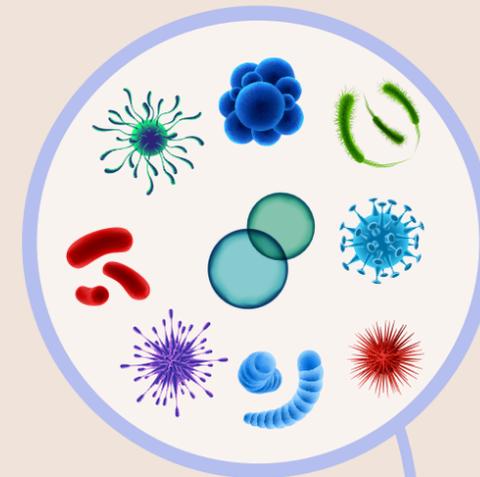


คำแนะนำ

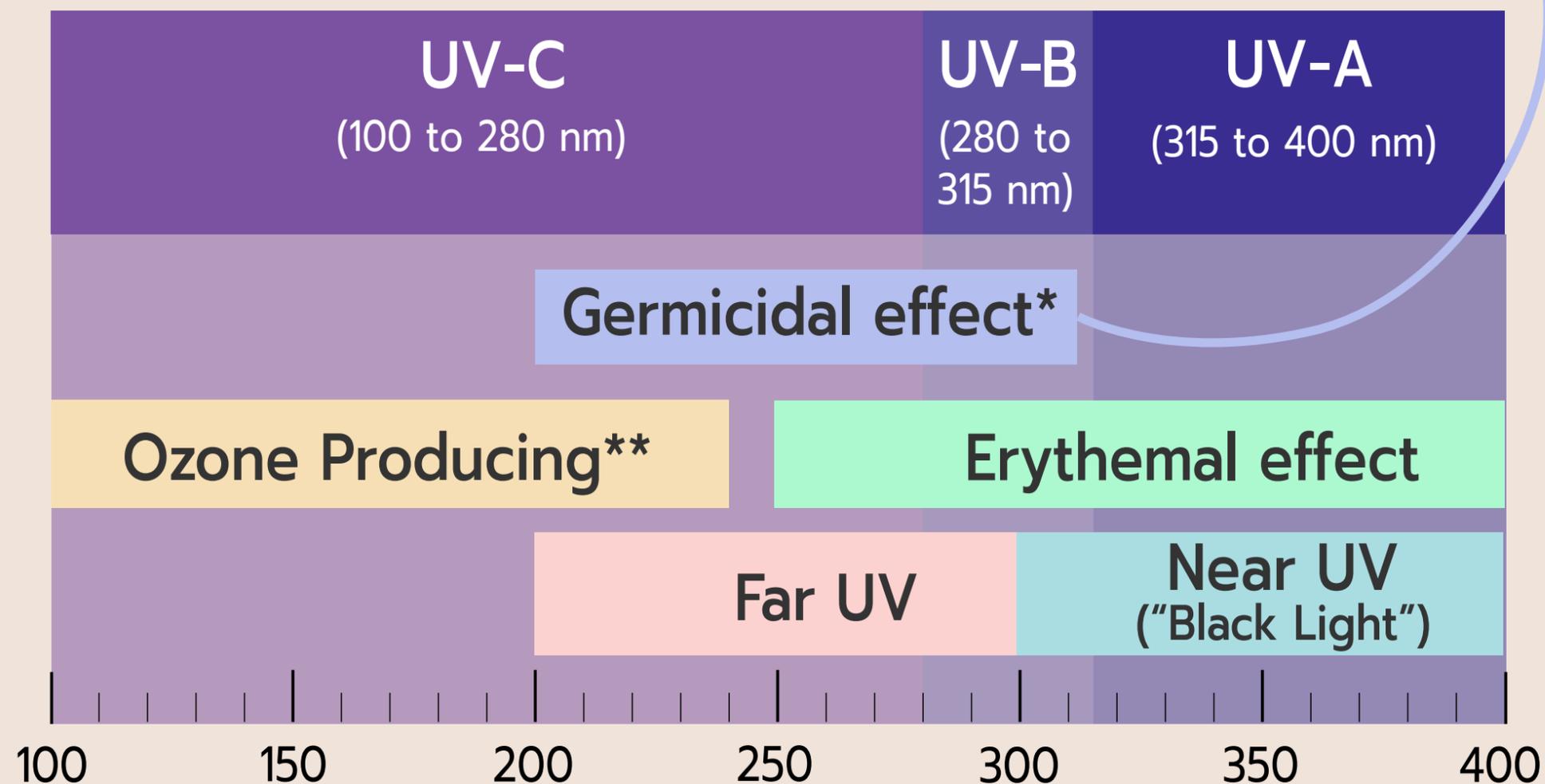
สำหรับการใช้ “หลอดยู่วี”
ทำลายเชื้อโควิด 19



หลอดรังสียูวี ทำลายเชื้อโรคได้จริงหรือไม่ ?



หลอดรังสียูวีที่เปล่งรังสีในช่วง
ประมาณ 200 nm - 313 nm
สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์
เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ เห็ด
และรา ได้ อีกทั้งยังสามารถ
ทำลายไวรัส ทั้งชนิดที่เป็น
DNA และ RNA ได้



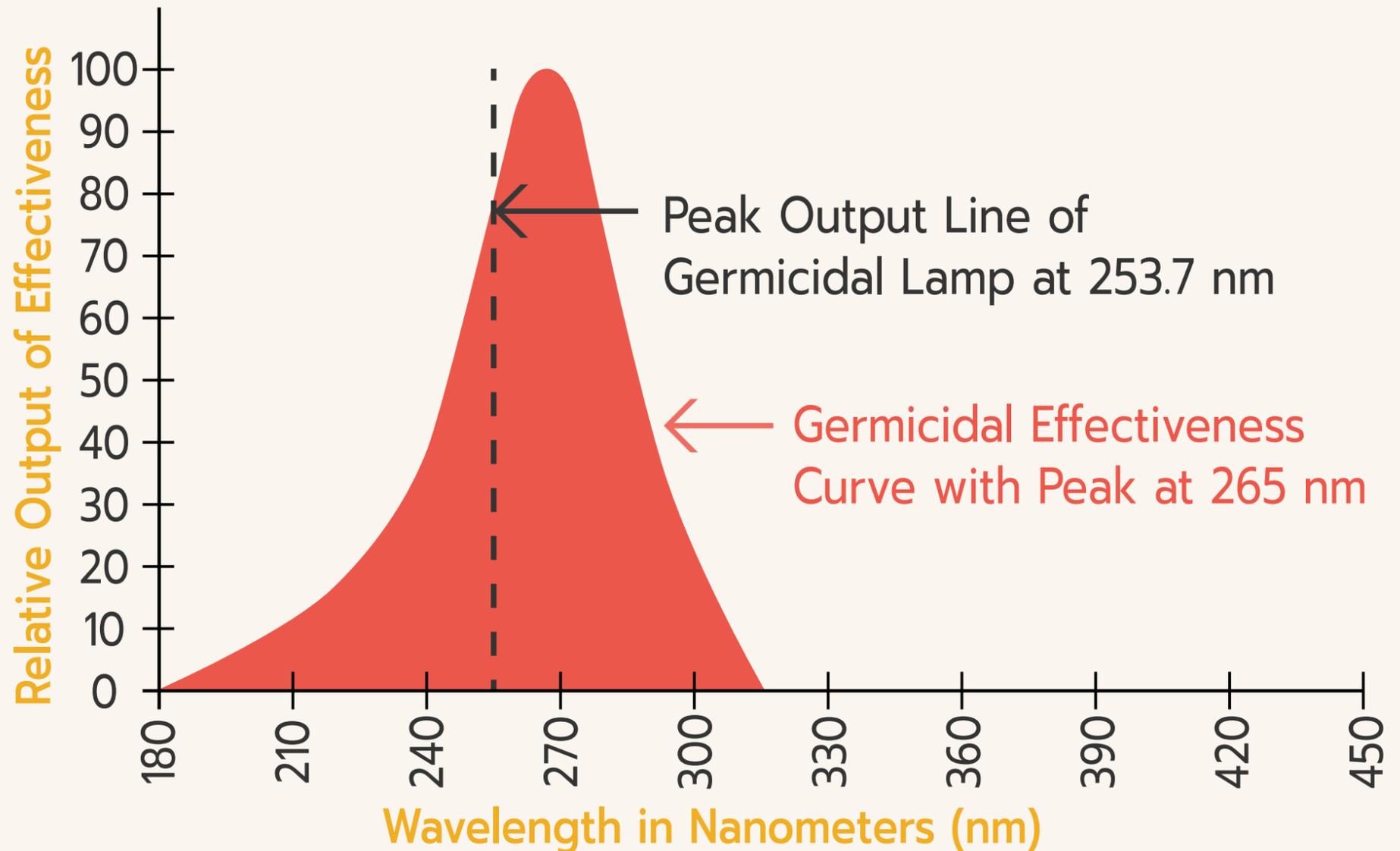
* CIE 155:2003 - Ultraviolet Air Disinfection

** European Commission, the Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) - Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UV-C lamps

International Commission on Illumination / Commission Internationale de l'Eclairage (CIE);
based on biological effect.

รังสียูวีทำลายเชื้อโรค ได้อย่างไร ?

