

## 중첩된 시험렌즈의 합성굴절력에 대한 신뢰도 평가

이형균, 김소라, 박미정\*

서울과학기술대학교 안경광학과, 서울 01811

투고일(2015년 8월 17일), 수정일(2015년 9월 4일), 게재확정일(2015년 9월 7일)

**목적:** 구면렌즈와 원주렌즈를 시험테에 중첩하였을 때 합성굴절력의 신뢰도를 알아보고자 하였다. **방법:** 마이너스 구면 시험렌즈와 원주 시험렌즈의 굴절력, 중심두께 및 주변부두께를 측정하였으며 구면 시험렌즈와 원주 시험렌즈를 장입순서를 바꿔가며 시험테에 중첩되었을 때의 굴절력을 자동렌즈미터로 측정하여 합성굴절력 계산값과 비교 평가하였다. **결과:** 시험렌즈의 중심부와 주변부의 두께증감이 도수의 증감과 상관성을 보이지 않았으며 79개 시험렌즈 중 3개의 시험렌즈에서 국제기준규격(ISO-9801)에서 벗어난 굴절력이 측정되었다. 정점간거리를 보정하는 굴스트랜드 공식 굴절력값이 얇은 렌즈 공식 굴절력값보다 실측값과의 오차가 적었으나, 여전히 실측값과는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 굴절력의 크기는 원주렌즈와 구면렌즈의 위치와 상관없이 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜드 공식 굴절력값 순으로 나타났다. 구면렌즈가 안쪽, 원주렌즈가 바깥쪽에 장입되었을 경우에는 굴스트랜드 공식에 대입하였을 때 원주굴절력만 오차가 발생하지만 원주렌즈가 안쪽, 구면렌즈가 바깥쪽에 장입되었을 때는 구면굴절력과 원주굴절력 모두에서 오차가 나타났다. 실측값의 등가구면굴절력을 비교하였을 때 구면렌즈가 시험테의 안쪽, 원주렌즈가 시험테의 바깥쪽에 장입된 경우가 정확도가 더 높았으며 과교정의 우려가 작았다. **결론:** 본 연구 결과 시험렌즈에 렌즈를 중첩하였을 때의 합성굴절력은 정점간거리 외에도 중첩되는 렌즈의 두께와 광학중심 등의 영향을 받으며 구면렌즈와 원주렌즈의 중첩 순서에 따라 굴절력에 차이가 있으므로 이에 대한 기준의 정립이 필요함을 제안한다.

**주제어:** 시험렌즈, 합성굴절력, 굴스트랜드 공식, 얇은 렌즈 공식, 신뢰도

### 서 론

안경은 시기능을 교정하는 의료용구로 정확한 굴절값의 처방은 시력 보정을 위하여 필수적인 사항이라 할 수 있다.<sup>[1]</sup> 안경렌즈는 시력 보정으로 보건복지부 규정, KS규격, 단체 규격 규정(공업 진흥청) 등에 따라 안경렌즈에 대한 정확한 굴절력을 정밀한 기기, 정확한 굴절검사 방법에 의해 가능한 가장 편안한 시력 보정이 될 수 있도록 안경사와 안과의사에 의해 측정되어 조제가공 되어야 한다. 여러 굴절검사 방법 중 최종적인 시기능 검사결과 값이라고 할 수 있는 시험렌즈의 최종 장입 굴절력과 가공된 안경의 굴절력이 일치해야 한다. 그럼에도 불구하고 최근 발표된 자료에 의하면 시험렌즈의 신뢰성에 대한 문제점이 제기되고 있으며 실제로 현장에서 시기능 검사결과 값에 의해 보정된 안경이 시험렌즈의 굴절력과 편차를 보여 판매 후 재차 도수를 조정해 주는 경우가 드물지 않다.<sup>[2]</sup>

시험렌즈를 이용한 검수값의 오차는 시험렌즈의 굴절력

오차에 의해서도 비롯되지만 이 외에도 평볼록, 평오목, 메니스커스렌즈 등과 같은 시험렌즈 형태의 차이와 이에 기인하는 수차의 차이 및 재질의 차이, 두께의 차이에 의해서도 발생할 수 있다.<sup>[3]</sup> 이 외에도 시험테의 광학적 중심점(FPD)과 정점간거리 미교정 등에 의해 시험렌즈의 굴절력은 오차를 보일 수 있으며, 특히 원용보다는 근용, 오목렌즈보다는 볼록렌즈에서 오차가 더욱 크게 나타난다.<sup>[4]</sup> 그러나 국산시험렌즈 세트의 실태조사 연구에 따르면 안경사 238명을 대상으로 설문한 결과 190명(80%)가 검안렌즈의 굴절력이 정확하다고 신뢰하며 구입 후 품질을 확인하지 않는다고 하였다.<sup>[2]</sup> 단일렌즈의 굴절력이 정확하다 하더라도 근시이거나 혹은 근시성 단안시, 근시성 복성난시인 피검자의 경우를 예로 들면 중첩된 시험렌즈가 마이너스 렌즈의 중첩에서는 정점간거리 발생으로 인하여 굴절력의 감소가 발생하므로 처방값은 과교정이 예상된다. 이런 종합적인 여러 원인들을 감안하였을 때 시기능 검사 중 단일렌즈를 사용할 때의 오차보다는 검사렌즈를 2~4매까지

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

본 논문의 일부내용은 2015년도 한국안광학회 하계학술대회에서 구연으로 발표되었음

중첩할 경우 수차와 렌즈의 형태 및 두께, 재질, 정점간거리, 장입되는 렌즈의 종류와 순서 등에 의해 오차는 더욱 커질 것으로 생각되며 그 오차는 중첩된 렌즈의 매수와 굴절력이 증가할수록 심화될 것이라 추측해 볼 수 있다.<sup>15,16)</sup>

본 연구에서는 일반적으로 검안의 과정에서 중첩된 렌즈의 굴절력을 합하여 보정될 안경렌즈의 굴절력을 도출해 낼 때 두 값은 편차를 보일 것이며 그 차이를 과연 허용오차로 볼 수 있을 것인지를 알아보기 위하여 체계적인 실험과 연구를 통하여 오차의 정도와 문제성을 파악해보고자 하였다. 이를 위하여 마이너스 시험렌즈의 구면굴절력과 원주굴절력을 측정하여 정확도를 분석하였으며, 시험테에 구면렌즈와 원주렌즈를 중첩하였을 때의 굴절력을 실측하여 정확도를 평가하였다. 또한, 구면렌즈와 원주렌즈의 중첩 순서에 따른 굴절력의 차이를 비교하여 보았다.

## 대상 및 방법

### 1. 시험렌즈

A사 렌즈(중국)와 B사 렌즈(중국)의 마이너스 구면시험렌즈와 마이너스 원주시험렌즈 각각 1세트를 대상으로 하였다.

### 2. 사용장비

자동렌즈미터(CDR-3100, 휴비츠사, 대한민국)로 시험렌즈의 굴절력을 측정하였고, 버니아캘리퍼스(M500-181MS 모델, Hando사, 중국)와 마이크로미터(PAT No200959, Teclock coporation, 일본)를 사용하여 렌즈의 두께를 측정하였다.

### 3. 시험테

시험테에 따른 시험렌즈 장입간격 비교는 C 시험테 (Keongsung optics사, 대한민국), D 시험테(Fashionmiel사, 중국)를 대상으로 하였으며 버니아캘리퍼스를 이용하여 소수점 2째자리까지 mm단위로 측정하였다.

마이너스 구면렌즈와 원주렌즈의 중첩 순서에 의한 굴절력차이 연구는 C 시험테를 사용하여 실시하였다.

### 4. 시험렌즈의 굴절력 및 두께 측정

A사와 B사의 마이너스 시험렌즈 굴절력은 자동렌즈미터를 사용하여 소수점 2째자리까지 측정하였으며 마이너스 구면렌즈의 측정범위는 평면렌즈부터 -20.00 D 까지 총 40개, 마이너스 원주렌즈의 측정범위는 -0.25 D ~ -6.00 D까지 총 10개였다. 단일렌즈의 주변부두께와 중심두께를 마이크로미터를 사용하여 소수점 2째자리까지 mm 단위로 측정하였으며, 주변부두께는 가장 두꺼운 부

분을 기준으로 측정하였으며 중심두께는 가장 얇은 부분을 기준으로 측정하였다. C 시험테 렌즈 장입 칸의 사이 간격을 버니아캘리퍼스로 소수점 2째자리까지 mm 단위로 측정하였다.

1매의 구면렌즈와 1매의 원주렌즈가 중첩되었을 때의 합성굴절력은 굴스트랜드 공식으로 계산하였으며 자동렌즈미터를 이용하여 실측하였다. 굴스트랜드 공식에 대입하기 위한 두 렌즈 사이의 간격은 두 렌즈의 중심두께와 주변부두께 및 시험테의 렌즈삽입부 간격을 고려하여 계산하였다. 합성굴절력의 계산값과 실측값은 2.00 D 단위로 S -2.00 D ○ C -2.00 D ~ S -20.00 D ○ C -6.00 D 까지 소수점 2째자리까지 구하였다. 렌즈 장입순서는 구면렌즈를 안쪽, 원주렌즈를 바깥쪽으로 하여 30개의 구간에서 측정하였고 반대로 원주렌즈를 안쪽, 구면렌즈를 바깥쪽으로 30개의 구간에서 측정하여 장입순서에 따른 차이를 비교하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 단일 시험렌즈의 굴절력 및 두께

A사 시험렌즈의 굴절력을 0.01 D 단위로 실측한 결과 마이너스 구면렌즈 40개 중 32개(80.0%)가 표기값과 실측값이 불일치하였으며 이 중 ±0.05 D 이상의 오차를 보이는 경우가 5개(12.5%), ±0.10 D 이상의 차이를 보이는 경우는 2개(5.0%)였다. 표기값보다 실측값이 더 고도수인 경우는 11개(차이 범위 0.01~0.05 D), 저도수인 경우는 21개(차이 범위 0.01~0.11 D)로 표기값보다 실측값이 저도수인 경우가 더 많았다. 그러나 ISO 기준으로 평가하였을 때 모든 렌즈의 도수가 허용오차 범위 내에 있었다(Table 1).

