

Newton Ring Tolerance Conversion Program

Jeong-Mee Kim*

Dept. of Visual Optics, Far East University, Professor, Eumseong 27601, Korea
(Received September 16, 2021: Revised October 21, 2021: Accepted October 30, 2021)

Purpose: To develop a program that converts the Newton ring tolerance used in lens fabrication into the numerical tolerance of the radius of curvature and diopter tolerance. **Methods:** Using the formula of the Newton ring interferometer and the program language of RAD Studio 11, a program was developed to convert the Newton ring tolerance used for lens surface manufacturing process into the numerical tolerance of the radius of curvature and diopter tolerance. **Results:** This program was applied to the fabrication tolerance in the lens drawing for the diamond turning machine (DTM) processing of a general lens and the measurement tolerance of the contact lens mold. When the radius value of curvature, value of effective diameter, number of allowed Newton rings, and the refractive index of the lens were input, it was confirmed that a numerical tolerance range, a % range of numerical tolerance, and a diopter tolerance range were output, which could greatly help lens makers' tolerance-analysis-work. **Conclusions:** Since the program of this paper describes how many Newton ring tolerances are equal to the fabrication tolerance of the DTM and the measurement tolerance of the 3D non-contact measuring device in the quality control (QC) of the contact lens mold, it is judged to be a very helpful program for the tolerance analysis work of lens makers who judge the degree of tolerance by the number of Newton ring interference fringes.

Key words: Tolerance of Newton ring, Tolerance of radius of curvature, Diopter tolerance, Numerical tolerance, Contact lens mold

서 론

일반적으로 렌즈 가공에서의 공차 중 곡률반경 공차 (power tolerance)^[1]가 있는데, 이는 렌즈 제작자에게는 뉴턴 링 공차^[2]로 알려져 있고, 공차를 도면에 표기 할 때에는 본(本), 링(ring)으로 표기한다. 그러나 요즘 DTM (diamond turning machine)으로 렌즈를 가공하는 경우가 있기 때문에 렌즈 가공 도면에는 뉴턴 링 공차가 표시되어 있지 않은 경우가 많다. 즉 일반적으로는 렌즈 표면을 정의하는 공차 중 하나로 사용되는 곡률반경 공차인 뉴턴 링 개수 공차를 사용하는데, DTM 등의 특수가공 렌즈 제작도에는 수치적 곡률반경 가공공차^[3]가 표기되기도 한다.

연마기를 사용하는 기존 렌즈 제작방식에 의존하여 렌즈를 가공하는 경우에는 이를 뉴턴 링 개수 공차로 환산하고 싶어 하기도 한다. 또한 곡률반경에 수치적 곡률반경 가공공차가 있는 경우에는 곡률반경 값에 따라 수치적 곡률반경 가공공차 값의 변화가 크게 나타나기 때문에^[4] 간섭무늬의 개수로 공차정도를 판단하는 렌즈 제작자들의 공차분석 작업^[5-7]을 어렵게 한다. 따라서 이러한 문제점을

해결하고자 렌즈의 곡률반경에 뉴턴 링 개수 공차를 가질 경우 수치적 곡률반경 공차가 표시되도록 하는 프로그램을 개발하였다.

본 논문에서는 이 프로그램을 이용하여 콘택트렌즈 코아 및 몰드 가공의 공차 분석에 적용될 수 있도록 렌즈 곡률반경의 뉴턴 링 개수 공차가 디옵터 공차로 변환할 수 있는 프로그램을 개발하여 그 유용성을 확인하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 뉴턴 링 개수 공차와 곡률반경 관계식 유도

Fig. 1의 $\triangle ABC$ 에서 피타고라스의 정리를 이용하면

$$R_0^2 = (R_0 - d_0)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (1)$$

(1)식을 정리하면

$$R_0 = \frac{(d_0)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}{2d_0} \quad (2)$$

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

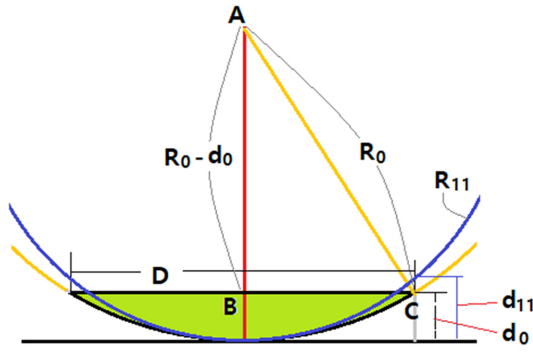


Fig. 1. Configuration showing the difference in optical pass length at the edge of two lenses with the same effective aperture (D) but with different radius of curvature.

