

Development of a Sag Data Output Program for the Core Mold Production of Aspheric Contact Lenses

Jeong-Mee Kim*

Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea

(Received December 12, 2023; Revised December 19, 2023; Accepted December 19, 2023)

Purpose: To develop a program to deliver aspherical processing sag data for the fabrication of aspheric contact lens molds. **Methods:** Using the Delphi 11 programming language, a program was developed to output the aspherical surface sag data and concave spherical surface sag data for the primary mold (metal). **Results:** The program was used to produce a primary mold (metal) for an aspheric contact lens. When the variables required to create the convex and concave spheres of the desired aspheric contact lens were entered, it was found that the convex and concave core sag data required for DTM processing of the aspheric contact lens may be captured and used by contact lens manufacturers to guide production. **Conclusions:** The sag data output program was shown to be very helpful to the manufacturers of aspheric contact lens primary molds (metal) for processing concave and convex cores.

Key words: Aspheric contact lens, Concave surface core, Convex surface core, Primary mold, Sag data

서 론

일반적으로 콘택트렌즈 사출은 플라스틱 재질의 2차 금형으로 하고, 이 2차 금형은 다시 금속 재질의 1차 금형(코아 금형)을 제작하여 만들어지고 있다. 이때 1차 금형의 볼록면 코아 및 오목면 코아가 콘택트렌즈의 전면 및 후면 형상을 결정하게 된다.

눈에서 발생하는 광학적 수차를 최소화하는 데 사용되는 비구면 렌즈 디자인은 글로벌 콘택트렌즈 회사에서 현재 많이 사용되고 있어^[1] 국내에서도 비구면 콘택트렌즈의 1차 금형의 제작에 관심이 많아지고 있다. 비구면 콘택트렌즈의 전면은 비구면(대부분 코닉 비구면)이고 후면은 구면으로 제작되고 있는데, 이를 위해서는 1면은 비구면, 2면은 구면인 코아 금형의 생산이 필수적이다. 대부분 DTM(diamond turning machine)으로 코아 금형을 가공하기 때문에 경우가 있기 때문에 비구면 코아 형상을 가공하기 위한 전면용 코아 금형 형상 새그 데이터(sag data)가 필요하게 되고, 후면은 구면이므로 구면의 곡률반경 공차(power tolerance)의 정밀도 분석이 필요하게 된다.^[2] 이 정밀도 분석은 비구면 콘택트렌즈 사출을 위한 플라스틱 2차 금형을 제작하기 위해 사용하는 코아 금형을 만드는 제작자에게는 매우 중요한 작업이다. 콘택트렌즈 코아 금

형 제작자들에게는 이 후면 코아 금형을 검사하기 위해 아직까지도 코아 금형의 곡률반경 공차보다는 뉴턴 링 공차를 많이 사용하고 있다. 이는 곡률반경 공차가 뉴턴 링 공차로 환산되어 비교되는 것이 코아 금형을 만드는 제작자에게 더 익숙한 현황을 반영한 결과이다.^[3,4] 즉 콘택트렌즈 코아 금형 제작자들에게는 여전히 코아 금형의 곡률반경 공차보다는 뉴턴 링 공차가 서로의 코아 금형의 비교 평가에 더 많이 사용되고 있음을 나타낸다. 이 곡률반경 공차를 뉴턴 링 공차로 환산할 수 있는 프로그램은 이미 개발되어 있어서 쉽게 접근할 수 있지만,^[5] 비구면 코아 형상 가공을 위한 전면용 코아 금형 형상 새그 데이터(sag data) 산출 프로그램은 국내 콘택트렌즈 코아 금형 제작자들이 쉽게 접근할 수가 없는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 상기 내용을 반영하여 비구면 콘택트렌즈의 코아 금형의 새그 데이터(sag data)를 산출하는 프로그램을 개발하여, 국내 콘택트렌즈 코아 금형 제작자들이 비구면 코아 금형 가공에 쉽게 다가갈 수 있도록 하였다.

