หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การอภิปรายผลการวิจัย

ในการสร้างรูปปรับเทียบ จากค่าความหนาแน่นของสารและปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างหลายชนิด ได้รูปความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตามสมการรีเกรสชั่น ที่คำนวณได้ และได้ทดลองใช้สมการรีเกรสชั่นนี้ในการหาความหนาแน่นของสารโดยวิธีนิวเคลียร์ตลอดจนออกแบบเครื่องมือตรวจความหนาแน่นของสารให้มีรูปร่างกระทัดรัด และปลอดภัยจากรังสี ตามรายละเอียดซึ่งแยกกล่าวเป็นข้อ ๆ ดังนี้

4.1 การหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

ในการสร้างรูปปรับเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยกับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ โดยใช้ผลที่ได้จากตารางที่ 3.5 3.7 และ 3.8 นั้น ขั้นแรกจะต้องพิจารณาข้อมูล (Calibration data) เสียก่อนว่ารูปปรับเทียบควรจะเป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้ง โดยใช้วิธีทางสถิติ ซึ่งมีวิธีทำดังนี้

กำหนดข้อมูลขึ้นใหม่โดยใช้ค่าจากตารางที่ 3.5 3.7 และ 3.8 ทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

4.1.1 ข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิมีดังนี้

ค่าความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3}) x	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm) y
1.00	2070
1.57	1217
1.58	1226
1.65	989
1.81	747
1.94	938
1.98	803
2.00	785
2.34	350
2.45	0

พิจารณาข้อมูลข้างบนแล้ว จะสมมุติว่าข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง (Linear Relationship) ดังนั้น จะใช้สูตรหาความสัมพันธ์รวม (Correlation) ในกรณีที่เป็นเส้นตรง

กำหนดให้ r = ความสัมพันธ์รวม (Correlation)

$$r^{1} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}} \quad \text{-----(4.1)}$$

---

[1] Walpole, E.R. : Introduction to Statistics 8th ed. (New York: The Macmillan Company, 1972) p.286.

จากข้อมูลดังกล่าวจะคำนวณได้

$$n = 9,\ \sum_{i=1}^{9} x_i y_i = 14700.35,\ \sum_{i=1}^{9} x_i = 15.87,\ \sum_{i=1}^{9} y_i = 9125$$

$$\sum_{i=1}^{9} x_i^2 = 29.12, \qquad \sum_{i=1}^{9} y_i^2 = 11068573$$

$$\left(\sum_{i=1}^{9} x_i\right)^2 = 251.86\ ,\ \left(\sum_{i=1}^{9} y_i\right)^2 = 83265625$$

แทนค่าในสมการ (4.1)

$$r = \frac{(9)(14700.35)-(15.87)(9125)}{\sqrt{[(9)(29.12)-(251.86)][(9)(11068573)-(83265625)]}}$$

$$= \frac{-12510.6}{\sqrt{(10.22)(16351532)}}$$

$$= \frac{-12510.60}{12927.20}$$

$$= -0.968$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง x และ y แบบเป็นเส้นตรงจะสมบูรณ์ที่สุด เมื่อ $r = \pm 1$

ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรง ของข้อมูล x และ y จะมีความสัมพันธ์น้อยมาก แต่จากการคำนวณได้ $r = -0.968$ แสดงให้เห็นว่าข้อมูล x และ y มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงดีมาก และ $r^2 = 0.937$ แสดงว่า 93.7 % ของข้อมูล y มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงกับข้อมูล x

4.1.2 ข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ มีดังนี้

ค่าความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3}) x	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm) y
0.14	635
0.33	1342
0.84	1120
0.97	1615
0.99	1463

พิจารณาข้อมูลข้างบนแล้ว จะสมมุติว่าข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรง ดังนั้นจะใช้สูตรหาความสัมพันธ์รวม ในกรณีที่เป็นเส้นตรง

กำหนดให้ r = ความสัมพันธ์รวม คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 4.1

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}}$$

$$n = 5,\ \sum_{i=1}^{5} x_i y_i = 4487.48,\ \sum_{i=1}^{5} x_i = 3.27$$

$$\sum_{i=1}^{5} y_i = 6175,\ \sum_{i=1}^{5} x_i^2 = 2.76,\ \sum_{i=1}^{5} y_i^2 = 8207183$$

$$\left(\sum_{i=1}^{5} x_i\right)^2 = 10.69,\ \left(\sum_{i=1}^{5} y_i\right)^2 = 38130625$$

แทนค่าในสมการ (4.1)

$$r = \frac{(5)(4487.48) - (3.27)(6175)}{\sqrt{[(5)(2.76) - (10.69)][(5)(8207183) - (38130625)]}}$$

$$= \frac{2245.15}{\sqrt{(3.11)(2905290)}}$$

$$= \frac{2245.15}{3005.90}$$

$$= 0.747$$

คำนวณได้ค่า $r = 0.747$ แสดงให้เห็นว่าข้อมูล x และ y ชุดนี้มีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงยังไม่ดี และ $r^2 = 0.558$ แสดงว่า 56 % ของข้อมูล y มีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงกับข้อมูล x ตรงตามที่สมมุติไว้

