

มาตรวิทยา

กับการตรวจวัดควันดำรถยนต์

โดย

นายณัฐพงศ์ ดำด้าง

กลุ่มงานแสงและสี ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิและแสง

NIMT



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

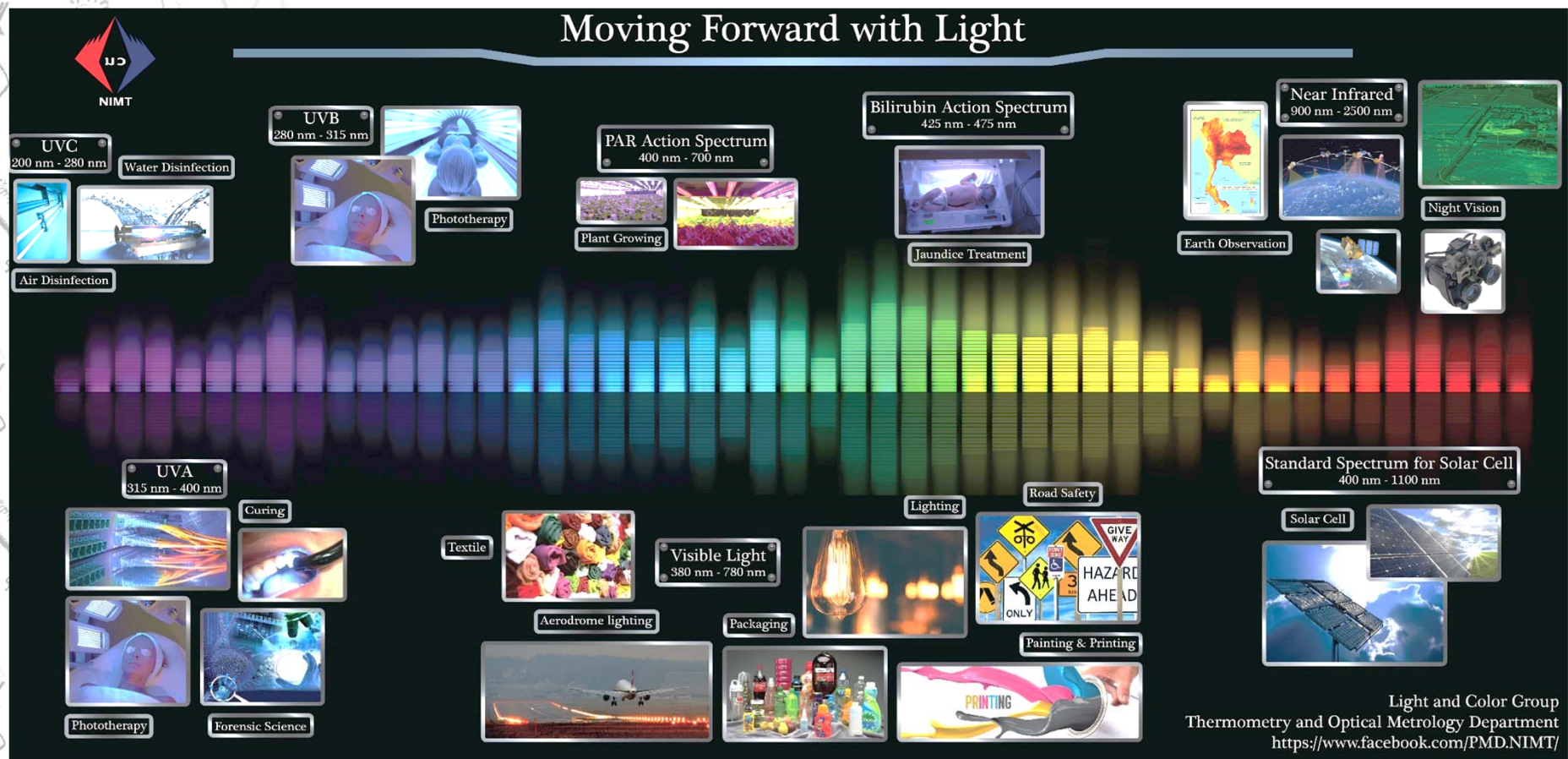
National Institute of Metrology (Thailand)

หัวข้อการบรรยาย

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรวิทยาแสง
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันท้าระบบความถี่แสง
3. การสอบเทียบเครื่องวัดควันท้าระบบความถี่แสง
4. การรายงานผลและการใช้งานใบรับรองผลการสอบเทียบ
5. การทวนสอบเครื่องวัดควันท้าระบบความถี่แสง
6. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง



1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรวิทยาแสง

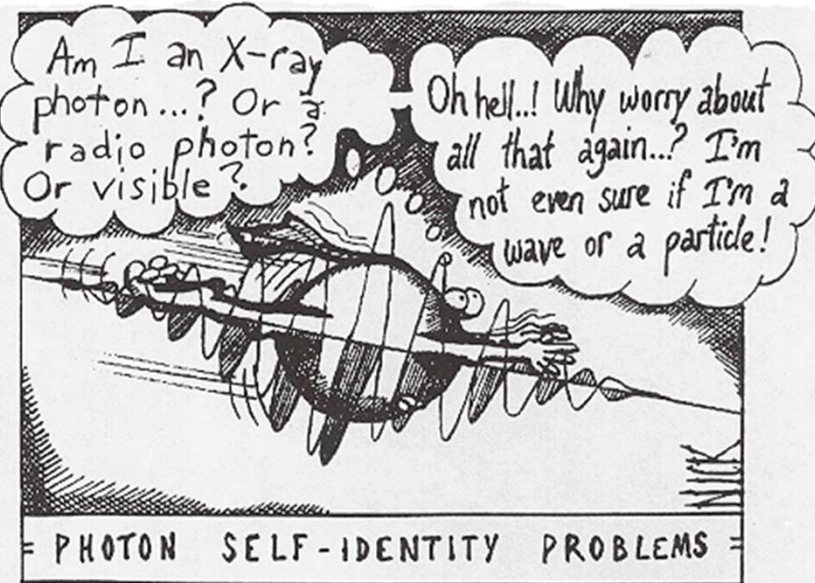


1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรวิทยาแสง

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง และเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) โดยช่วงคลื่นแสงนั้นเป็นช่วงแคบ ๆ มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 380 นาโนเมตร ถึง 760 นาโนเมตร ซึ่งเป็นคลื่นแสงที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (visible light) หรือบางครั้งอาจรวมถึงการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีใต้แดง (infrared) ถึงรังสีเหนือม่วง (ultraviolet) ที่ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ถึง 1,000,000 นาโนเมตรด้วย



