

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การทดลองการหาคัดดาไฟฟ้าแรงสูงที่เหมาะสมของหัววัดรังสีนิวตรอนช้า

การทดลองการหาคัดดาไฟฟ้าแรงสูงที่เหมาะสมของหัววัดรังสีนิวตรอนพลังงานต่ำ ให้ผลดังแสดงใน

ตาราง 5.1

ตาราง 5.1 จำนวนนับรังสีที่คัดดาไฟฟ้าแรงสูงต่างๆ

คัดดาไฟฟ้าแรงสูง (โวลท์)	จำนวนนับรังสี/100 วินาที	คัดดาไฟฟ้าแรงสูง (โวลท์)	จำนวนนับรังสี/100 วินาที
1000	0	1700	3149
1050	0	1750	3347
1100	0	1800	3451
1150	0	1850	3508
1200	0	* 1900	3634
1250	0	1950	3664
1300	0	2000	3626
1350	0	2050	3686
1400	4	2100	3716
1450	4	2150	3696
1500	5	2200	3806
1550	130	2250	4163
1600	2190	2300	12250
1650	2776		

จากตาราง 5.1 พบว่าช่วงที่จำนวนนับรังสีคงที่ คือในช่วงของคัดดาไฟฟ้าแรงสูง 1850 โวลต์ ถึง 2150 โวลต์ ดังนั้น เลือกจุดที่เป็น 25% ของช่วงดังกล่าวก็จะได้คัดดาไฟฟ้าแรงสูงที่ 1900 โวลต์

### 5.2 การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน

การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนได้ผลดังแสดงในตาราง 5.2 และกราฟรูป 5.1 ตารางที่ 5.2 แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิ เมื่อวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ตำแหน่งต่างๆ

ระยะห่างจากปลายหัววัดรังสี (ซม.)	ระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน			
	0 ซม.	1 ซม.	2 ซม.	3 ซม.
0	835	736	640	590
2	1024	981	881	738
9	1328	1240	1190	1040
11	1409	1339	1238	1114
13	1512	1448	1299	1160
15	1441	1330	1220	1108
17	1302	1260	1140	1008
19	1219	1166	1060	921
21	1111	1078	961	826
26	890	771	666	530

**หมายเหตุ** เมื่อวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนไว้ที่ปลายหัววัดรังสีจะนับรังสีสุทธิได้ 687 จำนวนนับต่อ 100 วินาที

**ผลการทดลอง** แสดงให้เห็นว่าจำนวนนับรังสีมีค่าสูงสุดเมื่อวางต้นกำเนิดรังสีให้ติดกับหัววัดรังสี และให้ต้นกำเนิดรังสีอยู่ห่างจากปลายหัววัด เท่ากับ 13 เซนติเมตร หรือกึ่งกลางหัววัดรังสี

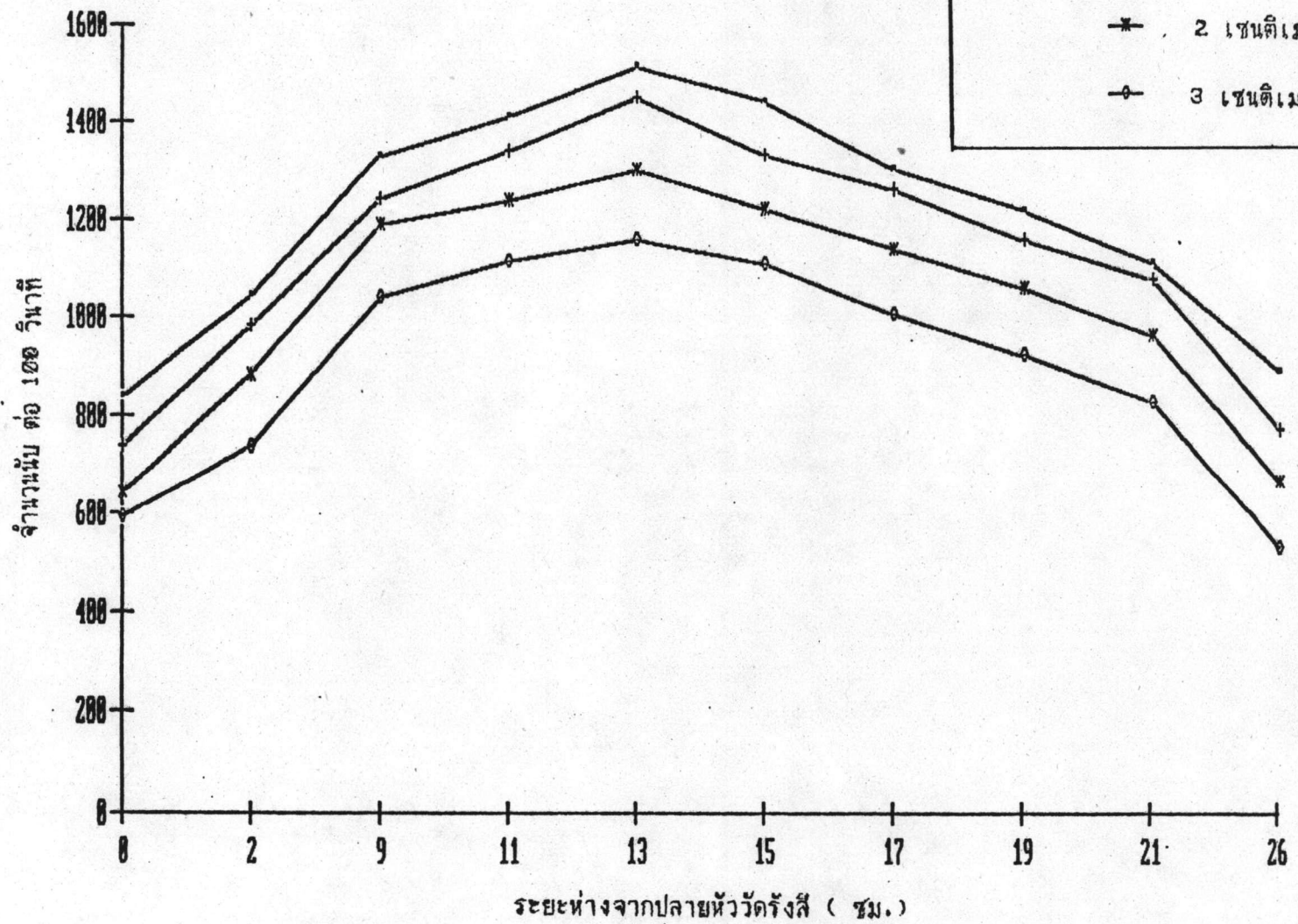
### 5.3 การศึกษาหาระยะห่างระหว่างระนาบของหัววัดรังสีนิวตรอน

และต้นกำเนิดรังสีกับชิ้นงานที่ต้องการวัดความชื้น

การทดลองหาระยะห่างระหว่างระนาบของหัววัดรังสีนิวตรอนและต้นกำเนิดรังสีกับชิ้นงานที่ต้องการวัดความชื้นแสดงในกราฟรูป 5.2 นั้นพบว่า เพื่อให้ได้จำนวนนับรังสีสูงสุดต้องวางให้ระนาบของหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีแนบติดกับผิวหน้าของชิ้นงานที่ต้องการวัดความชื้น ซึ่งในการทดลองได้ใช้แผ่นพาราฟินเป็นเสมือนชิ้นงานดังกล่าว

ระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสี

- 0 เซนติเมตร
- + 1 เซนติเมตร
- \* 2 เซนติเมตร
- o 3 เซนติเมตร



รูปที่ 5.1 จำนวนนับรังสีนิวตรอนเมื่อวางต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ตำแหน่งต่างๆ

