หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องใช้ในการดำเนินงาน

3.1.1 ภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง สร้างด้วยไม้อัดหนา 8 มม. ให้มีขนาดความจุต่างกัน โดยเริ่มจากขนาดความจุ 8657.58 ซม.^{3} 14379.80 ซม.^{3} 20860.61 ซม.^{3} 26065.68 ซม.^{3} และ 34081.51 ซม.^{3} ตามลำดับ ภาชนะเหล่านี้อุดรอยต่อด้านในด้วยชัน เพื่อให้ใส่สารตัวอย่างที่เป็นของเหลวได้

3.1.2 ตะแกรง ใช้สำหรับแยกขนาดของสารตัวอย่างบางชนิด เช่น ทราย และกรวด โดยใช้ตะแกรงหมายเลข 4 หมายเลข 8 หมายเลข 20 และหมายเลข 30

3.1.3 เครื่องสั่นคอนกรีตขนาดเล็ก ใช้สำหรับสั่นให้สารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะรวมตัวกันแน่น

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้ในการวิจัยนี้ 2 ชนิด คือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างเพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่น สามารถชั่งน้ำหนักได้สูงสุดถึง 91.71 กก.

2. เครื่องชั่งน้ำหนักใช้สำหรับชั่งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของสารตัวอย่าง เครื่องชั่งชนิดนี้ชั่งน้ำหนักได้สูงสุดถึง 311 กรัม และสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึงจุดทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.5 ตู้อบ ใช้สำหรับอบสารตัวอย่างให้มีน้ำหนักคงที่ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของสารตัวอย่าง

3.1.6 ต้นกำเนิดรังสี เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมา โดยใช้ธาตุซีเซียม-137 มีความแรง 10 มิลลิคูรี (mCi)

3.1.7 หัววัดรังสี ใช้หัววัดรังสีสำหรับการวิจัยนี้ 2 ชนิด โดยพิจารณาเลือกใช้เฉพาะหัววัดรังสีที่มีประสิทธิภาพในการวัดรังสีแบบสะท้อนได้ดีที่สุด หัววัดดังกล่าวคือ

1. หัววัดแบบไกเกอร์ ชนิดหน้าต่างปลาย
2. หัววัดแบบเรืองแสง ชนิด NaI (Tl) ขนาด 1" × 1"

หัววัดทั้งสองชนิดนี้จะต่อเข้ากับเครื่องอุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์ ดังผังวงจรของเครื่องมือ ดังรูปที่ 2.18 และรูปที่ 2.20 ซึ่งจะให้ผลการวัดรังสีออกมาเป็นจำนวนที่นับได้ต่อหน่วยเวลา โดยอ่านจากตัวเลขที่ปรากฏที่เครื่องวัดรังสี

3.2 สารตัวอย่าง

สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้มี 14 ชนิด คือ ทราย กรวด หินเกร็ด หินหนึ่ง หินสอง ปูนซีเมนต์ ปูนขาว คอนกรีต ผงโลหะผสม แกลบ ผงไม้ ลิกไนต์ ปุ๋ยอินทรีย์ น้ำบริสุทธิ์

3.3 การเตรียมสารตัวอย่าง

ใช้ตะแกรงร่อนทรายและกรวดเพื่อแบ่งขนาดออกได้ดังนี้

สารตัวอย่าง	ขนาด (ซม.)	ตะแกรง หมายเลข
ทรายละเอียด	0 - .0594	30
ทรายหยาบ	.0594 - .0841	20 และ 30
ทรายหยาบ	.0841 - .2380	8 และ 20
กรวด	.2380 - .475	4 และ 8

ส่วนสารตัวอย่างชนิดอื่นสามารถดำเนินวิธีการวัดได้เลย

3.4 หาปริมาตรที่แท้จริงและน้ำหนักของภาชนะ

ภาชนะที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างจะต้องนำไปชั่งน้ำหนักให้ทราบค่า และวัดค่าปริมาตรของที่ว่างภายในภาชนะที่แท้จริงก่อนที่จะนำไปใส่สารตัวอย่าง เพื่อดำเนินกรรมวิธีในการวัดรังสีสะท้อน ซึ่งได้ผลดังนี้

ภาชนะหนา (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาตร ($ซม.^3$)
15	1755.43	8657.58
25	2231.71	14379.80
35	2694.38	20860.61
45	3261.38	26065.68
55	3764.88	34081.57

3.5 การเลือกหัววัดรังสีที่เหมาะสม

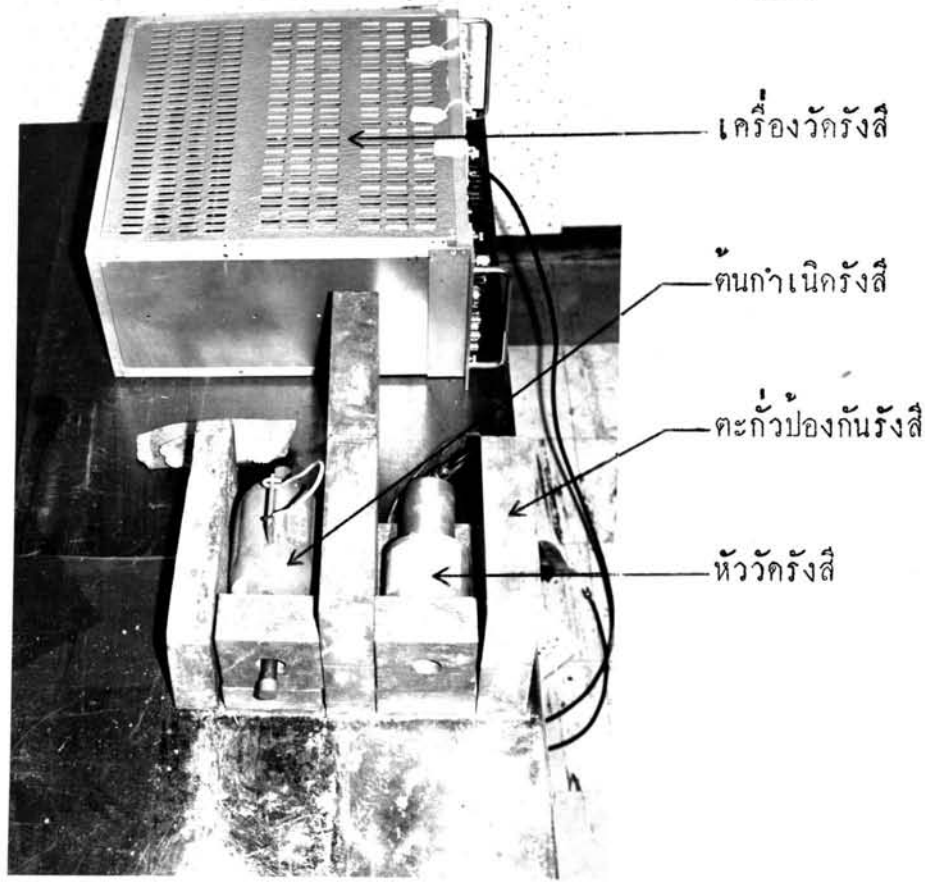
จะเลือกหัววัดรังสีที่เหมาะสมกับการวิจัยนี้ จากหัววัดรังสีชนิดไกเกอร์ และหัววัดรังสีชนิดเรืองแสง โดยจัดต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และตะกั่วป้องกันรังสี ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.5.1 การพิจารณาหัววัดรังสีชนิดไกเกอร์