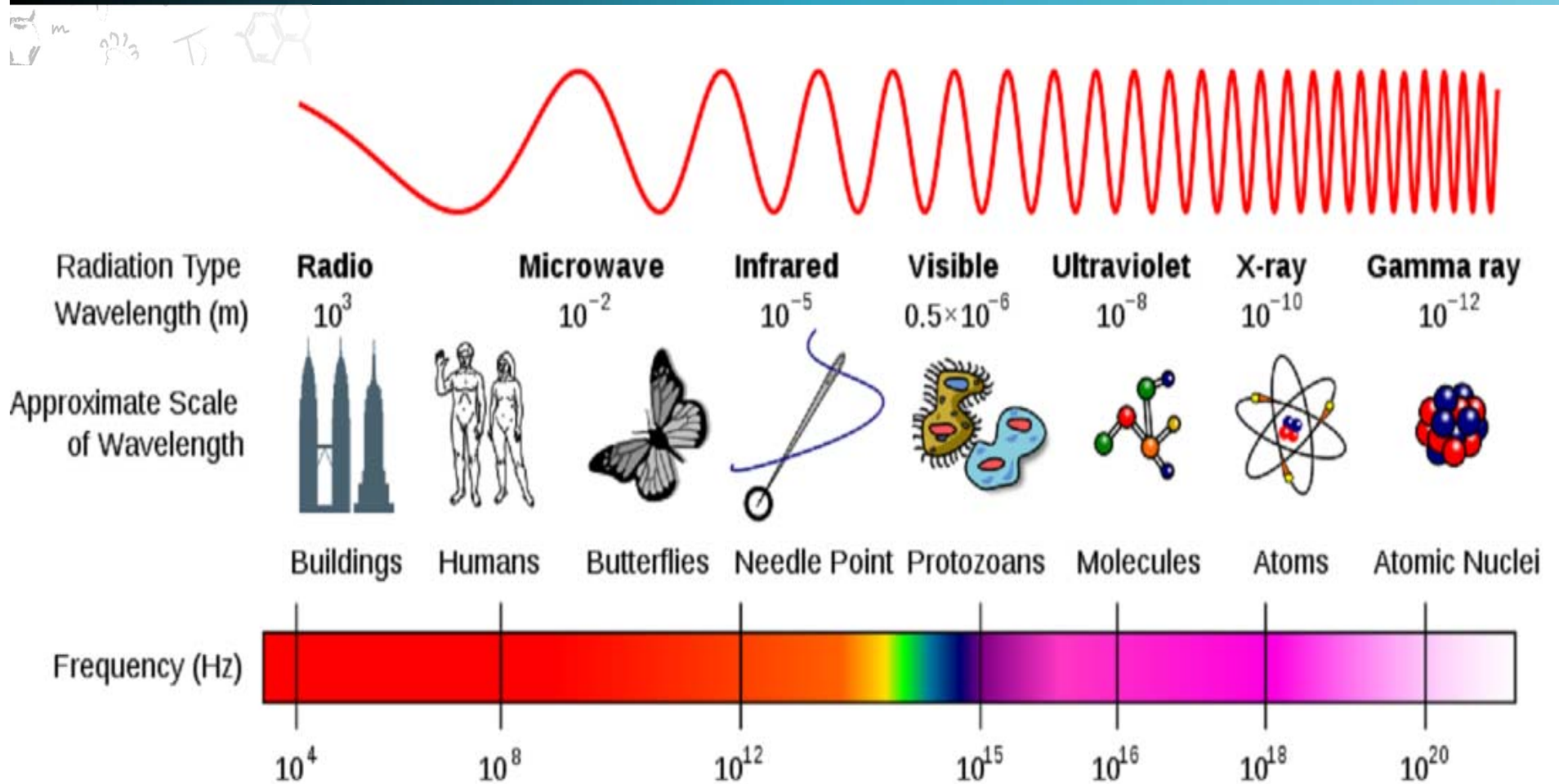
ทวิภาคของอนุภาคและคลื่น (Duality of Wave-Particle)



แสงเป็นคลื่น : แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้า และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสงแสดงถึงธรรมชาติเชิงคลื่นของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงเป็นอนุภาค : แสงเป็นก้อนพลังงาน มีค่าพลังงาน โดยที่ $E=h\nu$
 h คือค่าคงตัวของพลังค์ และ ν คือความถี่ของแสง เรียกอนุภาคแสงว่า “โฟตอน”

สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)



การจำแนกคลื่นแสง (Light Wave Classification)

ชื่อเรียก	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
แสงยูวี, Ultraviolet light (UV)	100 - 400
ยูวีสุญญากาศ, VUV	10 - 200 (Strong absorption by air)
ยูวีซี, UVC	100 - 280
ยูวีบี, UVB	280 - 315
ยูวีเอ, UVA	315 - 400
แสงสว่าง, Visible light	380 - 780
แสงอินฟราเรดใกล้, Near Infrared (NIR; IR-A)	760 - 1,400
แสงอินฟราเรดกลาง, Middle Infrared (MIR; IR-B)	1,400 - 3 000
แสงอินฟราเรดไกล, Far Infrared (FIR; IR-C)	3,000 - 1,000,000 (Strong absorption by H ₂ O/CO ₂)



สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของวัสดุ (Optical Properties of materials)

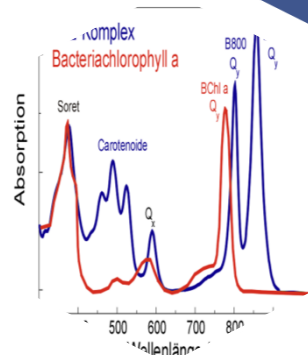


การสะท้อน

Reflection (R)

Transmission (T)

