

양안시기능 검사 값의 오차와 그래프 양식

윤석현

원광보건대학 안경광학과
(2007년 5월 3일 받음, 2007년 6월 8일 수정본 받음)

엄밀한 조절자극과 폭주자극 값 그리고 프리즘 디옵터는 어떻게 정의되어야 하는지를 고찰하여 정리 하였다. 양안시기능 검사와 분석의 실무에서 조절자극과 폭주자극 값은 어떻게 처리되는지를 고찰하여 정리 했다. 그 결과 실무에서의 처리과정은 근거리를 렌즈면으로부터 40 cm로 하는 경우 평균 P.D가 64 mm일 때 안구의 회전점에서 시힘렌즈까지 거리 l_c 이 26.67 mm인 경우에 가장 적합하였다. 본 논문에서 이 값들을 사용하여 필요한 값들을 계산하였다. 그리고 실무에서 사용되는 (5)식의 조절자극 값이 지니는 오차를 눈의 물측 주점에서 시힘렌즈까지 거리 l_H 를 15.07 mm로 하여 계산했다. 굴절력이 P_m 인 프리즘 가입에 의한 폭주자극 값의 변화량 P' 을 순환 계산법으로 계산하였다. P' 는 P_m , 회전점에서 프리즘까지의 거리 p_c , 프리즘을 가입하기 전의 폭주 값 C_o 와 프리즘 재질의 굴절률 n 에 따라 변한다. 그리고 순환 계산법과 필요한 수식들을 자세히 제시했다. P' 를 증대시키는 요인에는 두 가지가 있다. 그 첫 번째는 주된 것으로서 폭주 값이 보통의 덧셈법에 따라 더해지지 않는 성질이다. 다른 하나는 영향력이 작은 것으로서 프리즘의 실제 굴절력이 빛의 입사각에 따라 다르게 되는 이유이다. 그리고 p_c 와 C_o 가 커짐에 따라 P' 은 괄목할 만큼 작아진다. $P_m=20\Delta$, P.D=64 mm 그리고 $n=1.7$ 인 경우에 대해 p_c 와 C_o 값들에 따르는 P'/P_m 을 계산하여 그래프로 나타냈다. P'/P_m 의 굴절률 n 에 대한 의존성은 무시 할만 큼 아주 작다(Fig. 6 참조). 가입 프리즘의 굴절력과 폭주자극 값의 변화량이 같게 되는 프리즘의 위치 값 p_c 를 구했다(Table 1). 실무에서 약식으로 처리되는 조절자극과 폭주자극 값의 참 값을 구하였다. 이를 토대로 약식으로 처리된 조절자극과 폭주자극 값이 참 값의 위치에 표시 되게 하는 두 가지의 그래프 양식을 제시하였다. 하나는 기존의 것과 같은 형태(Fig. 9)이고 다른 하나는 프리즘 가입에 의한 폭주자극 값의 변화량만을 나타내는 형식이다(Fig. 11).

주제어: 양안시, 그래프 양식, 오차, 폭주, 조절, 가입 프리즘, 프리즘 디옵터

서 론

양안시기능 검사 결과 값을 실무적으로 처리하는 과정에는 많은 오차가 개입되어 있다. 이 검사 값들은 폭주자극 값과 조절자극 값들로 이루어진 값들이다. 이들이 지니는 오차가 얼마나 되는 지를 살필 것이다. 그러기 위해서는 먼저 이들이 어떻게 계산되거나 처리되어야 할 값들인지 분명한 정의가 선행 되어야 한다. 그런 다음 임상에서 이들이 어떠한 방식으로 측정되고 계산되거나 처리되는지를 살펴야한다.

본 논문에서도 이상과 같은 과정을 거쳐 임상 값이 지니는 오차를 밝힐 것이다. 그런 다음에 기존의 검사법으로 구한 값이 참 값의 위치에 표시되게 할 수 있는 그래프 양식을 제시하려한다.

양안시기능 검사 값은 $(x, y) = (\text{폭주 값}, \text{조절 값})$ 의 평

면상에 나타낼 수 있다. 이는 현재 통용되고 있는 좌표계이다. Hofstetter(1968)는 $(x, y) = (\text{조절 값}, \text{폭주 값})$ 좌표계를 양안시 그래픽 용지로 사용하였다¹⁾. Hofstetter가 제시한 방법에는 여러 가지 장점을 지니고 있다. 그러나 통상의 방식에 익숙해져 있어 외면당하고 있는 것 같다. 어떤 형태의 좌표계를 사용하든지 양안시기능의 임상자료를 보다 쉽고 정확하게 나타내는 것이 관건이다. 양안시기능의 검사 값을 쉽게 나타내는 것과 정확하게 나타내는 것은 배타적이다. 여러 오차가 개입되는 처리 과정이 임상에서 이용되고 있는 까닭은 검사 값이 지니는 본원적인 모호성(비교적 작은 신뢰도) 때문에 정확성 보다는 용이성을 추구한 결과로 나타나게 된 것 같다.

또한 임상에서 취급되고 있는 조절량과 폭주량은 대개 모호하게 정의된 바에 따라 측정되고 계산 된다. 이를테면 “눈에서 시표까지 거리의 역수”라는 정의처럼 모호한 것

*본 연구는 2004년도 원광보건대 연구비 지원에 의하여 수행되었음.
주 저자 연락처: 윤석현, 570-750 전북 익산시 신용동 344-2 원광보건대 안경광학과
TEL: (063) 840-1341, E-mail: shyun@wkhc.ac.kr

이다. “눈에서”는 “회선점에서”, “주점에서”, “렌즈 면에서” 등등의 구체적으로 정의 되어야 한다. 그런데 이처럼 구체적으로 정의 하면 렌즈나 프리즘 등이 가입된 경우 취급하기가 복잡하다.

새로 정할 엄밀한 정의는 현재의 상황을 가능한 교란시키지 않아야 한다. 그러기 위해서는 여러 임상적 취급 상황에 대한 조사가 이루어져야 하고 이들을 일괄하는 작업이 이루어져야 한다. 즉, 조절자극량과 폭주자극량이 어떻게 구해지고 처리되는지를 먼저 살펴보아야 한다. 그러면 근본적인 오류를 예방하거나 줄이는 방법이 나올 것이고 기존의 것을 아우를 수 있는 엄밀한 정의나 계산식을 제시 하는 기초가 될 것이다.

본 론

1. 조절 값과 폭주 값의 정의

1) 폭주 값 단위에 대한 고찰

폭주량을 나타내는 단위에는 도(degree)와 radian 그리고 M.A과 Δ 가 있다. 초창기의 문헌에는 degree가 사용되었고, 그 후 M.A과 Δ 가 사용되었다.

M.A의 단위가 등장하게 되는 것은 조절요구량과 폭주요구량의 관계를 약식으로 쉽게 나타낼 수 있기 때문이다. 이와 같은 편의성이 추구되는 경우에는 폭주요구량이나 조절요구량을 계산하는 데 같은 거리 값을 사용한다. 즉, 그림 1에서의 렌즈 면으로부터 주시점까지 거리 d_L 을 사용하여 폭주요구량과 조절요구량을 계산하는 것이다. 이런 식으로 구한 요구선이 그림 2의 c 그래프이다.