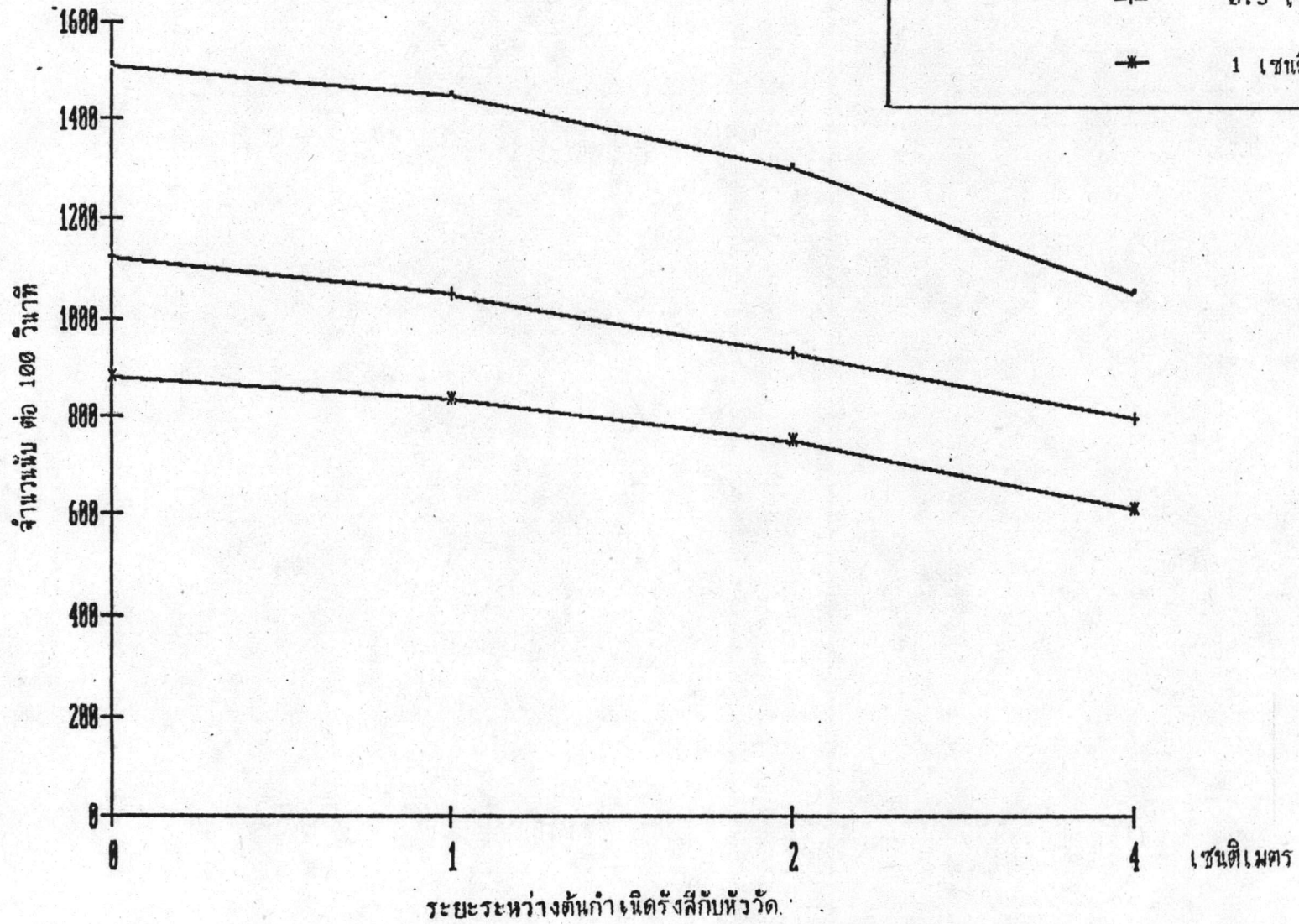


ระยะห่างระหว่างระนาบของหัววัดและต้นกำเนิดรังสีกับพาราฟิน

— 0 เซนติเมตร

+ 0.5 เซนติเมตร

\* 1 เซนติเมตร



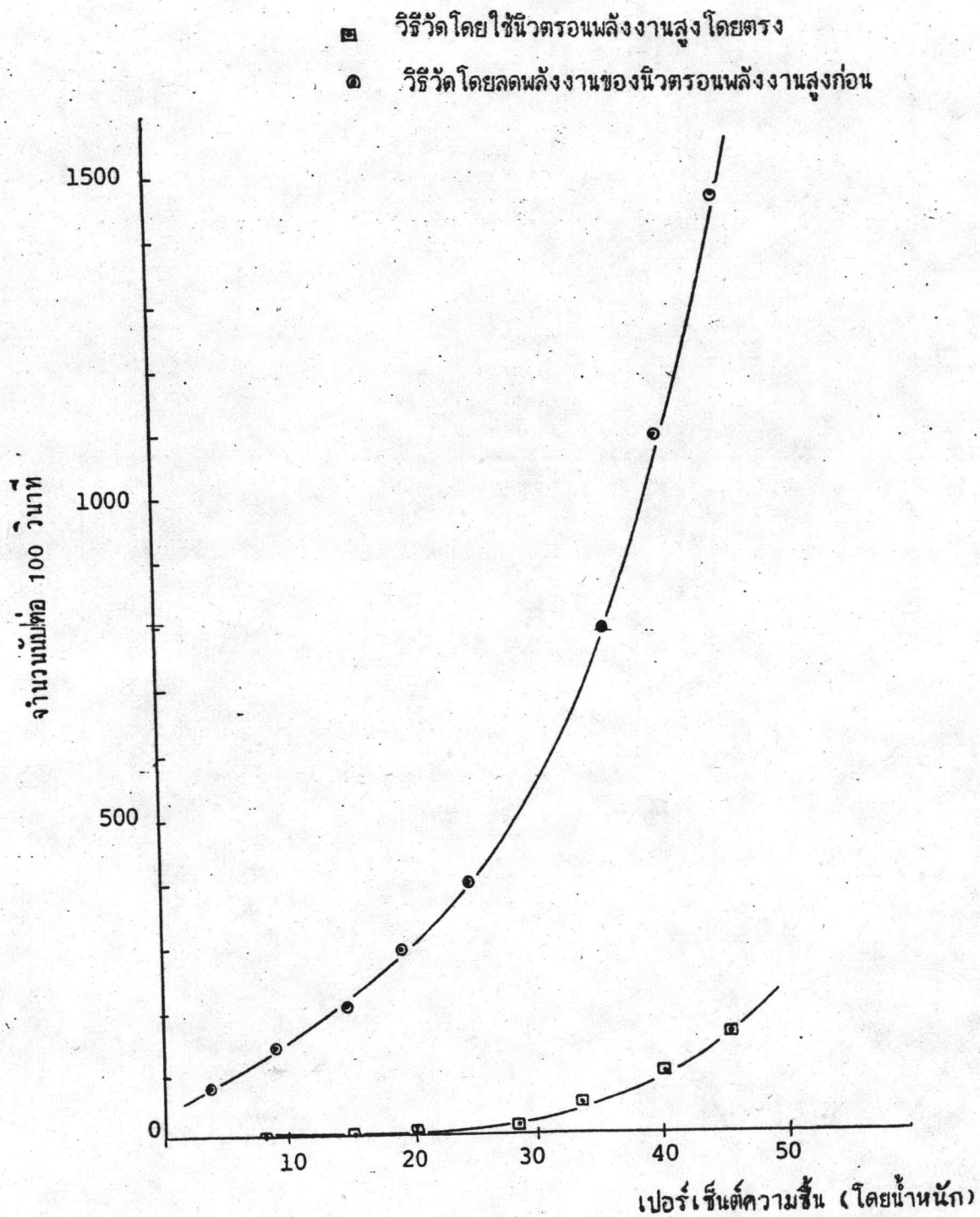
รูปที่ 5.2 ผลของระยะห่างระหว่างระนาบของหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี กับแผ่นพาราฟิน



#### 5.4 การศึกษาการเพิ่มปริมาณรังสีสะท้อนโดยการลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูง

ผลการทดลองแสดงในกราฟรูป 5.3 พบว่า การจัดระบบโดยการให้ลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงก่อนด้วยพาราฟิน แล้วจึงทำอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำที่แทรกในเนื้อฟองน้ำ หรือวัสดุที่ต้องการวัดความชื้น ร่วมกับนิวตรอนพลังงานสูงที่ทำอันตรกิริยาโดยตรง จะทำให้ผลรวมของปริมาณรังสีสะท้อนเพิ่มขึ้นกว่าที่ใช้ระบบโดยการวัดด้วยวิธีใช้นิวตรอนพลังงานสูงโดยตรงให้ไปทำอันตรกิริยากับน้ำเลย

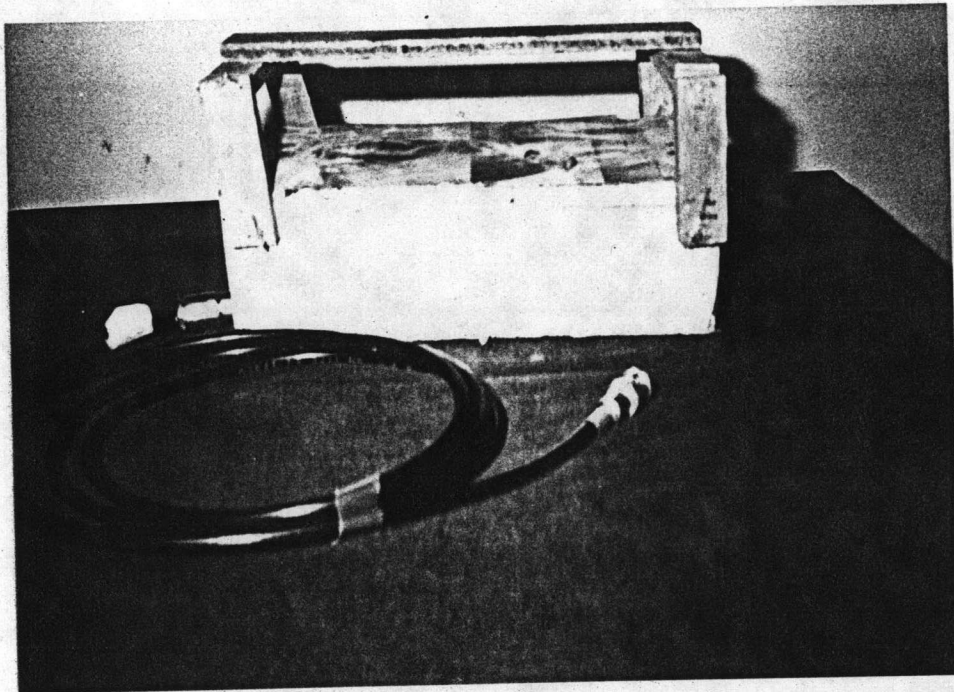
ดังนั้นการลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงก่อน จะช่วยให้ประสิทธิภาพของการวัดความชื้นในวัสดุดีขึ้น และจะเป็นการลดความหนาวิกฤตของวัสดุที่ต้องการวัดความชื้นในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากัน ซึ่งสามารถจะดูความแตกต่างจากวิธีทั้งสอง ดังแสดงในกราฟรูป 5.3



รูป 5.3 ผลเปรียบเทียบการวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นพองน้ำ ระหว่างวิธีการใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนพลังงานสูงโดยตรงและการลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงบางส่วนก่อน

### 5.5 การประกอบต้นแบบโปรบวัดความชื้นระดับพื้นผิวแบบหัวเดี่ยว

จากผลการศึกษาในหัวข้อ 5.1 ถึง 5.4 ทั้งหมด ได้นำมาทดลองและออกแบบสำหรับโปรบวัดความชื้นใช้ในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นต้นแบบ เพื่อใช้เป็นต้นแบบศึกษาและจัดสร้างเป็นโปรบที่จะนำไปใช้ในภาคสนามต่อไป ดังแสดงในรูป 5.4 ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบในหัวข้อ 4.3.5 และผลการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่างๆในหัวข้อ 5.1 ถึง 5.4



รูป 5.4 ต้นแบบโปรบวัดความชื้นที่ประกอบขึ้น

### 5.6 การศึกษาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญ

ผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

#### 5.6.1 การศึกษาผลของพื้นที่รองรับก่อนอิฐที่จะมีผลกระทบต่อการนับจำนวนรังสี

จากผลการทดลองที่แสดงในตาราง 5.3 พบว่า พื้นที่ต่างๆที่รองรับซึ่งงานที่ต้องการวัดความชื้นอันประกอบด้วยพื้นโต๊ะ พื้นคอนกรีตจะมีผลต่อการวัดทั้งสิ้น ทั้งนี้พื้นที่ดังกล่าวโดยเฉพาะไม้ ในองค์ประกอบทางเคมีก็จะมีธาตุไฮโดรเจนอยู่แล้ว พื้นคอนกรีตสามารถอมน้ำได้ (ดูดไอน้ำในบรรยากาศ) ดังนั้นทั้งสองพื้นที่ดังกล่าวจะมีผลต่อการวัดแน่นอน แต่สามารถลดผลกระทบดังกล่าวด้วยการยกกระดานขึ้นงานที่ต้องการวัดความชื้นให้พ้นไปจากพื้นดังกล่าว ผลการศึกษาดังกล่าวก็จะนำไปเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในหัวข้อต่อไป



ตาราง 5.3 ผลของวัสดุรองรับต่อการวัดความชื้น

ลักษณะของการจัดการวัด	จำนวนนับต่อ 100 วินาที			ค่าเฉลี่ย
1. วางหัววัดบนโต๊ะทดลอง	800	791	794	795
2. ย้ายหัววัดให้พ้นบริเวณโต๊ะ	262	242	251	252
3. วางหัววัดบนพื้นห้องคอนกรีต	1668	1690	1679	1679
4. ยกกระดานหัววัดสูงจากพื้นห้อง 30 เซนติเมตร	319	330	326	325
5. ยกกระดานหัววัดสูงจากพื้นห้อง 80 เซนติเมตร	268	296	277	280

## 5.6.2 การศึกษาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญ

จากผลการศึกษาในหัวข้อ 5.6.1 เพื่อลดผลกระทบต่างๆของพื้นที่ที่รองรับชิ้นงาน จึงจัดอุปกรณ์การทดลองดังรูป 4.11 ขึ้น ผลการทดลองแสดงในตาราง 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ โดยแสดงผลการนับจำนวนรังสีที่ความชื้นของอิฐมอญ 2 จุด คือ 29.66% และ 19.03% ตามลำดับ เป็นตัวแทนของการวัดเพื่อหาพื้นที่และขนาดที่เหมาะสมต่อการนับจำนวนรังสี ซึ่งเป็นความชื้นสูงและต่ำมาเปรียบเทียบกัน

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่วิกฤตที่จะใช้เพื่อการวัดถูกต้องที่สุด จะต้องใช้ความหนาของอิฐมอญอย่างน้อย 4 ชั้น ส่วนพื้นที่หน้ากว้างจัดเป็นแบบ 3x5 ก้อนหรือตามรูป 4.12(จ) โดยพิจารณาจากผลการนับจำนวนรังสีในแต่ละชั้นแต่ละรูปแบบที่จัดตั้งแสดงในรูป 4.12 นั้นเอง

ตาราง 5.4 ผลการนับรังสีในการหาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญที่ความชื้น 29.66%

จำนวนชั้น การจัดเรียง	จำนวนชั้น						
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	4 ชั้น	5 ชั้น	6 ชั้น	7 ชั้น
รูป 4.12 (ก)	1936	1761	2283	2168	2302	2300	2292
รูป 4.12 (ข)	1873	2173	2632	2602	2750	2754	2814
รูป 4.12 (ค)	1565	2214	2435	2663	2632	2674	2654
รูป 4.12 (ง)	1771	2678	3079	3036	3034	3033	3052
รูป 4.12 (จ)	1799	2197	3086	3097	3074	3033	3069

หมายเหตุ จำนวนนับเฉลี่ยของแบบกราวด์ เป็น 277 จำนวนนับต่อ 100 วินาที

ตาราง 5.5 ผลการนับรังสีในการหาความหนาและพื้นที่วิกฤตของอิฐมอญที่ความชื้น 19.03%

การจัดเรียง / จำนวนชั้น	จำนวนชั้น						
	1 ชั้น	2 ชั้น	3 ชั้น	4 ชั้น	5 ชั้น	6 ชั้น	7 ชั้น
รูป 4.12 (ก)	968	1304	1426	1449	1489	1456	1479
รูป 4.12 (ข)	1246	1590	1807	1779	1749	1737	1740
รูป 4.12 (ค)	1155	1466	1637	1647	1650	1667	1649
รูป 4.12 (ง)	1086	1414	1597	1713	1654	1651	1664
รูป 4.12 (จ)	1015	1407	1673	1709	1687	1691	1719