대상 및 방법

1. 렌즈의 비구면 방정식

일반적인 렌즈의 비구면(aspherical surface) 방정식은 아

*Corresponding author: Jeong-Mee Kim, TEL: +82-43-880-3826, E-mail: kijeme@hanmail.net
Authors ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9199-7357

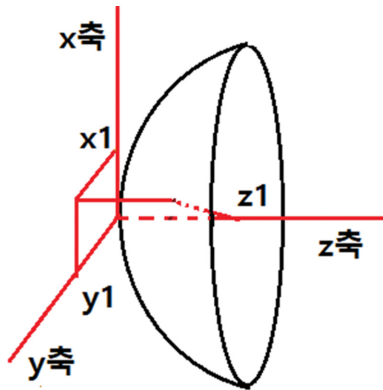


Fig. 1. Configuration of the x-y-z coordinate system.

래와 같다.^[6-9]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + A_4r^4 + A_6r^6 + A_8r^8 + A_{10}r^{10} \quad (1)$$

여기서 c 는 곡률반경의 역수 즉 곡률이고, k 는 코닉(conic) 계수이고 A_4, A_6, A_8, A_{10} 은 비구면 계수이다. Fig. 1에서와 같이 z 축이 광축인 경우, x, y 좌표값은 $x^2 + y^2 = r^2$ 으로 표기 된다. 즉 특정한 z_1 에 대응하는 비구면 형상의 표면까지의 거리는 $\sqrt{x_1^2 + y_1^2} = r_1$ 로 대응된다.

요즘을 만들어지고 있는 콘택트렌즈 1면의 1차 금형인 코아 금형은 굴절력이 높은 렌즈인 경우에는 코닉 비구면으로 만들어지고 있지만 본 논문에서는 앞으로의 확장성을 위해 식(1)과 같은 코닉 비구면을 포함하는 일반 비구면 방정식을 사용하여 코아 금형의 형상 데이터를 출력하고자 한다. 코아 금형을 가공하기 위해서는 금형의 형태가 회전 대칭이기 때문에 새그 데이터(sag data)가 필요하게 되는데 이는 z 축이 회전대칭 축일 경우 z 축에서 z 축의 값이 규칙적으로 증가함에 따라 계산되어지는 회전대칭인 코아 금형의 형상표면까지의 값($r = \sqrt{x^2 + y^2}$)을 새그 값이라 하고, 이 새그 값이 z 축의 값이 규칙적으로 증가함에 따라 모인 값을 새그 데이터(z_i 에 대응하는 r_i 값들)라고 한다.

이러한 변환 공식을 이용하여 비구면 콘택트렌즈의 전면용 코아 금형의 새그 데이터(sag data)를 산출하는 프로그램을 도출한다

결과 및 고찰

1. 콘택트렌즈 전면의 비구면 형상 가공용 새그 데이터(sag data) 산출 프로그램

Embarcadero Delphi 11 Version 프로그래밍 언어를 사용하여 코딩을 하였고,^[10] 상기 식(1)에 해당하는 코딩 내용은 아래와 같다.

```

for i := 0 to ik do
begin
xx := i * interval;
zsag := cc * xx * xx / (1 + sqrt(1 - (1 + kk) * cc * cc * xx * xx)) +
AA[4] * xx * xx * xx * xx +
AA[6] * xx * xx * xx * xx * xx * xx +
AA[8] * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx +
AA[10] * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx * xx;
Rsag := cc * xx * xx / (1 + sqrt(1 - (1) * cc * cc * xx * xx));
xxx[i] := xx;
zzz[i] := round(zsag * 10000) / 10000;
Rzzz[i] := round(Rsag * 10000) / 10000;
ListBox1.Items.Add(FloatToStr(xxx[i]) + ' ' + FloatToStr(zzz[i]));
end;
    
```

여기서 interval 변수는 Fig. 2의 입력창의 internal of Sag Data에 해당하는 것으로 1차 코아 금형 제작자들의 요구에 의해서 결정될 값으로 일반적으로 0.1 mm 간격이면 DTM 가공에 적당한 것으로 알려져 있다. zsag 변수는 비구면 새그 값을, Rsag 변수는 곡률반경 입력 값에 의한 새그 값을 계산하도록 하였다. 물론 여기서 비구면 계수 AA[4], AA[6], AA[8], AA[10] 및 코닉 계수 cc가 zero이면 구면 새그 값을 계산하게 되는 알고리즘이 되는 것은 당연하다.