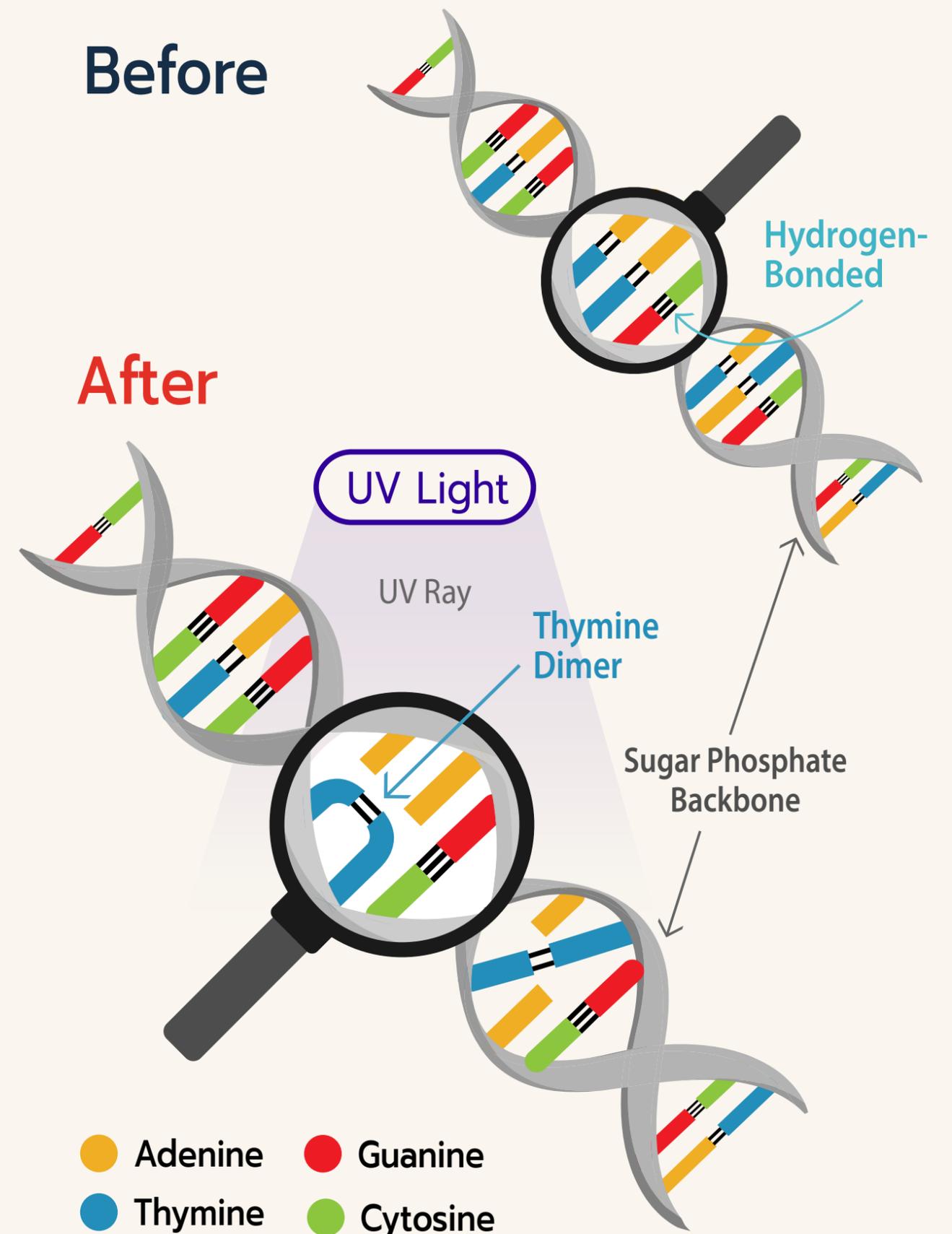
รังสียูวีที่ใช้ในการฉายเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เรียกว่า **Ultraviolet Germicidal Irradiation หรือ UVGI** มีความยาวคลื่นประมาณ 200 nm ถึง 313 nm (ตามมาตรฐาน CIE, DIN, IESNA) โดยมีประสิทธิภาพการทำลายเชื้อโรคได้ดีที่สุดที่ ≈ 265 nm (สำหรับจุลินทรีย์ และ DNA VIRUS)



CIE: Commission Internationale de l'Éclairage / International Commission on Illumination
DIN: Deutsches Institut für Normung
IESNA: Illuminating Engineering Society of North America

รังสียูวีทำลายเชื้อโรค ได้อย่างไร ?

ใน DNA Virus รังสียูวีในช่วง UVGI นี้ จะถูกดูดกลืนด้วย DNA ของจุลินทรีย์หรือไวรัส ไปกระตุ้นให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างหมู่เบสไทมีน (Thymine, T) ของนิวคลีโอไทด์ที่อยู่ใกล้กันเกิดเป็น Pyrimidine Dimer ทำให้สายโซ่ของ DNA เกิดการบิดเบี้ยวไปจากเดิม ทำให้แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่าง T กับ A อ่อนลงและเกิดการขาดของพันธะในที่สุด เมื่อเกิด Pyrimidine Dimer จำนวนมาก จะเกิดการยับยั้งการขยายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ หรือทำให้ไวรัสชนิดที่เป็น DNA ไม่สามารถจำลองตนเองได้

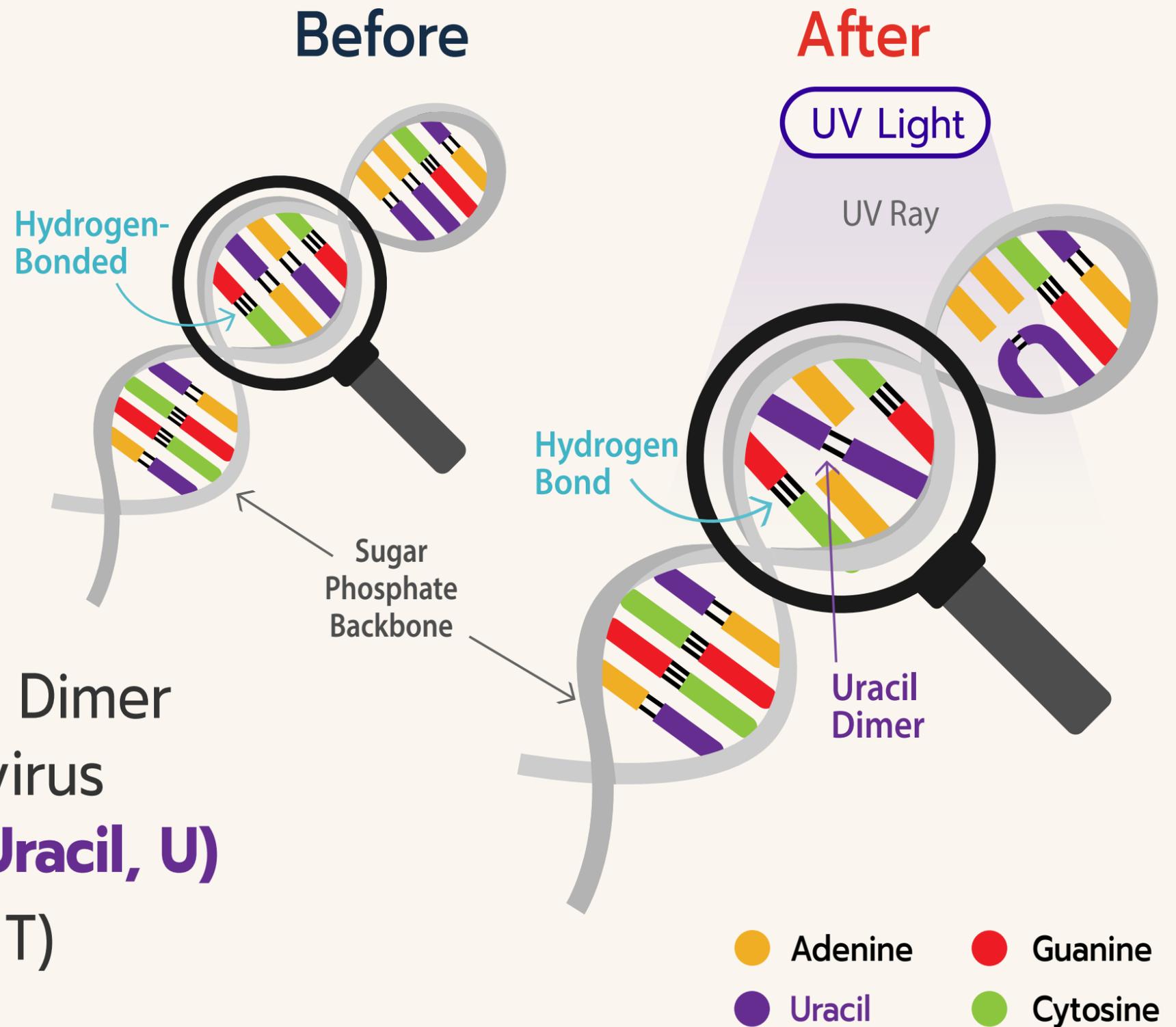


รังสียูวีทำลายเชื้อโรค ได้อย่างไร ?

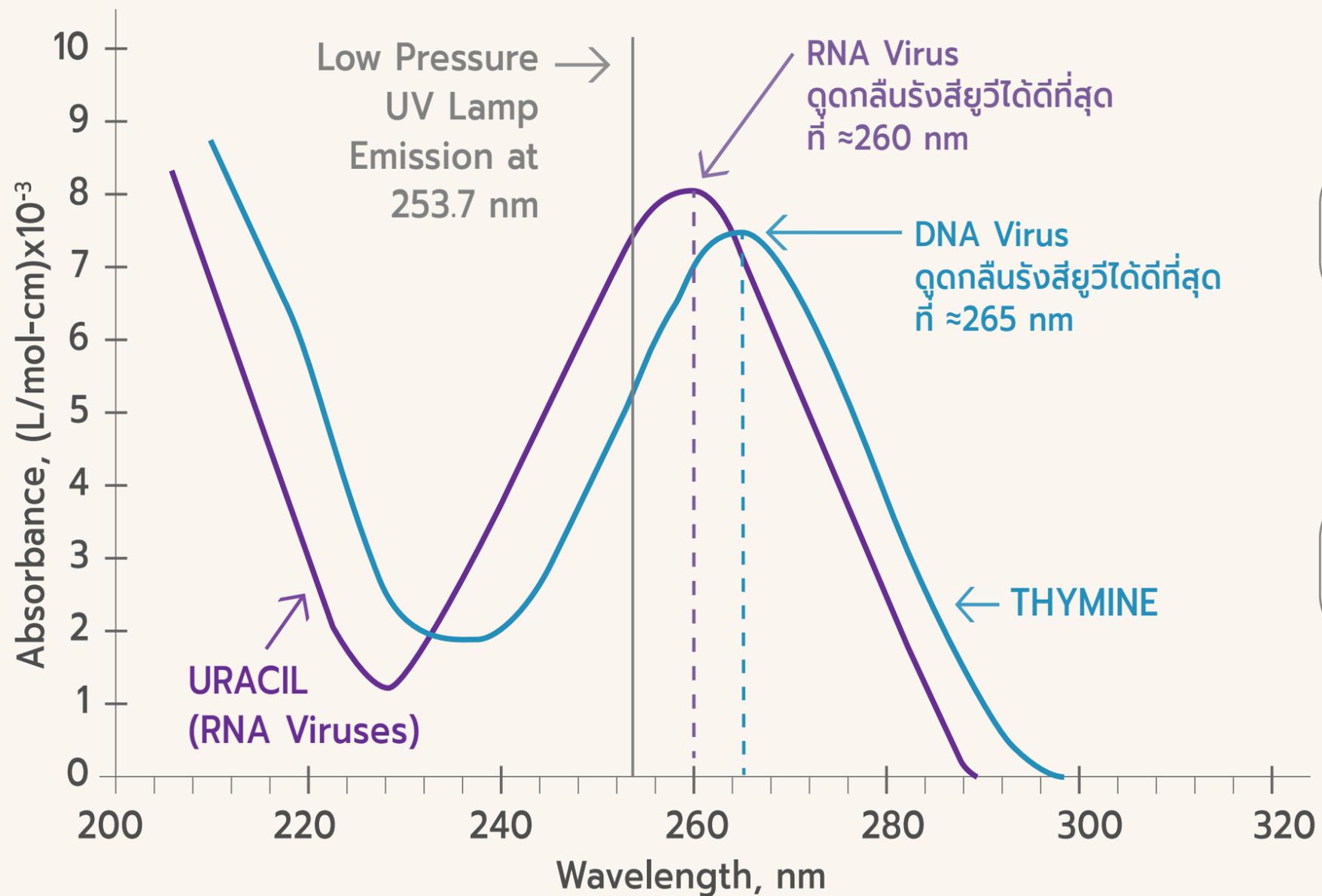
ใน RNA Virus

เช่น SARS-CoV-2 หรือ COVID-19
ซึ่งเป็น ssRNA นั้น

รังสียูวีในช่วง UVGI นี้ จะถูกดูดกลืน
ด้วย RNA ของไวรัสทำให้เกิด Pyrimidine Dimer
คล้ายกับการเกิดในเชื้อจุลินทรีย์และ DNA virus
แต่เกิดปฏิกิริยาในตำแหน่งหมู่เบสยูราซิล (**Uracil, U**)
นิวคลีโอไทด์ แทนหมู่เบสไทมีน (Thymine, T)



