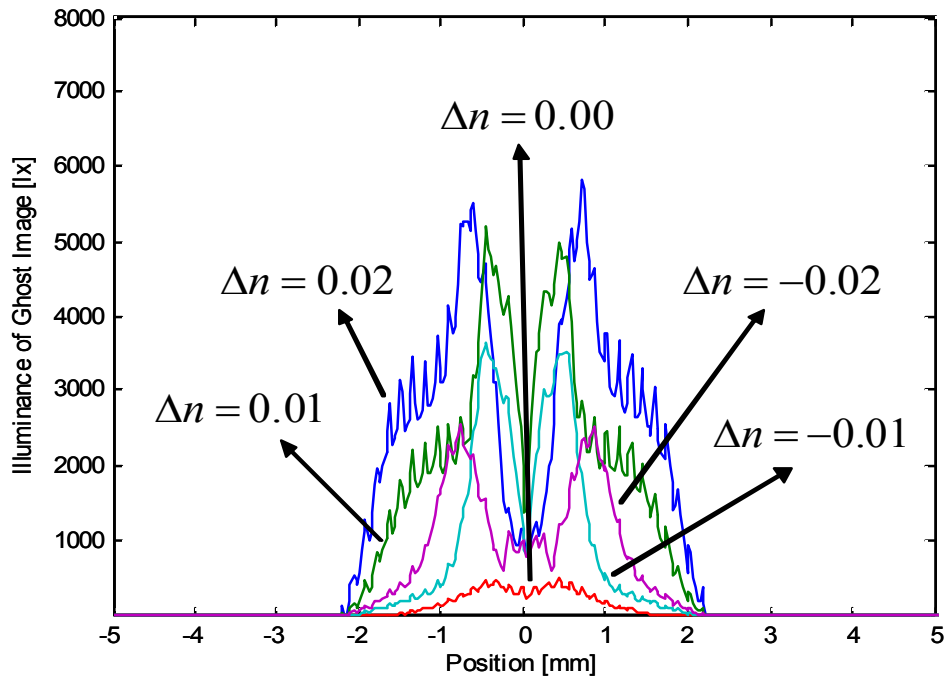


그림 3.13 필름 부착 방향 B에 대한 고스트 영상 조도 분포.

제4장 명암비 향상 필름을 채용한 PDP의 명실 명암비 측정 시스템 모델링

제1절 명실 명암비 및 측정 표준

1. 명실 명암비

디스플레이 장치는 거실이나 사무실과 같은 밝은 실내에서 많이 사용되고 있으며, 이에 따라 명실 명암비(Bright-room contrast ratio, BRCR)에 대한 관심이 높아지고 있다. 디스플레이 장치에 입사한 외부광은 장치 내부에서 반사 및 산란 되고, 영상을 전달하는 빛과 함께 외부로 출사한다. 따라서 PDP에 강한 빛이 입사할 경우 장치 내부에서 반사된 외부광에 의해 영상의 질은 크게 저하된다. PDP의 경우 장치 외부로부터 입사 하는 빛을 효과적으로 차단하고 명실 명암비를 높이기 위해서 일반적으로 명암비 향상 필름을 채용하고 있다.

명실 명암비는 명실조건에서 측정된 PDP 모듈의 최소 휘도에 대한 최대 휘도의 비를 의미한다. PDP 모듈의 최대 휘도는 영상의 최대 휘도와 외광에 의한 장치내 반사광에 의해 결정되며, 모듈의 최소 휘도는 PDP 셀에서 빛이 나오지 않는 경우의 휘도를 의미하므로 외부광에 의한 장치내 반사광 만에 의해 결정된다. 따라서 명실 명암비는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{명실 명암비} &= \frac{\text{모듈의 최대 휘도}}{\text{모듈의 최소 휘도}} \\ &= \frac{\text{영상의 최대 휘도} + \text{외광에 의한 장치내 반사광}}{\text{외광에 의한 장치내 반사광}} \end{aligned} \quad (4.1)$$

2. 측정 표준

명실 명암비 측정 시스템은 형광등, PDP 모듈, 휘도 측정계(Luminance meter)로 구성되어 있다. 형광등은 명암비 측정시 명실 조건을 만들어주는 외부 광원 역할을 한다. 명실 조건은 PDP 모듈 중앙에서의 조도값을 기준으로 측정 하는데, 일반적으로 150 lx를 표준 조도로 사용하고 있다.^[18] PDP 모듈의 중앙에 위치한 직사각형 형태의 발광영역을 일반적으로 화이트 패턴(White pattern)이라 한다. 모듈의 최소 휘도 값은 외부 환경 및 측정 조건에 큰 영향을 받는다. 본 논문에서는 IEC 61988 2-2 (Plasma display panels - Part 2-2: Measuring methods - Optoelectrical)에서 요구하는 측정 표준에 따라 PDP 모듈의 명실 명암비를 측정 하였다. IEC 61988 2-2에서 정하는 측정 표준의 주요 내용을 표 4.1에 정리 하였다.^[19]

표 4.1 IEC 61988 2-2에서 명시한 PDP 명실 명암비 측정 표준 관련 주요 내용.^[19]

	PDP 명실 명암비 측정 표준 관련 주요 내용
조명원	Colour-rendering daylight white(JIS Z 9112-1990 type N-EDL)에서 정해진 곧은 튜브 형광 램프(Straight tube fluorescent lamp)를 사용해야 함.
조명원과 디스플레이 패널의 배치	패널은 수직면에 맞추어야 함. 램프의 긴 축은 패널의 바닥과 수평하게 되도록 하고 패널 면에 평행하게 되도록 배열해야 함. 램프의 센터는 패널 표면에 직각이 되도록 하고, 패널 센터와 교차해야 하며 직각인 수직면을 가지도록 배열해야 함.
측정 장비의 조건	측정 거리는1.6V~ 2.8V 이어야 함. 표준 측정 거리는 2.5 V임. 여기서 V는 스크린의 높이 또는 단변 길이를 말함.
기타 조건	벽은 어두운 색의 커튼을 달아야 하며, 창문이 없고 반사력이 60% 미만인 회색이어야 함. 바닥은 반사력이 20% 미만인 회색이어야 함.

제2절 명실 명암비 측정 시스템 모델링

1. 명실 명암비 측정 시스템 구성

그림 4.1은 형광등, PDP 모듈, 휘도 측정계로 구성된 일반적인 명실 명암비 측정 시스템의 구조를 보여준다. 전술한 바와 같이 PDP의 명실 명암비는 명실 조건에서 모듈의 최소 휘도에 대한 최대 휘도의 비로 정의 된다. 일반적으로 PDP 모듈의 최소 휘도값은 최대 휘도값 보다 매우 작기 때문에, 명실 명암비는 모듈의 최소 휘도값에 따라 크게 달라진다.