2. 콘택트렌즈 전면의 비구면 형상 그래픽 출력

GUI 환경의 다양한 컴포넌트를 제공하는 프로그래밍 언어인 Delphi 11로는 폼 윈도우를 시각적으로 다양하게 디자인할 수 있는데, 본 논문의 Fig. 2와 같은 화면을 구성하기 위해서는 9개의 Label, 8개의 Edit, 3개의 Button, 1개의 ListBox, 1개의 PaintBox, 1개의 SaveDialog 등의 컴포넌트를 사용하였다.^[10,11]

Fig. 3에서는 “그래픽” Button을 클릭했을 때 PaintBox에 비구면 새그 값인 zsag 변수(검정색 곡선)를 그래픽으로 나타나게 하여 비구면 형상을 보여주게 하였고, 비구면 계수를 제외한 구면 만의 형상을 보여주기 위해 Rsag 변수(초록색 곡선)를 그래픽으로 나타나게 하였다. 또한 파란색 곡선은 검정색 곡선의 높이와 폭을 3점 기준점으로 하여 대응하는 구면 곡률을 계산하여 나타낸 그래픽으로, 이는 비슷한 형상의 구면, 비구면, 대응구면의 커브 값을 비교할 때 필요한 화면이다.

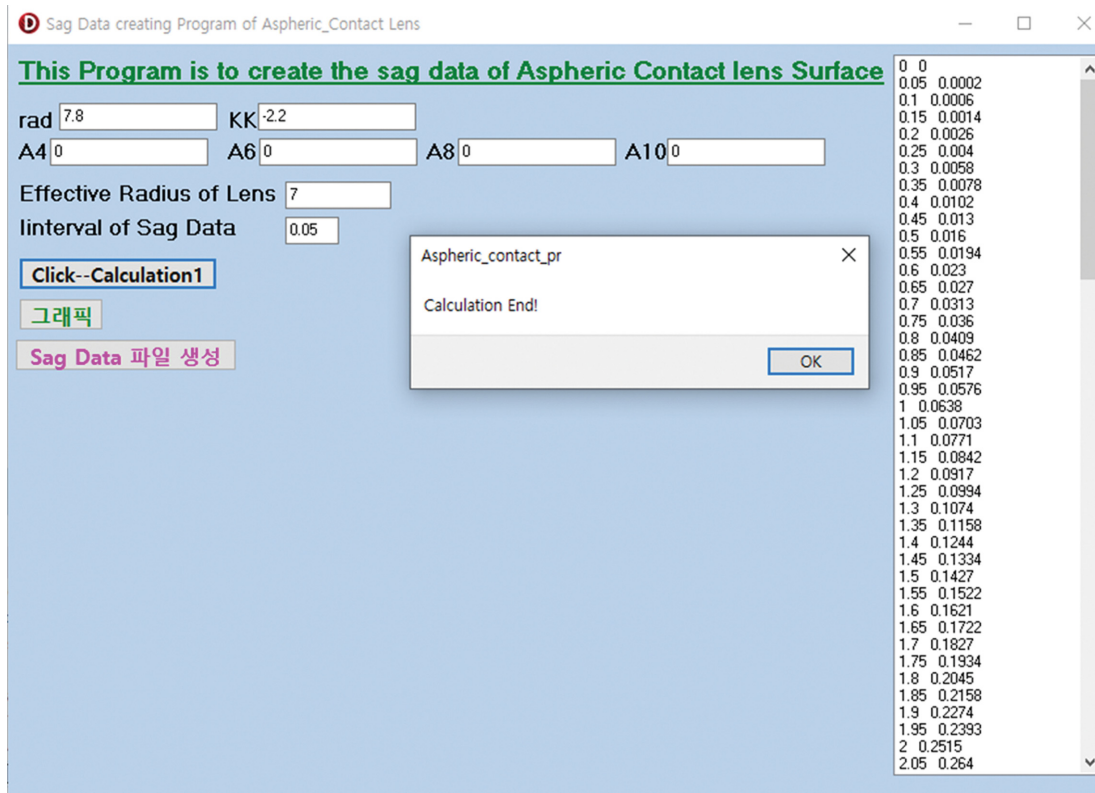


Fig. 2. An example of the program's output data window after typing the input data in 8 white blocks and hitting the 'Click for Calculation 1' button for a contact conic lens mold.

