케라토미터의 바이프리즘 원리를 이용한 골프거리측정기에 관한 연구

차 정 원*

신흥대학교 안경광학과, 의정부 480-701

투고일(2013년 10월 29일), 수정일(2013년 11월 25일), 게재확정일(2013년 12월 14일)

목적: 본 연구는 망원경과 바이프리즘(biprism)을 이용하여 골퍼로부터 깃대까지의 거리를 정확히 측정할 수 있는 골프 거리측정기를 개발하기 위한 것이다. **방법:** 망원경내부에 이동 가능한 바이프리즘을 포함시켜 골프거리측정기를 제작하였으며, 20~200 m 거리에서 제작된 거리측정기의 정확도를 분석하였다. **결과:** 바이프리즘의 위치에 따라 거리를 계산할 수 있는 방정식을 유도하였으며 개발된 골프거리측정기를 이용하여 성공적으로 거리를 측정할 수 있었다. 2 Δ의 바이프리즘이 짧은 거리의 측정에서는 유용했지만 먼 거리의 측정에서는 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다. 먼 거리의 측정에는 0.5 Δ이 더 유용한 것으로 나타났다. 먼 거리를 측정하기 위하여 바이프리즘이 대물렌즈의 초점부근으로 접근할 때 상이 나빠지는 현상이 나타났으며, 이러한 약점을 보완하기 위하여 다층형 바이프리즘을 개발하였다. **결론:** 바이프리즘을 이용하여 손떨림에 구애받지 않고 거리를 잘 측정할 수 있었으며 유도한 거리계산 방정식이 유용함을 확인하였다. 먼 거리를 측정하기 위하여 바이프리즘이 대물렌즈의 초점부근으로 접근했을 때 새로이 고안된 다층형 바이프리즘이 일반적인 바이프리즘보다 유용하다는 것을 확인하였다.

주제어: 망원경, 바이프리즘, 다층형 바이프리즘, 골프 거리측정기

서 론

골프경기에서 골퍼와 깃대사이의 거리를 정확히 측정하여야 골퍼가 거리에 맞는 골프채를 선택할 수 있으므로 깃대까지의 거리를 정확히 측정하는 것은 중요한 일이다. 거리를 측정하는 방법은 매우 다양하지만^[1] 골프경기용으로 사용되는 것은 망원경방식, GPS를 이용하는 방식, 레이저를 이용하는 방식 등 3종류이다. 깃대까지의 거리를 측정할 수 있는 가장 간단한 거리측정기는 깃대의 높이가 2.4 m로 거의 일정하다는 특성을 이용하여, 망원경 대물렌즈의 초점위치에 놓인 레티클에 새겨진 눈금의 크기와 깃대의 크기를 비교하여 거리를 측정하는 방법이다.^[2]

깃대의 크기가 가까에서보면 크게 보이고 멀리서 보면 작게 보인다는 점에 착안하여 케플러식 망원경의 대물렌즈 초점 위치에 레티클을 두고 그 레티클에 깃대의 크기를 측정할 수 있는 눈금을 그려 넣어 집안렌즈로 레티클에 새겨진 눈금과 깃대의 크기를 비교하여 깃대까지의 거리를 측정하는 망원경식 거리측정기가 판매되고 있다.^[3]

그러나, 이러한 망원경식 거리측정기는 레티클의 크기가 너무 작아 눈금간격을 매우 대략적으로 그려놓았으

로 거리측정을 대략적으로 밖에 할 수 없다. 또한, 눈금이 새겨져 있는 망원경을 손으로 들고 깃대를 관찰하게 되므로 손의 미세한 떨림에 의해 망원경에 새겨진 눈금과 깃대의 크기를 정확히 일치시키기 힘들어 거리측정에 어려움이 발생하므로 실제 골프경기에서 사용하기에는 제약이 많지만 대중적으로 쉽게 보급이 가능하다는 장점이 있다.

