

자동차 방향지시등 렌즈설계를 위한 CAD 시스템의 개발에 관한 연구

A Study on the Development of CAD System for the Design of lens of the Turn Signal Lamp

이 재 원* 이 우 용**
J. W. Lee, W. Y. Lee

ABSTRACT

This paper presents the development of CAD system for the design of lens of the Turn Signal Lamp that can model and simulate its optical performance. The system consists of three main modules : skin surface modeling module, inner lens modeling module and optical performance simulation module.

Skin surface geometry can be modeled by the input of data file and inner lens can be modeled by the input of only four parameter using its geometric characteristics. Also light distribution pattern, the barometer of optical performance, is generated by means of finite ray tracing method.

The system display modeled geometry, ray tracing and generated light distribution pattern.

주요기술용어 : B-spline surface(B-spline곡면), Conic surface(Conic곡면),
Light distribution pattern(배광 패턴), Finite ray tracing method(유한광선 추적법),
Turn signal lamp(방향 지시등)

1. 서 론

자동차 방향 지시등(Turn Signal Lamp) 렌즈는 내부 광원(bulb)으로부터 발산된 빛을 각 방향으로 적절히 분산시키는 역할을 하며 이러한 분산정도는 방향 지시등으로부터 일정거리 떨어진 스크린(screen)상의 각 해당 위치에서의 광도 측정을 통해 얻을 수 있는 배광패턴(light distribution pattern)으로 표현되어진다. 이러한 배광 패턴에 대하여 EEC, SAE 등 각국의 자동차

협회에서는 표준 규격을 정하여 자동차 생산시 방향지시등의 검사 기준으로 삼고 있으므로 이러한 표준 규격의 만족 여부가 방향지시등의 설계시 고려되어야 한다. 일반적으로 방향지시등 렌즈의 형상은 외부적으로는 자유곡면의 형상을 이루고 있으며 내부적으로는 두 방향(u, w)으로 각각 일정한 피치(pitch)와 곡률을 가진 볼록렌즈 모양의 수많은 조합으로 이루어져 있다. 이중 외부곡면(skin surface)은 자동차의 외형 설계시 결정되어 지므로 방향지시등 렌즈의

* 인하대학교 자동차공학과

** 국방과학연구소

설계시는 두 방향의 피치값과 곡률값의 결정에 의한 내부 형상만을 조정할 수 있으며 위의 표준 매개변수를 만족할 수 있도록 형상을 설계하는 것이 방향지시등 렌즈 설계의 주요 관건이라 할 수 있다. 한편, 기존의 많은 CAD 시스템들은 방향지시등 렌즈의 모델링에 이용되어질 수 있으나 번거로운 과정을 거쳐야 하며 또한 모델링되어진 형상에 대한 광학성능 시뮬레이션등과 같은 특수한 분야의 해석에 이용되어질 수 있는 전문화된 CAD시스템은 기대하기 어렵다. 이에 방향지시등 렌즈의 설계 자동화를 위하여는 형상 특성을 이용하여 외부곡면 데이터와 몇개의 내부렌즈 데이터의 입력만으로 효과적인 형상 모델링이 가능한 방향지시등 렌즈 설계 전용 모델러 및 모델링된 형상에 대한 광학성능 시뮬레이션기능을 포함하는 방향지시등 렌즈 설계 전용 CAD 시스템의 개발이 필요하다 하겠다.

본 연구는 외부 형상의 데이터와 내부 렌즈의 형상 parameter값의 입력을 통한 자동차 방향지시등 렌즈의 형상 모델링과 이에대한 광학성능 시뮬레이션 기능을 갖춘 방향등 설계전용 CAD 시스템의 개발에 초점을 맞추었다.

본 연구의 시스템은 크게 다음의 3가지 모듈로 구성되어져 있다.