4.1.3 ข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่ง กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ มีดังนี้

ค่าความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3}) x	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm) y
1.45	837
1.61	855
1.66	830
1.67	743
1.98	590
2.03	620

พิจารณาข้อมูลข้างบนแล้วจะสมมุติว่าข้อมูลดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ดังนั้น จะใช้สูตรหาความสัมพันธ์ร่วมในกรณีที่เป็นเส้นตรง

กำหนดให้ r = ความสัมพันธ์ร่วม คำนวณได้โดยใช้สมการที่ (4.1)

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} y_i)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} y_i)^2\right]}}$$

จากข้อมูลดังกล่าวจะคำนวณได้

$$n = 6 , \quad \sum_{i=1}^{6} x_i y_i = 7635.61 , \quad \sum_{i=1}^{6} x_i = 10.4$$

$$\sum_{i=1}^{6} y_i = 4475, \quad \sum_{i=1}^{6} x_i^2 = 18.28 , \quad \sum_{i=1}^{6} y_i^2 = 3405043$$

$$(\sum_{i=1}^{6} x_i)^2 = 108.16 , \quad (\sum_{i=1}^{6} y_i)^2 = 20025625$$

แทนค่าในสมการ(4.1)

$$r = \frac{(6)(7635.61) - (10.4)(4475)}{\sqrt{[(6)(18.28) - (108.16)]\,[(6)(3405043) - (20025625)]}}$$

$$= \frac{-726.34}{\sqrt{(1.52)(404633)}}$$

$$= \frac{-726.34}{784.25}$$

$$= -0.926$$

คำนวณได้ค่า r = -0.926 แสดงให้เห็นว่าข้อมูล x และ y ชุดนี้มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงดี และ $r^2 = 0.857$ แสดงว่า 86 % ของข้อมูล y มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงกับข้อมูล x ตรงตามที่ได้สมมุติไว้

4.2 การหาสมการรีเกรสชั่น (Linear Regression Analysis)

เมื่อได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างแต่ละลักษณะประกอบที่ใช้ในการวิจัย กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่าง จากตารางที่ 3.5 3.7 และ 3.8 แล้ว ว่ามีความสัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรง ตามเหตุผลในการวิเคราะห์แบบโครีเลชั่น (Correlation Analysis) จากหัวข้อ 4.1.1 4.1.2 และ 4.1.3 แล้วนั้น จะคำนวณหาสมการรีเกรสชั่น (Regression Equation) ของข้อมูลดังกล่าวต่อไป

โดยใช้สมการ (4.2)[1]

$$\bar{y}_x = a + bx \qquad \text{-----(4.2)}$$

เมื่อ $\bar{y}_x$ = ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างวัดค่าเป็น cpm

x = ค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างวัดค่าเป็นกรัม/ซม.^{3}

b = ค่าความชัน (Slope) ของเส้นรีเกรสชั่น (Regression line)

สามารถคำนวณได้จากจากสมการ (4.3)[2]

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - (\sum_{i=1}^{n} x_i)(\sum_{i=1}^{n} y_i)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \qquad \text{-----(4.3)}$$

a = ระยะตัดแกน y (y - Intercept)

สามารถคำนวณได้จากสมการ (4.4)[3]

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad \text{-----(4.4)}$$

เมื่อ $\bar{y}$ = ตัวกลาง (Mean) ของข้อมูล y

$\bar{x}$ = ตัวกลาง (Mean) ของข้อมูล x

[1,2,3] Walpole, E.R. : Introduction to Statistics 8th ed. (New York : The Macmillan Company, 1972) P. 271.

4.2.1 การคำนวณสมการรีเกรสชั่นของข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าว โดยพิจารณาข้อมูล x และข้อมูล y จากข้อ 4.1.1

จากข้อมูลดังกล่าวจะคำนวณได้

$$n = 9 \ , \ \sum_{i=1}^{9} x_i y_i = 14700.35, \ \sum_{i=1}^{9} x_i = 15.87$$

$$\sum_{i=1}^{9} y_i = 9125 \ , \ \sum_{i=1}^{9} x_i^2 = 29.12 \ , \ (\sum_{i=1}^{9} x_i)^2 = 251.86$$

$$\bar{x} = 1.76 \ , \quad \bar{y} = 1013.89$$

แทนค่าในสมการ (4.3)

$$b = \frac{(9)(14700.35) - (15.87)(9125)}{(9)(29.12) - (251.86)}$$

$$= \frac{-12510.60}{10.22}$$

$$= -1224.13$$

$$a = (1013.89) - (-1224.13)(1.76)$$

$$= 3168.36$$

สมการรีเกรสชั่น คือ $\bar{y}_x = 3168.36 - 1224.13\ x$

ดังนั้นสมการรีเกรสชั่นของข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย กับปริมาณรังสีสะท้อนกลับสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าว คือ

ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm) = 3168.36 - 1224.13 (ค่าความหนาแน่นเป็นกรัม/ซม.^{3}) ซึ่งจะดูรูปของเส้นรีเกรสชั่น (Regression Line) นี้ได้จากรูปประกอบที่ 3.5

4.2.2 การคำนวณหาสมการรีเกรสชั่นของข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าว โดยพิจารณาข้อมูล x และข้อมูล y จากข้อ 4.1.2

จากข้อมูลดังกล่าวจะคำนวณได้

$$n = 5 \ , \ \sum_{i=1}^{5} x_i y_i = 4487.48 \ , \ \sum_{i=1}^{5} x_i = 3.27 \ , \ \sum_{i=1}^{5} y_i = 6175$$

$$\sum_{i=1}^{5} x_i^2 = 2.76 \ , \ \left(\sum_{i=1}^{5} x_i\right)^2 = 10.69, \ \bar{x} = 0.654, \quad \bar{y} = 1235$$

แทนค่าในสมการ (4.3)

$$b = \frac{(5)(4487.48) - (3.27)(6175)}{(5)(2.76) - (10.69)}$$

$$= \frac{2245.15}{3.11}$$

$$= 721.91$$

$$a = 1235 - (721.91)(0.654)$$

$$= 762.87$$

สมการรีเกรสชั่น คือ $\bar{y}_x = 762.87 + 721.91\ x$

ดังนั้นสมการรีเกรสชั่นของข้อมูลระหว่างความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าว คือ

ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm) = 762.87 + 721.91 (ค่าความหนาแน่นเป็นกรัม/ซม.^{3})

ซึ่งจะดูรูปของเส้นรีเกรสชั่น (Regression Line) นี้ได้จากรูปประกอบที่ 3.6

4.2.3 การคำนวณหาสมการรีเกรสชั่นของข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก**ซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่ง** กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าว โดยพิจารณาข้อมูล x และข้อมูล y จากข้อ 4.1.3

จากข้อมูลดังกล่าวจะคำนวณได้

$$n = 6 \ , \ \sum_{i=1}^{6} x_i y_i = 7635.61 \ , \ \sum_{i=1}^{6} x_i = 10.4 \ , \ \sum_{i=1}^{6} y_i = 4475$$

$$\sum_{i=1}^{6} x_i^2 = 18.28 \ , \ \left(\sum_{i=1}^{6} x_i^2 \right)^2 = 108.16 \ , \ \bar{x} = 1.73 \ , \ \bar{y} = 745.83$$

แทนค่าในสมการ

$$b = \frac{(6)(7635.61) - (10.4)(4475)}{(6)(18.28) - (108.16)}$$

$$= \frac{-726.34}{1.52}$$

$$= -477.86$$

$$a = 745.83 - (-477.86)(1.73)$$

$$= 1572.53$$

สมการรีเกรสชั่น คือ $\bar{y}_x = 1572.53 - 477.86\ x$

ดังนั้นสมการรีเกรสชั่นของข้อมูลระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่ง กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าว คือ

ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm) = 1572.53 - 477.86 (ค่าความหนาแน่นเป็น กรัม/ซม.^{3})

ซึ่งจะดูรูปของเส้นรีเกรสชั่น (Regression Line) ได้จากรูปประกอบที่ 3.7

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

4.3 การทดลองหาค่าความหนาแน่นของสารโดยวิธีนิวเคลียร์

เมื่อสร้างรูปปรับเทียบสำหรับหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของสาร กับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.5 3.6 และ3.7 พร้อมทั้งคำนวณค่าสมการรีเกรสชั่นแล้วนั้น จะทำการทดสอบดูว่ารูปปรับเทียบที่ได้นี้ จะนำไปใช้ประกอบการวัดค่าความหนาแน่นของสารโดยวิธีนิวเคลียร์ได้ผลดีเพียงใด โดยเลือกสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย และแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าหนึ่งที่ได้ทำการทดลองไปแล้วบางชนิด นำมาใส่ภาชนะที่มีความจุที่เหมาะสม แล้วดำเนินวิธีการหาค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างโดยวิธีนิวเคลียร์ เปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างโดยวิธีพื้นฐาน ตามวิธีการดังกล่าวมาแล้ว ดังแสดงผลการเปรียบเทียบตามตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

4.4 การออกแบบเครื่องมือตรวจความหนาแน่นของสารโดยวิธีนิวเคลียร์

ในการออกแบบเครื่องมือจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยจากอันตรายของรังสีแกมมาที่ใช้ประกอบในการวิจัยสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือชนิดนี้ตรวจความหนาแน่นของสาร จากการพิจารณาถึงค่าระดับรังสีที่ยอมให้มนุษย์ได้รับมากที่สุดเป็นหลักสำคัญ จะสามารถคำนวณความหนาแน่นของตะกั่วป้องกันรังสีที่ใช้ป้องกันอันตรายจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม–137 ได้ โดยพิจารณาปรับปรุงและดัดแปลงลักษณะการจัดต้นกำเนิดรังสีซีเซียม–ตะกั่วป้องกันรังสีและหัววัดรังสีที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นของสารในห้องปฏิบัติการ จากรูปที่ 3.1 จะออกแบบลักษณะการจัดเครื่องมือดังกล่าวขึ้นมาใหม่ให้กระทัดรัด สะดวก และปลอดภัยจากอันตรายจากรังสีมากขึ้น ดังรูปแสดงลักษณะภายนอกของต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และตะกั่วป้องกันรังสี รูปที่ 4.1 และรูปแสดงลักษณะภายใน ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

