

論文96-33A-5-16

## 유전체 경계면에 경사지게 입사하는 Beam Cone의 해석과 그 응용

## (Beam Cone Analysis and Its Applications for the Beams Obliquely Input to Dielectric Boundaries)

李竝浩 \*, 閔盛煜 \*\*

(Byoungho Lee and Sung-Wook Min)

## 요 약

유전체 경계면에 종축근사를 사용할 수 없을 정도의 큰 각도로 입사하는 레이저 beam에 대해, 굴절된 후의 beam cone 형태를 벡터해석을 이용해 간단히 구할 수 있음을 보였다. 이를 이용해 경사단면 광섬유의 acceptance cone의 형태를 살펴보았다. 또한, 광섬유와 InP-based photodiode를 Si v-groove를 이용해 결합할 경우의 InP 기판 안에서의 beam cone의 형태를 계산할 수 있음을 보였다. 그리고, 최근 제안된 경사면 용 행렬법의 유용성과 오차를 벡터해석 기법을 사용해 검토하였다.

## Abstract

It is shown that a simple vector analysis method can provide beam cone shapes for laser beams non-paraxially input to dielectric boundaries with inclination. Acceptance cone shapes for angled-endface fibers are calculated by the method. Beam cone shapes inside InP substrates are also calculated by the method for the coupling of an optical fiber and an InP-based photodiode using a Si v-groove. The effectiveness and errors of the recently suggested matrix method for inclined boundaries are also studied.

## I. 서 론

레이저 다이오드(LD)와 광섬유의 결합에서 반사파에 의한 잡음의 영향을 줄이기 위해 경사진 단면을 갖는 광섬유를 많이 사용하고 있다.<sup>1,2)</sup> 이러한 광섬유의 acceptance angle은 방향에 따라 달라지며, 따라서 단일한 NA(numerical aperture)를 정의할 수 없다. 경사단면 광섬유를 사용한 LD-광섬유의 결합<sup>1)</sup>, 광섬유-광섬유의 결합에<sup>3)</sup> 대해 그 대략적 결합효율을 모델링하기 위해서는 방향에 따른 acceptance angle이 어떠한지를 아는 것이 필요하다. 이러한 acceptance

angle은 광섬유에서 레이저 beam이 나올 때의 그 대략적인 beam cone shape도 보여준다. 보통 사용되는 광선광학(ray optics)이나 Gaussian beam 광학에서의 ray matrix는 종축근사(paraxial approximation)의 가정을 사용한다.<sup>4)</sup> 이는 각각의 광선(ray)이 중심 진행축에서 많이 벗어나지 않으며, 중심진행축과 이루는 각도가 충분히 작고, 유전체 경계에 입사할 때 거의 수직으로 입사한다고 가정하는 것이다. 그러나, 경사단면 광섬유의 경우에는 후자의 가정이 성립하지 않는다. 본 논문에서는 저자들이 아는 한 최초로, 이러한 경우에 대해 유전체에서의 광선의 굴절을 간단한 벡터기법을 통해 계산하여 beam cone의 형태를 살펴보는 방법을 설명하고자 한다.(본 논문내용의 부분적 결과는 본 논문이 제출된 후 다른 곳에도 발표되었음.<sup>5)</sup>) 이러한 방법은 InP-based photodiode와 광섬유를 Si v-groove를 이용하여 결합시킬 때의 정렬 및 정렬오

\* 正會員, \*\* 準會員, 서울大學校 電氣工學部

(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

接受日字: 1996年1月10日, 수정완료일: 1996年4月25日

차에 대한 연구를 하는 데에도 이용될 수 있다. 또한, 최근에, 경사진 유전체 경계에서 사용할 수 있는 근사적인 ray matrix가 제안된 바 있는데<sup>16)</sup>, 본 논문에서는 이의 타당성과 한계를 벡터기법을 통해 검토하고자 한다.