B사 시험렌즈의 경우 구성의 차이로 A사 시험렌즈보다 1개가 적었으며 마이너스 구면렌즈 39개 중 37개(95.0%)가 표기값과 실측값이 불일치하였으며 이 중 ±0.05 D 이상의 오차를 보이는 경우가 11개(28.0%), ±0.10 D 이상의 차이를 보이는 경우가 2개(5.0%)였다. ISO 기준으로 평가하였을 때 -4.75 D와 -5.75 D의 렌즈가 허용오차 범위를 벗어나 규격 적합율은 95.0%로 A사 시험렌즈보다 부정확하였다(Table 1). 표기값보다 실측값이 더 고도수인 경우는 11개(차이 범위 0.01~0.07 D), 더 저도수인 경우는 26개(차이 범위 0.01~0.10 D)로 표기값보다 실측값이 더 저도수인 경우가 많았다.

A사와 B사 구면렌즈 두께를 측정하였을 때 두 렌즈 모두 대체적으로 고도수로 갈수록 주변부두께가 두꺼워지는 경향을 보였으나 증가 정도가 일정하지 않아 더 고도수임에도 오히려 두께가 얇아지는 경우도 있었다. 렌즈 중심두께의 경우에는 일정한 상관관계를 보이지는 않았으며 구간별로 두께가 불규칙하였다(Table 1).

Table 1. Analysis of spherical trial lenses with negative power

Labelled power <sup>(†)</sup> (D)	Estimated power <sup>(‡)</sup> (D)		Difference between <sup>(†)</sup> and <sup>(‡)</sup> (D)		Thickness of edge (mm)		Thickness of center (mm)	
	A lens	B lens	A lens	B lens	A lens	B lens	A lens	B lens
-0.25	-0.25	-0.24	0.00	-0.01	2.19	2.21	2.13	2.14
-0.50	-0.51	-0.52	0.01	0.02	2.32	2.76	2.16	2.59
-0.75	-0.75	-0.80	0.00	0.05	2.47	2.60	2.25	2.32
-1.00	-0.98	-0.98	-0.02	-0.02	2.26	2.24	1.95	1.96
-1.25	-1.28	-1.22	0.03	-0.03	2.26	2.56	1.79	2.21
-1.50	-1.55	-1.52	0.05	0.02	2.51	2.44	2.04	2.06
-1.75	-1.74	-1.75	-0.01	0.00	2.18	2.45	1.71	1.95
-2.00	-2.02	-1.99	0.02	-0.01	2.61	2.83	2.07	2.30
-2.25	-2.24	-2.24	-0.01	-0.01	2.12	2.50	1.48	1.93
-2.50	-2.53	-2.48	0.03	-0.02	2.56	2.50	1.87	1.84
-2.75	-2.77	-2.76	0.02	0.01	2.64	2.62	1.83	1.85
-3.00	-3.00	-2.99	0.00	-0.01	2.00	2.64	1.13	1.77
-3.25	-3.26	-3.26	0.01	0.01	2.74	2.45	1.86	1.62
-3.50	-3.53	-3.50	0.03	0.00	2.77	2.52	1.79	1.63
-3.75	-3.75	-3.73	0.00	-0.02	2.94	2.55	2.01	1.55
-4.00	-3.99	-3.97	-0.01	-0.03	3.03	2.85	2.00	1.78
-4.25	-4.24	-4.18	-0.01	-0.07	2.69	2.78	1.50	1.63
-4.50	-4.48	-4.45	-0.02	-0.05	2.91	2.76	1.66	1.58
-4.75	-4.75	-4.69	0.00	-0.06	3.11	3.42	1.76	2.17
-5.00	-4.96	-5.01	-0.04	0.01	3.25	3.38	1.90	2.08
-5.25	-5.22	-5.20	-0.03	-0.05	3.38	3.37	1.92	1.96
-5.50	-5.52	-5.51	0.02	0.01	3.67	3.61	2.04	2.18
-5.75	-5.72	-5.66	-0.03	-0.09	2.56	3.55	0.90	2.05
-6.00	-5.99	-5.97	-0.01	-0.03	2.95	3.64	1.24	2.04
-6.50	-6.50	-6.57	0.00	0.07	3.45	3.51	1.61	1.78
-7.00	-6.96	-7.02	-0.04	0.02	3.43	4.42	1.57	2.61
-7.50	-7.50	-7.49	0.00	-0.01	3.24	4.49	1.21	2.57
-8.00	-7.98	-8.04	-0.02	0.04	3.55	4.32	1.41	2.22
-8.50	-8.48	-8.53	-0.02	0.03	3.40	4.42	1.22	2.23
-9.00	-8.97	-8.98	-0.03	-0.02	4.43	4.39	1.97	1.96
-9.50	-9.51	-9.46	0.01	-0.04	3.94	4.03	1.24	1.52
-10.00	-9.95	-9.94	-0.05	-0.06	4.51	4.26	1.73	1.76
-11.00	-11.00	-10.98	0.00	-0.02	4.24	4.38	1.20	1.68
-12.00	-11.93	-11.96	-0.07	-0.04	4.03	5.10	0.83	2.21
-13.00	-12.92	-12.90	-0.08	-0.10	4.64	5.19	1.07	1.97
-14.00	-13.90	-13.95	-0.10	-0.05	4.97	5.23	1.24	1.72
-15.00	-15.03	-	0.03	-	5.43	-	1.54	-
-16.00	-15.92	-15.90	-0.08	-0.10	5.60	6.55	1.52	2.78
-18.00	-17.97	-17.96	-0.03	-0.04	6.20	6.72	1.71	2.28
-20.00	-19.89	-19.97	-0.11	-0.03	6.60	6.53	1.97	1.78

Table 2. Analysis of cylindrical trial lenses with negative power

Labelled power <sup>(†)</sup> (D)	Estimated power <sup>(‡)</sup> (D)		Difference between <sup>(†)</sup> and <sup>(‡)</sup> (D)		Thickness of edge (mm)		Thickness of center (mm)	
	A lens	B lens	A lens	B lens	A lens	B lens	A lens	B lens
-0.25	-0.25	-0.28	0.00	0.03	2.30	2.53	2.25	2.46
-0.50	-0.54	-0.50	0.04	0.00	2.28	2.45	2.21	2.31
-0.75	-0.81	-0.77	0.06	0.02	2.36	2.36	2.12	2.16
-1.00	-1.01	-1.03	0.01	0.03	2.38	2.53	2.11	2.27
-1.25	-1.23	-1.28	-0.02	0.03	2.40	2.52	2.07	2.06
-1.50	-1.45	-1.51	-0.05	0.01	2.45	2.66	2.12	2.26
-1.75	-1.72	-1.78	-0.03	0.03	2.41	2.71	1.92	2.24
-2.00	-1.97	-2.04	-0.03	0.04	2.20	2.49	1.68	2.01
-2.25	-2.24	-2.23	-0.01	-0.02	2.25	2.75	1.69	2.18
-2.50	-2.50	-2.54	0.00	0.04	2.52	2.67	1.76	2.02
-2.75	-2.75	-2.83	0.00	0.08	2.53	2.72	1.65	2.01
-3.00	-3.03	-3.05	0.03	0.05	2.69	3.16	1.84	2.45
-3.25	-3.27	-3.28	0.02	0.03	3.05	3.41	2.17	2.56
-3.50	-3.45	-3.54	-0.05	0.04	3.01	3.37	2.02	2.46
-3.75	-3.79	-3.72	0.04	-0.03	3.10	3.22	2.04	2.29
-4.00	-3.99	-3.96	-0.01	-0.04	3.56	3.41	2.50	2.40
-4.50	-4.47	-4.40	-0.03	-0.10	3.41	3.47	2.21	2.18
-5.00	-5.02	-4.92	0.02	-0.08	3.33	3.36	1.93	2.08
-5.50	-5.46	-	-0.04	-	3.22	-	1.72	-
-6.00	-5.96	-5.90	-0.04	-0.10	3.32	3.44	1.56	1.85

A사 마이너스 원주렌즈의 경우 20개 중 17개(85%)가 굴절력 표기값과 실측값이 불일치하였으며  $\pm 0.05$  D 이상의 오차를 보이는 경우가 3개(15%)이었으나,  $\pm 0.10$  D 이상의 차이를 보이는 경우는 없었다. 표기값보다 실측값이 더 고도수인 경우는 7개(차이범위 0.01~0.06 D), 더 저도수인 경우는 10개(차이 범위 0.01~0.05 D)로 표기값보다 실측값이 더 저도수인 경우가 많았으나 ISO 기준으로 평가하였을 때 모든 렌즈의 도수가 허용오차 범위 내에 있었다(Table 2).