การส่องผ่าน

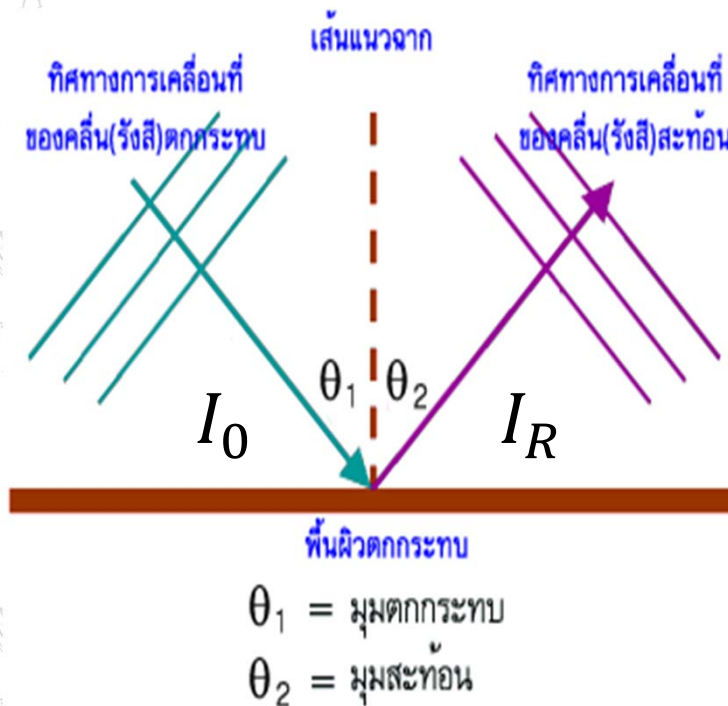


การดูดกลืน

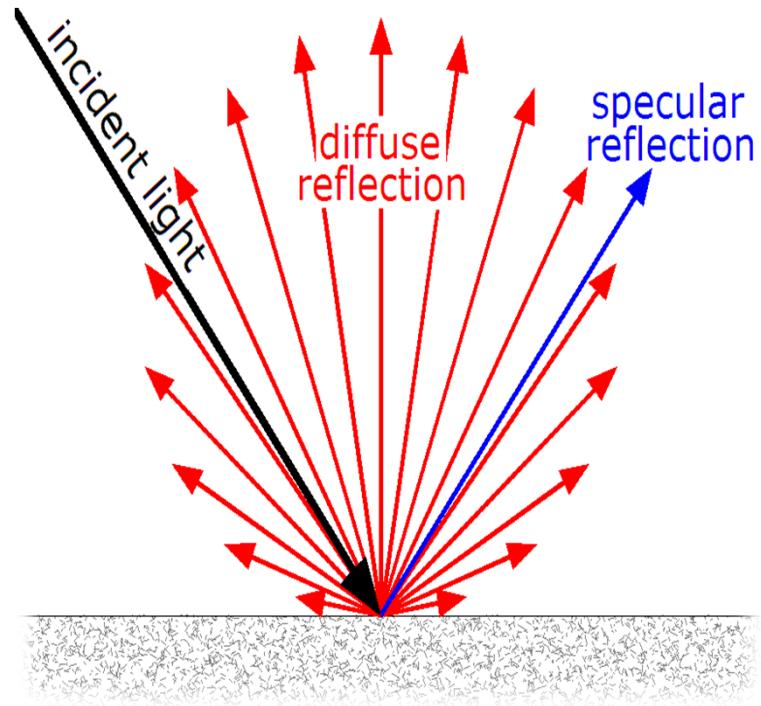
Absorption (A)



การสะท้อน (Reflection)

