

บทที่ 5

เครื่องต้นแบบการวัดอนุภาคขนาด 0.2-0.6 μm บนพื้นผิวเรียบ โดยใช้หลักการกระเจิงแสง

5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องต้นแบบ

จากบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบต้นแบบสำหรับวัดหาขนาดอนุภาคโดยแบ่งขนาดออกเป็น 3 ช่วงขนาด คือ ช่วงขนาดเล็ก 1-10 nm ช่วงขนาดกลาง 0.2-0.6 μm และช่วงขนาดใหญ่ 250-5000 μm และทำการทดลองในบทที่ 4 เฉพาะช่วงขนาดใหญ่ 250-5000 μm ในบทนี้จะได้นำการออกแบบจากบทที่ 3 และผลบทที่ 4 มาสร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้วัดอนุภาคขนาด 0.2-0.6 μm ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

ผลการทดลองในบทที่ 4 นำไปสู่การคิดค้นวิธีการวัดอนุภาคแบบใหม่เพื่อสามารถวัดหาอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงจากเดิมเป็น 0.2-0.6 μm ขั้นตอนแรกต้องพิจารณา 2 ปัจจัยหลัก ซึ่งใช้วิธีและหลักการเช่นเดียวกับในบทที่ 3 คือ

1. ปัจจัยการเลือกย่านแหล่งกำเนิดแสง ต้องอาศัยการหาค่า Size Parameter ($\alpha = 2\pi/\lambda$) ซึ่งเป็นตัวกำหนดย่านแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับขนาดของอนุภาค เพื่อให้ได้ค่าการวัดขนาดมีความถูกต้อง ช่วงการพิจารณาค่าของ (α) ถูกกำหนดไว้ 3 รูปแบบ คือ

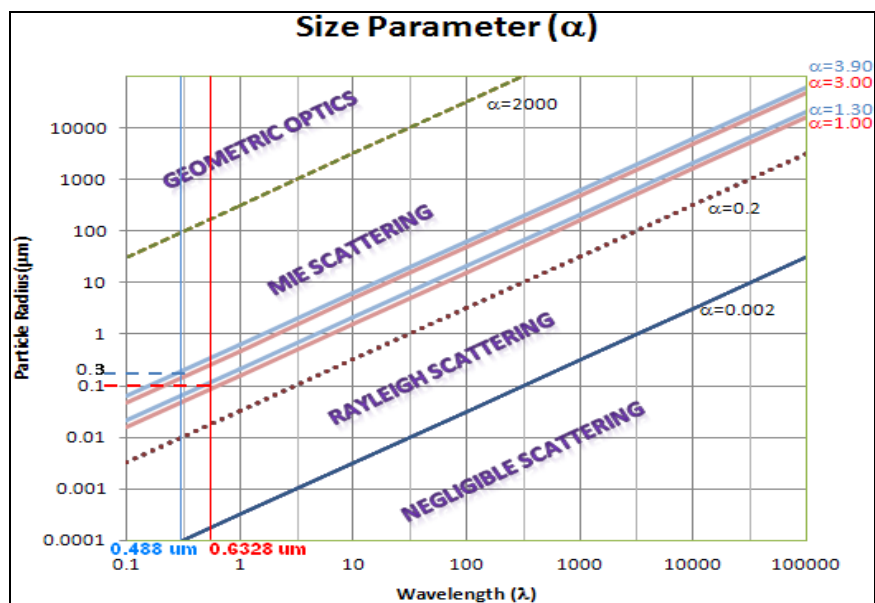
โดยที่ $\alpha \ll 1$ คือ รูปแบบของ Rayleigh scattering theory หรือ $D \ll \lambda$

$\alpha \approx 1$ คือ รูปแบบของ Mie scattering theory หรือ $D \approx \lambda$

$\alpha \gg 1$ คือ รูปแบบของ Geometric scattering theory หรือ $D \gg \lambda$

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า Size Parameter (α) ของอนุภาคขนาด 0.2 - 0.6 μm กับ 2 ความยาวคลื่นที่ 0.488 μm และ 0.6328 μm