또한 깃대에 레이저를 쏘아서 반사된 광선을 이용하여 거리를 측정하는 레이저 거리 측정장치는 정확도가 높은 장점이 있으나, 가격대가 높다는 단점이 있다.^[4] 또한 GPS 장치를 이용하여 골퍼와 그린의 중앙 혹은 가장자리까지의 거리를 측정하는 GPS를 이용한 거리 측정장치^[5]는 깃대의 위치와 상관없이 거리를 측정하므로 깃대의 위치가 변하게 되면 정확한 거리를 어렵으로 짐작해야 하는 것이고, 특히 가까운 거리에서 어프로치샷을 할 때에는 깃대의 위치에 따라 2배 가까이 거리차가 발생할 수도 있다. 새로운 골프장이 생길 때 마다 지속적으로 업그레이드를 해주어야 하는 불편함도 있다. 따라서 대중적으로 쉽게 보급이 가능하면서도 거리측정 정밀도가 높은 골프거리측정기의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 이와 같이 대중적으로 쉽게 보급이 가

*Corresponding author: Jung Won Cha, TEL: +82-31-870-3434, E-mail: jwcha@shc.ac.kr

능한 망원경 방식을 개선하여 대략적으로 그려진 눈금문제, 손떨림 문제, GPS 방식의 어림짐작으로 거리를 측정하는 문제, 레이저방식의 비용 문제를 동시에 개선하기 위한 것으로서, 각막곡률계의 이중화프리즘 원리를 이용하여 대중적으로 쉽게 보급이 가능하면서 어림짐작이 아닌 실제 깃대까지의 거리를 측정할 수 있고, 손 떨림과 같은 진동 발생 시에도 깃대와 의 거리를 정밀하게 측정할 수 있는 거리측정기를 개발하고자 한다.

대상 및 방법

1. 이론적 배경

각막의 곡률반경을 측정하기 위한 기기의 종류는 다양하며 그 원리 또한 다양하다.^[5-7] 그 중 이중화 프리즘을 이용하는 것도 한 가지 방식이며, 이러한 종류의 각막곡률계로 각막의 곡률반경을 측정할 때 각막곡률계 전면면에 부착된 마이어가 각막전면에 비추어져서 생성된 마이어상의 크기를 현미경을 이용하여 측정함으로써 각막의 곡률반경을 계산하게 된다.^[8,9] 이 때, 눈동자가 움직임에 따라서 마이어상이 움직이므로 크기를 측정하는데 어려움을 겪게 되고 이 문제점을 해결하기 위하여 각막곡률계 내부에 이중화 프리즘을 두어 이중화 정도가 상의 크기와 같게 될 때 이중화프리즘의 위치를 읽어서 각막의 곡률반경을 계산해 낼 수 있다.^[8,9] 이렇게 하면 측정하는 동안 눈동자가 움직이더라도 각막곡률반경 측정에 영향을 주지 않게 된다.^[8,9]

Fig. 1. The extent of doubling image become different along with a position of biprism. (a) When the biprism position is in left, the extent of doubling image is bigger than image size, (b) When the biprism position is in proper position, the extent of doubling image is same with image size. So the distance to the object can be measured by reading biprism position

이러한 원리를 응용하면 망원경 방식의 거리측정기로 깃대를 바라볼 때 손 떨림으로 인하여 레티클에 새겨진 눈금과 망원경으로 본 깃대의 상을 일치시키기 어렵기 때문에 물체의 크기를 정확히 측정하지 못하는 점을 개선할 수 있을 것이라는 점에 착안하였다.