หมายเหตุ จำนวนนับเฉลี่ยของแบคทีเรียเป็น 282 จำนวนนับต่อ 100 วินาที

#### 5.7 การสร้างกราฟเปรียบเทียบของอิฐมอญ

ผลการทดลองที่เป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญกับจำนวนนับรังสี ซึ่งแสดงในกราฟรูป 5.4 และตาราง 5.6 ซึ่งได้นำมาแสดงเพียงบางจุดจากการทดลองซ้ำรวม 7 ชุดด้วยกัน โดยผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยของจำนวนนับรังสีกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญมาเขียนกราฟเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบที่ต้องการดังแสดงในกราฟรูป 5.4

ตาราง 5.6 ข้อมูลนับรังสีเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอิฐมอญ

แบคทีเรียเฉลี่ย จำนวนนับ/100 วินาที	จำนวนนับรังสีเฉลี่ยสุทธิ ต่อ 100 วินาที	เปอร์เซ็นต์ความ ชื้นจากคำนวณ
308	2437	37.94
314	2354	32.98
333	2062	28.64
335	1910	24.40
340	1638	20.20
328	1436	17.43
322	1432	13.39
345	890	7.49

หมายเหตุ จำนวนนับรังสีเฉลี่ยสุทธิ เป็นผลจากจำนวนนับรังสีเฉลี่ยลบด้วยจำนวนนับเฉลี่ยแบคทีเรีย



จากผลการทดลอง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอิฐมอญกับจำนวนน้ำรังสีดังปรากฏในรูป 5.5 พบว่าในช่วงความชื้นประมาณ 3-4% และ 10-37% สามารถเขียนกราฟเป็นเส้นตรงได้ ซึ่งเป็นการทำงานให้สะดวกในการปฏิบัติมากกว่า ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

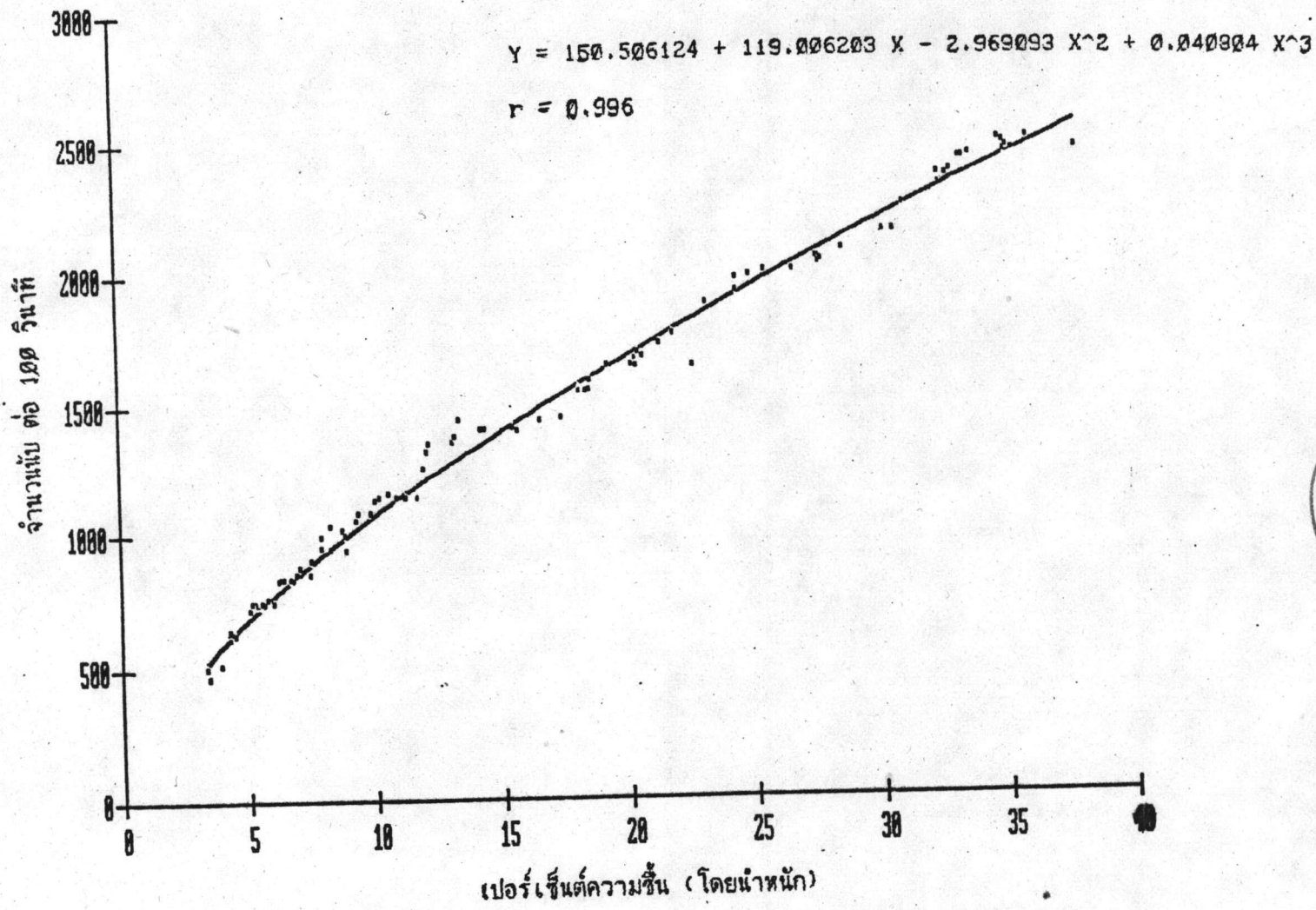
ก. การสร้างกราฟเปรียบเทียบซึ่งเป็นเส้นตรง สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องการข้อมูลมากพออย่างแบบเส้นโค้ง

ข. การปรับอุปกรณ์และการนอร์มาไลซ์ (normalization) ข้อมูลเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ จะต้องได้รับการตรวจสอบเป็นระยะๆ เพื่อผลการวัดที่ถูกต้องที่สุด ในทางปฏิบัติจึงต้องมีวัสดุมาตรฐาน เช่น แผ่นพาราฟินความหนาต่างๆ เพื่อใช้ตรวจสอบจำนวนน้ำรังสีที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดความชื้น หากมีค่าที่ต่างไปมากต้องปรับอุปกรณ์ เช่น ส่วนจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง ส่วนขยายสัญญาณ ส่วนตัดสัญญาณรบกวน เพื่อผลการนับของวัสดุมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงค่าเดิมมากที่สุด เมื่อแตกต่างออกไปก็สามารถนอร์มาไลซ์ไปหาค่าเดียวกันได้ โดยที่ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกระทำได้สะดวกกว่า

ดังนั้นจึงได้สร้างกราฟเปรียบเทียบแบบเส้นตรงโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดแรกจะเป็นช่วงความชื้นประมาณ 5-14% และชุดสองความชื้นจะอยู่ในช่วง 10-38% เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.3.8 หรือแสดงในตาราง 5.8 ไปอ่านกราฟเปรียบเทียบแบบเส้นตรงเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กราฟเปรียบเทียบแบบเส้นโค้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยวิธีมาตรฐาน (ASTM, ภาคผนวก ข) ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงในรูปกราฟ 5.7 โดยแสดงข้อมูลที่จะเปรียบเทียบ 2 ชุด ดังเช่นการทดลองในหัวข้อ 4.3.8 ซึ่งดำเนินการทดลอง 2 ครั้ง

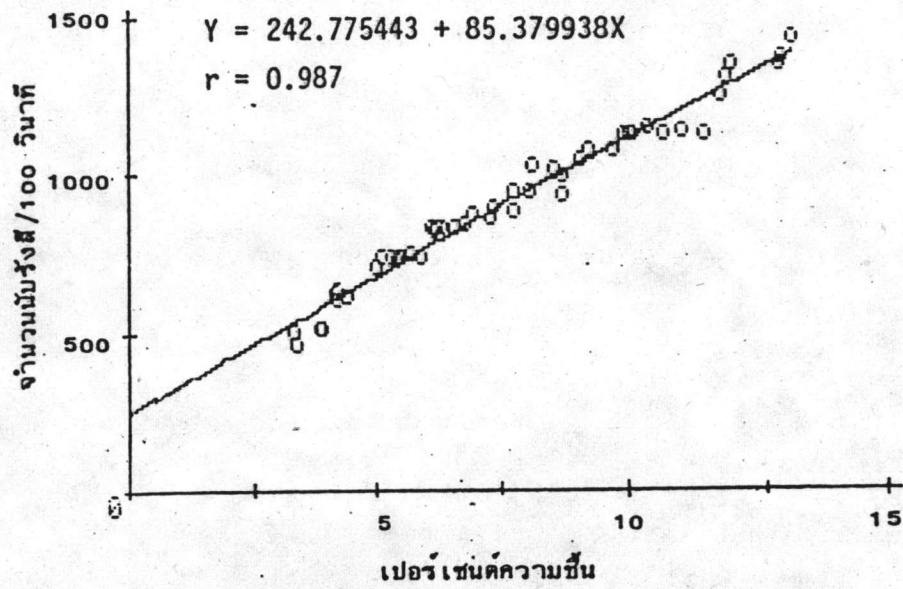
จากตาราง 5.7 จะพบว่า ผลการวัดความชื้นเมื่อใช้กราฟเปรียบเทียบเส้นโค้งกับเส้นตรงมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาถึงผลรวมของกำลังสองของค่าผิดพลาดก็ใกล้เคียงกัน คือจากชุดทดลองที่ 1 ได้ 7.64 และ 7.70 จากชุดทดลองที่ 2 ได้ 9.04 และ 8.03 ดังนั้นการใช้กราฟเส้นตรงในทางปฏิบัติจึงนับว่าเหมาะสมกว่า



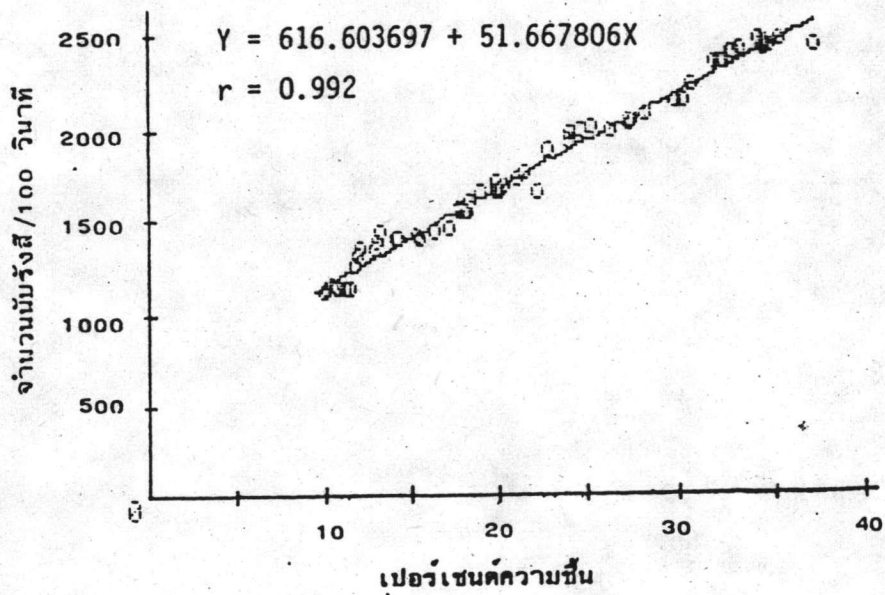


รูป 5.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอิฐมอญกับจำนวนนับรังสี





(ก) ความขึ้นน้อยกว่า 14%



(ข) ความขึ้นมากกว่า 10%

รูป 5.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างเปอร์เซ็นต์ความขึ้น  
ในอีรัมมอกับจำนวนนับรังสีไวตรอน

ตาราง 5.7

เปรียบเทียบผลการวัดความชื้นด้วยนิวตรอนเมื่อใช้กราฟปรับเทียบแบบเส้นโค้งและแบบเส้นตรง

