บทที่ 3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีเพื่อคัดแยกขนาด

3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละออง 3-1
3.2 ระบบทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีเพื่อคัดแยกขนาด 3-1
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ 3-2
3.4 ผลการทดสอบ 3-3
3.5 สรุปผลการทดสอบ 3-5
3.6 การหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นแต่ละขนาดของอุปกรณ์จัดเก็บตัวอย่างฝุ่น (collection efficiency) 3-5
3.7 ผลการหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นแต่ละขนาดของอุปกรณ์จัดเก็บตัวอย่างฝุ่น 3-7
3.8 สรุปผลการทดลองการหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่น 3-8

บทที่ 3

การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีเพื่อคัดแยกขนาด

3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละออง (Impactor Sampler)

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทำจากอะลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6.4 เซนติเมตร สูง 116 เซนติเมตร ประกอบด้วย 4 ชั้น ซึ่งจะสามารถคัดแยกขนาดอนุภาคของฝุ่นในช่วง 1-10 ไมโครเมตร โดยในชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4 สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นได้ในช่วงมากกว่า 10, 10-2.5, 2.5-1 และ น้อยกว่า1 ไมโครเมตร ตามลำดับ อนุภาคฝุ่นในชั้นที่ 1 ถึง ชั้นที่ 3 จะถูกเก็บลงบนกระดาษกรอง (GF/F, whatman) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ส่วนในชั้นที่ 4 จะถูกเก็บลงบนกระดาษกรอง (GF/F, whatman) ขนาด 4.7 เซนติเมตร

หมายเหตุ กระดาษกรองในชั้นที่ 4 ทำหน้าที่เป็น backup filter เก็บอนุภาคฝุ่นละอองที่เหลือทั้งหมดจากการคัดแยกจาก ชั้นที่ 1-3 ดังนั้นขนาดของกระดาษกรองในชั้นที่ 4 จึงไม่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่น

3.2 ระบบทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีเพื่อคัดแยกขนาดเบื้องต้น

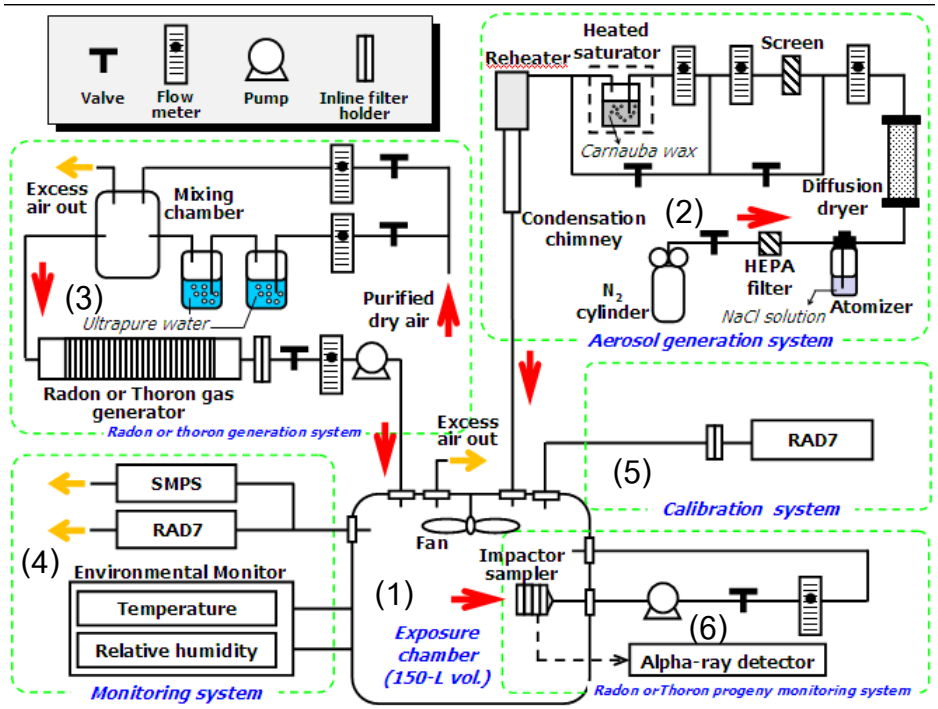
คณะวิจัยได้ออกแบบระบบที่จะใช้ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีที่ออกแบบไว้ในบทที่ 2 ข้อ 2.3.3 เพื่อใช้ในการปรับเทียบและทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยผังของระบบทดสอบที่ออกแบบ แสดงในรูปที่ 3.1 จะประกอบด้วยระบบหลักที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. Exposure Chamber ทรงกระบอก ขนาดประมาณ 150 ลิตร
2. Aerosol generation system ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องกำเนิดอนุภาคฝุ่น โดยระบบที่วางแผนไว้นี้ จะใช้ Carnauba wax เป็นตัวกลางในการสร้างอนุภาค โดยระบบนี้จะสามารถสร้างอนุภาคได้ในช่วง 0.01 – 4 μm
3. Radon or Thoron generation system ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องกำเนิดก๊าซเรดอน และก๊าซโทรอน และระบบควบคุมความชื้น
4. Monitoring system ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle sizers), เครื่องวัดความเข้มข้นอนุภาค (Particle Counters and Detectors), เครื่องวัดความ