M.A로 나타낸 폭주량의 크기는 주시거리에 의해서만 결정되기 때문에 M.A로 같은 수치의 폭주상태일지라도 폭주각은 서로 다를 수가 있다. 그래서 프리즘의 착용으로 인한 폭주의 변화를 표시하기에는 부적당하다. 프리즘을 사용하여 편위를 검사 할 때 수직 편위와 수평 편위를 별도로 측정하는 것이 쉬운 임상적인 검사법인데, 이 별도의 값들은 벡터적으로 합해질 수 있으면 편리하다. 이처럼 벡터적으로 취급 할 수 있는 프리즘량이나 편위량의 정의가 필요하다. 그런데 tangent 값은 벡터량인 변위(또는 편위)를 쉽게 나타 낼 수 있다. 1Δ 의 고전적 정의는 “빛이 꺾인 지점으로부터 후방 1 m에서 1 cm 편위(변위)된 지점을 통과 할 때 빛이 꺾인 크기(또는 프리즘 굴절력)를 1Δ 라 한다.”이다. 이는 0.01의 tangent 값을 나타낸 것이며 벡터적인 관점에서 표현한 것이다. 즉, 프리즘량을 벡터적으로 취급 할 수 있도록 한 것이다. Δ 는 각과는 다른 개념의 단위이다. 그러나 “폭주각(輻轉角)이 몇 Δ 이다.”는 등의 표현이 관습적으로 사용되는데 이는 엄밀한 표현은 아니다.

본 논문에서는 angle을 나타낼 경우에만 “각(角)”이 포함된 용어를 사용하기로 한다. 그리고 “폭주량”, “폭주의 크기”, “폭주 값”, “프리즘량”, “프리즘량의 크기”, “프리즘 값”, “편향량” 또는 “편향 값” 등의 용어는 더 일반적인 량을 나타내는 용어이거나 Δ 로 나타내야 하는 양을 뜻하는 용어로 사용 하겠다.

2) “ Δ ”와 “폭주 값” 정의의 수정

임상에서 사용되는 폭주량을 나타내는 방법은 여러모로 엄밀하지 않다.

이들테면 양안의 두 회선점을 연결한 선분에 연직 방향으로 같은 거리에 있는 지점들을 주시할 경우에도 엄밀히 하면 폭주각은 각각 다르다. 그러나 Δ 로 폭주의 크기를 나타내면 모두 같다. 또한 프리즘이 착용 된 경우에도 정면 시선에 미치는 영향과 측방 시선에 미치는 영향이 다르다. 이와 같은 여러 상황을 감안할 때 평균적 상황이 되는 좌우 시선이 대칭일 때를 기준으로 삼아야 한다. 즉, 임상에서 폭주 값을 계산하는 방식은 실제 정면에 있는 시표를 주시한 상태에서 가장 적합한 방식이다.

이제 폭주 값을 보다 분명하게 규정하기에 앞서 폭주 값의 크기를 나타내는 단위인 “ Δ ”의 정의를 약간 수정하는 하기로 한다. Δ 가 사용되는 여러 가지 상황을 고려해 볼 때 “선(線)의 편향각(偏向角)의 tangent 값을 나타내는 단위로서 0.01을 1Δ 라 한다.”로 Δ 를 잠정적으로 정의 하는 것이 적절하다고 생각한다. 여기서 “선”은 가리키는 방향이 있는 것들의 일반적 칭호로서 시선이나 광선이 이에 해당한다. 그리고 “편향”이란 기준 방향에서 틀어짐이다. 기준방향은 정면 시선방향, 어떤 時點에서 시선방향, 굴절되기 전의 광선 방향이나 광축의 방향 등이 될 수 있다.

결론하여, “편향각(偏向角)의 tangent 값을 편향(偏向) 값이라 한다(the deflection value is the tangent value of the deflection angle).”라 정의 하고, “0.01의 편향 값을 1Δ 라 한다(1Δ is 0.01 of the deflection value).”로 1Δ 의 정의를 수정하기로 한다. 수정된 Δ 의 정의를 이용한 폭주 값의 정의를 모색해본 결과 “양 시선의 정면으로부터의 편향 값의 합을 폭주 값이라 한다(the convergence value is the sum of the deflection values of the both fixation lines).”로 정의하는 것이 좋았다.

3) 조절 값의 정의와 계산

끝으로 조절량에 대한 정의와 계산방법은 기하광학적인 기초위에 세우면 된다. 즉, 조절요구 값은 눈의 물측 주점에서 주시점까지 거리인 그림 1의 d_H '의 역수로 정의해야 마땅하다. 그러나 편의상 그림의 d_H '의 역수로 계산^{2,3)}하거나 임상에서는 보통 d_L '의 역수로 계산한다. 이들의 정확

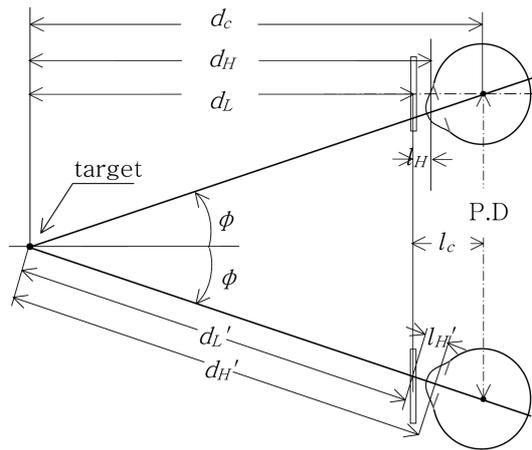


Fig. 1. The factors determining the accommodation and convergence value.

성과 편의성은 다음의 “5) 여러 가지 요구선”에서 밝힐 것이다.

4) 임상적 상황

양안시기능 검사를 하는 상황과 검사 값을 처리하는 통상적인 방식을 정리하면 다음과 같다.

가) 원거리(5-6m) 검사에서 조절요구 값과 폭주요구 값을 각각 0으로 간주 한다.

나) 근거리(40 cm) 검사에서 a) 렌즈로부터 시표까지 거리를 40 cm로 하고 b) 조절요구 값을 2.5Dt로 하며 c) 폭주요구 값은 15Δ로 한다^[3].

다) 요구선은 (0Δ, 0Dt.)과 (15Δ, 2.5Dt.)의 두 지점을 지나는 직선으로 간주 한다.

라) 폭주자극 값은 폭주요구 값에 가입한 프리즘 굴절력을 합한 값과 같다고 간주하여 처리한다.

마) 조절자극 값은 조절요구 값에 가입한 렌즈의 굴절력을 합한 값과 같다고 간주하여 처리한다.

이상과 같이 취급함으로써 발생하는 오차는 여러 가지가 있다. 이러한 오차는 보통 검사 값의 편차 내에 있게 되며 그렇지 않는 것들도 시기능 분석의 결과를 바꿀 만큼 큰 영향을 나타내지 않는다. 그러나 어떠한 오차가 얼마나 발생하는지 그것이 그래프에서 어떠한 형태로 나타나는지는 규명되고 정리 되어야 할 것이다.

5) 여러 가지 요구선

편의에 따라 몇 가지의 약식 요구선이 이용될 수 있다. 이들 요구선이 지니는 오차와 선형성을 살펴보기로 한다.

먼저 앞서 정리한 바와 같은 본원적인 정의에 따라 결정되는 폭주 값과 조절 값을 사용한 요구선은 다음의 (1-a)식과 같이 폭주요구 값(C_o)과 조절요구 값(A_o)이 주어지는 요구선 이어야 함은 당연하다. 이 요구선을 “1-a 선”이

라 칭하기로 한다.

또한 어떤 책이나 문헌^[2,3]에서 요구선은 (1-b)식에 따라 그려져 있다. 이와 같은 요구선을 “1-b 선”이라 칭하기로 한다. 의미 있는 주시 거리 영역 내에서는 $1/d_H$ 와 $1/d_H'$ 는 같다고 할 수 있다.