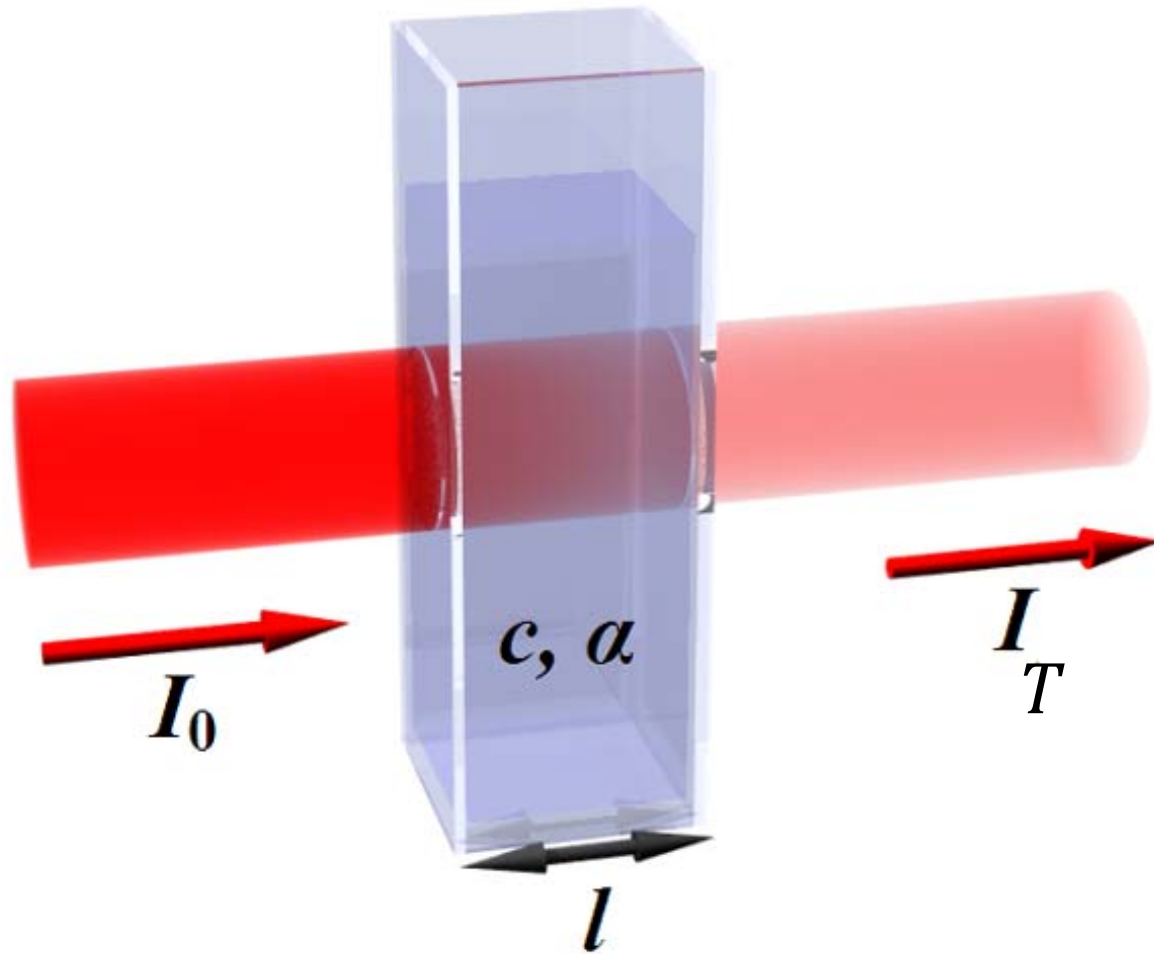


Specular Reflection

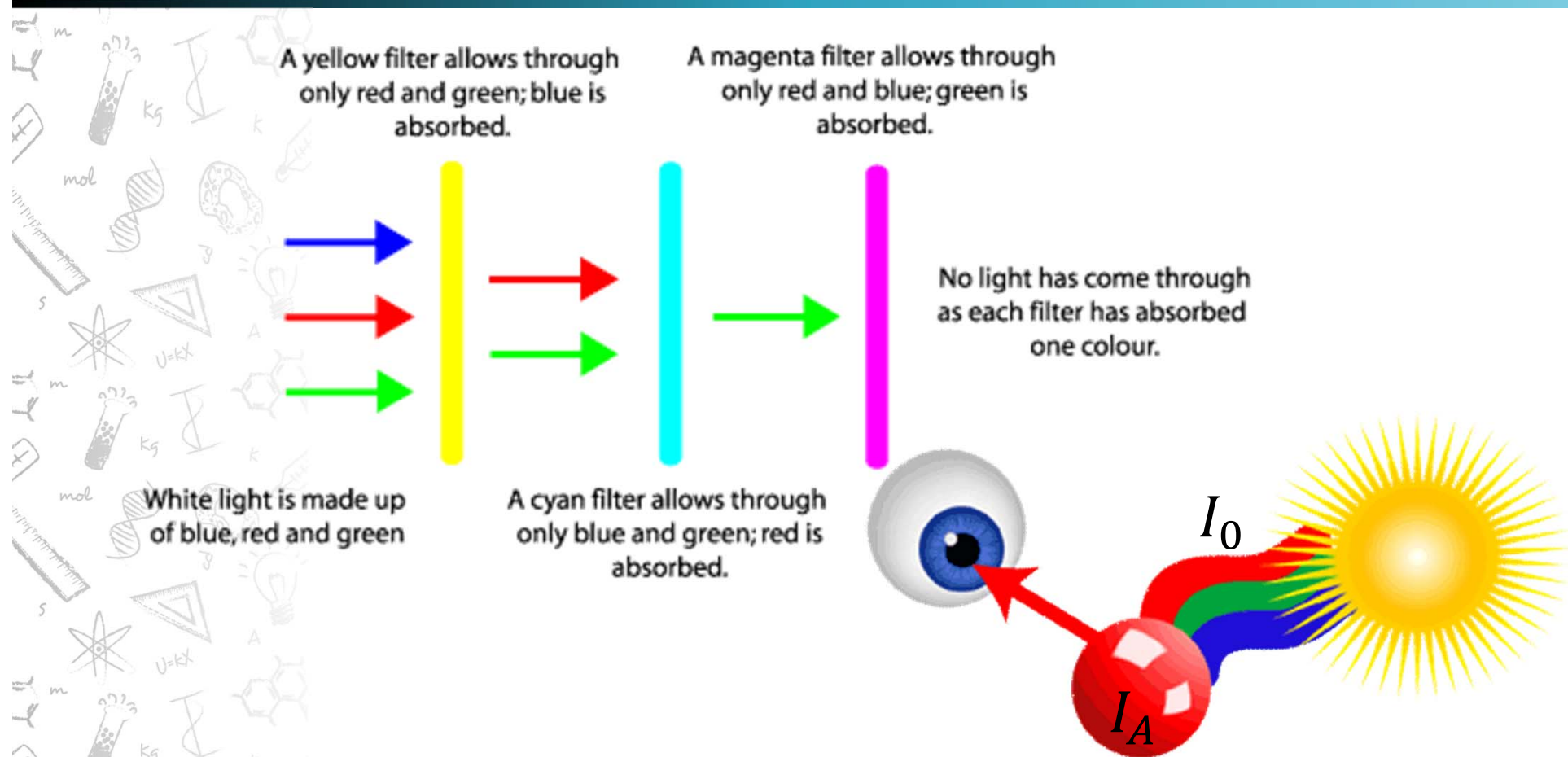


Diffuse Reflection

การส่องผ่าน (Transmission)



การดูดกลืน (Absorption)



"I AM
NIMT"

