

첨단 자동차용 거울의 금형에 관한 연구
A study on the advanced mirror mold for automobile
홍민성*, 백철승**

* 아주대학교 공과대학 기계 및 산업공학부

** 아주대학교 공과대학 기계공학과 대학원

Abstract

The side mirrors play an important role in driver's safety and convenience. People drive safely based on the side mirrors and room mirror through observation of environment.

However, the drivers can not completely confront environments because of the dead angle of the side mirrors.

In this research, based on geometric optics and geometric modeling, aspheric surfaces of the side mirror mold with dead angle free has been designed and machined in CNC machining center. Surface roughness of the mold was evaluated by using surface shaping system. The analysis on the shape of formed mirrors shows the mirrors have been reduced the dead angle comparing with the original mold.

Keyword : aspheric surface(비구면), dead angle(사각), surface shaping system(표면가공시스템), geometric optics(기하광학)

1.서론

자동차 부품이나 외관은 기능상의 혹은 외형상

의 고려를 통하여 많은 개선이 되어 왔다. 하지만 자동차의 측면 거울(side mirror)과 후방거울은 운전자가 운전할 때 주변환경을 파악하여 교통상황에 맞는 안전한 운전을 할 수 있도록 하는 정보를 제공하는 장치이다. 현재 자동차에 사용되고 있는 측면거울은 운전자의 시야를 가리는 사각(dead angle)을 가지고 있으므로 하여 운전자는 운전시 항상 추위에 신경을 쓰고 있으며 여러 가지 사고의 발생 요인 중에 하나가 된다.

또, 운전자들은 사각을 줄이기 위해서 측면 거울 근처에 작은 볼록거울을 부착하기도 하나 이 방법은 추가적으로 재료비와 제작비가 드는 부분이라 할 수 있다. 또 센서 부착 식으로 차량 주변의 상황을 판단하고 사각을 없애는 장치도 있지만 이 또한 아직은 경제적인 부담감이 크다.

비구면 렌즈를 제작하기 위하여 유리를 단결정 다이아몬드 바이트로 가공하거나 실리콘이나 게르마늄등을 가공하는 연구들이 수행되었고 또, 래핑 공구를 이용하여 표면을 연마하는 데 관한 연구들이 수행되었다.^[1]

기존의 측면거울 제작은 평면유리에 코팅을 하여 거울로 장착하거나 혹은 선반으로 가공한 원형의 쇠를 회전시키며 세라믹 금형재를 구면(球面)으로 제작하여 그 세라믹 금형 위에 평면유리를 두고 열과 압력을 가하여 유리를 성형시켜 측면거울로 제작하여 사용하였다. 또, 두 가지의 곡률을 지

닌 비구면 거울을 제작하는 경우에는 제작하는데 어렵기 때문에 적어도 한 개의 면은 구(球)를 이루도록 하였다.^[2]

본 연구에서는 기하학적 광학이론(geometrical optics)을 기초로 Pro/ENGINEER를 이용하여 자동차의 측면거울을 두 가지 형태로 모델링하고 모델링한 금형을 NC code를 생성시켜 머시닝센터로 가공하고 표면가공법(surface-shaping system)을 이용하여 성형 시에 유리와 맞닿는 세라믹 금형의 가공 표면을 예측함으로써 측면거울의 사각을 줄일 수 있고 거울에 비치는 상이 일그러지지 않는 거울이 제작될 수 있도록 하였다.

2. 이론적 배경

거울은 부호규약을 사용하기 어려운 것처럼 보인다. 그 이유는 실물(實物)과 실상(實像)이 모두 거울의 앞 같은 편에 있기 때문이다.

