

## PIDO를 이용한 LCD/BLU의 광학성능 최적화

이갑성\* · 박선호\*\* · 윤상준\*\* · 최동훈†

(2009년 5월 14일 접수, 2009년 7월 24일 수정, 2009년 7월 24일 심사완료)

### Design Optimization Considering Optical Performances for LCD/BLU Using PIDO

Gabseong Lee, Seonho Park, Sang-Joon Yoon and Dong-Hoon Choi

**Key Words :** Liquid Crystal Display(액정 표시 장치), Back Light Unit(백라이트 유닛), Light Guide Panel(도광판), Dot Pattern(도트 패턴), PIDO, PQRSM

#### Abstract

Among many kinds of parts for Liquid Crystal Display (LCD), a Back Light Unit (BLU) that changes the path of the light from light source to screen is the most important part to improve optical performances such as uniformity and average value of brightness. Up to recently, design process of BLU has been carried out by depending on the experience of design engineer. Using this approach, however, is proven that it is hard to effectively deal with difficulties in a process of the LCD development such as frequent design modifications, various design requirements, and short-term development. To cope with this situation, we applied a Process Integration and Design Optimization (PIDO) based design environment. PIDO is a software package to integrate multiple simulation processes and find a better solution using various design techniques. In this research, we found a design solution satisfying all design requirements by using the PIDO.

#### 1. 서론

LCD(Liquid Crystal Display)는 시각정보의 표시장치로서 PC, TV, 휴대폰, PDA 등에 다양하게 사용되고 있다. LCD는 소비전력이 낮고, 얇게 제작할 수 있는 장점이 있으므로 휴대용 기기에 주로 사용되며, 특히 광원이 측면에 위치하는 측면형(Edge-lit type) LCD가 많이 사용된다. 한편 LCD는 측면에 위치한 광원에서 발생한 빛을 화면으로 전달하기 위하여 백라이트유닛(Back Light Unit; BLU)을 필요로 하는데, BLU의 핵심적인 부품인 도광판(Light Guide Panel; LGP)에 포함된 기하학적 형상의

도트패턴(Dot Pattern)이 빛을 화면으로 반사시키는 역할을 한다. 이러한 LGP의 도트패턴은 LCD 모듈의 광학적 성능에 매우 큰 역할을 하기 때문에 이에 대한 설계는 매우 중요하다. 도트패턴 배열에 대한 설계는 그동안 주로 설계자의 경험에 의해 수행되어 왔으나, 근래 들어 수학적 기반을 가진 최적화 기법을 이에 적용하고자 하는 시도가 나타났다.<sup>(1-3)</sup> 이와 같은 최적화 기법을 비롯한 해석적 설계 방법론의 적용은, 다양한 설계 요구사항을 가진 설계 문제에 능동적으로 대처할 수 있을 뿐만 아니라 설계기간 단축에도 큰 도움이 된다. 또한, 설계 최적화에 필요한 시뮬레이션의 통합과 다양한 해석적 설계 방법론의 적용을 편리하게 수행할 수 있는 PIDO(Process Integration and Design Optimization)기술이 발전함에 따라, 실제 산업 제품에 대한 최적화 기술의 적용은 더욱더 용이해지고 있다. 본 연구에서는 상용 PIDO 툴의 하나인 PIAAnO를 이용하여 광학 시뮬레이션에 관한 여러 프로세스를 통합하고, 설계 최적화를 수행하여, 광학적 성능을 고려한 최적화된 도트패턴

[이 논문은 2009년도 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회 (2009.5.14.-15., 한국관광공사 T2 아카데미) 발표논문임]

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학과

E-mail : dhchoi@hanyang.ac.kr

TEL : (02)2220-0443 FAX : (02)2291-4070

\* 한양대학교 대학원 기계공학과

\*\* 한양대학교 기계공학과

을 구하고, PIDO 기술의 유용성을 검증하는 것을 목표로 한다.