ขนาดอนุภาค (D) μm	Size Parameter (α)		
	$\lambda = 0.488 \mu\text{m}$	$\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$	รูปแบบ
0.2	1.30	1.00	Rayleigh
0.3	1.93	1.50	Rayleigh/Mie
0.4	2.60	2.00	Mie
0.5	3.22	2.50	Mie
0.6	3.90	3.00	Mie/Geometric

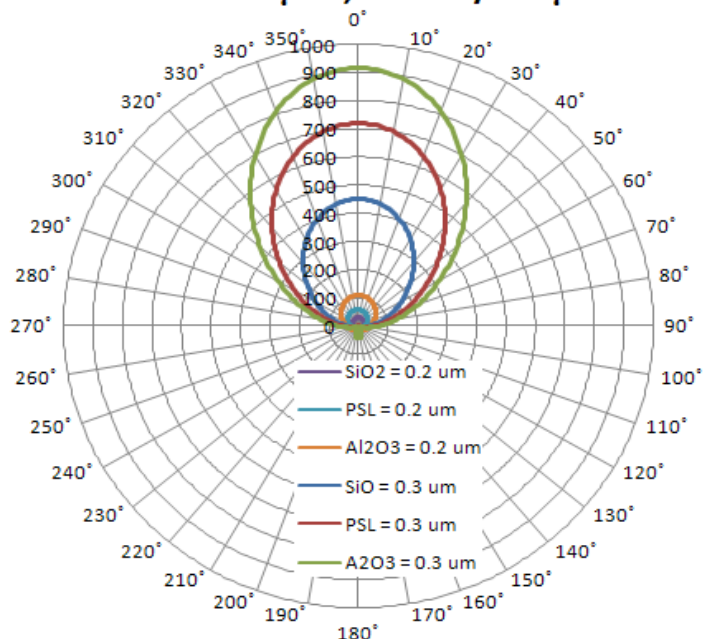


รูปที่ 5.1 กราฟค่าของ Size Parameter (α) เท่ากับ 1.30 และ 1.00 กับ 3.90 และ 3.00 ที่ขนาดอนุภาค 0.2 และ 0.6 μm กับความยาวคลื่น 0.488 μm และ 0.6328 μm ตามลำดับ

จากตารางที่ 5.1 และกราฟรูปที่ 5.1 สรุปได้ว่า ที่อนุภาคขนาด 0.2- 0.6 μm ควรใช้แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่อยู่ในย่านความยาวคลื่น 0.488 μm ซึ่งมีอยู่ในย่านใกล้เคียงกับขนาดอนุภาค และให้รูปแบบค่าความเข้มการกระเจิงแสงเป็นแบบไมย์ เนื่องจากให้ค่าของการกระเจิงแสงที่มีรูปแบบเฉพาะชัดเจนในแต่ละมุมที่แตกต่างกันและมีทิศทางไปข้างหน้ามากกว่าทิศอื่นๆ สัมพันธ์กับชนิดและขนาดของอนุภาคนั้นๆ (เส้นกราฟทั้ง 2 ความยาวคลื่นตัดแกนที่ช่วงขนาดอนุภาค 0.2-0.6 μm)