เข้มข้นของเรดอนและโทรอนแบบต่อเนื่อง (continuous measurement) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และความชื้น

5. Calibration system ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องวัดความเข้มข้นของเรดอนและโทรอน
6. Radon or Thoron progeny monitoring system ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักซึ่งจะได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ข้อ 4.3.1

อย่างไรก็ตาม โดยระบบสอบเทียบที่ออกแบบนี้ ไม่สามารถดำเนินการได้ภายใต้งบประมาณที่ได้รับจึงต้องขอความร่วมมือกับทางสถาบัน NIRS ให้ทำการสอบเทียบให้



รูปที่ 3.1 ระบบทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสี

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

สำหรับการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นที่ขนาดมากกว่า 10, 10 - 2.5, 2.5 - 1 และน้อยกว่า 1 ไมโครเมตรนั้น ทดสอบโดยการสร้างแอโรซอลจากเครื่องกำเนิด (condensation, Monodisperse Aerosol) โดยใช้ carnuuba wax เป็นวัสดุในการสร้าง โดยสร้างแอโรซอล ขนาด 0.1 ไมโครเมตร ภาพถ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยแอโรซอลที่สร้างขึ้นถูกผสมกับอากาศ (อุณหภูมิ : ~30 C, ความชื้นสัมพัทธ์ :~ 20 %) ในแชมเบอร์ขนาด 150 ลิตรที่มีก๊าซโทรอนความแรงรังสีประมาณ 400 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตรผสมอยู่ จากนั้นทำการวัดขนาดของแอโรซอลและความแรงรังสี

ของก๊าซโทรอนด้วยเครื่อง SMPS (Scanning Mobility Particle size, TSI Model 3934) และ RAD 7 ตามลำดับ

สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศในแชมเบอร์ผ่านอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่พัฒนาขึ้นนั้นทำได้โดยการเก็บตัวอย่างด้วยปั๊มอากาศขนาดเล็กที่ flow rate 1 ลิตรต่อนาที เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง และหลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ ได้นำกระดาษกรองเข้าวัดรังสีแอลฟารวมด้วยหัววัดซิงค์ซัลไฟล์ซิลทิลเลชั่น (Ludlum Instrument Inc., Texas) พร้อมกัน เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง และทำการคำนวณค่าความเข้มข้นของลูกหลานของโทรอน (ตะกั่ว-212 และบิสมัส-212) ด้วยวิธี Decay methods.