명실 명암비를 측정하기 위해서는 우선 측정환경을 명실 조건으로 만들어주어야 한다. 다음 측정 과정은 명실 조건에서 PDP 모듈의 최소 휘도(L_{OFF})를 측정 하는 것이다. 모듈의 최소 휘도를 측정 할 때 PDP 모듈 중심의 화이트 패턴은 빛을 내지 않는 OFF 상태에 있다. 모듈의 최대 휘도(L_{ON}) 역시 최소 휘도 측정 방법과 동일하게 명실 조건에서 측정 되지만, 반대로 화이트 패턴이 빛을 발하는 ON 상태에서 측정된다. 마지막으로 측정된 최소 휘도값과 최대 휘도값(L_{ON}/L_{OFF})의 비를 계산하여 PDP 모듈의 명실 명암비를 결정할 수 있다.

본 논문에서는 명암비 향상 필름을 채용한 50 인치 PDP TV의 명실 명암비를 측정하였고 측정 시스템 상단에 3개의 형광등을 사용하였다. 일반적으로 형광등의 출력을 조정하거나 형광등 주변부에 장착된 확산 필름을 조절하여 명실 조건을 만들어 준다. 본 논문에서는 PDP 중앙에서의 조도값이 150 lx가 되도록 형광등 주변부에 설치된 확산필름을 조절하였다. 조도 및 휘도 측정 장치로 KONICA MINOLTA사의 T-10(조도 측정계) 및 CS-2000(휘도 측정계)을 각각 사용하였다. T-10은 일반적으로 사용되는 조도 측정계로 약 $\pm 2\%$ 의 우수한 오차 성능을 보인다. CS-2000은 0.003 cd/m^2 수준의 초저휘도 영역에서도 정밀하게 휘도를 측정 할 수 있는 휘도 측정계로 다양한 측정각(1.0° , 0.2° , 0.1° , 최소 측정 지름 0.1 mm)을 제공한다. 그림 4.2는 명실 명암비 측정에 사용된 T-10과 CS-2000의 외관을 보여준다.

표 4.1에 정리된 것과 같이 PDP 모듈과 휘도 측정계 사이의 거리는 패널 높이의

1.6배 ~ 2.8배 사이의 거리(표준 측정 거리 2.5배)를 만족해야 한다. 본 논문에서는 50 인치(1120 mm × 630 mm) PDP 모듈을 사용하였고, 이 조건을 만족시키기 위해 PDP 모듈을 휘도 측정계로부터 1490 mm(50 인치 패널 높이의 약 2.5배) 거리에 위치시켰다. 명실 명암비 측정 시스템의 각 요소 장치별 간격은 각각 710 mm(H_I), 1180 mm(H_{II}), 750 mm(L_I), 740 mm(L_{II}) 이었다.(그림 4.1 참조)

2. 명실 명암비 측정 시스템 모델링 과정

조명 설계 프로그램인 LightTools(Optical Research Associates, USA)를 이용하여 명실 명암비 측정 시스템을 모델링 하였다. 그림 4.3은 모델링 된 명실 명암비 측정 시스템의 구성도를 보여준다. 조명 설계 프로그램을 이용하여 각 요소 장치의 구조적, 광학적 특성을 실제와 동일하도록 반영한 물리 시스템을 구현하는 것이 가장 바람직하겠으나 완벽한 물리 시스템 구현에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 실제 그러한 물리 시스템을 구현 하였다 하더라도 모델의 복잡성 때문에 시뮬레이션을 통한 설계 응용에는 실용적인 면에서 한계가 있다.

본 논문에서는 각 요소 장치의 광학적 특성을 최대한 단순화하면서도 시뮬레이션을 통한 설계 응용이 가능한 명실 명암비 측정 시스템 모델링을 시도하였다. 조명 설계 프로그램에 모델링된 측정 시스템의 모든 광원(상단 형광등 및 PDP 모듈 중심의 화이트 패턴)은 램버시안 발광 특성(Lambertian emissive characteristics)을 갖는 555 nm의 단색광원으로 가정하였다. 실제 PDP 모듈의 경우 외부에서 입사한 빛은 패널 내부의 셀 구조 및 발광체에 의해 난반사 되지만, 본 논문에서는 PDP 모듈의 외벽이 램버시안 산란 특성을 갖고 있는 것으로 가정 하였다. 명암비 향상 필름에 부착되는 색보정 필름은 555 nm 파장에서 체적 흡수 특성(Volume absorption characteristics)만을 갖는 것으로 단순화하였다. 그림 4.4는 명암비 향상 필름에 부착된 색보정 필름의 모습을 보여준다.

앞서 서술한 단순화된 모델에 따르면 총 4개의 모델 변수들(Model parameters),

즉, (i) 형광등의 광속(Flux of fluorescent lamps), (ii) PDP 모듈의 산란반사율(Scattering rate of PDP module), (iii) 화이트 패턴의 조도(Illuminance of white pattern), (iv) 색보정 필름의 흡수계수(Absorption coefficient of CAF)로 명실 명암비 측정 시스템의 광학적 특성을 정의할 수 있다.

본 논문의 모델링에 사용한 50 인치 PDP 모듈과 측정 시스템 상단 형광등(직육면체 표면 광원으로 모델링함)의 크기는 각각 1120 mm × 630 mm, 500 mm × 150 mm × 50 mm 이었다.(그림 4.3 참조) 모델링에 사용된 조도 측정 수광부(Illuminance receiver)와 휘도 측정 수광부(Luminance receiver)는 실제 측정 장치인 T-10과 CS-2000의 실제 수광부 크기 및 결상 영역을 고려하여 각각 직경 12.85 mm, 직경 5 mm 및 측정각 1°를 갖도록 하였다. 실제 PDP 모듈의 화이트 패턴은 114 mm × 64 mm 크기의 직사각형 발광 영역을 갖지만, 시뮬레이션 효율을 향상시키기 위해 반경 2.54 mm의 원형 화이트 패턴을 사용하였다.

