

การตรวจวัดเบรลล์เล่ม-7 ในพีชน้ำโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี



นายนพพร ยิ้มแจ่ม

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

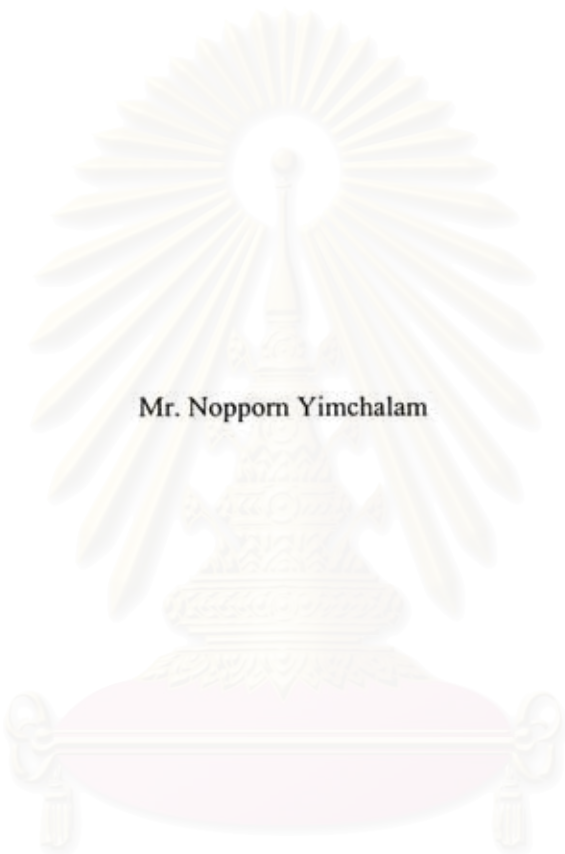
๑ สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT OF BERYLLIUM-7 IN AQUATIC PLANTS USING GAMMA-RAY
SPECTROMETRY



Mr. Nopporn Yimchalam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

510190

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

โดย

นายนพพร ยิ้มแจ่ม

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม


ดร.อุคร ยังช่วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.อุคร ยังช่วย)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.บุษณา คุ้มน้อย)

นพพร ชุ่มแจ่ม : การตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี.
(MEASUREMENT OF BERYLLIUM-7 IN AQUATIC PLANTS USING GAMMA-
RAY SPECTROMETRY.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.อุตร ช่างช่วย, 64 หน้า.

เบริลเลียม-7 (Beryllium-7) เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกใน
บรรยากาศเบื้องบน และเข้ามาสู่บรรยากาศด้านล่างโดยกระบวนการหมุนเวียนของบรรยากาศ
ประมาณร้อยละ 90 ของเบริลเลียม-7 สลายตัวโดยการจับอิเล็กตรอนเกิดเป็นลิเทียม-7 ที่สภาวะพื้น
โดยตรง และอีกประมาณร้อยละ 10 ได้ลิเทียม-7 ที่สภาวะโลด แล้วตามด้วยการปลดปล่อยรังสี
แกมมาพลังงาน 477.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยค่าครึ่งชีวิต 53.3 วัน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้
คือการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมทั้งน้ำและในพืชน้ำ
บางชนิด จากการวิจัยเบื้องต้นโดยการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 477.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ด้วย
หัววัดรังสีเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์สูงพบว่า สามารถตรวจพบเบริลเลียม-7 ในผักตบชวา จึงได้ทำการ
เก็บตัวอย่างผักตบชวาในช่วงเวลาต่าง ๆ กันของปี พ.ศ. 2550-2551 จากบริเวณหนึ่งในมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ซึ่งได้พบว่าปริมาณเบริลเลียม-7 มีค่าสูงในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง
เดือนตุลาคม 2550 และ เดือน มิถุนายน 2551 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ
เบริลเลียม-7 อยู่ระหว่างประมาณ 3 - 5 เบคเคอเรลต่อกิโลกรัม ส่วนในช่วงฤดูแล้ง คือ ฤดูหนาว
และฤดูร้อนของปี มีค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด ค่าความแรงรังสี
จำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในผักตบชวาขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกตามที่ได้คาดไว้ ส่วนค่าความ
แรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในແນและจอกนั้น ส่วนใหญ่มีค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำ
กว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด และค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในແນและจอก
จะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตก

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....
ปีการศึกษา 2551.....

ลายมือชื่อนิสิต..... HNNR
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

#4970374121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : BERYLLIUM-7 / COSMOGENIC RADIONUCLIDE / WATER HYACINTH /
GAMMA-RAY SPECTROMETRY

NOPPORN YIMCHALAM : MEASUREMENT OF BERYLLIUM-7 IN AQUATIC
PLANTS USING GAMMA-RAY SPECTROMETRY. ADVISOR : ASSOC.PROF.
NARES CHANKOW, CO-ADVISOR : UDORN YANGCHAUY, D.Sc., 64 PP.

Beryllium-7 (Be-7) is a cosmogenic radionuclide produced in the upper atmosphere and enters the lower atmosphere by atmospheric circulation processes. About 90 % of Be-7 decays directly through electron capture to Li-7 at ground state and about 10% to Li-7 at 1st excited state followed by 477.6 keV gamma-ray emission with a half-life of 53.3 days. The aim of this research was to measure Be-7 activity in environmental samples including water and aquatic plants. From the preliminary investigation by measurement of the 477.6 keV gamma-ray peak using a HPGe detector, Be-7 could be found in fresh Water Hyacinth samples. Thus, Water Hyacinth samples were then collected at different times of the year 2007 - 2008 in an area of Bang Khaen campus of Kasetsart University for determination of Be-7 activity. It was found that Be-7 specific activity was about 3 - 5 Bq/kg in the samples collected in rainy season during August-October 2007 and in June 2008 and less than the Lower Limit of Detection (LLD) in dry seasons i.e. summer and winter. The specific activity of Be-7 in Water Hyacinth sample depended on rainfalls as expected. The specific activity of Be-7 in almost of Water lettuce and Water fern samples were less than the LLD and not depended on rainfalls.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Nuclear Technology.....	Student's Signature <i>Nopporn</i>
Field of Study : Nuclear Technology.....	Advisor's Signature <i>Nares Chankow</i>
Academic Year : 2008.....	Co-Advisor's Signature <i>U. Yangchay</i>

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งได้รับการแก้ไขข้อบกพร่องจาก รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.อุคร ยังช่วย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณพร ภัทรสุมันต์ และดร.อุทธนา คุ่มน้อย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ไว้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ปรากฏนามในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มีโครงการร่วมผลิตบุคลากรทางด้านนิวเคลียร์ และได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกทุกเรื่อง

ขอขอบพระคุณ กลุ่มวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์หัวข้อครึ่งปีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ งานวัดกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสินค้าส่งออก ฝ่ายตรวจวัดวิเคราะห์โดยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องชั่งตัวอย่าง และวัสดุอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวัสดุอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิคมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ขอขอบพระคุณอาจารย์จเด็จ เย็นใจ คุณวุฒิเดช ทรฤทธิ์ คุณรัชชัย พุ่งกลิ่น ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้วัสดุอุปกรณ์ คุณเจริญ ทะนันไรสงค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง คุณณรงค์นุช แจ้งสว่าง ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุดนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารเสร็จสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากกำลังใจที่สำคัญจาก คุณพ่อ คุณแม่ และญาติทุกคนที่คอยห่วงใย ให้การสนับสนุน และเพื่อน ๆ ที่น่ารักทุกคน จึงขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2. ทฤษฎี.....	4
2.1 แหล่งกำเนิดของกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ.....	4
2.1.1 รังสีคอสมิก (Cosmic radiation).....	4
2.1.2 กัมมันตรังสีที่ปะปนอยู่บนพื้นผิวโลก (Terrestrial radionuclide).....	4
2.2 เบริลเลียม-7.....	5
2.2.1 กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี.....	6
2.2.2 ภาวะสมดุลกัมมันตรังสี.....	6
2.3 รังสีแกมมา.....	8
2.4 การวัดพลังงานรังสีแกมมา.....	9
2.4.1 หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ.....	9
2.4.2 หลักการวัดรังสีของผลึกของธาตุพวก โลหะกึ่งตัวนำ.....	11
2.4.3 ข้อดีของหัววัดแบบโลหะกึ่งตัวนำ.....	12
2.4.4 หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (Hyperpure Germanium Detector, HPGe).....	12
2.4.5 การวัดรังสีแกมมา.....	13

2.4.6	การคาดคะเนฟังก์ชันการตอบสนอง (Predicted Response Function)	17
2.4.7	ระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา	22
2.5	การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม	23
2.5.1	การวัดปริมาณเบริลเลียมในสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ	23
2.6	การปรับแก้ค่าการดูดกลืนรังสีในตัวอย่าง	24
2.7	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพีชน้ำ	25
2.7.1	ผักตบชวา	25
2.7.2	จอก	27
2.7.3	แหน	28
3.	วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย	30
3.1	การเก็บและเตรียมตัวอย่างพีชน้ำ	30
3.1.1	วัสดุอุปกรณ์	30
3.1.2	วิธีการดำเนินการวิจัย	30
3.2	การตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในพีชน้ำบางชนิด โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี	32
3.2.1	วัสดุอุปกรณ์	32
3.1.2	วิธีการดำเนินการวิจัย	35
3.3	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำ	35
3.3.1	การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี	35
3.3.2	การหาค่า Correction Factor	36
4.	ผลการวิจัย	38
4.1	ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำ	38
4.1.1	ผลการเปรียบเทียบพลังงานและผลการศึกษาหาค่า ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี	38
4.1.2	ผลการศึกษาการแก้ค่าดูดกลืนรังสีในตัวอย่าง	41
4.2	ผลความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำบางชนิด	42
4.3	ผลการคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในพีชน้ำบางชนิดโดยการคำนวณทางสถิติ	48
4.3.1	ค่าความแรงรังสีจำเพาะในผักตบชวา	48
4.3.2	ค่าความแรงรังสีจำเพาะในแหน	48
4.3.3	ความแรงรังสีจำเพาะในจอก	49

	ฉ หน้า
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบรลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำ.....	56
ภาคผนวก ข รายงานปริมาณน้ำฝน.....	58
ภาคผนวก ค ใบ Certificate.....	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	64



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับช่องสัญญาณ.....	38
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี.....	40
4.3 การเปรียบเทียบการแก้ค่าการดูดกลืนรังสีในตัวอย่างพืชน้ำกับสารมาตรฐาน.....	42
4.4 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักตบชวา ช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี.....	43
4.5 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในแห่น ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของปี.....	45
4.6 ค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในจอก ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของปี.....	46
4.7 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเบริลเลียม-7 เข้าไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช.....	47
4.8 ความสามารถในการดูดซับเบริลเลียม-7 ไปสะสมใบของผักตบชวา หลังจากที่ฝนตก.....	47



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	แผนผังการสลายตัวของเบริลเลียม-7..... 5
2.2	กราฟสมมูลกัมมันตรังสีแบบทรานเซียนต์..... 7
2.3	กราฟสมมูลกัมมันตรังสีแบบเชคูลาร์..... 8
2.4	แผนภาพแถบพลังงานปกติของธาตุซิลิกอนเขียนตามแกนของพลังงานของอิเล็กตรอน 10
2.5	แผนภาพ n-type และ p-type ของพวกโลหะกึ่งตัวนำ..... 10
2.6	แผนภาพ n-p type ของโลหะกึ่งตัวนำ 11
2.7	(ก) Dewar หรือ ถังเก็บไนโตรเจนเหลว (ข) Cold finger..... 13
2.8	ความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาหลักที่เกิดจากรังสีแกมมา 14
2.9	ปรากฏการณ์การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก 15
2.10	ปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน..... 16
2.11	สเปกตรัมที่ได้จากการกระจายพลังงานของคอมป์ตันอิเล็กตรอน 16
2.12	ปรากฏการณ์แฟร์โพรดักชัน (ก) แผนภาพของอันตรกิริยา และ (ข) พิกที่ได้จากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจากอันตรกิริยาแฟร์โพรดักชัน..... 17
2.13	การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบในหัววัดขนาดเล็ก..... 18
2.14	พิกที่วัดได้จากหัววัดขนาดเล็ก (ก) เมื่อรังสีแกมมาพลังงานต่ำตกกระทบหัววัด และ (ข) เมื่อรังสีแกมมาพลังงานสูงตกกระทบหัววัด..... 19
2.15	อันตรกิริยาในหัววัดขนาดใหญ่..... 20
2.16	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดขนาดกลาง..... 21
2.17	พิกที่ได้จากหัววัดขนาดกลาง 21
2.18	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่เกิดกับวัสดุล้อมรอบหัววัด..... 22
2.19	อิทธิพลของรังสีล้อมรอบหัววัดรังสีที่มีผลทำให้เกิดพิกต่างๆ ในสเปกตรัม 22
2.20	แผนผังระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา..... 23
2.21	ผักตบชวา 26
2.22	ดอกผักตบชวา..... 27
2.23	จอก 28
2.24	แหน..... 28

	ญ หน้า
ภาพประกอบ	
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างผักคตบขวาที่บริเวณคลองน้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน.....	30
3.2 ตัวอย่างผักคตบขวาที่หั่นและปั่นละเอียด	31
3.3 ภาพขณะใส่ตัวอย่างมาริเนลีสปีกเกอร์.....	32
3.4 หัววัดเจอร์มานีเยมความบริสุทธิ์สูงที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมา.....	33
3.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi Chanel Analyzer ; MCA).....	34
3.6 เครื่องชั่งสาร ชี่ห้อ Sartorius Model LC1201S	34
3.7 สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลีสปีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร ของบริษัท Eckert & Ziegler Isotope Products	35
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับช่องสัญญาณ	39
4.2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐาน Multinuclides	39
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานีเยม.....	40
4.4 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักคตบขวา ช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี.....	44
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7.....	44
4.6 กราฟค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในแห่น ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี	45
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในแห่น	46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เบริลเลียม-7 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (natural radioactive isotope) และปะปนอยู่ที่พื้นผิวโลก ซึ่งเกิดจากรังสีคอสมิกที่มีพลังงานสูงผ่านเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ทำปฏิกิริยาแบบ Spallation กับธาตุเบาในอากาศ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ตอนล่าง และชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนบน ผลของปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดนิวไคลด์ต่าง ๆ ขึ้น และนิวไคลด์บางชนิดก็เป็นสารกัมมันตรังสี เช่น ทริเทียม (H-3), เบริลเลียม-7 (Be-7), คาร์บอน-14 (C-14) เป็นต้น เมื่อนิวไคลด์ที่เป็นสารกัมมันตรังสีซึ่งอยู่ในชั้นบรรยากาศรวมตัวกับฝุ่นละอองเล็ก ๆ (aerosol) แล้วฝุ่นละอองเหล่านั้นเกิดการรวมตัวกับไอน้ำในอากาศ เรียกว่า “น้ำฟ้า (precipitation)” เช่น น้ำฝน หิมะ ลูกเห็บ เมื่อน้ำฝน หิมะ ลูกเห็บตกลงมาสู่พื้นผิวโลก จึงมีไอโซโทปกัมมันตรังสีปะปนตามมาด้วย

สารกัมมันตรังสีที่พบในสิ่งแวดล้อมสามารถเคลื่อนไปสู่พืชได้ 2 วิธี คือ สารกัมมันตรังสีถูกดูดซึมจากดินผ่านรากของพืช และสารกัมมันตรังสีถูกดูดซับโดยตรงผ่านส่วนต่าง ๆ ของพืชที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้น เราจึงสามารถตรวจวัดสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำฝน หิมะ ลูกเห็บ จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบสน ใบหญ้า มอสบางชนิด ถ้าวัดความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 โดยตรงจากน้ำฝน จะไม่สามารถวัดได้เนื่องจากมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องใช้พืช เช่น ใบสน ใบหญ้า เป็นตัวดูดซับเบริลเลียม-7 ด้วยกระบวนการเผาผลาญอาหารของพืช (Metabolism) ทำให้เราสามารถวัดค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝนได้

เบริลเลียม-7 เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวแบบ Electron capture ปล่อยรังสีแกมมา 10.3% ที่พลังงาน 477.6 keV กลายเป็นลิเทียม-7 ซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น เนื่องจากเบริลเลียม-7 มีค่าครึ่งชีวิตสั้น คือ 53.3 วัน ดังนั้นข้อมูลจากการวิจัยอาจเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อหาอายุของน้ำฝนตั้งแต่ฝนตก และหาทิศทางการไหลของน้ำฝนตามบริเวณพื้นดิน เพื่อใช้ประเมินความช่วยเหลือในเรื่องการเก็บกักน้ำฝน

ดังนั้น เราจะทำการตรวจวัดหาปริมาณเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำ เพื่อใช้เบริลเลียม-7 เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนย้ายของอนุภาคเล็ก ๆ จากชั้นบรรยากาศลงสู่ผิวดิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำบางชนิด โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำบางชนิดได้แก่ จอก แหน ผักตบชวา เป็นต้น ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี
2. วิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในข้อ 1. โดยใช้วิธีการทางสถิติ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาเทคนิคการวัดเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำ
3. วัดรังสีแกมมาจากตัวอย่างในตัวอย่างที่เราได้ทำการศึกษา โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี
4. ทดลองหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในพืชน้ำ
5. สรุปผลการทำวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลทางสถิติของปริมาณเบริลเลียม-7 จากพืชน้ำ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การหาอายุของน้ำฝน การศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำฝนบนผิวดิน เป็นต้น

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. S. Sugihara, N. Momoshima, Y. Maeda and S. Osaki [1] ทำการวิจัยเรื่องความแปรผันการสะสมของเบริลเลียม-7 และ Pb-210 ที่เมือง Fukuoka ประเทศญี่ปุ่น การเก็บตัวอย่างที่ Fukuoka ประเทศญี่ปุ่น การเก็บตัวอย่างจะเก็บทั้งน้ำฝนและการดูดอากาศ ซึ่งจะเก็บทุกเดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 1994 ถึง เดือนตุลาคม 1999 ตัวอย่างที่เก็บได้จะต้องทำให้แห้ง activity ของเบริลเลียม-7 และ Pb-210 ในแต่ละตัวอย่างจะใช้วิธีการวัดโดยระบบ gamma spectrometry ตัวอย่างฝุ่นละออง

เก็บโดยใช้เครื่องดูดอากาศ 1000 ลิตร/นาที การสะสมปริมาณเบริลเลียม-7 และ Pb-210 จะสูงในช่วงฤดูใบไม้ผลิ (มีนาคม-พฤษภาคม) และฤดูหนาว (1996 และ 1997) ขณะที่การตกลงมาของฝน หิมะ ลูกเห็บในแต่ละเดือนจะสูงในช่วงหน้าร้อน

2. O. Epik and G. Yaprak [2] ทำการวิจัยเรื่องความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีจาก Cs-137, K-40 และเบริลเลียม-7 ในใบของต้นสนใบเข็ม ในป่าสนรอบเมือง Izmir ประเทศตุรกี งานวิจัยนี้ทำการหาปริมาณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์ทำขึ้นมาแล้วเกิดการฟุ้งกระจายอยู่บนท้องฟ้า คือ Cs-137 และสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติ ได้แก่ K-40 และเบริลเลียม-7 ในใบสนเข็มแบบสดและแบบแห้ง จากป่าสนบริเวณเมือง Izmir โดยใช้ห้ววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 25% พบว่าความเข้มข้นของ Cs-137, K-40 และเบริลเลียม-7 เท่ากับ 0.01, 0.1 และ 4.36 Bq.kg⁻¹ ตามลำดับ

