

LCD Back-Light Unit 설계를 위한 최적화 기법

(Optimization Method for the Design of LCD Back-Light Unit)

서 회 경 [†] 류 양 선 ^{**} 최 준 수 ^{***} 한 광 수 ^{****} 김 성 철 ^{*****}
 (HeeKyung Seo) (YangSeon Ryu) (Joonsoo Choi) (Kwang-Soo Hahn) (SeongCheol Kim)

요 약 LCD BLU(Back-Light Unit)의 설계에는 광선추적 기법이 많이 사용되고 있으며 이러한 기법을 통하여 도광판 전면으로 출사되는 빛의 휘도, 휘도의 균일도, 광효율 등을 수치적으로 예측할 수 있다. 휘도와 휘도의 균일도 등과 같은 항목은 BLU 설계에 있어서 매우 중요한 요소 중의 하나이며 이러한 BLU의 광학적 특성은 도광판의 후면에 인쇄된 잉크패턴에 가장 많은 영향을 받고 있다. 따라서 높은 휘도와 균일도를 발생시킬 수 있는 최적화된 잉크패턴을 설계하는 것은 BLU의 설계에 있어서 가장 중요한 부분 중의 하나이다.

본 논문에서는 최적의 잉크패턴을 설계하기 위하여 직접탐색(Direct Search) 기법 중에서 Nelder-Mead의 심플렉스탐색(Simplex Search) 알고리즘을 적용하였다. 직접탐색 기법은 최적의 잉크패턴을 계산하는 것과 같은 비선형적이고, 비연속적이며, 미분불가능한 함수의 최적점을 계산하는 분야에 많이 적용되고 있다. 본 논문에서는 여러 가지 실험을 통하여 심플렉스탐색 기법이 최적의 잉크패턴을 설계하는데 있어서 매우 효율적이며 안정적으로 사용될 수 있음을 보여주며, 이러한 최적화 기법으로 인하여 BLU 설계 기능을 개선할 수 있음을 보여준다.

키워드 : Back-Light Unit, 확산도트 인쇄패턴, 몬테카를로 광선추적 기법, 휘도의 균일도, 최적화, 심플렉스탐색 알고리즘, Nelder-Mead 알고리즘

Abstract Various types of ray-tracing methods are used to predict the quantity measures of radiation illumination, the uniformity of illumination, radiation performance of LCD BLU(Back-Light Unit). The uniformity of radiation illumination is one of the most important design factor of BLU and is usually controlled by the diffusive-ink pattern printed on the bottom of light-guide panel of BLU. Therefore it is desirable to produce an improved (ideally, the optimal) ink pattern to achieve the best uniformity of radiation illumination.

In this paper, we applied the Nelder-Mead simplex-search method among various direct search method to compute the optimal ink pattern. Direct search methods are widely used to optimize the functions which are often highly nonlinear, unpredictably discontinuous, and nondifferentiable, The ink-pattern controlling the uniformity of radiation illumination is one type of these functions. In this paper, we found that simplex search methods are well suited to computing the optimal diffusive-ink pattern. In extensive numerical testing, we have found the simplex search method to be reasonably efficient and reliable at computing the optimal diffusive-ink pattern. The result also suggests that optimization can improve the functionality of simulation tools which are used to design LCD BLU.

Key words : Back-Light Unit, Diffusive Ink Print Pattern, Monte-Carlo Ray-Tracing Method, Uniformity of Radiation Illumination, Optimization, Simplex Search Algorithm, Nelder-Mead Algorithm

[†] 비회원 : (주) 하이닉스반도체
hkseo@cs-mail.kookmin.ac.kr
^{**} 비회원 : 국민대학교 전산학과
ysloo@cs-mail.kookmin.ac.kr
^{***} 종신회원 : 국민대학교 컴퓨터학부 교수
jschoi@kookmin.ac.kr

^{****} 정회원 : 국민대학교 컴퓨터학부 교수
kshahn@kookmin.ac.kr
^{*****} 비회원 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
sckim@maxwell.snu.ac.kr
 논문접수 : 2003년 12월 24일
 심사완료 : 2004년 10월 13일

1. 서론

평면형 디스플레이로 현재 많이 보급된 TFT-LCD는 거의 CRT에 가까운 표시 품질을 내면서 가격과 응답속도 면에서 CRT에 뒤처지지 않고 소비전력이 적으며 경량, 박형의 장점으로 PC 혹은 노트북 컴퓨터의 모니터, PDA 혹은 핸드폰의 표시장치, 벽걸이 TV 등 여러 용도에 사용되고 있다. 그러나 TFT-LCD는 CRT와 달리 자체 발광 능력이 없으므로 그 후면에서 LCD 화면을 밝혀주는 BLU(Back-Light Unit)를 필요로 한다. TFT-LCD의 핵심 부품인 BLU는 음극관 형광램프 혹은 발광다이오드와 같은 내부 광원으로부터 출사하는 광을 휘도가 균일한 평면광으로 만들어 LCD 패널 부분으로 보내줌으로써, LCD 화면 전체로부터 균일한 휘도의 광이 외부로 출사되도록 해주는 역할을 한다. 불균일한 휘도를 가지는 LCD 화면은 사용자들에게 눈의 피로를 더할 수 있으므로 균일한 휘도의 광이 출사되도록 하는 것은 TFT-LCD가 가져야 할 매우 중요한 요소이다. 따라서 TFT-LCD의 표시 품질을 향상시키기 위하여 균일한 평면광을 만들어내는 BLU를 제작하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다[1,2].

BLU의 구조는 아크릴로 만들어진 도광판, 도광판 측면에 설치된 냉음극관 형광램프, 램프에서 발생한 빛을 도광판 내부로 반사하여 주는 반사판, 그리고 도광판 전면으로 출사되는 광의 시야각을 좁혀 전면휘도를 높여 주는 프리즘 판 등으로 만들어져 있다. 또한 도광판의 하부면에는 도광판 측면에서 입력되는 광을 도광판 전면으로 그 방향을 바꾸어 주기 위해서 광을 확산시켜주는 잉크가 인쇄되어 있다. 잉크는 크기가 다른 수 십만 개 이상의 작은 도트로 인쇄되는데 광원에 가까운 곳에는 잉크의 밀도가 낮게, 그리고 먼 곳은 잉크의 밀도가 높게 조밀한 패턴으로 설계한다. 이러한 확산잉크의 다양한 인쇄패턴에 따라서 BLU 전면으로 출사되는 휘도의 세기와 휘도의 균일도는 달라지게 된다. 따라서 주어진 조건에서 높은 휘도와 균일한 휘도를 얻어내기 위한 최적의 인쇄패턴을 찾아내는 작업은 BLU 설계에 있어서 매우 중요한 작업 중의 하나이다. 이러한 최적의 인쇄패턴을 설계자의 감각과 경험에 근거하여 설계하기 위해서는 많은 횟수의 시행착오를 거치는 실험을 필요로 할 뿐만 아니라, 매우 긴 시간을 필요로 한다. 본 연구에서는 주어진 확산잉크의 인쇄패턴으로 도광판의 전면에서 발생하는 휘도를 계산하는 시뮬레이터[3]를 기반으로 하여, 도광판의 전면으로 가장 균일한 휘도를 출사하도록 하는 최적의 인쇄패턴을 자동적으로 찾을 수 있는 최적화 기법을 개발한다.

최적의 잉크패턴을 계산하는 문제는 비선형적이며, 비

연속적이고, 미분 불가능한 함수로 표시되며, 이러한 함수의 최적점을 계산하기 위해서는 직접탐색 기법(Direct Search Method)이 많이 사용된다[4]. 본 연구에서는 최적의 잉크패턴을 설계하기 위하여 직접탐색기법 중에서 많이 응용되고 있는 심플렉스탐색(Simplex Search) 알고리즘을 사용한다. 본 연구에서 개발한 최적화 기법은 주어진 환경에서 최고의 휘도를 출사하도록 하는 도광판을 설계하거나, 최근에 많이 연구가 되고 있는 확산물질의 인쇄공정 없이 바로 도광판 자체가 광 산란기능을 가지도록 도광판을 설계하거나, 프리즘 기능이 추가된 도광판 설계기술 개발 등에도 적용될 수 있다[5].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 BLU를 구성하는 요소들에 대해서 먼저 기술하고, 가상으로 모델링한 BLU의 특성을 예측하기 위한 광선추적 기법에 의한 몬테카를로 시뮬레이션과 최적화 기법 중에서 많이 사용하는 직접탐색(Direct Search) 기법에 대하여 기술한다. 3절에서는 도광판의 밑면에 인쇄하는 잉크도트 패턴의 설계 방법에 대하여 설명하며 4절에서는 직접탐색 기법에 의하여 최적의 잉크도트 패턴을 계산하는 방법에 대하여 설명한다. 5절에서는 최적의 패턴을 설계하는 과정과 그 결과에 대하여 기술하며, 6절에서는 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

2. 관련 연구

본 절에서는 LCD 패널 전면으로 균일한 휘도의 광이 출사되도록 BLU를 설계하기 위해서 BLU를 구성하는 핵심부품과 각 핵심부품에서 일어나는 광학 특성에 대해서 기술한다. 또한 BLU의 설계를 통하여 모델링된 BLU가 생성하는 평면광의 균일도를 예측하기 위해서 각 부품의 광학 특성을 고려하여 구현된 광선추적 시뮬레이션에 대하여 기술하며, 균일도 등과 같은 광학적인 특성을 최적화하기 위한 선형연구에 대하여 기술한다. 또한 균일한 평면광을 생성하는 최적의 BLU를 설계하기 위한 최적화 알고리즘인 심플렉스탐색 알고리즘에 대하여 기술한다.

