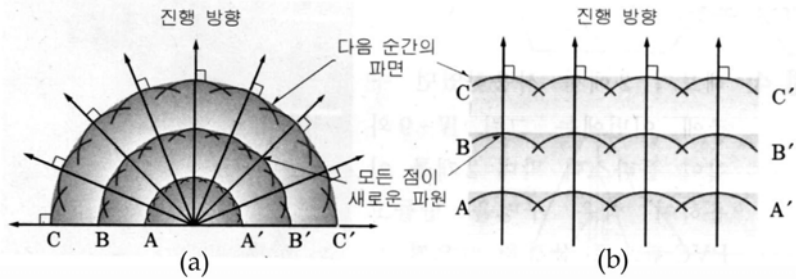


○ 빛: 파동, 입자 이중성

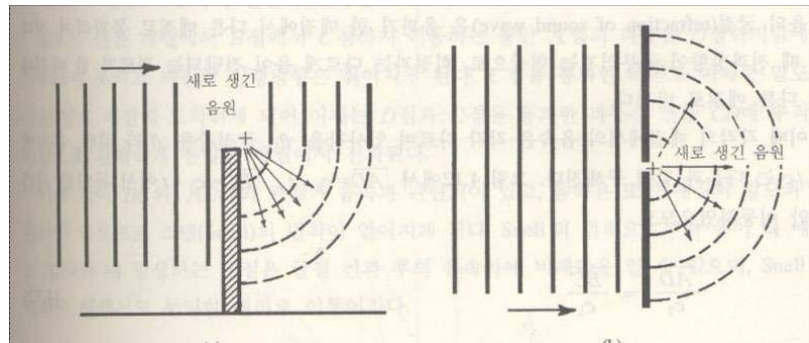
□ 호이겐스원리

- 파동이 전파되는 원리 설명
- 파면위의 모든 점들은 새로운 점파원이 되고, 이 점파원에서 만들어진 파들의 파면에 공통접선이 새로운 파면이 된다.



○ 파동이 앞으로 나가는 원리를 설명하는 것이 호이겐스의 원리이다.

- 그림(a)는 구면파이고, 그림(b)는 평면파이다. 파면상의 모든 점들은 새로운 파원이 되어 거기서 무수히 작은 파동들이 발생하는데, 이 작은 각각의 파면에 공통으로 접하는 파면이, 그림(a)에서는 구형으로, 그림(b)에서는 평면으로 나타나는 것이다.
- 그림에서 보는 바와 같이 파면과 진행 방향은 항상 수직의 관계가 있다
- 호이겐스 원리를 통해 회절을 보다 쉽게 이해 할 수 있다.



□ 회절은 파장이 길수록 틈이 작을수록 잘된다.

○ 파장이 길수록

- AM(~kHz) vs. FM(~MHz): AM의 파장이 길어 난청지역까지 전파; FM은 장애를 만나면 회절을 못함),
- 박쥐(초음파 20,000Hz보다 큰 진동수=파장짧음:회절되지 않고 되돌아옴),
- 뱃고동소리: 저음(파장이 김: 회절이 잘됨; 먼곳까지 잘들림),
- 빛 vs. 소리: 소리의 파장이 더 길기 때문에 담장 뒤에서 빛은 통과하지 못하지만 소리는 들리게 됨.

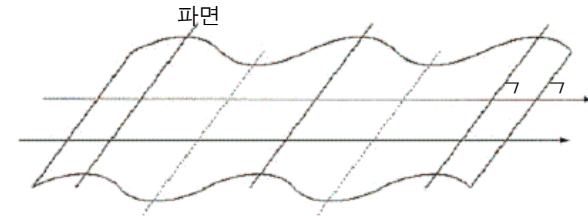
○ 틈이 좁을수록 회절이 잘 됨

- 망원경렌즈: 렌즈는 크게; 틈을 넓혀 회절을 방지함 ← 적을 경우 회절에 의해 서로 겹치게 됨

□ 진행방향과 파면

파면: 동시에 위상이 같은 것끼리 연결한 면

<평면파>



파면과 진행방향은 서로 직각이다.