1-4)의 다)의 내용이 임상에서 사용하는 요구선에 대한 내용이다. 이와 같은 요구선을 “1-c 선”이라 칭하기로 한다.

한국인의 성인 남녀의 평균 P.D는 거의 64 mm이다^[4,5]. 이 경우 폭주요구 각이 15Δ이기 위해서는 회선점에서 시표까지 거리가 426.67 mm여야 한다. 그러기 위해서는 렌즈로부터 거리가 40 cm이므로 그림 1에서의 l_c 값이 26.67 mm이어야 한다. 즉, P.D=64 mm이고 렌즈면 기준 조절량 ($=1/d_L$)이 2.5Dt인 경우 l_c 값을 26.67 mm로 한 경우 실무에서 사용하는 근거리 폭주요구 각 15Δ에 오차가 없게 된다. 그래서 본 논문에서는 P.D=64 mm로 하고 $l_c=26.67$ mm라 설정하고 여러 값들을 계산하였다. 이와 같은 상황을 설정하더라도 1-c 선은 1-a와 꼭 같은 것은 아니다. $l_c = 26.67$ mm는 13.67 mm의 정점간 거리에 해당하는데 이 값은 시험 테나 포토펀으로 굴절 검사하는 상황의 평균적 정점간 거리와 유사하리라 생각된다. 1-c 선에서 폭주요구 값(C_o)과 조절요구 값(A_o)은 다음의 (1-c)식과 같이 표현 할 수 있다. (1-c)식에서 d_L 이 40 cm 일때 P.D'/ $d_L=15Δ$ 여야 하므로 P.D'은 60 mm이다.

정리하면 다음의 (1-a)식은 앞서 정리한 바와 같은 본원적인 정의에 따라 결정되는 폭주 값과 조절 값을 사용하여 요구선을 나타낸 식이고, (1-b)식은 앞서 언급한 책과 문헌에 나타나있는 것이며, (1-c)식은 임상에서 사용하는 약식 요구선을 나타낸 식이다. 나타난 여러 기호들은 그림 1의 것과 같다.

$$\left\{ C_{oc} = \frac{P.D}{d_c}, A_{oH'} = \frac{1}{d_H'} \right\} \quad (1-a)$$

$$\left\{ C_{oc} = \frac{P.D}{d_c}, A_{oH} = \frac{1}{d_H} \right\} \quad (1-b)$$

$$\left\{ C_{oL} = \frac{P.D'}{d_L}, A_{oL} = \frac{1}{d_L} \right\} \quad (1-c)$$

이상의 3가지의 요구선을 그래프로 나타낸 것이 그림 2이다. 그림에 있는 3개의 요구선 각각에 표시된 지점들 밑에서부터 번호를 각각 매겨간다면 같은 번호가 매겨진 지점이 3개가 있게 된다. 3 개의 요구 점은 그래프 상에서의 위치는 서로 다르지만 시표의 위치는 같은 경우이다. 즉, 시표의 위치가 같을 지라도 계산법에 따라 요구점이 서로 다르게 나타난 것이다. 같은 번호인 경우 1-c 선에 있는 점이 보다 많은 폭주 값과 조절 값을 나타내고 있다. 원거리에서 3 값의 차는 무시할 만큼 충분히 작으나 시표

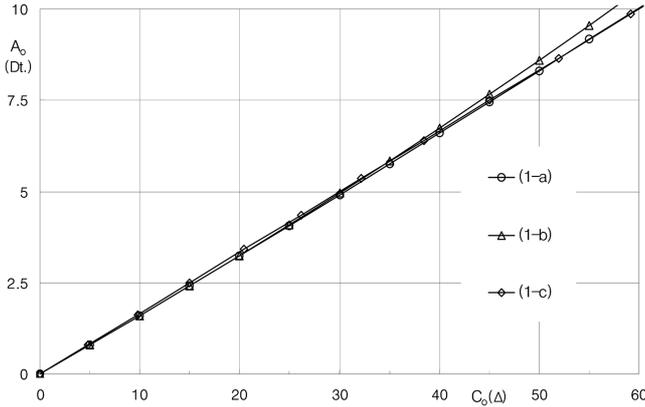


Fig. 2. The three kinds of demand lines which are described respectively by the formulas (1-a, b and c). Where the P.D=64m, P.D'=60 mm, $d_L=40$ cm, $d_c=d_L+26.67$ mm, $d_H=d_L+15.07$ mm.

가 아주 가까이 있는 경우에 이 3 값의 차는 괄목할만하게 커진다. 그리고 1-c 선은 일직선이나 1-b 선은 요구량이 큰 경우에 보다 많이 구부러져 있다. 이는 폭주 값과 조절 값을 계산하는데 사용되는 거리 값의 차가 상대적으로 근거리에서 더욱 커지기 때문이다. 그리고 1-a 선은 중간 정도로 구부러져 있다. 앞서 언급 했듯이, 조절과 폭주의 요구량이 서로 비례한다면 여러모로 취급하기 쉽다. 그런데 요구선 1-b는 정리에 위배될 뿐만 아니라 직선성도 나쁘다. 그리고 요구선 c는 엄밀한 정의에 어긋난 것이다. 그래서 정확한 조절과 폭주 값은 요구선 1-a를 계산한 기준 거리인 d_H 와 d_c 를 사용하는 것이 마땅하다고 생각한다. 그래서 앞으로 참 조절자극 값이나 폭주자극 값은 이들 거리를 사용하여 계산하기로 한다.

6) 폭주량과 조절량의 크기를 나타내는 방식을 설정하는 기초의 정리

조절 값과 폭주 값을 명확하게 처리하기 위해 이상의 내용을 다음과 같이 정리한다.

- 가) 조절량은 주점에서 주시점 까지 거리의 역수이다. 이는 광학적인 기본에 따른 원칙이다. 그림 1에서 주점에서 주시점 까지 거리는 d_H 이므로 정상상태의 조절량은 $1/d_H$ 이다.
- 나) 폭주각(輻轉角)은 주시점에서 두 눈의 회선점을 마주 대하는 각이다. 폭주각이라는 용어의 본원적인 뜻에 따른 정의이다.
- 다) 편향각(偏向角)의 tangent 값이 0.01일 때의 편향 값을 1Δ 라 한다.
- 라) 폭주량의 크기는 양 시선의 정면으로부터의 편향(偏向) 값의 합으로 나타낸다.

2. 조절요구량의 검사 값과 광학적 계산 값

앞의 정리에서와 같이 조절량에 관계되는 량들은 눈의 주점을 기준으로 한 d_H 를 사용하여 계산 되어야 한다. 그러나 실무에서 상대 조절력, 굴절 값, 가입도 등의 눈의 조절에 연관되는 검사 값들은 묵시적으로 렌즈 면을 기준으로 연직 거리를 사용하여 계산되고 표기됨을 확인 할 수 있다. 즉 정점간 거리와 폭주에 의한 효과를 무시하는 것이다. 이렇게 함으로써 여러 가지 계산이나 표현을 쉽게 할 수 있다. 조절자극량이 작을 때에는 오차가 비교적 작다. 그러나 양성 상대 조절력과 같이 비교적 조절자극량이 큰 경우에는 상황이 달라진다. 여기서 실무에서 사용하는 조절자극량과 정확하게 계산되는 조절자극량의 관계를 알아보기로 한다.