## 2. 백라이트유닛의 구성

본 연구에서 사용된 측면형(Edge-lit type) BLU 는 일반적으로 Fig. 1 과 같이 여러 종류의 시트들과 LGP 로 구성되어 있다. 반사시트(Reflection sheet)는 LGP 하부에 위치하여 LGP 하부로 출사되는 빛들을 다시 LGP 내부로 반사시켜 준다. 확산시트(Diffuser sheet)는 LGP 에서 출사된 빛이 화면 전체에서 균일한 휘도를 갖도록 하는 역할을 하며 빛의 방향을 화면 전체로 확산시킨다. 프리즘시트(Prism sheet)는 확산시트에 의해 확산된 빛의 방향을 화면에 수직한 방향으로 집중시켜 화면의 휘도를 강화하는 시트로 프리즘 형태를 한 두 장의 시트가 수직한 방향으로 겹쳐있다. 마지막으로 LGP 는 빛을 전달하는 직접적인 매개체로 약 20 만개의 도트패턴(Dot pattern)이 음각으로 가공되어 있어 측면에서 전달된 빛의 경로를 화면 방향으로 굴절시키는 역할을 한다. 본 연구는 휴대폰에 주로 사용되는 2.2 inch 측면형 LCD 의 BLU 모델을 대상으로 하여, LGP 에 포함된 도트패턴의 배열을 설계 한다. 해당 모델은 4 개의 LED 를 광원으로 가지고 있으며, 프리즘시트가 포함되어 있지 않다. 본 연구에서는 LCD 모듈의 광학적 성능 해석을 위한 광 시뮬레이션 툴로서 OPTIS 사의 SPEOS 를 이용하였다.<sup>(4)</sup>

SPEOS 는 모델의 형상, 재료 및 광학적 특성 등을 정의한 뒤 몬테카를로 방법(Monte-Carlo method)에 의한 광선추적법(Ray tracing Technique)<sup>(5)</sup>을 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 주어진 시스템의 광학 성능을 해석한다. 이 방법은 LED 에서 무작위적 방향으로 빛을 출사시켜 화면에 맺히는 광선의 분포를 통해 광학 성능을 예측하는 방법으로, 기본적으로 시뮬레이션에 사용되는 광선의 수를 증가시킬수록 예측의 정확도가 상승한다.

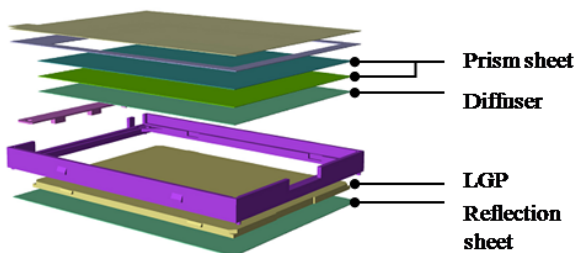


Fig. 1 Structure of the BLU in the LCD module

## 3. 광학성능치의 정량화 및 설계변수의 선정

### 3.1 광학성능치의 정량화

본 연구에서는 광학성능의 정량화를 위해 조도(Illuminance)를 기준단위로 선택하였다. LCD 의 광학측정치로는 휘도(Luminance)를 선택하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서 사용한 시뮬레이션 모델의 경우 빛의 출사각을 상향시켜 휘도를 향상시키는 역할을 하는 프리즘시트가 포함되어 있지 않아 휘도의 측정값은 실제와 큰 차이를 보여 기준단위로 휘도를 선택하는 것은 적절하지 않다. 이때 Chang 등<sup>(2)</sup>은 BLU 모듈에 프리즘시트가 포함되었을 때 휘도분포의 균일설계를 프리즘시트가 제외된 시뮬레이션의 조도분포의 균일설계로 대체할 수 있다고 하였고, 본 연구에서는 이를 차용하여 조도를 광학측정치로 하는 시뮬레이션을 진행하였다.

