การวิเคราะห์หาธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแครอต มันสำปะหลังและหัวไชเท้า โดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโคปี

นางกนกพร ธรฤทธิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF NATURAL RADIOACTIVITY IN CARROT , TAPIOCA AND CHINESE RADISH BY GAMMA-RAY SPECTROSCOPY

Mrs. Kanokporn Thorarith

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์หาธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า โดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโคปี

โดย นางกนกพร ธรฤทธิ์

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ยุทธนา ตุ้มน้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.ยุทธนา ตุ้มน้อย)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อุดร ยังช่วย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กนกพร ธรฤทธิ์ : การวิเคราะห์หาธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้าโดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโคปี.(ANALYSIS OF NATURAL RADIOACTIVITY IN CARROT, TAPIOCA AND CHINESE RADISH BY GAMMA-RAY SPECTROSCOPY). อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.ยุทธนา ตุ้มน้อย, 68 หน้า.

ได้ทำการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า จากแหล่งเพาะปลูกต่าง ๆ กัน โดยใช้วิธีแกมมาเรย์สเปกโตรเมตรีที่ใช้หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 20 % แต่ละตัวอย่างต้องผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสวันละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน แล้วบรรจุลงในบีกเกอร์แบบมาริเนลลี หลังจากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 30,000 วินาที เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานสองชนิด คือ สารมาตรฐาน IAEA Soil-375 และสารมาตรฐานนิวไคลด์กัมมันตรังสีผสมของบริษัท Eckert & Ziegler ผลการวิจัยพบว่า มี Ra-226 และ Ac-228 ในระดับต่ำในบางตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในช่วง 0 – 26.4 และ 0 – 5.8 Bq/kg โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ในขณะที่พบ K-40 ในทุกตัวอย่าง อยู่ในช่วง 230 - 2150 Bq/kg โดยน้ำหนักแห้ง โดยพบว่าตัวอย่างหัวไชเท้ามี K-40 มากกว่าในตัวอย่างแครอตและมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างมันสำปะหลัง 2 ชนิด คือ ชนิดที่ใช้เป็นอาหารได้โดยตรงและชนิดที่ใช้ทำแป้งมันสำปะหลัง มี K-40 แตกต่างกันด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

4970202921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : RADIOACTIVITY / TAPIOCA / CARROT / GAMMA SPECTROSCOPY / GAMMA-RAY

KANOKPORN THORARITH : ANALYSIS OF NATURAL RADIOACTIVITY IN CARROT TAPIOCA AND CHINESE RADISH BY GAMMA-RAY SPECTROSCOPY. ADVISOR : ASSOC.PROF. NARES CHANKOW, CO-ADVISOR : YUTTANA TUMNOI, Ph.D., 68 pp.

Natural radionuclides in carrot, tapioca and Chinese radish samples collected from different planting locations were analyzed by gamma-ray spectrometry using a high purity germanium (HPGe) detector with a relative efficiency of 20%. Each sample was dried in an oven at 100° C for 8 hours per day for 3 days then contained in a Marinelli beaker. It was then counted for 30,000 seconds in comparison to the IAEA-375 soil standard and a multiradionuclides standard from Eckert&Ziegler company. Ra-226 and Ac-228 were found in some samples at trace level in the range of 0 – 26.4 and 0 – 5.8 Bq/kg dry weight respectively while K-40 was found in all samples in the range of 230 – 2150 Bq/kg dry weight. The result presented K-40 in Chinese radish was higher than in carrot and tapioca samples. In addition, the present work showed the different levels of potassium contents in two different type of tapioca samples including edible and starch producing types.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Nuclear Technology	Student's Signature Kanokporn Thorarith
Field of Study : Nuclear Technology	Advisor's Signature Nares Chankow
Academic Year : 2008	Co-Advisor's Signature Yuttana Tumnoi

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งได้รับการแก้ไขข้อบกพร่องจาก รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดอกเตอร์ยุทธนา ตุ้มน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ และดอกเตอร์อุดร ยังช่วย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณสุชิน อุดมสมพร สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่กรุณาเอกสารประกอบการค้นคว้าวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ คุณเจริญ ทะนันไทสง และ คุณนพพร ยิ้มแฉล้ม เจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอบ และอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คุณชะเอม พันธุ์จิต และคุณสมพิศ แจ้งเจริญ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการเก็บตัวอย่างมันสำปะหลัง และ คุณประทุมพร แซ่โซว ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการเก็บตัวอย่างหัวไชเท้า

ขอขอบพระคุณ คุณวุฒิเดช ธรฤทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวัดรังสีแกมมา และสารมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้กรุณาเงินทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์ จนงานวิจัยสำเร็จได้

ท้ายที่สุดนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากกำลังใจที่สำคัญจาก คุณพ่อ คุณแม่ น้องๆ และญาติทุกคนที่คอยห่วงใย รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้การช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2. ทฤษฎี	7
2.1 แหล่งกำเนิดของกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม	7
2.2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม	14
2.3 สมดุลของสารกัมมันตรังสี	16
2.4 สารกัมมันตรังสี	17
2.5 รังสีแกมมา	20
2.6 ระบบการวัดรังสีแกมมา	22
2.7 การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ	23
3. การทดลอง	24
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	24
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	28
4. ผลการวิจัย	32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

4.1 ผลการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีสำหรับตัวอย่างพืช................ 32

4.2 ผลการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในตัวอย่าง แครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า และขีดจำกัดของการวัดของนิวไคลด์ที่พลังงานต่างๆ.. 35

4.3 ผลการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีสำหรับตัวอย่างดิน................ 40

4.4 ผลการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในตัวอย่างดินที่ใช้เพาะปลูกมันสำปะหลัง และหัวไชเท้า.. 41

4.5 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์ต่างๆที่พบในพืชกับดินที่ใช้เพาะปลูก.. 43

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในตัวอย่างพืชและดิน.. 48

5. สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.. 51

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.. 51

5.2 ข้อเสนอแนะ... 52

รายการอ้างอิง.. 53

ภาคผนวก... 55

ภาคผนวก ก แครอต.. 56

ภาคผนวก ข มันสำปะหลัง.. 58

ภาคผนวก ค หัวไชเท้า.. 61

ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K - 40 ในตัวอย่างและค่าขีดจำกัดของการวัด............................ 63