물체의 거리가 초점거리보다 더 떨어져 있을 때 상이 거울의 왼쪽에 있다고 하면 규약에 의해 물체로부터 거울까지 진행할 때의 빛은 +x 방향으로 진행하지만 되돌아 나오는 빛은 -x 방향으로 한다. 되돌아오는 광로에 관한 굴절률(n)은 -가 되고 거울앞에서는 매질이 같게된다..

$$n_2 = -n_1 \quad (1)$$

면굴절력 방정식에 식(1)을 대입하면

$$P = \frac{n_2 - n_1}{R} = \frac{-2n}{R} \quad (2)$$

여기서, P는 거울의 반사굴절력이고 R은 곡률반경, n 은 전면 재질의 굴절률이다.

식(2)를 가우스(Gauss)의 렌즈방정식에 대입하면 다음과 같은 구면경 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} - \frac{1}{o} = \frac{-2}{R} \quad (3)$$

o : 거울에서 물체까지의 거리

i : 거울에서 상까지의 거리

평거울과 오목거울에 관해서도 같은 방법으로 적용되며 어떤 물체와 상의 거리에 대한 관계를 나타낸다.

곡률반경을 얻기 위하여 거울은 렌즈와 비슷한 점이 많으므로 렌즈에서 사용하는 굴절행렬에 식(2)를 대입하면 식(4)와 같다.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -2n/R \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M \cdot V = V' \quad (5)$$

$$V = \begin{bmatrix} n/o \\ 1 \end{bmatrix}, \quad V' = \begin{bmatrix} n/i \\ 1 \end{bmatrix}$$

식(5)는 임의의 위치에서 물체와 상의 반사관계를 이용하여 곡률반경을 구하는데 쓰인다.^[3]

목적물이 O점에 놓여있고 곡률 반경이 R인 거울에 의하여 맺히는 상을 생각하면 우선 주어진 목적물이 거울에 의하여 맺히는 상을 찾기 위해 손쉬운 방법으로 Fig. 1과 같은 기하학적 도식방법을 사용한다.

초점을 통과하여 입사된 광선은 거울에 반사된 후 축과 평행하게 반사되고 곡률중심을 통과하는 경우는 반사방향의 변화가 없으며 축과 평행하게 들어오는 광선은 초점에서 생겨나온 것처럼 거울면에서 반사된다. 이 세가지 경우 중 두 개의 광경로가 교차하는 점에 상이 놓이게 된다.^[4]

심 O2는 기본 곡률중심 O1과 관측위치 O사이에 있을 때 θ 와 θ' 의 차이만큼 사각이 감소된다.

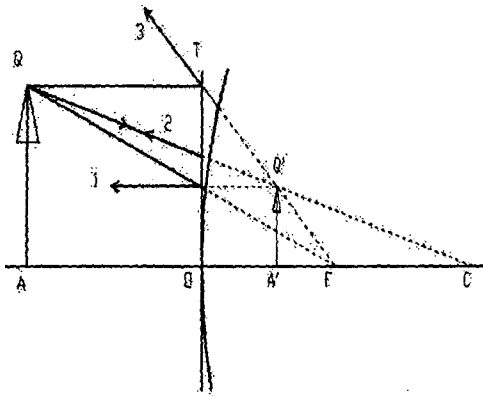


Fig. 1 Formed image in the convex mirror

거울면의 모델링시에 이동곡면(sweep surface)과 블랜드곡면(blend surface)을 사용하였는데 이동곡면이란 2차원 단면곡선이 어떤 규칙을 갖고 안내곡선(또는 경계곡선)을 따라 이동할 때 생기는 궤적으로 정의되는 곡면을 말한다. 두 개 이상의 곡면들이 교차하는 부분의 모서리에서는 인접한 지역을 매끄럽게 형성시켜주는 블랜드 곡면이 필요한데 이것은 심미적인 관점이나 응력집중을 줄이기 위해서 혹은 제조상의 편의성 등 여러 이유로 인해 널리 사용된다.^[5] 가공데이터들이 여러 다른 유형의 곡면들로 이루어진 복합곡면(composite surface)으로부터 얻어진 경우 공구 간섭이 발생할 수 있기 때문에 블렌딩 작업을 한 후 가공데이터를 얻어내도록 한다.