## II. 계산방법과 그 응용

그림 1은 어떤 beam이 원점에서 유전체 경계에 입사하는 경우를 보여준다. 벡터  $\hat{n}$ 은 경계면에서의 수직 벡터를 나타내며, 'medium 1'에서 beam의 중심축은 z 축을 따라 거꾸로(또는 이와 평행한 방향으로) 진행한다. 이러한 beam을 형성하는 광선 중에서 단위 진행방향벡터  $\hat{R}$ 의 입사광선을 고려할 때, 이에 대해 우리가 알고 있는 정보는 중심축의 진행방향에 대한 각도인  $\theta$ 와  $\phi$ 이다. 그러나, Snell의 굴절법칙을 사용하기 위해서는 경계면에 수직인 벡터  $\hat{n}$ 과 입사광선과의 각도  $\theta_1$ 을 알아야한다.

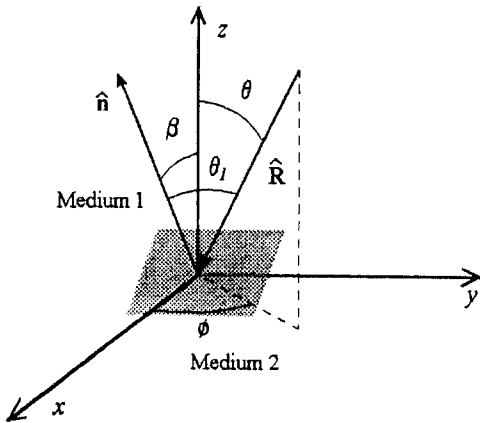


그림 1. 유전체 경계면에 입사하는 광선  $\hat{R}$   
Fig. 1. Ray  $\hat{R}$  incident on a dielectric boundary.

벡터  $\hat{n}$ 이 z축과 이루는 각도를  $\beta$ 라 하고, 그림 1에서와 같이 x-z평면에  $\hat{n}$ 이 놓이도록 x축의 방향을 잡자. 각도  $\theta_1$ 은  $\hat{n}$ 과  $-\hat{R}$ 의 내적을 이용해 구할 수 있다. 즉,

$$\hat{n} \cdot (-\hat{R}) = \cos \theta_1 = \sin \beta \sin \theta \cos \phi + \cos \beta \cos \theta \quad (1)$$

로 주어진다. 여기에서  $\hat{n}$ 의 좌표 표현이  $(\sin \beta, 0, \cos \beta)$ 이고,  $-\hat{R}$ 의 좌표 표현이  $(\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$ 인 점이 이용되었다. 이렇게 구한  $\theta_1$ 에 대해 다

음과 같은 Snell의 굴절법칙을 사용하여 'medium 2'에서 굴절된 광선  $\hat{R}'$ 의  $-\hat{n}$ 에 대한 진행각도  $\theta_2$ 를 구할 수 있다.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2)$$

여기에서  $n_1, n_2$ 는 각각 medium 1, medium 2에서의 굴절률이다. 이러한 벡터해석 방법을 확장하여  $\hat{R}'$ 과 z축이 이루는 각도 및  $\hat{R}'$ 과  $\hat{z}$ 이 이루는 각도를 구할 수 있다.(여기에서  $\hat{z}$ 은 -z의 방향으로 medium 1 으로부터 입사한 beam의 중심축이 굴절되어 나아가는 방향으로의 단위벡터를 의미한다.)(부록 1 참고)

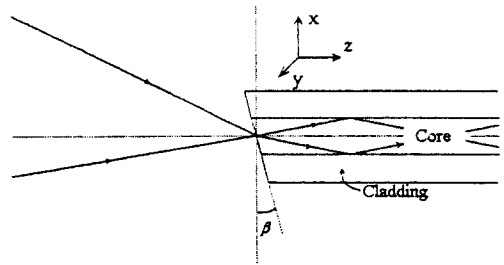


그림 2. Acceptance angle의 비대칭성을 보여주는 경사단면 광섬유  
Fig. 2. An angled-endface optical fiber showing asymmetry of the acceptance angle.