ชุดที่ 1

เปอร์เซ็นต์ความชื้น ของอิฐมอดู	ผลจากกราฟเส้นโค้ง		ผลจากกราฟเส้นตรง	
	% ความชื้น	% ผิดพลาด	% ความชื้น	% ผิดพลาด
34.05	34.68	+0.63	34.71	+0.66
30.67	29.51	-1.16	29.21	-1.46
27.44	27.61	+0.17	17.39	-0.05
23.02	24.22	+1.20	24.28	+1.26
20.15	19.32	-0.83	19.73	-0.42
18.86	17.44	-1.42	17.87	-0.99
14.50	14.87	+0.37	15.12	+0.62
11.13	12.24	+1.11	12.01, 11.64	+0.88, +0.51
10.06	10.39	+0.33	9.59, 10.18	-0.47, +0.12
9.45	9.32	-0.13	9.28	-0.17
7.23	6.83	-0.40	6.97	-0.26
6.40	6.44	+0.04	6.58	+0.18
5.53	5.46	-0.07	5.57	+0.04
4.20	4.44	+0.24	4.47	+0.27



ตาราง 5.7 (ต่อ)

ชุดที่ 2

เปอร์เซ็นต์ความขึ้น ของอิฐมอญ	ผลจากกราฟเส้นโค้ง		ผลจากกราฟเส้นตรง	
	% ความขึ้น	% ผิดพลาด	% ความขึ้น	% ผิดพลาด
34.88	35.73	+0.85	35.97	+1.09
30.65	29.81	-0.84	29.50	-1.15
26.66	26.61	-0.05	26.47	-0.19
23.59	24.18	+0.59	24.24	+0.65
20.16	19.34	-0.82	19.75	-0.41
18.83	17.32	-1.51	17.74	-1.09
16.45	15.33	-1.12	15.63	-0.82
13.36	14.24	+0.88	14.41, 13.09	+1.05, -0.27
11.14	12.05	+0.91	11.78, 11.50	+0.64, +0.36
10.59	10.80	+0.21	10.15, 10.52	-0.44, -0.07
9.43	9.46	+0.03	9.40	-0.03
7.74	6.61	-1.13	6.75	-0.99
5.37	5.43	+0.06	5.54	+0.17
4.43	4.52	+0.09	4.55	+0.12
3.36	3.01	-0.35	2.81	-0.55

- หมายเหตุ : 1. เปอร์เซ็นต์ความขึ้นของอิฐมอญได้จากการชั่งและอบโดยวิธีมาตรฐาน  
 2. % ความขึ้นที่มี 2 ค่า ค่าแรกอ่านจากกราฟในรูป 5.6 (ก)  
 ค่าหลังอ่านจากกราฟในรูป 5.6 (ข)  
 3. ในการคำนวณผลรวมกำลังสองของค่าผิดพลาดใช้ค่าที่มีค่ามากกว่าในกรณีที่มี 2 ค่า

5.8 การตรวจสอบความถูกต้องของการใช้อุปกรณ์วัดความชื้นกับการวัดความชื้นในอิฐมอก

ผลการทดลองตรวจสอบความถูกต้องของการใช้อุปกรณ์วัดความชื้นกับการวัดความชื้นในอิฐมอกแสดงในตาราง 5.8 โดยดำเนินการทดลองในหัวข้อ 4.3.8 ด้วย 2 ครั้ง ปรากฏผลจะใกล้เคียงกัน ซึ่งดูจากตารางดังกล่าวในส่วนของความผิดพลาด ดังนั้นกราฟที่ได้ (กราฟรูป 5.5) จึงมีความเหมาะสมพอสมควร

ตารางที่ 5.8 ผลการตรวจสอบการวัดความชื้นในอิฐมอกด้วยอุปกรณ์วัดความชื้นด้วยนิวตรอน การทดสอบชุดที่ 1

แบบคราวันด์		จำนวนนับรังสี ต่อ 100 วินาที						% ความชื้น ที่อ่านได้จาก กราฟรูป 5.5	% ความชื้น โดยวิธี มาตรฐาน	ความผิดพลาด (%)
จำนวนนับ/ ครั้งที่ 1	100 วินาที ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	2	3	4	5	เฉลี่ย			
338	325	2410	2400	2411	2420	2408	2410	34.68	34.05	+0.63
315	321	2130	2122	2135	2137	2108	2126	29.51	30.67	-1.16
340	331	2044	2035	2021	2040	2019	2032	27.61	27.44	+0.17
329	314	1886	1870	1856	1860	1881	1871	24.22	23.02	+1.20
340	333	1638	1640	1622	1645	1635	1636	19.32	20.15	-0.83
326	351	1545	1539	1555	1527	1538	1540	17.44	18.86	-1.42
337	316	1395	1401	1405	1390	1397	1398	14.87	14.50	+0.37
322	326	1229	1240	1230	1255	1232	1237	12.24	11.13	+1.11
308	322	1115	1100	1110	1116	1120	1112	10.39	10.06	+0.33
353	347	1039	1046	1021	1040	1031	1035	9.32	9.45	-0.13
343	336	845	838	850	825	831	838	6.83	7.23	-0.40
304	318	810	815	801	804	797	805	6.45	6.44	+0.01
322	341	719	726	708	714	721	718	5.46	5.53	-0.07
327	316	625	635	619	617	624	624	4.44	4.20	+0.24

ตาราง 5.8 (ต่อ)

การทดสอบชุดที่ 2

แบบกราวนด์		จำนวนนับรังสี ต่อ 100 วินาที						% ความชื้น ที่อ่านได้จาก กราฟรูป 5.5	% ความชื้น โดยวิธี มาตรฐาน	ความผิด พลาด (%)
จำนวนนับ/100 วินาที ครั้งที่ 1	2	ครั้งที่ 1	2	3	4	5	เฉลี่ย			
345	348	2491	2479	2450	2466	2488	2475	35.73	34.88	+0.85
361	350	2148	2140	2126	2151	2138	2141	29.81	30.65	-0.84
340	319	1992	1978	1999	1969	1983	1984	26.61	26.66	-0.05
335	362	1888	1866	1872	1858	1861	1869	24.18	23.59	+0.59
345	327	1636	1640	1628	1651	1630	1637	19.34	20.16	-0.82
331	350	1539	1526	1540	1531	1528	1533	17.32	18.83	-1.51
325	342	1423	1433	1405	1416	1440	1424	15.33	16.45	-1.12
328	316	1377	1360	1366	1354	1346	1361	14.24	13.36	+0.88
301	322	1224	1238	1220	1206	1235	1225	12.05	11.14	+0.91
317	336	1159	1141	1134	1150	1122	1141	10.80	10.59	+0.21
351	344	1061	1047	1055	1038	1025	1045	9.46	9.43	+0.03
326	311	816	823	806	815	833	819	6.61	7.74	-1.13
347	322	714	726	700	709	731	716	5.43	5.37	+0.06
306	318	625	634	610	651	633	631	4.52	4.43	+0.09
327	333	471	485	500	494	463	483	3.01	3.36	-0.35



### 5.9 การศึกษาความหนาวิกฤตและพื้นที่วิกฤตของดินลูกรัง

ผลการทดลองหาความหนาและพื้นที่วิกฤตของตัวอย่างดินลูกรังนอสรูปได้ในตาราง 5.9 เนื่องจากข้อมูลมีเป็นจำนวนมาก จึงได้นำข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข ปรากฏว่าจากการวัดจำนวนนับรังสีของตัวอย่างดินที่ทำขึ้นเป็น 3 ประเภทคือ แห้ง ขึ้นปานกลาง และขึ้นมาก ซึ่งเสมือนตัวแทนของปริมาณความชื้นต่างๆกันจากระดับเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำจนความชื้นสูงนั้น พบว่าขนาดพื้นที่และความสูงที่น้อยที่สุดเพื่อให้ได้จำนวนนับรังสีมากที่สุดได้แก่ ขนาดของกะบะดังรูป 4.14 แบบที่ 5 โดยมีความสูงของดิน 18 เซนติเมตร และมีพื้นที่หน้ากว้าง 95x123 เซนติเมตร ถึงแม้จะเพิ่มพื้นที่หน้ากว้างขึ้นหรือความสูงไปกว่านี้ จำนวนนับรังสีก็ยังคงค่อนข้างจะคงที่เมื่อเทียบกับจำนวนนับรังสีของขนาดและพื้นที่หน้ากว้างดังกล่าว

ตาราง 5.9 ตัวอย่างจำนวนนับรังสีแต่ละรูปแบบของตัวอย่างดินลูกรังในกะบะ

รูปแบบกะบะ	ความสูง (ซม.)	จำนวนนับรังสีเฉลี่ย ต่อ 100 วินาที		
		ดินแห้ง	ดินขึ้นปานกลาง	ดินขึ้นมาก
1	16	1046	1509	2049
2	10	1021	1533	2006
3	14	1040	1439	2251
4	18	1035	1662	2441
5	*18	1050	1545	2665
6	18	1034	1829	2668
A	16	1020	1545	2234
B	14	1060	1676	2245
C	18	1016	1531	2648
D	14	948	1874	2636
E	20	958	1954	2342
F	20	930	1821	2752

หมายเหตุ ได้นำข้อมูลที่แสดงความสูงที่ให้ค่าจำนวนนับรังสีเฉลี่ยสูงสุด

\* ขนาดและพื้นที่วิกฤตของดินลูกรังที่เหมาะสม

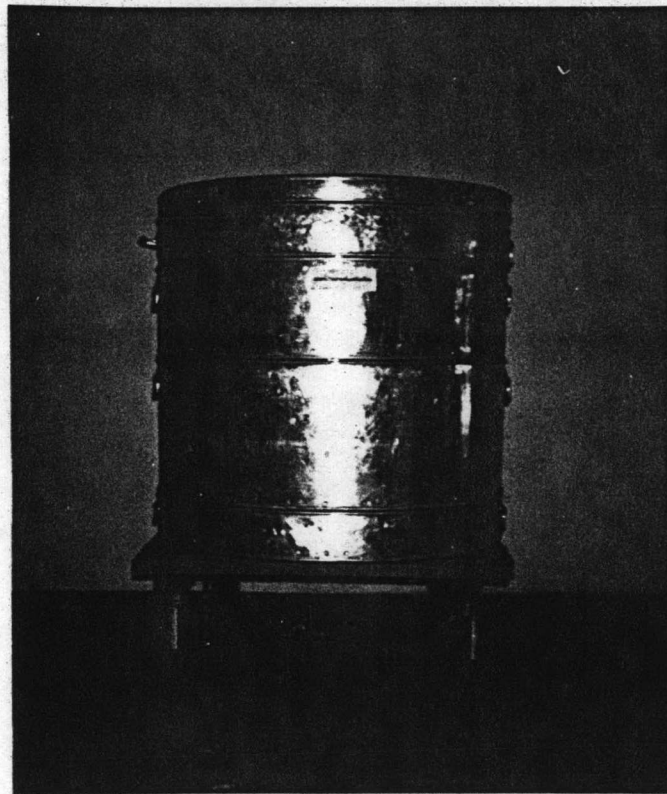
### 5.10 การสร้างกราฟเปรียบเทียบของตัวอย่างดินลูกรัง

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนดังต่อไปนี้

#### 5.10.1 การสร้างภาชนะบรรจุดินลูกรัง

ตั้งผลการทดลองในหัวข้อ 5.9 ซึ่งได้น้ำที่วิกฤตมีหน้ากว้าง  $35 \times 123$  เซนติเมตรนั้น โดยการคำนวณรัศมีสมมาตรก็จะมีค่าเท่ากับ 37 เซนติเมตร จึงได้ออกแบบและจัดสร้างในรัศมีถึงประมาณ 40 เซนติเมตร ตามแบบมาตรฐานของ JIS ซึ่งแสดงในภาคผนวก ฎ ดังกล่าว (ตามรูป 4.15) ซึ่งผลการจัดสร้างได้แสดงในรูป 5.7 โดยใช้วัสดุคืออลูมิเนียมซึ่งเป็นการลดผลกระทบของรังสีนิวตรอน จากรูปจะมีหัวของแต่ละชั้นเพื่อการถอดออกและใส่ในการเพิ่มหรือลดความสูงได้ตามต้องการ