□ 파동의 전파속도

○ 속도  $v = \frac{\text{거리}}{\text{시간}} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$

○ 전파속도 = 빛의 속도

○ 예) FM 주파수가 95MHz일 때 파장은?

$$\text{속도 } v = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = f\lambda = 95 \times 10^6 \times \lambda$$

$$\lambda \approx 3 \text{ m}$$

▷ 학습목표

1. 빛의 반사와 굴절원리 이해
2. Snell 법칙 이해

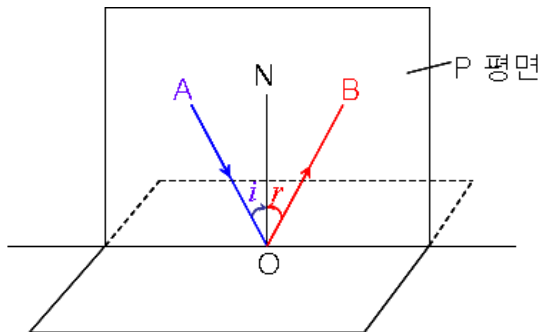
■ 파동과 빛의 반사

○ 광학적 소 · 밀의 개념

- '소(疎)' 한 매질 : 매질입자의 밀도가 헐렁한 매질  
: 빛의 속력이 빨라지는 매질
- '밀(密)' 한 매질 : 매질입자가 빽빽한 매질  
: 빛의 속력이 느려지는 매질

□ 반사의 법칙

- 한 개의 광선이 어떤 면에 입사할 때 입사점 O에 있어서
  - 법선  $\overline{ON}$ : 두 매질사이의 면 혹은 접선에 수직한 선
  - 입사각  $i$ : 법선과 입사광선 사이의 각
  - 반사각  $r$ : 법선과 반사광선 사이의 각

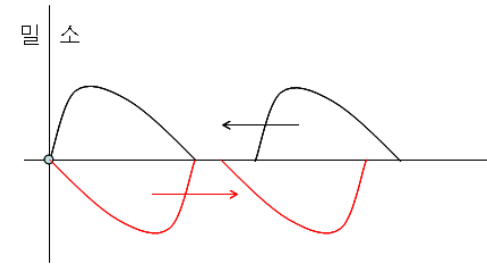


- ① 입사광선, 반사광선 및 입사점에 세운 법선은 동일한 평면 내에 있다.
- ② 입사각과 반사각은 항상 같다.
- ③ 입사광선과 반사광선은 법선에 대하여 서로 반대쪽에 있다.

- $\overline{AO}$ ,  $\overline{ON}$ ,  $\overline{OB}$  는 P 평면에 존재한다.