ภาคผนวก จ ค่าขีดจำกัดของการวัด.. 66

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนผังอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม..	9
2.2	แผนผังอนุกรมการสลายตัวของทอเรียม……………………………………	11
2.3	แสดงแผนผังการสลายตัวของโพแทสเซียม-40..	13
2.4	เส้นทางการได้รับรังสีของมนุษย์จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ในบรรยากาศ.....	15
2.5	บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัด การแปลความหมายและการแสดงผล	22
3.1	หัววัดรังสีที่อยู่ภายในตะกั่วต่ออยู่กับถังบรรจุไนโตรเจนเหลว………………….	25
3.2	ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและเชื่อมต่อกับ	
	หัววัดรังสี………………………………………………………………………	25
3.3	หัววัดรังสี HPGe ในกำบังรังสีทำจากตะกั่ว...	26
3.4	สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (Standard Source) สำหรับหาประสิทธิภาพของ	
3.4	หัววัดรังสี...	26
3.5	Standard soil IAEA – 375………………………………………………..	27
3.6	ภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า....................	27
4.1	สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของ	
	หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง…………………………………………….	32
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับพลังงานต่างๆ……..	35
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับพลังงานต่างๆของ	
	สารมาตรฐานดิน IAEA – 375………………………………………………..	41
4.4	กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226 ในดินกับหัวไชเท้า	48
4.5	กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในดินกับหัวไชเท้า	48
4.6	กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ในดินกับหัวไชเท้า	49
4.7	กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในดินกับ	
	มันสำปะหลัง………………………………………………………………....	49
4.8	กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ในดินกับ	
	มันสำปะหลัง..	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์มีโอกาสรับสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกายโดยทางอาหารเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมนุษย์จำเป็นต้องมีการบริโภคพืชต่างๆในการดำรงชีวิต โดยที่พืชต่างๆเหล่านี้ต้องเพาะปลูกในดินซึ่งเป็นแหล่งรวมธาตุต่างๆ รวมทั้งธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติส่วนมากจะเป็นธาตุที่เกิดมาพร้อมกับโลก ที่สำคัญก็คือ โพแทสเซียม – 40 , ยูเรเนียม – 238 , ยูเรเนียม – 235 และ ทอเรียม – 232 ธาตุกัมมันตรังสีเหล่านี้จะสามารถสลายตัวต่อให้ลูกหลาน ที่สำคัญได้แก่ เรเดียม – 226 ซึ่งได้มาจากการสลายตัวในอนุกรมของยูเรเนียม – 238 มีค่าครึ่งชีวิต 1600 ปี ซึ่งยาวนานกว่านิวไคลด์ตัวอื่นๆ (เรเดียม-223 , เรเดียม-224 , เรเดียม-228) ด้วยเหตุผลนี้จึงใช้เรเดียม-226เป็นตัวแทนค่ามวลทั้งหมดในจำนวนมวลที่แท้จริงของเรเดียมในธรรมชาติ เรเดียม-226จะสลายตัวให้รังสีแอลฟาซึ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกายก็จะมีอันตราย เพราะจะทำให้เนื้อเยื่อเกิดการระคายเคืองและจะเกิดความผิดปกติและอาจจะกลายเป็นมะเร็งได้ อีกทั้งเรเดียม-226ยังสะสมในโครงกระดูกอาจก่อให้เกิดมะเร็งในโครงกระดูกของร่างกายได้ นอกจากธาตุกัมมันตรังสีที่ได้จากอนุกรมต่างๆแล้วยังมีสารกัมมันตรังสีอีกตัวที่มีความสำคัญ นั่นก็คือโพแทสเซียม – 40 เนื่องจากในร่างกายมนุษย์จะมีธาตุที่สำคัญและจำเป็นประกอบอยู่ด้วยกันทั้งหมด 11 ธาตุ ได้แก่ O, C, H, N, Ca, P, S, K, Na, Cl และ Mg จะเห็นได้ว่าโพแทสเซียมก็เป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นธาตุหนึ่งของร่างกายมนุษย์นับเป็นอันดับที่ 4 และมีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 7 ซึ่งโพแทสเซียมเป็นธาตุหนึ่งที่ประกอบอยู่ภายในเซลล์ต่างๆของมนุษย์โดยเฉพาะในเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีโอกาสสะสมอยู่ในเซลล์ต่างๆทั่วร่างกายซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายได้มากแก่ร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลล์เม็ดเลือดแดงอาจถูกทำลายและลดจำนวนลงเป็นเหตุให้การทำงานต่างๆของเซลล์ในร่างกายทำงานผิดปกติ เมื่อทำการเพาะปลูกพืชจะสามารถดูดซึมธาตุต่างๆที่อยู่ในดินรวมทั้งธาตุกัมมันตรังสีด้วย โดยจะมีการสะสมธาตุที่ตำแหน่งต่างๆของพืชไม่เท่ากัน บางชนิดก็อาจมีการสะสมที่ใบ ราก ลำต้น นอกจากนี้ธาตุแต่ละชนิดก็ยังมีการสะสมที่ตำแหน่งต่างๆไม่เท่ากัน จากการวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะมีการศึกษาถึงการสะสมของธาตุกัมมันตรังสีทั้งที่มีอยู่ตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้นในพืชที่มีการดูดซึมจากรากแล้วส่งผ่านไปยังส่วนอื่นของพืช แต่ในพืชที่ส่วนของลำต้นอยู่ติดกับดินยังไม่ค่อยมีข้อมูลเกี่ยวกับการดูดซึมมากนัก

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในพืชหัว ซึ่งได้เลือกพืชมา 3 ชนิดก็คือ แครอต มันสำปะหลัง หัวไชเท้า มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโกปี โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งเพาะปลูกต่างกัน และทำการเก็บดินที่ใช้เพาะปลูกเพื่อจะได้สามารถหาความสัมพันธ์ของการดูดซึมธาตุที่มีอยู่ในพืชและในดิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและความแรงรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแครอต มันสำปะหลังและหัวไชเท้าโดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโกปี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เก็บตัวอย่างจากแหล่งปลูกในเชิงพาณิชย์ของพืชหัวที่ระบุ แต่ละชนิดอย่างน้อย ๕ แหล่ง ได้แก่ผลผลิตและดินที่เพาะปลูก

1.3.2 วิเคราะห์หาชนิดและความแรงรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีที่พบในผลผลิตและดินที่เพาะปลูกด้วยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโกปีโดยใช้หัววัดรังสีแกมมาชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

1.3.3 หาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีในดินที่เพาะปลูกกับในผลผลิต

1.3.4 เปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะในผลผลิตและในดินที่ปลูกจากแหล่งต่างๆ

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ค้นคว้าหาแหล่งที่ทำการเพาะปลูก แครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

1.4.3 เก็บตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า รวมทั้งดินที่ทำการเพาะปลูก

1.4.4 เตรียมตัวอย่างที่เก็บมาได้ โดยอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิต่ำจนตัวอย่างแห้ง

1.4.5 นำตัวอย่างที่แห้งแล้วบรรจุในMarnelli Beaker นำไปวัดด้วยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโกปี

1.4.6 คำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะในตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า และในดินที่ทำการเพาะปลูก

1.4.7 ทำการสรุปผลการวิจัยและเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ข้อมูลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปเป็นแนวทางในการประเมินปริมาณรังสีที่มนุษย์จะได้รับจากการบริโภคแครอต มันสำปะหลังและหัวไชเท้า

2. ทำให้ทราบถึงความแตกต่างในการดูดซึมสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในดินของแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.นายบรรจง หวังเจริญรุ่ง [1] ได้ทำการวิจัยเรื่อง <u>การศึกษาปริมาณของสารกัมมันตรังสี ซีเซียม-137 และโปแตสเซียม-40 ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม โดยวิธีแกมม่าสเปคโตรสโคปี</u> การศึกษาการวัดปริมาณสารกัมมันตรังสีซีเซียม-137 ซึ่งมาจากฝุ่นกัมมันตรังสีและโปแตสเซียม-40 ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมประเภท ผัก มันสำปะหลัง หญ้า ปลาทะเล หอย และดิน จำนวนทั้งสิ้น 50 ตัวอย่าง ตัวอย่างเหล่านี้เก็บจากที่ต่างๆ ทั่วประเทศ คือจากจังหวัดเชียงใหม่ ขอนแก่น สงขลา และชลบุรี ในช่วงเวลาระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2520 ถึง เดือนมกราคม 2521 การศึกษาครั้งนี้ใช้หัววัดรังสีแบบเซมิคอนดักเตอร์ Ge(Li) ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องวิเคราะห์แบบ multichannel analyzer ชนิด 4096 ช่อง ปริมาณรังสีซีเซียม-137 และ โปแตสเซียม-40 ในตัวอย่างต่างๆ โดยทั่วไปมีค่าน้อย นอกจากตัวอย่างดินซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูง

2.Y.H. Choi, C.w. Lee, S.R. Kim, J.H. Lee and J.S. Jo [2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง **<u>ผลที่เกิดขึ้นจากการเติมradionuclides ต่อการได้รับด้วยรากของกะหล่ำปลีจีนและหัวไชเท้า</u>** โดยสำหรับการติดตามผลของ เวลาที่สะสม radionuclide ต่อการได้รับ ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{85}Sr และ ^{137}Cs ด้วยกะหล่ำปลีจีนและหัวไชเท้า โดยการนำสารผสมของ radionuclide ที่เป็นสารละลาย มาเติมบริเวณผิวหน้าของดินที่นำมาปลูกพืชซึ่งอยู่ในกล่องที่วางอยู่ในเรือนกระจกสำหรับปลูกต้นไม้ที่เวลาต่างๆกัน 4 ครั้ง ในระหว่างที่พืชเจริญเติบโต Soil-to-plant transfer factor (TF) หาได้โดยใช้หลักเกณฑ์ของกัมมันตภาพรังสีในหน่วยพื้นที่ของดิน ในหัวไชเท้า TF ของ ^{85}Sr ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาระหว่างที่เพาะปลูกกับการเติมสารกัมมันตรังสี ส่วน TF ของ radionuclides ชนิดอื่นๆมีค่าสูงที่การเติมสารกัมมันตรังสีครั้งที่ 3 และครั้งสุดท้าย ส่วนความเข้มข้นของ radionuclides ในดินจะพิจารณาหลังจากฤดูเก็บเกี่ยว ซึ่งความเข้มข้นของดินจะลดลงแบบ exponential ด้วยความลึกของดินที่เพิ่มขึ้นและกัมมันตภาพรังสีส่วนมากที่ยังคงเหลือจะอยู่บริเวณผิวดิน TFs ของ

radionuclides ที่เติมก่อนที่จะเพาะปลูก 2 วัน มีค่าสูงกว่า 1 ปี ด้วย factor ของ 3-10 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ radionuclides และ species ของพืช

