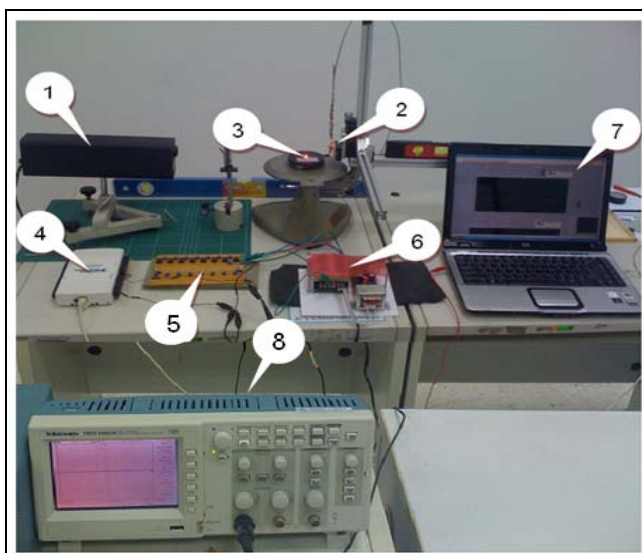


บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองกับระบบวัดอนุภาค

จากข้อมูลบทที่ 3 นำไปออกแบบการทดลองในงานวิจัยที่ให้ค่าถูกต้องแม่นยำ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองจริงไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองจากแบบจำลอง MIST อาศัยหลักการ BRDF โดยการทดลองในครั้งนี้ทดลองกับอนุภาคตัวอย่าง 4 ชนิด คือ Steel (Fe), Silica gel (SiO_2), Zirconium (ZrO_2) และ Polyethylene (PE) กับ 8 ขนาด คือ 250 – 5000 μm เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบการวัดอนุภาคต่างๆ บนพื้นเรียบนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจริงของระบบการวัดอนุภาคต่างๆ โดยใช้หลักการกระเจิงแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้

จากรูปที่ 4.1 อธิบายการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับทดสอบการทำงานของระบบวัดอนุภาคต่างๆ บนพื้นผิวเรียบ โดยใช้หลักการกระเจิงแสงตามหมายเลขดังนี้

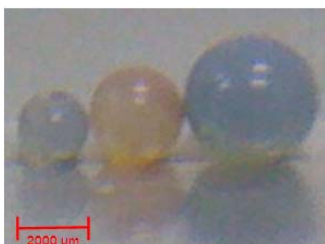
- หมายเลข 1 คือ แหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่น (เลเซอร์) 0.6328 ไมโครเมตร
- หมายเลข 2 คือ อุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสง
- หมายเลข 3 คือ อนุภาคตัวอย่าง
- หมายเลข 4 คือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณดิจิทัล
- หมายเลข 5 คือ บอร์ดวงจรขยายสัญญาณ
- หมายเลข 6 คือ แหล่งจ่าย 5, 12, 15, -15 โวลต์

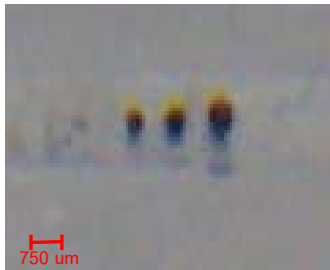
- หมายเลข 7 คือ เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกค่าสัญญาณความเข้มแสง
- หมายเลข 8 คือ เครื่องมือแสดงสัญญาณ (Oscilloscope)

4.1 การทดลอง

การทดลองในครั้งนี้อาศัยทฤษฎีการกระเจิงแสงกับหลักการ BRDF ภายใต้โปรแกรมแบบจำลอง MIST เป็นมาตรฐาน เพื่อออกแบบทดลองในงานวิจัยครั้งนี้คือ อนุภาค 4 ชนิด กับ 8 ขนาด ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.4 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ขนาดอนุภาคที่ต้องการวัดหาค่าความเข้มการกระเจิงแสงทั้งหมดจำนวนรวมทั้งสิ้น 4 ชนิด 8 ขนาด ดังนี้

Particle Type	Particle Size (μm)	Refractive index (n,ik)	On surface (Al_2O_3), (n_{D}^{20})
1. Steel (Fe) 	1000	2.03, i3.5	1.76, 1.45 – 1.55
	2000		
	3000		
	4000		
	5000		
2. Silica gel (SiO_2) 	2000	1.45	
	3000		
	4000		
3.Zirconium dioxide(ZrO_2) 	500	2.13	
	2000		
	3000		

Particle Type	Particle Size (μm)	Refractive index (n,ik)	On surface (Al_2O_3), (n_D^{20})
4. Polyethylene (PE) 	250	1.51	1.76, 1.45 – 1.55
	500		
	750		

4.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม และรายละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

การกำหนดเงื่อนไขระหว่างแบบจำลอง MIST ภายใต้หลักการ BRDF ในงานวิจัยนี้ และเงื่อนไขการทดลองของงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ :

4.1.1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม

เงื่อนไขแบบจำลอง MIST ภายใต้หลักการ BRDF ในงานวิจัยนี้ (พิจารณาเฉพาะทรงกลม) มีดังนี้

Modeled Integrated Scatter Tool (MIST) Model: Double_Interaction_BRDF_Model

โปรแกรมนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ:

1. User Variables: เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นและประกาศตัวแปรของโปรแกรม

ส่วนที่ 1 : ค่าตัวแปรของ BRDF (หน่วยที่ใช้ไมโครเมตร)

Parameter lambda to 0.6328 ; กำหนดค่าความยาวคลื่น (λ) ที่ต้องการ

Parameter substrate to (1.76,0) ; กำหนดค่าดัชนีหักเห (n_D) ของพื้นผิวค่าจริง,ค่าจินตภาพ $n_D = (R,I)$ ที่ต้องการ

Parameter distance to 500 ; กำหนดค่าขนาดรัศมีของอนุภาค (r) ที่ต้องการ

2. Required Variables: เป็นค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้สำหรับคำนวณมุมต่างๆในโปรแกรม

ส่วนที่ 2 : ค่าตัวแปรมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้

Parameter minsamples = 10

Parameter differential = $(2^{\circ})^{\text{deg}}$

Parameter incidentangle = $\theta_{\text{tai}}^{\circ}$

Parameter incidentpol = $(1, \cos(2^{\circ} \cdot \text{inpol}^{\circ}), \sin(2^{\circ} \cdot \text{inpol}^{\circ}), 0)$

Parameter rotation = 0°

3. Model Parameters: เป็นการเลือกวิธีการคำนวณและกำหนดเงื่อนไขของโปรแกรม

ส่วนที่ 3 : ค่าตัวแปรรูปแบบการกระเจิงแสงแบบต่างๆ (หน่วยที่ใช้ไมโครเมตร)

Parameter scatterer to *MieScatterer* ; กำหนดรูปแบบการกระเจิงแสงที่ต้องการ

Parameter scatterer.lambda to 0.6328 ; กำหนดค่าความยาวคลื่น (λ) ที่ต้องการ

Parameter scatterer.medium to $(1,0)$; กำหนดค่าดัชนีหักเห (n_D) ของชั้นกลางค่าจริง, ค่าจินตภาพ $n_D = (R,I)$ ที่ต้องการ

Parameter scatterer.radius to 1000 ; กำหนด ค่าขนาดรัศมีของอนุภาค (r) ที่ต้องการ

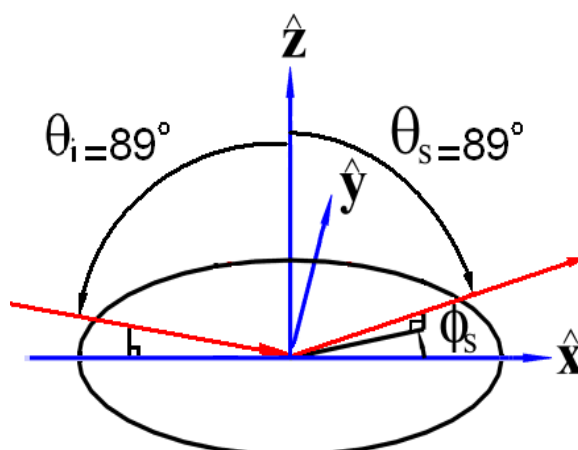
Parameter scatterer.sphere to $(2.03,3.5)$; กำหนดค่าดัชนีหักเห (n_D) ของอนุภาคค่าจริง, ค่าจินตภาพ $n_D = (R,I)$ ที่ต้องการ

4. Outputs: เป็นส่วนที่แสดงผลการคำนวณจากโปรแกรม

ส่วนที่ 4 : ค่าตัวแปรผลที่แสดงผลการคำนวณค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่อยู่ในรูป

$[I_{\text{scat}}(\theta)/I_{\text{scat}}(0)]$ ซึ่งอธิบายอยู่ในบทที่ 2 (หลัก การ BRDF) กับ มุมการกระเจิงแสง

$(\theta_s, \phi_s : \text{deg})$ ที่เป็นข้อมูลและกราฟ ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆที่มีข้างต้นนี้ถูกนำไปใช้ในการคำนวณในแบบจำลองและจะถูกเปลี่ยนค่าไปตามความต้องการตามชนิดและขนาดของอนุภาคหรืออื่นๆ ได้ดังต่อไปนี้

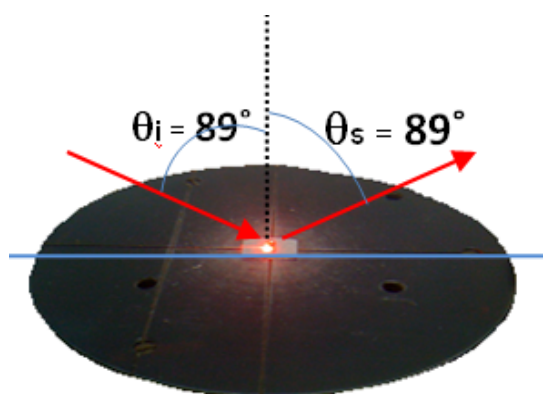


รูปที่ 4.2 โครงสร้างแบบจำลอง

4.1.1.2 รายละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

เงื่อนไขการทดลองของงานวิจัยนี้ (พิจารณาเฉพาะทรงกลม) เงื่อนไขการทดลองประกอบด้วย 7 ส่วน คือ:

1. ความยาวคลื่นแสงตกกระทบ (λ) เท่ากับ $0.6328 \mu\text{m}$ เป็นเลเซอร์ ชนิดฮีเลียมนีออนที่ให้แสงสีแดง 35 mW
2. อุปกรณ์ตรวจจับแสงเป็น โฟโตไดโอดชนิดพินแบบเลือกย่านความยาวคลื่นเดียวในช่วง $0.620 - 0.700 \mu\text{m}$
3. มุมการตกกระทบ (θ_i) และมุมการกระเจิงแสง (θ_s) เท่ากับ 89°
4. ชนิดและขนาดของตัวอย่าง คือ
 - 4.1 Steel(Fe) ขนาด $1000 - 5000 \mu\text{m}$
 - 4.2 Silica gel(SiO_2) ขนาด $2000 - 4000 \mu\text{m}$
 - 4.3 Zirconium dioxide (ZrO_2) ขนาด 500, 2000 และ $3000 \mu\text{m}$
 - 4.4 Polyethylene (PE)ขนาด250, 500และ750 μm
5. ค่าดัชนีหักเห Refractive index (n_D):
 - 5.1 Fe คือ ($n_D = 2.03, i3.5$)
 - 5.2 SiO_2 คือ ($n_D = 1.45$)
 - 5.3 ZrO_2 คือ ($n_D = 2.13$)
 - 5.4 PE คือ ($n_D = 1.51$)
6. พื้นผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Aluminum-oxide (Al_2O_3) $n_D=1.76$
7. มุมที่ใช้ตรวจจับแสงที่กระเจิง เรียกว่า มุมอซิมุท (ϕ_s) ช่วง $0 - 150^\circ$



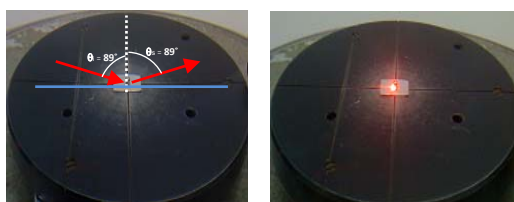
รูปที่ 4.3 ภาพการทดลองจริงในงานวิจัยนี้

การทดลองที่ 1 ใช้ตัวอย่างชนิด Steel (Fe) ที่ขนาด 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 μm



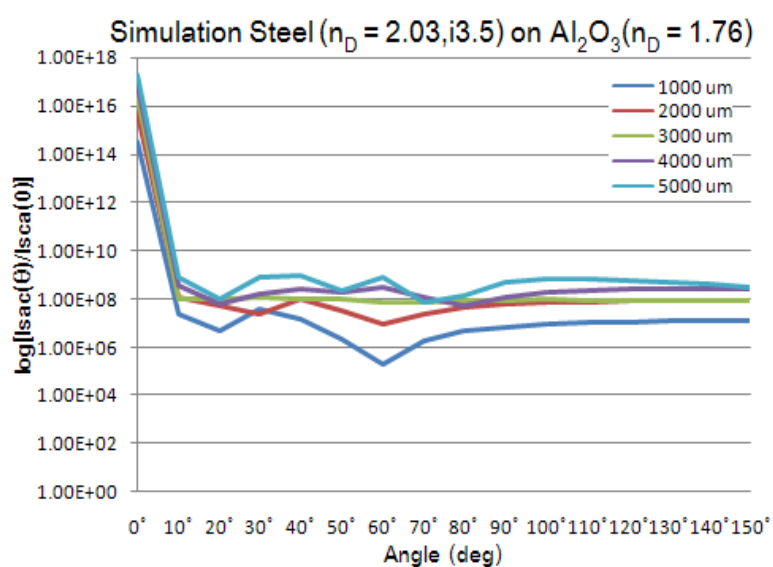
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจริงของตัวอย่างชนิด Steel ทรงกลมที่ขนาด 1000 – 5000 μm

การทดลองที่ 1 ทำการวัดและบันทึกค่าความเข้มแสงที่กระเจิงทุกมุม (ϕ_s) 10° โดยมี Steel (Fe) ทรงกลมที่ขนาด 1000 – 5000 μm ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุดในงานวิจัยนี้ และอยู่บนพื้นผิว Al_2O_3



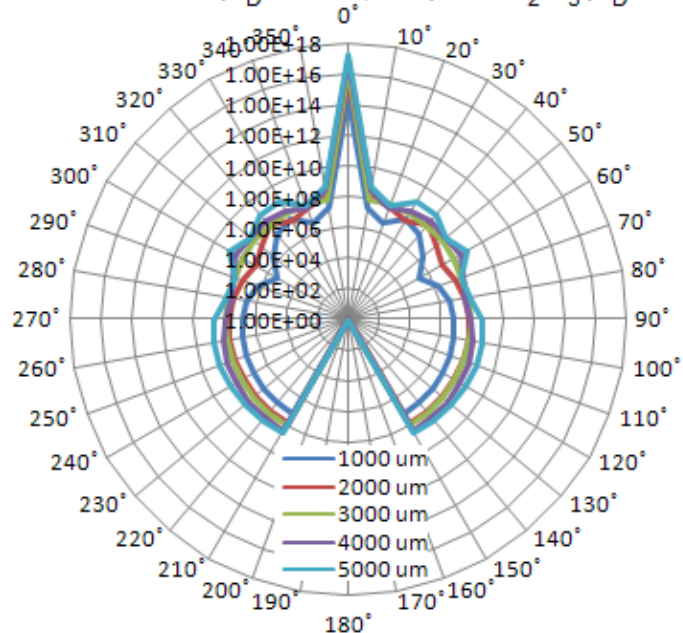
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างชนิด Steel ขนาด 1000-5000 μm ก่อนและหลังทำการวัด

ผลแบบจำลองที่ 1 เป็นผลคำนวณค่าความเข้มการกระเจิงแสงจากโปรแกรมแบ่งจำลองเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ 0.6328 μm กับชนิด Steel (Fe) ทรงกลมที่ขนาด 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 μm เป็นอนุภาคเดี่ยว



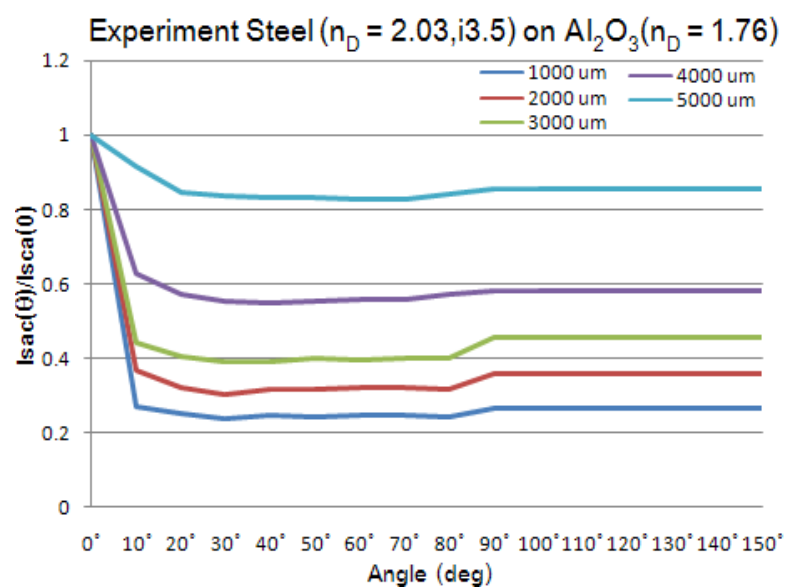
รูปที่ 4.6 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

Simulation Steel ($n_D = 2.03, i3.5$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



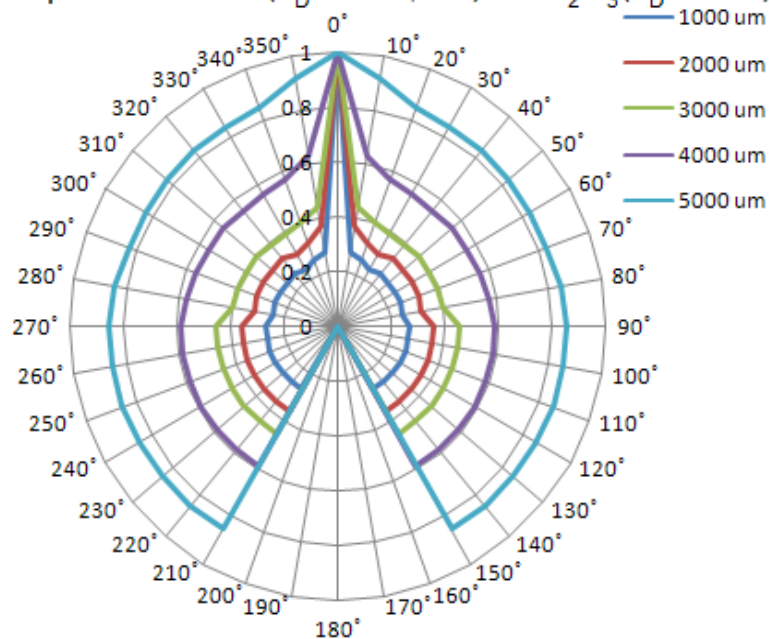
รูปที่ 4.6 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