3. N. Karunakara, H.M. Somashekarapa, Y. Narayana, D.N. Avadhani, H.M. Mahesh and K. Siddappa [3] ทำการวิจัยเรื่องความเข้มข้นของ Ra-226, K-40 และเบริลเลียม-7 ในพืชบริเวณ Kaiga ประเทศอินเดีย งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Ra-226, K-40 และเบริลเลียม-7 ในใบ ลำต้น และเปลือกไม้ของพืชหลายชนิด ที่อยู่ในป่าเขตร้อนของ Kaiga แถบชายฝั่งตะวันตกของประเทศอินเดีย ซึ่งในบริเวณนี้มีเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ขนาด 220 เมกกะวัตต์ จำนวน 2 ชุด พบว่าในส่วนลำต้นและเปลือกไม้ของพืชจะมีความเข้มข้นของ Ra-226 และ K-40 มีค่าอยู่ในช่วงระดับในการวัดค่าถึง 13.2 และ 12.0-797.3 Bq.kg⁻¹ ตามลำดับ และความเข้มข้นของเบริลเลียม-7 มีค่าในช่วง 72.5-106.1 Bq.kg⁻¹ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเป็นจำนวนมากในส่วนใบของพืช

4. วรภัทร รัตนิสสัย [4] ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาเทคนิคในการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝน โดยการวิจัยนี้ได้ทำการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝนที่เก็บมาจากอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี จำนวน 16 ตัวอย่าง ในระหว่างเดือนพฤษภาคม 2548 ถึงเดือนมีนาคม 2549 โดยใช้วิธีวัดจากใบสนทะเลที่แช่ในน้ำฝน วัดตัวอย่างทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง โดยใช้ห้ววัด NaI(Tl) ขนาด 2" × 2" ที่มีประสิทธิภาพในการวัดเท่ากับ 1.09% ผลการทดลองปรากฏว่าในปลายเดือนพฤษภาคม 2548 ถึงต้นเดือนตุลาคม 2548 อยู่ระหว่างประมาณ 3 – 14 Bq/L ช่วงปลายเดือนตุลาคม มีความแรงรังสีอยู่ระหว่าง 17 – 25 Bq/L ช่วงต้นเดือนพฤศจิกายน มีความแรงรังสีอยู่ระหว่าง 49 – 65 Bq/L ช่วงเดือนมีนาคม มีความแรงรังสีประมาณ 28 Bq/L ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แหล่งกำเนิดของกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ [5], [6]

แหล่งกำเนิดของกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ

2.1.1 รังสีคอสมิก (Cosmic radiation) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. รังสีคอสมิกปฐมภูมิ (Primary cosmic radiation) คือรังสีคอสมิกที่อยู่เหนือชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก โดยส่วนหนึ่งมีแหล่งกำเนิดจากนอกระบบสุริยะจักรวาล และอีกส่วนหนึ่งเกิดบนผิวของดวงอาทิตย์ รังสีคอสมิกประกอบด้วย โปรตอน 87% อนุภาคแอลฟา 11% นิวเคลียสหนัก 1% อิเล็กตรอน 1% เมื่อรังสีคอสมิกปฐมภูมิวิ่งเข้ามาถึงชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่ จะเกิดอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศในระยะ 200-300 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรแรกเกิดเป็นรังสีคอสมิกทุติยภูมิ

2. รังสีคอสมิกทุติยภูมิ (Secondary cosmic radiation) คือรังสีคอสมิกที่เกิดจากรังสีคอสมิกปฐมภูมิเกิดอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคนิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอน ปริมาณจากรังสีคอสมิกจะแปรผันตามระดับความสูง (altitude)

2.1.2 กัมมันตรังสีที่ปะปนอยู่บนพื้นผิวโลก (Terrestrial radionuclide)

ธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติบนพื้นผิวโลก มีอยู่ประมาณ 340 ธาตุ ในจำนวนนั้น 70 ธาตุ เป็นธาตุกัมมันตรังสี แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะการเกิด คือ

1. นิวไคลด์กัมมันตรังสีดั้งเดิม (Primordial radionuclide) คือกัมมันตรังสีที่มีมาพร้อมการเกิดโลก ได้แก่ Uranium-238, Uranium-235, Thorium-232 และ Potassium-40

2. นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิก (Cosmic radionuclides) ซึ่งเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับบรรยากาศ ได้แก่ Tritium-3, Beryllium-7, Carbon-14 และ Argon-37

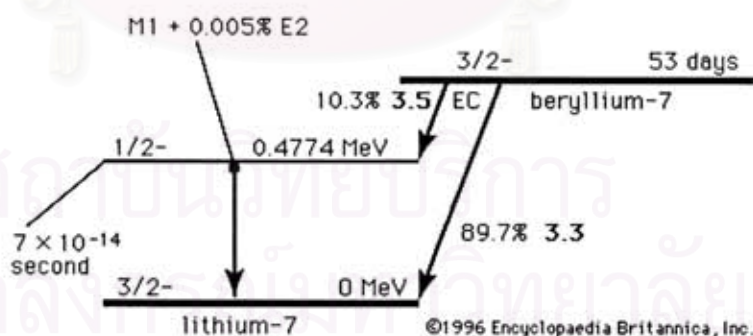
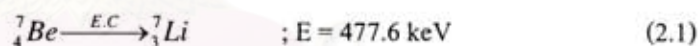
2.2 เบริลเลียม-7 [7], [8], [9]

เบริลเลียม เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 4 และอยู่ในหมู่ที่ 2 ของตารางธาตุ ซึ่งมีลักษณะแข็ง เปราะ มีสีเทา และเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา แต่อาจมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1278° ด้วยน้ำหนักอะตอมเพียง 9.0122 จึงถือว่าเบริลเลียมเป็นธาตุๆหนึ่งที่มีน้ำหนักเบาที่สุด

ในพืชมีปริมาณเบริลเลียมต่ำมาก พืชจะดูดซึมได้ก็ต่อเมื่อเบริลเลียมอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ ในกรณีที่เป็นพืชจำพวกถั่ว ข้าวบาร์เลย์ ทานตะวันและมะเขือเทศ พบว่ามากกว่า 95% ของเบริลเลียม- 7 จะอยู่ในส่วนราก และมีอีกเล็กน้อยที่จะเคลื่อนย้ายไปยังส่วนใบพืชและผล

เบริลเลียม-7 เป็นสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและปะปนอยู่ที่พื้นผิวโลก ซึ่งเกิดจากรังสีคอสมิกที่มีพลังงานสูงผ่านเข้ามาสู่บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ทำปฏิกิริยาแบบ Spallation กับไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอน ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ตอนล่าง และชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนบน ผลของปฏิกิริยานี้ทำให้แตกออกมาเป็นส่วน ๆ นิวไคลด์บางส่วนเป็นสารกัมมันตรังสี นั่นก็คือ เบริลเลียม-7

เบริลเลียม-7 เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวแบบ Electron capture ปล่องรังสีแกมมา 10.3% ที่พลังงาน 477.6 keV กลายเป็นลิเทียม-7 สมการสลายตัวของเบริลเลียม-7 เป็นดังสมการที่ 2.1



ที่มา : <http://www.britannica.com>

รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของเบริลเลียม-7

2.2.1 กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีไม่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอก นิวเคลียส หากแต่ว่าการสลายตัวนี้เป็นไปตามหลักทางสถิติในส่วนของโอกาส อัตราการสลายตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของอะตอมที่มีอยู่ กล่าวได้ว่า

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N \quad (2.2)$$

เมื่อ $\frac{dN}{dt}$ = อัตราการสลายตัว (disintegration rate)
 λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)
 N = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ เวลา t ใดๆ
 ถ้า N_0 = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ที่เวลา $t = 0$

เมื่อแก้สมการที่ 2.1 แล้วจะได้

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (2.3)$$

เมื่อสารกัมมันตรังสีลดปริมาณลงครึ่งหนึ่งจากที่มีอยู่เดิม จะเรียกช่วงเวลานี้ว่า ครึ่งชีวิต (half life) ของสารนั้น

จากสมการที่ (2.2) $N_0 / 2 = N_0 \exp(-\lambda t_{1/2})$
 $t_{1/2} = 0.693 / \lambda$
 $t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิต (2.4)

2.2.2 ภาวะสมดุลกัมมันตรังสี

สารกัมมันตรังสีซึ่งสลายตัวอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งอาจเกิดภาวะสมดุลขึ้นได้ แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

2.2.2.1 ภาวะสมดุลทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)

เกิดขึ้นเมื่อครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่ (A) มากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูก (B) นั่นคือค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวไคลด์ลูก มากกว่าค่าคงที่การสลายตัวของนิวไคลด์แม่ ดังนั้น

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{\lambda_B - \lambda_A}{\lambda_A}$$

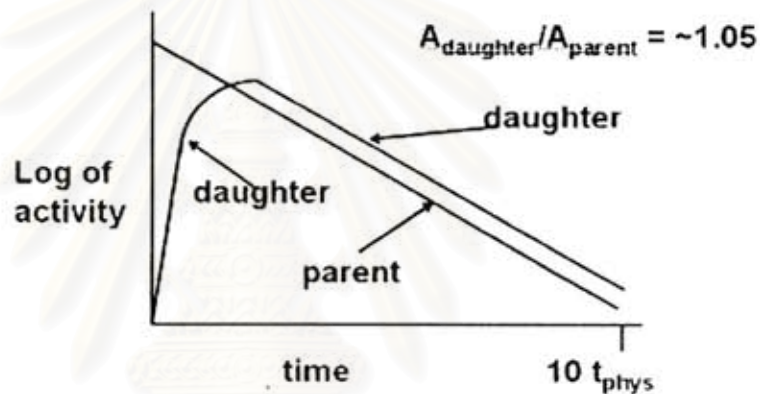
$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B - \lambda_A N_B$$

$$A_A = A_B - \lambda_A N_B$$

เนื่องจาก $\lambda_B = \lambda_A$ ดังนั้นเมื่อเกิดภาวะสมดุล อัตราส่วนระหว่างกัมมันตภาพของสาร A กับสาร B จะน้อยกว่า 1 เสมอ ในภาวะนี้สาร B จะสลายตัวเหมือนว่ามีครึ่งชีวิตเท่ากับครึ่งชีวิตของสาร A สาร B เกิดจากสาร A ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.3

จากจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป อัตราส่วนกัมมันตภาพของสาร A และ B จะมีค่าคงที่เรียกช่วงเวลานี้ว่า สารทั้งสองเกิดภาวะสมดุลทรานเซียนต์

Transient Equilibrium



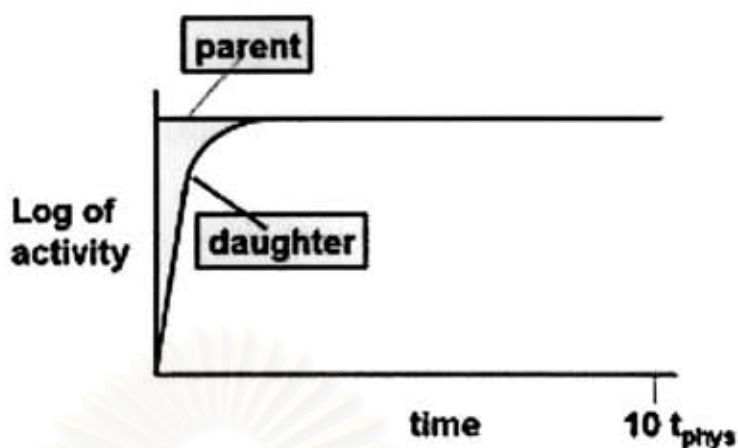
รูปที่ 2.2 กราฟสมดุลกัมมันตรังสีแบบทรานเซียนต์

2.2.2.2 ภาวะสมดุลเซกูลาร์ (Secular equilibrium)

ภาวะสมดุลเซกูลาร์เกิดเมื่อครึ่งชีวิตของสารนิวไคลด์แม่ (A) มากกว่าครึ่งชีวิตของสารนิวไคลด์ลูก (B) มากๆ ดังนั้น ค่าคงที่ของการสลายตัวของสารนิวไคลด์แม่ (A) น้อยกว่าค่าคงที่ของการสลายตัวของสาร B ดังนั้น

$$\begin{aligned} \lambda_A N_A &= \lambda_B N_B \\ A_A &= A_B \end{aligned}$$

เมื่อเกิดภาวะสมดุลเซกูลาร์ กัมมันตภาพของสาร A จะเท่ากับกัมมันตภาพของสาร B ในช่วงเวลานี้เหมือนกับว่าสาร B สลายตัวโดยมีครึ่งชีวิตเหมือนสาร A ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟสมดุลกัมมันตรังสีแบบเซคูลาร์

2.3 รังสีแกมมา

เป็นรังสีชนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ไม่มีมวล ไม่มีประจุ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสงรังสีแกมมาเกิดขึ้นจากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับความถี่ของคลื่นและความยาวคลื่นเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$E = h\nu \quad (2.5)$$

$$E = hc / \lambda \quad (2.6)$$

เมื่อ E คือพลังงานของรังสีแกมมา (eV)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant = 4.136×10^{-15} eV.s)

ν คือ ความถี่ของคลื่น (sec^{-1})

C คือ ความเร็วแสง (2.9979×10^{10} cm/s)

λ คือ ความยาวคลื่น (cm)

เมื่อนิวเคลียสอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) ภายหลังจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ หรือการสลายตัวให้รังสีแอลฟา บีตาและกระบวนการอื่นๆที่จะกล่าวต่อไป การลดระดับพลังงานของนิวคลีออนลงสู่สถานะพื้น (Ground state) จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเรียกว่ารังสีแกมมา ถ้าให้สถานะเริ่มต้นนิวเคลียสมีระดับพลังงาน E_i เป็นสถานะกระตุ้น และ E_f เป็นสถานะ

สุดท้าย ถ้าสถานะสุดท้ายเป็นสถานะพื้น การลดระดับพลังงานจะสิ้นสุดลง แต่ถ้าสถานะสุดท้าย ยังเป็นสถานะกระตุ้นอยู่การลดระดับพลังงานก็จะเกิดขึ้นอีกกระทั่งเป็นสถานะพื้น พลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของสถานะเริ่มต้นกับพลังงานของสถานะสุดท้าย ดังนี้

$$h\nu = \Delta E = E_i - E_f \quad (2.7)$$

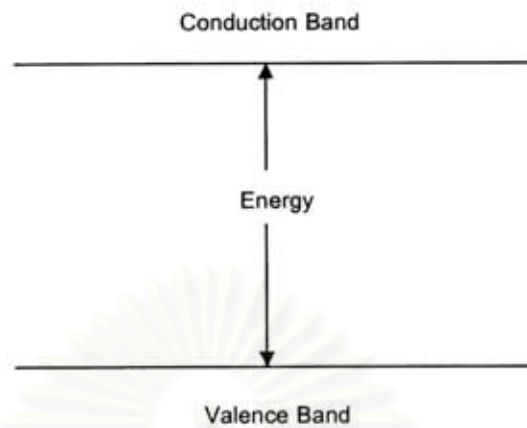
2.4 การวัดพลังงานรังสีแกมมา

เนื่องจากการวัดพลังงานรังสีแกมมาเราไม่สามารถวัดได้โดยตรง ทั้งนี้เป็นเพราะรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ดังนั้นเราจึงต้องทำการวัดพลังงานรังสีทางอ้อม โดยที่อาศัยอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสารคือ โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ คอมพ์ตันเอฟเฟกต์ และการเกิดแพร์โพรดักชัน ซึ่งมีความสำคัญมาก ส่วนการเกิดการกระเจิงแบบยืดหยุ่นหรือแบบโคฮีเรนต์ มีความสำคัญในช่วงพลังงานต่ำๆจนถึง 100 keV อิเล็กตรอนที่ยึดเกาะ (bond) อย่างเหนียวแน่นกับธาตุนั้น มักเกิดการกระเจิงแบบบี แต่ค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ มีค่าน้อยกว่าภาคตัดขวางของโฟโตอิเล็กทริกมาดังที่ได้กล่าวมา

2.4.1 หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ

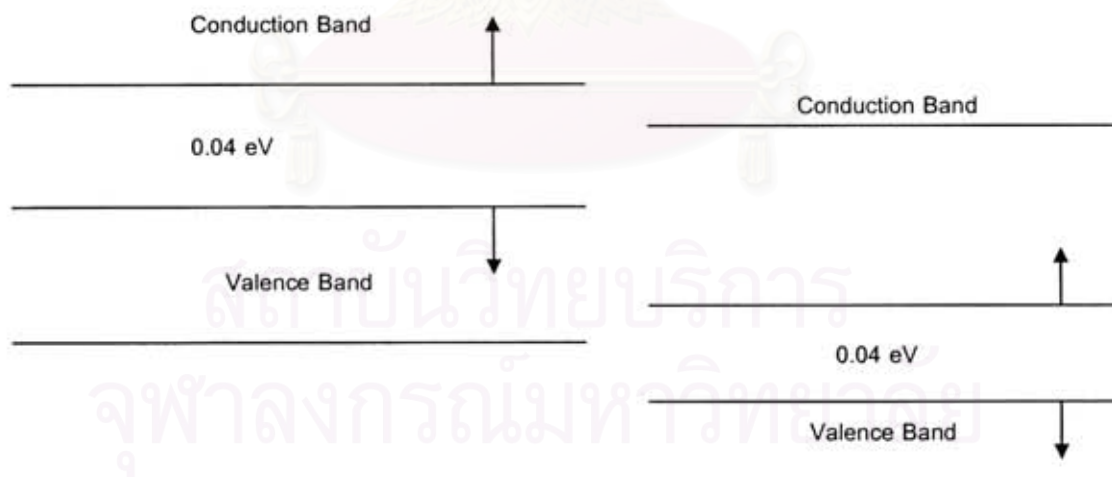
โลหะกึ่งตัวนำ เป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนกาวติดตัวอยู่ระหว่างโลหะและอโลหะ นำไฟฟ้าได้น้อยกว่าโลหะมากกว่าโลหะ ธาตุพวกนี้มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 การจับบอนด์ (bond) เป็นแบบโคเวเลนต์ (covalent) ธาตุพวกนี้ได้แก่ ธาตุซิลิกอน (silicon, Si) และธาตุเจอร์มาเนียม (Germanium, Ge) โดยปกติแถบพลังงานของธาตุพวกนี้แสดงได้ดังรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แผนภาพแถบพลังงานปกติของธาตุซิลิกอนเขียนตามแกนของพลังงานของอิเล็กตรอน

ช่วงพลังงานตรงช่วง gap มีค่าเท่ากับ 1.1 eV สำหรับซิลิกอนและเท่ากับ 0.66 eV สำหรับเจอร์มาเนียม



รูปที่ 2.5 แผนภาพ n-type และ p-type ของพวกโลหะกึ่งตัวนำ

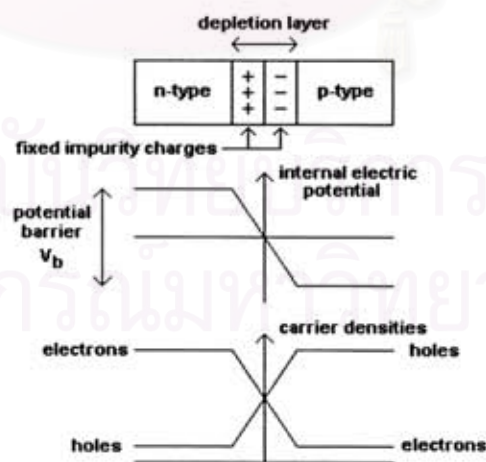
ถ้านำเอาธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเป็น 5 (เช่น อาเซนิก, แอนติโมนี, ฟอสฟอรัส เป็นต้น) จำนวนน้อยๆเติมหรือแทรกเข้าไประหว่างอะตอมของธาตุซิลิกอน จะมีอิเล็กตรอนที่เหลือจากการจับคู่อยู่ 1 ตัว ทำให้ธาตุซิลิกอนนี้เป็นตัวนำให้อิเล็กตรอนได้ดียิ่งขึ้น ช่องว่างระหว่างคอนดักชันแบนด์จะลดลงเหลือ 0.04 eV สำหรับซิลิกอน และ 0.01 eV สำหรับเจอร์มาเนียม ซิลิกอนที่มีอิเล็กตรอนเหลือนี้เรียกว่าเป็นพวกให้อิเล็กตรอน (doner) หรือ n-type semiconductor ดังแสดงในรูปที่ 2.9