2.1 도광판의 인쇄패턴 형상 분석

노트북과 같은 중소형의 LCD에 장착된 일반적인 BLU의 구조는 그림 1과 유사한 형태를 가지고 있다. 이러한 BLU는 측면이 사각형이거나 웨지형태를 가지며 광학적으로 투명한 아크릴로 만들어진 도광판, 도광판의 측면에 부착된 광원인 냉음극관 형광램프, 광원에서 발생한 빛을 도광판 내부로 반사하여 주는 반사판, 그리고 도광판 전면으로의 휘도를 높여주는 프리즘 판 등으로 만들어져 있다. 또한 도광판의 밑면에는 빛을 산란시키는 특성을 가지고 있는 확산잉크가 작은 도트(점) 형태로 인쇄되어 있다. 램프에서 발생된 빛은 직접 혹은 반

사관에 반사되어 도광판의 내부로 입력되고 도광판 내부에서는 내부전반사에 의하여 도광판 깊숙이 빛이 전달된다. 도광판 내부에서 빛이 전반사되는 과정에서 도광판의 밑면에 인쇄된 잉크에 닿게 되면 빛이 산란되고 산란된 일부의 빛은 도광판의 전면으로 출사된다.

BLU가 가져야 할 특성 중에는 LCD 전면으로 균일한 평면광을 만들어 낼 수 있어야 하며, 이 특성은 대부분 도광판의 하부에 인쇄된 산란용 잉크도트들의 밀도와 배열에 의하여 조정된다. 일반적으로 잉크도트는 광원에서 먼 쪽의 잉크도트의 크기를 광원에서 가까운 쪽의 잉크도트보다 크게 하여, 크기가 큰 잉크도트에서 상대적으로 많은 빛이 산란되어 도광판의 전면으로 출사되게 하므로 전체적으로는 균일한 평면광을 만들 수 있다. 이와 같이 확산잉크의 인쇄패턴에 따라서 BLU가 생성하는 평면광의 균일도는 달라지고, 따라서 원하는 광 분포를 얻어내기 위해서는 주어진 조건에서 균일한 평면광을 생성하게 하는 인쇄패턴을 찾아내어야 한다. 이러한 인쇄패턴을 사람의 경험에 근거하여 수작업을 통한 실제 실험으로 찾기는 많은 횟수의 시행착오를 거치는 실험을 필요로 할 뿐만 아니라, 매우 긴 시간을 필요로 한다.

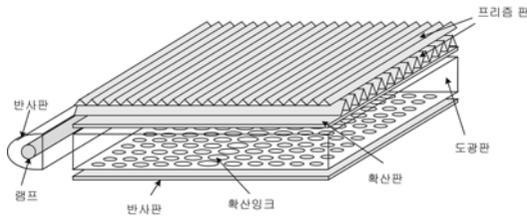


그림 1 BLU의 3차원 형태

2.2 BLU 모델링 및 시뮬레이션

광선추적(Ray-Tracing) 기법은 건물과 같은 모델 내에서 광원으로부터 전파되어 나가는 빛이 건물벽 등의

물체에 부딪히면서 반사, 투과 혹은 굴절되는 기하학적인 특성을 이용하여 최종적으로 카메라의 필름에 맺히는 영상을 컴퓨터를 이용하여 사실적으로 제작하는 컴퓨터 그래픽스 분야나 조명기구의 제작 혹은 열전달 시뮬레이션 등의 분야에서 많이 활용되고 있다[6]. 그러나 광선추적 기법은 빛의 확산과 같은 현상을 잘 처리하지 못하기 때문에 이를 보완하기 위한 몬테카를로 광선추적 기법[7]이나 광자매핑(Photon Mapping)[8] 등의 기법이 개발되어 광선추적 기법을 대신하여 많은 응용분야에 사용되고 있다.

BLU를 설계하는데 있어서도 BLU가 생성하는 평면광의 균일도 등과 같은 여러 가지 특성을 예측하기 위해서는 광선추적 기법을 사용한 시뮬레이터를 이용한다 [1,3]. 이러한 시뮬레이터에서는 먼저 BLU 핵심부품의 형태에 관한 데이터, 예를 들어, 도광판의 크기, 램프의 형태 및 개수, 램프 반사판 단면의 기하학적인 구조, 확산물질의 인쇄패턴 등의 데이터로 BLU의 형태를 모델링한다. 또한 각 부품의 반사계수, 난반사계수, 흡수계수 등과 같은 물질적인 특성을 고려할 수 있게 한다. BLU의 형태를 모델링한 후, 시뮬레이터에서는 광선추적 기법을 이용하여 내부 광원으로부터 생성된 빛을 추적하고 도광판의 전면에 도달하는 빛을 측정하여 LCD Panel 방향으로 나오는 평면광의 균일도를 예측할 수 있도록 해준다.

특히 [3]에서는 광선추적 기법으로 경로추적(Path-Tracing) 기법을 응용한 광자경로추적(Photon Path-Tracing)[8]을 사용하였고 이의 효율성을 제시하였다. 광자경로추적 기법은 몬테카를로 기법 중의 하나로서 이 기법에서는 하나의 광선을 하나의 광자(Photon)라고 생각하고 그 광자를 한 방향으로만 추적한다. 몬테카를로 기법을 적용하기 위한 확률적인 모형은 BLU의 각 부품에 대한 재료의 특성 중에서 반사계수를 이용하여 Russian Roulette[9,10]을 적용한다.

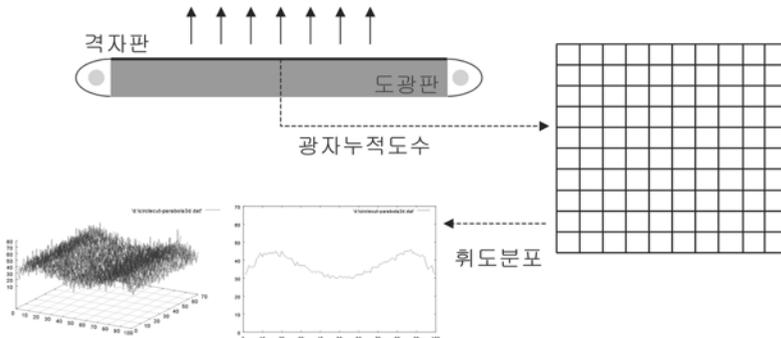


그림 2 휘도분포 계산

시뮬레이션 과정을 통하여 최종적으로는 도광관의 전면으로 빠져 나오는 모든 광자에 대한 정보인 광자가 빠져나오는 도광관의 위치, 광자의 방향 등을 기록한다. 이를 기반으로 다음과 같은 방법으로 도광관의 전면에서의 광자의 휘도분포를 계산한다. 휘도분포는 그림 2에서와 같이 BLU 전면 위에 격자무늬 사각 면을 가상으로 올려놓고 각 격자무늬로 빠져나오는 광자를 카운트하여 2차원 배열의 자료형태로 저장한다. 그 자료를 이용하여 아래와 같이 2차원, 3차원 그래프로 나타낼 수 있는데, 3차원 그래프에서는 각 격자의 위치별로 나온 광자의 개수를 표현한 것으로 면휘도를 나타내고, 2차원 그래프는 램프로부터 같은 거리에 위치한 모든 격자의 광자 개수를 적분을 하여 그 평균값을 계산한 그래프이다. 이 그래프들이 나타내는 것은 BLU가 생성하는 평면광의 휘도의 균일도로서 이 그래프가 평평할 수록 위치별 밝기가 균일함을 나타낸다.

2.3 조명기구 설계에서의 최적화 기법

BLU와 같은 조명기구는 기본적으로 물질의 광학적인 특성을 이용하여 설계된다. 따라서 BLU 뿐만 아니라 다양한 종류의 조명기구의 설계도구로 위에서 설명한 광선추적기법을 이용한 시뮬레이션을 많이 사용하고 있다[1,3]. 그러나 렌즈를 설계하는 부분을 제외하고서, 조명기구를 설계하는데 있어서 체계적인 최적화 기법을 적용하는 연구는 시작 단계에 있으며, 헤드 램프의 반사경을 설계하는 경우와 같은 특수한 경우를 제외하고서 최적화 알고리즘을 적용하는 조명기구 설계 툴도 없는 형편이다[11]. 이와 같이 조명기구를 설계하는데 있어서 최적화 기법을 적용하기 쉽지 않은 이유는 조명기구의 효율에 영향을 미치는 변수가 매우 다양하며, 또한 조명기구의 특정 부품이 조명기구의 효율에 어느 정도의 영향을 미치는 지를 가늠하기 어렵기 때문이다. Teijido [11]는 광학전달블록(Optical Transfer Block)이라는 모델을 사용하여 광학기구 설계에 필요한 변수를 최소화하여 최적화하는 기법을 시계의 전면조사(frontal-lighting) 기구를 설계하는데 적용하였다.

2.4 Simplex Search 알고리즘

앞에서 설명한 광선추적 기법을 이용한 시뮬레이션의 목적은 BLU의 램프에서 투입된 광 에너지가 어느 정도 효율적으로 BLU의 전면으로 출사되는지를 나타내는 광 효율을 효과적으로 계산하고, 또한 BLU의 전면에서 발생하는 휘도의 균일도를 예측하기 위함이다. 또한 이러한 시뮬레이션에는 설계된 BLU의 구조를 정의하는 여러 가지 변수들을 변경하여 BLU의 효율이 개선되도록 BLU의 구조를 수정하는 작업이 필요하다. 최적의 효율을 가지는 BLU의 구조를 표현하는 변수를 찾기 위해서는 이와 같은 작업을 반복적으로 수행하여야 하는데, 이

러한 변수들을 자동적으로 계산하기 위해서는 수치적인 최적화 기법이 필요하다.