B사 마이너스 원주렌즈는 구성의 차이로 A사 렌즈에 비해 1개가 적었으며 굴절력은 마이너스 구면렌즈의 경우 19개 중 18개(94.7%)가 불일치하였으며  $\pm 0.05$  D 이상의 오차를 보이는 경우가 3개(15.8%),  $\pm 0.10$  D 이상의 차이를 보이는 경우가 2개(10.5%)였다. 표기값보다 실측값이 더 고도수인 경우는 6개(차이범위 0.02~0.10 D), 더 저도수인 경우는 12개(차이 범위 0.01~0.08 D)로 표기값보다 실측값이 더 저도수인 경우가 많았으며 -4.50 D와 -6.00 D에서 오차가 -0.10 D로 가장 높게 나왔으나 ISO 기준으로 평가하였을 때 모든 렌즈의 도수가 허용오차 범위 내

에 있었다(Table 2).

A사와 B사 원주렌즈 두께를 측정하였을 때 두 렌즈 모두 대체적으로 고도수로 갈수록 주변부두께가 증가하였고 중심두께의 경우 구간별로 불규칙하였으며, 구면렌즈의 경우와 유사한 경향을 보였다(Table 2). 중심두께와 주변부두께 및 시험테의 렌즈 장입간격을 이용하여 렌즈가 증착되었을 때 정점간거리를 구할 수 있었다. 렌즈의 중심두께가 얇고 주변부두께가 두꺼울수록 렌즈간의 정점간거리가 더 컸으며 대체적으로 합성굴절력이 클수록 정점간거리가 더 커졌다(Table 3).

## 2. 시험테의 시험렌즈 장입간격

C 시험테는 시험렌즈의 장입간격이  $3.78 \pm 0.02$  mm, D 시험테는  $3.86 \pm 0.02$  mm로 국내제품인 C 시험테의 장입간격이 더 가까웠으나 의미있는 차이는 아니었다(Fig. 1). C 시험테와 D 시험테의 장입간격 차이로 인해 정점간거리가 평균 0.08 mm 차이가 발생하게 되고 측정한 시험렌즈 중 가장 굴절력이 큰 -20.00 D일 때의 시험테 차이에

Table 3. Vertex distance of overlapped lenses with a spherical trial lens and a cylindrical trial lens

Trial lens	Cyl(D) Sph(D)	Vertex distance (m)		
		-2.00	-4.00	-6.00
A	-2.00	0.001895	0.001485	0.001955
B		0.001615	0.001420	0.001695
A	-4.00	0.001930	0.001520	0.001990
B		0.001875	0.001680	0.001955
A	-6.00	0.002310	0.001900	0.002370
B		0.001745	0.001550	0.001825
A	-8.00	0.002225	0.001815	0.002285
B		0.001655	0.001555	0.001845
A	-10.00	0.002065	0.001920	0.002270
B		0.001885	0.001755	0.002045
A	-12.00	0.002515	0.002130	0.002575
B		0.001685	0.001950	0.002240
A	-14.00	0.002310	0.002395	0.002745
B		0.001995	0.002260	0.002550
A	-16.00	0.002300	0.002570	0.002920
B		0.002125	0.002390	0.002680
A	-18.00	0.002505	0.002775	0.003125
B		0.002460	0.002725	0.003015
A	-20.00	0.002575	0.002845	0.003195
B		0.002615	0.002880	0.003170

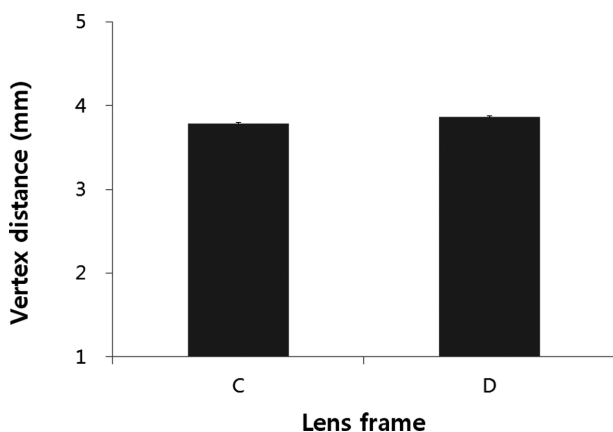


Fig. 1. The difference in vertex distance between C frame and D frame.

의한 굴절력 오차는 정점간거리공식에 따라  $D = -20.00 - (0.0008 \square -20.00)$ 의 결과값인  $-19.984$  D였다. 이 결과값은 모든 구면시험렌즈 중 가장 큰 오차값으로  $-0.0016$  D의 오차가 발생하지만 구면 시험렌즈의 국제규격 굴절력 오차 기준인  $\pm 0.12$  D의 13.33%에 해당하는 수치로 시험테에 단

일렌즈로 장입하였을 때 발생할 수 있는 오차로 인해 구면 시험렌즈의 굴절력이 국제규격에 벗어나게 되지는 않는다는 것을 알 수 있었다.

**3. 구면렌즈가 안쪽, 원주렌즈가 바깥쪽에 장입되었을 때 합성굴절력 비교**

구면렌즈와 원주렌즈를 시험테에 중첩하여 장입하였을 때, 얇은 렌즈의 합성굴절력 공식으로 계산한 굴절력값(이하 얇은 렌즈 공식 굴절력값), 굴스트랜드 공식을 사용한 굴절력값(이하 굴스트랜드 공식 굴절력값) 및 실측한 굴절력값의 차이를 알아보았다. 합성굴절력의 실측은 1매의 구면렌즈를 시험테의 안쪽, 1매의 원주렌즈를 시험테의 바깥쪽에 장입하여 측정하였다.

구면렌즈가 안쪽, 원주렌즈가 바깥쪽에 장입되는 경우의 구면굴절력을 분석하였을 때, 얇은 렌즈 공식 굴절력과 굴스트랜드 공식 굴절력 모두 단일 구면렌즈의 굴절력과 동일하였다. 그러나 구면굴절력 실측값은 A사의 시험렌즈의 경우 총 30개 중 3개가 단일렌즈의 구면굴절력 표기값보다 저도수였고, 나머지 27개는 더 고도수인 것으로 나타났다. 평균 0.06 D의 오차를 보였다. B사의 시험렌즈에서는 총 29개 모두에서 구면굴절력 실측값이 표기값보다 고도수로 0.04 D만큼의 차이를 보였다. 두 렌즈회사의 제품 모두 두 공식으로 계산된 구면굴절력은 동일한 값을 가지므로 실측된 구면굴절력과 사이에서 오차는 동일하게 나타났다(Tables 4 and 5).

A사 시험렌즈를 대상으로 한 합성굴절력 평가에서 중첩된 렌즈의 원주굴절력 실측값이 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값과 차이가 가장 큰 도수는 표기상 S -20.00 D  $\square$  C -6.00 D로 실측 원주굴절력값은 -5.71 D였으며 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값 -5.96 D와는 0.25 D의 차이가 있었으며, 굴스트랜드 공식 원주굴절력값과 실측값의 차이가 가장 큰 도수는 표기상 도수 S -14.00 D  $\square$  C -6.00 D로 실측 원주굴절력값은 -5.90 D였으며 굴스트랜드 공식 원주굴절력값 -5.64 D와는 0.26 D의 차이를 보였다. 대부분의 도수 조합에서 얇은 렌즈의 합성굴절력 공식의 원주굴절력이 실측 원주굴절력보다 고도수로 평균 0.09 D만큼의 차이가 있었으며 굴스트랜드 공식 원주굴절력값은 실측된 원주굴절력값과 평균 0.08 D의 차이를 보였다. 실측값과의 오차는 정점간거리를 보정한 굴스트랜드 공식 원주굴절력값에서 더 작게 나타났다. 구면렌즈를 안쪽, 원주렌즈를 바깥쪽에 중첩하였을 때 원주굴절력의 크기는 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜드 공식 굴절력값 순으로 나타났다(Fig. 2).

A사 렌즈의 실측 원주굴절력과 얇은 렌즈 공식 원주굴절력의 차이값이 구면굴절력 증가와 상관관계가 있는 지

Table 4. Comparison of A lens powers between calculated and estimated values when inserted a spherical lens inside and a cylindrical lens outside

