บทที่ 4

วิธีดำเนินการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

4.1 วิธีการและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างโปรบวัดความชื้นด้วยรังสีนิวตรอน เพื่อใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง โดยที่เครื่องวัดจะต้องสามารถใช้งานได้สะดวกในภาคสนามและให้ผลออกมารวดเร็ว รวมทั้งไม่เป็นการทำลายวัสดุที่นำมาตรวจสอบ ดังนั้นการทดลองนี้จึงมุ่งที่จะสร้างอุปกรณ์วัดความชื้นแบบที่ใช้วัดความชื้นระดับพื้นผิว (surface gauge) โดยอาศัยหลักการสะท้อนและลดพลังงานของนิวตรอนเมื่อชนกับโมเลกุลของน้ำ

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

4.1.1 ศึกษาการจัดต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดนิวตรอน

4.1.2 ออกแบบและสร้างกำบังรังสีของโปรบวัดความชื้น

4.1.3 ศึกษาความหนาวิกฤตและพื้นที่วิกฤตของวัสดุต่างๆที่ต้องการวัดความชื้น

4.1.4 สร้างกราฟปรับเทียบสำหรับวัสดุต่างๆที่ต้องการวัดความชื้น

4.1.5 ประกอบโปรบวัดความชื้นเข้ากับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้ว และทำการทดสอบแก้ไข

4.1.6 ทดสอบเครื่องวัดความชื้นในภาคสนาม

4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนชนิดอเมอริเซียม-เบอริลเลียม (americium-beryllium) ความแรง 30 มิลลิคูรี (1.11 จิกะเบคเคอเรล ,GBq) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5เซนติเมตร สูง 1.5 เซนติเมตร

4.2.2 หัววัดนิวตรอนพลังงานต่ำแบบบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2.5 เซนติเมตร ยาว 26.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูป 4.1

4.2.3 ชุดนับรังสีที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย (ดูรูป 4.2)

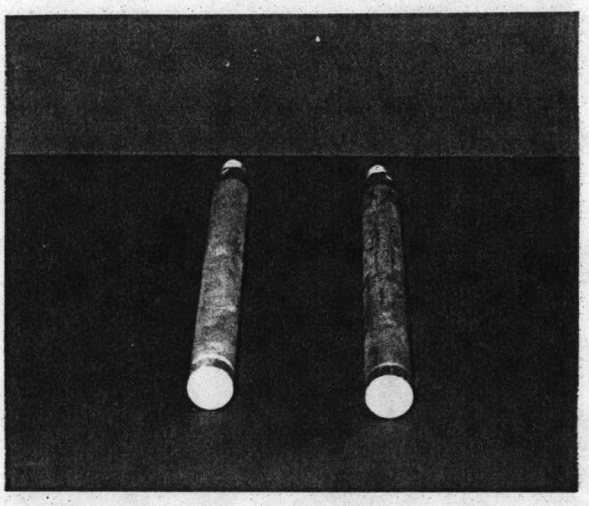
4.2.3.1 NIM BIN Power Supply แบบ ORTEC 400 1C / 400 2A

4.2.3.2 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (High Voltage Power Supply) แบบ ORTEC 556

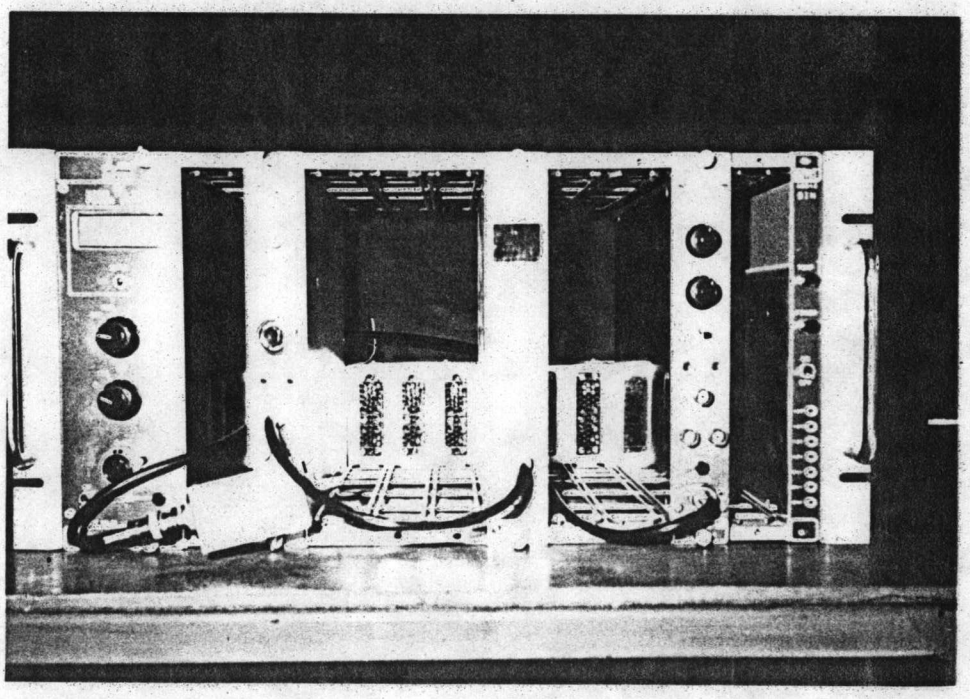
4.2.3.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณและตัดสัญญาณรบกวน (amplifier and discriminator) แบบ PAD 814

4.2.3.4 อุปกรณ์นับรังสี (counter) แบบ ORTEC 875

4.2.3.5 เครื่องตั้งเวลา (timer) แบบ ORTEC 719

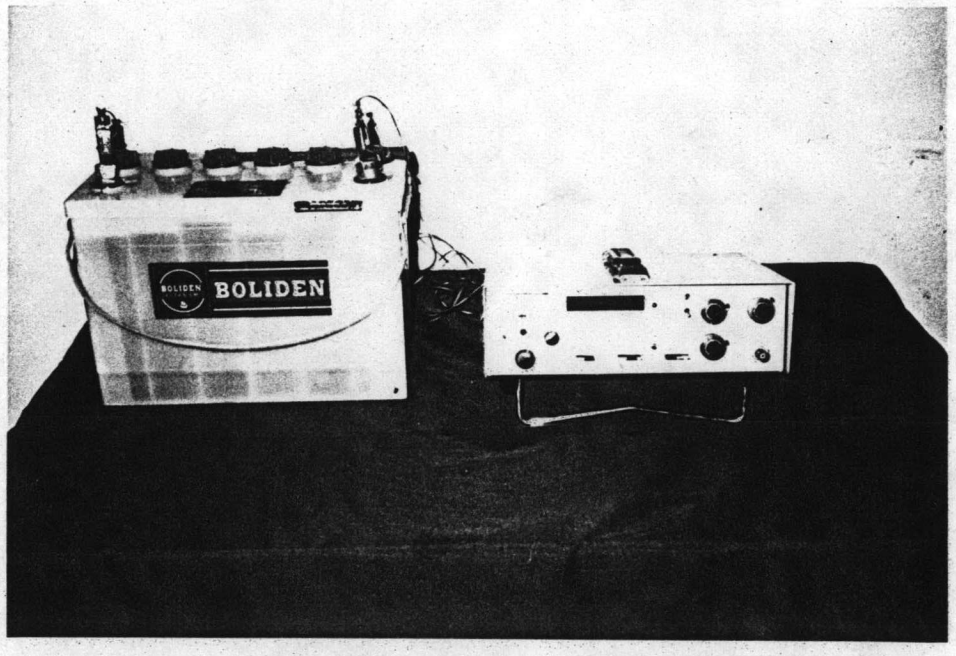


รูป 4.1 หัววัดนิวตรอนช้า(BF_3)



รูป 4.2 ชุดนับรังสีที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ

4.2.4 เครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้วแบบ Eberline : MS-2 พร้อมแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์



รูป 4.3 เครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้วพร้อมแบตเตอรี่

4.2.5 แผ่นพาราฟินขนาดต่างๆ ได้แก่ ขนาด 60x60x5 เซนติเมตร และขนาด 14x20x2.5 เซนติเมตร

4.2.6 ฟองน้ำขนาด 18x19x10 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

4.2.7 อิฐมอญขนาด 6.5x15x3.5 เซนติเมตร จำนวน 60 ก้อน

4.2.8 ตัวอย่างดินลูกรัง จำนวนประมาณ 260 กิโลกรัม

4.2.9 วัสดุที่ใช้ประกอบหัววัดรังสีนิวตรอนและภาชนะบรรจุหัววัดนิวตรอน ได้แก่

4.2.9.1 ก้อนพาราฟินหนักประมาณ 27 กิโลกรัม

4.2.9.2 ผงกรดโบริค (boric acid powder, $B_2O_3.3H_2O$) ประมาณ 10 กิโลกรัม

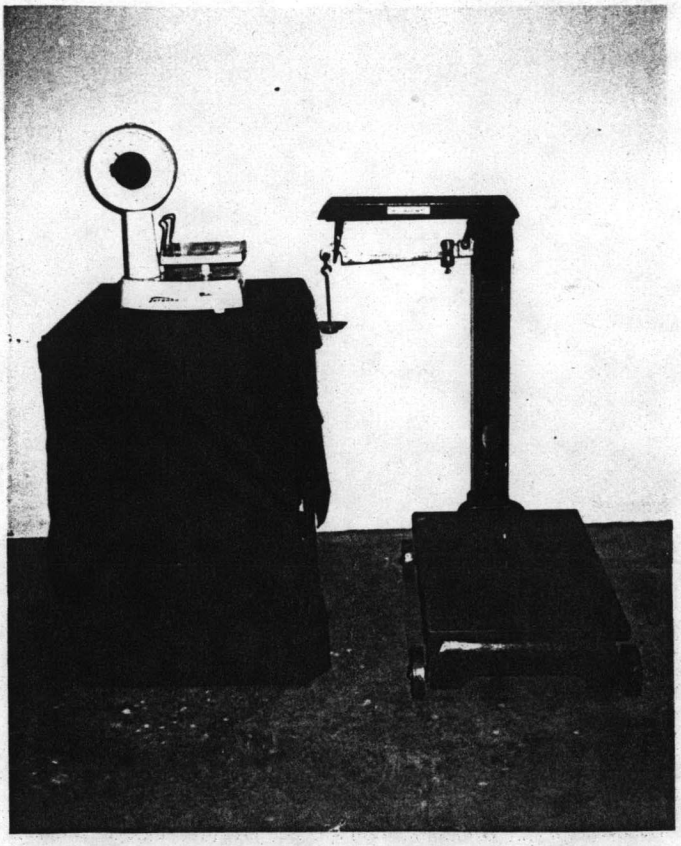
4.2.9.3 แผ่นเหล็กขนาดหนา 1.2 มิลลิเมตร

4.2.9.4 แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 1.2 มิลลิเมตร

4.2.10 เครื่องชั่ง 2 ขนาด ได้แก่ (ดังรูป 4.4)

4.2.10.1 ขนาดชั่งได้ไม่เกิน 4 กิโลกรัม ความละเอียด 10 กรัม

4.2.10.2 ขนาดชั่งได้ไม่เกิน 500 กิโลกรัม ความละเอียด 100 กรัม



รูป 4.4 เครื่องชั่งทั้ง 2 ขนาดที่ใช้ในการทดลอง

4.2.11 อุปกรณ์และวัสดุอื่นๆ ได้แก่ ถังน้ำ โครงเหล็กสำหรับการจัดเรียงอิฐ แผ่นอลูมิเนียม แผ่นไม้อัด เป็นต้น

4.3 <u>ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง</u>

4.3.1 การหาศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีนิวตรอนพลังงานต่ำ

4.3.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่เหมาะสม ที่มีต่อหัววัดรังสีนิวตรอนพลังงานต่ำ ให้ได้จำนวนนับรังสีที่ถูกต้อง

4.3.1.2 อุปกรณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.5

4.3.1.3 วิธีดำเนินการทดลอง

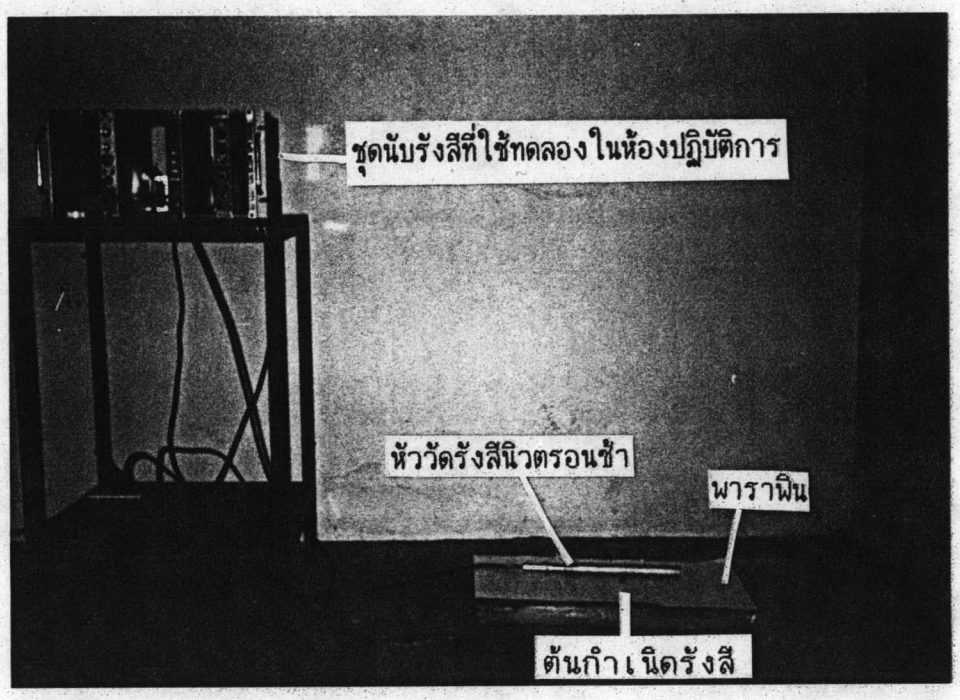
(1) จัดอุปกรณ์ดังรูป 4.5 โดยปรับตำแหน่งของอุปกรณ์ตัดสัญญาณรบกวนไปที่ 0.1 โวลท์ ปรับตำแหน่ง coarse gain ที่ 64 และ fine gain ที่ 1.0 ตามลำดับ