3. 모델 변수 값 결정

실제 실험 조건에 부합하는 모델 변수 값들을 결정하는 방법에 대해 서술 하도록 하겠다. 우선 실험을 통해 쉽게 측정 가능하고, 모델 변수에 가장 큰 영향을 미치는 4개의 과녁 변수들(Target parameters)을 선정하였다. 선정된 과녁 변수는 (i) 외광에 의한 PDP 모듈 중앙에서의 조도, (ii) 외광 산란에 의한 PDP 모듈(색보정 필름 미장착)의 휘도, (iii) 화이트 패턴 및 외광에 의한 PDP 모듈(색보정 필름 미장착)의 휘도, (iv) 외광 산란에 의한 PDP 모듈(색보정 필름 장착)의 휘도이다. 그림 4.4는 색보정 필름이 부착된 명암비 향상 필름의 모습을 보여주고 있다. 표 4.2는 선택된 4개의 과녁 변수와 실험 조건을 보여주고 있으며, 각 과녁 변수에 대한 측정 결과는 표 4.2의 5번째 열과 같다.

모델 변수의 값을 결정하기 위해 매칭 시뮬레이션(Matching simulation)을 수행하였다. 그림 4.5는 매칭 시뮬레이션 과정을 순차적으로 보여주고 있으며, 그림 4.6은

각 과녁 변수에 대한 매칭 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 우선 PDP 모듈 중심에서의 명실조건 150 lx(첫 번째 과녁 변수)를 만족하는 상단 형광등 광속(첫 번째 모델 변수)에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4.6(a)와 같이 상단 형광등 광속이 1908 lm 일 때, PDP 모듈 중심에서의 명실 조건 150 lx를 만족하였다. 두 번째 모델 변수를 결정하기 위해 상단 형광등 광속을 1908 lm으로 고정하고, PDP 모듈의 산란 반사율(두 번째 모델 변수)을 변수로 시뮬레이션을 수행하였다. 두 번째 매칭 시뮬레이션을 통해 측정 휘도값 10.35 nit(두 번째 과녁 변수)를 만족하는 PDP 모듈의 산란 반사율 21.63%를 찾을 수 있었다.(그림 4.6(b) 참조) 이와 같은 방법으로 세 번째, 네 번째 모델 변수값을 결정하였고, 그 결과는 각각 3930 nit, $0.0173 \mu\text{m}^{-1}$ 이었다.(그림 4.6(c), (d) 참조) 네 번째 모델 변수를 시뮬레이션 하는데 사용한 색보정 필름의 두께는 실제 실험에 사용한 색보정 필름의 두께인 $10 \mu\text{m}$ 이었다. 매칭 시뮬레이션을 통해 결정된 모델 변수의 값들은 표 4.2의 7 번째 열과 같다.

4. 명암비 향상 필름 모델링

전술한 바와 같이 본 논문에서 사용한 명암비 향상 필름은 기저 필름인 PET 필름과 자외선 경화층으로 구성되어 있다. 자외선 경화층은 광 흡수 성질을 갖는 BS 패턴을 포함하고 있다. BS는 사다리꼴 형상의 집합으로 자외선 경화 우레탄 아크릴레이트 용액과 광 흡수체인 카본 블랙(1.5 wt%)을 혼합하여 제작한다.

명암비 향상 필름은 패터닝 공정(Patterning process), 와이핑 공정(Wiping process), 경화 공정(Curing process)을 통해 제작된다. 패터닝 공정은 자외선 경화층 상부에 BS 패턴을 새기는 과정으로 매우 작은 사다리꼴 구조를 갖는 금속 금형을 이용하여 진행된다. 다음 과정은 자외선 경화층 상부에 새겨진 BS 패턴 안에 BS 용액을 채우고, 잉여 BS 용액을 칼날(Blade)로 제거하는 와이핑 공정이다. 여기서 BS 용액은 자외선 경화 우레탄 아크릴레이트 용액과 카본 블랙의 혼합액을 말한다. 마지막으로 자외선 노광을 통해 명암비 향상 필름을 완성한다.

그림 4.7은 명실 명암비 측정에 사용된 필름의 단면도를 보여준다. 여기서 t , b , d , p , k , r 은 각각 BS의 상단 너비, 하단 너비, 깊이, 간격, 원형 호의 깊이, 원형 호의 반지름을 의미한다. BS 상단에 생성된 원형호는 와이핑 공정에서 발생한다. 와이핑 공정에서는 칼날을 자외선 경화층에 압착하여 잉여 BS 용액을 제거한다. 자외선 경화층은 칼날이 압착할 때 아래 방향으로 눌렀다가 잉여 BS 용액이 제거 된 후에는 그 두께를 회복 하게 되는데, 이러한 과정을 통해 BS 상부에 원형호가 생성된다.

본 논문에서는 명실 명암비 측정 및 시뮬레이션을 위해 총 4개의 필름 샘플을 사용하였다. 표 4.3은 각 필름의 구조 변수를 보여준다. 필름의 구조 변수는 실제 실험에 사용된 명암비 향상 필름의 광학 현미경 사진을 이용하여 측정 하였다. 명암비 향상 필름을 구성하는 자외선 경화층, BS, 기저 필름의 굴절률은 각각 1.55, 1.56, 1.59 이었고, 색보정 필름의 굴절률은 1.56 이었다. 또한 BS의 흡수계수는 측정을 통해 얻은 $0.0679 \mu\text{m}^{-1}$ 값을 시뮬레이션에 사용하였다.

표 4.2 과녁 변수, 모델 변수 및 실험 조건.

실험 조건			과녁 변수		모델 변수	
색보정 필름	형광등	화이트 패턴	변수	측정값	변수	모델 변수값
미부착	ON	OFF	외광에 의한 PDP 모듈 중앙에서의 조도	150 lx	형광등의 광속	1908 lm
	ON	OFF	외광 산란에 의한 PDP모듈의 휘도	10.35 nit	PDP 모듈의 산란 반사율	21.63%
	ON	ON	화이트 패턴 및 외광에 의한 PDP 모듈의 휘도	1255 nit	화이트 패턴의 조도	3930 lx
부착	ON	OFF	외광 산란에 의한 PDP 모듈의 휘도	5.59 nit	색보정 필름의 흡수계수	0.0173 μm^{-1}

표 4.3 시뮬레이션에 사용된 명암비 향상 필름의 구조 변수들.