3. 형상설계 및 모델링

일반적인 자유곡면도 부분적으로는 평면, 단면이 일정한 2차원적 곡면, 구면과 같은 기본적인 곡면으로 이루어졌다고 볼 수 있다.

평행광선법과 반사의 원리를 이용하여 사각을 감소시킬 수 있는데 Fig. 2와 같이 새로운 곡률중

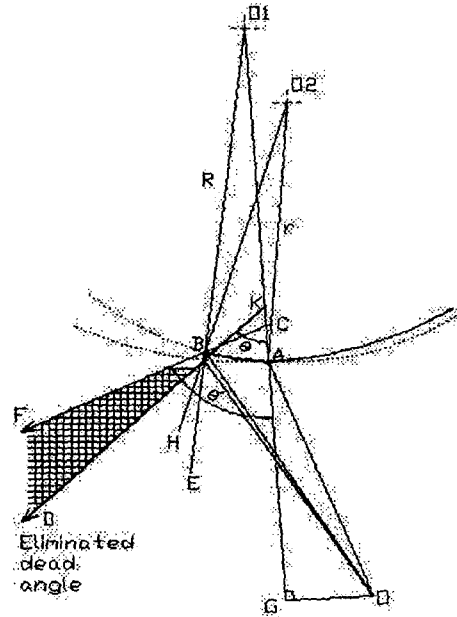


Fig. 2 Estimate of eliminated dead angle

먼저 비구면 경을 설계할 때 다음 식을 통하여 기본이 되는 종단면의 y축 방향 좌표를 구한다.

$$y = R_c - \sqrt{R^2 - x^2} + k(x-a)^3 \quad (6)$$

여기서 R_c 는 기본 곡률반경, k 는 상수로 2.2×10^{-5} , a 는 곡률이 변하는 지점까지의 x 거리를 말한다.

전체 변곡구간을 세부 구간으로 n 등분하여 곡률의 변화량이 적도록 하는데 이것은 상의 일그러짐을 막기 위함이다. 식(6)을 통해 얻은 단면상의 좌표와 곡률의 중심을 연결하여 얻어진 곡률반경을 일정한 간격으로 나누어 곡면의 궤적을 그리고, 연결점에서는 구간이 구(球)를 이룰 수 있도록 한다.

사각을 감소시키기 위하여 다음과 같은 두종류의 형태로 모델링하였다.

1) 곡면 - 곡면 형태

자동차의 우측에 부착되는 형태로 기본 곡률은 R2000이고 7mm 간격으로 11구간에 걸쳐 R500까지 곡률을 감소시켰다. 그리고 단면에서의 무게 중심점이 금형의 중심과 일치하도록 하여 유리 성형시에 자중(自重)과 압력(suction)이 일정히 전달될 수 있도록 하였다.

2) 평면 - 곡면 형태

자동차의 좌측에 부착되며 기본곡률은 무한대(평면)이고 처음 곡률 R20,000에서부터 R5000까지는 3mm 간격으로 5구간에 동안 곡률을 변화시키고 나머지 R500까지는 7mm 간격으로 균등 분할하였다. 모델링시 금형상의 배치는 1)과 같다.

4. 표면가공법을 이용한 표면거칠기 예측

표면가공시스템(surface-shaping system)은 머신공구의 기구학과 절삭공구와 공작물의 형상을 포함하고 가공된 표면의 조도를 예측하기 위한 공구와 공작물 사이의 표면 형상을 정의하는 점들간의 관계를 유도하는 시스템 모델을 표현하는 데 쓰인다.^[6] 그 흐름도는 Fig. 3에 나타나있다.

Table 1에 있는 가공조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 한 결과는 Fig. 4에 나와있으며 예측된 표면거칠기(S_q)는 $1.96183 \mu m$ 로 별도의 연마공정을 생략하였다.