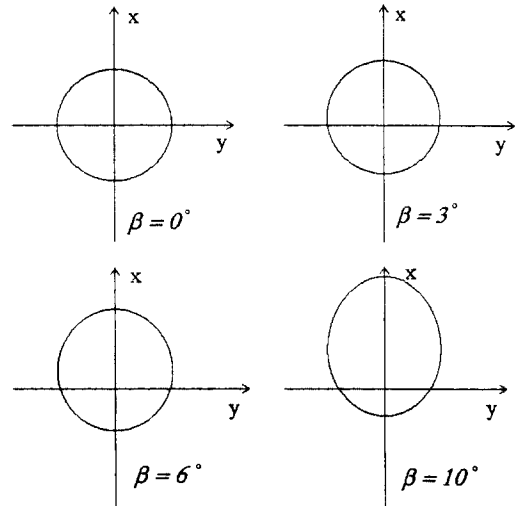


그림 3. 경사 각도  $\beta$ 에 따른 acceptance cone의 광섬유 중심축에 수직한 단면도(크기는 임의의 단위임)  
Fig. 3. Acceptance cone cross sections across the fiber axis for various endface angles( $\beta$ ) (The dimension is in an arbitrary unit.)

그림 2는 단면 경사각이  $\beta$ 인 경사단면 광섬유를 보여준다. 이 그림에서, 광섬유 내에서의 광선은 core와 cladding의 경계에서 전반사가 일어나는 임계각을 갖고 반사되며 진행하는 경우를 그린 것이며, 또한, 이에 해당하는 광섬유 외부에서의 입사광선을 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 acceptance angle은 방향에 따라 다르다. Core의 굴절률과 cladding의 굴절률이 각각 1.4658, 1.4613일 경우<sup>[7]</sup>, 앞에서 설명한 방법을 이용하여 계산한 acceptance cone의 광섬유 중심축에 수직한 단면을 그림 3에 나타내었다.(그림을 그린 과정은 부록 2 참고) 단면경사각도가 0°일 경우에는 원의 형태를 가지지만, 단면경사각도가 커질수록 형태가 찌그러지며 그 중심이 위로 이동하는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 acceptance cone을 계산하는 것은 LD-경사단면 광섬유 결합에 있어서 LD에서 나오는 beam의 ray 중 광섬유 안으로 들어갈 수 있는 성분들을 파악할 수 있게 해주므로 대략적인 결합계수를 계산하는데 이용될 수 있다. 또한, 경사단면 광섬유에서 나오는 beam의 형태를 파악할 수 있게 해준다.

앞에서 설명한 방법을 이용하여 유전체 경계면에 큰 각도로 입사하는 beam의 굴절된 후의 cone을 해석하는 방법은 photodiode-광섬유 결합에도 이용될 수 있다. 그림 4는 장거리 광통신 신호의 수신에 쓰이는 InP-based photodiode를 광섬유가 붙은 Si v-groove 위에 고정시켜 결합시키는 방법<sup>[8]</sup>을 보여준다. 실리콘의 (111)면과 (100)면은 54.7°의 각도를 이루므로, 그림 4에서와 같이 (100) 웨이퍼에 만든 v-groove에 고정된 광섬유에서 나와서 (111)면에서 반사되는 레이저 beam은 InP 기판에 약 20°의 중심각도를 갖고 입사하게 된다. 따라서, InP-based photodiode를 어떻게 정렬시켜야하는가를, 또한, 정렬 오차에 대한 결합효율의 변화는 어떠한가를 근사적으로 알기 위해서는, 이와 같이 20°의 중심각도로 입사하는 beam이 굴절되어 InP 기판으로 입사한 후의 cone의 형태를 알아야 한다. 그림 5는 앞에서 설명한 방법으로 이를 계산한 예를 보여준다. 안쪽의 폐곡선은 InP 기판 안으로 굴절되어 들어가 진행한 beam의 cone 형태를 보여주며, 밖의 폐곡선은 InP 기판이 없을 경우의 같은 위치에서의 가상적인 beam cone의 형태이다. 그림 5에서 InP내에서 beam이 진행한 거리는 광섬유 단면에서 InP 경계면까지의 거리의 반이며, beam의 발산각도는 10°라고 가정하였다. 또한, cone

의 형태는 InP 기판면에 평행한 면에 대하여 그린 것이며, 가로축은 그림 4에서 지면에서 수직으로 나오는 방향으로, 세로축은 지면에서 오른쪽으로 향하는 방향으로 취한 것이다.