Sample	<i>t</i> (mm)	<i>b</i> (mm)	<i>d</i> (mm)	<i>p</i> (mm)	<i>k</i> (mm)	<i>r</i> (mm)
<i>A</i>	0.010	0.006	0.053	0.031	0.001	0.009
<i>B</i>	0.022	0.006	0.102	0.073	0.003	0.020
<i>C</i>	0.022	0.006	0.105	0.073	0.003	0.020
<i>D</i>	0.020	0.010	0.123	0.074	0.003	0.018

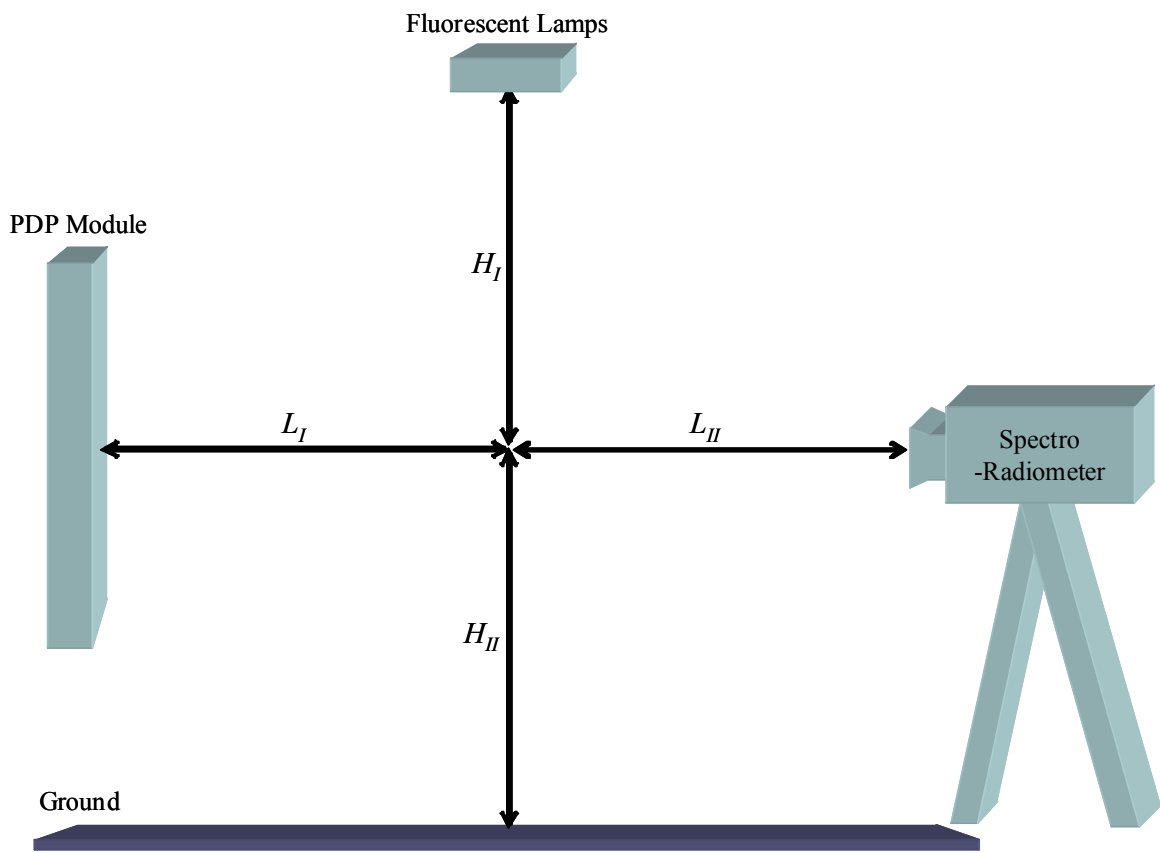


그림 4.1 명실 명암비 측정 시스템 구성도.



(a) T-10



(b) CS-2000

그림 4.2 T-10 및 CS-2000의 외관.^[20]

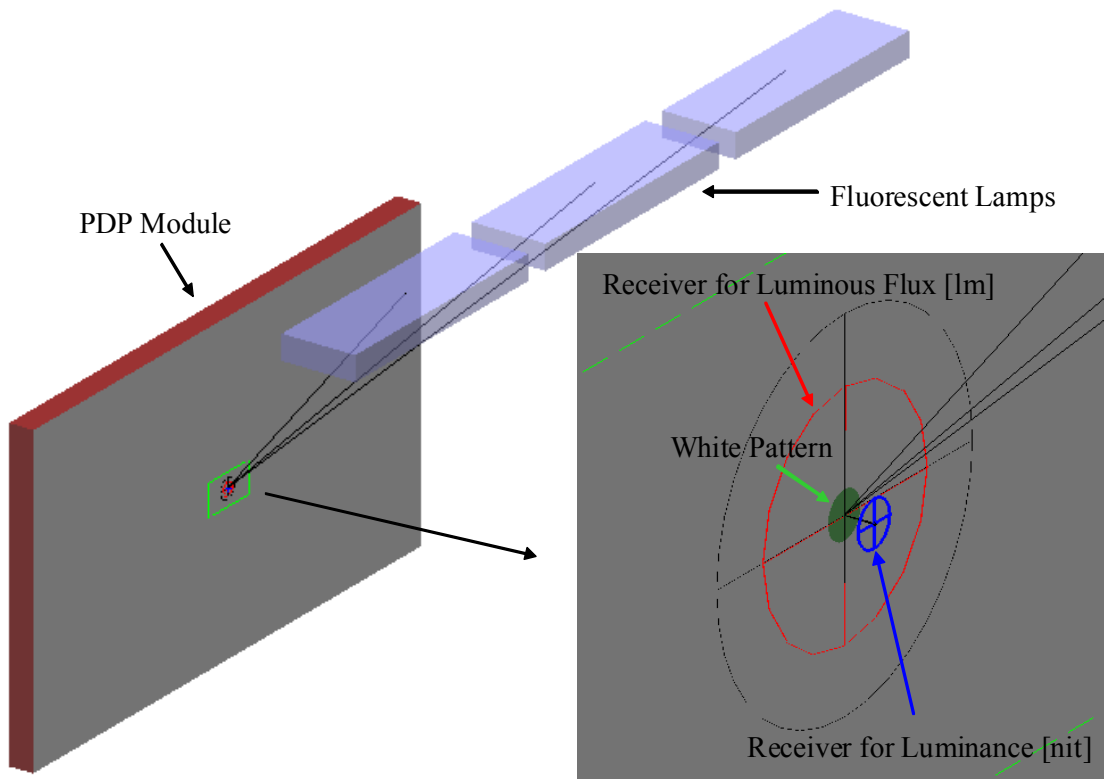


그림 4.3 모델링된 명실 명암비 측정 시스템의 구성도.



그림 4.4 색보정 필름이 부착된 명암비 향상 필름.

