

자동포롭터 내부렌즈의 합성굴절력에 대한 신뢰도 평가

이형균, 김소라, 박미정*

서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 01811

투고일(2015년 11월 3일), 수정일(2015년 11월 30일), 게재확정일(2015년 12월 11일)

목적: 자동포롭터의 표기 도수와 구면굴절력 및 원주굴절력 실측값을 비교하여 굴절력의 신뢰도를 평가하였다. **방법:** 자동포롭터의 마이너스 구면렌즈 및 원주렌즈의 굴절력을 수동렌즈미터로 측정하여 표기도수와 정확도를 비교하였으며 두 렌즈가 중첩되었을 때의 합성굴절력과 등가구면굴절력을 시험렌즈와 비교 평가하였다. **결과:** 포롭터에 내장되어 있는 구면렌즈의 구면굴절력은 70.6%가 표기도수와 0.125 D 이상의 오차가 발생하였으며, 굴절력이 높아질수록 오차값도 증가하였다. 원주렌즈의 단일 원주굴절력은 표기도수와 거의 일치하였다. 포롭터에서 구면렌즈와 원주렌즈가 중첩되었을 때의 합성 구면굴절력은 단일렌즈 구면굴절력과 동일하여 중첩에 의한 구면굴절력의 변화가 없음을 알 수 있었다. 그러나 구면렌즈와 원주렌즈가 중첩되었을 때의 원주굴절력은 표기도수와 큰 차이가 있어 중첩에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 포롭터를 이용하여 실측된 등가구면굴절력은 표기도수 및 시험테를 이용한 등가구면굴절력에 비해 낮았으며 고도수일수록 더 낮았다. **결론:** 고도의 근시안 또는 근시성 난시안에서 자동포롭터를 사용하여 시력검사를 하는 경우 표기도수와 차이가 발생하며 과교정이 될 것으로 보여 이에 대한 개선이 필요할 것으로 보인다.

주제어: 자동포롭터, 시험렌즈, 합성굴절력, 등가구면굴절력, 신뢰도

서 론

2011년 전국초중고 학교건강검사 결과에 따르면 전체 학생 중 40.1%가 시력이상을 가지고 있으며, 2014년도 검사에서는 전체 학생 중 절반이 넘는 55.1%의 학생이 시력이상을 보이는 것으로 나타나 시력이상을 보이는 학생 수가 증가되고 있음을 알 수 있다.^[1] 성인의 경우에도 2015년 대한안경사협회의 실태조사결과에서 54.6%가 시력보정을 위해 안경 또는 콘택트렌즈를 착용하고 있으며, 이중 안경만을 착용하는 사람은 48.5%, 안경과 콘택트렌즈를 모두 착용하는 사람은 6.1%, 콘택트렌즈만 사용하는 사람은 1.0% 였다.^[2] 이렇게 전국민의 안경착용률이 절반에 가까운 수치에 달하고 있으며, 다양한 기능을 가지고 있는 안경렌즈 및 콘택트렌즈가 개발되면서 정확한 검안이 바탕이 된 시력보정의 필요성이 더 중요해지게 되었다.^[3]

검안을 할 때 전처방(before prescription)과 자동안굴절력계(auto refractometer) 측정값을 참고하여 자각식 굴절검사 장비인 시험렌즈세트(trial lens set) 또는 포롭터(phoropter)를 이용해 시력검사를 하게 되는데 일반적으로 포롭터를 이용해 검사하고 시험테로 검수하여 안경렌즈의

최종도수를 결정하게 된다. 이러한 과정에 있어 전처방과 자동안굴절력계의 오차는 검사자가 예상할 수 있는 문제이나 만약 자각식 굴절검사 장비가 부정확하여 오차가 발생한다면 검사자가 예상하는 것과는 다른 처방이 될 수도 있기 때문에 자각식 굴절검사 장비의 정확도는 중요한 문제이다. 대부분의 경우 검사장비의 측정값이 정확하다는 가정하에서 그 값을 이용하여 안경을 제작하게 된다. 그러나 모든 측정값에서는 오차가 발생하게 되며 큰 오차가 발생한 측정값을 이용하여 조제된 안경을 착용시에는 저교정이나 과교정의 우려가 있게 된다. 따라서 측정시에 유발될 수 있는 오차범위를 정확하게 파악하여 최종 처방시에 이를 보정하거나 측정방법을 개선이 필요할 것으로 생각된다. 실제로 시험렌즈 자체의 굴절력 오차와 관련된 연구들은 꾸준히 수행된 바 있다.^[4-6] 2007년도와 2008년도의 연구에서는 국내에 유통 중인 마이너스 구면 시험렌즈와 원주 시험렌즈의 굴절력을 측정하여 측정 대상 시험렌즈 중 국제규격에 미달하는 경우가 30%에 달한다고 보고하였다.^[5,6] 반면에 2015년의 연구에서는 시험렌즈 두께가 일정하지 않다는 문제점은 여전히 존재하지만 시험렌즈 굴절력의 오차가 크게 개선되어 측정 대상 79개의 렌즈

*Corresponding author: Mijung Park, TEL: +82-2-970-6228, E-mail: mjpark@seoultech.ac.kr

본 논문의 일부내용은 2015년도 한국인광학회 하계학술대회에서 구연으로 발표되었음

중 3개만이 국제기준규격(ISO-9801)에 미달하는 것으로 나타났다.^[4] 또한, 시험테에 구면렌즈와 원주렌즈의 장입 순서에 의해 합성굴절력에 차이가 있으며 시험렌즈가 중첩되는 경우 높은 도수로 갈수록 오차가 크게 발생할 수 있음이 확인되었다.^[4]

자가식 굴절검사를 위해 보편적으로 사용하는 포롭터는 경우에 따라서 4~5매의 렌즈가 장착된 디스크판이 중첩되어 굴절력을 만들어내기 때문에 시험렌즈보다 오히려 오차가 크게 발생할 수 있다. 따라서 정확한 시력보정을 위해 포롭터의 정확도를 검수하는 것 또한 매우 중요하다고 판단되어 본 연구에서는 시험렌즈의 실측값과 포롭터를 이용한 측정값의 차이를 분석하였다.