กรณีที่เติมธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 3 (เช่น โบรอน แกลเลียม) ลงไปในผลึกธาตุซิลิกอนเล็กน้อย จะทำให้ผลึกขาดอิเล็กตรอน ทำให้เป็นพวกที่รับอิเล็กตรอนได้ (acceptor) ความสามารถที่รับอิเล็กตรอนนี้เรียกว่า โฮล (hole) ซึ่งคล้ายกับประจุไฟฟ้าบวก พวกซิลิกอนแบบนี้เรียกว่า p-type semiconductor มีช่องว่าง 0.04 eV ถัดจากวาเลนซ์แบนด์ขึ้นมาสำหรับซิลิกอน และ 0.01 eV สำหรับเจอร์มาเนียม

2.4.2 หลักการวัดรังสีของผลึกของธาตุพวกโลหะกึ่งตัวนำ

เมื่อเอาผลึก n-type และ p-type ต่อกันดังรูปที่ 2.6 จะมีการกระจายอิเล็กตรอนและโฮล บางส่วนผ่านรอยต่อ (junction)

เมื่อต่อศักดาไฟฟ้าบวกเข้ากับปลาย n-type และศักดาไฟฟ้าลบเข้ากับปลาย P-type อิเล็กตรอนและโฮลจะไปออกันอยู่ที่ปลาย n-type และ p-type ตามลำดับ ทำให้มีช่องว่างตรงรอยต่อเรียกว่า บริเวณปลอดพาหะ หรือ คิลิชั่นเลเยอร์ (depletion layer) ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับฉนวน



รูปที่ 2.6 แผนภาพ n-p type ของโลหะกึ่งตัวนำ

ดังนั้นเมื่อรังสีเข้ามาที่มีดีพลีชันเลเยอร์ จะทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอน-โฮล แล้วต่างวิ่งไปที่โฮลและอิเล็กตรอนอยู่ ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าตามขนาดรังสี แล้วส่งเป็นสัญญาณต่อไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

2.4.3 ข้อดีของหัววัดแบบโลหะกึ่งตัวนำ

2.4.3.1 วัดได้ละเอียดมาก ในการทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลนั้น ใช้พลังงานเพียง 3.5 eV/electron-hole pair เท่านั้นเมื่อเทียบกับก๊าซซึ่งต้องใช้ถึง 36 eV/electron-hole pair

2.3.3.2 มีความไวในการวัดสูง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในหัววัดนั้นประมาณ 1500 ซม² ต่อโวลต์ต่อวินาที และของโฮลมีความไว 500 ซม² ต่อโวลต์ต่อวินาที เวลาที่วิ่งในหัววัดเพียง 10⁻⁸ วินาทีต่อการวัดหนึ่งครั้ง

2.3.3.3 มีกำลังแยกช่วงพลังงาน (Energy Resolution) สูงสามารถแยกพลังงานรังสีแกมมาได้ละเอียดมาก

2.4.4 หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (Hyperpure Germanium Detector, HPGe)

เครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้งานวิจัยครั้งนี้ มีหัววัดเป็นโลหะกึ่งตัวนำของ Ge ซึ่งเป็นแบบ p-n junction ทำมาจาก p-type ของเจอร์มาเนียมที่มีคุณภาพสูงมาก โครงสร้างอะตอมของเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูงต้องการอุณหภูมิต่ำ ๆ เพื่อที่จะรักษาให้ผลึกหัววัดอยู่ที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องมีระบบทำความเย็นและดึงเก็บไนโตรเจนเหลว หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูงที่ใช้เป็นแบบกระบอกแกนร่วม (cylinder coaxial)

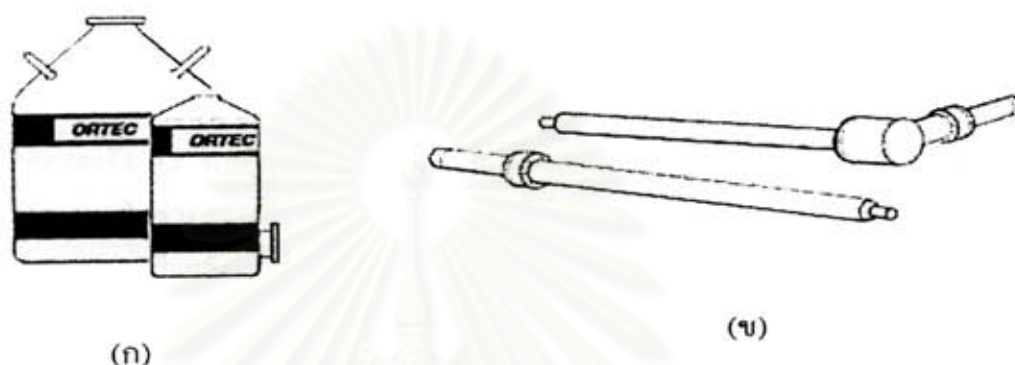
2.4.4.1 หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูงชนิด โคแอกเซียล (High – Purity Germanium Coaxial Type: HPGe)

หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง ใช้ Aluminum เป็นหน้าต่าง ซึ่งหัววัดจะทำงานในสภาวะอุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส หัววัด HPGe มีโครงสร้างที่เหมาะสมที่ยอมให้สิ่งภายนอกเข้าไปในส่วนกลางของโฮลเหมาะกับการวัดรังสีที่มีแหล่งกำเนิดไอโซโทป กัมมันตรังสีขนาดเล็กและประสิทธิภาพการวัดสูงพิเศษ

2.4.4.2 หลักการใช้งานและส่วนประกอบของหัววัด

ส่วนประกอบและหลักการใช้งานของหัววัดเจอร์มาเนียม เนื่องจากหัววัดเจอร์มาเนียมมีช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) แคบประมาณ 0.7 eV นั่นคือการทำงานของหัววัดเจอร์มาเนียมทุกชนิดไม่สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะอุณหภูมิห้องมีค่าสูงพอที่จะเหนี่ยวนำให้ช่องว่างพลังงานเกิดกระแสรั่วไหล (leakage current) ดังนั้นการดำเนินการวัดรังสีด้วยหัววัดเจอร์มาเนียมต้องทำให้อุณหภูมิของหัววัดต่ำลงเพื่อลดกระแสรั่วไหลดังกล่าว ซึ่งเป็นสัญญาณ

รบกวนที่ส่งผลให้ความสามารถในการแยกพลังงาน (Energy Resolution) มีค่าน้อยลง โดยปกติแล้ว อุณหภูมิของหัววัดเจอร์มาเนียมจะถูกทำให้ลดลงจนถึงประมาณ 77 K โดยใช้ Dewar ซึ่งเป็นฉนวน ดังรูปที่ 2.7 ภายในจะเป็นถังเก็บไนโตรเจนเหลวที่ใช้ในการหล่อเย็นเรียกว่า Cryostat ดังรูปที่ 2.7 โดยมี cold finger ทำหน้าที่นำความเย็นไปยังหัววัด



รูปที่ 2.7 (ก) Dewar หรือ ถังเก็บไนโตรเจนเหลว (ข) Cold finger

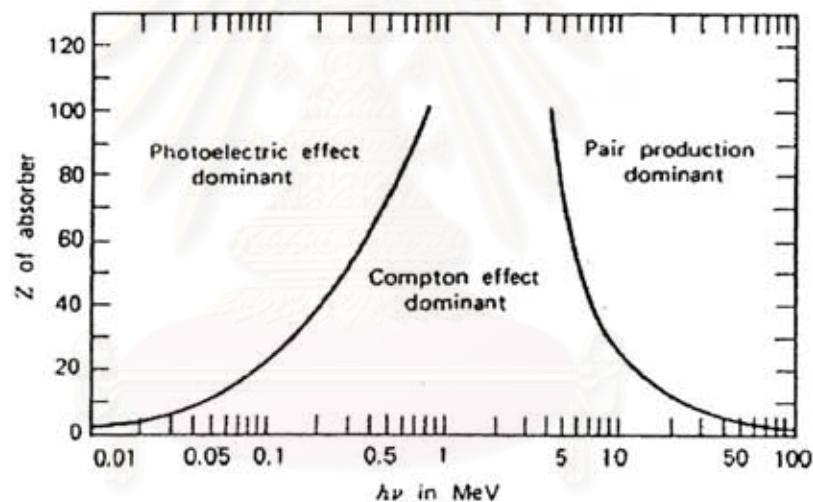
จากรูปที่ 2.7 (ข) หัววัดจะบรรจุในอุปกรณ์หล่อเย็นซึ่งเป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกัน อุณหภูมิจากอากาศที่แวดล้อมถ่ายเทไปสู่หัววัด Cryostat จะติดตั้งที่ด้านบนของ Dewar ซึ่งบรรจุ ไนโตรเจนเหลวโดยลักษณะการติดตั้งอาจจะติดตั้งในแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุ กำบังและการประยุกต์ใช้งานตามความต้องการ ขนาดของ Dewar จะมีการออกแบบให้มีความจุ ขนาดใหญ่ประมาณ 20 – 30 ลิตร เพื่อลดปัญหาในการเติมไนโตรเจนเหลวบ่อยครั้ง ซึ่งต้อง เหมาะสมกับขนาดของหัววัดด้วย หัววัดจะหนีในแคปซูลซึ่งเรียกกันว่า Pop Top เป็นสุญญากาศ และแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์และส่วนที่เป็นผลึกหัววัด

2.4.5 การวัดรังสีแกมมา

เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่ออกมาในรูปของโฟตอนหรือ ควอนตัมของพลังงานที่ไม่มีประจุมวลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง ดังนั้นการวัดพลังงานของรังสี แกมมาจึงต้องอาศัยอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัสดุ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

อันตรกิริยาของรังสีแกมมา (Gamma Interaction) เมื่อรังสีแกมมาวิ่งเข้าชนกับ วัสดุการชนนั้นอาจเกิดขึ้นกับนิวเคลียส อิเล็กตรอนหรือสนามรอบนิวเคลียส กระบวนการสูญเสีย

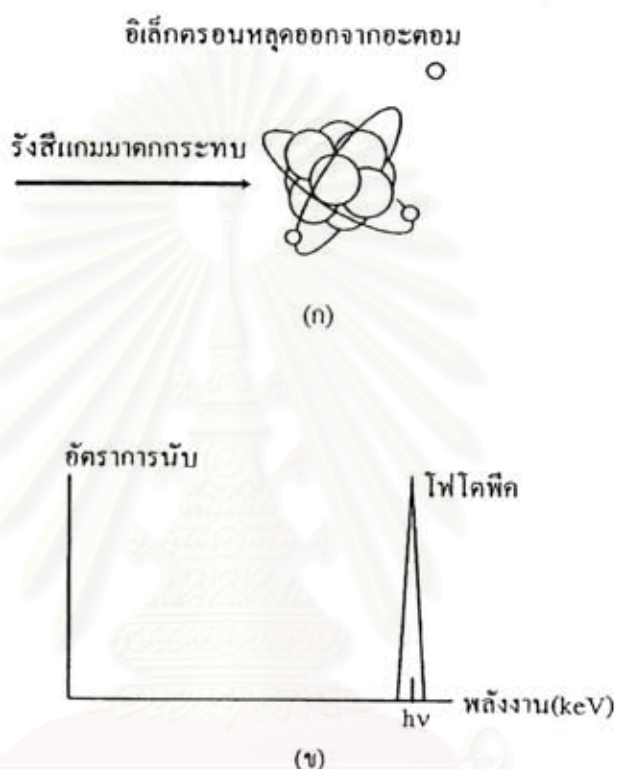
พลังงานเนื่องจากอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัสดุมีหลายกระบวนการ แต่เนื่องจากพลังงานของรังสีแกมมาที่เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสอยู่ในช่วง 0.01 MeV ถึง 100 MeV ดังนั้นกระบวนการสูญเสียพลังงานซึ่งมีผลต่อการวัดสเปกตรัมที่สำคัญจึงมีเพียง 3 กระบวนการ คือ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Absorption) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering) และแพร์โปรดักชัน (Pair Production) ปัจจัยที่ผลต่อการเกิดอันตรกิริยาคือ พลังงานของรังสีแกมมาและเลขอะตอมของวัสดุตัวกลาง การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกจะเกิดได้ดีกับรังสีแกมมาพลังงานต่ำๆ ในช่วง 0.01 MeV ถึง 0.5 MeV ส่วนการผลิตกู่จะเกิดขึ้นกับรังสีแกมมาพลังงาน 1.022 MeV ขึ้นไป และการกระเจิงแบบคอมป์ตันจะเกิดในช่วงพลังงานระหว่างอันตรกิริยาทั้งสองคือ 0.1 MeV ถึง 10 MeV ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 2.8 และในงานวิจัยนี้วัดรังสีแกมมาในช่วงพลังงาน 0.025 MeV ถึง 1.240 MeV ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะเกิดกระบวนการสูญเสียพลังงานทั้ง 3 แบบดังกล่าว



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาหลักที่เกิดจากรังสีแกมมา

2.4.5.1 การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Absorption) ปรากฏการณ์นี้เกิดได้ดีกับรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำในช่วงประมาณ 0.01 MeV ถึง 0.5 MeV รังสีแกมมาที่ตกกระทบจะถูกดูดกลืนโดยอิเล็กตรอนและถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนตัวนั้น ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอมมีพลังงานจลน์ (E_e) เท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของรังสีแกมมา ($h\nu$) กับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน (E_b) ถ้าไม่มีการสูญเสียของอิเล็กตรอน ผลรวมของพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจะมีค่าเกือบเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบซึ่งแสดงกราฟ

ความสัมพันธ์ได้ดังรูป 2.9 พิกที่ได้เป็นพิกเคียวแทนพลังงานทั้งหมดของรังสีแกมมาที่ตกกระทบ เรียกว่าโฟโตพิก (Photo Peak) หรือพิกพลังงานเต็ม ซึ่งในงานนี้ใช้โฟโตพิกในการสอบเทียบเพื่อหาสมการปรับเทียบประสิทธิภาพของหัววัดรังสี



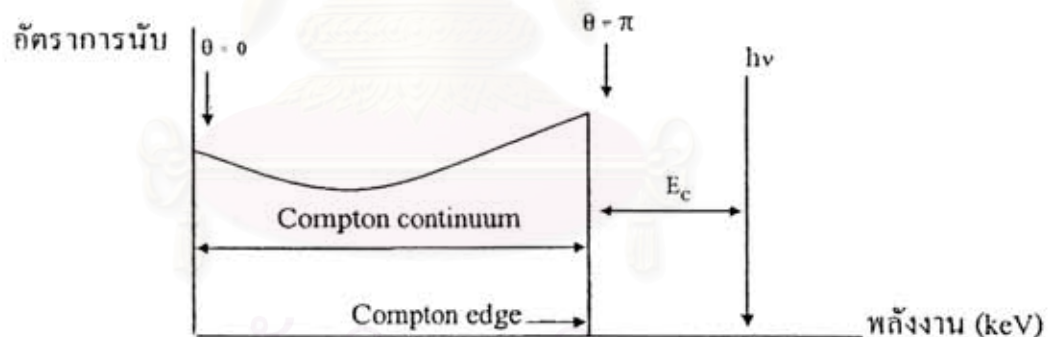
รูปที่ 2.9 ปรากฏการณ์การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก (ก) แผนภาพการเกิดอันตรกิริยา และ (ข) พิกที่ได้จากปฏิกิริยา

2.4.5.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering) รังสีแกมมาที่พุ่งชนอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมจะถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรในทิศทางมุม (ϕ) กับแนวทิศทางของรังสีแกมมาที่พุ่งชน อิเล็กตรอนที่หลุดออกไปนี้เรียกว่า คอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton Electron) และรังสีแกมมาที่สูญเสียพลังงานไปบางส่วนจะกระเจิงทำมุม (θ) กับทิศทางเดิมซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอน (E_e) ที่หลุดออกไปมีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานเริ่มต้นของรังสีแกมมา ($h\nu$) ที่ตกกระทบกับพลังงานของรังสีแกมมา ($h\nu'$) ที่กระเจิงออกไป ถ้ามุมของการกระเจิงทุกมุมปรากฏในหัววัดพลังงานของอิเล็กตรอน ที่

ได้จะมีค่าต่อเนื่องคือตั้งแต่ 0 พลังงานสูงสุด จากรูปที่ 2.10 E_c คือช่องว่างระหว่างพลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอน ที่กระเจิงกับพลังงานของรังสีแกมมาตกกระทบ



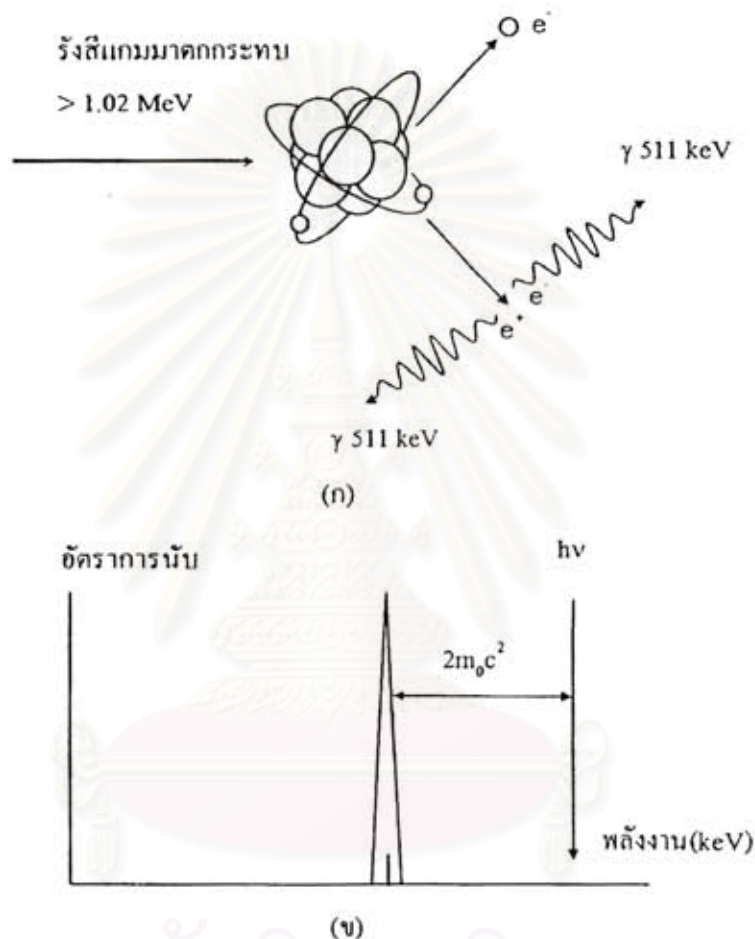
รูปที่ 2.10 ปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมที่ได้จากการกระจายพลังงานของคอมป์ตันอิเล็กตรอน

2.4.5.3 แพร์โปรดักชัน (Pair Production) เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบวัสดุตัวกลางจะถูกดูดกลืนพลังงานทั้งหมดเปลี่ยนเป็นอนุภาคโพซิตรอนและอิเล็กตรอน การเกิดอันตรกิริยารังสีแกมมาที่ตกกระทบต้องมีพลังงานไม่ต่ำกว่า 1.022 MeV และถ้าพลังงานที่ตกกระทบมากกว่า 1.022 MeV พลังงานส่วนเกินจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคโพซิตรอนและ

อิเล็กตรอน เนื่องจากอนุภาคโพซิตรอนที่เกิดขึ้นนี้เป็นอนุภาคที่ไม่อยู่ตัวซึ่งจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนในตัวกลางแล้วให้โฟตอนออกมา 2 ตัวในทิศทางที่ตรงข้ามกัน ซึ่งเรียกว่าการเกิดแอนนิลเลชัน (Annihilation) เวลาที่ใช้ในการรวมตัวนี้สั้นมากอาจกล่าวได้ว่าการเกิดแอนนิลเลชันดังกล่าวจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับปรากฏการณ์แฟร์โพรดักชัน



รูปที่ 2.12 ปรากฏการณ์แฟร์โพรดักชัน (ก) แผนภาพของอันตรกิริยา และ (ข) พิกที่ได้จากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจากอันตรกิริยาแฟร์โพรดักชัน

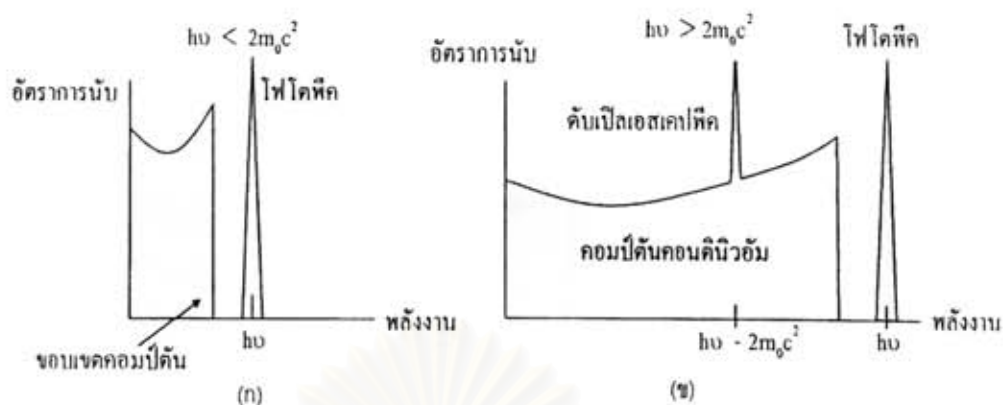
2.4.6 การคาดคะเนฟังก์ชันการตอบสนอง (Predicted Response Function) ฟังก์ชันการตอบสนองของหัววัดจะขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาในหัววัดและขนาดของหัววัดสำหรับหัววัดที่มีขนาดต่างๆ จะทำให้ฟังก์ชันการตอบสนองที่ได้แตกต่างกัน

2.4.6.1 หัววัดขนาดเล็ก (Small Detector) คือ มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระยะวิถีอิสระเสรี (Mean Free Path) ของรังสีอันดับสอง (Secondary Radiation) ที่เกิดขึ้นกับอันตรกิริยาครั้งแรก เช่น โฟโตที่เกิดจากการกระเจิงคอมป์ตันหรือเกิดจากกระบวนการแอนนิลเลชัน และโฟโตนี้ ไปทำอันตรกิริยาต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ถ้าพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบบมีค่าไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดอันตรกิริยาแพร่โพรดักชัน สเปกตรัมที่ได้จะเกิดจากการรวมกันระหว่างการกระเจิงคอมป์ตันและการดูดกลืนโฟโตอิเล็กตริกเท่านั้น ดังรูปที่ 2.14 (ก) ช่วงพลังงานที่ต่อเนื่องนั้นสอดคล้องกับการกระเจิงคอมป์ตัน เรียกว่า คอมป์ตันคอนติเนียม (Compton Continuum) และส่วนที่เป็นยอดแหลมสอดคล้องกับอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กตริก ถ้าพลังงานรังสีแกมมามีพลังงานสูงพอที่จะเกิดอันตรกิริยาแพร่โพรดักชัน เนื่องจากหัววัดมีขนาดเล็กดังนั้นจะรับได้เฉพาะพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพซิตรอนเท่านั้น ส่วนโฟโตทั้งสองที่เกิดจากกระบวนการแอนนิลเลชันจะหลุดออกไปจากหัววัดโดยไม่เกิดอันตรกิริยาใด ๆ อีกเลย กรณีเช่นนี้จะทำให้เกิดพีคที่อยู่ต่ำกว่าโฟโตพีคเท่ากับ $2m_0c^2$ (1.022 MeV) ซึ่งเรียกว่าดับเบิลเอสเคปพีค (Double Escape Peak) โดยมีตำแหน่งสเปกตรัมที่ $h\nu - 2m_0c^2$ รูปที่ 2.14 (ข)



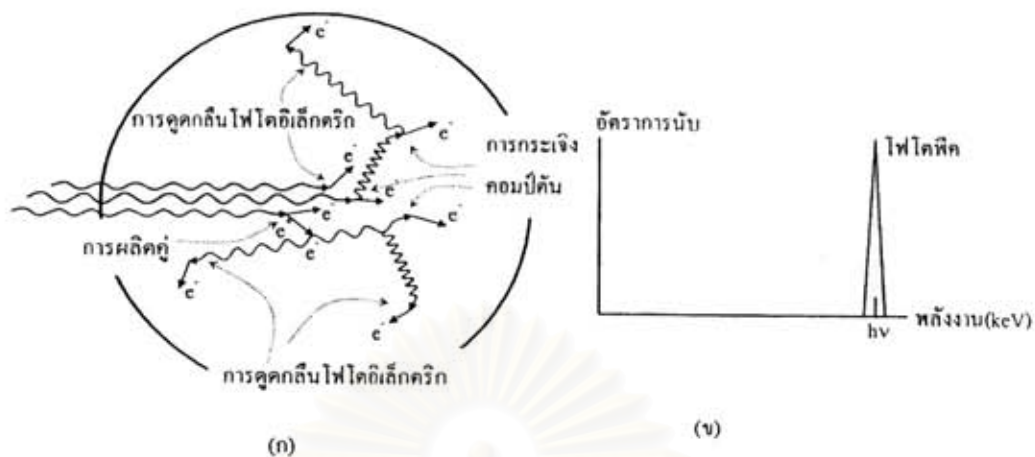
รูปที่ 2.13 การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบบในหัววัดขนาดเล็ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.14 พิกที่วัดได้จากหัววัดขนาดเล็ก (ก) เมื่อรังสีแกมมาพลังงานต่ำตกกระทบหัววัด และ (ข) เมื่อรังสีแกมมาพลังงานสูงตกกระทบหัววัด

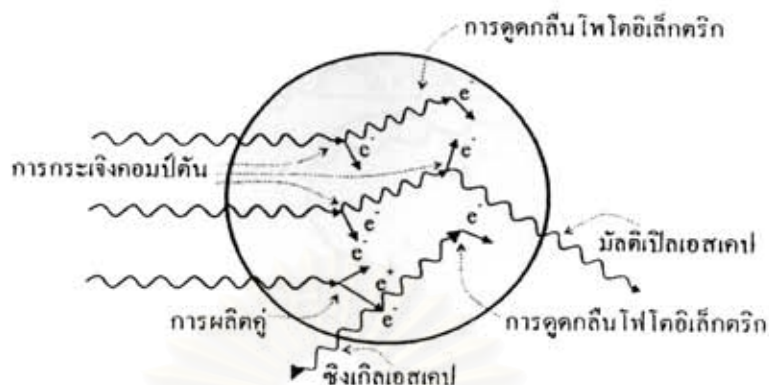
2.4.6.2 หัววัดขนาดใหญ่มาก (Very Large Detector) ในกรณีนี้รังสีอันดับที่สองที่เกิดขึ้นรวมทั้งรังสีแกมมาที่สะท้อนออกไปเนื่องจากอันตรกิริยาการกระเจิงคอมป์ตัน และโฟตอนจากแอนนิฮิเลชันหัววัดจะรับไว้ได้ทั้งหมดไม่หลุดหายไป เช่น เมื่อเกิดการกระเจิงคอมป์ตันแล้ว รังสีแกมมาที่กระเจิงยังคงอยู่ในหัววัด ซึ่งอาจจะเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงคอมป์ตันได้อีกครั้งหรือสองครั้งและอาจเกิดการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกตามมาอีก พลังงานทั้งหมดจะถูกถ่ายเทให้กับหัววัด หากรังสีแกมมามีพลังงานมากพอที่จะเกิดการผลึกคู่และเกิดแอนนิฮิเลชันตามมา อนุภาคโพซิตรอนจะรวมตัวกับอิเล็กตรอนให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2 โฟตอน ซึ่งโฟตอนทั้งสองนี้อาจจะเกิดการกระเจิงคอมป์ตันหรือเกิดการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกภายในหัววัดได้อีกดังรูปที่ 2.15 (ก) อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้จะใช้เวลาสั้นมาก เนื่องจากรังสีแกมมาเคลื่อนที่ในหัววัดด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง โดยรังสีแกมมาอันดับที่สองจะใช้เวลาน้อยกว่า 10^{-9} วินาที ในการเคลื่อนที่ประมาณ 10 ซม. ภายในหัววัด ซึ่งเวลานี้น้อยกว่าในการตอบสนองของหัววัด จึงอาจกล่าวได้ว่าอันตรกิริยาอันดับที่สองเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดอันตรกิริยาอันดับแรก สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจึงแทนอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด ถ้าการตอบสนองของหัววัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของอิเล็กตรอน เนื่องจากไม่มีอนุภาคใดหลุดออกจากหัววัดเลย ดังนั้นสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจะแทนพลังงานของรังสีแกมมา โดยไม่มีรายละเอียดของอันตรกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งคล้ายกับว่ารังสีแกมมาเกิดการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นโฟโตอิเล็กตรอนหรือฟลักพลังงานเดิมเพียงอย่างเดียวดังรูปที่ 2.15 (ข)



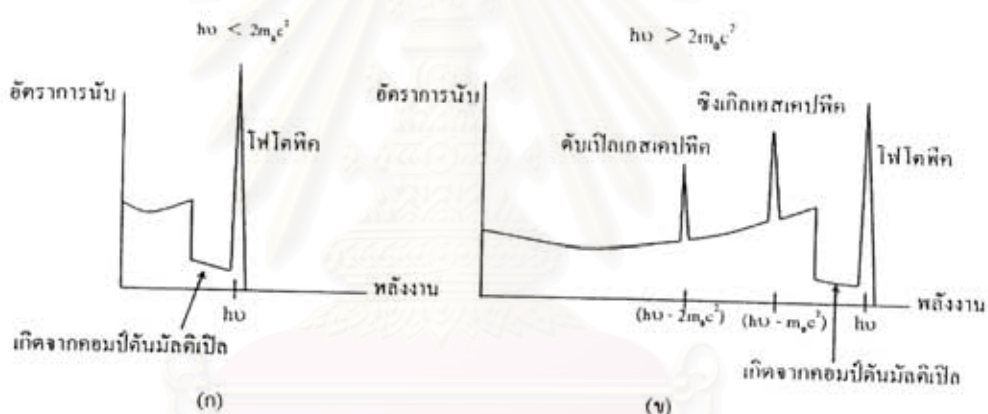
รูปที่ 2.15 อันตรกิริยาในหัววัดขนาดใหญ่ (ก) การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบ และ (ข) พีคที่ได้จากหัววัดขนาดใหญ่

2.4.6.3 หัววัดขนาดกลาง (Intermediate Size Detector) ฟังก์ชันการตอบสนองของหัววัดขนาดกลางคือคุณสมบัติของหัววัดทั้งสองที่กล่าวไปแล้วรวมกัน นั่นคือ ถ้ารังสีแกมมาที่ตกกระทบมีพลังงานต่ำโอกาสของการเกิดการกระเจิงคอมป์ตันก็จะน้อยลง และถ้าพลังงานมีค่าน้อยกว่า 100 keV ก็จะไม่เกิดการกระเจิงคอมป์ตันเลย แต่ถ้ารังสีแกมมาที่ตกกระทบมีพลังงานปานกลางโอกาสของการเกิดการกระเจิงคอมป์ตันก็มากขึ้น ซึ่งอาจจะมีผลให้โฟตอนหลุดออกจากหัววัดได้ ทำให้เกิดการเชื่อมต่อของคอมป์ตันคอนตินิวอัมและโฟโตพีค ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานสูงพอที่จะเกิดอันตรกิริยาผลิตคู่อิเล็กตรอน-โพสิตรอนและเกิดแอนนิลเลชันตามมา โฟตอนที่เกิดขึ้นอาจหลุดจากหัววัดหรือเกิดอันตรกิริยาต่อไปในหัววัด ก็เป็นผลให้เกิดดับเบิลเอสเคปพีค (Double Escape Peak) ซึ่งอยู่ต่ำกว่าโฟโตพีค $2m_0c^2$ (1.022 MeV) หรือที่ตำแหน่ง $hv - 2m_0c^2$ แต่ถ้ามีเพียงโฟตอนเดียวที่หลุดจากหัววัดก็จะปรากฏซิงเกิลเอสเคปพีค (Single Escape Peak) ในสเปกตรัม ซึ่งอยู่ต่ำกว่าโฟโตพีค m_0c^2 (0.511 MeV) หรือที่ตำแหน่ง $hv - m_0c^2$ ดังรูปที่ 2.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

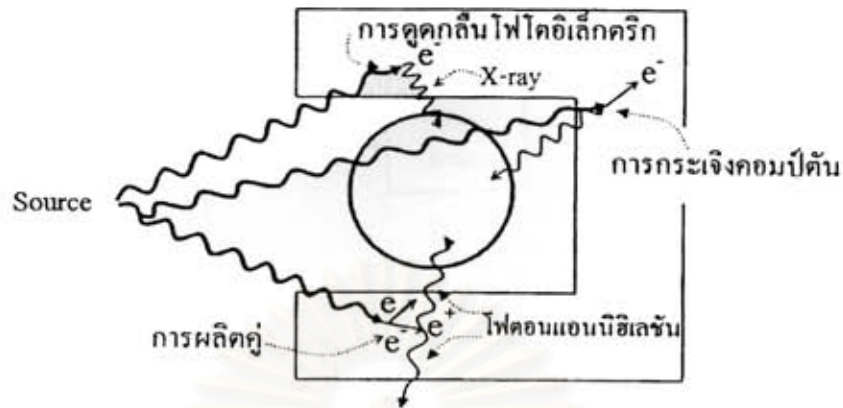


รูปที่ 2.16 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบบั้วตัวขนาดกลาง

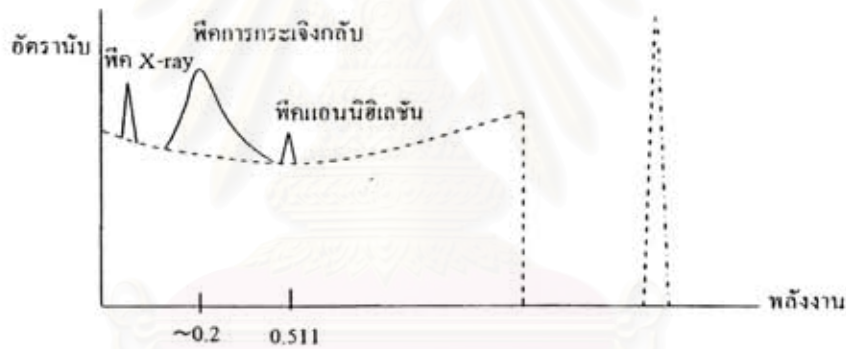


รูปที่ 2.17 พิกที่ได้จากห้วตัวขนาดกลาง (ก) รังสีแกมมาพลังงานปานกลางตกกระทบบั้วตัว และ (ข) รังสีแกมมาพลังงานสูงตกกระทบบั้วตัว

2.4.6.4 อิทธิพลที่อยู่ล้อมรอบ (Effects of Surrounding Materials) ได้แก่ เครื่องกำบังรังสีจากภายนอกและวัสดุห่อหุ้มแหล่งกำเนิดรังสีเพื่อป้องกันแสงและความชื้น วัสดุเหล่านี้เป็นแหล่งของการเกิดรังสีอันดับที่สอง เช่น รังสีเอ็กซ์ รังสีแอนนิฮิเลชัน รังสีแกมมาที่กระเจิงกลับ เป็นต้น เมื่อรังสีอันดับสองเหล่านี้ผ่านเข้าห้วตัวจะมีอิทธิพลต่อรูปร่างของสเปกตรัม



รูปที่ 2.18 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่เกิดกับวัสดุล้อมรอบหัววัด

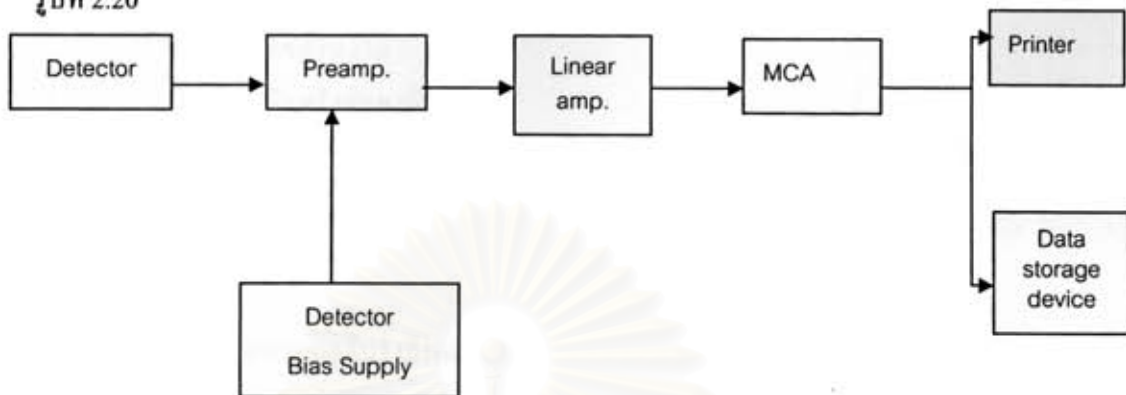


รูปที่ 2.19 อิทธิพลของรังสีล้อมรอบหัววัดรังสีที่มีผลทำให้เกิดพีกต่างๆ ในสเปกตรัม

2.4.7 ระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา

วิธีนี้สามารถใช้ในการตรวจวัดหาธาตุกัมมันตรังสี ที่สลายตัวแผ่รังสีแกมมา ในช่วงพลังงาน 60 keV ถึง 2,000 keV ในตัวอย่างประเภทต่างๆ ทั้ง ของแข็ง และของเหลว การวัดสเปกตรัม ของรังสีแกมมาในตัวอย่างนั้น ไม่จำเป็นต้องแยกธาตุกัมมันตรังสีออกจากตัวอย่าง รังสีแกมมาพลังงานต่างๆ ที่แผ่ออกมาจากตัวอย่างจะถูกวัดด้วยหัววัดรังสีที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium) และมีประสิทธิภาพสูงบรรจุอยู่ในตะกั่วกำบังรังสี และต่ออยู่กับเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer, MCA) ข้อมูลผลการวัดจาก

หัววัดจะแสดงค่าพลังงานต่างๆ โดย MCA และส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะเคราะห์หาชนิด และปริมาณของธาตุกัมมันตรังสีที่ตรวจวัดได้ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แผนผังระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา

2.5 การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม

การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งได้เป็นการวัดรังสีแกมมาในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Gamma-Ray Measurement) และการวัดรังสีแกมมาในพื้นที่จริง (In-Situ Gamma-ray Measurement) โดยหลักการแล้วการวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมนั้น มาจากการวัดกลุ่มตัวอย่าง นั่นคือเมื่อทำการวัดเมื่อใด กลุ่มตัวอย่างที่ถูกวัดนั้นจะเป็นตัวแทนของสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ณ ขณะนั้น