(2) เพิ่มปริมาณศักดาไฟฟ้าแรงสูงจาก 0 ไปที่ประมาณ 1000 โวลต์ แล้วนับจำนวนนับรังสีนิวตรอน ใช้เวลานับ 100 วินาที บันทึกจำนวนนับรังสีไว้

(3) ค่อยๆเพิ่มศักดาไฟฟ้าแรงสูงครั้งละ 50 โวลท์ บันทึกจำนวนนับรังสีที่ปริมาณของศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่เพิ่มขึ้นควบคู่กันไป โดยใช้เวลาตำแหน่งละ 100 วินาทีเช่นเดิม ผลการทดลองแสดงไว้

ในตาราง 5.1

(4) เลือกศักดาไฟฟ้าแรงสูงช่วงที่อัตราการนับรังสีคงที่ ที่ประมาณ 25% จากจุดเริ่มต้นของช่วงดังกล่าว



รูป 4.5 ชุดนับรังสีในห้องปฏิบัติการพร้อมหัววัดนิวตรอนช้า (BF_3) วางบนแผ่นพาราฟินควบคู่กับต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน

4.3.2 การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน

4.3.2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาตำแหน่งในการวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน โดยพิจารณาจากจำนวนนับรังสีที่ได้เมื่อวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้แผ่นพาราฟินเป็นวัสดุสะท้อนนิวตรอน

4.3.2.2 อุปกรณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.5

4.3.2.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) นำหัววัดรังสีวางลงบนแผ่นพาราฟิน ซึ่งวางอยู่สูงจากพื้น 2 ฟุต และวางต้นกำเนิดรังสีไว้ตามตำแหน่งต่างๆบนพาราฟิน ตามที่แสดงเครื่องหมาย ไว้ในรูป 4.6 นับจำนวนนับรังสีตำแหน่งละ 100 วินาที

(2) นำแผ่นพาราฟินออกและนับจำนวนนับรังสีตามตำแหน่งต่างๆเป็นเวลา 100 วินาที

เช่นเดียวกับหัวข้อ (1)

(3) คำนวณจำนวนนับรังสีสุทธิ จากจำนวนนับรังสีในหัวข้อ (1) ลบด้วยที่ได้ในหัวข้อ (2) ผลการทดลองแสดงไว้ในตาราง 5.2 และกราฟรูป 5.1

4.3.3 ศึกษาผลของระยะห่างระหว่างระนาบของหัววัดรังสีนิวตรอนและต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนกับชิ้นงานที่ต้องการวัดความชื้น

4.3.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของระยะห่างระหว่างระนาบของหัววัดรังสีนิวตรอนและต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนกับชิ้นงานที่ต้องการวัดความชื้น โดยใช้แผ่นพาราฟินแทนชิ้นงาน เพื่อเปรียบเทียบกับการวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนและหัววัดรังสีนิวตรอนกับแผ่นพาราฟิน ดังได้ทำการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา โดยการทดลองนี้ได้เลือกวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ระยะห่าง 13 เซนติเมตรจากปลายหัววัดรังสีนิวตรอน เนื่องจากได้ค่าจำนวนนับสุทธิสูงสุด

4.3.3.2 อุปกรณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.5

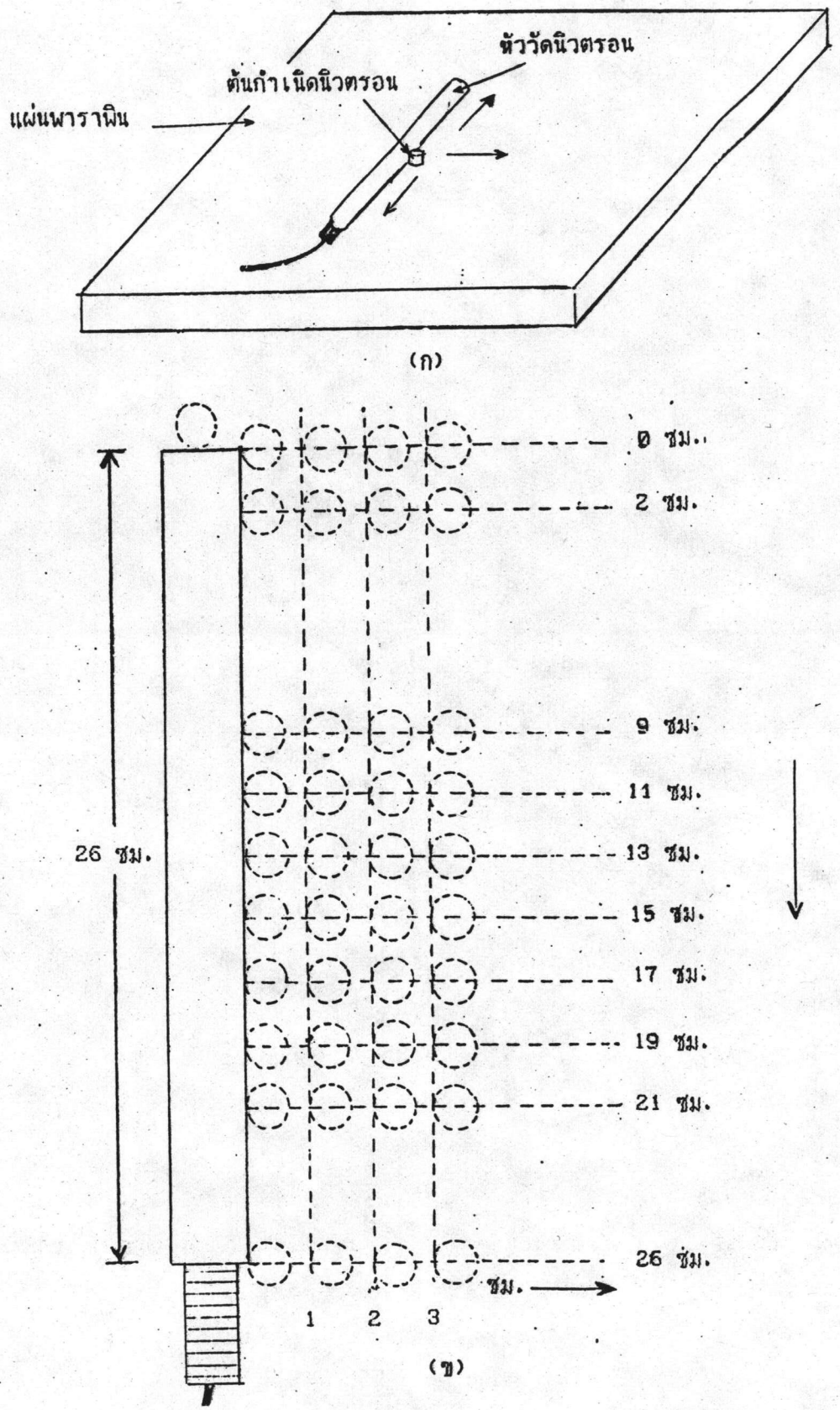
4.3.3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) วางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนและหัววัดรังสีนิวตรอน ให้อยู่ห่างจากพาราฟิน Ø เซนติเมตรหรือชิดแผ่นพาราฟิน นับรังสีเมื่อระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนกับหัววัดรังสีนิวตรอน (ระยะ x ตามรูป 4.7) เท่ากับ Ø , 1 , 2 , และ 4 เซนติเมตรตามลำดับ โดยใช้เวลานับรังสี 100 วินาที

(2) ทำการทดลองเช่นเดียวกับในขั้นตอนที่ผ่านมา โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนและหัววัดรังสีนิวตรอนถึงแผ่นพาราฟินเป็น Ø.5 เซนติเมตร และ 1 เซนติเมตรตามลำดับ

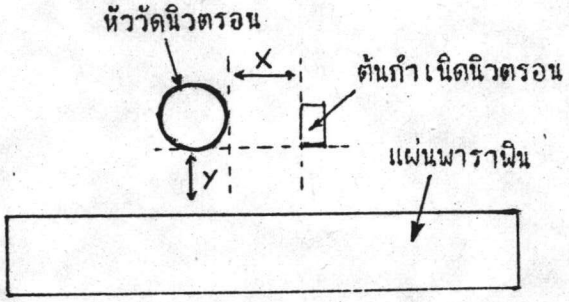
(3) ทำการนับรังสีที่ระยะต่างๆดังกล่าวโดยไม่มีแผ่นพาราฟิน

(4) คำนวณจำนวนนับรังสีสุทธิ ผลการทดลองแสดงไว้ในกราฟรูป 5.2



รูป 4.6 (ก) ลักษณะการวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนและหัววัดรังสีนิวตรอนบนแผ่นพาราฟิน

(ข) ตำแหน่งที่วางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน



X = Ø , 1 , 2 เซนติเมตร

Y = Ø , Ø.5 , 1 เซนติเมตร

รูป 4.7 การจัดอุปกรณ์การทดลองหาระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสี-หัววัด-ชิ้นงาน

4.3.4 ศึกษาการเพิ่มปริมาณรังสีสะท้อนโดยการลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูง

4.3.4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มปริมาณรังสีสะท้อน ในกรณีของการวัดความชื้นระดับพื้นผิวของวัสดุที่มีความหนาน้อย โดยการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการจัดระบบวัดความชื้นด้วยวิธีการใช้นิวตรอนพลังงานสูง และการลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงก่อนด้วยเนื้อของพาราฟิน และแพร่กระจายมาทำอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำที่แทรกในเนื้อวัสดุ รวมกับนิวตรอนสูงที่ทำอันตรกิริยาโดยตรง จะทำให้ผลรวมของปริมาณรังสีสะท้อนเพิ่มขึ้น

4.3.4.2 อุปกรณ์ ประกอบด้วยชุดเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.5 แต่ใช้ฟองน้ำแทนแผ่นพาราฟิน

4.3.4.3 วิธีดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

(1) วิธีวัดโดยใช้นิวตรอนพลังงานสูง

(1.1) นำแผ่นฟองน้ำที่แห้งสนิท ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งขนาดไม่เกิน 4 กิโลกรัม ดังรูป 4.4 บันทึกน้ำหนักแห้งของฟองน้ำ จากนั้นนำถาดอลูมิเนียมชั่งและบันทึกไว้ เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นในภายหลัง

(1.2) นำแผ่นฟองน้ำไปแช่น้ำจนชุ่ม นำมาใส่ถาดอลูมิเนียมแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักรวมไว้ จากนั้นนำมาวางบนชั้นของโครงเหล็กซึ่งดัดแปลงเป็นชั้นวางสิ่งของได้

(1.3) จัดอุปกรณ์ดังรูป 4.8(ก) เพื่อนับจำนวนรังสี ใช้เวลานับ 100 วินาที

(1.4) นำแผ่นฟองน้ำมาบีบเพื่อเอาน้ำออกบางส่วน นำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักรวมไว้ จากนั้นนำมานับจำนวนนับรังสีเช่นเดิม บันทึกค่าที่ได้

(1.5) ทำการทดลองซ้ำในข้อ (1.4) จนน้ำในฟองน้ำเกือบแห้งสนิท จนไม่สามารถบีบน้ำให้ออกได้

(1.6) คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟองน้ำในแต่ละตำแหน่ง ดังสมการต่อไปนี้

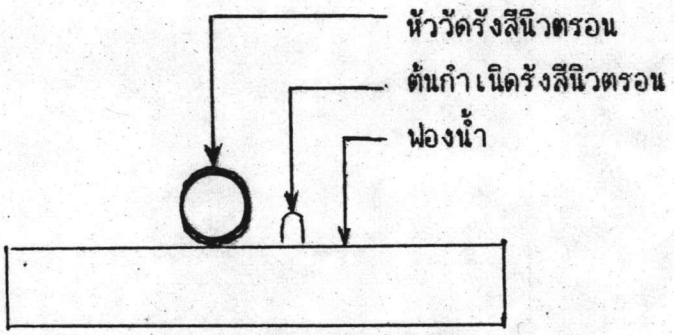
(22,24,25,26,28)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟองน้ำ} = \frac{(u_2 - u_1) \times 100}{u_1}$$