<u>หมายเหตุ</u> เครื่อง SMPS ไม่สามารถวัดขนาดของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 800 นาโนเมตรได้

รูปที่ 3.2 เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

3.4 ผลการทดสอบ

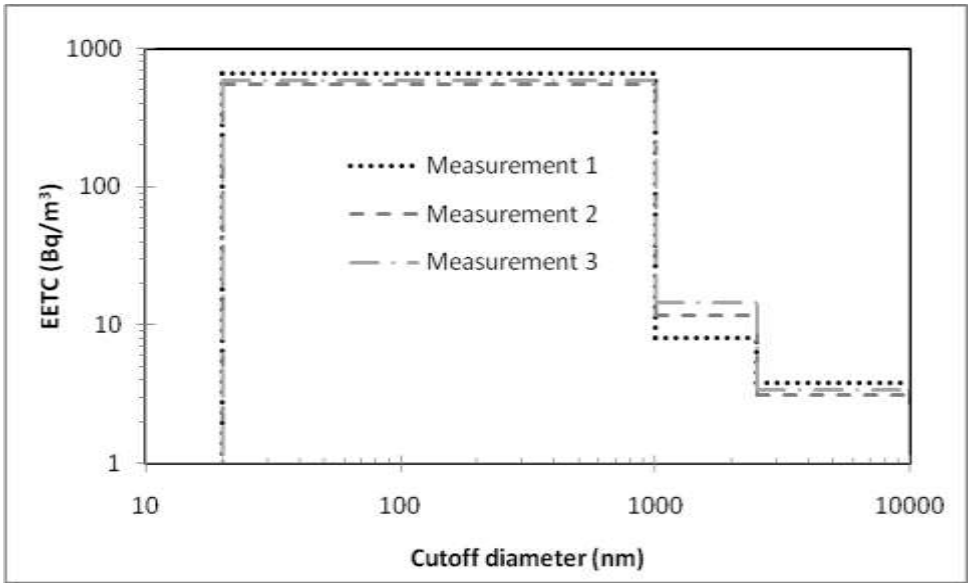
จากการทดสอบอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจำนวน 3 ครั้ง ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตาราง ที่ 3.1 และ รูปที่ 3.3 โดยในรูปที่ 3.3 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองของลูกหลานโทรอนในหน่วยของความเข้มข้นสมมูลของโทรอน (Equilibrium Equivalent Thoron Concentration, EETC) ซึ่งพบว่าปริมาณของฝุ่นละอองส่วนใหญ่ที่ตรวจวัดได้นั้นมาจากฝุ่นละอองที่มีตะกั่ว-212 เกาะติดอยู่ และฝุ่นละอองส่วนใหญ่ได้ถูกเก็บลงบนกระดาษกรองในชั้นที่สี่ (น้อยกว่า 1 ไมโครเมตร) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการตรวจวัดความเข้มข้นของแอโรซอล ด้วยเครื่อง SMPS ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยของแอโรซอลสูงสุด

อยู่ที่ขนาดแอโรซอลประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ในการทดสอบครั้งที่ 1 และประมาณ 0.07 ไมโครเมตร ในการทดสอบครั้งที่ 2 และ 3 (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

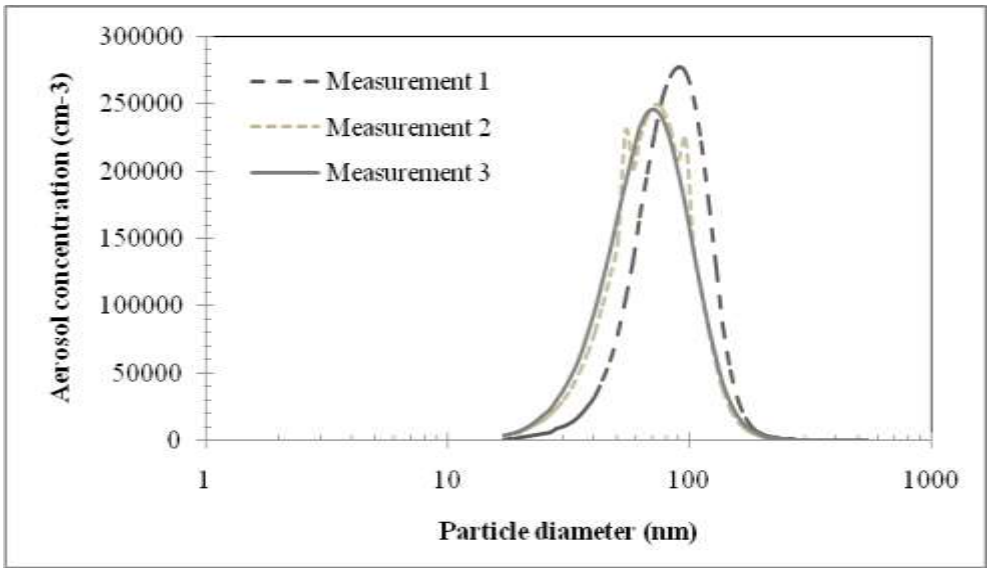
ตารางที่ 3.1 ปริมาณความเข้มข้นของลูกหลานของโทรอน