2.5.1 การวัดปริมาณเบริลเลียมในสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ

การวัดปริมาณรังสีแกมมาของตัวอย่างของสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการในช่วงเวลาที่กำหนด เป็นวิธีที่ง่ายและเพราะเป็นงานสั้น ๆ พื้นที่เล็ก ๆ และการวัดอยู่ภายใต้การควบคุมของสภาวะในห้องปฏิบัติการ การเปรียบเทียบตัวอย่างของสิ่งแวดล้อมกับสารมาตรฐานทำได้ง่ายเพราะมีระบบการวัดที่เหมือนกันจึงสามารถเปรียบเทียบกันได้เลยโดยตรง ส่วนเรื่องของการเตรียมตัวอย่าง (sample preparation) นั้น โดยปกติตัวอย่างที่จะนำมาวัด จะต้องมีการเตรียมเพื่อให้อยู่ในรูปลักษณะเดียวกันเช่น มีขนาดเดียวกัน มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ มีผิวหน้าเรียบ มีความหนาใกล้เคียงกัน โดยต้องไม่หนากว่าความหนาวิกฤต และในขณะเดียวกันตัวอย่างจะต้องนำกลับมาใช้ได้อีก สำหรับตัวอย่างที่เป็นของแข็งและต้องการวัดรังสีแกมมา ปกติจะวัดโดยตรง ซึ่งอาจมีการเตรียมตัวอย่างล่วงหน้าเพียงเล็กน้อย เตรียมตัวอย่างให้มีขนาดพอเหมาะกับหัววัด ส่วนภาชนะ

สำหรับใส่ตัวอย่างนั้นจะต้องทำด้วยสารที่มีเลขอะตอมต่ำเพื่อป้องกันการสะท้อนกลับเข้าไปในหัววัดอีก เพราะรังสีที่สะท้อนกลับอาจจะไปรบกวนพีคที่พลังงานต่ำกว่า ในการวัดตัวอย่างเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์มากที่สุดนั้น มีหลักการต่างๆ ไปที่ต้องคำนึงถึงคือ

- ชนิดของหัววัด
- กัมมันตรังสีของตัวอย่าง
- จำนวนตัวอย่างที่จะวัด
- เวลาที่ใช้วัด
- ความยากง่ายในการเตรียมตัวอย่าง

2.6 การปรับแก้ค่าการดูดกลืนรังสีในตัวอย่าง

ในการวัดรังสีแกมมาพลังงานต่ำจากตัวอย่างที่มีปริมาตร จะมีการดูดกลืนรังสีในตัวเองทำให้ความเข้มรังสีที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่แท้จริง ขั้นตอนทำการปรับแก้ผลการวัดรังสีให้ถูกต้อง

เมื่อรังสีแกมมาผ่านสาร จะทำให้ความเข้มข้นรังสีลดลง เป็นไปตามสมการ

$$\frac{-dS}{dx} = \mu S \quad (2.8)$$

- เมื่อ
- S = ความเข้มของรังสีแกมมาต่อหน่วยปริมาตรที่สามารถทะลุผ่านออกมาจากวัสดุ
 - S_0 = ความเข้มของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุต่อหน่วยปริมาตร
 - μ = สัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) เชนเส้นของรังสีซึ่งขึ้นกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา และชนิดของตัวดูดกลืน
 - x = ความหนาของวัสดุ

เมื่ออินทิเกรตสมการที่ (2.6) จะได้

$$S = S_0 e^{-\mu x} \quad (2.9)$$

- ถ้า
- a = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง
 - A = ความเข้มรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจากตัวอย่างที่มีพื้นที่หน้าตัด a ความหนา x

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^x S_0 a e^{-\mu x} dx \\
 &= \left[\frac{S_0 a (1 - e^{-\mu x})}{\mu} \right]_0^x \\
 &= \frac{A_0 (1 - e^{-\mu x})}{\mu X} \\
 \frac{A_0}{A} &= f \\
 &= \frac{(1 - e^{-\mu x})}{\mu X}
 \end{aligned}$$

- A = ค่าความเข้มรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านไปถึงผิวหน้าตัวอย่าง (ค่าที่วัดได้)
 A_0 = ค่าความเข้มรังสีที่ถูกต้อง
 f = ค่า self absorption factor

2.7 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพืชน้ำ

2.7.1 ผักตบชวา

ผักตบชวา Water Hyacinth มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำแอมะซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ มีดอก สีม่วงอ่อน คล้ายช่อดอกกล้วยไม้ และแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจนกลายเป็นวัชพืชร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่นดังนี้: ผักปอด, สวะ, ผักโรค, ผักตบชวา, ผักชะวา, ผักอีโยก, ผักปอง

ผักตบชวาถูกนำเข้ามาในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2444 สมัยรัชกาลที่ 5 โดยนำเข้ามาจากอินโดนีเซียในฐานะเป็นไม้ประดับสวยงาม โดยเจ้านายฝ่ายในที่ตามเสด็จประพาสประเทศอินโดนีเซีย ได้เห็นพืชนชนิดนี้มีดอกสวยงาม จึงนำกลับมาปลูกในประเทศไทย และใส่อ่างดินเลี้ยงไว้หน้าสนามวังสระปทุม จนเกิดน้ำท่วมวังสระปทุม ขึ้นทำให้ผักตบชวาหลุดลอยกระจายไปตามแม่น้ำลำคลองทั่วไป และแพร่พันธุ์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

2.7.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยว มีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ถ้าต้นคิ่งจะหยั่งรากลงดิน ใบเป็นใบ

เคี้ยวรูปแผ่นใบคล้ายรูปหัวใจเป็นมัน หนา ก้านใบกลมอวบน้ำตรงกลางพองออกภายในเป็นช่อง อากาศคล้ายฟองน้ำช่วยให้ลอยน้ำได้ สามารถแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วมาก ก้านใบพองออกตรงช่อง กลาง ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนช่วยพยุงลำต้นให้ลอยน้ำได้ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอดมีดอกย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่น ๆ และมีจุดเหลืองที่ กลางกลีบ ขยายพันธุ์โดยการแยกต้นอ่อนที่ปลายไหลไปปลูก



ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

รูปที่ 2.21 ผักตบชวา

ผักตบชวา สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ทั้งในน้ำสกปรกและน้ำสะอาด เจริญเติบโต ได้ดีที่ pH 4-10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 C° และในคืนพืชจะมีน้ำเฉลี่ยประมาณร้อยละ 95 (ในใบร้อยละ 89 และในก้านใบร้อยละ 96.7) ผักตบชวาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัย คุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ผักตบชวาที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น เปรียบได้กับการบรรจุวัสดุพรุน ซึ่งกรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ จึงทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูก สกักกัน นอกจากนี้ ระบบรากที่มีจำนวนมาก ช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัย เกาะอยู่ที่ราก ช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ลำเลียงไปยังใบเพื่อสังเคราะห์แสง ในโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไป อย่างไรก็ตามในโตรเจนในน้ำเสียนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ในโตรเจน แอมโมเนียในโตรเจน และไนเตรทในโตรเจน พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดในโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ในโตรเจนได้สูงกว่าในโตรเจน ในรูปอื่นๆ คือ ประมาณร้อยละ 95 ขณะที่ไนเตรทในโตรเจน และแอมโมเนียในโตรเจนจะลดลง ประมาณร้อยละ 80 และร้อยละ 77 ตามลำดับ แต่การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณ ในโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง จะส่งผลให้ผักตบชวาเจริญเร็วขึ้นและปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำมากขึ้น จึง ควรมีการดูแลระบบเก็บต้นที่เจริญเต็มที่ขึ้นจากน้ำอย่างสม่ำเสมอ ไม่เช่นนั้น เมื่อผักตบชวาตาย จะ นอนอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเสียนั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้รากของผักตบชวามี

แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนแกรมลบ คือ *Azospirillum* spp. และมีคุณสมบัติพิเศษ สามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 2.5 กิโลกรัม/เฮกตาร์/วัน



ที่มา : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

รูปที่ 2.22 ดอกผักคตบชวา

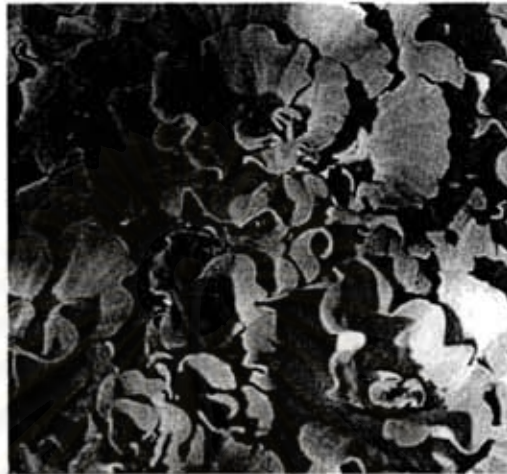
2.7.1.2 ประโยชน์

- 1 ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ เช่นหมู ใช้ทำปุ๋ยหมัก เครื่องจักรสานผักคตบชวา
- 2 ด้านสมุนไพร ใช้แก้พิษภายในร่างกาย และขับลม ใช้ทาหรือพอกแก้แผลอักเสบ

2.7.2 จอก

จอก (Water lettuce) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Pistia stratiotes* L. ชื่อวงศ์ : ARACEAE เป็นวัชพืชน้ำอีกชนิดหนึ่งของไทย อยู่ในวงศ์เดียวกับเผือกและบอน มีชื่ออื่นๆ ที่ใช้เรียก คือ ผักกอกหรือกากอกเป็นพืชล้มลุกหลายฤดู ลำต้นสั้น มีไหลซึ่งแตกแขนงและทอดยาวขนานกับผิวน้ำ ใบเดี่ยวเป็นแผ่นกว้าง มีรูปร่างคล้ายลิ้น อยวน้ำ ช้อนแยกกันอยู่บนแกนที่เป็นส่วนของต้นสั้น ๆ มีไหลขึ้นออกไปงอกเป็นต้นใหม่หรือแตกต้นอ่อนตามซอกใบ เวียนเป็นเกลียวถี่ๆ รอบต้น ขึ้นเป็นกระจุกคล้ายผักกาดสีเขียวสด อยู่ตามผิวน้ำ มีรากเป็นเส้นฝอยๆ จำนวนมากที่โคนต้น ดอกสีขาวหรือเขียวอ่อน มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ขนาดเล็กมาก มีใบประดับสีเขียวอ่อนเป็นแผ่นหุ้มอยู่ตรงซอกใบ เนื่องจากดอกเล็กมาก และซ่อนอยู่ตามซอกใบจึงมักไม่มีใครเห็น ทำให้เข้าใจกันว่า จอกเป็นพืชไร้ดอก จอกมีการกระจายพันธุ์ทั่วไปในเขตร้อน ขยายพันธุ์โดยแตกหน่อใหม่จากไหล เพิ่มปริมาณ และ

เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมาก จึงสร้างปัญหาแก่แหล่งน้ำ จอกต้นเล็กๆ มีสีเขียวสดใสดำมีจำนวนไม่มากนัก จะดูเหมือนดอกไม้สีเขียวๆ ลอยน้ำอยู่ดูสวยงาม จึงมีผู้นำไปใช้ประดับในสวนน้ำ ต้นอ่อนๆ ใช้เป็นอาหารเลี้ยงหมูได้



ที่มา : <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter2/t24-2-12.htm>

รูปที่ 2.23 จอก

2.7.3 แหน

แหน (Mosquito fern, Water fern) เป็นพืชน้ำเล็กๆ พวกเฟิร์นพบเจริญเติบโตอยู่บนผิวน้ำในที่ที่มีน้ำขังในเขตร้อนและอบอุ่นทั่วไป



ที่มา : <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK24/chapter2/t24-2-12.htm>

รูปที่ 2.24 แหน

2.7.3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เห็บแดงเป็นเฟิร์นน้ำ ขนาดเล็ก ลอยบนผิวน้ำ ต้นแก่ที่ได้รับแสงเต็มที่จะเป็นสีเขียว ค่อนข้างแบนขนนก รากเป็นรากพิเศษ ขาวอยู่ทางด้านใต้ของลำต้น ทั้งต้นและกิ่งมีใบขนาดเล็กปกคลุม เรียงสลับซ้อนกัน ใบแต่ละใบแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ส่วนบนหนา สีเขียวหรือสีแดง ส่วนล่างบางอยู่ใต้น้ำ ไม่ค่อยมีสี ใบล่างสุดสร้าง sporocarp 2-4 อัน ที่แกนของใบด้านใต้ใบ ภายในมีเมกะสปอร์และไมโครสปอร์ ในใบของเห็บแดงมีโพรงขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นที่อาศัยของ *Anabena* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabena* ได้รับสารอาหารจากเห็บแดง ส่วนเห็บแดงจะได้ไนโตรเจนจากการตรึงไนโตรเจนของ *Anabena* องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่โปรตีน ไขมัน และเซลลูโลส แร่ธาตุ เห็บแดงต้องการธาตุอาหารหลักที่สำคัญได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส และธาตุโปแตสเซียม และจุลธาตุที่สำคัญได้แก่ เหล็ก และ โมลิบดีนัม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ไนโตรจิเนส ในการตรึงไนโตรเจน เห็บแดงสามารถมีชีวิตอยู่ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 5 – 45 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 20 – 30 องศาเซลเซียส เห็บแดงจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่มีแสงประมาณ 50 – 70 เปอร์เซ็นต์ของแสงสว่าง ที่เอชที่เหมาะสมที่เห็บแดงเจริญเติบโตได้ดีที่สุดคือ 4.0 – 5.5 ความลึกของน้ำความลึกที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเห็บแดงคือประมาณ 10 เซนติเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างพืชน้ำ

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 ภาชนะบรรจุตัวอย่าง มาริเนลลีบีกเกอร์ (Marinelli beaker)

3.1.1.2 เครื่องชั่งสาร ยี่ห้อ Sartorius Model LC1201S

3.1.1.3 เครื่องปั่นตัวอย่าง

3.1.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1.2.1 ศึกษาและเลือกสถานที่การเก็บตัวอย่าง

3.1.2.2 วางแผนการเก็บตัวอย่างผักตบชวาที่คลองน้ำคณะประมง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยบริเวณแหล่งน้ำที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นแหล่งน้ำที่ติดต่อกับแหล่งน้ำภายนอก มีลักษณะเป็นน้ำนิ่ง ไม่มีการไหลของน้ำ แต่มีการขึ้นลงของน้ำเท่านั้น



รูปที่ 3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างผักตบชวาที่บริเวณคลองน้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

3.1.2.3 การเก็บตัวอย่างผักตบชวา จอกและแห่น จะเก็บเฉพาะพืชสด

3.1.2.4 นำตัวอย่างพืชน้ำที่เก็บได้มาล้างทำความสะอาด เพื่อล้างเอาฝุ่นละออง และดินที่ติดอยู่ออกให้หมด ผึ่งไว้ให้แห้ง

3.1.2.5 หั่นตัวอย่างพืชน้ำให้มีขนาดเล็กลง แล้วบั่นให้ละเอียด



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างผักคตบขวาที่หั่นและบั่นละเอียด

3.1.2.6 นำภาชนะบรรจุตัวอย่าง มาริเนลลีบีกเกอร์ไปซังน้ำหนักภาชนะเปล่า แล้วบันทึกผล

3.1.2.7 นำตัวอย่างพืชน้ำแต่ละชนิดที่บั่นละเอียดบรรจุลงในมาริเนลลีบีกเกอร์ให้เต็มและอัดให้แน่น แยกกันอย่างละเอียดบีกเกอร์ โดยให้มีลักษณะเช่นเดียวกับสารมาตรฐาน ทำการปิดภาชนะมาริเนลลีบีกเกอร์ให้สนิท แล้วนำไปซังน้ำหนักรวมของภาชนะและตัวอย่างพืชน้ำสดที่บั่นละเอียดแล้ว พร้อมกับบันทึกผล

3.1.2.8 คำนวณหาน้ำหนักสุทธิของตัวอย่างพืชน้ำสดที่บั่นละเอียด
บันทึกผล

3.1.2.9 คำนวณหาค่า Lower Limit of Detection (LLD) จากสูตร

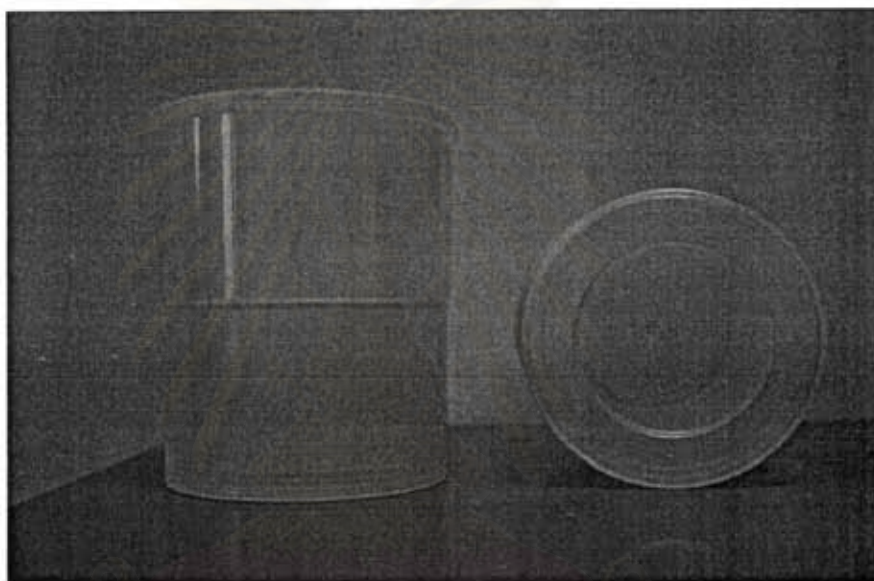
$$LLD = \frac{4.66Sb}{\epsilon P\gamma}$$

เมื่อ

Sb คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตรานับวัดสุทธิ

ϵ คือค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

$P\gamma$ คือค่าโอกาสการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีซึ่งมีการแผ่รังสีแกมมาซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1



รูปที่ 3.3 ภาพขณะใส่ตัวอย่างมาริเนลลีบีกเกอร์

3.2 การตรวจวัดเบริลเลียม-7 ในพีชน้ำบางชนิด โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

3.2.1.1 หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ของบริษัท ORTEC

3.2.1.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi Chanel Analyser ; MCA)

3.2.1.3 ระบบการวัดวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโคปี (Gamma Vision-32)

3.2.1.4 สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมารินเนลีสปีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร ของบริษัท Eckert & Ziegler Isotope Product

3.2.1.5 ชุดไมโครคอมพิวเตอร์

3.2.1.6 เครื่องกำบังรังสีที่ทำจากตะกั่วทรงกระบอกหนา 11 เซนติเมตร ภายในฉาบด้วยแผ่นทองแดง

3.2.1.7 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 กับ Co-60



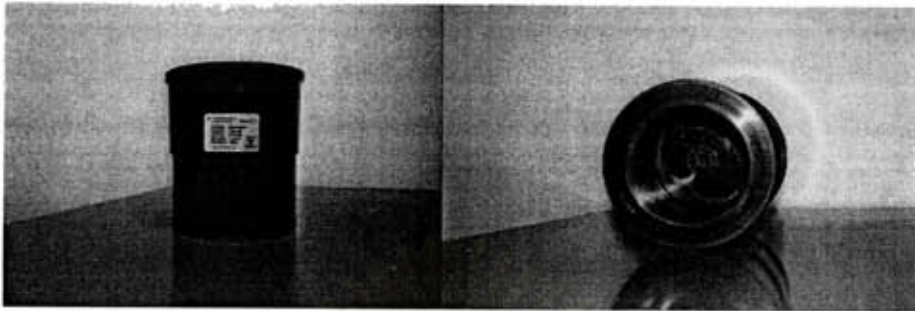
รูปที่ 3.4 หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูงที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมา พร้อมกำบังรังสี



