

등변프리즘을 투과하는 발산빛묶음의 발산각의 변화에 대한 기하광학적연구

한 용 하

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학기술을 발전시키는데 큰 힘을 넣어야 하겠습니다.》(《김일성전집》 제86권 309페이지)

일반적으로 주어진 프리즘을 지나는 빛의 매개 파장에 대하여 편각이 최소로 되는 특정한 입사각이 존재한다. 프리즘최소편각기술은 투과되는 빛묶음을 측정하는 굴절기술로서 고체와 액체의 굴절률측정, 빛의 파장과 분산측정 등에 널리 이용되고있다.[1-3] 이에 따라 프리즘에서의 최소편각조건에 대한 기초적인 연구도 계속 진행되고있다.[4, 5] 이 연구들에서는 모두 평행빛묶음이 전파하는것을 전제로 하고있다.

우리는 최근에 널리 이용되고있는 반도체레이자빛묶음이 등변프리즘을 투과하는 경우에 레이자빛의 발산각이 어떻게 변화되는가를 기하광학적으로 해석하고 실험적으로 론증하였다.

1. 기하광학적해석모형과 결과

직경이 일정한 평행빛묶음이 등변프리즘을 지나는 경우에 투과되는 빛묶음의 직경은 입사빛묶음의 직경에 비하여 작아질수도 있고 커질수도 있다. 더우기 일정한 발산각을 가지고 전파하는 빛묶음을 리용하는 경우에는 그 관계가 더 복잡해질수 있다.

현실적으로 레이자빛묶음의 경우도 엄밀하게는 평행빛묶음이 아니며 일정한 발산각을 가지고있다. 이제 발산빛묶음이 등변프리즘에서 전파하는 경우에 입사빛묶음의 발산각과 출사빛묶음의 발산각의 관계를 보기로 하자.

등변프리즘에 발산각이 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ 인 빛묶음이 입사한다고 보자.(그림 1)

먼저 빛선 1과 빛선 2가 이루는 출사빛묶음의 발산각을 보자. 중심빛선 1의 입사각을 i_1 , 변두리빛선 2, 3의 입사각을 j_1 , k_1 이라고 하면 식 $\alpha_1 = j_1 - i_1$ 이 성립한다. 빛선 1과 2에 대하여 굴절법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} \sin i_1 = n \sin i_2 \\ n \sin i_3 = \sin i_4 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sin j_1 = n \sin j_2 \\ n \sin j_3 = \sin j_4 \end{cases} \quad (2)$$

이 각들과 프리즘의 정각 A 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

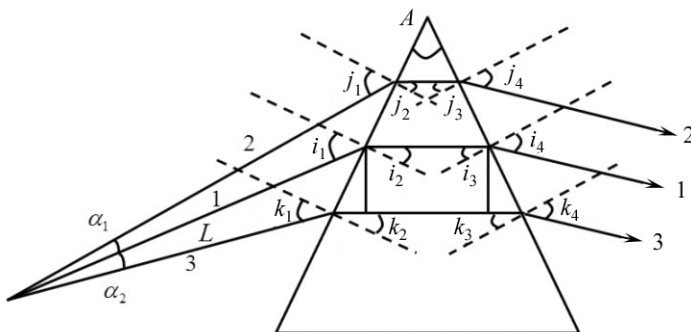


그림 1. 기하광학적해석모형

$$\left. \begin{aligned} A &= j_2 + j_3 \\ B &= i_2 + i_3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

식 (1)–(3)으로부터 빛선 1의 굴절각은 다음과 같이 구해진다.

$$\left. \begin{aligned} i_4 &= \arcsin(n \cdot \sin A \cdot \sqrt{1-x^2} - n \cdot \cos A \cdot x) \\ \sin i_2 &= \frac{1}{n} \sin i_1 = x \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

같은 방법으로 빛선 2의 굴절각을 구하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} j_4 &= \arcsin(n \cdot \sin A \cdot \sqrt{1-y^2} - n \cdot \cos A \cdot y) \\ \sin j_2 &= \frac{1}{n} \sin j_1 = \frac{1}{n} \sin(\alpha_1 + i_1) = y \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

따라서 등변프리즘을 지난 후에 빛선 1과 빛선 2가 이루는 출사빛묶음의 발산각은 다음과 같이 주어진다.

$$\beta_1 = j_4 - i_4 \quad (6)$$

다음 빛선 1과 빛선 3이 이루는 출사빛묶음의 발산각을 보자.