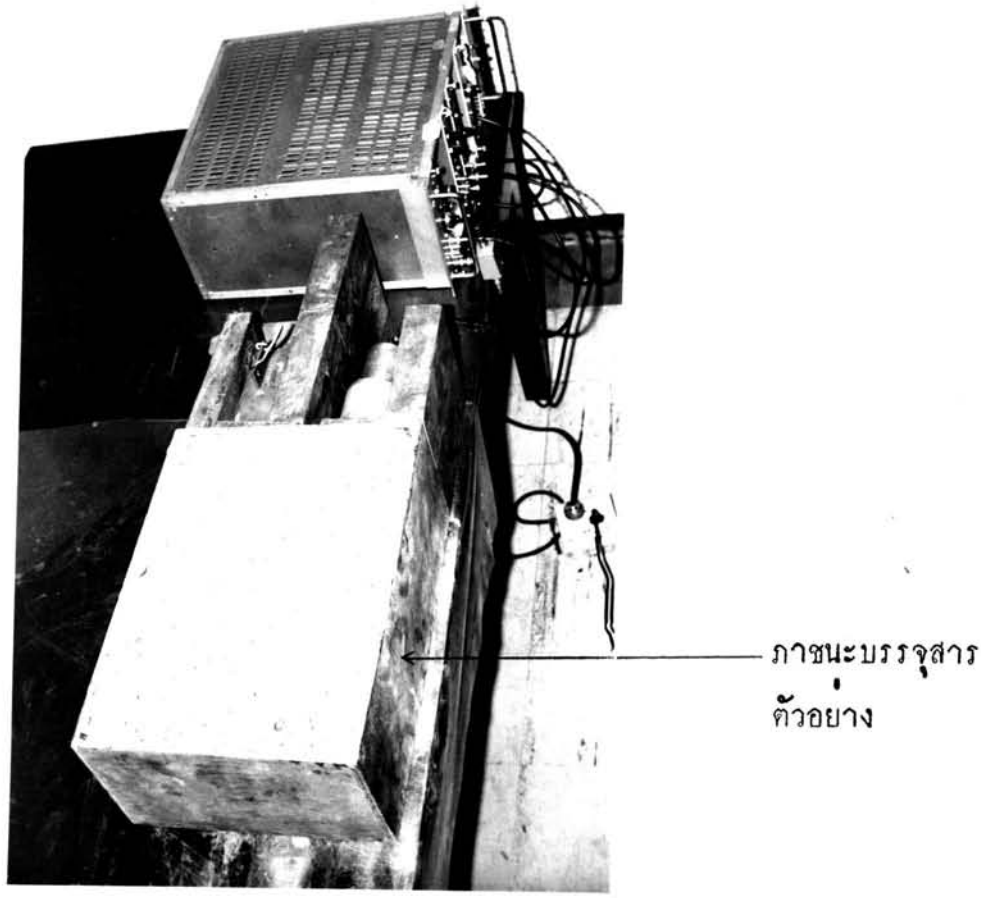
1. วางหัววัดรังสีชนิดไกเกอร์ลงในตำแหน่งของหัววัดรังสี ดังแสดงในรูปที่3.1 แล้วต่อหัววัดรังสีเข้ากับเครื่องอุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์

2. ใช้ภาชนะเปล่าที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างความจุ 8657.58 $ซม.^3$ วางที่ด้านหน้าของหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสี ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้ววัดค่า cpm ของภาชนะเปล่าเป็นเวลา 4 นาที 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าที่ได้ไว้

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดเครื่องมือเพื่อเตรียมการวิจัย



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการวางภาชนะเปล่า
หรือภาชนะบรรจุสารตัวอย่างเพื่อ
วัดปริมาณรังสีสะท้อน

3. นำภาชนะดังกล่าวมาใส่สารตัวอย่างซึ่งในการทดลองเลือกใช้น้ำนำไปวางในลักษณะเดิม แล้ววัดค่า cpm ของภาชนะที่บรรจุน้ำนั้นเป็นเวลา 4 นาที 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยแล้วบันทึกค่าที่ได้ไว้ ซึ่งค่า cpm ดังกล่าวเป็นอัตราการนับปริมาณรังสีภายหลังจากถูกส่งออกจากต้นกำเนิดรังสีวิ่งไปชนสารตัวอย่างหรือน้ำ ที่บรรจุในภาชนะและสะท้อนมาเข้าหัววัดรังสีชนิดไกเกอร์

4. ผลการวัดปริมาณรังสีที่สะท้อนจากการวิ่งชนของรังสีต่อสารตัวอย่างหรือน้ำที่มาขวางกั้นเป็น cpm ในลักษณะของเครื่องมือ ดังแสดงตามรูปที่ 3.2 ให้ผลการวัดดังนี้

แบคกราวน์ (Background) ของภาชนะก่อนใส่น้ำ นับได้	58	cpm
ปริมาณรังสีสะท้อนนับได้	86	cpm
ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ เมื่อหักแบคกราวน์ ออกแล้ว	28	cpm

3.5.2 <u>การพิจารณาหัววัดรังสีชนิดเรืองแสง</u>

1. วางหัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแทนในตำแหน่งของหัววัดรังสี ตามรูปที่ 3.1 แล้วต่อหัววัดรังสีเข้ากับเครื่องอุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์

2. ใช้ภาชนะเปล่าที่มีความจุ 8657.58 ซม.^{3} วางที่ด้านหน้าของหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้ววัดค่า cpm ของภาชนะเปล่าเป็นเวลา 4 นาที 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยแล้วบันทึกค่าที่ได้ไว้

3. นำภาชนะดังกล่าวมาใส่น้ำให้เต็ม นำไปวางในลักษณะเดิม แล้ววัดค่า cpm ของภาชนะที่บรรจุน้ำเป็นเวลา 4 นาที ทำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าที่ได้ไว้ ค่า cpm ดังกล่าวเป็นอัตราการนับปริมาณรังสีภายหลังจากถูกส่งออกจากต้นกำเนิดรังสี วิ่งไปชนสารตัวอย่าง หรือน้ำที่บรรจุในภาชนะแล้วสะท้อนเข้าหัววัดรังสีชนิดเรืองแสง

4. ผลการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากการวิ่งชนของรังสีต่อสารตัวอย่าง หรือน้ำที่มาขวางกั้น เป็น cpm ในลักษณะของเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ได้ผลการวัดดังนี้

แบคกราวน์ของภาชนะก่อนใส่น้ำนับได้	466	cpm
ปริมาณรังสีสะท้อนนับได้	1964	cpm
ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ เมื่อหัก แบคกราวน์ออกแล้ว	1498	cpm

3.5.3 การพิจารณาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

จากผลการนับปริมาณรังสีที่สะท้อนจากการวิ่งชนสารตัวอย่างมาเข้าหัววัดรังสีทั้งชนิดไกเกอร์และชนิดเรืองแสง ได้ผลดังนี้