대상 및 방법

1. 자동포롭터 굴절력 측정

A 자동포롭터(대한민국)와 B 자동포롭터(대한민국)의 구면굴절력을 -1.00 D부터 -14.00까지 1.00 D 단위로 측정하였고 -14.00 D부터 -20.00 D까지는 2.00 D 단위로 측정하였으며 원주굴절력은 -1.00 D부터 -6.00 D까지 1.00 D 단위로 측정하였다. 자동포롭터의 굴절력은 자동포롭터를 포롭터 앞에서 분리하여 수평으로 놓힌 상태에서 수동렌즈미터(LM-6, Topcon, 일본)로 측정하였다. 자동포롭터의 두께로 인해 자동렌즈미터 사용이 불가능한 관계로 수동렌즈미터의 주요광학부를 제외한 인접부 등은 제거하여 사용하였다. 수동렌즈미터의 0.25 D 눈금의 중간을 기준으로 0.125 D 단위로 측정하였으며 눈금이 가까운 쪽을 기준으로 반올림하며 측정하였고 검사자의 기계근시가 개입하는 것을 막기 위해 5분 측정, 5분 휴식을 반복하였다.

2. 시험렌즈 굴절력 측정

C 시험렌즈(Lianyungang tiannuo사, 중국)와 D 시험렌즈(Xingda사, 중국)의 마이너스 구면렌즈와 마이너스 원주렌즈 각각 1set를 대상으로 포롭터와 동일한 도수 간격으로 측정하였다. 즉, 구면렌즈의 굴절력을 -1.00 D부터 -14.00까지 1.00 D 단위로 측정하였고 -14.00 D부터 -20.00 D까지는 2.00 D 단위로 측정하였으며 원주렌즈의 굴절력은 -1.00 D부터 -6.00 D까지 1.00 D 단위로 측정하였다.

구면렌즈와 원주렌즈가 장입된 상태에서의 합성굴절력 측정은 시험렌즈 중 -2.00 D부터 -20.00 D까지의 구면렌즈를 시험테(SKY모델, Keongsung optics사, 대한민국)의 안쪽, -2.00 D부터 -6.00 D까지의 원주렌즈를 시험테의 바깥쪽에 2.00 D단위로 각 1매씩 장입하여 실시하였으며 자동포롭터의 합성굴절력 오차와 비교하여 자동포롭터의

합성굴절력 신뢰성을 평가하였다.

굴절력의 측정은 포롭터의 굴절력 측정에 사용한 것과 동일한 수동렌즈미터였다.

결과 및 고찰

1. 자동포롭터 굴절력의 신뢰성 평가

A 및 B 포롭터에 내장되어 있는 마이너스 구면렌즈의 단일 구면굴절력을 측정된 결과 두 포롭터 모두 각각 17개의 도수 중 12개(70.6%) 도수에서 0.125 D 이상의 오차가 발생하였다. 두 포롭터 모두 -5.00 D까지는 굴절력 오차가 발생하지 않았으나 -6.00 D부터 오차를 보이기 시작하였으며 모두 표기도수보다 낮은 굴절력을 가지고 있어 이 값을 기준으로 시력보정용구가 처방된다면 과교정될 가능성이 있었다. 또한, 굴절력이 높아질수록 오차값도 증가하여 -20.00 D에서 가장 큰 차이를 보여 A 포롭터의 경우 -2.00 D, B 포롭터의 경우 -1.750 D의 오차를 보였다. A 포롭터의 구면굴절력 오차값 평균은 -0.61 D로 B 포롭터의 오차 평균인 -0.47 D보다 다소 크게 나타났다(Table 1).

마이너스 원주렌즈의 단일 원주굴절력을 측정된 결과 B 포롭터의 경우 오차가 발생하지 않았고 A 포롭터의 경우

Table 1. Analysis of auto phoropter's spherical lenses with negative power

Labelled power ^(†) (D)	Estimated power ^(‡) (D)		Difference between ^(†) and ^(‡) (D)	
	A lens	B lens	A lens	B lens
-1.00	-1.000	-1.000	0.000	0.000
-2.00	-2.000	-2.000	0.000	0.000
-3.00	-3.000	-3.000	0.000	0.000
-4.00	-4.000	-4.000	0.000	0.000
-5.00	-5.000	-5.000	0.000	0.000
-6.00	-5.875	-5.875	-0.125	-0.125
-7.00	-6.750	-6.750	-0.250	-0.250
-8.00	-7.750	-7.750	-0.250	-0.250
-9.00	-8.625	-8.750	-0.375	-0.250
-10.00	-9.500	-9.750	-0.500	-0.250
-11.00	-10.250	-10.625	-0.750	-0.375
-12.00	-11.250	-11.500	-0.750	-0.500
-13.00	-12.000	-12.250	-1.000	-0.750
-14.00	-13.000	-13.125	-1.000	-0.875
-16.00	-14.675	-14.750	-1.325	-1.250
-18.00	-16.000	-16.675	-2.000	-1.325
-20.00	-18.000	-18.250	-2.000	-1.750

Table 2. Analysis of auto phoropter's cylindrical lenses with negative power

Labelled power ^(f) (D)	Estimated power ^(z) (D)		Difference between ^(f) and ^(z) (D)	
	A lens	B lens	A lens	B lens
-1.00	-1.000	-1.000	0.000	0.000
-2.00	-2.000	-2.000	0.000	0.000
-3.00	-3.000	-3.000	0.000	0.000
-4.00	-4.000	-4.000	0.000	0.000
-5.00	-5.000	-5.000	0.000	0.000
-6.00	-5.750	-6.000	-0.250	0.000

는 -6.00 D에서만 -0.25 D의 오차가 발생하였다(Table 2).
구면렌즈와 원주렌즈가 중첩되었을 때의 굴절력(이하 합성굴절력)을 S-2.00 D C-2.00 D부터 S-20.00 D C-6.00 D까지 2.00 D 단위로 측정하였다. A 포롭터의 구면굴절

력 오차는 평균 0.795 ± 0.769 D 였고 B 포롭터의 오차는 평균 0.632 ± 0.626 D로 두 포롭터 모두 0.5 D 이상의 오차를 보였다. A 포롭터의 원주굴절력 오차는 평균 0.434 ± 0.543 D였으며 B 포롭터의 원주굴절력 오차는 평균 0.269 ± 0.099 D로 나타났다(Table 3).