สเปกตรัมการดูดกลืนรังสียูวี ของนิวคลีโอไทด์ใน DNA Virus และ RNA Virus



เปรียบเทียบ
ประสิทธิภาพ
การทำลายไวรัส
ด้วยรังสียูวี

RNA
Virus

DNA
Virus

≈ 260 nm

การดูดกลืน
รังสียูวีสูงสุด

≈ 265 nm

90%

Efficiency of
Low Pressure
UV Lamp

85%



จากคำถาม รังสียูวีทำลายเชื้อโรค ได้อย่างไร ?

หมายเหตุ

แม้ว่าจะยังไม่มีข้อสรุปที่เป็นมาตรฐานระหว่างประเทศสำหรับ RNA virus ว่าที่ความยาวคลื่นใดจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเหมือนกับ DNA virus/Microbes แต่จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบพบว่า หมู่เบสยูราซิล (Uracil, U) มีการดูดกลืนรังสียูวีได้ดีที่สุดประมาณ 258 nm ถึง 262 nm อีกทั้ง RNA เองยังมีการดูดกลืนรังสียูวีได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 260 nm จึงเป็นที่มาของข้อสรุปนี้

คำตอบ

สรุปคือ รังสียูวีในช่วง UVGI นี้สามารถทำลาย RNA virus

เช่น COVID-19 ได้ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความยาวคลื่น ≈ 260 nm

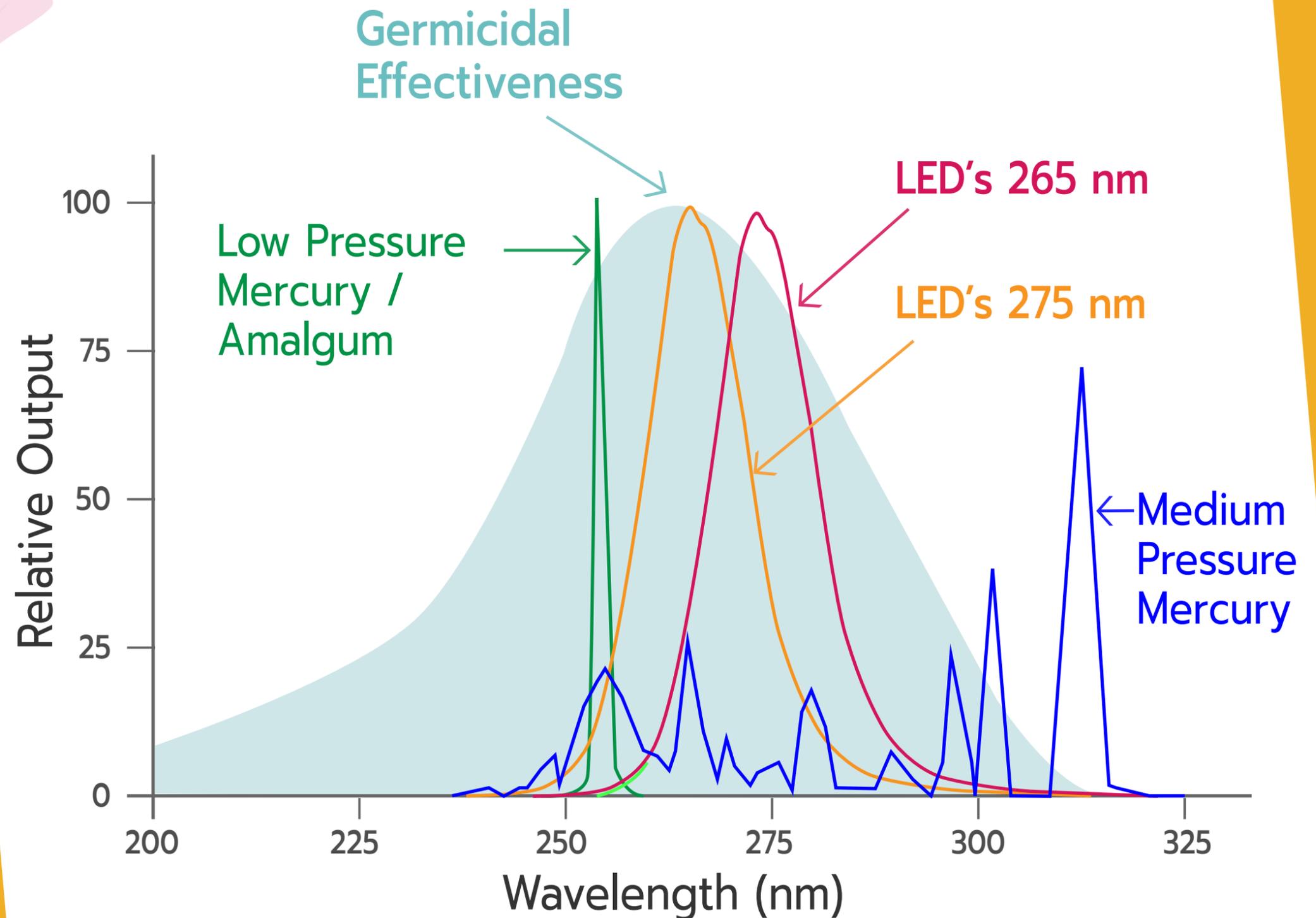
นอกจากนี้ ยังสามารถทำลาย DNA virus

และจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความยาวคลื่น ≈ 265 nm

หลอดรังสียูวี ที่สามารถ ทำลายเชื้อโรคได้ มีกี่ชนิด?

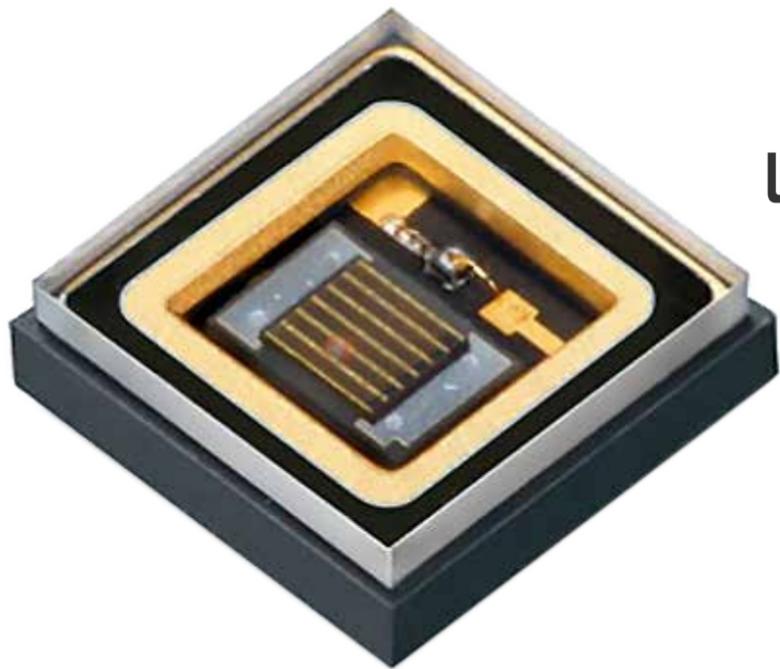
ก่อนจะตอบ...

มาดูแผนภูมิเปรียบเทียบ
ประสิทธิภาพการทำลาย
เชื้อโรคของหลอดหลายๆ
ประเภทกัน



หลอดรังสียูวี ที่สามารถ ทำลายเชื้อโรคได้...มีกี่ชนิด?

1 หลอด UV LED



ควรเลือกชนิดที่
เปล่งรังสีในช่วง
240-313 nm
หรือ
260-265 nm
จะดีที่สุด

2 หลอดไอปรอท/อะมัลกัม แรงดันต่ำ (Low pressure Hg / Amalgam discharge lamp)

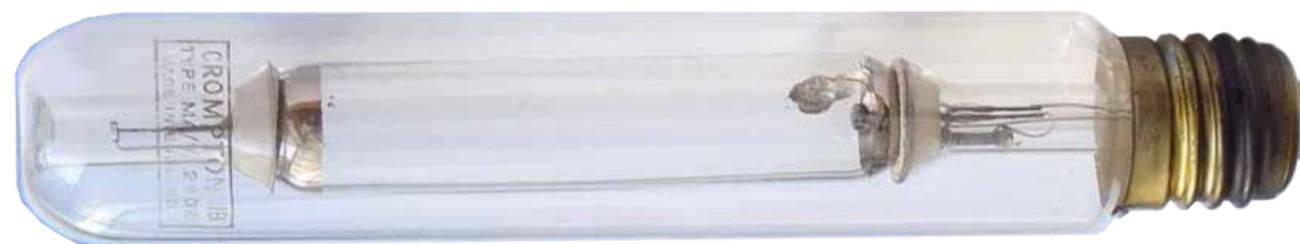


ควรเลือกชนิดที่
ปราศจากก๊าซโอโซน
(Ozone free germicidal lamp)
เปล่งรังสี ≈ 254 nm

หลอดรังสียูวี ที่สามารถ ทำลายเชื้อโรคได้...มีกี่ชนิด?