망원경의 내부에 이중화프리즘 역할을 하는 바이프리즘을 위치시키면 상이 이중화될 것이며, Fig. 1(a)와 같이 바이프리즘의 위치가 좌측에 위치하면 상의 이중화 정도가 커지고, Fig. 1(b)와 같이 바이프리즘의 위치가 우측으로 움직이면 상의 이중화 정도가 작아진다. 깃대까지의 거리가 멀면 깃대가 작게 보이고 가까이 있으면 크게 보이므로 거리에 따라 깃대의 크기가 다르게 보인다는 점을 이용하고, Fig. 1(b)와 같이 상의 이중화 정도가 상의 크기와 같아졌을 때 바이프리즘의 위치를 읽으면 깃대까지의 거리로 환산할 수 있을 것이라고 가정한 후 이를 확인할 수 있는 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

바이프리즘을 제작하기 위하여 시험렌즈세트용 프리즘을 잘라서 기저방향을 서로 마주보게 부착시켜 바이프리즘을 제작하였다. 프리즘을 자르는 기구로는 Fig. 2와 같이 다이아몬드 블레이드가 느린 속도로 서서히 회전하여 프리즘을 깨끗하게 절단할 수 있도록 자체 제작한 커팅머신을 사용하여 커팅 하였다.

망원경 경통은 바이프리즘을 경통내부에서 왕복가능하게 설치하기 위하여 경통의 주변부에 긴 홈을 잘라낸 후 바이프리즘을 넣어서 외부에서 수동으로 바이프리즘을 움직일 수 있게 제작하였다. 망원경 대물렌즈의 초점거리는 20 cm 였으며, 접안렌즈는 유효초점거리 25 mm의 플리슬대칭형 접안렌즈^[10]를 사용하여 8x 배율을 갖도록 하였으며, 바이프리즘은 상하 꼭지각이 각각 2°씩 되는 것으로

Fig. 2. Prism cutting machine which is self manufactures by using diamond blade.

1차 실험을 한 후, 다시 상하 꼭지각이 각각 0.5 Δ씩 되는 것을 이용하여 2차 실험을 수행하였다. 만들어진 거리 측정기의 정확도를 확인하기 위하여 바람이 불지 않을 때 깃대위의 깃발이 늘어져 있는 길이인 55 cm 의 타겟을 제작한 후 제작된 거리측정기를 이용하여 주시거리 20 m, 30 m, 50 m, 60 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m, 200 m에서 각각의 거리를 측정하여 오차와 표준편차 값을 계산하였다.

결 과

1. 이론식 도출

바이프리즘을 이용하여 깃대까지의 거리를 측정하기 위하여 상의 이중화 정도를 깃대까지의 거리측정 눈금으로 환산할 수 있는 계산식을 도출할 필요가 있으므로 아래의 방법을 이용하여 새로운 계산식을 도출하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이

$$\tan \theta = \frac{y}{s} = \frac{y'}{s'} \approx \frac{y'}{f'} \quad (1)$$

이므로 이중화 되어있는 대물렌즈에 의한 상(이하 중간상)의 크기 y' 은

$$y' = \frac{yf'}{s} \quad (2)$$

이며, 바이프리즘의 꼭지각(정각)이 작으므로 바이프리즘에 의하여 꺾이는 각을 최소꺾임각으로 근사치를 취하면^[11]

$$\delta_{\min} = A(n-1) \quad (3)$$

이 되며, 바이프리즘의 아랫부분과 윗부분으로 통과한 광선이 중간상 위치에서 각각 $\frac{y'}{2}$ 씩 상하로 편위 되었을 때 적정위치가 되므로 식 (4)와 같은 관계식이 성립할 때의 x 가 프리즘의 적정위치가 된다.

$$\tan(\delta_{\min}) = \frac{\left(\frac{y'}{2}\right)}{x} \quad (4)$$

식 (4)를 다시 정리하면

Fig. 3. Symbols for inducement of theoretical equation.

$$x = \frac{y'}{2 \tan(\delta_{\min})} \quad (5)$$

식 (5)에 식 (2)와 (3)를 대입하면

$$x = \frac{yf'}{2s \tan(A(n-1))} \quad (6)$$

여기서,

y : 깃대의 높이

y' : 대물렌즈에 의한 상의 크기

s : 대물렌즈에서 깃대까지의 거리

s' : 대물렌즈에서 중간상까지의 거리

x : 중간상에서 바이프리즘 까지 거리

A : 바이프리즘의 꼭지각,

$\delta_{\min}$: 프리즘의 최소꺾임각

θ : 깃대의 양 끝을 바라보는 시야각

f' : 대물렌즈의 초점거리

이다.