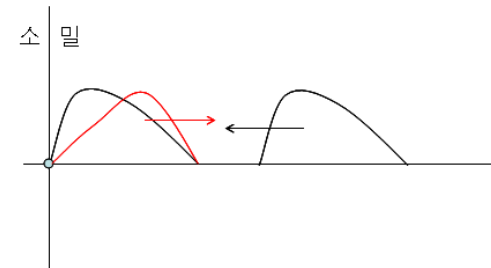
○ 파동의 고정단 반사

- 소한 매질에서 밀한 매질로 진행하다가 반사하는 것
- 진동이 어려운 매질, 한쪽 끝이 고정되어 있기 때문에 위상이 바뀌어 반사됨



○ 파동의 자유단 반사

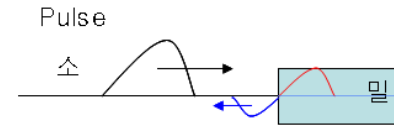
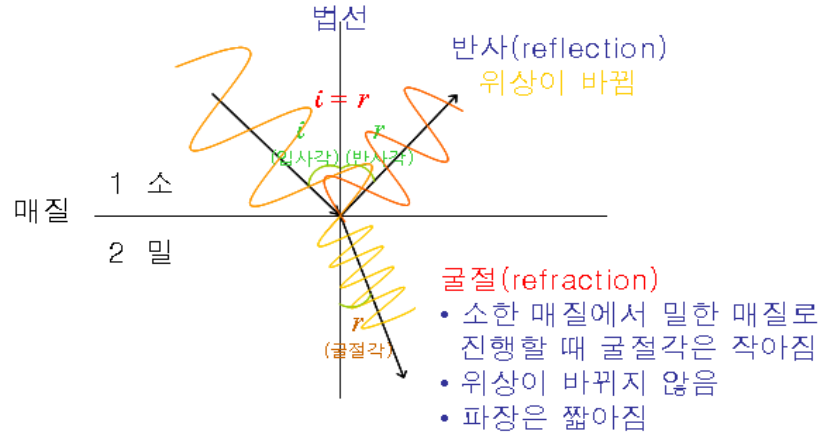
- 진동이 쉬운 매질을 만나면서 반사하는 것
- 위상이 바뀌지 않고 그대로 반사하는 현상



- 밀한 매질로 진행하다 반사하는 것: 고정단 반사---위상바뀜
- 소한 매질로 진행하다 반사하는 것: 자유단 반사---위상불변

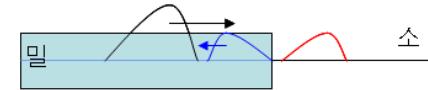
### 소한 매질에서 밀한 매질로 입사할 경우

일부는 반사, 일부는 투과(굴절)



#### 소 → 밀

- 투과는 위상 그대로, 반사는 위상이 바뀜
- Pulse 크기는 더 적어짐
- 원래 크기의 pulse = 투과된 pulse + 반사된 pulse



#### 밀 → 소

- 투과는 위상 그대로, 반사는 위상이 그대로
- Pulse 크기는 더 적어짐
- 원래 크기의 pulse = 투과된 pulse + 반사된 pulse

■ 밀한 매질에서 소한 매질로 입사한 경우에 대해 그림을 그려 정리할 것

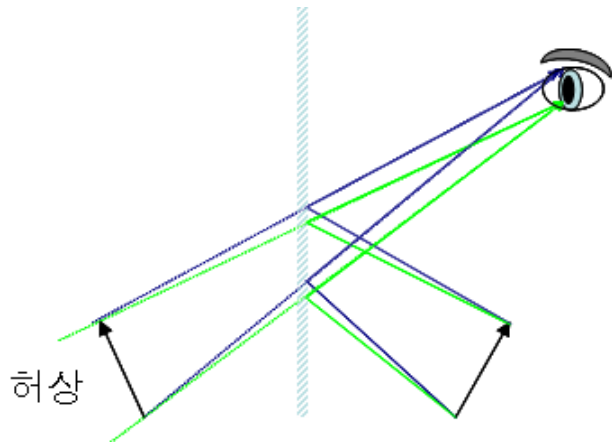
	소 → 밀	밀 → 소
반사	고정단 반사 위상이 반대로 바뀜 (180°)	자유단 반사 위상이 변동없음
투과	위상 변동없이 그대로	위상 변동없이 그대로

■ 거울에 의한 빛의 반사

- 거울 :  $\left\{ \begin{array}{l} \text{평면거울} \\ \text{곡면거울} \left\{ \begin{array}{l} \text{볼록거울}, \text{오목렌즈}() \\ \text{오목거울}(), \text{볼록렌즈}() \end{array} \right. \end{array} \right.$
- 실상 : 실제 빛이 모여 상(像)을 이루는 것
  - 영화관 스크린에 맺힌 상
- 허상 : 실제 빛이 아니라 있는 것처럼 연장되어 상을 이루는 것
  - 거울속의 자기 모습
  - 실제 빛이 아님, 실제거울 속에서 빛이 나오는 것이 아님