การทดลองในหัวข้อ 4.3.9 ซึ่งผลการทดลองมีขนาดส่วนสูงวิกฤต 18 เซนติเมตร จึงได้ออกแบบส่วนของความสูง 20 เซนติเมตรไว้ ดังนั้นการทดลองในหัวข้อ 4.3.10.3 ตอนที่สองเพื่อหากราฟเปรียบเทียบของดินลูกรังนั้นจึงใช้แต่ส่วนของความสูง 20 เซนติเมตรรวมกับฐานซึ่งสูง 10 เซนติเมตร ดังแสดงการทดลองในรูป 4.17



รูป 5.7 ภาชนะปรับเทียบพร้อมฐานรองไม้

#### 5.10.2 การสร้างกราฟเปรียบเทียบของตัวอย่างดินลูกรัง

ผลการทดลองซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่างดินลูกรัง กับจำนวนนับ



รังสีเฉลี่ยซึ่งแสดงในกราฟรูป 5.8 และตาราง 5.10 เพียงบางข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากข้อมูลมีเป็นจำนวนมากจึงได้แสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ค

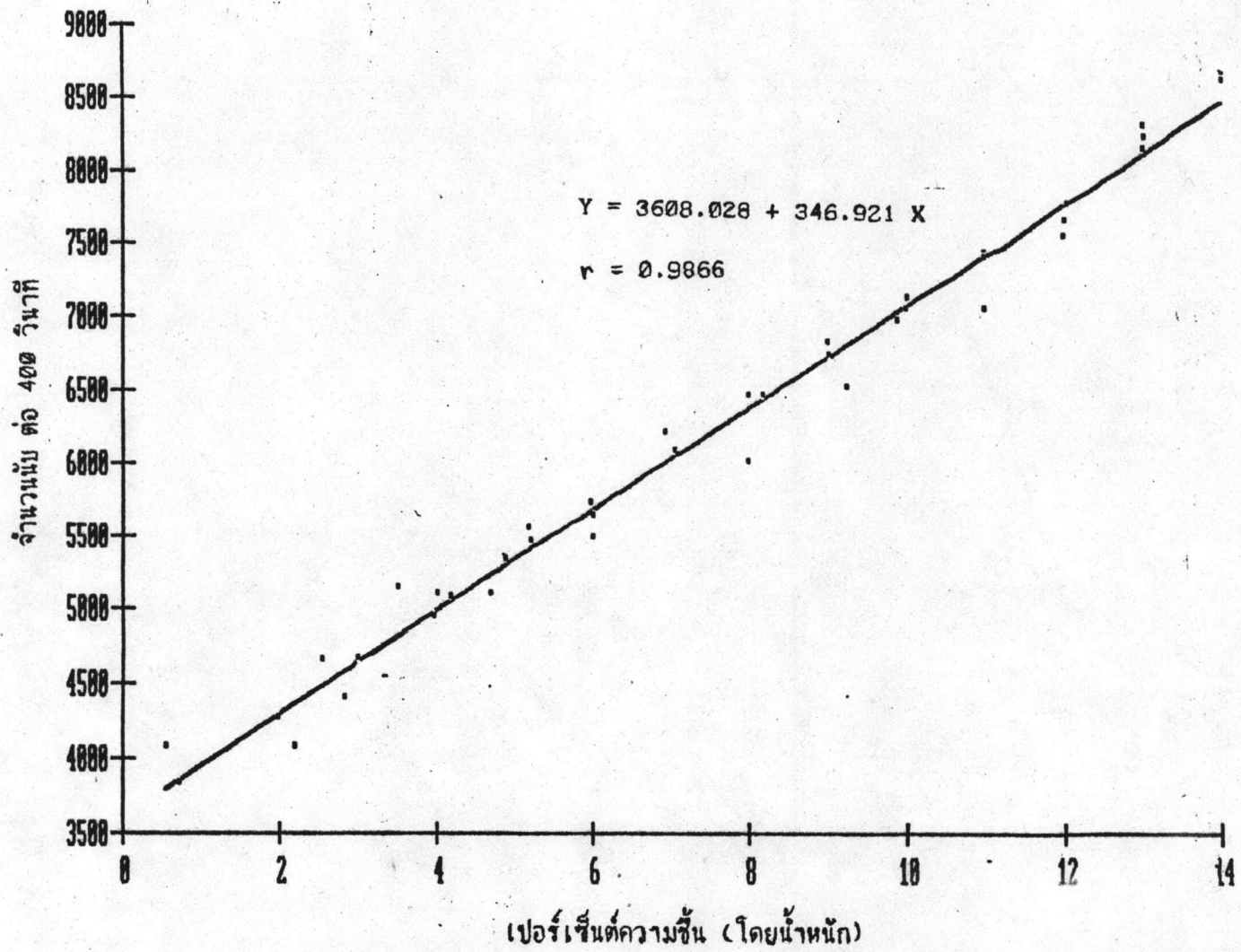
จากผลการทดลองในหัวข้อ 5.7 นั้น กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ถูกปรับมาเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง และได้จัดสร้างวัสดุมาตรฐานขึ้นเพื่อเป็นการตรวจสอบและปรับอุปกรณ์ด้วย โดยหล่อพาราฟินขึ้นให้มีขนาดเท่ากับ  $14 \times 20 \times 2.5$  เซนติเมตร หรือเท่ากับต้นแบบโปรบวัดความชื้นดังแสดงในรูป 5.4 แล้วนั้น การวัดจำนวนนับรังสีเพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ กับแผ่นพาราฟินที่ใช้เป็นมาตรฐานการตรวจสอบ (แผ่นมาตรฐานพาราฟิน) ได้แสดงในรูป 4.18 ซึ่งการตรวจสอบได้กระทำก่อนการนับจำนวนรังสีของแต่ละจุดของเปอร์เซ็นต์ความชื้นดังแสดงในตาราง 5.10 ด้วย โดยใช้เวลากการนับ 400 วินาที ต่อ 1 ครั้ง เช่นเดียวกับการนับกับตัวอย่างดินลูกรัง

จากเวลาของการนับต่อ 1 ครั้งนั้น ใช้เวลา 400 วินาทีซึ่งแตกต่างจากของอิฐมอญ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้เวลาเท่ากับอิฐมอญคือ 100 วินาที จะไม่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดินลูกรังได้เปลี่ยนไป จึงได้เพิ่มเวลาในการนับขึ้นจนใช้เวลา 400 วินาที จึงสามารถแยกความแตกต่างได้ชัดเจนขึ้น

ตาราง 5.10 ข้อมูลของจำนวนนับรังสีเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่างดินลูกรังเพียงบางข้อมูล

แผ่นมาตรฐานพาราฟิน จำนวนนับเฉลี่ย/ 400 วินาที	ตัวอย่างดินลูกรัง จำนวนนับเฉลี่ย/ 400 วินาที	เปอร์เซ็นต์ความชื้น จากการคำนวณ
7027	4064	0.54
7113	4259	1.959
7098	5134	3.483
7093	5322	4.856
7115	6202	6.908
7110	6451	8.145
7057	6963	9.868
7117	7044	10.983
7059	7768	12.02
7089	8644	13.982





รูป 5.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดินลูกรังกับจำนวนนับรังสี

เมื่อพิจารณาจำนวนนับรังสีของแผ่นมาตรฐานพาราฟิน พบว่าจำนวนนับรังสีค่อนข้างจะคงที่ เมื่อคำนวณความแปรปรวน (variance) ของค่าเฉลี่ยแต่ละจุดซึ่งได้จากการวัดซ้ำ 3 ครั้งนั้น ทั้งหมดจะมีค่าเป็น 23.599 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเฉลี่ยทั้งหมดมีค่าเป็น 7085 จำนวนนับต่อ 400 วินาที จะมิต้าน้อยมาก ดังนั้นจำนวนนับของตัวอย่างดินจึงมีค่าที่เชื่อถือได้ว่าน่าจะเป็นจริง อันเป็นผลจากปริมาณน้ำในตัวอย่างดินจริง อุปกรณ์ต่างๆยังคงสภาพที่ดี

พิจารณาจากกราฟ 5.8 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบของตัวอย่างดินลูกรังนั้น จะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ในช่วงของความชื้น 5-14% ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสะดวกต่อการปฏิบัติงาน ดังได้อธิบายในผลการทดลอง 5.7 แล้วและในการก่อสร้างทางความชื้นที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7-10% ถ้าต่ำหรือสูงกว่านี้จะ มีปัญหาต่อการบดอัดดิน ดังนั้นกราฟที่ได้จึงมีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน

5.11 การตรวจสอบความถูกต้องของการใช้อุปกรณ์วัดความชื้นกับการวัดความชื้นในดินลูกรัง

ผลการตรวจสอบแสดงในตาราง 5.11 ซึ่งเป็นผลของการดำเนินการทดลองในหัวข้อ 4.3.11 โดยการดำเนินการทดลอง 1 ชุด ซึ่งเป็นผลจากการอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่านจากกราฟเมื่อได้จำนวนนับรังสีเฉลี่ยจากการทดลองแล้ว เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐาน (ASTM) ซึ่งผลการเปรียบเทียบจะใกล้เคียงกันโดยพิจารณาจากส่วนของความผิดพลาด ดังนั้นกราฟที่ได้ในรูป 5.8 จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้เป็นกราฟเปรียบเทียบของตัวอย่างดินลูกรังชุดที่ทำการทดลอง

ตาราง 5.11 ผลการตรวจสอบการวัดความชื้นในตัวอย่างดินลูกรังด้วยอุปกรณ์วัดความชื้นด้วยรังสีนิวตรอน

แผ่นมาตรฐานพาราฟิน จำนวนนับ/400 วินาที				ตัวอย่างดินลูกรัง จำนวนนับ/400 วินาที				% ความชื้น ที่อ่านจาก กราฟ รูป 5.8	% ความชื้น โดยวิธี มาตรฐาน	ความผิดพลาด (%)
ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย			
7060	7084	7059	7060	3998	4015	4028	4014	1.17	1.25	-0.08
7088	7104	7090	7094	4600	4626	4650	4625	2.93	2.94	-0.01
7050	7041	7064	7052	4938	4960	4970	4956	3.89	4.0	-0.11
7038	7051	7060	7050	5420	5100	5088	5103	4.3	4.69	-0.38
7044	7075	7058	7059	5688	5695	5708	5697	6.02	5.89	+0.38
7108	7130	7093	7110	6148	6129	6159	6145	7.31	6.95	+0.36
7126	7107	7085	7106	6010	6040	6037	6029	6.98	7.04	-0.06
7079	7059	7063	7067	6498	6449	6468	6472	8.26	8.15	+0.11
7083	7080	7067	7077	7000	7020	7038	7019	9.83	9.95	-0.12



ตาราง 5.11 (ต่อ)

แผ่นมาตรฐานพาราฟิน จำนวนนับ/400 วินาที				ตัวอย่างดินลูกรัง จำนวนนับ/400 วินาที				% ความชื้น ที่อ่านจาก กราฟ รูป 5.8	% ความชื้น โดยวิธี มาตรฐาน	ความผิด พลาด (%)
ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย			
7103	7120	7093	7105	7398	7386	7350	7378	10.87	10.78	+0.09
7115	7109	7084	7103	7510	7530	7493	7511	11.25	11.95	-0.7
7035	7069	7051	7052	8160	8175	8153	8163	13.13	13.0	+0.13
7028	7060	7078	7055	8338	8320	8345	8334	13.62	13.48	+0.14

พิจารณาค่าแปรปรวนของค่าเฉลี่ยทั้งหมด (14 จุด) ของจำนวนนับรังสีของแผ่นมาตรฐานพาราฟิน พบว่ามีค่า 24.597 ดังนั้นจำนวนนับรังสีของตัวอย่างดินลูกรังที่อ่านได้จึง เป็นค่าที่เชื่อถือได้

#### 5.12 การออกแบบและสร้าง โพรบวัดความชื้นพร้อมภาชนะบรรจุ โพรบสำหรับการขนย้ายและกำบังรังสี ผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