Particles Diameter Cutpoint (μm)	Measurement 1			Measurement 2			Measurement 3		
	Thoron Progeny Concentration		EETC	Thoron Progeny Concentration		EETC	Thoron Progeny Concentration		EETC
	Bi-212 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)		Bi-212 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)		Bi-212 (Bq/m^3)	Pb-212 (Bq/m^3)	
>10	6.33±26.021	2.47±0.05	***2.81±2.25***	0±1.82	3.04±0.05	***2.77±0.16***	0±1.85	3.17±0.05	***2.90±0.17***
10-2.5	4.61±33.80	3.73±0.07	***3.81±2.93***	0.95±2.01	3.32±0.05	***3.11±0.18***	2.12±2.08	3.53±0.05	***3.41±0.19***
2.5-1	0.08±50.21	8.80±0.1	***8.04±4.35***	1.05±3.83	12.84±0.10	***11.82±0.34***	3.07±4.25	15.76±0.11	***14.66±0.38***
< 1	1385.54±401.28	596.21±0.79	***664.57±34.76***	97.86±25.30	596.39±0.67	***553.22±2.27***	138.21±25.86	622.77±0.68	***580.81±2.32***

<u>หมายเหตุ</u> การหาค่า EETC จะคำนวณโดยสมการ $EETC(Bq/m^3) = 0.9134x(C_{Pb\text{-}212}) + 0.0866x(C_{Bi\text{-}212})$
โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของลูกหลานของโทรอน



รูปที่ 3.3 การกระจายตัวของอนุภาคของฝุ่นละอองของลูกหลานโทรอน



รูปที่ 3.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของแอโรซอลตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างวัดโดยเครื่อง SMPS

3.5 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบเบื้องต้นนี้ พบว่า อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นนี้สามารถคัดแยกขนาดของอนุภาคในช่วงที่ต้องการได้ ดังนั้นสามารถนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อม เพื่อหาค่าการกระจายตัวของฝุ่นละออง ที่มีลูกหลานของเรดอนและโทรอนเกาะติดอยู่ได้

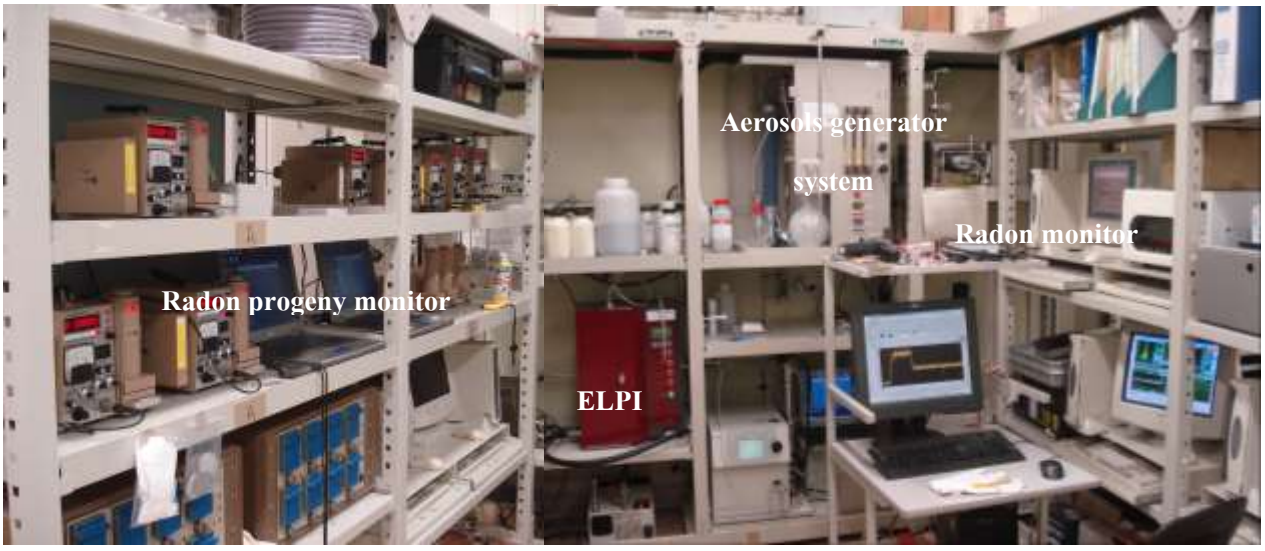
3.6 การหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นแต่ละขนาดของอุปกรณ์จัดเก็บตัวอย่างฝุ่น (collection efficiency)