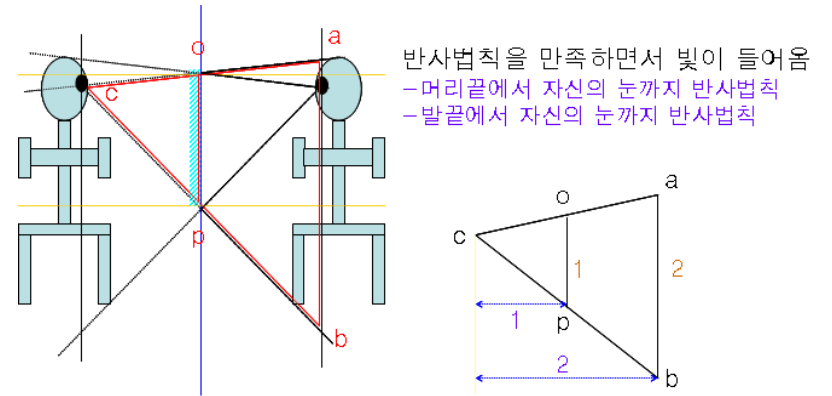
□ 평면거울

- 거울에서 물체를 보는 원리



- ① 좌우대칭
- ② 상대속도( $2v$ ):  $v$ 로 접근하면  $2v$ 로 보임

③ 자신의 전신을 보기 위한 거울의 최소크기 ( $= \frac{1}{2}$  배)

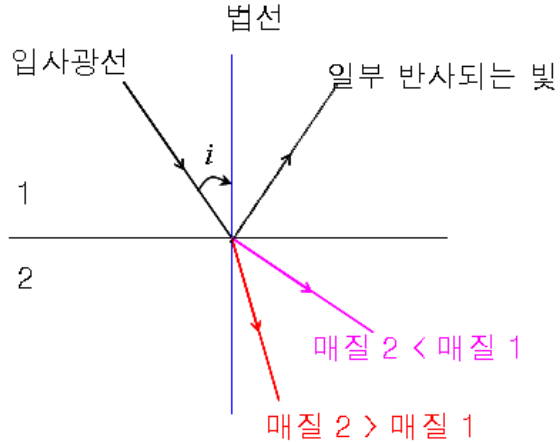


④ 파동이 반사할 때 : 속도( $v$ ), 파장( $\lambda$ ), 진동수( $f$  or  $\nu$ ) 모두 불변

⑤ 굴절: 다른 매질로 들어가면서 속도( $v$ )와 파장( $\lambda$ )이 변함, 진동수 불변

■ 굴절을 및 굴절(refraction)의 법칙

- 광선이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 그 경계면에서 빛의 일부는 반사하고 일부는 제2매질 속으로 진행한다.
- 이 때 빛의 진행방향이 변하게 되는데 이런 현상을 굴절이라고 한다.



- 굴절
  - 광선이 꺾이고, 속도도 변함
  - 광학적으로 밀도가 서로 다른 매질에서 속도가 변하는 비율: 굴절률

○ 굴절의 법칙

- ① 입사광선과 굴절광선 및 입사점에 세운 법선은 동일평면 내에 있다.
- ② 입사각의 정현(sin)과 굴절각의 정현의 비는 양 매질에 의해 결정되는 정수이다.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12} = \text{일정}$$

( $n_{12}$  : 매질 1에 대한 매질 2의 상대굴절률)

□ 굴절률(Index of Refraction)

- { 절대굴절률
- { 상대굴절률

- 굴절률  $n = \frac{C(\text{빛의 속도})}{v(\text{매질에서 변화된 속도})}$

- 굴절률이 큰 매질: 밀한 매질
- 굴절률이 적은 매질: 소한 매질

① 절대굴절률

■ 진공 → 물

$1 \times C = n \times c$  : 속도가 c로 줄어들게 되면 n은 1보다 큰 값이 되어야 함

■ 진공 → 유리

$1 \times C = n \times c$  : 속도가 물에서보다 더 줄어들게 되면 n은 물에서보다 더 큰 값이 되어야함.