ชนิดของหัววัดรังสี	แบคกราวน์ของภาชนะ (cpm)	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm)	ความคลาดเคลื่อน %
หัววัดรังสีชนิดไกเกอร์	58	28	42.86
หัววัดรังสีชนิดเรืองแสง	466	1498	3.29

พิจารณาจากค่า cpm ที่ได้ แสดงว่าการจัดตนกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี เพื่อจะวัดปริมาณรังสีที่สะท้อนจากภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 นั้น ใช้หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงจะมีประสิทธิภาพในการวัดรังสีสะท้อนดีกว่าหัววัดรังสีชนิดไกเกอร์ ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงวัดปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิเมื่อเทียบกับค่าแบคกราวน์ของภาชนะได้มากกว่าใช้หัววัดรังสีชนิดไกเกอร์ ตามผลการทดลองที่ได้ ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิยิ่งมีค่ามาก จะทำให้เห็นความแตกต่างในการสะท้อน

จากสารตัวอย่างแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน

2. หัววัดรังสีชนิดไกเกอร์ที่ใช้เป็นแบบหน้าต่างปลาย (End window) เมื่อจัดลักษณะเครื่องมือตามรูปที่ 3.2 แล้วรับปริมาณรังสีที่สะท้อนกลับได้ไม่มาก อาจจะเป็นเพราะว่าการจัดลักษณะของเครื่องมือแบบนี้ไม่เหมาะที่จะใช้หัววัดรังสีชนิดไกเกอร์แบบหน้าต่างปลายก็ได้ แต่ถ้าเลือกใช้หัววัดรังสีชนิดไกเกอร์แบบหน้าต่างด้านข้าง (Side window) จะวัดปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิได้มากกว่านี้

3. ความคลาดเคลื่อนในการวัดปริมาณรังสีสะท้อนของหัววัดรังสีชนิดไกเกอร์มีมาก ต่างกับหัววัดรังสีชนิดเรืองแสงซึ่งให้ความคลาดเคลื่อนในการวัดปริมาณรังสีสะท้อนกลับน้อยกว่า เมื่อใช้สูตรหาความคลาดเคลื่อนในการวัดปริมาณรังสีจากหลักสถิติ (Statistical of counting) ดังนี้

$$\text{ความคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาด} = \frac{\sqrt{S + B}}{S - B} \times 100\ \% \quad \text{----(3.1)}$$

เมื่อ S = ปริมาณรังสีสะท้อน วัดเป็น cpm

B = ค่าแบคกราวน์ วัดเป็น cpm

S - B = ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ

3.6 ชนิดของสารตัวอย่าง

แบ่งสารตัวอย่างจากข้อ 3.2 ตามลักษณะประกอบออกเป็น สารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย และสารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก

3.6.1 สารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย

สารชนิดนี้เป็นสารที่มีขนาดเล็ก มีน้ำหนักสามารถทำให้แน่นและมีช่องว่างของอากาศน้อยที่สุดโดยใช้เครื่องสั่นและการอัด รวมทั้งสารที่มีลักษณะประกอบเป็นแบบเนื้อเดียวกัน สารดังกล่าวคือ

1. น้ำ
2. ทรายแห้งขนาด 0 - .06 ซม.

3. ทรายแห้งขนาด .06 - .08ซม.
4. ทรายแห้งขนาด .08 - .24ซม.
5. ทรายเปียกขนาด 0 - .06 ซม.
6. ทรายเปียกขนาด.06 - .08ซม.
7. ทรายเปียกขนาด.08 - .24ซม.
8. ดินลูกรัง
9. คอนกรีต
10. โลหะผสม

3.6.2 สารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก

สารชนิดนี้มีทั้งสารที่มีรูปร่างเล็กจนเป็นผง และมีน้ำหนักน้อยมาก ไม่สามารถจะทำให้แน่น โดยการสั่นและการอัดได้ รวมทั้งสารที่มีน้ำหนักมาก และรูปร่างไม่คงที่ สารดังกล่าวคือ

1. แกลบแห้ง
2. ผงไม้แห้ง
3. ปูนขาว
4. ลิกไนต์แห้ง
5. ปุ๋ยอินทรีย์
6. ปูนซีเมนต์
7. หินเกร็ดแห้ง
8. กรวดแห้งขนาด .24 - .48 ซม.
9. หินหนึ่ง
10. หินเกร็ดเปียก
11. กรวดเปียกขนาด.24-.48 ซม.
12. หินสองแห้ง

3.7 การเลือกความจุของภาชนะที่เหมาะสมในการวิจัย

ในการวัดความหนาแน่นของสารตัวอย่าง จะต้องดำเนินวิธีการวัดโดยวิธีธรรมดา และวัดโดยวิธีทางนิวเคลียร์เพื่อเปรียบเทียบกัน ภาชนะที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างจะใช้ภาชนะเพียงความจุเดียวที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง

3.7.1 ภาชนะที่มีความจุที่เหมาะสม

มีจุดมุ่งหมายไปถึงภาชนะที่มีความจุเหมาะสมสำหรับการวัดความหนาแน่นโดยวิธีนิวเคลียร์ โดยมีวิธีเลือก ดังนี้

1. บรรจุสารตัวอย่างชนิดเดียวกันลงในภาชนะทั้ง 5 ขนาด สารตัวอย่างชนิดอื่น ยกเว้นน้ำจะบรรจุลงในภาชนะให้แน่นที่สุดโดยใช้เครื่องสั่นและการอัด

2. พยายามทำให้สารตัวอย่างชนิดเดียวกันที่บรรจุในภาชนะทั้ง 5 ขนาด มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันที่สุด ซึ่งตรวจได้จากการวัดความหนาแน่นโดยวิธีธรรมดา ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

3. วางภาชนะบรรจุสารตัวอย่างหนึ่งความจุ ชิดด้านหน้าของต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสี ดังแสดงในรูปที่ 3.2

4. จัดเครื่องวัดรังสีให้พร้อมอยู่ในลักษณะที่จะทำการวัดรังสีสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และใช้เวลาในการวัด 4 นาที ทำการวัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยเป็น cpm และบันทึกค่าที่ได้ไว้

5. เปลี่ยนภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่มีความจุใหม่ และดำเนินการตามวิธีดังกล่าวข้างต้น จนวัดค่า cpm ได้ครบทั้ง 5 ความจุของภาชนะ

6. เปลี่ยนสารตัวอย่างใหม่และบรรจุลงในภาชนะให้ครบทั้ง 5 ขนาดความจุ โดยทำให้สารตัวอย่างที่บรรจุภายในภาชนะแน่นที่สุด โดยใช้เครื่องสั่นและการอัด แล้วดำเนินการตามวิธีดังกล่าวข้างต้นจนครบสารตัวอย่างทั้ง 14 ชนิด

7. การเลือกภาชนะที่มีความจุที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของการวัดรังสีสะท้อน โดยพิจารณาถึงความจุที่น้อยที่สุดของภาชนะบรรจุสารตัวอย่างซึ่งทำให้ค่า cpm จากการวัดรังสีสะท้อนใกล้เคียงกัน กล่าวคือไม่ว่าความจุของ

ภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างจะมีขนาดเท่าใด ค่า cpm จากการวัดรังสีสะท้อนจะมีค่าใกล้เคียงกันตามหลักสถิติ (Statistical of counting) ดังแสดงผลการวัดค่า cpm ของรังสีสะท้อนจากการวิ่งชนสารตัวอย่าง ซึ่งบรรจุในภาชนะแต่ละความจุในตารางที่ 3.1 และ 3.2

8. นำผลที่ได้ตามตาราง 3.1 และตาราง 3.2 มาเขียนรูป ระหว่างค่า cpm และค่าความจุภาชนะ แล้วพิจารณาความจุที่เหมาะสมของภาชนะที่ให้ค่า cpm ของรังสีสะท้อนมีค่าใกล้เคียงกันดังพิจารณาจากรูปประกอบที่ 3.3 และ 3.4

9. พิจารณาจากค่า cpm ของปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1 และ3.2 และจากรูปประกอบที่ 3.3 และ 3.4 จะได้ความจุที่เหมาะสมของภาชนะบรรจุสารตัวอย่างสำหรับสารตัวอย่างแต่ละชนิด เพื่อทำการวัดความหนาแน่นโดยวิธีนิวเคลียร์ได้ตามตารางที่ 3.3 และ 3.4

10. **วัดแบคกราวน์ของภาชนะที่มีความจุเหมาะสม** โดยนำภาชนะเปล่าที่มีความจุเหมาะสมสำหรับใช้บรรจุสารตัวอย่างแต่ละชนิด มาวางด้านหน้าของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีที่ละความจุ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วทำการวัดค่าแบคกราวน์ของภาชนะ โดยใช้เวลาในการวัด 4 นาที ทำการวัด 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยเป็น cpm ดังผลที่ได้ดังนี้

ความจุของภาชนะที่เหมาะสม ($ซม.^3$)	แบคกราวน์ (cpm)
8657.58	466
14379.80	543
20860.61	555
34081.57	517

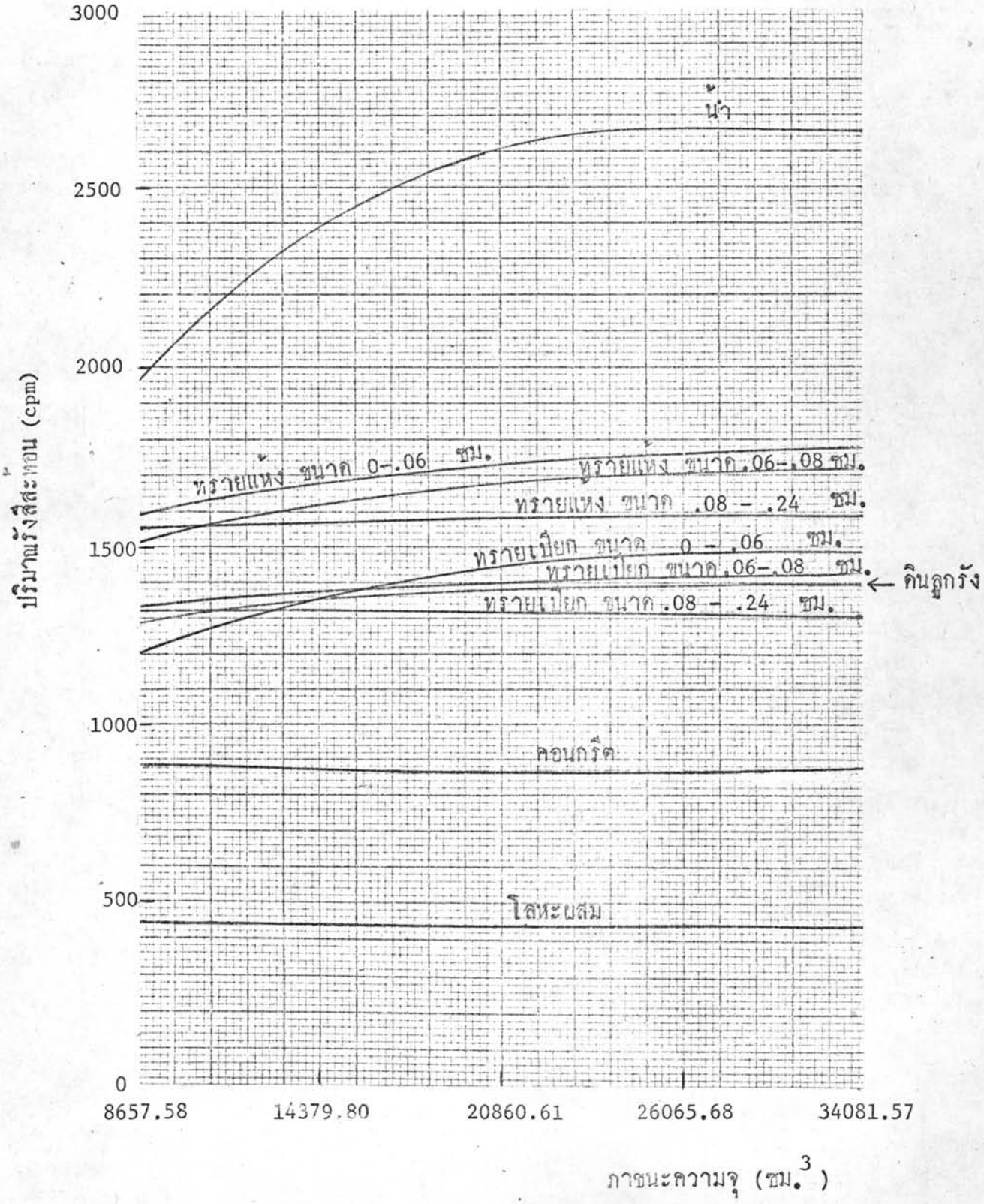
ตารางที่ 3.1 ปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย เมื่อบรรจุในภาชนะแต่ละความจุ

สารตัวอย่าง	ปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะ (cpm)				
	ภาชนะความจุ 8657.58 ซม.^{3} มีความหนา 15 ซม.	ภาชนะความจุ 14379.80 ซม.^{3} มีความหนา 25 ซม.	ภาชนะความจุ 20860.61 ซม.^{3} มีความหนา 35 ซม.	ภาชนะความจุ 26065.68 ซม.^{3} มีความหนา 45 ซม.	ภาชนะความจุ 34081.57 ซม.^{3} มีความหนา 55 ซม.
น้ำ	1964	2406	2606	2606	2653
ทรายแห้ง ขนาด 0 - .06 ซม.	1591	1690	1713	1757	1772
ทรายแห้ง ขนาด .06 - .08 ซม.	1513	1640	1695	1695	1722
ทรายแห้ง ขนาด .08-.24 ซม.	1502	1607	1563	1599	1578
ทรายเปียก ขนาด 0 - .06 ซม.	1366	1149	1447	1476	1499
ทรายเปียก ขนาด .06-.08 ซม.	1353	1364	1409	1389	1415
ทรายเปียก ขนาด .08-.24 ซม.	1313	1335	1319	1335	1287
ดินลูกรัง	1294	1409	1389	1454	1336
คอนกรีต	869	855	880	-	-
โลหะผสม	458	415	437	-	-