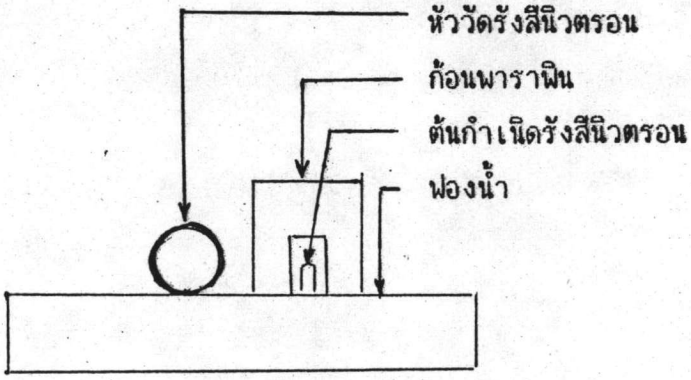
u_1 = น้ำหนักแห้งสนิทของฟองน้ำ

u_2 = น้ำหนักเปียกของฟองน้ำสุทธิ โดยคำนวณจาก
น้ำหนักรวมของฟองน้ำเปียกกับถาดอลูมิเนียม - น้ำหนักถาดอลูมิเนียม

ดังนั้นจะได้ข้อมูลระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของฟองน้ำต่างๆกับจำนวนนับรังสีของแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นคู่กัน



รูป 4.8 (ก) การจัดระบบวัดโดยใช้นิวตรอนพลังงานสูง



รูป 4.8 (ข) การจัดระบบวัดโดยลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงก่อน

(2) วิธีวัดโดยลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงก่อน

(2.1) หล่อพาราฟินเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดด้านละ 3 นิ้ว เจาะช่องตรงกลางหนึ่งด้านเพื่อเป็นที่สอดใส่ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนได้ จากนั้นนำต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนมาใส่ตรงช่องดังกล่าว

(2.2) จัดอุปกรณ์ดังรูป 4.8 (ข) และดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ(1) ทั้งหมด

ผลการทดลองได้แสดงในกราฟรูป 5.3

4.3.5 การประกอบต้นแบบโปรบวัดความชื้นระดับพื้นผิวแบบหัวเดี่ยว

4.3.5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเป็นต้นแบบที่จะสร้างโปรบวัดความชื้นที่สมบูรณ์ ต่อการนำไปใช้ในภาคสนามต่อไป

4.3.5.2 อุปกรณ์ ประกอบด้วย

(1) หัววัดรังสีนิวตรอนช้า ดังแสดงในรูป 4.1 จำนวน 1 หัว

(2) ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน (Am-Be)

(3) แผ่นโบรอนคาไบด์ (B_4C) ขนาดกว้าง 9.5 เซนติเมตร ยาว 12.5 เซนติเมตร และหนา 0.3 เซนติเมตร 1 แผ่น

(4) พาราฟินผสมผงกรดโบริค อัตราส่วน พาราฟินต่อผงกรดโบริค เป็น 2:1

(5) แผ่นอลูมิเนียมบาง , ไม้อัดหนา 0.8 เซนติเมตร

4.3.5.3 วิธีดำเนินการทดลอง

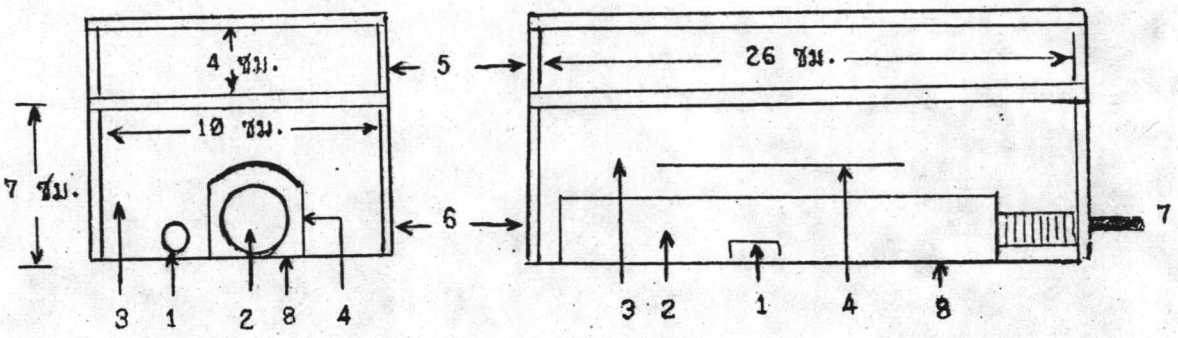
(1) ออกแบบโปรบวัดความชื้นระดับพื้นผิว ดังแสดงในรูป 4.9 เพื่อใช้เป็นต้นแบบศึกษาต่อวัสดุก่อสร้างที่ต้องการทดสอบ และการออกแบบหัววัดที่สมบูรณ์ต่อไป

(2) ประกอบต้นแบบโปรบ ซึ่งทำด้วยไม้อัดตามรูป 4.9 เพื่อประกอบเป็นโครงในการบรรจุอุปกรณ์ต่างๆ ยกเว้นด้านล่าง(ผิวของโปรบวัดความชื้น)จะเปิดทิ้งไว้

(3) ประกอบชิ้นส่วนที่เสื่อยเสร็จ จากนั้นหล่อพาราฟินผสมผงกรดโบริคในอัตราส่วน พาราฟินต่อผงกรดโบริคเป็น 2:1 เทส่วนผสมดังกล่าวลงในโครงไม้ด้านที่เปิดทิ้งไว้จนเต็ม รอจนเย็นตัว

(4) เจาะช่องตรงกลางเป็นทรงกระบอกตามยาว เพื่อบรรจุหัววัดและแผ่นโบรอน-คาไบด์ ตามรูป 4.9 หลังจากนั้นเจาะช่องเพื่อใส่ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน โดยให้อยู่กึ่งกลางหัววัด นำอุปกรณ์ดังกล่าวใส่ช่องที่ได้จัดเตรียมไว้แล้วนั้น

(5) นำแผ่นอลูมิเนียมบางมาปิดด้านพื้นซึ่งได้เปิดไว้ในตอนแรก เพื่อรองมิให้หัววัดต้นกำเนิดรังสีร่วงหล่นออกมา และลดผลกระทบอื่นๆที่รังสีนิวตรอนจะทำอันตรกิริยาแล้วมีผลต่อการนับรังสี และ การวัดความชื้น ผลการดำเนินการทดลองได้แสดงไว้ในรูป 5.4



1- ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน

2- หัววัดรังสีนิวตรอนพลังงานต่ำ

3- พาราฟินผสมผงกรดโบริคเพื่อบรรจุหัววัดรังสี ต้นกำเนิด และเป็นกำบังรังสี

4- แผ่นโบรอนคาไบด์เพื่อกันนิวตรอนพลังงานต่ำรบกวนหัววัด จะทำให้ค่าแบคกราวด์สูงขึ้นได้

5- มือจับ

6- โครงไม้ยึดส่วนประกอบภายในเข้าด้วยกัน

7- สายเคเบิลสำหรับจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงให้ขั้วของหัววัดรังสี และส่งสัญญาณพัลส์กลับไปยังเครื่องนับ

8- แผ่นอลูมิเนียมบางเพื่อรองพื้นโปรบวัดความชื้น และยึดอุปกรณ์ภายในให้อยู่กับที่

รูป 4.9 โครงสร้างและรายละเอียดของต้นแบบโปรบวัดความชื้นระดับพื้นผิว

4.3.6 ศึกษาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญ

4.3.6.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆ และศึกษาพื้นที่รองรับชั้นอิฐที่เหมาะสมที่จะไม่ทำให้ค่าความหนาวิกฤตผิดพลาด

4.3.6.2 อุปกรณ์ ประกอบด้วย

(1) ชุดนับรังสีดังแสดงในรูป 4.2 ประกอบกับต้นแบบของโปรบวัดความชื้น ซึ่งประกอบแล้วในหัวข้อการทดลองที่ 4.3.5 ดังรูป 5.1

(2) โครงเหล็กสำหรับการจัดเรียงอิฐมอญ พื้นโต๊ะทำงานซึ่งเป็นไม้ และพื้นห้องเป็นคอนกรีต

(3) อิฐมอญจำนวน 60 ก้อน

(4) มือจับพร้อมราวอลูมิเนียมยึด 1 ชุด (รูป 4.10)

(5) ถังน้ำ

4.3.6.3 วิธีดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

(1) ศึกษาผลกระทบของพื้นที่รองรับก้อนอิฐมอญ

(1.1) นำโปรบวัดความชื้นวางบนโต๊ะทดลอง นับจำนวนนับรังสีในเวลา 100 วินาที ทำซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกผล

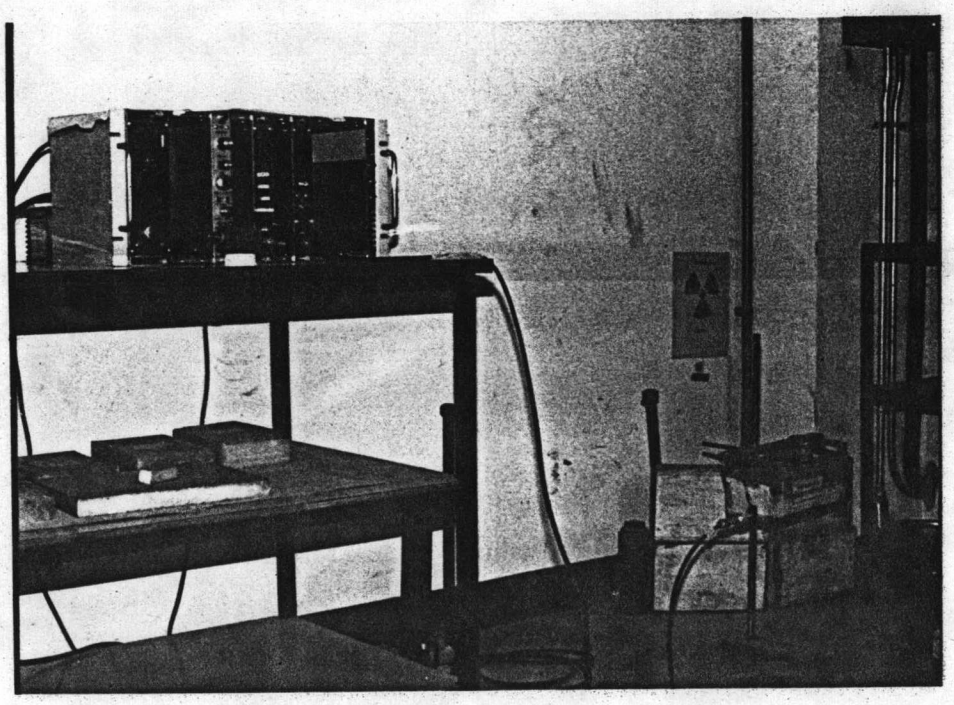
(1.2) ปรับโปรบวัดความชื้นให้หงายขึ้น เป็นการนับจำนวนรังสีในอากาศ ณ จุดเดิมของการทดลองที่ (1.1) นับจำนวนนับรังสีเช่นเดิม โดยทำซ้ำ 3 ครั้งๆละ 100 วินาที บันทึกผล

(1.3) นำโปรบวัดความชื้นวางบนพื้นห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นคอนกรีต นับจำนวนนับรังสีเช่นเดิม โดยทำซ้ำ 3 ครั้งๆละ 100 วินาที บันทึกผลที่ได้

(1.4) นำโปรบวัดให้สูงจากพื้นห้อง 30 เซนติเมตร เป็นการนับจำนวนนับรังสีในอากาศ ดังแสดงในรูป 4.10 นับจำนวนนับรังสี 3 ครั้งๆละ 100 วินาที บันทึกผลที่ได้

(1.5) นำโปรบวางบนโครงเหล็กซึ่งสูงประมาณ 80 เซนติเมตรจากพื้นห้อง ซึ่งเป็นการนับจำนวนนับรังสีในอากาศเช่นกัน นับจำนวนนับรังสี 3 ครั้งๆละ 100 วินาที บันทึกผลที่ได้