렌즈가 중첩되었을 때의 합성 구면굴절력의 경우는 두 포롭터 모두 단일렌즈 구면굴절력과 동일하여 단일렌즈의 오차와 동일한 오차가 중첩된 렌즈의 합성 구면굴절력에서 나타났다. 반면 포롭터의 단일 원주렌즈 굴절력의 오차가 거의 없었던 반면 중첩되었을 때의 합성 원주굴절력 오차는 크게 나타났으며 구면렌즈의 도수가 증가할수록 오차는 더 커졌다. 즉, -2.00 D 원주렌즈는 단일렌즈의 경우는 표기도수와 실측도수가 동일하였으나 중첩되었을 때의 A 포롭터는 -6.00 D 구면렌즈와 중첩하였을 때부터, B 포롭터는 -8.00 D 구면렌즈를 중첩하였을 때부터 오차가 생기기 시작하였다. -20.00 D 구면렌즈와 -2.00 D 원주렌즈가 중첩되었을 때는 A 포롭터의 원주굴절력은

Table 3. Combined spherical and cylindrical refractive power in a phoroptors

Auto phoropter	Cyl power(D)	Combined refractive power (D)					
		-2.00		-4.00		-6.00	
	Sph power(D)	Sph	Cyl	Sph	Cyl	Sph	Cyl
A	-2.00 ^a [-2.000] ^b	-2.000	-2.000	-2.000	-3.750	-2.000	-5.625
	-4.00 ^a [-4.000] ^b	-4.000	-2.000	-4.000	-3.750	-4.000	-5.500
	-6.00 ^a [-5.875] ^b	-5.875	-1.875	-5.875	-3.675	-5.875	-5.250
	-8.00 ^a [-7.750] ^b	-7.750	-1.750	-7.750	-3.500	-7.750	-5.125
	-10.0 ^a [-9.500] ^b	-9.500	-1.750	-9.500	-3.375	-9.500	-5.000
	-12.00 ^a [-11.250] ^b	-11.250	-1.625	-11.250	-3.250	-11.250	-4.750
	-14.00 ^a [-13.000] ^b	-13.000	-1.625	-13.000	-3.000	-13.000	-4.750
	-16.00 ^a [-14.675] ^b	-14.675	-1.500	-14.675	-3.000	-14.675	-4.625
	-18.00 ^a [-16.000] ^b	-16.000	-1.500	-16.000	-2.875	-16.000	-4.500
	-20.00 ^a [-18.000] ^b	-18.000	-1.250	-18.000	-2.375	-18.000	-3.750
B	-2.00 ^a [-2.000] ^b	-2.000	-2.000	-2.000	-4.000	-2.000	-6.000
	-4.00 ^a [-4.000] ^b	-4.000	-2.000	-4.000	-3.875	-4.000	-5.750
	-6.00 ^a [-5.875] ^b	-5.875	-2.000	-5.875	-3.875	-5.875	-5.625
	-8.00 ^a [-7.750] ^b	-7.750	-2.000	-7.750	-3.750	-7.750	-5.500
	-10.0 ^a [-9.750] ^b	-9.750	-1.750	-9.750	-3.500	-9.750	-5.250
	-12.00 ^a [-11.500] ^b	-11.500	-1.875	-11.500	-3.625	-11.500	-5.250
	-14.00 ^a [-13.125] ^b	-13.125	-1.875	-13.125	-3.625	-13.125	-5.375
	-16.00 ^a [-14.750] ^b	-14.750	-2.000	-14.750	-3.500	-14.750	-5.250
	-18.00 ^a [-16.675] ^b	-16.675	-1.750	-16.675	-3.325	-16.675	-5.000
	-20.00 ^a [-18.250] ^b	-18.250	-0.750	-18.250	-2.625	-18.250	-3.875

^alabelled power
^bestimated power

-1.250 D, B 포롭터는 -0.75 D로 오차가 커져 표기도수보다 크게 낮았다. -4.00 D 원주렌즈 역시 단일렌즈로서는 표기도수와 실측도수가 동일하였으나 중첩하였을 때는 A 포롭터는 -2.00 D 구면렌즈와 중첩하였을 때부터, B 포롭터는 -4.00 D 구면렌즈와 중첩하였을 때부터 표기 원주도수와 실측 원주도수의 차이가 발생하였으며 -20.00 D 구면렌즈와 중첩하였을 때는 각각 -2.375D, -2.625 D 원주굴절력으로 실측되어 표기 원주도수와 큰 차이가 남을 확인할 수 있었다. -6.00 D 원주렌즈의 경우 단일렌즈로서는 A 포롭터의 경우만 실측시 0.25 D의 오차가 발생하였으며 구면렌즈와 중첩하였을 때는 표기 구면도수가 커질수록 오차 발생폭이 커졌다. 즉, -20.00 D의 구면도수와 -6.00 D의 원주도수를 중첩하였을 때의 원주굴절력은 A 포롭터는 -3.750 D, B 포롭터는 -3.875 D로 큰 차이가 나타났다.

2. 시험렌즈 굴절력과의 비교

포롭터의 굴절력 오차와 시험렌즈의 굴절력 오차를 비교하기 위해 시험렌즈 도수를 포롭터와 동일한 도수의 마이너스 도수의 시험렌즈를 선정하여 굴절력을 측정하였으며 굴절력 변화 단위는 0.125 D였다. C 시험렌즈는 17개 구면렌즈 중 5개(29.4%)의 렌즈에서 0.125 D의 오차가 발

Table 4. Analysis of spherical trial lenses with negative power

Labelled power ^(†) (D)	Estimated power ^(‡) (D)		Difference between ^(†) and ^(‡) (D)	
	C lens	D lens	C lens	D lens
-1.00	-1.000	-1.000	0.000	0.000
-2.00	-2.000	-2.000	0.000	0.000
-3.00	-3.000	-3.000	0.000	0.000
-4.00	-4.000	-4.000	0.000	0.000
-5.00	-5.000	-5.000	0.000	0.000
-6.00	-6.000	-6.000	0.000	0.000
-7.00	-7.000	-7.000	0.000	0.000
-8.00	-8.000	-8.000	0.000	0.000
-9.00	-9.000	-9.000	0.000	0.000
-10.00	-10.000	-10.000	0.000	0.000
-11.00	-11.000	-11.000	0.000	0.000
-12.00	-11.875	-12.000	-0.125	0.000
-13.00	-12.875	-12.875	-0.125	-0.125
-14.00	-13.875	-14.000	-0.125	0.000
-16.00	-15.875	-15.875	-0.125	-0.125
-18.00	-18.000	-18.000	0.000	0.000
-20.00	-19.875	-20.000	-0.125	0.000