그림 1과 같이 굴절력이 S , 주점에서 렌즈까지 거리가 l_H 인 안경을 착용하고 렌즈 앞 d_L 의 거리를 주시할 때 눈에 입사하는 빛의 버전스 $V(d_L', S)$ 는

$$V(d_L', S) = \frac{S - D_L'}{1 - (S - D_L')l_H'} \tag{2}$$

이다. 이 식에서 $D_L' = 1/d_L'$ 이다. 먼 곳을 볼 때($d_L' = \infty$) 눈에 입사하는 빛의 버전스 값을 $V(\infty, S)$ 라 하면 이 때와 눈앞 d_L 의 거리를 주시할 때 조절요구량의 차 $\Delta A = V(\infty, S) - V(d_L', S)$ 이다.

전교정용 렌즈의 굴절력을 S_o 라 하고 가입 굴절력을 S_{ad} 라 한다. $S = S_o + S_{ad}$ 의 렌즈를 착용하고 렌즈 앞 d_L' 의 거리를 주시케 할 때 조절자극량 A를 구하기로 한다. 이 값은 전교정용 안경을 착용하고 원방시 할 때의 입사광 버전스 $V(\infty, S_o)$ 와 $S_o + S_{ad}$ 의 렌즈를 착용하고 렌즈 앞 d_L' 의 거리를 주시케 할 때의 버전스 $V(d_L', S_o + S_{ad})$ 의 차와 같다. 즉, 다음과 같다.

$$A(d_L', S_{ad}) = \frac{S_o}{1 + S_o l_H'} - \frac{S_o + S_{ad} - D_L'}{1 - (S_o + S_{ad} - D_L')l_H'} \tag{3}$$

$$\cong \frac{D_L' - S_{ad}}{1 - (2S_o + S_{ad} - D_L')l_H'}$$

위식에서 근사 값은 통분하여 합하여 분모에 들어 있는 l_H 의 2차 항을 무시한 것이다. $1\text{Diopter} \times l_H'^2$ 는 보통 0.0002정도가 되는 아주 작은 값이 되기 때문이다. 즉 위의 근사 항은 극단 적인 상황에서도 0.2% 정도의 오차를 지니는 좋은 근사식이다. 위 식에서 $(2S_o + S_{ad} - D_L')$ 가 크지 않으면 조절자극량은 $(D_L' - S_{ad})$ 와 거의 같다. 보통 $(D_L' - S_{ad})$ 값은 근거리 실성상태 조절의 흐린 점을 구할 때나 조절 근점을 구할 때는 크다. 한편 보통의 경우 $2S_o$ 는 이에 비해 작다. 그리고 S_o 는 환자에 따라 다르므로 누구에게나

보편적으로 적용 할 수 있는 그래프를 그리고 해석하는데 있어 \$S_o\$가 0이라 간주하고 조절요구량(또는 자극량)을 계산하는 것이 편리하다. 즉,

$$A(d_L', S_{ad}) = \frac{D_L' - S_{ad}}{1 + (D_L' - S_{ad})l_H'} \quad (4)$$

는 정시의 경우 아주 정확하게 조절요구량(또는 자극량)을 계산하는 식이다. 그리고 굴절 이 상량이 비교적 큰 경우에도 좋은 근사식이 된다. 그림1에서 보듯이

$$l_H' = l_H + l_c \left[\frac{1}{\cos\{\tan^{-1}[P.D/2(d_L + l_c)]\}} - 1 \right]$$

이다.

임상의 근거리 검사에서 상정하는 조절자극량 \$A\$는 (4)을 아주 간략하게 취급하여

$$A_L(d_L, S_{ad}) = D_L - S_{ad} \quad (5)$$

로 나타낸다. 이식에 \$D_L = (1/d_L)\$이다. 즉, (4)에서 \$l_H' = 0\$, \$d_L' = d_L\$로 간주 한 근사식이다. \$l_H' = 0\$으로 간주한 것은 눈의 주점과 렌즈 면이 거의 일치한다고 간주한 것이다. 즉, 조절이 렌즈 면에서 이루어진다고 간주한 것이다. 이 처럼 \$l_H' = 0\$로 간주한 것 때문에 발생하는 오차는 \$d_L\$이 40 cm일 때 3.9%이고 20 cm일 때 약 8.33% 정도이며 10 cm 인 경우 약 18.4%이다. 때로는 \$d_H' = d_H\$로 간주하는 경우도 있는데 이 때문에 발생하는 오차는 40 cm에서 약 0.3%, 20 cm에서는 약 1%이고 10 cm인 경우 약 3.5%이다. 이는 \$l_H' = 0\$로 간주 하여 발생한 오차에 비하면 아주 적다. 때문에 \$d_H' = d_H\$로 간주해도 무방하다.

그림 3에서 x-값은 (5)식의 \$A_L\$ 값들이고 y-값들은 이 값들의 오차에 해당하는 \$(A_L - A)\$이다. 그래프는 조절자극량이 2.5Dt.로 간주되는 임상 값은 실제로는 \$(2.5 - 0.098)Dt.\$임도 나타내고 있다.

3. 폭주요구량

그림 4와 같이 렌즈 앞 \$d_L\$의 거리를 굴절력이 \$P_m\$인 프리즘을 증을 착용하고 볼 때의 정확한 폭주 값이 얼마 인지를 살펴보기로 한다. 그림 에서 \$\phi\$는 프리즘 없이 정면에 있는 주시점을 볼 때 시선의 편향각으로 왼눈과 오른눈에서 같다. 즉, \$2\phi\$는 프리즘 없이 주시할 때의 폭주각이다. 또한 \$p_c\$는 회선점에서 프리즘까지 거리이고 \$l_c\$는 회선점에서 렌즈까지 거리이다. 실무에서는 \$p_c\$가 훨씬 크다. SHIN-NIPPON BR-7 REFRACTOR 경우 표시 정점간 거리가 12 mm인 경우 \$p_c\$는 약 77 mm 이었다. 고급 시험 테와 프리즘 막대나 날개 프리즘을 사용하는 경우에는 평균적으로 약 53 mm 정도일 것으로 추정된다. 나안에 프리즘

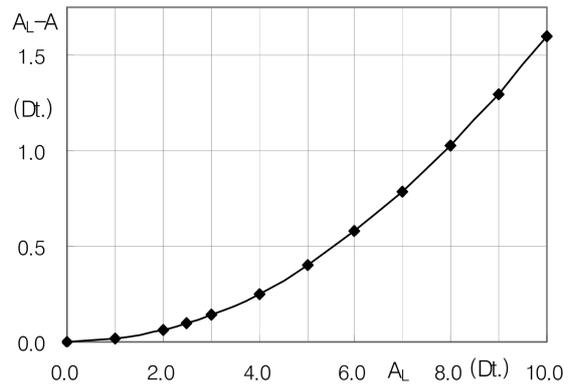


Fig. 3. The error of the stimulus of accommodation value calculated by approximation formula (5). Where the distance between lens and the principle point of eye is 15.07 mm (= \$l_H\$).

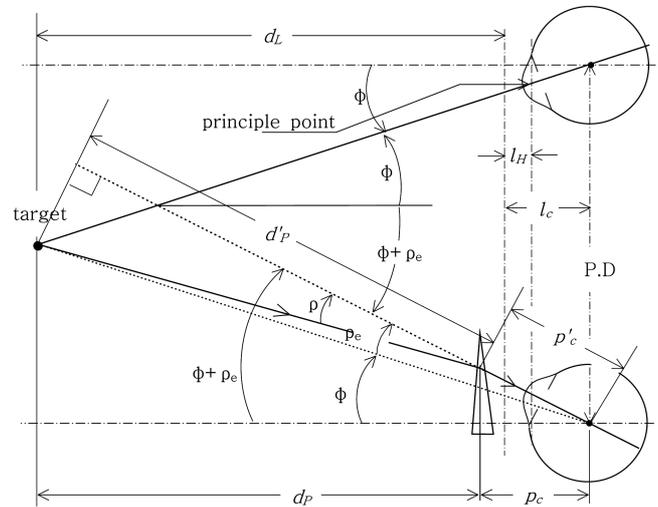


Fig. 4. The deviation of visual line by the prism.