Table 1. Cutting condition

Number of Flutes	2
Depth of Cut(mm)	3.0
Cross Feed(mm)	1.0
Feedrate(mm/min)	250
Spindle Speed(rpm)	2000

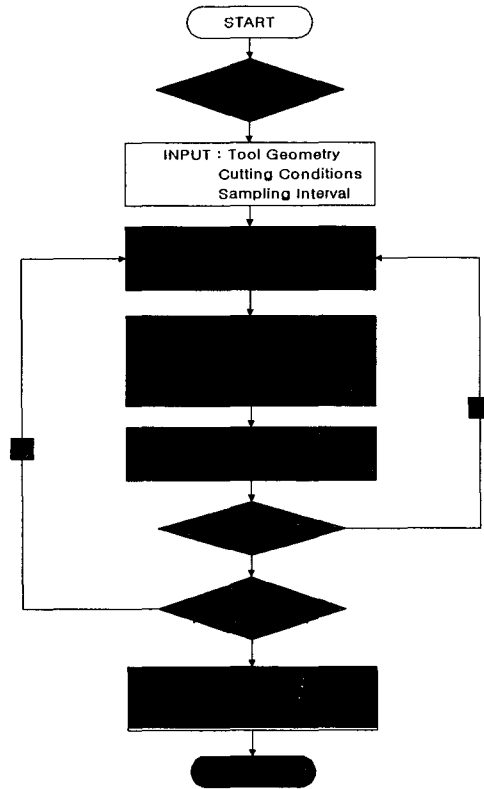


Fig. 3 Flow chart of the surface-shaping system

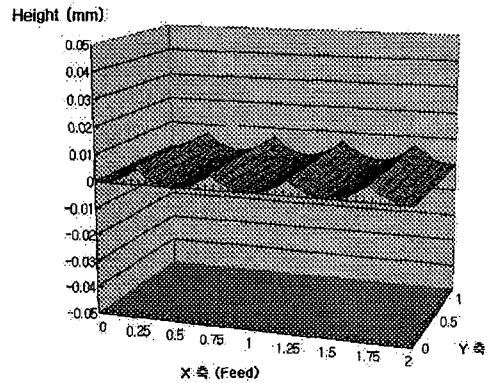


Fig. 4 Simulated surface

5. 실험결과

모델링한 곡면을 NC공작기계로 가공하려면 계획된 가공경로를 따라 CC(cutter-contact)데이터 혹은 CL(cutter-location)데이터가 요구된다. 앞에서 한 설계를 Pro/ENGINEER에서 모델링 하였다.

그 구조는 모델링한 파트를 이용하여 먼저 가공공정에 대하여 셋업에 관련된 변수를 설정해준다. 생성된 경로를 Pro/NC check을 이용하여 시뮬레이션하고 공구의 간섭이나 재료의 파손, 절삭공정의 적합성 등을 판단하여 공구경로를 결정하게 된다. 이렇게 결정된 모든 공구경로는 Pro/NCPOST를 통하여 실제로 CNC 공작기계가 인식할 수 있는 CL-data 및 G-code로 생성되어 작업을 완료한다.(Fig. 5)