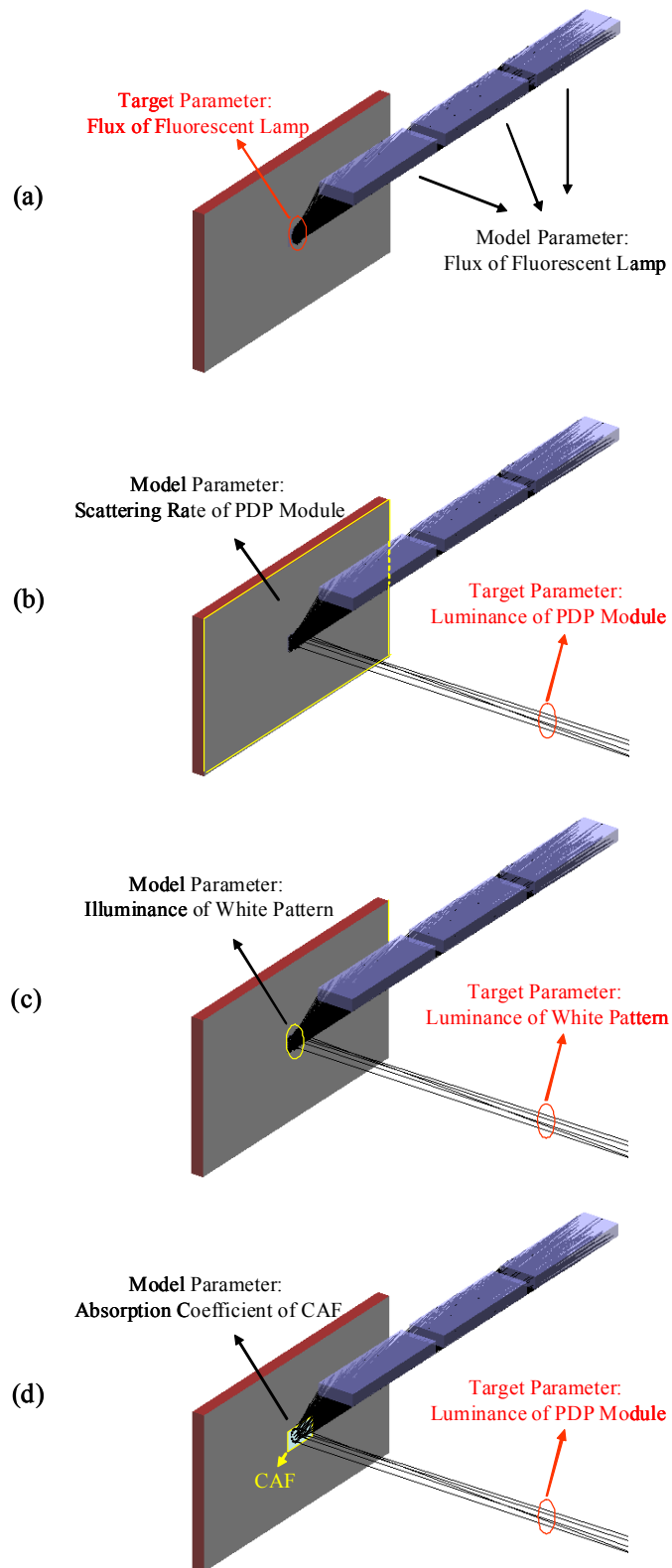


그림 4.5 과녁 변수와 모델 변수를 이용한 매칭 시뮬레이션 과정.

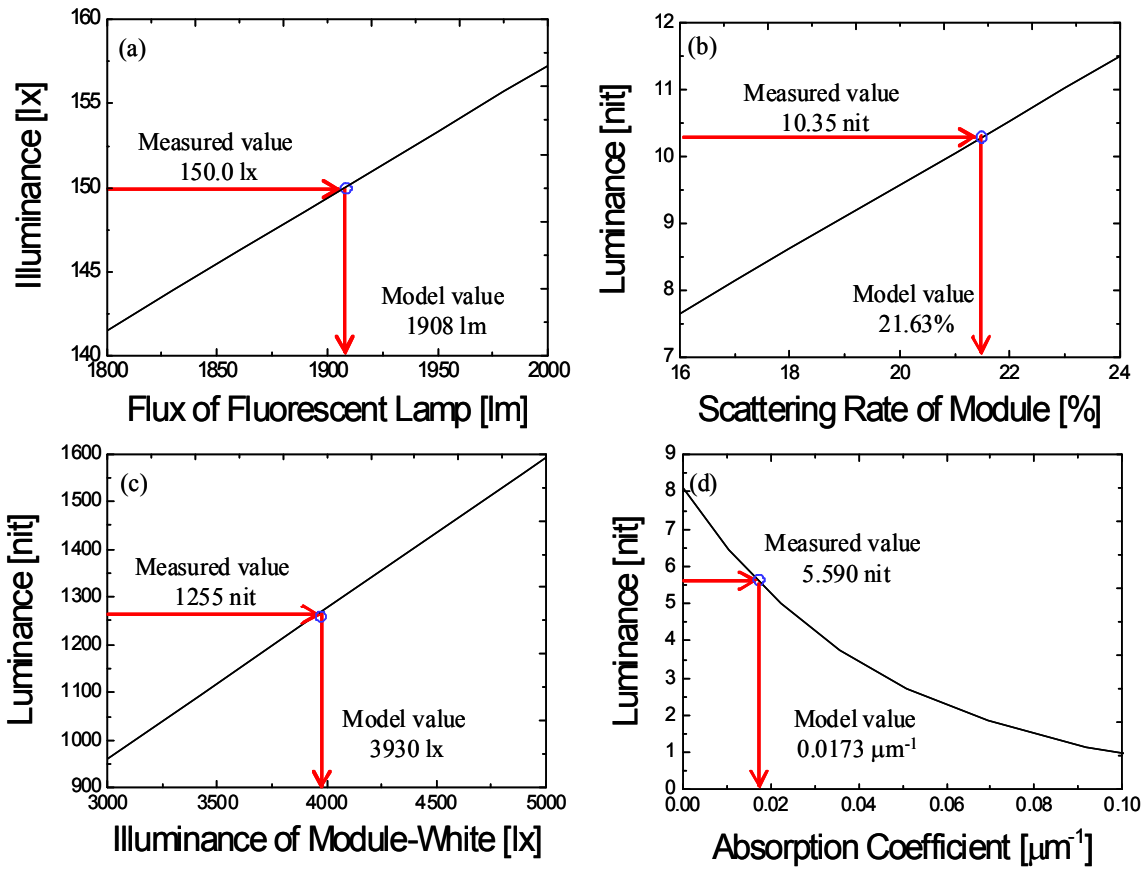


그림 4.6 각 모델 변수에 대한 매칭 시뮬레이션 결과.