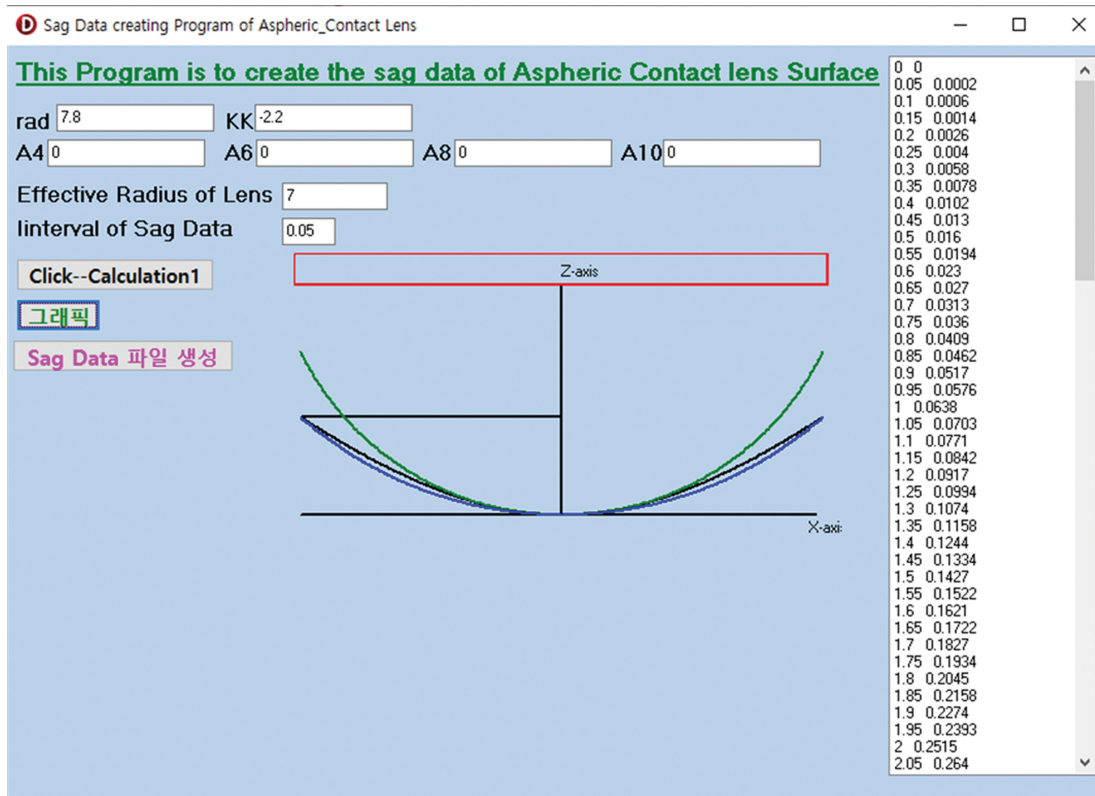


Fig. 3. The program's output data window configuration after typing the input data in 8 white blocks and hitting the '그래픽' button for a contact conic lens mold.