4.4.1 การคำนวณความหนาแน่นของตะกั่วป้องกันรังสี

โดยพิจารณาถึงความปลอดภัยจากการได้รับรังสีสำหรับผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการวัดความหนาแน่น ซึ่งถือว่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้มนุษย์รับได้คือ

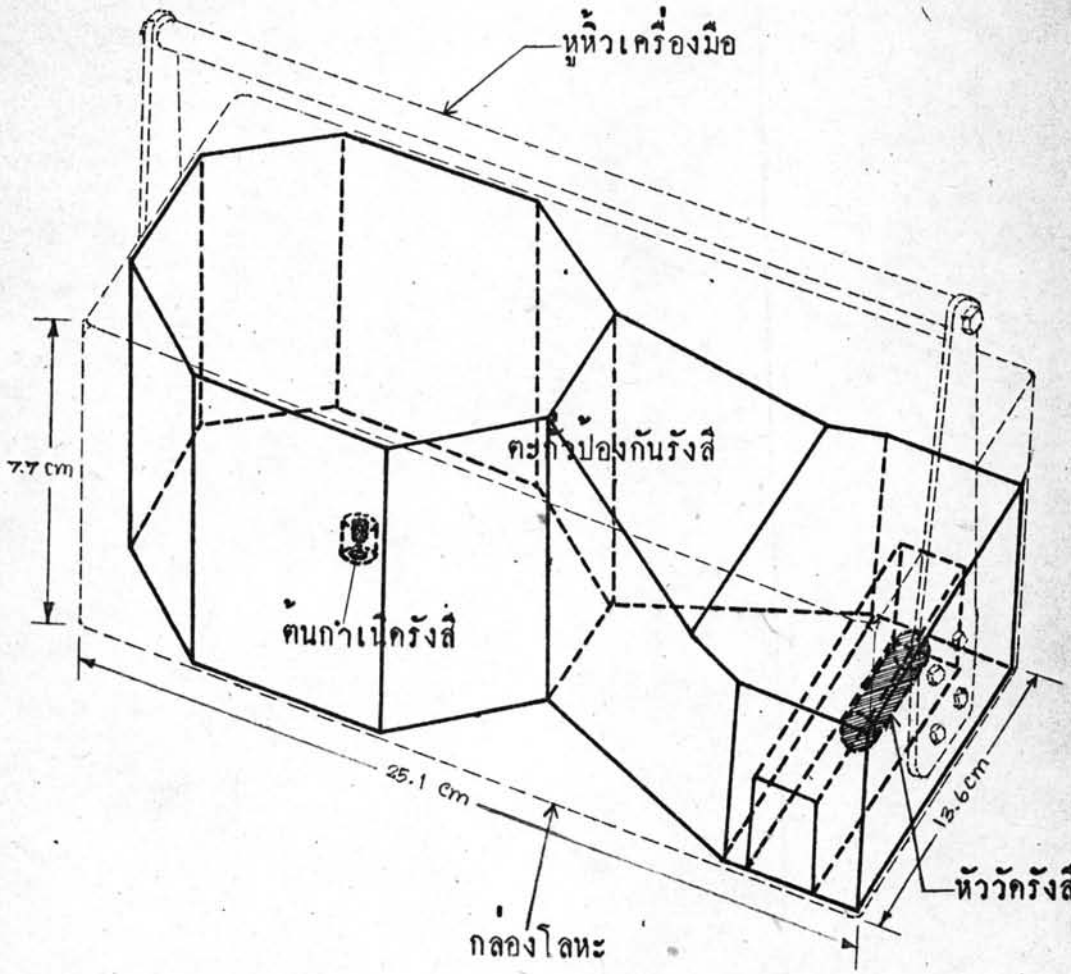
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย ที่ทำการวัดโดยวิธีนิวเคลียร์ และโดยวิธีพื้นฐาน

สารตัวอย่าง	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm)	ค่าความหนาแน่นที่วัดโดยวิธีนิวเคลียร์ (กรัม/ซม.^{3})	ค่าความหนาแน่นที่วัดโดยวิธีพื้นฐาน (กรัม/ซม.^{3})	ผิดพลาด (%)
ทรายแห้ง ขนาด 0-.06 ซม. ไม่ใช้เครื่องสั่น	1367	1.47	1.46	0.68
ทรายแห้ง ขนาด 0-.06 ซม. ใช้เครื่องสั่น	1101	1.69	1.62	4.32
ทรายแห้ง ขนาด .06-.08 ซม. ไม่ใช้เครื่องสั่น	1313	1.52	1.44	5.56
ทรายแห้ง ขนาด .06-.08 ซม. ใช้เครื่องสั่น	1218	1.59	1.57	1.27
ดินลูกรัง	808	1.93	1.79	7.80