- 굴절률 n이 크다 = 광속이 느리다.
- 굴절률 n이 적다 = 광속이 빠르다.

∴ 절대굴절률의 의미는

- 진공에 대한 매질의 굴절률임
- 진공을 기준으로 다른 매질로 들어갈 때 빛의 속도가 얼마나 느려지는가를 나타냄 (매질 1이 진공일 때 굴절률)
- 매질의 특성: 매질마다 정해진 값
- 빛의 속도 =  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- 빛의 속도( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )는 일정  $C = n \times v$
- 진공을 기준으로 공기(1.00029 ≈ 1), 물(1.33), 유리(1.55)  
(파장에 따라 다름: 노란색 기준)

※ 참고

■ 빛의 색은 진동수에 의해 결정됨 : → 파장이 아님

■  $v = f \cdot \lambda$

동일매질에서 광속이 일정할 경우 파장이 짧으면 진동수가 크고 파장이 길면 진동수가 작다.

예) 가시광선 중 파장이 가장 긴 빨간색 레이저 광선이 공기중에서 물이 담긴 병으로 진행할 때 색이 변하는가?

밀한매질로 진행 → 속력느려짐 → 파장 짧아짐 → 진동수불변 = 색깔불변

② 상대굴절률

: 두 물질을 비교할 때 공기→물 혹은 공기 →유리로 갈 때처럼 두 물질의 굴절률을 비교할 때 굴절률

$$n_{12} \text{ (1에 대한 2의 굴절률)} = \frac{n_2}{n_1}$$

■ 진공 → 물

$$1 \times c = n \times v$$

이것의 의미는 매질(1)에서 굴절률 × 속도 = 매질(2)에서 굴절률 × 속도

$$n_1 v_1 = n_2 v_2$$

■  $v = f \cdot \lambda$ 에서 진동수는 항상 일정하므로  $n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$

→ Original Snell 법칙  $n_1 v_1 = n_2 v_2, n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$

◎ 스넬(Snell)의 법칙

$$n_{12} \text{ (1에 대한 2의 굴절률)} \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

(각도), (파장), (속도), (굴절률)

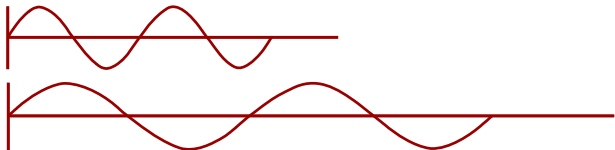
▶ 소한매질 → 밀한 매질: 속도가 느려짐, 굴절률과 속도가 반비례

▣ 파동의 굴절에서 파장, 속도, 각도의 관계

① 속도와 파장 사이의 관계  $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$

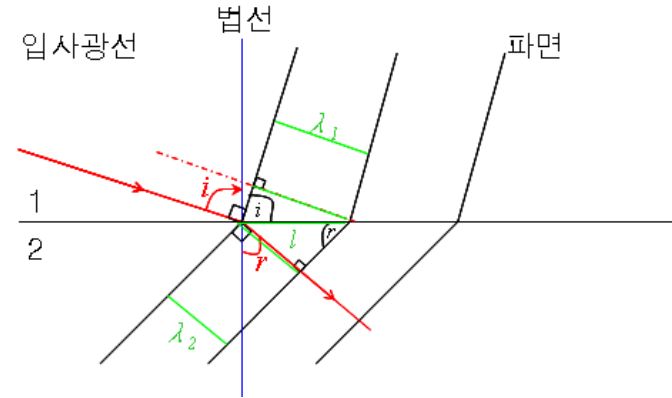
- $v = f\lambda$
- 두 빛의 진동수가 동일한 경우, 파장이 길면 속도가 빨라진다.
- 속도와 파장은 비례하게 됨.
- 밀한 매질 → 소한 매질: 속도 빨라짐, 파장이 길어짐