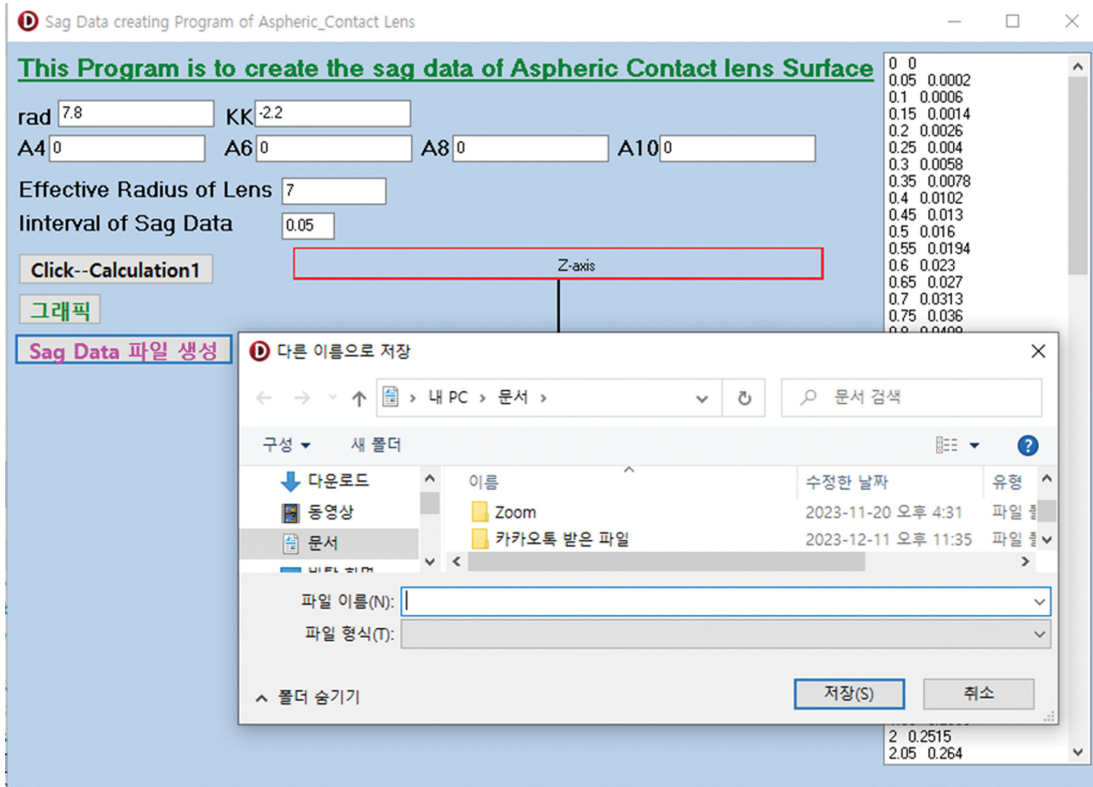


Fig. 4. The program's output data window configuration after typing the input data in 8 white blocks and hitting the 'Sag Data 파일 생성' button for a contact conic lens mold.

3. 콘택트렌즈 전면의 비구면 형상 새그 데이터 파일 저장

Fig. 4에서는 “Sag Data 파일 생성” Button을 클릭했을 때 ListBox에 보이는 z값 대비 출력된 비구면 새그 값을 파일로 출력되게 하기 위한 출력 파일 입력창이 보여지는 것을 나타내고 있다. 이 출력 파일 입력창에 원하는 디렉토리 및 파일 이름을 입력하면, 그대로 저장되게 하였다. 그러면 콘택트렌즈 코아 금형 제작자는 이 저장된 새그 값을 DTM 가공기의 numerical data로 입력함으로써 필요로 하는 비구면 코아 금형의 형상을 가공하게 되는 것이다.

4. 프로그램의 금형 제작에 적용

본 논문에서 개발된 프로그램을 아래의 Fig. 5와 같은 비구면 콘택트렌즈용 코아 금형의 제작에 사용하여 보았다. Fig. 5(A)는 오목 코아 금형을 보여주는데 이는 실제 콘택트렌즈의 후면을 가공하는 데 사용하는 구면 형상의 코아 금형이다. Fig. 5(B)는 볼록 코아 금형을 보여주는데 이는 실제 콘택트렌즈의 전면을 가공하는 데 사용하는 비구면 형상의 코아 금형이다. 이들 금형 8셋트로 제작된 8개 비티용 플라스틱 2차 금형의 사출된 모습을 Fig. 6에서 볼 수 있으며, Fig. 6(A)는 볼록 플라스틱 2차 금형으로 실제

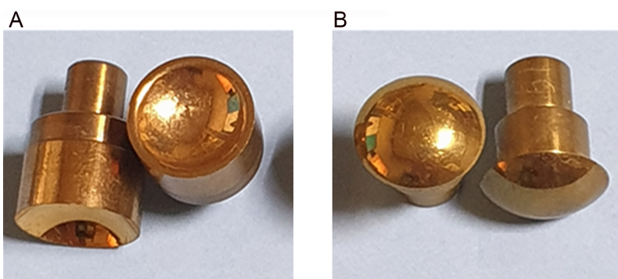


Fig. 5. The primary core metal molds for contact lenses processed using data output from the developed program. A. The concave-shaped core mold. B. The convex-shaped core mold

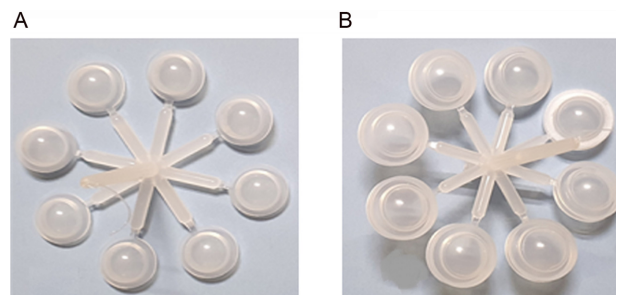


Fig. 6. The secondary plastic molds for contact lenses processed using the primary core metal molds in Fig. 5. A. The convex-shaped core mold. B. The concave-shaped core mold

콘택트렌즈 후면의 구면 가공에 사용되고, Fig. 6(B)는 오목 플라스틱 2차 금형으로 실제 콘택트렌즈 전면의 비구면 가공에 사용된다.