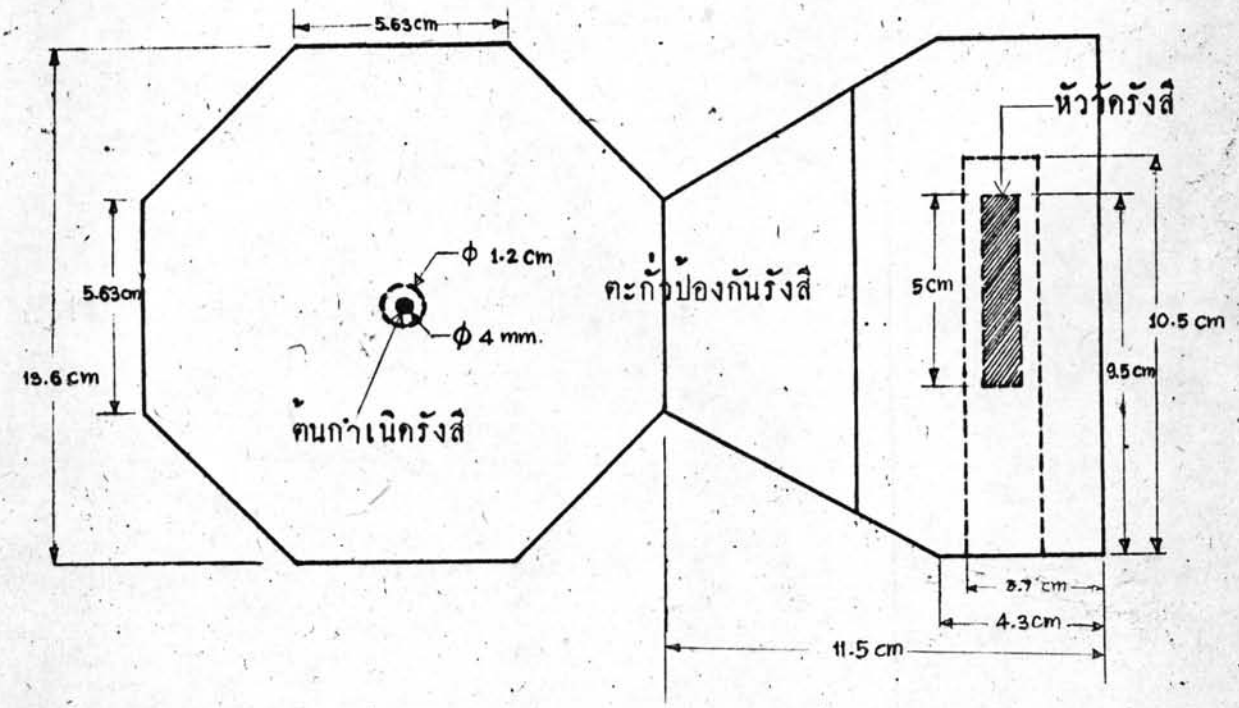
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ซึ่งมีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่ง ที่ทำการวัดค่าโดยวิธีนิวเคลียร์และโดยวิธีพื้นฐาน

สารตัวอย่าง	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm)	ค่าความหนาแน่นที่วัดโดยวิธีนิวเคลียร์ (กรัม/ซม.^{3})	ค่าความหนาแน่นที่วัดโดยวิธีพื้นฐาน (กรัม/ซม.^{3})	ผิดพลาด (%)
กรวดแห้ง ขนาด .24-.48 ซม. ไม่ใช้เครื่องสั่น	983	1.23	1.53	19.61
กรวดแห้ง ขนาด .24-.48 ซม. ใช้เครื่องสั่น	840	1.53	1.68	8.93
หินเกร็ด ไม่ใช้เครื่องสั่น	966	1.27	1.45	12.41
หินเกร็ด ใช้เครื่องสั่น	812	1.59	1.62	1.85
หินหนึ่ง ไม่ใช้เครื่องสั่น	896	1.42	1.47	3.40
หินหนึ่ง ใช้เครื่องสั่น	774	1.67	1.65	1.21