그러므로 깃대까지의 거리 s 를 측정하기 위한 바이프리즘의 적정위치는 식 (6)과 같이 중간상에서 바이프리즘 까지 거리 x 로 나타낼 수 있다. 그러므로 식 (6)을 기반으로 하여 물체까지의 거리를 측정할 수 있는 눈금판을 만들 수 있다.

2. 실험결과

제작된 거리측정기를 Fig. 4에 나타내었으며, 이를 이용하여 타겟을 관측한 결과 Fig. 5와 같이 타겟이 2개로 이중화 되어 관찰됨을 확인 하였다. 바이프리즘의 위치가 대물렌즈에 가까워지면 타겟의 이중화 정도가 커지는 것을 확인할 수 있었으며 바이프리즘의 위치가 대물렌즈에서 멀어지면 타겟의 이중화 정도가 작아지는 것도 확인 하였다.

Fig. 4. We made golf range finder which shows scale from 2 Δ biprism data in Table 1.

Fig. 5. Signs of distance 70 m and 150 m in driving range are well doubled at that distance.

Table 1. The distance s from objective lens to object is related with a position x of biprism

s (m)	x (mm), using 2Δ	x (mm), using 0.5Δ
20	137.5	550.0
25	110	440.0
30	91.7	366.7
35	78.6	314.3
40	68.7	275.0
45	61.1	244.4
50	55.0	220.0
55	50.0	200.0
60	45.8	183.3
65	42.3	169.2
70	39.3	157.1
75	36.7	146.7
80	34.4	137.5
85	32.4	129.4
90	30.6	122.2
95	28.9	115.8
100	27.5	110.0
105	26.2	105.8
110	25.0	100.0
115	23.9	95.7
120	22.9	91.7
125	22.0	88.0
130	21.2	84.6
135	20.4	81.5
140	19.6	78.6
145	19.0	75.9
150	18.3	73.3
155	17.7	71.0
160	17.2	68.8
165	16.7	66.7
170	16.2	64.7

Table 1. Continued

s (m)	x (mm), using 2Δ	x (mm), using 0.5Δ
175	15.7	62.9
180	15.3	61.1
185	14.9	59.5
190	14.5	58.9
195	14.1	56.4
200	13.8	55.0

x (which is calculated by eq. 6) is distance from focal point of objective lens to biprism

또한, 망원경으로 타겟을 관찰 할 때 손 떨림에 의하여 타겟이 움직이더라도 이중화 되어있는 두 개의 상이 마치 붙어있는 것처럼 동시에 움직여 이중화된 정도를 관찰하는데 전혀 불편함을 느끼지 않았으므로, 바이프리즘의 적용으로 인하여 손 떨림에 의한 거리측정의 불편함이 제거되었음을 확인할 수 있었다.

또한 타겟까지의 거리를 측정하기 위하여 대물렌즈 초점거리 20 cm와 바이프리즘 꼭지각 2Δ 을 식 (6)에 대입하여 거리측정용 눈금을 계산하였으며, 계산결과는 Table 1과 같이 나타났다. 이를 근거로 만든 거리측정용 눈금판을 Fig. 4와 같이 망원경의 경통에 부착하여 거리를 측정할 수 있도록 하였다.

이렇게 만들어진 거리측정기를 이용하여 바람이 불지 않을 때 깃발의 길이인 높이 55 cm의 타겟을 제작하여, 주시거리 20 m, 30 m, 50 m, 75 m, 100 m, 125 m, 150 m에서 각각 거리를 5회씩 측정하고 이를 평균하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. Table 2에 나타난 바와 같이 가까운 거리에서는 거리측정오차와 표준편차가 작게 나타나 정확히 깃대까지의 거리를 측정해야하는 골프 어프로치를 위한 샷게임 용으로는 우수한 성능을 나타내는 것으로 조사되었다. 그러나 측정거리가 멀어지면 거리측정오차와 표준편차가 커지는 경향이 나타나며, 150 m에서는 오차가 매우 커지는 것으로 보아 약 140 m 이상의 거리에서는 사실상 거리측정이 어려운 것으로 나타났다.