결 론

본 논문에서는 콘택트렌즈 코아 금형 제작자들에게 필요한 비구면 코아 금형의 새그 데이터(sag data)를 산출하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램으로 DTM을 사용하는 콘택트렌즈 코아 금형의 전면 비구면 형상 및 후면 구면 형상의 새그 데이터를 산출할 수 있음을 확인하였고, 이를 활용하여 실제 콘택트렌즈의 전면의 비구면 사출용 코아 금형 및 후면의 구면 사출용 코아 금형을 제작하여 콘택트렌즈 사출용 2차 플라스틱 금형을 사출 제작할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문의 프로그램은 콘택트렌즈 코아 금형 제작자에게 유용한 프로그램이 될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Mrochen M, Büeler M. Aspheric optics: physical fundamentals. *Ophthalmologie*. 2008;105(3):224-233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00347-008-1717-z>
- [2] Edmund Optics Inc. Understanding Optical Specifications, 2023. [https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/understanding-optical-specifications\(01 September 2023\)](https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/understanding-optical-specifications(01 September 2023)).
- [3] JML Optical. Manufacturing Tolerances, 2023. [https://www.jmloptical.com/resources/manufacturing-tolerances\(05 August 2023\)](https://www.jmloptical.com/resources/manufacturing-tolerances(05 August 2023)).
- [4] Ramadan WA, Wahba HH, El-Tawargy AS. Enhanced short temporal coherence length measurement using Newton's rings interference. *Opt Laser Technol*. 2020;127:106192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106192>
- [5] Kim JM. Newton ring tolerance conversion program. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2021;26(4):275-279. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2021.26.4.275>
- [6] Sasián J. Introduction to lens design, 1st Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2019;110-125.
- [7] Laikin M. Lens design, 4th Ed. Boca Raton: CRC Press, 2007;7-10.
- [8] Park SH, Lee DH. Design of an anamorphic aspherical prism lens for the head mount display. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2008;13(4):83-88
- [9] Lee DH. Program development for extracting the numerical data of aspherical surface for the core manufacturing of ophthalmic lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2007;12(4):87-90
- [10] Embarcadero Inc. Delphi 11, 2021. [https://www.embarcadero.com/products/delphi\(04 August 2023\)](https://www.embarcadero.com/products/delphi(04 August 2023)).
- [11] Kim DH, Lee DH. A study on the residual astigmatism appeared after operating ICL Lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 2008;13(4):155-160

비구면 콘택트렌즈 코아 몰드 제작용 새그 데이터 출력 프로그램 개발

김정미*

극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2023년 12월 12일), 수정일(2023년 12월 19일), 게재확정일(2023년 12월 19일)

목적: 비구면 콘택트렌즈 금형 제작에 필요한 비구면 가공 새그(sag) 데이터를 출력하는 프로그램을 개발하고자 하였다. **방법:** 델파이 11 프로그래밍 언어를 사용하여 1차 코아 금형(금속)을 위한 비구면 표면 새그 데이터 및 오목면 구면 표면 새그 데이터를 출력할 수 있도록 하는 프로그램을 개발하였다. **결과:** 이 프로그램을 비구면 콘택트렌즈 1차 금형(금속)의 제작에 적용하였다. 원하는 비구면 콘택트렌즈의 볼록 비구면 및 오목 구면의 제작에 필요한 변수가 입력되었을 때, 콘택트렌즈 제작자들이 제작에 참고할 수 있는 비구면의 DTM 가공에 필요한 볼록면 코아의 새그 데이터 및 오목면 코아의 새그 데이터를 출력할 수 있음을 확인할 수 있었다. **결론:** 본 논문의 프로그램은 비구면 콘택트렌즈 1차 금형(금속) 제작자들의 오목면 코아 및 볼록면 코아의 가공용 새그 데이터 출력 작업에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

주제어: 비구면 콘택트렌즈, 볼록면 코아, 오목면 코아, 1차 금형, 새그 데이터