3. Adam Khatir Sam and Ake Eriksson [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง **<u>การได้รับเรเดียม-226 ของผักที่ปลูกใน Western Sudan</u>** โดยที่การศึกษาการได้รับเรเดียม-226 โดยปลูกพืชในพื้นที่ปราศจากการเปื้อนของสารกัมมันตรังสีอื่นนอกจากสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีของเรเดียม – 226 ในดินและพืชตัวอย่างได้ถูกนำมาวิเคราะห์ ดินที่ใช้เพาะปลูกนำมาวิเคราะห์ ความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 14.4 – 79.1 Bq/kg และ fraction ของการแลกเปลี่ยนคือ 7.1 – 27.8 % ของเรเดียมทั้งหมดที่มีอยู่ในดิน สำหรับในพืชที่ทำการวิเคราะห์ระดับของความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีพบอยู่ในช่วง 0.7 – 23 Bq/kg และ 0.1 – 7.6 Bq/kg ของน้ำหนักแห้งสำหรับหญ้าและส่วนของพืชที่รับประทานได้ตามลำดับ Soil/Plants CRs สัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยนของเรเดียมซึ่งแสดงอยู่ในช่วงของ 0.09 – 3.31 และ 0.01 – 0.34 สำหรับหญ้าและส่วนของพืชที่รับประทานได้ ตามลำดับ pH ของดิน สารอินทรีย์ที่ประกอบอยู่ในดิน (OM%) ดินเหนียวที่อยู่ในดิน การแลกเปลี่ยนของแคทไอออน (โพแทสเซียม , แคลเซียม , แมกนีเซียม) และ ฟอสฟอรัสที่อาจพบได้ จะถูกวิเคราะห์ด้วยจุดประสงค์หลักก็คือเพื่อติดตามผลกระทบที่มีเมื่อได้รับเรเดียม ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของเรเดียมที่ถูกส่งผ่านไปยังส่วนของพืขทีรับประทานได้น้อยกว่าส่วนที่เป็นหญ้า

4. H.M. Badran, T. Sharshar and T. Elnimer [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง **<u>ระดับของซีเซียม-137 และโพแทสเซียม-40 ในส่วนของผักที่รับประทานได้ซึ่งบริโภคในอียิปต์</u>** โดยที่ความเข้มข้นของซีเซียม-137 และ โพแทสเซียม-40 ในอาหารที่ชาวอียิปต์บริโภคได้ถูกนำมาวิเคราะห์ ผลที่ได้จากการศึกษานี้เป็นขั้นแรกที่สามารถนำมาพิจารณาในการคำนวณระดับพื้นฐานของกัมมันตภาพรังสีในอาหารที่บริโภคในอียิปต์ ยิ่งกว่านั้น ข้อมูลที่แสดงในนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการตรวจกัมมันตภาพรังสีในอนาคตหลังจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ พร้อมกันกับป้องกันอาหารที่นำเข้าซึ่งสงสัยว่าจะมีการปนเปื้อน ปริมาณของซีเซียม-137 ที่ได้รับเข้าไปทั้งหมดมีค่าน้อยมากและไม่มีสารกัมมันตรังสีที่มีความสำคัญตัวอื่นๆถูกตรวจพบ ส่วนที่มีซีเซียม-137 และ โพแทสเซียม-40 มีอยู่ในปริมาณที่สูงตรวจพบใน Jew’s mallow และ roquette การคำนวณได้นำไปหา potential dose ของพืชที่ใช้บริโภคแต่ละชนิด

5.V.A. Pulhani, S. Dafauti, A.G. Hegde, R.M. Sharma and U.C. Mishra [5] ได้ทำการวิจัยเรื่อง **การได้รับและการสะสมของสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในต้นข้าวสาลีจากดิน** โดยการได้รับยูเรเนียม ทอเรียม เรเดียม และโพแทสเซียมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยศึกษาจากต้นข้าวสาลีจากดินที่แตกต่างกันสองแหล่งในอินเดียเพื่อศึกษาภายใต้สภาวะที่เป็นธรรมชาติ ค่า TF ถูกคำนวณและสังเกตว่าอยู่ในช่วง 4.0×10^{-4} ถึง 2.1×10^{-3} สำหรับยูเรเนียม-238 6.0×10^{-3}ถึง 2.4×10^{-2} สำหรับทอเรียม-232 9.0×10^{-3}ถึง 1.6×10^{-2} สำหรับเรเดียม-226 และ 0.14 – 3.1 สำหรับโพแทสเซียม-40 ค่า OR ที่สังเกตุได้ของสารกัมมันตรังสีซึ่งสัมพันธ์กับแคลเซียมที่สามารถนำมาใช้คำนวณเพื่อที่จะอธิบายการเปรียบเทียบค่าTF ในดินที่มีความเข้มข้นจากแหล่งที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถนำมาอธิบายเกี่ยวกับการแยกแยะการได้รับสารที่มีความจำเป็นและสารที่ไม่มีความจำเป็นต่อพืช การนำแคลเซียมและโพแทสเซียมที่อยู่ในดินไปใช้มีผลกระทบต่อการได้รับยูเรเนียม ทอเรียมและเรเดียมที่อยู่ในพืช องค์ประกอบอื่นๆของดินเช่น illite clay ของตะกอนดินตามชายฝั่งแม่น้ำซึ่งสามารถที่จะจับโพแทสเซียมใน crystal lattice และฟอสเฟตซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำกับทอเรียมซึ่งดูเหมือนจะทำให้ลดการนำไปใช้ของพืช เปอร์เซ็นต์ของธาตุที่เป็นหลักคือ 54-75% ของยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และเรเดียม-226 ในพืช ความเข้มข้นส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่ราก และมีเพียง 1-2% ที่สะสมอยู่ที่เมล็ด ในทางตรงกันข้ามประมาณ 57% ของโพแทสเซียม-40 จะสะสมอยู่ที่ราก และ 16% จะสะสมอยู่ที่เมล็ดข้าว การได้รับสารกัมมันตรังสีโดยการบริโภคเมล็ดข้าวสาลีจากแหล่งที่ทำการศึกษาให้ค่าเศษส่วนที่น้อยจนถึงจำนวนรวมทั้งหมด

6.O. Oestling, P. Kopp, and W. Burkart [6] ได้ทำการวิจัยเรื่อง **การได้รับซีเซียม ไอโอดีน และสตรอนเซียม และการส่งผ่านของสารเหล่านี้ในส่วนของปากใบไปยังส่วนของพืชที่รับประทานได้ของถั่ว มันฝรั่ง และหัวไชเท้า** โดยการพิจารณาเศษส่วนของสารละลายกัมมันตภาพรังสีที่สะสมบนผิวของใบที่จำเป็นต้องใช้ในการส่งผ่านไปยังส่วนของพืชที่รับประทานได้ ในหัวไชเท้าเราสังเกตว่ามากกว่า 40% ของสารกัมมันตรังสีซีเซียมมีการส่งผ่านจากการนำไปใช้ภายในระยะเวลาไม่กี่วัน การได้รับที่คล้ายคลึงกันถูกพบในถั่วและมันฝรั่งเมื่อเก็บเกี่ยวได้ 1 เดือน หลังจากการใช้สารกัมมันตรังสีซึ่งยังคงเหลือไอโซโทปซีเซียมที่ใช้มากกว่า 60% อยู่ในหรือบนใบของมันฝรั่งหลังจากการใช้สารกัมมันตรังสีเป็นเวลา 8 วัน อย่างไรก็ตามสามารถล้างใบภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังจากการใช้สารกัมมันตรังสี เมื่อหัวผักกาดถูกนำมาล้างด้วยน้ำภายในระยะเวลา 7 ชั่วโมงหลังจากการใช้สารกัมมันตรังสี ความแรงรังสีจะลดลง ไม่มีการแข่งขันระหว่างผลกระทบของโพแทสเซียมคลอไรด์สำหรับการได้รับซีเซียมทางปากใบ Prussian Blue,

chelating agent สำหรับ โลหะอัลคาไลด์ที่เป็น monovalent เช่น โพแทสเซียม ซีเซียมหรือ monovalent ที่เป็นcation อื่นๆ ใช้โดยการหยดลงบนใบหนึ่งวันก่อนที่จะใช้ซีเซียม ถูกพบว่าจะยับยั้งการส่งผ่านของซีเซียมไปยังหัวผักกาด การส่งผ่านของไอโอดีนและสตรอนเซียมไปยังส่วนของพืชที่รับประทานได้ถูกพบว่ามีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับซีเซียม ในทำนองเดียวกันไม่สามารถวัดการส่งผ่านของนิวไคลด์ทั้งสองชนิดนี้ได้ในหัวผักกาดหลังจากนั้น 2 – 5 สัปดาห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แหล่งกำเนิดของกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม [7], [8]