곡률반경 R_0 는 d_0 (평면인 기준면에서 렌즈의 유효구경 D 의 가장자리에서의 높이)와 D 의 식으로 나타난다. Fig. 1에서와 같이 곡률반경 R_0 와 곡률반경 R_0 보다 값이 작은 곡률반경 R_{11} 으로 이루어진 두 렌즈면의 유효구경(D) 가장자리에서 뉴턴 링 N 개가 관찰되는 간섭무늬^[8]를 보였다면, 식 (3)으로 나타난다.

$$d_{11} = d_0 + N \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

여기서 d_{11} 은 유효구경 D 에서의 평면인 기준면에서 곡률반경이 R_{11} 인 구면까지의 높이를 나타낸다.

마찬가지로 Fig. 1에는 나타나 있지 않지만 곡률반경 R_0 와 곡률반경 R_0 보다 값이 큰 곡률반경 R_{22} 이 렌즈의 유효구경(D) 가장자리에서 뉴턴 링 N 개가 관찰되는 간섭무늬를 보였다면 d_{22} (유효구경 D 에서의 평면인 기준면에서 곡률반경이 R_{22} 인 구면까지의 높이)는 식 (4)로 나타난다.

$$d_{22} = d - N \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

따라서 d_{11} , d_{22} 에 대응되는 렌즈의 곡률반경을 각각 R_{11} , R_{22} 라고 하고 (2)식을 활용한다면 R_{11} , R_{22} 는 식 (5), (6)으로 계산된다.

$$R_{11} = \frac{(d_{11})^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}{2d_{11}} \quad (5)$$

$$R_{22} = \frac{(d_{22})^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}{2d_{22}} \quad (6)$$

2. 뉴턴 링 공차와 수치적 곡률반경 공차 및 디오퍼 공차 관계식 프로그래밍

위의 (5)와 (6)식을 활용하여 델파이 언어를 기초로 하

는 RAD Studio 11^[9]를 사용하여 뉴턴 링 공차를 곡률반경 수치적 공차와 디오퍼 공차로 환산하는 프로그램을 코딩하였다. 코딩 내용을 살펴보면 아래와 같다.

```
r0:=strtofloat(edit1.text);
eDia:=strtofloat(edit2.text);
NN:=strtofloat(edit3.text);
rIndex:=strtofloat(edit4.text);
eRad:=eDia/2;
d0:=r0 - sqrt(sqr(r0) - sqr(eRad) );
d11:=d0 + 0.6328/2/1000*NN;
d12:=d0 - 0.6328/2/1000*NN;
ra:=(sqr(d11) + sqr(eRad))/2/d11;
rb:=(sqr(d12) + sqr(eRad))/2/d12;
DelA:=r0 - ra;
DelB:=r0 - rb;
PerRa:=DelA/r0*100;
PerRb:=DelB/r0*100;
Dp:=(rIndex - 1)/r0*1000;
Dp1:=(rIndex-1)/ra*1000;
Dp2:=(rIndex-1)/rb*1000;
PDDP:=Dp - Dp1;
MDDP:=Dp - Dp2;
```

여기서 r_0 , $eDia$, NN , $rIndex$ 는 초기 입력 값인데, r_0 는 계산을 원하는 렌즈면의 곡률반경 R_0 에 대응되고, $eDia$ 는 렌즈의 유효구경 D 에 대응되고, NN 은 관찰되는 뉴턴 링 개수 N 에 대응되며, $rIndex$ 는 콘택트렌즈 재료의 굴절률에 대응되는 변수이다. ra , rb 변수는 각각 (5)와 (6)식의 R_{11} , R_{22} 에 대응되는 변수이다.

또한 r_0 , ra , rb 곡률반경 변수를 콘택트렌즈 코아 및 몰드 가공의 공차 분석에 적용될 수 있도록 디오퍼 값으로 변환하는 변수 Dp , $Dp1$, $Dp2$ 를 사용하여, 디오퍼 공차 $PDDP$, $MDDP$ 변수를 계산하도록 하였다.