3 หลอดรังสียูวี
ที่เปล่งรังสี
ในช่วงกว้าง
(Broadband spectrum
UV lamp) โดยมีการเปล่ง
รังสียูวีในช่วง 240 nm
ถึง 313 nm รวมด้วย

หลอดไอปรอทแรงดันปานกลาง
(Medium pressure Hg discharge lamp)



หลอดซีนอน (Xenon UV lamp)

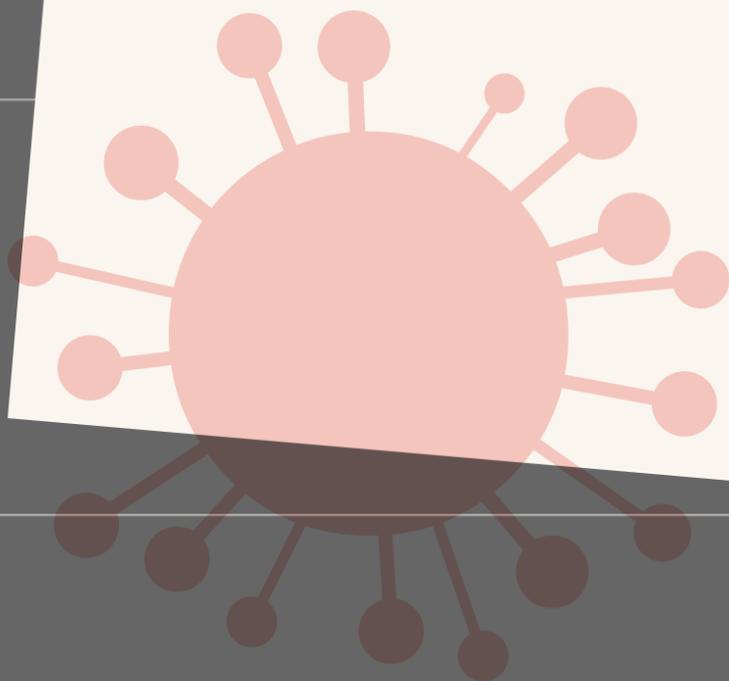


เทคนิค UVGI ใช้...อย่างไร ?

เหมาะกับการใช้เพื่อทำลายเชื้อโรคที่ฟุ้ง หรือ ล่องลอยมากับอากาศ (Airborne Transmission) และ บนพื้นผิวของวัสดุต่าง ๆ ที่ติดมากับ ละอองฝอย (Droplet Nuclei) จากลมหายใจ การไอ การจาม หรือจากเสมหะ

ยิ่งระยะการฉายใกล้ ยิ่งมีความรับรังสียูวีสูง (High germicidal effective UV irradiance) ก็จะทำให้ใช้เวลาในการฉายน้อยลง

ทั้งนี้ ต้องมีการคำนวณปริมาณรังสี (Radiant Exposure / UV Fluence or UV Dose) ที่จะใช้ ให้เหมาะสมด้วย



จะหา “ระยะเวลา” ที่เหมาะสม ในการฉายรังสียูวีซี เพื่อทำลายเชื้อโรคได้อย่างไร ?

มาลำดับความคิด
กันก่อน



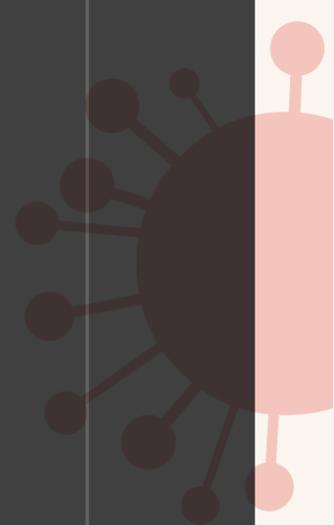
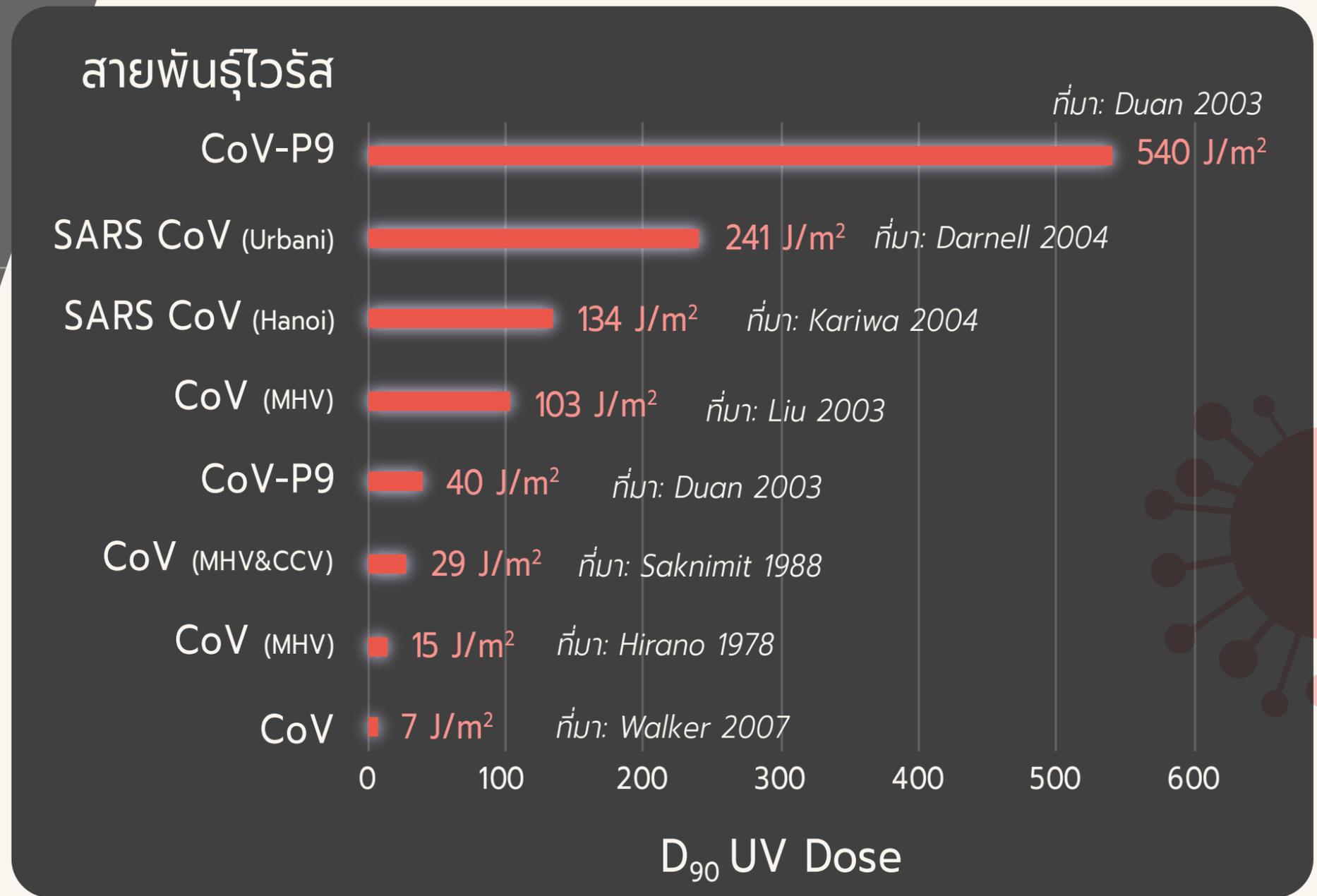
1 ก่อนอื่นต้องทราบ
“เป้าหมาย” ก่อน ว่า
ต้องการทำลายเชื้อโรค
บนพื้นผิววัสดุแบบใด
หรือในอากาศ

2 เลือกปริมาณรังสียูวีซีเป้าหมาย
(Target UVC Dose/Fluence, $H_{e,uvc}$)
ที่จะต้องใช้ โดยอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัย
หรือที่ CDC, USA และ IUVA แนะนำ

3 กำหนดหรือวัดความรับรังสียูวีซี
(UVC Irradiance, $E_{e,uvc}$)
ที่ระยะใช้งาน (Working Distance)
ที่ต้องการ

4 ก็จะคำนวณหา “ระยะเวลา”
ในการฉายรังสียูวีซีได้
(Exposure time, t_{exp})

ก่อนที่จะทำการคำนวณหา
“ปริมาณรังสียูวีซี”
ที่เหมาะสมจะใช้ทำลาย
เชื้อไวรัสโคโรนา
สายพันธุ์ 2019 (โควิด-19)
มาดูลักษณะข้อมูลจาก
งานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการ
ทดลองกับเชื้อไวรัสโคโรนา
ในสายพันธุ์ต่างๆ ดังนี้



ปริมาณรังสียูวีซี ที่ CDC และ IUVA แนะนำ

CDC (USA) และ IUVA ได้รวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการทำลายไวรัสโคโรนาด้วยรังสียูวีซี และมีข้อสรุปเบื้องต้นว่า ปริมาณรังสียูวีซี (Target UVC Dose/Fluence, $H_{e,uvc}$) ที่แนะนำสำหรับทำลายไวรัสโคโรนาบนวัสดุหรือในอากาศเป็นดังนี้

1 วัสดุผิวเรียบ → $H_{e,uvc} \geq 400 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (99.9%)
เช่น กระจก แก้ว
พลาสติก โลหะผิวเรียบ



2 วัสดุประเภทสิ่งทอ
หน้ากากอนามัย (surgical mask) → $H_{e,uvc} \geq 5,000 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (99.9%)



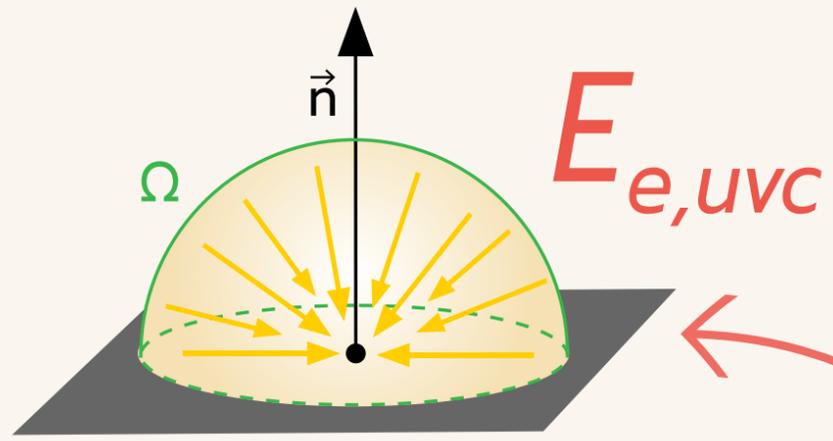
หน้ากาก N95, หน้ากากทางการแพทย์ → $H_{e,uvc} \geq 10,000 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (99.999%)



3 ในอากาศ → $H_{e,uvc} \geq 90 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ (99.9999%) { Recommendation by NIMT