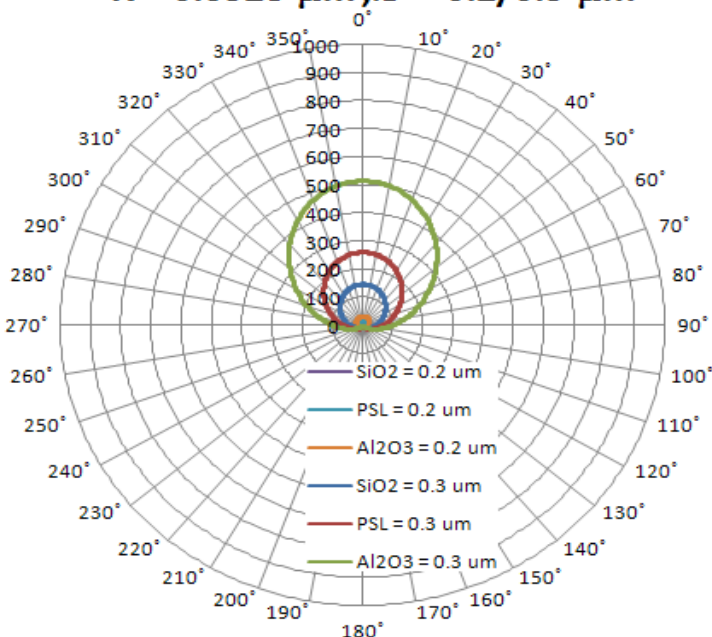
นอกจากนี้ยังยืนยันด้วยผลแบบจำลอง MIST ตัวอย่าง ที่มุมอิมพัท(ϕ_s) 0° ถึง 360° กับอนุภาค 2 ขนาดเล็ก คือ 0.2 และ 0.3 μm กับ 3 ชนิด SiO_2 , PSL และ Al_2O_3 ($n_D = 1.458, 1.59$ และ 1.768 ตามลำดับ) โดยใช้มุมตกกระทบ(θ_i) และมุมสะท้อน (θ_s) เท่ากับ 89° กับ 2 ความยาวคลื่น คือ 0.488 กับ 0.6328 μm ให้ผลการจำลองดังรูปที่ 5.2

$$\lambda = 0.488 \mu\text{m}, \varnothing = 0.2/0.3 \mu\text{m}$$



รูปที่ 5.2 ความยาวคลื่นแสง $0.488 \mu\text{m}$ ที่ขนาด $0.2 \mu\text{m}$ และ $0.3 \mu\text{m}$

$$\lambda = 0.6328 \mu\text{m}, \varnothing = 0.2/0.3 \mu\text{m}$$



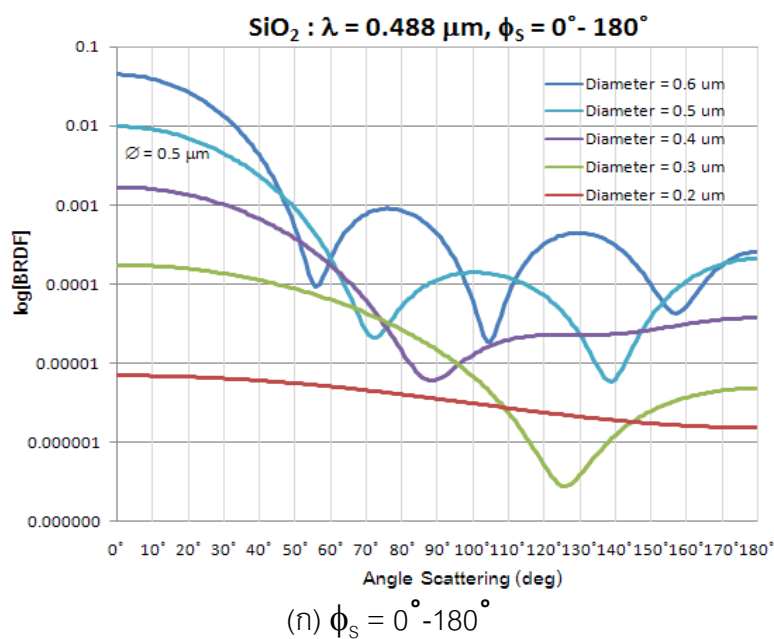
รูปที่ 5.3 ความยาวคลื่นแสง $0.6328 \mu\text{m}$ ที่ขนาด $0.2 \mu\text{m}$ และ $0.3 \mu\text{m}$