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.3



รูป 4.10 การนับรังสีในอากาศโดยยกโปรบวัดความชื้นสูงจากพื้นห้อง 30 เซนติเมตร

(2) ศึกษาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญ

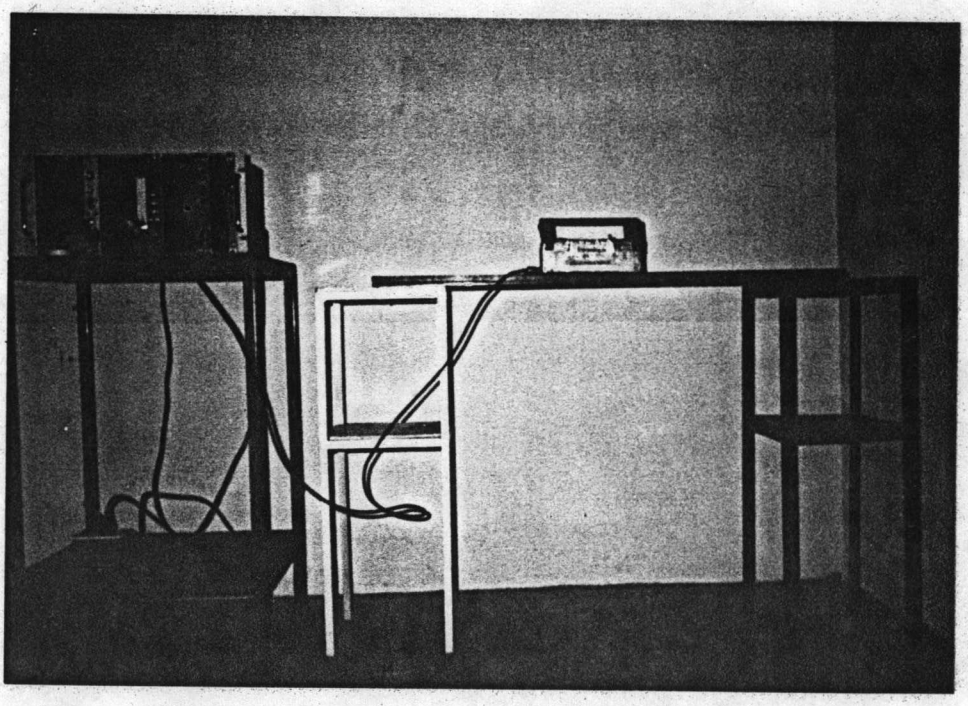
(2.1) จัดอุปกรณ์นับรังสีและโครงเหล็กดังรูป 4.11 โดยโครงเหล็กอยู่สูงจากพื้น

ห้องประมาณ 80 เซนติเมตร

(2.2) นำก้อนอิฐมอญแห้ง 60 ก้อน แช่น้ำ 24 ชั่วโมง (22) โดยชั่งน้ำหนักทั้งก่อนและหลังแช่น้ำ เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นภายในอิฐมอญ ดังสมการ (22)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นอิฐมอญ} = \frac{(\text{น้ำหนักอิฐมอญเปียก} - \text{น้ำหนักอิฐมอญแห้ง})}{\text{น้ำหนักอิฐมอญแห้ง}} \times 100$$

(2.3) จัดเรียงอิฐมอญบนโครงเหล็กซึ่งจัดไว้แล้ว (รูป 4.11) ดังแสดงในรูป 4.12 (ก) โดยนับจำนวนนับรังสี 3 ครั้งๆละ 100 วินาที บันทึกผลเป็นค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ครั้ง นำอิฐมอญออกแล้วนับจำนวนนับรังสีในอากาศ (แบคกราวนด์) ดังแสดงในรูป 4.11 1 ครั้ง ใช้เวลา 100 วินาที บันทึกผลการทดลอง



รูป 4.11 การจัดอุปกรณ์นับรังสีและโครงเหล็กสูงจากพื้นห้องประมาณ 80 เซนติเมตร ในภาพเป็นการวัดแบคกราวนด์

(2.4) เพิ่มจำนวนชั้นของอิฐมอญเป็น 2 ชั้น จนถึง 7 ชั้น แต่ละชั้นนับจำนวนนับรังสี 3 ครั้งๆละ 100 วินาทีเช่นเดิม และทำการนับจำนวนนับรังสีแบคกราวนด์ทุกชั้นเช่นกัน บันทึกผลที่ได้

I10300181

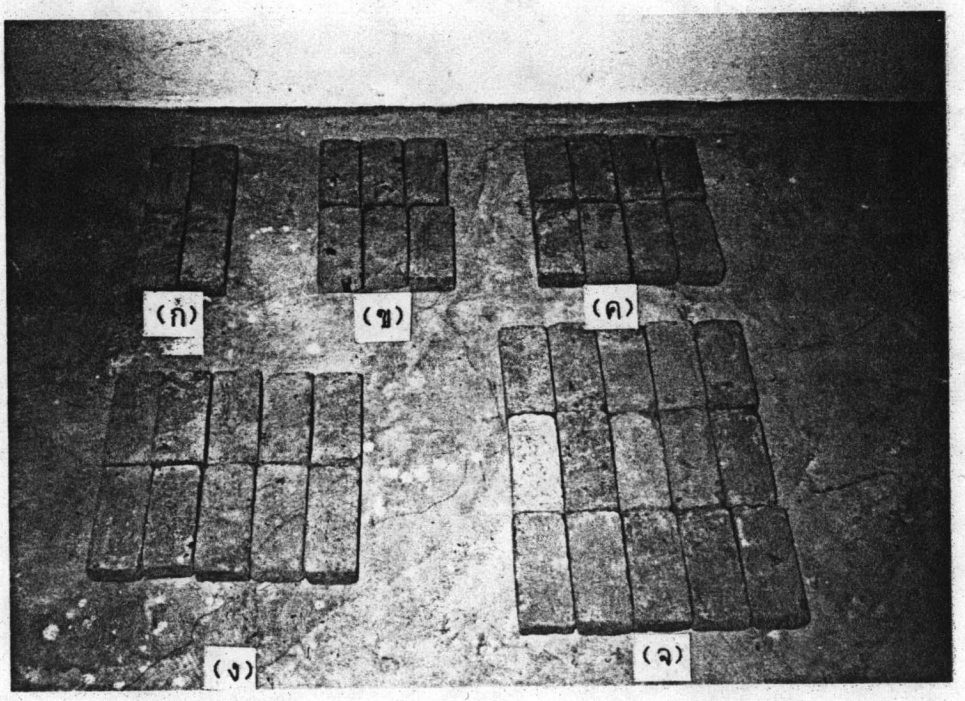
(2.5) จัดเรียงอิฐมอญใหม่ดังแสดงในรูป 4.12 (ข) ทำเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ (2.3) ถึง (2.4)

(2.6) จัดเรียงอิฐมอญใหม่ดังแสดงในรูป 4.12 (ค) ถึง 4.12 (จ) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ (2.3) ถึง (2.4) ในแต่ละชั้นแต่ละรูปแบบของการจัดเรียงอิฐมอญ

(2.7) คำนวณจำนวนนับรังสีสุทธิ จากจำนวนนับรังสีที่ได้ในแต่ละชั้นแต่ละรูปแบบการจัดเรียงอิฐมอญ ลบด้วยจำนวนนับรังสีของแบคกราวนด์ ผลการคำนวณและทดลองแสดงในตาราง 5.4

(2.8) นำอิฐมอญชุดเดิมไปผึ่งแดด เพื่อไล่ความชื้นออกไปบางส่วนเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ก่อนและหลังผึ่งแดดบันทึกน้ำหนักรวมของอิฐมอญ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอิฐมอญหลังผึ่งแดด ดังสมการที่กล่าวแล้วข้างต้น

(2.9) ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ (2.3) ถึง (2.7) ส่วนผลการทดลองแสดงในตาราง 5.5



รูป 4.12 การจัดเรียงอิฐมอญ 1 ชั้นในแต่ละรูปแบบ

4.3.7 การสร้างกราฟปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญกับจำนวนนับรังสี

4.3.7.1 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างกราฟปรับเทียบของอิฐมอญ โดยรูปแบบของกราฟจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญกับจำนวนนับรังสี

4.3.7.2 อุปกรณ์

(1) ชุดนับรังสีดังแสดงในรูป 4.2 ประกอบกับต้นแบบของโปรบวัดความชื้น

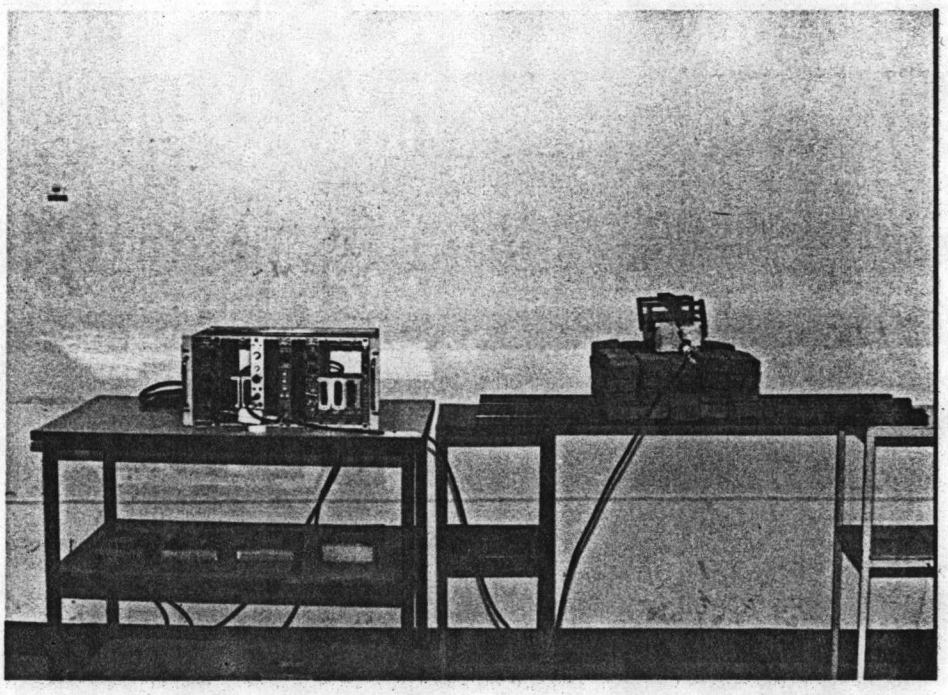
(2) โครงเหล็กสำหรับการจัดเรียงอิฐมอญ

(3) อิฐมอญจำนวน 60 ก้อน

(4) ถังน้ำ

4.3.7.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) นำอิฐมอญทั้งหมดแช่น้ำ 24 ชั่วโมงโดยบันทึกน้ำหนักแห้งก่อนแช่น้ำ จัดเรียงดังแสดงในรูป 4.13 ลักษณะของการจัดเรียงจะมีขนาดเท่ากับขนาดวิกฤตที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.3.6 นั่นคือจัดแบบรูป 4.12 (จ) รวม 4 ชั้น



รูป 4.13 การจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อการสร้างกราฟปรับเทียบของอิฐมอญ

(2) นับจำนวนนับรังสี 5 ครั้งๆละ 100 วินาทีแล้วหาค่าเฉลี่ย และวัดแบคกราวนด์โดยจัดอุปกรณ์ดังแสดงในรูป 4.10 จำนวน 2 ครั้งๆละ 100 วินาทีเป็นการตรวจสอบอุปกรณ์

(3) นำอิฐมอญไปชั่ง บันทึกน้ำหนักและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญ

(4) วางอิฐมอญทั้งหมดบนพื้นห้องโดยไม่ให้ซ้อนกัน เพื่อค่อยๆไล่ความชื้นไปเอง

ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นจัดวางเรียงอิฐมอญแบบเดิม (ตามรูป 4.13) และดำเนินการทดลองซ้ำเหมือนหัวข้อ (2) ถึง (3)

(5) ดำเนินการทดลองซ้ำดังเช่นหัวข้อ (4) จนกระทั่งน้ำหนักอิฐมอญค่อนข้างคงที่

(6) ดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ (1) ถึง (5) อีก 6 ชุด เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น

(7) ผลการทดลองแสดงในตาราง 5.6 ซึ่งเป็นตารางรวมของการทดลองทั้ง 7 ชุดเข้าด้วยกัน และรูปกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับจำนวนนับรังสี (ค่าเฉลี่ย) แสดงในรูป 5.5

4.3.8 การทดสอบความถูกต้องของการใช้อุปกรณ์วัดความชื้นกับการวัดความชื้นในอิฐมอญ

4.3.8.1 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบผลการวัดความชื้นของอิฐมอญ ด้วยอุปกรณ์วัดความชื้นที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบกับวิธีอบและชั่ง และเป็นการตรวจสอบเส้นกราฟซึ่งเป็นผลจากการทดลองในหัวข้อ 4.3.7

4.8.8.2 อุปกรณ์ การจัดอุปกรณ์เหมือนในหัวข้อ 4.3.7.2

4.3.8.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.7.3 ข้อ (1) ถึง (2) แล้วนำค่าเฉลี่ยของจำนวนนับรังสีไปอ่านกราฟปรับเทียบที่ได้ ในกราฟรูป 5.5 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญ

(2) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.7.3 ข้อ (3) ถึง (5)

(3) ดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนอีกครั้งหนึ่งผลการทดลองแสดงในตาราง 5.8

4.3.9 ศึกษาความหนาวิกฤตและพื้นที่วิกฤตของดินลูกรัง

4.3.9.1 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความหนาวิกฤตและพื้นที่วิกฤตของตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในการทดลอง ที่ความชื้นต่างๆกัน

4.3.9.2 อุปกรณ์

(1) ชุดนับรังสีดังแสดงในรูป 4.2 ประกอบกับต้นแบบโปรบวัดความชื้น

(2) ไม้อัดหนา 0.8 เซนติเมตร

(3) ตัวอย่างดินลูกรังคละ จากจังหวัดสระบุรี และจังหวัดแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

4.3.9.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) ประกอบกะบะดินซึ่งทำด้วยไม้อัด โดยมีขนาด 70x147.6x30 เซนติเมตร ซึ่งสามารถก็นซอยภายในได้ดังรูป 4.14