การหาความรับรังสียูวีซี ($E_{e,uvc}$) ที่ระยะใช้งาน ทำได้ 2 วิธี



การคำนวณเบื้องต้น
จาก Spec. ของ
หลอดยูวีซี

โดยต้องทำการ
ประเมินเบื้องต้นด้วย
Keitz formula, 1971

การตรวจวัดด้วยเครื่องมือ
ที่มีความถูกต้องแม่นยำ



Spectroradiometer

หรือ



UVC
Meter

การประเมินด้วยการคำนวณ มีความซับซ้อนมาก หากอุปกรณ์ประกอบด้วยหลอดยูวีซีหลายหลอด
แต่หากใช้วิธีตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม ผ่านการสอบเทียบที่ถูกต้องแม่นยำ จะสะดวกกว่าวิธีการคำนวณมาก

การคำนวณเบื้องต้น จาก Spec. ของ หลอดยูวีซี

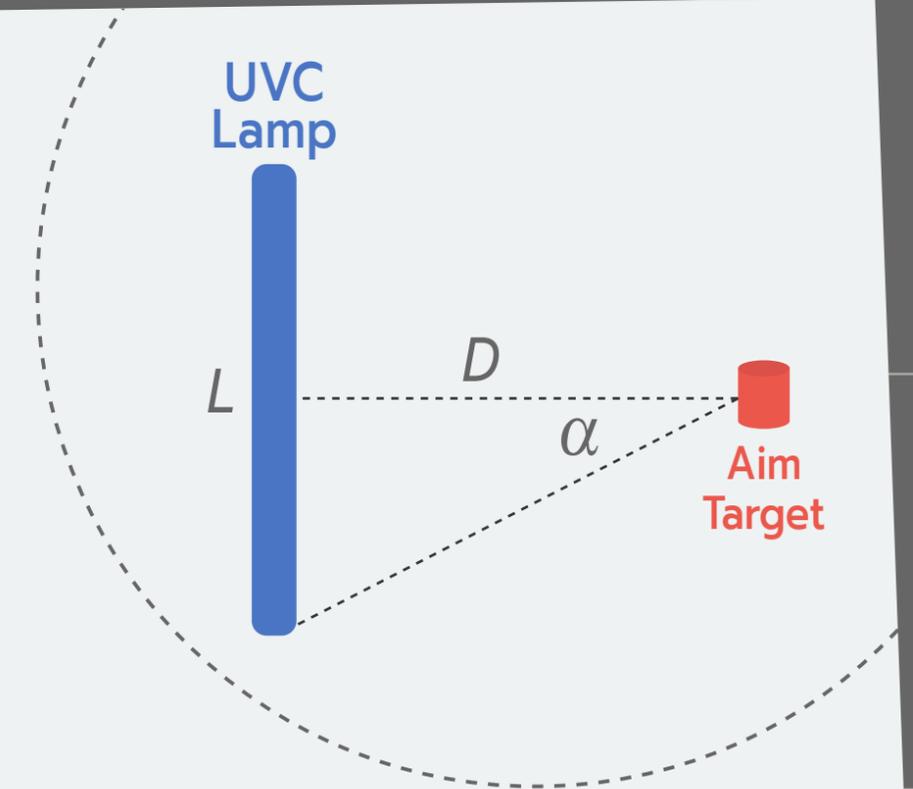
เป็นสมการที่ใช้คำนวณหา
UVC Irradiance เบื้องต้น
สำหรับหลอดยูวีซี 1 หลอด
ที่เป็น Linear-shape tube

The Keitz formula, 1971

$$P_{uvc} = \frac{2ELD\pi^2}{2\alpha + \sin 2\alpha}$$

$$E_{uvc} = \frac{P_{uvc}(2\alpha + \sin 2\alpha)}{2LD\pi^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{L}{2D}$$



Example.....

if $P_{uvc} = 1.7 \text{ W}$, $L = 212.1 \text{ mm}$, $D = 15 \text{ cm}$, find $E \dots$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{0.2121}{2(0.15)} = 0.615 \text{ rad}$$

$$E = \frac{1.7(2\alpha + \sin 2\alpha)}{2(0.2121)(0.15)\pi^2} = 5.88 \text{ W/m}^2$$

เมื่อทราบ

$E_{e,uv}$

ความรับรังสียูวีซี
ที่ระยะใช้งาน

และ

$H_{e,uv}$

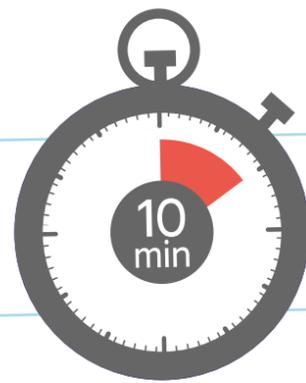
ปริมาณรังสียูวีซี
ที่ต้องใช้

แล้ว

นำมาคำนวณ
ตามสมการนี้

$$t_{exp} = \frac{H_{e,uv}}{E_{e,uv}} \text{ in the unit of second (s)}$$

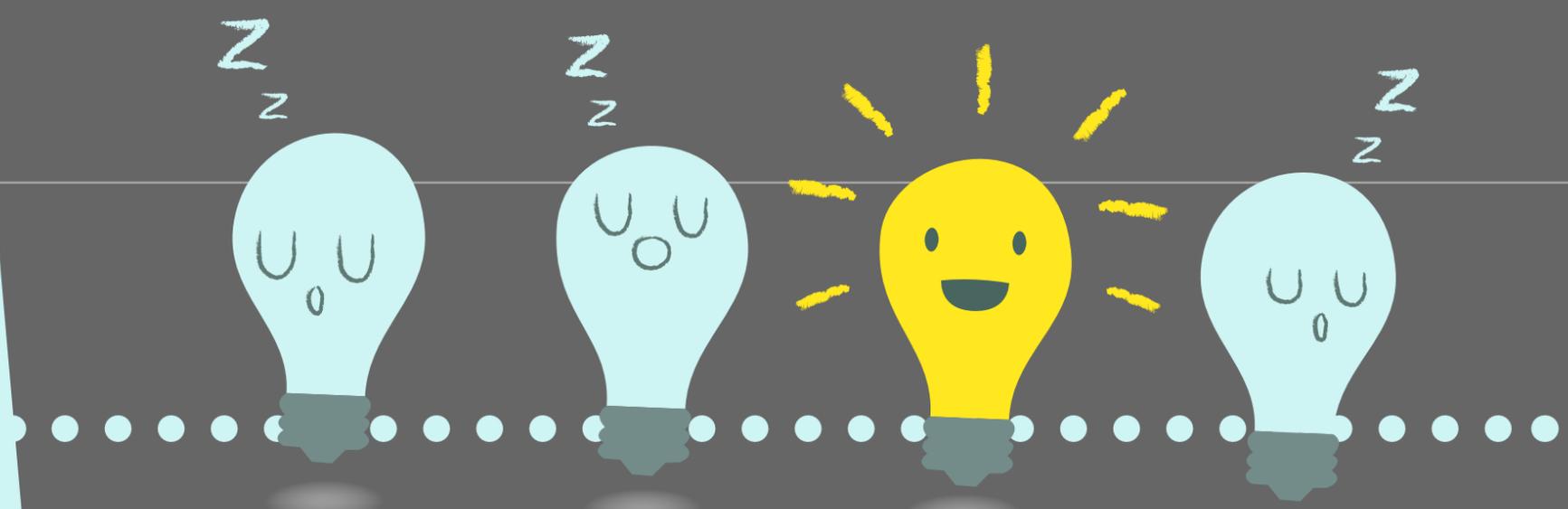
ก็จะทราบ



ระยะเวลาในการฉายรังสียูวีซี
(Exposure time, t_{exp})

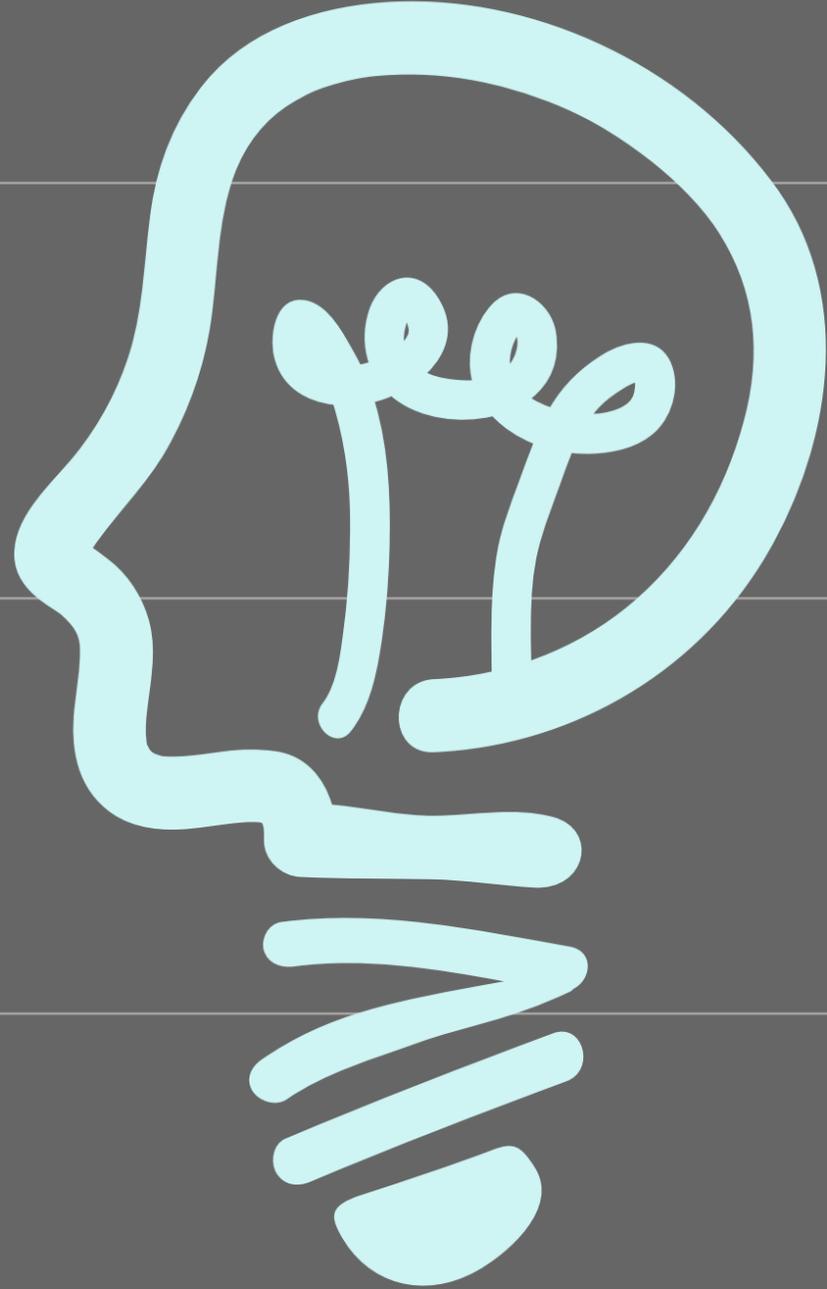
ยังไม่สามารถบ่งชี้
ได้อย่างแน่ชัดว่า

**จะต้องใช้ UV dose
ในปริมาณเท่าไร
เพื่อทำลาย
ไวรัสโควิด-19 ?**



ดังนั้นจึงต้อง

{ อ่างอิงจากไวรัสโคโรนาสายพันธุ์
หรือจาก ไวรัส/จุลินทรีย์อื่น โดย
อาศัยหลักวิชาการที่มีการศึกษาไว้ }