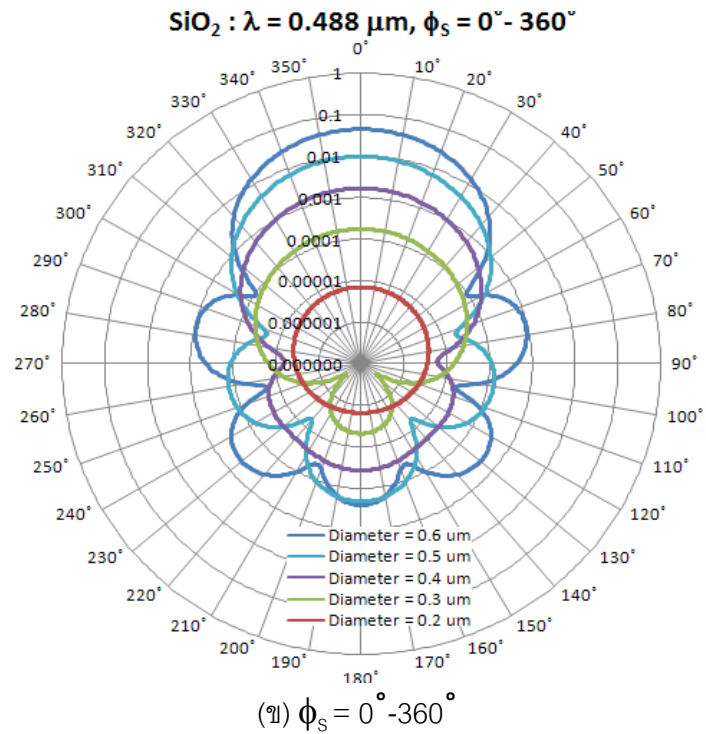
จากการเปรียบเทียบรูปที่ 5.2 สรุปได้ว่าที่ขนาดอนุภาค $0.3 \mu\text{m}$ มีค่าความเข้มการกระเจิงแสง ($I_{0.3}$) มากกว่าที่ขนาดอนุภาค $0.2 \mu\text{m}$ ($I_{0.2}$): $[I_{0.3} > I_{0.2}]$ สำหรับที่ความยาวคลื่น $0.488 \mu\text{m}$ และค่าความเข้มการกระเจิงแสงจากน้อย ($I_{n<}$) ไปหามาก ($I_{n>}$) ในอนุภาคชนิด SiO₂ ($n_D = 1.458$), PSL (n_D

=1.59) และ Al_2O_3 ($n_D=1.768$) ซึ่งแปรตามค่าดัชนีหักเหของอนุภาคที่น้อยไปหามาก: [$I_{n<} < I_{n>}$] ตามลำดับ สำหรับรูปที่ 5.3 ที่ความยาวคลื่น $0.6328 \mu\text{m}$ ในทำนองเดียวกันค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่อนุภาค $0.3 \mu\text{m}$ มีค่ามากกว่าอนุภาคขนาด $0.2 \mu\text{m}$ และให้ค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่แปรตามค่าดัชนีหักเหของอนุภาค เช่นกัน

2. ปัจจัยการเลือกมุมตกกระทบ (θ_i) มุมการกระเจิง (θ_s) และมุมอิมพัท (ϕ_s) ที่เหมาะสมนั้น อาศัยผลที่ได้จากแบบจำลอง MIST ของหลักการกระเจิงแสงของ BRDF และอาศัยทฤษฎีการกระเจิงแสงที่ให้ค่าความเข้มการกระเจิงแสงเป็น 3 รูปแบบ ซึ่งกล่าวมาแล้ว