- 1) 외부 곡면상의 측정 데이터로부터의 외부 곡면 생성 모듈
- 2) 형상 parameter 값을 이용한 내부 렌즈 생성 모듈
- 3) 모델링되어진 형상의 광학 성능 시뮬레이션 모듈

2. 시스템 구성의 이론적 배경

2.1 외부 자유곡면의 형상 모델링

자동차, 항공기, 선박 등의 외형, 터빈의 날개동 유체역학적 부품은 물론 일상 생활용품의 많은 부분이 단순한 해석 함수로 표현할 수 없는 복잡한 자유곡면으로 구성되어 있으며 이와같은 자유곡면의 수학적 기술에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.⁽¹⁾ 본 연구에서는 CAD/CAM sys-

tem에서 자유곡면을 표현하는데 널리 사용되고 있으며 곡면의 설계와 수정이 용이한 B-spline 곡면을 이용하여 자유곡면의 형상을 하고 있는 방향등의 외부곡면을 모델링 하였다. $(m+1) \times (n+1)$ 의 조정점(control point)을 갖고 u, w 방향으로 각각 k, l 의 order를 갖는 B-spline 복합 곡면의 일반식은 다음과 같다.⁽²⁾

$$r(u, w) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n Q_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(w)$$

$$0 \leq u \leq m-k+2$$

$$0 \leq w \leq n-l+2$$

여기서 blending function N 은

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & \text{if } ti \leq u \leq ti+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k} = \frac{(u-ti) N_{i,k-1}(u)}{ti+k-1-ti} + \frac{(ti+k-u) N_{i+1,k-1}(u)}{ti+k-ti+1}$$

이며 knot value ti 는

$$ti = \begin{cases} 0 & \text{if } i < k \\ i-k+1 & \text{if } k \leq i \leq m \\ m-k+2 & \text{if } i > m \end{cases} \quad (0 \leq i \leq m+k)$$

이고 $Q_{i,j}$ 는 B-spline 곡면의 조정점(control point)이다.

본 연구는 $k=l=4$ 인 periodic bicubic B-spline surface를 사용하였다. 자동차 방향지시등 렌즈의 외부 형상 정보는 외부 곡면상의 측정점들의 좌표값으로 주어지므로 이들로부터 외부형상을 표현하는 B-spline곡면을 생성하기 위하여는 B-spline곡면의 조정점을 계산해내는 과정이 필요하며 이에대한 연구가 Lozover, Yamaguchi등에 의해 진행되었다.^{(3),(4)}

본 연구의 외부 곡면 모델링 모듈은 화일 형태로 입력된 외부 곡면상의 측정 좌표값들로부터 B-spline곡면의 조정점을 생성해 낸 후(그림 1) 계산된 조정점을 이용하여 외부 곡면을 표현하는 B-spline곡면을 생성한다.(그림 2)

2.2 내부 렌즈의 형상 모델링

방향지시등 렌즈의 내부형상은 일정한 피치 간격으로 볼록 렌즈의 형상을 하고 있는 어안 렌즈의 수많은 배열로 이루어져 있으며 각 어안 렌즈는 수평, 수직 두(u, w)방향으로 각각 일정한 곡률을 가지고 있다. 본 연구에서는 이와같은 내부 형상의 모델링에 일정한 곡률을 가진 곡면의 모델링에 적합한 Conic곡면을 사용하였으며 그 표현식은 다음과 같다.

$$P(u, w) = F(u) B F(w)^T$$

$F(u), F(w)$ 는 두 parameter u, w 에 대한 Blending Function이고 Conic곡면에 해당하는 Geometric coefficient matrix B는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix}
 P_{00} & P_{01} & \rho_3(P_3 - P_{00}) & \rho_3(P_{01} - P_3) \\
 P_{10} & P_{11} & \rho_4(P_4 - P_{10}) & \rho_4(P_{11} - P_4) \\
 \rho_1(P_1 - P_{00}) & \rho_1(P_2 - P_0) & 0 & 0 \\
 \rho_2(P_{10} - P_1) & \rho_2(P_{11} - P_2) & 0 & 0
 \end{bmatrix}$$

이때 $P_{00}, P_{01}, P_{10}, P_{11}$ 은 어안 렌즈의 네 모서리점이고 P_i 는 각 모서리점으로부터 그은 경계 곡선(boundary curve)에 대한 접선의 교점이다. 그림 3은 곡률이 일정한 Conic 곡면의 한쪽 모서리를 구성하는 Conic 곡선에 대한 그림이며 기하학적 관계에 의하여 곡률이 일정한 Conic 곡면을 표현하는 ρ_i 값을 구하면 $\rho_i = \frac{4 \cos \theta_i}{1 + \cos \theta_i}$ 을 얻을 수 있다.