Section	Cyl power(D)	Refractive power (D)					
		-2.00 <sup>a</sup> [-1.97] <sup>b</sup>		-4.00 <sup>a</sup> [-3.99] <sup>b</sup>		-6.00 <sup>a</sup> [-5.96] <sup>b</sup>	
	Sph power(D)	Sph	Cyl	Sph	Cyl	Sph	Cyl
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-2.00 <sup>a</sup> [-2.00] <sup>b</sup>	-2.00	-1.97	-2.00	-3.99	-2.00	-5.96
Gullstand's power		-2.00	-1.96	-2.00	-3.95	-2.00	-5.87
Estimated power		-2.02	-1.95	-2.03	-3.92	-2.09	-5.89
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-4.00 <sup>a</sup> [-3.99] <sup>b</sup>	-3.99	-1.97	-3.99	-3.99	-3.99	-5.96
Gullstand's power		-3.99	-1.95	-3.99	-3.94	-3.99	-5.84
Estimated power		-4.00	-1.94	-4.02	-3.89	-4.07	-5.79
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-6.00 <sup>a</sup> [-5.99] <sup>b</sup>	-5.99	-1.97	-5.99	-3.99	-5.99	-5.96
Gullstand's power		-5.99	-1.93	-5.99	-3.91	-5.99	-5.79
Estimated power		-6.04	-1.90	-6.03	-3.93	-6.12	-5.79
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-8.00 <sup>a</sup> [-7.98] <sup>b</sup>	-7.98	-1.97	-7.98	-3.99	-7.98	-5.96
Gullstand's power		-7.98	-1.93	-7.98	-3.90	-7.98	-5.77
Estimated power		-7.96	-1.95	-8.01	-3.85	-8.02	-5.87
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-10.00 <sup>a</sup> [-9.95] <sup>b</sup>	-9.95	-1.97	-9.95	-3.99	-9.95	-5.96
Gullstand's power		-9.95	-1.92	-9.95	-3.88	-9.95	-5.75
Estimated power		-9.93	-1.93	-9.93	-3.92	-9.99	-5.80
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-12.00 <sup>a</sup> [-11.93] <sup>b</sup>	-11.93	-1.97	-11.93	-3.99	-11.93	-5.96
Gullstand's power		-11.93	-1.90	-11.93	-3.86	-11.93	-5.69
Estimated power		-11.99	-1.93	-12.05	-3.87	-12.03	-5.94
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-14.00 <sup>a</sup> [-13.90] <sup>b</sup>	-13.90	-1.97	-13.90	-3.99	-13.90	-5.96
Gullstand's power		-13.90	-1.90	-13.90	-3.82	-13.90	-5.64
Estimated power		-13.91	-1.99	-13.97	-3.89	-14.00	-5.90
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-16.00 <sup>a</sup> [-15.92] <sup>b</sup>	-15.92	-1.97	-15.92	-3.99	-15.92	-5.96
Gullstand's power		-15.92	-1.89	-15.92	-3.79	-15.92	-5.59
Estimated power		-15.95	-1.96	-16.05	-3.86	-16.09	-5.74
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-18.00 <sup>a</sup> [-17.97] <sup>b</sup>	-17.97	-1.97	-17.97	-3.99	-17.97	-5.96
Gullstand's power		-17.97	-1.87	-17.97	-3.75	-17.97	-5.52
Estimated power		-18.01	-2.02	-18.00	-3.94	-18.17	-5.71
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-20.00 <sup>a</sup> [-19.89] <sup>b</sup>	-19.89	-1.97	-19.89	-3.99	-19.89	-5.96
Gullstand's power		-19.89	-1.86	-19.89	-3.72	-19.89	-5.48
Estimated power		-19.93	-1.94	-19.91	-4.09	-20.08	-5.71

<sup>a</sup>labelled power  
<sup>b</sup>estimated power

를 알아보았을 때 -2.00 D 원주 렌즈(단일 렌즈 실측값 -1.97 D) 장입시에는 p=0.151, -4.00 D 원주 렌즈(단일 렌즈 실측값 -3.99 D) 장입시에는 p=0.215, -6.00 D 원주 렌즈(단일 렌즈 실측값 -5.96 D) 장입시에는 p=0.292로 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Table 4). 실

측 원주굴절력과 굴스트랜드 공식 원주굴절력의 차이값과 구면굴절력의 상관관계를 분석하였을 때, -2.00 D 원주 렌즈(단일 렌즈 실측값 -1.97 D) 장입시에는 p=0.001, -4.00 D 원주 렌즈(단일 렌즈 실측값 -3.99 D) 장입시에는 p=0.003, -6.00 D 원주 렌즈(단일 렌즈 실측값 -5.96 D)

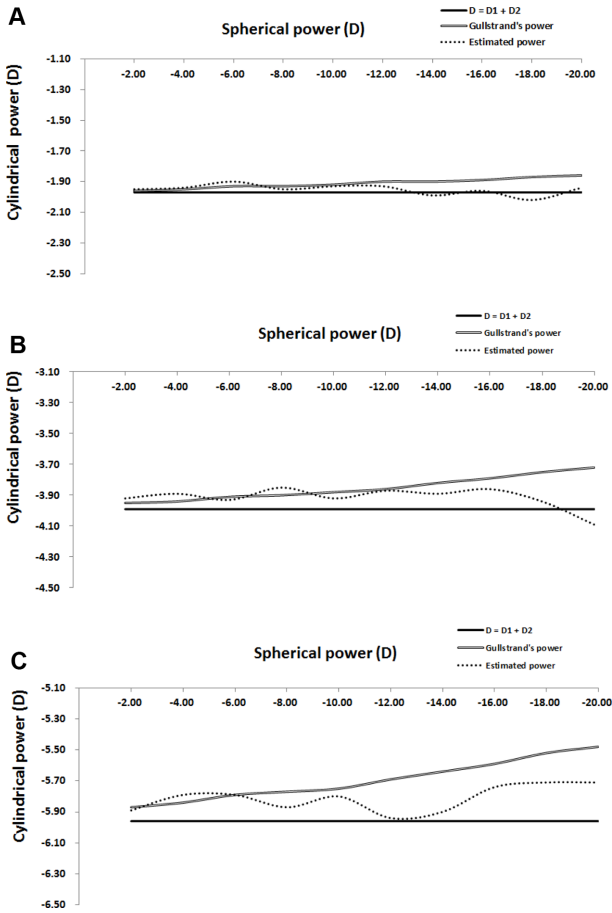


Fig. 2. Combined cylindrical power of A lens which inserted a spherical lens inside and a cylindrical lens outside.  
 A. -2.00 D as labelled cylinder power  
 B. -4.00 D as labelled cylinder power  
 C. -6.00 D as labelled cylinder power

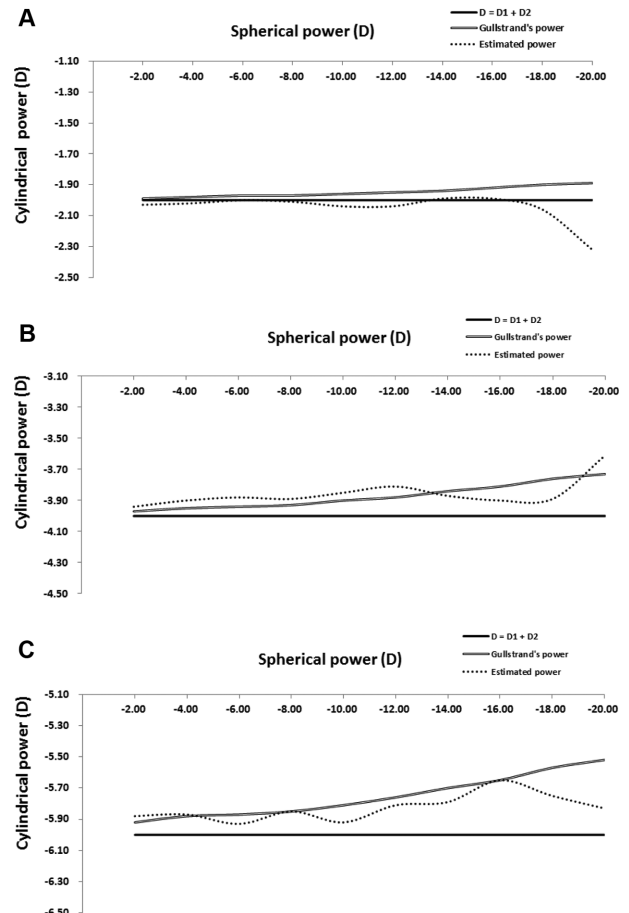


Fig. 3. Combined cylindrical power of B lens which inserted a spherical lens inside and a cylindrical lens outside.  
 A. -2.00 D as labelled cylinder power  
 B. -4.00 D as labelled cylinder power  
 C. -6.00 D as labelled cylinder power

장입시에는  $p=0.004$ 로 함께 장입되는 구면렌즈의 굴절력이 증가함에 따라 통계적으로 유의한 상관관계를 보여 오히려 정점간거리를 보정한 굴스트랜드 공식 굴절력과 실측값의 차이가 통계적으로 의미있는 것으로 나타났다.

B사의 시험렌즈를 대상으로 한 합성굴절력 평가에서 중첩된 렌즈의 원주굴절력 실측값이 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값과 차이가 큰 도수는 표기상 S -20.00 D ○ C -4.00 D로 실측 원주굴절력은 -3.61 D였으며 얇은 렌즈 공식 굴절력값 -4.00 D와는 0.39 D의 차이가 있었다. 굴스트랜드 공식 원주굴절력값과 실측값의 차이가 가장 큰 도수는 표기상 S -16.00 D ○ C -6.00 D로 실측값이 0.35 D 만큼 저도수로 나타났으며, 대부분의 도수 조합에서 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값이 실측 원주굴절력값 보다 평균 -0.10 D 더 고도수인 것으로 나타났다. 굴스트랜드 공식 원주굴절력값은 실측된 원주굴절력값과 평균 0.03 D의 차이를 보여 얇은 렌즈의 합성굴절력 공식보다 더 작은 차이를 보였다. 구면렌즈를 안쪽, 원주렌즈를 바깥쪽에 중첩하였을 때

원주굴절력의 크기는 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜드 공식 굴절력값 순으로 나타나 A 렌즈와 동일한 양상을 보였다(Fig. 3).

B사 렌즈의 실측 원주굴절력과 얇은 렌즈 공식 원주굴절력의 차이값이 구면굴절력 증가와 상관관계가 있는지를 알아보았을 때 장입한 원주렌즈의 굴절력이 -2.00 D일 때  $p=0.122$ , -4.00 D일 때  $p=0.065$ , -6.00 D일 때  $p=0.041$ 이었으므로 -2.00 D 및 -4.00 D 원주렌즈 장입시에는 통계적으로 유의한 변화는 아닌 것으로 나타나 원주렌즈의 도수가 큰 경우에만 통계적으로 유의함을 확인할 수 있었다(Table 5). 실측 원주굴절력과 굴스트랜드 공식 원주굴절력의 차이값이 구면굴절력 증가와 상관관계가 있는지를 알아보았을 때 원주 렌즈 -2.00 D 장입시에는  $p=0.026$ , -4.00 D 장입시에는  $p=0.347$ , -6.00 D 장입시에는  $p=0.010$ 로 -4.00 D의 원주렌즈가 장입되었을 때를 제외하고는 구면굴절력이 증가함에 따라 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다(Table 5).