Bar나 사각 날개 프리즘을 사용한 경우에는 평균 41 mm 정도 일 것으로 추정한다.

본 논문에서 \$p_c = 65\$ mm로 하였다. 이는 포롭터를 사용한 경우와 시험 테와 프리즘 바를 사용한 경우의 중간 값이다. \$p_c\$값이 커지면 근거리일수록 그림에서 보듯이 \$(\rho_e/\rho)\$ 값이 보다 작아진다. 비록 주시점에서 입사 하는 주광선의 프리즘에서 입사각이 보다 증가 되어 \$\rho\$ 값은 약간 커지나 이는 미미한 수준이다. 결론적으로 \$p_c\$ 값이 커질수록 근거리 일수록 프리즘에 의한 시선의 편향 값은 점점 더 작아진다. “편향 자극 값”이라 칭해야 엄밀한 경우에도 편의상 “편향 값”으로 칭한다. Ogle 이나 Alpern은 정면 원거리를 주시하는 경우에 정확히 적용 될 수 있는 \$p_c\$ 값에 따른 가입 프리즘에 의한 폭주 값의 변화에 대한 식을 제시했다⁶⁾.

1) 한쪽 눈에만 프리즘을 착용한 경우

그림 4와 같은 상황에서 원눈의 고시선의 편향각은 $(\varphi+\rho_e)$ 이고 오른 눈에서는 φ 이다. 앞서 정의한 폭주 값의 정의에 따라 엄밀한 폭주 값 C는

$$C=\tan(\varphi)+\tan(\varphi+\rho_e) \tag{6}$$

이 됨을 쉽게 알 수 있다.

P_m, p_c 그리고 φ 를 사용하여 ρ 와 ρ_e 를 구하기로 한다. 먼저 ρ 를 구해야 한다. 그러기 위해서 프리즘의 정각과 굴절율을 알아야 한다.

먼저 프리즘의 정각 α 를 구한다. 굴절력이 P_m 인 프리즘의 최소 꺾임각을 ρ_m 이라 하자.

$$\alpha=2\sin^{-1}\left\{\frac{1}{n}\sin\left[\frac{\sin(\rho_m+\alpha)}{2}\right]\right\} \tag{7}$$

의 식은 잘 알려져 있다^{7,8)}. 위식에서 n 은 유리의 굴절률이다. 본 논문에서 프리즘 유리의 굴절률은 1.7로 하였다. 회사에 따라 굴절률이 서로 다른 유리가 사용될 것이다. 이 식은 α 에 대해 쉽게 풀리지 않는다. 그래서 순환 연산법을 사용하여 계산하였다. 맨 처음 (7)식의 우변의 α 에 근사 해인 $(n-1)/\rho_m$ 을 대입하여 좌변의 α 값 구했다. 이 값을 α_1 이라 한다. 다시 우변의 α 에 α_1 을 대입하여 구한 좌변의 α 를 구했다. 이를 α_2 라 한다. 또 다시 우변의 α 에 α_2 를 대입하여 구한 좌변의 α 를 구했다. 이를 α_3 라 한다. 좌변의 α_N 값이 우변에 대입한 α_{N-1} 과 충분히 같아질 때까지 이와 같은 순환을 반복하여 정확한 정각 값을 구했다.

이제 p_c 와 앞서 구한 α 를 사용하여 ρ 값을 구해야 할 차례인데 이 값은 프리즘에 입사하는 광선의 방향 즉 $\varphi+\rho_e$ 에 따라 달라진다.

굴절률이 n 인 재질로 만들어진 정각이 α 인 프리즘의 제1면에 입사하는 광선의 입사각을 i_1 이라 할 때 이들과 이 프리즘에서 광선의 꺾임각 ρ 와의 다음의 관계식은 잘 알려져 있다.

$$\rho=i_1+\sin^{-1}\left\{n\cdot\sin\left[\alpha-\sin^{-1}\left(\frac{\sin(i_1)}{n}\right)\right]\right\}-\alpha \tag{a}$$

위 식의 i_1 은 다음과 같음을 그림 4로부터 쉽게 알 수 있다.

$$i_1=\frac{\alpha}{2}-(\varphi+\rho_e-\rho) \tag{b}$$

(b)식을 (a)식에 대입하면

$$\rho=\rho-(\varphi+\rho_e+\frac{\alpha}{2})\sin^{-1}\left\{n\cdot\sin\left[\alpha-\sin^{-1}\left(\frac{\sin(\frac{\alpha}{2}-\varphi+\rho_e-\rho)}{n}\right)\right]\right\} \tag{8}$$

이다. 그림 4에서 $\tan(\rho_e)=\frac{d_p'}{d_p'+p_c}\tan(\rho)$ 이고

$$d_p'+p_c'=\frac{d_p+p_c}{\cos(\varphi)}\cos(\rho_e) \text{이며 } p_c'=\frac{p_c}{\cos(\varphi+\rho_e)} \text{ 이므로}$$

$$\rho_e=\tan^{-1}\left[\left\{1-\frac{p_c\cos(\varphi)}{(d_p+p_c)\cos(\rho_e)\cos(\rho_e+\varphi)}\right\}\tan(\rho)\right] \tag{9}$$

임을 알 수 있다.

(8)과 (9)식에서 미지수는 ρ_e 와 ρ 뿐이나 이들이 간단하게 풀리는 형태가 아니다. 그래서 반복 순환 계산법으로 구하기로 했다. (8)식은 이상하게 보이는 형태이다. 반복 순환을 통해 해를 구하기 위해서는 식 값이 수렴되어야 하는데 (8)와 (9)식은 적절한 형태이다.

먼저 (9)식의 우변에 $\rho=\rho_m$ 과 $\rho_e=\rho_{min}$ 하여 계산한 값 ρ_{1e} (좌변의 ρ)를 구하고, (8)식의 우변에 $\rho=\rho_m$ 과 $\rho_e=\rho_{1e}$ 하여 계산한 값 ρ_1 (좌변의 ρ)을 구하고, 다시 (9)식의 우변에 $\rho=\rho_1$ 과 $\rho_e=\rho_{1e}$ 하여 계산한 값 ρ_{2e} 를 구하고, 다시 (8)식의 우변에 $\rho=\rho_1$ 과 $\rho_e=\rho_{2e}$ 하여 계산한 값 ρ_2 을 구하고 하는 순환 계산을 하였다. Microsoft 사의 Excel 프로그램에는 이와 같은 반복 연산기능이 있다. 이 기능을 이용하여 좌변과 우변의 차가 10^{-5} 이하가 될 때 까지 반복했다.

2) 양쪽에 같은 굴절력의 프리즘을 착용한 경우

양안 각각에 착용한 수평방향의 프리즘량을 $P_{m/2}$ 라 하면 총 프리즘량 $P_m=2P_{m/2}$ 가 된다. 이 경우 양 고시선 각각의 프리즘에 의한 편향각을 $\rho_{e/2}$ 라 하면 각시선의 총 편향각은 $(\varphi+\rho_{e/2})$ 다. 따라서 엄밀한 폭주 값 C는

$$C=2\tan(\varphi+\rho_{e/2}) \tag{6'}$$

와 같이 표시된다.

이 밖에 프리즘의 정각 α_2 , 프리즘에서 꺾임각 ρ_2 , 프리즘에 의한 시선의 편향각 $\rho_{e/2}$ 을 구하는 방식은 앞과 동일하다.