▶ 진동수가 동일한 두 파장에 대한 속도 비교



② 파장과 각도의 관계

◦ 소 → 밀 경우,



파면으로 제시된 경우: 빛의 진행방향은 파면에 90°가 됨  
 빛의 진행방향인 경우: 입사각과 반사각은 법선과의 사잇각  
 파면인 경우: 입사각과 반사각은 경계면과의 사잇각

속도의 비 = 파장의 비  $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$

$$\sin i = \frac{\lambda_1}{l}, \quad \lambda_1 = l \sin i$$

$$\sin r = \frac{\lambda_2}{l}, \quad \lambda_2 = l \sin r$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

④ **속도와 굴절률의 관계**  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

- 매질에서 속도( $v_1$ ) =  $\frac{\text{빛의 속도}(C)}{\text{매질의 절대굴절률}(n_1)}$

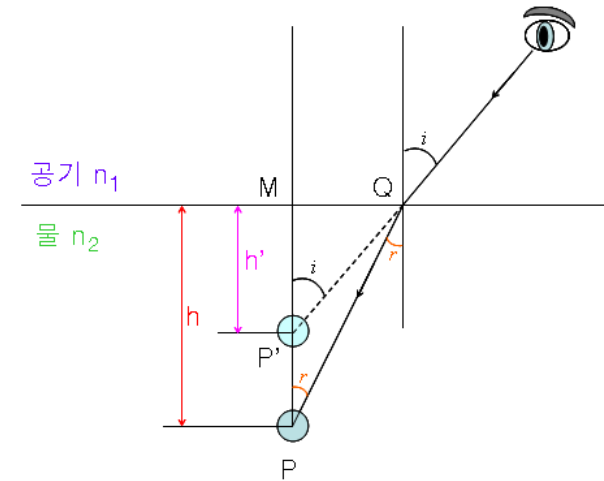
- 굴절률=속도비,  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{C}{n_1}}{\frac{C}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}$

○  $n_{12}$ (1에 대한 2의 굴절률) =  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

진행방향	변화	비고
소 → 밀	속도는 느려짐 파장은 짧아짐 굴절각 적어짐	굴절이 일어날 때 진동수는 불변
밀 → 소	속도는 빨라짐 파장은 길어짐 굴절각 커 짐	

□ **굴절의 예**

▶ 굴절에 의한 상의 위치



▶ 떠 보이는 깊이(겉보기 깊이, apparent depth)  $h'$  ?

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

$$n_1 \frac{QM}{QP'} = n_2 \frac{QM}{QP}$$

- 수중의 물체를 바로위에서 볼 때(입사각 = 0),

$$Q = M, QP = MP = h$$

$$QP' = MP' = h'$$

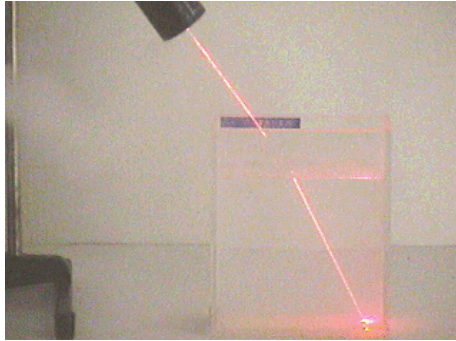
$$n_1 \frac{1}{h'} = n_2 \frac{1}{h}, \therefore h' = \frac{n_1}{n_2} h \quad (n_1 \text{ 공기이면, } h' = \frac{h}{n_2})$$

예)  $n_1$ 이 공기이고,  $n_2$ 가 물이라면, ( $n_1 = 1, n_2 = 1.33$ )

$$\therefore \text{겉보기 높이 } h' = \frac{h}{1.33} = \text{원래깊이} \times \frac{3}{4}$$

- 혹은,  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{h'}{h}$

즉, 실제 깊이와 겉보기 깊이의 비는 두 매질의 굴절률의 비와 같음



□ 페르마(Fermat)의 원리

- : 광선은 한 점에서 다른 한 점으로 진행할 때 시간이 가장 짧게 걸리는 경로를 택해서 나아간다.
- : 빛의 전파에 관한 법칙은 페르마의 원리에 의해 유도할 수 있다.