Table 5. Comparison of B lens powers between calculated and estimated values when inserted a spherical lens inside and a cylindrical lens outside

Section	Cyl power(D)	Refractive power (D)					
		-2.00 <sup>a</sup> [-2.00] <sup>b</sup>		-4.00 <sup>a</sup> [-4.00] <sup>b</sup>		-6.00 <sup>a</sup> [-6.00] <sup>b</sup>	
	Sph power(D)	Sph	Cyl	Sph	Cyl	Sph	Cyl
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-2.00 <sup>a</sup> [-1.99] <sup>b</sup>	-1.99	-2.00	-1.99	-4.00	-1.99	-6.00
Gullstand's power		-1.99	-1.99	-1.99	-3.97	-1.99	-5.92
Estimated power		-2.02	-2.03	-2.00	-3.94	-2.02	-5.88
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-4.00 <sup>a</sup> [-3.97] <sup>b</sup>	-3.97	-2.00	-3.97	-4.00	-3.97	-6.00
Gullstand's power		-3.97	-1.98	-3.97	-3.95	-3.97	-5.88
Estimated power		-4.01	-2.02	-4.04	-3.90	-4.04	-5.87
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-6.00 <sup>a</sup> [-5.97] <sup>b</sup>	-5.97	-2.00	-5.97	-4.00	-5.97	-6.00
Gullstand's power		-5.97	-1.97	-5.97	-3.94	-5.97	-5.87
Estimated power		-6.03	-2.00	-6.06	-3.88	-6.03	-5.93
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-8.00 <sup>a</sup> [-8.04] <sup>b</sup>	-8.04	-2.00	-8.04	-4.00	-8.04	-6.00
Gullstand's power		-8.04	-1.97	-8.04	-3.93	-8.04	-5.85
Estimated power		-8.08	-2.01	-8.11	-3.89	-8.07	-5.85
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-10.0 <sup>a</sup> [-9.94] <sup>b</sup>	-9.94	-2.00	-9.94	-4.00	-9.94	-6.00
Gullstand's power		-9.94	-1.96	-9.94	-3.90	-9.94	-5.81
Estimated power		-9.95	-2.04	-10.03	-3.85	-9.97	-5.92
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-12.00 <sup>a</sup> [-11.96] <sup>b</sup>	-11.96	-2.00	-11.96	-4.00	-11.96	-6.00
Gullstand's power		-11.96	-1.95	-11.96	-3.88	-11.96	-5.76
Estimated power		-11.97	-2.04	-12.07	-3.81	-12.05	-5.81
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-14.00 <sup>a</sup> [-13.95] <sup>b</sup>	-13.95	-2.00	-13.95	-4.00	-13.95	-6.00
Gullstand's power		-13.95	-1.94	-13.95	-3.84	-13.95	-5.70
Estimated power		-14.00	-1.99	-14.02	-3.87	-14.03	-5.79
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-16.00 <sup>a</sup> [-15.90] <sup>b</sup>	-15.90	-2.00	-15.90	-4.00	-15.90	-6.00
Gullstand's power		-15.90	-1.92	-15.90	-3.81	-15.90	-5.65
Estimated power		-15.96	-1.99	-15.94	-3.90	-15.99	-5.65
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-18.00 <sup>a</sup> [-17.96] <sup>b</sup>	-17.96	-2.00	-17.96	-4.00	-17.96	-6.00
Gullstand's power		-17.96	-1.90	-17.96	-3.76	-17.96	-5.57
Estimated power		-18.07	-2.06	-18.07	-3.89	-18.16	-5.75
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-20.00 <sup>a</sup> [-19.97] <sup>b</sup>	-19.97	-2.00	-19.97	-4.00	-19.97	-6.00
Gullstand's power		-19.97	-1.89	-19.97	-3.73	-19.97	-5.52
Estimated power		-20.03	-2.32	-20.42	-3.61	-20.09	-5.83

<sup>a</sup>labelled power  
<sup>b</sup>estimated power

**4. 원주렌즈가 안쪽, 구면렌즈가 바깥쪽에 장입되었을 때 합성굴절력 비교**

원주렌즈와 구면렌즈의 위치가 바뀌었을 때의 얇은 렌즈 공식 굴절력값, 굴스트랜드 공식 굴절력값 및 실측한 굴절력값의 차이를 알아보았다. 구면렌즈가 안쪽, 원주렌

즈가 바깥쪽에 장입되었을 경우에는 굴스트랜드 공식에 대입하였을 때 원주굴절력값만 변화가 발생하지만 원주렌즈가 안쪽, 구면렌즈가 바깥쪽에 장입되었을 때는 구면굴절력과 원주굴절력 모두에서 차이를 보였다.

A사 시험렌즈를 대상으로 한 합성굴절력 평가에서 중첩



된 렌즈의 구면굴절력 실측값이 얇은 렌즈 공식 구면굴절력값과 차이가 가장 큰 도수는 표기상 S -20.00 D ○ C -6.00 D였으며, 이때 실측 구면굴절력값은 -18.42 D, 얇은 렌즈 공식 구면굴절력값은 -19.89 D로 1.47 D만큼 차이가 있었다. 굴스트랜드 공식 구면굴절력값과 실측값의 차이가 가장 큰 도수는 표기상 도수 S -20.00 D ○ C -2.00 D로 실측값이 0.49 D만큼 고도수였다. 대부분의 도수 조합에서 얇은 렌즈 공식 구면굴절력값이 실측값보다 0.09 D 만큼 고도수였으며, 굴스트랜드 공식 구면굴절력값은 실측 구면굴절력값과 0.12 D만큼 차이를 보여 얇은 렌즈 공식과 비교하여 더 작은 차이를 보였다. A사 원주렌즈를 안쪽, 구면렌즈를 바깥쪽에 중첩하였을 때도 역시 구면굴절력의 크기는 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜드 공식 굴절력값 순으로 나타났다(Fig. 4).

A사 시험렌즈를 대상으로 한 합성굴절력 평가에서 중첩된 렌즈의 원주굴절력 실측값이 얇은 렌즈 공식 원주굴절

력값과 차이가 가장 큰 도수는 표기상 S -16.00 D ○ C -4.00 D였으며, 이때 실측 원주굴절력값은 -3.69 D, 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값은 -3.99 D로 0.30 D만큼 차이가 있었다. 굴스트랜드 공식 원주굴절력값과 실측값의 차이가 가장 큰 도수는 표기상 도수 S -10.00 D ○ C -6.00 D로 실측 원주굴절력값은 -6.06 D, 굴스트랜드 공식 원주굴절력값은 -5.83 D으로 0.23 D만큼 차이가 있었다. 원주굴절력 실측값은 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값보다 평균 0.05 D만큼 저도수였다. 굴스트랜드 공식 원주굴절력값은 실측값과 평균 0.05 D 만큼 저도수였으며 얇은 렌즈 공식 원주굴절력보다는 평균 0.10 D 만큼 저도수인 것으로 나타났다. 즉, 원주굴절력의 크기는 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜드 공식 굴절력값 순으로 나타났다(Fig. 4).

A사 원주 렌즈 -2.00 D(단일 렌즈 실측값 -1.97 D) 장입시에는 p=0.138, 원주 렌즈 -4.00 D(단일 렌즈 실측값 -3.99 D) 장입시에는 p=0.039, 원주 렌즈 -6.00 D(단일 렌즈 실측값 -5.96 D) 장입시에는 p=0.015로 원주 렌즈 -2.00 D(단일 렌즈 실측값 -1.97 D) 장입시를 제외하고는 구면굴절력이 증가함에 따라 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값과 실측값의 차이가 커지는 상관관계를 보였다. 실측 원주굴절력과 굴스트랜드 공식 원주굴절력의 차이값이 구면굴절력 증가와 상관관계가 있는 지를 알아보았을 때 원주 렌즈 -2.00 D(단일 렌즈 실측값 -1.97 D) 장입시에는 p=0.002, 원주 렌즈 -4.00 D(단일 렌즈 실측값 -3.99 D) 장입시에는 p=0.005, 원주 렌즈 -6.00 D(단일 렌즈 실측값 -5.96 D) 장입시에는 p=0.000으로 모든 도수에서 구면굴절력이 증가함에 따라 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다 (Table 6).