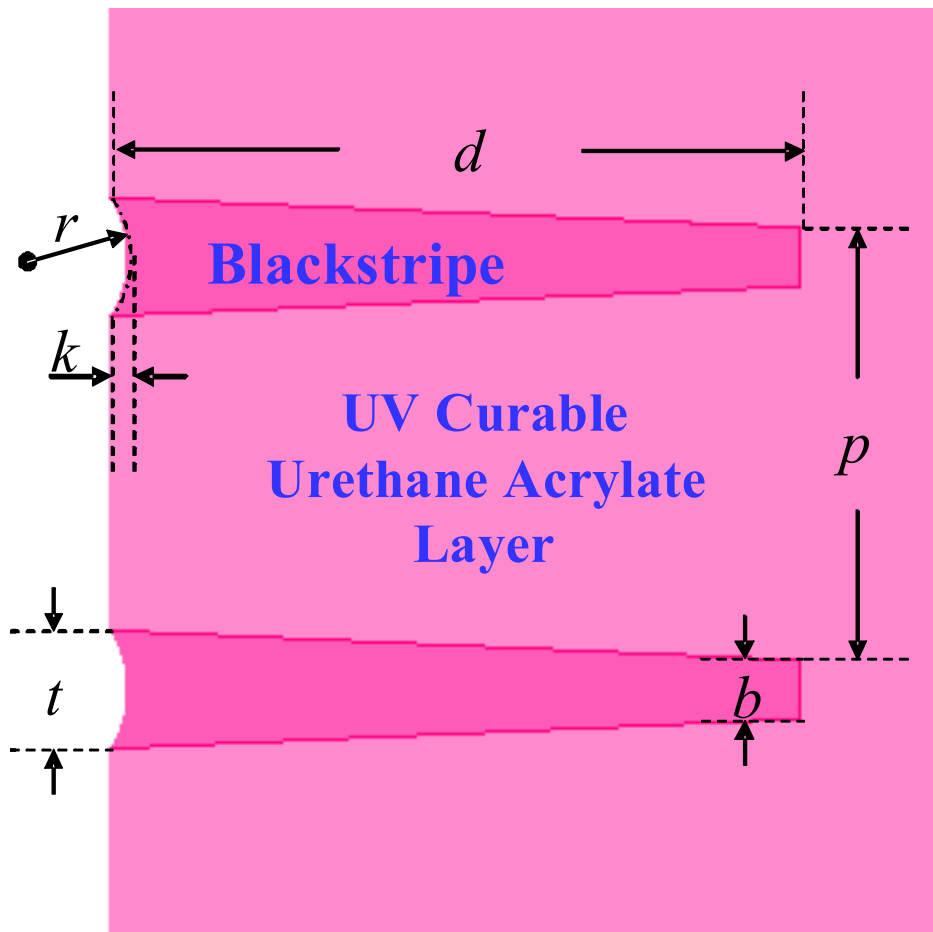


그림 4.7 모델링된 명암비 향상 필름의 단면도.

제3절 결과 및 논의

본 절에서는 제 2절에서 모델링한 명실 명암비 측정 시스템과 명암비 향상 필름을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 실험 결과와 시뮬레이션 결과에 대해 정리 하였다. 명암비 향상 필름은 실험 조건을 고려하여 PDP 모듈로부터 3 mm 거리에 놓았고, 필름 부착 방향 B와 같이 BS 상단면이 모듈을 바라보도록 하였다. 표 4.3은 명암비 향상 필름을 채용한 PDP 모듈의 명실 명암비 측정값과 시뮬레이션 결과값을 보여준다. 시뮬레이션을 통해 최소 휘도값과 최대 휘도값을 얻었으며, 이 결과를 이용하여 명실 명암비 값을 계산 하였다. 표 4.4는 명암비 향상 필름을 채용한 PDP 모듈의 명실 명암비 측정값 및 시뮬레이션 결과를 보여준다. 시뮬레이션에 의한 각 필름의 명실 명암비 값은 측정값을 기준으로 모든 샘플에 대하여 최대 약 10% 오차 범위 내에 있음을 알 수 있다. 그림 4.8는 표 4.4의 명실 명암비 값을 그래프로 나타낸 것이다. 여기서 점선으로 표시된 보조선은 $\pm 10\%$ 오차 범위를 나타낸다. 매우 간략화된 모델을 사용했음에도 불구하고, 실험결과를 잘 재현하고 있음을 확인 할 수 있다.

모듈의 최대 휘도값은 PDP 모듈이 ON 상태일 때 측정 된 값으로, 주로 화이트 패턴으로부터 출사한 광량에 의해 결정된다. 반면에, 모듈의 최소 휘도값은 오직 모듈에 의해 산란된 외부광에 의해 결정된다. 휘도 측정계의 측정각도는 1° 로 제한되기 때문에, 모듈의 최대 휘도값은 화이트 패턴으로부터 명암비 향상 필름 면에 대해 거의 수직으로 출사하는 빛에 의해 결정된다. 따라서 최대 휘도값은 명암비 향상 필름의 투과부 비율(Open ratio, $(p - t)/p$)에 비례할 것으로 예측된다. 표 4.4의 최대 휘도 값들은 각 필름 샘플의 투과부 비율 $A(67.7\%) < B(70.0\%) = C(70.0\%) < D(73.0\%)$ 과 같은 경향을 보이고 있어, 위의 예측을 뒷받침하고 있다.

최소 휘도값에 기여하는 빛은 매우 복잡한 경로를 거쳐 휘도 측정계에 도달한다. 상단 형광등으로부터 출사한 빛은 명암비 향상 필름에 큰 각도로 입사 하게 된다. 명암비 향상 필름의 BS에 의해 대부분의 빛이 흡수되고, 투과된 소량의 빛은 PDP 모듈에서 산란 된다. 산란된 빛들은 명암비 향상 필름을 다시 한 번 통과 하고, 명암비

향상 필름 면에 대해 거의 수직으로 출사하는 빛만이 휘도 측정계에 수집된다. 최소 휘도값은 이와 같이 명암비 향상 필름의 구조와 연계하여 복잡한 과정을 통해 결정되기 때문에, 그 값을 결정하는 단일 변수의 추출은 매우 어려운 것으로 판단된다.

표 4.4 명암비 향상 필름을 채용한 PDP 모듈의
 명실 명암비 측정값과 시뮬레이션 결과값.