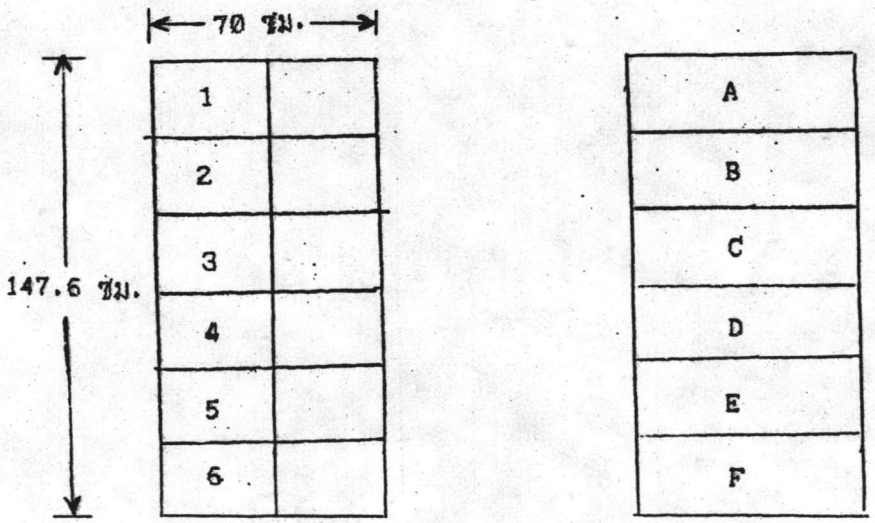
(2) นำกะบะดินดังกล่าวมาใส่ตัวอย่างดินลูกรัง โดยยกกะบะให้สูงจากพื้นห้องประมาณ 30 เซนติเมตรเพื่อลดผลกระทบของพื้นห้องต่อการนับจำนวนนับรังสี

(3) นำตัวอย่างดินลูกรังซึ่งค่อนข้างแห้งโดยคาดคะเนจากสายตา เป็นตัวอย่างของการวัดปริมาณความชื้นในปริมาณต่ำของดินลูกรังใส่กะบะที่เตรียมไว้แล้ว โดยขนาดที่ใส่จะแปรเปลี่ยนไปตามรูป 4.14 กล่าวคือ จากขนาด 1 เป็นขนาด 2 (ผลรวมของขนาด 1+2) เพิ่มไปเรื่อยๆจนถึงขนาด 6 (ผลรวมของขนาด 1 ถึง 6) หรือขนาดเท่ากะบะตามยาวแต่ใช้ปริมาตรของกะบะเพียงครั้งเดียว แล้วเปลี่ยนขนาดเป็นขนาด A ขนาด B (ผลรวมของขนาด A+B) เพิ่มไปเรื่อยๆจนถึงขนาด F (ผลรวมของขนาด A ถึง F) หรือปริมาตรของทั้งกะบะนั่นเอง แต่ละขนาดที่แปรเปลี่ยนไปตั้งแต่ขนาด 1 ถึงขนาด F ดังกล่าวนั้นได้แปรเปลี่ยนขนาดความสูงไปด้วย จากต่ำสุดประมาณ 6 เซนติเมตร จนถึง 28 เซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นละ 2 เซนติเมตร บันทึกจำนวนนับรังสีแต่ละชั้นของแต่ละขนาดจำนวน 3 ครั้งต่อ 1 ชั้น ในเวลาครั้งละ 100 วินาที

(4) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ (3) โดยเพิ่มปริมาณความชื้นในตัวอย่างดินลูกรังให้สูงขึ้น คือเติมน้ำลงไปในดินแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันได้ แล้วนำไปวัดปริมาณของจำนวนนับรังสีต่อไป บันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ (3)

(5) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ(3) แต่เพิ่มปริมาณความชื้นในตัวอย่างดินลูกรังให้สูงขึ้นจนค่อนข้างชุ่ม นำไปวัดปริมาณของจำนวนนับรังสีเช่นเดิม บันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ (3)

ผลการทดลองแสดงในตารางรวม 5.9 โดยใช้ความสูงตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ถึง 22 เซนติเมตร เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมาก



รูป 4.14 กะบะดินซึ่งสามารถจัดดินเป็นขนาดต่างๆ (มองจากด้านบน)

4.3.10 การสร้างกราฟปรับเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่างดินลูกรังกับจำนวนนับรังสี

4.3.10.1 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างกราฟปรับเทียบของตัวอย่างดินลูกรัง โดยรูปแบบของกราฟจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลูกรังกับจำนวนนับรังสี

4.3.10.2 อุปกรณ์

(1) ชุดนับรังสีดังแสดงในรูป 4.2 ประกอบกับต้นแบบหัววัดรังสี

(2) ตัวอย่างดินลูกรังชุดเดิมกับที่ได้ดำเนินการทดลองในหัวข้อ 4.3.9

(3) แผ่นอลูมิเนียมหนา 1.2 มิลลิเมตร

(4) แม่แรงขนาด 1.5 ตัน จำนวน 4 ตัว

(5) แผ่นไม้กระดานรองพื้น ขนาด 80x80 เซนติเมตร

(6) เครื่องชั่งขนาดไม่เกิน 500 กิโลกรัม

(7) บีกเกอร์ กระบอกตวงน้ำ กระบอกฉีดน้ำ

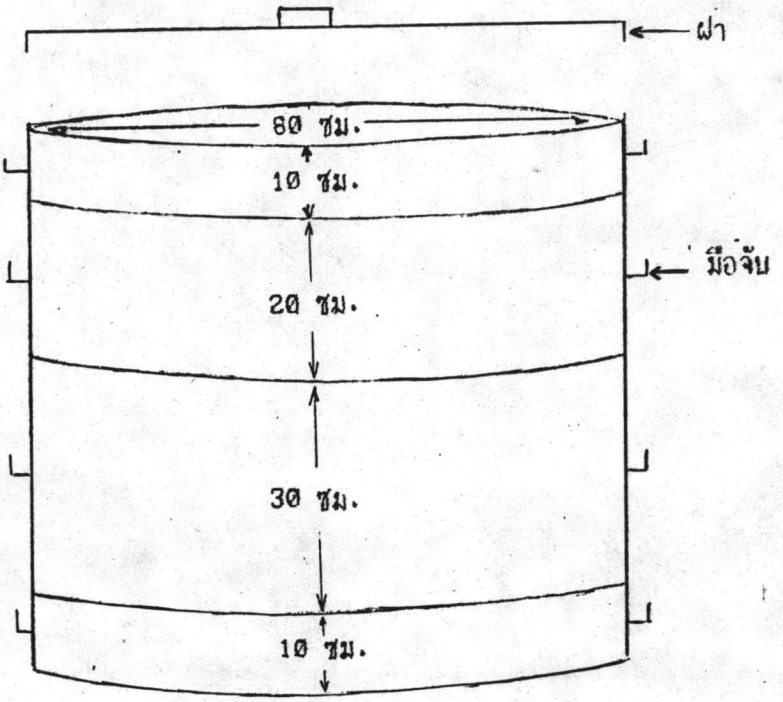
(8) ก้อนน้ำหนักที่ใช้กระทุ้งดิน (rammer) ขนาด 20 ปอนด์ (แสดงในรูป 5.2)

4.3.10.3 วิธีดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

(1) การสร้างภาชนะบรรจุดินลูกรัง (ภาชนะปรับเทียบ)

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.9 พบว่าขนาดวิกฤตของดินลูกรังเป็น 35x125x18 เซนติเมตร จึงจัดสร้างภาชนะที่ใช้สำหรับปรับเทียบความชื้นกับจำนวนนับรังสีขึ้น โดยใช้อลูมิเนียมขนาดหนา 1.2 มิลลิเมตรเพื่อลดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับเนื้อวัสดุที่ใช้ทำภาชนะ ลักษณะถังจะเป็นไปตามมาตรฐานของระบบ JIS (ภาคผนวก ฎ) โดยการคำนวณรัศมีสมมาตร (equivalent radius) พบว่าจะได้เท่ากับ 37 เซนติเมตร ดังนั้นจึงสร้างภาชนะดังกล่าวด้วยรัศมี 40 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร สามารถถอดออกเป็นชั้นๆเพื่อเพิ่ม-ลดส่วนสูงได้ ดังรูป 4.15

ผลการดำเนินการได้แสดงในรูป 5.7 ซึ่งประกอบด้วยตัวภาชนะปรับเทียบพร้อมฝาปิดอยู่บนฐานรองซึ่งใช้ไม้เป็นวัสดุ แม่แรงทั้ง 4 ตัวอยู่ทั้งสี่ด้านของฐานรองไม้ และก้อนน้ำหนัก 1 ชุด



รูป 4.15 รูปแบบของภาชนะใช้สำหรับปรับเทียบ

(2) การวัดความชื้นในดินลูกรังด้วยรังสีนิวตรอน หรือการสร้างกราฟปรับเทียบของดินลูกรัง

(2.1) เนื่องจากปริมาณดินมีจำนวนมาก ดังนั้นการนำไปอบแห้งจึงต้องทยอยนำเข้าไปตู้อบ โดยสามารถนำเข้าไปอบได้คราวละ 25 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 105° C ใช้เวลา 15-24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM (ภาคผนวก ช) บันทึกน้ำหนักของดินลูกรังที่อบแห้งสนิทแล้ว นำดินลูกรังที่อบแห้งแล้วนี้เทใส่ภาชนะสำหรับปรับเทียบซึ่งได้จัดสร้างแล้วในการทดลองหัวข้อ 1 แล้วนั้น จนปริมาณความสูงของดินลูกรังในภาชนะดังกล่าวสูง 30 เซนติเมตร โดยใช้ส่วนสูงของภาชนะเฉพาะส่วนที่สูง 10 และ 20 เซนติเมตร วางซ้อนกันเท่านั้น ระหว่างที่ทยอยเทดินลูกรังที่อบแห้งแล้วนั้น เมื่อความสูงของดินลูกรังได้ครั้งละ 5 เซนติเมตร ก็จะทำการอัดดินลูกรังด้วยก้อนน้ำหนักบนหน้าดินทั้งหมด จนความสูงครบ 30 เซนติเมตร

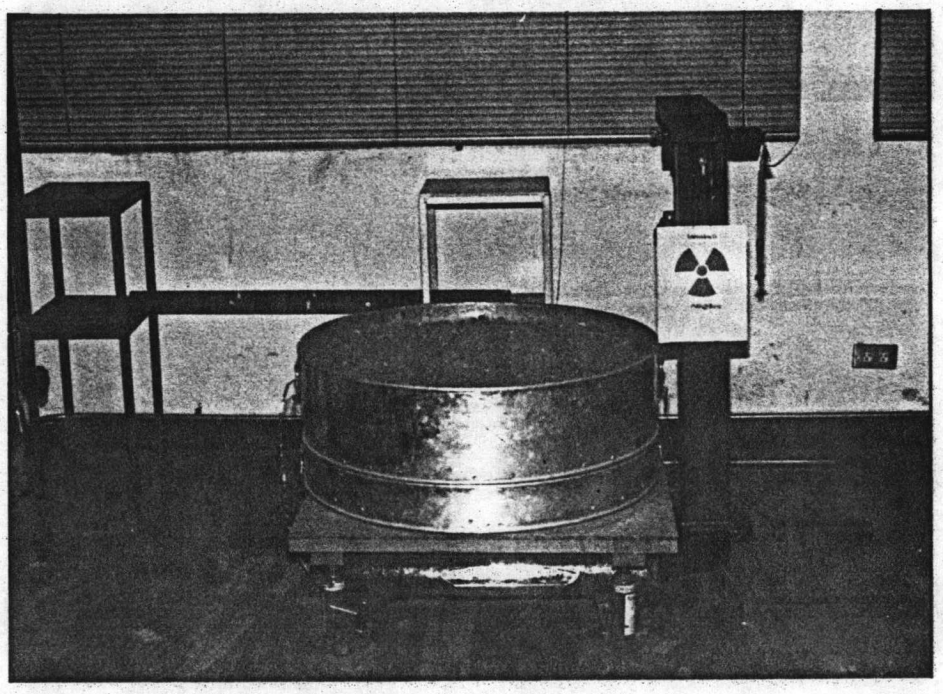
(2.2) หลังจากความสูงของดินลูกรังครบ 30 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักดินลูกรังที่อบแห้งแล้ว คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินลูกรัง เพราะเนื่องจากการทยอยนำดินลูกรังอบคราวละ 25 กิโลกรัมนั้น ดินลูกรังที่อบแห้งแล้วรอการอบแห้งของดินลูกรังชุดใหม่ย่อมมีการดูดซับน้ำในบรรยากาศ การคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณความชื้นของอิฐมอญ นับจำนวนนับรังสี 3 ครั้งๆละ 400 วินาทีแล้วหาค่าเฉลี่ย วัดแผ่นพาราฟินขนาดเท่าโปรบวัดความชื้นนั้น ซึ่งเป็นวัสดุมาตรฐานตรวจสอบจำนวนนับรังสีนิวตรอนที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดความชื้นและตรวจสอบอุปกรณ์ไปด้วย 2 ครั้งๆละ 400 วินาที บันทึกผลที่ได้