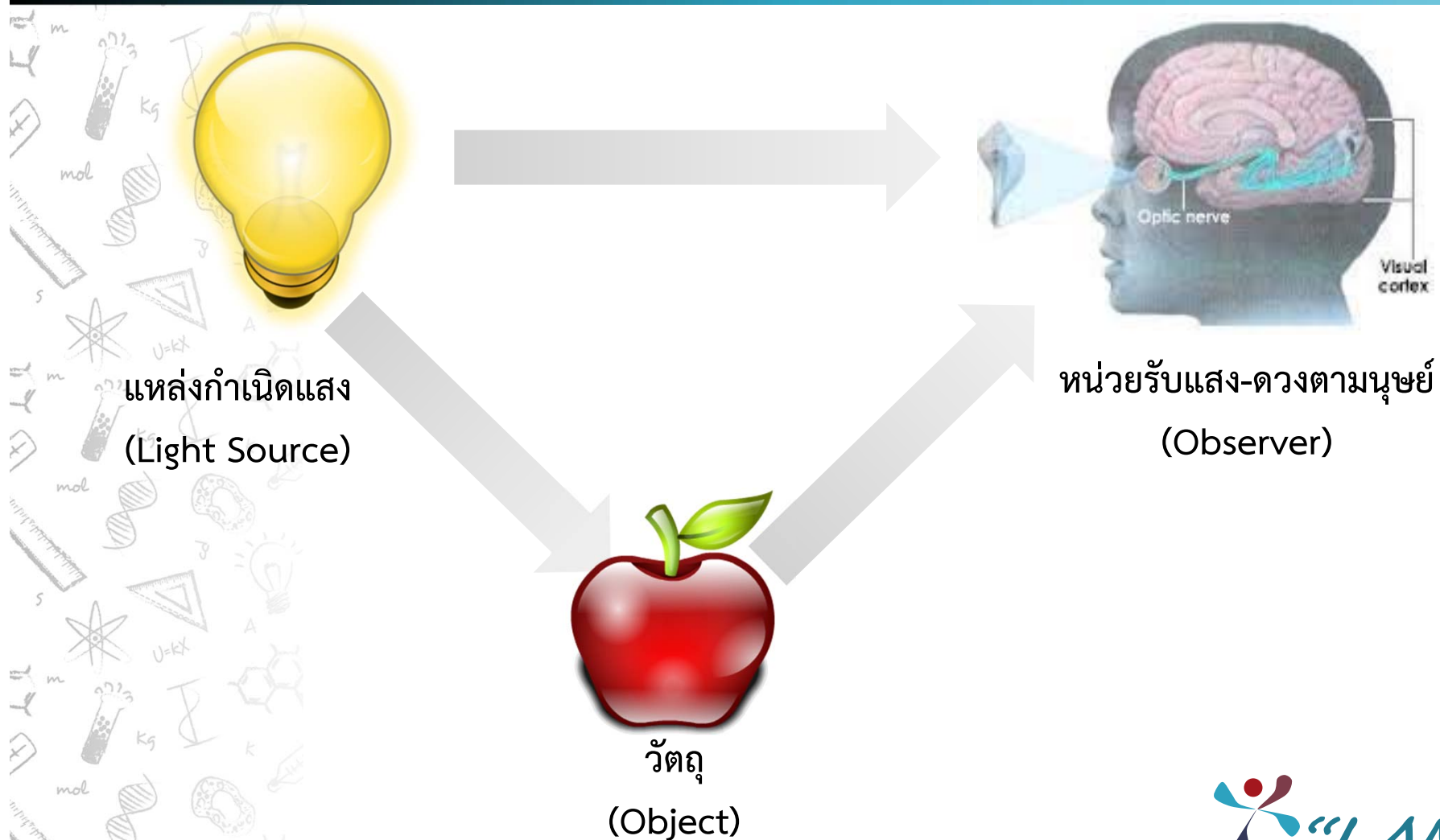


ความสัมพันธ์ระหว่างการส่องผ่าน การดูดกลืน การสะท้อน

$$I_T + I_R + I_A = I_0$$

- I_0 คือความเข้มแสงที่ตกกระทบวัตถุทั้งหมด
- I_T คือความเข้มแสงที่ส่องผ่านวัตถุ
- I_R คือความเข้มแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุ
- I_A คือความเข้มแสงที่วัตถุดูดกลืน

แสงและการมองเห็น (Light and Vision)



ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสง

มาตรวิทยาแสง

“ศาสตร์การวัดปริมาณต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ครอบคลุมเฉพาะรังสียูวี (Ultraviolet) แสงสว่าง (Visible) และคลื่นรังสีความร้อน (Infrared) ที่ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ถึง 1 000 000 นาโนเมตร”

Radiometry

Photometry

Spectrophotometry



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

มาตรวิทยากับการตรวจวัดวันดำรงยนต์ : 28 มีนาคม 2562

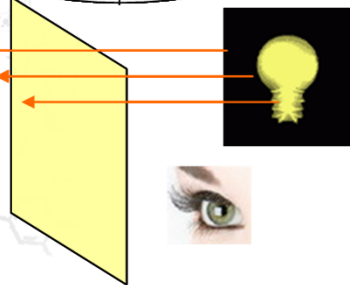
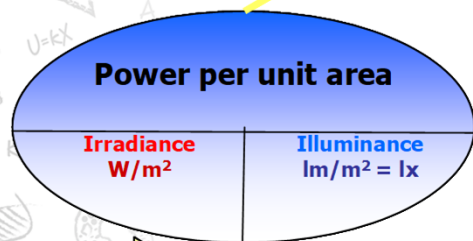
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแสง

ความสัมพันธ์ของศาสตร์การวัดการแผ่รังสีของแสงและศาสตร์การวัดแสงสว่าง

Radiometry measures the entire radiant power and the quantities derived from it.

Photometry measures that part of the radiant power perceived by the human eye as light

looking at illuminated surface



lm

“photometric power”

Source Power

Radiant Power
 W

Luminous Power
 lm

directionally lead to

Power per unit solid angle

Radiant Intensity
 W/sr

Luminous Intensity
 $lm/sr = cd$

for an extended source

Power per unit area per unit solid angle

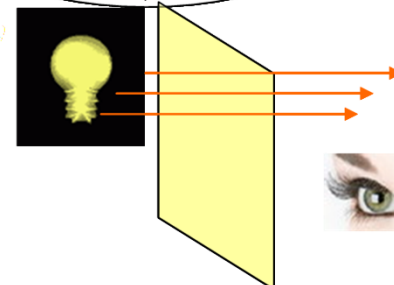
Radiance
 $W/(m^2 sr)$

Luminance
 $cd/m^2 = nit$

Power per unit area

Radiant Emittance
 W/m^2

Luminous Emittance
 lm/m^2



“I AM NIMT”



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

มาตรวิทยากับการตรวจวัดควันทารกยนต์ : 28 มีนาคม 2562

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง

ควันดำคืออะไร

ควันดำ (Black Smoke) เป็นกลุ่มของอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ร้อยละ 90 มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และไม่ได้มีรูปร่างเป็นรูปทรงกลม แต่จะเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กๆ รวมกันหรือเชื่อมต่อกันเป็นสาย ซึ่งจะมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

