

521.9544

D1357

3 3

การศึกษากัมมันตภาพรังสีแกมมาที่มีอยู่ตามธรรมชาติในวัสดุก่อสร้าง

ปริญญานิพนธ์

ของ

กมล เหล่าสมบัติทวี

ร-8 พ.ศ. 2535

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

พฤษภาคม 2529

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

178499

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำวันสัปดาห์และคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณา
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นว่าสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา

..... ประธาน

..... กรรมการ

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน

..... กรรมการ

..... กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ ดร.ณัฐพร จิตตาภรณ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ในด้านการให้ความรู้ การใช้เครื่องมือ เทคนิคและวิธีการที่จำเป็นต่อการวิจัย ตลอดจนช่วยเหลือในด้านการตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์ด้วย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรีย์ แขวงโสภา อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณย์ อินทพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่ช่วยให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณสมทิศ เอลวุก คุณอุษา เหล่าสมบัติทวี คุณณัฏฐชัยและคุณอังศณา รัตนเสถียร ที่ช่วยเหลือในด้านการพิมพ์รูปเล่มและเก็บตัวอย่างตลอดจนช่วยเป็นกำลังใจให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ และขอขอบคุณ คุณสุทิน เขียวรัตน์ในการช่วยเตรียมตัวอย่างในการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณอุครและคุณเกษร จันทะมี ที่ช่วยเหลือให้ที่พักอาศัยและปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตเป็นอย่างสูง

กมล เหล่าสมบัติทวี

1 บทนำ.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	5
ความสำคัญของการวิจัย.....	6
ประโยชน์ที่ได้รับของการวิจัย.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
คำนิยามศัพท์เฉพาะ.....	8
2 ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
กฎการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี.....	11
สภาพสมมูลกัมมันตรังสี.....	13
หลักการทํางานของหัววัดโซเดียมไอโอไดค์(แอลเลียม).....	15
หลักการทํางานของเครื่องวิเคราะห์ผลติแซนเนล.....	15
วิธีวิเคราะห์สเปกตรัมโดยวิธีกำลังสองน้อยสุด.....	17
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
3 เครื่องมือ และวิธีดำเนินการ.....	26
เครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	26
เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณรังสีในอากาศ.....	28
การเตรียมสิ่งตัวอย่างและการเตรียมสารมาตรฐาน.....	30
วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
4 ผลการวิจัย.....	36
ผลการศึกษากาฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับหมายเลขของ... ..	36
ผลการหาหมายเลขของพื้นที่ใต้พีคและค่าอัตรานับของพื้นที่ใต้พีค.....	36
ผลการคำนวณระบบสมการเชิงเส้นที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพรังสี.....	37

ผลการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบสมการ.....	37
ผลการคำนวณหาค่าสถิติจำกัดค่าสูงสุดของหัววัด.....	39
ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างใน เขตกรุงเทพมหานคร.....	39
ผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างใน เขตจังหวัดชัยภูมิ.....	41
ผลการวัดระดับรังสีแกมมาในบ้านและนอกบ้านและการคำนวณหาค่า ปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับในบ้านในเขตกรุงเทพมหานคร และในจังหวัดชัยภูมิ.....	43
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายและขอเสนอแนะ.....	45
บทย่อ.....	45
สรุปผลการวิจัย.....	47
อภิปรายผล.....	49
ขอเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก.....	54

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1. แสดงปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับจากภายในและภายนอก ร่างกาย	2
2. แสดงปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในต่างประเทศ.	4
3. แสดงปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในดินชนิดต่างๆ.....	5
4. แสดงหมายเลขของและอัตรานับรังสีของพื้นที่ใดพื้นที่.....	36
5. แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้จากการวิเคราะห์สารมาตรฐาน.....	38
6. แสดงค่าขีดจำกัดค่าสุดของหัววัดที่เวลาต่างกัน.....	39
7. แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในเขต กรุงเทพมหานคร.....	40
8. แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างใน จังหวัดชัยภูมิ.....	42
9. แสดงการกระจายรังสีในบ้านและนอกบ้านในเขตกรุงเทพมหานคร....	43
10. แสดงการกระจายรังสีในบ้านและนอกบ้านในจังหวัดชัยภูมิ.....	44
11. แสดงปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับในบ้านชนิดต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร.....	45
12. แสดงปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับในบ้านชนิดต่างๆ ในจังหวัดชัยภูมิ.....	46

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. แสดงการสลายตัวของฟอสเฟอรัส-32	13
2. แสดงสเปกตรัมของโพแทสเซียม-40	18
3. แสดงสเปกตรัมของยูเรเนียม-238	19
4. แสดงสเปกตรัมของทอเรียม-232	20
5. แสดงหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ในถ้ำตะกั่ว	26
6. แสดงเครื่องวิเคราะห์พัลส์แชนแนลขนาด 1024 ช่อง	27
7. แผนภาพการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	28
8. แสดงเครื่องสำรวจปริมาณรังสี	29
9. กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหมายเลขช่องกับพลังงานรังสีแกมมา	31

บทนำ

รังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติเกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ธาตุกัมมันตรังสีเหล่านี้ได้แก่ ยูเรเนียม เรเดียม ทอเรียม โพแทสเซียม และธาตุอื่นๆอีกหลายชนิด ซึ่งมีการสลายตัวให้รังสีออกมา คือ รังสีแอลฟา รังสีเบตา และหรือรังสีแกมมา ธาตุเหล่านี้มีอยู่ในสิ่งต่างๆ ในดิน หิน ไม้ จึงทำให้คนเราได้รับปริมาณรังสีอันเนื่องมาจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี ปริมาณรังสีที่คนเราได้รับนั้นมาจากภายในร่างกายและภายนอกร่างกาย รังสีที่มีอยู่ภายนอกร่างกายส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของเรเดียม ทอเรียม และโพแทสเซียมที่มีอยู่ในสิ่งต่างๆรอบตัวเรา นอกจากนี้ยังได้รับรังสีคอสมิกซึ่งเป็นรังสีที่มาจากนอกโลกอีกด้วย ส่วนรังสีที่มาจากภายในร่างกายนั้นส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของโพแทสเซียมในร่างกาย ดังแสดงไว้ในตาราง 1.

รังสีแกมมา เป็นรังสีที่มีอันตรกิริยากับร่างกายมากกว่ารังสีอื่นๆเนื่องจากอยู่ภายนอกร่างกาย เนื่องจากเป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้สูง รังสีแกมมาที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบ้านที่คนเราอาศัยอยู่นั้นมาจากการสลายตัวของโพแทสเซียม เรเดียม และทอเรียมที่มีอยู่ในดินและในวัสดุก่อสร้างที่ใช้ก่อสร้าง เช่น ดิน หิน หินทราย ไม้ อิฐ และปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ในบางประเทศได้มีการนำเอาพวกหางแร่หรือผลพลอยได้จากกระบวนการอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีธาตุกัมมันตรังสีสูงกว่าวัสดุก่อสร้างทั่วไป เช่น พวกฟอสฟอริบซัม (phosphor gypsum) มาใช้สร้างบ้านที่อาศัยอยู่เนื่องจากราคาถูก ในระหว่างปี.ค.ศ. 1912-1966 ที่เมืองแกรนด์ จังก์ชัน (Grand Junction) ในรัฐโคโลราโด (Colorado) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการนำเอาหางแร่จากเหมืองยูเรเนียมมาถมเพื่อปรับบริเวณที่สร้างที่อาศัยอยู่

ต่อมาพบว่าปริมาณรังสีในบ้านของหมู่บ้านแห่งนี้มีค่าสูงและพบว่าผู้อยู่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านนั้นเป็นโรคมะเร็งปอด มะเร็งโลหิตสูงกว่าอัตราปกติ จนต้องมีการอพยพผู้คนออกจากบริเวณดังกล่าว

ตาราง 1. แสดงปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับจากภายในและภายนอกร่างกาย

แหล่งกำเนิดรังสี	ปริมาณรังสี (มิลลิซีเวิร์กต่อปี)
<u>การแผ่รังสีจากภายนอกร่างกาย</u>	
รังสีคอสมิก	0.200
รังสีที่แผ่มาจากพื้นดิน	0.500
<u>การแผ่รังสีจากภายในร่างกาย</u>	
โพแทสเซียม-40	0.200
คาร์บอน-14	0.007
ยูเรเนียม	0.003
อื่นๆ	0.010

ที่มา : Cadinale and others, Health Physics 1971:286

ในต่างประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียตรัสเซีย สวีเดน อังกฤษ อิตาลี นอร์เวย์ และเยอรมนีมีรายงานข้อมูลเกี่ยวกับการสำรวจค่ากัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้างบางชนิด พบว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างที่มาจากหินอัคนีมีค่าสูงกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ดังแสดงไว้ในตาราง 2 หินเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาก มีรายงานปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในหินชนิดต่างๆพบว่า หินปูนมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะต่ำที่สุด ดังแสดงไว้ในตาราง 3 และหินปูนเป็นหินที่นิยมใช้ในการก่อสร้างมากที่สุดด้วย

เมื่อนำเอาวัสดุก่อสร้างต่างๆเช่น หิน หินทราย ปูนซีเมนต์มาสร้างบ้านที่อาศัยอยู่ วัสดุก่อสร้างเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปทรงไปตามลักษณะของบ้านที่สร้างขึ้น บ้านนั้นมีความหนาพอสมควร เป็นที่ทราบกันดีว่าคอนกรีตหรือวัสดุอื่นๆที่หนาๆสามารถใช้เป็นเครื่องกำบังรังสีแกมมาได้ ดังนั้นปริมาณรังสีในบ้านที่อาศัยอยู่นั้นอาจมีค่ามากหรือน้อยกว่าปริมาณรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาตินอกบ้านได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุก่อสร้างที่ใช้และลักษณะของบ้าน มีรายงานไว้ว่าปริมาณรังสีภายในบ้านนั้นมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าภายนอกบ้านประมาณร้อยละ 30 โดยพบว่าปริมาณรังสีภายในบ้านที่สร้างจากไม้มีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับปริมาณรังสีภายนอกบ้าน ส่วนปริมาณรังสีภายในบ้านคอนกรีตพบว่ามีค่าสูงกว่าภายนอกบ้าน (ICRP report, 1964:22) ในประเทศนอร์เวย์พบว่าปริมาณรังสีในบ้านคอนกรีตมีค่า 0.105 ไมโครเกรย์ต่อชั่วโมง บ้านอิฐ 0.119 ไมโครเกรย์ต่อชั่วโมงและบ้านไม้ 0.071 ไมโครเกรย์ต่อชั่วโมง (Storruste, and others, 1965:261-269) ในประเทศสวีเดนพบว่าปริมาณรังสีในบ้านคอนกรีต 0.125 ไมโครเกรย์ต่อชั่วโมง บ้านอิฐ 0.106 ไมโครเกรย์ต่อชั่วโมง และบ้านไม้ 0.048 ไมโครเกรย์ต่อชั่วโมง

ตาราง 2 แสดงปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในต่างประเทศ

ชนิดวัสดุ	ประเทศ	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ(Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเนียม-226	ทอเลียม-232
อิฐ	เยอรมัน	592	96	96
	สวีเดน	925	96	126
	สหภาพโซเวียต	740	56	37
	อังกฤษ	629	52	44
คอนกรีต	เยอรมัน	555	48	30
	สวีเดน	703	33	30
	สหภาพโซเวียต	555	74	11
ปูนซีเมนต์	เยอรมัน	74	19	11
	สวีเดน	22	4	11
	สหภาพโซเวียต	370	7	7
	อังกฤษ	148	22	7
หินแกรนิต	เยอรมัน	1221	96	81
	สหภาพโซเวียต	1480	111	167
	อังกฤษ	1036	89	85
หิน	สหรัฐอเมริกา	444	22	4

ที่มา : UNSCEAR. 1977:93

ตาราง 3 แสงปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ในดิน ชนิดต่างๆ

ชนิดดิน	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq)		
	โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเรียม-232
ดินอัสสัม	614	48	48
ดินตะกอน			
ดินทราย	326	26	24
ดินกินดาน	814	40	41
ดินปน	81	16	5

ที่มา : Merrill Eisenbud. Environmental Radioactivity.1973:170

ส่วนในประเทศไทยนั้นข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณกัมมันตภาพรังสีและปริมาณรังสีภายในและภายนอกบ้านนั้นยังไม่มีการสำรวจไว้เลย ข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์มากในด้านการแนะนำการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง ในการสร้างบ้านที่อาศัยอยู่ให้มีปริมาณรังสีภายในบ้านต่ำ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อวัดกัมมันตภาพรังสีแถมมาของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 ในวัสดุก่อสร้าง โดยวัดรังสีแถมมาที่พลังงาน 1.460 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของโพแทสเซียม-40 รังสีแถมมาที่พลังงาน 1.764 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของบิสมัท-214ที่อยู่ในสมดุลกับเรเดียม-226 รังสีแถมมาที่พลังงาน 2.614

เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของเทลเลียม-208 ที่อยู่ในสมดุลกับทอเรียม-232 แล้ว
คำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม เรเดียม และทอเรียม
โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

2. เพื่อวัดปริมาณรังสีตามธรรมชาติในบ้านชนิดต่างๆ

ความสำคัญของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจหาข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างเพื่อใช้ในการสร้างบ้านที่มีปริมาณรังสีต่ำ ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับต่างประเทศ และเพื่อเป็นข้อมูลหากจะมีการพัฒนามาตรฐานในการกำหนดปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างต่อไปในอนาคต

2. เพื่อสำรวจหาข้อมูลว่าบ้านชนิดต่างๆมีผลกระทบตอปริมาณรังสีภายในบ้านอย่างไร

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

เป็นการแนะนำเทคนิคและวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพรังสีของธาตุแต่ละธาตุในวัสดุก่อสร้างที่มีธาตุกัมมันตรังสีปนอยู่ ข้อมูลที่ได้สามารถไปแนะนำในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างมาใช้สร้างบ้านใหม่ปริมาณรังสีต่ำ ตลอดจนเป็นการแนะนำเครื่องมือ เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาแก่ผู้สนใจ

ขอบเขตของการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้วัดกัมมันตภาพรังสีแกมมาในวัสดุก่อสร้าง ใช้เครื่องวัดซินทิลเลชัน (scintillation detector) ประกอบกับเครื่องวิเคราะห์

มัลติแชนเนล ขนาด 1024 ช่อง (multichannel pulse-height analyzer 1024 channels) ของ CAMBERA MODEL S100/e ตั้งอยู่ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน ถนนวิภาวดีรังสิต กรุงเทพมหานคร

2. เครื่องวัดปริมาณรังสีในบ้านฉนิกต่างๆ ใช้เครื่องสำรวจรังสีฉนิกฉนิกเลชัน เรทมิเตอร์ แกมมา (scintillation ratemeter gamma) ของ GENERAL RADIOLOGICAL LIMITED LONDON TYPE 1597A) ซึ่งมีหัววัดโซเดียมไอโอไดค์ (เทลเลียม) ขนาด 1×1 นิ้ว ซึ่งสามารถวัดปริมาณรังสีในช่วง 0-30 ไมโครเร็นท์เกนต่อชั่วโมงและมีปุ่มปรับเพิ่ม โดยใส่ปุ่มปรับคูณ 1, 10 และ 100 ตามลำดับ ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

3. สิ่งตัวอย่างวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในเขตกรุงเทพมหานครและในจังหวัดชัยภูมิดังนี้

3.1 หวาย หวายที่ใช้เป็นทรายหยาบและทรายละเอียด ส่วนมากเป็นทรายคามแม่น้ำเจ้าพระยา เช่น ทรายสิงห์บุรี ทรายชัยนาท ใช้ในการถมคอนกรีตทำพื้น ผนังบ้าน

3.2 ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ผลิตจากดิน ยิบซัม และส่วนผสมอื่นๆ แล้วเผาในที่ที่มีอุณหภูมิสูง บดให้ละเอียด แหล่งผลิตที่จังหวัดสระบุรี กรุงเทพมหานคร ใช้ในการผสมกับวัสดุก่อสร้างอื่นๆ คอนกรีต ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเสือ ตราเพชร และตรานกอินทรี

3.3 หินปูน เป็นหินภูเขาที่มีส่วนประกอบของคาร์บอเนต มีสีขาว สีเทา สีดำ สีน้ำตาล แหล่งผลิตที่จังหวัดสระบุรี สุโขทัย ราชบุรี ใช้ในการสร้างถนนและการก่อสร้างต่างๆ

3.4 หินอ่อน เป็นหินที่แปรสภาพมาจากหินปูน มีส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต มีสีขาว สีน้ำตาล สีเทา แหล่งผลิตที่จังหวัดสระบุรี อุทัย ใช้ในการประดับพื้น ฝาผนัง

3.5 หินกาบ เป็นหินตะกอน มีสีเทา น้ำตาล ขาว แหล่งผลิตที่จังหวัดสระบุรี ใช้ในการประดับพื้น ฝาผนัง

3.6 อิฐ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้จากดินเหนียวที่เผาในเตาที่มีอุณหภูมิสูง เช่นอิฐมอญ อิฐแดง ใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างบ้าน ผลิตได้ทั้งในจังหวัดอยุธยา กรุงเทพมหานคร หรือในจังหวัดอื่นๆ

3.7 ไม้ ที่ใช้เป็นขี้เลื่อย ชักปสัไม้ของไม้สัก ไม้ตะเคียน ไม้ยาง ใช้ก่อสร้างบ้าน

3.8 เซรามิก เป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้จากการเผาดินเหนียวกับส่วนผสมอื่นๆ ใช้ในการประดับพื้น ฝาผนัง ผลิตที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.9 ปูนขาว เป็นสิ่งที่ได้จากการเผาหินปูน ใช้ในการทำพื้นให้เป็นสีต่างๆโดยการผสมสีกับผสมกับปูนซีเมนต์

3.10 ปูนซีเมนต์ขาว ใช้ในการยึกกระเบื้อง เซรามิก หินอ่อน หินกาบ ผลิตที่จังหวัดสระบุรี กรุงเทพมหานคร

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. กัมมันตภาพรังสี (radioactivity) คือ อัตราการสลายตัวของหนึ่งหน่วยเวลาเพื่อเปลี่ยนแปลงนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีและแผ่รังสีออกมา

2. กัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (specific radioactivity) คือ อัตราส่วนของกัมมันตภาพรังสีต่อมวลของธาตุกัมมันตรังสี

3. ครึ่งชีวิต (half life) คือ ระยะเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีเสื่อมสลายกัมมันตภาพลงไปครึ่งหนึ่ง

4. เกรย์ (gray:Gy) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีของการดูดกลืนในตัวกลาง หน่วยเอสไอ กำหนดว่า

1 เกรย์ คือ ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนในตัวกลางมีค่าเท่ากับ 1 จูล ต่อหนึ่งกิโลกรัม แต่เดิมใช้หน่วยวัดเป็น แรค (rad) โดยกำหนดว่า

1 แรค คือปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนในตัวกลางมีค่าเท่ากับ 100 เออร์ก ต่อกรัม ซึ่งจะให้ความสัมพันธ์ คือ 1 เกรย์ เท่ากับ 100 แรค

5. ซีเวิร์ต (seivert:Sv) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีเทียบเท่า ในหน่วยเอสไอ กำหนดว่า

1 ซีเวิร์ต คือ ผลคูณของจำนวนเกรย์กับค่าแฟกเตอร์เฉพาะของรังสีสำหรับรังสีแกมมาค่าแฟกเตอร์เฉพาะของรังสีเท่ากับ 1 จึงได้ค่าซีเวิร์ตเท่ากับจำนวนเกรย์ แต่เดิมใช้ เรม (rem) กำหนดว่า

1 เรม คือ ค่าผลคูณของจำนวนแรคกับค่าแฟกเตอร์เฉพาะของรังสี ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์คือ 1 ซีเวิร์ต เท่ากับ 100 เรม

6. เบ็กเคอเรล (becquerel:Bq) เป็นหน่วยวัดกัมมันตภาพรังสีในหน่วยเอสไอ กำหนดว่า

1 เบ็กเคอเรล เท่ากับการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี 1 ครั้งต่อวินาที แต่เดิมใช้ คูรี (curie:Ci) โดยกำหนดว่า

1 คูรี เท่ากับการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที ดังนั้น 1 คูรี เท่ากับ 3.7×10^{10} เบ็กเคอเรล

7. หน่วย-เอ็กซ์ (X-unit) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีในอากาศในหน่วยเอสไอ กำหนดว่า

1 หน่วย-เอ็กซ์ คือ ปริมาณรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกหรือประจุลบ 1 คูลอมป์ต่อกิโลกรัมของอากาศ เติมใช้เรินต์เกน (roentgen:R) ซึ่งกำหนดว่า

1 เรินต์เกน คือ ปริมาณรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกหรือประจุลบ 1 อี เอส ยู ต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรของปรอท ดังนั้น 1 หน่วย-เอ็กซ์ เทียบเท่ากับ 3881 เรินต์เกน

8. ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีมาตรฐาน (Standard sources) คือ วัสดุกัมมันตรังสีที่ผลิตขึ้นใหม่มีความบริสุทธิ์มาก เช่น โคบอลต์-60 ซีเซียม-137 ใช้ในการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดรังสี

9. ประสิทธิภาพ (efficiency) คือ อัตราส่วนของอัตรานับรังสีของหัววัดต่ออัตราปริมาณกัมมันตรังสี

10. อัตรานับรังสี (counts per time) คือ อัตราส่วนของค่าจำนวนนับรังสีของหัววัดต่อหน่วยเวลา เช่น อัตรานับต่อนาที (counts per minute)

11. แแบกกราวนด์ คือ ค่าอัตรานับรังสีที่เครื่องวัดวัดได้จากสิ่งแวดล้อมในการศึกษาวิจัย อัตรานับจากหัววัดและชวคแปลที่ใช้ในการบรรจุสิ่งตัวอย่าง

12. ปริมาณรังสี (dose) เป็นคำที่ใช้กันทั่วไป หมายถึงปริมาณรังสีหรือพลังงานของวัสดุกัมมันตรังสีที่ถูกดูดกลืนในเนื้อเยื่อ

13. พัลส์ (pulse) คือ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่ผ่านหัววัดออกมา

14. เครื่องนับทิลเลชัน (scintillation counters) คือ ผลึกของสารอินทรีย์ที่ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงหรือฟลักอนทั้งหมดที่รังสีผ่านเข้าไป เช่น ผลึกโซเดียมไอโอไดด์ประกบกับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ เปลี่ยนประกายแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วแปลงเป็นจำนวนนับ

15. สารมาตรฐานตรวจสอบการวิเคราะห์ (standard reference materials) คือ สารกัมมันตรังสีที่รู้ค่ากัมมันตภาพรังสีที่แน่นอน ใช้ในการตรวจสอบค่ากัมมันตภาพรังสีในการวิเคราะห์ ใช้สารมาตรฐานของ NBS ซึ่งซื้อจาก

U.S. Department of Commerce National Bureau of Standard, Washington D.C. 20234

16. สารมาตรฐาน (standard materials) คือ สารที่ทราบค่ากัมมันตภาพรังสี ใช้ในการคำนวณหาสมการเชิงเส้น เช่น โพแทสเซียมซัลเฟต เรเดียมคลอไรด์ ทอเรียมไดออกไซด์

ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

1. กฎการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเป็นไปตามกฎการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential law) การคำนวณค่าสุทธิต่อความเข้มข้นเป็นไปตามหลักการทางสถิติว่าการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของธาตุกัมมันตรังสี ซึ่งได้ความเข้มข้นของจำนวนนิวเคลียสที่เหลือ (N) กับจำนวนนิวเคลียสตั้งต้น (N_0) กับค่าคงที่ของการสลายตัว (λ) และเวลาของการสลายตัว (t) เป็นไปตามสมการดังนี้

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

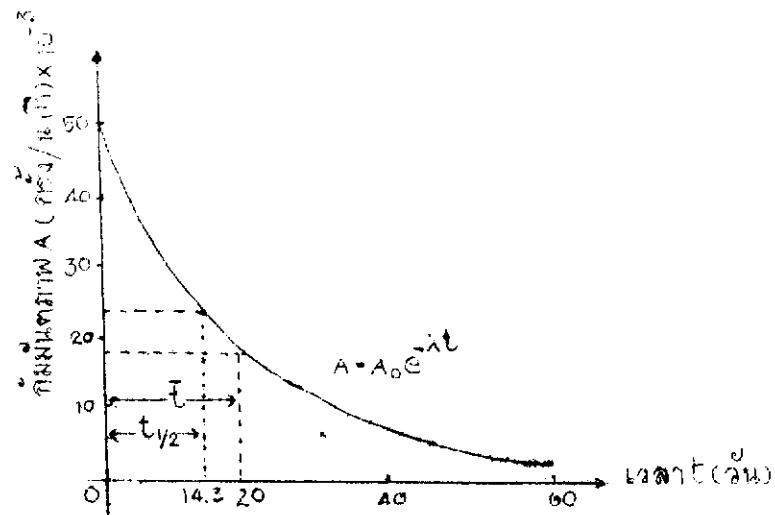
จากสมการที่ 1 เมื่อหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาแล้วจะได้ว่า

$$\frac{dN}{dt} = N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N \dots\dots\dots(2)$$

แต่ในทางปฏิบัติที่วัดได้นั้น เรียกว่า ค่ากัมมันตภาพรังสี (A) ซึ่งได้ความเข้มข้นของค่ากัมมันตภาพรังสีกับนิวเคลียสที่เหลือและค่าคงที่ของการสลายตัวตามสมการ

$$A = \lambda N \dots\dots\dots(2)$$

จากสมการ 1 และสมการ 2 ถ้าให้ธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวให้รังสีออกมาเป็นเวลา 1 ช่วงชีวิต จะได้นิวเคลียสที่เหลือเป็นครึ่งหนึ่งของนิวเคลียสตั้งต้นและจะได้อัตราการสลายตัวของครึ่งชีวิตกับค่าคงที่ของการสลายตัวคือ $t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$ รูปแบบของการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีนั้นอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของค่ากัมมันตภาพรังสีกับเวลาการสลายตัว ตามภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงการสลายตัวของฟอสฟอรัส-32

2. สภาพสมมูลกัมมันตรังสี

อนุกรมกัมมันตรังสีตามธรรมชาติมีการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีให้รังสีออกมาต่อเนื่องกันเรื่อยๆจนกว่าจะได้ธาตุที่เสถียร การคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งนั้นสามารถกระทำได้ ถ้าทราบค่านิวเคลียสตั้งต้นก็สามารถหาค่านิวเคลียสในช่วงเวลาอื่นๆได้ ในการสลายตัวของอนุกรมกัมมันตรังสีนั้นจะมีการสลายตัวไปและได้ธาตุกัมมันตรังสีใหม่ตลอดเวลา อนุกรมกัมมันตรังสีจะมีการสลายตัว

การขยายตัวอยู่ 2 แบบ คือ กรณีที่ค่าครึ่งชีวิตของธาตุทั้งต้นมีค่าใกล้เคียงกับธาตุที่เกิดใหม่ก็เป็นการก่อให้เกิดการสมดุลแบบชั่วคราว (transient equilibrium) และอีกกรณีหนึ่งก็คือค่าครึ่งชีวิตของธาตุทั้งต้นมีค่ามากกว่าธาตุเกิดใหม่มากๆ ก็ก่อให้เกิดการสมดุลแบบถาวรหรือสมดุลตลอดกาล (permanent or secular equilibrium) สำหรับสภาพสมดุลถาวรมันมีลักษณะดังต่อไปนี้

สมมุติว่ามีการสลายตัวต่อเนื่องกัน n ครั้งจึงได้ธาตุที่เสถียร ให้นิวเคลียสทั้งต้นที่เวลา t ของแต่ละครั้งในแต่ละช่วงเวลาเป็น $N_1^0 = N_2^0 = N_3^0 = \dots = N_n^0 = 0$ สมการที่จะแสดงความสัมพันธ์ของนิวเคลียสที่เสถียรในแต่ละช่วงเวลา สามารถหาค่าคงที่ของการวัดได้ดังนี้

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t_1} + C_2 e^{-\lambda_2 t_2} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t_n} \dots \dots \dots (3)$$

$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_4 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} \cdot N_1^0 \dots \dots \dots (4)$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_4 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} \cdot N_2^0 \dots \dots \dots (5)$$

$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n)(\lambda_3 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} \cdot N_n^0 \dots \dots \dots (6)$$

จากสมการ 3, สมการ 4, สมการ 5 และสมการ 6 สรุปความสัมพันธ์ของสภาพสมดุลถาวรได้ดังนี้

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n \dots \dots \dots (7)$$

จะเห็นได้ว่า การเกิดสภาพสมดุลถาวรนั้นค่ากัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าเท่ากัน ค่าคงที่ของการสลายตัวสามารถทราบได้จากข้อมูลทางนิวเคลียร์ ดังนั้นเราสามารถวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมกัมมันตรังสีได้จากเครื่องวัดรังสี ก็สามารถคำนวณย้อนกลับไปหาค่ากัมมันตภาพรังสีของธาตุที่ก่อให้เกิดการหาได้ ในการศึกษาวิจัยนี้ของทำให้กัมมันตรังสีที่ขึ้นอยู่กับสิ่งตัวอย่างในวัฏจักรสร้างเกิดสภาพสมดุลถาวร คือ เกิดการสมดุลถาวรระหว่าง บีทิส-214 กับ เรเดียม-226 และแพลเลียม-208 กับทอเรียม-232 แล้ววัดพลังงานรังสีแกมมาที่พลังงาน 1.764 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของบีทิส-214 และ 2.614 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของแพลเลียม-208 แล้วคำนวณย้อนกลับไปหาค่ากัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226 และ ทอเรียม-232

3. หลักการทำงานของหัววัดโซเดียมไอโอไดค์ (แพลเลียม)

เครื่องชนิดเลนซ์ หัววัดหัวคัลยดลิกโซเดียมไอโอไดค์ที่มีแพลเลียมเป็นตัวกระตุ้นถูกหุ้มไว้ด้วยอะลูมิเนียมทุกด้าน ยกเว้นด้านที่ต่อเข้ากับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) ภายในอะลูมิเนียมมีแมกนีเซียมโคออกไซด์เคลือบไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสงต่อไป เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้ามาในหัววัดก็จะเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนในผลึก อิเล็กตรอนในผลึกได้รับพลังงานอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นก็จะคายพลังงานออกมาเพื่อที่จะกลับเข้าสู่สภาวะเดิม เกิดเป็นประกายแสงที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของแสงที่ตามองเห็น

เนื่องจากตัวประกายแสงเป็นตัวยกกลางโปร่งใส (transparent) แสงที่คายออกมาจะกระทบกับโฟโตแคโทด (photo cathode) ของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ ทำให้อิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนนี้จะถูกโถ่สกัดกลงไปบนไดโนด (dynode) อันแรกได้อิเล็กตรอนออกมา เรียกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ 2 ตัว

คืออิเล็กตรอนแต่ละตัว แล้วอิเล็กตรอนทุกตัวก็จะถูกโฟกัสไปยังโคโนทัวอื่นๆ
ต่อไปอีกเกิดอิเล็กตรอนเป็นจำนวนทวีคูณไปเรื่อยๆ ในหัววัคซันนี้ประกอบด้วย
โคโนตประมาณ 10-13 อัน ซึ่งแต่ละอันจะมีแฟกเตอร์ทวีคูณ (multiplication
factor) ทำให้เกิดอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก ในหัววัคซันนั้นจะต้องทำการปรับ
โวลเตจที่พอเหมาะกับเครื่องวัดซึ่งมีค่าประมาณ 800-1000 โวลต์ ก็จะเกิดอิเล็ก
ตรอนออกมาในตอนสุดท้ายประมาณ 10^6-10^8 ตัวจากแอโนด (anode)
ซึ่งจะทำให้เกิดโวลเตจที่เพิ่มขึ้น โดยความสูงของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงาน
ของรังสีแกมมาที่ตกกระทบผิวเล็ก พัลส์เหล่านี้ถูกขยายด้วยปรีแอมพลิฟายเออร์เข้า
เครื่องวิเคราะห์พัลส์ดิแชนแนล ขนาด 1024 ของต่อไป

4. หลักการทำงานของเครื่องวิเคราะห์พัลส์ดิแชนแนล

เครื่องวิเคราะห์พัลส์ดิแชนแนล ขนาด 1024 จะมีหลักการทำงาน 3 ชั้น
ดังนี้

ขั้นที่ 1 พัลส์จากแอโนดที่ได้จากเครื่องวัดชนิดพิเศษ หัววัคซันเดิมไอโอ
โคด เมื่อเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ เครื่องวิเคราะห์จะทำการแยกพัลส์ตามพลังงาน
ต่างๆกันเพื่อจิกเข้าช่องที่แบ่งไว้ของเครื่องวิเคราะห์ตามพลังงานของพัลส์ (pulse)
หลังจากนั้นก็จะเปลี่ยนพัลส์ในช่องต่างๆเป็นค่าจำนวนนับ ซึ่งเรียกว่า ADC
(analog-to-digital converter) ก็เช่น พัลส์ที่เข้ามามีขนาดตั้งแต่ 0 ถึง
10 โวลต์ ก็จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆเท่าๆกันอาจเป็น 10, 100 หรือ 1000 ส่วน
พัลส์ที่เข้ามานั้นแต่ละโฟโตพีค (photo peak) เครื่องจะจิกเข้าช่องตามพลังงาน
ของมันที่สอดคล้องกับช่องที่เครื่องแบ่งไว้

ขั้นที่ 2 พัลส์ที่ถูกจับเข้าของต่างๆตามพลังงานจะถูกเก็บไว้ที่หน่วยความจำ เพื่อเก็บรวบรวมค่าจำนวนนับตามพลังงานต่างๆเกิดเป็นสเปกตรัมขึ้น

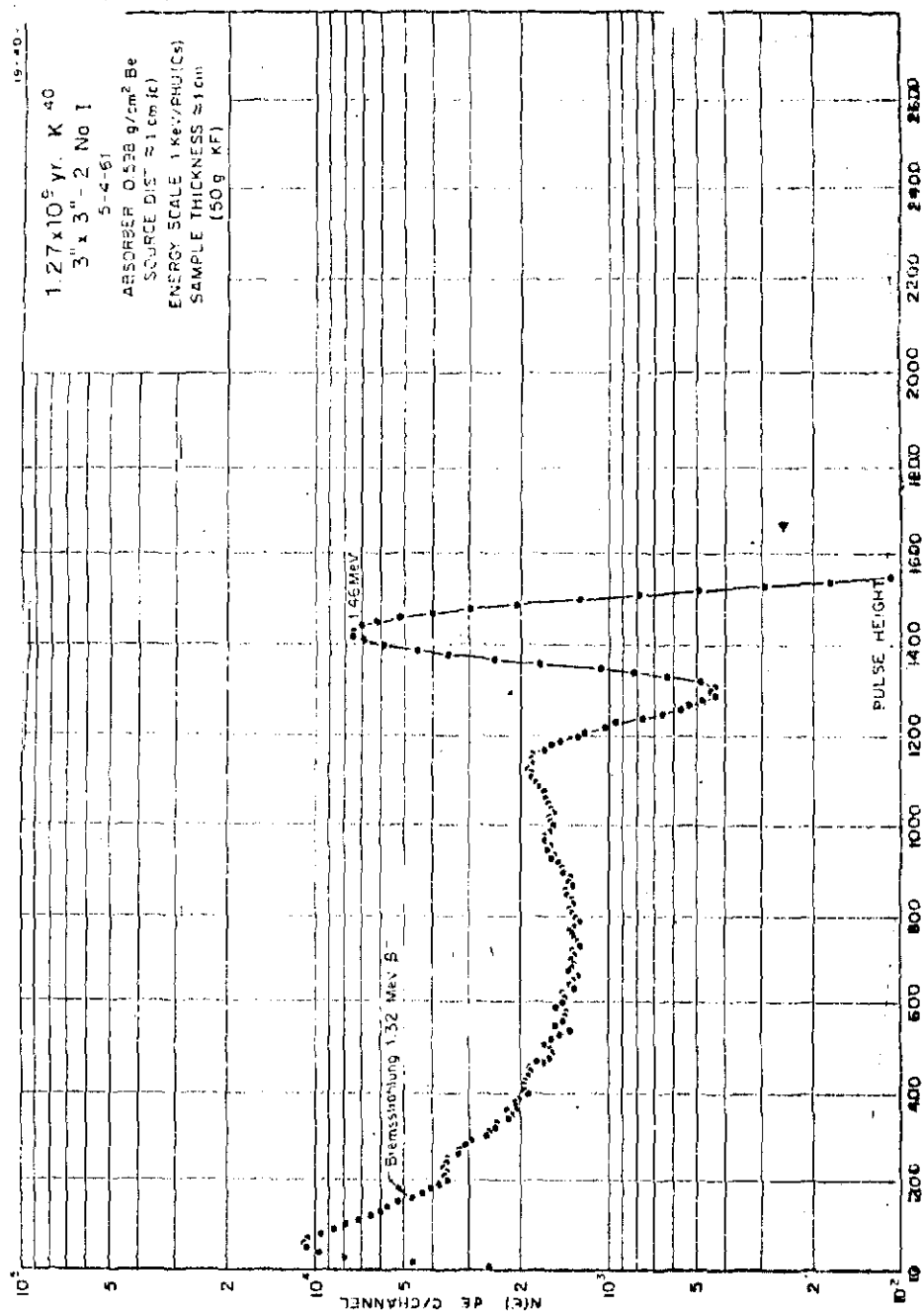
ขั้นที่ 3 สเปกตรัมที่เกิดขึ้น เครื่องจะแสดงผลออกมาที่จอภาพ และสามารถพิมพ์ข้อมูลของค่าจำนวนนับของต่างๆออกมาจากหน่วยความจำได้

เมื่อประกอบหัววัดโซเดียมไอโอไดค์เข้ากับเครื่องวิเคราะห์ชนิดคินเนเนล ขนาด 1024 ช่อง โวลต์รังสีของธาตุกัมมันตรังสีหนึ่งก็จะก่อให้เกิดสเปกตรัมออกมา ซึ่งสเปกตรัมนั้นอาจปรากฏยอดฟีกของรังสีแกมมาที่พลังงานต่างๆกัน ทั้งเช่น ฟีกของรังสีแกมมาพลังงาน 1.460 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของโพแทสเซียม-40 ฟีกของรังสีแกมมาพลังงาน 1.76 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของบิสมัท-214จากสเปกตรัมของธาตุยูเรเนียม ฟีกของรังสีแกมมาพลังงาน 2.615 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของเทลเลียม-208จากสเปกตรัมของธาตุทอเรียม ภาพประกอบ 2 , ภาพประกอบ 3 และภาพประกอบ 4

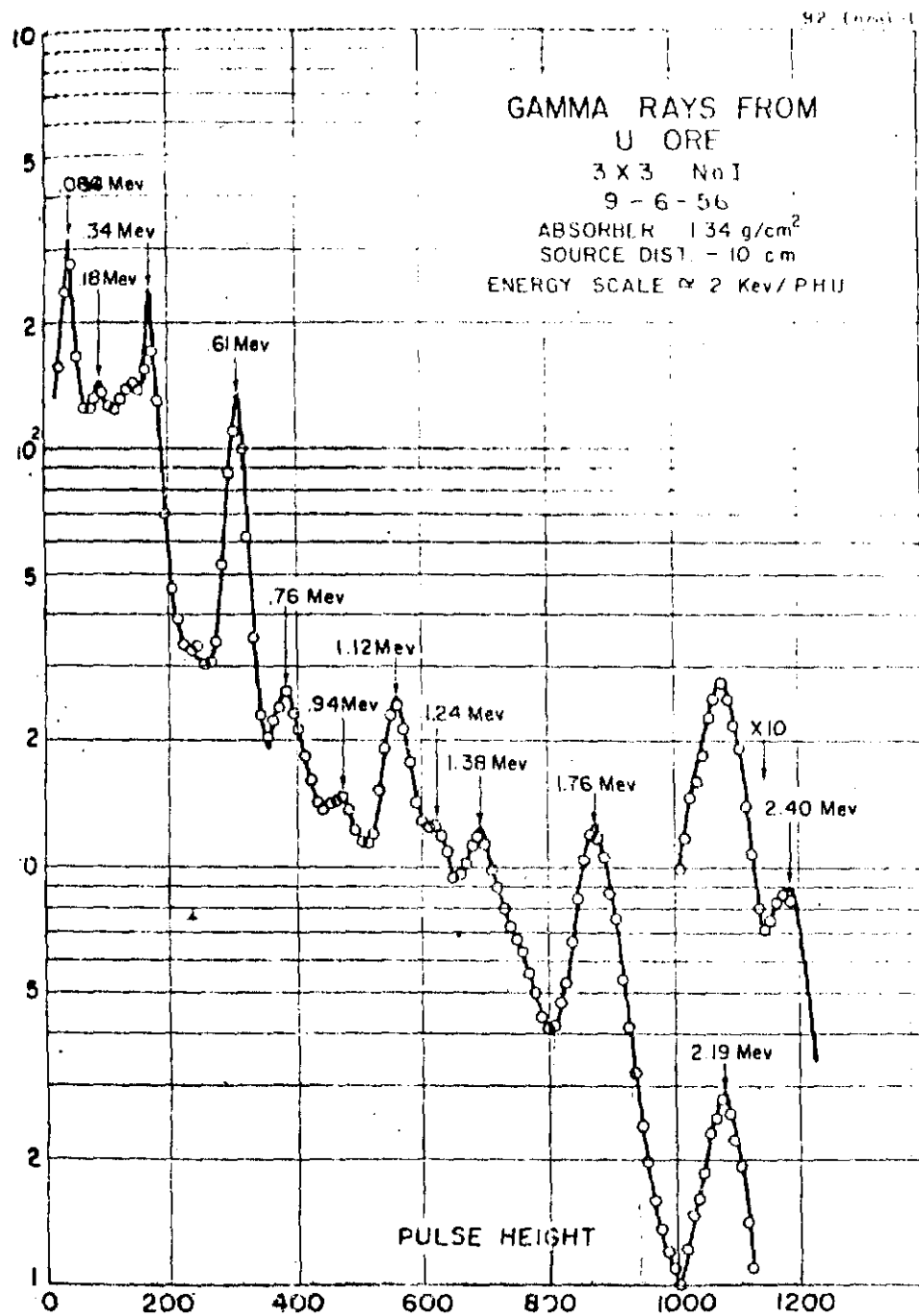
5. วิเคราะห์สเปกตรัมโดยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Linear least - Square)

การวิเคราะห์โดยวิธีกำลังสองน้อยสุดนี้ ใช้หลักการที่ว่าสเปกตรัมที่ปรากฏบนจอภาพนั้นเป็นผลรวมของสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากรังสีแกมมาที่มีพลังงานตั้งแต่ 1 ถึง e ของธาตุกัมมันตรังสี j ธาตุ โดยที่แต่ละธาตุต่างก็ทำให้เกิดความสูงของสัญญาณในแต่ละของทั้งค่าหมายเลขของที่ a ถึง n วิธีนี้ใช้ได้กับเมื่อแต่ละธาตุที่ประสงค์การวิเคราะห์นั้นมีสเปกตรัมมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบ

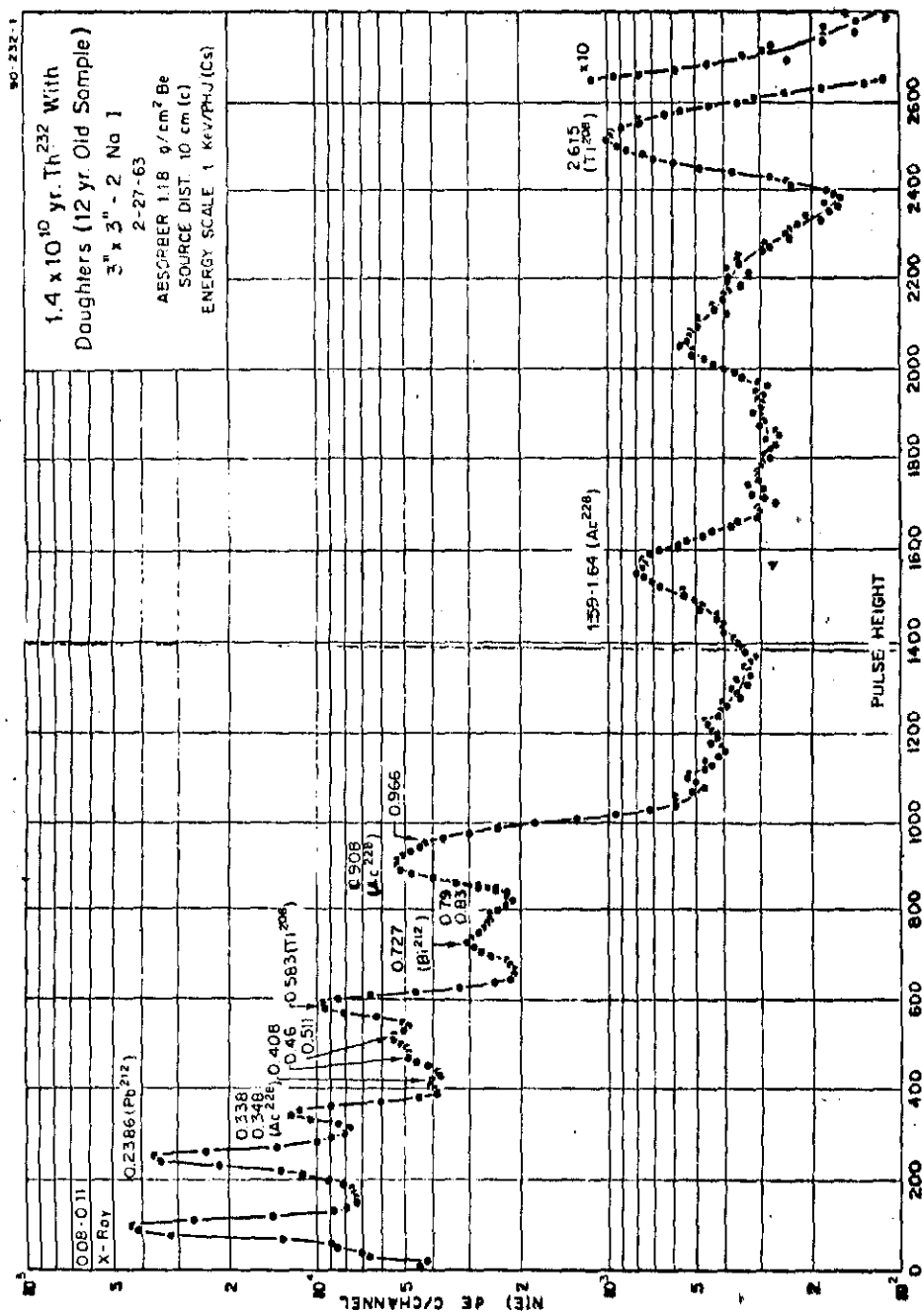
ถ้าให้ c_i คืออัตรานับของสเปกตรัมมาตรฐานหนึ่งที่มีหมายเลขของ i ที่เป็นผลรวมของ a_{ij} ซึ่งเป็นอัตรานับในหมายเลขของที่ i ที่เกิดจากธาตุกัมมันตรังสี



ภาพประกอบ 2 แสดงสเปกตรัมของโพแทสเซียม-40



ภาพประกอบ 3 แสดงสเปกตรัมของธาตุยูเรเนียม



ภาพประกอบ 4 แสดงสเปกตรัมของธาตุทอเรียม-232

มาตรฐาน j และธาตุที่ปนอยู่ ก็จะให้สมการดังนี้

$$c_i = \sum_{j=1}^j a_{ij} Q_j + \delta_i \dots \dots \dots (8)$$

จากสมการ ๘ Q_j คือค่าอัตราส่วนของปริมาณของธาตุที่มีน้ำหนักของธาตุ
รวมกับธาตุมาตรฐาน δ_i คือค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างอิสระ

Q_j จะมีค่าเหมาะสมที่สุด เมื่อ R มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = \sum_{i=1}^n (c_i - \sum_{j=1}^j a_{ij} Q_j)^2 w_i \quad \text{มีค่าน้อยที่สุด}$$

เมื่อ w_i คือค่าองค์ประกอบของน้ำหนัก เมื่อหาค่าอนุพันธ์ของสมการข้างบน
เทียบกับ Q_j จะได้ค่า R น้อยที่สุด

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์จากพลังงานรังสีแกมมา 1.460, 1.764
และ 2.614 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ที่แผ่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสี 3 ธาตุด้วยกัน
ดังนั้นจึงสามารถหาระบบสมการเชิงเส้น (simultaneous equation) ได้ดังนี้

จากระบบสมการดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกได้
ดังนี้

$$A x = B \dots\dots\dots(10)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(11)$$

$$x = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(12)$$

$$B = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(13)$$

ค่า Q_1 สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_1 = \frac{\det(I)}{\det A} \dots \dots \dots (14)$$

$$Q_1 = \frac{\begin{bmatrix} c_1 & a_{12} & a_{13} \\ c_2 & a_{22} & a_{23} \\ c_3 & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}}{\det A} \dots \dots \dots (15)$$

$$\det(I) = c_1(a_{22}a_{33} - a_{32}a_{23}) - c_2(a_{12}a_{33} - a_{13}a_{32}) + c_3(a_{12}a_{23} - a_{22}a_{13}) \dots \dots \dots (16)$$

$$\det A = a_{11}(a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32}) - a_{12}(a_{21}a_{33} - a_{31}a_{23}) + a_{13}(a_{21}a_{32} - a_{31}a_{22}) \dots \dots \dots (17)$$

เอกสารงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

การวัดกัมมันตภาพรังสีและปริมาณรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในวัสดุก่อสร้าง และการวัดปริมาณรังสี ภายในและภายนอกบ้านนั้น ในต่างประเทศมีผู้สำรวจและ รายงานข้อมูลไว้โดยใช้เครื่องมือที่แตกต่างกันดังนี้

เบนเนตต์และคณะ (Bennet and others, 1970:626 - 767)

ได้วัดปริมาณรังสีแกมมาภายในบ้านและภายนอกบ้านในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้ หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ขนาด 4X4 นิ้ว วิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีโดยวิธีกำลัง สองน้อยสุด พบว่าปริมาณรังสีในบ้านอูมีค่าสูงกว่าบ้านชนิดอื่นๆ

คาร์ดินัลและคณะ (Cardinale and others, 1971: 81 - 86)

วัดปริมาณรังสีภายในและภายนอกบ้านในประเทศอิตาลี โดยใช้เครื่องสำรวจรังสีชนิด ซิมิลิเซนชัน พบว่าปริมาณรังสีในบ้านที่สร้างจากดินชนิดนี้มีค่า 0.50-0.60 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง (50-60 ไมโครเรินต์เจนต่อชั่วโมง) บ้านชนิดอื่นามีค่า 0.02-0.03 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง

ลินเดเกนและคณะ (Lindoken, C.L. and others, 1973:81 - 86)

วัดปริมาณรังสีภายในบ้านแถบลิเวอร์มอร์ (Livermore) รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ $\text{CaF}_2(\text{TLB-200})$ เป็นตัวดูดกลืนรังสีแกมมา 4 เดือน พบว่าปริมาณรังสีในสิ่งก่อสร้างจากดิน ดิน มีค่า 0.63 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี

ยีสส์และคิง (Yeates, D.b. and King, 1973:unpage)

วัดปริมาณรังสีในบ้านของชาวเมืองออสเตรเลียตะวันตก โดยใช้เครื่องมือแบบการ แยกตัวเป็นไอออนภายใต้ความกดดันสูง (portable high pressure ionization chamber) พบว่าปริมาณรังสีในบ้านที่สร้างจากทรายมีค่า 0.35

ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง บ้านสร้างจากหินปูน 0.02 ไมโครซีเวิร์ทต่อชั่วโมง และพบว่าปริมาณรังสีภายในบ้านในกรุงเพิร์ธ (Perth) มีค่าสูงกว่าภายนอกบ้าน ร้อยละ 20 (ภายในบ้าน 60 มิลลิเร็นท์เกินต่อปี ภายนอกบ้าน 40 มิลลิเร็นท์เกินต่อปี)

เบเรตกาและแมทิว (Beretka, J. and Mathew, P.J. 1985:87-95)

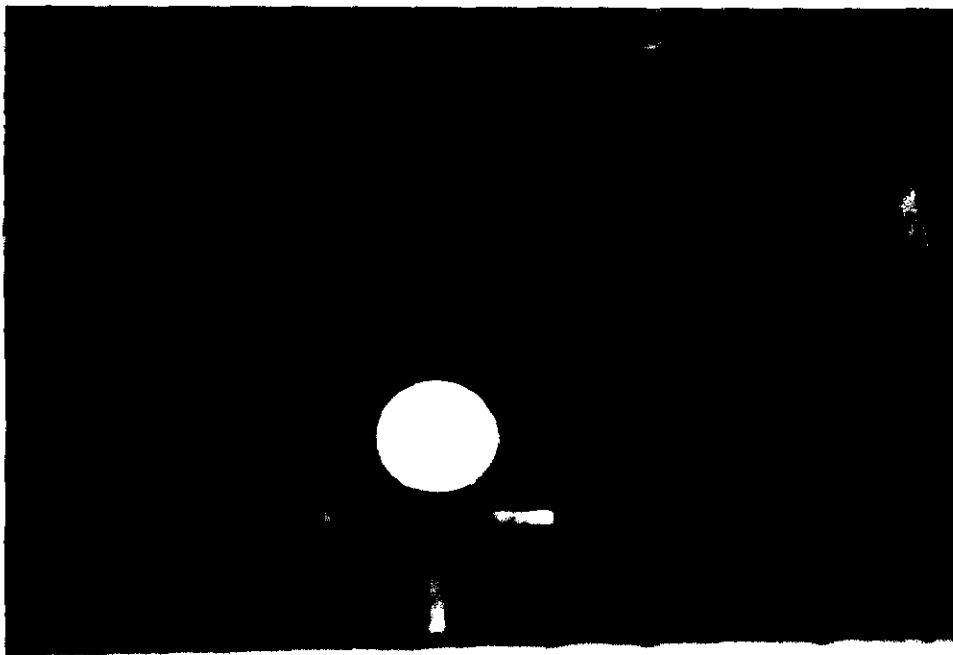
วัดกัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้างและวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการอุตสาหกรรม ในประเทศออสเตรเลีย โดยใช้ตัววัดโมเดียมไอโอไดด์ ขนาด 5x5 นิ้ว ประกอบกับเครื่องวิเคราะห์ชนิดซีแซนเนส วิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด พบว่ากัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้างส่วนมากมีค่าต่ำ แต่ในน้ำ (flyash) มีค่าสูงแต่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้อยู่อาศัย

เครื่องมือ และวิธีดำเนินการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

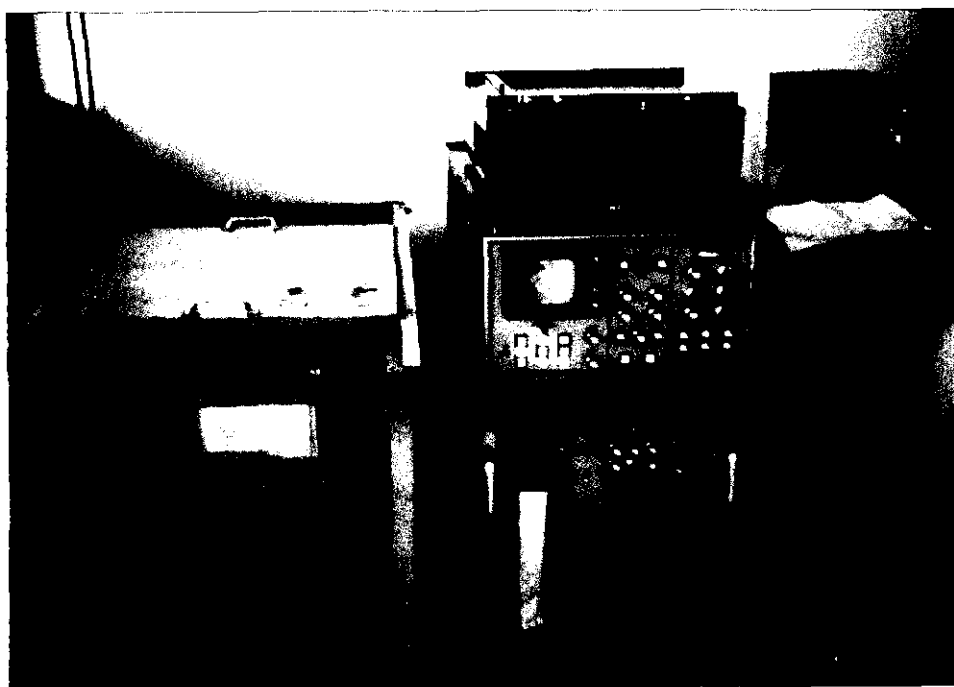
1. เครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีดังนี้

หัววัดโซเคียมไอโอไดค์ ขนาด 3×3 นิ้ว ตั้งอยู่ภายในถังกลางดำทะกั่ว
ขนาด $60 \times 60 \times 75$ เซนติเมตร (กว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง) ตะกั่วหนา 5 เซนติเมตร
ตั้งแสดงตามภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงหัววัดโซเคียมไอโอไดค์ภายในดำทะกั่ว

· เครื่องวิเคราะห์หมัลติแชนเนล ขนาด 1024 ช่องที่ประกอบด้วยหัววัดโซ
เกียมไอโอไดค์ ดังแสดงตามภาพประกอบ 6

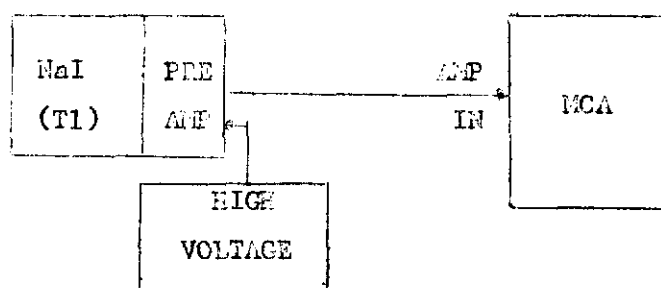


ภาพประกอบ 6 แสดงเครื่องวิเคราะห์หมัลติแชนเนลขนาด 1024 ช่อง

· เครื่องจ่ายไฟโวลต์สูง ของ CANBERRA MODEL 3002

· แอมป์ฟลายเออร์ ของ CANBERRA MODEL 1416B

การประกอบหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ เครื่องวิเคราะห์หมัลติแชนแนล
ขนาด 1024 ช่องและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นไปตามภาพประกอบที่ 7



ภาพประกอบ 7 แผนภาพการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2. เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณรังสีในอากาศ

ใช้เครื่องมือสำรวจรังสีชนิดเรทมิเตอร์ ซินทิลเลชัน แกมมา

(scintillation gamma ratenoter) ของ GENERAL RADIOLOGICAL
LIMITED LONDON TYPE 1596 A) เป็นเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดดิโซเดียม
ไอโอไดด์ที่มีผลเคลือบเป็นตัวกระตุ้น ขนาด 1"x 1" ประกอบกับหลอดโฟโตมัลติ
พลายเออร์ภายในลำอะลูมิเนียมทรงกระบอก ท่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งทั้งหมด
บรรจุอยู่ในกล่องโลหะสีเหลี่ยมขนาด 17.5 x 8.75 x 16 เซนติเมตร มีหลักการ
ทำงานเช่นเดียวกับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ วัดปริมาณรังสีแกมมาที่มีพลังงานตั้งแต่
0.09 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ขึ้นไป มีสเกลวัดตั้งแต่ 0-30 ไมโครเร็นต์เกินต่อ
ชั่วโมง และมีปุ่มปรับเพิ่มสเกลคูณ 10 และ 100 เท่าทำให้สามารถวัดปริมาณรังสี
ได้สูงถึง 3000 ไมโครเร็นต์เกินต่อชั่วโมง เครื่องมือนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาดใหญ๋ 2

ก่อนเป็นแหล่งจ่ายไฟ โดยผ่านหม้อแปลงไฟโวลต์สูงถึง 700 โวลต์ ตามภาพ
ประกอบ ๒



ภาพประกอบ ๒ แสดงเครื่องสำรวจปริมาณรังสี

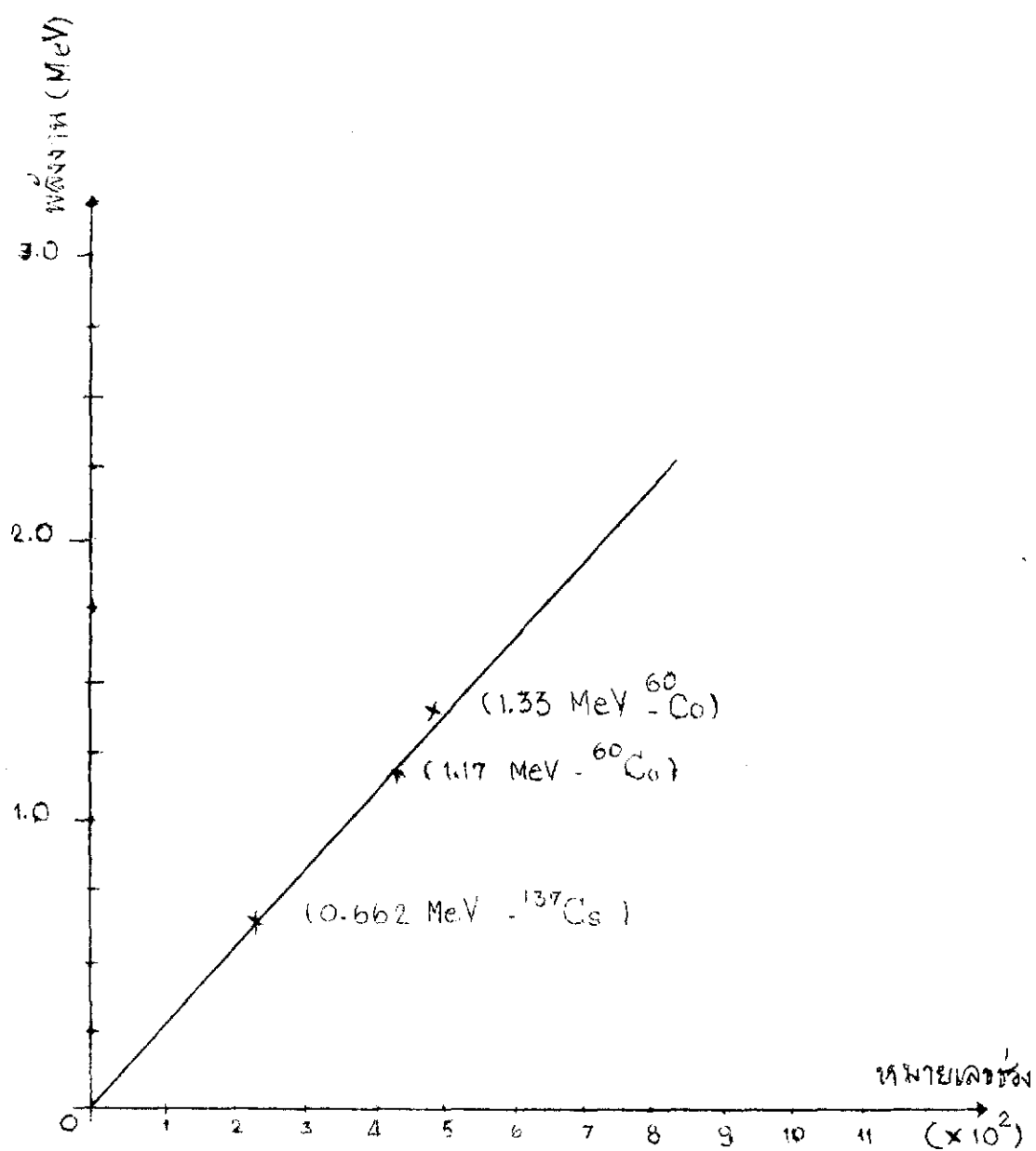
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสิ่งตัวอย่างและการเตรียมสารมาตรฐาน

การเตรียมสิ่งตัวอย่าง นำวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการวิจัยมาบด ทำให้
แห้งโดยการอบ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร บรรจุขวดพลาสติกขนาด
1 ลิตร ปิดผนึกให้แน่นเรียบร้อยเพื่อให้เกิดการสมดุลถาวร เขียนชื่อวัสดุ วัน
เดือน ปีที่บรรจุและน้ำหนักของสิ่งตัวอย่าง ทิ้งไว้ 35 วันก่อนที่จะนำเข้าเครื่องวัด

การเตรียมสารมาตรฐาน เพื่อการคำนวณหาระบบสมการเชิงเส้น
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันภาพรังสี ใช้โพแทสเซียมซัลเฟต เรเดียมคลอไรด์
และทอเรียมไดออกไซด์ ที่รู้ค่าปริมาณภาพรังสีของโพแทสเซียม เรเดียม ทอเรียม
นำสารมาตรฐานแต่ละชนิดมาผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นเนื้อเดียวกัน
บรรจุขวดพลาสติกและชั่งน้ำหนักทิ้งไว้ให้เกิดการสมดุลถาวร ค่าปริมาณภาพรังสี
ของสารมาตรฐานที่ใช้คือ ปริมาณภาพรังสีของโพแทสเซียม-40 เท่ากับ 90 เบ็ก
เคอเรล ปริมาณภาพรังสีของเรเดียม-226 เท่ากับ 202 เบ็กเคอเรล และค่า
ปริมาณภาพรังสีของทอเรียม-232 เท่ากับ 260.5 เบ็กเคอเรล

2. การปรับเทียบเครื่องมือและหากราฟมาตรฐาน ใช้โคมอลต์-60 ซึ่ง
ให้รังสีแกมมาพลังงาน 1.17 และ 1.33 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ และซีเซียม-137
ที่ให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.661 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เข้าเครื่องวัดแล้วเขียนกราฟ
ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับหมายเลขช่องของเครื่องวัดได้กราฟ ดังแสดงตาม
ภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานแกมมา กับหมายเลขของ

3. การหาหมายเลขของไทป์กและหาพื้นที่ไทป์ก นำสารมาตรฐานที่เตรียมไว้มาวัดสเปกตรัม แล้วหาหมายเลขของไทป์กของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 แล้วคำนวณหาพื้นที่ไทป์กของแต่ละสเปกตรัมโดยวิธีพื้นฐาน หักออกจากพื้นที่ไทป์กทั้งหมดความถี่การของโคเวลล์ (Covell, D.F. 1959: 1785 - 1790)

4. การหาระบบสมการเชิงเส้นสำหรับการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีที่ไม่ทราบค่า 3 ค่า จากการวัดหาพื้นที่ไทป์กของสารมาตรฐาน วัดหาค่าอัตรานับของแต่ละพื้นที่ไทป์กของแต่ละสเปกตรัม เปรียบเทียบการวางตัวอย่างข้างล่างนี้

กัมมันตภาพรังสี (Bq)	อัตรานับรังสีไทป์ก		
	โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเรียม-232
A(^{40}K)	d_1	d_2	d_3
B(^{226}Ra)	e_1	e_2	e_3
C(^{232}Th)	f_1	f_2	f_3

จากค่าอัตรานับที่ได้ในการนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของระบบสมการ
ได้ดังนี้

$$\begin{array}{lll} a_{11} = \frac{d_1}{A} & a_{12} = \frac{d_2}{B} & a_{13} = \frac{d_3}{C} \\ a_{21} = \frac{e_1}{A} & a_{22} = \frac{e_2}{B} & a_{23} = \frac{e_3}{C} \\ a_{31} = \frac{f_1}{A} & a_{32} = \frac{f_2}{B} & a_{33} = \frac{f_3}{C} \end{array}$$

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ของระบบสมการเชิงเส้น ก็สามารถเขียนสมการ
เชิงเส้นได้ 3 สมการ

5. การทดสอบสมการเชิงเส้นที่ได้ โดยการวิเคราะห์สารมาตรฐาน
ที่รู้ค่ากัมมันตภาพรังสีของโพแทสเซียม เรเดียม และทอเรียม

6. การหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องวัด (LOWER LIMIT OF
DETECTOR : LLD) ซึ่งเป็นค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำสุดที่เครื่องวัดสามารถวัดได้ โดย
ใช้สมการของฮาร์เลย์ (Harley, J.H. 1932:B-08-02 - D-08-07)

$$LLD = \frac{4.6}{\bar{E}} \times \sqrt{\frac{R_b}{t}} \dots\dots\dots (4)$$

จากสมการ (4) ๒ แทนประสิทธิภาพในการวัดธาตุกัมมันตรังสี
๒ แทนอัตรานับของแบกกราวนด์เวลา t ของพื้นที่ใต้พีคของธาตุกัมมันตรังสีหนึ่ง
 t แทนเวลาที่ใช้วัดหาแบกกราวนด์เป็นนาที

7. การวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีในสิ่งตัวอย่างวัสดุก่อสร้าง นำสิ่งตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวัดสเปกตรัม โดยสิ่งตัวอย่างจำพวกอิฐ หวาย หิน ปูนซีเมนต์ เขม่าดิน ปูนขาว ซีเมนต์ขาว และดินมีน้ำหนักเฉลี่ย 1 กิโลกรัม ส่วนไม้มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.5 กิโลกรัมหาอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคทั้ง 3 บริเวณที่พิจารณา ซึ่งได้แก่

วิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพรังสี Q_1, Q_2, Q_3 โดยใช้สมการเชิงเส้นที่ได้ในหัวข้อที่ 4 แล้วใช้โปรแกรมการแก้สมการเมทริกซ์ขนาด 3×3 ของเครื่องคำนวณ Hewlett packard Model HP - 11c page 150 - 152 แล้วคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 ในวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ

วิธีการวัดระดับรังสีแกมมาในบ้านและนอกบ้านและการคำนวณหาปริมาณรังสี

ใช้เครื่องมือสำรวจรังสีชนิดเรกมิเตอร์ ชนิดลิสเซน แกมมา วัดที่ระยะสูงจากพื้นห้อง 1 เมตร ที่กึ่งกลางห้องนั่งเล่น และวัดระดับรังสีภายนอกบ้าน โดยวัดที่ระยะสูงจากพื้นดิน 1 เมตร

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การลดหรือเพิ่มระดับรังสีแกมมาเมื่อได้ค่าระดับรังสีในบ้านและนอกบ้านแล้ว สามารถที่จะคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การลดหรือเพิ่มระดับรังสีจากภายนอกบ้านได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การลดหรือเพิ่ม} = \frac{(\text{ระดับรังสีในบ้าน} - \text{ระดับรังสีนอกบ้าน}) \times 100}{\text{ระดับรังสีนอกบ้าน}}$$

โดยที่ระดับรังสีในบ้านและนอกบ้านมีหน่วยเป็นไมโครเรินต์เกณฑ์ต่อชั่วโมง ถ้าค่าที่ได้เป็นค่าลบ แสดงว่าบ้านชนิดนั้นช่วยลดระดับรังสีแกมมาในอากาศที่แผ่มาจากพื้นดินโดยผนังบ้านทั้งสี่ด้านเป็นที่กั้นรังสีแกมมาให้ลดปริมาณลง สำหรับค่าที่ได้เป็นบวก แสดงว่าถึงแม้ว่าผนังบ้านทั้งสี่ด้านจะกั้นรังสีแกมมาที่มาจากพื้นดินได้

เป็นบางส่วน แต่หากผู้ที่มีรังสีธรรมชาติที่ปนอยู่ในวัสดุก่อสร้างนั้นกลับแผ่รังสีแกมมาออกมาทำให้ระดับรังสีแกมมาในบ้านนั้นเพิ่มขึ้น

การคำนวณหาปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับ สามารถคำนวณได้จากอัตราการแผ่รังสีแกมมาที่วัดได้ โดยเฉลี่ยว่าผู้อยู่อาศัยอยู่ในบ้านวันละ 16 ชั่วโมง และอยู่นอกบ้านวันละ 6 ชั่วโมง การคำนวณหาปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณรังสีตลอดปี} &= (\text{ระดับรังสีในบ้าน} \times 16 \text{ ชม.}) + (\text{ระดับรังสีนอกบ้าน} \times \\ \text{ที่ร่างกายได้รับ} &= 6 \text{ ชม.}) \times 365 \text{ วัน} \end{aligned}$$

โดยที่ระดับรังสีในบ้านและนอกบ้านมีหน่วยเป็นไมโครเรินต์เกนต่อชั่วโมง

ผลของการวิจัย

ผลของการวัดและการวิเคราะห์หาค่าสัมพันธภาพรังสี

1. ผลการศึกษากราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับหมายเลขของเครื่องวัด ประกอบกับเครื่องวิเคราะห์ผลลิแกเนนเนล ขนาด 1024 ช่อง พบว่ารังสีแกมมาที่พลังงาน 1.460, 1.764 และ 2.614 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ตรงกับหมายเลขของที่ 525, 635 และ 940 ตามลำดับ

2. ผลการหาหมายเลขของช่องพื้นที่ใต้พีคและค่าอัตรานับของพื้นที่ใต้พีค ได้แสดงในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงหมายเลขช่องและอัตรานับของพื้นที่ใต้พีค

สารมาตรฐาน	อัตรานับของพื้นที่ใต้พีค		
	โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเรียม-232
หมายเลขของ	490-544 (cpm)	604-659 (cpm)	868-970 (cpm)
โพแทสเซียมซัลเฟต	14.05	32.85	10.04
เรเดียมคลอไรด์	0.39	33.17	11.65
ทอเรียมไดออกไซด์	0.29	0.69	32.56

จากตาราง 4 พบว่าหมายเลขของอัตรานับของพื้นที่ใต้พิภพของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 ตรงกับหมายเลขของ 490-544 , 604-659 และ 800-970 ตามลำดับ

3. ผลการคำนวณระบบสมการเชิงเส้นสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณภาพรังสีของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 โคสมิกการเชิงเส้น 3 สมการดังนี้

$$C_1 = 0.1548Q_1 + 0.1624Q_2 + 0.0578Q_3 \dots\dots\dots (17)$$

$$C_2 = 0.0443Q_1 + 0.1639Q_2 + 0.0447Q_3 \dots\dots\dots (18)$$

$$C_3 = 0.0031Q_1 + 0.0034Q_2 + 0.1250Q_3 \dots\dots\dots (19)$$

4. ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐาน เพื่อการตรวจสอบสมการเชิงเส้น 3 สมการที่ได้ในหัวข้อที่ 3 ได้ผลตามตาราง 5

ตาราง 5 แสดงค่าปริมาณกับมาตรฐาน NBS ที่วิเคราะห์ได้

สารมาตรฐาน	ค่าที่ระบุโดย NBS		ค่าวิเคราะห์	
	โพแทสเซียม-40	เรเคียม-226	โพแทสเซียม-40	เรเคียม-226
Potassium Feldspar (%)	8.30 ± 0.31	-	10.11 ± 0.44	40.0014
Rocky Plate Soil (Eq/g)	$0.723 \pm 9.6\%$	$0.043 \pm 6.6\%$	0.594 ± 0.46	0.057 ± 0.037
Obsidian Rock (%)	$4.16 \pm 0.02(3)$	-	$(12.4 \pm 0.37) \times 10^{-4}$	0.003 ± 0.0023
				$(12.2 \pm 0.004) \times 10^{-4}$

(1) ค่า NBS แนะนำ

(2) ค่าที่ระบุไว้เพื่อใช้หาความบริสุทธิ์

(3) อยู่ในรูปของ K_2O

5. ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของหัววัด โดยลดตามตาราง 6

ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของหัววัดที่เวลาต่างกันของธาตุกัมมันตรังสี

ประสิทธิภาพ ของโพแทสเซียม-40 (cpm/Bq)	ค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของหัววัด (Bq) ที่เวลาวัด (ชั่วโมง)		
	3	24	60
โพแทสเซียม-40 0.1540	12.70	2.58	2.06
เรเดียม-226 0.1639	4.52	2.64	1.67
ทอเรียม-232 0.1250	6.18	2.39	1.83

จากตาราง 6 พบว่าค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของหัววัดที่วัดได้นั้นจะมีค่าต่ำเมื่อใช้
เวลาในการวัดมากขึ้น ในรังสีแกมมา หัววัดสามารถวัดค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีค่าต่ำได้
แต่ต้องใช้เวลานานขึ้น เช่น สารกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตภาพรังสีของโพแทสเซ
เนียม-40 2.06 เบ็กเคอเรล ต้องใช้เวลาวัดนาน 60 ชั่วโมง ถ้ามีค่ากัมมันตภาพ
รังสีต่ำกว่า 2.06 เบ็กเคอเรลก็ต้องใช้เวลาวัดให้นานกว่า 60 ชั่วโมงจึง
จะสามารถวัดค่าได้

6. ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในเขต
กรุงเทพมหานครและในจังหวัดชัยภูมิ โดยลดตามตาราง 7 และตาราง 8 ดังต่อไปนี้

ตาราง 7 แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้าง ในเขตกรุงเทพมหานคร

ชนิดวัสดุ	จำนวน ตัวอย่าง	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		ค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
ทราย	23	151.9-268.4 (221.1)	4.5-13.4 (6.6)	7.6-22.4 (16.5)
ปูนซีเมนต์	12	17.3-62.9 (34.3)	2.5-16.5 (9.4)	3.4-14.3 (7.9)
ไม้	6	76.2-209.4 (155.8)	12.0-40.1 (10.2)	23.2-57.9 (43.2)
ดินปน	5	1.6-6.9 (3.1)	4.6-10.4 (7.5)	0.9-4.6 (2.5)
ไม้	6	2.6-6.0 (5.4)	3.3-4.3 (4.0)	2.2-5.9 (3.9)
ซีเมนต์ขาว	3	5.2-5.3 (5.2)	6.3-6.1 (7.5)	7.8-6.9 (6.6)
เซรามิก	7	157.6-352.1 (230.7)	46.6-136.0 (67.9)	52.1-132.2 (107.6)
หินอ่อน	3	0.9-22.1 (6.3)	0.6-0.1 (3.5)	1.2-2.6 (1.9)

ชนิดวัสดุ	จำนวน ตัวอย่าง	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		ค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเรียม-232
ปูนขาว	3	2.6-4.1 (3.5)	0.1-12.0 (10.3)	9.1-27.5 (16.0)
ดินถม	5	216.6-243.0 (224.7)	19.1-25.9 (21.9)	34.6-51.7 (41.6)
ดิน	3	20.7-127.9 (64.9)	4.6-29.0 (16.2)	10.6-46.3 (33.4)

จากตาราง 7 จะเห็นว่าวัสดุก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานครนั้น เซรามิกเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 สูงกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ดินถมมีกัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226 และทอเรียม-232 ค่าสูง แต่มีโพแทสเซียม-40 สูงกว่าซีเมนต์ขาว ไม้ ปูนขาว และหินปูน เซรามิกและหินอ่อนเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการประดับพื้นผนังบานเท่านั้น สำหรับวัสดุก่อสร้างที่ใช้สร้างบ้านทั่วไปคือ ทราย ปูนซีเมนต์ อิฐ และไม้ นั้น พบว่าในวัสดุทั้ง 5 ชนิดทั้งสามชนิดนี้มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และทอเรียม-232 สูงสุด แต่มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40 ต่ำกว่าทราย แต่สูงกว่าวัสดุก่อสร้างอีก 3 ชนิด ดินถมมีกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40 ค่าสูง แต่มีกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าทราย อิฐ และปูนซีเมนต์ แต่สูงกว่าไม้

ตาราง ๘ แสดงค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ในวัสดุก่อสร้างในจังหวัดชัยภูมิ

ชนิดวัสดุ	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		ค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
ทราย	5	118.4-133.2 (127.2)	5.9-10.0 (8.3)	10.5-13.7 (12.4)
ปูนซีเมนต์	5	10.4-23.7 (14.9)	5.0-9.6 (6.4)	5.9-6.9 (7.4)
อิฐ	3	45.5-115.4 (86.8)	8.9-33.0 (16.0)	23.7-54.0 (39.5)
หินปูน	5	2.6-5.7 (4.4)	11.8-20.4 (15.9)	2.6-5.9 (4.6)
ไม้	2	2.5-7.4 (5.0)	4.1-4.6 (4.5)	3.7-14.4 (9.1)

จากตาราง ๘ จะเห็นว่าวัสดุก่อสร้างในจังหวัดชัยภูมินั้น อิฐมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226และทอเลียม-232สูงกว่าวัสดุอื่นๆ แต่มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40ต่ำกว่าทรายแต่สูงกว่าหินปูน ไม้และปูนซีเมนต์ หินปูนมีกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40และทอเลียม-232ต่ำสุดแต่มี

กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่าในไม้ ทราบ และปูนซีเมนต์

7. ผลการวัดระดับรังสีภายในบ้านและภายนอกบ้านชนิดต่างๆ และการคำนวณปริมาณรังสีที่บุคคลที่วางจะได้รับ โดยลดตามตาราง 9 ตาราง 10 ตาราง 11 และ ตาราง 12

ตาราง 9 แสดงระดับรังสีแกมมา ในบ้านและนอกบ้านในเขตกรุงเทพมหานคร

ชนิดบ้าน	จำนวนบ้าน	ระดับรังสีแกมมา ($\mu R/hr$) ค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย)		เปอร์เซ็นต์	
		ภายในบ้าน	ภายนอกบ้าน	ลด	เพิ่ม
บ้านไม้	25	3.9-4.9 (4.4)	4.7-5.8 (5.3)	16.4	-
บ้านคอนกรีต (บล็อก)	38	6.9-8.7 (7.8)	4.5-6.0 (5.3)	-	47.0
บ้านคอนกรีต (อิฐ)	46	6.4-9.9 (9.1)	4.5-6.0 (5.3)	-	71.2

จากตาราง 9 จะเห็นว่าบ้านชนิดต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 109 หลังคาเรือนนั้น บ้านคอนกรีต(อิฐ)ทำให้ระดับรังสีแกมมาภายในบ้านเพิ่มขึ้นร้อยละ 71 บ้านคอนกรีต(บล็อก)ทำให้ระดับรังสีแกมมาเพิ่มขึ้นร้อยละ 47 ส่วนบ้านไม้นั้น ระดับรังสีแกมมาภายในบ้านลดลงจากภายนอกร้อยละ 16

ตาราง 10 แสดงระดับรังสีแกมมาในบ้านและนอกบ้านในจังหวัดชัยภูมิ

ชนิดบ้าน	จำนวนบ้าน	ระดับรังสีแกมมา ($\mu\text{R/hr}$) ค่าเฉลี่ย (ค่าเฉลี่ย)		เบียร์ เซนต์	
		ภายในบ้าน	ภายนอกบ้าน	ลด	เพิ่ม
บ้าน ไม้	15	3.5-4.0 (4.1)	4.5-5.5 (5.0)	10.0	—
บ้านคอนกรีต (บล็อก)	43	6.1-7.7 (6.9)	4.5-6.0 (5.3)	—	30.2
บ้านคอนกรีต (อิฐ)	20	8.4-9.5 (8.9)	4.5-6.0 (5.3)	—	60.7

จากตาราง 10 จะเห็นว่าบ้านชนิดต่างๆ ในจังหวัดชัยภูมิจำนวน 78 หลังคาเรือนนั้น บ้านคอนกรีต(อิฐ)และบ้านคอนกรีต(บล็อก)ทำให้ระดับรังสีแกมมาภายในบ้านสูงกว่านอกบ้านร้อยละ 69 และ 30 สำหรับบ้านไม้ นั้นกลับสามารถลดระดับรังสีแกมมาภายในบ้านลงได้ถึงร้อยละ 10

ตาราง 11 แสดงปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับในบ้านชนิดต่างๆในเขต
กรุงเทพมหานคร

ชนิดบ้าน	ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ (mSv/yr)		
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย
บ้านไม้	0.359	0.449	0.404
บ้านคอนกรีต(บล็อก)	0.552	0.703	0.628
บ้านคอนกรีต(ฉาบ)	0.650	0.762	0.716
ค่าเฉลี่ยรวม			0.614

จากตาราง 11 จะเห็นว่าใน เขตกรุงเทพมหานครนั้น ผู้อาศัยอยู่ในบ้านไม้ได้รับปริมาณรังสีน้อยสุดมีค่า 0.40 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี ผู้อาศัยอยู่ในบ้านคอนกรีตทั้งที่มีโครงสร้างเป็นอิฐและบล็อกคอนกรีตมีค่าสูงกว่า 0.61 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี

ตาราง 12 แสดงปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับในบ้านชนิดต่างๆใน
จังหวัดชัยภูมิ

ชนิดบ้าน	ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ (mSv/yr)		
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย
บ้านไม้	0.329	0.423	0.376
บ้านคอนกรีต(มัลลอค)	0.499	0.637	0.56๐
บ้านคอนกรีต(ฉาบ)	0.650	0.756	0.703
ค่าเฉลี่ยรวม			0.570

จากตาราง 12 จะเห็นว่าในจังหวัดชัยภูมินั้น ผู้อาศัยอยู่ในบ้านไม้ได้รับ
ปริมาณรังสีต่ำสุดมีค่า 0.3๒ มิลลิซีเวิร์ตต่อปี ส่วนผู้ที่อาศัยอยู่ในบ้านคอนกรีตทุกชนิด
ได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 0.57 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี

บทย่อ สรุปผล อภิปรายและขอเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวัดกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 ในวัสดุก่อสร้าง โดยการวัดรังสีแกมมาที่พลังงาน 1.460 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของโพแทสเซียม-40 , 1.764 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของทอเรียม-232 ที่อยู่ในสมมูลถ่วงกับเรเดียม-226 และ 2.614 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของทอเรียม-232 ที่อยู่ในสมมูลถ่วงกับทอเรียม-232 โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน พร้อมกับวัดปริมาณรังสีแกมมาที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบ้านชนิดต่างๆ เพื่อดูว่าวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่มีส่วนเพิ่มหรือลดปริมาณรังสีให้แก่ผู้อยู่อาศัยอยู่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มี 2 ชนิดคือ

1. เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี ชนิดตัววัดโพแทสเซียมไอโซโทปขนาด 3×3 นิ้ว ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ผลสัญญาณ ขนาด 1024 ช่อง
2. เครื่องมือสำรวจรังสีชนิด เรทมิเตอร์ ชนิดตัวเลข แกนมา ที่มีตัววัดโพแทสเซียมไอโซโทปขนาด 1×1 นิ้ว มีสเกลระหว่าง 0-30 ไมโครเรินเจนต่อนาที ชั่วโมง และมีปุ่มปรับตัวคูณขนาด 1, 10 และ 100 เท่า

วิธีดำเนินการ

ตัวอย่างวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ วัสดุก่อสร้างที่ใช้ในเขต กรุงเทพมหานคร และในจังหวัดชัยภูมิ นำวัสดุก่อสร้างมาทำให้แห้งโดยการอบ นก รอนผานตะแกรง แล้วบรรจุขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร ปิดผนึกให้แน่น ตั้งไว้ประมาณ 35 วัน เพื่อให้เกิดการสมดุลถาวรระหว่างบิทัมส์-214 กับเรเคียม-226 และ แทเลียม-206 กับทอเรียม-232 แล้วนำตัวอย่างวัสดุก่อสร้างที่เตรียมขึ้นไปวัดด้วย เครื่องวัดมินิทีลเดชั่น ชนิดหัววัดโพเทียมไอโอไดค์ ขนาด 3×3 นิ้ว ประกอบกับ เครื่องวิเคราะห์หมัลติแชนเนล ขนาด 1024 ช่อง เพื่อวัดพลังงานรังสีแกมมา 1.460 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของโพแทสเซียม-40 1.764 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของ บิทัมส์-214 และ 2.614 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของแทเลียม-206 ในเวลาเดียวกัน แล้วคำนวณค่าความหนาแน่นของรังสีจำเพาะโดยวิธีกำลังสองน้อยสุด เปรียบเทียบกับ สเปกตรัมของสารมาตรฐานโพแทสเซียม เรเคียม และทอเรียม

ใช้เครื่องมือสำรวจรังสีชนิดเรกมิเตอร์ มินิทีลเดชั่น แกมมา วัดปริมาณรังสี ในบ้านและนอกบ้านที่สร้างจากไม้ คอนกรีต (อิฐ) และคอนกรีต (บล็อก) ที่ตั้งอยู่ในเขต กรุงเทพมหานคร และจังหวัดชัยภูมิ

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้าง

ใช้วิธีวิเคราะห์กำลังสองน้อยสุดจากสเปกตรัมของสารมาตรฐาน โพแทสเซียม เรเคียม และทอเรียม สร้างระบบสมการเชิงเส้น แล้วทดสอบสมการ ที่ได้โดยใช้สารมาตรฐาน PDS.

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานคร นคร 11 ชนิด คือ หวาย ปูนซีเมนต์ ฐิ หินปูนและไม วัสดุก่อสร้าง 5 ชนิดนี้เป็น วัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาก วัสดุก่อสร้างที่ใช้เป็นวัสดุประกอบในการสร้างบ้านอีก 5 ชนิด คือ เบริมิก หินอ่อน ปูนซีเมนต์ขาว หินกาบ และปูนขาว ส่วนกินเป็นวัสดุ ก่อสร้างที่ใช้ในการถมที่เพื่อปรับบริเวณ พบว่ามีค่าพิสัยตั้งแต่ 3.1-230.7 เบ็กเคอเรล ของโพแทสเซียม-40ต่อกิโลกรัมของวัสดุก่อสร้าง 3.5-67.9 เบ็กเคอเรลของ เรเดียม-226ต่อกิโลกรัมวัสดุก่อสร้าง และ 1.9-107.6 เบ็กเคอเรลของทอเรียม- 232ต่อกิโลกรัมวัสดุก่อสร้าง พบว่าเบริมิกมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะทั้งสามธาตุ มากที่สุด หินอ่อนมีเรเดียม-226และทอเรียม-232น้อยที่สุด หินปูนมีโพแทสเซียม-40 น้อยที่สุด

ส่วนการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในจังหวัดชัยภูมิ นั้น ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์วัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมากจะเหมือนกับที่ใช้ในกรุงเทพมหานคร พบว่ามีค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะตั้งแต่ 4.4-127.2 เบ็กเคอเรลของ โพแทสเซียมต่อกิโลกรัมวัสดุก่อสร้าง 4.5-16.0 เบ็กเคอเรลของเรเดียม-226ต่อ กิโลกรัมวัสดุก่อสร้าง และ 4.6-39.5 เบ็กเคอเรลของทอเรียม-232 ต่อกิโลกรัม วัสดุก่อสร้าง และพบว่าอิมมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ละ ทอเรียม-232 น้อยที่สุด หินปูนมีโพแทสเซียม-40 และทอเรียม-232น้อยที่สุด

ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในเขตกรุงเทพมหานครและ ในจังหวัดชัยภูมิในการวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่รายงานไว้ในต่างประเทศ พบว่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม เรเดียมและทอเรียมในอิฐในประเทศสวีเดน เยอรมัน สหภาพโซเวียตรัสเซีย และอังกฤษมีค่าสูงกว่าประมาณ 2-3 เท่า ปูนซีเมนต์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการรายงานไว้ในประเทศสวีเดนแต่ต่ำกว่าเยอรมันและสหภาพ

ไมเวียทรีส์เซียและอังกฤษ ในคินพบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียมและ
ทอเรียมใกล้เคียงกับค่าที่รายงานไว้ในประเทศสหรัฐ อเมริกาแคนาดาและนิวซีแลนด์
น้อยกว่า

การวัดระดับรังสีแกมมาและปริมาณรังสีตลอดปีที่ได้รับในบ้านชนิด
ต่างๆในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าบ้านไม้มีระดับรังสีต่ำสุดเฉลี่ย 4.4 ไมโครเริน
แกนต่อชั่วโมง ช่วยลดระดับรังสีภายในบ้านลงไปร้อยละ 16 จากภายนอกบ้าน
บ้านคอนกรีต(บล็อก)เฉลี่ย 7.6 ไมโครเรินแกนต่อชั่วโมง เพิ่มระดับรังสีภายใน
บ้านจากภายนอกบ้านขึ้นร้อยละ 47 และบ้านคอนกรีต(อิฐ)เฉลี่ย 9.1 ไมโครเริน
แกนต่อชั่วโมง เพิ่มระดับรังสีภายในบ้านจากภายนอกบ้านขึ้นร้อยละ 71 เมื่อคำนวณ
ปริมาณรังสีตลอดปีที่ได้รับในบ้านไม้เฉลี่ย 0.40 มิลลิซีเวิร์ท บ้านคอนกรีต
(บล็อก)เฉลี่ย 0.63 มิลลิซีเวิร์ทและบ้านคอนกรีต(อิฐ)เฉลี่ย 0.72 มิลลิซีเวิร์ท
ส่วนในจังหวัดชัยภูมิมีระดับรังสีในบ้านไม้เฉลี่ย 4.1 ไมโครเรินแกนต่อชั่วโมง
ช่วยลดระดับรังสีจากภายนอกร้อยละ 16 บ้านคอนกรีต(บล็อก)เฉลี่ย 6.9
ไมโครเรินแกนต่อชั่วโมงเพิ่มระดับรังสีขึ้นจากภายนอกร้อยละ 30 และบ้านคอนกรีต
(อิฐ)เฉลี่ย 0.9 ไมโครเรินแกนต่อชั่วโมงเพิ่มระดับรังสีจากภายนอกขึ้นร้อยละ
69 เมื่อคำนวณปริมาณรังสีตลอดปีที่ได้รับในบ้านไม้เฉลี่ย 0.40 มิลลิซีเวิร์ท
บ้านคอนกรีต(บล็อก)เฉลี่ย 0.60 มิลลิซีเวิร์ทและบ้านคอนกรีต(อิฐ)เฉลี่ย 0.70
มิลลิซีเวิร์ท

ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณรังสีตลอดปีที่ได้รับนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ
ค่าที่รายงานไว้ในต่างประเทศพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับในประเทศออสเตรเลีย
(0.601 มิลลิซีเวิร์ท) ระดับรังสีภายในบ้านลดและเพิ่มจากภายนอกบ้านประมาณ
ร้อยละ 30 ถึงแม้ที่มีผู้รายงานไว้ในต่างประเทศ ยกเว้นบ้านคอนกรีต(อิฐ)ที่มีค่า
สูงกว่าที่รายงานไว้

อภิปรายผล

วัสดุก่อสร้างที่มีธาตุกัมมันตรังสีโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และ ทอเรียม-232 น้อยมาก เมื่อนำไปสร้างบ้านที่อาศัยอยู่จะมีผลทำให้ระดับรังสีสูงและ ปริมาณรังสีภายในบ้านมีค่ามากขึ้นด้วย จะเห็นว่าบ้านคอนกรีตที่สร้างจากอิฐ บล็อก ทราย หิน และปูนซีเมนต์ จะมีปริมาณรังสีภายในบ้านสูงกว่าในบ้านไม้ โดยเฉพาะ บ้านคอนกรีตที่มีโครงสร้างอิฐ ประทับด้วยเซรามิก หินกาบ ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่มี กัมมันตภาพรังสีสูง ปริมาณรังสีย่อมสูงกว่าบ้านชนิดอื่นๆ ไปด้วย ส่วนดินอ่อนนั้นมีความ กัมมันตภาพรังสีต่ำ บ้านที่สร้างด้วยดินอ่อนก็ย่อมมีปริมาณรังสีภายในบ้านต่ำด้วย แต่เนื่องจากดินอ่อนมีราคาแพงมากกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ดังนั้น บ้านที่สร้างด้วยดินอ่อน ทั้งหลังจึงมีจำนวนน้อยมาก บ้านไม้ก็เคยมีปริมาณรังสีภายในบ้านต่ำ ในสมัยก่อนคนเรานิยมปลูกสร้างบ้านด้วยไม้ เนื่องจากไม้ราคาถูกกว่า แต่ในปัจจุบันพบว่าไม้นั้นราคาแพง ไม้ไม่อีก ถังนั้นบ้านไม้ในปัจจุบันจึงมีจำนวนลดลงไปมาก ซึ่งจะเห็นว่าปัจจุบันนี้คนเรานิยมก่อสร้างบ้านด้วยบล็อกคอนกรีตเป็นบ้านคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาไม่แพงนัก บ้านคอนกรีตหนาแน่นกว่าบ้านไม้ ในเขตกรุงเทพมหานครบ้านคอนกรีตมีจำนวนมาก ส่วนในต่างจังหวัดนั้นบ้านคอนกรีตก็นิยมในเขตชุมชน ในเขตชนบทที่ใกล้ป่าไม้ก็ยังนิยมก่อสร้างบ้านไม้อยู่ จึงอาจกล่าวได้ว่าโดยเฉลี่ยแล้วคนกรุงเทพมหานครได้รับปริมาณรังสีมากกว่าคนในจังหวัดชัยภูมิ

ข้อเสนอแนะ ในการศึกษาวิจัยต่อไป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยขั้นเบื้องต้น ได้ระบบสมการเชิงเส้นในการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของโพแทสเซียม-40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 ในวัสดุก่อสร้าง ใช้วิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้าง ในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดชัยภูมิตำนั้น ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่

รายงานไว้ในต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อให้การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงควร
ทำการศึกษาวิจัยอีกต่อไปโดยการ ไล่ตัวอย่างที่มาจากทุกภาคในประเทศ และตัวอย่าง
มากกว่า ๑๑ ชนิด พร้อมกับทำการวิเคราะห์รังสีและคำนวณปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ
จากยานทุกชนิด ในทุกภาคของประเทศ จึงได้ว่า ข้อมูลที่วัดค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่
ได้และคำนวณปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับในยานชนิดต่าง ๆ นั้นก็จะครอบคลุมทั้งประเทศได้
ต่อไปและสามารถที่จะกำหนดมาตรฐานการกำหนดค่ากัมมันตภาพรังสีในวัสดุก่อสร้าง
ที่ได้ปริมาณรังสีต่ำในการสร้างบ้านได้ต่อไป ข้อมูลที่ได้ก็สามารถไปเปรียบเทียบกับ
ต่างประเทศ เพื่อสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ราชบัณฑิตยสถาน กระทรวงมหาดไทย กรุงเทพมหานคร เรื่อง การบัญชีข้อแร่ โรงพิมพ์

สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี 2524, 36 หน้า

สมพงษ์ ใจกิจและอัคร เมษาศิริ ฟิสิกส์นิวเคลียร์และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กรุงเทพมหานคร กรุงเทพมหานคร 2525, หน้า 177 - 233

อรุณย์ แสงอรียานันท์ นิวเคลียร์ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

2525, หน้า 73 - 131 บัณฑิตนา

ชาวันม ปุณโณทก ฟิสิกส์แผนใหม่ 4 กราฟิเคอาร์ท กรุงเทพมหานคร 2523, 378 หน้า

Bennett g. Estimation of Gonadal absorbed dose due to environmental gamma radiation. Health Physics, Official Journal of the Health Physics Society. Pergamon press, volume 19, December 1970:p.757 - 767

Beretka,J. and P.J.Mathew. Natural Radioactivity of Australian Building Materials, Industrial Wastes and by - products. Health Physics, Volume 43(1), 1985; p. 87 - 95

Cadinalo,A. and others. Studies on Natural background radiation in Italy. Health Physics, volume 20, March 1971, p.285 - 296

Covell, D.F. Determination of Gamma - Ray abundance directly from the total absorption peak. Annals, Chemistry 31, 1959, p.1735 - 1790

Dominick, D.D. Statement before Joint Committee on Atomic Energy United State Congress, Subcommittee on Raw Materials 1971.

Eisenbud, M. Environment Radioactivity. 2nd ed, Academic Press
New York, 1973:p.159 - 204

Friedlander, L. and others. Nuclear and Radiochemistry.
3rd ed, John Willey & Sons, 1981:p.1 - 16

Glenn, F. Radiation Detection and Measurement. John Willey &
Sons, 1979: 816 pp.

Harley, J.H. EML Procedures Manual. Report HASL - 300, U.S.,
Department of Energy, 376 Hudson Street, New York, N.Y. 10014
,1982;p. D-08-02 - D-08-07

Harley, H. and others. Exposures from the Uranium series
with emphasis on radon and daughters. NCRP report,
Maryland, November 1973: 77 pp.

Health, R.J. Scintillation Spectrometry gamma - ray spectrum
catalogue, 2nd ed., volume 1(2), United State Atomic Commission
1964: 44pp.

Lindeken, L. and others. Environmental Radiation Background
Variations between residences. Health Physics, Pergamon Press,
volume 24, January 1973: p.81 - 86.

Mjones, L. and G.A. Swedjemark. Investigation of gamma
radiation in Swedish dwellings. Preliminary results from
seven countries, National Institute of Protection report,
Stockholm Sweden, 1976: p.09 - 01

NCRP, National Council on Radiation Protection and
Measurements. A Handbook of Radioactivity Measurements
Procedures, Washington D.C., November 1978: 58pp.

Storuste, A.A. and others. Measurement of Environmental
Gamma Radiation in Norwegian houses. Health Physics,
volume 11, 1965: p.261 - 269

UNSCEAR, United Nation Scientific Committee on Effects of
Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation.
New York, 1977: p.80 - 95

การศึกษากัมมันตภาพรังสีแกมมาที่มีอยู่ตามข. รมชาติในวัสดุก่อสร้าง

บทคัดย่อ

ของ

กมล เหลาสมบัติทวี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ร
ปริญญาการศึกษา...ศาสตราจารย์
พฤศจิกายน 2529

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีแกมมาจำเพาะของโพแทสเซียม 40 เรเดียม-226 และทอเรียม-232 ในวัสดุก่อสร้างด้วยตัววัดโพแทสเซียมไอไอโคค (แคลเลียม) ขนาด 3×3 นิ้ว ประกอบกับเครื่องวิเคราะห์ผลกัมมันตภาพรังสีขนาด 1024 ช่อง โดยวิธีกำลังสองน้อยสุด เก็บสิ่งตัวอย่างวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในเขตกรุงเทพมหานคร และในจังหวัดชัยภูมิ ไทแก หวาย ปูนซีเมนต์ อิฐ หินปูน ไม้ เชมรามิก ซีเมนต์ขาว หินอ่อน หินกาบ และดินเหนียว แล้วคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะโดยวิธีกำลังสองน้อยสุดจากสมการถ่วงน้ำหนักของโพแทสเซียม เรเดียม และทอเรียม ผลของการวิเคราะห์พบว่า กัมมันตภาพรังสีแกมมาในวัสดุก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานครและในจังหวัดชัยภูมินั้น เชมรามิกมีค่ากัมมันตภาพรังสีแกมมาสูง ส่วนวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะหินปูนและหินอ่อน รวมกันนั้นได้วัดปริมาณรังสีในบ้านชนิดต่างๆ ในทั้งสองจังหวัด พบว่าบ้านไม้มีส่วนช่วยลดระดับรังสีภายในบ้านลงจากภายนอกบ้านร้อยละ 16 ในขณะที่ปริมาณรังสีภายในบ้านคอนกรีตมีระดับรังสีสูงกว่าภายนอกบ้านร้อยละ 30 และในบ้านอิฐมีระดับรังสีเพิ่มขึ้นจากภายนอกบ้านถึงร้อยละ 70 เมื่อคำนวณปริมาณรังสีตลอดปีที่ร่างกายได้รับจากการอาศัยอยู่ในบ้านชนิดต่างๆ พบว่าอาศัยอยู่ในบ้านไม้ได้รับปริมาณรังสีตลอดปีเท่ากับ 0.40 มิลลิซีเวิร์ต ในขณะที่อาศัยอยู่ในบ้านคอนกรีตจะได้รับปริมาณรังสีตลอดปีเท่ากับ 0.70 มิลลิซีเวิร์ต

STUDY ON THE GAMMA - RAY NATURAL RADIOACTIVITY

IN CONSTRUCTION MATERIALS

AN ABSTRACT

By

KANON LOUSOMBATTANNE

Presented in partial fulfillment of requirements

for the Master of education degree

at Srinakharinwirot University

November 1986

The natural gamma radioactivity which due to the presence of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in construction materials has been measured by NaI(Tl) detector (3"x3"), gamma spectrometer including the multichannel pulse-height analyzer of 1024 channels. The method of least square has been applied to the analysis of gamma-ray scintillation spectra. Sample of sand, cement, clay brick, wood, shale, ceramics, port cement, lime and soil collected from different areas in Bangkok and Chaiyaphum were analyzed. Results showed highest specific radioactivity in ceramics and lowest in marble and lime stone.

The survey of gamma-ray natural background in 109 houses in Bangkok and 78 houses in Chaiyaphum were carried out by scintillation gamma survey meter. The influence of building materials was observe. The exposure dose rate in wood-frame structure were about 16% lower than outdoor, whereas in concrete were 30% higher than outdoor and in red brick houses were nearly 70% higher.

The population dose was calculated using the measured dose rate. The annual dose rate from external gamma radiation was 0.40 milliseiverts if living in wooden houses and 0.70 milliseiverts if living in concrete houses.

การคำนวณ

ภาคผนวก ก ประวัติการค้นพบรังสี, อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสาร

ในปี ค.ศ. 1896 เบ็กเคอเรล (H. Becquerel) ศึกษาเกลือซัลเฟตของยูเรเนียมพบว่า ยูเรเนียมสามารถแผ่รังสีออกมาได้เองตามธรรมชาติ จึงถือว่าเป็นการค้นพบรังสีเป็นครั้งแรก ต่อมาคูรีและสมิท (Curie and Schmidt) พบว่าสารประกอบของทอเรียมก็มีรังสีเช่นกัน ปีค.ศ. 1898 ปีแอร์และมาทามคูรี (Pierre and Curie) ศึกษาแร่พิทช์เบลนด ซึ่ง เป็นแร่ธรรมชาติสีดำที่มียูเรเนียมเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงร้อยละ 75 พบว่าในก้อนแร่มีธาตุอื่นที่ไม่ใช่ยูเรเนียมเพราะมีกัมมันตรังสีสูงมากๆ มาทามคูรีได้ทำการแยกธาตุออกมาได้ธาตุใหม่ 2 ธาตุ และได้อีกว่า เรเดียม (radium) และพอโลเนียม (polonium) หลังจากนั้นก็มี การค้นพบธาตุกัมมันตรังสีอีกหลายธาตุ นักวิทยาศาสตร์สนใจที่จะศึกษาว่ารังสีที่แผ่ออกมานั้นเป็นรังสีชนิดใดบ้าง

ปีค.ศ. 1899 รัทเธอร์ฟอร์ด (Rutherford) พบว่ามีรังสีที่แผ่ออกมาจากยูเรเนียม 2 ชนิด คือ รังสีแอลฟาและรังสีเบตา โดยที่รังสีเบตานั้นสามารถทะลุทะลวงผ่านวัสดุที่ต่ำกว่ารังสีแอลฟา ต่อมาอีก 1 ปี วิลลาร์ด (Villard) พบว่ารังสีที่แผ่ออกมาจากเรเดียมนี้มีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีเบตาอีก ให้ชื่อว่า รังสีแกมมา (gamma rays)

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาสมบัติของรังสีที่ค้นพบเหล่านั้นว่ามีคุณสมบัติ ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนอย่างไร มีพฤติกรรมเช่นไรเมื่ออยู่ภายใต้ สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

รังสีแอลฟา (alpha rays or alpha particles) เป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ต่ำ กันได้หยุดได้ด้วยกระดาษธรรมดา ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย เบี่ยงเบนจากแนวการเคลื่อนที่เดิมเมื่ออยู่ภายในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก มีประจุบวก รัศมีเซอร์วอร์คพบว่ารังสีแอลฟาคือนิวเคลียสของฮีเลียมนั่นเอง

รังสีเบตา (beta rays or beta particles) เป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้สูงกว่ารังสีแอลฟา กันได้หยุดได้ด้วยแผ่นอะลูมิเนียมที่หนา 2-3 เซนติเมตร ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยกว่ารังสีแอลฟา เบี่ยงเบนจากแนวการเคลื่อนที่เดิมในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับรังสีแอลฟาเมื่ออยู่ภายในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก มีประจุลบ มีมวลเท่ากับมวลของอิเล็กตรอน

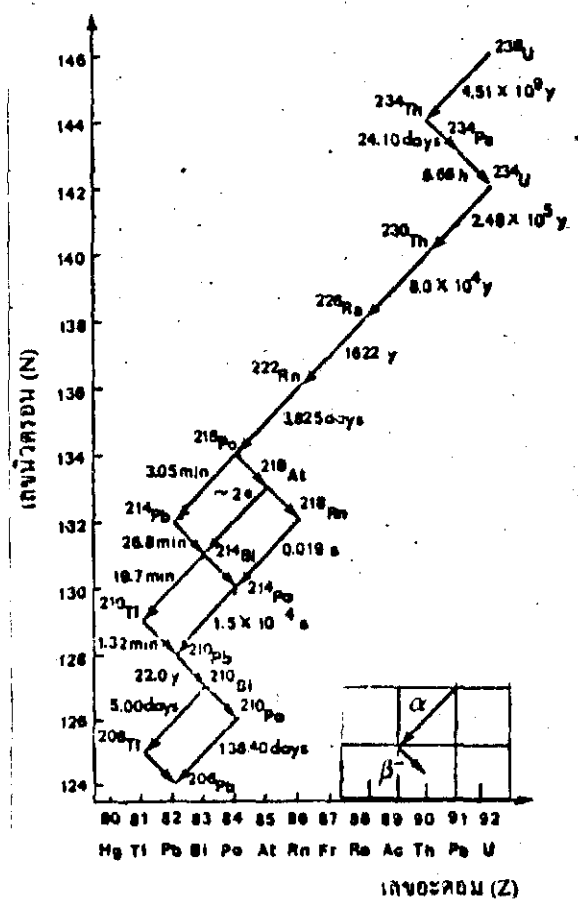
รังสีแกมมา (gamma rays or photon) เป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้สูง สามารถผ่านโลหะที่หนาหลายเซนติเมตรได้ ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยที่สุด ไม่เบี่ยงเบนจากแนวการเคลื่อนที่เดิมเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก แสดงว่าเป็นรังสีที่ไม่มีประจุ

นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้วนั้น นักวิทยาศาสตร์พบว่าสารกัมมันตรังสีที่บริสุทธิ์จะสลายตัวให้รังสีออกมาเพียง 2 ชนิดเท่านั้น อาจเป็นรังสีแอลฟาหรือรังสีแกมมา รังสีเบตากับรังสีแกมมา ส่วนในสารกัมมันตรังสีที่ไม่บริสุทธิ์สามารถสลายตัวให้รังสีออกมา 3 ชนิดรวมกันได้ สารกัมมันตรังสีจะให้กัมมันตภาพรังสีเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของสารกัมมันตรังสี กัมมันตภาพรังสีจะไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางฟิสิกส์ ก็จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาเท่านั้น

สารกัมมันตรังสีทั้งบริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์เมื่อสลายตัวให้รังสีที่มีประจุออกมา จะทำให้นิวเคลียสของมันเป็นกลางไปกลายเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ ถ้าธาตุใหม่ที่ได้เป็นธาตุที่เสถียร ก็จะสลายตัวให้รังสีออกมาอีกเรื่อยๆจนกว่าจะได้ธาตุที่เสถียร ลักษณะของการสลายตัวให้รังสีออกมาต่อเนื่องกันนี้จนกระทั่งได้ธาตุที่เสถียร เรียกว่า อนุกรมกัมมันตรังสี (radioactive series)

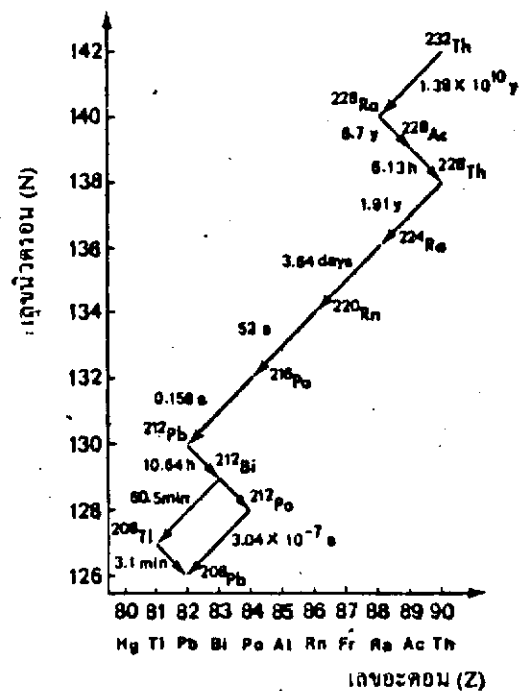
ปี ค.ศ. 1903 รัทเธอร์ฟอร์ดและซอดดี (Rutherford and Soddy) พบว่าสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาตินั้นมีการสลายตัวในลักษณะเป็นอนุกรมกัมมันตรังสีอยู่ ๓ อนุกรมด้วยกัน คือ อนุกรมยูเรเนียม (uranium series) อนุกรมทอเรียม (thorium series) และอนุกรมแอกติเนียม (actinium series) อนุกรมกัมมันตรังสีเหล่านี้จะสลายตัวให้รังสีออกมาอันขึ้นกับเลขมวลของธาตุกัมมันตรังสีที่ต้นและธาตุเกิดใหม่จนกว่าจะได้ธาตุที่เสถียร ดังแสดงตามรูป 1 ก., รูป 2 ก. และรูป 3 ก.

อนุกรมยูเรเนียม มีธาตุยูเรเนียม-238 (^{238}U) เป็นธาตุตั้งต้นและเลขมวลของธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นเท่ากับ $4n+2$ โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม มีการสลายตัวตามรูป ก.1



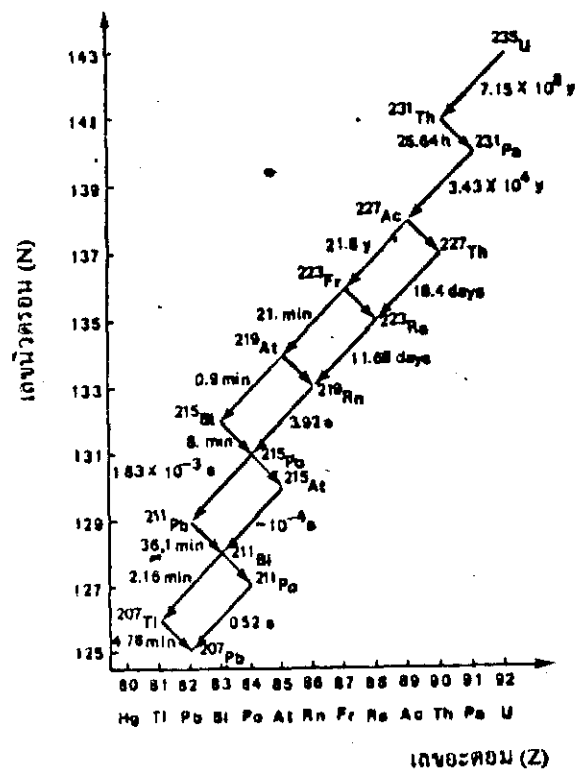
รูป ก.1 แสดงการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม

อนุกรมทอเรียม มีธาตุทอเรียม-232 (^{232}Th) เป็นธาตุตั้งต้นและมีเลขมวลของ
 ธาตุตั้งต้นเท่ากับ 4n โดยที่ n เป็นเลขจำนวนเต็ม มีการสลายตัวตามรูป ก.2



รูป ก.2 แสดงการสลายตัวของอนุกรมทอเรียม

อนุกรมแอคติเนียม มีธาตุเรเนียม- ^{235}U เป็นธาตุตั้งต้นและเลขมวลของธาตุทั้งห้าเท่ากับ 4n+3 โดยที่ n เป็นจำนวนเต็ม มีการสลายตัวตามรูป ก.3



รูป ก.3 แสดงการสลายตัวของอนุกรมแอคติเนียม

จากรูปการสลายตัวของอนุกรมกัมมันตรังสีตามธรรมชาติทั้ง 3 อนุกรม จะเห็นว่ามีการแผ่รังสีให้รังสีแอลฟา รังสีเบตาและหรือรังสีแกมมาออกมา ชาติพันธุ์ของอนุกรมกัมมันตรังสีที่พบมากที่สุดคือ ยูเรเนียม-238 ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติร้อยละ 99.27 ยูเรเนียม-232 พบมาจถึงร้อยละ 100 ในการสลายตัวของอนุกรมกัมมันตรังสียูเรเนียมนั้น ชาติพันธุ์ที่สำคัญให้กับมันตัวรังสีสูงก็คือ เรเดียม-226 (^{226}Ra)

เรเดียม-226 มีครึ่งชีวิต 1602 ปี สลายตัวให้รังสีแอลฟาแล้วได้ เรดอน-222 (^{222}Ra) เป็นก๊าซเรียกว่า ก๊าซเรดอน มีครึ่งชีวิต 3.8 วัน ก๊าซนี้สลายตัวต่อเนื่องไปอีก 5 ขั้นตอน บางขั้นตอนจะสลายตัวให้รังสีเบตาและรังสีแกมมา ซึ่งชาติพันธุ์กัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตตั้งแต่ 1.6×10^{-4} วินาทีถึง 26.8 นาที โพแทสเซียม-210 (^{210}K) มีครึ่งชีวิต 22 ปี เป็นชาติพันธุ์ที่เสถียรจึงสลายตัวต่อเนื่องอีก 3 ขั้นตอน โพแทสเซียม-206 เป็นชาติพันธุ์ที่เสถียร เรเดียมเป็นของแข็งสีขาว ละลายน้ำเป็นส่วนประกอบของหิน ดิน หินทรายและในพืชที่ถูกน้ำที่ละลายธาตุเรเดียมไป

ทอเรียม-232 มีครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี สลายตัวให้ก๊าซตัวหนึ่ง คือ นตรอน-220 เรียกว่าก๊าซทอเรียม (^{220}Ra) มีครึ่งชีวิต 55 วินาที ทอเรียมมีอยู่ในหิน ดิน หินทรายและอื่นๆ

โพแทสเซียม เป็นชาติพันธุ์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่ไม่ใช่พวกอนุกรมกัมมันตรังสี คือเมื่อสลายตัวแล้วได้ชาติพันธุ์ที่เสถียรเลย โพแทสเซียมมีอยู่ 3 ไอโซโทป คือ โพแทสเซียม-39 โพแทสเซียม-40 และโพแทสเซียม-41 โพแทสเซียม-40 เท่านั้นที่เป็นชาติพันธุ์กัมมันตรังสีสลายตัวให้รังสีเบตาและแกมมาออกมา ซึ่งแคมเพลและวูด (Campel and A. Wood) เป็นผู้ค้นพบในปีค.ศ. 1906 โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืช ดังนั้นพืชจึงถูกน้ำที่ละลายโพแทสเซียมเป็นอาหารเข้าไป คนเราจะ

มีโพแทสเซียมอยู่ 140 กรัมสำหรับคนที่น้ำหนัก 70 กิโลกรัม สำหรับโพแทสเซียม-40 มีครึ่งชีวิต 1.26×10^9 ปี พบตามธรรมชาติร้อยละ 0.0118 ของโพแทสเซียม

อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับสสาร (interaction of gamma rays with matter)

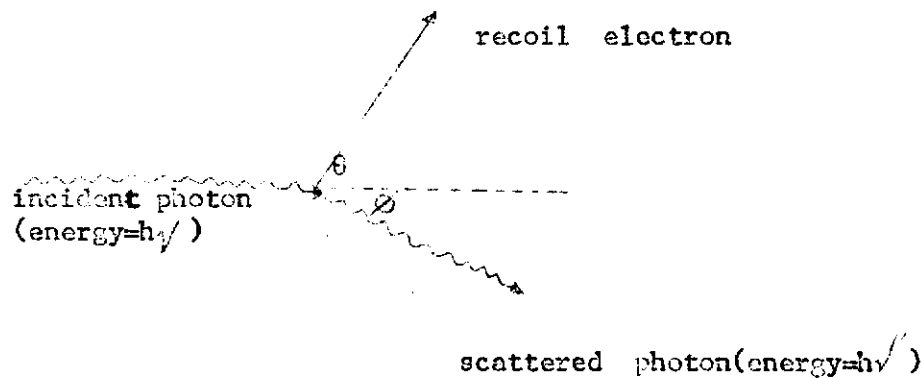
รังสีแกมมา รังสีเอกซ์และเบรมสตราลิ่ง เป็นรังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีแกมมา เป็นรังสีที่มีแหล่งกำเนิดนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์และเบรมสตราลิ่ง เกิดภายในนิวเคลียสของอะตอม ลักษณะพื้นฐานที่เกิดขึ้นเหมือนกัน รังสีเหล่านี้ เมื่อทำอันตรกิริยากับสสาร จะเกิดอันตรกิริยาที่สำคัญ 3 อย่างคือ โฟโตอิเล็กทริก คอมป์ตัน และแบร์โพรกักตัน

โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม แกมมาโฟตอนจะเข้าชนกับอิเล็กตรอน พร้อมกับถ่ายเทพลังงานให้ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photo electron) อันตรกิริยานี้จะทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจร เค (K) หลุดออกมามีพลังงานจลนเท่ากับค่าผลต่างของพลังงานแกมมากับพลังงานยึดเหนี่ยวนั้น

คอมป์ตัน เอฟเฟกต์ (Compton Effects)

เป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานรังสีแกมมาที่มีค่ามากกว่า 0.51 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (อิเล็กตรอนในอะตอมของสารแบบยึดหยุ่น ซึ่งการชนนี้ไม่เด้งกลับและพลังงานจะไม่สูญหายไป) อิเล็กตรอนที่ถูกชนก็จะหลุดออกมาเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และพลังงานยึดเหนี่ยวมีค่าน้อยกว่าพลังงานรังสีแกมมามาก ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาทำมุม θ กับทิศทางการเคลื่อนที่ของแกมมาโฟตอน พลังงานของโฟตอนก็จะลดลงและเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปโดยทำมุมกับทิศทางเดิมและมีความยาวคลื่นมากขึ้น ถึงจุดนี้แสดงการเกิดคอมป์ตันข้างล่างนี้



แพร์โปรดักชัน (Pair Production)

สำหรับรังสีแกมมาที่มีพลังงานมากกว่า 1.02 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ วิ่งเข้าใกล้นิวเคลียส โฟตอนจะหายเข้าไปแล้วใช้พลังงานไปสร้างอิเล็กตรอนและโพสิตรอนขึ้นมาคู่หนึ่ง ในกระบวนการสร้างอิเล็กตรอนและโพสิตรอนมีค่าเท่ากับพลังงาน 1.02 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ พลังงานที่เกินไปก็จะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน มีบางส่วนเท่านั้นที่ถ่ายเทให้แก่นิวเคลียสของอะตอม โอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยา ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา และเลขอะตอม โดยที่โอกาสเกิดแพร์โปรดักชันนั้น มีความระมัดระวังเท่ากับคงที่คูณกับกำลังสองของเลขอะ

อะตอมคู่กับพลังงานส่วนที่เกินกว่า 1.02 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ของรังสีแกมมาที่เข้าชนจึงเป็นการเกิดแบริโอ-ลิกชันในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียสเท่านั้น เมื่อพลังงานของรังสีแกมมามากขึ้นอาจเกิดอันตรกิริยาที่สนามไฟฟ้าของอิเล็กตรอนในวงจรด้วย

จากอันตรกิริยาแบริโอ-ลิกชัน แกมมาโฟตอนจะถูกดูดกลืนหายไปพร้อมกับมีอิเล็กตรอนและโพสิตรอนเกิดขึ้น บางครั้งอิเล็กตรอนและโพสิตรอนจะรวมตัวกันเองหรือโพสิตรอนรวมตัวกับอิเล็กตรอนอื่นแล้วให้โฟตอนออกมา 2 ตัว ที่มีพลังงานแต่ละ 0.51 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ เรียกว่า แอนนิฮิเลชัน (annihilation)

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้าง
ในเขตกรุงเทพมหานคร

ชนิดวัสดุ ตัวอย่างที่		ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
ทราย	1	217.444	7.855	10.872
	2	204.343	8.946	27.995
	3	362.343	8.917	28.515
	4	224.045	8.919	11.322
	5	264.601	10.508	24.795
	6	252.115	7.600	12.972
	7	233.049	5.862	7.814
	8	243.614	6.810	10.383
	9	196.263	10.109	11.498
	10	199.899	4.514	10.783
	11	205.338	8.000	19.728
	12	166.549	6.104	17.846
	13	256.390	7.813	21.235
	14	182.017	13.289	26.961
	15	209.975	11.811	16.618
	16	237.554	12.234	16.895

ชนิดวัสดุ ตัวอย่างที่		ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
ทราย	17	185.299	10.486	21.252
	18	281.400	6.200	31.859
	19	355.012	6.297	13.834
	20	237.306	7.324	22.349
	21	268.843	7.081	18.465
	22	226.662	8.668	21.129
	23	151.845	13.421	20.866
	ค่าเฉลี่ย	221.08	8.64	18.52
	ปูนซีเมนต์	1. 19.722	9.061	5.267
		2 32.118	9.938	4.633
		3 29.987	13.284	3.361
		4 54.902	16.647	14.246
		5 17.318	11.899	7.462
		6 45.317	8.266	8.825
		7 62.885	16.454	12.776
		8 32.291	8.386	6.693
		9. 28.543	2.502	8.125
		10 31.598	3.555	8.149
		11 24.738	8.534	7.889
		12 32.320	3.402	8.099

ชนิดวัสดุ	ตัวอย่างที่	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232

ปูนซีเมนต์	ค่าเฉลี่ย	34.31	9.38	7.96
อิฐ	1	195.278	13.778	48.528
	2	77.883	16.629	31.821
	3	202.609	13.414	46.085
	4	173.400	40.055	51.445
	5	76.213	13.207	23.148
	6	209.439	12.041	57.847
	ค่าเฉลี่ย	155.80	18.19	43.15
หินปูน	1	1.867	10.433	0.911
	2	2.783	8.437	1.010
	3	6.942	6.554	4.600
	4	2.718	4.568	2.300
	5	1.761	7.486	3.730
	ค่าเฉลี่ย	3.11	7.50	2.51
ไม้	1	6.606	4.312	2.178
	2	8.008	3.306	5.863
	3	8.691	4.180	4.500
	4	2.594	4.406	3.628
	5	4.064	4.060	3.736
	6	2.574	4.060	3.656

ชนิดวัสดุ ตัวอย่างที่		ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
ปูนขาว	1	3.606	10.720	29.123
	2	2.600	8.100	13.700
	3	4.100	12.040	27.490
	ค่าเฉลี่ย	3.50	10.29	16.80
หินอ่อน	1	22.050	8.061	1.214
	2	0.913	0.573	1.798
	3	1.900	1.900	2.600
	ค่าเฉลี่ย	8.29	3.51	1.87
ซีเมนต์ขาว	1	5.237	6.271	7.840
	2	5.200	8.010	8.960
	3	5.200	8.073	8.899
	ค่าเฉลี่ย	5.20	7.50	8.60
ดิน	1	106.155	20.343	46.332
	2	127.922	29.759	43.272
	3	20.655	4.565	10.603
	ค่าเฉลี่ย	64.91	16.22	33.40

ชนิดวัสดุ	ตัวอย่างที่	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ(Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
เซรามิก	1	217.255	137.966	116.164
	2	157.590	46.796	91.440
	3	179.096	64.160	106.559
	4	197.280	63.717	131.769
	5	352.061	97.170	52.091
	6	183.487	97.243	122.374
	7	328.342	87.685	132.163
	ค่าเฉลี่ย	230.70	67.90	107.60
หินกาว	1	217.192	19.357	34.636
	2	216.565	19.074	37.946
	3	223.557	23.475	44.704
	4	243.751	25.929	39.764
	5	222.562	21.707	51.716
	ค่าเฉลี่ย	224.70	21.90	41.60

ภาคผนวก ก. ตารางค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะในวัสดุก่อสร้างในจังหวัด
ชัยภูมิ

ชนิดวัสดุ	ตัวอย่างที่	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ (Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเลียม-232
ทราย	1	116.40	5.90	13.70
	2	125.60	10.00	12.60
	3	130.80	8.40	10.50
	4	128.00	6.80	12.00
	5	133.20	8.80	13.00
	ค่าเฉลี่ย	127.20	8.30	12.40
ปูนซีเมนต์	1	10.40	7.00	5.90
	2	12.50	5.20	7.50
	3	16.70	9.60	8.90
	4	11.30	5.30	6.90
	5	23.70	5.10	7.80
	ค่าเฉลี่ย	14.90	6.40	7.40
อิฐ	1	45.50	6.90	23.70
	2	115.40	12.20	40.70
	3	99.50	33.00	54.00
	ค่าเฉลี่ย	86.80	18.00	39.50

ชนิดวัสดุ ตัวอย่างที่		ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะ(Bq/kg)		
		โพแทสเซียม-40	เรเดียม-226	ทอเรียม-232
หินปูน	1	2.60	11.80	2.60
	2	2.60	20.40	3.00
	3	5.70	16.10	5.80
	4	5.30	14.20	5.90
	5	5.70	16.90	5.90
	ค่าเฉลี่ย	4.40	15.90	4.60
ไม้	1	7.50	4.80	14.40
	2	2.50	4.00	3.70
	ค่าเฉลี่ย	5.00	4.50	9.10