Table 5. Analysis of cylindrical trial lenses with negative power

Labelled power ^(†) (D)	Estimated power ^(‡) (D)		Difference between ^(†) and ^(‡) (D)	
	C lens	D lens	C lens	D lens
-1.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00
-2.00	-2.00	-2.00	0.00	0.00
-3.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00
-4.00	-4.00	-4.00	0.00	0.00
-5.00	-5.00	-4.875	0.00	-0.125
-6.00	-6.00	-5.875	0.00	-0.125

생하였으며 D 시험렌즈는 2개(11.8%)가 0.125 D의 오차를 보였고 C 시험렌즈는 -12.00 D 이상, D 시험렌즈는 -13.00 D 이상에서 오차가 나타나 고도수에서 오차가 나타났다. 마이너스 원주렌즈 굴절력은 C 시험렌즈는 6개 도수 중에서 0.125 D 이상의 오차가 발생하는 렌즈는 없었으나 D 시험렌즈는 6개 도수 중 -5.00 D와 -6.00 D 두 렌즈에서 0.125 D의 오차를 보여 33.3%에서 오차가 발생하였다(Table 4, 5).

C 및 D 마이너스 구면 시험렌즈를 시험테의 안쪽, 마이너스 원주 시험렌즈를 시험테의 바깥쪽에 장입하여 두 렌즈의 합성굴절력을 S-2.00 D C-2.00 D부터 S-20.00 D C-6.00 D까지 2.00 D 단위로 측정하였다. C 시험렌즈의 합성 구면굴절력 오차는 평균 -0.004 ± 0.079 D였고 D 시험렌즈는 평균 -0.046 ± 0.083 D 였다. C 시험렌즈의 합성 원주굴절력 오차는 평균 -0.004 ± 0.079 D였으며 D 시험렌즈는 평균 0.104 ± 0.099 D로 C 시험렌즈의 합성 구면굴절력이 D 시험렌즈보다 오차값이 작았다(Table 6).

포롭터의 합성 구면굴절력이 단일렌즈 구면도수와 동일하였던 반면에 시험렌즈의 경우는 구면렌즈와 원주렌즈를 중첩하였을 때의 합성 구면굴절력은 단일 구면렌즈 도수와 일치하지 않았다. 단일 구면렌즈로서는 0.125 D의 오차가 발생하였으나 원주렌즈와 중첩하였을 때는 중첩에 의한 오차가 발생하여 오히려 표기도수와 동일한 굴절력이 나오는 경우도 있었다. 중첩으로 인해 오차가 발생하는 경우를 단일렌즈 실측 구면굴절력 기준으로 분석하였을 때 총 30개의 구면렌즈 도수와 원주렌즈 도수 조합 중 C 시험렌즈는 12개로 40.0%에 달하였으며, D 시험렌즈 역시 13개로 43.3%, 최대 0.50 D의 오차가 중첩에 의해 발생하였다. 표기도수를 기준으로 하였을 때는 C 시험렌즈는 8개(26.7%), D 시험렌즈는 9개(30.0%)의 도수 조합에서 표기도수와 다른 구면굴절력을 가지고 있었다. 또한, 포롭터의 경우 오차가 발생하는 경우는 모두 단일렌즈 실측도수에 비해 합성 구면굴절력이 더 작았으나 시험렌즈의 경우는 대

Table 6. Combined spherical and cylindrical power of trial lenses

Trial lens	Cyl power(D)	-2.00		-4.00		-6.00	
	Sph power(D)	Combined refractive power (D)					
		Sph	Cyl	Sph	Cyl	Sph	Cyl
C	-2.00 ^a [-2.000] ^b	-2.000	-2.000	-2.000	-3.875	-2.125	-5.875
	-4.00 ^a [-4.000] ^b	-4.000	-2.000	-4.000	-3.875	-4.125	-5.750
	-6.00 ^a [-6.000] ^b	-6.000	-1.875	-6.000	-3.875	-6.125	-5.750
	-8.00 ^a [-8.000] ^b	-8.000	-2.000	-8.000	-3.875	-8.000	-5.875
	-10.0 ^a [-10.000] ^b	-9.875	-1.875	-9.875	-3.875	-10.000	-5.750
	-12.00 ^a [-11.850] ^b	-12.000	-1.875	-12.000	-3.875	-12.000	-6.000
	-14.00 ^a [-13.875] ^b	-13.875	-2.000	-14.000	-3.875	-14.000	-5.875
	-16.00 ^a [-15.875] ^b	-16.000	-2.000	-16.000	-3.875	-16.125	-5.750
	-18.00 ^a [-18.000] ^b	-18.000	-2.000	-18.000	-4.000	-18.125	-5.750
	-20.00 ^a [-19.875] ^b	-19.875	-2.000	-19.875	-4.125	-20.125	-5.750
D	-2.00 ^a [-2.000] ^b	-2.000	-2.000	-2.000	-4.000	-2.000	-5.875
	-4.00 ^a [-4.000] ^b	-4.000	-2.000	-4.000	-3.875	-4.000	-5.875
	-6.00 ^a [-6.000] ^b	-6.000	-2.000	-6.000	-3.875	-6.000	-5.875
	-8.00 ^a [-8.000] ^b	-8.125	-2.000	-8.125	-3.875	-8.125	-5.875
	-10.0 ^a [-10.000] ^b	-10.000	-2.000	-10.000	-3.875	-10.000	-5.875
	-12.00 ^a [-12.000] ^b	-12.000	-2.000	-12.125	-3.750	-12.000	-5.750
	-14.00 ^a [-14.000] ^b	-14.000	-2.000	-14.000	-3.875	-14.000	-5.750
	-16.00 ^a [-15.875] ^b	-16.000	-2.000	-16.000	-3.875	-16.000	-5.625
	-18.00 ^a [-18.000] ^b	-18.125	-2.000	-18.125	-4.000	-18.125	-5.750
	-20.00 ^a [-19.875] ^b	-20.000	-2.375	-20.375	-3.625	-20.125	-5.875

