

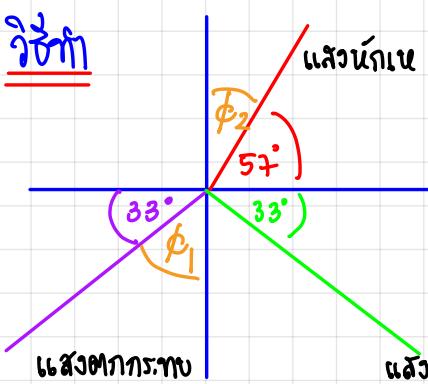
# Homework #1

ห้องเรียน สรุปสูตรทั่วไป

6201011631188 sec.1

Optic Eng. (PAK)

- แสงเคลื่อนที่ในอากาศไปต่อกรอบน้ำแล้วเกี้ยว ณ มุม  $\theta_1 = 33^\circ$  โดยมุม  $\theta_1$  วัดระหว่างแนวของลำแสงกับพิรุณองผ่านแก้ว ทำให้เกิดแสงสะท้อนและแสงหักเหขึ้นและแสงทั้งสองทั้งสองทำมุมกัน  $90^\circ$  จงคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของผ่านแก้ว และมุมวิกฤต



ตาม Snell's law จะได้ว่า

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2}$$

เพื่อหาค่า Index ของแก้ว ให้  $n_1 = 1$

$$\text{ให้ } n_2 = 1 \cdot \frac{\sin(90^\circ - 33^\circ)}{\sin(90^\circ - 57^\circ)}$$

$$n_2 = \frac{\sin 57^\circ}{\sin 33^\circ}$$

$$\therefore n_2 = 1.5398 \approx 1.54$$

ดังนั้น ค่าตัวเรช์นักเรขาคณิตผ่านแก้ว คือ 1.54

มุมวิกฤต คือ มุมที่แสงออกจากแก้ว กรณีนี้ แสงหักเหเข้ามุ่ง 90 องศา กับแนวผิวน้ำ

ดังนั้น ดังนี้ หาก

Snell's law จะได้ว่า

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

$$\phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$\phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{1.54}{1} \right) = 80.57^\circ$$

ดังนั้น ให้มูลวิกฤตให้ดู กรณีนี้ แสงสะท้อน เลินทางจากแก้ว 90° กับแนวผิวน้ำ หากไม่ (\*)

- จงคำนวณหาค่า numerical aperture ของเลนส์ไข่แดงที่มีดัชนีหักเหแบบขึ้น โดยที่  $n_1 = 1.48$  และ  $n_2 = 1.46$  พร้อมทั้งคำนวณหาค่ามุมต่อกรอบสูงสุด

วิธีทำ หาก  $NA = n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

โจทย์ให้แทนค่า  $n_1 = 1.48$  และ  $n_2 = 1.46$

จะได้ว่า  $NA = \sqrt{(1.48^2 - 1.46^2)}$

$$\therefore NA = 0.24248 \approx 0.2425$$

ดังนั้น ค่า NA ของลูกฟักในกรอบไข่ (Numerical Aperture) คือ 0.2425 (\*)

แล้ว หาก Snell's law จะได้ว่า

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2$$

$$\phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$\phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{1.46}{1.48} \right)$$

$$\phi_c = 80.56999^\circ \approx 80.57^\circ$$

ดังนั้น มุมต่อกรอบสูงสุดที่ทำให้เกิดการหักเห

คือ  $80.57$  องศา (\*)

4. เส้นใยนำแสงที่มีดัชนีหักเหแบบขี้น มีค่า numerical aperture เท่ากับ 0.30 และเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนในเท่ากับ 60 μm โดยมีจำนวนโมดูลของแสงที่เกลือบที่ผ่านได้ 740 โมด จงคำนวณหาความยาวคลื่นแสง และถ้าต้องการออกแบบใหม่เพื่อให้แสงเคลื่อนที่ผ่านได้เพียงโมดเดียว ความยาวคลื่นนี้ เส้นใยนำแสงควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุดเท่าไร?