B사 시험렌즈를 대상으로 한 합성굴절력 평가에서 중첩된 렌즈의 구면굴절력 실측값이 얇은 렌즈 공식 구면굴절력값과 차이가 가장 큰 도수는 표기상 S -20.00 D ○ C -6.00 D였으며, 이때 실측 구면굴절력값은 -18.13 D, 얇은 렌즈 공식 구면굴절력값은 -19.97 D로 1.84 D만큼 차이가 있었다. 굴스트랜드 공식 원주굴절력값과 실측값의 차이가 가장 큰 도수 또한 표기상 도수 S -20.00 D ○ C -6.00 D로 이때 실측 구면굴절력값은 -18.13 D, 굴스트랜드 공식 구면굴절력값은 -18.78 D로 0.65 D만큼 차이가 있었다. 대부분의 도수 조합에서 얇은 렌즈 공식 구면굴절력값이 실측값보다 평균 0.50 D 만큼 고도수였다. 굴스트랜드 공식 구면굴절력값은 실측 구면굴절력값과 평균 0.14 D만큼 차이를 보여 얇은 렌즈 공식과 비교하여 더 작은 차이를 보였다. B사 원주렌즈를 안쪽, 구면렌즈를 바깥쪽에 중첩하였을 때 구면굴절력의 크기는 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜드 공

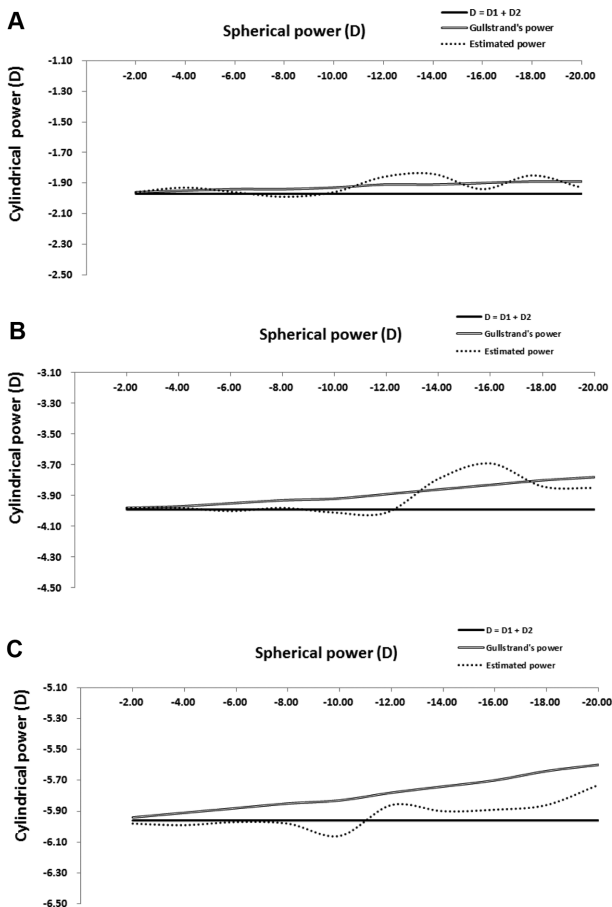


Fig. 4. Combined spherical power of A lens which inserted a cylindrical lens inside and a spherical lens outside.  
 A. -2.00 D as labelled cylinder power  
 B. -4.00 D as labelled cylinder power  
 C. -6.00 D as labelled cylinder power

Table 6. Comparison of A lens powers between calculated and estimated values when inserted a cylindrical lens inside and a spherical lens outside

Section	Cyl power(D)	Refractive power (D)					
	Sph power(D)	-2.00 <sup>a</sup> [-1.97] <sup>b</sup>		-4.00 <sup>a</sup> [-3.99] <sup>b</sup>		-6.00 <sup>a</sup> [-5.96] <sup>b</sup>	
		Sph	Cyl	Sph	Cyl	Sph	Cyl
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-2.00 <sup>a</sup> [-2.00] <sup>b</sup>	-2.00	-1.97	-2.00	-3.99	-2.00	-5.96
Gullstand's power		-1.99	-1.96	-1.99	-3.98	-1.99	-5.94
Estimated power		-2.00	-1.96	-1.99	-3.98	-2.01	-5.98
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-4.00 <sup>a</sup> [-3.99] <sup>b</sup>	-3.99	-1.97	-3.99	-3.99	-3.99	-5.96
Gullstand's power		-3.96	-1.95	-3.97	-3.97	-3.96	-5.91
Estimated power		-3.96	-1.93	-3.97	-3.98	-4.02	-5.99
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-6.00 <sup>a</sup> [-5.99] <sup>b</sup>	-5.99	-1.97	-5.99	-3.99	-5.99	-5.96
Gullstand's power		-5.91	-1.94	-5.92	-3.95	-5.91	-5.88
Estimated power		-5.92	-1.96	-5.92	-4.00	-6.02	-5.97
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-8.00 <sup>a</sup> [-7.98] <sup>b</sup>	-7.98	-1.97	-7.98	-3.99	-7.98	-5.96
Gullstand's power		-7.84	-1.94	-7.87	-3.93	-7.84	-5.85
Estimated power		-7.79	-1.99	-7.79	-3.98	-7.90	-5.98
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-10.0 <sup>a</sup> [-9.95] <sup>b</sup>	-9.95	-1.97	-9.95	-3.99	-9.95	-5.96
Gullstand's power		-9.75	-1.93	-9.76	-3.92	-9.73	-5.83
Estimated power		-9.68	-1.96	-9.65	-4.01	-9.72	-6.06
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-12.00 <sup>a</sup> [-11.93] <sup>b</sup>	-11.93	-1.97	-11.93	-3.99	-11.93	-5.96
Gullstand's power		-11.58	-1.91	-11.63	-3.89	-11.57	-5.78
Estimated power		-11.59	-1.86	-11.64	-4.01	-11.52	-5.86
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-14.00 <sup>a</sup> [-13.90] <sup>b</sup>	-13.90	-1.97	-13.90	-3.99	-13.90	-5.96
Gullstand's power		-13.47	-1.91	-13.45	-3.86	-13.39	-5.74
Estimated power		-13.36	-1.84	-13.19	-3.79	-13.22	-5.90
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-16.00 <sup>a</sup> [-15.92] <sup>b</sup>	-15.92	-1.97	-15.92	-3.99	-15.92	-5.96
Gullstand's power		-15.36	-1.90	-15.29	-3.83	-15.21	-5.70
Estimated power		-15.00	-1.94	-15.02	-3.69	-14.96	-5.89
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-18.00 <sup>a</sup> [-17.97] <sup>b</sup>	-17.97	-1.97	-17.97	-3.99	-17.97	-5.96
Gullstand's power		-17.20	-1.89	-17.12	-3.80	-17.01	-5.64
Estimated power		-16.93	-1.85	-16.66	-3.84	-16.67	-5.86
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-20.00 <sup>a</sup> [-19.89] <sup>b</sup>	-19.89	-1.97	-19.89	-3.99	-19.89	-5.96
Gullstand's power		-18.92	-1.89	-18.82	-3.78	-18.70	-5.60
Estimated power		-18.43	-1.93	-18.60	-3.85	-18.42	-5.73

<sup>a</sup>labelled power  
<sup>b</sup>estimated power

식 굴절력값 순으로 나타나 렌즈 장입순서 및 회사 종류에 따른 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 7).

구면굴절력이 증가함에 따라 얇은 렌즈의 합성굴절력 공식의 구면굴절력과 실측값의 오차는 원주굴절력이 -2.00 D일 때 p=0.888, -4.00 D일 때 p=0.775, -6.00 D일

때 p=0.047로 원주굴절력이 -6.00 D인 경우에만 통계적으로 유의하게 증가하였다. 굴스트랜즈 공식 구면굴절력과 실측값의 오차는 모든 원주굴절력 도수에서 구면굴절력이 증가함에 따라 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다 (p=0.000).

Table 7. Comparison of B lens powers between calculated and estimated values when inserted a cylindrical lens inside and a spherical lens outside

Section	Cyl power(D)	Refractive power (D)					
		-2.00 <sup>a</sup> [-2.00] <sup>b</sup>		-4.00 <sup>a</sup> [-4.00] <sup>b</sup>		-6.00 <sup>a</sup> [-6.00] <sup>b</sup>	
	Sph power(D)	Sph	Cyl	Sph	Cyl	Sph	Cyl
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-2.00 <sup>a</sup> [-1.99] <sup>b</sup>	-1.99	-2.00	-1.99	-4.00	-1.99	-6.00
Gullstand's power		-1.98	-1.99	-1.98	-3.99	-1.98	-5.98
Estimated power		-2.01	-2.03	-2.06	-3.96	-2.07	-5.86
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-4.00 <sup>a</sup> [-3.97] <sup>b</sup>	-3.97	-2.00	-3.97	-4.00	-3.97	-6.00
Gullstand's power		-3.94	-1.99	-3.94	-3.97	-3.94	-5.95
Estimated power		-3.98	-2.01	-3.99	-3.97	-3.98	-5.91
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-6.00 <sup>a</sup> [-5.97] <sup>b</sup>	-5.97	-2.00	-5.97	-4.00	-5.97	-6.00
Gullstand's power		-5.91	-1.98	-5.92	-3.96	-5.91	-5.94
Estimated power		-5.99	-1.99	-5.95	-4.01	-5.93	-5.86
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-8.00 <sup>a</sup> [-8.04] <sup>b</sup>	-8.04	-2.00	-8.04	-4.00	-8.04	-6.00
Gullstand's power		-7.93	-1.97	-7.94	-3.95	-7.92	-5.91
Estimated power		-7.89	-2.03	-7.94	-3.98	-7.88	-5.89
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-10.0 <sup>a</sup> [-9.94] <sup>b</sup>	-9.94	-2.00	-9.94	-4.00	-9.94	-6.00
Gullstand's power		-9.76	-1.96	-9.77	-3.93	-9.74	-5.88
Estimated power		-9.74	-1.95	-9.75	-3.99	-9.61	-5.92
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-12.00 <sup>a</sup> [-11.96] <sup>b</sup>	-11.96	-2.00	-11.96	-4.00	-11.96	-6.00
Gullstand's power		-11.72	-1.96	-11.69	-3.91	-11.65	-5.84
Estimated power		-11.62	-1.90	-11.58	-4.01	-11.49	-5.95
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-14.00 <sup>a</sup> [-13.95] <sup>b</sup>	-13.95	-2.00	-13.95	-4.00	-13.95	-6.00
Gullstand's power		-13.57	-1.95	-13.52	-3.88	-13.47	-5.79
Estimated power		-13.34	-1.94	-13.36	-4.06	-13.18	-5.89
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-16.00 <sup>a</sup> [-15.90] <sup>b</sup>	15.90	-2.00	15.90	-4.00	15.90	-6.00
Gullstand's power		-15.38	-1.93	-15.32	-3.85	-15.25	-5.75
Estimated power		-15.04	-1.96	-15.18	-4.01	-14.89	-5.95
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-18.00 <sup>a</sup> [-17.96] <sup>b</sup>	-17.96	-2.00	-17.96	-4.00	-17.96	-6.00
Gullstand's power		-17.20	-1.92	-17.12	-3.81	-17.04	-5.69
Estimated power		-16.81	-1.96	-16.93	-3.97	-16.57	-5.94
D = D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>	-20.00 <sup>a</sup> [-19.97] <sup>b</sup>	-19.97	-2.00	-19.97	-4.00	-19.97	-6.00
Gullstand's power		-18.98	-1.90	-18.88	-3.78	-18.78	-5.64
Estimated power		-18.47	-1.91	-18.62	-3.98	-18.13	-6.01