ผลการทดลองที่ 1 เป็นผลการวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสงแบ่งการทดลองวัดจริงเป็น 2 ช่วง คือ มุม ตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu m$ กับชนิด Steel (Fe) ทรงกลมที่ขนาด 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 μm เป็นอนุภาคเดี่ยว



รูปที่ 4.7 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

Experiment Steel ($n_D = 2.03, i_{3.5}$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



รูปที่ 4.7 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

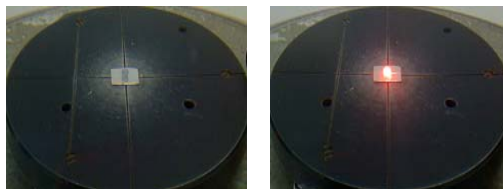
จากการเปรียบเทียบ รูปที่ 4.6 (ก) และ(ข) และรูปที่ 4.7 (ก) และ(ข) สรุปได้ว่าค่าความเข้มการกระเจิงแสงชนิด Steel ที่ขนาดอนุภาค $5000 \mu m$ (I_{5000}) ของทั้งผลจำลองกับผลทดลองมีค่าสูงสุดถัดมาจนถึงค่าน้อยสุดที่ขนาดอนุภาค $1000 \mu m$ (I_{1000}) ตามลำดับ และให้รูปแบบการกระเจิงเป็นแบบ Geometric scattering เนื่องจากมีค่าขนาดของอนุภาคมากกว่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบหรือสรุปได้ว่าขนาดอนุภาคยังมีขนาดใหญ่จะให้ค่าความเข้มการกระเจิงแสงที่มากเป็นแบบ Geometric scattering ชัดเจนตามขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นเช่นกัน แต่จะผกผันอยู่กับค่าดัชนีหักเหของชนิดอนุภาคนั้นๆ ด้วย

การทดลองที่ 2 ใช้ตัวอย่างชนิด Silica gel (SiO_2) ที่ขนาด 2000, 3000 และ 4000 μm



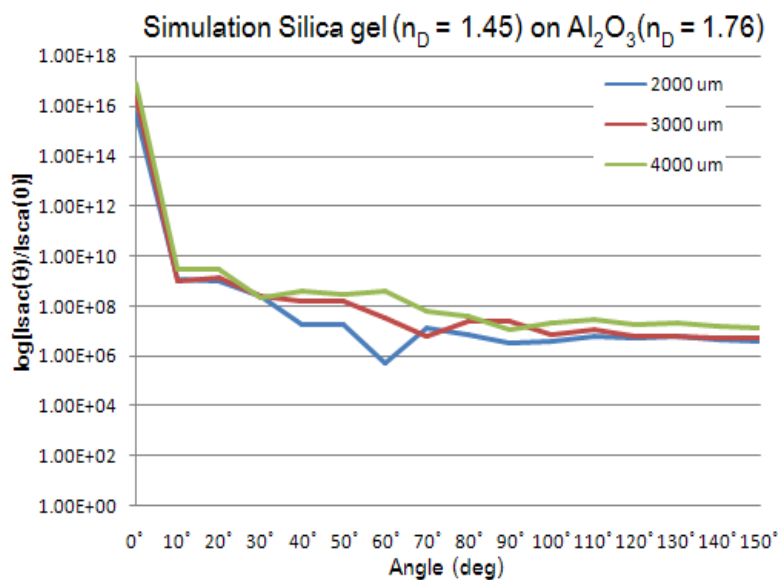
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างชนิด Silica gel ทรงกลมที่ขนาด 2000 – 4000 μm

การทดลองที่ 2 สำหรับการทดลองนี้ เป็นชนิดตัวอย่าง Silica gel ขนาด 2000 – 4000 μm



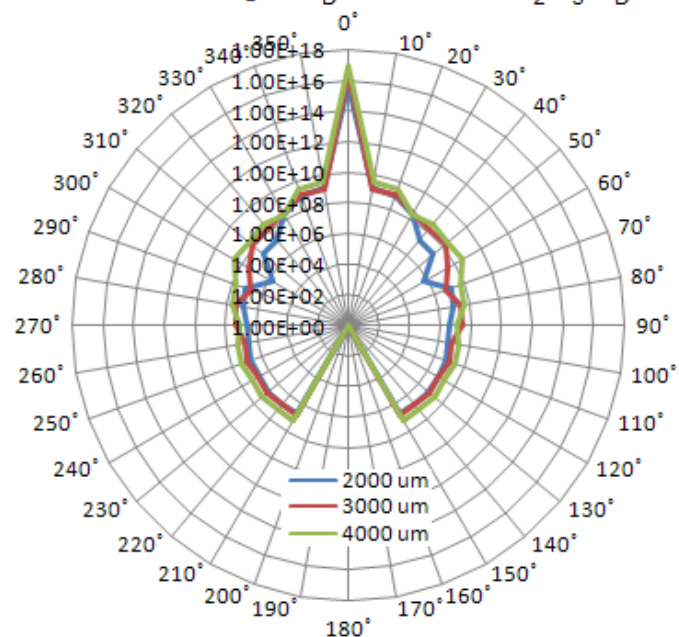
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างชนิด Silica gel ขนาด 2000 – 4000 μm ก่อนและหลังทำการวัด

ผลแบบจำลองที่ 2 คือ เป็นผลคำนวณค่าความเข้มการกระเจิงแสงจากโปรแกรมแบ่งจำลองเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu\text{m}$ กับชนิด Silica gel (SiO_2) ทรงกลมที่ขนาด 2000 3000 และ 4000 μm เป็นอนุภาคเดี่ยว



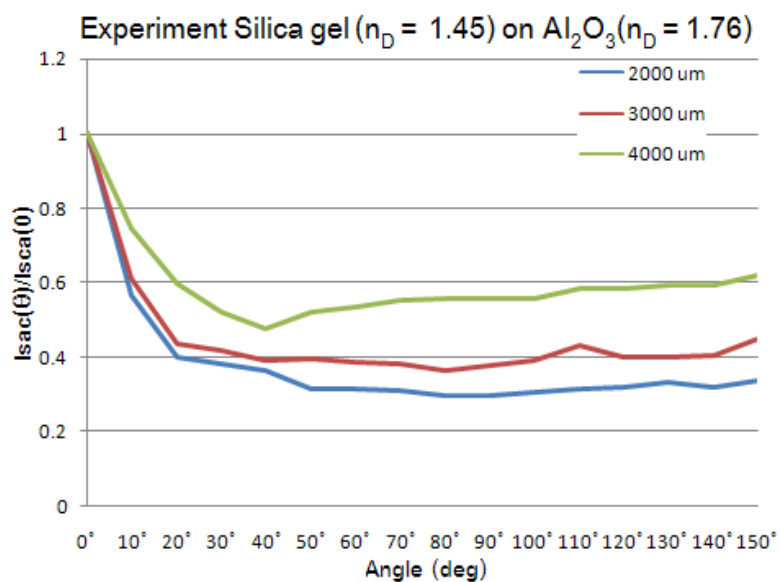
รูปที่ 4.10 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

Simulation Silica gel ($n_D = 1.45$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



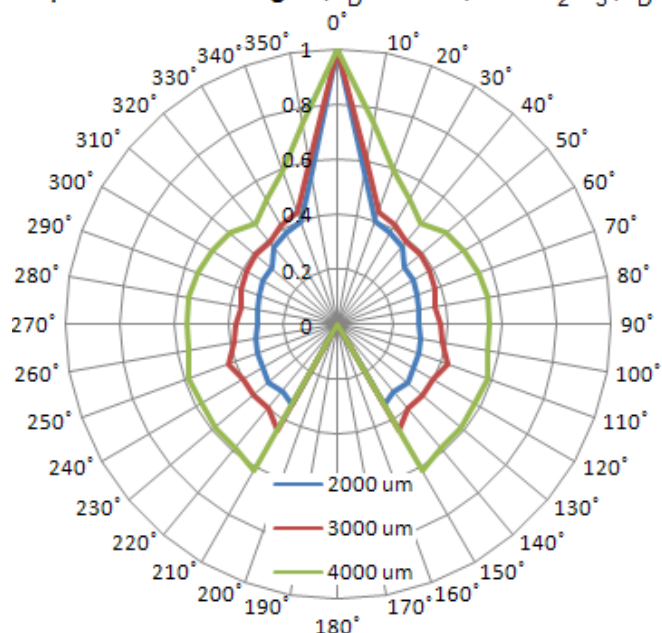
รูปที่ 4.10 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

ผลการทดลองที่ 2 คือ เป็นผลการวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสงแบ่งการทดลองวัดจริงเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu m$ กับชนิด Silica gel (SiO_2) ทรงกลมและขนาด 2000 3000 และ 4000 μm เป็นอนุภาคเดี่ยว



รูปที่ 4.11 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

Experiment Silica gel ($n_D = 1.45$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



รูปที่ 4.11 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

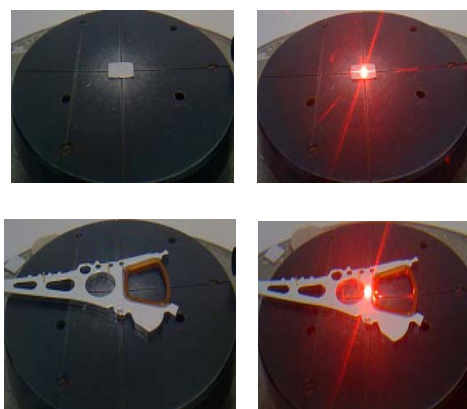
จากการเปรียบเทียบ รูปที่ 4.10 (ก)และ(ข) และรูปที่ 4.11 (ก)และ(ข) สรุปได้ว่าค่าความเข้มการกระเจิงแสงชนิด Silica gel ที่ขนาดอนุภาค $4000\text{ }\mu\text{m}:(I_{4000})$ ของทั้งผลจำลองกับผลทดลองมีค่าสูงสุดถัดมาจนถึงค่าน้อยสุดที่ขนาดอนุภาค $2000\text{ }\mu\text{m}:(I_{2000})$ ตามลำดับ และให้ผลในทำนองเดียวกับรูปที่ 4.8 กับ 4.9