3. GUI용 컴포넌트를 활용한 프로그래밍

프로그래밍 언어인 RAD Studio 11은 폼 윈도우를 시각적으로 디자인할 수 있는 GUI 환경의 다양한 컴포넌트를 제공하고 있는데, Fig. 2와 같은 화면을 구성하기 위해서는 24개의 Label, 4개의 Edit, 1개의 Button 등의 컴포넌트^[10]를 사용하였다.

Edit는 화면에서의 데이터 입력창 4개를 제공하고, 4개의 Label은 이 데이터 입력창 왼쪽의 라벨을 나타내는 컴포넌트이다. 1개의 Button은 화면에서의 'click for Calculation!!'를 제공하는데 이 버튼을 누르면 상기 코딩 리스트에서의

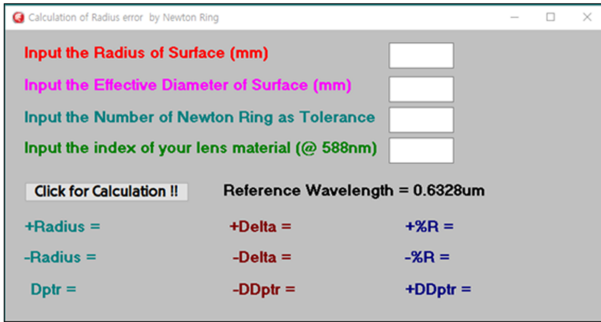


Fig. 2. Configuration of program window composed of 24 Labels, 4 Edits, and 1 Button.

ra, DelA, PerRa rb, DelB, PerRb, Dp, PDDP, MDDP 등 9 개의 변수 값을 순서대로 Button 컴포넌트 아래에 3라인 으로 출력하도록 하였다. 이 3라인 출력을 표현하는데 사 용된 Label은 총 18개가 된다. 여기서 DelA, PerRa는 각 각 R_0 - R_{11} 의 값, R_{11} 값이 R_0 에서 백분율(%)로 차이를 보이 는 값을 나타내고, DelB, PerRb도 각각 R_0 - R_{22} 의 값, R_{22} 값 이 R_0 에서 백분율(%)로 차이가 있는 값을 나타내는 변수 이다. Dp, PDDP, MDDP는 각각 r0의 디오퍼터값, r0의 디오퍼 터값-ra의 디오퍼터값, r0의 디오퍼터값-rb의 디오퍼터값을 나타 내는데, 모두 콘택트렌즈의 재질 굴절률을 고려하여 계산 하였다.

결과 및 고찰

본 논문에서 개발된 프로그램을 아래와 같은 2가지 실험 예제에 적용하여 프로그램 사용의 유용성을 논의하도 록 하겠다.

실험 예제1

Fig. 3의 자료는 일반적인 렌즈의 DTM가공 도면의 일 부를 발췌한 것인데 2번째 렌즈의 2면 곡률 반경이 54.229 ± 0.037 로 되어있다. 이 정도의 곡률반경 가공공차가

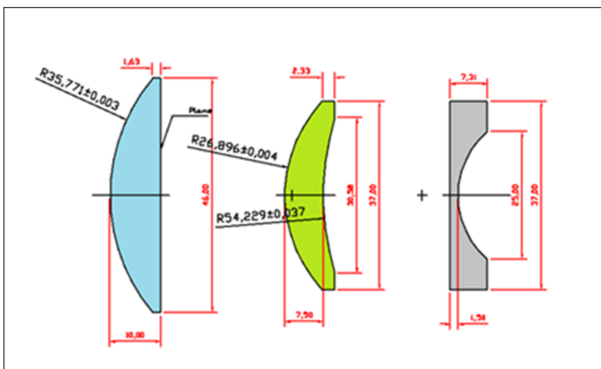


Fig. 3. Part of the DTM processing drawing of typical lenses.