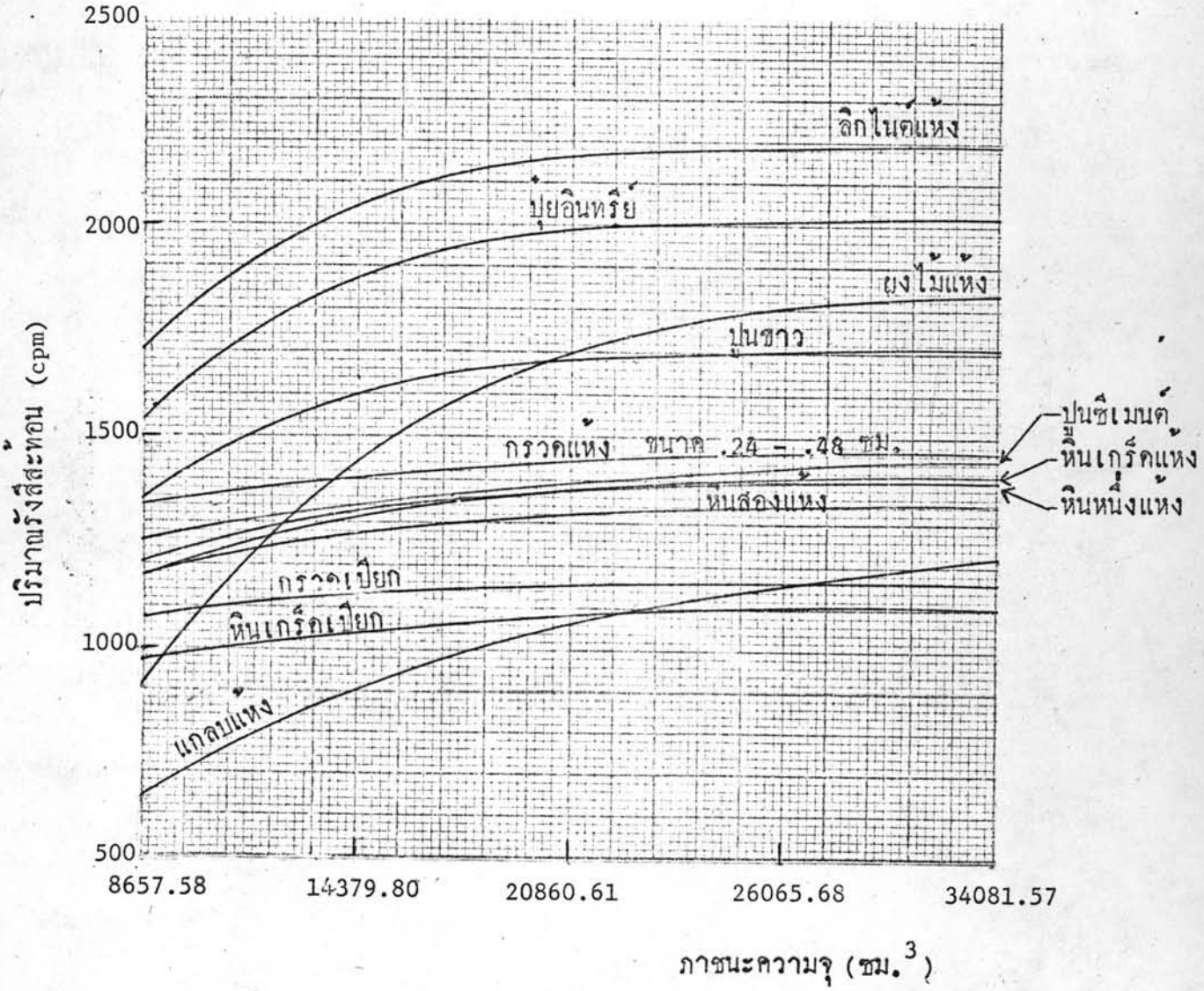
ตารางที่ 3.2 ปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก เมื่อบรรจุในภาชนะแต่ละความจุ

สารตัวอย่าง	ปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะ (cpm)				
	ภาชนะความจุ 8657.58 ซม.^{3} มีความหนา 15 ซม.	ภาชนะความจุ 14379.80 ซม.^{3} มีความหนา 25 ซม.	ภาชนะความจุ 20860.61 ซม.^{3} มีความหนา 35 ซม.	ภาชนะความจุ 26065.68 ซม.^{3} มีความหนา 45 ซม.	ภาชนะความจุ 34081.57 ซม.^{3} มีความหนา 55 ซม.
แกลบแห้ง	638	904	1031	1159	1259
ผงไม้แห้ง	904	1466	1641	1815	1826
ปูนขาว	1362	1605	1653	1705	1712
ลิกไนต์แห้ง	1700	2121	2140	2176	2226
ปุ๋ยอินทรีย์	1480	1941	1980	2005	2033
ปูนซีเมนต์	1265	1323	1373	1462	1369
หินเกร็ดแห้ง	1173	1291	1372	1393	1410
กรวดแห้ง ขนาด .24 - .48	1352	1402	1409	1417	1465
หินหนึ่งแห้ง	1237	1303	1409	1346	1373
หินเกร็ดเปียก	1091	966	1114	1072	1159
กรวดเปียก ขนาด .24-.48 ซม.	1099	1137	1160	1154	1145
หินสองแห้ง	1187	1261	1325	1304	1346

รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีสะท้อน (cpm) จากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย และค่าความจุของภาชนะ (ซม.^{3})



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีสะท้อน (cpm) จากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก และค่าความจุของภาชนะ (ซม.^{3})



ตารางที่ 3.3 แสดงความจุของภาชนะที่เหมาะสม แต่ละชนิด ของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย โดยพิจารณาเลือกจากตารางที่ 3.1 และรูปประกอบที่ 3.3

สารตัวอย่าง	ความจุของภาชนะที่เหมาะสม ($ซม.^3$)	ความหนาของภาชนะ (ซม.)
น้ำ	34081.57	55
ทรายแห้ง ขนาด 0 - .06 ซม.	20860.61	35
ทรายแห้ง ขนาด .06 - .08 ซม.	20860.61	35
ทรายแห้ง ขนาด .08 - .24 ซม.	20860.61	35
ทรายเปียก ขนาด 0 - .06 ซม.	20860.61	35
ทรายเปียก ขนาด .06 - .08 ซม.	20860.61	35
ทรายเปียก ขนาด .08 - .24 ซม.	20860.61	35
ดินลูกรัง	20860.61	35
คอนกรีต	14379.80	25
โลหะผสม	8657.58	15

ตารางที่ 3.4 แสดงความจุของภาชนะที่เหมาะสม แต่ละชนิด ของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก โดยพิจารณาเลือกจากตารางที่ 3.2 และรูปประกอบที่ 3.4

สารตัวอย่าง	ความจุของภาชนะที่เหมาะสม ($ซม.^3$)	ความหนาของภาชนะ (ซม.)
แกลบแห้ง	34081.57	55
ผงไม้แห้ง	34081.57	55
ปูนขาว	34081.57	55
ลิกไนต์แห้ง	34081.57	55
ปุ๋ยอินทรีย์	34081.57	55
ปูนซีเมนต์	34081.57	55
หินเกร็ดแห้ง	20860.61	35
กรวดแห้ง ขนาด .24 - .48 ซม.	20860.61	35
หินหนึ่งแห้ง	20860.61	35
หินเกร็ดเปียก	20860.61	35
กรวดเปียก ขนาด .24 - .48 ซม.	20860.61	35
หินสองแห้ง	20860.61	35