수학적으로, 최적화문제는 d 개의 변수로 만들어진 벡터 $\vec{x}=(x_1, x_2, \dots, x_d)$ 에 대하여, 목적함수 $f(\vec{x})$ 를 최대화(혹은 최소화) 시키는 것이다. BLU의 광선추적기법을 이용한 시뮬레이션 모델에서 목적함수는 여러 가지가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 BLU가 전면으로 출사하는 휘도의 균일도를 목적함수로 사용하고, 목적함수 $f(\vec{x})$ 를 최소화하고자 한다. 휘도의 균일도를 표시하는 목적함수에서 사용하는 변수들은 BLU의 구조를 나타내는 변수들을 사용한다. 이러한 변수들 중에서 BLU의 효율에 영향을 가장 많이 미치는 변수는 BLU의 인쇄패턴이다. 램프 반사판의 단면모양과 같은 다른 변수들에 대하여 최적화하는 방법은 본 논문에서 기술하는 BLU 인쇄패턴에 대한 최적화 기법과 같은 방법을 적용하여 최적화할 수 있다.

BLU 전면으로 출사되는 휘도의 균일도를 나타내는 목적함수 f 는 뉴턴방법(Newton Method)이나 준뉴턴 방법(Quasi-Newton Method)[4]과 같은 대표적인 최적화 기법을 적용하기 쉽지 않은 특징을 가지고 있다. 그 이유는, 목적함수 f 의 편도함수(Partial Derivative)를 계산할 수 없고, 또한 f 의 기울기(Gradient)를 수치 해석적으로 근사치를 계산하기도 쉽지 않다. 편도함수 값을 필요로 하지 않고, 함수값만으로 최적화 기법 중에는 대표적으로 직접검색(Direct Search) 기법이 있다 [4]. 직접검색 방법을 사용하면 항상 최적값으로 수렴한다는 구체적인 증명없이 지난 40년 동안 매우 많은 분야에서 사용되어 왔으며, 최근에는 이러한 방법에 대한 새로운 연구가 시작되었고, 여러방향검색(Multidirectional Search) 기법에서 최적값으로의 수렴에 대한 개략적인 연구결과가 얻어지고 있다[12,13].

현재까지 가장 많이 사용되는 직접검색 기법은 J. Nelder와 R. Mead가 1965년 개발한 심플렉스 기법(Simplex Method)이다[14]. Nelder-Mead 기법은 d -차원 공간에서 $d+1$ 개의 꼭지점으로 심플렉스를 만들고, 이 심플렉스에 대칭(Reflection), 확장(Expansion), 수축(Contraction), 축소(Shrinking) 연산을 수행한다. 대칭, 확장, 수축 연산을 통해서 새로운 위치에 있는 점을 하나 만들고, 이 점을 심플렉스의 꼭지점 중에서 가장 최고의 함수값을 가지는 점을 제거한 나머지 d 개의 꼭지점에 새로 만들어진 점을 추가한 $d+1$ 개의 점으로 새로운 심플렉스를 만든다. 축소연산에서는 새로운 d 개의 꼭지점을 만들고, 기존의 심플렉스의 꼭지점에서 최저의 함수값을 가지는 한점과 합하여 새로운 심플렉스를 만든다. 이 새로운 심플렉스에 반복적으로 네 개의

연산을 수행하여, 새로 만들어지는 꼭지점이 최저점으로 근접하도록 심플렉스를 확장하고, 또 최저점에서 먼 방향에서는 심플렉스를 수축하게 하여 심플렉스의 꼭지점들이 최적의 해에 점점 접근하도록 움직여 간다. 이와 같이 Nelder-Mead 방법은 다음과 같은 단계로 구성된 절차를 반복적으로 수행한다.

1. 정렬

$d+1$ 개의 꼭지점이 다음을 만족하도록 정렬한다.

$$f(\vec{x}_1) \leq f(\vec{x}_2) \leq \dots \leq f(\vec{x}_{d+1})$$

2. 대칭(Reflection)

다음 식에 의하여 대칭점(Reflection Vertex) \vec{x}_r 을 계산하고,

$$\vec{x}_r = \vec{x} + \rho(\vec{x} - \vec{x}_{d+1})$$

대칭점에 대한 함수값 $f_r = f(\vec{x}_r)$ 을 계산한다. 여기서, \vec{x} 는 \vec{x}_{d+1} 을 제외한 나머지 d 개 꼭지점의 중심점 $\vec{x} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \vec{x}_i$ 이다. 대칭점의 함수값이 조건 $f_1 \leq f_r < f_d$ 을 만족하면 대칭점 \vec{x}_r 를 새로운 꼭지점으로 받아들이고, 그렇지 않은 경우에는 다음 단계를 수행한다.

3. 확장(Expansion)

만약 $f_r \leq f_1$ 을 만족하면, 다음 식에 의하여 확장점(Expansion Vertex) \vec{x}_e 를 계산하고,

$$\vec{x}_e = \vec{x} + \chi(\vec{x} - \vec{x}_{d+1})$$

확장점 \vec{x}_e 에 대한 함수값 $f_e = f(\vec{x}_e)$ 를 계산한다. 만약 $f_e \leq f_r$ 이면, 확장점 \vec{x}_e 를 새로운 꼭지점으로 받아들이고, 그렇지 않은 경우에는 대칭점 \vec{x}_r 를 새로운 꼭지점으로 받아들인다.

4. 수축(Contraction)

만약 $f_r > f_d$ 을 만족하면, \vec{x}_{d+1} 과 \vec{x}_r 중에서 작은 함수값을 가지는 꼭지점과 중심점 \vec{x} 사이에 다음과 같은 수축연산을 수행한다.

4.1 외부수축(Outside Contraction)

만약 $f_d \leq f_r < f_{d+1}$ 을 만족하면, 다음과 같은 수축점(Contraction Vertex) \vec{x}_{oc} 를 계산하고,

$$\vec{x}_{oc} = \vec{x} + \gamma(\vec{x} - \vec{x}_{d+1})$$

수축점 \vec{x}_{oc} 에 대한 함수값 $f_{oc} = f(\vec{x}_{oc})$ 를 계산한다. 만약 $f_{oc} \leq f_r$ 이면, 수축점 \vec{x}_{oc} 를 새로운 꼭지점으로 받아들이고, 그렇지 않은 경우에는 단계 5(축소, Shrinking)를 수행한다.

4.2 내부수축(Inside Contraction)

만약 $f_r \geq f_{d+1}$ 을 만족하면, 다음과 같은 수축점(Con-

traction Vertex) \vec{x}_{ic} 를 계산하고,

$$\vec{x}_{ic} = \vec{x} - \gamma(\vec{x} - \vec{x}_{d+1})$$

수축점 \vec{x}_{ic} 에 대한 함수값 $f_{ic} = f(\vec{x}_{ic})$ 를 계산한다. 만약 $f_{ic} \leq f_r$ 이면, 수축점 \vec{x}_{ic} 를 새로운 꼭지점으로 받아들이고, 그렇지 않은 경우에는 단계 5(축소, Shrinking)를 수행한다.

5. 축소(Shrinking)

d 개의 새로운 꼭지점 $\vec{v}_i = \vec{x}_1 + \sigma(\vec{x}_i - \vec{x}_1)$, $i = 2, \dots, d+1$ 을 만들어, $\vec{x}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3, \dots, \vec{v}_{d+1}$ 을 다음 단계에서 심플렉스의 새로운 꼭지점으로 사용한다 위에서, 각 연산에서 사용하는 상수 $\rho, \chi, \gamma, \sigma$ 에는 임의의 값을 지정할 수 있으나, 대표적으로 많이 적용되는 값은 $\rho = 1, \chi = 2, \gamma = 1/2, \sigma = 1/2$ 이다. 위의 Nelder-Mead 알고리즘을 종료하는 조건에는 심플렉스의 크기가 너무 작거나, 심플렉스의 꼭지점의 함수값에 대한 변화가 너무 적거나 하는 등이 있다[12,13]. 또한 최초의 심플렉스의 크기와 모양을 정하는 것에는 시행착오나, 여러 실험을 통하여 정할 수 있다[15].

3. 확산인크 인쇄패턴 설계

도광판의 밑면에 인쇄되는 확산인크는 크기가 다른 수십만 개 이상의 작은 도트로 인쇄되며 그 형태는 주로 원형(Circle)과 정육각형(Hexagon)이며, 이러한 도트를 배치하는 방법에는 바둑판 모양의 그리드(Grid)와 벌집(Honeycomb)모양이 있다. 그리드형의 도트배치방법에는 그리드에 속하는 정사각형의 중심에 원형 도트의 중심을 위치시키는 circular-dot-on-grid 형(그림 3(a))이 있으며, 벌집모양의 도트배치방법에는 벌집모양에 속하는 정육각형의 중심에 원형 도트의 중심을 위치시키는 circular-dot-on-honeycomb 형(그림 3(b))과, 정육각형의 중심에 정육각형 도트의 중심을 위치시키는 hexagonal-dot-on-honeycomb 형(그림 3(c))이 있다. 이러한 도트배치방법에 필요한 변수들에는 원형 혹은 정육각형 도트의 최대크기, 최소크기, 도트간의 최소간격, 도광판 상하좌우로 가장자리에서 띄우고 인쇄하여 할 간격의 크기, 그리고 도광판의 위치에 따른 도트의 크기를 나타내는 함수 등이 있다. 일반적으로 램프로부터 같은 수평거리에 있는 도트들이 모두 같은 크기를 가지는 것이 아니고, 양쪽 가장자리로 갈수록 크기를 약간 크게 만든다. 이는 램프로부터 방출된 빛이 상대적으로 가장자리에 적게 도달하므로 이를 보정하기 위함이다. 본 연구에서는 문제를 단순화하기 위하여 램프로부터 같은 거리에 있는 도트는 같은 크기로 만든다고 가정하기로 한다. 같은 수평거리에 있는 도트의 크기에 변

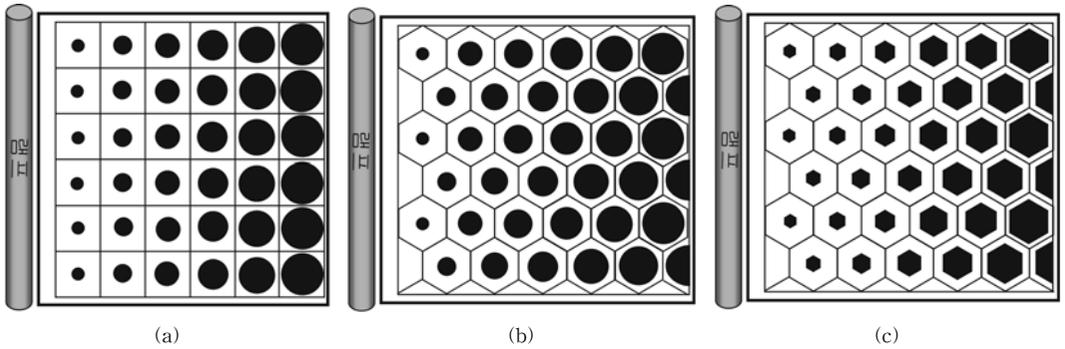


그림 3 도광판 하부면의 확산물질 인쇄패턴

화를 주기 위해서는 아래에 설명하는 방법을 확장하게 되면 쉽게 적용할 수 있다.