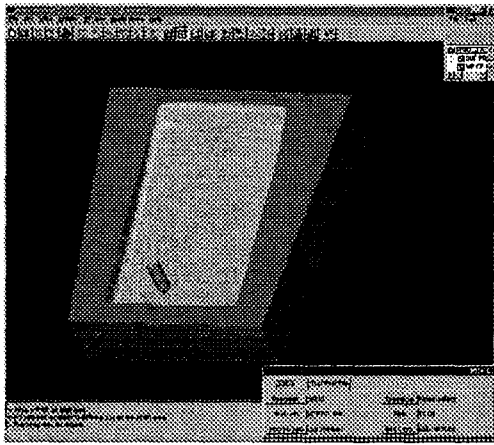


Fig. 5 NC-check simulation with Pro/ENGINEER

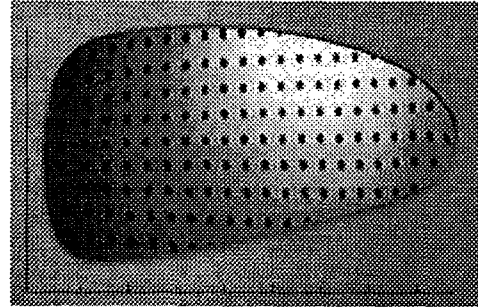
본 연구에서 가공에 쓰인 CNC 공작기계는 대우 ACE V-45 3축 머시닝센터이고, 사용한 공구는 ϕ 16mm 블랜드밀이며, 금형재로는 360*280*80 크기의 규조토(Isolite ceramic mold)를 사용하였다.

5.1 거울의 성형 및 측정결과

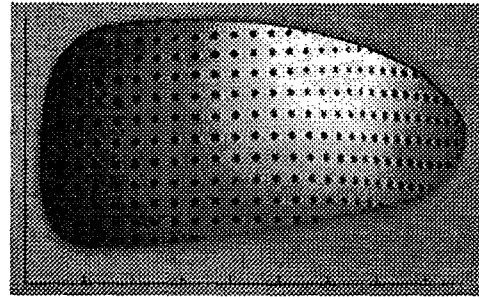
거울의 성형의 순서는 몰드를 건조시키고 가열

로에서 $750 \pm 50^\circ\text{C}$ 의 온도를 가하면서 일정한 압력으로 2 ~ 3초간 흡입하여 유리를 성형하였다.

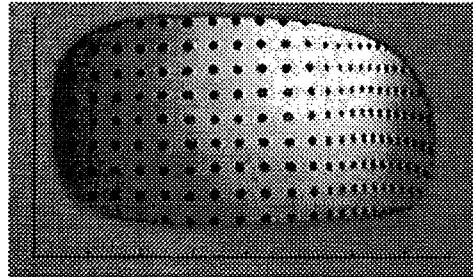
성형된 거울을 평면에 놓고 위로 500mm의 거리에서 15mm의 간격을 가진 격자(grid)를 비추어 구면경과 새로이 개발된 비구면경의 관측범위를 비교, 측정하였다. 결과를 Fig. 6에 나타냈다.



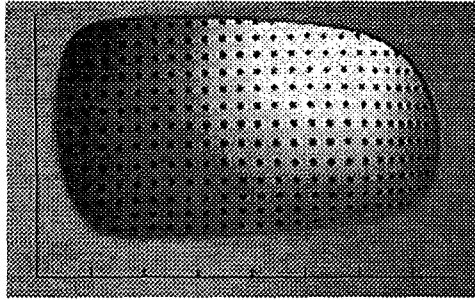
(a) Single radius spheric mirror



(b) R2000 - R500 aspheric mirror



(c) Plane - R500 aspheric mirror



(d) R1400 - R500 aspheric mirror

Fig. 6 Measured shape of formed mirrors

Fig. 6(a)는 곡률반경 1400인 단일 구면경이고 Fig. 6(b)는 곡률반경 2000에서 500까지 변하는 비구면경으로 Fig. 6(a)에 비해 거울중심에서 오른쪽으로 갈수록 반사되어 비치는 점들의 수가 더 많아지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6(c)는 평면에서 곡률반경 500까지 변하는 비구면경으로 평면부분에서 비쳐지는 점들이 그대로 투영되어 자동차의 좌측에 부착되며 우측부분으로 갈수록 비치는 점들이 많아진다.

Fig. 6(d)는 곡률반경 1400에서 500까지 변하는 비구면경으로써 Fig. 6(c)에 비하여 상하좌우 모든 방향에서 반사되어 비치는 점의 분포가 조밀함을 볼 수 있다. 종합적으로 Fig. 6(a)보다 Fig. 6의 (b), (c), (d)에서 넓은 부분이 관측되어 사각이 많이 감소되었음을 알 수 있다.