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi Chanel Analyzer ; MCA)
(ของบริษัท ORTEC)



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งสาร ชี่ห้อ Sartorius Model LC1201S



รูปที่ 3.7 สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลลีบีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 1 กรัมต่อมิลลิลิตร ของบริษัท Eckert & Ziegler Isotope Products

3.1.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1.1.4 ทำการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขช่อง (Channel number) กับพลังงานของรังสีแกมมาโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 ที่พลังงาน 661.66 keV และ โคบอลต์-60 ที่พลังงาน 1173 และ 1332 keV โดยใช้เวลานับวัด 5,000 วินาที

3.1.1.5 ทำการตรวจวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 80,000 วินาที

คำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) จากนั้นหาค่ากัมมันตภาพรังสีโดยใช้สูตร

$$Activity = \frac{(net\ peak\ area / time)}{efficiency \times weight \times branching\ ratio}$$

3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำ

3.3.1 การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

3.3.1.1 วัดปริมาณรังสีแกมมาจากสารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลลีบีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร โดยใช้เวลา 80,000 วินาที

3.3.1.2 คำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) ของแต่ละพลังงาน คือ 391.71, 661.66, 898.02, 1173.24 และ 1332.5 keV นำค่าที่ได้หารด้วยเวลาในการวัดได้ค่าเป็น counts per second

3.3.1.3 คำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสี (activity) ของดินกำเนิดสารมาตรฐาน Multinuclides ณ วันที่วัด ณ พลังงาน 391.7, 661.66, 898.02, 1173.24 และ 1332.5 keV

3.3.1.4 คำนวณหาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของแต่ละพลังงานโดยใช้สูตร

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{net peak area (cps)}}{\text{Activity (Bq)} \times \text{branching ratio}}$$

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพของหัววัด โดยให้อยู่ในรูป log scale นำสมการที่ได้จากกราฟมาคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงาน 477.6 keV (พลังงานรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7)

3.3.2 การหาค่า Correction Factor

3.3.2.1 มาริเนลลีสีกเกอร์เปล่า ขนาด 1 ลิตร ซึ่งปิดฝาสนิท วางบนหัววัดรังสี จากนั้นนำเอาดินกำเนิดรังสีมาตรฐาน Ra-226 วางบนมาริเนลลีสีกเกอร์นั้น ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางบีกเกอร์และหัววัดรังสี ใช้เวลาวัด 3000 วินาที

3.3.2.2 คำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) ของ Ra-226 ที่พลังงาน 351.9 กับ 609.3 keV จะได้ค่า I_0

3.3.2.3 นำตัวอย่างพืชน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในมาริเนลลีสีกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร ซึ่งปิดฝาสนิท วางบนหัววัดรังสี จากนั้นนำเอาดินกำเนิดรังสีมาตรฐาน Ra-226 วางบนมาริเนลลีสีกเกอร์นั้น ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางบีกเกอร์และหัววัดรังสี ใช้เวลาวัด 3000 วินาที

3.3.2.4 คำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) ของ Ra-226 ที่พลังงาน 351.9 กับ 609.3 keV จึงได้ค่า I_1 และคำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) ของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพืชน้ำที่พลังงาน 477.6 keV ได้ค่า I_2

3.3.2.5 คำนวณค่า I_x จากสูตร

$$I_x = I_1 - I_2$$

3.3.2.6 หาค่า CF ของแต่ละพลังงาน คือ 351.9 กับ 609.3 keV จากสูตร

$$C.F. = \frac{\mu x}{1 - e^{-\mu x}} = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right)}{1 - \frac{I_x}{I_0}}$$

3.3.2.7 คำนวณค่า C.F. ที่พลังงานของรังสีแกมมาใน Be^7 477.6 keV ในพีชน้ำแต่ละตัวอย่าง โดยการประมาณค่าในช่วง (interpolate) ระหว่างค่า C.F. ที่พลังงาน 351.9 keV กับ ค่า C.F. ที่พลังงาน 609.3 keV

3.3.2.8 นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลลีนบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร วางบนหัววัดรังสี จากนั้นนำเอาต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Ra-226 วางบนมาริเนลลีนบีกเกอร์นั้น ให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของบีกเกอร์และหัววัดรังสี ใช้เวลาวัด 3000 วินาที

3.3.2.9 ดำเนินการตามข้อ 3.3.2.1 – 3.3.2.7

3.3.2.10 เปรียบเทียบค่า C.F. ที่พลังงาน 477.6 keV ของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Multinuclides และตัวอย่างพีชน้ำ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำ

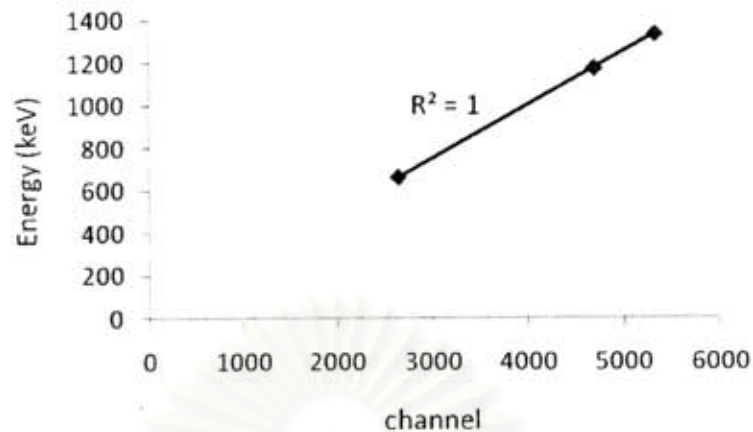
4.1.1 ผลการเปรียบเทียบพลังงานและผลการศึกษาหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

ในงานวิจัยนี้ใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ สำหรับวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ที่พลังงาน 477.6 keV ในการเปรียบเทียบค่าระหว่างพลังงานกับช่องสัญญาณ ได้ใช้สารต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 กับ Co-60 วัดรังสีแกมมาที่พลังงาน 661.66, 1173.24 และ 1332.50 keV และเทียบกับช่องสัญญาณ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับช่องสัญญาณ

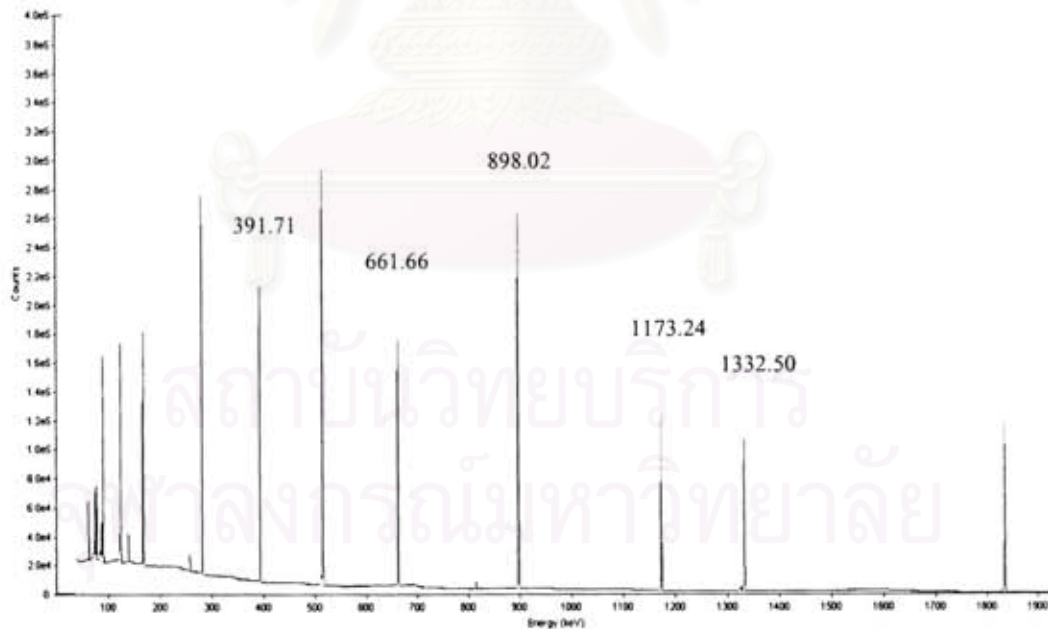
Energy (keV)	channel
661.66	2648
1173.24	4697
1332.50	5334

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับช่องสัญญาณ

ในการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีได้ใช้สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลลิบีกเกอร์ แล้วนำมาวัดรังสีแกมมา จะได้สเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 4.2 และนำสเปกตรัมที่ได้มาคำนวณหาพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมาริเนลลิ บีกเกอร์ ที่พลังงาน 391.71, 661.66, 898.02, 1173.24 และ 1332.50 keV

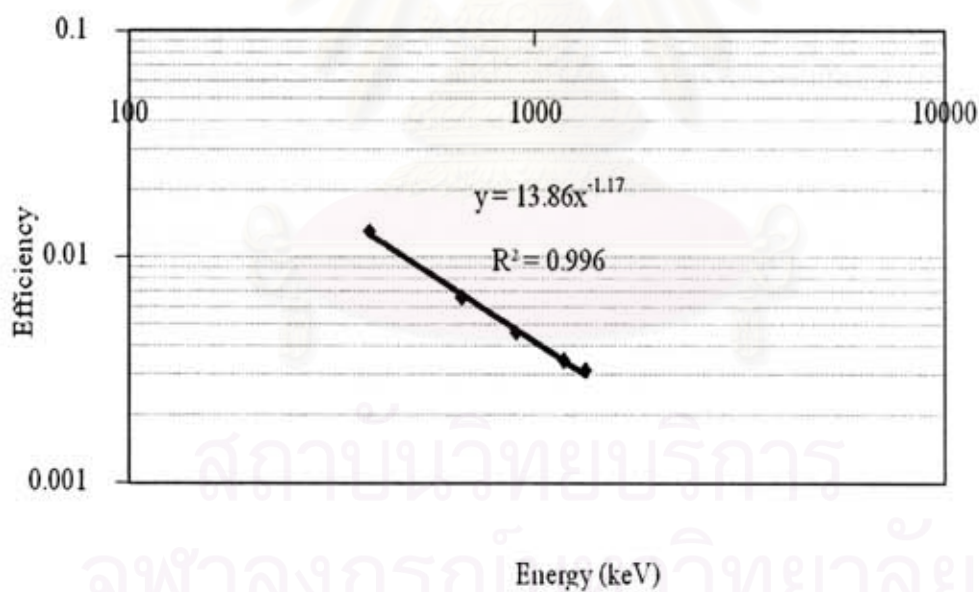


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐาน Multinuclides

คำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงที่พลังงานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

พลังงานของรังสี (keV)	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (%)
391.71	1.3004
661.66	0.659
898.02	0.4609
1173.24	0.3459
1332.50	0.3132



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงกับพลังงานของรังสี

จากกราฟในรูปที่ 4.4 นำข้อมูลค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงที่พลังงาน 391.71, 661.66, 898.02, 1173.24 และ 1332.50 keV นำข้อมูลประสิทธิภาพหัววัดในแต่ละค่าพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ไปสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ และหลังจากนั้นใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด ในการหาแนวโน้มของประสิทธิภาพ เพื่อใช้เส้นแนวโน้มไปคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงาน 477.6 keV ดังนี้

$$y = 13.86 x - 1.17 \quad (4.1)$$

เมื่อ y คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี
 x คือ พลังงานของรังสี

จากสมการ (4.1) แทนค่าพลังงาน 477.6 keV จะได้ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงเท่ากับ 0.999 %

4.1.2 ผลการศึกษาการแก้ค่าดุกกลืนรังสีในตัวอย่าง

ในการศึกษาหาค่าแก้การดุกกลืนรังสีในตัวอย่างพืชน้ำ และในสารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุในมาริเนลลิบิกเกอร์โดยทำการวัดค่าความแรงรังสีของสารต้นกำเนิดรังสีแกมมาเรเดียม-226 ที่พลังงาน 351.9 กับ 609.3 keV โดยวางสารต้นกำเนิดรังสีเรเดียม-226 ไว้บนมาริเนลลิบิกเกอร์ ที่วางอยู่บนหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และทำการวัดค่าความแรงรังสีของสารต้นกำเนิดรังสีเรเดียม-226 ที่วางอยู่บนตัวอย่างพืชน้ำและสารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุในมาริเนลลิบิกเกอร์ คำนวณหาพื้นที่ใต้พีคที่พลังงาน 351.9 กับ 609.3 keV แล้วคำนวณค่าแก้การดุกกลืนรังสี จากสมการ

$$C.F = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I_r}\right)}{1 - \left(\frac{I_r}{I_0}\right)} \quad (4.2)$$

จากสมการ (4.2) จะได้ค่าแก้การดุกกลืนรังสี ที่พลังงาน 351.9 กับ 609.3 keV จากนั้น ทำการหาค่าแก้การดุกกลืนรังสี ที่พลังงาน 477.6 keV โดยการนำ Intraporate ระหว่างค่าแก้การดุกกลืนรังสีที่พลังงาน 351.9 keV กับ ค่าแก้การดุกกลืนรังสีที่พลังงาน 609.3 keV

ดังนั้นจะได้ค่าแก้การดูดกลืนรังสีในตัวอย่างพืชน้ำ และในสารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุในมารินเนลลีนิกเกอร์ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบการแก้ค่าการดูดกลืนรังสีในตัวอย่างพืชน้ำกับสารมาตรฐาน ที่บรรจุในมารินเนลลีนิกเกอร์

ตัวอย่าง	ค่าแก้การดูดกลืนรังสี ที่พลังงาน 477.6 keV
สารมาตรฐาน	1.32
ผักตบชวาเก็บวันที่ 19/07/2008	1.33
ผักตบชวาเก็บวันที่ 20/07/2008	1.31
ผักตบชวาเก็บวันที่ 21/07/2008	1.32
ผักตบชวาเก็บวันที่ 22/07/2008	1.34
ผักตบชวาเก็บวันที่ 23/07/2008	1.30

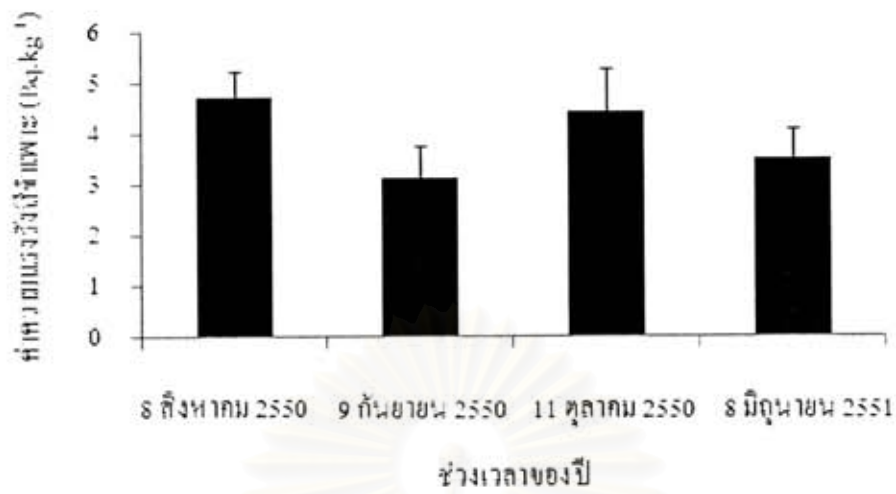
4.2 ผลความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพืชน้ำบางชนิด

การวัดความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพืชน้ำบางชนิด เช่น ผักตบชวา, แหน และจอก โดยการวัดพลังงานของรังสีแกมมาโดยตรง ที่พลังงาน 477.6 keV ซึ่งมีค่าการสลายตัวเท่ากับ 10.3% โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ที่มีค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเท่ากับ 0.999% และคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพืชน้ำบางชนิดในการวิจัยนี้เก็บตัวอย่างผักตบชวาจากบริเวณหนึ่งในคณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ส่วนตัวอย่างแหนกับจอก เก็บตัวอย่างจากบริเวณหนึ่งในเขตบางซื่อ ดังแสดงในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

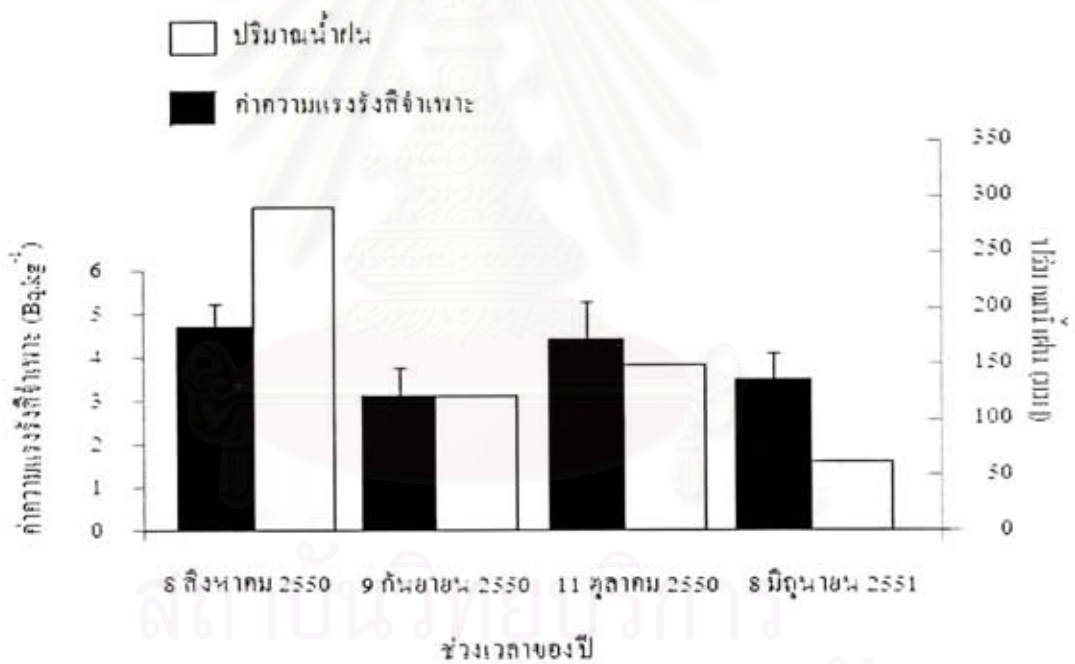
ตารางที่ 4.4 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในค้กตบชวา ช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

ช่วงเวลาของปี	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq.kg ⁻¹)
8 สิงหาคม 2550	4.73 ± 0.53
9 กันยายน 2550	3.13 ± 0.62
11 ตุลาคม 2550	4.42 ± 0.88
พฤศจิกายน 2550	ไม่ได้เก็บตัวอย่าง
16 ธันวาคม 2550	ตรวจไม่พบ
มกราคม 2550	ไม่ได้เก็บตัวอย่าง
7 กุมภาพันธ์ 2551	ตรวจไม่พบ
9 มีนาคม 2551	ตรวจไม่พบ
9 เมษายน 2551	ตรวจไม่พบ
5 พฤษภาคม 2551	ตรวจไม่พบ
8 มิถุนายน 2551	3.50 ± 0.58

หมายเหตุ : ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดเท่ากับ 2.28



รูปที่ 4.4 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในคอกตบขวา ช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