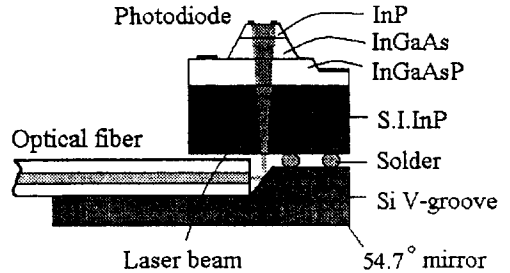


그림 4. Si v-groove에 고정된 광섬유와 InP-based photodiode의 결합

Fig. 4. Coupling of an InP-based photodiode with an optical fiber fixed on a Si v-groove.

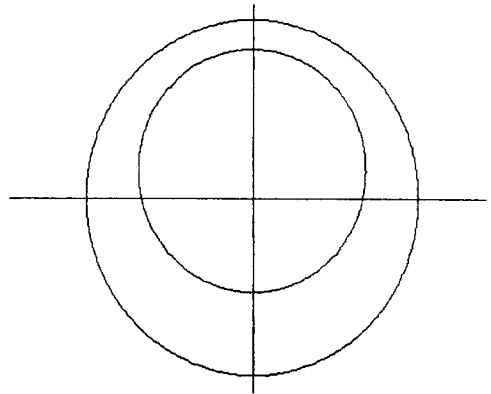


그림 5. InP 내에서의 beam cone 형태(안쪽 폐곡선)와 InP가 없을 경우의 같은 위치에서의 가상적 beam cone 형태(바깥쪽 폐곡선)의 비교 (크기는 임의의 단위임)

Fig. 5. Comparison of the beam cone shape inside InP(inner closed curve) with that in the absence of the InP(outer closed curve) (The dimension is in an arbitrary unit.).

그림 5와 같이 InP 웨이퍼에 20°의 경사각도를 갖고 입사하는 beam cone의 형태를 예측하는 것은 photodiode를 고정시킬 위치를 알 수 있게 해주며 그 위치의 misalignment에 따라 mesa가 beam cone에 대해 어긋나는 정도를 파악할 수 있게 해주므로 대략적인 결합효율을 예측할 수 있게 해준다.

### III. Ray-matrix를 이용한 beam 모양의 해석

유전체 경계면에 그림 6과 같이 큰 중심선 입사각도  $\beta_1$ 을 갖고 들어오는 beam에 대해 ( $\beta_1 \ll 1 \text{ rad}$ 의 조건이 만족되지 못하는 경우), 그 beam을 구성하는 광선이 중심선의 방향과 이루는 각도  $\theta_m$ 이 충분히 작을 때 이 광선에 대해 사용할 수 있을 것으로 최근 제안된 광선 행렬(ray matrix)은 다음과 같다.<sup>16)</sup>

$$\begin{pmatrix} r_{out} \\ \theta_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} & 0 \\ 0 & \frac{n_1 \cos \beta_1}{n_2 \cos \beta_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{in} \\ \theta_{in} \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기에서  $r_{in}$ ,  $r_{out}$ ,  $\theta_{out}$ ,  $\beta_2$ 는 그림 6에 표시한 바와 같다. 식 (3)의 행렬은 근사적인 것으로 (부록 3 참조) 그 타당성에 대한 검토가 이루어지지 않았다. 또한 식 (3)은 입사면(plane of incidence; 지면과 같은 면)에서만 적용될 수 있는 행렬이다. 입사면에 수직인 면(지면에 수직인 면)에서의 광선에 대해서는 보통 사용되는 다음과 같은 종축근사의 광선행렬을 근사적으로 사용한다면,

$$\begin{pmatrix} r_{out} \\ \theta_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{n_1}{n_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{in} \\ \theta_{in} \end{pmatrix} \quad (4)$$

서로 수직되는 방향에 대해 식 (3)과 식 (4)의 두개의 행렬을 독립적으로 사용할 수 있다. 그림 7은 이상의 방법을 이용하여 경사단면 광섬유의 acceptance cone을 그린 예를 보여준다. y축과 x축에 대해 각각 식 (3)과 식 (4)의 행렬을 사용하여 굴절된 광선의 위치들을 구하고 이들을 각각 장축 및 단축의 끝점으로 하여 타원을 그린 것이다. 그림 7은 II장에서 설명한 벡터해석 방법으로 계산한 acceptance cone의 형태도 같이 보여준다.  $10^\circ$ 이내의 단면각도에 대해 두 가지의 방법이 잘 일치함을 볼 수 있다.