확산도트의 역할은 도트에 도달한 빛을 산란시켜서 산란된 빛 중에서 도광판 내부에서 일어나는 전반사의 임계각보다 작은 방향으로 산란된 빛을 도광판의 외부로 출사시키는 역할을 수행한다. 도광판에서 광원에서 먼 쪽은 가까운 쪽보다 광 에너지가 약하게 되므로 단위면적당 확산도트의 밀도를 상대적으로 높여서 빛의 산란을 증가시켜 도광판 전면으로 출사되는 휘도를 광원에서의 거리에 관계없이 비슷하게 만들어야 한다 따라서, 광원에서의 거리에 관계없이 균일한 평면광을 도출하기 위해서는 먼저 광원으로부터의 거리에 따른 확산도트의 밀도를 계산하여야 한다. 본 연구에서는 램프로부터 같은 거리에 있는 도트는 같은 크기로 만들게 되므로, 확산도트의 밀도는 그림 4에서와 같이 1차원의 밀도함수 $d(x)$ 로 정의할 수 있다. 여기서 변수 x 는 광원으로부터의 거리를 나타내며, 광원이 도광판의 양쪽에 배치되는 경우에는 밀도함수는 좌우대칭이 된다. 잉크도트의 각 인쇄패턴에서 주어진 밀도함수에 따라 도트의 크기를 수치적으로 근사하게 계산하는 방법은 다음과 같다.

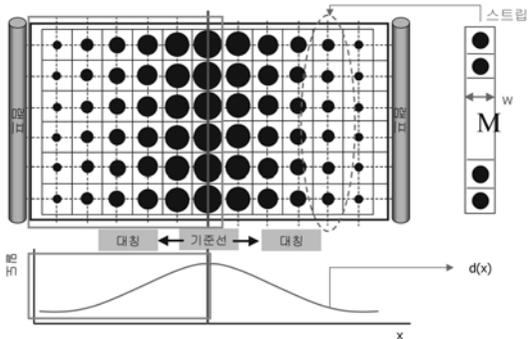


그림 4 램프로부터 거리에 따른 인쇄패턴의 밀도함수

Circular-dot-on-grid 확산도트 배치모델에서는 모든 도트는 같은 크기의 정사각형이 그리드 형식으로 배치되며, 각 도트는 정사각형 내부에 원형으로 인쇄된 패턴이다. 이 패턴에서 그림 4에서와 같이 광원과 평행한 한 줄의 사각형들을 스트립(Strip)이라고 한다. 주어진 밀도함수와 그 외의 도트배치방법에 필요한 변수들이 주어졌을 때, 이들 데이터를 사용하여 그리드에 속하는 정사각형의 변의 길이 w 와 하나의 스트립에 속하는 정사각형의 개수 N 을 먼저 계산한다. 한 스트립에 속하는 정사각형에 배치되는 도트는 같은 크기이므로 주어진 밀도함수 $d(x)$ 에 따라서 각 스트립 S_i 에 속하는 도트의 반지름 r_i 를 계산하는 방법은 그림 5와 같다. 이때 밀도함수는 연속함수이며, 반지름은 각각 비연속적인 위치에서 결정되므로, 중심축이 x_i 에 위치한 스트립 S_i 에서 $d(x_i)$ 는 스트립 S_i 의 총 면적에 대한 스트립에 속하는 정사각형에 배치된 도트의 면적의 비율을 나타내기로 한다. 이에 따라,

$$d(x_i) = \frac{N(\pi r_i^2)}{Nw^2}$$

이고, 반지름을 계산하게 되면

$$r_i = w \sqrt{\frac{d(x_i)}{\pi}}$$

이다.

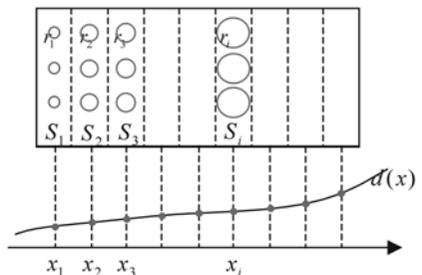


그림 5 Circular-dot-on-grid 모델에서 도트 반지름 계산

Circular-dot-on-honeycomb 패턴은 정육각형이 벌집모양으로 배치되며, 하나의 원형 도트가 각 정육각형 내부에 인쇄되는 패턴이다. 이 패턴에서 스트립은 그림 6에서와 같이 그 폭이 정육각형 한 개의 폭과 동일하며, 그 길이가 인쇄영역의 높이와 같은 사각형을 나타낸다. 하나의 스트립에는 완전한 정육각형이나 반쪽의 정육각형이 배치되어 있으며, 스트립의 양끝에 완전한 정육각형이 배치되어 있는 경우에는 대칭스트립이라고 하며 대칭스트립 형태로 정육각형이 배치하는 것을 대칭배치라고 한다(그림 6(a) 참조). 또한 스트립의 한쪽 끝에는 완전한 정육각형이 다른 끝에는 반쪽 정육각형이 두 개 붙어서 배치되어 있는 경우에는 비대칭스트립이라고 하며, 비대칭스트립 형태로 정육각형을 배치하는 것을 비대칭배치라고 한다(그림 6(b) 참조).

Circular-dot-on-honeycomb 확산도트 배치모델에서 주어진 밀도함수로부터 도트의 크기를 계산하는 방법은 그림 7과 같이 하나의 스트립을 반으로 나눈 반쪽스트립 단위(H)로 계산을 한다. 반쪽스트립에 속하는 각 원의 반지름의 크기를 밀도함수로부터 구하기 위하여, circular-dot-on-grid 패턴에서와 같이, 중심축이 광원

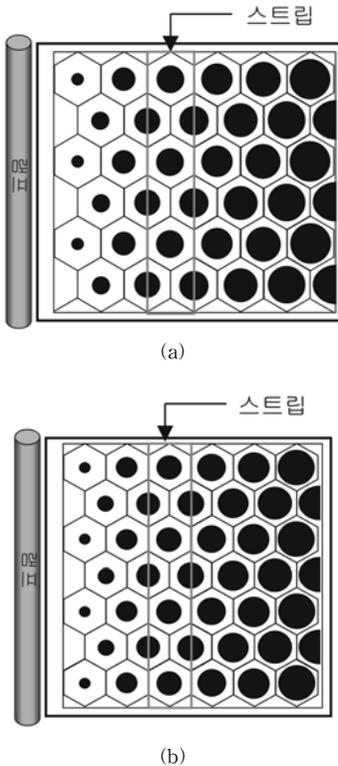


그림 6 Circular-dot-on-honeycomb 패턴에서 대칭배치(a)와 비대칭배치(b)

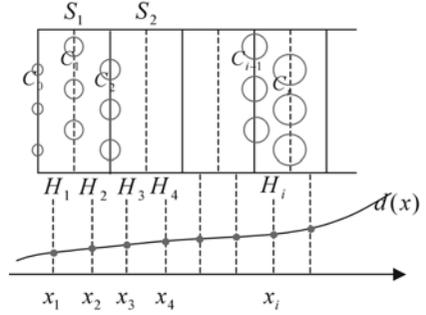


그림 7 Circular-dot-on-honeycomb의 도트 반지름 계산

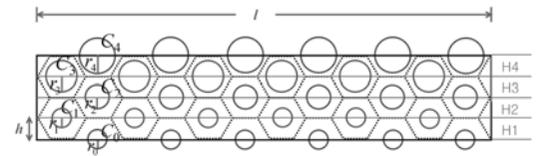


그림 8 Circular-dot-on-honeycomb의 비대칭 배치에서의 스트립

으로부터의 거리 x_i 에 위치한 반쪽스트립 H_i 에서 $d(x_i)$ 는 반쪽스트립 H_i 의 총 면적에 대한 H_i 내부에 인쇄될 도트의 면적의 비율을 나타내기 위하여 한다. 그림 8에서와 같이 반쪽스트립 H_i 에는 반지름의 크기가 r_{i-1} 인 원 C_{i-1} 과 반지름의 크기가 r_i 인 원 C_i 인 두 종류의 원의 반쪽이 포함되어 있다. 반쪽스트립 H_i 에 포함된 반쪽원 C_i 의 개수를 n_i , 그 면적을 A_i 라고 하자.