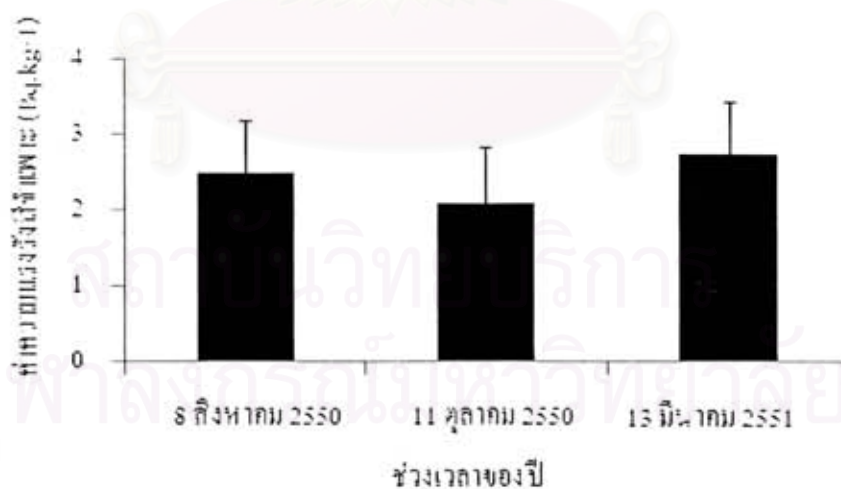


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในคอกตบขวากับปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

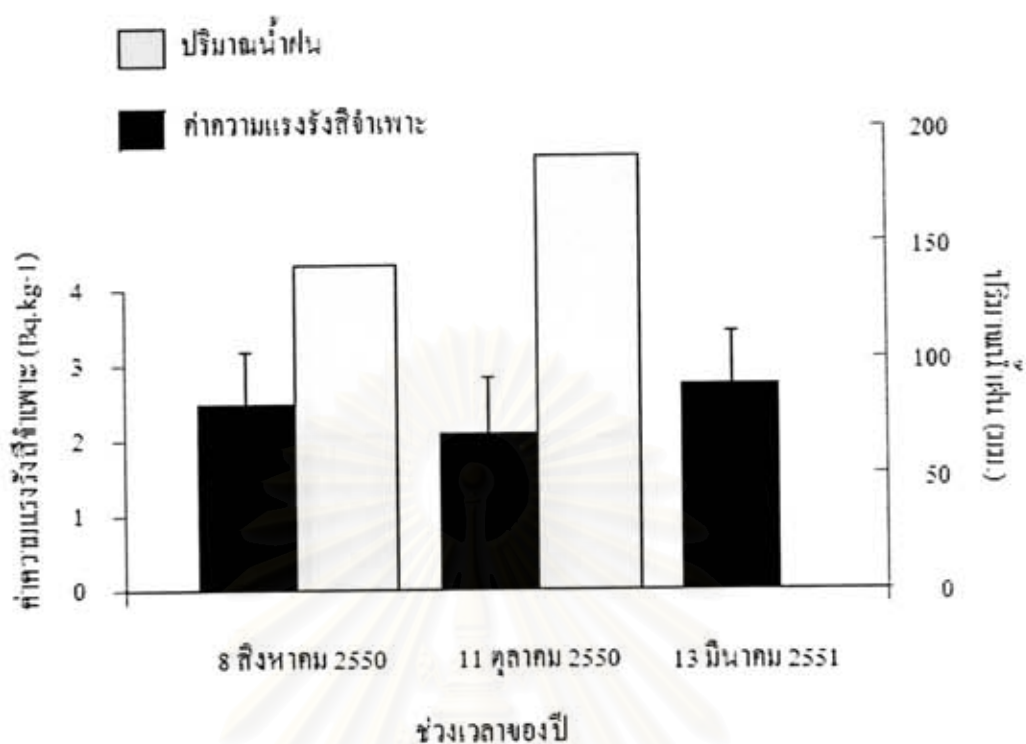
ตารางที่ 4.5 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในแหวน ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของปี

ช่วงเวลาของปี	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq.kg ⁻¹)
8 สิงหาคม 2550	2.49 ± 0.68
9 กันยายน 2550	ตรวจไม่พบ
11 ตุลาคม 2550	2.09 ± 0.75
พฤศจิกายน 2550	ไม่ได้เก็บตัวอย่าง
ธันวาคม 2550	ไม่ได้เก็บตัวอย่าง
10 มกราคม 2551	ตรวจไม่พบ
12 กุมภาพันธ์ 2551	ตรวจไม่พบ
13 มีนาคม 2551	2.74 ± 0.68
10 เมษายน 2551	ตรวจไม่พบ
5 พฤษภาคม 2551	ตรวจไม่พบ
9 มิถุนายน 2551	ตรวจไม่พบ

หมายเหตุ : ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดได้เท่ากับ 2.01



รูปที่ 4.6 กราฟค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในแหวน ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีซีซ่าของเบริลเลียม-7 ในแหล่งกับปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

ตารางที่ 4.6 ค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในจอก ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของปี

ช่วงเวลา (เดือน)	ค่าความแรงรังสีซีซ่า (Bq.kg ⁻¹)
สิงหาคม 2550	2.98 ± 0.62
มิถุนายน 2551	ตรวจไม่พบ

หมายเหตุ : ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดเท่ากับ 1.52

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเบริลเลียม-7 เข้าไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของ ผักคอบชาว ณ สถานที่เก็บบางซื่อและคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

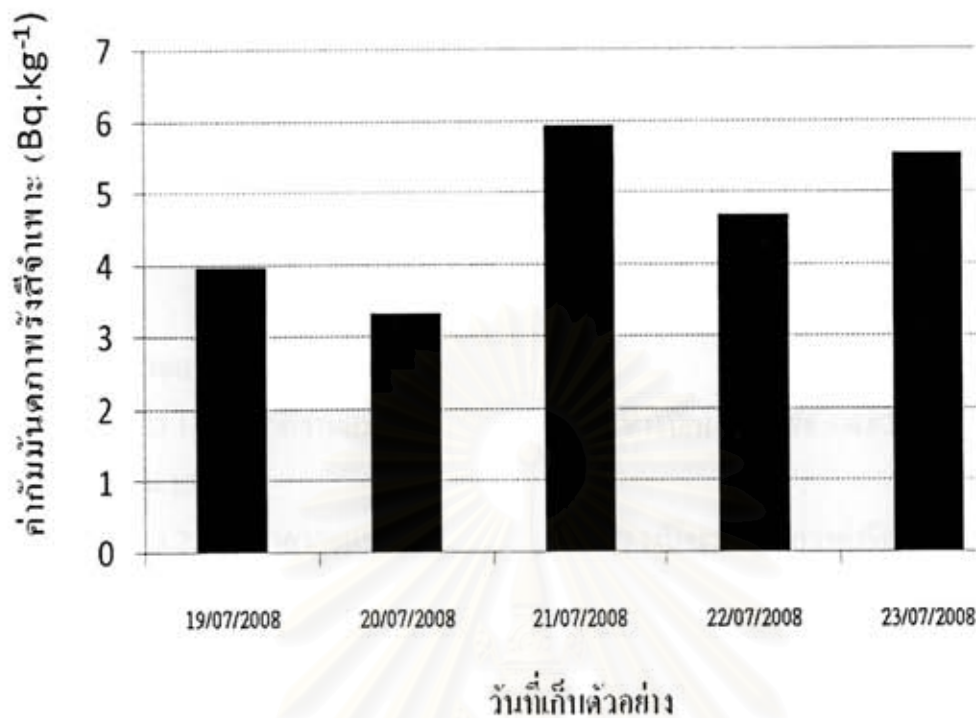
สถานที่เก็บ	ส่วนของพืช	
	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq.kg ⁻¹) ในส่วนก้าน	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq.kg ⁻¹) ในส่วนใบ
บางซื่อ	ตรวจไม่พบ	2.68 ± 0.60
คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน	ตรวจไม่พบ	3.17 ± 0.56

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการดูดซับเบริลเลียม-7 ไปสะสมใบของผักคอบชาว หลังจากที่ฝนตกลงมาในวันแรก และ ไม่มีฝนตกลงมาเพิ่มอีก โดยการเก็บตัวอย่างติดต่อกัน 5 วัน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (Bq.kg ⁻¹)
19/07/2008	3.98 ± 0.53
20/07/2008	3.33 ± 0.57
21/07/2008	5.95 ± 0.56
22/07/2008	4.69 ± 0.52
23/07/2008	5.55 ± 0.57

หมายเหตุ : ปริมาณน้ำฝนวันที่ 19/07/2008 คือ 22.4 มิลลิเมตร
(ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีเก็บน้ำฝนย่อยโรงเรียนวัดเขมาภิรตาราม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 กราฟค่าความแรงรังสีซีสียม-7 ที่ดูดซับเข้าไปสะสมในใบของผักตบชวา ในช่วงเวลาต่าง ๆ

หมายเหตุ : ฝนตกลงมาในวันที่ 19/07/2008 เพียงวันเดียว หลังจากนั้นไม่มีฝนตกลงมาเพิ่มอีก ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 22.4 มิลลิเมตร

4.3 ผลการคำนวณหาค่าความแรงรังสีซีสียม-7 ในพืชน้ำบางชนิดโดยการคำนวณทางสถิติ

4.3.1 ค่าความแรงรังสีซีสียมในผักตบชวา

4.3.1.1 ค่าความแรงรังสีซีสียมสูงสุดในช่วงปีเท่ากับ $4.73 \pm 0.53 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ใน เดือนสิงหาคม 2550

4.3.1.2 ค่าความแรงรังสีซีสียมต่ำสุดในช่วงปีจะมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด ซึ่งอยู่ในเดือนธันวาคม 2550 ถึง เดือนพฤษภาคม 2551

4.3.1.3 ค่าเฉลี่ยค่าความแรงรังสีซีสียมตั้งแต่เดือนสิงหาคม ถึง เดือนตุลาคม 2550 และเดือนมิถุนายน 2551 มีค่าเท่ากับ $3.86 \pm 0.65 \text{ Bq.kg}^{-1}$

4.3.2 ค่าความแรงรังสีซีสียมในแห่น

- 4.3.2.1 ค่าความแรงรังสีจำเพาะสูงสุดในช่วงปีเท่ากับ $2.74 \pm 0.68 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ใน เดือนมีนาคม 2551
- 4.3.2.2 ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำสุดในช่วงปีจะมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด
- 4.3.2.3 จะไม่ทำการหาค่าเฉลี่ยค่าความแรงรังสีจำเพาะ เนื่องจากจะทำให้ไม่ได้ค่าที่แท้จริง
- 4.3.3 ความแรงรังสีจำเพาะในจอก
- 4.3.3.1 ค่าความแรงรังสีจำเพาะสูงสุดในช่วงปีเท่ากับ $2.98 \pm 0.62 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ซึ่งอยู่ใน เดือนสิงหาคม 2550
- 4.3.3.2 ค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำสุดในช่วงปีจะมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด ซึ่งอยู่ในเดือนมิถุนายน 2551
- 4.3.3.3 จะไม่ทำการหาค่าเฉลี่ยค่าความแรงรังสีจำเพาะ เนื่องจากจะทำให้ไม่ได้ค่าที่แท้จริงและเนื่องจากมีจำนวนข้อมูลที่น้อย จึงไม่สามารถที่จะทำการคำนวณทางสถิติได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1.1 การจัดระบบการวัดรังสี สำหรับการวัดรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7 ที่พลังงาน 477.6 keV โดยวิธีแกมมาสเปกโตรสโคปี โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ที่มีคุณสมบัติไวต่อการนับรังสีดี ซึ่งทำให้ค่านับรังสีของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพืชน้ำที่มีปริมาณของเบริลเลียม-7 อยู่ต่ำ อาจจะถูกบดบังจากสารกัมมันตภาพรังสีที่มีค่าพลังงานสูงที่มีอยู่ในตัวอย่างพืชน้ำ ส่งผลทำให้ค่าแบคกราวด์สูง ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการเตรียมตัวอย่าง จะต้องทำความสะอาดพืชน้ำให้สะอาด เพื่อล้างเอาโคลนที่ติดอยู่ที่ส่วนต่าง ๆ ของพืชน้ำออกให้หมด และบรรจุตัวอย่างในภาชนะมารินเนลีสีกเกอร์ และหัววัดก็บรรจุอยู่ในตู้ตะกั่วที่ปิดล้อมหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงทุกด้าน เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการวัดรังสีที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากระบบหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ที่ใช้ทำการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้ร่วมกับการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นงานประจำที่หัววัดนี้ทำงาน จึงไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนระบบการวัดได้มากมาย เพราะอาจส่งผลกระทบต่องานประจำของหัววัดนี้

5.1.2 การศึกษาการเคลื่อนย้ายตัวของเบริลเลียม-7 จากชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลก โดยการวัดค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝนโดยตรงนั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ที่รวมตัวอยู่กับตัวอย่างน้ำฝนนั้นมีปริมาณน้อยมาก จนไม่สามารถที่จะตรวจวัดได้โดยตรง ดังนั้นเราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้พืชน้ำบางชนิด เช่น ผักตบชวา จอกแหน เป็นต้น ๑ ที่ลอยตัวอยู่บนพื้นผิวน้ำตามแหล่งต่าง ๆ เป็นตัวดูดซับ เบริลเลียม-7 ที่รวมตัวมากับน้ำฝน เข้าไปสะสมในส่วนต่างของพืชน้ำ แล้วนำพืชน้ำเหล่านั้นมาวัดวิเคราะห์หาปริมาณเบริลเลียม-7 เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 กับช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี และศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 กับ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาสู่พื้นผิวโลก

5.1.3 การหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝน ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝน ดังนี้

5.1.3.1 หาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง โดยใช้สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุอยู่ในมารินเนลลิบิกเกอร์ ขนาด 1 ลิตร หาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงกับพลังงานของรังสี ปรากฏว่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงที่พลังงาน 477.6 keV มีค่าประมาณ 1%

5.1.3.2 การตรวจสอบค่าแก้การคูกกลืนรังสีโดยตัวอย่างเอง (Correction Factor) เนื่องจากผลการหาค่าแก้การคูกกลืนรังสีโดยตัวอย่างเองของสารมาตรฐานกับค่าแก้การคูกกลืนรังสีโดยตัวอย่างเองของตัวอย่างพีชน้ำมีค่าประมาณ 1.3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นเราจึงไม่จำเป็นต้องแก้ค่าการคูกกลืนรังสีโดยตัวอย่างเองของตัวอย่างพีชน้ำ

5.1.3.3 การหาค่าความสามารถในการดูดซับเบริลเลียม-7 จากการวัดค่าความแรงรังสีจำเพาะในตัวอย่างพีชน้ำทั้ง 3 ชนิด เพื่อศึกษาว่าพีชชนิดใดมีประสิทธิภาพในการดูดซับเบริลเลียม-7 ได้ดีกว่ากัน ปรากฏว่าผักคบบขามีประสิทธิภาพในการดูดซับเบริลเลียม-7 ได้ดีที่สุด ส่วนพีชอีกสองชนิดคือ จอกกับแหนจะได้ค่าความแรงรังสีจำเพาะมีค่าไม่ต่างจากค่าแบคกราวด์

5.1.4 จากการศึกษาข้างต้นจึงได้ทำการทดลองวัดค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในผักคบบขาและแหน โดยการเก็บตัวอย่างผักคบบขาและแหน จากคลองน้ำคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ และที่เขตบางซื่อ ตามลำดับ ในช่วง เดือนสิงหาคม 2550 ถึง เดือนกรกฎาคม 2551 มาวัดรังสีแกมมาโดยตรงที่พลังงาน 477.6 keV โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง โดยใช้เวลานับรังสีเท่ากับ 80,000 วินาที ปรากฏว่า ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในผักคบบขาแปรผันกับช่วงเวลาต่าง ๆ ของปีดังนี้คือ จะมีค่าสูงในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง เดือนตุลาคม 2550 และ เดือน มิถุนายน 2551 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 อยู่ระหว่างประมาณ $3.5 - 5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ส่วนในช่วงฤดูแล้ง คือ ฤดูหนาว และฤดูร้อนของปี มีค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำกว่าค่าขีดจำกัดค่าสุดที่ของการวัด ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในผักคบบขาขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกตามที่ได้คาดไว้ ส่วนค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในแหนนั้นส่วนใหญ่มีค่าความแรงรังสีจำเพาะต่ำกว่าค่าขีดจำกัดค่าสุดในการวัด และค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในแหนจะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา และค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่พบในจอกนั้นไม่สามารถที่จะดูความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากมีข้อมูลน้อยมากเพราะไม่สามารถหาแหล่งในการเก็บตัวอย่างได้ตลอดทั้งปี การวิจัยขั้นต่อไปจะได้นั้นศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในน้ำกับในผักคบบขา และอัตราการดูดซับเบริลเลียม-7 ของผักคบบขา

5.1.5 O. Epik and G. Yaprak ทำการวิจัยเรื่องความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีจาก Cs-137, K-40 และเบริลเลียม-7 ในใบของต้นสนเข็ม ในป่าสนรอบเมือง Izmir ประเทศตุรกี

งานวิจัยนี้ทำการหาปริมาณความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์ทำขึ้นมาแล้วเกิดการฟุ้งกระจายอยู่บนท้องฟ้า คือ Cs-137 และสารกัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติ ได้แก่ K-40 และเบริลเลียม-7 ในไบสนเข็มแบบสดและแบบแห้ง จากป่าสนบริเวณเมือง Izmir โดยใช้ห้วัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 25% พบว่าความเข้มข้นของ Cs-137, K-40 และเบริลเลียม-7 เท่ากับ 0.01, 0.1 และ 4.36 Bq.kg⁻¹ ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ที่ได้ในงานวิจัยนี้ มีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 3.5 – 5 Bq.kg⁻¹ ซึ่งมีค่าความแรงรังสีจำเพาะอยู่ในช่วงเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ยังแปรผันตามค่าแอดติจูด (altitude) และละติจูด (latitude) ของแต่ละภูมิภาคอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การจัดระบบการวัดค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝนและในพืชน้ำบางชนิด ที่มีค่าความแรงรังสีอยู่น้อยโดยใช้ห้วัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง อาจจะถูกรบกวนจากสารกัมมันตภาพรังสีตัวอื่นที่มีพลังงานรังสีที่สูงกว่า ส่งผลทำให้เกิดค่าเบคกราวด์ที่สูงซึ่งอาจจะไปกลบทับค่าของเบริลเลียม-7 ได้ ดังนั้นจึงควรจัดระบบการวัดรังสีให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของห้วัดให้ดีขึ้น และจัดห้วัดรังสีให้แนบชิดกับตัวอย่างให้มากที่สุด และกำจัดเครื่องกำบังรังสีที่มีเบคกราวด์ต่ำ ๆ

5.2.2 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของห้วัดรังสีที่พลังงานของรังสีแกมมา 477.6 keV ที่แท้จริง ควรใช้สารละลายมาตรฐานเบริลเลียมคลอไรด์ (Beryllium chloride) ที่ติดฉลากด้วยเบริลเลียม-7 หยดลงไปในตัวอย่างและคลุกเคล้าทั่วแล้วบรรจุลงในภาชนะ แทนการใช้สารมาตรฐาน Multinuclides ที่บรรจุในมารินเนลลิบิกเกอร์

5.2.3 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับเบริลเลียม-7 ที่แท้จริง โดยใช้พืชน้ำทั้ง 3 ชนิด ว่าพืชชนิดใดจะมีประสิทธิภาพการดูดซับเบริลเลียม-7 ได้ดีกว่ากัน ควรใช้สารละลายมาตรฐานเบริลเลียมคลอไรด์ (Beryllium chloride) ที่ติดฉลากด้วยเบริลเลียม-7 แทนการใช้น้ำฝนที่ตกลงมาในแหล่งน้ำที่พืชทั้ง 3 ชนิดนี้อยู่