วิธีทำ โจทย์กำหนดให้  $NA = 0.30$ ,  $a$  (radius) =  $30 \mu\text{m}$ ,  $M = 740$  Modes

โจทย์ต้องการ :  $\lambda$ , Diameter of single-mode

หากสูตร

$$M = \frac{V^2}{2}$$

จะได้

$$V^2 = 2M$$

$$V^2 = 1480$$

$\therefore$  Normalized frequency เท่ากับ  $38.471$

หากสูตร Single-Mode Fiber

$$V = \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \right) (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

จะได้ว่า

$$\lambda = \sqrt{\frac{(2\pi a)^2 (n_1^2 - n_2^2)}{V^2}}$$

$$\therefore \lambda = 1.4699 \times 10^{-6} = 1469.9 \text{ nm}$$

ถ้าต้องการให้เป็น Single-Mode ที่ค่าของคลื่นเท่ากับ  $1469.9 \text{ nm}$  จะได้

$$V = \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \right) (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \leq 2.405$$

$$a \leq \frac{2.405\lambda}{2\pi(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}$$

$$a \leq \frac{2.405 \times 1469.9 \times 10^{-9}}{2\pi \times 0.3}$$

$$a \leq 1.875 \times 10^{-8}$$

การห้องการไฟเบอร์ Optic ใน Single-Mode ที่ค่าของคลื่นของแสง 1469.9 nm ที่ต้อง

ต้องใช้ Core ที่มีค่าไม่เกิน  $18.75 \text{ μm}$  หรือเส้นผ่าศูนย์กลาง  $37.5 \text{ nm}$ .

7. สัญญาณแสงเคลื่อนที่ผ่านเส้นใยนำแสงที่มีความยาว 600 m พบร่วมกับการสูญเสียค่ากำลังงาน 80% จงคำนวณหาค่าการลดตอนสัญญาณของเส้นใยนำแสงนี้ ในหน่วย dB/km

วิธีทำ โจทย์กำหนด  $Length = 600 \text{ m}$ ,  $\Phi_{loss} = 80\%$

กรณี

$$loss_{(\text{dB})} = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

$$= 10 \log \left( \frac{1}{0.2} \right)$$

$$\text{Attenuation} \leftarrow loss_{(\text{dB})} = 6.9897 \text{ dB}$$

จะได้ว่า ค่าลดตอนสัญญาณในหน่วย  $\text{dB}/\text{km}$  คือ  $\frac{6.9897 \text{ dB}}{0.6 \text{ km}} = 11.6495 \text{ dB}/\text{km}$

## single-Mode

8. เส้นใยนำแสงโน้มเดี่ยวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนในเท่ากับ  $8.3 \mu\text{m}$  ค่า  $n_1 = 1.4692$   
และ  $\Delta = 0.36\%$  งำนวนหา V-number ที่ความยาวคลื่นใช้งาน  $1550 \text{ nm}$

วิธีทำ

โจทย์กำหนดให้  $D = 8.3 \mu\text{m}$  (Diameter),  $\Delta = 0.36\%$ .

$n_1 = 1.4692$ ,  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ , Single-Mode

Find V-number

หากสูตร

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

$$\therefore \frac{0.36}{100} = \frac{1.4692^2 - n_2^2}{2(1.4692)^2}$$

$$n_2^2 = 2.143$$

$$\therefore n_2 = 1.4639 \times \cancel{\times}$$

หากสูตร  $V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

$$\therefore V = \frac{2\pi(4.15 \times 10^{-6})}{1550 \times 10^{-9}} \times (1.4692^2 - 1.4639^2)^{1/2}$$

$$\therefore V = 2.097 \leq 2.405$$

ต้องห้าม V-number ของ Single-Mode Fiber

จึงคือ  $2.097 \times \cancel{\times}$

10. เส้นใยนำแสงที่มีดัชนี折射แบบขั้นบันไดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนในเท่ากับ  $50 \mu\text{m}$  ค่า  $n_1 =$

1.48 และ  $n_2 = 1.46$  งำนวนหา

- (ก) ค่าของความถี่น้อยอลาร์ม เมื่อความยาวคลื่นใช้งานเท่ากับ  $0.82 \mu\text{m}$
- (ข) จำนวนโมดูลที่ความยาวคลื่น  $0.82 \mu\text{m}$
- (ค) จำนวนโมดูลที่ความยาวคลื่น  $1.3 \mu\text{m}$
- (ง) เปรียบเทียบของกำลังงานแสงในแคดดิ้งทั้งสองความถี่นี้