^alabelled power
^bestimated power

부분의 경우 더 큰 굴절력을 나타냈다(Table 6). 포롭터의 합성 원주굴절력이 단일 원주렌즈 굴절력 실측도수 및 표기도수와 비교하여 오차가 크게 발생한 것과 마찬가지로 시험렌즈의 합성 원주굴절력 역시 오차가 발생하였다. -2.00 D 원주렌즈를 중첩하였을 때 C 시험렌즈는 10개의 구면렌즈 중첩 도수 중 3개에서 각각 0.125 D 만큼 적은 원주굴절력을 가지는 것으로 측정되었으며 D 시험렌즈는 1개의 도수에서 0.375 D만큼 큰 원주굴절력을 가지는 것으로 측정되었다. -4.00 D 원주렌즈를 중첩하였을 때 C 시험렌즈는 9개의 구면렌즈 중첩도수에서 0.125 D 만큼 굴절력 차이를 보였으며 대부분 표기도수보다 작은 원주굴절력을 가지고 있었다. 또한, D 시험렌즈에서는 6개의 도수에서 0.125 D, 1개의 도수에서 0.250 D, 1개의 도수에서 0.375 D의 표기도수보다 작은 굴절력을 가지고 있었다. -6.00 D 원주렌즈를 중첩하였을 때 C 시험렌즈는 구면렌즈 중첩 도수 중 3개에서 0.125 D, 5개에서 0.50 D

오차가 발생하였으며 표기도수와 비교하여 작은 굴절력을 가지고 있었다. 또한, D 시험렌즈의 경우 6개의 도수에서 0.125 D, 3개의 도수에서 0.25 D, 1개 도수에서 0.375 D의 오차가 발생하였다. 그러나 단일 원주렌즈의 실측 굴절력값이 -0.575 D로 6개의 0.125 D 오차는 표기 굴절력과는 차이가 있었지만 실측 굴절력과 동일한 값이었으므로 구면렌즈와의 중첩에 의한 굴절력 변화는 발생하지 않았음을 확인할 수 있었다(Table 6).

포롭터와 시험렌즈의 각각의 구면렌즈와 원주렌즈를 중첩시키고 합성 구면굴절력을 비교했을 때 포롭터의 경우 중첩에 의한 구면굴절력의 변화는 없었으나 단일 구면렌즈 자체의 굴절력 오차가 최대 -1.00 D로 크게 나타나는 등 단일 렌즈의 큰 오차로 인해 결과적으로 측정된 합성 구면굴절력이 표기 도수와는 큰 차이가 있었다. 반면에 시험렌즈는 단일 구면렌즈의 굴절력 오차가 적어 합성 구면굴절력도 표기 도수와의 차이가 크지는 않았으나 전체적

으로 대부분의 구면렌즈와 원주렌즈 도수 조합에서 오차가 발생하여 중첩에 의한 오차가 발생하였음을 확인할 수 있었다 또한, 포롭터 측정값이 오차가 난 경우는 모두 표기 구면도수보다 작은 굴절력 오차값을 가지는 것과는 달리 시험렌즈의 경우는 표기도수보다 작은 굴절력을 가지는 경우도 있었고 큰 굴절력을 가지는 경우도 있어 예측이 힘든 불규칙적인 오차를 보였으나 포롭터에 비해 오차값이 크게 작았다.

3. 포롭터와 시험렌즈의 등가구면굴절력

포롭터와 시험렌즈에 장입된 구면렌즈와 원주렌즈의 실측 굴절력으로 계산된 등가구면굴절력(이하 실측 등가구면굴절력)이 표기도수로 계산된 등가구면굴절력(이하 표기도수 등가구면굴절력)과 어떠한 차이를 보이는 지를 알아보았다.

시험렌즈의 경우는 표기도수 등가구면굴절력과 실측 등가구면굴절력의 차이가 크지 않았으나 포롭터의 경우는 차이가 컸다. 즉, -2.00 D 원주렌즈를 장입하였을 때 각 구면렌즈 도수에서 발생하는 등가구면굴절력 오차는 A 포롭터의 경우 평균 -0.951 ± 0.881 D, B 포롭터는 -0.732 ± 0.771 D 였고, C 시험렌즈는 -0.056 ± 0.069 D, D 시험렌즈는 0.044 ± 0.072 D 였다. -4.00 D 원주렌즈를 장입하였을 때 A 포롭터는 평균 -1.168 ± 0.984 D, B 포롭터는 -0.847 ± 0.802 D 였고, C 시험렌즈는 -0.069 ± 0.046 D, D 시험렌즈는 0.006 ± 0.091 D 였다. -6.00 D 원주렌즈를 장입하였을 때 A 포롭터는 평균 -1.351 ± 1.026 D, B 포롭터는 -0.988 ± 0.884 D 였고, C 시험렌즈는 -0.019 ± 0.051 D, D 시험렌즈는 -0.019 ± 0.051 D 였다(Fig. 1).

구면렌즈 굴절력 증가와 실측 등가구면굴절력 오차와의 상관관계를 비교하여 보았을 때 시험렌즈의 경우는 상관성이 적었다. 즉, -2.00 D 원주렌즈가 장입된 경우 C 시험렌즈의 r^2 값은 0.0803, D 시험렌즈는 0.3068이었으며, -4.00 D 원주렌즈가 장입된 경우는 각각 0.0501, 0.2965, -6.00 D 원주렌즈가 장입된 경우는 0.0243, 0.0051로 상관성이 적었다(Fig. 2). 반면에 -2.00 D 원주렌즈가 장입된 경우 A 포롭터의 r^2 값은 0.9500, B 포롭터는 0.8782이었으며, -4.00 D 원주렌즈가 장입된 경우는 각각 0.9491, 0.9186, -6.00 D 원주렌즈가 장입된 경우는 각각 0.9569, 0.9146으로 구면렌즈 굴절력과 실측 등가구면굴절력의 오차발생값의 상관관계가 큼을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 원주렌즈 굴절력이 -2.00 D, -4.00 D, -6.00 D로 증가할수록 A 포롭터의 오차값의 변화 기울기는 각각 -0.2837 , 0.3167 , -0.3314 로 증가하였으며 B 포롭터 역시 각각 -0.2386 , -0.2540 , -0.2791 로 증가하여 원주렌즈 굴절력이 증가할수록 등가구면굴절력 오차발생이 커짐을 알 수 있