또한 본 연구에서는 광학성능의 정량화를 위해 균일도(Uniformity)와 평균 조도(Average Illuminance)를 사용하였다. 균일도는 LCD 전면으로 출사되는 빛의 균일함을 나타내는 지표로, 광학 제품의 성능 중 가장 중요한 요소이며, 평균 조도는 LCD 모듈의 평균적인 밝기를 나타내는 지표이다. 본 연구에서는 균일도와 평균조도를 측정하기 위하여 BLU 의 발광영역을 400 개의 구역으로 나누고 SPEOS 해석을 통해 각 구역의 조도를 측정하여 전체 구역의 조도의 산술평균을 평균 조도로 고려한다. 평균 조도는 식 (1) 과 같이 계산할 수 있다.  $i$ 와  $j$  는 각 구역의 행과 열에 대한 순서를 나타내며,  $L_{ij}$  는 각 구역에서의 조도를 의미한다.

$$\text{Average Illuminance} = \frac{\sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} L_{ij}}{20 \times 20} \quad (1)$$

또한 식 (2)는 균일도를 나타내는 식으로, 전체 구역의 조도의 최대값과 최소값의 비로써 표현된다.

$$\text{Uniformity} = \frac{\min(L_{ij})}{\max(L_{ij})} \quad (2)$$

### 3.2 설계변수 선정 및 매개화

LGP 에 도트를 생성하는 방법은 크게 두 가지

로 나눌 수 있다.<sup>(3)</sup> 첫 번째는 도트의 위치를 고정시키고 도트의 크기를 바꾸는 방법이다. 이 방법은 도트의 크기에 대한 변수만을 변경하여 패턴을 생성하므로 매개화가 용이하지만, 정형적인 도트 패턴에 의한 Moiré 현상<sup>(6)</sup>이 생길 수 있으며 다양한 도트의 크기로 인해 제작비용의 상승을 가져올 수 있는 단점이 있다. 두 번째 방법은 도트의 크기를 고정시키고 도트의 배열에 변화를 주는 방법이다. 이 경우 설계 시 변수를 매개화하기 위한 과정을 추가로 고려해야 하지만, Moiré 현상이나 제작비용의 상승을 유발하지 않는 장점이 있어 본 연구에서는 이 방법을 이용하였다.

도트패턴에 포함될 도트의 개수는 약 20 만개 정도이며, 이들 각각의 좌표를 설계변수로 설정하여 설계를 수행하는 것은 불가능하다. 따라서 LGP 에서 도트가 포함될 영역을 몇 개의 픽셀(Pixel)로 나누어 각각의 픽셀에 대한 도트패턴의 밀도를 설계 변수로 사용하는 밀도기반설계기법(Density-based approach)<sup>(1)</sup>을 이용하였다. 픽셀의 밀도에 관한 식은 다음과 같다.  $D_k$  는  $k$  번째 픽셀에서의 밀도를 의미하며,  $A_{k,pixel}$  은 각 픽셀의 넓이를 나타내며,  $A_{k,dot}$  는 분할된 영역 중 도트가 차지하는 영역의 넓이를 나타낸다.

$$D_k = \frac{A_{k,dot}}{A_{k,pixel}} \tag{3}$$

밀도기반설계기법을 이용한 연구 중 Lee 등은 Fig. 2(a)와 같은 광원에 수직한 방향의 밀도 변화만을 고려하였는데, 이 경우 점광원인 LED 의 특성상 광원 근처에는 빛이 골고루 퍼지지 않아 명암부(Hot spot)가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2(b)와 같이 광원에 평행한 방향뿐만 아니라 광원에 수직한 방향에 대해서도 밀도 변화를 고려하였다. 본 연구에서는 논의의 편의를 위해 광원에 평행한 방향을  $x$  축, 수직한 방향을  $y$  축으로 정의하였다.