- **ผงเขม่า (Soot)** เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซล และน้ำมันหล่อลื่น
- **Soluble Organic Fraction (SOF)** เป็นส่วนของน้ำมันดีเซล และน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ได้รับการเผาไหม้
- **ซัลเฟต (Sulfate)** เกิดจากซัลเฟอร์(S) ในน้ำมันดีเซลถูกออกซิไดซ์(Oxidize) และระบาย ออกมาในรูปของซัลเฟต (SO_4)

ที่มา : คู่มือการตรวจสอบและห้ามใช้รถยนต์ควันดำ, กรมควบคุมมลพิษ



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

มาตรวิทยากับการตรวจวัดควันดำรถยนต์ : 28 มีนาคม 2562

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

สาเหตุของการเกิดควันทำ

- การปรับแต่งระบบปั๊มจ่ายน้ำมันไม่เหมาะสม และตั้งจังหวะการฉีดน้ำมันไม่ถูกต้อง องศาการฉีดไม่เหมาะสม ฉีดน้ำมันมากเกินไป
- หม้อกรองอากาศสกปรก อุดตัน
- บรรทุกเกินอัตราที่กำหนด
- เครื่องยนต์สภาพชำรุดและไม่สมบูรณ์หรือเครื่องหลวม
- เร่งเครื่องเร็วเกินไป หรือเร่งเครื่องซ้ำกันหลายครั้ง

ที่มา : คู่มือการตรวจสอบและห้ามใช้รถยนต์ควันทำ, กรมควบคุมมลพิษ

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

สาเหตุของการเกิดควันทำ

- หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสกปรก ขำรุด ความดันหัวฉีดต่ำ
- อุณหภูมิไม่ถึงอุณหภูมิทำงาน
- กำลังอัดต่ำ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด
- ประเก็นฝาสูบรั่ว
- ขาดการดูแลและบำรุงรักษาเครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอ

ที่มา : คู่มือการตรวจสอบและห้ามใช้รถยนต์ควันทำ, กรมควบคุมมลพิษ

2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

เครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง (Opacity)

ใช้หลักการวัดความส่องผ่านแสง (transmittance) โดยแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นกลุ่มควันไปยังตัวรับแสง กลุ่มควันจะดูดกลืนแสงส่วนหนึ่งไว้และแสงส่วนที่เหลือถูกวัดโดยตัวรับแสง

หากไม่มีกลุ่มควันหรือวัตถุอื่นใดบดบังแสง เครื่องมือจะอ่านค่าความทึบแสง (opacity) ได้ 0% นั่นคือแสงทั้งหมดเดินทางมาถึงตัวรับแสง

หากมีกลุ่มควันหรือวัตถุทึบแสงมาบดบังแสง เครื่องมือจะอ่านค่าความทึบแสง (opacity) ได้ 100% นั่นคือแสงทั้งหมดไม่สามารถเดินทางมาถึงตัวรับแสงได้

$$N = 100 \times (1 - T)$$

เมื่อ N = ค่าความทึบแสง

T = สัดส่วนของแสงที่ส่องทะลุผ่านควันทำ



2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง

เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง (Opacity)

จำแนกตามลักษณะของเครื่องมือออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

1. เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสงแบบไหลผ่านทั้งหมด (Full Flow Opacity)
2. เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสงแบบไหลผ่านบางส่วน (Partial Flow Opacity)



Full Flow



Partial Flow



2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง

เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสงแบบไหลผ่านทั้งหมด (Full Flow Opacity)

เป็นเครื่องมือที่ให้ควันดำทั้งหมดที่ระบายออกจากปลายท่อไอเสียของรถยนต์ไหลผ่านช่องวัดแสง และวัดค่าของแสงที่ทะลุผ่านควันดำ เพื่อนำไปประมวลผลค่าควันดำ เป็นหน่วยร้อยละที่ระยะความยาวทางเดินแสง (Optical Path Length) ที่ 76 มิลลิเมตร หรือเทียบเท่า



2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง

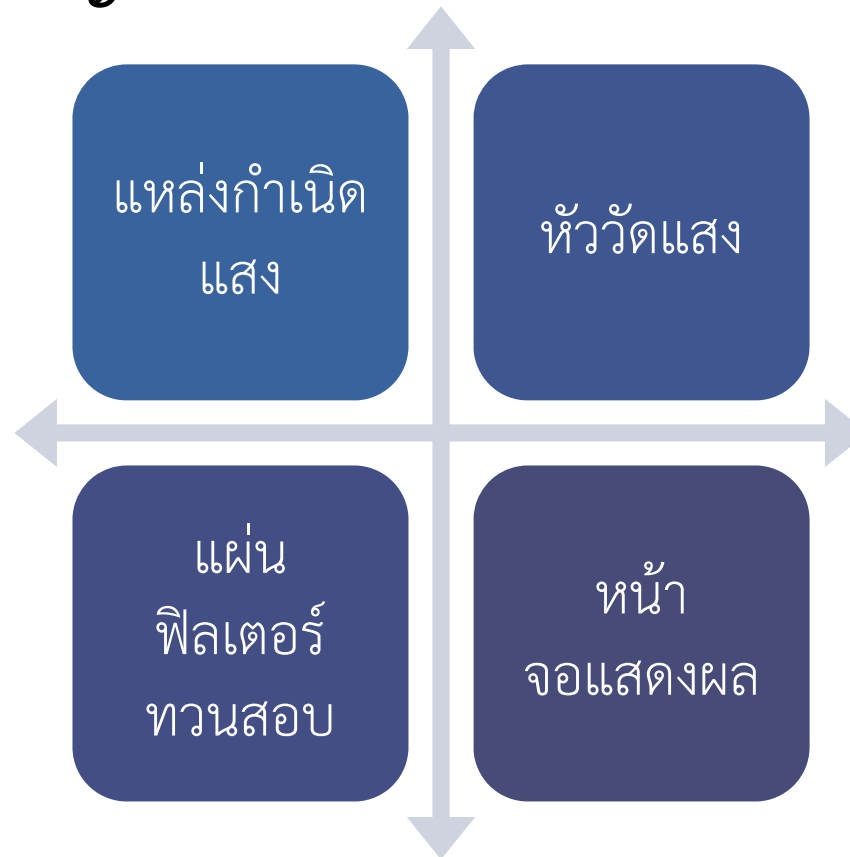
เครื่องวัดควันดำ ระบบวัดความทึบแสงแบบไหลผ่านบางส่วน (Partial Flow Opacity)