ในสิ่งแวดล้อมทุกแห่งมีกัมมันตภาพรังสีซึ่งสิ่งมีชีวิตได้รับอยู่ตลอดเวลา ระดับกัมมันตภาพรังสีนี้โดยทั่วไปถือว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ดังเราจะเห็นจากการวัดรังสีชนิดต่างๆด้วยเครื่องวัดรังสี จะพบค่าๆหนึ่งที่เรียกว่า "แบคกราวด์" (background) ของเครื่องวัดรังสีประเภทนั้นๆ ซึ่งได้มาจากปริมาณกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ และ กัมมันตภาพรังสีเหล่านั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามกิจกรรมของมนุษย์ จึงสามารถกล่าวได้ว่า กัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมมีแหล่งที่มาสำคัญจาก 2 แหล่งได้แก่ กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ และกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น

2.1.1 <u>แหล่งกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ (Natural radiation sources)</u>

แหล่งกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1.1 <u>รังสีคอสมิก</u>

รังสีคอสมิก (Cosmic radiation) ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ

- รังสีคอสมิกปฐมภูมิ (Primary cosmic rays) คือ รังสีคอสมิกที่อยู่เหนือชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก โดยส่วนหนึ่งมีแหล่งกำเนิดจากนอกระบบสุริยะจักรวาลและอีกส่วนหนึ่งเกิดบนผิวของดวงอาทิตย์ รังสีคอสมิกจะประกอบด้วย อนุภาคโปรตอน 87% อนุภาคอัลฟา 11% นิวเคลียสหนัก (heavy nuclei) 1 % อิเล็กตรอน 1 % โดยรังสีคอสมิกปฐมภูมิจะมีพลังงานอยู่ในช่วง 10^{8} – 10^{20} อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ประมาณ 10^{8} – 10^{11} เมื่อรังสีคอสมิกปฐมภูมิวิ่งเข้ามาถึงชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่จะเกิดอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศในระยะ 200 – 300 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรแรก เกิดเป็นรังสีคอสมิกทุติยภูมิ (Secondary cosmic rays) รังสีคอสมิกปฐมภูมิส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนไว้หมดในระยะ 1/10 แรกของชั้นบรรยากาศ

- รังสีคอสมิกทุติยภูมิ (Secondary cosmic rays) คือ รังสีคอสมิกที่เกิดจากรังสีคอสมิกปฐมภูมิเกิดอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งประกอบด้วย อนุภาคนิวตรอน อนุภาคโปรตอนและอิเล็กตรอน ปริมาณรังสีจากรังสีคอสมิก จะขึ้นอยู่กับระดับความสูง(altitude) เช่น ที่เส้นศูนย์สูตร ณ ระดับน้ำทะเล มีค่ากัมมันตภาพรังสีเท่ากับ 23 มิลลิเร็มต่อปี แต่ถ้าสูงขึ้นไป

ที่ระดับ 1000 ฟุต มีค่าเท่ากับ 56 มิลลิเร็มต่อปี นอกจากนี้อนุภาคนิวตรอนในรังสีคอสมิก จะเกิดอันตรกิริยากับไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศตอนบน (upper atmosphere) ทำให้เกิดคาร์บอน-14 ($^{14}N(n,p)^{14}C$ มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 5730 ปี) ซึ่งกระจายอยู่ชั้นบรรยากาศด้านล่าง (lower atmosphere) และสิ่งมีชีวิตต่างๆจะได้รับเข้าสู่ร่างกายต่อไป

2.1.1.2 <u>กัมมันตรังสีที่กำเนิดพร้อมโลก</u>

นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่กำเนิดพร้อมโลก ได้แก่ ยูเรเนียมและนิวไคลด์ในอนุกรมยูเรเนียม ทอเรียมและนิวไคลด์ในอนุกรมทอเรียม นอกจากนิวไคลด์ในสองอนุกรมนี้แล้วยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติอีกชนิดหนึ่ง คือ โพแทสเซียม-40 โดยที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้ เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ปะปนอยู่ที่ผิวโลก สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ได้แก่ หิน ดิน ทราย เป็นต้น

ยูเรเนียมในธรรมชาติ มีอยู่ด้วยกันสามไอโซโทป ซึ่งเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีทั้งสามไอโซโทป คือ ยูเรเนียม-238 มีประมาณ 99.274% ยูเรเนียม-235 มีจำนวน 0.721% ส่วนยูเรเนียม-234 พบว่ามีเพียง 0.00546% เนื่องจากยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-234 มีปริมาณน้อยมาก จึงถือว่าปริมาณกัมมันตภาพที่สิ่งมีชีวิตได้รับมาจากยูเรเนียม-238 แต่เพียงไอโซโทปเดียว

- ยูเรเนียม-238 มีครึ่งชีวิต เท่ากับ $4.5x10^{9}$ ปี สลายตัวเป็นลูกโซ่ให้นิวไคลด์ลูก 14 ตัว นิวไคลด์ตัวสุดท้ายในอนุกรม คือ Pb-206 ซึ่งเป็นธาตุเสถียรแผนภาพการสลายตัวของยูเรเนียม-238 แสดงในภาพที่2.1 ในแต่ละขั้นตอนการสลายตัว อาจสลายตัวแอลฟา สลายตัวบีตา หรือสลายตัวแกมมา ซึ่งชนิดของการสลายตัวและพลังงานของรังสีแกมมาของนิวไคลด์ต่างๆ ในอนุกรมยูเรเนียม แสดงในตารางที่ 2.1

นอกจากนี้ยังมีการแบ่งนิวไคลด์ในอนุกรมยูเรเนียม-238 ออกเป็น 5 อนุกรมย่อย ซึ่งได้แก่ อนุกรมย่อยยูเรเนียม-238 อนุกรมย่อยทอเรียม-230 อนุกรมย่อยเรเดียม-222 และอนุกรมย่อยตะกั่ว-210

- ทอเรียม-232 มีครึ่งชีวิตยาวมากเช่นกัน คือ เท่ากับ $1.4x10^{10}$ปีและมีการสลายตัวเป็นลูกโซ่ เช่นเดียวกับยูเรเนียม-238 โดยให้นิวไคลด์ลูก 11 ตัว ในการสลายตัวอาจสลายตัวแอลฟา สลายตัวบีตาหรือสลายตัวแกมมาจนได้ธาตุสุดท้ายในอนุกรม คือ ตะกั่ว-208 ในการสลายตัวของทอเรียม-232 จะสลายตัวแอลฟา แล้วกลายเป็นเรเดียม-228 ซึ่งสลายตัวต่อโดยการสลายบีตาแล้วเปลี่ยนไปเป็นแอกติเนียม-228 และมีการสลายตัวต่อเนื่องอีกหลายขั้นตอน จนถึงบิสมัท-212 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่บอกจุดหักเห โดยมีวิถีของการสลายตัวที่เป็นไปได้ 2 แนว กล่าวคือ แนวหนึ่งเป็นการสลายแอลฟาไปสู่ทัลเลียม-208 ส่วนอีกแนวหนึ่งเป็นการสลายบีตาไปสู่โพโลเนียม-212 จนในที่สุดต่างก็บรรลุผลสู่ผลปฏิกิริยาปลายคือตะกั่ว-208 ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร แผนภาพการ

สลายตัวของทอเรียม-232 แสดงดังรูปที่ 2.2 ส่วนในตารางที่ 2.2 แสดงการสลายตัว และพลังงานของรังสีแกมมาในอนุกรมทอเรียม