(1) 빛의 직진

: 빛이 균질인 매질 속을 진행할 경우 임의의 두 점 사이를 최소 시간으로 진행하기 위해서는 당연히 최단 거리로 진행해야 한다. 두 점간의 최단 거리가 그 두 점간을 잇는 직선이라는 것은 명확하다. 즉, 빛은 직진한다.

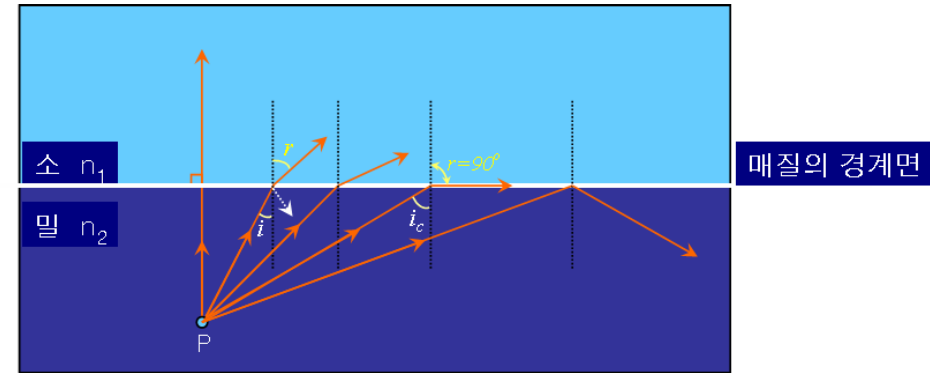
(2) 반사의 법칙

: Fermat의 법칙에 의해 유도할 것.

(3) 굴절의 법칙

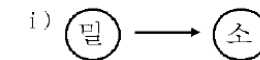
: Fermat의 법칙에 의해 유도할 것.

□ 전반사( Total Internal Reflection)



- 굴절률이  $n_2$ 인 매질 속의 한 점광원 P에서 다수의 광선이 발산되어 굴절률이  $n_1$ 인 매질의 표면에 부딪힐 때
  - 예, 광선이 물속에서 나와 공기속으로 진행하는 경우
  - 밀  $\rightsquigarrow$  소 : 입사각 < 굴절각
- 전반사: 입사각이 임계각보다 크면 마치 거울처럼 모두 반사하는 것
- 입사각이 어떤 값에 이르면 굴절각은  $90^\circ$ 가 되어 굴절광선은 매질의 경계면을 따라 진행함.
- 입사각이 이러한 값을 갖기 전까지 광선은 경계면에서 일부는 반사하고 일부는 굴절한다.
- 입사각이 이러한 값보다 커지면 광선은 경계면에서 모두 반사함  $\rightsquigarrow$  이러한 현상: 전반사
- 굴절각이  $90^\circ$ 가 될 때의 입사각을 임계각( $i_c$ )이라 한다.

≡ 전반사조건



ii)  $i > i_c$

iii)  $n = \frac{1}{\sin i_c}$   $n = \frac{\sin r}{\sin i} = \dots = \frac{\sin 90^\circ}{\sin i} = \frac{1}{\sin i_c}$

◦ Snell의 법칙

$$n_2 \sin i_c = n_1 \sin 90^\circ$$

$$\sin i_c = \frac{n_1}{n_2} \sin 90^\circ$$

$$n_1 = 1, \quad \sin 90^\circ = 1$$

$$n_2 = \frac{1}{\sin i_c} \quad \text{or} \quad \sin i_c = \frac{1}{n_2}$$

광학적으로 밀한 매질의 굴절률은 임계각의 sin 값의 역수이다.