경사진 유전체 경계면에서 굴절된 beam cone의 형태를 계산하는 방법은 프리즘이나 광굴절 물질(photorefractive material) 등에도 이용될 수 있다. 광굴절 물질에 angular multiplexing으로 정보를 저장하기 위해서는 입사되는 beam의 각도를 다양하게 변화시켜 주어야 한다.<sup>19)</sup> 이러한 각도들은 일반적으로  $\beta_1 \ll 1 \text{ rad}$ 의 조건을 만족시키지 않는다. 이러한 중심선을 따라 Gaussian beam이 입사할 때 광굴절 물질에 입사된 후의 beam의 형태에 따른 영향이 아직 연구된 바가 없다. 그림 8은 공기 중으로부터 광굴절 물질인

strontium barium niobate(SBN) 결정(굴절률:2.3)에 입사하는 beam에 대해 식 (3)의 행렬방법으로 계산된 광선굴절각도와 중심선으로부터의 거리의 오차를 보여 준다. 여기에서 '오차'란 벡터해석방법을 기준으로 하여 계산한 행렬방법의 오차를 의미한다. 그림 8 (b)에서의 거리오차란 beam이 공기 중에서 진행한 만큼 SBN 안에서 진행하였을 때 광선이 중심선으로부터 떨어진 거리에 대한 오차를 뜻한다. 'Incident angle'이란 중심선의 입사각도(그림 6에서의  $\beta_1$ )를 의미하며, 'beam angle'이란 입사면의 광선의 중심광선에 대한 각도(그림 6에서의  $\theta_m$ )를 의미한다. 그림 8에서 입사각도가 커질수록 오차가 증가함을 볼 수 있다.

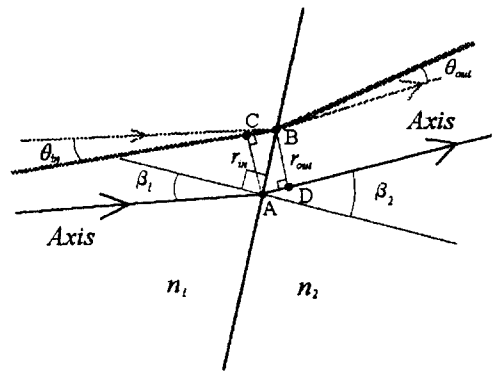


그림 6. 유전체 경계면에 경사지게 입사하는 beam  
Fig. 6. A beam incident with inclination on a dielectric boundary.

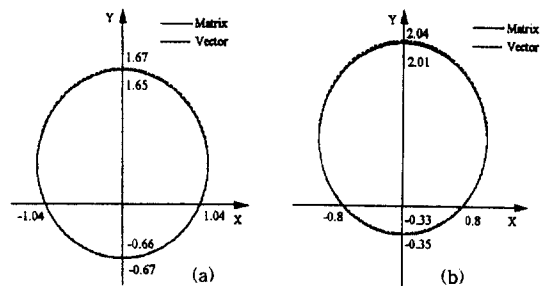
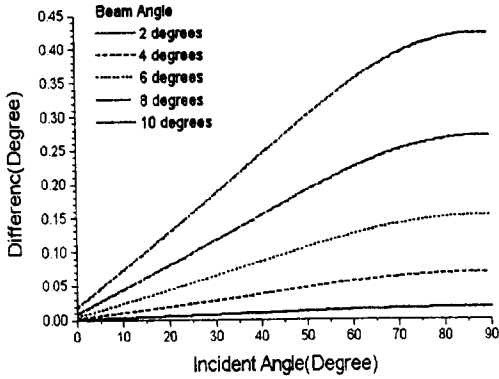
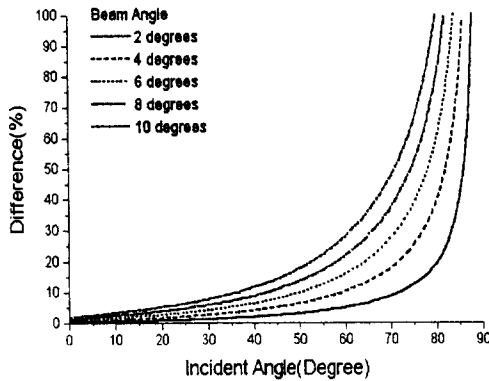