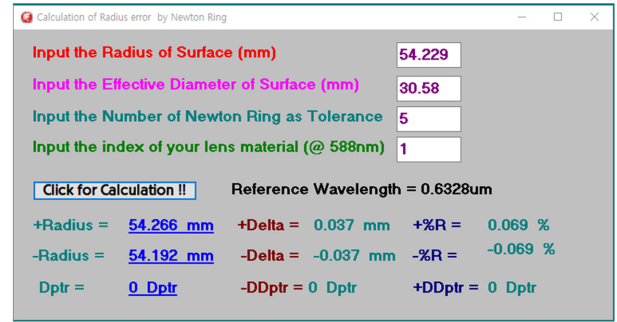


Fig. 4. Configuration of program window with the output data shown after typing the input data in 4 white blocks and clicking the button 'Click for Calculation!!'. (in case applying to a DTM processing drawing)

뉴턴 링 공차로는 얼마가 되는지 수치적인 값으로는 확인 하기가 어렵다.

Fig. 4는 이러한 어려움을 해결하고자 본 프로그램에 의 한 계산 값을 출력하고 있는 상태를 보여준다. 뉴턴 링 공 차값을 5로 입력하니 수치적 공차 ± 0.037 mm가 출력됨을 확인할 수 있고, 또 이 공차가 백분율로 $\pm 0.069\%$ 임을 확인 할 수 있다. 여기에서 디오퍼터 공차가 필요하지 않을 경우 에는 변수 rIndex 즉 'Input the index of your lens material (@ 588 nm)' 코멘트 입력창에 '1'을 넣으면 디오퍼터 공차가 계 산되지 않음을 확인할 수 있다.

실험 예제2

Fig. 5는 콘택트렌즈 사출을 위한 2차 금형(플라스틱)을 사출하기 위한 1차 금형(금속)의 상 하 코아를 보여주고 있다. Fig. 6은 2차 금형의 상하 몰드의 모습을 보여주고 있다. 여기서 이들 몰드의 곡률반경이 얼마 정도의 공차를 가지는지 검토가 필요하게 되는데 일반적으로 3차원 비접 촉식 측정기기에서 나타나는 값은 수치적 측정공차로 나 타난다. 이것이 어느 정도의 디오퍼터 공차를 유발할 것인지 확인이 필요하다. 이것을 해결하기 위해 본 프로그램을 사 용해보자.



Fig. 5. Showing primary metal molds for contact lenses.

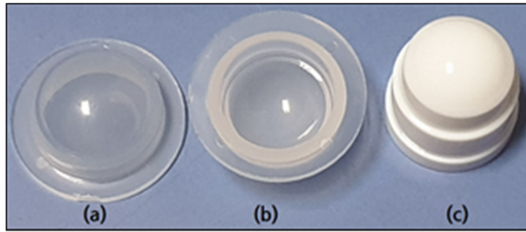


Fig. 6. Showing secondary plastic mold for contact lenses. (a) and (b) are the front and back shapes of the same upper mold, (c) is the lower mold

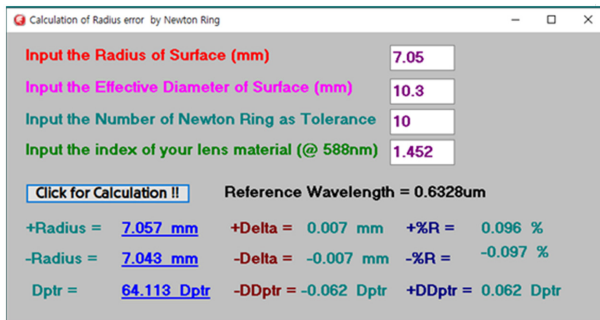


Fig. 7. Configuration of program window with the output data shown after typing the input data in 4 white blocks and clicking the button 'Click for Calculation !!'. (in case applying to a contact lens mold)

Fig. 7은 콘택트렌즈 1차 금형(금속)의 상 코아의 측정 곡률반경 값 7.05 mm, 유효구경 10.3 mm, 원하는 뉴턴 링 공차 값 10링, 콘택트렌즈 재질 굴절률 값 1.452를 입력하였을 때의 컴퓨터 공차를 계산한 결과를 보여주고 있다. 계산 결과 10링 정도의 곡률반경 공차를 허용하는 금형이라면 이 금형의 QC(quality control)에서의 합격의 기준은 3차원 비접촉식 측정기기의 곡률반경 측정 수치가 7.057~7.043 mm의 범위에 있어야함을 알 수 있고, 이 범위의 공차에 의한 콘택트렌즈 1차 금형(금속)의 상 코아의 굴절력 오차 범위는 ± 0.062 Dptr임을 확인할 수 있다.