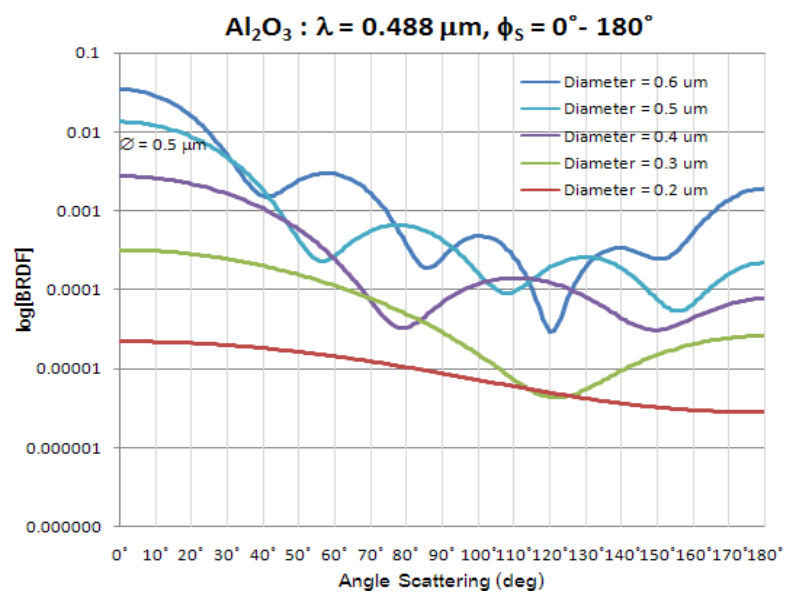
นอกจากนี้ยังยืนยันด้วยผลจากแบบจำลอง MIST ใช้ 3 ชนิดอนุภาค คือ SiO_2 ($n_D=1.45$), Al_2O_3 ($n_D=1.76$) และ TiO_2 ($n_D=2.75$) ที่ 6 ขนาดอนุภาคระหว่าง $0.2-0.6 \mu\text{m}$ กับความยาวคลื่น $0.488 \mu\text{m}$ เป็นอนุภาคตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ โดยกำหนดมุมตกกระทบ (θ_i) มุมการกระเจิง (θ_s) เท่ากับ 89° บนพื้นผิวที่เป็นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสไดรฟ์ โดยเลือกจำลองในเป็นรูปแบบของไมย์ ให้ผลการจำลองในรูปที่ 5.4 -5.6

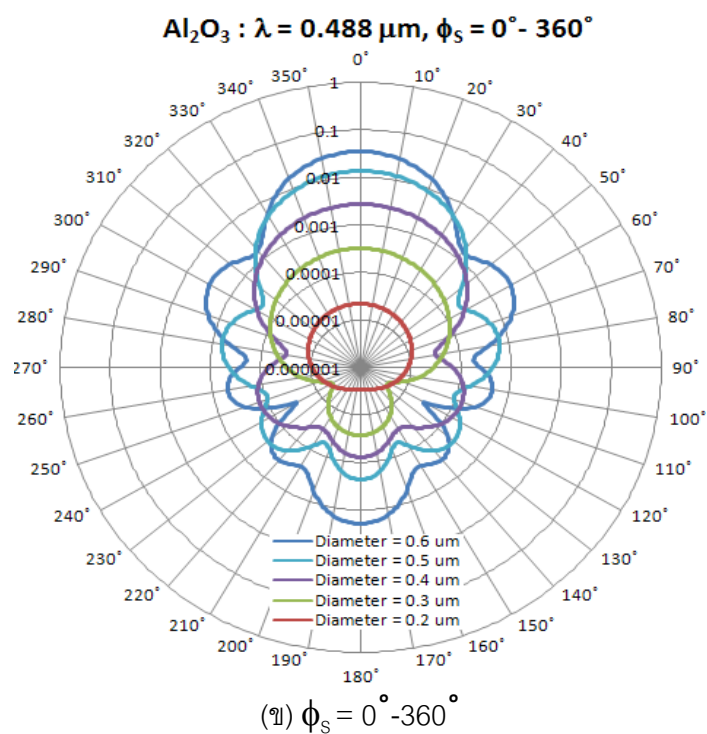




รูปที่ 5.4 ค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคชนิด SiO₂($n_D=1.45$)