การทดลองที่ 3 ใช้ตัวอย่างชนิดอนุภาคชนิด Zirconium dioxide (ZrO_2) ที่ขนาด 500 , 2000 และ $3000\text{ }\mu\text{m}$



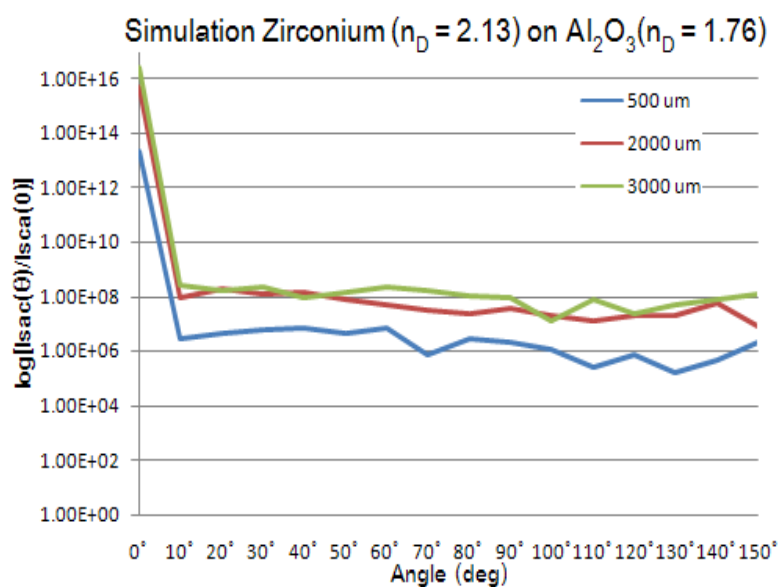
รูปที่ 4.12 Zirconium dioxide ทรงกลมที่ขนาด $500 - 3000\text{ }\mu\text{m}$

การทดลองที่ 3 Zirconium-dioxide อยู่บนพื้นชั้นงานจริงที่เป็นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสไดร์ฟ ชนิด Aluminum-oxide



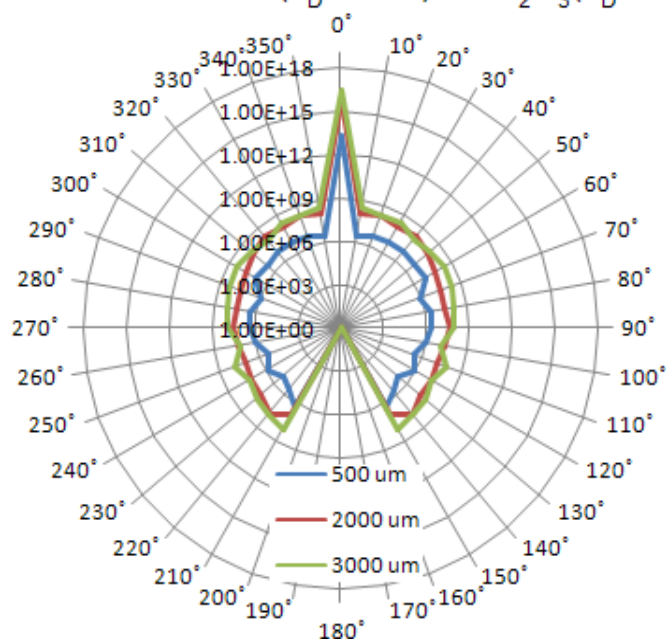
รูปที่ 4.13 Zirconium dioxide ขนาด 500-3000 μm ก่อนและหลังทำการวัด

ผลแบบจำลองที่ 3 คือ เป็นผลคำนวณค่าความเข้มการกระเจิงแสงจากโปรแกรมแบ่งจำลองเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu\text{m}$ กับชนิด Zirconium dioxide (ZrO_2) ทรงกลมที่ ขนาด 500 2000 และ 3000 μm เป็นอนุภาคเดี่ยว



รูปที่ 4.14 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

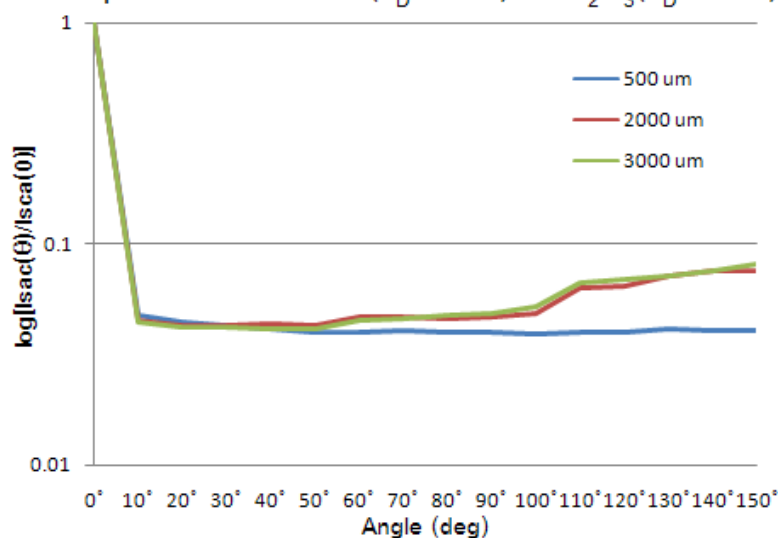
Simulation Zirconium ($n_D = 2.13$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



รูปที่ 4.14 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

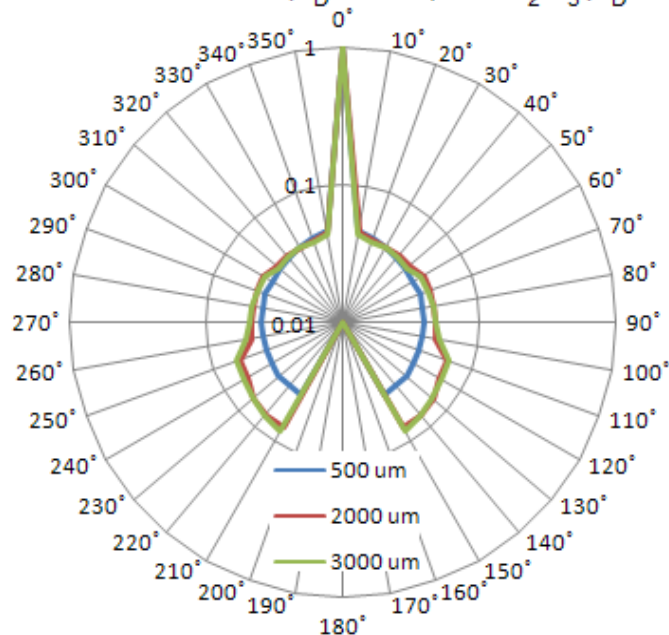
ผลการทดลองที่ 3 คือ เป็นผลการวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสงแบ่งการทดลองวัดจริงเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu m$ กับชนิด Zirconium dioxide (ZrO_2) ทรงกลมที่ขนาด 500 2000 และ 3000 μm เป็นอนุภาคเดี่ยว

Experiment Zirconium ($n_D = 2.13$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



รูปที่ 4.15 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

Experiment Zirconium ($n_D = 2.13$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



รูปที่ 4.15 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

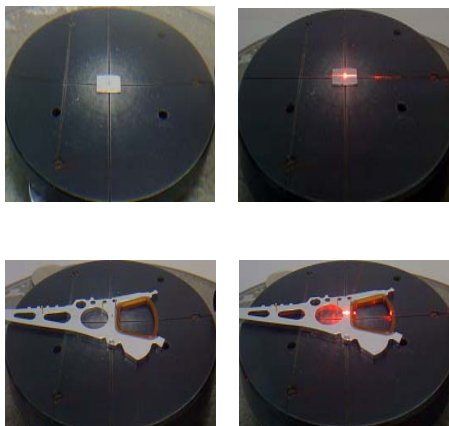
จากการเปรียบเทียบ รูปที่ 4.14 (ก)และ(ข) และรูปที่ 4.15 (ก) และ(ข) สรุปได้ว่าค่าความเข้มการกระเจิงแสงชนิด Zirconium-dioxide ที่ขนาดอนุภาค $3000 \mu m : (I_{3000})$ ของทั้งผลจำลองกับผลทดลองมีค่าสูงสุดถัดมาจนถึงค่าน้อยสุดที่ขนาดอนุภาค $500 \mu m : (I_{500})$ ตามลำดับ และให้ผลในทำนองเดียวกับรูปที่ 4.8 กับ 4. 9

การทดลองที่ 4 ใช้ตัวอย่างชนิด Polyethylene (Fe) ที่ขนาด 250, 500 และ $750 \mu m$



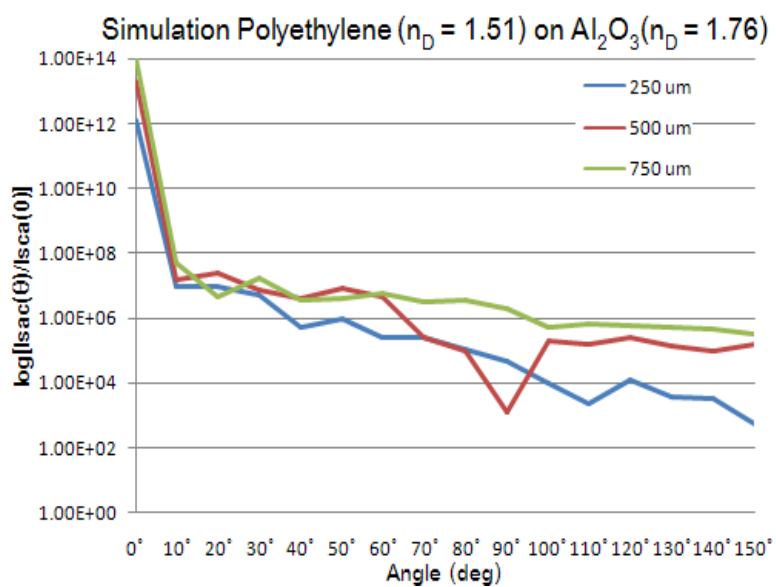
รูปที่ 4.16 Polyethylene ทรงกลมที่ขนาด 250- $750 \mu m$