3.8 การวัดความหนาแน่นของสารตัวอย่าง

สำหรับการวิจัยนี้จะดำเนินวิธีการวัดค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างเพียง 2 วิธี คือ

3.8.1 การวัดความหนาแน่นโดยวิธีพื้นฐาน (Determination of Density by Conventional Method) มีวิธีการวัดความหนาแน่นเป็นลำดับ ดังนี้

1. นำสารตัวอย่างที่ต้องการจะทำการวัดความหนาแน่นมาใส่ภาชนะความจุใด ๆ

2. ชั่งน้ำหนักของภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วบันทึกค่าไว้

3. จากค่าน้ำหนักของภาชนะเปล่า และปริมาตรของที่ว่างภายในภาชนะซึ่งวัดค่าไว้แล้วตามข้อ 3.4 จะคำนวนค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างได้จากสูตรคำนวณค่าความหนาแน่น

$$D = \frac{M}{V} \qquad \text{-----(3.2)}$$

M = มวลสารของสารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะ
ค่ามวลสาร M นี้ ใช้น้ำหนักสุทธิของสารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะมาแทนค่าได้เลย โดยใช้หน่วยน้ำหนักเป็นกรัม (gm.)

V = ปริมาตรของสารตัวอย่าง ใช้หน่วยเป็น ซม.^{3} (cm.^{3})

D = ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ใช้หน่วยเป็น กรัม/ซม.^{3} (gm./cm.^{3})

3.8.2 การวัดความหนาแน่นโดยวิธีนิวเคลียร์ (Determination of Density by Nuclear Method)

การวัดความหนาแน่นของสารโดยวิธีนิวเคลียร์นั้น ไม่สามารถจะให้ค่าความหนาแน่นของสารออกมาโดยตรง ต้องมีวิธีดำเนินการเป็นลำดับ ดังนี้

1. สารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าความหนาแน่นจะต้องบรรจุในภาชนะที่มีความจุที่เหมาะสม โดยเลือกจากตารางที่ 3.3 และ 3.4

2. วัดค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะที่มีความจุเหมาะสม โดยใช้วิธีพื้นฐาน แล้วบันทึกค่าไว้

3. แบ่งสารตัวอย่างจากข้อ 2 นำมาหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water content) ตามวิธีการดังนี้

ก) แบ่งสารตัวอย่างบรรจุในภาชนะอลูมิเนียมขนาดเล็ก ใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งชั่งได้ละเอียดถึงจุดทศนิยม 3 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักของสารนั้นเป็นกรัม แล้วบันทึกค่าไว้

ข) นำภาชนะอลูมิเนียมซึ่งบรรจุสารตัวอย่างเข้าตู้อบที่ตั้งอุณหภูมิไว้สูงสุด $110^{o}c$ อบจนน้ำหนักของสารตัวอย่างคงที่

ค) นำภาชนะอลูมิเนียมดังกล่าวออกจากตู้อบ แล้วนำไปใส่ไว้ในภาชนะป้องกันความชื้น (Dessicator) รอให้เย็นลง จึงนำไปชั่งน้ำหนักเป็นกรัม แล้วบันทึกค่าไว้

ง) หาน้ำหนักสุทธิของสารตัวอย่างดังกล่าว ก่อนนำเข้าตู้อบ และหลังจากอบแล้วโดยหักน้ำหนักของภาชนะอลูมิเนียมออก แล้วนำค่าที่ได้ไปแทนในสูตร

$$\text{Water Content (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่มีในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักสุทธิของสารตัวอย่างหลังจากอบแล้ว}} \times 100 \quad \text{----(3.3)}$$

เมื่อน้ำหนักของน้ำที่มีในสารตัวอย่าง=น้ำหนักสุทธิของสารตัวอย่างก่อนนำเข้าตู้อบ – น้ำหนักสุทธิของสารตัวอย่างหลังจากอบแล้ว

4. นำภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่วัดความหนาแน่นของสารตัวอย่างโดยวิธีพื้นฐานแล้ว ไปวางด้านหน้าของต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสี ดังแสดงในรูปประกอบที่ 3.2 ดำเนินการวัดรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่าง โดยทำการวัด 3 ครั้ง ครั้งละ 4 นาที หาค่าเฉลี่ยเป็น cpm แล้วบันทึกค่าไว้

5. ทำการวัดรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างทุกชนิดที่บรรจุในภาชนะที่มีความจุที่เหมาะสม โดยดำเนินการตามวิธีดังกล่าวข้างต้น

6. จากการดำเนินการตามวิธีดังกล่าวแล้วนั้น จะได้ความหนาแน่นของสารตัวอย่างทุกชนิดที่วัดโดยวิธีพื้นฐาน และปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าวโดยหักค่าแบคกราวน์ของภาชนะออกแล้ว ทำแต่ละเปอร์เซ็นต์ของความชื้นของสารตัวอย่าง ดังผลที่ได้ตามตารางที่ 3.5 และ 3.6

7. จากตารางที่ 3.6 ซึ่งแสดงผลการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่ทราบค่าความหนาแน่นแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่วัดได้ ในกรณีของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก จะแบ่งสารตัวอย่างดังกล่าวออกเป็นสารตัวอย่างที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าหนึ่ง และสารตัวอย่างที่มีความหนาแน่นมากกว่าหนึ่งโดยเลือกค่าออกมา ดังตารางที่ 3.7 และ 3.8

8. จากตารางที่ 3.5 3.7 และ 3.8 สร้างรูปปรับเทียบ (Calibration curve) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย และปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างดังกล่าววัดค่าเป็น cpm ดังผลที่ได้ตามเส้นรีเกรสชั่น (Regression Line) ซึ่งคำนวณตำแหน่งจากสมการรีเกรสชั่น (Regression Equation) ดังรูปประกอบที่ 3.5 3.6 และ 3.7

9. สารใดที่ต้องการทราบค่าความหนาแน่นจะถูกนำมาบรรจุในภาชนะที่มีความจุที่เหมาะสม แล้วนำไปวางด้านหน้าของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ทำการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างดังกล่าว 3 ครั้ง ๆ ละ 4 นาที หาค่าเฉลี่ยเป็น cpm แล้วหักค่าแบคกราวน์ออก ค่า cpm ที่ได้จะเป็นปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารที่ต้องการทราบค่าความหนาแน่น

10. จะต้องพิจารณาสารที่จะนำมาวัดค่าความหนาแน่นเสียก่อนว่าจัดเข้าอยู่ในประเภทสารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย สารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมากที่มีความหนาแน่นมากกว่าหนึ่ง หรือสารที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมากที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าหนึ่ง เพื่อที่จะเลือกใช้รูปปรับเทียบให้เหมาะสมกับลักษณะประกอบของสาร

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนน้อย ที่ทราบค่าความหนาแน่น แต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่วัดได้

สารตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3})	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm)	ความชื้น (%)
น้ำ	1.00	2070	100
ทรายแห้ง			
ขนาด 0 - .06 ซม.	1.57	1217	0.10
ทรายแห้ง			
ขนาด .06-.08 ซม.	1.58	1226	0.13
ทรายแห้ง			
ขนาด .08-.24 ซม.	1.65	989	0.13
ดินลูกรัง	1.81	747	1.33
ทรายเปียก			
ขนาด 0 - .06 ซม.	1.94	938	16.93
ทรายเปียก			
ขนาด .06-.08 ซม.	1.98	803	17.03
ทรายเปียก			
ขนาด.08-.24 ซม.	2.00	785	17.68
คอนกรีต	2.34	350	3.49
โลหะผสม	2.43	0	0.10

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ที่ทราบค่าความหนาแน่นแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่วัดได้

สารตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กรัม/ซม.^{3})	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ (cpm)	ความชื้น (%)
แกลบแห้ง	0.14	635	6.65
ผงไม้แห้ง	0.33	1342	9.64
ปูนขาว	0.84	1120	13.41
ลิกไนต์แห้ง	0.97	1615	10.03
ปุ๋ยอินทรีย์	0.99	1463	32.23
ปูนซีเมนต์	1.45	837	0.04
หินเกร็ดแห้ง	1.61	855	0.05
หินสองแห้ง	1.65	699	0.36
กรวดแห้ง ขนาด .24-.48 ซม.	1.66	830	0.86
หินหนึ่งแห้ง	1.67	743	0.10
หินเกร็ดเปียก	1.98	590	20.87
กรวดเปียก ขนาด .24-.48 ซม.	2.03	620	18.00

11. นำค่า cpm ของปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิที่ได้ไปเทียบค่าความหนาแน่นโดยประมาณ จากรูปปรับเทียบที่เลือกใช้ และเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง แทนค่า cpm สุทธิลงในสมการรีเกรสชั่น เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่นที่ถูกต้อง

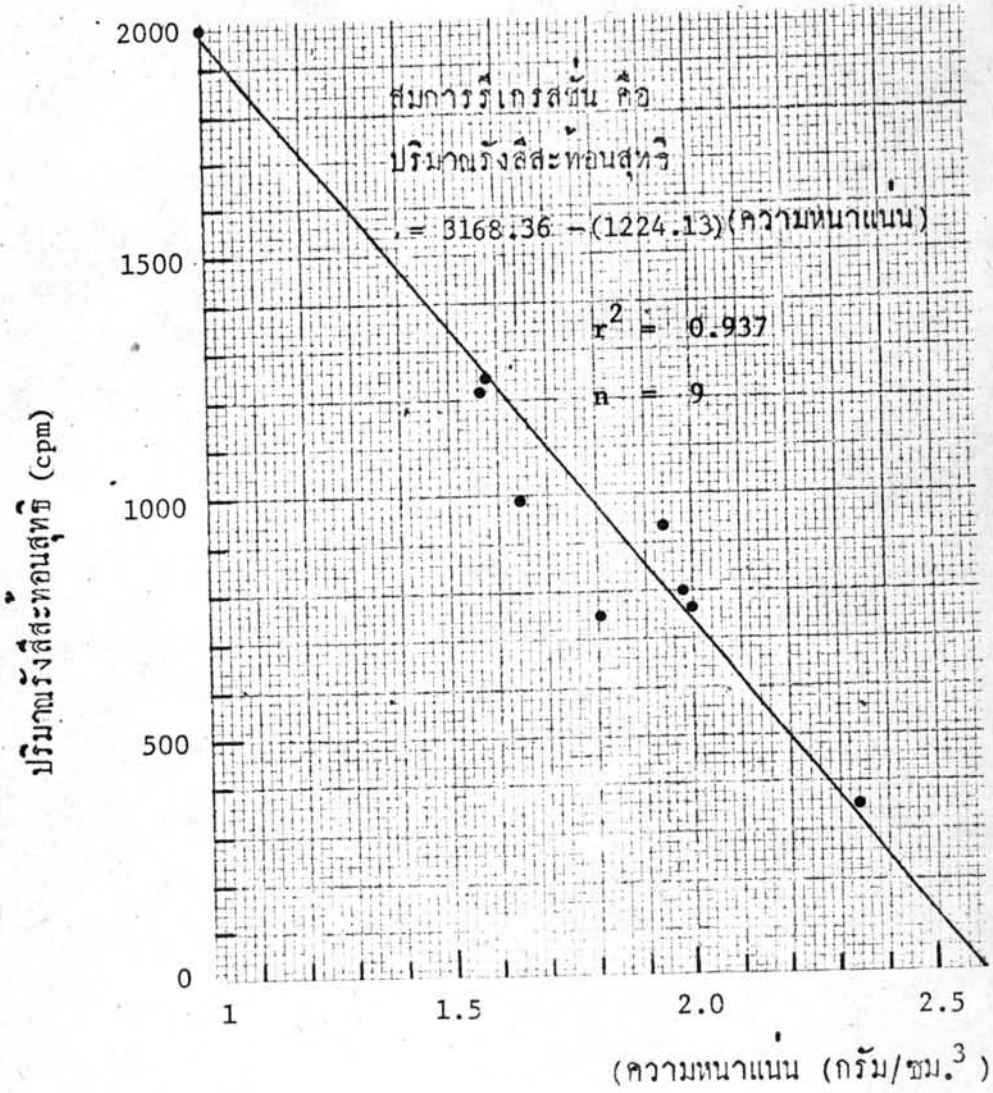
ตารางที่ 3.7 แสดงผลการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก และมีความหนาแน่นน้อยกว่าหนึ่ง ที่ทราบค่าความหนาแน่นแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่วัดได้

สารตัวอย่าง	ความหนาแน่น กรัม/ซม.^{3}	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ cpm	ความชื้น %
แกลบแห้ง	0.14	635	6.65
ผงไม้แห้ง	0.33	1342	9 .64
ปูนขาว	0.84	1120	13.41
ลิกไนต์แห้ง	0.97	1615	10.03
ปุ๋ยอินทรีย์	0.99	1463	32.23