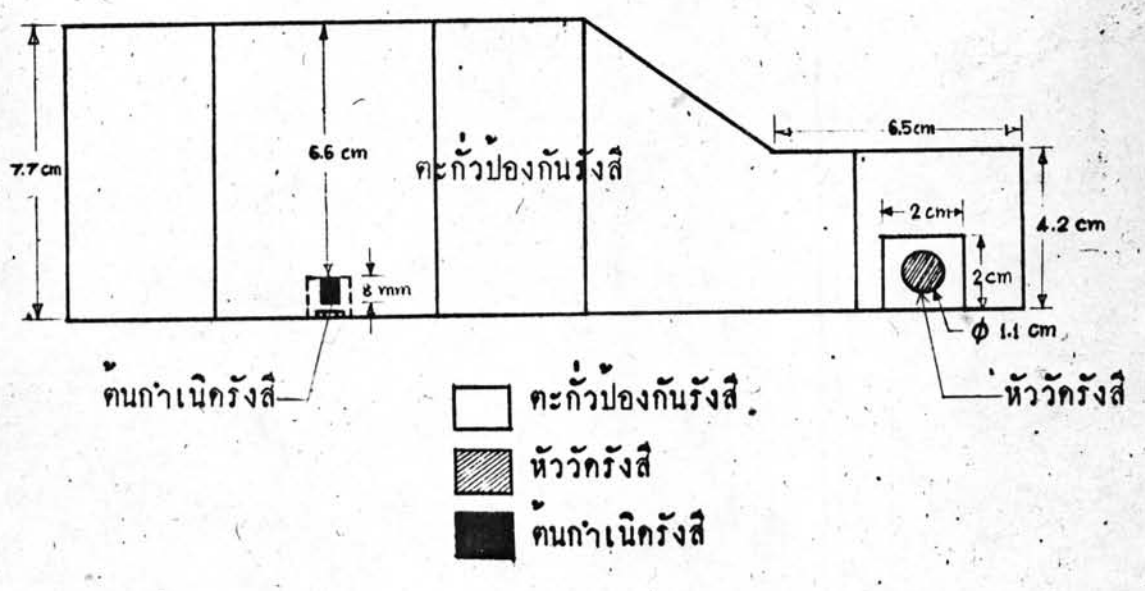
รูปที่ 4.1 แสดงภาพภายนอกของเครื่องมือส่วนที่ใช้ตรวจความหนาแน่น



รูปที่ 4.2 แสดงภาพด้านบนของเครื่องมือส่วนที่ใช้ตรวจความหนาแน่น



รูปที่ 4.3 แสดงภาพด้านข้างของเครื่องมือส่วนที่ใช้ตรวจความหนาแน่น



5 เรม* (Rem) ต่อปี หรือ 2.5 มิลลิเรม/ชม.(mRem/hr) สำหรับการทำงานสัปดาห์ละ 5 วัน และวันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้นจะคำนวณความหนาของตะกั่วป้องกันรังสี ซึ่งสามารถกั้นรังสีจากต้นกำเนิดรังสีจนเหลือปริมาณรังสีที่ปลอดภัย ดังสมการ (4.5)

$$I = \frac{S}{4\pi x^2} e^{-(\frac{\mu}{\rho})(\rho x)} \qquad \text{-----(4.5)}$$

เมื่อ I = ความเข้มของรังสีที่ผิวนอกของตะกั่วมีหน่วยเป็น โฟตอน/ซม.^{2} – วินาที

S = จำนวนโฟตอนที่ส่งออกมาจากต้นกำเนิดรังสีมีหน่วยเป็น โฟตอน/วินาที

$\frac{\mu}{\rho}$ = แมส แอทเทนนูเอชั่นของตะกั่ว มีหน่วยเป็น ซม.^{2} /กรัม

ρ = ความหนาแน่นของตะกั่ว มีหน่วยเป็น กรัม/ซม.^{3}

x = ความหนาของตะกั่ว มีหน่วยเป็น ซม.

จากสมการ (4.5) ค่าความเข้มของรังสีที่ผิวนอกของตะกั่ว (I) จะเปลี่ยนค่าให้เป็นปริมาณรังสีในหน่วย มิลลิเรม/ชม. ได้ ดังสมการ (4.6)

ปริมาณรังสี (Dose Rate) = 57.6×10^{-3} IE $(\frac{\mu}{\rho})_{\text{ตะกั่ว}}$ มิลลิเรม/ชม.

----(4.6)

เมื่อ I = ความเข้มของรังสีที่คำนวณค่าได้จากสมการ (4.5)

E = พลังงานของรังสีแกมมา มีหน่วยเป็น MeV

และ $\frac{\mu}{\rho}$ = แมส แอทเทนนูเอชั่นของตะกั่ว มีหน่วยเป็น ซม.^{2} /กรัม

---

* เรม (Rem) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสี กำหนดไว้ว่า "บุคคลใดได้รับรังสีแล้ว รังสีนั้นก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสี เอกซ์ หรือ รังสีแกมมา 1 แรด (Rad) เราบอกว่าบุคคลนั้นได้รับปริมาณรังสี 1 เรม" ในทางปฏิบัติถือว่าปริมาณรังสี

1 เร็มท์เกน = 1 แรด = 1 เรม

เมื่อพิจารณาจากรูป 4.1 ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม–137 ถือเสมือนเป็นจุด (Point Source) รังสีจะแผ่กระจายออกไปทุกทิศทุกทาง กรณีนี้ถือว่าเป็นลำรังสีกว้าง (Broad Beam) สมการ (4.5) จะคำนวณความเข้มของรังสีที่ผิวนอกของตะกั่วได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น จึงต้องมีค่าแก้ที่เรียกว่าบิลด์อัพ แฟคเตอร์ (Build - up factor) ซึ่งมีอักษรย่อว่า B เพิ่มเข้าไปในสมการ (4.6) สมการหาปริมาณรังสีที่ภายนอกผิวตะกั่วจึงเป็นสมการ (4.7)

$$\text{ปริมาณรังสี (Dose Rate)} = 57.6\times10^{-3}\ IE\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{ตะกั่ว}} B \quad \text{----(4.7)}$$

เมื่อ B คือ บิลด์อัพ แฟคเตอร์ ซึ่งหาค่าได้จากการพิจารณาเทอม μt

เมื่อ μ = ลิเนียร์ แอทเทนนูเอชั่น โคเอฟฟิเซี่ยน มีหน่วยเป็น ซม.$^{-1}$

t = ความหนาของตะกั่ว มีหน่วยเป็น ซม.