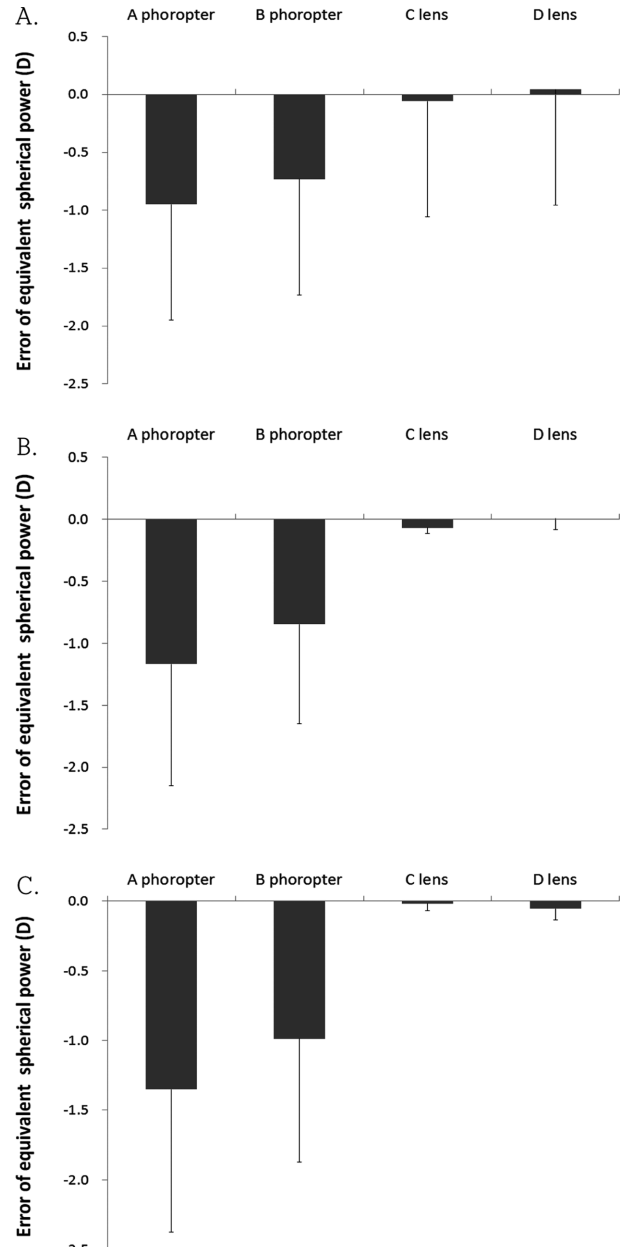


Fig. 1. Difference of equivalent spherical power.

- A. inserted with -2.00 D as labelled cylindrical power
- B. inserted with -4.00 D as labelled cylindrical power
- C. inserted with -6.00 D as labelled cylindrical power

었다. 시험렌즈의 경우 원주렌즈 굴절력에 따른 일관성 있는 변화는 관찰되지 않아 등가구면굴절력 오차가 원주렌즈 굴절력에 대해 크게 영향받지 않음을 알 수 있었다(Fig. 2).

본 연구에서는 자동포롭터의 신뢰도를 시험렌즈와 비교하였다. 시험렌즈에 대해서는 2007년, 2008년 및 2015년에 굴절력 평가가 수행된 바 있으며, 2007년도와 2008년도 연구에서는 ISO 기준에 벗어나는 경우가 30%에 달하였으나 2015년의 연구에서는 시험렌즈 굴절력의 신뢰성이

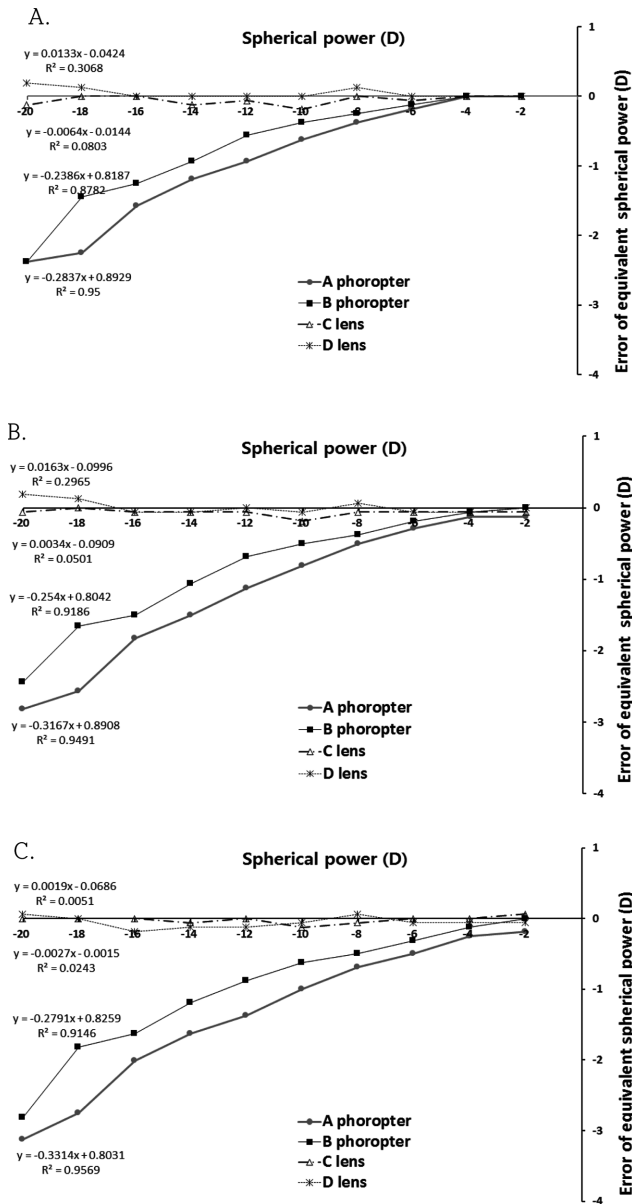


Fig. 2. Equivalent spherical power according to refractive power of spherical lens.
 A. inserted with -2.00 D cylinder lens
 B. inserted with -4.00 D cylinder lens
 C. inserted with -6.00 D cylinder lens
 Error of equivalent spherical power: (equivalent spherical power calculated with labelled refractive power) - (equivalent spherical power calculated with estimated refractive power)