##### 5.12.1 ผลการออกแบบและสร้าง โพรบวัดความชื้น

ผลการออกแบบและประกอบเป็นโพรบวัดความชื้นดังแสดงในรูป 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ โดย ส่วนของการใช้งานดังแสดงในรูป 5.9 ส่วนรูป 5.10 เป็นส่วนล่างที่ใช้เป็นส่วนกำบังรังสีในการเคลื่อนย้าย สำหรับรายละเอียดของส่วนต่างๆของโพรบวัดความชื้นมีดังต่อไปนี้

ส่วนบน : ก) ประกอบด้วยหัววัดนิวตรอนพลังงานต่ำ ( $BF_3$ ) 1 หัววัดพร้อมต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน 1 แท่ง (รูปทรงกระบอก)

ข) ขนาดของโพรบวัดภายนอกหลังจากที่ได้คำนวณถึงความปลอดภัย และสะดวกควมคู่กันไปในภาคผนวก ง จะได้รูปขนาด 13×37×8 เซนติเมตร โดยมีแผ่นเหล็กหนา 0.12 เซนติเมตร มี ส่วนของหัววัดและส่วนของการเก็บรักษาป้องกันการสูญหายของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน และหัววัดรังสีนิวตรอน พลังงานต่ำโดยใช้กัญแจบิต ซึ่งเป็นการประกอบส่วนล่างของโพรบ (ดังแสดงในรูป 5.10) ด้วย

ค) ส่วนต่างๆดังที่ออกแบบแล้วในรูป 4.9 ทุกประการ โดยใช้อัตราส่วนของพาราฟิน ผสมผงกรดโบริค 2:1 แต่ไม่มีแผ่นโบรอนคาไบด์ ทั้งนี้เพื่อต้องการให้จำนวนนับรังสีสูงขึ้นกว่าเดิม จะเป็น ประโยชน์ต่อการแยกความแตกต่างของแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ชัดเจนขึ้น

ง) น้ำหนักประมาณ 2.73 กิโลกรัม

ส่วนล่าง : ก) มีขนาด 13×37×6 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นเหล็กหนา 0.12 เซนติเมตรเช่นกัน โดยเป็นไปตามการคำนวณในภาคผนวก ง เช่นกัน ส่วนภายในประกอบด้วยส่วนผสมของพาราฟินต่อผงกรดโบริค



2:1 เพียงอย่างเดียว

ข) น้ำหนักประมาณ 2.51 กิโลกรัม

หลังจากออกแบบและประกอบแล้วของโปรบวัดความชื้น แล้วได้ทำการตรวจสอบความปลอดภัยของระบบวัดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีนิวตรอนแบบภาคสนาม (neutron survey meter) ในขณะวัดจำนวนนับรังสีในภาชนะปรับเทียบที่ระยะห่างจากโปรบวัดความชื้นประมาณ 1 เมตร มีค่าโดสเรทประมาณ 0.5 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (5 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง) ที่ผิวของโปรบวัดความชื้นมีโดสเรทประมาณ 15 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (150 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง)

หลังจากประกอบส่วนล่างของโปรบวัดความชื้นแล้ววัดปริมาณรังสีที่ออกมาในส่วนล่าง โดยยกทั้งหัววัดความชื้นสูงจากพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร แล้ววัดบริเวณใต้โปรบวัดความชื้นจะมีค่าโดสเรทประมาณ 6 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (60 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง)

#### 5.12.2 การออกแบบส่วนของภาชนะบรรจุโปรบวัดความชื้น

ผลการออกแบบและประกอบเป็นภาชนะบรรจุได้แสดงในรูป 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ส่วนฝา : ก) ขนาด 24x48x5 เซนติเมตร โดยมีแผ่นอลูมิเนียมหนา 0.12 เซนติเมตรปิดทั้งหมด  
ข) ภายในประกอบด้วยส่วนกำบังรังสีนิวตรอน คือ ส่วนผสมของพาราฟินต่อผงกรดโบริค

2:1 เช่นกัน

ค) น้ำหนักประมาณ 6.45 กิโลกรัม

ส่วนลำตัว : ก) ขนาดภายนอกเท่ากับ 24x48x24 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมหนา 0.12 เซนติเมตร ปิดทั้งหมดเช่นกัน ส่วนภายในเจาะเป็นช่องสี่เหลี่ยมทรงกระบอกขนาด 14x37x14 เซนติเมตร บุด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 0.12 เซนติเมตร เพื่อบรรจุโปรบวัดความชื้นภายในดังกล่าว โดยแสดงในรูป 5.11

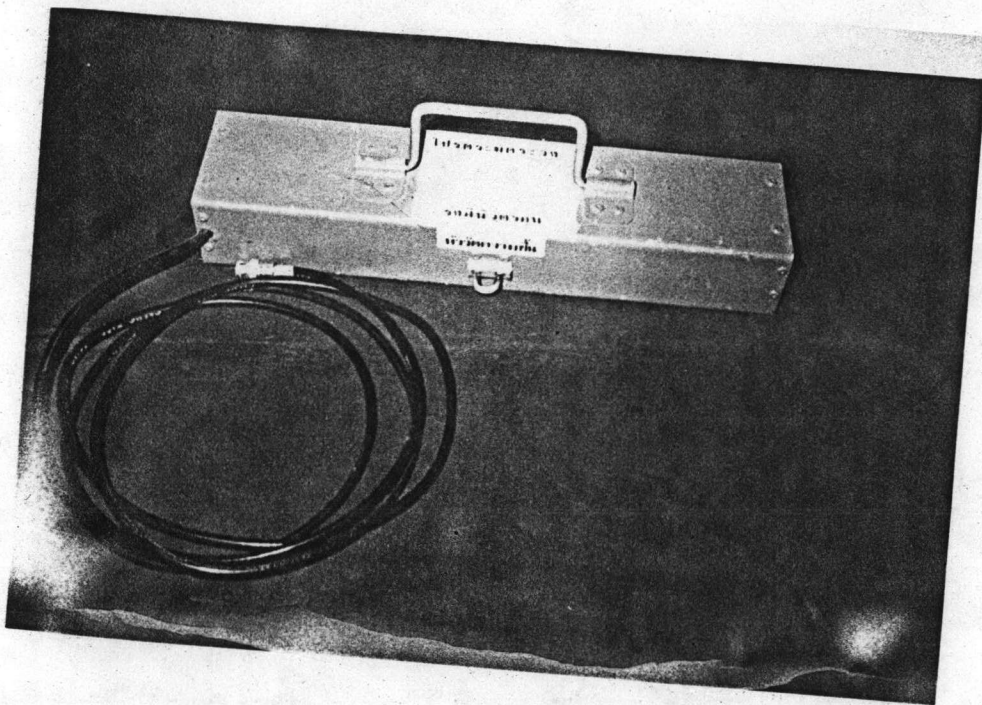
ข) เนื้อวัสดุภายในประกอบด้วยพาราฟินผสมผงกรดโบริคเช่นเดิม

ค) น้ำหนักประมาณ 21.35 กิโลกรัม

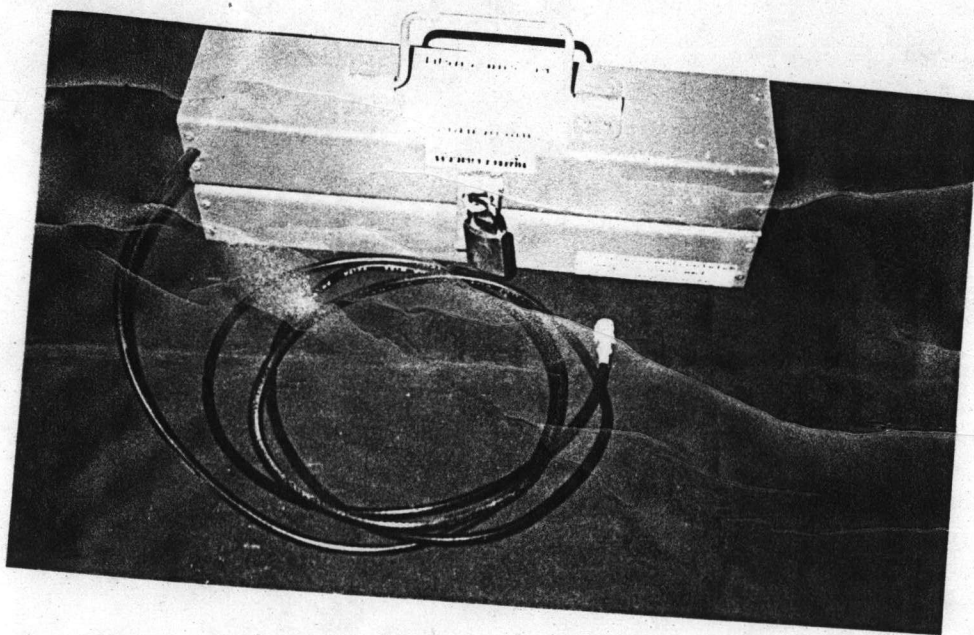
หลังจากออกแบบ และประกอบตัวภาชนะบรรจุโปรบแล้ว ได้ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีนิวตรอนแบบภาคสนาม ที่บริเวณผิวของฝาปรากฏมีโดสเรท 4.5 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (45 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง) และที่บริเวณผิวของลำตัวมีโดสเรท 4.5 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (45 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง) และที่ระยะห่างจากผิวลำตัว 1 เมตรเท่ากับ 0.5 มิลลิเรมต่อชั่วโมง (5 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง)

ดังนั้นผลการทดลองซึ่งประกอบด้วยโปรบวัดความชื้นและส่วนของภาชนะบรรจุโปรบ ดังแสดงในรูป 5.13 นั้น ปริมาณรังสีที่วัดได้นั้นและการคำนวณต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงมีความปลอดภัยทั้งขณะปฏิบัติงานในภาคสนามตลอดจนการขนย้าย ตลอดจนการสูญหายก็มีส่วนป้องกันได้ขึ้นหนึ่งด้วย

น้ำหนักรวมทั้งโปรบวัดความชื้นและภาชนะบรรจุโปรบประมาณ 33.04 กิโลกรัม ดังนั้นจึงมีความสะดวกพอสมควรในการเคลื่อนย้าย และใช้งานในภาคสนามได้โดยเฉพาะตัวโปรบวัดความชื้น (ส่วนที่ใช้วัด) มีน้ำหนักเพียง 2.73 กิโลกรัม

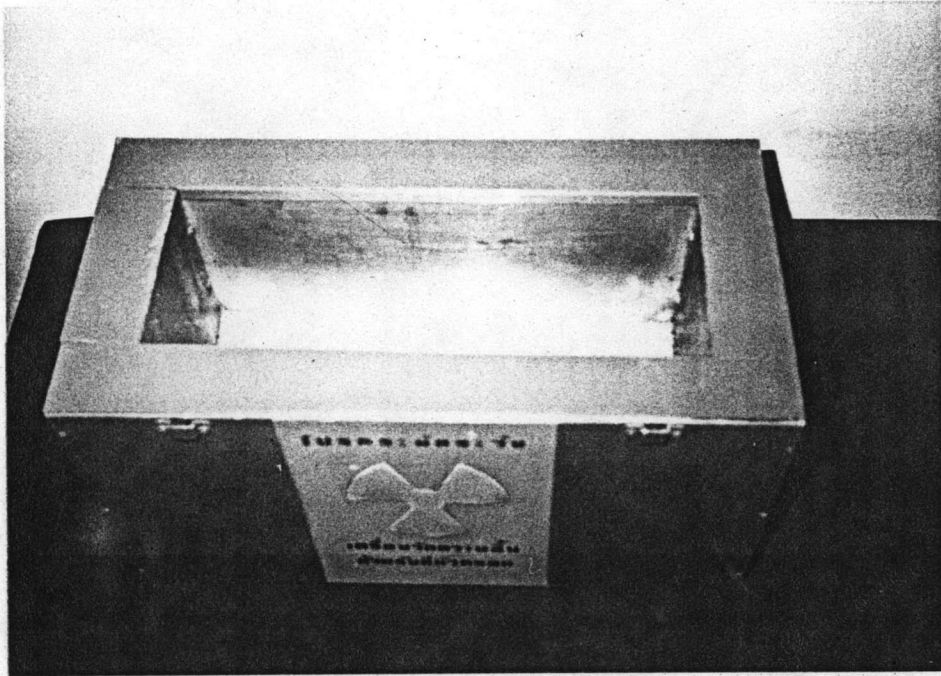


รูป 5.9 โพรบวัดความชื้นที่ประกอบเสร็จ (เฉพาะส่วนของการวัด : ต้นกำเนิดรังสี-หัววัดรังสี)