그림 7. 벡터해석과 행렬방법에 의한 acceptance cone의 단면모습의 비교(단위는  $\mu\text{m}$ 이며, 이는 광섬유 단면에서  $-z$ 축을 따라  $10\mu\text{m}$  떨어진 위치에 대한 것임) (a) 단면각도가  $6^\circ$  일때 (b) 단면각도가  $10^\circ$  일때

Fig. 7. Comparison of acceptance cone cross sections calculated by the vector analysis and the matrix method(The dimension is  $\mu\text{m}$ . The figures are for the position of  $z=-10\mu\text{m}$ ). (a) For  $6^\circ$  endface angle (b) For  $10^\circ$  endface angle.



(a)



(b)

그림 8. SBN 결정에 입사하는 beam에 대한 행렬방법의 오차 (a) 광선의 각도 오차 (b) 중심선에서 부터의 거리 오차

Fig. 8. Errors in the calculation by the matrix method for the beams incident on an SBN crystal (a) Errors in the ray angle (b) Errors in the distance from the center ray.

#### IV. 결론

이상에서 유전체 경계면에 무시할 수 없는 각도로 경사지게 입사하는 beam에 대해 그 굴절된 후의 cone의 형태를 벡터해석을 통해 계산할 수 있음을 보였고 이를 이용해 경사단면 광섬유에서의 acceptance cone의 형태를 살펴보았다. LD와 경사단면 광섬유간의 결합효율을 정확히 계산하기 위해서는 LD에서 나오는 beam의 field와 경사단면 광섬유 mode의 상관관계를 계산하는 복잡한 과정을 거쳐야 하지만, 본 논문의 방법에 의하면 그 대략적 결합효율을 쉽게 계산할 수 있다. 뿐만 아니라, 이 방법은 광섬유-photodiode의 결

합에 있어서 그 정렬에 대한 연구 및 정렬오차의 모델링에도 이용될 수 있음을 보였다. 또한, 최근에 제안된 경사면에 대한 행렬방법의 타당성을 벡터해석방법을 이용해 살펴보았다. 경사단면 광섬유와 같이 입사각도가  $10^\circ$ 미만인 경우에는 행렬방법이 근사적으로 잘 맞지만, 입사각도가 커지면 행렬방법의 오차가 증가함을 볼 수 있었다.

#### V. 부록 1

$\hat{R}'$ 의 좌표표현  $(a, b, c)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.  $\hat{R}'$ 은 단위벡터이므로

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1 \quad (A-1)$$

이며,  $-\hat{n}$ 의 좌표표현은  $(-\sin\beta, 0, -\cos\beta)$ 이다.  $\hat{R}'$ 과  $-\hat{n}$ 이 이루는 각도가  $\theta_2$ 이므로

$$\hat{R}' \cdot (-\hat{n}) = \cos\theta_2 = -a\sin\beta - c\cos\beta \quad (A-2)$$

를 얻는다.  $\hat{R}'$ 은  $\hat{n}$ 과  $-\hat{R}$ 이 이루는 평면 상에 있으므로  $\hat{R}'$ 은  $\hat{m} \equiv \hat{n} \times (-\hat{R})$ 과 수직이어야 한다. 즉,

$$\hat{m} = \hat{n} \times (-\hat{R}) = (-\cos\beta\sin\theta\sin\phi, \cos\beta\sin\theta\cos\phi - \sin\beta\cos\theta, \sin\beta\sin\theta\sin\phi) \quad (A-3)$$

이므로

$$\begin{aligned} \hat{R}' \cdot \hat{m} = 0 = & -a\cos\beta\sin\theta\sin\phi \\ & + b(\cos\beta\sin\theta\cos\phi - \sin\beta\cos\theta) + c\sin\beta\sin\theta\sin\phi \end{aligned} \quad (A-4)$$