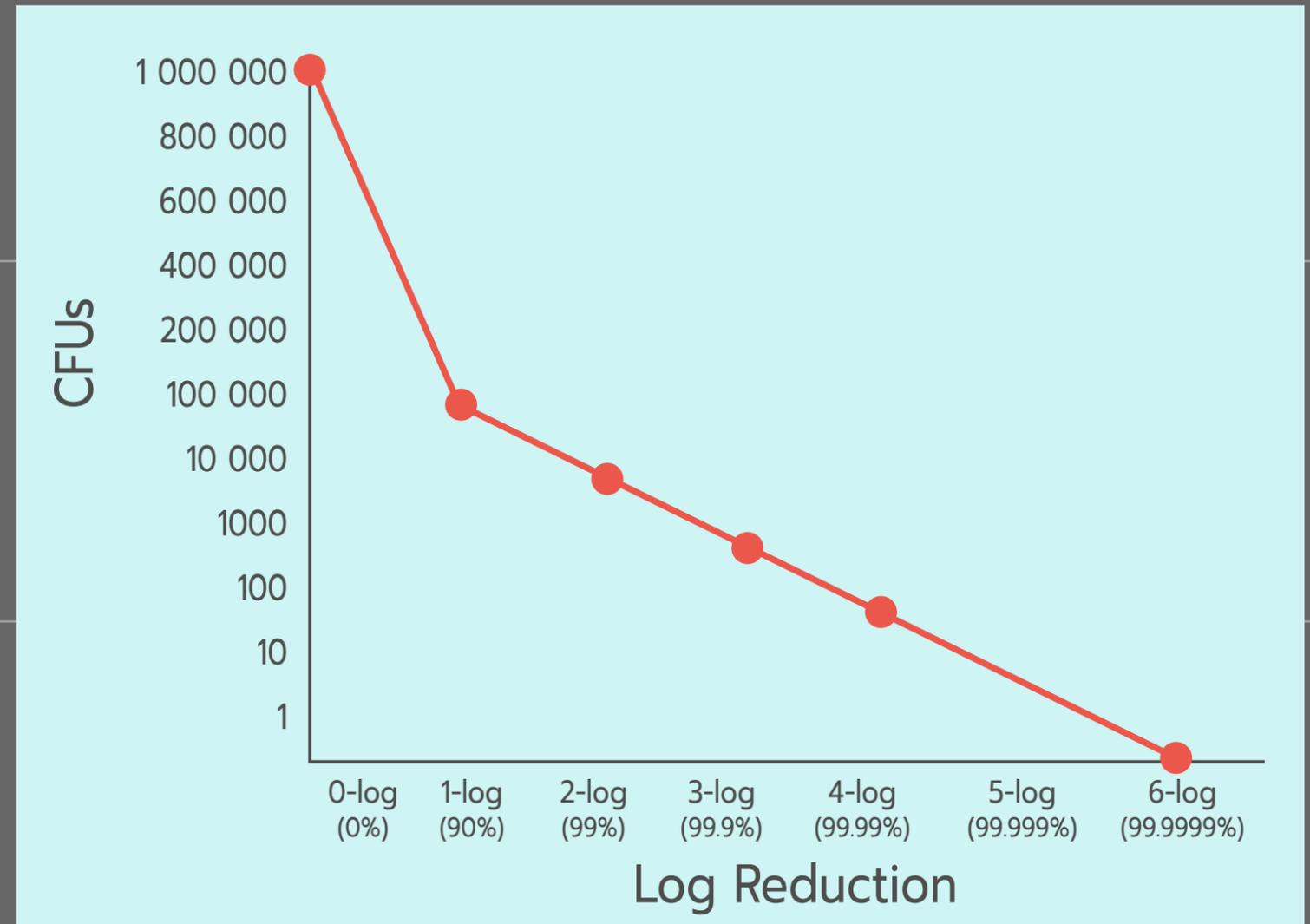
D_{90} UV Dose คืออะไร

คือ ค่าปริมาณรังสียูวี (UV Radiant Exposure / UV Dose / UV Fluence) ในหน่วยจูล ต่อ ตร.ม. ($J \cdot m^{-2}$) ที่ทำให้จำนวนเชื้อโรคตั้งต้น ลดลงร้อยละ 90 (1-log reduction)

D_{90} UV Dose ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดลอง เช่น UV irradiance ตัวกลาง (น้ำ อากาศ หรือพื้นผิว) อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่าง UV Dose และ Log-reduction ของเชื้อโรค ส่วนมากจะค่อนข้างใกล้เคียงกับ Linear แต่เชื้อโรคบางประเภท ก็อาจจะเป็น Exponential ได้

เมื่อเลือก D_{90} UV Dose ที่เหมาะสม ได้แล้ว ก็สามารถคูณด้วยตัวเลข จำนวนเต็มทีคาดหวังจะลดจำนวนเชื้อ (ประเมินด้วย Linear)



6 Log reduction = Target UV dose = $6 \times D_{90}$ UV Dose

เครื่องกำจัดเชื้อโรคด้วยรังสียูวี

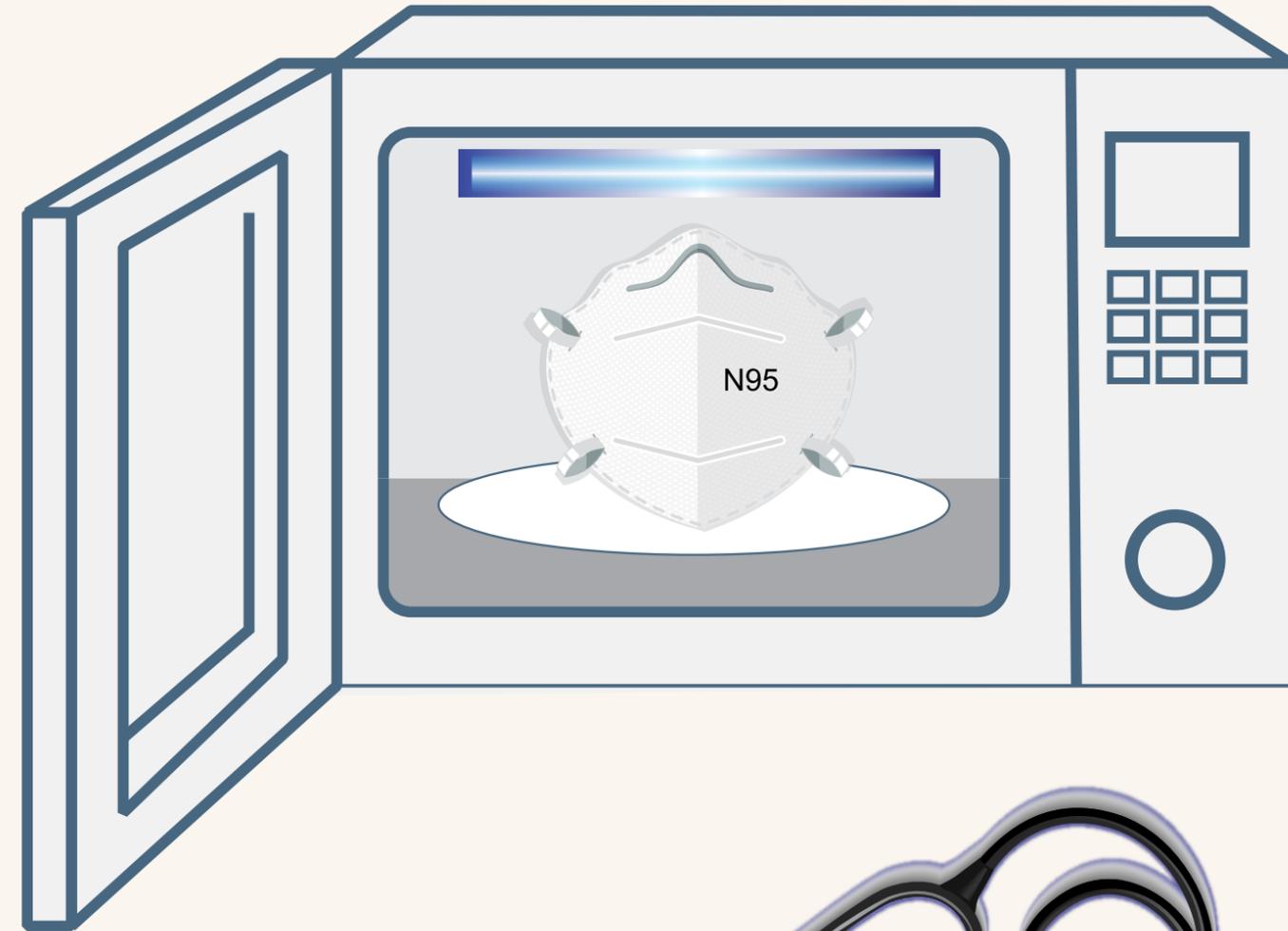
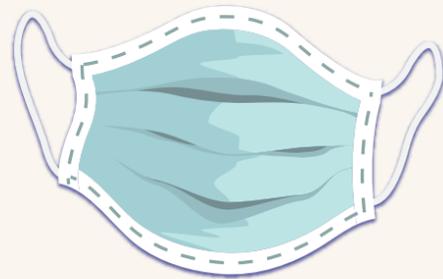
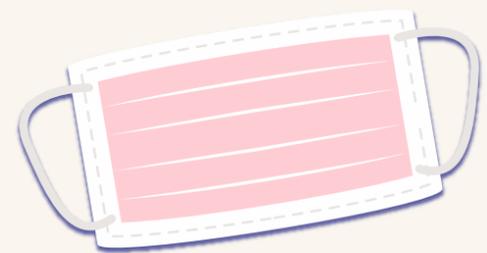
มีหลายแบบ...

เลือกอย่างไร
ให้เหมาะกับการใช้งาน?