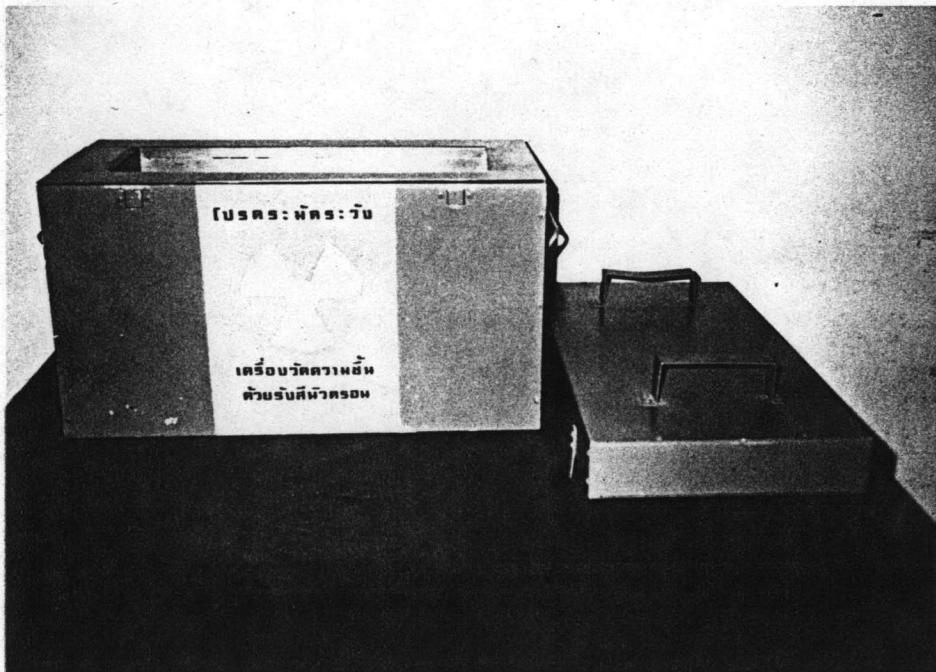


รูป 5.10 โพรบวัดความชื้นที่ประกอบเสร็จทั้งหมด (ส่วนของการวัดและส่วนล่างที่ใช้กำบังรังสี)



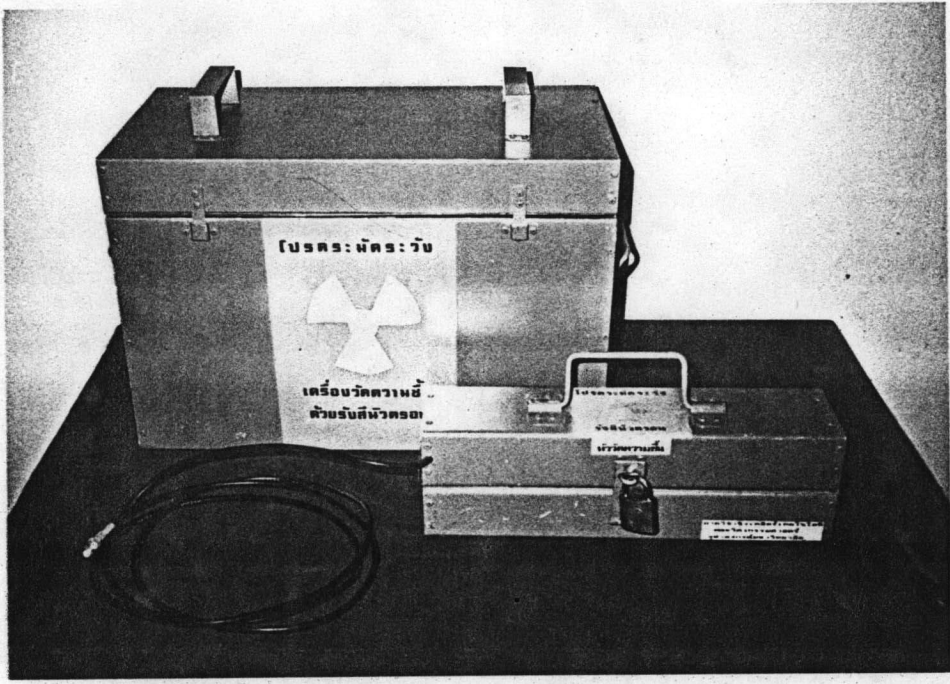


รูป 5.11 ภาพขณะบรรจุโปรบวัดความชื้นในส่วนของการบรรจุโปรบ



รูป 5.12 ภาพขณะบรรจุโปรบวัดความชื้นพร้อมฝาปิด





รูป 5.13 โพรบวัดความเข้มและภาชนะบรรจุโพรบ

5.13 การตรวจสอบความถูกต้องของโพรบวัดความเข้มที่ประกอบขึ้นกับชุดนับรังสีในห้องปฏิบัติการ

เพื่อเป็นการตรวจสอบโพรบที่ประกอบขึ้นแล้วนั้นมีความถูกต้องอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแบบเดิม ผลการทดลองแสดงในตาราง 5.12 ซึ่งเป็นการตรวจสอบความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟรูป 5.8 หรือกราฟปรับเทียบของตัวอย่างดินลูกรัง ดังเช่นการทดลองในหัวข้อ 4.3.11 นั้นเอง ผลการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ผ่านมา โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดจะใกล้เคียงกับผลการตรวจสอบในที่แสดงในตาราง 5.11 เช่นกัน จากการตรวจสอบอุปกรณ์จากจำนวนนับรังสีที่ปรากฏเมื่อคิดเป็นค่าแปรปรวน จะมีค่าเป็น 17.309 ซึ่งมีค่าน้อยเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา จึงถือว่าโพรบวัดความเข้มที่ประกอบขึ้นมีลักษณะเช่นเดิมและสามารถนำไปใช้งานในทางปฏิบัติได้ต่อไป และนำไปใช้กับการเปรียบเทียบกับกราฟปรับเทียบของอิฐมอญและตัวอย่างดินลูกรังได้

ตาราง 5.12 การตรวจสอบการวัดความชื้นในตัวอย่างดินลูกรังด้วยโปรบวัดความชื้นที่ประกอบขึ้นใหม่

แผ่นมาตรฐานพาราฟิน จำนวนนับ/400 วินาที				ตัวอย่างดินลูกรัง จำนวนนับ/400 วินาที				% ความชื้นที่ อ่านจากกราฟ รูป 5.8	% ความชื้นที่ โดยวิธี มาตรฐาน	ความ ผิดพลาด (%)
ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย			
14968	14896	14938	14934	4120	4149	4188	4152	1.57	1.65	-0.08
14944	14960	14989	14964	4515	4539	4560	4538	2.68	2.49	+0.25
14966	14978	14933	14959	5064	5028	5049	5047	4.15	3.99	+0.16
14995	14976	14898	14956	5310	5333	5320	5321	4.94	4.96	-0.02
14963	14942	14959	14955	5656	5640	5627	5641	5.86	5.99	-0.13
14972	14939	14960	14957	6060	6078	6048	6062	7.07	6.99	+0.08
14967	14982	14926	14958	6298	6319	6330	6316	7.81	7.78	+0.03
14988	14999	14955	14981	6678	6664	6693	6678	8.85	8.65	+0.20
14970	14951	14960	14960	7075	7060	7041	7059	9.95	9.98	-0.03
14929	14935	14950	14938	7415	7443	7428	7429	11.01	10.99	+0.02
14970	14958	14981	14970	7779	7786	7800	7788	12.05	12.08	-0.03
14963	14957	14939	14953	8120	8100	8136	8119	13.00	12.95	+0.05
14920	14939	14878	14912	8510	8498	8526	8511	14.13	13.98	+0.15

#### 5.14 การประกอบโปรบวัดความชื้นเข้ากับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าทั่ว

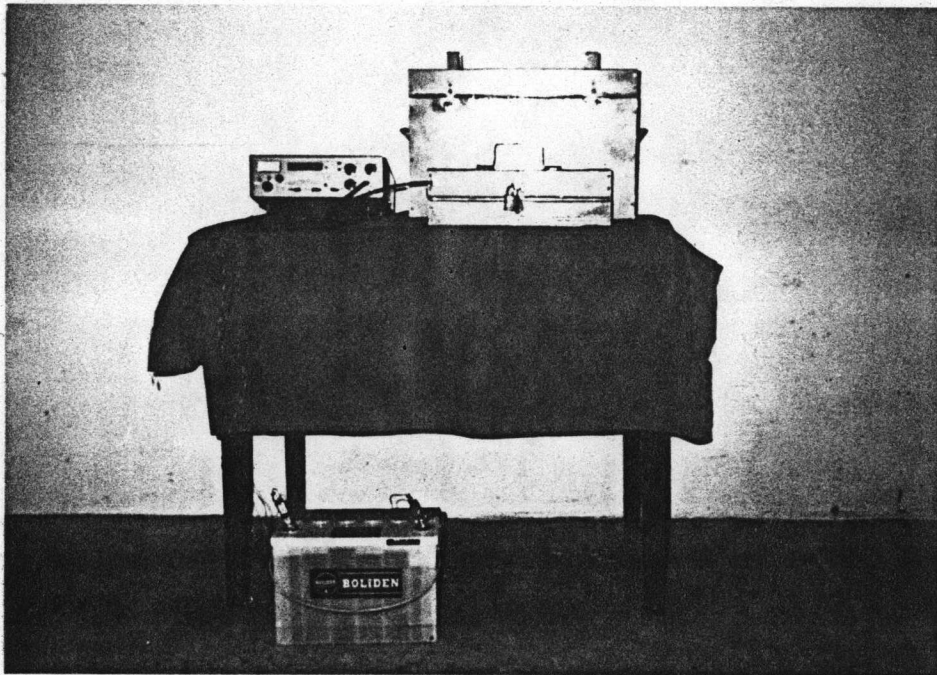
เพื่อตรวจสอบการประกอบโปรบวัดความชื้นเข้ากับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าทั่วดังกล่าว ก่อนที่จะนำไปทดสอบในภาคสนาม ผลการทดลองแสดงในตาราง 5.13 ซึ่งจัดการทดลองเหมือนหัวข้อ 4.3.11 ทุกประการแต่ข้ามการทดลองในบางจุดโดยมิได้กระทำเรียงความชื้นในดินจากต่ำไปสูงในทุกจุด ดังเช่นทุกครั้งที่ทำการทดสอบ ซึ่งแสดงในตาราง 5.13 และภาพการประกอบเครื่องนับแบบกระเป๋าทั่วพร้อมอุปกรณ์การวัดความชื้นที่จะนำออกสู่ภาคสนามที่สมบูรณ์ในรูป 5.14

ตาราง 5.13 การตรวจสอบเมื่อประกอบไปวัดความขึ้นกับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าคือ

แผ่นมาตรฐานนารานิน จำนวนนับ/400 วินาที				ตัวอย่างดินลูกรัง จำนวนนับ/400 วินาที				% ความขึ้นที่ อ่านจากกราฟ รูป 5.8	% ความขึ้นที่ โดยวิธี มาตรฐาน	ความ ผิดพลาด(%)
ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	2	3	เฉลี่ย			
14920	14938	14950	14936	4092	4100	4069	4087	1.38	1.43	-0.05
14911	14970	14963	14948	4855	4881	4886	4874	3.65	3.77	-0.12
14906	14930	14944	14929	5460	5428	5432	5440	5.28	5.15	+0.13
14955	14959	14928	14947	6361	6340	6397	6366	7.95	8.10	-0.15
14966	14945	14960	14957	7095	7061	7087	7081	10.01	9.90	+0.11
14922	14950	14936	14936	7863	7855	7856	7858	12.25	12.11	+0.14
14918	14930	14944	14931	8495	8450	8441	8462	13.99	14.03	-0.04