또한 Conic 곡면의 생성에 앞서 외부 곡면상에 일정 피치 간격으로 각 어안 렌즈의 네 모서리 점들이 위치할 node점들에 대한 계산이 선행되어야 하며 이는 u, w 두 방향으로의 iso-parametric curve를 주어진 피치간격으로 분할함으로써

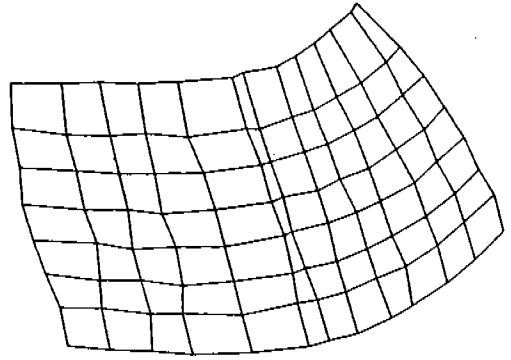


Fig.1 Generation of control points for B-spline surface modeling

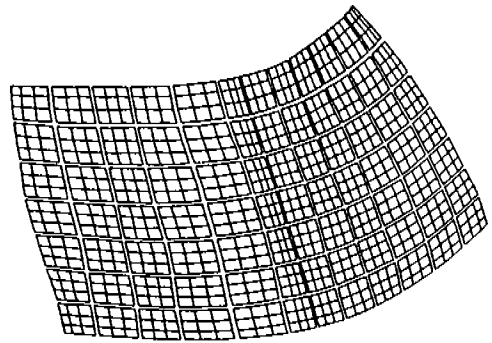


Fig.2 Generation of skin surface

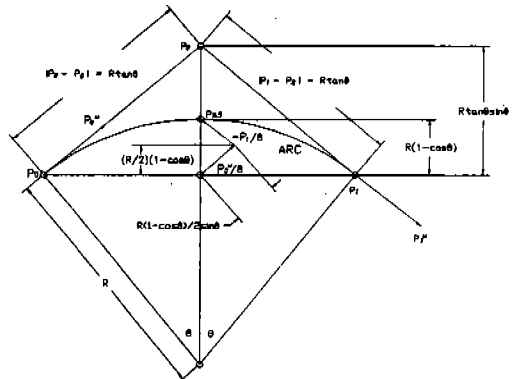


Fig.3 Conic curve approximation of a circular arc

구할 수 있다. parametric curve를 주어진 피치 L간격으로 분할하는 점들은 다음의 비선형 적분 방정식의 해 t를 구하는 과정을 반복함으로써 구할 수 있다.⁽⁵⁾

$$M(t) = \int_{t_{ref}}^t (X'(t)^2 + Y'(t)^2 + Z'(t)^2)^{1/2} dt$$

$$-L = 0$$

여기서, t_{ref} : curve상의 기준점에 해당하는 parameter 값
 t : curve상의 임의의 점에 대한 parameter 값

본 연구의 내부 형상 모델링 모듈은 먼저 주어진 외부곡면에 사용자가 입력한 일정 피치 간격으로 각 어안렌즈의 네 모서리점들이 위치할 node점들을 생성해 내며(그림 4), 생성된 node점들을 네 모서리로 하고 사용자가 입력한 임의의 곡률을 가지는 넓 어안렌즈를 표현하는 Conic곡면을 생성해 낸다(그림 5).

2.3 광학 성능의 시뮬레이션

본 연구에서는 기하 광학의 가정을 이용하여 내부 광원으로부터 발산되어지는 빛을 광원으로부터 미소 단위 입체각(solid angle)간격으로 출발하여 직진하는 수 많은 빛 입자로 가정하고 각 빛 입자의 경로를 추적하여 통과하는 매질에서의 반사, 굴절, 투과, 흡수 등으로 인한 생성 경로 및 빛의 강도 손실등을 계산한 후 임의의 위치에서의 광도 및 조도를 계산하는 유한 광선 추적법(finite ray tracing method)을 이용하였다. 광원은 점광원으로 가정하였으며 매질 경계면에서의 굴절에 의한 경로는 Snell의 법칙에 의해 계산된다.⁽⁶⁾

$$n \sin \theta_i = n' \sin \theta_r$$

이때 θ_i, θ_r 는 각각 입사각, 반사각이고 n, n' 는 각각 양 매질에서의 굴절율이며 각 매질의 물리적 특성값이다.