최적설계 과정에서 설계변수가 증가하면 설계에 소요되는 시간이 기하급수적으로 증가하게 되므로 효율적인 설계 수행을 위해 가능한 한 문제의 규모를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 본 설계문제를 살펴보면 광원으로부터 멀어질수록  $x$  축 방향으로의 밀도변화 폭은 줄어들 것임을 예측할 수 있고, 따라서 본 연구에서는  $x$  축 방향으로 고려할 변수의 개수를 광원으로부터의 거리에 따라 다르게 설정하고자 하였다.

변수의 개수를 설정하기 위하여  $x$  축에 대해 동일한 밀도를 갖는 해석 모델에 대한 조도해석을 수행하고, 발광영역을  $x$  축,  $y$  축에 대해 각각 10 개의 구역으로 나누어 조도를 측정하여 각  $y$  축에 대한 10 개의  $x$  축 방향 조도의 평균과 표준편차를 계산하였다. 그런 다음 각  $y$  축 위치에 대한 CoV(Coefficient of Variation)를 계산하여 각 위치의 설계변수에 대한 민감도를 평가하였다. CoV 는 식 (4)와 같이 평균과 표준편차의 비로서 표현된다. 식 (4)에서  $C_v$  는 CoV,  $\sigma$  는 표준편차,  $\mu$  는 평균을 나타낸다.

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \tag{4}$$

$y$  축 방향으로의 평균과 표준편차 및 CoV 의 값 변화는 Fig. 3 과 같다. CoV 의 값이 클수록 광학성능치가  $x$  축 방향으로의 밀도 변화에 민감하다고 판단할 수 있으므로, 본 연구에서는 CoV 가 0.01 을 넘는  $y$  축 범위에 대해서만  $x$  축으로의 분할을 고려하였다. 또한 CoV 의 값이 클수록 민감함을 의미하므로 더 많은 설계변수를 설정하였다. 해석 모델은 좌우 대칭 구조를 나타내므로 이를 고려하여 최종적으로 Fig. 2(b)에서 나타난 것처럼 총 20 개의 픽셀의 밀도를 설계변수로 고려하였다.

주어진 각 픽셀의 밀도에 대한 도트의 분포를 결정하는 것 또한 매우 중요하다. Lee 등<sup>(1)</sup>은 이를 위해 픽셀 내부의 영역에서 무작위적인 추출을 통해 도트의 분포를 결정하는 방법을 이용하였으나, 이는 해석 결과의 변동성을 야기하여 최적화기법의 수렴성을 약화시키는 원인이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도트 분포의 무작위성을 가능한