เป็นเครื่องมือที่ให้แสงบางส่วนที่ระบายออกจากปลายท่อไอเสียของรถยนต์ ไหลผ่านช่องวัดแสง และวัดค่าของแสงที่ทะลุผ่านควันดำ เพื่อนำไปประมวลผลค่าควันดำ เป็นหน่วยร้อยละที่ระยะความยาวทางเดินแสง (Optical Path Length) ที่ 76 มิลลิเมตร หรือเทียบเท่า



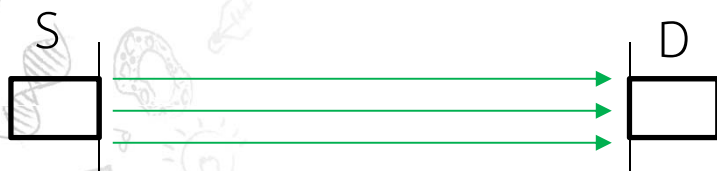
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

ส่วนประกอบสำคัญ



2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง

หลักการทำงาน



Opacity = 0%



Opacity = 30%



Opacity = 100%



Opacity = 50%



Opacity = 80%

S = Light Source
 D = Light Detector



3. การสอบเทียบเครื่องวัดควันทารบบความทึบแสง

สอบเทียบโดยใช้ระบบสเปคโตรโฟโตมิเตอร์



 "I AM

NIMT" 25



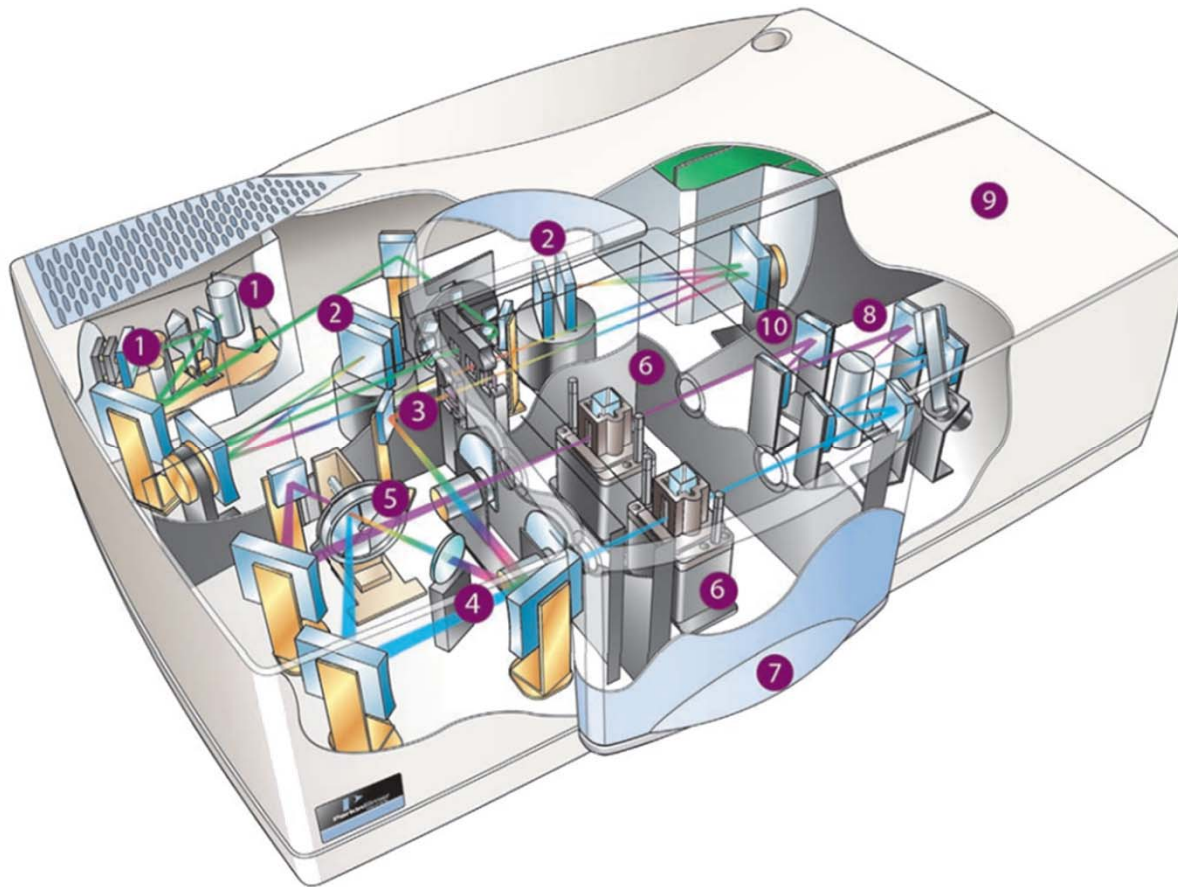
สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

มาตรวิทยากับการตรวจวัดควันทารณต์ : 28 มีนาคม 2562

3. การสอบเทียบเครื่องวัดควันทำระบบความถี่แสง

สอบเทียบโดยใช้ระบบสเปคโตรโฟโตมิเตอร์



3. การสอบเทียบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

National Reference Standard Neutral Density Filter

มาตรฐานที่ใช้ในการถ่ายค่าให้แผ่น
ฟิลเตอร์สำหรับทวนสอบเครื่องวัด
ควันทำระบบความทึบแสง

3. การสอบเทียบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

การสอบเทียบแผ่นฟิลเตอร์สำหรับทวนสอบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

1.

- วัดค่าสัญญาณแสงรับกวนในระบบ (y_{dark})

2.

- วัดค่าแผ่นฟิลเตอร์มาตรฐานอ้างอิง (y_{ref})

3.

- วัดค่าแผ่นฟิลเตอร์ทวนสอบ (y_{sample})

4.