크게 개선된 것으로 나타났다.^[4-6] 또한, 시험테에 장입한 구면렌즈와 원주렌즈의 장입 순서에 따라 굴절력이 달라짐이 보고된 바 있다.^[4]

이렇게 시험렌즈 굴절력의 신뢰성에 대해 연구들이 진행된 반면에 시력검사를 위해 보편적으로 사용되고 있는 자동차포터에 장착된 렌즈의 신뢰성에 대해서는 연구된 바가 없어 본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 포터

의 구면렌즈와 원주렌즈 각각의 단일 굴절력과 두 렌즈가 중첩되었을 때의 합성굴절력을 측정하여 시험렌즈의 합성굴절력과 비교해보았으며, 시험테에 비해 포터의 구면렌즈 및 원주렌즈의 단일 굴절력 및 합성굴절력 오차가 크게 발생함을 확인하였다.

본 연구결과에서 포터에 장착된 구면렌즈의 경우는 표기도수와 실측 굴절력에 큰 차이가 발생하여 -20.00 D로 표기된 구면렌즈의 굴절력이 -18.00 D인 경우가 있는 것으로 나타났다. 포터에서 구면렌즈와 원주렌즈가 중첩되었을 때 합성 구면굴절력은 구면렌즈 실측값과 동일하였으며 이러한 결과는 포터에 장착된 단일렌즈 자체의 굴절력이 정확하다면 중첩에 의한 합성 구면굴절력 변화가 유발되지 않을 것이라는 것을 의미하는 것이다. 즉, 포터로 측정된 구면굴절력의 정확도를 높이기 위해서는 단일렌즈의 오차를 줄이는 것이 필요하리라 생각된다. 반면에 포터에 장착된 원주렌즈만의 굴절력을 측정하였을 때 표기도수와 실측굴절력의 오차가 거의 발생하지 않아 원주렌즈 자체의 굴절력은 신뢰성이 높았다. 그러나 구면렌즈와 중첩하였을 때의 합성 원주굴절력은 큰 오차가 발생하여 -6.00 D 원주렌즈가 중첩되었음에도 -3.750 D의 원주굴절력이 측정되는 경우가 발생하였다. 이렇게 중첩에 의해 원주굴절력의 변화가 크게 나타나는 것은 구면렌즈와 원주렌즈의 중첩에 의한 정점간거리 발생하였다는 것 뿐만아니라 자동차포터가 디스크에 한정된 도수의 렌즈만을 가지고 있어 다양한 도수 구현을 위해 여러 개의 디스크가 중첩이 되면서 합성굴절계를 이루며 이를 위해 내부에 렌즈간 중첩을 위한 공간이 존재하여 렌즈간 정점간거리가 크게 발생하는 것이 원인이 될 수 있을 것으로 보인다.^[7]

또한, 이 등^[4]이 시험렌즈를 대상으로 시험테에 구면렌즈와 원주렌즈의 장입순서를 달리하여 굴절력의 오차값이 달라지며 구면렌즈가 시험테의 바깥쪽, 원주렌즈가 시험테의 안쪽에 장입되었을 때의 정확도가 더 낮았으며 이러한 결과는 중첩에 의한 정점간거리 차이만으로 발생하는 것이 아니라 렌즈의 중심두께와 주변부두께의 불규칙성 및 광학중심의 어긋남과 같은 다른 원인들도 영향을 미쳤을 것으로 판단한 바 있으며^[8, 9] 본 연구의 결과에서 나타나 포터 굴절력 신뢰성에도 정점간거리외의 다른 요인들이 영향을 미쳤을 것으로 보인다.

본 연구에서 측정된 구면굴절력과 원주굴절력으로 등가구면굴절력을 계산하여 포터에서 표기한 도수를 이용한 등가구면굴절력과 비교하여 보았을 때 표기도수 등가구면굴절력보다 크게 낮았다. 즉, 표기도수 또는 시험테를 이용하여 측정된 등가구면굴절력에 비해 포터를 이용한 등가구면굴절력을 이용하였을 때 안경이나 콘택트렌즈가

과교정된 상태로 처방될 것으로 보인다. 50% 이상의 성인 인구가 시력보정용구를 사용하고 있으며^[2] 기능성 시력보정용구들이 개발되고 상용화되고 있어 검안의 정확성을 더 중요시하고 있다.^[10-14] 그러나 본 연구결과를 통하여 포롭터의 경우 시험테에 비해 굴절력 오차가 더 크게 발생하며, 피검자가 근시안 또는 근시성 난시안일 때 자동포롭터에서 완전교정을 실시한 피검자인 경우에는 동일한 표기값의 시험렌즈로 검수를 한다면 과교정된 상태가 될 수 있다는 문제점이 제기되었다.

결 론

포롭터에 내장되어 있는 마이너스 구면렌즈의 70.6%에서 0.125 D 이상의 구면굴절력 오차가 발생하였으며, -5.00 D까지는 굴절력 오차가 발생하지 않았으나 -6.00 D 이상부터 오차를 보이기 시작하였다. 또한, 구면렌즈의 굴절력이 높아질수록 표기도수와 실측 구면굴절력의 차이가 증가하였다. 마이너스 원주렌즈의 원주굴절력은 표기도수와 거의 일치하였다.

포롭터에서 구면렌즈와 원주렌즈가 중첩되었을 때의 합성 구면굴절력은 단일 구면렌즈를 실측하였을 때의 구면굴절력과 동일하였다. 즉, 단일렌즈의 구면굴절력 오차와 동일한 오차가 중첩된 렌즈의 구면굴절력에서 나타나 중첩에 의한 구면굴절력의 변화는 없는 것으로 나타났다. 반면 포롭터의 단일 원주렌즈 굴절력의 오차가 거의 없었던 반면 중첩되었을 때의 오차는 크게 나타났으며 구면렌즈의 도수가 증가할수록 오차는 더 커져 합성 원주굴절력의 오차발생 이유는 렌즈자체의 문제라기 보다는 중첩에 의한 문제인 것으로 보인다. 포롭터의 중첩에 의한 구면굴절력 및 원주굴절력 오차는 시험렌즈에 비해서도 큰 것으로 나타났다.