3) 임상적 상황

1-4)와 5)에서 언급한 바와 같이 실무에서 주시거리는 보통 렌즈 면으로부터 측정한다. 특히 포롭터의 근용 막대의 0점은 보통 렌즈 면에 있다. 이와 같은 기준을 사용한 실무에서 사용되는 폭주자극 값 C_L 를 나타내면, 착용한 수평방향의 프리즘을 P_m 이라 할 때

$$C_L(d_L, P_m)=\left[\frac{P\cdot D'}{d_L}+P_m\right] \tag{10}$$

이 된다. $P\cdot D'/d_L$ 는 앞서 언급한 바와 같다. 이 값이 얼마의 정확한 폭주 값 C에 해당하는지 계산 했다.

계산 결과 및 그래프 양식

1. 계산결과

주로 그래프를 사용하여 계산 결과를 나타내기로 한다.

먼저 p_c 값과 폭주요구 값에 따라 가입된 프리즘 때문에 발생하는 폭주 값이 어떻게 바뀌는지 살펴본다.

그림 4와 같은 상황에서 프리즘이 없을 때의 폭주 값은 $2\tan(\varphi)$ 이고 최소 격임각이 ρ_m 인 프리즘을 가입했을 때 추가된 시선의 편향각이 ρ_c 이므로 프리즘의 가입으로 추가된 폭주 값은 $\{\tan(\varphi+\rho_c)-\tan(\varphi)\}$ 이 된다. 이 추가된 폭주 값은 p_c 와 φ (또는 폭주요구 값 C_o)에 따라 다르다. 실무에서 추가된 폭주 값은 가입된 프리즘의 표시 굴절력 P_m 으로 간주 한다. 그래서 $\{\tan(\varphi+\rho_c)-\tan(\varphi)\}$ 값을 상황 굴절력 P' 이라 칭하기로 한다. 그림 5는 P_m 이 20Δ 인 프리즘의 상황 굴절력 $P'(p_c, C_o, n=1.7)$ 를 P_m 으로 나눈 값이 p_c 와 C_o 에 따라 어떻게 변하는지를 나타낸 그래프이다. p_c 와 C_o 가 클수록(시표까지 거리가 작을수록) P' 이 P_m 보다 더 작아짐을 알 수 있다. 실제 P' 를 보다 작게 하는 요소는 큰 p_c 와 C_o 이다. 그림 4에서 p_c 가 0보다 커지면 $\rho_c < \rho$ 임을 알 수 있다. P' 을 커지 하는 가장 큰 요인은 $\{\tan(\varphi+\rho_c)-\tan(\varphi)\} \geq \tan(\rho_c)$ 인 성질 이고 또 다른 요인은 $\rho \geq \rho_m$ 이 되는 성질이다. 즉 실제의 상황은 P'/P_m 을 1보다 크게 하는 요인과 작게 하는 요인을 함께 지니고 있다. 따라서 적

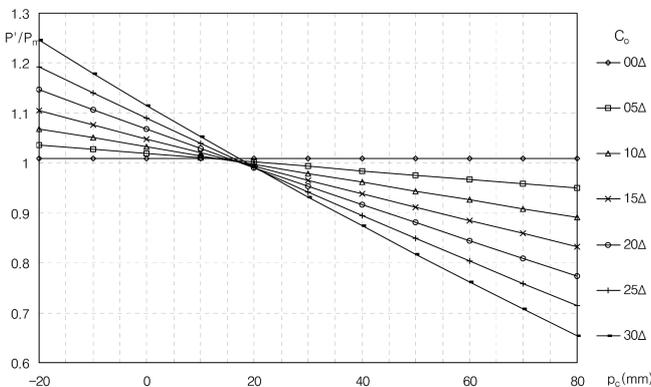


Fig. 5. The P'/P_m graphs which are varied with the p_c and C_o , where the $P_m=20\Delta$, $P.D=64$ mm and $n=1.7$. The P' is the incremental stimulus of convergence caused by addition prism at only one eye of which power is P_m . The p_c is noted at the fig. 4. The C_o is the stimulus of convergence without prism. The n is the refractive index of the prism material.

당한 상황에서 이 값은 1이 된다.

이처럼 $P'/P_m=1$ 되게 하는 p_c 값을 나타낸 표가 표 1이다. 즉, 표 1은 회선점에서 프리즘 까지 상황별 적정거리를 나타낸 것이다. 폭주각이 15Δ 인 경우 굴절력이 $+20\Delta$ 인 프리즘을 가입할 때 회선점으로부터 18 mm 위치에 가입하면 이 프리즘은 정확히 20Δ 만큼 폭주자극을 증가 시킨다. 보통의 상황에서 p_c 값은 25 mm 이상이다. p_c 값이 -인 경우는 프리즘이 회선점 뒤에 있는 경우이다. 이 경우에는 $\rho_c > \rho$ 이 된다. 있을 수 없는 상황이나 이론적 결과를 보이기 위해 취급했다.

프리즘 재료에 따른 P'/P_m 값의 변화는 충분히 작아 무시 할 수 있다. 그림 6은 $n=1.5$ 인 재료와 $n=1.9$ 인 재료로 만든 프리즘에서 같은 상황에서 P' 이 거의 같음을 나타내는 그래프이다.

그림 7은 프리즘 가입이 없을 때의 폭주자극 값이 15Δ 인 경우 P'/P_m 값이 P_m 과 p_c 값에 따라 어떻게 변하는지를 나타내는 그래프이다.

이번에는 (10)식처럼 계산되는 실무에서 표시하는 폭주 자극 값 C_L 에 포함된 오차(C_L-C)가 얼마인지를 나타내 본다. 한 쪽 눈에만 굴절력이 P_m 인 프리즘을 착용 한 경우 C 값은 (6)식으로 계산된다. 이 오차를 나타낸 그래프가 그림 8이다. 그림에서 X-축 값은 P_m 값들이며 Y-축 값은 (C_L-C) 이다. 여러 그래프들은 각각 서로 다른 실무적 폭주 요구 값($C_{oL}=P.D/d_L$)에 해당되는 것들이다. 그리고 앞서 언급한 바와 같이 $P.D=64$ mm이고 $p_c=65$ mm인 경우이다.

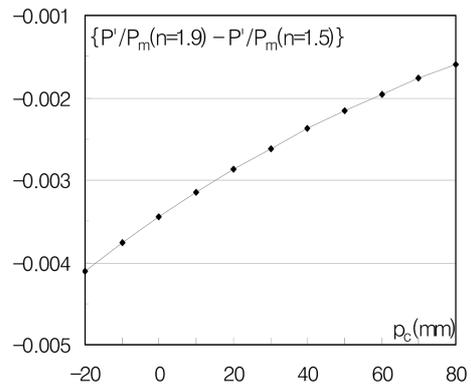


Fig. 6. The $\{P'/P_m(n=1.9)-P'/P_m(n=1.5)\}$ graphs varying with the p_c . Where the $P_m=20\Delta$ and the $C_o=15\Delta$. The n is refractive index of prism material. This graph show that the n dependence of the P'/P_m is negligible.