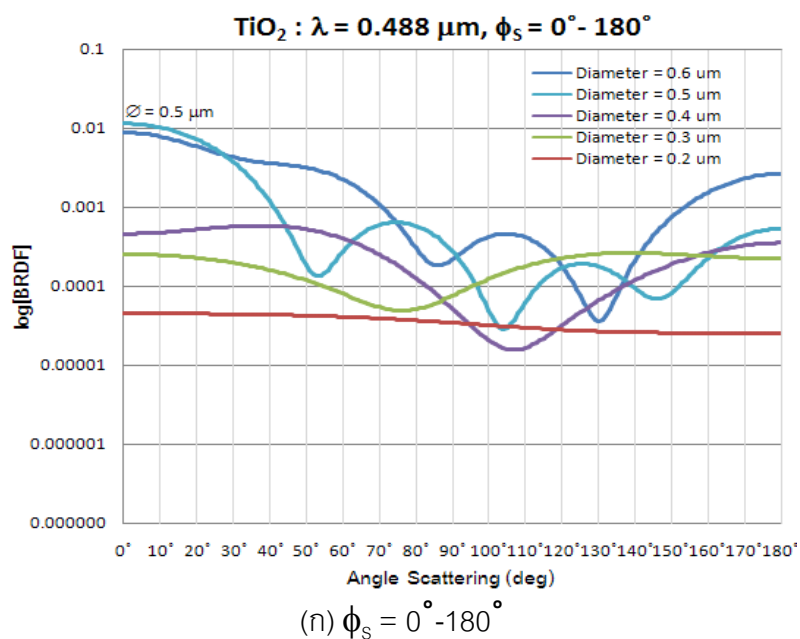
จากรูปที่ 5.4 (ก) และ(ข) สรุปได้ว่าอนุภาคชนิด SiO₂ ที่มีค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่ดีอยู่ที่ขนาด 0.5 μm ซึ่งมีค่าต่ำที่มุม 70° และ 140° พร้อมทั้งให้รูปแบบการกระเจิงแสงแบบไมย์ ($D \approx \lambda$) ได้ชัดเจนสุดที่ $\phi_s = 0^\circ - 360^\circ$

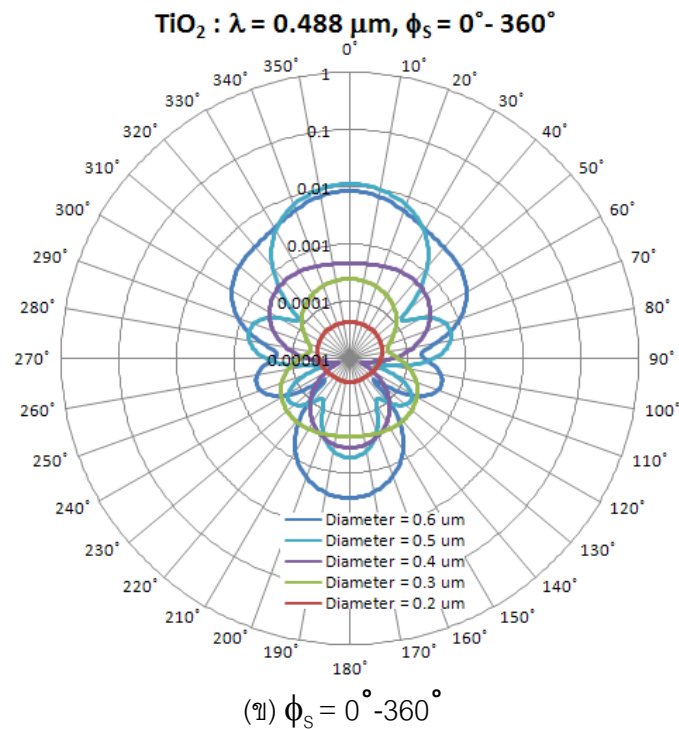




รูปที่ 5.5 ค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคชนิด Al_2O_3 ($n_D=1.76$)

จากรูปที่ 5.5 (ก) และ(ข) สรุปได้ว่า ชนิดอนุภาค Al_2O_3 ($n_D=1.76$) ที่มีค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่ดีอยู่ที่ขนาด $0.5 \mu\text{m}$ ซึ่งมีค่าต่ำที่มุม 55° 105° และ 155° พร้อมทั้งให้รูปแบบการกระเจิงแสงแบบไมย์ ($D \approx \lambda$) ได้ชัดเจนสุดที่ $\phi_s = 0^\circ - 360^\circ$