วิธีทำ โจทย์กำหนดให้  $D_{core} = 50 \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.48$ ,  $n_2 = 1.46$

ก. Find V ;  $\lambda = 0.82 \mu\text{m}$

หากสูตร

$$V^2 = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2 (n_1^2 - n_2^2)$$

$$\therefore V^2 = \left(\frac{2\pi \times 25 \times 10^{-6}}{0.82 \times 10^{-6}}\right)^2 (1.48^2 - 1.46^2)$$

$$V^2 = 2157.692$$

$$\therefore V = 46.45$$

ต้องห้าม Normalized Frequency, V คือ 46.45  $\times \cancel{\times}$

ก. Find M ;  $\lambda = 0.82 \mu\text{m}$

หากสูตร  $M = \frac{V^2}{2}$

$$\text{จาก } (7) \quad \therefore M = \frac{V^2}{2} = 2157.692$$

พัฒนา  $M = \frac{2157.692}{2}$

$$M \approx 1078 \text{ modes}$$

ต้องห้ามจำนวนโมดูลที่ความยาวคลื่น  $0.82 \mu\text{m}$  คือ

1078 modes.  $\times$

ก. Find M ;  $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$

หากสูตร  $V^2 = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2 (n_1^2 - n_2^2)$  หา:  $M = \frac{V^2}{2}$  ;

$$M = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2 (n_1^2 - n_2^2)$$

$$\therefore \text{ให้ } M = \left(\frac{2\pi \times 25 \times 10^{-6}}{1.3 \times 10^{-6}}\right)^2 (1.48^2 - 1.46^2)$$

$$\therefore M \approx 429 \text{ modes}$$

ต้องห้าม จำนวนโมดูลที่ความยาวคลื่น  $1.3 \mu\text{m}$  คือ  
429 modes  $\times$

9. %. ของกำลังงานแสวงหาน์ Cladding ทั้งสิองความยาวคลื่น

$$\text{ทางศูนย์} \left( \frac{P_{\text{clad}}}{P_{\text{total}}} \right) \approx \frac{4}{3\sqrt{M}}$$

$$; \left( \frac{P_{\text{clad}}}{P_{\text{total}}} \right)_{\text{total}, 0.82 \mu\text{m}} \approx \frac{4}{3\sqrt{1078}}$$

$$\left( \frac{P_{\text{clad}}}{P_{\text{total}}} \right)_{\text{total}, 0.82 \mu\text{m}} \approx 0.0406 \text{ หรือ } 4.06\% \text{ of Total Power}$$

ดังนั้น %. ของกำลังงานแสวงหาน์ Cladding ต่อไปนี้ 4.06 %. ของกำลังงานทั่วไป.

$$\text{แล้ว: } \left( \frac{P_{\text{clad}}}{P_{\text{total}}} \right)_{\text{total}, 1.3 \mu\text{m}} \approx \frac{4}{3\sqrt{429}}$$

$$\left( \frac{P_{\text{clad}}}{P_{\text{total}}} \right)_{\text{total}, 1.3 \mu\text{m}} \approx 0.0643 \text{ หรือ } 6.43\% \text{ of Total Power}$$

แล้ว: %. ของกำลังงานแสวงหาน์ Cladding ที่มีความยาวคลื่น 1.3 μm คิดเป็น 6.43 %.

ขออภัยในภาษาไทยมาก \*

12. (ก) จงคำนวณหาค่าความยาวคลื่นคักห้องไฟของเส้นใยนำแสงโดยโมดูลเดียว ที่มีค่า  $2a = 8.3 \mu\text{m}$

และค่า NA เท่ากับ 0.125

(ข) ถ้าใช้งานที่ความยาวคลื่น 1310 nm เส้นใยนำแสงจะมีค่าเดียวกันหรือไม่?