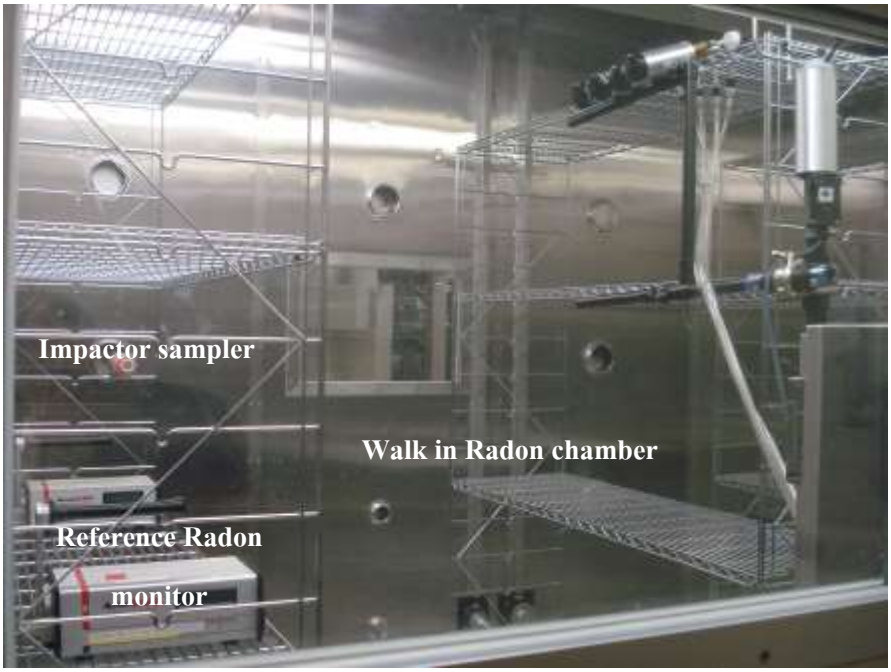
โดยการสร้างแอโรซอลจากเครื่องกำเนิด (condensation, Monodisperse Aerosol) โดยใช้ carnuuba wax เป็นวัสดุในการสร้าง โดยสร้างแอโรซอลขนาด 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 ไมโครเมตร ตามลำดับ สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยแอโรซอลที่สร้างขึ้นถูกผสมกับอากาศ (อุณหภูมิ : ~30 ^{o}C, ความชื้นสัมพัทธ์ :~ 60 %) ในแชมเบอร์ขนาด 25 ลูกบาศก์เมตร ที่มีก๊าซเรดอนความแรงรังสีประมาณ 5000 เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตรผสมอยู่ จากนั้นทำการวัดขนาดของแอโรซอลภายในแชมเบอร์ ด้วยเครื่อง ELPI (Electrical Low Pressure Impactor ของบริษัท DEKATI)

สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศในแชมเบอร์ผ่านอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่พัฒนาขึ้นนั้น ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างด้วยปั๊มอากาศขนาดเล็กที่ flow rate 1 ลิตรต่อนาที เป็นเวลานาน 20 นาที

และหลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ ได้นำกระดาษกรองเข้าวัดรังสีแอลฟารวมของลูกหลานของเรดอน ด้วยหัววัดซิงค์ซัลไฟล์ซิลทิลเลชั่น (Ludlum Instrument Inc., Texas) พร้อมกัน เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นคำนวณค่าความเข้มข้นสมมูลของเรดอน ด้วยวิธี Decay methods แล้วจึงนำค่าที่ได้ ไปหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นของอุปกรณ์จัดเก็บฝุ่นในแต่ละชั้น