Sample	Experiments			Simulation		
	L_{ON} [nit]	L_{OFF} [nit]	BRCR	L_{ON} [nit]	L_{OFF} [nit]	BRCR
<i>A</i>	624.60	1.55	402.97	648.88	1.48	437.32
<i>B</i>	654.80	1.46	448.49	663.08	1.37	485.60
<i>C</i>	658.80	1.43	460.70	663.01	1.31	507.88
<i>D</i>	682.50	0.91	750.00	687.99	0.93	743.68

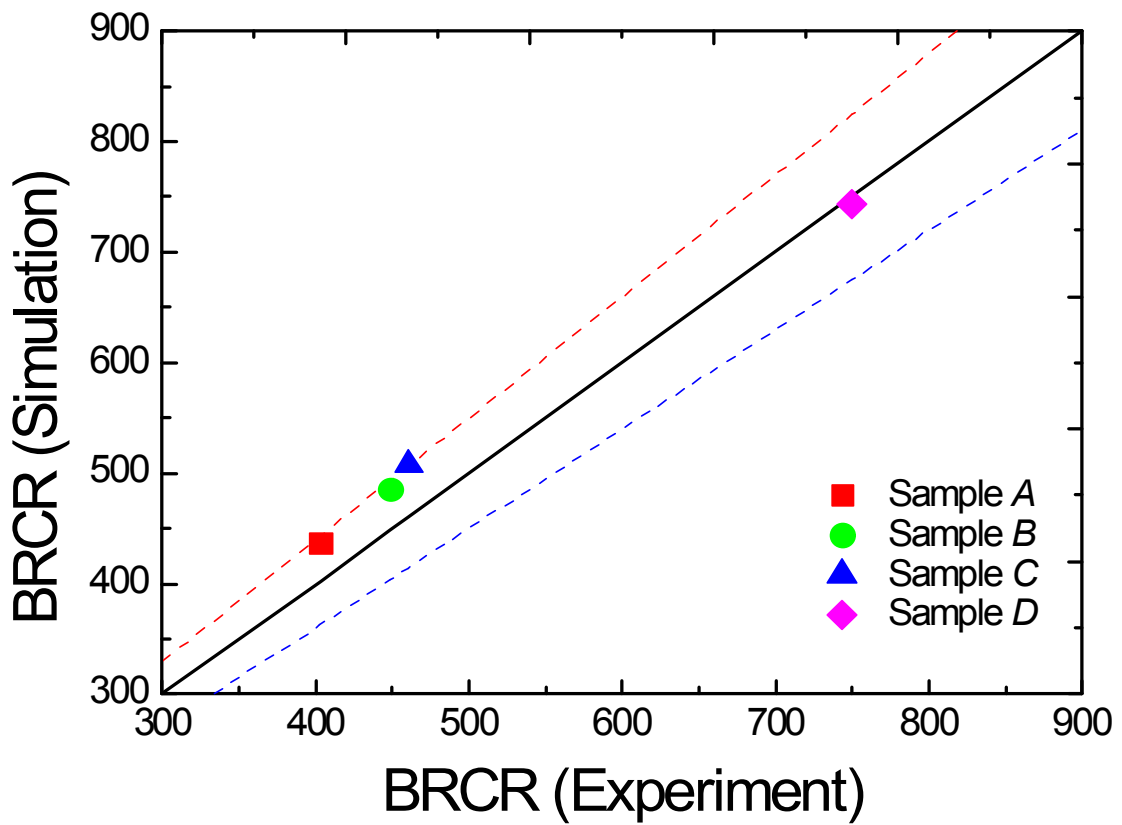


그림 4.8 명암비 향상 필름을 채용한 PDP 모듈의
 명실 명암비 측정값과 시뮬레이션 결과 값의 비교

제5장 결론

본 논문에서는 조명 광학 설계 프로그램을 사용하여 PDP용 명암비 향상 필름의 고스트 현상에 대해 분석하였고, 명실 명암비 측정 시스템에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다. 그 과정 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저, 고스트 영상 결상을 위한 광학계를 설계하였고, 설계된 광학계를 이용하여 명암비 향상 필름의 부착 방향 및 자외선 경화층과 BS의 굴절률 차이에 따른 고스트 현상에 대해 분석하였다. BS의 상부가 PDP 모듈 방향을 향하도록 명암비 향상 필름을 부착한 경우, 그 반대의 경우 보다 고스트 영상의 세기 및 발생 영역이 작음을 알 수 있었고, 자외선 경화층과 BS의 굴절률 차이가 작을수록 고스트 현상이 완화됨을 알 수 있었다.

다음으로 IEC 측정 표준에 기초한 명실 명암비 측정 시스템을 모델링 하였다. 효율적이고 실용적인 모델링을 위하여 측정 시스템의 요소 장치들의 구조적, 광학적 특성을 최대한 단순화하였다. 모델링을 위해 형광등의 광속, PDP 모듈의 산란반사율, 화이트 패턴의 조도 및 색보정 필름의 흡수계수 등 4개의 모델 변수를 선정 하였고, 매칭 시뮬레이션을 통해 실제 측정 시스템과 부합하는 모델 변수 값을 결정하였다. 4개의 서로 다른 구조를 갖고 있는 명암비 향상 필름 샘플에 대해 시뮬레이션을 수행하였고, 명실 명암비 측정 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 두 결과는 최대 약 10% 오차 범위 내에서 일치하였다.

고스트 현상에 대한 본 논문의 분석 결과는 명암비 향상 필름 설계에 유용한 기본 정보를 제공하고 있으며, 본 논문의 명실 명암비 측정 시스템 모델을 바탕으로 한 명암비 향상 필름 구조 및 광학 변수의 최적화 시뮬레이션 등을 통해 고성능의 명암비 향상 필름 설계가 가능할 것으로 판단된다.