포롭터를 이용하여 실측된 등가구면굴절력은 표기 도수 및 시험테를 이용한 등가구면굴절력에 비해 크게 낮아서 포롭터로 측정된 등가구면굴절력 검안결과가 안경이나 콘택트렌즈 처방에 사용될 때 완성된 시력보정요구가 과교정 상태일 것으로 보인다. 이러한 과교정 상태는 고도의 굴절이상안 일수록 더 크게 발생하게 되는 것으로 나타났다. 이러한 문제를 해결하기 위해 디스크간의 간격을 줄이고 오차를 보정하는 시스템을 갖춘 포롭터의 개발이 요구되며, 또한 근본적으로 포롭터 디스크간의 거리에 의해 발생하는 불가피한 오차는 사전검수를 통해 도수 오차를 예측할 수 있도록 오차표의 제시가 필요할 것으로 생각된다. 포롭터의 신뢰성은 안경 및 콘택트렌즈 처방과 직결되는 중요한 문제이며 시험렌즈의 경우 2007년과 2008년의 신뢰성 평가 연구결과와 비교하여 2015년의 신뢰성 평가에서 상당히 개선됨을 보여준 것과는 달리 포롭터의 경우

굴절력 신뢰성에 대한 특정한 ISO 기준이 없으며 관련 연구가 진행된 바 없어 굴절력에 대한 평가 및 개선에 대해 미진한 실정이다. 본 연구에서는 포롭터의 신뢰성 확보를 위한 학술적인 뒷받침이 되는 연구결과를 제시하였으며 정밀한 검안을 위해 현재의 포롭터가 개선될 필요성이 있음을 제안한다.

REFERENCES

- [1] Ministry of education. A sample survey on healthy life-style of students, 2014. <http://www.moe.go.kr/web/100026/ko/board/view.do?bbsId=294&pageSize=10¤tPage=0&encodeYn=Y&boardSeq=58456&mode=view>(15 September 2015).
- [2] Optinews. Study of glasses wearers in Korea, 2015. <http://www.opticnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=24919> (22 September 2015).
- [3] Kang HS. An introduction to visual optics, 2nd Ed. Seoul:Shinkwang, 2004;25-27.
- [4] Lee HK, Kim SR, Park M. The evaluation of reliability for the combined refractive power of overlapping trial lenses. J Korean Ophthalmol Opt Soc. 2015;20(3):263-276.
- [5] Park SY, Mun BY. Research on the actual state of domestic trial lens. Korean J Vis Sci. 2007;9(4):401-412.
- [6] Moon BY. Comparative analysis of refractive power on trial case lenses. J Korean Ophthalmol Opt Soc. 2012; 17(4):321-334.
- [7] Optical science textbook compilation committee. Optometric instrumentation, 2nd Ed. Seoul: Daehakseorim, 2000; 260-262.
- [8] Seo JK, Jo YN, Sim HS, Kim SH. A study on the spherical aberration and astigmatism of sports sunglass. Korean J Vis Sci. 2013;15(2):101-111.
- [9] Kim SK, Sung AY. The clinical study on spectacle wearers of high school students. J Korean Ophthalmol Opt Soc. 2004;9(1)19-27.
- [10] Ryu GC, Seo JS. Assessment of applicability of clinical performance of Eyemax free RGP contact lenses. Korean J Vis Sci. 2010;12(1):1-8.
- [11] Levitz L, Reich J, Roberts K, Hodge C. Evaluation of toric intraocular lenses in patients with low degrees of astigmatism. Asia Pac J Ophthalmol. 2015;4(5):245-249.
- [12] Efron N, Nichols JJ, Woods CA, Morgan PB. Trends in US contact lens prescribing 2002 to 2014. Optom Vis Sci. 2015;92(7):758-767.
- [13] Hussein MA, Weakley D, Wirazka T, Paysse EE. The long-term outcomes in children who are not compliant with spectacle treatment for accommodative esotropia. J AAPOS. 2015;19(2):169-171.
- [14] Esteve-Taboada JJ, Domnguez-Vicent A, Del guila-Carrasco AJ, Ferrer-Blasco T, Monts-MicR. Effect of large apertures on the optical quality of three multifocal lenses. J Refract Surg. 2015;31(10):666-676.

Evaluation of Reliability for Combined Refractive Power of Lenses in an Automatic Phoropter

Hyung Kyun Lee, So Ra Kim, and Mijung Park*

Dept. of Optometry, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 01811, Korea
(Received November 3, 2015; Revised November 30, 2015; Accepted December 11, 2015)

Purpose: To evaluate the reliability of refractive power by comparing the marked refractive power in an automatic phoropter and actually measured spherical/cylindrical refractive power. **Methods:** Actual refractive power of minus spherical lens and cylindrical lens in an automatic phoropter was measured by a manual lensmeter and compared with the accuracy of marked refractive power. Furthermore, combined refractive power and spherical equivalent refractive power of two overlapped lenses were compared and evaluated with the refractive power of trial lens. **Results:** An error of 0.125 D and more against the marked degree was observed in 70.6% of spherical refractive power of spherical lens which is built in phoropter, and the higher error was shown with increasing refractive power. Single cylindrical refractive power of cylindrical lens is almost equivalent to the marked degree. Combined spherical refractive power was equivalent to spherical refractive power of single lens when spherical lens and cylindrical lens were overlapped in a phoropter. Thus, there was no change in spherical refractive power by lens overlapping. However, there was a great difference, which suggest the effect induced by overlapping between cylindrical refractive power and the marked degree when spherical lens and cylindrical lens were overlapped. Spherical equivalent refractive power measured by using a phoropter was lower than that estimated by trial glasses frame and marked degree. The difference was bigger with higher refractive power. **Conclusions:** When assessment of visual acuity is made by using an automatic phoropter for high myopes or myopic astigmatism, some difference against the marked degree may be produced and they may be over-corrected which suggests that improvement is required.

Key words: Automatic phoropter, Trial lens, Combined refractive power, Spherical equivalent refractive power, Reliability