앞에서와 같은 방법으로 빛선 3의 굴절각은 다음과 같이 얻어진다.

$$\left. \begin{aligned} k_4 &= \arcsin(n \cdot \sin A \cdot \sqrt{1-z^2} - n \cdot \cos A \cdot z) \\ \sin k_3 &= \frac{1}{n} \sin k_1 = \frac{1}{n} \sin(i_1 - \alpha_2) = z \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

빛선 1과 빛선 3이 등변프리즘을 지난 후에 이루는 출사빛묶음의 발산각은 다음과 같이 주어진다.

$$\beta_2 = i_4 - k_4 \quad (8)$$

따라서 입사빛묶음의 발산각 α 와 등변프리즘을 지난 출사빛묶음의 발산각 β 는 각각 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, $\beta = \beta_1 + \beta_2$ 이다.

2. 계산결과 및 분석

빛묶음직경이 1.3mm이고 발산각이 $\alpha = 5 \times 10^{-4}$ rad인 반도체레이자와 굴절률이 1.505 2인 등변프리즘을 리용하는 경우 출사빛묶음의 발산각은 입사빛묶음의 입사각과 프리즘의 정각에 따라 변한다.(그림 2)

입사빛묶음의 발산각과 출사빛묶음의 발산각의 비가 어떻게 변화되는가를 보면 발산빛묶음이 등변프리즘을 지날 때 발산각이 더 커지겠는가 혹은 작아지겠는가를 더 쉽게 알수 있다. 즉

$$\gamma = \frac{\beta}{\alpha} \quad (9)$$

여기서 β 는 $\beta = j_4 - k_4$ 이므로 발산각비 γ 는 다음과 같이 주어진다.

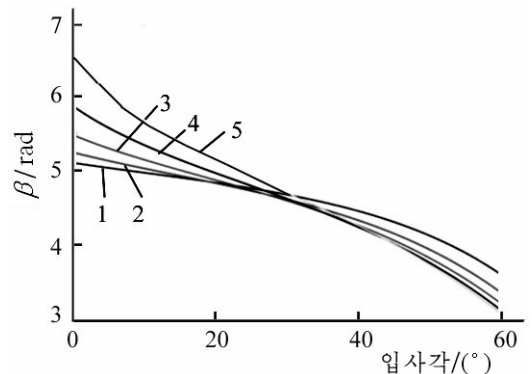


그림 2. 출사빛묶음의 발산각변화

1–5는 A가 각각 10, 15, 20, 25, 30°인 경우

$$\gamma = \frac{\arcsin(n \cdot \sin A \cdot \sqrt{1-y^2} - n \cdot \cos A \cdot y) - \arcsin(n \cdot \sin A \cdot \sqrt{1-z^2} - n \cdot \cos A \cdot z)}{\alpha} \quad (10)$$

식 (9), (10)에서 보는바와 같이 발산각비는 입사빛뭉침의 발산각, 입사각, 프리즘의 굴절률과 정각에 관계된다.

한편 각이한 정각에서 입사각에 따르는 발산각비의 변화는 그림 3과 같다.

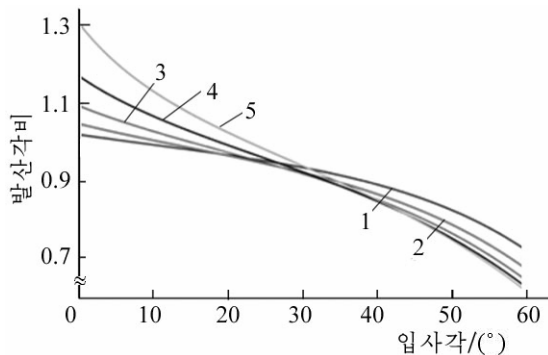


그림 3. 입사각과 정각에 따르는 발산각비의 변화

1-5는 그림 2에서와 같음

향에 비해 훨씬 작다. 프리즘의 정각이 주어진 경우 발산각의 변화가 없는(즉 발산각비가 1인) 입사각이 존재하며 이 각보다 큰 각으로 입사하는 경우 발산각비는 작아진다.

그림 5는 입사빛뭉침의 퍼짐각이 10° 일 때 프리즘의 정각에 대한 발산각비가 1인 입사각을 보여준다.