การทดลองที่ 4 เป็นอนุภาคชนิด Polyethylene ซึ่งเป็นช่วงขนาดเล็กสุดในการทดลองในงานวิจัยนี้

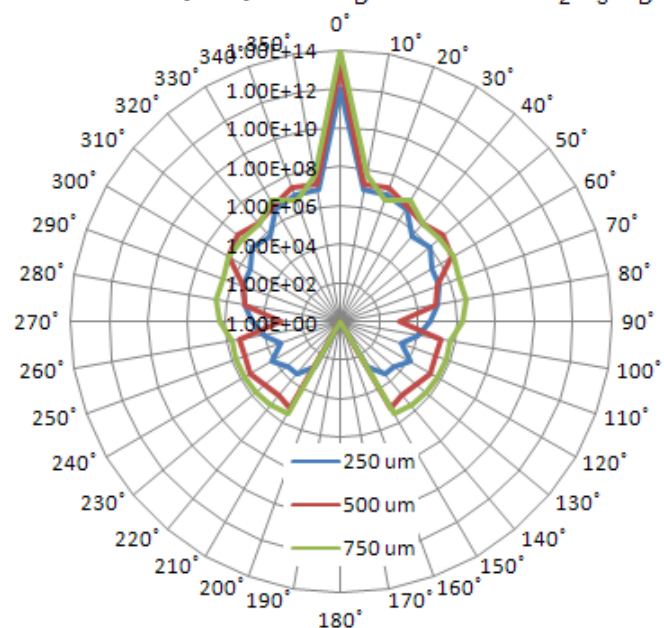


รูปที่ 4.17 Polyethylene ขนาด 250-750 μm ก่อนและหลังทำการวัด

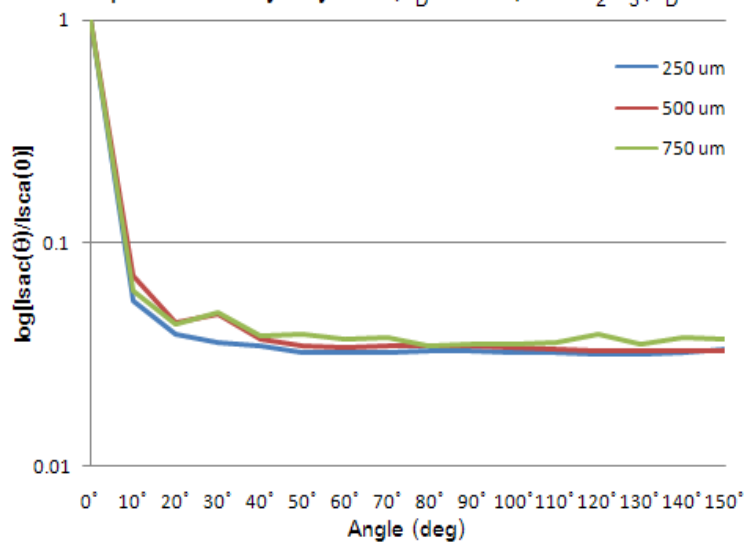
ผลแบบจำลองที่ 4 คือ เป็นผลคำนวณค่าความเข้มการกระเจิงแสงจากโปรแกรมแบ่งจำลองเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu\text{m}$ กับชนิด Polyethylene ทรงกลมที่ขนาด 250 500 และ 750 μm เป็นอนุภาคเดียว



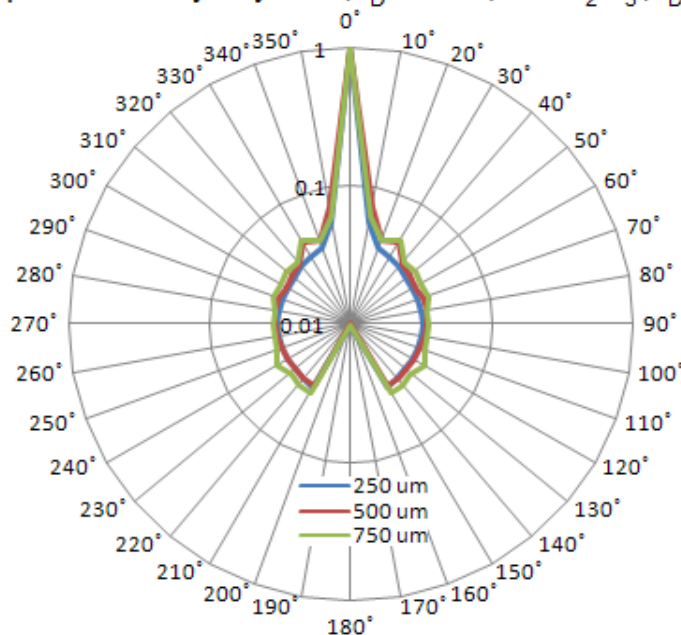
รูปที่ 4.18 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดียว

Simulation Polyethylene ($n_D = 1.51$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)รูปที่ 4.18 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

ผลการทดลองที่ 4 คือ เป็นผลการวัดค่าความเข้มการกระเจิงแสงแบ่งการทดลองวัดจริงเป็น 2 ช่วง คือ มุมตั้งแต่ $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ ที่ $0.6328 \mu m$ กับชนิด Polyethylene ทรงกลมที่ขนาด 250 500 และ $750 \mu m$ เป็นอนุภาคเดี่ยว

Experiment Polyethylene ($n_D = 1.51$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)รูปที่ 4.19 (ก) $0^\circ - 150^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

Experiment Polyethylene ($n_D = 1.51$) on Al_2O_3 ($n_D = 1.76$)



รูปที่ 4.19 (ข) $0^\circ - 360^\circ$ ที่อนุภาคเดี่ยว

จากการเปรียบเทียบ รูปที่ 4.18 (ก)และ(ข) และรูปที่ 4.19 (ก)และ(ข) สรุปได้ว่าค่าความเข้มการกระเจิงแสงชนิด Polyethylene ที่ขนาดอนุภาค $750\text{ }\mu\text{m}:(I_{750})$ ของทั้งผลจำลองกับผลทดลองมีค่าสูงสุดถัดมาจนถึงค่าน้อยสุดที่ขนาดอนุภาค $250\text{ }\mu\text{m}:(I_{250})$ ตามลำดับ และให้ผลในทำนองเดียวกับรูปที่ 4.8 กับ 4.9

จากข้อมูลเงื่อนไขโปรแกรมและเงื่อนไขการทดลองจริงข้างต้นทำให้ได้ผลค่าความเข้มการกระเจิงแสงซึ่งบ่งบอกถึงความเป็นชนิดและขนาดโดยให้รูปแบบการกระเจิงแสงตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้ว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับหลักการ BRDF สามารถนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบได้ดังนี้

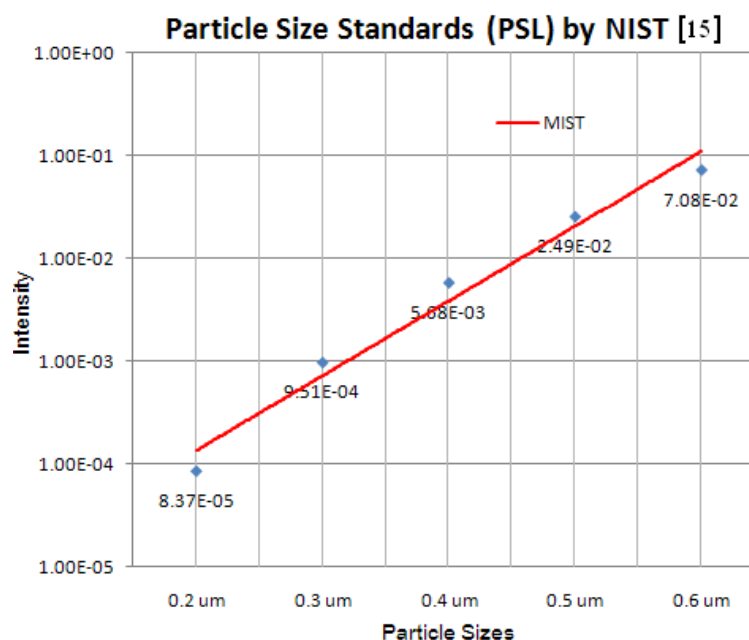
จากข้อมูลการทดลองทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า ที่ขนาดอนุภาค(D) ที่อยู่ในช่วง $250 - 5000\text{ }\mu\text{m}$ ทั้งที่มุม(ϕ_s) $0^\circ - 150^\circ$ และ $0^\circ - 360^\circ$ กับความยาวคลื่น (λ) $0.6328\text{ }\mu\text{m}$ ให้รูปแบบการกระเจิงแสงในรูปแบบเป็น Geometric scattering เนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดที่มากกว่าค่าความยาวคลื่นที่ตกกระทบอนุภาค ($D \gg \lambda$)

นอกจากนี้นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริงของอนุภาคทั้ง 4 ชนิดเปรียบเทียบขนาดอนุภาคกับชนิดและขนาดเหมือนกันที่ได้จากผลการจำลองของโปรแกรม MIST เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของชนิดและขนาดของอนุภาคแต่ละชนิด และได้หาค่าความเป็นเชิงเส้น