วิธีทำ ก) เนื้อหา Fiber 9: เป็น Single-Mode หรือ Normalized Frequency สำคัญกว่า

$$2.405 \quad (V \leq 2.405)$$

$$\text{ทางศูนย์} \quad V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \leq 2.405 \quad - \text{(1)}$$

$$\text{กรณีที่} \quad \lambda_c = \frac{2\pi a}{2.405} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad - \text{(2)}$$

นั่นคือ  $\lambda_c$  [ กรณี Single-Mode Fiber เมื่อ  $\lambda > \lambda_c$   
[ กรณี Multi-Mode Fiber เมื่อ  $\lambda < \lambda_c$

โจทย์กำหนดว่า Diameter (D) =  $8.3 \mu\text{m}$ , NA = 0.125

$$\text{ทางสมการที่ (2); } \lambda_c = \frac{2\pi a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{2.405}$$

$$\lambda_c = \frac{2\pi (4.15 \times 10^{-6}) (0.125)}{2.405} ; (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \text{NA} = 0.125$$

$$\therefore \lambda_c = 1.355 \mu\text{m} \text{ หรือ } 1355 \text{ nm} / \text{ดังนั้นความยาวคลื่นที่ต้องการคือ } 1355 \text{ nm}$$

v) โจทย์ที่ 4 ให้  $\lambda = 1310 \text{ nm}$ , ถ้าต้องการเป็น Single-Mode ให้ทำอย่างไร?

หาก  $\lambda > \lambda_c$  ฝั่งเดียว ก็จะเป็น Single-Mode เลย

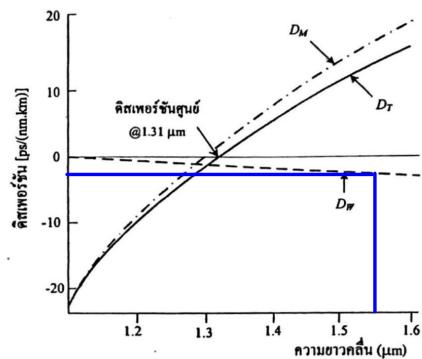
$$\lambda > \lambda_c \text{ แต่ } \lambda \text{ ต้อง } \lambda = 1310 \text{ nm}$$

สรุป ได้ที่ ก็คือความยาวคลื่น 1310 nm ต้องอยู่เหนือ Cutoff Wavelength ด้านขวามากกว่า น้ำเงิน

4: ชุดที่ 2 Multi-Mode \*

\* เนื่องจาก  $V \propto \frac{1}{\lambda}$  นั่นคือเมื่อ  $\lambda$  เพิ่ม ค่า  $V$  จะลดลง ซึ่งกรณี Fiber เป็นแบบ Single-Mode มากที่สุด และเมื่อ  $\lambda$  น้อยลง  $V$  จะเพิ่ม แต่  $\lambda < \lambda_c$  นั่นคือ  $V$  จะมีค่าเท่ากับ 2.405 และจะเป็น Multi-Mode นั่นเอง \*

17. จงคำนวณหาค่าการแผ่ออกของพลังแสงจากผลของค่าดิสเพอร์ชันเนื่องจากโคมรั้ง (รูปที่ 2.27) ที่ความยาวคลื่นใช้งาน 1550 nm โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นไดโอดเลเซอร์ที่มี  $\Delta\lambda = 0.5 \text{ nm}$  และระยะทางยาว 1 km



รูปที่ 2.27 ค่าดิสเพอร์ชันเนื่องจากวัสดุ ( $D_M$ ) โคมรั้ง ( $D_W$ ) และผลรวม ( $D_T$ )

โจทย์ก้านต่อไปนี้ใช้ ตัวแปร  $D_W$  นี่

เนื่องจากโคมรั้ง ( $D_W$ )

$$\text{จากสูตร } \Delta t_W = D_W L \Delta \lambda$$

จากกราฟ ก็  $\lambda = 1550 \text{ nm}$  ( $1.550 \mu\text{m}$ ) ค่า  $D_W$  ที่ทำกับ  $-2 \text{ ps/nm.km}$  โดยประมาณ

$$\text{ดังนี้ } \Delta t_W = 2 \frac{\text{ps}}{\text{nm} \cdot \text{km}} \cdot (1 \text{ km}) \cdot (0.5 \text{ nm})$$

$$\therefore \Delta t_W = 1 \text{ ps}$$

ดังนั้น การแผ่ออกของพลังแสงจากผลของค่าดิสเพอร์ชันเนื่องจากโคมรั้ง คือ 1 ps \*

\*