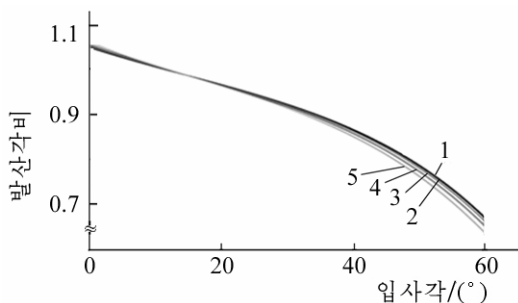


그림 4. 입사각과 발산각에 따르는 발산각비의 변화

1-5는 α 가 각각 1, 10, 20, 30, 40° 인 경우

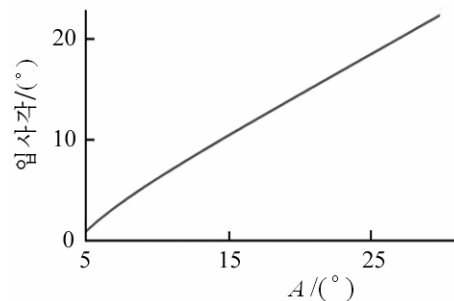


그림 5. 각이한 프리즘정각에서 발산각비가 1인 입사각

발산각이 0.17rad(약 10°)인 빛뭉침을 정각이 30° 인 등변프리즘에 입사시키고 입사각을 변화시키면서 가림판에 맺히는 빛뭉침의 자름면을 CCD촬영기로 찍은 영상들은 그림 6과 같다.

그림 6에서 보는바와 같이 가로방향에서의 영상크기는 거의 변화가 없지만 세로방향의 영상크기는 입사각에 따라 변화된다. 즉 발산각비가 1인 근방의 입사각 25° 에서는 세로방향크기와 가로방향크기가 거의 같지만 25° 보다 작은 입사각에서는 세로방향의 크기가 커지고 25° 보다 큰 입사각에서는 세로방향의 크기가 작아진다.

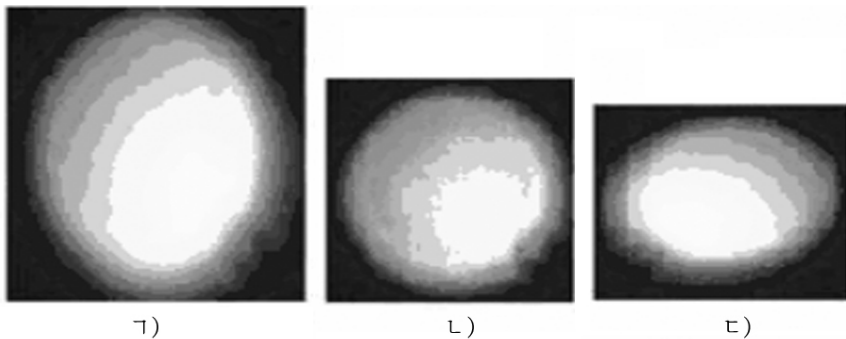


그림 6. 출사빛묶음의 영상

가), 나), 다)는 입사각이 각각 10, 25, 45° 인 경우

맺 는 말

발산빛묶음이 등변프리즘에서 전파하는 경우에 입사빛묶음의 발산각과 출사빛묶음의 발산각과의 관계를 기하광학적으로 해석하였다.

등변프리즘을 통과한 출사빛묶음의 발산각은 입사각, 정각, 입사빛묶음의 발산각에 따라 입사빛묶음의 발산각보다 클수도 있고 작을수도 있다. 같은 입사빛묶음의 발산각에 대해 입사각이 클수록 출사빛묶음의 발산각이 작아지며 이 변화는 프리즘의 정각이 클수록 심하다.

참 고 문 헌

- [1] F. El-Ghussein et al.; J. Phys., **74**, 10, 2006.
- [2] E. R. Van Keuren; Am. J. Phys., **73**, 611, 2005.
- [3] H. F. Roger et al.; Proceedings of SPIE, **5377**, 1689, 2004.
- [4] M. R. Rahman; UARJ, **1**, **3**, 4, 2012.
- [5] D. B. Singh; Arihant AIEEE Physics, Arihant Prakashan, 699~744, 2007.

주체104(2015)년 9월 5일 원고접수

Ray Optical Study on Divergence Angle Variation of Divergence Beam Transmitted through Equilateral Prism

Han Yong Ha

We have analyzed by the geometrical optics the relation of a divergence angle of incident beam and a divergence angle of emergence beam when a divergence beam travels through equilateral prism. The divergence angle of emergence beam transmitted through prism can be larger than the divergence angle of incident beam or smaller according to the apex angle of prism and the incidence angle and divergence angle of incident beam. For same divergence angle of incident beam larger the incidence angle smaller the divergence angle of emergence beam. Such variations serious as the apex angle of prism are enlarged.

Key words: equilateral prism, divergence angle, apex angle