Table 1. The p_c values at which (P'/P_m) is 1 at each P_m , where the $P.D=64$ mm and the $n=1.7$

P_m	-40Δ	-30Δ	-20Δ	-10Δ	0Δ	10Δ	20Δ	30Δ	40Δ
The p_c (mm) at which (P'/P_m) is 1 at $C_o= 15\Delta$.	-3.78	-4.79	-3.69	-0.58	4.27	10.4	17.48	24.83	32.27
The p_c values (mm) at which average of the (P'/P_m) is 1 in the range 0 to $30\Delta C_o$.	-1.61	-2.84	-1.78	1.34	6.11	12.02	18.69	25.45	32.45

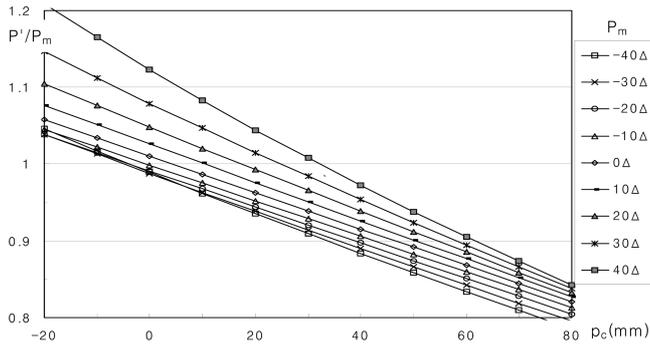


Fig. 7. The P_m and p_c dependence of the P'/P_m , where C_o is 15Δ .

이 그래프들을 보면 큰 B.O프리즘이 가입될수록 큰 폭주 요구각(C_{oL})에서 C_L 값(통상의 방법으로 처리되는 폭주 값의 수치)은 실제의 값(C) 보다 더욱더 크다. 그런데 원거리 검사 때(-□-로 표시된 그래프)에는 프리즘을 가입한 경우 C_L 의 절대 값은 C의 절대 값은 보다 약간 작다.

양안에 균등 분배 한 경우도 앞의 경우와 거의 같아서 그래프의 비교로 그 차이를 쉽게 알아보기 어렵다. 균등 분배한 경우가 원거리에서 오차가 더 적다. 그러나 B.O를 착용시킨 경우와 작은 B.I를 착용한 경우에는 중간 거리에서부터 임상상적으로 충분한 근거리 까지는 이 경우의 오차가 더 크다. B.I 값이 커지면 이 보다 더 근거리영역에서 균등 분배한 경우의 오차가 더 커진다. 또한 임상적으로 의미가 없는 극단적인 근거리에서는 어떤 경우이건 균등 분배한 경우의 오차가 더 작다.

그림 9에서 사선들은 가입 프리즘 별 요구선을 나타낸 그래프이다. 이를테면 가운데에 있는 가입 프리즘이 0인

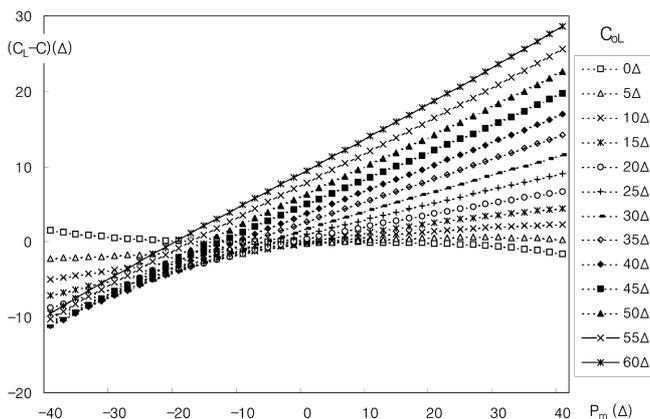


Fig. 8. The (C_L-C) graphs which are varied with the C_{oL} and P_m , where P.D is 64 mm and p_c is 65 mm. The C_L is the stimulus of convergence values which is practically used and evaluated by formula (10). And The C is the exact stimulus of convergence values which is evaluated by formula (6). The C_{oL} is the first term ($P.D/d_L$) in formula (10).

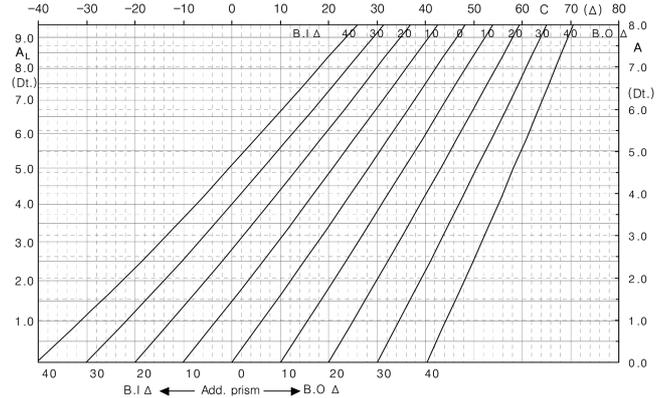


Fig. 9. The demand lines with the prism addition. The left vertical scale numbers are stimulus of accommodation values which are practically used. The right vertical scale numbers are the exact stimulus of accommodation values. Where the P.D is 64 mm, the p_c is 65 mm and the $l_c=26.67$ mm. This figure can be used as an graphical sheet form for the binocular vision.

그래프 선은 정상의 요구선이다. 즉, 그림 2의 요구선 1-a와 같다. 나머지 사선들은 양안에 균등 분배하여 10Δ간격으로 프리즘을 착용시켰을 때의 요구선들이다. 조절요구 값이 커지면 폭주 값의 변화량이 가입한 프리즘의 굴절력 보다 점점 더 작아짐을 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 P'/P_m 이 원방시 상태를 제외하고는 점점 1보다 작아짐을 의미한다.

또 그림 9에서 여러 수평선들은 그림 3에서 보인 바와 같은 렌즈를 기준으로 한 조절자극 값(A_L)을 실제 값(A)으로 나타낸 선들이다. 예를 들어 왼쪽에 표시된 임상적 5.5Dt.의 조절자극 값의 실제 값은 같은 높이에 있는 오른쪽에 표시된 수치인데 약 5Dt.임을 보여주고 있다.

단안에만 프리즘을 착용시킨 경우의 요구선들도 가입한

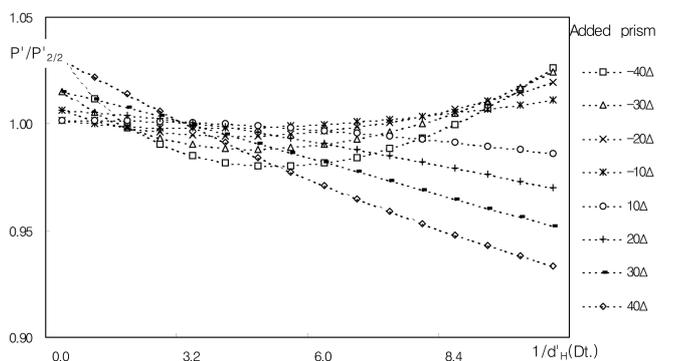


Fig. 10. The $P'/P'_{2/2}$ graphs varied with the prism power and the demand of accommodation ($1/d_H$). P' is the incremental stimulus of convergence caused by addition prism at only one eye of which power is P_m . $P'_{2/2}$ is the total incremental stimulus of convergence caused by addition prism at each eye of which power is $P_m/2$ respectively.