[참고문헌]

- [1] J. H. Lee, D. N. Liu, and S. T. Wu, Introduction to Flat Panel Displays (JohnWiley & Sons Ltd, Chichester, England), 1 - 10 (2008).
- [2] A. J. S. M. de Vaan, "Competing display technologies for the best image performance," J. Soc. Info. Display 15, No. 9, 657 - 666 (2007).
- [3] Y. Sato, K. Amemiya, and M. Uchidoi, "Recent progress in device performance and picture quality of color plasma displays," J. Soc. Info. Display 10, No. 1, 17 - 23 (2002).
- [4] G. Zagdoun, T. Heitz, and X. Talpaert, "New type of optical filter for PDP TV with improved durability," SID Symposium Digest 35, 918 - 921 (2004).
- [5] 천종필, 정우주, 윤기철, 송부섭, "시인성 향상 필름과 이를 이용한 디스플레이 필터 및 디스플레이 장치," 대한민국 특허 등록번호 1008702900000 (2008. 11. 17).
- [6] E. A. Moon, B. W. Jeong, B. J. Bae, J. S. Kim, B. G. Ryu, J. S. Choi and E. C. Park, "Improvements Made to the Contrast Ratio of PDPs in a Bright Room by Coating the Phosphors with Pigments," SID Symposium Digest 39, 186-189 (2008).
- [7] C. DeCusatis, Handbook of Applied Photometry (Springer-Verlag, New York, USA), 33 - 54 (1997).
- [8] J. C. Chaves, Introduction to Nonimaging Optics (CRC Press, New York, USA), 447 - 466 (2008).
- [9] W. J. Smith, Modern Optical Engineering 3th Edition (McGrow-Hill, New York, USA), 219 - 250 (2000).
- [10] N. S. Kopeika, A system engineering approach to imaging (SPIE Press, Washington, USA), 107 - 134 (1998).
- [11] 김의수, 정상철, 조은영, "외광 차폐층, 이를 포함하는 디스플레이 장치용 필터 및 이를 포함한 디스플레이 장치," 대한민국 특허 출원번호 10-2006-0133189

- (2006. 12. 22).
- [12] M. Goto, "Sheet for use for projection screen, light diffusion sheet and projection screen," United States Patent No. US 7180664 B2 (Feb. 20, 2007).
 - [13] A. Warmisham, "Optical Objective," United States Patent No. 2310502 (Feb. 9, 1943).
 - [14] Zemax[®] Optical Design Program User's Guide, Zemax Development Corporation, 439 - 446 (2008).
 - [15] S. H. Park, Y. K. Lee, J. D. Kim, J. H. Kim, and H. S. Cho, "Film for improving contrast and plasma display panel and display device including the same," United States Pub. No. US 2009/0160337 A1 (Jun. 25, 2009).
 - [16] K. Koike, T. Shinozaki, H. Saigou, T. Okamura, T. Kitagawa and S. Fukuda, "Newly Developed Optical Filter for Attaching Directly on Plasma Panel," Journal of ITE 58, 1254 - 1259 (2004).
 - [17] LightTools Illumination Module User's Guide, Optical Research Associates, 1 - 16 (2010).
 - [18] S. H Yoo, T. J. Kweon, H. k. Kwon, and E. G. Heo, "The Improvement of Ambient Contrast in Plasma Display Panel using Subtractive Mixture of Colors," SID Symposium Digest 37, 1217-1220 (2006).
 - [19] International Electrotechnical Commission (IEC) Flat Panel Display Devices Technical Committee, Plasma display panels - Part 2-2: Measuring methods - Optoelectrical, (IEC 61988 2-2 ed1.0), IEC, Feb. 2003.
 - [20] <http://www.konicaminolta.com/>

[감사의 글]

아들이 잘되도록 열심히 조언을 아끼지 않으시던 아버지, 어머니 그리고, 해외에 나가 열심히 일하고 있는 동생의 조언이 없었더라면, 저는 석사학위를 받을 수 없었을 것이라 생각합니다. 특히 아들의 의사를 존중해 주고 뒤에서 묵묵히 도와주신 부모님께 다시 한 번 감사의 말씀 올립니다.

학부 3학년부터 시작한 연구실 생활이 벌써 4년이 넘었습니다. 2006년에는 석사학위에 대한 마음이 크지 않았지만, 공부를 하면 할수록 재미를 느낄 수 있었습니다. 제가 학업을 계속 할 수 있게 도와주시고, 말로 다 표현할 수 없는 많은 지원을 해주신 박종락 교수님. 너무 감사드립니다. 연구실 생활을 시작할 때부터 지금까지 교수님께서 지도해 주시고 많은 기회를 주셨기 때문에 지금에 제가 있을 수 있었습니다. 학부생으로서 시작한 연구실 생활은 저에게 어려움이 많았지만, 교수님의 훌륭한 가르침 덕분에 광학에 대한 열정을 가질 수 있었습니다. 특히 교수님과 함께한 미국에서의 1년은 제게 많은 교훈을 남겼습니다. 하지만, 교수님께서 보여주신 열정과 노력만큼 훌륭한 학생이 되지 못한 것 같아 많은 아쉬움이 남습니다. 앞으로 교수님의 가르침을 머리와 가슴에 새겨 매사 최선을 다하는 사람이 되도록 노력하겠습니다.

부족한 논문을 심사해주신 김진태 교수님, 장원근 박사님께 감사에 말씀 올립니다. 그리고 학부 과정에서부터 많은 조언을 해주신 김현수 교수님께도 감사에 말씀 올립니다. 석사 과정에서 많은 도움을 주신 박시현 교수님, 안태정 교수님, 권민기 교수님 정말 감사드립니다.

함께 하지 않은 시간 보다 함께 한 시간이 많은 연구실 동료 호형, 동호형, 학석이에게 감사의 마음을 전합니다. 연구실에서 함께 했던 많은 시간, 어렵고 힘들 때도 서로 위로해 주며 함께 공부했던 시간들이 앞으로도 참 그리울 것 같습니다. 지금은 여기 없지만, 학부 과정부터 지금까지 함께 공부했던 홍준희, 김경태, 김재훈, 석현이형, 이현행, 김한글, 유진창, 한성, 양정문에게도 감사의 말을 전하고 싶습니다. 언제일지 모르지만 함께 공부했던 친구 동료들과 함께 과거를 추억하는 때가 올 것이라고 믿습니다.

석사 생활을 하는데 많은 도움을 준 문동준, 철용이에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 우리 연구실의 희망 기찬아, 공부 열심히 하고 원하는바 꼭 성취하기 바란다. 그리고 고등학교 시절부터 대학시절 까지 함께한 소중한 이세훈, 이선형에게도 고맙다는 말을 해주고 싶고, 지금까지 저에게 희망의 말을 아끼지 않

은 신성국에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로, 제게 가장 큰 힘이 되어 주신 아버지, 어머니, 동생에게 다시 한번 진심으로 감사하고, 사랑한다고 말씀드립니다. 저에게 도움을 주신 모든 분들의 이름을 이 좁은 공간에서 모두 다 되새기지 못하는데 대해 죄송스럽게 생각하며, 제게 큰 힘이 되어 주신 모든 분들에게 감사의 말씀 올립니다.

2010 年 8 月

范 泰 源 拜上