(2.3) ตักดินลูกรังออกจากภาชนะปรับเทียบไปไว้ยังอีกภาชนะหนึ่ง แล้วคำนวณหา

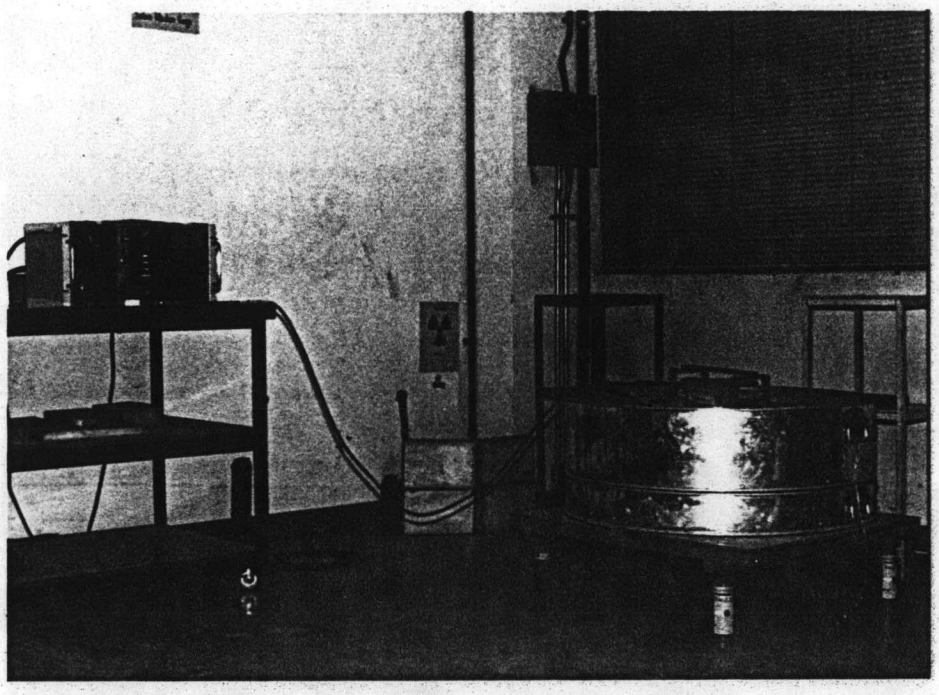
ปริมาณน้ำที่ต้องเทใส่ดินลูกรัง เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลูกรังให้สูงขึ้น โดยเพิ่มขึ้นครั้งละประมาณ 1% โดยใช้สมการการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นนั่นเอง แต่เป็นการคำนวณในทางกลับกัน หลังจากได้ปริมาณน้ำที่ต้องเพิ่มเข้าไปแล้ว ทำการตักดินลูกรังใส่เข้าในภาชนะปรับเทียบใหม่ เมื่อเนื้อดินลูกรังสูง 5 เซนติเมตรก็ทำการอัดด้วยก้อนน้ำหนักเช่นเดิม จากนั้นก็นำน้ำที่ต้องเพิ่มเข้าไป (ตามที่คำนวณ) แบ่งเป็น 6 ส่วน (ให้ได้สัดส่วนกับความสูง 30 เซนติเมตร) นำมา 1 ส่วนเทใส่กระบอกฉีดน้ำ เพื่อพ่นน้ำให้กระจายทั่วหน้าดินที่ได้บดอัดแล้ว ทำเช่นนี้จนความสูงของเนื้อดินลูกรัง 30 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักรวมของเนื้อดินลูกรังอีกครั้งเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยใช้น้ำหนักแห้งที่ได้จากการทยอยอบแห้งนั่นเอง จากนั้นบันทึกผลของจำนวนนับรังสีเช่นเดิม คือ 3 ครั้งๆละ 400 วินาทีแล้วหาค่าเฉลี่ย พร้อมกับวัดแผ่นพาราฟินเช่นกันด้วย การทดลองนี้ได้แสดงในรูป 4.16,4.17

(2.4) ดำเนินการทดลองเช่นหัวข้อ (2.3) โดยเพิ่มปริมาณอีกให้ได้เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลูกรังเพิ่มอีก 1% บันทึกการนับจำนวนนับรังสีเช่นเดิม จนกระทั่งเนื้อดินลูกรังในภาชนะปรับเทียบไม่สามารถอุ้มน้ำที่เพิ่มลงไปได้ ซึ่งประมาณ 14%

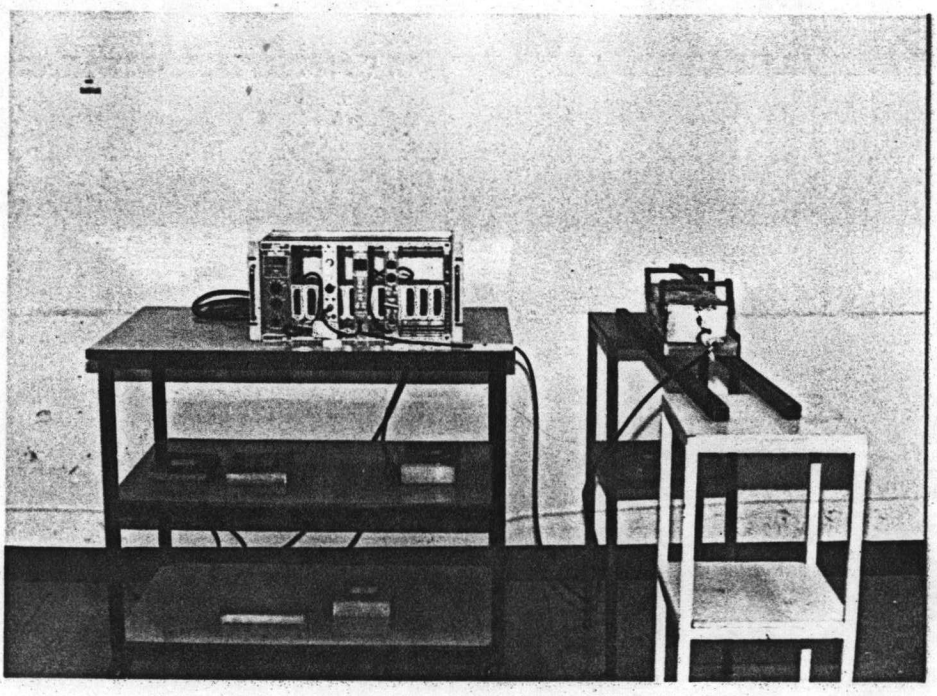
(2.5) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ (2.1) ถึง (2.4) ใหม่ โดยทำซ้ำอีก 2 ชุด บันทึกผลการทดลองรวมในตาราง 5.10 พร้อมกับเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินลูกรังกับจำนวนนับรังสีเฉลี่ย ดังแสดงในรูป 5.8



รูป 4.16 การชั่งน้ำหนักภาชนะปรับเทียบซึ่งบรรจุดินลูกรัง



รูป 4.17 การนับจำนวนนับรังสีของตัวอย่างดินลูกรังในภาชนะปรับเทียบ



รูป 4.18 การนับจำนวนนับรังสีของแผ่นพาราฟินที่ใช้เป็นมาตรฐานตรวจสอบ

4.3.11 การตรวจสอบความถูกต้องของการใช้อุปกรณ์วัดความชื้นกับการวัดความชื้นในดินลูกรัง

4.3.11.1 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบผลการวัดความชื้นในดินลูกรัง ด้วยอุปกรณ์วัดความชื้นที่ประกอบขึ้น โดยเปรียบเทียบกับวิธีอบและชั่ง และเป็นการตรวจสอบเส้นกราฟซึ่งเป็นผลจากการทดลองในหัวข้อ 4.3.10

4.3.11.2 อุปกรณ์ การจัดอุปกรณ์เหมือนในหัวข้อ 4.3.10.2

4.3.11.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.10.3 ข้อ 2 ทั้งหมด โดยนับจำนวนนับรังสีเฉลี่ยที่ได้ไปอ่านกราฟปรับเทียบที่ได้ในกราฟรูป 5.8 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลูกรัง ในขณะเดียวกันก็บันทึกผลการชั่งน้ำหนักของดินลูกรังทั้งที่แห้งสนิทและที่ได้เติมน้ำเข้าไป เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากการชั่งและอบ

(2) เปรียบเทียบผลการทดลอง คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่านได้จากกราฟรูป 5.8 กับการที่ได้จากการชั่งและอบ ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 5.11

4.3.12 การออกแบบและสร้างโปรบวัดความชื้นพร้อมภาชนะสำหรับการขนย้ายและกำบังรังสี

4.3.12.1 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบส่วนของโปรบวัดความชื้นที่สามารถนำไปใช้งานภาคสนามสะดวก โดยคำนึงถึงความปลอดภัยทางรังสี และการออกแบบภาชนะที่บรรจุโปรบวัดความชื้นเพื่อสำหรับการเคลื่อนย้ายไปในสถานที่ที่ไกลๆและปลอดภัยต่อการเคลื่อนย้าย

4.3.12.2 อุปกรณ์

(1) หัววัดนิวตรอนพลังงานต่ำ (BF_3) 1 หัว

(2) ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน (Am-Be)

(3) พาราฟินและผงกรดโบริค

(4) แผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร และอลูมิเนียมหนา 1.2 มิลลิเมตร

(5) สายยู และกุญแจ 2 ชุด

4.3.12.3 วิธีดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

(1) การออกแบบและสร้างโปรบวัดความชื้นแบบพื้นผิว

(1.1) การออกแบบส่วนโปรบวัดความชื้น ได้คำนึงถึงความปลอดภัยและความสะดวกต่อการใช้งานเป็นหลัก ด้านความปลอดภัยได้ใช้มาตรฐานของสหรัฐอเมริกาต่อการขนส่งสารหรือสิ่งของที่มีสารกัมมันตรังสีในระดับปานกลางเป็นบรรทัดฐาน โดยกำหนดไว้ว่าปริมาณรังสีที่ผิวของวัสดุไม่ควรเกิน 50 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (mrem/h) หรือ 0.5 มิลลิซีเวิร์ทต่อชั่วโมง (0.5 mSv/h) และที่ระยะห่างออกไปจากตัววัสดุ 1 เมตรมีปริมาณรังสีไม่ควรเกิน 1 มิลลิเรมต่อชั่วโมง หรือ 10 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง (13) เป็นหลักในการคำนวณและออกแบบในด้านความปลอดภัย สำหรับในวิธีการคำนวณเพื่อการออกแบบถึงวัสดุที่ใช้และเป็นตัวกำบัง ได้แสดงอยู่ในภาคผนวก ง

(1.2) หลังจากการคำนวณถึงลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความกว้าง ยาว วัสดุที่ใช้ตลอดจนส่วนของกำบังรังสีแล้วนั้น ก็ทำการประกอบโปรบวัดความชื้นขึ้น กล่าวคือได้ใช้ลักษณะการจัดภายในดังรูป 4.9 ส่วนวัสดุประกอบโครงโปรบวัดความชื้นได้ใช้แผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร ประกอบขึ้นเป็นส่วนของโปรบวัดความชื้นดังแสดงในรูป 5.9 และเพื่อความปลอดภัยต่อการเคลื่อนย้ายส่วนของโปรบวัดความชื้น (โดยเฉพาะส่วนด้านล่าง ซึ่งมีต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนติดกับผิวของโปรบวัดความชื้น) จึงได้ออกแบบของส่วนของกำบังรังสีประกอบติดในส่วนล่างขึ้น โดยสามารถปิดด้วยกุญแจเพื่อป้องกันต้นกำเนิดสูญหายเมื่อเกิดอุบัติเหตุได้ ดังแสดงในรูป 5.10

(2) การออกแบบและสร้างภาชนะบรรจุโปรบวัดความชื้น

(2.1) ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ (1.1) นั่นคือในด้านความปลอดภัยต่อการขนส่งปริมาณรังสีที่กำหนดไว้นั้น หลังจากการคำนวณและการวัดปริมาณรังสีในเวลาวัดความชื้นที่ระยะ 1 เมตร จะมีค่าประมาณ 1 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (10 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง) แต่เพื่อความปลอดภัยอีกระดับหนึ่งต่อการเคลื่อนย้ายไปสถานที่ไกลๆต่อการออกไปตรวจวัดปริมาณความชื้นยังนอกสถานที่ จึงได้ออกแบบและประกอบส่วนของภาชนะบรรจุโปรบวัดความชื้นขึ้น การคำนวณเพื่อออกแบบได้ใช้หลักเดียวกับการคำนวณส่วนของหัววัดความชื้น ดังแสดงในภาคผนวก ง

(2.2) หลังจากคำนวณแล้วก็ประกอบส่วนของภาชนะบรรจุโปรบวัดความชื้น โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมหนา 1.2 มิลลิเมตร เพื่อต้องการน้ำหนักเบา หุ้มทั้งภายนอกและภายใน ซึ่งได้เจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมทรงกระบอกขนาดพอที่จะบรรจุโปรบวัดความชื้นทั้งชุด (ดังแสดงในรูป 5.10) อยู่ภายในได้