따라서 그림 7, 8에서와 같이 중심축의 위치가 x_i 이고, 넓이가 w 이며, 길이가 l 인 반쪽스트립 H_i 에서 밀도함수 $d(x_i)$ 는 다음과 같다.

$$d(x_i) = \frac{\frac{1}{2}(A_{i-1}n_{i-1} + A_i n_i)}{wl} = \frac{A_{i-1}n_{i-1} + A_i n_i}{2wl} \quad (1)$$

비대칭스트립의 반쪽스트립 H_i 에는 이 두 종류의 반쪽 원이 같은 수만큼 포함되어 있으므로 $n_i = n_{i-1}$ 이 되며, 대칭스트립의 반쪽스트립에는 두 종류의 반쪽 원의 개수는 다음과 같이 표시된다.

$$n_i = \begin{cases} n_{i-1} + 1, & i \text{ is even} \\ n_{i-1} - 1, & i \text{ is odd} \end{cases}$$

따라서, 비대칭배치에서 $N = n_i$ 라고 하면, 식 (1)에 의하여

$$d(x_i) = \frac{(A_{i-1} + A_i)N}{2hl} \quad (2)$$

이다. 실제로 C_0 는 인쇄되지 않고 C_1 부터 인쇄되므로,

$A_0 = A_1$ 라고 가정하면 도트의 넓이는 $A_i = \pi r_i^2$ 이므로 다음과 같은 순환식으로부터 r_1 부터 순차적으로 각 스트립에서의 도트의 반지름을 유도할 수 있다

$$f_i = \begin{cases} \frac{(\pi r_1^2)N}{hl} & , i=1 \\ \frac{(\pi r_{i-1}^2 + \pi r_i^2)N}{2hl} & , i>1 \end{cases}$$

위 식으로부터 r_i 는 다음과 같은 순환식으로 표시할 수 있다.

$$r_i = \begin{cases} \sqrt{\frac{d(x_i)hl}{\pi N}} & , i=1 \\ \sqrt{\frac{2d(x_i)hl}{\pi N} - r_{i-1}^2} & , i>1 \end{cases}$$

Circular-dot-on-honeycomb, Hexagonal-dot-on-honeycomb 인쇄패턴의 대칭배치에서 각 직육각형에 인쇄되는 각 원 혹은 육각형의 크기를 위와 유사한 방법으로 계산할 수 있다.

4. Simplex Search를 이용한 인쇄패턴의 최적화

BLU를 제작하는데 있어서 가장 중요한 요소 중의 하

나는 도광판 전면에서 생성되는 평면광의 균일도이다. 이 평면광의 균일도는 도광판의 하부에 인쇄되는 도트의 크기에 따라 변화되며, 이러한 도트의 크기는 앞에서 설명한 밀도함수에 의하여 조절된다. 예를 들면, 그림 9는 도트의 크기를 조절하는 밀도함수에 따른 평면광의 균일도를 나타내는 그래프이다. 이 예에서는 도광판 양측에 광원이 장착되어 있어서, 도광판에 인쇄되는 인쇄패턴은 도광판의 중심을 기준으로 양 옆으로 대칭이라고 가정을 한다. 그림 9에서 왼쪽은 밀도함수를 나타내며, 오른쪽은 각 밀도함수에 의하여 광선추적 시뮬레이션을 이용하여 얻은 도광판 전면으로 발생되는 휘도를 나타내는 그래프이다. 이 2차원 휘도 그래프는 그림 2에서 설명한 바와 같이 램프로부터 같은 거리에 있는 격자들로 출사되는 평균광자의 수를 나타낸다. 이 그래프의 실험을 위해서는 100×100 크기의 격자판을 사용하였으며, 실험 결과로는 각 격자당 평균 20여 개의 광자가 출사됨을 알 수 있다. 그림 9(a)에서는 상수 밀도함수를 사용한 예로서, 광원으로부터의 거리에 관계없이 같은 크기의 도트를 인쇄한 경우이다. 이 경우에서는 오른쪽

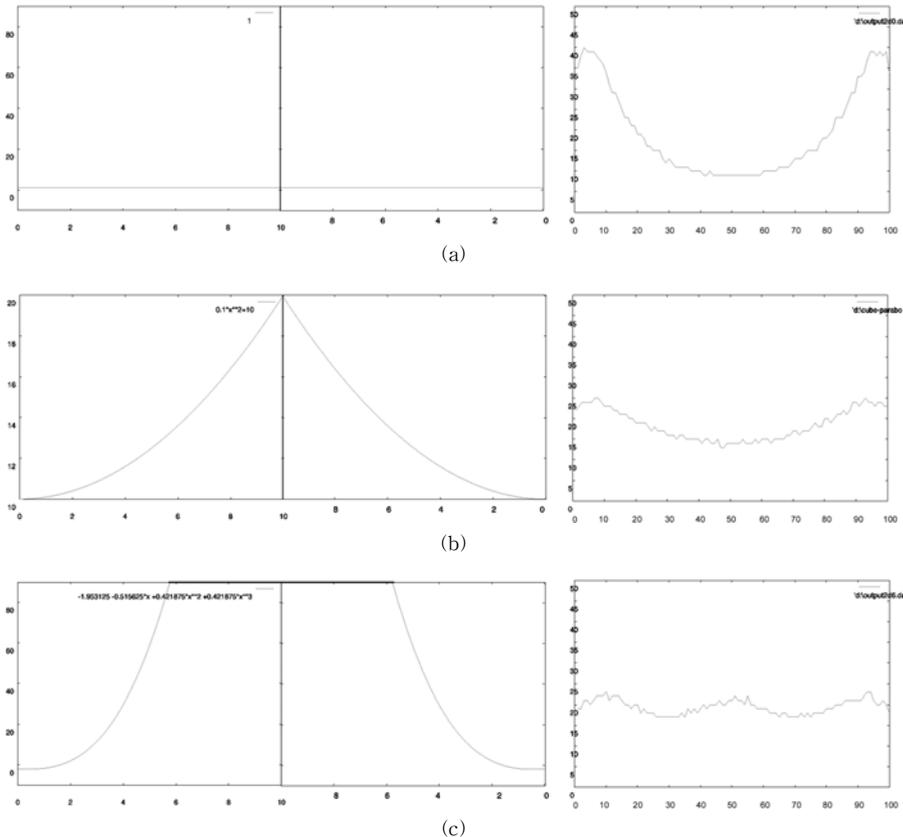


그림 9 인쇄패턴의 밀도함수에 따른 평면광의 균일도 변화

그림에서와 같이 광원에 가까운 부분에서는 강한 휘도가 발생되고, 광원에서 먼 도광판의 중간부분은 상대적으로 약한 휘도가 발생됨을 알 수 있다. 그림 9(b)는 도광판의 중간 부분으로 갈수록 상대적으로 도트의 크기를 크게 하는 밀도함수를 사용한 것으로서, (a)와 비교하면 상대적으로 균일한 휘도를 얻을 수 있다. 또한 그림 9(c)는 도광판의 중간부분은 도트의 크기가 대부분 같도록 하는 밀도함수를 사용한 것으로서 (a), (b)와 상대적으로 더 균일한 휘도를 얻을 수 있지만, 중간부분이 약간 더 높은 휘도를 얻을 수 있다. 이 실험 결과에서 보듯이 도트패턴의 밀도함수의 변화에 따라서 BLU가 생성하는 평면광의 균일도에 많은 변화가 발생함을 알 수 있다. 따라서, 도광판 전면으로 균일한 평면광을 생성하도록 도광판의 인쇄패턴을 최적화시키는 밀도함수를 계산하는 것은 BLU를 개발하는데 있어서 매우 중요함을 알 수 있다.

밀도함수를 나타내기 위해서는 정확한 밀도를 표현하기 위한 함수가 필요하지만, 본 연구에서는 그림 10에서와 같이 세 개의 삼차원 다항식 함수의 최대값을 밀도함수로 사용한다. 이는 대부분의 함수를 작은 계수의 다항식으로 근사하게 표현할 수 있으며, 그림 10과 같은 미분 불가능한 함수도 고려할 수 있게 함이다. 즉, 밀도함수 $D(x)$ 는

$$D(x) = \max\{d_1(x), d_2(x), d_3(x)\}$$

로 정의하고, 각 삼차원 다항식은

$$d_i(x) = a_3^i x^3 + a_2^i x^2 + a_1^i x + a_0^i, \quad i=1, 2, 3 \quad (3)$$

의 4개의 상수계수로 표시한다. 이렇게 정의된 밀도함수로는 매우 다양한 밀도함수를 생성할 수 있으며, 그다지 복잡한 형태의 함수계산을 필요로 하지 않는다.

4.1 최적화 변수 및 목적함수

도트 인쇄패턴의 최적화를 위한 심플렉스탐색 알고리즘으로는 Nelder-Mead 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘을 통하여 최적화하고자 하는 변수는 밀도함수 $D(x)$ 로서, 밀도함수를 표현하기 위하여 사용한 세 개의 삼차원 다항식(수식 3 참조)에 사용된 12개의 계수

$$a_{3,i}^i, a_{2,i}^i, a_{1,i}^i, a_{0,i}^i, \quad i=1, 2, 3$$

이다. 따라서, Nelder-Mead 알고리즘에서 사용되는 심플렉스는 이들 변수를 나타내는 12차원 공간에서 13개의 점으로 구성이 된다.

또한, Nelder-Mead 알고리즘에서 사용되는 목적함수는 다음과 같이 정의한다. 밀도함수 $D(x)$ 에 의해 계산된 도트패턴에 따라 BLU의 시뮬레이션 결과로 구해지는 그리드 카운트 c_{ij} 를 이용하여, 목적함수 f 는 그리드 카운트들의 표준편차(수식 4 참조) 혹은 그리드 카운트의 최대값과 최소값의 비율(수식 5 참조)로 표시된다. 참고로, 2절에서 설명한 바와 같이 그리드 카운트 값 c_{ij} 는 광선추적 기법을 이용한 시뮬레이션을 통하여 도광판 전면에 그리드로 분할된 작은 사각형을 통과한 광자의 개수를 나타낸다.

$$f = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij} - \bar{c})^2}{mn}, \quad \text{where } \bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}}{mn} \quad (4)$$

$$f = \frac{\min_{i,j}\{c_{ij}\}}{\max_{i,j}\{c_{ij}\}} \times 100 \quad (5)$$

4.2 심플렉스 초기화

Nelder-Mead와 같은 심플렉스탐색 알고리즘에서 d 개의 변수를 가지는 목적함수를 최적화하는 경우에는 d 차원의 공간에서 $d+1$ 개의 꼭지점으로 만들어진 심플렉스가 이동하면서 최적의 해로 근접해간다. 이러한 최적화 기법을 적용하기 위해서는 먼저 심플렉스를 구성하는 $d+1$ 개의 꼭지점과 네 개의 이동 연산(대칭, 확장, 수축, 축소)에 대한 이동 계수($\rho, \chi, \gamma, \sigma$)를 초기화하여야 한다. 이러한 심플렉스 꼭지점의 초기값과 계수의 초기값에 따라 최적의 해로 빨리 수렴할 수도 있고 늦게 수렴할 수도 있다. 이러한 변수나 계수들의 초기값들은 사용자가 임의로 변경 가능하며, 그 변수의 변화 범위 또한 사용자가 임의로 변경 가능하다.