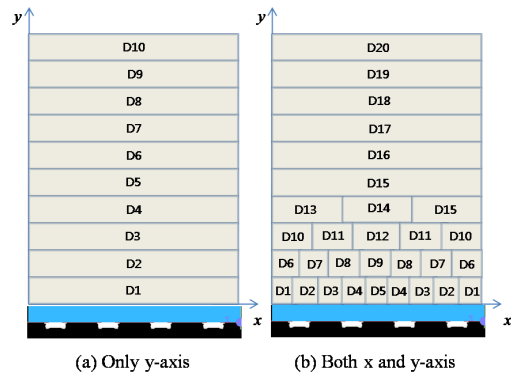


Fig. 2 Two methods for dividing pixel

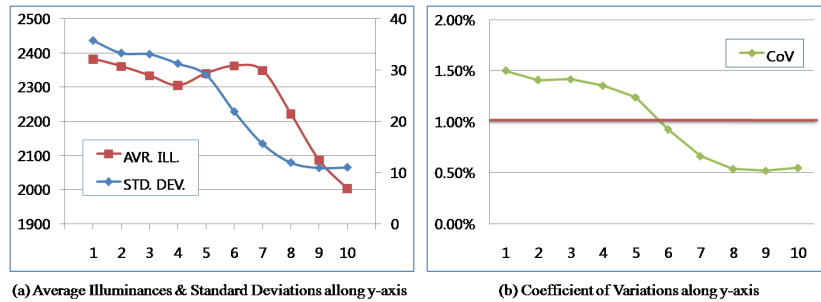


Fig. 3 Results of parametric study to determine the number of pixels for x-axis

한 줄이면서도 도트의 분포를 용이하게 결정할 수 있게 하기 위하여 DOE(Design of Experiments) 방법론 중 하나인 최적 라틴방격 추출법(Optimal Latin Hypercube Sampling; OLHS) 을 차용하였다. OLHS 는 추출할 샘플 수를 자유롭게 결정할 수 있으며 추출된 샘플 점간의 거리를 비교적 균등하게 유지시켜 주므로, 이를 이용할 경우 도트분포의 무작위성을 줄이면서도 도트간의 간섭이 일어나지 않는 패턴을 생성할 수 있다.

#### 4. 프로세스 통합 및 최적설계 정식화

##### 4.1 PIDO 를 이용한 프로세스 통합

본 연구에서는 광학성능의 해석 및 정량화를 위해 다음과 같은 4 가지 프로세스를 수행한다. 첫 번째 프로세스에서는 각 픽셀에 대하여 주어진 밀도에 해당하는 도트패턴을 생성하며, 두 번째 프로세스에서는 갱신된 해석모델에 대한 SPEOS 해석을 수행한다. 세 번째 프로세스에서는 SPEOS 해석을 통해 생성된 이진파일 형태의 해석 결과를 각 픽셀에 대한 조도값으로 변환하여 ASCII 파일로 출력하며, 마지막 프로세스에서는 변환된 조도값으로부터 휘도와 균일도를 계산한다. 본 연구에서는 PIDO (Process Integration and Design Optimization) 틀을 이용하여 이와 같은 일련의 프로세스들을 통합하고 자동화함으로써, 해석에 걸리는 작업량을 대폭 줄이고 해석 및 설계 데이터의 관리를 용이하게 하였다. 본 연구에서는 상용 PIDO 틀인 PIANO<sup>(8)</sup>를 이용하여 프로세스 통합을 수행하였다. PIANO 를 이용하여 해석 프로세스를 자동화한 경우 Fig. 4 와 같이 1 회 해석에 소요되는 시간이 약 75% 감소하였다. 또한 프로세스 자동화를 통하여 PIANO 에서 제공하는 다양한 설계 기법의 적용이 가능하게 되었다.



Fig. 4 Process Integration using the PIANO

##### 4.2 최적설계 정식화 및 최적화기법의 선택

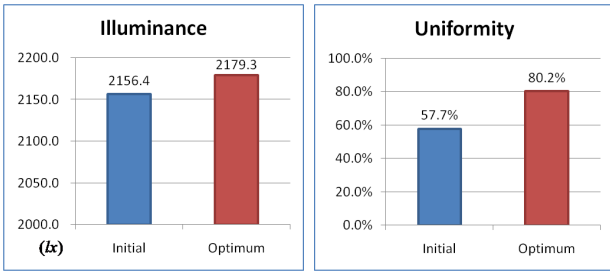
본 연구에서 고려하는 성능조건은 앞서 언급한 바와 같이 평균조도와 균일도이며, 업계에서 제한하는 기준이 존재하는 균일도를 제한조건으로 설정하고, 평균조도를 최대화 하여야 할 목적함수로 설정하였다. 이상의 내용을 정리하여 최적화문제를 정식화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Find} && D_j, j=1, \dots, 20 \\
 & \text{to max} && \text{Average Illuminance} \quad (5) \\
 & \text{subject to} && \text{Uniformity} \geq 0.8
 \end{aligned}$$

SPEOS 는 무작위적인 광선추적기법을 사용하므로 본 연구의 시뮬레이션 결과값은 수치적 노이즈 (Noise)를 포함한다. 따라서 이러한 불확정성에 대처하기 위한 최적화기법으로 PIANO 에 탑재된 PQRSM(Progressive Quadratic Response Surface Modeling) 을 사용하였다. PQRSM 은 신뢰영역 (Trust Region)과 반응표면모델(Response Surface Model;RSM)의 반복적 사용으로 최적해를 찾는 기법으로서, 수치적 노이즈가 존재하는 경우에 효율적이고 강건하게 수렴할 수 있는 방법론으로 알려져 있다.<sup>(7)</sup>