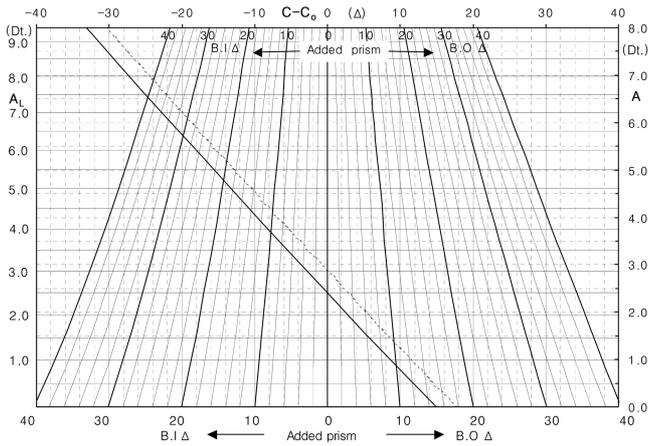


Fig. 11. The Graphical analysis form of the binocular visual findings. The most upper scales denote the incremental stimulus of convergence caused by addition prism. The bottom scales and the just below the top ones denote additional prism powers. The left vertical scale numbers are stimulus of accommodation values which are practically used. The right vertical scale numbers are the exact stimulus of accommodation values. Where the P.D.=64 mm, the $p_c=65$ mm and the $l_c=26.67$ mm.

The \pm blur points are marked on one of the two oblique lines (we named these addition lines). And the findings with the addition are marked far off from the intersection point of the suitable accommodation line and the addition line. The solid addition line is for 40 cm near. And the dashed one is for 33 cm near.

프리즘 값과 조절요구 값이 임상에서 취급되는 정도로 크지 않는 경우에는 양안에 균등 분배한 것과 거의 같다.

그림 10은 조절요구 값에 따라 가입한 프리즘별 P'/P'_{22} 의 값이 어떠한지를 나타내는 그래프이다. 앞서 언급한바와 같이 P'(상황 굴절력)은 단안에만 프리즘을 착용시킴으로서 변화된 폭주자극 값이다. 그리고 P'_{22} 는 양안에 균등 분배하여 착용시킨 경우의 폭주자극 값의 변화량이다.

이 그래프를 살펴보면 보통의 임상적 상황을 포함하는 4Dt. 이내의 $1/d_H$ 과 20Δ 이내의 가입 프리즘에서 P'/P'_{22} 는 거의 1임을 알 수 있다. 굴절력이 큰 프리즘을 가입하는 경우에는 보통 양안에 분배하여 하거나 할 수밖에 없다. 그래서 본 논문에서는 그림 9의 결과를 사용하여 논의를 계속할 것이다.

2. 임상 값을 참 값의 위치에 표시해주는 그래프 양식의 제안

계산 결과를 보면 양안시역의 개괄적인 형태가 크게 바뀔 정도로 임상적 표시 값에 오차가 많이 개입되어 있었

다. 그러나 임상에서 양안시기능 검사 값들을 정확하게 측정하고 엄밀한 식으로 계산하는 것은 여러모로 비효율적이다. 그래서 기존의 방식대로 구한 임상 값을 엄밀하게 구한 값이 표시될 위치에 표시되도록 하는 그래프양식을 제안 한다. 2가지를 제안할 것인데 그 첫 번째는 그림 9를 이용한 것이다. 그림 9에서 가입 프리즘별 요구선을 좀 더 촘촘히 그려 이 선들을 사용하여 폭주자극 값을 표시하고 조절자극 값들은 그림에서 좌측의 y-축 값에 따라 표시되 이것의 y-좌표 값을 우측의 눈금에 따라 읽으면 실제의 정확한 값이 된다. 임상 값을 표시하는 방식은 기존의 것과 같다. 그러나 이 값들은 엄밀히 계산된 위치에 표시 된다.

또 다른 양식은 그림 11과 같다. 조절자극 값은 그림 9와 같은 방법으로 표시되 폭주자극 값 대신 폭주자극 값과 정상 의 요구 값의 차이 즉, 가입한 프리즘 값을 적정한 높이의 수평선상에 표시하는 방법이다. 이 방법은 보다 쉽게 표시하고 쉽게 볼 수 있는 방법이다. 다만 기존의 방식과 달라 새삼스러울 뿐이다. 그림에서 대략 135도 방향의 두 개의 사선 중 실선은 근거리가 렌즈 면으로부터 40 cm인 경우에 소용되는 것이고 토막선으로 나타낸 것은 33.3 cm인 경우에 소용되는 것이다. 즉 \pm 호린점 값은 이 선상에 표시되어야 한다. 그리고 근거리에서 구면을 가입한 상태로 측정된 가입 프리즘 값들(사위량, B.I 호린점, B.O 호린점 등)은 이선과 조절자극 값 선과의 교점을 출발점으로 하여 표시되어야 한다.

참고문헌

- [1] Irvin M, Borish, "Clinical refraction", 3rd. ed., Professional Press Books/Fairchild Publications, pp. 889-890(1970).
- [2] Grosvor T, "Graphical Analysis of Optometric Findings", Optometric Weekly, Aug. 21:747-749(1975).
- [3] Theodore Grosvenor, "Primary care optometry", 4th. ed., Butterworth-Heinemann, pp. 334(2002).
- [4] 김덕훈, "한국 성인 여성의 외안부 형태", Journal of Korean Ophthalmic Optics Society, 4(1):83-88(1999).
- [5] 김덕훈, 문정학, "한국인 청소년의 외안부 구조에 대한 연구", 한국안광학회지, 3(1):243-247(1998).
- [6] Irvin M, Borish, "Clinical refraction", 3rd. ed., Professional Press Books/Fairchild Publications, pp. 867(1970).
- [7] David D, and Michaels MD, "Visual optics and refraction (A clinical approach)", 2nd. ed., The c. v. mosby company, pp. 36(1980).
- [8] 성풍주, "기하광학", 대학서림, 서울, pp. 69(1995).

The Error and the Graphical Presentation form of the Binocular Vision Findings

Seok-Hyun Yoon

Department of Ophthalmic Optics, Wonkwang Health Science College

(Received May 3, 2007; Revised manuscript received June 8, 2007)

The stimulus of accommodation A , the stimulus of convergence C and the prism diopter Δ are reviewed and redefined more obviously. How the A and C are managed in the practice are reviewed and summarized. As a result, the common practical process of the binocular vision findings is most suitable in the case of the $l_c = 26.67$ mm, where the near distance is measured from the test lens to the near target and its value is 40 cm and the average of the P.D equal to 64 mm. The l_c is the distance between the test lens and the center of rotation. Those values were used at calculating the various values in this paper. The error of the stimulus of accommodation values which are evaluated by the practically used formula (5) are calculated. Where the distance between lens and the principle point of eye is 15.07 mm ($=l_H$). The incremental stimulus of convergence values P' caused by the addition prism P_m are evaluated by the recursion computation method. The P' are varied with the P_m , the distance p_c between the prism and the center of rotation, the initial convergence value (or inverse target distance) C_o and the refractive index n of the prism material. The recursion computation method and the other formulas are described in detail. In this paper $n=1.7$ is used. The two factors by which the P' is increased are exist. The one which is major is the property by which the values of convergence whose unit is Δ are not added in the generally way. The other is the that the actual power of the prism is varied with the angle of incidence light. And the P' is decreased remarkably by an increase in the p_c and C_o . The P'/P_m are calculated and graphed which are varied with the p_c and C_o , where the $P_m=20\Delta$, P.D=64 mm and $n=1.7$. The index n dependence of the P'/P_m is negligible (refer to fig. 6). The p_c are evaluated at which the P' equal to the P_m for various P_m (refer to table 1). The actual values of the stimulus of convergence and accommodation which are manipulated simply in the practice are calculated. Two graphical forms are suggested. The one is like as the commonly used one. But the stimulus of convergence and of accommodation values in the practice are positioned at the exact positions when the graphic is made (refer to fig. 9). The other is the form that the incremental stimulus of convergence values caused by the addition prisms are represented at actual positions (refer to fig. 11).

Key words: binocular vision, graphic form, error, convergence, accommodation, addition prism, prism diopter