(2.3) หล่อพาราฟินผสมผงกรดโบริค ในอัตราส่วนพาราฟินต่อผงกรดโบริค เป็น 2:1 เทลงในรอบๆนอกช่องสี่เหลี่ยมทรงกระบอกซึ่งใช้บรรจุโปรบวัดความชื้น และส่วนของก้นภาชนะพร้อมฝาปิดภาชนะด้วย เพื่อใช้เป็นวัสดุมาตรฐานตรวจสอบการนับจำนวนรังสีและอุปกรณ์ไปในตัว ดังแสดงในรูป 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ

ผลการทดลองได้แสดงในรูป 5.13 ซึ่งแสดงทั้งส่วนของโปรบวัดความชื้นและส่วนของภาชนะบรรจุโปรบวัดความชื้น

4.3.13 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรบวัดความชื้นที่ประกอบขึ้นกับชุดนับรังสีในห้องปฏิบัติการ

4.3.13.1 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบโปรบวัดความชื้นที่ประกอบขึ้นในหัวข้อ 4.3.12 แล้วนั้น มีความถูกต้องเมื่อเทียบกับต้นแบบโปรบวัดความชื้นเดิมหรือไม่ กับดินลูกรังชุดเดิมมีการเปลี่ยนแปลงต่อกราฟปรับเทียบที่ได้ในหัวข้อ 4.3.10 อย่างไร โดยปฏิบัติการทดสอบกับชุดนับรังสีชุดเดิมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

4.3.13.2 อุปกรณ์

(1) ชุดนับรังสีดังแสดงในรูป 4.2 ประกอบกับโปรบวัดความชื้นที่ประกอบแล้วในหัวข้อ 4.3.12

(2) ภาชนะบรรจุดิน ดังแสดงในรูป 5.7

(3) ตัวอย่างดินลูกรังชุดเดิม

(4) อุปกรณ์อื่นๆเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 4.3.10

4.3.13.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) นำโปรบวัดความชื้นที่ประกอบสมบูรณ์ดังที่ดำเนินในหัวข้อ 4.3.12 มาประกอบเข้ากับชุดนับรังสีชุดเดิม ซึ่งแสดงในรูป 4.2 เพื่อนำมาตรวจสอบกับตัวอย่างดินลูกรังชุดเดิมซึ่งใช้ในการสร้างกราฟปรับเทียบดังที่ดำเนินการมาแล้วในหัวข้อ 4.3.10

(2) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.11 แต่การตรวจสอบอุปกรณ์และจำนวนนับให้ตรวจโดยการวางโปรบในช่องที่บรรจุโปรบของภาชนะที่ใช้บรรจุ (โดยไม่มีส่วนล่าง) แทนการวางแผ่นมาตรฐานพาราฟิน ผลการทดลองแสดงในตาราง 5.12

4.3.14 ประกอบโปรบวัดความชื้นเข้ากับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้ว หรือชุดโปรบวัดความชื้นในภาคสนาม

4.3.14.1 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบความความถูกต้องของเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้วโปรบวัดความชื้น ที่ประกอบขึ้น ก่อนที่จะนำออกไปตรวจสอบในภาคสนามในงานสร้างทางจริงต่อไป โดยตรวจสอบกับดินลูกรังชุดเดิมที่ใช้ในการสร้างกราฟปรับเทียบแล้วนั้นในหัวข้อ 4.3.10

4.3.14.2 อุปกรณ์

(1) เครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้วแบบ Eberline : MS-2 พร้อมแบตเตอรี ดังแสดงในรูป 4.3 พร้อมโปรบวัดความชื้น

(2) ตัวอย่างดินลูกรังชุดเดิม

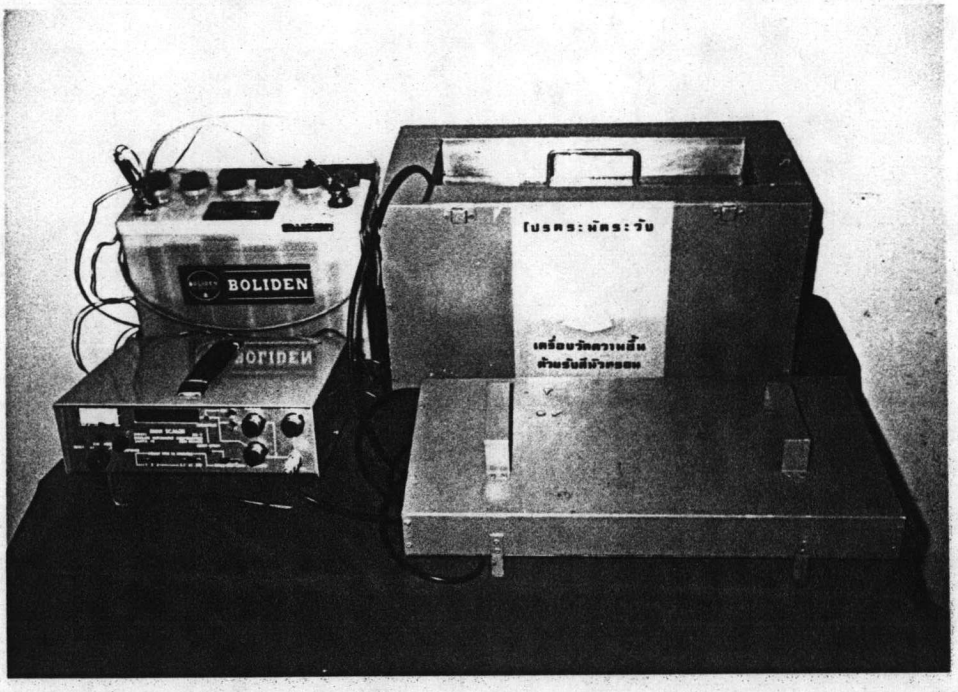
(3) ภาชนะบรรจุดินลูกรัง ดังแสดงในรูป 5.7

(4) อุปกรณ์อื่นๆดังเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 4.3.10

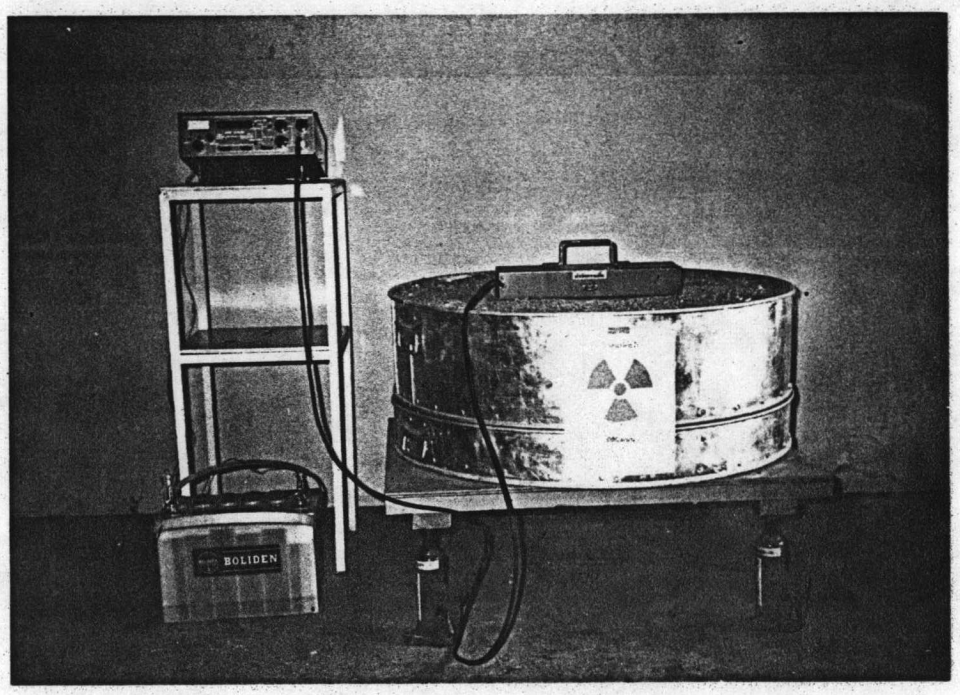
4.3.14.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) จัดอุปกรณ์และดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.11 ทุกประการ โดยใช้โปรบวัดความชื้นที่ประกอบขึ้นแล้วนั้น นำมาประกอบเข้ากับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าหิ้วแบบ Eberline : MS-2 ซึ่งได้ทำการปรับอุปกรณ์ให้เข้ากับการนับปริมาณรังสีของชุดนับรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยตรวจสอบอัตราการนับรังสีกับภาชนะบรรจุโปรบวัดความชื้นซึ่งใช้เป็นตัวตรวจสอบ ดังแสดงในรูป 4.19

(2) ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.3.11 ทุกประการ ดังแสดงการจัด อุปกรณ์และการดำเนินการทดลองในรูป 4.20 ซึ่งเป็นชุดวัดความชื้นที่ใช้งานในภาคสนามต่อไป ผลการทดลองแสดงในตาราง 5.13 และรูป 5.14 ซึ่งแสดงชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม



รูป 4.19 การตรวจสอบอุปกรณ์การนับรังสีของชุดวัดความชื้นที่ใช้ในภาคสนาม



รูป 4.20 การทดสอบดินลูกรังด้วยชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม

4.3.15 การทดสอบภาคสนามในงานสร้างทางโดยชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม

4.3.15.1 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ซึ่งใช้เป็นชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม ดังแสดงในรูป 5.14 ต่อสถานที่ก่อสร้างทางจริง

4.3.15.2 อุปกรณ์และสถานที่

(1) ชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม ดังแสดงในรูป 5.14

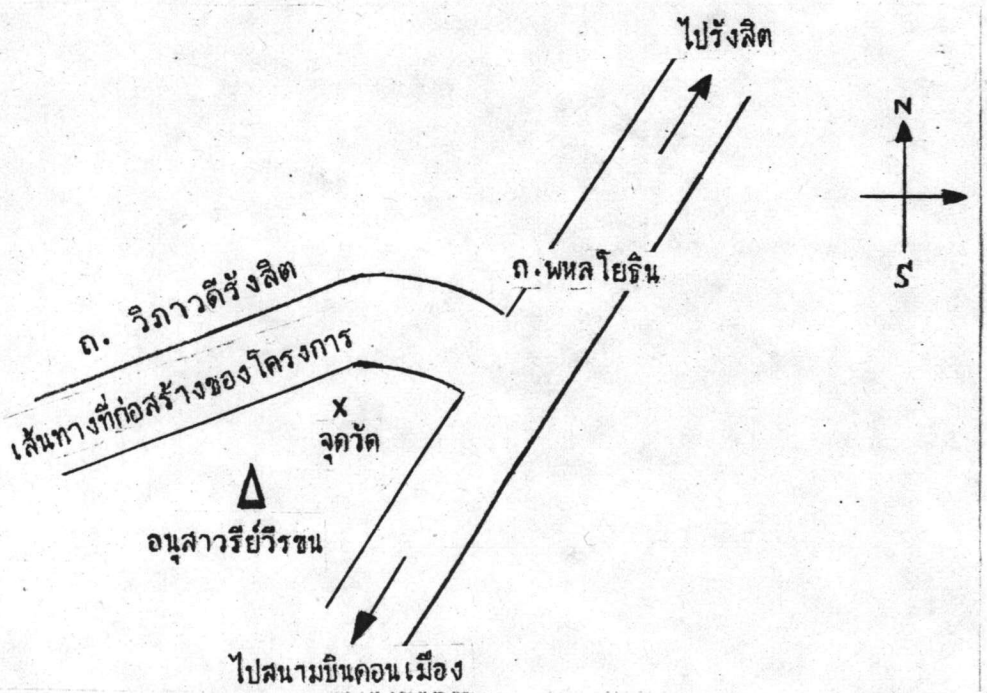
(2) สถานที่ที่ใช้ตรวจสอบ ได้แก่

(2.1) บริเวณแยกอนุสาวรีย์วีรชน ชื่อโครงการก่อสร้างสะพานลอย กม.28

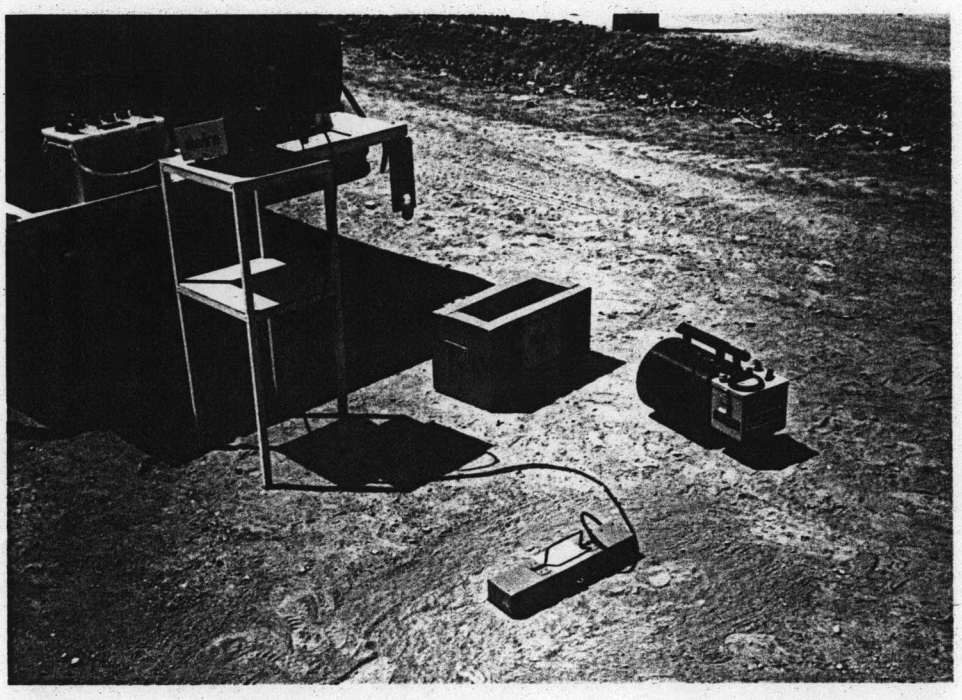
(2.2) บริเวณกิโลเมตรที่ 8 ถนนรามอินทรา ชื่อโครงการรามอินทรา-มีนบุรี-ร่มเกล้า