- คำนวณหาค่าจริงของแผ่นฟิลเตอร์ทวนสอบ (T_{sample})

$$T_{sample} = \frac{(y_{sample} - y_{dark})}{(y_{ref} - y_{dark})} \cdot T_{ref}$$

$$Opacity = 100(1 - T)$$



4. การรายงานผลและการใช้งานใบรับรองผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

***Table 2**

Visual Regular Transmittance of Sample S/N:

Visual Regular Transmittance (%T _v)	(72.23 ± 0.62)
Visual Opacity (%)	(27.77 ± 0.62)
Visual Optical Density (OD _v)	(0.141 3 ± 0.003 7)
<i>End of Table 2</i>	

4. การรายงานผลและการใช้งานใบรับรองผลการสอบเทียบ

ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

***Table 3**

Regular Transmittance at 570 nm of Sample S/N:

Regular Transmittance (%T _v)	(72.25 ± 0.61)
Opacity (%)	(27.75 ± 0.61)
Optical Density (OD _v)	(0.141 2 ± 0.003 7)
<i>End of Table 3</i>	

5. การทวนสอบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

1. นำแผ่นฟิลเตอร์ทวนสอบ ZERO วางกั้นทางเดินแสงระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง เครื่องวัดความทึบแสงอ่านค่า $Opacity = 0\%$



5. การทวนสอบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

2. นำแผ่นฟิลเตอร์ทวนสอบที่ได้รับการสอบเทียบวางกั้นทางเดินแสงระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง บันทึกค่าความทึบแสงจากการทวนสอบ



5. การทวนสอบเครื่องวัดควันท้าระบบความทึบแสง

3. หาค่าแก้ โดยนำค่าความทึบแสงของแผ่นฟิลเตอร์ทวนสอบที่ได้รับการสอบเทียบหารด้วยค่าความทึบแสงของแผ่นฟิลเตอร์ทวนสอบที่อ่านได้จากเครื่องวัดควันท้า

$$\text{ค่าแก้} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการสอบเทียบ}}{\text{ค่าที่อ่านได้จากการทวนสอบเครื่องวัดควันท้าความทึบแสง}}$$

5. การทวนสอบเครื่องวัดควันท้าระบบความทึบแสง

4. ในการวัดควันท้าแต่ละครั้ง ให้นำค่าแก้ที่ได้ คูณด้วยค่าความทึบแสงที่ตรวจวัดได้จากเครื่องวัดควันท้าเพื่อหาค่าจริง

$$\text{ค่าจริง} = \text{ค่าแก้} \times \text{ค่าความทึบแสงที่ตรวจวัดได้}$$

ค่า สอบเทียบ	ค่า ทวนสอบ	ค่าแก้ =(ค่าสอบเทียบ/ค่าทวนสอบ)	ค่าควันท้า ที่วัดได้	ค่าควันท้าจริง =(ค่าแก้ x ค่าควันท้า)
(%)	(%)	[1]	(%)	(%)
31.92	25.01	1.28	40.01	51.06



5. การทวนสอบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

5. กรณีระยะความยาวของ **ทางเดินแสงขณะตรวจวัดจริง** **แตกต่าง** จากระยะความยาวของ **ทางเดินแสงมาตรฐาน** ให้คำนวณค่าควันทำที่ตรวจวัดได้ เป็นค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐาน

“ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐาน เท่ากับ 76 มิลลิเมตร”

$$N_{Ls} = 100 \times \left[1 - \left(1 - \frac{N_{Lm}}{100} \right)^{\frac{L_s}{L_m}} \right]$$

เมื่อ

N_{Ls}

= ร้อยละของค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐาน (%)

N_{Lm}

= ร้อยละของค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงขณะตรวจวัดจริง (%)

L_s

= ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐาน (มิลลิเมตร)

L_m

= ระยะความยาวของทางเดินแสงขณะตรวจวัดจริง (มิลลิเมตร)



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

มาตรวิทยากับการตรวจวัดควันทำรถยนต์ : 28 มีนาคม 2562

5. การทดสอบเครื่องวัดควันทำระบบความทึบแสง

6.กรณี **แหล่งกำเนิดแสงของเครื่องมือตรวจวัด**ควันทำระบบความทึบแสงให้ค่าสเปกตรัมสูงสุด **ไม่เท่ากับ 570 นาโนเมตร**ให้นำค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐานมาคำนวณเป็นค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐานและระยะความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน

“ระยะความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน เท่ากับ 570 นาโนเมตร”

$$N_s = 100 \times \left[1 - \left(1 - \frac{N_{Ls}}{100} \right)^{\frac{W_m}{W_s}} \right]$$

เมื่อ

N_s

= ร้อยละของค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐานและที่ระยะความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน (%)

N_{Ls}

= ร้อยละของค่าควันทำที่ระยะความยาวของทางเดินแสงมาตรฐาน (%)

W_s

= ระยะความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน (นาโนเมตร)

W_m

= ระยะความยาวคลื่นแสงของแหล่งกำเนิดแสง
ขณะตรวจวัดจริง (นาโนเมตร)



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

6. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อมเรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าควัน
ดำของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์แบบจุด
ระเบิดด้วยการอัด



6. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ค่าวันดำมาตรฐาน (%)	รถยนต์ขณะเครื่องยนต์ไม่มีภาระ	รถยนต์ขณะเครื่องยนต์มีภาระ และอยู่บนเครื่องทดสอบ
เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง	45	35
เครื่องวัดควันดำระบบกระดาษกรอง	50	40



6. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

SAE J1667 : สมาคมวิศวกรรมยานยนต์

- Snap-Acceleration Smoke Test Procedure for Heavy-Duty Diesel Powered Vehicles

ECE R 24 : คณะกรรมการธิการเศรษฐกิจแห่งยุโรป

- Diesel smoke

ISO 11614 : องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน

- Reciprocating internal combustion compression-ignition engines -- Apparatus for measurement of the opacity and for determination of the light absorption coefficient of exhaust gas



มาตรวิทยากับการตรวจวัดควันทารกยนต์

Thank you for your attention



0 2577 5100 ext. 2322



natthapong@nimt.or.th



Light and color club



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

มาตรวิทยากับการตรวจวัดควันทารกยนต์ : 28 มีนาคม 2562