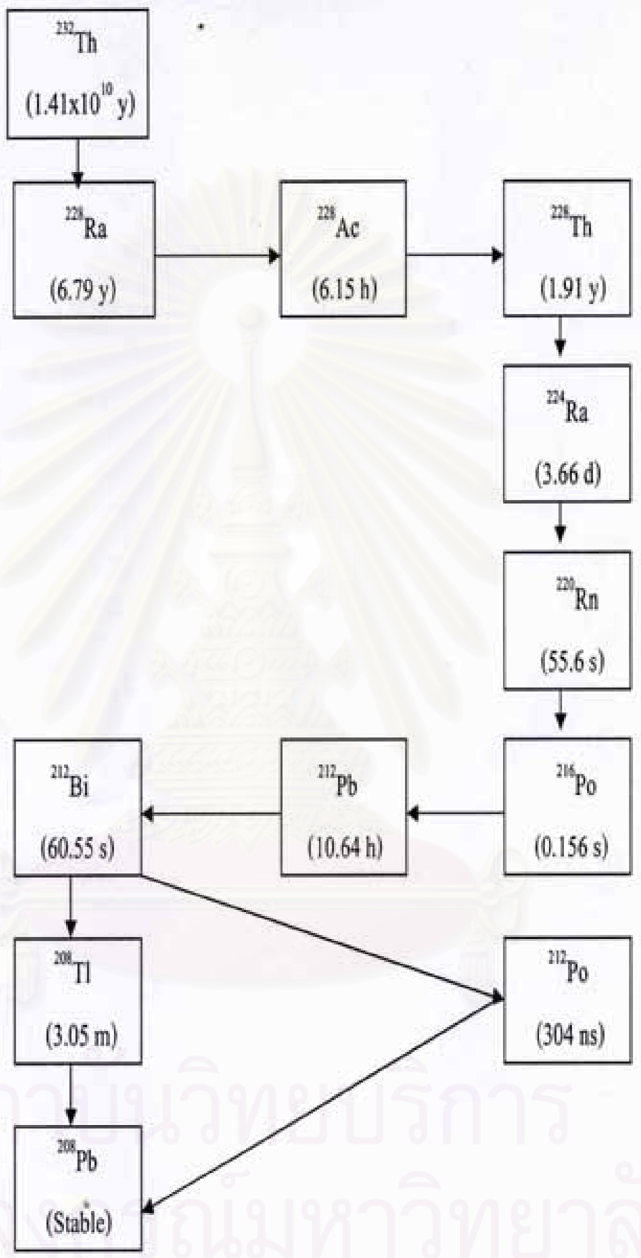
รูปที่ 2.1 แผนผังอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม [7]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 การสลายตัวและพลังงานรังสีแกมมาของนิวไคลด์ในอนุกรมยูเรเนียม [7]

นิวไคลด์	ชนิดของการสลายตัว	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (Energy (MeV) and Abundance)
^{238}U	α	4.51×10^{9} y	
^{234}Th	β	24.1 d	0.063 (4.49%), 0.093 (5.16%)
^{234m}Pa	β	1.17 m	0.766 (0.21%), 1.001 (0.59%)
^{234}U	α	2.45×10^{5} y	0.053 (0.12%)
^{230}Th	α	7.54×10^{4} y	0.068 (0.38%), 0.144 (0.05%)
^{226}Ra	α	1.6×10^{3} y	0.186 (0.07%)
^{222}Rn	α	3.82 d	
^{218}Po	α	3.05 m	
^{214}Pb	β	26.8 m	0.242 (7.5%), 0.295 (18.5%), 0.352 (38.5%)
^{214}Bi	β	19.7 m	0.609 (44.81%), 0.768 (4.88%), 0.934 (3.03%), 1.120 (14.8%), 1.239 (5.86%), 1.378 (3.92%), 1.408 (2.48%), 1.730 (2.88%), 1.765 (15.9%), 2.205 (4.86%)
^{214}Po	α	164 μs	
^{210}Pb	β	22.2 y	0.046 (3.6%)
^{210}Bi	β	5.01 d	
^{210}Po	α	138.38 d	0.803 (0.001%)
^{206}Pb	Stable		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 แผนผังอนุกรมการสลายตัวของทอเรียม [7]

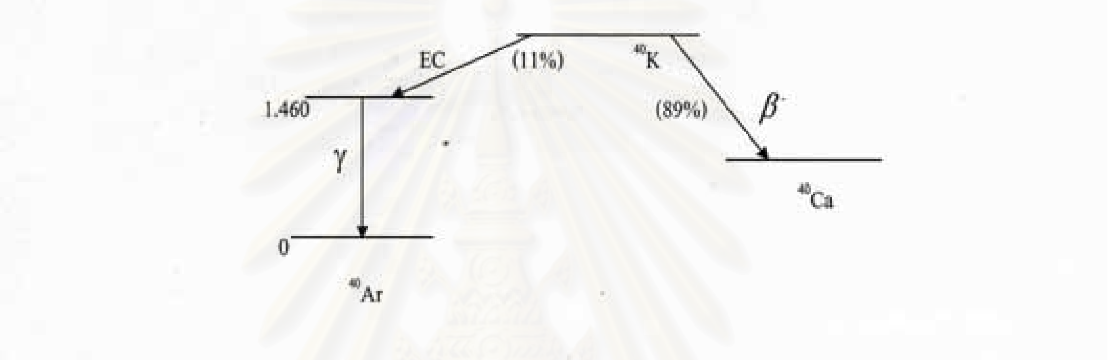
ตารางที่ 2.2 การสลายตัวและพลังงานรังสีแกมมาของนิวไคลด์ในอนุกรมทอเรียม [7]

นิวไคลด์	ชนิดของการสลายตัว	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (Energy (MeV) and Abundance)
^{232}Th	α	1.41 x10^{10} y	
^{228}Ra	β	6.79 y	
^{228}Ac	β	6.15 h	0.130 (2.45%), 0.209 (3.88%), 0.270 (3.43%), 0.328 (2.95%), 0.338 (11.3%), 0.463 (4.44%), 0.772 (1.5%), 0.795 (4.34%), 0.836 (1.68%), 0.911 (26.6%), 0.965 (5.11%), 0.969 (16.2%), 1.588 (3.27%), 1.631 (1.6%)
^{228}Th	α	1.91 y	0.084 (1.27%), 0.216 (0.26%)
^{224}Ra	α	3.66 y	0.241 (3.97%)
^{220}Rn	β	55.6 s	0.550 (0.1%)
^{216}Po	α	0.156 s	
^{212}Pb	β	10.64 h	0.239 (43.6%), 0.300 (3.34%)
^{212}Bi	α, β	60.55 s	0.288 (0.31%), 0.453 (0.31%), 0.727 (6.65%), 0.785 (1.11%), 0.893 (0.37%), 1.513 (0.54%), 1.621 (1.51%)
^{212}Po	α	304 ns	
^{208}Tl	β	3.05 m	0.277 (6.31%), 0.511 (22.6%), 0.583 (84.5%), 0.763 (1.81%), 0.861 (12.42%), 2.615 (99.2%)
^{208}Pb	Stable		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ยังมีการแบ่งนิวไคลด์ในอนุกรมทอเรียม ออกเป็น 3 อนุกรมย่อย ซึ่งได้แก่ อนุกรมย่อยทอเรียม-232 อนุกรมย่อยเรเดียม-228 อนุกรมย่อยทอรอน-220

- โพแทสเซียม-40 มีเพียง 0.0118% ของโพแทสเซียมที่มีในธรรมชาติ มีครึ่งชีวิต 1.28×10^9 ปี การสลายตัวของโพแทสเซียม-40 มีสองแบบ แบบที่หนึ่งสลายตัวโดยการให้รังสีบีตา 89% ให้พลังงานรังสีบีตาสูงสุด ($E_{\beta(max)}$) เท่ากับ 1.312 เมกะอิเลกตรอนโวลต์ แล้วกลายเป็นธาตุแคลเซียม-40 แบบที่สองสลายตัวโดยการจับอิเล็กตรอน (electron capture) ในชั้น K ให้รังสีแกมมา11% กลายเป็นอาร์กอน-40 มีพลังงานของรังสีแกมมาเท่ากับ 1.460 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ นิวไคลด์ลูกของการสลายตัวทั้งสองแบบจะเป็นธาตุเสถียร ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังการสลายตัวของโพแทสเซียม - 40