<sup>a</sup>labelled power  
<sup>b</sup>estimated power

B사 시험렌즈를 대상으로 한 합성굴절력 평가에서 중첩된 렌즈의 원주굴절력 실측값이 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값과 차이가 가장 큰 도수는 표기상 S -2.00 D ◯ C -6.00 D와 S -6.00 D ◯ C -6.00 D였으며, 이때 실측 원주굴절력값은 -5.86 D, 얇은 렌즈 공식 원주굴절력값은

-6.00 D로 0.14 D만큼 차이가 있었다. 굴스트랜드 공식 원주굴절력값과 실측값의 차이가 가장 큰 도수는 표기상 도수 S -20.00 D ◯ C -6.00 D로 실측 원주굴절력값은 -6.01 D, 굴스트랜드 공식 원주굴절력값은 -5.64 D으로 0.37 D만큼 차이가 있었다. 원주굴절력 실측값은 얇은 렌

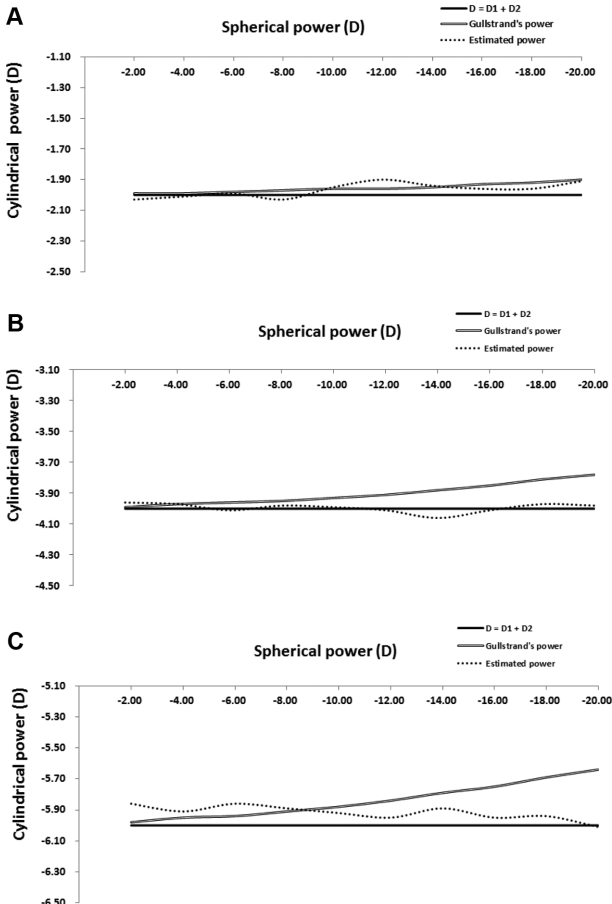


Fig. 5. Combined spherical power of B lens which inserted a cylindrical lens inside and a spherical lens outside.  
 A. -2.00 D as labelled cylinder power  
 B. -4.00 D as labelled cylinder power  
 C. -6.00 D as labelled cylinder power

즈 공식 원주굴절력값보다 평균 0.04 D만큼 저도수였으며  
 장입된 원주 렌즈 굴절력이 -2.00 D일 때  $p=0.670$ , -4.00 D  
 일 때와 -6.00 D일 때  $p=0.000$ 으로 -2.00 D인 경우를 제외  
 하고 통계적으로 유의하게 증가하였다. 굴스트랜드 공식 원  
 주굴절력값은 실측값과 비교하여 평균 0.06 D 만큼 저도수  
 였으며, 얇은 렌즈 공식 원주굴절력보다는 평균 0.10 D 만큼  
 저도수인 것으로 나타났다. 즉, 원주굴절력의 크기는 평균적  
 으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트랜  
 드 공식 굴절력값 순으로 나타났다(Fig. 5).

등가구면굴절력으로 A사와 B사 시험렌즈의 합성굴절력  
 을 비교해 본 결과, A사 시험렌즈의 경우 구면렌즈가 시  
 험테의 안쪽, 원주렌즈가 시험테의 바깥쪽에 장입되었을  
 때 합성굴절력의 전체 평균은  $-12.96 D \pm 5.90 D$  였으나  
 구면렌즈가 시험테의 바깥쪽, 원주렌즈가 시험테의 안쪽  
 에 장입되었을 때 전체 평균은  $-12.41 D \pm 5.37 D$  였다. B  
 사 시험렌즈의 경우 구면렌즈가 시험테의 안쪽, 원주렌즈  
 가 시험테의 바깥쪽에 장입되었을 때 합성굴절력의 전체

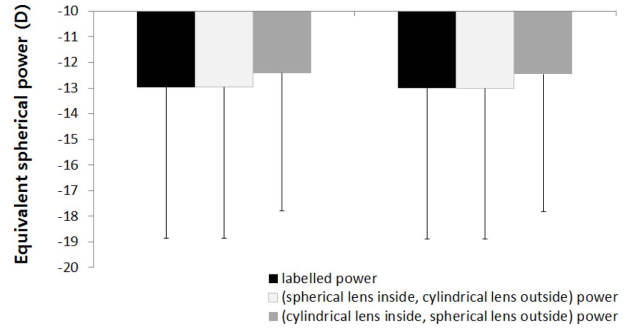


Fig. 6. Difference of equivalent spherical power of spherical lens and cylindrical lens according to inserting order in lens frame.

평균은  $-13.00 D \pm 5.91 D$  였으나 구면렌즈가 시험테의  
 바깥쪽, 원주렌즈가 시험테의 안쪽에 장입되었을 때 전체  
 평균은  $-12.45 D \pm 5.38 D$  였다. 표기상 도수로 등가구면굴  
 절력을 계산하였을 때는  $-13.00 D \pm 5.90 D$ 로 구면렌즈를  
 시험테의 안쪽, 원주렌즈를 시험테의 바깥쪽에 장입하였  
 을 때와의 차이가 더 적음을 알 수 있었다(Fig. 6).

본 연구에서는 자각식 굴절검사의 가장 기초적인 검안  
 장비인 시험렌즈 세트의 표기오차를 측정해 보았다. 2007  
 년도에 보고된 바 있는 국산 시험렌즈 세트의 실태조사  
 연구에 의하면 국내에 유통되고 있는 마이너스 구면렌즈  
 와 마이너스 원주렌즈가 국제규격과 비교하였을 때 규격  
 미달이 30%에 이른다고 한 바 있다.<sup>[2]</sup> 또한 2008년에 연  
 구된 다른 연구<sup>[7]</sup>에서도 유사한 결과가 나와 국내에 유통  
 되고 있는 시험렌즈 세트들의 품질에 대한 문제제기는 이  
 어져 왔다. 이러한 시험렌즈에서의 연구와는 달리 본 실험  
 에서 사용된 두 제조사의 시험렌즈 2세트 중 규격을 벗어  
 나는 렌즈는 총 79개 중 3개에 불과하여 굴절력 표기 오  
 차를 검토하였을 때 2007년과 2008년의 연구에서보다 시  
 험렌즈의 규격이 크게 향상된 것을 확인할 수 있었다. 그  
 러나 본 연구에서도 여전히 렌즈 두께는 일정하지 않았으며,  
 광학중심이 기하학적중심과 어긋나는 문제점은 여전히 개  
 선되어 있지 않은 것으로 나타났다.