5.2.4 การหาค่าแก้การดูดกลืนรังสีในตัวอย่างที่พลังงาน 477.6 keV ควรใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานเบริลเลียม-7 จะทำให้ได้ค่าแก้การดูดกลืนรังสีในตัวอย่างได้ถูกต้องมากขึ้น

5.2.5 การหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับเบริเลียม-7 ที่แท้จริง โดยใช้พีชน้ำทั้ง 3 ชนิด ว่าพีชนิดใดจะมีประสิทธิภาพการดูดซับเบริเลียม-7 ได้ดีต่อกัน ควรจะจัดตัวแปรควบคุมต่าง ๆ ให้มีลักษณะที่เหมือนกัน โดยการจัดให้พีทั้ง 3 ชนิด อยู่ในแหล่งน้ำเดียวกัน

5.2.6 เพื่อศึกษาว่าค่าความแรงรังสีของเบริเลียม-7 แปรผันตามค่าระดับความสูง และตำแหน่งบนพื้นโลกของแต่ละภูมิภาค จึงควรเก็บตัวอย่างในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศด้วย

5.2.7 การหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝน โดยใช้พีชนิดอื่นเป็นตัวดูดซับเบริเลียม-7 เช่น หนุ่ยวนวณ้อย ใบสนทะเล ผักบุ้งทะเล ผักกะเฉด เป็นต้น

5.2.8 เทคนิคการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริเลียม-7 ในตัวอย่างพีชน้ำบางชนิด โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถใช้ในการหาข้อมูลจากตัวอย่างน้ำฝนในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาหาอายุของน้ำฝนตั้งแต่ฝนตก การใช้เบริเลียม-7 เป็นไอโซโทปรังสีติดตาม ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติ (natural occurring radioisotopic tracer) เพื่อหาทิศทางของน้ำฝนที่ไหลตามบริเวณพื้นผิวดิน และการผสมระหว่างน้ำฝนที่ตกใหม่กับน้ำในแหล่งน้ำ เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] S. Sugihara. Variation of Atmospheric Be-7 and Pb-210 Deposition at Fukuoka, Japan. Shinji Sugihara, Noriyuki Momoshima, Yonezo Maeda, Susumu Osaki. 10th International Congress of the International Radiation Protection Association, 2000.05.
- [2] O. Epik. Cs-137, K-40 and Be-7 Activity Concentration in pine Needles in Coniferous Forest around Izmir. General Conference of the Balkan Physical : 5 (August 2003) : 1507 - 1510.
- [3] N. Karunakara. Ra-226, K-40 and Be-7 activity concentrations in plants in the environment of Kaiga, India. Journal of Environmental Radioactivity 65 (2003) : 225 - 266
- [4] วริภรณ์ รัตนิสสัย. การพัฒนาเทคนิคการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างน้ำฝน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [5] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement 3rd. New York: John Wiley & sons, 1999.
- [6] J.R. Coope. Radioactivity Releases in the Environment : Impact and Assesment. John Wiley & Sons. West Sussex, 2003
- [7] C. Duenas. Variation of the concentration of long-lived Rn descendants and cosmogenic Be-7 and determination of the MRT of aerosol. Atmospheric Environment 38 (2004): 1291 – 1310.
- [8] D. Al-Azmi. Variations in ⁷Be concentrations in the atmosphere of Kuwait during the period 1994 to 1998. Applied Radiation and Isotopes 55 (2001): 413 – 417.
- [9] Romney, E. M., and Childress, J. D. (1965). Soil Sci. 100, 210–217.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างพืชน้ำ

$$\text{ค่านับรังสีสุทธิของเบริลเลียม-7} = (\text{ค่านับรังสีรวมของเบริลเลียม-7}) - (\text{ค่านับรังสีรวมของแบคกราวด์เบริลเลียม-7})$$

$$\text{ค่านับรังสีของเบริลเลียม-7} = \frac{\text{ค่านับรังสีสุทธิของเบริลเลียม-7}}{\text{เวลานับรังสี}}$$

$$\text{ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ (HPGe)} = 0.999 \%$$

น้ำหนักของตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

$$\text{ค่าการสลายตัวรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7} = 10.3 \%$$

ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7

$$= \frac{\text{ค่านับรังสีสุทธิของเบริลเลียม-7}}{\text{ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี} \times \text{น้ำหนักของตัวอย่าง} \times \text{ค่าการสลายตัวรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7}}$$

$$\text{ค่าความแรงรังสีจำเพาะเคมีของเบริลเลียม-7} = \frac{\text{ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7}}{e^{-\lambda t}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7 ในตัวอย่างที่ชน้ำ

(ตัวอย่างใบผักตบชวา วันที่ 19 กรกฎาคม 2551)

ค่านับรังสีรวมของเบริลเลียม-7	=	1001 ± 31.64 (counts/80,000 sec)
ค่านับรังสีรวมของแบคกราวด์เบริลเลียม-7	=	696 ± 26.38 (counts/80,000 sec)
ค่านับรังสีสุทธิของเบริลเลียม-7	=	305 ± 17.46 (counts/80,000 sec)
เวลานับรังสี	=	80,000 seconds
ค่านับรังสีที่แท้จริงของเบริลเลียม-7 (cps)	=	0.003812 ± 0.000218
ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี HPGe	=	0.999 %
ค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7	=	0.3816 ± 0.0218 Bq
ค่าการสลายตัวรังสีแกมมาของเบริลเลียม-7	=	10.3 %
ค่าความแรงรังสีของเบริลเลียม-7	=	3.7048 ± 0.2116 Bq
น้ำหนักของตัวอย่างผักตบชวา	=	0.9415 kg.
ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเบริลเลียม-7	=	3.935 ± 0.2248 Bq.kg ⁻¹
ค่าครึ่งชีวิตของเบริลเลียม-7	=	53.3 วัน
ค่าความแรงรังสีจำเพาะเดิมของเบริลเลียม-7	=	3.9865 ± 0.2277 Bq.kg ⁻¹

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รายงานปริมาณน้ำฝนตั้งแต่เดือนมกราคม 2550 – กรกฎาคม 2551 ของกรมอุตุนิยมวิทยา

ณ กองกำกับการสายตรวจฯ ซึ่งใกล้เคียงกับสถานที่เก็บตัวอย่าง

คณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

และ โรงเรียนวัดเขมาภิรตาราม ซึ่งใกล้เคียงกับสถานที่เก็บตัวอย่างซอยสุขสันต์ เขตบางซื่อ



กรมอุตุนิยมวิทยา

๔๓๕๓ ถนนสุขุมวิท บางนา กรุงเทพฯ ๑๐๒๖๐

METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 SUKHUMVIT ROAD, BANGKOK 10260, THAILAND

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานี	STATION	วันที่และปริมาณฝนรายวัน (มม.)							ปริมาณฝนรวม (มม.)	
		Date and daily rainfall (mm)							Total rainfall (mm)	
		มกราคม 2550							รวม	รวมตั้งแต่
		January 2007							7 วัน	1 มกราคม
		1	2	3	4	5	6	7	Weekly	Total since
									Total	1 January
เขตหัวขวาง	Khet Huai Khwang									
ร.ร.ศลวิทยา	Don Withaya School								0.0	0.0
เขตบางกะปิ	Khet Bang Kapi									
สำนักงานเขตบางกะปิ	Khet Bang Kapi Office								0.0	0.0
มหาวิทยาลัยรามคำแหง	Ramkhamhaeng University								0.0	0.0
ร.ร.วัดปิ่งทองกลาง	Wat Bung Thonglang School								0.0	0.0
เขตวังทองหลาง	Khet Wang Thonglang									
โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว	Karutapa Printing Production								0.0	0.0
เขตคันนายาว	Khet Khanna Yao									
บริษัท ทาคาดา จำกัด	Takeda Co.,Ltd.								0.0	0.0
เขตป้อมปราบ	Khet Baeng Kum									
วัดนวมจันทร์	Wat Nuan Chan School								0.0	0.0
ร.ร.คลองกุ่ม	Klong Kum School								0.0	0.0
เขตสะพานสูง	Khet Sa Phan Soong									
ร.ร.สมโภชกรุงฯ อัญสาวรณ 200 ปี	Bangkok Bicentennial Anniversary school								0.0	0.0
ร.ร.เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า	Nom Klao Pre-Graduate School								0.0	0.0
เขตจตุจักร	Khet Chatuchak									
ร.ร.บ้านลาดพร้าว	Ban Lat Phrao School								0.0	0.0
สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	Off. of the Atomic Energy for Peace								0.0	0.0
กองกำกับการสายตรวจฯ	Metropolitan Patrol and Special Operations								0.0	0.0
สถาบันการบินพลเรือน	Civil Aviation Training Centre								0.0	0.0
เขตบางเขน	Khet Bang Khen									
ศูนย์การแพทย์และอนามัย	Medical and Health Center								0.0	0.0
กองบังคับการฯ	Police Aviation Division								0.0	0.0
ร.ร.บ้านบัวมอ	Ban Buamom School								0.0	0.0
เขตสายไหม	Khet Sai mai									
ร.ร.วัดรามวรวิชัยธรรม	Wat Ratsiyonstam School								0.0	0.0
เขตดอนเมือง	Khet Don Muang									
แขวงการทางกรุงเทพฯ	Bangkok Highway District								0.0	0.0
หมู่บ้านปิ่นเจริญ	Pin Charoen Village								0.0	0.0
เขตห้วยขวาง	Khet Huai Khwang									
สำนักงานเขตห้วยขวาง	Khet Huai Khwang Office								0.0	0.0
ร.ร.สุวรรณพลับพลาพิทยาคม	Suwan Plabpla Pittayakorn School								0.0	0.0
ร.ร.วัดทอง	Wat Thong School							1.3	1.3	1.3
ร.ร.โพธิ์สารพิทยากร	Photisan Pittayakon School								0.0	0.0
เขตทวีวัฒนา	Khet Taweewattana									
ร.ร.นวมินทรราชินูทิศ สตรีวิทยา	Nawamintrachinutit Satrie Wittaya School								0.0	0.0
เขตรามอินทรา	Khet Rat Burana									
สำนักงานเขตรามอินทรา	Khet Rat Burana Office								0.0	0.0
เขตทุ่งครุ	Khet Thung Khru									
อิสลามวิทยาลัยแห่งประเทศไทย	Islamic College of Thailand								0.0	0.0
เขตบางกอกน้อย	Khet Bangkok Noi									
สำนักงานเขตบางกอกน้อย	Horticulture Research Station								0.0	0.0

สถานี	STATION	วันที่และปริมาณฝนรายวัน (มม.)							ปริมาณฝนรวมและผลต่างจากปกติ (มม.) **			
		Date and daily rainfall (mm)							Total rainfall and departure from normal (mm) **			
		มกราคม 2550							ฝนรวม 7 วัน Weekly	ผลต่าง	รวมตั้งแต่ 1 มกราคม Since 1	ผลต่าง
		January 2007										
1	2	3	4	5	6	7	Total	Departure	January	Departure		
สุรินทร์*	Surin*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.7	0.0	-0.7
สกน.สุรินทร์*	Surin Agromet*								0.0	-1.2	0.0	-1.2
ท่าตูม*	Tha Tum*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.0	-0.4
รัตนบุรี	Ratnaburi								0.0		0.0	
สังขะ	Sangkha								0.0		0.0	
ศีขรภูมิ	Sikhoraphum								0.0		0.0	
ชุมพลบุรี	Chumphon Buri								0.0		0.0	
สำโรงหาบ	Samroong Thap								0.0		0.0	
จอมพระ	Chom Phra								0.0		0.0	
กิ่งอำเภอลำดวน	King A. Lamduan								0.0		0.0	
สถานีทดลองข้าวสุรินทร์	Surin Rice Research Sta								0.0		0.0	
สนาม	Sanom								0.0		0.0	
บุรีรัมย์	Buri Ram								0.0		0.0	
นางรอง*	Nang Rong*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	0.0	-0.4
ท่าอากาศยานบุรีรัมย์ อ.สตึก	Se Tuk								0.0		0.0	
ละหานทราย	Lahan Sai								0.0		0.0	
ประโคนชัย	Prakhon Chai								0.0		0.0	
พุทไธสง	Phuthaisong								0.0		0.0	
ภาคกลาง	CENTRAL PART											
นครสวรรค์*	Nakhon Sawan*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	T	T	0.0	-1.7	0.0	-1.7
สกน.ตากฟ้า*	Tak Fa Agromet*								0.0	-1.6	0.0	-1.6
ท่าตะโก	Tha Tako								0.0		0.0	
ชุมแสง	Chummaeng								0.0		0.0	
พยุหะคีรี	Phayuha Khiri								0.0		0.0	
ไพศาลี	Phaisali								0.0		0.0	
ชัยนาท*	Chai Nat Agromet*	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	-0.3
มโนรมย์	Manorom								0.0		0.0	
วัดสิงห์	Wat Sing								0.0		0.0	
อุทัยธานี	Uthai Thani								0.0		0.0	
บ้านไร่	Ban Rai								0.0		0.0	
หนองขาหย่าง	Nong Khayang								0.0		0.0	
หนองฉาง	Nong Chang								0.0		0.0	
ทัพทัน	Thap Than								0.0		0.0	
สว่างอารมณ์	Sawang Aron								0.0		0.0	
ลานสัก	Lan Sak								0.0		0.0	
กิ่ง อ.ห้วยคต	King A. Huai Kot								0.0		0.0	
สิงห์บุรี	Sing Buri								0.0		0.0	
อ่างทอง	Ang Thong								0.0		0.0	
สระบุรี	Saraburi								0.0		0.0	
แก่งคอย	Kaeng Khoi								0.0		0.0	
พระนครศรีอยุธยา*	Phra Nakhon Si Ayutthaya								0.0	-0.2	0.0	-0.2
ปทุมธานี	Pathum Thani								0.0		0.0	
รังสิต (ศูนย์วิจัยข้าว)*	Rangsit*								0.0		0.0	
ธัญบุรี	Thanyaburi								0.0		0.0	
หนองเสือ	Nong Suei								0.0		0.0	
ลำลูกกา	Lam Luk Ka								0.0		0.0	
นนทบุรี	Nonthaburi								0.0		0.0	
บางบัวทอง	Bang Bua Thong								0.0		0.0	
บางกรวย	Bang Kruai								0.0		0.0	
ไทรน้อย	Sai Noi								0.0		0.0	
ร.ว.วัดเขมาภิรตาราม	Wat Khamapirataran Sch.								0.0		0.0	

** ค่าปกติ 30 ปี (พ.ศ. 2514 - 2543)

** NORMAL (1971 - 2000)

ภาคผนวก ง

ใบ Certificate ของต้นกำเนิดรังสี

A
CANBERRA

Certificate of Calibration

GAMMA RAY STANDARD

Radionuclide: Cs-137 Half-Life: 30.2 y
Serial Number: D-101-10 Type: 2" x 1/8" Disk

This source has been calibrated with a HPGe detector for which the efficiency has been established with IAEA or NIST traceable standards. The gamma lines listed were measured to determine the stated activity as a weighted average with an uncertainty estimated at 5%.

Calibration Date: 27-Jun-05 Julian Day: (245) 3549

Activity: 38 100 Bq 1.03 μ Ci

Photon Energy (keV)	Intensity (%)	Emission Rate (sec ⁻¹)
<u>661.6</u>	<u>85.0</u>	<u>32 400</u>
<u>32.0 Kα</u>	<u>5.8</u>	<u>2 210 *</u>
<u>36.4 Kβ</u>	<u>1.3</u>	<u>495 *</u>

* calculated

Certified by: Carmen Jones Date: 6-27-05

Canberra Industries, Inc.

107 Lincolnshire Road, Oak Ridge, Tennessee 37830-9049 - Tel: 865-220-8300 Fax: 865-483-0400

A
CANBERRA

Certificate of Calibration

GAMMA RAY STANDARD

Radionuclide: Co-60 Half-Life: 5.26 y
Serial Number: D-101-8 Type: 2" x 1/8" Disk

This source has been calibrated with a HPGe detector for which the efficiency has been established with IAEA or NIST traceable standards. The gamma lines listed were measured to determine the stated activity as a weighted average with an uncertainty estimated at 5%.

Calibration Date: 28-Jun-05 Julian Day: 245 3550

Activity: 33 300 Bq 0.900 μ Ci

Photon Energy (keV)	Intensity (%)	Emission Rate (sec ⁻¹)
<u>1173.2</u>	<u>100</u>	<u>33 300</u>
<u>1332.5</u>	<u>100</u>	<u>33 300</u>

Certified by: Carmen Jones Date: 6-28-05

Canberra Industries, Inc.

121 Union Valley Road • Danbury, Tennessee 37606-8040 • Tel: 865-220-9000 • Fax: 865-483-0400

สภามหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Eckert & Ziegler

Isotope Products

24937 Avenue Tibbitts
Valencia, California 91355

Tel 661-309-1010
Fax 661-257-8303

CERTIFICATE OF CALIBRATION MULTINUCLIDE STANDARD SOURCE

Customer:	AMALE INTERNATIONAL	Source No.:	1364-6
P.O. No.:	2853-THI	Reference Date:	1-Jan-09 12:00 PST
Catalog No.:	EG-ML	Contained Radioactivity:	1.001 μ Ci 37.04 kBq

Physical Description:

A. Capsule type:	1L Marinelli beaker (130G)
B. Nature of active deposit:	Multinuclide distributed in 1.0 g/cc epoxy matrix
C. Active diameter/volume:	Approximately 1000mL (1000 grams)
D. Backing:	Plastic
E. Cover:	Plastic

Gamma-Ray Energy (keV)	Nuclide	Half-life	Branching Ratio (%)	Activity (μ Ci)	Gamma per second	Total Uncert.
60	Am-241	432.17 \pm 0.66 years	36.0	0.02945	392.3	3.1 %
88	Cd-109	462.6 \pm 0.7 days	3.63	0.4115	552.7	3.0 %
122	Co-57	271.79 \pm 0.09 days	85.6	0.01523	482.4	3.1 %
166	Ce-139	137.640 \pm 0.023 days	79.9	0.01924	568.8	3.0 %
279	Hg-203	46.595 \pm 0.013 days	81.5	0.06193	1867	3.2 %
392	Sn-113	115.09 \pm 0.04 days	64.9	0.06932	1665	3.0 %
514	Sr-85	64.849 \pm 0.004 days	98.4	0.09395	3421	3.0 %
662	Cs-137	30.17 \pm 0.16 years	85.1	0.06657	2096	3.0 %
898	Y-88	106.630 \pm 0.025 days	94.0	0.1525	5304	3.0 %
1173	Co-60	5.272 \pm 0.001 years	99.86	0.08126	3002	3.0 %
1333	Co-60	5.272 \pm 0.001 years	99.98	0.08126	3006	3.0 %
1835	Y-88	106.630 \pm 0.025 days	99.4	0.1525	5609	3.0 %

Method of Calibration:

This source was prepared from weighed aliquots of solutions whose concentrations in μ Ci/g were determined by gamma spectrometry.

Notes:

- See reverse side for leak test(s) performed on this source.
- EZIP participates in a NIST measurement assurance program to establish and maintain implicit traceability for a number of nuclides, based on the blind assay (and later NIST certification) of Standard Reference Materials (as in NRC Regulatory Guide 4.15).
- Nuclear data was taken from IAEA-TECDOC-619, 1991.
- Overall uncertainty is calculated at the 99% confidence level.
- This source has a working life of 1 year.

Daniel James Van Dalen
Quality Control

6-Jan-09
Date

EZIP Ref. No.: 1364-6

ISO 9001 CERTIFIED

Medical Imaging Laboratory
24937 Avenue Tibbitts Valencia, California 91355

Industrial Gauging Laboratory
1800 North Keystone Street Burbank, California 91504

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนพพร อิ่มแฉล้ม เกิดเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง พ.ศ. 2546

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบันคือนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการงานวัดกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสินค้าส่งออก ฝ่ายตรวจวัดวิเคราะห์โดยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย