

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบโปรแกรมด้วยค่าจากการคำนวณ

การทดสอบโปรแกรมด้วยค่าจากการคำนวณแบ่งเป็น 3 แบบตามจำนวนของต้นกำเนิดกัมมันตรังสี คือ จำนวนต้นกำเนิดกัมมันตรังสี 1 ต้นกำเนิด, จำนวนต้นกำเนิดกัมมันตรังสีเท่ากับ 2 ต้นกำเนิดและจำนวนต้นกำเนิดกัมมันตรังสีเท่ากับ 3 ต้นกำเนิด โดยในแต่ละแบบ จะใช้ค่าจริงและค่าสุ่ม ซึ่งผลการทดสอบในแต่ละแบบเป็นดังนี้.-

4.1.1 จำนวน 1 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี

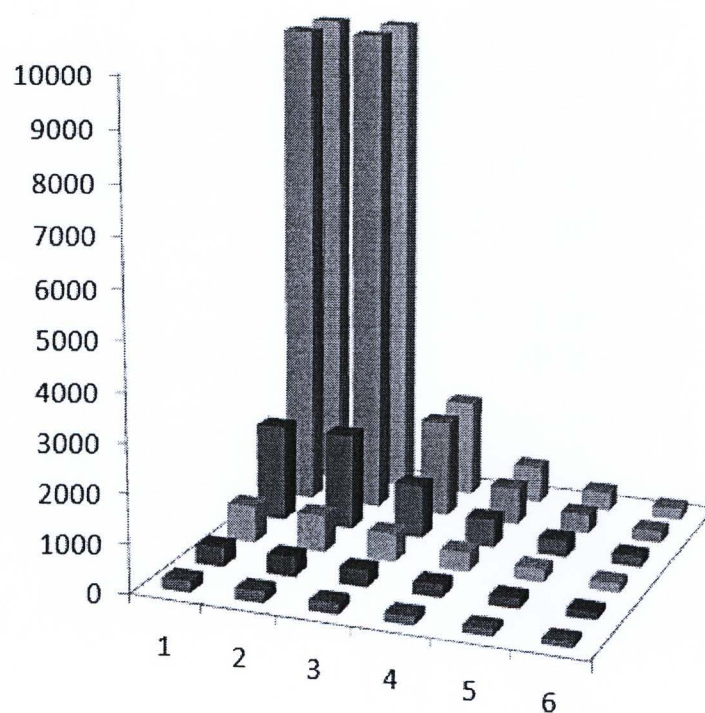
เพื่อให้ครอบคลุมตำแหน่งทั้ง 25 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ของต้นกำเนิดกัมมันตรังสีภายในพื้นที่การวัด ดังนั้นในการทดสอบเมื่อต้นกำเนิดกัมมันตรังสีมี 1 ต้นกำเนิด จะใช้ค่าจากการคำนวณจำนวนทั้งสิ้น 4 จุด คือ ตำแหน่ง $(-8,-8)$, ตำแหน่ง $(0,-8)$,ตำแหน่ง $(0,0)$ และตำแหน่ง $(4,4)$

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	9947	9947	1989	765	398	243
-6	9947	9947	1989	765	398	243
-2	1989	1989	1105	585	343	221
2	765	765	585	398	269	188
6	398	398	343	269	203	153
10	243	243	221	188	153	123

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งต้นกำเนิดกัมมันตรังสีสำหรับใช้ทดสอบ

ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีที่ตำแหน่ง (-8,-8) อัตรานับรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิด = 1000000

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	9947	9947	1989	765	398	243
-6	9947	9947	1989	765	398	243
-2	1989	1989	1105	585	343	221
2	765	765	585	398	269	188
6	398	398	343	269	203	153
10	243	243	221	188	153	123



รูปที่ 4.2 ตารางค่าจำนวนนับรังสีและกราฟ เมื่อต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ตำแหน่ง (-8,-8)

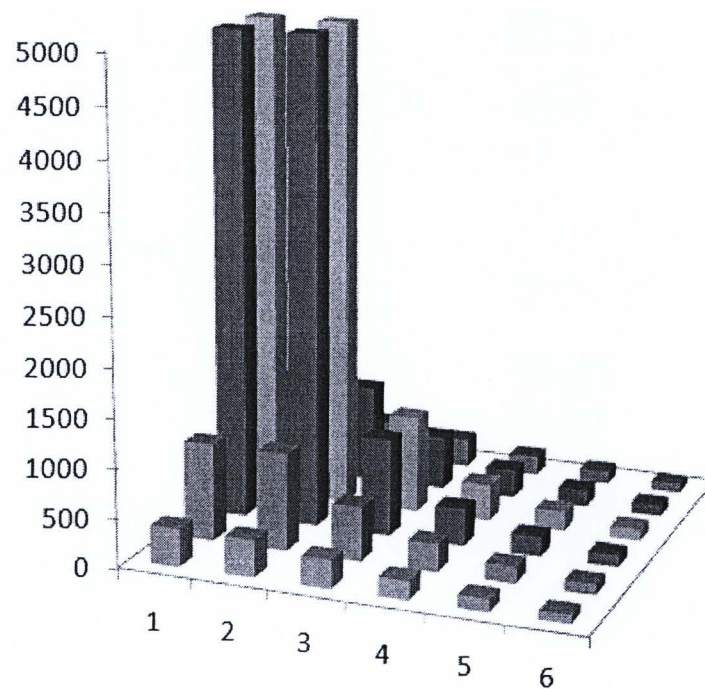
ตารางที่ 4.1 ผลรวมค่าเฉลี่ยจำนวนนับรังสี จุดวัดรังสี 4 จุด

ตำแหน่ง	mean
(-8,-8)	9947
(-4,-8)	5968
(0,-8)	1377
(4,-8)	581.5
(8,-8)	320.5
(-8,-4)	5968
(-4,-4)	3757.5
(0,-4)	1111
(4,-4)	522.75
(8,-4)	301.25
(-8,0)	1377
(-4,0)	1111
(0,0)	668.25
(4,0)	398.75
(8,0)	255.25
(-8,4)	581.5
(-4,4)	522.75
(0,4)	398.75
(4,4)	284.75
(8,4)	203.25
(-8,8)	320.5
(-4,8)	301.25
(0,8)	255.25
(4,8)	203.25
(8,8)	158

ผลการทดสอบ ตำแหน่งของต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ (-8,-8) อัตรานับรังสีที่
 ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดกัมมันตรังสี $= 9947 \times 32 \text{ ๗} = 999982$

ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีที่ตำแหน่ง (0,-8) อัตรานับรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิด = 500000

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	383	383	293	199	134	94
-6	995	995	553	293	172	111
-2	4974	4974	995	383	199	121
2	4974	4974	995	383	199	121
6	995	995	553	293	172	111
10	383	383	293	199	134	94



รูปที่ 4.3 ตารางค่าจำนวนนับรังสีและกราฟ เมื่อต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ตำแหน่ง (0,-8)

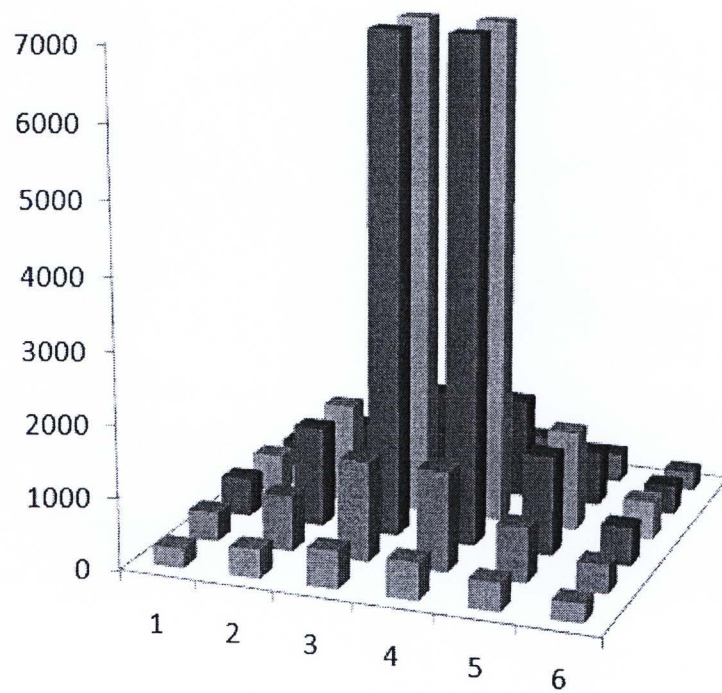
ตารางที่ 4.2 ผลรวมค่าเฉลี่ยจำนวนนับรังสี จุดวัดรังสี 4 จุด

ตำแหน่ง	mean
(-8,-8)	689
(-4,-8)	2984.5
(0,-8)	4974
(4,-8)	2984.5
(8,-8)	689
(-8,-4)	556
(-4,-4)	1879.25
(0,-4)	2984.5
(4,-4)	1879.25
(8,-4)	556
(-8,0)	334.5
(-4,0)	556
(0,0)	689
(4,0)	556
(8,0)	334.5
(-8,4)	199.5
(-4,4)	261.75
(0,4)	291
(4,4)	261.75
(8,4)	199.5
(-8,8)	127.75
(-4,8)	150.75
(0,8)	160
(4,8)	150.75
(8,8)	127.75

ผลการทดสอบ ตำแหน่งของต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ (0,-8) อัตรานับรังสีที่
 ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดกัมมันตรังสี $= 4974 \times 32 \mu = 500041$

ต้นทุนการดำเนินงานที่ตำแหน่ง (0,0) อัตราดอกเบี้ยที่ลดลงจากต้นทุนการดำเนินงาน = 700000

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	279	410	536	536	410	279
-6	410	774	1393	1393	774	410
-2	536	1393	6963	6963	1393	536
2	536	1393	6963	6963	1393	536
6	410	774	1393	1393	774	410
10	279	410	536	536	410	279



รูปที่ 4.4 ตารางค่าจำนวนดอกเบี้ยและกราฟ เมื่อต้นทุนการดำเนินงานที่ตำแหน่ง (0,0)

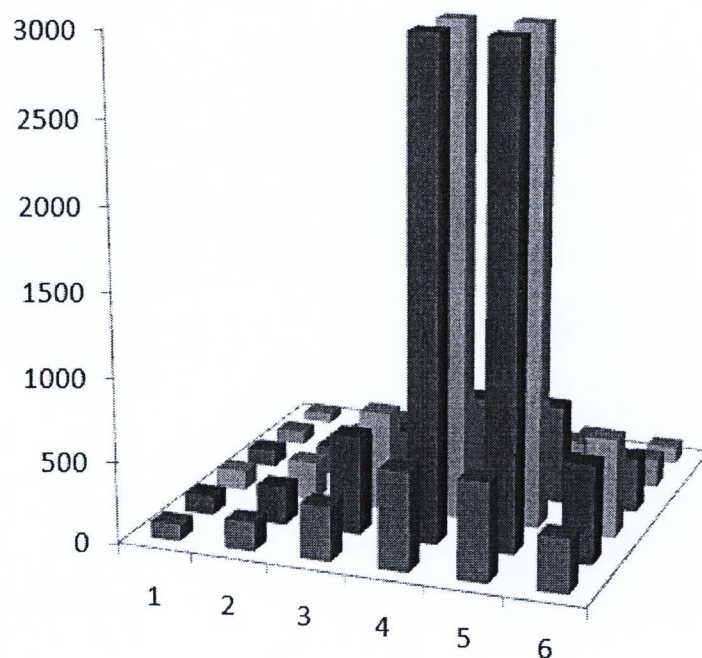
ตารางที่ 4.3 ผลรวมค่าเฉลี่ยจำนวนนับรังสี จุดวัดรังสี 4 จุด

ตำแหน่ง	mean
(-8,-8)	468.25
(-4,-8)	778.25
(0,-8)	964.5
(4,-8)	778.25
(8,-8)	468.25
(-8,-4)	778.25
(-4,-4)	2630.75
(0,-4)	4178
(4,-4)	2630.75
(8,-4)	778.25
(-8,0)	964.5
(-4,0)	4178
(0,0)	6963
(4,0)	4178
(8,0)	964.5
(-8,4)	778.25
(-4,4)	2630.75
(0,4)	4178
(4,4)	2630.75
(8,4)	778.25
(-8,8)	468.25
(-4,8)	778.25
(0,8)	964.5
(4,8)	778.25
(8,8)	468.25

ผลการทดสอบ ตำแหน่งของต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ (0,0) อัตรานับรังสีที่
ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดกัมมันตรังสี $= 6963 \times 32 \mu = 699997$

ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีที่ตำแหน่ง (4,4) อัตรานับรังสีที่ลดลงจากต้นกำเนิด = 300000

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	61	81	103	119	119	103
-6	81	119	176	230	230	176
-2	103	176	332	597	597	332
2	119	230	597	2984	2984	597
6	119	230	597	2984	2984	597
10	103	176	332	597	597	332



รูปที่ 4.5 ตารางค่าจำนวนนับรังสีและกราฟ เมื่อต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ตำแหน่ง (4,4)

ตารางที่ 4.4 ผลรวมค่าเฉลี่ยจำนวนนับรังสี จุดวัดรังสี 4 จุด

ตำแหน่ง	mean
(-8,-8)	85.5
(-4,-8)	119.75
(0,-8)	157
(4,-8)	174.5
(8,-8)	157
(-8,-4)	119.75
(-4,-4)	200.75
(0,-4)	333.75
(4,-4)	413.5
(8,-4)	333.75
(-8,0)	157
(-4,0)	333.75
(0,0)	1127.5
(4,0)	1790.5
(8,0)	1127.5
(-8,4)	174.5
(-4,4)	413.5
(0,4)	1790.5
(4,4)	2984
(8,4)	1790.5
(-8,8)	157
(-4,8)	333.75
(0,8)	1127.5
(4,8)	1790.5
(8,8)	1127.5

ผลการทดสอบ ตำแหน่งของต้นกำเนิดกัมมันตรังสีอยู่ที่ (4,4) อัตรานับรังสีที่
 ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดกัมมันตรังสี $= 2984 \times 32 \mu = 299984$

4.1.2 จำนวน 2 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี

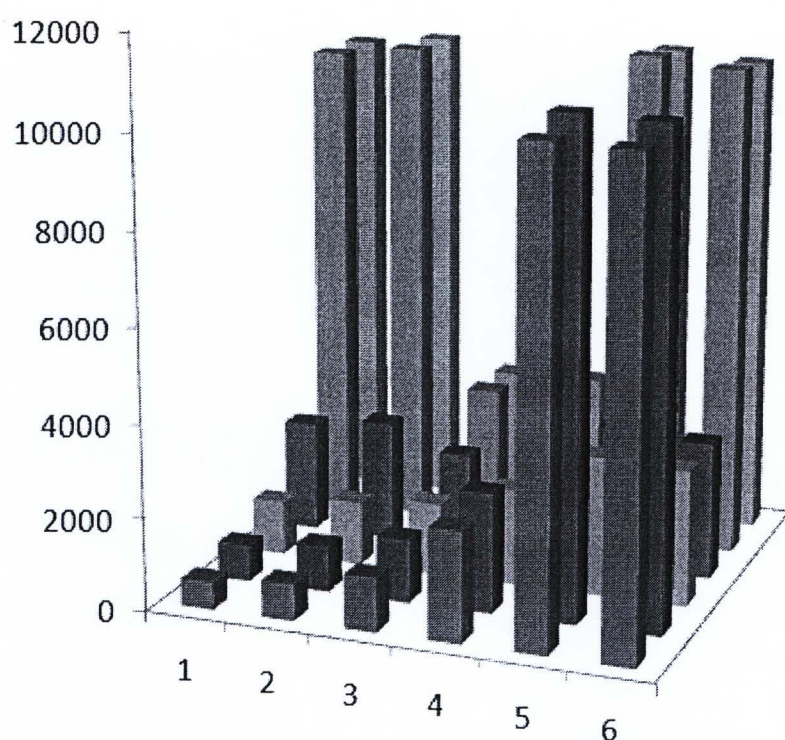
การทดสอบกรณี 2 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี กับค่าจากการคำนวณ ทดสอบโดยใช้ ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีที่มีอัตราส่วนรังสีที่ปลดปล่อย 2 ต้นกำเนิดที่มีอัตราส่วนเป็น 1:1, 4:3, 2:1 และ 4:1 โดยมีระยะห่างของตำแหน่งต่างๆกัน ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 4.6

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	9947	9947	1989	765	398	243
-6	9947	9947	1989	765	398	243
-2	1989	1989	1105	585	343	221
2	765	765	585	398	269	188
6	398	398	343	269	203	153
10	243	243	221	188	153	123

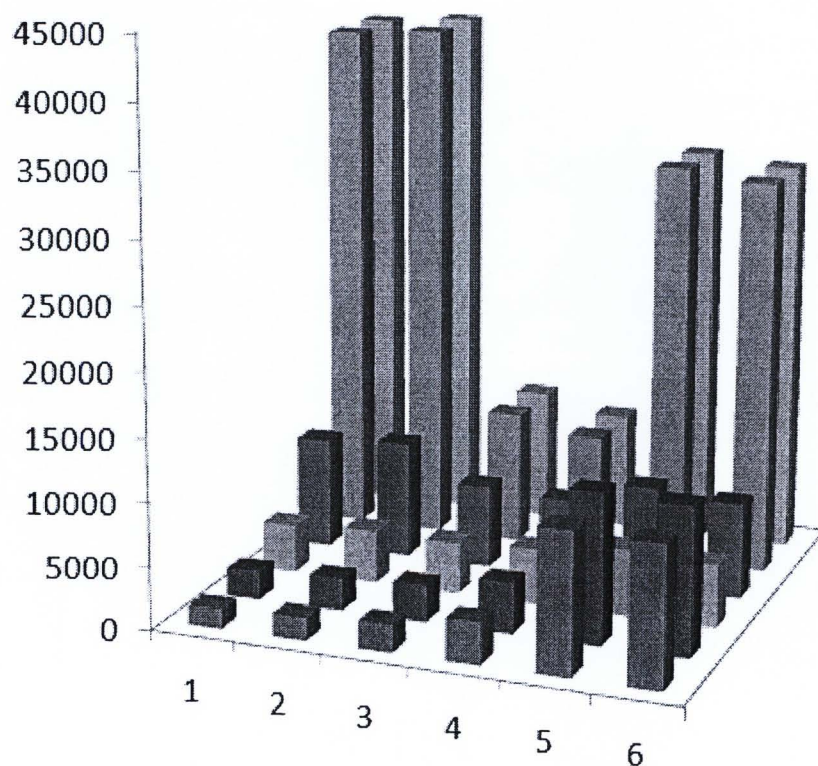
รูปที่ 4.6 ตำแหน่งต้นกำเนิดกัมมันตรังสีสำหรับใช้ทดสอบ

4.1.3 จำนวน 3 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี

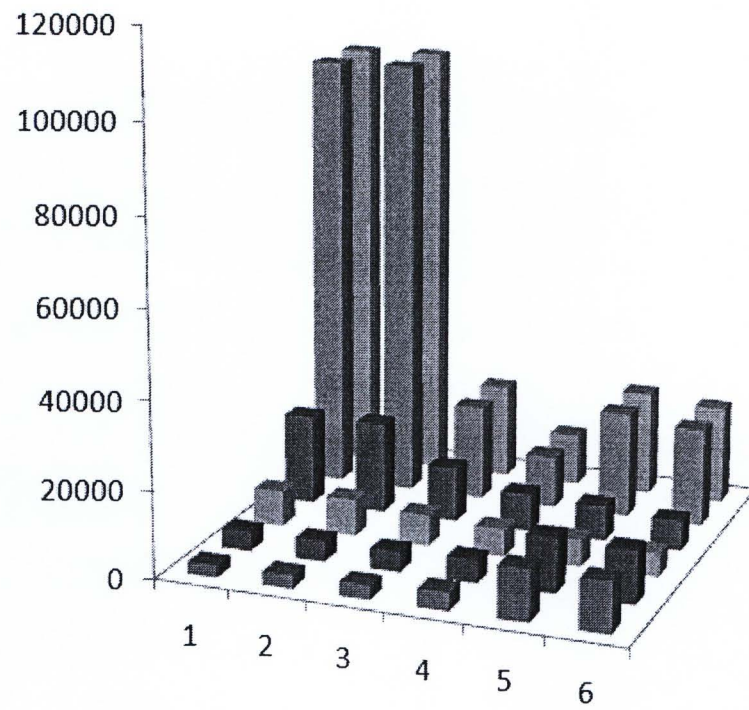
การทดสอบกรณี 3 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี กับค่าจากการคำนวณ ทดสอบโดยใช้ ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีที่มีอัตราส่วนรังสีที่ปลดปล่อย 3 ต้นกำเนิดที่มีอัตราส่วนเป็น 1:1:1, 4:3:1, 10:2:1 และ 10:8:1 โดยมีระยะห่างของตำแหน่งต่างๆกัน ผลการทดสอบทั้ง 4 กรณี แสดงได้ดังรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10



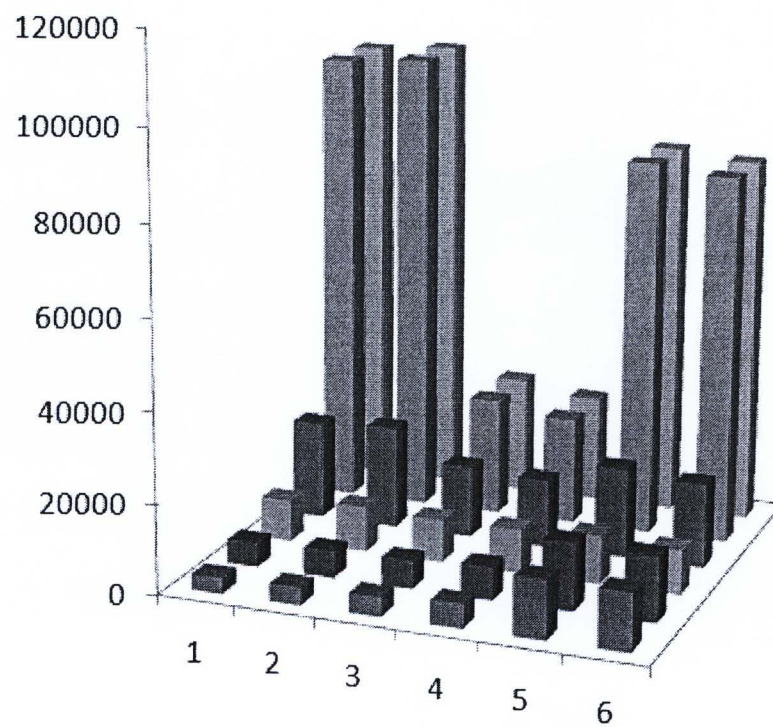
รูปที่ 4.7 อัตราการนับรังสีที่ปลดปล่อยอัตราส่วน 1:1:1



รูปที่ 4.8 อัตราการนับรังสีที่ปลดปล่อยอัตราส่วน 4:3:1



รูปที่ 4.9 อัตราการนับรังสีที่ปลดปล่อยอัตราส่วน 10:2:1

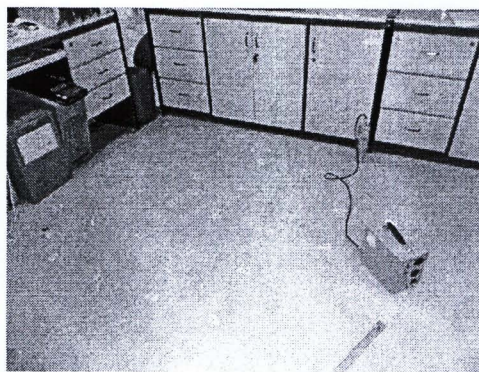


รูปที่ 4.10 อัตราการนับรังสีที่ปลดปล่อยอัตราส่วน 10:8:1

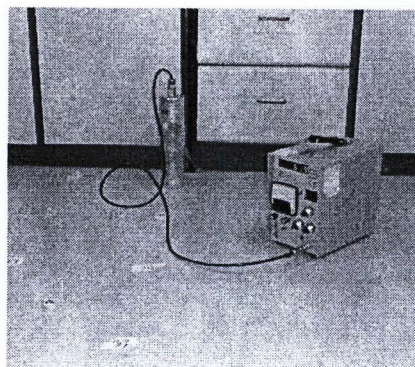
4.2 ผลการทดสอบโปรแกรมด้วยค่าจากการวัดจริง

สำหรับการวัดสำหรับการวัดค่าความแรงด้วยต้นกำเนิดกัมมันตรังสีจริง ได้ทำการวัดค่าโดยใช้ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 ที่มีความแรงต่างกัน 3 ระดับความแรง 10 μCi , 30 μCi และ 100 μCi โดยระยะสำหรับการวัดคือ 30 เซนติเมตร ทำการวัดจำนวน 4 ครั้ง ดังนี้.-

1. จำนวน 1 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 10 μCi ที่ตำแหน่ง -4,-4
2. จำนวน 1 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 10 μCi ที่ตำแหน่ง -5,-5
3. จำนวน 2 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 10 μCi ที่ตำแหน่ง -4,-4 และ Cs-137 30 μCi ที่ตำแหน่ง 0,8
4. จำนวน 3 ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 10 μCi ที่ตำแหน่ง -4,-4 ,Cs-137 30 μCi ที่ตำแหน่ง 0,8 และ Cs-137 100 μCi ที่ตำแหน่ง 8,-8



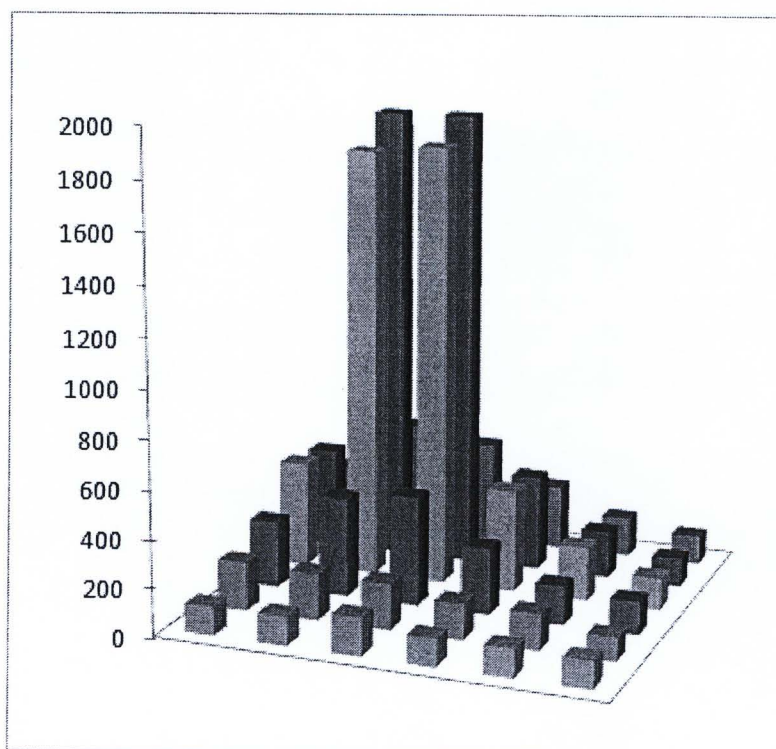
รูปที่ 4.11 พื้นที่บริเวณวัดค่าอัตราการปลดปล่อยรังสี



รูปที่ 4.12 หัววัดที่ใช้ในการวัดค่าความแรงรังสี

ผลการวัดเมื่อ ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 10 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง -4,-4

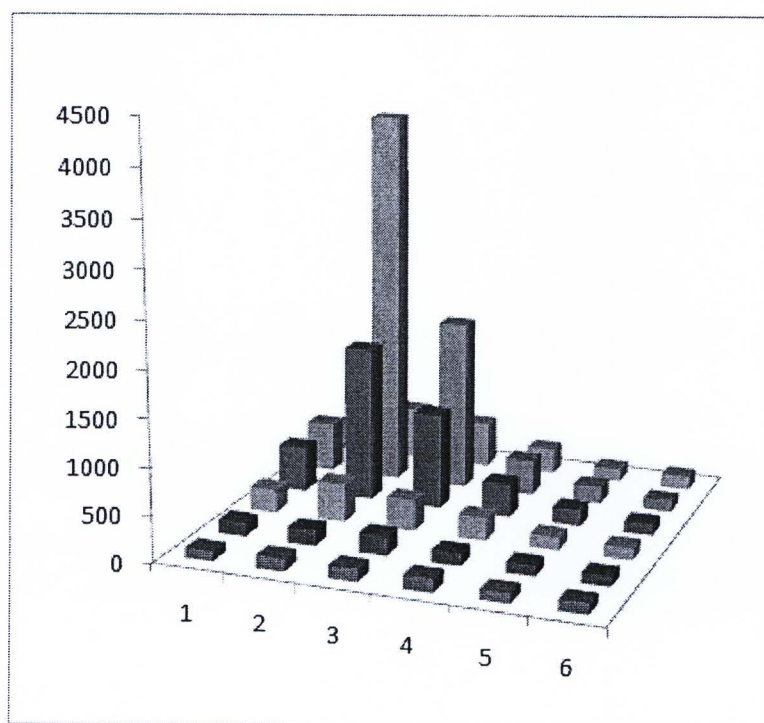
	-10	-6	-2	2	6	10
-10	249	469	420	267	165	123
-6	411	1887	1894	398	199	119
-2	441	1778	1813	428	227	133
2	282	415	457	282	162	138
6	203	194	194	153	152	100
10	120	122	160	117	120	117



รูปที่ 4.13 ตารางค่าจำนวนนับรังสี(บน)และแผนภูมิแท่งของจำนวนนับรังสี(ล่าง)

ผลการวัดเมื่อ ต้นกำเนิดกัมมันตรังสี Cs-137 10 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง -5,-5

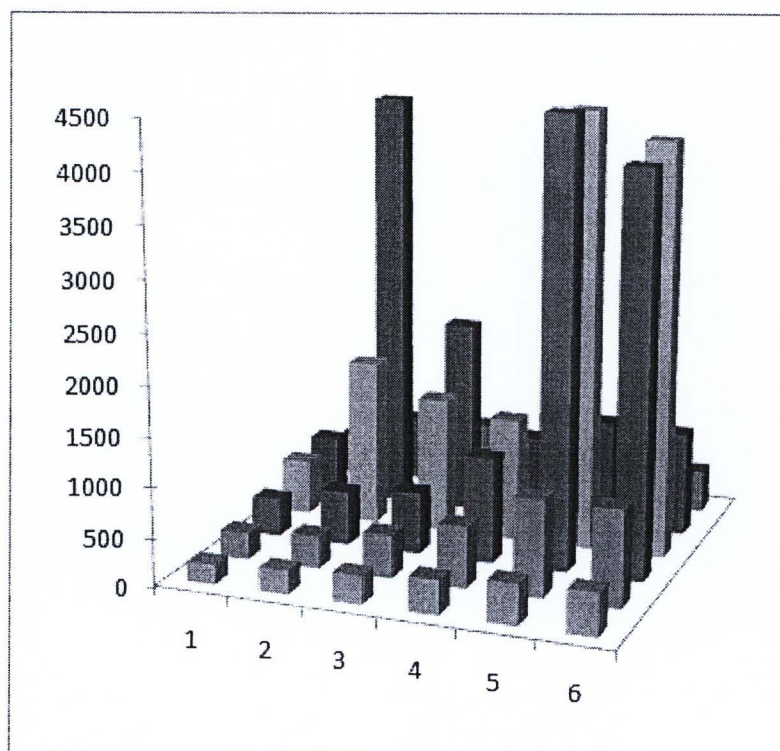
	-10	-6	-2	2	6	10
-10	284	556	481	276	144	147
-6	525	4028	1821	379	181	119
-2	491	1663	1030	358	174	120
2	257	414	340	246	143	129
6	151	169	208	137	115	114
10	112	140	140	150	114	121



รูปที่ 4.14 ตารางค่าจำนวนนับรังสี(บน)และแผนภูมิแท่งของจำนวนนับรังสี(ล่าง)

ผลการวัดเมื่อ Cs-137 10 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง -4,-4 และ Cs-137 30 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง 0,8