1 UVGI Disinfection Chamber

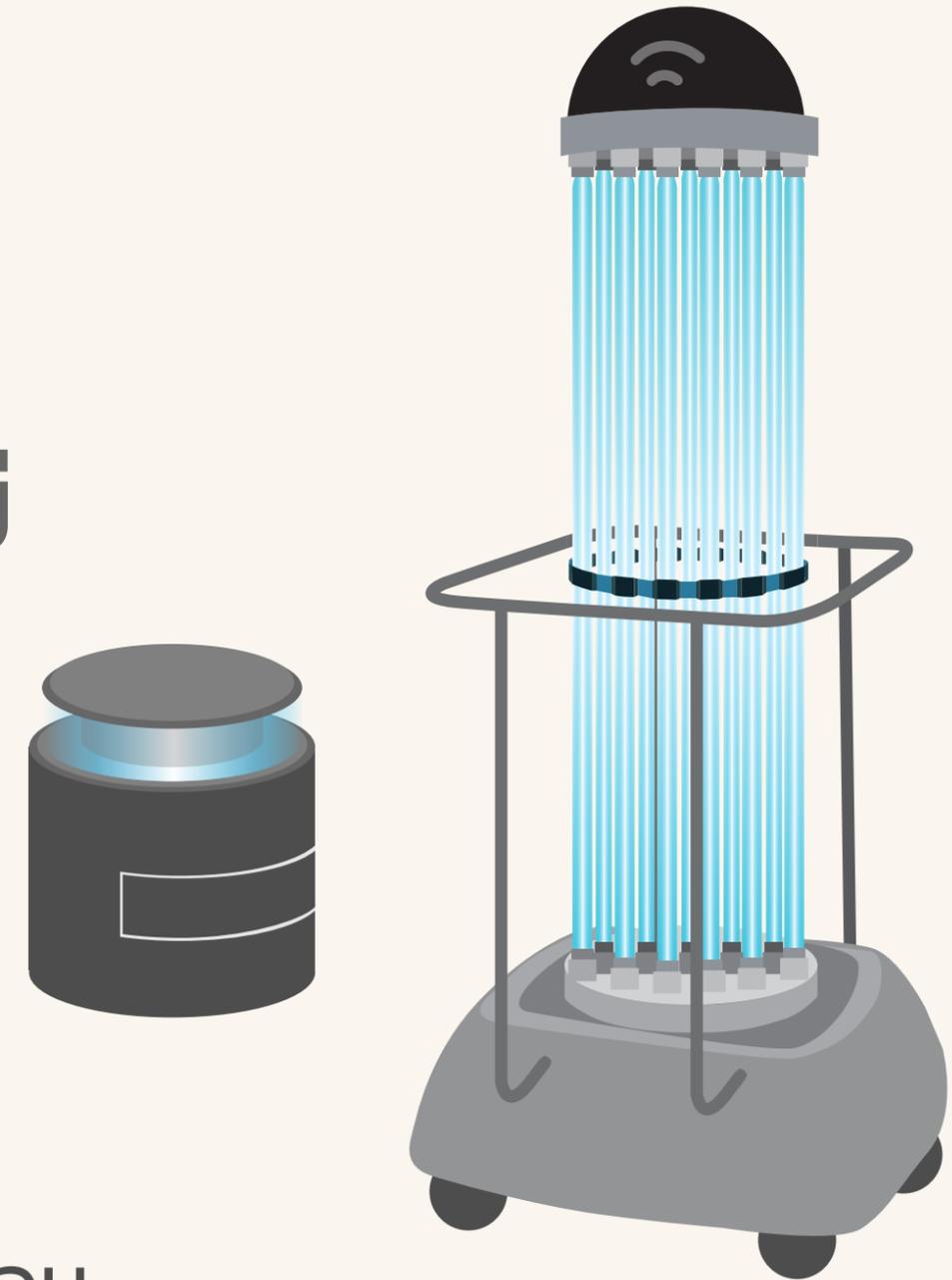
เหมาะสำหรับใช้กำจัดเชื้อโรค
บนพื้นผิวของวัสดุต่างๆ
หรืออุปกรณ์ที่ไม่สามารถ
ซักล้างทำความสะอาดได้



2 Moveable UVGI Air and Surface Purifier

เหมาะสำหรับใช้กำจัดเชื้อโรคในอากาศ ในห้องที่มี
เงื่อนไขพิเศษที่จะทำให้ COVID-19 แพร่
แบบ Airborne ได้ อาทิ ห้องความดันลบ
ห้องทันตกรรม ฯลฯ

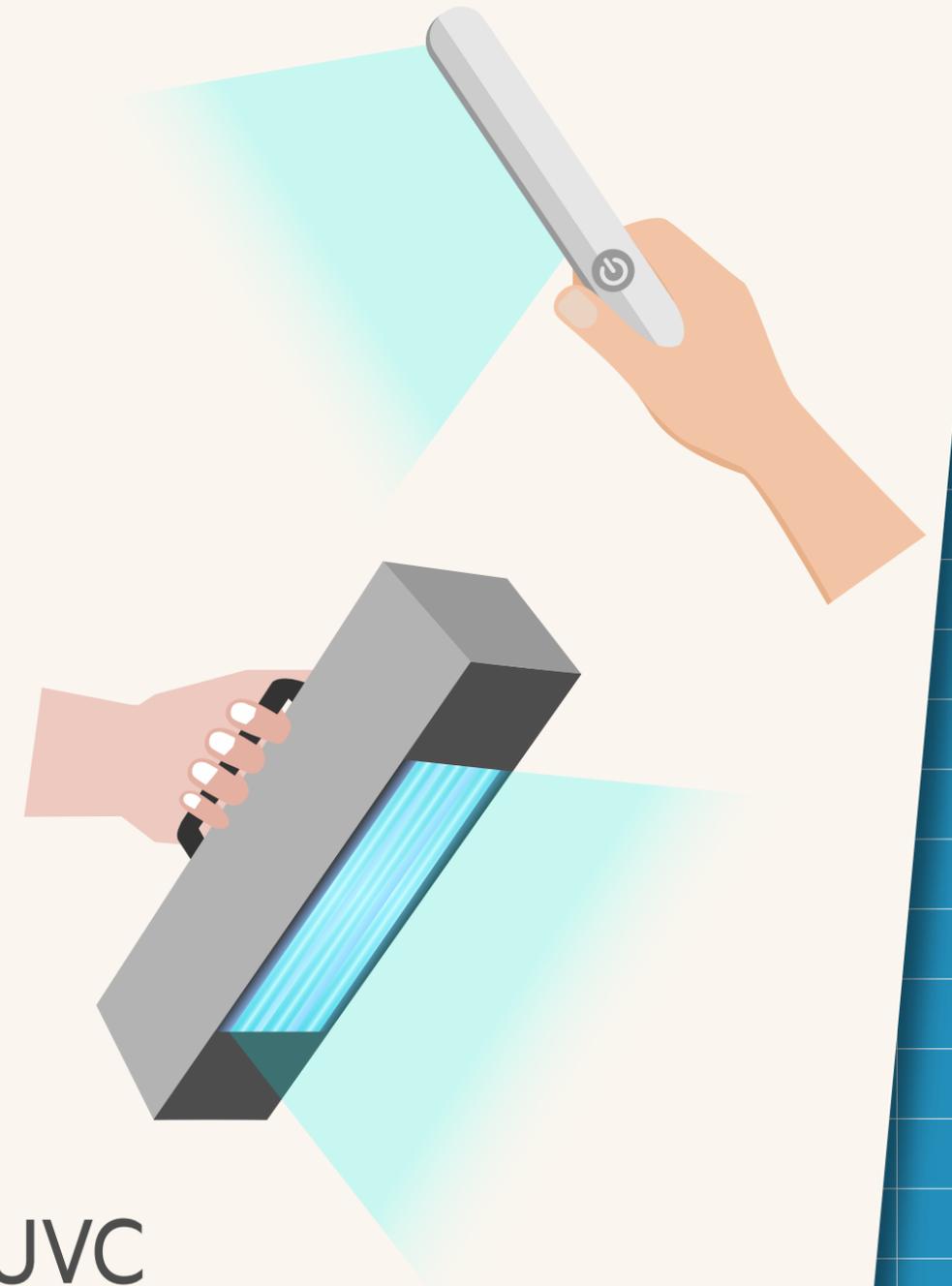
ขณะเปิดใช้งานฉาย UVC จะต้องไม่มีผู้คนอยู่ในห้อง หรือ
เครื่องจะต้องมีระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว/การแผ่รังสีความร้อน
เพื่อให้ปลอดภัยอัตโนมัติในกรณีฉุกเฉิน



③ Handheld UVGI Surface Disinfection Equipment

เหมาะสำหรับใช้กำจัดเชื้อโรคบนพื้นผิวต่างๆ ที่อาจมีความเสี่ยงสูงจากการทำงานร่วมกัน เช่น คีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง เป็นกวดเครื่องถ่ายเอกสาร ที่จับประตูห้องน้ำ เป็นต้น

ขณะใช้งานจะต้องสวมใส่ชุด PPE เพื่อป้องกันรังสี UVC และฉายแสงไปที่พื้นผิว เพื่อลดโอกาสการสะท้อนของรังสี UVC
เข้าหาผู้ปฏิบัติงาน



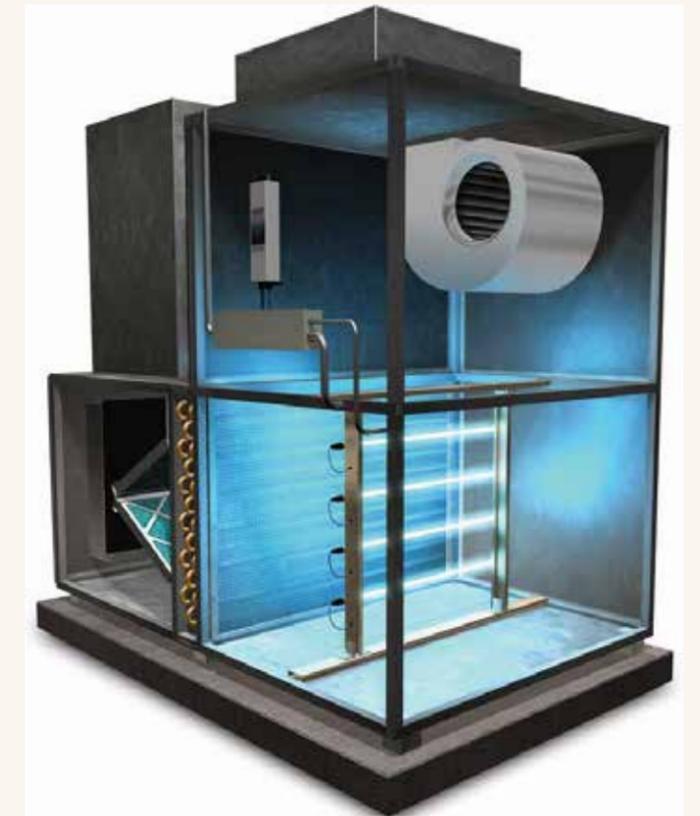
4 Upper-Room Wall mount UVGI Unit



เหมาะสำหรับใช้ติดตั้งบนผนังภายใน
ห้องที่มีความเสี่ยงสูง เช่น ห้องพัก
ผู้ป่วยโควิด-19 ห้องทันตกรรม
ห้องตรวจเชื้อ/เก็บตัวอย่างเชื้อ ฯลฯ
โดยหงายมุมของรังสียูวีขึ้นหาเพดาน
ประมาณ 10-15 องศา

5 UVGI Unit for AHU and Air Duct

ใช้ติดตั้งในระบบ HVAC
ของโรงพยาบาล อาคาร
ระบบปิดที่มีความเสี่ยง
ปานกลางมีผู้คนหนาแน่น
เช่น ห้องสรรพสินค้า
อาคารเรียนของมหาวิทยาลัย
อาคารสำนักงาน เป็นต้น



ควรออกแบบระบบและติดตั้งตามมาตรฐาน
ISO 15714:2019 และ ASHRAE standards
หมายเลข 185.2-2014 และ 185.1-2015

รังสียูวีซี เป็นอันตรายกับคน หรือไม่ ?