**Table 1** Comparison of densities between initial and optimum designs

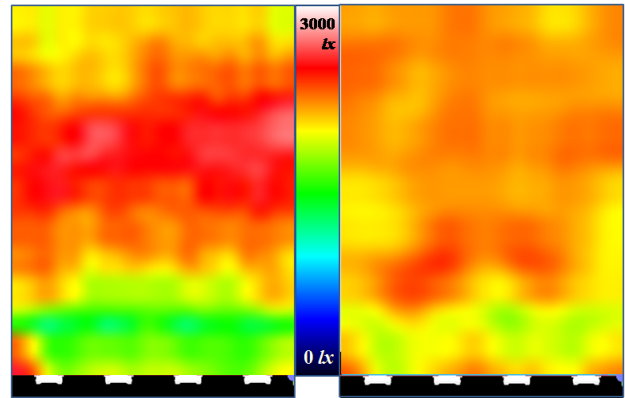
	Initial	Optimum		Initial	Optimum		Initial	Optimum		Initial	Optimum
d1	0.08	0.096	d6	0.15	0.182	d11	0.2	0.239	d16	0.4	0.350
d2	0.08	0.092	d7	0.15	0.195	d12	0.2	0.203	d17	0.45	0.379
d3	0.08	0.105	d8	0.15	0.178	d13	0.25	0.216	d18	0.45	0.458
d4	0.08	0.097	d9	0.15	0.178	d14	0.25	0.275	d19	0.5	0.508
d5	0.08	0.110	d10	0.2	0.208	d15	0.3	0.272	d20	0.5	0.491



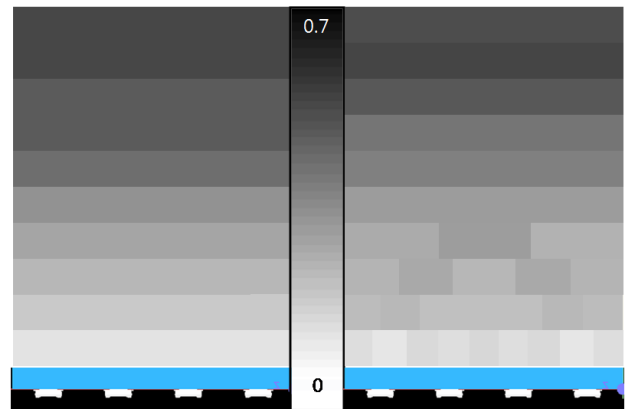
**Fig. 5** Simulation results of initial and optimum designs

5. 최적화 결과

설계변수의 초기값은 선행 정보가 전혀 없다고 가정하고 임의로 설정한 값을 사용하였다. 또한 시뮬레이션에 사용된 광선의 개수는 10 만개로 설정하였고, 효과적인 수렴을 위하여 수렴과정에서 우수한 설계점이 나타나는 경우 이를 초기점으로 하여 PQRSM 을 적용하는 다단계(Multi-stage) 최적화를 수행하였다. 초기모델의 경우 평균조도가 2156 lx, 균일도가 57.7%로 주어진 성능조건을 만족하지 못하였으나, PQRSM 을 활용하여 최적화를 수행한 결과, Fig. 5 과 같이 평균조도가 2179 lx, 균일도가 80.2%인 성능조건을 만족하는 설계 해를 얻을 수 있었다. 초기설계와 최적설계에서 해석된 결과를 도식적으로 나타내면 Fig. 6 와 같다. 최적화를 통해 얻은 각 픽셀에서의 밀도는 Fig. 7 과 Table 1 에서 나타내었다. 최적화 결과로부터 밀도값의 작은 차이에도 성능특성치는 크게 변화함을 알 수 있으며 이러한 사실로부터 최적화기법으로 PQRSM 을 사용한 것은 적절했다고 판단할 수 있다.