โพแทสเซียม-40 พบกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน หิน และในเนื้อเยื่อของทั้งพืชและสัตว์ เป็นธาตุที่มีมากบนเปลือกโลกเป็นอันดับ 7 และเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่ 6 ของสารละลายที่มีในน้ำมหาสมุทร พบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียม-40 ในน้ำทะเลมีค่าประมาณ 416 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนโพแทสเซียม-40 ที่มีในดินนั้น จะยึดเหนี่ยวกับอนุภาคดินโดยแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของอนุภาคดิน และจะยึดเหนี่ยวกันอย่างแข็งแรงมากในดินร่วนและดินเหนียว อย่างไรก็ตามปริมาณของโพแทสเซียม-40ในดิน อาจเพิ่มสูงขึ้นได้จากการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มผลผลิต

2.1.2 <u>กัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้นและจากกิจกรรมของมนุษย์</u>

ได้แก่การดำเนินงานในด้านการใช้เทคโนโลยีต่างๆ ที่ทำให้เกิดการกระจายของรังสีไปสู่สิ่งแวดล้อมทั่วไป ตัวอย่างของการดำเนินงานเหล่านั้น ได้แก่ การทดลองอาวุธนิวเคลียร์ซึ่งจะเกิดธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญต่อมนุษย์ เช่น สะตรอนเซียม-90 (Sr-90) ซีเซียม-137 (Cs-137) สารกัมมันตรังสีที่เกิดจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์นี้ อาจถูกส่งขึ้นไปสูงถึง 40,000 – 60,000 ฟุต (ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์(troposphere)) และอาจถูกพัดพาไปไกลได้ทั่วโลก การผลิตพลังงาน

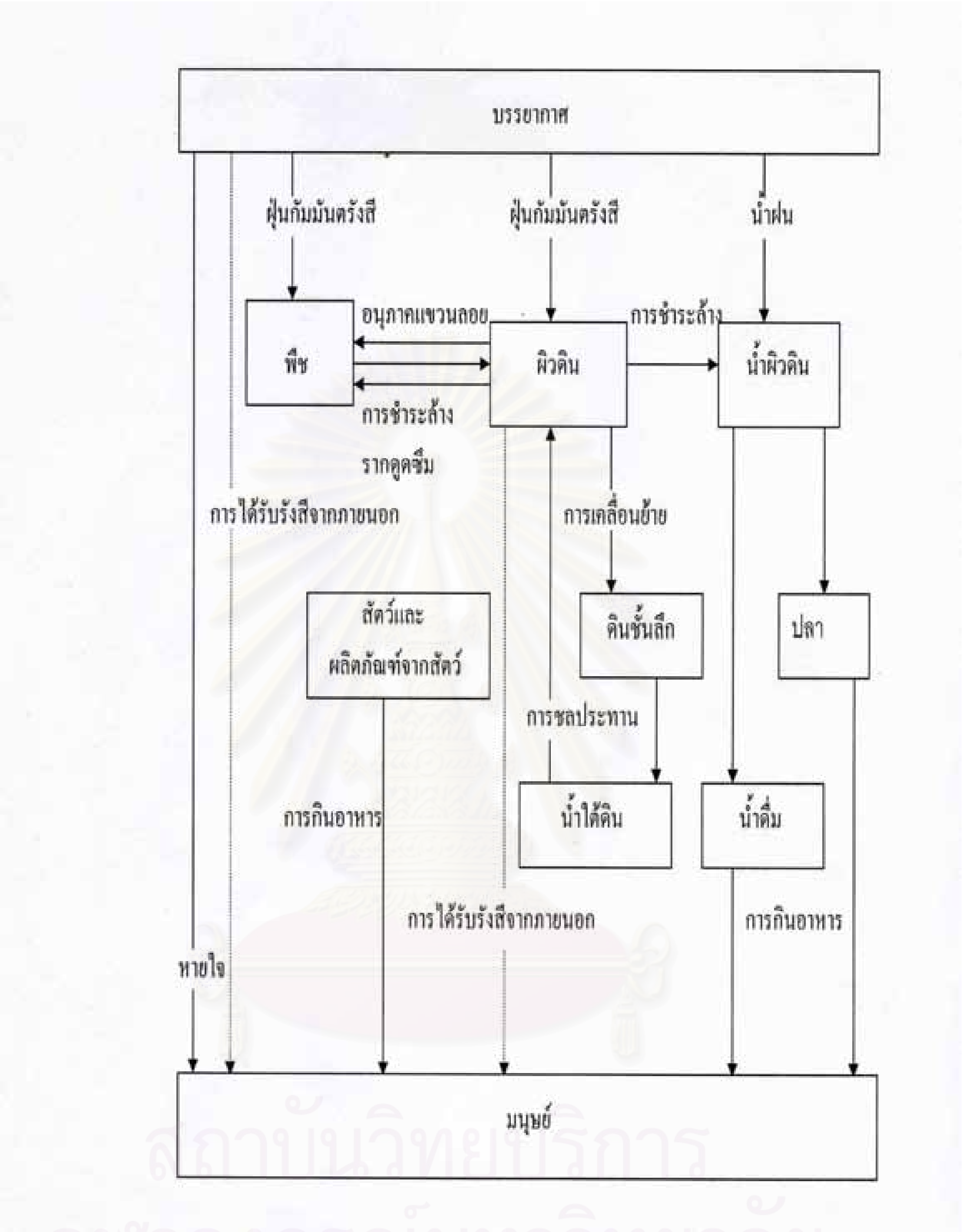
ไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ กากของกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีส่วนในการเพิ่มปริมาณรังสีในธรรมชาติ ในปัจจุบันพบว่าปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกากของกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มีปริมาณเพียง 0.2 มิลลิเร็มต่อปี การใช้รังสีในทางการแพทย์ เช่น ในการวินิจฉัยโรค พบว่า 75 – 90% ของผู้ที่รับรังสีจากการแพทย์มาจากการใช้รังสีเอ็กซ์ (X-rays) นอกจากนี้ยังมีการใช้ในการรักษาโรค เช่น การใช้รังสีแกมมาจากธาตุกัมมันตรังสีในการยับยั้งโรคมะเร็ง การใช้ในงานทางนิวเคลียร์การแพทย์ เช่น การใช้ไอโอดีน-131 (I-131) รักษาไทรอยด์ เทคนิเชียม-99เอ็ม (Tc-99m) หาสมมติฐานของโรค เป็นต้น

2.2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม [9]

1. <u>บรรยากาศ</u>

นิวไคลด์กัมมันตรังสีจะขึ้นสู่บรรยากาศ โดยกิจกรรมของมนุษย์ คือ การทดลองระเบิดนิวเคลียร์ในบรรยากาศ และรังสีคอสมิกจะเป็นรังสีที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในบรรยากาศ โดยการที่อนุภาคนิวตรอนในรังสีคอสมิก ทำอันตรกิริยากับ ไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน ที่มีในบรรยากาศ ทำให้เกิดคาร์บอน-14 ไฮโดรเจน-3 เบริลเลียม-7 และไนโตรเจน-22 นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในบรรยากาศเหล่านี้ อาจเคลื่อนย้ายไปสู่แหล่งอื่นๆได้อีก พบว่าฝนและหิมะ จะทำให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้ตกสู่พื้นโลกได้เร็วขึ้น เมื่อตกลงมาจากอากาศ อาจตกลงในน้ำ บนดิน หรือบนผิวของสิ่งมีชีวิต และไม่มีชีวิต และอาจกลับขึ้นสู่บรรยากาศได้อีก ในรูปของอนุภาคแขวนลอย ซึ่งเกิดขึ้นโดยลม หรือกิจกรรมของมนุษย์ เส้นทางการได้รับรังสีของมนุษย์จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ในบรรยากาศ แสดงดังรูปที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 เส้นทางการได้รับรังสีของมนุษย์จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ในบรรยากาศ [9]

2. <u>น้ำ</u>

นิวไคลด์กัมมันตรังสี สามารถเคลื่อนย้ายมาอยู่ในน้ำได้หลายวิธี เช่น ตกลงมาจากชั้นบรรยากาศ หรือเกิดจากการที่หิน หรือ ดินเกิดการผุกร่อน ทำให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ในหิน หรือ ดินนั้นไหลซึมออกมา และละลายปนอยู่ในน้ำ หรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ เป็นต้น บางส่วนของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในน้ำใต้ดิน หรือน้ำผิวดิน จะเกิดการเคลื่อนย้ายโดยการพาของกระแสน้ำ และอาจตกตะกอน บนดิน หรือหินบริเวณนั้นๆ และที่สำคัญคือนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สามารถละลายน้ำได้ จะละลายเป็นสารละลายอยู่ในน้ำ เมื่อกระแสน้ำเกิดการเคลื่อนที่ นิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้ก็จะเกาะติดกับดินหรือหิน ที่กระแสน้ำนั้นไหลผ่าน