นำ μt ไปเทียบค่า B จากตารางที่ 4.3

1. <u>การแทนค่าเพื่อคำนวณความหนา</u>

ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม–137 มีความแรง 10 มิลลิคูรี เมื่อพิจารณาผังการสลายตัวรูปที่ 2.2 จะคำนวณจำนวนโฟตอนที่ส่งออกมาจากต้นกำเนิดรังสีได้

ความแรงของรังสี = 10 มิลลิคูรี

จึงมีการสลายตัว = $10\times10^{-3}\times3.7\times10^{10}$ การสลายตัว/วินาที

ในการสลายตัวแต่ละครั้งให้รังสีแกมมาออกมา = 1 โฟตอน/การสลายตัว

โดยมีเปอร์เซนต์ของการสลายตัว (Fraction) = .935

ดังนั้นต้นกำเนิดรังสีซีเซียม–137 จะแผ่รังสีออกมา

$$S = 10\times10^{-3}\times3.7\times10^{10}\times1\times.935\ \frac{\text{การสลายตัว}}{\text{วินาที}}\times\frac{\text{โฟตอน}}{\text{การสลายตัว}}$$

$$= 3.46\times10^{8}\ \text{โฟตอน/วินาที}$$

ตารางที่ 4.3

แสดงค่า บิลด์อัพ แฟคเตอร์ (B) แต่ละพลังงานของรังสีแกมมา

Material	E_0, Mev	μt						
		1	2	4	7	10	15	20
Water.....	0.255	3.09	7.14	23.0	72.9	166	456	982
	0.5	2.52	5.14	14.3	38.8	77.6	178	334
	1.0	2.13	3.71	7.68	16.2	27.1	50.4	82.2
	2.0	1.83	2.77	4.88	8.46	12.4	19.5	27.7
	3.0	1.69	2.42	3.91	6.23	8.63	12.8	17.0
	4.0	1.58	2.17	3.34	5.13	6.94	9.97	12.9
	6.0	1.46	1.91	2.76	3.99	5.18	7.09	8.85
	8.0	1.38	1.74	2.40	3.34	4.25	5.66	6.95
	10.0	1.33	1.63	2.19	2.97	3.72	4.90	5.98
Aluminum..	0.5	2.37	4.24	9.47	21.5	38.9	80.8	141
	1.0	2.02	3.31	6.57	13.1	21.2	37.9	58.5
	2.0	1.75	2.61	4.62	8.05	11.9	18.7	26.3
	3.0	1.64	2.32	3.78	6.14	8.65	13.0	17.7
	4.0	1.53	2.08	3.22	5.01	6.88	10.1	13.4
	6.0	1.42	1.85	2.70	4.06	5.49	7.97	10.4
	8.0	1.34	1.68	2.37	3.45	4.58	6.56	8.52
	10.0	1.28	1.55	2.12	3.01	3.96	5.63	7.32
Iron.....	0.5	1.98	3.09	5.96	11.7	19.2	35.4	55.6
	1.0	1.87	2.89	5.39	10.2	16.2	28.3	42.7
	2.0	1.76	2.43	4.13	7.25	10.9	17.6	25.1
	3.0	1.55	2.15	3.51	5.85	8.51	13.5	19.1
	4.0	1.45	1.94	3.03	4.91	7.11	11.2	16.0
	6.0	1.34	1.72	2.58	4.14	6.02	9.89	14.7
	8.0	1.27	1.56	2.23	3.49	5.07	8.50	13.0
	10.0	1.20	1.42	1.95	2.99	4.35	7.54	12.4
Tin.....	0.5	1.56	2.08	3.09	4.57	6.04	8.64	
	1.0	1.64	2.30	3.74	6.17	8.85	13.7	18.8
	2.0	1.57	2.17	3.53	5.87	8.53	13.6	19.3
	3.0	1.46	1.96	3.13	5.28	7.91	13.3	20.1
	4.0	1.38	1.81	2.82	4.82	7.41	13.2	21.2
	6.0	1.26	1.57	2.37	4.17	6.94	14.8	29.1
	8.0	1.19	1.42	2.05	3.57	6.19	15.1	34.0
	10.0	1.14	1.31	1.79	2.99	5.21	12.5	33.4
Tungsten...	0.5	1.28	1.50	1.84	2.24	2.61	3.12	
	1.0	1.44	1.83	2.57	3.62	4.64	6.25	(7.35)*
	2.0	1.42	1.85	2.72	4.09	5.27	8.07	(10.6)*
	3.0	1.36	1.74	2.59	4.00	5.92	9.66	14.1
	4.0	1.29	1.62	2.41	4.03	6.27	12.0	20.9
	6.0	1.20	1.43	2.07	3.60	6.29	15.7	36.3
	8.0	1.14	1.32	1.81	3.05	5.40	15.2	41.9
	10.0	1.11	1.25	1.64	2.62	4.65	14.0	39.3
Lead.....	0.5	1.24	1.42	1.69	2.00	2.27	2.65	(2.73)*
	1.0	1.37	1.69	2.26	3.02	3.74	4.81	5.86
	2.0	1.39	1.76	2.51	3.66	4.84	6.87	9.00
	3.0	1.34	1.68	2.43	3.75	5.30	8.44	12.3
	4.0	1.27	1.56	2.25	3.61	5.44	9.80	16.3
	5.1	1.21	1.46	2.08	3.44	5.55	11.7	23.6
	6.0	1.18	1.40	1.97	3.34	5.69	13.8	32.7
	8.0	1.14	1.30	1.74	2.89	5.07	14.1	44.6
	10.0	1.11	1.23	1.58	2.52	4.34	12.5	39.2
Uranium...	0.5	1.17	1.30	1.48	1.67	1.85	2.08	
	1.0	1.31	1.56	1.98	2.50	2.97	3.67	
	2.0	1.33	1.64	2.23	3.09	3.95	5.36	(6.48)*
	3.0	1.29	1.58	2.21	3.27	4.51	6.97	9.88
	4.0	1.24	1.50	2.09	3.21	4.66	8.01	12.7
	6.0	1.16	1.36	1.85	2.96	4.80	10.8	23.0
	8.0	1.12	1.27	1.66	2.61	4.36	11.2	28.0
	10.0	1.09	1.20	1.51	2.26	3.78	10.5	28.5