(a) Initial (b) Optimum  
**Fig. 6** Comparison of the optical performance



(a) Initial (b) Optimum  
**Fig. 7** Comparison of the density distribution

6. 결 론

본 연구에서는 PIDO 틀을 이용하여 광학적 성

능을 고려한 BLU 의 도트패턴 분포에 관한 설계를 수행하였다. 해석에 필요한 여러 개의 해석 프로세스를 통합함으로써 해석 및 설계 효율성을 극대화하였고, 최적화기법을 적용하여 성공적으로 설계해를 구하였다.

또한 BLU 모듈의 광학적 성능을 정량화하기 위하여 평균조도와 균일도를 정의하였으며, 도트패턴의 배열을 효과적으로 매개화하기 위하여 패턴이 포함될 영역을 20 개의 픽셀로 나누고 각 픽셀의 밀도를 설계변수로 사용하였다. LED 근처에서 명암부가 발생하는 문제를 해결하기 위하여 LED와 평행한 방향에 대해서도 픽셀을 분할하였다.

초기설계안은 임의의 밀도로 설정하였으며 평균조도가 2156 lx, 균일도가 57.7%로 설계 요구조건을 만족하지 못하였으나, 최적화 수행 후 평균조도가 2179 lx, 균일도가 80.2%로 설계 요구조건을 모두 만족하는 설계해를 찾을 수 있었다.

본 연구를 통해 PIDO 기술을 이용한 산업제품 설계 기술의 유효성을 검증해 보았으며, 향후 많은 해석 프로세스를 포함하는 대형 설계문제에 PIDO 기술을 적용하는 데에 유용한 참고자료가 될 것이다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 'c-MES 설계지원 플랫폼 기술 개발' 과제(10033162-2009-11)의 지원과 2009년 2 단계 두뇌한국 21(BK21)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다. 또한 본 연구에서 사용한 PIDO 툴인 PIA<sub>n</sub>O 소프트웨어를 제공해주신 (주)프레이맥스와 광학해석 CAE 툴인 'SPEOS'를 제공한 최적설계신기술연구센터(iDOT)에도 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Gabseong Lee, Jae Ho Jeong, Sang-Joon Yoon and Dong-Hoon Choi, 2009, "Design Optimization for Optical Patterns in a Lightguide Panel to Improve Illuminance and Uniformity of the Liquid-Crystal Display," *Optical Engineering*, Vol. 48, No. 2, pp. 024001.
- (2) Jee-Gong Chang and Cheng-Tai Lee, 2007, "Random-Dot Pattern Design of a Light Guide in an Edge-Lit Backlight: Integration of Optical Design and Dot Generation Scheme by the Molecular-Dynamics Method," *Optical Society of America A.*, Vol. 24, No. 3, pp. 839~849.
- (3) Jee-Gong Chang and Yu-Bin Fang, 2007, "Dot-Pattern Design of a Light Guide in an Edge-Lit Backlight Using a Regional Partition," *Optical Engineering*, Vol. 46, No. 4, pp. 043002.
- (4) Optis Corp., <http://www.optis-world.com>.
- (5) Andrew S. Glassner, 1989, *An Introduction to Ray Tracing*, Morgan Kaufmann.
- (6) Daniel L. Lau, Arif M. Khan, and Gonzalo R. Arce, 2002, "Minimizing Stochastic Moire' in Frequency Modulated Halftones by Means of Green-Noise Masks," *Optical Society of America A.*, Vol. 19, No. 11, pp. 2203~2217.
- (7) Hong, K. J., Choi, D. H., and Kim, M. S., 2000, "Progressive Quadratic Approximation Method for Effective Constructing the Second-Order Response Surface Models in the Large Scaled System Design," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 24, No. 12, pp. 3040~3052.
- (8) PIA<sub>n</sub>O (Process Integration, Automation and Optimization) User's manual, Version 2.4, *Framax INC.*, Dec. 2008.