ระหว่างค่าความเข้มการกระเจิงกับขนาดอนุภาค ที่ใช้เป็นอนุภาค Polystyrene latex (PSL) มาตรฐานที่ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ด้วย



(ก) Particle size standard : PSL ภาพถ่ายอัตราขยาย 5 เท่า

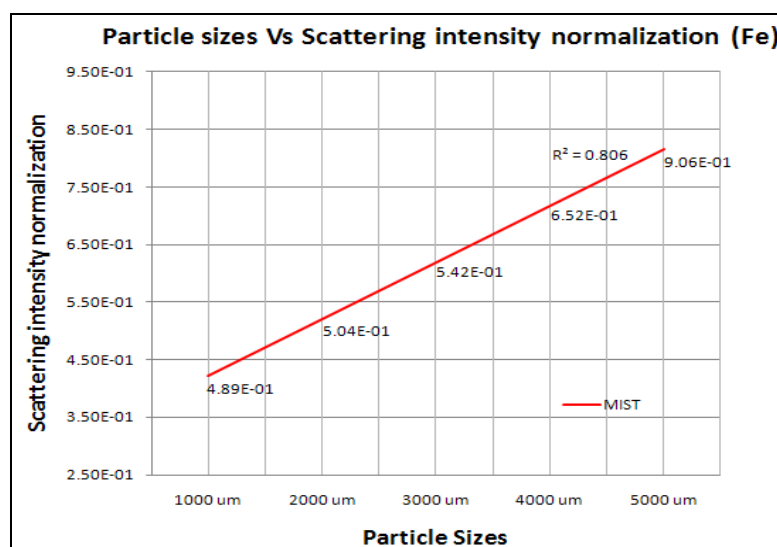


(ข) ผลแบบจำลอง PSL ที่มุม (ϕ_s) 0° - 150° ขนาด 0.2 - 0.6 μm

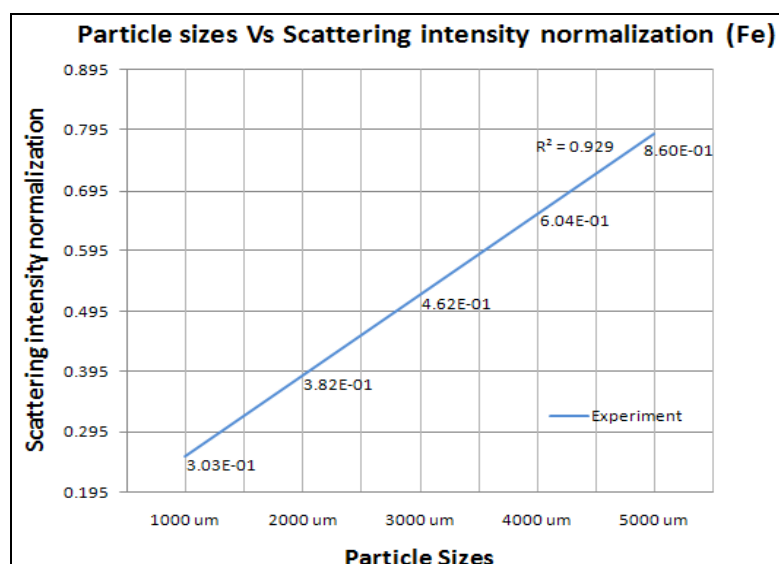
รูปที่ 4.20 (ก) Particle size standard: Polystyrene latex (PSL) และ (ข) ผลแบบจำลองที่มุม (ϕ_s) 0° - 150° ขนาด 0.2 - 0.6 μm เพื่อแสดงความเป็นเชิงเส้น



(ก) Steel (Fe) ภาพถ่ายอัตราขยาย 5 เท่า



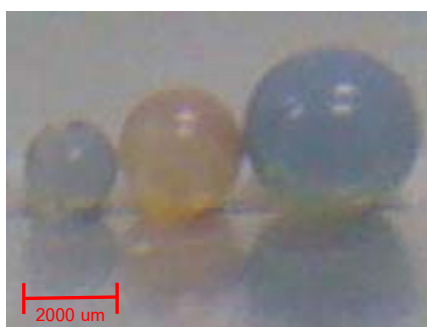
(ข) ผลแบบจำลอง Fe ที่มุม(ϕ_s) 0° - 150°



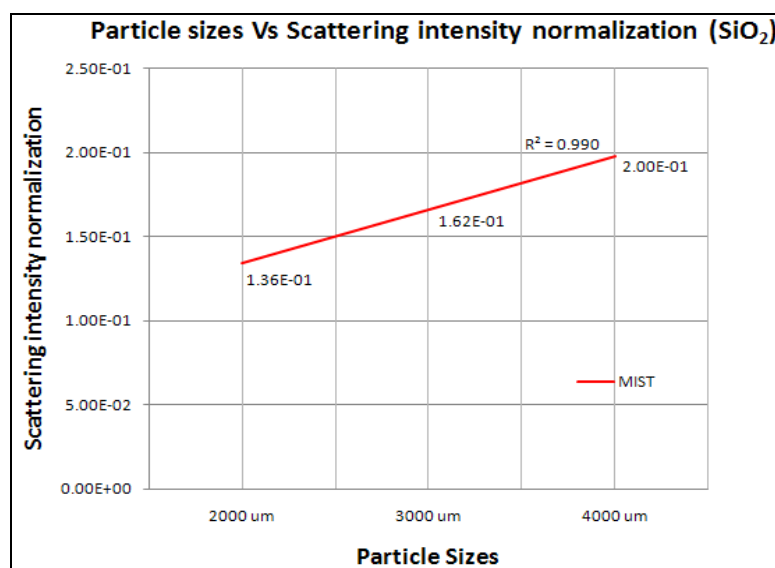
(ค) ผลการทดลอง Fe ที่มุม(ϕ_s) 0° - 150°

รูปที่ 4.21 (ก) อนุภาคชนิด Fe ขนาด 1000-5000 μm เปรียบเทียบ (ข) ผลแบบจำลองกับ (ค) ผลการทดลองที่มุม(ϕ_s) 0° - 150° เพื่อแสดงความเป็นเชิงเส้น

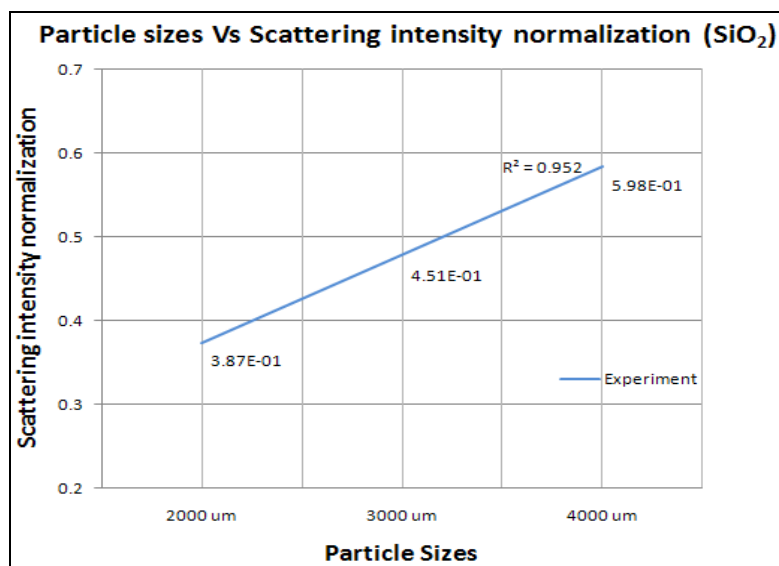
สรุปได้ว่า สำหรับอนุภาคชนิด Fe ขนาด 1000-5000 μm ได้ค่า R-squared มีค่าความเป็นเชิงเส้นสำหรับผลจากแบบจำลองเท่ากับ 0.806 สำหรับผลของการทดลองจริงมีค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.929 ซึ่งมีผลต่างกันเท่ากับ 0.123 คิดเป็นร้อยละ 13.2



(ก) Silica gel (SiO_2) ภาพถ่ายอัตราขยาย 5 เท่า



(ข) ผลแบบจำลอง SiO_2 ที่มุม (ϕ_s) 0° - 150°



(ค) ผลการทดลอง SiO_2 ที่มุม (ϕ_s) 0° - 150°

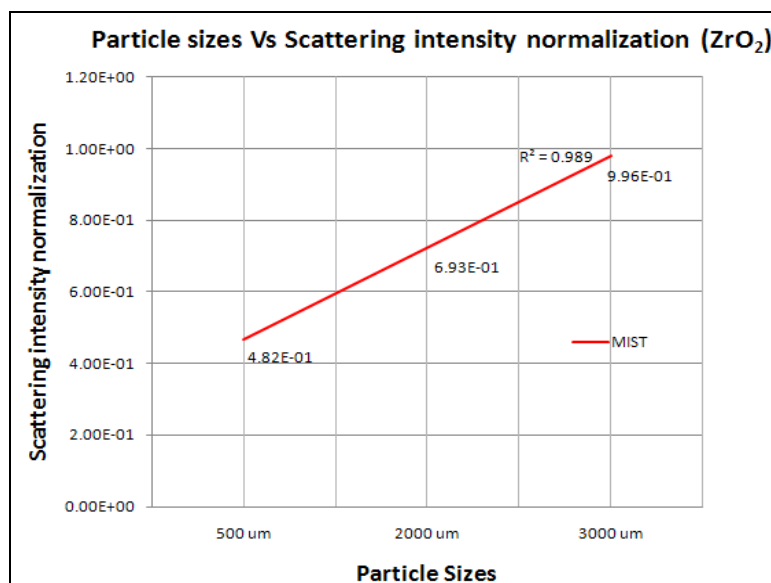
รูปที่ 4.22 (ก) อนุภาคชนิด SiO_2 ขนาด 2000-4000 μm เปรียบเทียบ (ข) ผลแบบจำลองกับ