Table 2. Measurement distance data from objective lens to object by using golf range finder with 2 Δ biprism

unit: m

Distance	Measurement distance by using golf range finder					Average	Error (average-distance)	Standard deviation
20	19.5	20	20	20	19.8	19.86	-0.14	0.20
30	30	30.5	29	29.5	30	29.8	-0.2	0.51
50	50	51	50	50	49	50	0	0.63
75	80	75	80	80	78	78.6	3.6	1.96
100	110	100	105	110	105	106	6	3.74
125	130	130	130	140	130	132	7	4.00
150	170	175	175	165	170	171	21	3.74

Table 3. Measurement distance data from objective lens to object by using golf range finder with 0.5 Δ biprism

unit: m

Distance	Measurement distance by using golf range finder					Average	Error (average-distance)	Standard deviation
60	60	61	60	60	61	60.4	0.4	0.49
75	73	76	75	76	75	75	0	1.10
100	106	103	105	106	104	104.8	4.8	2.61
125	127	130	125	125	132	127.8	2.8	2.79
150	155	153	155	150	157	154	4	2.37
200	220	210	200	220	215	213	13	7.48

고 찰

물체까지의 거리가 멀어지면 거리측정오차 값이 커지게 되는 이유는 망원경을 통해 보는 물체의 크기가 상대적으로 작게 보이므로 정확히 끝점을 일치시키는 데 오차가 증가되며, 식 5에 의하여 얻은 바이프리즘의 위치와 물체까지 거리(s)의 관계가 물체가 멀어지면 눈금판의 눈금간격이 Fig. 4와 Table 1에 나타난 바와 같이 점점 조밀해 지므로 눈금위치의 오차가 상대적으로 더 크게 드러나게 되는 것으로 생각된다.

이를 해결하기 위해서는 바이프리즘의 꼭지각이 상하 각각 0.5 Δ 인 바이프리즘을 추가로 제작 한 후 2 Δ 의 바이프리즘과 두 가지를 사용하여, 가까운 거리에서는 2 Δ 의 바이프리즘을 사용하고, 측정거리가 멀어지면 0.5 Δ 의 바이프리즘으로 교환하여 사용하는 프리즘 교환방법을 사용하게 되면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 0.5 Δ 의 바이프리즘을 이용하였을 때 계산되는 눈금간격과 2 Δ 의 바이프리즘을 이용하였을 때의 눈금간격을 Table 1에 비교제시 하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 100 m 이상의 거리에서 2 Δ 를 이용하면 눈금간격이 매우 조밀한 반면 0.5 Δ 를 이용하면 100 m 이상의 거리에서도 눈금간격은 매우 넓게 유지할 수 있어서 먼 거리에서 측

정오차를 줄일 수 있음을 알 수 있다. 이를 확인하기 위하여 0.5 Δ 의 바이프리즘을 제작하여 Table 2에서와 동일한 실험을 수행한 결과 Table 3과 같은 결과를 얻었다. 여기서, 0.5 Δ 의 경우 Table 1에 나타난 바와 같이 측정거리 60 m 미만은 x값이 200 mm 이상이므로 대물렌즈의 초점거리 20 cm 보다 큰 값이 되어 측정할 수 없다.

Table 3에서 보는 바와 같이 먼 거리에서의 거리측정오차와 표준편차가 감소하였음을 알 수 있었다. 그러므로 60 m 이하의 짧은 거리에서는 2 Δ 의 바이프리즘을 사용하고 60~200 m의 긴 거리에서는 0.5 Δ 의 바이프리즘을 사용하면 본 연구에서 목표로 하였던 골프거리측정기 측정범위인 20~200 m의 범위를 측정할 수 있는 것으로 나타났다.