중첩 순서에 따라 정점간거리의 차이가 발생한 것으로  
 보아 합성굴절력에 차이가 발생할 것으로 예측하여 단순  
 히 얇은 렌즈 공식 굴절력만으로 합성굴절력을 계산한다  
 면 정확한 합성굴절력을 나타낼 수 없을 것으로 보인다.  
 A 렌즈와 B 렌즈 모두 두 렌즈를 장입한 상태에서 실측  
 한 굴절력을 비교하였을 때 원주렌즈가 -2.00 D의 저도수  
 일 경우보다 고도수일수록 얇은 렌즈 공식 원주굴절력과  
 실측값의 차이가 커졌으며, 구면렌즈 도수가 커질수록 이  
 러한 원주굴절력의 차이가 더 커졌다. 정점간거리를 보정  
 하는 굴스트랜드 공식 굴절력을 비교하였을 때, 구면렌즈  
 가 안쪽, 원주렌즈가 바깥쪽에 장입되었을 경우에는 굴스

트렌드 공식 굴절력은 원주굴절력값만 변화가 발생하지만 원주렌즈가 안쪽, 구면렌즈가 바깥쪽에 장입하였을 경우에는 구면굴절력과 원주굴절력 모두에서 차이를 보이게 된다. 렌즈의 중심두께 및 주변부두께가 일정하다면 정점간거리를 보정한 상태의 굴절력이 실측굴절력과 동일할 것으로 예측되었지만 실측값은 굴스트렌드 공식 굴절력과도 차이가 나타났다. 또한, 두 제조사의 렌즈를 비교하여 보았을 때, 각 렌즈의 원주도수와 구면도수에 따라 실측값이 다르게 나타나 도수 외의 다른 기준 규격이 없는 상태에서 단순히 정점간거리만의 보정으로는 실제 시험테에 장입한 렌즈의 합성굴절력을 반영할 수 없다는 것을 알 수 있었다.

실측값의 등가구면굴절력을 비교하였을 때 구면렌즈가 시험테의 안쪽, 원주렌즈가 시험테의 바깥쪽에 장입된 경우가 평균적으로 높은 수치를 보인다는 것은 과교정의 우려가 작다는 것을 의미하는 것으로 원주렌즈 도수와 구면렌즈 도수에 따라 차이가 있으나 평균적으로 구면렌즈가 시험테의 안쪽, 원주렌즈가 바깥쪽에 장입되는 것이 바람직하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 구면렌즈가 안쪽, 원주렌즈가 바깥쪽에 장입된 경우에는 원주굴절력의 변화만이 나타났으며 구면굴절력의 변화가 거의 없었던 반면에 원주렌즈가 시험테의 안쪽, 구면렌즈가 시험테의 바깥쪽에 장입된 경우에는 구면굴절력이 크게 감소하고 원주굴절력도 감소하는 경향을 보여 도수 변화를 예측하기가 더욱 어려운 문제점이 있었다.

구면렌즈가 시험테의 바깥쪽, 원주렌즈가 시험테의 안쪽에 장입된 경우 실측된 구면굴절력과 원주굴절력이 모두 감소하는 경향을 보여 원주렌즈가 안쪽에 장입되는 경우에는 구면렌즈가 안쪽에 장입되었을 때와는 달리 구면굴절력과 원주굴절력 모두 변화였다. 또한, 굴절력이 큰 렌즈가 바깥쪽에 장입될 경우 굴스트렌드 공식 굴절력과 실측굴절력의 차이가 더 컸기 때문에 시험테에 렌즈를 장입할 때는 굴절력이 큰 렌즈를 안쪽에 장입하는 것이 바람직하다고 사료된다.

시험테에 시험렌즈를 장입하여 도수를 측정하였을 때 도수나 제조사에 따라 오차가 나타나는 것은 장입된 렌즈 사이의 정점간거리와 광학중심이 어긋남으로 인해 발생하는 수차가 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 시험테를 수평으로 유지한 상태에서도 오차를 보였기 때문에 피검자가 착용한 상태에서 경사각을 달리하거나 정점간거리가 착용할 안경과 다르다면 더욱 큰 차이를 보일 것이다.<sup>[8,9]</sup> 렌즈의 두께가 렌즈의 정점간거리에 큰 영향을 끼치는데 시험에 사용된 제품은 도수 규격에는 부합하였으나 렌즈의 두께가 불규칙하였기 때문에 실험결과에서 예측하지 못한 오차가 발생할 수 있으므로 시험렌즈의 규격에 좀

더 명확한 기준과 관리가 필요할 것으로 보인다.

## 결 론

본 연구에서는 시험테에 원주렌즈와 구면렌즈를 중첩하였을 때 바깥쪽에 위치한 렌즈의 경우는 정점간거리가 멀어지기 때문에 단순히 얇은 렌즈 공식으로는 실제 도수와 차이가 있음을 확인하였다. 또한, 정점간거리를 보정하는 굴스트렌드 공식 굴절력은 얇은 렌즈 공식 굴절력보다 실측값과의 차이가 더 작아 정확도가 상대적으로 높았으나 여전히 실측값과는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 고도수인 경우 차이가 더 커지는 경향이 있음을 알 수 있었다. 굴절력의 크기는 원주렌즈와 구면렌즈의 위치와 상관없이 평균적으로 얇은 렌즈 공식 굴절력값 > 실측 굴절력값 > 굴스트렌드 공식 굴절력값 순으로 나타났으나 장입된 렌즈의 굴절력과 순서에 따라 정도의 차이가 있어, 고도수의 피검자에게 시험테로 최종 검수를 하기 전 도수를 측정해 볼 필요가 있다고 판단되었다. 또한, 시험테에 시험렌즈를 장입할 때에도 정형화된 방식으로 꼭 구면렌즈를 안쪽에 장입하는 것이 아니라 원주굴절력이 구면굴절력보다 큰 피검자에게서는 원주렌즈를 안쪽에 장입하는 것이 오차를 줄일 수 있는 방법으로 보인다.

또한 시험렌즈 자체의 규격 평가에서 렌즈의 중심부와 주변부 두께 증감이 도수의 증감과 일정한 차이를 보이지 않았으므로 이러한 차이가 시험테에 구면렌즈와 원주렌즈를 중첩하였을 때 중첩 위치에 따라 합성굴절력 차이를 유발하는 원인이 될 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 사용된 시험렌즈는 선행된 연구의 시험렌즈보다 굴절력의 오차가 향상된 제품으로 선행된 연구에서와 같이 굴절력 오차가 더 크거나 광학중심이 기하학적 광학중심에서 어긋나고 두께가 불규칙한 시험렌즈가 사용되었다면 오차가 더 크게 발생할 수 있을 것으로 보인다. 따라서, 렌즈의 중첩은 시력검사에 영향을 줄 정도의 오차가 발생할 수 있으므로 시험테 또한 고정된 제품이 아닌 피검자가 착용할 안경에 맞춰 정점간거리, 동공간거리, 경사각 등을 조정할 수 있는 제품의 개발과 함께 규격 기준의 정립이 필요할 것으로 보인다. 시험렌즈의 렌즈 중심부와 주변부 두께 및 광학중심이 규격화 및 표준화되어 일괄되게 제작된다면 시험테에 렌즈를 중첩하였을 때 발생하는 도수 변화를 표로써 제작하여 안경 처방에 활용할 수 있으므로 이러한 관점에서의 문제해결도 가능할 것으로 보인다.

## REFERENCES

- [1] Kang HS. An introduction to visual optics, 2nd Ed. Seoul:

- Shinkwang, 2004;25-27.
- [2] Park SY, Mun BY. Research on the actual state of domestic trial lens. Korean J Vis Sci. 2007;9(4)401-412.
- [3] Chun YS, Kim HS, Lee JU, Park SC. Optical design of cemented doublets by using equivalent lens system. Korean J Optics Photonics. 1998;9(5):282-290.
- [4] Kim JK, Kang MG. A study of the power of glasses lens and that of trial lens. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 1998;3(1):263-267.
- [5] Lee JU, Kim KS. Generalization of equivalent lens conversion and third order aberration formulae of the generalized equivalent lens system. Korean J Optics Photonics. 1996;7(4):305-313.
- [6] Lee JU, Park SC. Generalized lens group conversion to their equivalent lenses. Korean J Optics Photonics. 1998;9(4):251-257.
- [7] Moon BY. Comparative analysis of refractive power on trial case Lenses. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(4):321-334.
- [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 Ophthalmic Opt Soc. 2004;9(1):19-27.

## The Evaluation of Reliability for the Combined Refractive Power of Overlapping Trial Lenses

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

Dept. of Optometry, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 01811, Korea

(Received August 17, 2015: Revised September 4, 2015: Accepted September 7, 2015)

**Purpose:** The current study aimed to evaluate the reliability for the combined refractive power when a spherical lens and a cylindrical lens were overlapped in a trial frame. **Methods:** The refractive powers, central thickness and peripheral thickness of spherical trial lenses and cylindrical lenses with negative power were measured. The combined refractive power of the spherical and cylindrical lenses was measured by auto lens meter. Measurement was repeated by changing the insertion order, and their results were further compared with the calculated combined refractive power. **Results:** There was no correlation between the variation of central and peripheral thickness in trial lenses and that of the lens power. Among 79 trial lenses, 3 trial lenses wasn't met the international standard. The refractive power calculated by Gullstrand's formula that could compensate vertex distance had smaller difference with the estimated power when compared with that calculated by thin lens formula however, it was significantly different from the estimated power. The refractive powers were generally apparent regardless of the insertion order of a spherical lens and a cylindrical lens: thin lens formula > actual measurements > Gullstrand's formula. The error was only found in cylindrical power calculated by Gullstrand's formula when inserted a spherical lens inside and a cylindrical lens outside however, the error was found in both of cylindrical and spherical powers calculated by Gullstrand's formula when inserted as a opposite order. By comparing actual measurements of equivalent spherical power, the accuracy was higher and the possibility of over-correction was lower when inserted a spherical lens inside and a cylindrical lens outside. **Conclusions:** From the results, those were revealed that the combined refractive power is influenced by the factors other than the vertex distance and the refractive power varies in accordance with the insertion order of a spherical lens and a cylindrical lens. Thus, it can be suggested that the establishment of standard for these is necessary.

**Key words:** Trial lens, Combined refractive power, Gullstrand's formula, thin lens formula, Reliability