จากผลการทดลองซึ่งแสดงในตาราง 5.13 แม้การทดลองจะได้ข้ามในบางจุดเนื่องจากการตรวจสอบอุปกรณ์คือ เครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าคือ หลังจากการปรับตัวเครื่องเพื่อให้การนับรังสีได้จำนวนที่ใกล้เคียงกับการใช้ชุดนับรังสีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ (ดังรูป 4.2) เมื่อทดสอบในภาชนะบรรจุโพรบซึ่งใช้เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของโพรบและเครื่องนับรังสี ซึ่งได้แสดงในรูป 4.19 แล้ว ดังนั้นภายหลังการปรับแต่งอุปกรณ์ ให้มีอัตราการนับรังสีได้ใกล้เคียงกับชุดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการแล้ว คือมีการนับรังสีประมาณ 14900-15000 จำนวนนับต่อ 400 วินาที เมื่อได้อัตราการนับใกล้เคียงแล้วจึงถือว่าทุกอย่างซึ่งได้แก่อุปกรณ์การนับรังสีและ โพรบยังคงเป็นปกติ ดังนั้นการตรวจสอบอุปกรณ์ทั้งชุดดังกล่าวจึงได้กระทำข้ามไปในบางจุด ดังแสดงผลการทดลองในตาราง 5.13 ก็สามารถให้ผลใกล้เคียงกับตาราง 5.12 โดยพิจารณาจากความผิดพลาดและความคงที่ของการนับรังสีทั้งของแผ่นมาตรฐานนารานินและตัวอย่างดินลูกรังด้วย ดังนั้นจึงถือว่าชุดทดลองวัดความขึ้นพร้อมที่จะออกไปทดสอบในภาคสนาม





รูป 5.14 ชุดวัดความชื้นที่ใช้ในงานภาคสนาม: เครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าคือ, แบตเตอรี่, โพรบวัดความชื้น และภาชนะบรรจุโพรบ

#### 5.15 การทดสอบภาคสนามต่องานสร้างทางโดยชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม

ตารางที่ 5.14 เป็นผลการทดลองซึ่งรวมการทดลองในภาคสนามทั้ง 2 สถานที่โดยตัวอย่างดินลูกรังมาจาก 3 แหล่งด้วยกันคือ จากจังหวัดอยุธยา ชลบุรี และฉะเชิงเทรา จากการสอบถามคุณสมบัติของดินปรากฏว่า ดินจากจังหวัดฉะเชิงเทรามีความคล้ายคลึงกับจังหวัดสระบุรี ซึ่งดินจากสระบุรีจะมีคล้ายคลึงเคียงกับดินแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ที่ทางกรมทางหลวงได้ใช้ในการก่อสร้างทาง ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวอย่างดินลูกรังที่ได้ใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นดินคละจากจังหวัดสระบุรีกับแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากไม่สามารถติดตามที่มาของแหล่งดินได้อย่างชัดเจน

จากผลการทดลองในตารางรวม 5.14 จะพบว่าความผิดพลาดเนื่องจากดินจากจังหวัดชลบุรีและอยุธยา จะแตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากเส้นกราฟเปรียบเทียบ ดังกล่าวแล้วนั้นคือเป็นดินคนละชนิดกับดินที่ใช้ในการทดลอง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินจากจังหวัดฉะเชิงเทราซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง จะมีความใกล้เคียงมากกว่า ทั้งนี้เพราะไม่ใช่ดินชนิดเดียวกันแต่มีคุณสมบัติใกล้เคียง ความผิดพลาดที่ปรากฏจึงมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับดินจากจังหวัดชลบุรีและอยุธยา

จากผลการทดลองที่แสดงในตาราง 5.14 เมื่อนำค่าระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากโพรบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากวิธีมาตรฐานมาเขียนกราฟดังแสดงในรูป 5-5 โดยแยกประเภทของแหล่งดิน

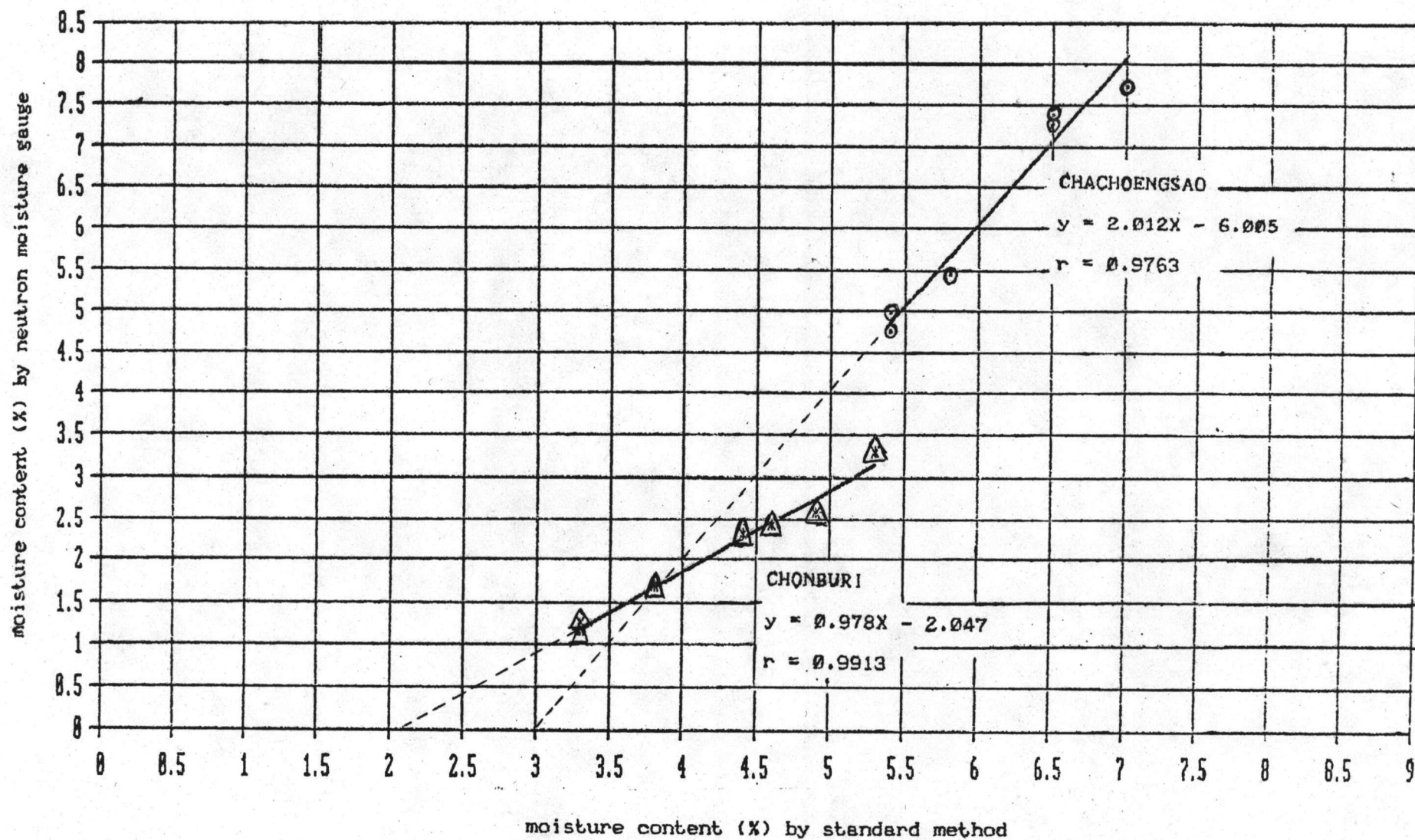
คือจากจังหวัดฉะเชิงเทราและชลบุรี ส่วนของอยุธยาเนื่องจากมีข้อมูล 3 จุดจึงไม่นำมาเขียนกราฟด้วย

จากรูปกราฟ 5.15 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากโปรบกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากการนำดินไปอบและซึ่งตามวิธีมาตรฐาน (ASTM, ภาคผนวก ข) ซึ่งได้กราฟเส้นตรง 2 เส้นตามชนิดที่มาของดินคือจากจังหวัดฉะเชิงเทรา และจากชลบุรี กราฟของจังหวัดฉะเชิงเทรา มีสมการเส้นตรงคือ  $Y = 2.0123X - 6.005$  และจะไปตัดกับแกน X หรือกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยวิธีมาตรฐานที่จุดประมาณ 3% ส่วนกราฟของชลบุรีจะมีสมการเส้นตรงคือ  $Y = 0.978X - 2.047$  และจะไปตัดกับแกน X ที่ประมาณ 2.1 %

ตาราง 5.14 การใช้ชุดวัดความชื้นในงานภาคสนาม

สถานที่วัด	แหล่งดิน	จุดที่	จำนวนนับรังสี/300 วินาที			% ความชื้นที่ อ่านจากโปรบ	% ความชื้นวิธี มาตรฐาน	ความผิดพลาด(%)
			ครั้งที่ 1	2	เฉลี่ย			
แยกอนุสาวรีย์ วีรชน	อยุธยา	1	3526	3500	3513	3.1	5.6	-2.5
		1	3496	3466	3481	2.98	5.1	-2.12
		1	3508	3486	3497	3.04	5.4	-2.36
รามอินทรา กม.8	ชลบุรี	1	3150	3138	3144	1.68	3.8	-2.12
		2	3341	3325	3333	2.41	4.6	-2.19
		3	3367	3377	3372	2.56	4.9	-2.34
		4	3549	3571	3560	3.28	5.3	-2.02
		5	3010	2998	3004	1.15	3.3	-2.15
		6	3020	3030	3025	1.23	3.3	-2.07
		7	3297	3312	3305	2.30	4.4	-2.10
	ฉะเชิง- เทรา	8	4721	4698	4710	7.70	7.0	+0.70
		9	4626	4650	4638	7.43	6.5	+0.93
		10	4613	4627	4620	7.36	6.5	+0.86
		11	3922	3950	3936	4.73	5.4	-0.67
		12	4106	4131	4119	5.43	5.8	-0.37
		13	3989	4010	4000	4.97	5.4	-0.43

หมายเหตุ จำนวนนับรังสีของแผ่นมาตรฐานนารานินซึ่งตรวจสอบควบคู่กับการวัดเกือบทุกครั้ง  
จะมีค่าประมาณ 11160-11235 ต่อ 300 วินาที



รูป 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่อ่านจากโปรบกับวิธีมาตรฐาน



จากกราฟของดินจังหวัดฉะเชิงเทราพบว่าตัดแกน  $X$  ที่ 3% ในขณะที่แกน  $Y$  อ่านค่าได้ ๒% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลูกรังต่ำกว่า 3% จะไม่สามารถอ่านค่าได้จากกราฟเปรียบเทียบรูป 5.8 ได้ หรือค่าที่อ่านได้จะไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง ในทำนองเดียวกันกราฟของจังหวัดอยุธยาชลบุรี ถ้าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินลูกรังต่ำกว่า 2.1% ก็ไม่สามารถอ่านค่าได้เช่นกัน พิจารณาจากสมการเส้นตรงที่ได้ทั้งสองสมการก็อาจใช้เป็นตัวปรับให้เป็นค่าที่ถูกต้องได้ นั่นคือเมื่ออ่านค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากกราฟรูป 5.8 ก็สามารถมาแทนค่าในสมการดังกล่าวจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นใกล้เคียงกับที่ได้จากวิธีมาตรฐานของดินชนิดนั้นๆตามต้องการ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการประกอบเครื่องวัดความชื้นที่สมบูรณ์โดยจะให้ผลออกมาทันทีว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินขณะนั้นเป็นเท่าใด โดยใช้กราฟรูป 5.8 เป็นบรรทัดฐานแล้วทำการสร้างกราฟดังเช่นในรูป 5.15 ในดินแต่ละชนิดที่ต้องการจะทราบข้อมูล จากนั้นก็จะได้สมการของแต่ละชนิดเพื่อใช้ปรับเทียบกับกราฟรูป 5.8 มาเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากวิธีมาตรฐานของดินแต่ละชนิด โดยอาจจะเก็บข้อมูลทั้งหมดในหน่วยความจำของเครื่องวัดความชื้นในอนาคตต่อไป