(ค) ผลการทดลองที่มุม (ϕ_s) 0° - 150° เพื่อแสดงความเป็นเชิงเส้น

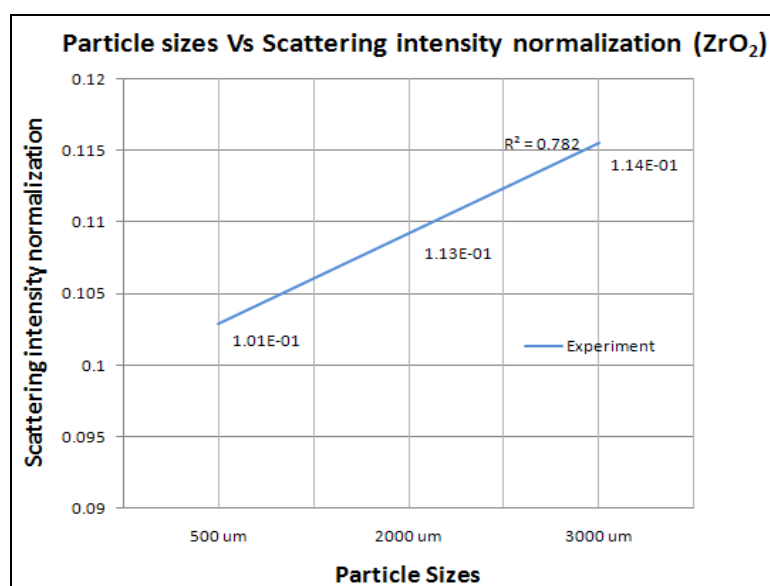
สรุปได้ว่า สำหรับอนุภาคชนิด SiO_2 ขนาด 2000-4000 μm ได้ค่า R-squared มีค่าความเป็นเชิงเส้นสำหรับผลจากแบบจำลองเท่ากับ 0.990 สำหรับผลของการทดลองจริงมีค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.952 ซึ่งมีผลต่างกันเท่ากับ 0.038 คิดเป็นร้อยละ 3.8



(ก) Zirconium dioxide (ZrO_2) ภาพถ่ายอัตราขยาย 5 เท่า



(ข) ผลแบบจำลอง $\text{ZrO}_2 (\phi_s)$ ที่มุม 0° - 150°

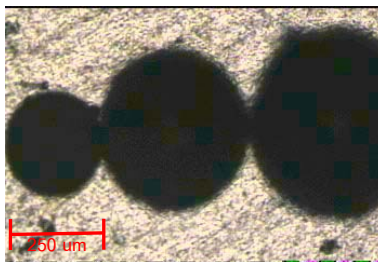


(ค) ผลการทดลอง $\text{ZrO}_2 (\phi_s)$ ที่มุม 0° - 150°

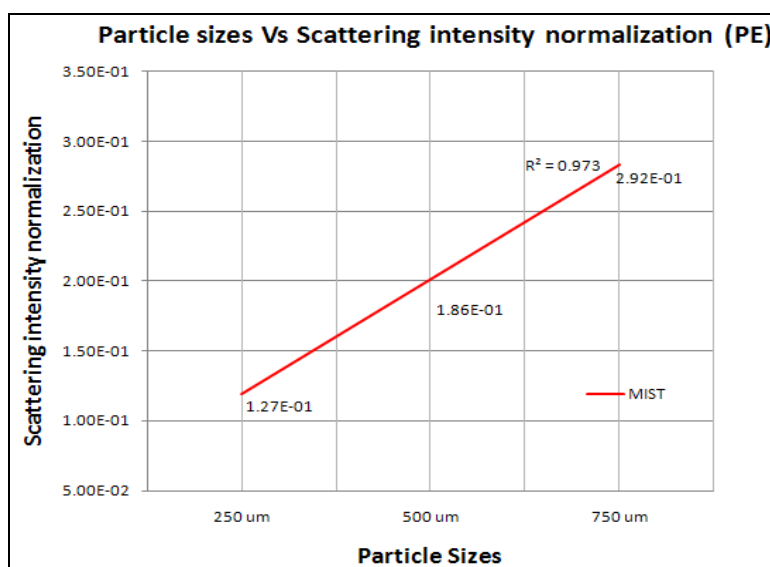
รูปที่ 4.23 (ก) อนุภาคชนิด ZrO_2 ขนาด 500-3000 μm เปรียบเทียบ (ข) ผลแบบจำลองกับ

(ค) ผลการทดลองที่มุม $(\phi_s) 0^\circ$ - 150° เพื่อแสดงความเป็นเชิงเส้น

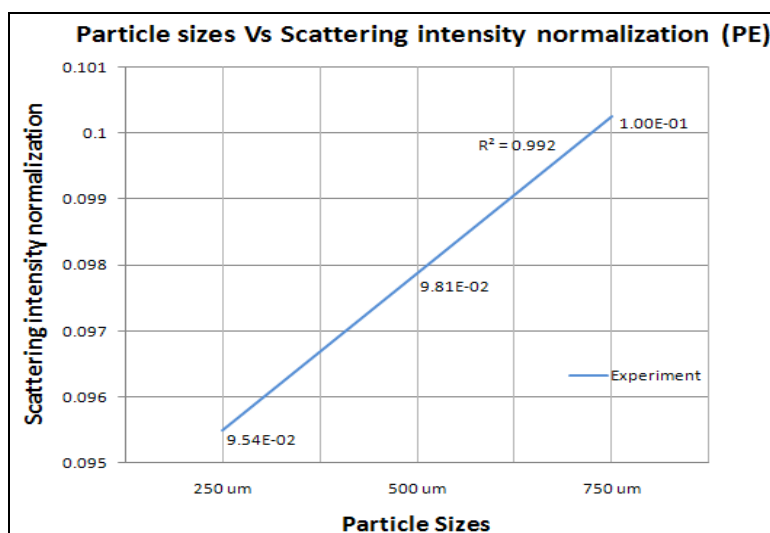
สรุปได้ว่า สำหรับอนุภาคชนิด ZrO_2 ขนาด 500-3000 μm ได้ค่า R-squared มีค่าความเป็นเชิงเส้นสำหรับผลจากแบบจำลองเท่ากับ 0.989 สำหรับผลของการทดลองจริงมีค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.782 ซึ่งมีผลต่างกันเท่ากับ 0.207 คิดเป็นร้อยละ 20.9



(ก) Polyethylene (PE) ภาพถ่ายอัตราขยาย 50 เท่า



(ข) ผลแบบจำลอง PE (ϕ_s) ที่มุม 0° - 150°



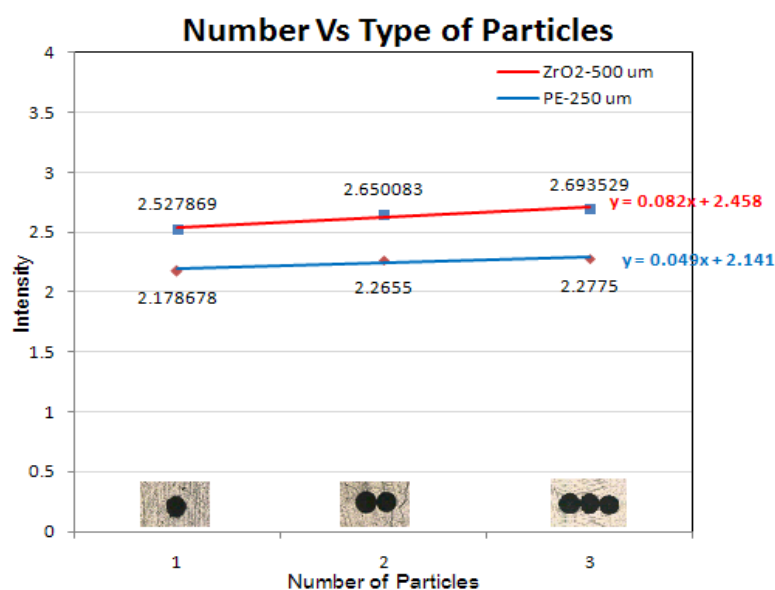
(ค) ผลการทดลอง PE (ϕ_s) ที่มุม 0° - 150°

รูปที่ 4.24 (ก) อนุภาคชนิด PE ขนาด 250-750 μm เปรียบเทียบ (ข) ผลแบบจำลองกับ

(ค) ผลการทดลองที่มุม (ϕ_s) 0° - 150° เพื่อแสดงความเป็นเชิงเส้น

สรุปได้ว่า สำหรับอนุภาคชนิด PE ขนาด 250-750 μm ได้ค่า R-squared มีค่าความเป็นเชิงเส้นสำหรับผลจากแบบจำลองเท่ากับ 0.992 สำหรับผลของการทดลองจริงมีค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.973 ซึ่งมีผลต่างกันเท่ากับ 0.019 คิดเป็นร้อยละ 1.9

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบระบบที่ได้ออกแบบไว้ ให้วัดหาค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคตัวอย่าง 2 ชนิดคือ Zirconium dioxide (ZrO_2) และ Polyethylene (PE) หาความสัมพันธ์ค่าความเข้มกับจำนวนที่ 1, 2 และ 3 อนุภาคของแต่ละชนิด เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นกัน ดังนี้