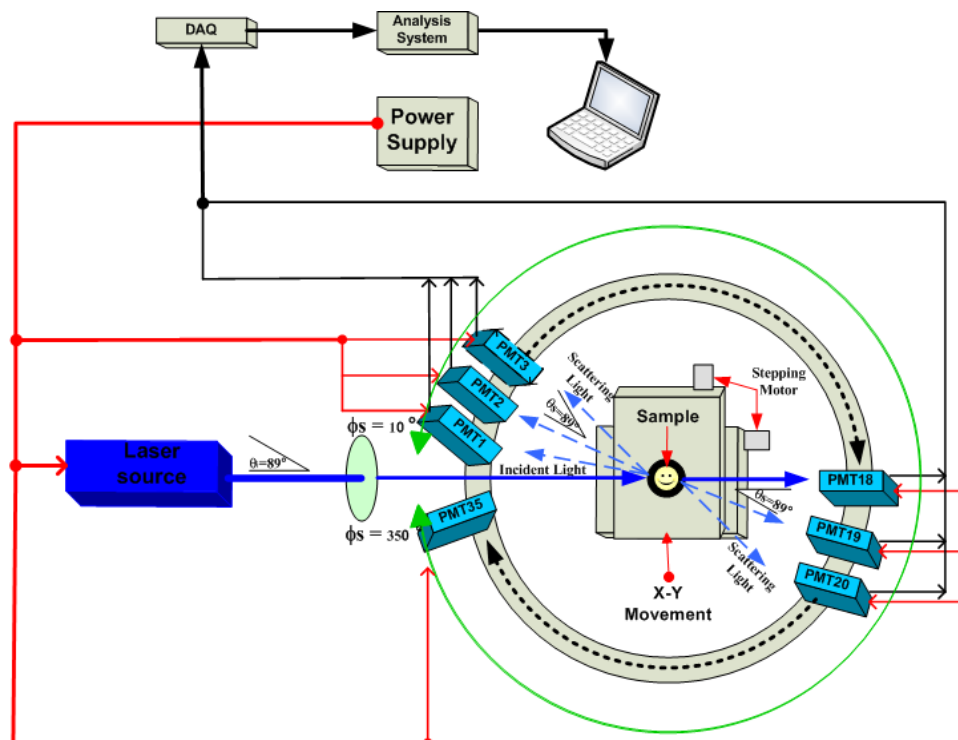
รูปที่ 5.6 ค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคชนิด TiO₂($n_D=2.75$)

จากรูปที่ 5.6 (ก) และ(ข) สรุปได้ว่า ชนิดอนุภาค TiO₂($n_D=2.75$) ที่มีค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่ดีอยู่ที่ขนาด $0.5 \mu\text{m}$ ซึ่งมีค่าต่ำที่มุม 55° 105° และ 145° พร้อมทั้งให้รูปแบบการกระเจิงแสงแบบไมย์ ($D \approx \lambda$) ได้ชัดเจนสุดที่ $\phi_s = 0^\circ - 360^\circ$

จากข้อมูลของรูปแบบการกระเจิงแสงทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ที่อนุภาคขนาด $0.2 - 0.6 \mu\text{m}$ ควรใช้มุมตกกระทบ (θ_i) มุมการกระเจิง (θ_s) เท่ากับ 89° และมุมอสมิท $\phi_s = 0^\circ - 360^\circ$ ให้รูปแบบค่าความเข้มการกระเจิงแสงเป็นแบบไมย์ที่ชัดเจนที่สุด เนื่องจากให้ค่าของการกระเจิงแสงที่มีรูปแบบเฉพาะชัดเจนในแต่ละมุมที่แตกต่างกันและมีทิศทางไปข้างหน้ามากกว่าทิศอื่นๆ