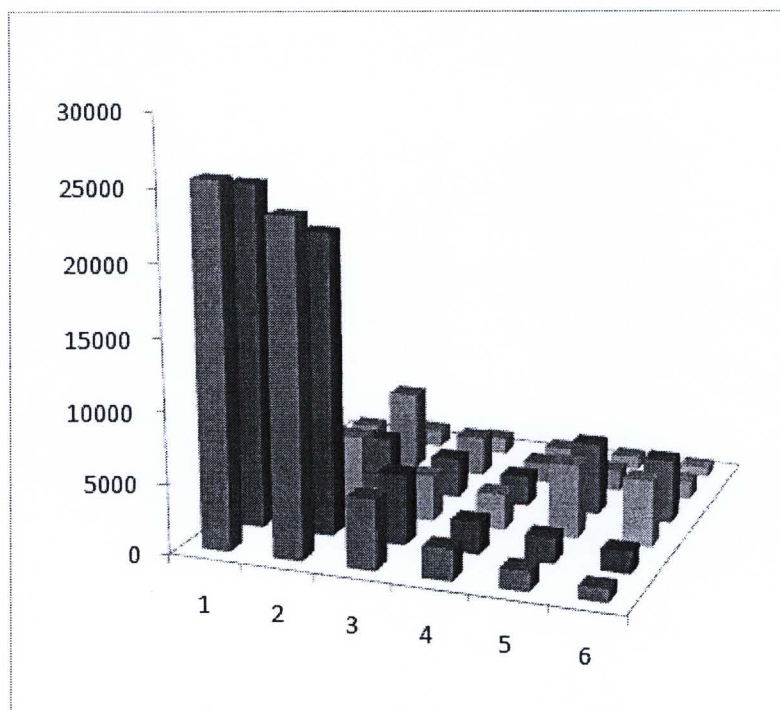
	-10	-6	-2	2	6	10
-10	384	657	672	537	498	425
-6	580	4257	1956	832	1078	1042
-2	555	1671	1365	1240	4395	4144
2	380	545	631	1068	4483	4029
6	278	339	448	627	984	983
10	204	242	294	357	420	439



รูปที่ 4.15 ตารางค่าจำนวนนับรังสี(บน)และแผนภูมิแท่งของจำนวนนับรังสี(ล่าง)

ผลการวัดเมื่อ Cs-137 10 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง -4,-4 ,Cs-137 30 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง 0,8
และ Cs-137 100 μCi อยู่ที่ตำแหน่ง 8,-8

	-10	-6	-2	2	6	10
-10	1004	1248	1181	944	871	725
-6	1601	5598	2826	1478	1494	1259
-2	2512	3673	2809	2115	5097	4520
2	5319	5478	3218	2506	5239	4742
6	24167	21214	4989	2319	1910	1566
10	25416	23409	5041	2266	1444	919



รูปที่ 4.16 ตารางค่าจำนวนนับรังสี(บน)และแผนภูมิแท่งของจำนวนนับรังสี(ล่าง)

4.3 ผลการเขียนโปรแกรม MATLAB

ผลการเขียนโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการคำนวณ แบ่งเป็นโปรแกรมน้อย 4 โปรแกรม รายละเอียดแต่ละโปรแกรมน้อยเป็นดังนี้

4.3.1 โปรแกรมย่อย peak_detector

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาตำแหน่งสูงสุดของค่าในการนับรังสี โดยเปรียบเทียบค่าสูงสุดเริ่มต้นเท่ากับ 0 หากมีค่าใดสูงกว่าจะถือว่าเป็นค่าสูงสุด

```

peak=0;
    for i=1:6
        for j=1:6
            if data(i,j)>peak
                peak=data(i,j);
                imax=i;
                jmax=j;
            end
        end
    end

fprintf('peak=%5d row=%1d column=%1d\n',peak,imax,jmax)

```

4.3.2 โปรแกรมย่อย calc_inner

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของต้นกำเนิดกัมมันตรังสี

```

function [xmin ymin str]=calc_inner(a,b,c,d)

n=1;
epmin=100000000;
for i=0:0.1:10
    for j=0:0.1:10
        for s=0:500:2000000
            ep=(s/(4*pi*((i-0)^2+(j-0)^2))-
a)^2+(s/(4*pi*((i-0)^2+(j-10)^2))-b)^2+(s/(4*pi*((i-10)^2+(j-
0)^2))-c)^2+(s/(4*pi*((i-10)^2+(j-10)^2))-d)^2;

```

```

        if ep<epmin
            xmin=i;
            ymin=j;
            str=s;
            epmin=ep;
            fprintf(' no.%5d error%15.4f
%15.2f %15.2f %15.2f \n',n,epmin,xmin,ymin,str)
            n=n+1;
        end
    end
end
end
end

```

4.3.3 โปรแกรมย่อย data_pattern

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าของการนับรังสีกับ ค่าที่เกิดจากการ
คำนวณความแรงที่ควรจะเป็นเมื่อกำหนดอัตราการนับรังสีที่ปลดปล่อยได้

```

output=[
    0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 ];
for i=1:6
    for j=1:6
        strength=str/(4*pi*((row-10*i)^2+(col-10*j)^2));
        output(i,j)=output(i,j)+strength
    end
end
end

```

4.3.4 โปรแกรมย่อย error

ใช้ในกรณีตรวจสอบค่าสุ่มทางสถิติ กับค่าจากการคำนวณจริง

```
poison=round(sqrt(data))
```

```
differ=round(abs(output-data))
```