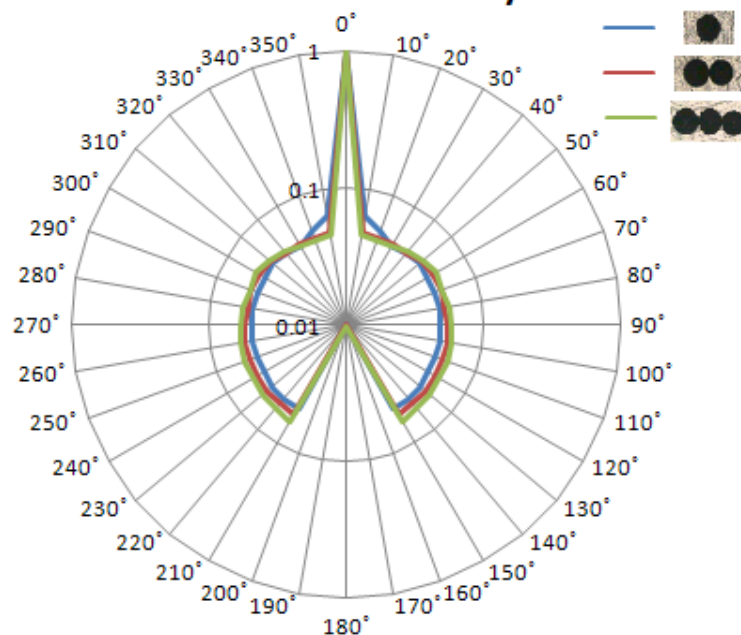


รูปที่ 4.25 จำนวนอนุภาค 3 จำนวน กับ ZrO_2 ที่ขนาด 500 μm และ PE ที่ขนาด 250 μm

รูปที่ 4.25 สรุปได้ว่า ค่าความเข้มการกระเจิงแสงของชนิด ZrO_2 ที่ขนาด 500 μm และชนิด PE ที่ขนาด 250 μm กับจำนวนอนุภาคที่ 1, 2 และ 3 อนุภาค มีค่าความเข้มการกระเจิงแสงจากค่าน้อยสุดไปหาค่ามากที่สุด ตามลำดับ โดยมีอัตราความเป็นเชิงเส้นกันที่เพิ่มขึ้นของค่าความเข้มการกระเจิงเท่ากับ 2.5 (ที่ 1 อนุภาค), 2.6 (ที่ 2 อนุภาค) และ 2.7 (ที่ 3 อนุภาค) สำหรับชนิด ZrO_2 และเท่ากับ 2.1 (ที่ 1 อนุภาค), 2.2 (ที่ 2 อนุภาค) และ 2.3 (ที่ 3 อนุภาค) สำหรับชนิด PE ตามลำดับ และค่าความเข้มการกระเจิงแสงของชนิด ZrO_2 มีค่ามากกว่า ชนิด PE เนื่องจากชนิด ZrO_2 มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าชนิด PE

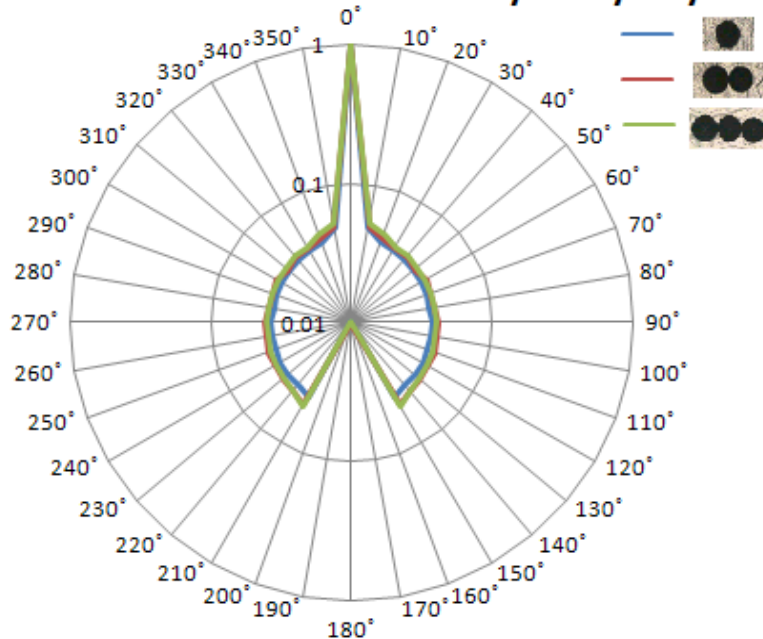
ตัวอย่างการหาค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคตัวอย่าง 2 ชนิดคือ Zirconium dioxide (ZrO_2) และ Polyethylene (PE) ที่สัมพันธ์อยู่กับจำนวนที่ 1, 2 และ 3 อนุภาคของแต่ละชนิด ที่มุม (ϕ_s) 0° ถึง 360° ดังรูปที่ 4.26 และ รูปที่ 4.27

Number of Particles Vs Intensity : Zirconium



รูปที่ 4.26 จำนวนอนุภาค 1, 2 และ 3 จำนวน ชนิด ZrO_2 500 μm ที่มุม (ϕ_s) 0° ถึง 360°

Number of Particles Vs Intensity : Polyethylene

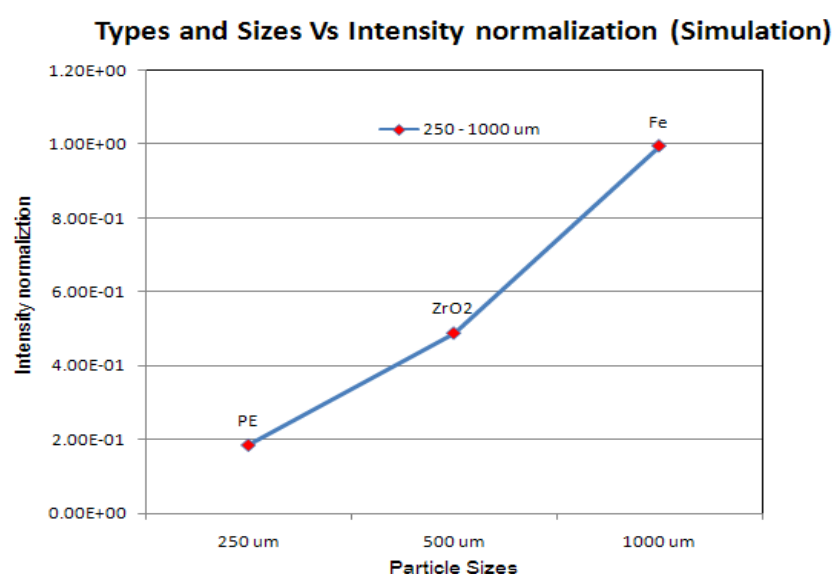


รูปที่ 4.27 จำนวนอนุภาค 1, 2 และ 3 จำนวน ชนิด PE ขนาด 250 μm ที่มุม (ϕ_s) 0° ถึง 360°

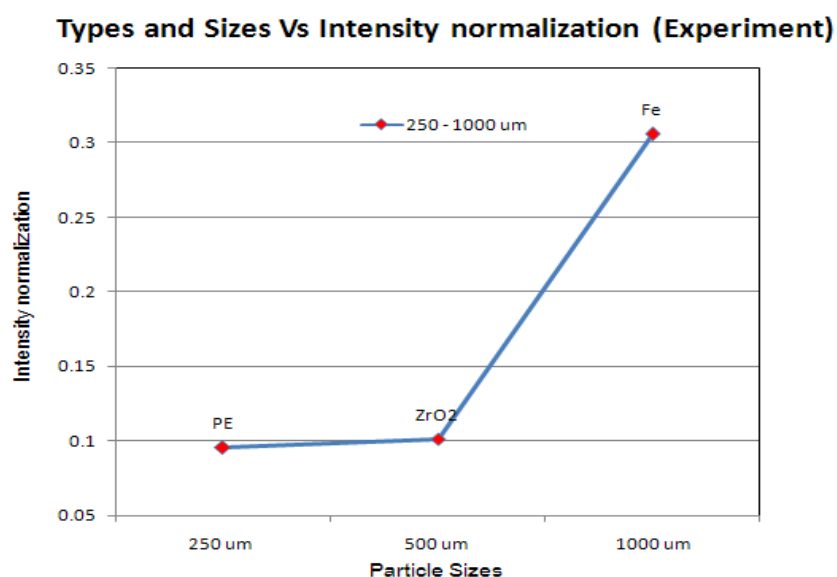
จากรูปที่ 4.26 และ รูปที่ 4.26 สรุปได้ว่า ค่าความเข้มการกระเจิงแสงของชนิด ZrO_2 ที่ขนาด 500 μm และชนิด PE ที่ขนาด 250 μm กับจำนวนอนุภาคที่ 1, 2 และ 3 อนุภาค มีค่าความ

เข้มการกระเจิงแสงจากค่าน้อยสุดไปหาค่ามากที่สุด โดยมีอัตราความเป็นเชิงเส้นกันที่เพิ่มขึ้นตามลำดับค่าความเข้มการกระเจิงแสงของชนิด ZrO_2 มีค่ามากกว่า ชนิด PE เนื่องจาก ZrO_2 มีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่า ชนิด PE

สำหรับรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 เป็นผลเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มแสงกับชนิดและขนาดของอนุภาคต่างๆ ของผลการทดลองจริงกับผลจากแบบจำลองที่ความยาวคลื่นตกกระทบ $0.6328 \mu\text{m}$ โดยใช้อนุภาคชนิด PE ที่ขนาด $250 \mu\text{m}$ ชนิด ZrO_2 ที่ขนาด $500 \mu\text{m}$ และ Fe ที่ขนาด $1000 \mu\text{m}$ เพื่อหาความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสอง



รูปที่ 4.28 ค่าความเข้มผลแบบจำลอง 3 ขนาด และ 3 ชนิด



รูปที่ 4.29 ค่าความเข้มการทดลอง 3 ขนาด และ 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.28 และรูปที่ 4.29 ทั้งผลกราฟของการทดลองและผลจากแบบจำลองให้ค่าความเข้มการกระเจิงแสงสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่จะให้ค่าที่มากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก และมีความเป็นเชิงเส้นตรงแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วง $250 - 500 \mu\text{m}$ และช่วง $500 - 1000 \mu\text{m}$