5.2 หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบ

จากผลของ 2 ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นและทฤษฎีการกระเจิงแสงสามารถออกแบบเครื่องต้นแบบวัดหาอนุภาคชนิดและขนาดที่ $0.2 - 0.6 \mu\text{m}$ บนพื้นผิวเรียบโดยใช้หลักการกระเจิงแสงที่สามารถนำไปใช้กับโรงงานได้จริง ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 เครื่องต้นแบบวัดอนุภาคขนาด 0.2-0.6 μm บนพื้นผิวเรียบที่มุมอิมพิท (ϕ_s) = 0° - 360°

หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบวัดอนุภาคต่างๆ ที่ 0.2 - 0.6 μm บนพื้นผิวเรียบ โดยใช้หลักการกระเจิงแสง ที่มุมอิมพิท $\phi_s = 0^\circ$ - 360° ประกอบด้วย 7 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนขับเคลื่อนชิ้นงาน แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ส่วนตรวจวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสง ส่วนปรับแสง ส่วนรับข้อมูล ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและบันทึกข้อมูล ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้า เป็นต้น

1. ส่วนขับเคลื่อนชิ้นงาน ใช้ระบบขับเคลื่อนที่มีความละเอียดสูงในระดับไมโครเมตร เพื่อขับเคลื่อนที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากอยู่บนพื้นผิวเรียบ โดยใช้อุปกรณ์แอคทูเอเตอร์ขนาดเล็กที่เรียกว่า Micro-actuator

2. แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ใช้เลเซอร์ให้แสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 0.488 μm ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบลงบนอนุภาค

3. ส่วนตรวจวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสงใช้ Si Photo-detector /amplifier package หรือ Photomultiplier tubes: PMT ทำหน้าที่เป็นตัววัดค่าความเข้มแสงที่กระเจิงหลังจากกระทบอนุภาคแล้ว

4. ส่วนปรับแสง ใช้ชุดเลนส์ขนาด 70-75 mm ทำหน้าที่ปรับขนาดลำแสงเลเซอร์และแผ่นโพลาไรซ์เซอร์ที่สามารถหมุนปรับได้ทั้งมุมที่ 0° และ 90° ทำหน้าที่เลือกทิศทางเข้า-ออก เพื่อวัดขนาดที่มีขนาดเล็กได้อย่างถูกต้อง

5. ส่วนรับข้อมูล ใช้ Data acquisition board : DAQ ทำหน้าที่รับสัญญาณค่าความเข้มแสงที่เป็นสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัล

6. ส่วนวิเคราะห์ข้อมูลและบันทึกข้อมูลใช้คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่รับข้อมูลสัญญาณดิจิทัลแล้วประมวลผลค่าความเข้มแสงอยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า

7. ส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้า ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 5, 12 และ ± 15 โวลต์ ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรตรวจวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสง

การเชื่อมโยงหน้าที่ฟังก์ชันการทำงาน คือ เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ตกกระทบบนมุมตกกระทบ (θ_i) เท่ากับ 89° ผ่านชุดเลนส์ เพื่อลดขนาดลำแสงเลเซอร์ให้มีขนาดเหมาะสมกับอนุภาคแล้วตกกระทบบนอนุภาคที่อยู่บนพื้นผิวเรียบที่มีตัวตรวจจับค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่มุมการกระเจิง (θ_s) เท่ากับ 89° และมุมมุมนอซิมุท (ϕ_s) เริ่มต้นวัดค่าที่จุด 0° ถึงจุดสุดท้ายที่ 360° รวม 35 จุด ไปรอบๆ ชิ้นงานบนพื้นผิวเรียบที่มีอนุภาคที่ขนาดในช่วง $0.2-0.6 \mu\text{m}$ ค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่วัดได้ในทุกๆ มุมที่ 10° ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกส่งผ่าน Data acquisition board : DAQ หรืออุปกรณ์ขยายสัญญาณ ต่อไปยังระบบวิเคราะห์ข้อมูลและบันทึกข้อมูล ด้วย แสดงผลและคอมพิวเตอร์ เพื่อสามารถหาชนิดและขนาดอนุภาคต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้องแม่นยำต่อไป