목적함수의 d 개의 변수에 대한 초기값이 설정이 되면, 이 초기값으로 심플렉스의 한 개의 꼭지점으로 사용

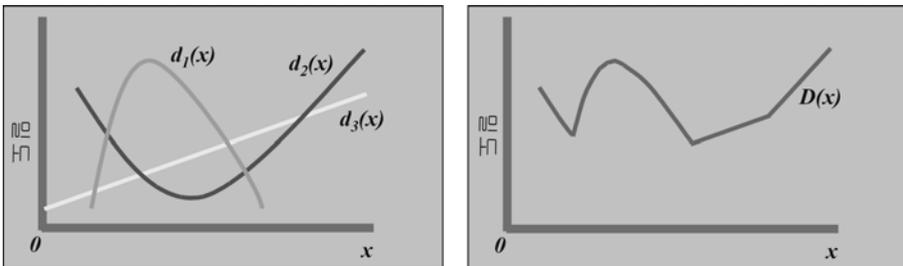


그림 10 세 개의 삼차다항식으로 만들어진 밀도함수

한다. 이 꼭지점을 기준점으로 하여 초기 심플렉스를 구성하는 나머지 d 개의 꼭지점을 초기화한다. 기준점을 중심으로 d 차원의 공간에서 한 축으로 일정한 범위를 이동한 위치에 새로운 꼭지점을 만들면 모두 d 개의 새로운 꼭지점을 만들 수 있다. 이 때, 하나의 축으로 이동한 새로운 꼭지점의 위치는 그 축을 나타내는 변수의 초기값으로부터 변수값의 범위를 심플렉스탐색 알고리즘의 최대 가능한 반복횟수로 나눈 값을 더하고 뺀 두 개의 값 중 더 좋은 결과를 보이는 위치를 선택한다.

심플렉스 이동에 관련된 대칭, 확장, 수축, 축소 등의 네 개의 계수는 일반적으로 많이 적용되는 $\rho=1, \chi=2, \gamma=1/2, \sigma=1/2$ 를 사용하였다. 하지만 이 값은 절대적이지 않고 상황에 따라 변형 가능하며, 여러 번의 실험을 통하여 상대적으로 더욱 빠르고, 보다 정확한 해로 수렴할 수 있는 새로운 값을 사용할 수 있다.

4.3 제한 및 한계값 설정

심플렉스탐색 알고리즘은 심플렉스를 반복적으로 이동시켜서 최적점에 근접하도록 계산하는 방법이기 때문에 어느 정도 최소점에 근접한 경우 등의 여러 가지 조건을 만족하는 경우에는 알고리즘을 종료시켜 주어야 한다. 본 연구에서는 알고리즘을 종료시키도록 하는 다음과 같은 제한값 혹은 한계값을 설정하여 이러한 제한값 혹은 한계값 범위를 만족하는 경우에는 알고리즘을 종료함으로써 무한정 알고리즘이 반복되는 것을 막고 일정 수준의 최적의 값을 찾도록 하였다.

- (1) 알고리즘의 반복 횟수가 지정한 반복 횟수보다 클 때
- (2) Simplex Search 함수의 계산 횟수가 지정한 최대 계산 횟수보다 클 때
- (3) 심플렉스에서 함수값이 가장 큰 꼭지점을 제외한 나머지 점들의 평균과 나머지 꼭지점과의 거리의 합이 지정한 오차 이하일 때
- (4) 심플렉스에서 함수값이 가장 작은 값을 가지는 꼭지점과 나머지 각 꼭지점과의 거리의 합이 지정한 오차 이하일 때
- (5) 알고리즘의 매 반복마다 동일한 최소값이 일정 이상 반복할 때

5. 실험결과

위의 설명한 최적화 기법을 적용하기 위하여 사용한

BLU는 도광판 양 측면에 CCFL이 하나씩 장착된 대칭형으로, 노트북의 LCD 모니터에 사용되는 $288 \times 351 \times 8(mm)$ 크기의 BLU이다. 이러한 BLU의 도광판 밑면에 인쇄되는 확산잉크 패턴의 밀도함수를 표현하기 위하여 식 3과 같은 세 개의 삼차원 다항식을 사용하고, 목적함수로는 식 4와 같은 표준편차를 사용하였다. 이 실험에서는 100×100 크기의 그리드를 사용하였으며, 몬테카를로 광선추적 기법을 위하여 총 40만개의 광선을 발생시켰다. 그림 11(a), (b)는 각각 도광판의 전면으로 발생하는 휘도를 2차원과 1차원으로 표시한 그래프이다. 여기서, 1차원으로 표시한 함수는 2차원으로 생성된 휘도를 램프로부터 동일한 거리에 위치한 휘도를 적분한 결과를 표시한다. 표 1은 최적의 균일한 휘도를 발생시키는 세 개의 밀도함수의 계수와 표준편차 값을 나타낸다.

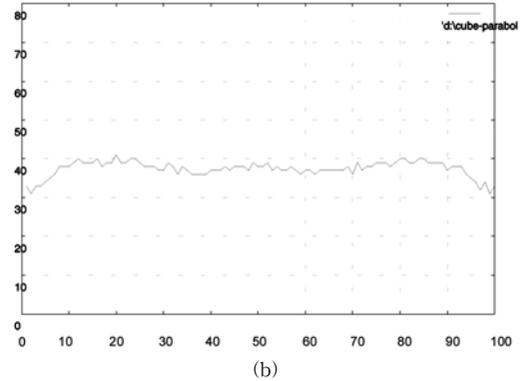
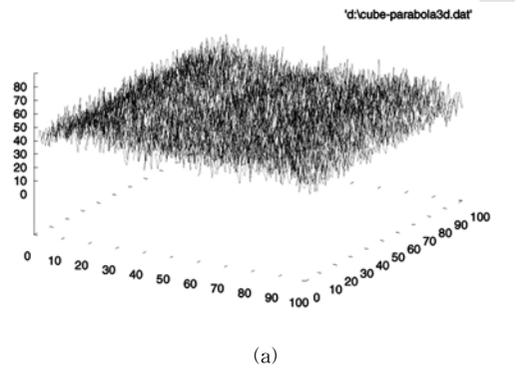


그림 11 최적의 인쇄패턴에 의한 휘도 분포 그래프

표 1 최적의 인쇄패턴을 위한 밀도함수의 계수 및 최적함수값

i	삼차다항식의 계수				최적함수값 (표준편차)
	a_3^i	a_2^i	a_1^i	a_0^i	
1	0.422089	0.622510	0.395499	1.596931	20.217103
2	0.480890	0.677667	0.483086	1.367568	
3	0.420862	2.224944	0.558160	2.456686	

다음으로는 심플렉스탐색 알고리즘을 통하여 밀도함수가 변화되는 과정과, 그 밀도함수에 의하여 계산된 도트패턴을 사용하여 광선추적 시뮬레이션한 결과 도광판 전면으로 발생하는 휘도가 변화되는 과정을 설명한다. 여기서는 밀도함수를 단순화하여 변화과정을 쉽게 도식화하기 위하여 식 (3)에서 사용한 세 개의 삼차다항식 중에서 하나의 삼차다항식 만을 사용하였다. 또한 밀도함수의 초기값으로는 $D(x)=1$ 을 사용하였으며, 최적화 과정에서 균일도를 비교하기 위한 목적함수로는 식 (4)와 같은 표준편차를 사용하였다. 이 실험에서는 100×100 크기의 그리드를 사용하였으며, 몬테카를로 광선추적 기법을 위하여 총 20만개의 광선을 발생시켰다. 이 실험에서는 27회의 심플렉스탐색 알고리즘 반복을 통해서 최적의 인쇄패턴을 계산하였다. 표 2는 매회 심플렉스탐색 알고리즘에서 사용된 밀도함수의 계수와 광선추적 기법을 통하여 계산된 목적함수 값인 표준편차를 나타낸다. 여기서 반복적으로 수행되는 동안 목적함수 값에 변화가 거의 없는 경우는 생략하였다.

그림 12는 심플렉스탐색 알고리즘 수행과정에서 밀도함수가 변화되는 과정을 나타낸 그래프로서, 각 그래프는 표 2에서 심플렉스탐색을 반복적으로 수행하는 과정에서 계산된 계수로 표시되는 삼차원 다항식이다 여기서 x -축으로의 값은 광원으로부터의 거리를 나타내며 그 구간은 $[0, 10.0]$ 으로 정규화하였다. 정규화된 구간을 $[0.0, 1.0]$ 으로 정하지 않은 이유는 밀도함수의 계수가 너무 작은 값이 발생하지 않도록 하여, 밀도함수 값에서의 오차발생을 줄이기 위함이다.