이다. 식(A-1), (A-2), (A-4)로부터  $a, b, c$ 를 구할 수 있다.  $\hat{R}'$ 과  $-z$ 축의 각도  $\theta'$ 은

$$\hat{R}' \cdot (-\hat{z}) = \cos\theta' = (a, b, c) \cdot (0, 0, -1) = -c \quad (A-5)$$

로부터 얻는다.  $-z$ 축의 방향으로 입사한 beam의 중심선이 굴절되어  $-\hat{n}$ 과 이루는 각도  $\beta'$ 은

$$n_1\sin\beta = n_2\sin\beta' \quad (A-6)$$

로부터 얻을 수 있으며, 그 방향의 단위벡터를  $\hat{z}'(d, 0, -\sqrt{1-d^2})$ 라 하면

$$(-\hat{n}) \cdot \hat{z}' = \cos\beta' = -d\sin\beta + \sqrt{1-d^2}\cos\beta \quad (A-7)$$

로부터  $d$ 를 구할 수 있다.  $\hat{R}'$ 과  $\hat{z}'$ 이 이루는 각도  $\theta''$ 는

$$\begin{aligned} \hat{R}' \cdot \hat{z}' = \cos\theta'' = & (a, b, c) \cdot (d, 0, -\sqrt{1-d^2}) \\ = & ad - c\sqrt{1-d^2} \end{aligned} \quad (A-8)$$

로부터 계산할 수 있다.

VI. 부록 2

그림 2에서 광섬유 내에서 core와 cladding 사이에 전반사가 일어나는 임계각을 갖고 진행하는 광선들에 대해 그 광선이 z축과 이루는 각도는  $\theta = 0.5\pi - \arcsin(n_2/n_1)$ 으로 고정된다. (여기에서,  $n_1$ 은 core의 굴절률,  $n_2$ 는 cladding의 굴절률을 뜻한다.) 이러한 광선을 x-y 평면에 투영시켰을 때 x축과 이루는 각도가  $\phi$ 이다. 단면에 수직으로서 광섬유 안쪽으로 향하는 단위벡터가 z축과 이루는 각도는  $\beta$ 이다. 이와 같이 하면 광섬유 안에서  $\theta$ 와  $\phi$ 로 결정되는 광선에 대해 이에 해당하는 광섬유 밖에서의 광선의 단위벡터  $\hat{R}'(a, b, c)$ 를 부록 1의 방법으로 구할 수 있다. 그림 3을 그리기 위해서는 cone 단면을 그리고자 하는 위치  $z = c_0$ 에 대해  $a : b : c = a_0 : b_0 : c_0$ 의 관계가 만족 되도록 ( $a_0, b_0$ )를 구한 후 이를 x-y 평면에 표시하면 된다. 그림 3에서 cone의 중심을 편의상 근사적으로 z축을 따라 광섬유 안에서 진행하는 광선이 광섬유 밖에서 나타내는 경로로 정의한다면, 그 경로가 z축과 이루는 각도  $\alpha$ 는  $\sin(\alpha + \beta) = n_1 \sin \beta$ 로 부터  $\alpha = \arcsin(n_1 \sin \beta) - \beta$ 임을 알 수 있다. 그림 3과 같은 cone 단면도에서 중심점의 위치는  $(|c_0| \tan \alpha, 0)$ 으로 주어진다.

VII. 부록 3

그림 6에서 중심선에 대한 Snell의 굴절법칙은 다음과 같다.

$$n_1 \sin \beta_1 = n_2 \sin \beta_2 \tag{A-9}$$

그림에서와 같이 중심선에 대해  $\theta_{in} (\theta_{in} \ll 1 \text{ rad})$ 의 각도로 입사하는 광선에 대해 Snell의 굴절법칙을 적용하면

$$n_1 \sin(\beta_1 + \theta_{in}) = n_2 \sin(\beta_2 + \theta_{out}) \tag{A-10}$$