3. <u>ห่วงโซ่อาหาร</u>

นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในน้ำ ในอากาศ จะสามารถเข้าสู่วงจรอาหารของมนุษย์ได้ เช่น พืชดูดซึมจากน้ำ เช่นเดียวกับการดูดซึมแร่ธาตุที่จำเป็นชนิดอื่นๆ เมื่อสัตว์ดื่มน้ำที่มีนิวไคลด์กัมมันตรังสีอยู่ นิวไคลด์เหล่านี้ก็จะไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ และอวัยวะต่างๆของสัตว์นั้น หรือเกิดจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในบรรยากาศ ตกลงบนผิวของพืช เมื่อสัตว์กินพืชที่มีฝุ่นกัมมันตรังสีเกาะติดอยู่ หรือกินต้นพืชที่มีนิวไคลด์กัมมันตรังสีอยู่ภายใน นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ได้รับเข้าไปก็จะไปสะสมในเนื้อเยื่อและอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์นั้นเช่นเดียวกับการดื่มน้ำ เนื่องจากพืชและสัตว์เป็นอาหารของมนุษย์ ดังนั้นสุดท้ายแล้วนิวไคลด์กัมมันตรังสีก็จะเข้าสู่ภายในร่างกายของมนุษย์

2.3 สมดุลของสารกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibria) [7]

สารกัมมันตรังสีจะมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องโดยที่สารกัมมันตรังสีตัวที่1 จะสลายตัวให้สารกัมมันตรังสีตัวที่2 และสารกัมมันตรังสีตัวที่2 จะสลายตัวต่อให้สารกัมมันตรังสีตัวที่3เกิดเป็น decay chain ซึ่งความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นใน decay chain แต่ละตัวจะมีค่าต่างๆขึ้นกับ half-life ของสารกัมมันตรังสีที่เป็นตัวแม่ แต่จะมีจุดหนึ่งที่สารกัมมันตรังสีตัวแม่จะเท่ากับตัวลูกเกิดสมดุลขึ้น ซึ่ง half-life ของสารกัมมันตรังสีที่นำมาพิจารณาแบ่งเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. half-life ของตัวแม่ยาวกว่าตัวลูกมากๆ จนตัวลูกมีค่าน้อยมาก
2. half-life ของตัวแม่ยาวกว่าตัวลูก แต่activityไม่มากพอที่จะตัดทิ้งได้
3. half-life ของตัวแม่สั้นกว่าตัวลูก
4. half-life ของตัวแม่เท่ากับตัวลูก

สมดุลของสารกัมมันตรังสีแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.3.1 Secular Radioactive Equilibrium

เป็นสมดุลที่เกิดขึ้นเมื่อ half-life ของตัวแม่ยาวกว่าตัวลูกมากๆ โดยที่สมดุลนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 10 เท่าของhalf-lifeของตัวลูก โดยจะได้ตามสมการดังนี้

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{t_{1/2}(1)}{t_{1/2}(2)} \qquad \ldots(2.1)$$

หรือ

$$\mathbf{A_1 = A_2} \qquad \ldots(2.2)$$

2.3.2 Transient Radioactive Equilibrium

สมดุลที่เกิดขึ้นนี้จะต่างกับ secular radioactive equilibrium โดยที่ secular radioactive equilibrium กัมมันตภาพรังสี ของตัวแม่กับตัวลูกจะเท่ากัน ส่วน transient radioactive equilibrium กัมมันตภาพรังสีของตัวลูกจะสูงกว่าตัวแม่ และได้สมการดังนี้

$$N_1\lambda_1 = N_2(\lambda_2 - \lambda_1) \qquad \ldots(2.3)$$

2.4 สารกัมมันตรังสี [7], [8], [10], [11]

2.4.1 <u>การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี</u>

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสีชนิดนั้น แต่ละนิวเคลียสในสารกัมมันตรังสีมีโอกาสที่สลายตัวต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากัน

อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อวินาที เรียกว่า "กัมมันตภาพหรือความแรงของสารกัมมันตรังสี (Activity)" จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mathrm{A} = -\frac{dN}{dt} \qquad \ldots(2.4)$$

เมื่อ	A	=	คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสี
	N	=	คือ จำนวนอะตอม
	t	=	คือ เวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัว

2.4.2 <u>สมการการสลายตัว</u>

สำหรับความแรงของสารกัมมันตรังสีที่ปรากฏ เมื่อเวลาผ่านไป t เป็นไปตามสมการ

$$A(t) = A_0e^{-\lambda_t} \qquad \ldots(2.5)$$

เมื่อ A_0 = คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสี เมื่อเริ่มพิจารณา t = 0

$A(t)$ = คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสี เมื่อเวลา t

λ = ค่า คงที่ของการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Decay constant) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละสารกัมมันตรังสี

เมื่อสารกัมมันตรังสีเดิมสลายไป โดยการส่งอนุภาคแอลฟา เบตา หรือแกมมาออกมา เป็นผลให้มีสารกัมมันตรังสีใหม่เกิดขึ้น ความแรงของสารกัมมันตรังสีจึงเป็นสัดส่วนกับจำนวนอะตอมที่สลายตัวได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$A = \lambda N \qquad \ldots(2.6)$$

และสมการ (2.6) อาจเขียนได้ดังนี้

$$N(t) = N_0e^{-\lambda t} \qquad \ldots(2.7)$$

จากสมการ(2.4) (2.6) และ (2.7) จะได้

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N_0e^{-\lambda_t}$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N \qquad \ldots(2.8)$$

เครื่องหมายลบ แสดงว่า จำนวนอะตอมจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป

2.4.3 <u>ครึ่งชีวิต (Half life)</u>

ครึ่งชีวิต หมายถึง เวลาที่อะตอมของสารกัมมันตรังสีใช้ในการสลายตัว เพื่อให้ปริมาณเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม

อัตราส่วนของจำนวนอะตอมเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 1 ครึ่งชีวิตต่อจำนวนอะตอมเดิม คือ

$$\frac{N(t)}{N_0} = \frac{1}{2}$$

จากสมการ (2.7) จะได้

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad \ldots(2.9)$$

เมื่อ $t_{1/2}$ คือ ค่าครึ่งชีวิต

2.4.4 <u>หน่วยวัดความแรงของสารกัมมันตรังสี</u>

ความแรงของสารกัมมันตรังสีหรือกัมมันตภาพ เป็นหน่วยกัมมันตรังสีที่แสดงอัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี โดยมี คูรี (Curie) และรัทเธอร์ฟอร์ด (Rutherford:Rd) เป็นหน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพ โดยกำหนดว่า

1 คูรี หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

สำหรับหน่วยสากล (International System Units: SI units) กำหนด เบ็กเคอเรล (Becquerel:Bq) เป็นหน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพ

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

2.4.5 <u>ความแรงรังสีจำเพาะ (Specific activity)</u>

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของความแรงของสารกัมมันตรังสี ซึ่งหมายถึง ความแรงของสารกัมมันตรังสีต่อหน่วยน้ำหนักของธาตุกัมมันตรังสี ตัวอย่างหน่วยของความแรงรังสีจำเพาะ เช่น คูรีต่อกรัม (Ci/g) หรือ เบ็กเคอเรลต่อกรัม (Bq/g)

2.5 รังสีแกมมา

2.5.1 <u>การสลายตัวให้รังสีแกมมา</u>

การสลายตัวให้รังสีแกมมา เกิดขึ้นหลังจากการสลายตัวให้รังสีหรืออนุภาคใดๆแล้ว หากนิวไคลด์ลูกยังอยู่ในสถานะกระตุ้น นิวไคลด์นั้นจะต้องปรับตัวเข้าสู่สถานะพื้น โดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นก็คือ รังสีแกมมาหรือโฟตอน พลังงานและความถี่ของรังสีแกมมามีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$h\nu = |E_f - E_i| \qquad \ldots(2.10)$$

เมื่อ h คือ ค่าคงที่ของแพลงค์

ν คือ ความถี่ของพลังงานรังสีแกมมา

E_f คือพลังงานเริ่มต้น

E_i คือพลังงานสุดท้าย

การสลายตัวให้รังสีแกมมาไม่มีผลต่อเลขมวล และเลขอะตอมของนิวไคลด์ก่อนและหลังการสลายตัว แต่มีผลให้ค่าพลังงานลดลง นิวไคลด์แม่และนิวไคลด์ลูกจึงเป็นไอโซเมอร์ อาจเรียกการสลายตัวให้รังสีแกมมาได้ว่า “การเปลี่ยนแปลงไอโซเมอริก (Isomeric transition)”