<u>หมายเหตุ</u> carnuuba wax ที่ใช้เป็นตัวกลางในการผลิตแอโรซอล สามารถผลิตแอโรซอลขนาดใหญ่สุดได้ประมาณ 1.34 ไมโครเมตร





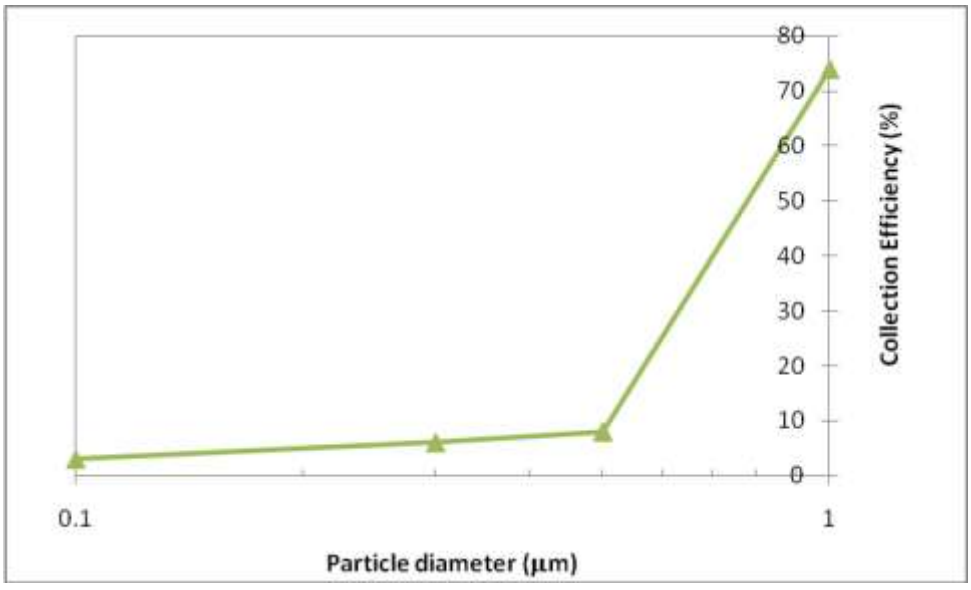
รูปที่ 3.5 เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพการแยกแยะขนาดของฝุ่น

3.7 ผลการหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นแต่ละขนาดของอุปกรณ์จัดเก็บตัวอย่างฝุ่น

ผลการหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นแต่ละขนาดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างละอองฝุ่น ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.6 แสดงประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นละอองของชั้นที่ 3 (1 μm) ที่ฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพการจัดเก็บตัวอย่างฝุ่นแต่ละขนาดของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น

Particle diameter (μm)	Collection Efficiency (%)			
	Stage1(10 μm)	Stage 2 (2.5 μm)	Stage3(1 μm)	Stage4(< 1 μm)
0.1	2	1	3	94
0.3	2	1	6	91
0.5	3	4	8	85
1	3	9	74	14



รูปที่ 3.6 แสดงประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นละอองของชั้นที่ 3 (1 μm) ที่ฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ กัน

3.8 **สรุปผลการทดลองการหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่น**

จากการหาประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นละอองของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น พบว่า ประสิทธิภาพการจัดเก็บฝุ่นละอองในชั้นที่ 3 (1 μm) และ 4 (<1 μm) สามารถแยกแยะขนาดของอนุภาคฝุ่นตามขนาดที่ได้ทำการออกแบบไว้จริง แต่เนื่องจากระบบที่ใช้ในการผลิตแอโรซอลที่ใช้นั้นสามารถผลิตขนาดอนุภาคฝุ่นได้ใหญ่สุดเพียงประมาณ 1 μm เท่านั้น ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้นี้ ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความเชื่อมั่นว่าอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นสำหรับงานวิจัยนี้สามารถแยกแยะขนาดของอนุภาคฝุ่นตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้จริง