또 다른 한가지의 문제점으로는 먼 거리를 측정할 때 바이프리즘이 대물렌즈에서 멀어져서 대물렌즈의 초점위치 가까이 가게 되면 이중화되어 있는 상 중 한 개는 진하게 보이고 다른 하나는 보이지 않거나 매우 흐려져서 Fig. 6에 나타난 바와 같이 이중화 되어있는 상을 관찰하기 어려워진다는 사실이었다.

먼 거리를 측정하기 위하여 바이프리즘이 대물렌즈의 초점가까이 접근했을 때 이중화 된 상 가운데 하나가 보이지 않거나 매우 어둡게 보이는 현상은 바이프리즘이 대물렌즈와 가까이 있을 때는 나타나지 않는다. 그 원인으로

Fig. 6. When biprism approach to focal point of objective lens, we can't see doubling image of 150 m sign.

Fig. 7. When biprism approach to focal point of objective lens, a bundle of ray from top of flag pass by low half only of biprism. So the image can't be doubling. Observer can see only one image.

Fig. 8. (a) Concept of multi-layer biprism, (b) multi-layer biprism in this study.

는 Fig. 1에서와는 달리 Fig. 7에서와 같이 깃대의 상단에서 출발한 광선의 광선다발의 크기가 대물렌즈의 초점부근에서는 매우 작아져서 바이프리즘을 통과할 때 아래반쪽 부분만 통과하기 때문에 위쪽 반 부분으로 통과하는 광선이 거의 없어 이중화된 상 가운데 하나가 거의 보이지 않을 정도로 밝기가 약하게 나타나는 것으로 생각된다.

이에 대한 보완방법으로 작은 바이프리즘을 여러 층으로 겹쳐서 만들게 되면 작아진 광선다발까지도 이중화시킬 수 있을 것으로 생각하여 Fig. 8에서와 같은 다층형 바이프리즘을 구상하여 제작하였다.

Fig. 8과 같은 다층형 바이프리즘을 이용하면 Fig. 9에서와 같이 먼 거리를 측정할 때 대물렌즈의 초점 가까이에서 광선다발이 작아진다 하더라도 Fig. 7에서와는 다르게

Fig. 9. We can see that the image is in doubling when biprism approach to focal point of objective lens because multi-layer biprism is used.

작은 바이프리즘으로 인하여 상이 두 개로 나누어 질 수 있어 이중화된다는 사실을 짐작할 수 있다. 또한 이렇게 만들어진 다층형 바이프리즘을 이용하여 실험한 결과 바이프리즘이 대물렌즈의 초점부근에 왔을 때 상 관찰이 더 용이해 짐을 알 수 있었다. Fig. 5의 두 사진은 모두 0.5Δ 의 다층형 바이프리즘을 이용하여 촬영한 사진이며, 바이프리즘이 대물렌즈에 가까워지는 70 m 거리와 대물렌즈의 초점에 가까워지는 150 m 거리에서 모두 잘 이중화됨을 볼 수 있다. 아직 조금 부족한 부분은 광학설계 프로그램을 이용하여 렌즈들과 다층형 바이프리즘에 대한 광학설계를 수행하여 보다 선명하고 정확도 높은 제품을 완성하는 것이며, 이에 관하여는 추후에 좀 더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결 론