ดวงตา... ห้ามให้รังสียูวีซี (UVC) สัมผัสกับดวงตา เพราะสามารถทำอันตรายกระจกตาได้ และเลนส์ตาได้บางส่วน



ผิวหนัง... ห้ามให้รังสียูวีซี (UVC) สัมผัสกับผิวหนัง เพราะจะทำให้ผิวไหม้แดง แสบผิว และก่อให้เกิดมะเร็งได้



ระบบทางเดินหายใจและปอด...

หลอดรังสียูวีที่เปล่งรังสีในความยาวคลื่นต่ำกว่า 240 nm สามารถผลิตก๊าซโอโซน ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและปอด

หากหลอดรังสียูวีมีการปล่อยโอโซนเล็กน้อย จะต้องน้อยกว่า 0.10 ppm

จะป้องกัน รังสียูวีซี ขณะใช้งาน เครื่องมือ ได้อย่างไร

ขณะใช้งานเครื่องมือฯ
ควรสวมใส่กันอุปกรณ์ป้องกันรังสียูวีซี
(Personal Protection Equipment; PPE)

ได้แก่
หน้ากากแบบเต็มใบหน้า
เสื้อผ้า (ปกคลุมร่างกายให้มิดชิด)
ถุงมือ และรองเท้า เป็นต้น

นอกจากนั้น พลาสติก แผ่นใส
หรือกระจกทั่วไป ก็สามารถป้องกันรังสียูวีซีได้
เพราะรังสียูวีซีไม่สามารถทะลุผ่านได้



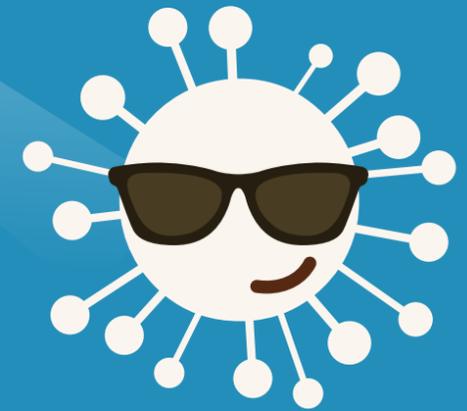
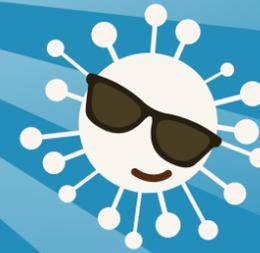
รังสียูวีในแสงแดด สามารถทำลายเชื้อโรคได้หรือไม่ ?

จากงานวิจัยพบว่า

ปริมาณรังสียูวีประมาณ $8.5-25 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ จะสามารถ

ทำลายเชื้อโรคบางชนิดได้ร้อยละ 37 และจะใช้ระยะเวลานานกว่า 30 นาที
ไปจนถึง 1-2 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับ UVB solar irradiance และชนิดของเชื้อโรค

แต่... ในแสงแดดก็มีสัดส่วนของ UVA และ visible light ที่สามารถซ่อมแซม
โครงสร้างของเชื้อโรคบางชนิดได้ส่วนหนึ่ง ส่งผลให้เชื้อโรคสามารถแพร่กระจาย
ได้ดังเดิม

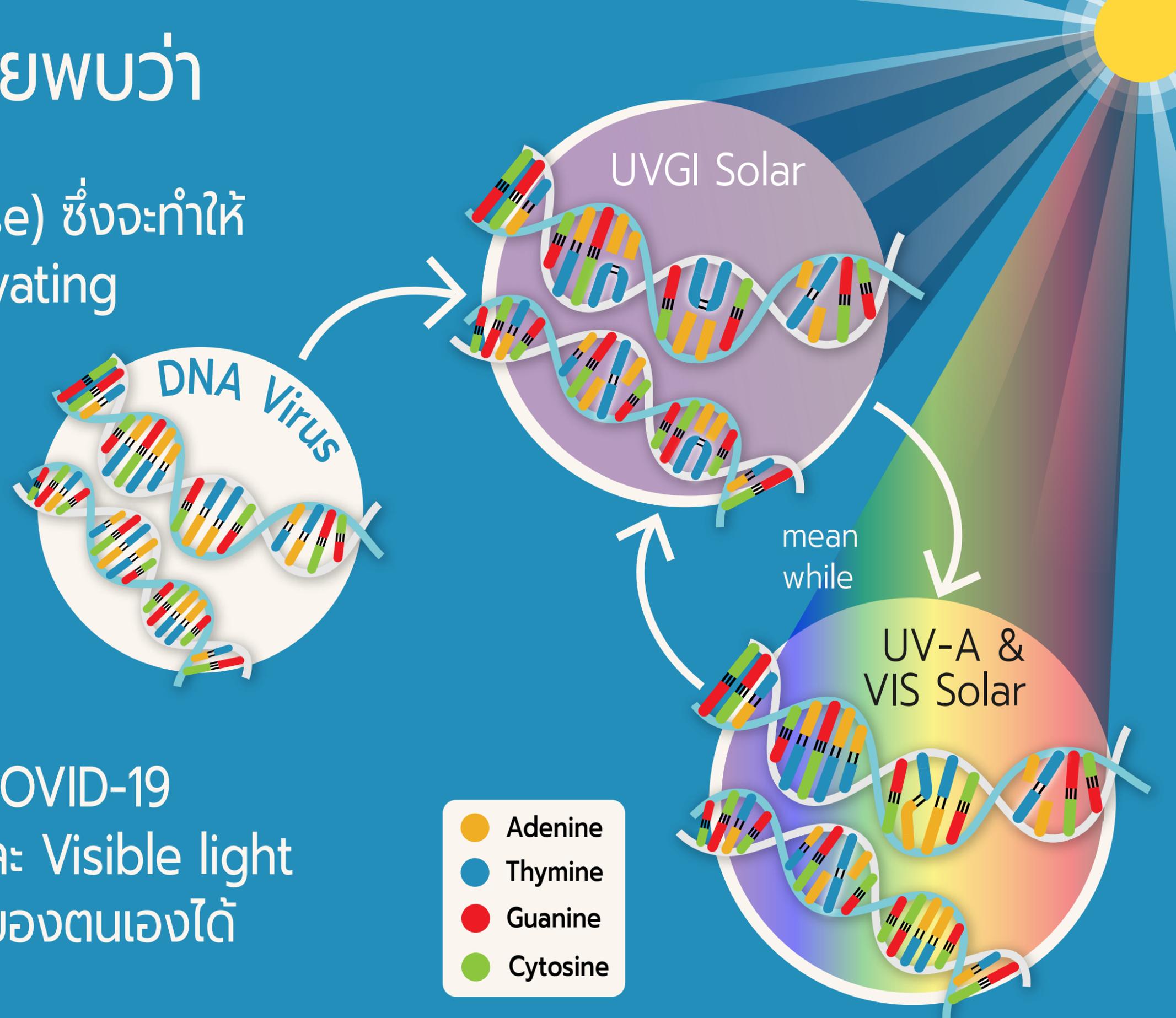


จากการค้นคว้างานวิจัยพบว่า

DNA viruses/Microbes
มีเอนไซม์โฟโตไลเอส (Photolyase) ซึ่งจะทำให้
เชื้อโรคเกิดกระบวนการ Re-activating
ทำให้เชื้อโรคสามารถซ่อมแซม
โครงสร้างของตนเอง ให้กลับมา
ทำงานเป็นปกติได้บางส่วน

ใน RNA viruses
ไม่พบว่ามีเอนไซม์ชนิดนี้

จึงนำมาเป็นข้อสรุปเบื้องต้นว่า COVID-19
ที่เป็น ssRNA เมื่อได้รับ UVA และ Visible light
จะไม่สามารถซ่อมแซมโครงสร้างของตนเองได้



เอกสารอ้างอิง

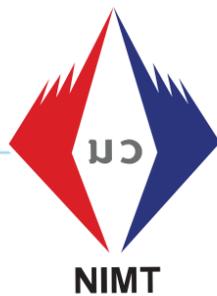
- ▶ A Genomic Model for the Prediction of Ultraviolet Inactivation Rate Constants for RNA and DNA Viruses, <https://sanuvox.com/wp-content/uploads/2019/04/MED-Genomic-Dr-Kowalski.pdf>.
- ▶ Biomedical and Environmental Sciences : BES, 01 Sep 2003, 16(3):246-255 "Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation."
- ▶ Blindern, August 2009. FYS 3610 University of Oslo, "Ozone and UV radiation"
- ▶ CIE 155 : UV Air Disinfection.
- ▶ CIE 187 : UV-C Photocarcinogenesis Risks from Germicidal Lamps.
- ▶ C. David Lytle and Jose-Luis Sagripanti, Journal of Virology. 2005 Nov; 79(22): 14244–14252. "Predicted Inactivation of Viruses of Relevance to Biodefense by Solar Radiation", <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1609402/>, https://paos.colorado.edu/~fasullo/pjw_class/chem9.html
- ▶ European Commission, the Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER) : Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UV-C lamps
- ▶ Wladyslaw Kowalski, "Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook" UVGI for Air and Surface Disinfection.
- ▶ "UV Light and Coronavirus", <https://www.uv-light.co.uk/coronavirus/>.
- ▶ WHO, "Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations", <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>.
- ▶ Wladyslaw J. Kowalski and Thomas J Walsh, Technical Report. March 2020. "2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility".

เนื้อหาข้อมูล

โดย กลุ่มงานแสงและสี ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิและแสง
โทร 0 2577 5100 ต่อ 2326
email: pmd@nimt.or.th

Graphic design

โดย ชุานียา คัมภีรานนท์
กลุ่มงานสื่อสารองค์การ



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ขอบคุณภาพ



ติดตามข่าวสารดีๆ ได้ที่
facebook:
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