6. 결론

자동차 측면거울의 사각을 감소시켜 운전자가 넓은 시야를 확보할 수 있게 하기 위하여 새로운 형태의 거울을 모델링하고 금형을 제작하여 유리를 성형한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 새롭게 제작된 측면 거울이 기존의 거울에 비

하여 넓은 부분의 주변 관측이 가능하여 사각이 감소되었음을 볼 수 있었다.

2. 곡면-곡면, 평면-곡면의 형상을 지닌 두 종류의 거울을 제작함으로써 운전자의 위치 특성에 맞게 장착될 수 있다.
3. 가공표면을 시뮬레이션하여 판단한 결과, 별도의 연마 공정을 수행하지 않고도 유리를 성형할 수 있었다.

참고문헌

- [1] V.C. Venkatesh, Zhaowel Zhong, "Manufacture of spherical and aspheric surfaces on plastics, glass, and ceramics", Transaction of NAMRI/SME, Vol. XXIII, pp. 169 - 174, 1995.
- [2] Bohumil Jurek, *Optical surface*, Elsevier Scientific Publishing Company, 1997.
- [3] 김관철 幾何光學, 新光出版社, 1987.
- [4] D. P. Acharya, *Geometrical optics for advanced students*, 2nd edition, Oxford & IBH Publishing Co., 1980.
- [5] B. K. Choi, *Surface Modelling for CAD/CAM*, Elsevier Science Publishers B.V., 1991.
- [6] M. S. Hong and K. F. Ehmman, "Generation of Engineered Surfaces by the Surface-Shaping System", Int. J. Machine Tools & Manufacture, Vol. 35, No. 9, pp. 1269-1290, 1995.

(공구경로가 제대로 생성되었는 지를 시각적으로 확인 할 수 있도록 동적인 시뮬레이션을 구현하였다.)

일반적으로 공작기계는 직선가공과 원호가공을 할 수 있다. 따라서 직선이나 원호로 이루어져 있지 않는 곡선은 허용공차를 만족하는 직선이나 원호로 보간을 하여야 한다. 직선보간의 경우 매우 작은 허용공차를 만족하는 범위에서 직선으로만 형상을 이루기 때문에 많은 블록의 NC Code가 생성된다. 그리고 실제 가공 시에 한 직선마다 공구의 가감속이 발생하여 가공시간이 길어질 수 있다.

비구면형상은 크게 축대칭 비구면과 비축대칭 비구면 형상으로 나눌 수 있다. 모델링 종류

wire frame

꼭지점(vertex), 외형선(edge)만을 가지고 있는 삼차원 모델, 모호성(ambiguity)이 있다.

surface

wireframe 모델에 면 정보를 추가, 은선제거 및 셰이딩(shading)기능, 복잡한 곡면의 외관 평가, 금형가공을 위한 NC 공구경로생성가능

solid

삼차원 입체의 부피에 관한 정보까지 보유하고 면(face), 모서리(edge), 꼭지점(vertex)들의 존재사실과 그것들의 공간에서의 연결관계를 저장하며 완전한 형태의 모델로 데이터 양이 많고 부피단위의 작업이 가능하여 물성치 계산 혹은 유한요소 생성이 가능하다.

Geometric modelling system

솔리드 모델링 시스템(Solid modelling system)으로 3차원 물체 또는 그들의 조립체를 대화식으로 생성시키면서 설계작업을 진행하도록 하는 software이고 응용분야는 물성치(mass property)의 계산, NC공구경로의 생성, 유한요소 격자(finite element mesh)의 생성, 조립 및 작동 간섭 검사등에 쓰인다.

[6] V.C Venkatesh, F.Fang, W.K.Chee, "On-mirror surface obtained with and without polishing", Annals of the CIRP Vol.46, pp. 505-508, 1/1997

표면가공 시스템은 공작기계의 기본 움직임뿐만 아니라 가공중에 발생하는 예러, 공구의 런아웃, 그리고 특수 목적용 고차원 운동을 포함하며 Fig.3은 그 흐름도를 나타낸다.