그림 13은 심플렉스탐색 알고리즘 수행과정에서 밀도함수가 변화되면서, 도광판 전면으로 출시되는 2차원 휘도 그래프가 변화되는 과정을 나타낸 것이다. 각 그래프 (a)~(h)는 표 2에서 심플렉스탐색을 반복적으로 수행하는 과정에서 계산된 계수로 표시되는 8개의 밀도함수를 사용하여 시뮬레이션하였을 때 도광판 전면으로 출시되는 휘도 그래프이다. 그래프 (a)는 상수 밀도함수를 사용한 경우로서, 도광판 하부에 인쇄되는 잉크도트의 크

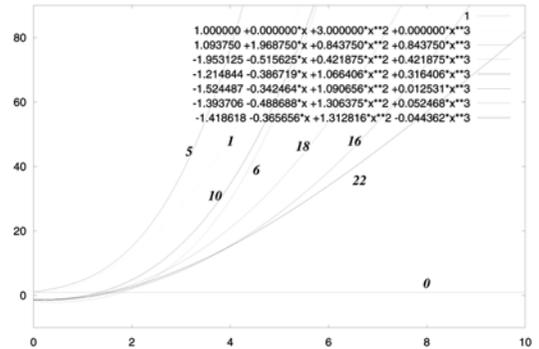


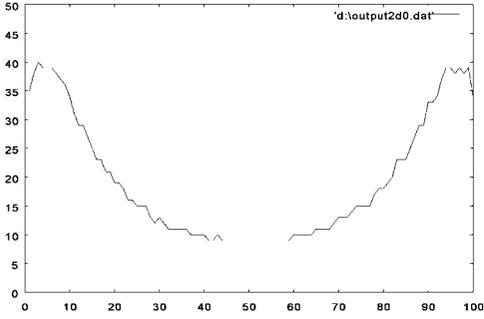
그림 12 심플렉스탐색 알고리즘 수행과정에서 밀도함수의 변화

기가 광원으로부터의 거리에 관계없이 일정한 경우이므로 광원에 가까운 곳에서는 상대적으로 높은 휘도가 발생하게 된다. 그래프 (b)는 (a)에 비교하여 휘도의 균일도가 상대적으로 작으나 광원에 가까운 부분에서 출시되는 휘도와 광원과 먼 도광판의 중심부에서 출시되는 휘도의 크기에는 차이가 많이 있다. 그래프 (c)에서는 광원에서 가까운 곳과 먼 곳에서 발생하는 휘도의 균일도를 줄이기 위하여 도광판의 중심부의 휘도가 그래프 (b)보다는 높아져서 전체적으로 W자 모양의 휘도 그래프를 보여주고 있다, 그래프 (d)부터 (h)까지는 중심부의 휘도가 점점 줄어들면서 전체적으로 휘도가 균일하게 변화하는 과정을 보여준다. 이 과정에서의 목적함수 값인 휘도의 표준편차 값은 표 2에서와 같이 점점 작아지게 되는 것을 알 수 있다.

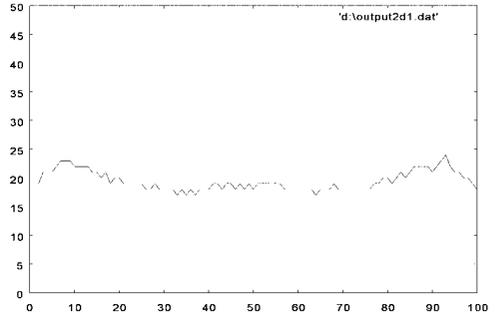
LCD 제작회사에서는 BLU의 표시품질을 나타내는 사양에서 휘도의 균일도의 최소값을 정의하고 있고, 이러한 최소값 범위 내의 균일도를 가지는 BLU는 표시품질을 만족하는 것으로 인정하고 있다. 현재 LCD용 BLU의 기본 사양[16] 중에서 휘도의 균일도는, 균일도를 휘도의 최대치와 최소치에 대한 백분율로 나타낼 때 그 비율이 50% 이상인 것으로 정하고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 최적화 알고리즘에서 균일도가 최소값

표 2 심플렉스탐색 알고리즘 수행과정에서의 밀도함수의 계수 및 목적함수값

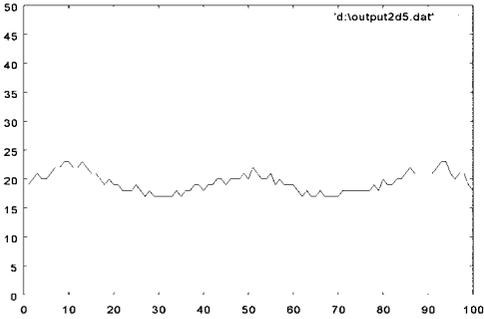
심플렉스탐색 에서 반복회수	삼차다항식의 계수				목적함수값 (표준편차)
	a_3	a_2	a_1	a_0	
0	0.0	0.0	0.0	1.0	102.313014
1	0.0	3.0	0.0	1.0	22.478581
5	0.843750	0.843750	1.968750	1.093750	22.462243
6	0.421875	0.421875	-0.515625	-1.953125	22.298491
10	0.316406	1.066406	-0.386719	-1.214844	22.094292
16	0.012531	1.090656	-0.342464	-1.524487	21.891181
18	0.052468	1.306375	-0.488688	-1.393706	21.752102
22	-0.044362	1.32816	-0.365656	-1.418618	21.568177



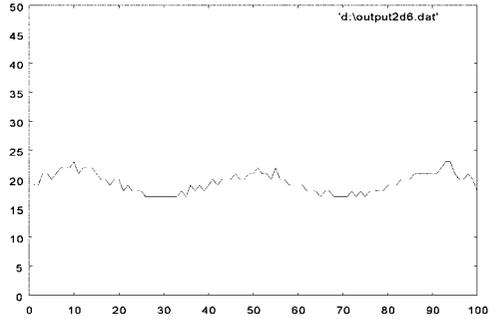
(a) 반복회수 = 0



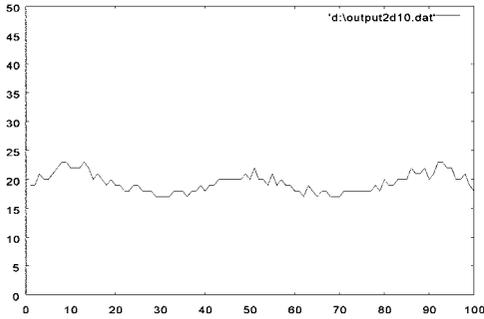
(b) 반복회수 = 1



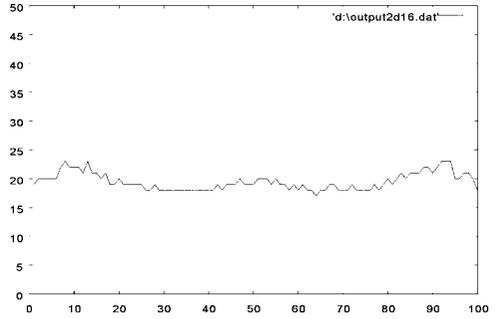
(c) 반복회수 = 5



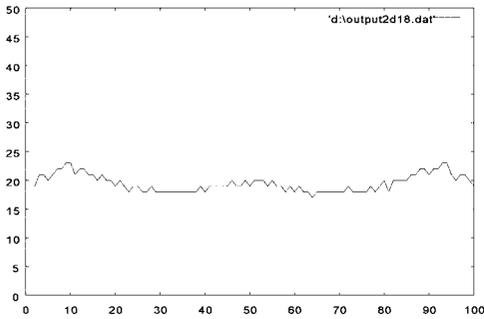
(d) 반복회수 = 6



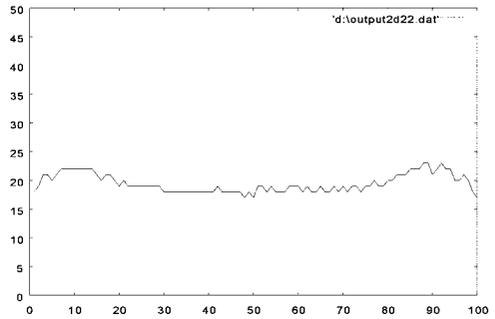
(e) 반복회수 = 10



(f) 반복회수 = 16



(g) 반복회수 = 18



(h) 반복회수 = 22

그림 13 심플렉스탐색 알고리즘 수행과정에서 휘도의 변화

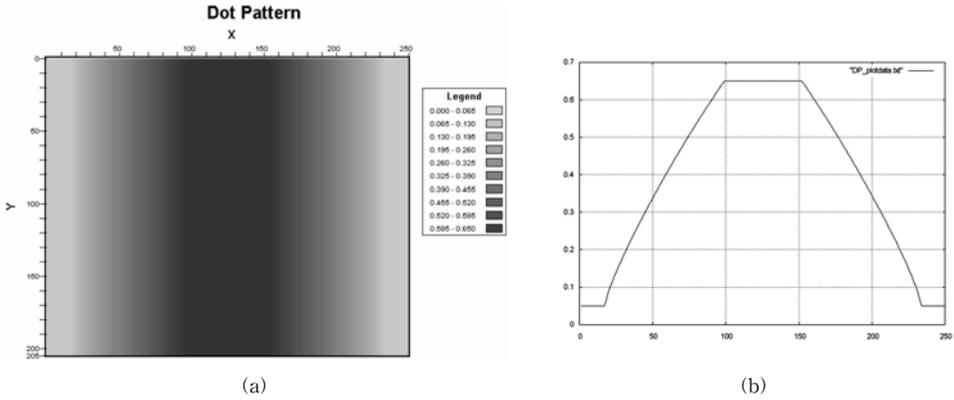


그림 14 최적의 인쇄패턴에서 각 잉크도트의 크기

의 임계값 이하를 만족할 때, 최적화 작업을 종료시키면, BLU의 사양을 만족하는 모델을 설계할 수 있다.

이와 같은 최적화과정을 통하여 계산된 밀도함수를 이용하면 3절에서 설명한 방법으로 도광판의 각 위치에 인쇄되어야 할 잉크의 크기를 쉽게 계산할 수 있다. 일반적으로 잉크도트의 크기는 아주 작으므로, 본 실험 결과에 의하여 계산되는 잉크도트의 개수는 수 십만개가 된다. 이러한 도트를 도식화하는 것을 매우 어려우므로, 잉크도트의 반지름의 크기에 비례하여 2차원 이미지로 나타낸 것은 아래 그림 14(a)와 같다. 본 실험에서는 Circular-dot-on-grid 모델로 잉크도트를 생성하기 위하여, 잉크도트의 최대 반지름 크기를 0.65mm로 지정하였고, 각 도트사이의 간격은 0.1mm로 지정한 경우로서, 도광판에는 약 250x205개의 도트가 생성된다. 그림 14(b)는 x-축의 방향에 위치한 각 잉크도트의 반지름의 크기를 나타낸 그래프이다.