* Extrapolated values.

คำนวณค่า $\frac{\mu}{\rho}$ โดยใช้วิธีอินเตอร์โปเลท (Interpolate) จากตารางที่ 2.1

จะคำนวณได้ $\frac{\mu}{\rho} = .1044 \frac{\text{ซม.}^2}{\text{กรัม}}$ (ที่รังสีแกมมาพลังงาน .663 MeV)

ค่าความหนาแน่นของตะกั่ว = 11.34[1] กรัม/ซม.^{3}

ค่าความหนาของตะกั่ว (x) = 6.6 ซม. (โดยทดลองแทนค่า)

แทนค่า แมสแอทเทนนูเอชั่นของตะกั่ว($\frac{\mu}{\rho}$) ความหนาแน่น (ρ) และความหนาของตะกั่ว (x) ในสมการ (4.5)

$$I = \frac{3.46 \times 10^8}{4 \times 3.1416 \times (6.6)^2} e^{-(.1044 \frac{\text{ซม.}^2}{\text{กรัม}})(11.34 \times 6.6 \frac{\text{กรัม}}{\text{ซม.}^2})}$$

$$= 6.32 \times 10^5 \; e^{-(7.814)}$$

$$= 6.32 \times 10^5 \times 4.042 \times 10^{-4}$$

$$= 2.554 \times 10^2 \quad \text{โฟตอน/ซม.}^2 - \text{วินาที}$$

แทนค่า I ลงในสมการ (4.6)

ปริมาณรังสี = $57.6 \times 10^{-3} \times 2.554 \times 10^2 \times .663 \times .1044$ มิลลิเรม/ซม.

= 1.02 มิลลิเรม/ซม.

ใช้ค่า บิลด์อัพ แฟคเตอร์ (B) โดยพิจารณาจากค่า μt

เมื่อ $\mu t = (1.18 \text{ ซม.}^{-1})(6.6 \text{ ซม.})$

$= 7.814$

---

[1] Etherington, H. : Nuclear Engineering Handbook. (New York, Mcgraw-Hill Book Company, Inc, 1958) P.11-6.

นำ μt เทียบค่าโดยการอินเตอร์โปเลท (Interpolate) จากตารางที่ 4.3 จะได้ค่า

B = 2.45

$\therefore$ ปริมาณรังสีที่แท้จริง = 2.45×1.02

= 2.50 มิลลิเรม/ชม.

แสดงว่าจากการทดลองแทนค่าความหนาของตะกั่ว (x) = 0.6 ซม. จะได้ปริมาณรังสีที่ผิวนอกของตะกั่วอยู่ในระดับที่กำหนดไว้สำหรับผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับรังสี เป็นการยืนยันว่าเครื่องมือตรวจความหนาแน่นที่ออกแบบตามรูปที่ 4.1 จะนำไปใช้วิจัยค่าความหนาแน่นของสารทั้งในห้องปฏิบัติการ และในสนามได้อย่างปลอดภัย

2. <u>การคำนวณน้ำหนักของเครื่องมือ</u>

โดยพิจารณาขนาดของเครื่องมือดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะคำนวณปริมาตรของเครื่องมือได้ประมาณ 1431.93 ซม.^{3}

คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 16 กก.