인데,

$$\begin{aligned} \sin(\beta_1 + \theta_{in}) &= \sin \beta_1 \cos \theta_{in} + \cos \beta_1 \sin \theta_{in} \approx \sin \beta_1 + \theta_{in} \cos \beta_1 \\ \sin(\beta_2 + \theta_{out}) &= \sin \beta_2 \cos \theta_{out} + \cos \beta_2 \sin \theta_{out} \approx \sin \beta_2 + \theta_{out} \cos \beta_2 \end{aligned} \tag{A-11}$$

이므로, 식(A-9)를 이용하면 식(A-10)은 다음과 같이 근사된다.

$$n_1 \theta_{in} \cos \beta_1 \approx n_2 \theta_{out} \cos \beta_2 \tag{A-12}$$

즉,

$$\theta_{out} \approx \theta_{in} \frac{n_1 \cos \beta_1}{n_2 \cos \beta_2} \tag{A-13}$$

또한, 그림 6에서 선분 AB의 길이는 다음과 같으므로,

$$\overline{AB} = \frac{r_{in}}{\cos(\beta_1 + \theta_{in})} = \frac{r_{out}}{\cos \beta_2} \tag{A-14}$$

로 부터

$$r_{out} \approx \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} r_{in} \tag{A-15}$$

를 얻는다. 이상의 결과를 행렬형태로 나타내면 식 (3)과 같다.

이상의 유도과정에서는 주어진 광선에 대해 그림 6의 C에서의  $r_{in}$ 과 B에서의  $r_{out}$ 을 관계지어 주었는데, 이는 중심선상에서 A에서의 입사에 대해 D점에서부터 굴절되어 진행하는 광선의 기준좌표로 사용한 것이다. 이러한 D점의 위치는  $r_{in}$ 값에 따라 달라진다. 즉, 입사하는 광선이 중심선에서 얼마만큼 벗어나 있는가에 따라 달라진다. 따라서, 이를 여러 개의 광선에 대해 적용시킬 때는 상대적인 오차가 생긴다.

감사의 글

※ 본 논문은 학술진흥재단의 지원에 의한 것임(ISRC 95-E-3208).

참 고 문 헌

[1] S. A. Hall, R. Lane, H.-C. Wang, and A. Gareri, "Assembly of laser-fiber arrays," *J. Lightwave Tech.*, vol. 12, no. 10, pp. 1820-1826, Oct. 1994.

[2] 강승규, 송민규, 장동훈, 편광의, "레이저웰딩 기술을 이용한 고속 광통신용 송신모듈 제작 및 특성 연구," 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 552-554, 1995년 11월.

[3] 안승호, 전오곤, 신장욱, 심재기, 정명영, 최태구, "광커넥터 단면각도에 따른 광학적 손실특성," '94 광자기술 학술회의 논문집, pp. 123-124, 1994년 10월.

[4] A. Yariv, *Optical Electronics*, 4th ed., Saunders College Publishing, Philadelphia, p. 37, 1991.

[5] B. Lee and S.-W. Min, "Beam cone analysis for the beams non-paraxially input to dielectric boundaries," *Optics and Photonics News*, vol. 7, no. 2, pp. s4-s5, Feb. 1996.

- [6] J.-P. Weber, "Device design using Gaussian beams and ray matrices in planar optics", *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol. 30, no. 10, pp. 2407-2416, Oct. 1994.
- [7] *The 1994 Newport Catalog*, Newport Corporation, Irvine, pp. 3-7, 1994.
- [8] 규동인, 민성욱, 이병호, "Si v-groove를 이용한 광섬유와 photodiode 결합에서의 beam profile과 결합효율에 대한 이론적 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집 C, pp. 1265-1267, 1995년 7월
- [9] F. Mok, D. Psaltis, and G. Burr, "Spatially-and angle-multiplexing holographic random access memory," *Proc. SPIE*, vol. 1773, pp. 334-345, 1992.

---

 저 자 소 개
 

---

李 竝 浩(正會員) 第 33卷 A編 第 1號 參照  
 현재 서울대학교 전기공학부 전임  
 강사



閔 盛 煜(準會員)  
 1995년 2월 서울대학교 전기공학  
 과 졸업. 현재 서울대학교 전기공  
 학부 석사 2학년