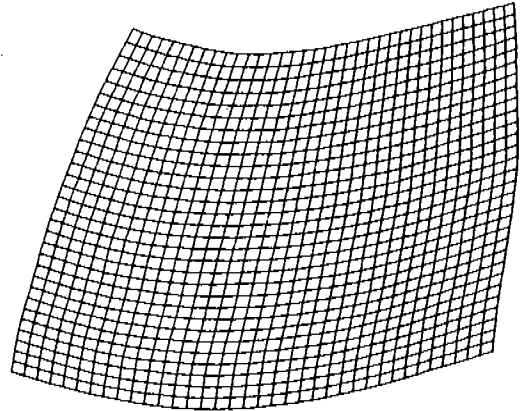


Fig.4 Generation of nodes on the skin surface for inner lens modeling

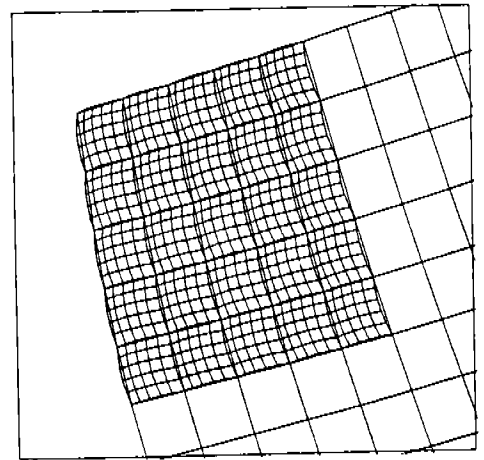


Fig.5 Modeling of inner lens

또한 임의의 강도 I를 갖는 빛이 매질을 통과하는 경우 매질에서의 빛의 흡수가 일어나며 흡수계수(absorption coefficient) α 를 갖는 두께 dt의 매질을 통과하는 빛에 있어서 매질의 흡수에 의한 빛의 강도(intensity)의 감소 dI와의 관계는 다음의 식으로 주어진다.⁽⁶⁾

$$\frac{dI}{I} = -\alpha dt$$

α 역시 매질의 물리적 특성값이며 대개 렌즈의 재질에 대하여 실험에 의해 얻어진다. 매질에 θ_i 의 각으로 입사하여 θ_r 의 각으로 굴절되어지는

빛에 대하여 매질 표면에서의 반사율(R) 및 투과율(T)은 빛의 전자기적 성질로부터 다음과 같이 계산되어 지며⁽⁷⁾

$$R = \frac{1}{2} \left[\frac{\tan^2(\theta_i - \theta_r)}{\tan^2(\theta_i + \theta_r)} + \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)} \right], T = 1 - R$$

최종적으로 방향지시등으로부터 일정 거리 r 떨어진 광도 측정 스크린상에 θ 의 각으로 입사한 빛 입자에 의한 조도(L)는 Lambert의 법칙으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$L = \frac{I}{r^2} \cos \theta$$

이와같은 계산과정을 통해 스크린상의 측정 위치에서의 조도를 계산하여 배광패턴을 생성하며 이를 표준 배광패턴과 비교하여 모델링된 형상의 광학성능 만족 여부를 판별할 수 있게 된다. 이때, 광원으로부터 발산된 빛중 직접 렌즈를 투과하여 진행한 빛은 대부분 넓게 흩어져 배광패턴의 형성에 거의 무시할 만한 효과를 주는 반면 후방의 반사포물면을 통한 평행광으로 인한 조도가 배광패턴의 형성에 거의 지배적이므로 본 연구에서는 효과적인 시뮬레이션을 위하여 평행광에 의한 효과만을 고려하였다.

그림 6은 EEC에서 방향지시등 렌즈의 배광성능 검사 기준으로 삼고있는 표준 배광패턴을 보여주며 이는 제품 검사시 방향지시등으로부터 약 30ft 떨어진 스크린 상의 빛의 발산각도별로 해당하는 각 위치에서의 조도측정으로 만족여부를 검사할 수 있다.

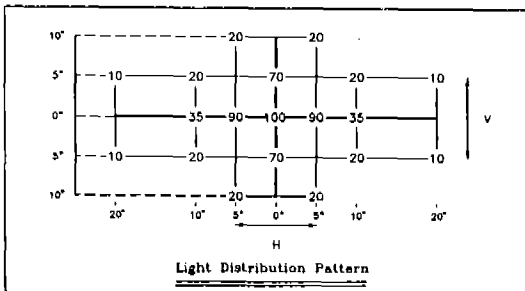


Fig.6 Standard light distribution pattern

3. 시스템의 구성 및 기능

본 연구에서 개발되어진 시스템은 측정 점열의 좌표값으로 구성된 화일형태의 외부 형상정보와 내부 렌즈의 형상 parameter값을 입력받아 자동차 방향등을 형상 모델링한 후 화면상에 도시한다. 또한 시뮬레이션을 통하여 모델링되어진 방향지시등 렌즈를 통과하는 빛으로 형성되는 배광 패턴을 생성, 도시함으로써 사용자하여 표준 배광 패턴과 비교함으로써 모델링되어진 형상의 배광 성능 만족 여부를 판별할 수 있도록 하였다.

전체 시스템은 크게 다음의 3개의 모듈로 구성되어 있다.

- 외부 형상정보의 입력에 의한 방향지시등 렌즈의 외부 곡면(skin surface) 모델링 모듈
- 내부렌즈의 형상 parameter의 입력에 의한 내부 어안렌즈 모델링 모듈
- 모델링되어진 방향지시등 렌즈에 대한 광학성능 시뮬레이션 모듈

그림 7은 전체 시스템의 구성 및 각 모듈간의 데이터의 흐름을 보여준다.

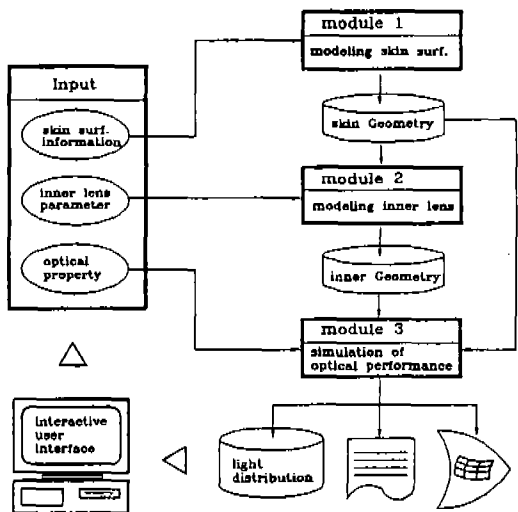


Fig.7 System configuration and data flow

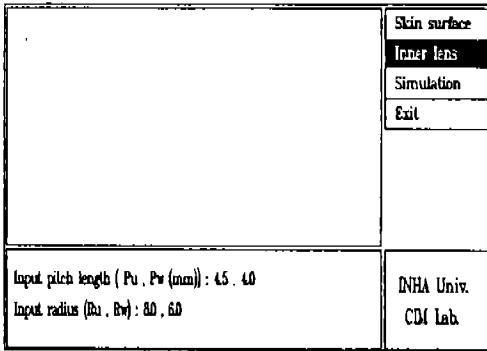


Fig.8 Display of data input step

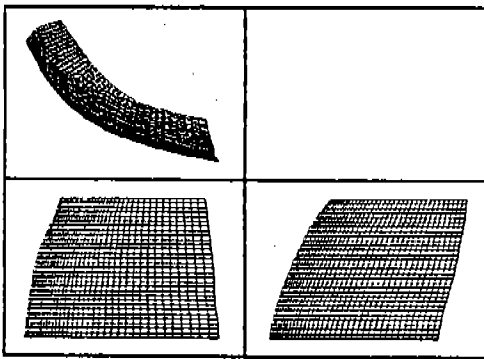


Fig.9 Display of skin surface modeling

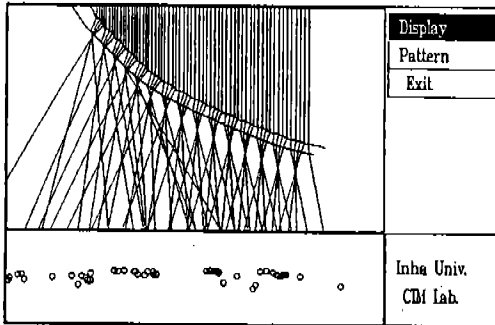


Fig.10 Display of ray tracing

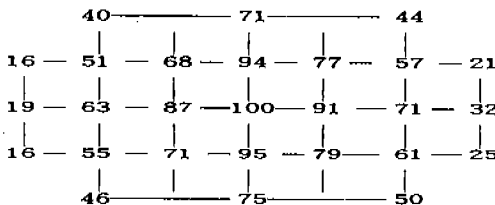


Fig.11 Generation of light distribution pattern

각 모듈에서 필요로 하는 데이터들은 그림 8과 같이 화면을 통해 사용자로부터 대화식으로 입력되어지며 모델링되어진 형상 및 시뮬레이션의 결과값은 사용자의 선택에 따라 그림 9, 그림 11과 같이 화면상에 도시되거나 또는 화일단위로 데이터 베이스에 저장된다. 그림 11은 기존의 자동차 방향지시등 모델에 대하여 내부렌즈의 형상 parameter를 가로, 세로방향 렌즈 pitch를 4.5, 4.0(mm)로 가로, 세로 렌즈 곡률반경을 8.0, 6.0(mm)로 모델링 하였을 때 얻어지는 배광패턴 결과이다.

또한 그림 10과 같이 빛의 경로 추적과정을 부분적으로 도시함으로써 가시적인 효과를 높였다.

본 연구의 시스템은 IBM PC(AT이상)에서 실행할 수 있도록 하였으며 시스템 설계 언어로는 구조적 프로그래밍에 적합한 C언어(Turbo-C ver2.0 Compiler)를 사용하였다.

4. 결 론

본 연구는 자동차 방향등 렌즈의 설계시 형상 특성을 이용하여 최소한의 형상 정보 데이터의 입력만으로 형상 모델링 및 광학성능을 시뮬레이션할 수 있는 자동차 방향지시등 렌즈설계 전용 CAD 시스템의 개발에 관한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 본 연구의 시스템은 화일(file)형태로 주어진 외부 곡면의 형상 정보와 내부 렌즈의 형상을 정의할 수 있는 4개의 parameter의 입력만으로 방향지시등 렌즈의 외부 및 내부 형상을 효과적으로 모델링할 수 있게 함으로서 설계시 많은 시간과 노력의 절약을 기대할 수 있다.
- 설계시 모델링 되어진 방향지시등 렌즈의 광학성능을 즉각적으로 시뮬레이션할 수 있도록 함으로서 수작업에 의한 복잡한 수식 계산의 과정을 없앴은 물론 설계후의 제품에 대한 성능검사에도 이용되어질 수 있다.
- 임의의 위치의 어안렌즈를 통과하는 광선

(Ray)의 경로를 graphic 도시하여 사용자에게 시각적인 효과를 줄 수 있게 하였다.

- 실제로 광원으로부터 출발할 빛 입자는 무한하며 모든 빛 입자의 추적을 통한 시뮬레이션은 불가능하다. 이에 실제 결과와 가장 근사한 결과를 얻을 수 있는 빛 입자간의 미소 단위 입체각의 결정에 대한 고찰이 필요하며 빛 입자의 발산 방향별로 배광 패턴에 미치는 영향 여하에 따라 부분적으로 세부적인 빛 입자의 추적 기법이 필요하다. 또한 본 연구의 시뮬레이션에 사용되어진 모델이 정확한 형상데이터의 미확보로 인하여 실제 모델과 약간의 차이가 있었으며 이와같은 이유등으로 인하여 기존의 방향 지시등 렌즈에 대한 시뮬레이션의 결과와 실제 측정값과 약간의 차이가 있었으므로 좀더 정확한 결과 값을 위하여 이론적인 후속 연구 및 프로그램의 보완이 필요하며 다양한 형태의 내부 형상을 갖는 렌즈에 대한 모델링 기능 또한 추가되어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. I.D. Faux, M.J. Pratt, Computational Geometry for Design and Manufacture, Ellis Horwood, 1979.
2. Michael E. Mortenson, Geometric Modeling, John Wiley & Sons Inc., 1985.
3. Fujio Yamaguchi, "A New Curve Fitting Method using a CRT Computer Display", Computer Graphics and Image Processing, pp.425~437, 1978.
4. O. Lozover and K. Preiss, "Automatic Generation of Cubic B-spline Representation for a General Digitized Curve", EUROGRAPHICS'81, pp.1~51, 1981.
5. R.J. Sharpe, R.W. Thorne, "Numerical Method for Extracting an Arc Length Parameterization from Parametric Curves", Computer Aided Design, Vol.14, No.2, March, 1982.
6. E. Hercht, A. Zajac, Optics, Addison-Wesley Co., 1974.
7. M.V. Klein, Optics, John Wiley Sons Inc., 1970.