본 연구에서는 대중적으로 쉽게 보급이 가능하면서 골프 깃대까지의 거리를 정확히 측정할 수 있는 거리측정기를 개발하기 위하여 각막곡률계의 원리를 응용하여 적용시켰다. 망원경내부에 바이프리즘을 도입하여 거리를 측정하고자 하였으며, 이를 위하여 바이프리즘의 위치에 따른 거리측정 공식을 성공적으로 도출하였다. 또한 망원경내부에 바이프리즘을 이용함으로써 상을 두 개로 분리하여 진동에 의해 하우징이 흔들리더라도 두 개의 상이 마치 붙어있는 것과 같이 함께 움직이도록 하여 손 떨림과 같은 진동 발생 시에도 깃대와외의 거리를 정밀하게 측정할 수 있는 바이프리즘을 이용한 골프 거리 측정기를 개발하는 것에 성공하였다. 또한 거리 측정시 2Δ 의 바이프리즘을 이용하였을 때 가까운 거리는 잘 측정 되는 반면 먼 거리에서 오차가 증가하는 현상을 보완하기 위하여 0.5Δ 의 바이프리즘을 추가로 사용하여 먼 거리의 거리측정 또한 잘 될 수 있다는 것을 알게 되었으며, 이는 전체거리를 측정하기 위하여는 2Δ 과 0.5Δ 두 가지의 바이프리즘을 이용하여야 한다는 것을 알게 되었다. 또한 바이프리즘이 접안렌즈에 가까워 졌을 때 분리된 두 개의 상 중 한 개가 잘 보이지 않게 되는 현상을 보완하기 위하여 다층형 바이프리즘을 구상하고 제작하여 시험한 결과 이러한 단점

이 보완됨을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Yeu BM. Survey Engineering, 5th Ed. Seoul: Pakyoungsa, 2005;48-85, 299-310.
- [2] Yu SI. Optical distance measuring device for golf. Korea 20-0192066, 2000.
- [3] Hantaro golf.Rangefinders, 2013. http://www.hantaro.co.kr/front/product/product_list.php?pinid=14640 (25 October 2013).
- [4] Nikon. Laser Rangefinders, 2013. <http://www.nikon.com/products/sportoptics/lineup/laser/index.htm> (25 October 2013).
- [5] Lim SG, Lee MH, Choi SM, Park SH, Kim SR, Park MJ. A relationship between corneal type, corneal astigmatism and lens fitting states and the stable centration of spherical RGP lens. J Korean Oph Opt Soc. 2012;17(2):143-151.
- [6] Chio HS, Kim DH. The comparative analysis of male and female of adult on the base curve, power, and astigmatism of the cornea. J Korean Oph Opt Soc. 2000;5(2):27-31.
- [7] Kim CS, Sung AY. Study on distribution and change of curvature of the anterior corneal surface with each age in emmetropia. J Korean Oph Opt Soc. 2004;9(2):211-221.
- [8] Ophthalmic optics textbook editing committee. Optometric instrument, 2nd Ed. Seoul: Daihaks publishing Co, 2000; 155-164.
- [9] Cha JW. The Study about measuring method in radius of eyeglasses lens curvature by using keratometer. J Korean Oph Opt Soc. 2012;17(2):127-133.
- [10] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-Hill, 2008;678-679.
- [11] Sung PJ. Geometrics for Optician, 3rd Ed. Seoul: Daihaks publishing Co, 1995;70.

Study on Golf Range Finder by using Biprism Theory of Keratometer

Jung-Won Cha*

Dept. of Ophthalmic Optics, ShinHeung College, Uijeongbu 480-701, Korea

(Received October 29, 2013; Revised November 25, 2013; Accepted December 14, 2013)

Purpose: This study was to develop golf range finder which could measure exact distance from golfer to flag by using telescope and biprism. **Methods:** Golf range finder was made that included telescope and biprism which could move in the telescope, and an accuracy of the range finder was analyzed in distance range 20~200 m. **Results:** An equation was made for measuring distance which was related at position of biprism, and we could measure distance successfully by using developed golf range finder. Biprism of 2Δ was useful to measure in short distance but it had bad accuracy in long distance, and 0.5Δ was more useful in long distance. Image got worse when the biprism approach to focal point of objective lens for measurement in long distance, so we developed multi-layer biprism to prevent the weak point. **Conclusions:** Image stabilization by biprism for measuring distance was confirmed. Even if hand was moving, the distance could be measured well by using biprism, and we could find that the induced equation for distance measurement was useful. We found that multi-layer biprism, which is was new developed, was more useful than general biprism when the biprism approached to focal point of objective lens for measurement in long distance,

Key words: Telescope, Biprism, Multi-layer biprism, Golf range finder