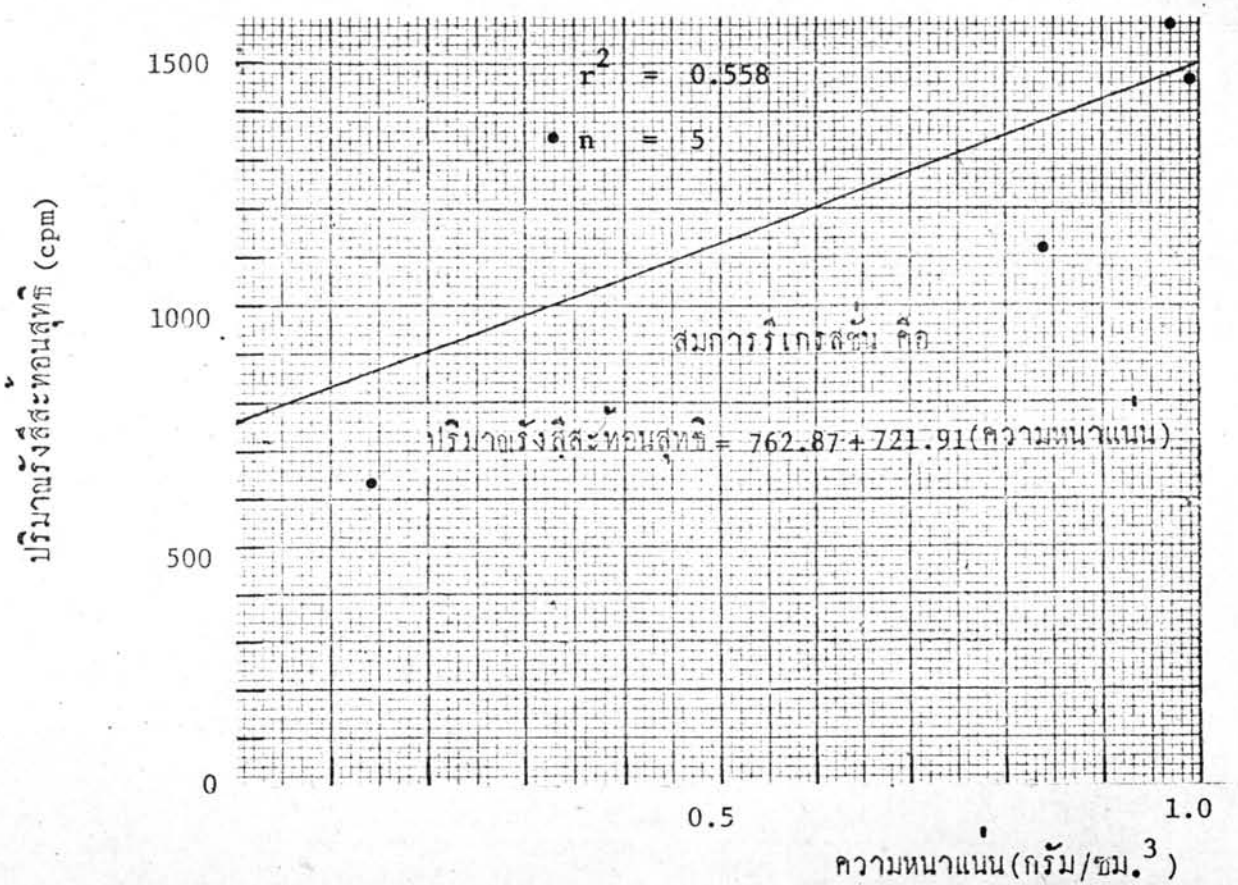
ตารางที่ 3.8 แสดงผลการวัดปริมาณรังสีสะท้อนจากสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก และมีความหนาแน่นมากกว่าหนึ่ง ที่ทราบค่าความหนาแน่นแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่วัดได้

สารตัวอย่าง	ความหนาแน่น กรัม/ซม.^{3}	ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ cpm	ความชื้น %
ปูนซีเมนต์	1.45	837	0.04
หินเกร็ดแห้ง	1.61	855	0.05
หินสองแห้ง	1.65	699	0.36
กรวดแห้ง ขนาด .24-.48 ซม.	1.66	830	0.86
หินหนึ่งแห้ง	1.67	743	0.10
หินเกร็ดเปียก	1.98	590	20.87
กรวดเปียก ขนาด .24-.48 ซม.	2.03	620	18.00

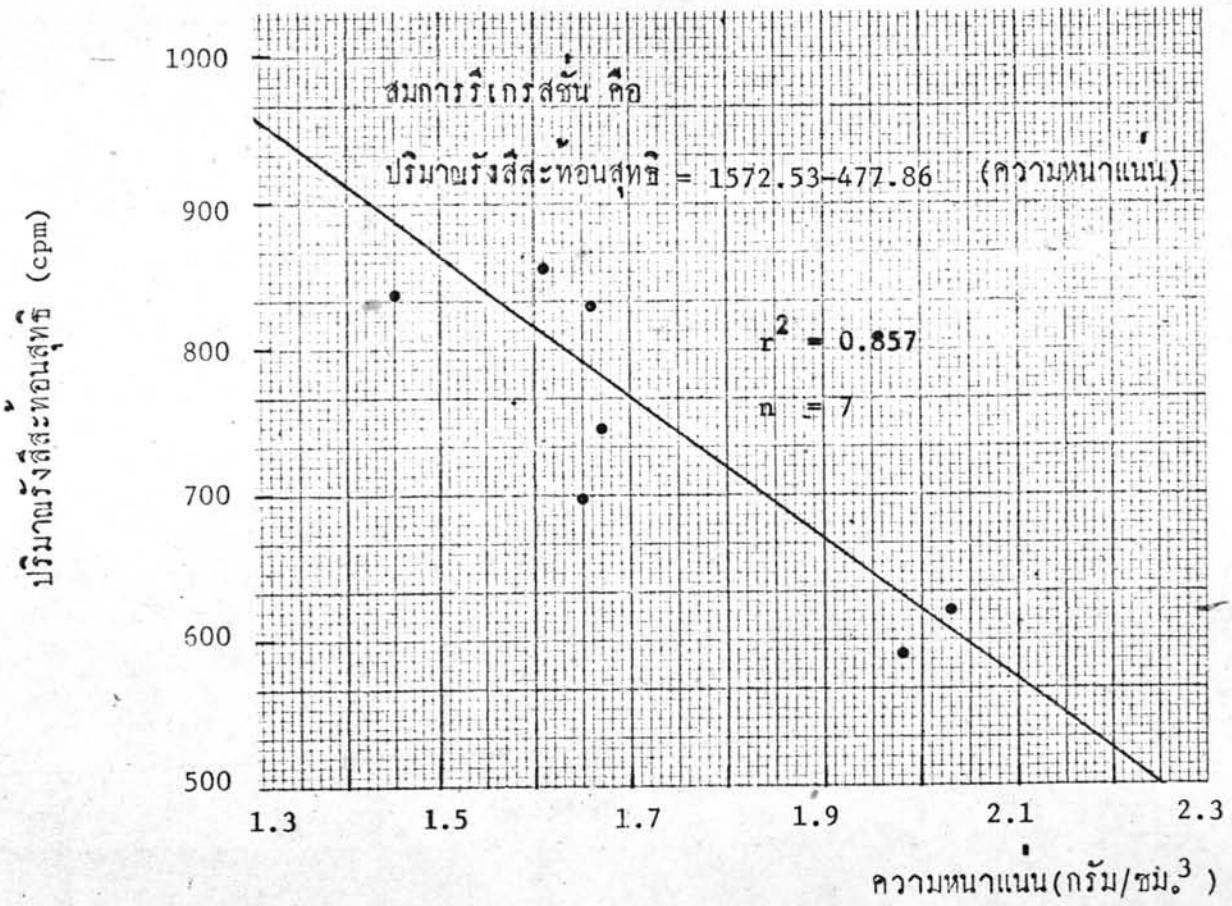
หมายเหตุ หินสองแห้งมีขนาดใหญ่และรูปร่างไม่คงที่ เมื่อบรรจุลงในภาชนะจึงมีที่ว่างระหว่างมวลมาก ปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจึงคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีมาก เมื่อเทียบกับปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิจากสารตัวอย่างชนิดอื่น จึงพิจารณาตัดหินสองแห้ง ออกจากการวิจัย



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ และความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ที่มีลักษณะประกอบ แบบรูพรุนน้อย



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ และความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าหนึ่ง



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีสะท้อนสุทธิ และความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่มีลักษณะประกอบแบบรูพรุนมาก ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าหนึ่ง