6. 결론 및 향후 연구방향

TFT-LCD의 핵심 부품인 BLU는 냉음극관 형광램프 혹은 발광다이오드와 같은 내부 광원으로부터 출사하는 광을 휘도가 균일한 평면광으로 만들어 LCD 패널 부분으로 보내줌으로써, LCD 화면 전체로부터 균일한 휘도의 광이 외부로 출사되도록 해주는 역할을 한다. 이러한 특징을 가지는 BLU의 설계에는 광선추적 기법이 많이 사용되고 있으며, 이러한 기법을 통하여 도광판 전면으로 출사되는 빛의 휘도, 휘도의 균일도, 광효율 등을 수치적으로 예측할 수 있다. 휘도와 휘도의 균일도 등과 같은 항목은 BLU 설계에 있어서 매우 중요한 요소 중의 하나이며, 이러한 BLU의 광학적 특성은 도광판의 후면에 인쇄된 잉크패턴에 가장 많은 영향을 받고 있다. 따라서 높은 휘도와 균일도를 발생시킬 수 있는 최적화된 잉크패턴을 설계하는 것은 BLU의 설계에 있어서 가

장 중요한 부분 중의 하나이다.

본 논문에서는 최적의 잉크패턴을 설계하기 위하여 직접탐색(Direct Search) 기법 중에서 Nelder-Mead의 심플렉스탐색 알고리즘을 적용하였다. 직접탐색 기법은 최적의 잉크패턴을 계산하는 것과 같은 비선형적이고, 비연속적이며, 미분불가능한 함수의 최적점을 계산하는 분야에 많이 적용되고 있다. 본 논문에서는 여러 가지 실험을 통하여 심플렉스탐색 기법이 최적의 잉크패턴을 설계하는데 있어서 매우 효율적이며 안정적으로 사용될 수 있음을 보여 주며, 이러한 최적화 기법으로 인하여 BLU 설계 기능을 개선할 수 있음을 보여주고 있다.

본 논문에서 제시한 최적화 기법은 도광판 하부면에 인쇄한 확산잉크의 인쇄패턴을 그 대상으로 적용하였다. 잉크패턴에 나타나는 잉크의 크기를 보다 정확하게 계산하기 위해서는 본 연구에서 사용한 일차원 밀도함수 보다는 도광판 하부면의 2차원 좌표의 각 위치에 해당되는 밀도를 계산하기 위한 2차원 밀도함수를 사용하거나, 보다 정밀한 밀도함수를 정의하여 사용할 수도 있다. 또한 BLU의 효율성은 확산물질의 인쇄패턴 뿐만 아니라 램프 반사판의 굴곡, 무인쇄 도광판의 여러 형태, 램프 반사판에서의 램프의 위치 등 여러 가지 요인들에 의해서 결정된다. 따라서 이러한 여러가지 요인들을 적용하여 도광판 인쇄패턴의 밀도함수 뿐만 아니라 램프 반사판, 도광판의 형태를 동시에 고려하여 최적화하는 기법을 구현할 필요가 있다. 또한 심플렉스탐색 알고리즘을 이용하여 최적화 작업을 수행하면서, 목적함수의 변수의 초기값 설정과 심플렉스의 이동 범위, 그리고 심플렉스탐색 알고리즘의 계수인 대칭 ρ , 확장 χ , 수축 σ 의 값에 따라서 그 결과가 달라질 수 있고, 최적점에 수렴하는 속도도 달라진다. 그러므로 이러한 최적화 변수의 초기값, 이동 범위, 알고리즘의 계수의 설정에 대한 연구가 함께 진행되어야 할 것이다.

현재 BLU업계에서는 BLU의 효율을 증가시키고, 대형의 LCD에 맞는 BLU의 제작 등을 위하여 다양한 형태의 BLU 제작을 시도하고 있다. 그 중에서도 광원을 도광판의 밑에 위치시키는 직하형 BLU, 광원으로 CCFL 대체하여 LED를 사용하는 BLU, 도광판의 표면과 배면에 프리즘을 형상을 성형하는 프리즘삽입 도광판으로 만들어진 BLU 등의 다양한 형태의 BLU 제작이 시도되고 있다. 이러한 형태의 BLU에서도 궁극적으로는 BLU 전면으로 출사되는 휘도를 높이고, 균일한 휘도를 가지도록 제작하여야 하므로 본 논문에서 제시한 최적화 기법을 이러한 BLU의 제작에도 응용할 수 있을 것이다.

하나이상의 변수로 정의되는 모델에서 최적의 변수값을 계산하기 위해서는 다양한 기법을 적용할 수 있는데, 본 연구에서와 같이 모델이 간단하거나, 변수의 개수가 적은 경우에는 해석학적인 방법을 이용한 최적화기법 [4]을 사용할 수 있다. 그러나 매우 복잡한 모델을 사용하는 경우에서 이와 같은 기법을 이용하여 최적값을 계산하는 것은 매우 어렵다. 이러한 경우에는 무작위 확률법에 의한 탐색방법 (stochastic search)을 사용하는 것이 일반적이며, 이러한 해결기법으로는 Boltzman 함수를 기반으로 하는 simulated annealing이나, Boltzman 학습방법을 이용하는 신경회로망(neural network)을 사용할 수 있으며, 또한 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 사용할 수도 있을 것이다[17].

참 고 문 헌

[1] M. Gebauer, P. Benoit, P. Knoll, and M. Neiger, "Ray tracing tool for developing LCD-backlights," SID 00 Digest, pp. 558-561, 2000.

[2] A. Horibe, M. Baba, E. Nihei, and Y. Koike, "High-efficiency and high-quality LCD backlight using highly scattering optical transmission polymer," IEICE Trans. Electron., Vol. E81-C, No.11, pp. 1697-1702, November 1998.

[3] 서희경, 광추적기법을 이용한 BLU 시뮬레이션과 도광판 인쇄패턴의 최적화에 관한 연구, 국민대학교 대학원, 2003.

[4] W. Vetterling, S. Teukolsky, W. Press, and B. Flannery, Numerical Recipes in C (2nd Edition), Cambridge Univ. Press. 1993.

[5] K. Kalantar, S. Matsumoto, and T. Onishi, "Functional light-guide plate characterized by optical micro-deflector and micro-reflector for LCD backlight," IEICE Trans. Electron., Vol E84-C, No.11, pp. 1637-1645, November 2001.

[6] A. Glassner, An Introduction to Ray Tracing, Academic Press, 1989.

[7] P. Dutre, Mathematical Frameworks and Monte Carlo Algorithms for Global Illumination in Com-

puter Graphics, PhD Thesis, University of Leuven, 1996.

[8] H. W. Jensen, Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping, A K Peters, Natick, USA, 2001.

[9] J. Spanier and E. Gelbard, Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problems, Reading, MA, Addison-Wesley, 1969.

[10] J. Arvo and D. Kirk, "Particle transport and image synthesis," Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH '90), Vol.24, No.4, pp. 63-66, 1990.

[11] J. M. Teijido, Conception and Design of Illumination Light Pipes, Ph.D. Thesis, Univ. of Neuchatel, Switzerland, 2000.

[12] V. Torczon, Multi-Directional Search: A Direct Search Algorithm for Parallel Machines. PhD thesis, Department of Mathematical Sciences, Rice University, Houston, Texas, 1989.

[13] V. Torczon, "On the convergence of the multidirectional search algorithms," SIAM J. Optimization, Vol.1, No.1, pp. 123-1457, 1991.

[14] J. A. Nelder and R. Mead, "A simplex method for function minimization," The Computer Journal, Vol.7, No.4, pp. 308-313, January 1965.

[15] F. Walters, L. Parker, S. Morgan, and S. Deming, Sequential Simplex Optimization, CRC Press, Boca Raton, USA, 1991.

[16] LCD 기반기술, 삼성첨단기술센터, 삼성전자, 1997.

[17] J. C. Spall, Introduction to Stochastic Search and Optimization: Estimation, Simulation, and Control, Wiley, 2003.



서희경
2002년 2월 국민대학교 컴퓨터학부 학사
2004년 2월 국민대학교 전산학과 석사
2004년 2월~현재 (주) 하이닉스반도체
관심분야는 알고리즘 설계, 컴퓨터 그래픽스 등임



류양선
2003년 2월 국민대학교 컴퓨터학부 학사
2003년~현재 국민대학교 전산학과 석사
과정 재학중. 관심분야는 알고리즘 설계,
컴퓨터 그래픽스 등임



최 준 수

1984년 서울대학교 전기공학과 학사
 1986년 한국과학기술원 전산학과 석사
 1986년~1990년 한국통신 연구개발본부
 1995년 New York University 전산학과
 박사. 1995년~1996년 한국통신 연구개발
 본부. 1996년~현재 국민대학교 컴퓨터
 학부 부교수. 관심분야는 알고리즘 설계, 계산기하학 등임



한 광 수

1978년 서울공대 공업교육과 학사. 1978
 년~1980년 금성통신연구소 연구원
 1986년 미국 Texas Tech University
 전산학 석사. 1989년 미국 Texas Tech
 University 전산학 박사. 1990년~1992
 년 현대전자 산업전자연구소 수석연구원
 1992년~1993년 수원대학교 전임강사. 1994년~현재 국민대
 학교 컴퓨터학부 부교수. 관심분야는 컴퓨터 비전, 패턴인식
 등임



김 성 철

1984년 서울대학교 전기공학과 학사
 1987년 서울대학교 전기공학과 석사
 1995년 Polytech University 박사. 1995
 년~1999년 AT&T 연구소. 1999년~현
 재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 부교수
 관심분야는 무선통신, 이동통신, 유무선
 채널 모델링, MIMO-OFDM, 전력선통신, 위성통신, 전파환
 경, 전파전파 추적 알고리즘 등임