예 1) 유리로부터 공기로 빛이 진행할 때 유리의 임계각은 얼마인가?  
(유리의 굴절률: 3/2)

$$\sin i_c = \frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} = 0.6666, \quad i_c \approx 42^\circ$$

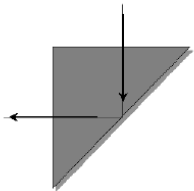
예 2) 다이아몬드로부터 공기로 빛이 진행할 때 다이아몬드의 임계각은 얼마인가?(다이아몬드 굴절률: 2.419)

$$\sin i_c = \frac{1}{2.419} = 0.4134 \quad i_c \approx 25^\circ$$

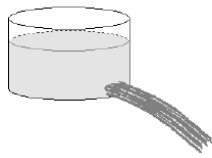
- 두 매질의 굴절률 차가 클수록 더 많이 전반사가 일어날 수 있다.
- 임계각이 작을수록 전반사가 잘됨.(예 1,2 비교)

### ≡ 전반사의 예

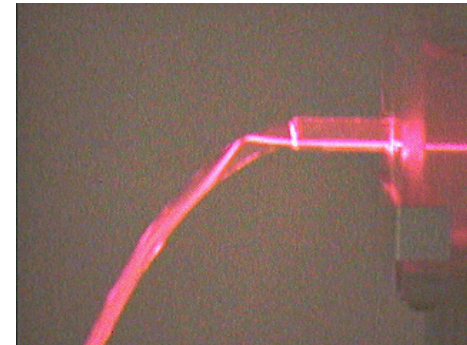
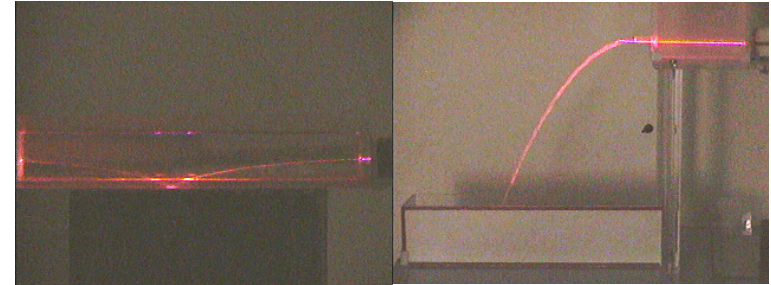
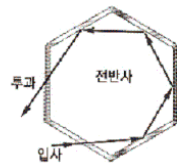
① 프리즘



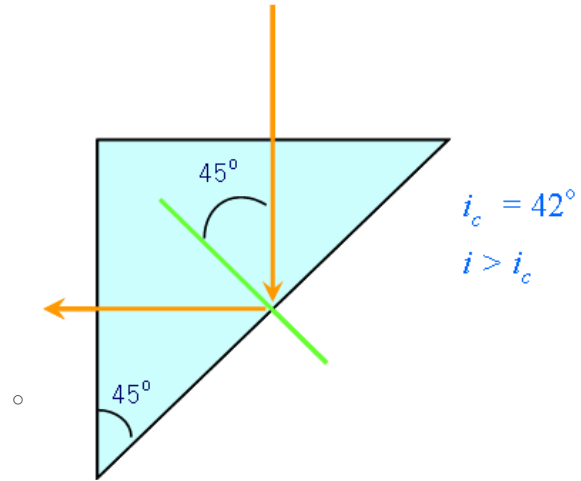
② 광섬유



③ 다이아몬드



예1의 경우, (매질이 유리와 공기로 되어 있을 때)



- 임계각이  $45^\circ$ 보다 약간 작다는 사실로부터, 전반사면으로  $45^\circ-45^\circ-90^\circ$ 의 프리즘을 사용할 수 있다.
- 반사체로 금속표면보다 전반사프리즘이 유용한 점
  - 어떤 금속면이 입사광선을 100% 반사시킬 수 없는데 반하여 프리즘은 전반사를 일으킬 수 있음.
  - 프리즘은 반사성이 영구적이고 녹으로 인한 영향을 받지 않음.
  - 단점: 프리즘에 입사하는 면과 나아가는 면에서 반사를 일으켜 어느 정도 손실이 된다는 것