4.3.15.3 วิธีดำเนินการทดลอง

(1) จัดอุปกรณ์ซึ่งเป็นชุดวัดความชื้นในงานภาคสนามดังแสดงในรูป 5.14 นำไปวัดความชื้นของดินลูกรังที่ใช้ในการรองพื้นในการก่อสร้างทางก่อนการเทคอนกรีต ณ บริเวณก่อสร้างทางโครงการก่อสร้างสะพานลอย กม.28 จุดวัดอยู่บริเวณถนนที่กำลังก่อสร้างมาเชื่อมกับถนนพหลโยธินติดกับอนุสาวรีย์วีรชน เนื่องจากดินที่ใช้ในการก่อสร้างเป็นดินคนละชนิดกับการทดลองในห้องปฏิบัติการคือเป็นดินจากจังหวัดอยุธยา บริเวณนี้จึงวัดเพียงจุดเดียว โดยใช้เวลาในการวัดเพียง 5 นาทีต่อหนึ่งครั้งรวม 3 ครั้ง หลังจากนั้นจึงให้เจ้าหน้าที่ของโครงการเก็บตัวอย่างดินที่จุดเดียวกันนี้ นำไปชั่งและอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามแบบวิธีเดิมในห้องปฏิบัติการของโครงการ โดยเก็บตัวอย่างใส่ภาชนะ 3 ชุดด้วยกัน การทดลองวัดในบริเวณดังกล่าวได้แสดงในรูป 4.21 และ 4.22



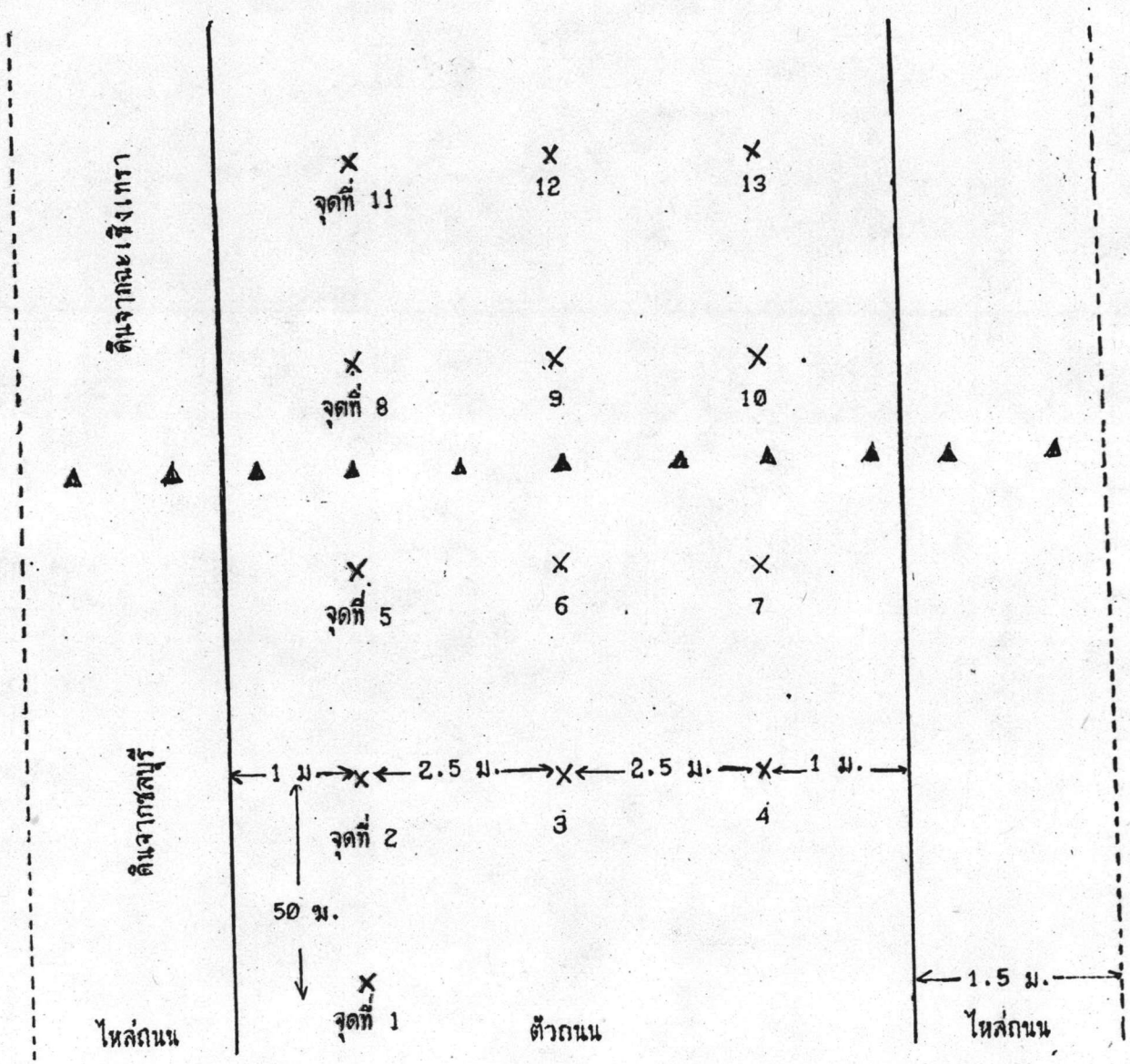
รูป 4.21 แผนภาพจุดที่วัดความชื้นของโครงการก่อสร้างสะพานลอย กม.28 ถ.พหลโยธิน



รูป 4.22 การวัดความชื้นที่โครงการก่อสร้างสะพานลอย กม.28 ถ.พหลโยธิน

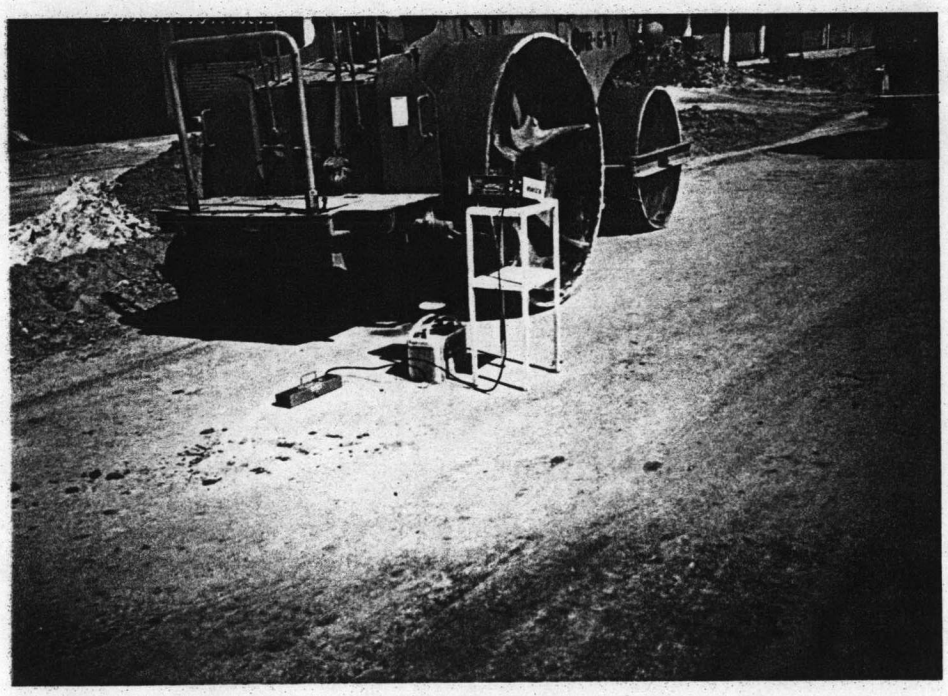
(2) นำอุปกรณ์ชุดเดิมไปวัดยังโครงการรามอินทรา-มีนบุรี-ร่มเกล้า บริเวณกม.8 ดินลูกรังที่ใช้ทำการรองพื้นก่อนการเทคอนกรีตซึ่งเป็นบริเวณรอบๆของการวัดมาจาก 2 แหล่งคือ จังหวัดชลบุรี และฉะเชิงเทรา แนวการวัดตัวอย่างเป็นไปตามรูป 4.23 โดยจะมีการตรวจสอบคุณสมบัติของดินลูกรังได้แก่ ความชื้นและความหนาแน่นควบคู่กันไป ซึ่งจะเก็บตัวอย่างดินไปอบและชั่งเพื่อหาปริมาณความชื้นหลังจากการเจาะเพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของดินแล้ว แต่ละแนวที่วัดจะห่างกันประมาณ 50 เมตร ทำการวัดตัวอย่างดินลูกรังทั้งหมด 5 แนวรวม 13 จุด (ตามรูป 4.23) โดยมีจุดที่ 1-7 เป็นดินที่ได้จากจังหวัดชลบุรี และจุดที่ 8-13 จากจังหวัดฉะเชิงเทรา ใช้เวลาการวัดครั้งละ 5 นาทีต่อหนึ่งจุด การทดลองการวัดความชื้นและการวัดความหนาแน่นและเก็บตัวอย่างดินไปชั่งและอบ แสดงในรูป 4.24,4.25,4.26,4.27,4.28 และ 4.29 ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงในตารางรวมที่ 5.14

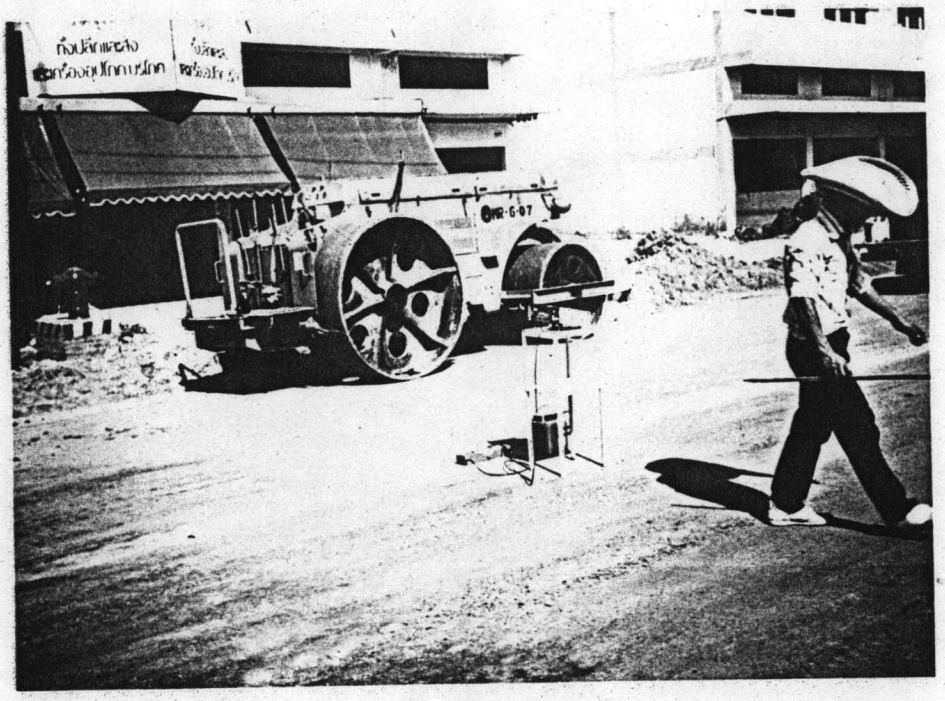


รูป 4.23 แผนภาพจุดวัดความชื้นแต่ละแนวถนนในโครงการรามอินทรา-มีนบุรี-ร่มเกล้า

รูป 4.24 บริเวณก่อสร้างทางโครงการรามอินทรา-มีนบุรี-ร่มเกล้า



รูป 4.25 การวัดความชื้น ณ จุดที่ 2



รูป 4.26 การวัดความชื้น ณ จุดที่ 3

รูป 4.27 การขุดและเจาะเพื่อการวัดความหนาแน่นและเก็บตัวอย่างดิน

รูป 4.28 การแทนที่ตัวอย่างทรายในหลุมที่ขุดเพื่อการวัดความหนาแน่น

รูป 4.29 การเก็บตัวอย่างดินจากหลุมที่ขุดเพื่อนำไปหาปริมาณความชื้น