결 론

본 논문에서는 렌즈 가공에서의 곡률반경 공차(power tolerance)인 뉴턴 링 개수 공차를 수치적 곡률반경 공차 및 컴퓨터 공차로 전환하는 프로그램을 개발하여 보았다. 프로그램의 개발에는 뉴턴 링 간섭계의 간섭무늬 분석에 사용하는 공식과 델파이 언어를 기초로 하는 RAD Studio

11의 프로그래밍 언어를 사용하였다.

실제 이를 렌즈 제작 실무자들이 사용하는 DTM 가공 렌즈 도면 곡률반경 값 및 콘택트렌즈 금형 QC에서의 3차원 비접촉식 측정기기의 곡률반경 측정값에 적용하였을 때 그 유용성을 확인할 수 있었다.

즉, 이 프로그램은 상용 렌즈의 DTM 가공공차 및 콘택트렌즈 1차 및 2차 금형 QC에서의 3차원 비접촉식 측정기기의 수치적 측정공차를 뉴턴 링 공차로 몇 링(ring)에 해당되는지를 알려주기 때문에 뉴턴 링 간섭무늬의 개수로 공차정도를 판단하는 렌즈 제작자들의 공차 분석 작업에 큰 도움이 될 수 있는 프로그램으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Edmund Optics Inc. Understanding Optical Specifications, 2021. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/understanding-optical-specifications> (01 September 2021).
- [2] JML Optical. Manufacturing Tolerances, 2021. <https://www.jmloptical.com/resources/manufacturing-tolerances> (05 July 2021).
- [3] Sasián J. Introduction to lens design, 1st Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2019;110-125.
- [4] Grey DS. Tolerance sensitivity and optimization. Appl Opt. 1970;9(3):523-526. DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.9.000523>
- [5] Janos Tech. Understanding Optical Specifications, 2021. <https://www.janostech.com/knowledge-center/optical-reference-guide/understanding-optical-specifications.html> (01 September 2021).
- [6] Optimax Systems Inc. Manufacturing Tolerance Chart, 2021. <https://www.optimaxsi.com/optical-manufacturing-tolerance-chart>(04 September 2021).
- [7] Plummer JL. Tolerancing for economies in mass production of optics. Proc SPIE. 1979;181:90-92. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.957351>
- [8] 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>
- [9] Embarcadero Inc. RAD Studio 11, 2021. <https://www.embarcadero.com/products/rad-studio>(14 August 2021).
- [10] 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.

뉴턴 링 공차 변환 프로그램

김정미*

극동대학교 안경광학과, 교수, 음성 27601

투고일(2021년 9월 16일), 수정일(2021년 10월 21일), 게재확정일(2021년 10월 30일)

목적: 렌즈 제작에서 사용되는 뉴턴 링 공차를 수치적 곡률반경 공차 및 디오퍼 공차로 변환할 수 있는 프로그램을 개발하고자 하였다. **방법:** 뉴턴 링 간섭계 공식과 RAD Studio 11의 프로그래밍 언어를 사용하여 렌즈 표면 제조 공정에 사용되는 뉴턴 링 공차를 수치적 곡률반경 공차 및 디오퍼 공차로 변환하는 프로그램을 개발하였다. **결과:** 이 프로그램을 일반적인 렌즈의 DTM(diamond turning machine) 가공 렌즈 도면의 가공공차 및 콘택트렌즈 금형의 측정공차에 적용하여 보았다. 곡률반경 값, 유효구경 값, 허용 뉴턴 링 개수, 렌즈의 굴절률이 입력되었을 때, 렌즈 제작자들의 공차 분석 작업에 큰 도움이 될 수 있도록 하는 수치적 공차 범위, 수치적 공차의 %범위 및 디오퍼 공차 범위가 출력되고 있음을 확인할 수 있었다. **결론:** 본 논문의 프로그램은 DTM의 가공공차 및 콘택트렌즈 금형 QC(quality control)에서의 3차원 비접촉식 측정기기의 측정공차가 몇 개의 뉴턴 링 공차에 해당되는지를 알려주기 때문에 뉴턴 링 간섭무늬의 개수로 공차정도를 판단하는 렌즈 제작자들의 공차 분석 작업에 큰 도움이 되는 프로그램으로 판단된다.

주제어: 뉴턴 링 공차, 곡률반경 공차, 디오퍼 공차, 수치적 공차, 콘택트렌즈 금형