2.5.2 <u>อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร</u>

เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้ามาในหัววัด จะเกิดอันตรกิริยากับสสาร และมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลอย่างต่อเนื่อง รูปแบบของอันตรกิริยามีหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 แบบ ที่มีผลและมีส่วนนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการวัดรังสี ดังนี้

2.5.2.1 <u>ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric effect)</u>

กระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอะตอม และมีการถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนตัวนั้นหลุดออกไปภายนอกอะตอม เรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน” โดยที่พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน (E_c)มีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีแกมมา ($h\nu$) กับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนขณะอยู่ที่วงรอบนิวเคลียส (E_b) ดังสมการ

$$E_c = h\nu - E_b \qquad \ldots(2.11)$$

เมื่อ h คือ ค่าคงที่แพลงค์ เท่ากับ 6.63×10^{-34}

ν คือ ความถี่ของพลังงานรังสีแกมมา

โอกาสในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก จะแปรตามค่าเลขอะตอมยกกำลังสี่ และแปรผกผันกับพลังงานรังสียกกำลังสาม

2.5.2.2 <u>การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering)</u>

เป็นกระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอะตอมโดยวิ่งชนอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอม แล้วถ่ายเทพลังงานให้อิเล็กตรอนตัวนั้นไม่หมด นั่นคือพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทให้อิเล็กตรอนตัวที่ถูกชนแล้วกระเด็นออกไป และพลังงานส่วนที่เหลือจะเป็นโฟตอนที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิมและทิศทางก็เปลี่ยนไปจากเดิมด้วย เขียนสมการได้ดังนี้

$$h\nu' = \frac{h\upsilon}{1+\left[\left(\frac{h\upsilon}{m_0c^2}\right)(1-\cos\theta)\right]} \qquad \ldots(2.12)$$

เมื่อ $h\nu$ คือ พลังงานเดิมของรังสีแกมมา

$h\nu'$ คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมา

θ คือ มุมที่รังสีแกมมาเบนไปจากแนวเดิมที่เข้ามา

M_0 คือ มวลของอิเล็กตรอนในสภาพหยุดนิ่ง

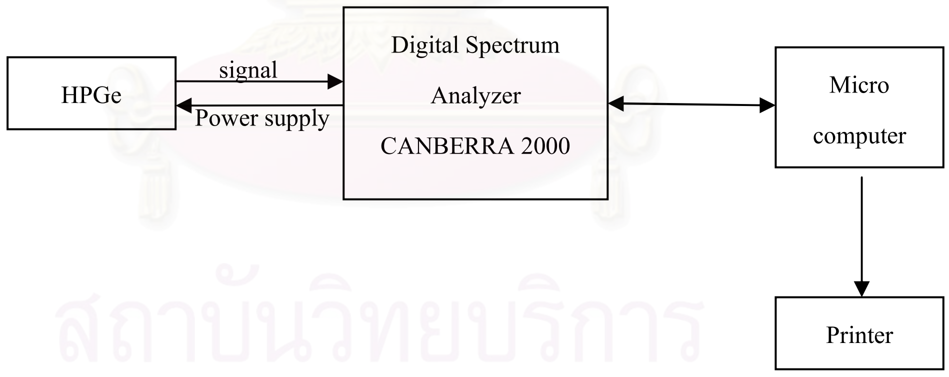
C คือ ความเร็วแสง เท่ากับ 2.9979×10^{10} cm/s

2.5.2.3 <u>การเกิดไอออนคู่ (Pair production)</u>

เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนที่ตกกระทบมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV ในกระบวนการนี้ พลังงานของโฟตอนจะถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน คือ โพสิตรอนและอิเล็กตรอน ขึ้นแทนพลังงานที่ใช้ในการเกิดโพสิตรอนและอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 0.511 MeV ส่วนพลังงานที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของโพสิตรอนและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเสถียร แต่โพสิตรอนที่เกิดขึ้นจะมีอายุสั้น เมื่อสูญเสียพลังงานจลน์หมดจะวิ่งไปรวมกับอิเล็กตรอน(ซึ่งมีอยู่ทั่วไป)กลายเป็นรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.511 MeV จำนวน 2 ตัว วิ่งในทิศตรงข้ามกัน กระบวนการนี้เรียกว่า “แอนนิฮิเลชั่น (annihilation)” โอกาสในการเกิดอิออนคู่ จะแปรตามเลขอะตอมยกกำลังสอง

2.6 ระบบการวัดรังสีแกมมา (Gamma-ray spectroscopy) [11]

วิธีแกมมาสเปกโตรสโคปีในการวิจัยนี้ ใช้หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ซึ่งเป็นหัววัดชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) เพื่อวัดรังสีแกมมาของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในตัวอย่างพืชและดิน



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัด การแปลความหมายและการแสดงผล

2.7 การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ [11]

การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งได้เป็น การวัดรังสีแกมมาในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Gamma – Rays Measurements) และ การวัดรังสีแกมมาในพื้นที่จริง (In-Situ Gamma - Rays Measurements) โดยหลักการแล้วการวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมนั้น มาจากการวัดจากกลุ่มตัวอย่าง นั่นคือเมื่อทำการวัดเมื่อใด กลุ่มตัวอย่างที่ถูกวัดนั้นก็จะเป็นตัวแทนของสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ณ ขณะนั้น

การวัดปริมาณรังสีแกมมาของตัวอย่างของสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ ในช่วงเวลาที่กำหนดเป็นวิธีที่ ง่าย เพราะเป็นงานสั้นๆพื้นที่เล็กๆ และการวัดอยู่ภายใต้การควบคุมของสภาวะในห้องปฏิบัติการ การเปรียบเทียบตัวอย่างของสิ่งแวดล้อมกับสารมาตรฐานทำได้ง่ายเพราะมีระบบการวัดที่เหมือนกันจึงสามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง ส่วนเรื่องของการเตรียมตัวอย่าง (sample preparation) นั้นโดยปกติตัวอย่างที่จะนำมาวัด จะต้องมีการเตรียมเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวัด ถ้าตัวอย่างอยู่ในรูปของแข็ง จะต้องเตรียมตัวอย่างให้มีรูปลักษณะเดียวกัน เช่น มีขนาดเดียวกัน มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ มีผิวหน้าเรียบ มีความหนาใกล้เคียงกันโดยต้อง ไม่หนากว่าความหนาวิกฤต และในขณะเดียวกันตัวอย่างจะต้องนำกลับมาใช้ได้อีก สำหรับตัวอย่างที่เป็นของแข็งและต้องการวัดรังสีแกมมา ปกติจะวัดโดยตรงซึ่งอาจมีการเตรียมตัวอย่างล่วงหน้าเพียงเล็กน้อย เตรียมตัวอย่างให้มีขนาดพอเหมาะกับหัววัด ส่วนภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างนั้นจะต้องทำด้วยสารที่มีเลขอะตอมต่ำๆ เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับเข้าไปในหัววัดอีก เพราะรังสีที่สะท้อนกลับอาจจะไปรบกวนพีคที่พลังงานต่ำกว่า ดังจะกล่าวได้ว่า ในการวัดตัวอย่างเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์มากที่สุด นั้นมีหลักการทั่วๆไปที่ต้องคำนึงถึงคือ (1) ชนิดของหัววัด (2) กัมมันตรังสีของตัวอย่าง (3) จำนวนตัวอย่างที่จะวัด (4) เวลาที่ใช้วัด (5) ความยากง่ายในการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพของตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital spectrum analyzer) 2000 ผลิตโดยบริษัท CANBERRA INDUSTRIES เชื่อมต่อกับหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

3.1.2 ไมโครคอมพิวเตอร์

3.1.3 กำบังรังสีทำด้วยตะกั่ว

3.1.4 ภาชนะบรรจุตัวอย่างทำด้วยพลาสติก รูปทรงกระบอกกลมพร้อมฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.30 เซนติเมตร และสูง 7.40 เซนติเมตร

3.1.5 Marrinelli Beaker

3.1.6 สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (Standard source) ที่มีลักษณะเป็นเจลและเป็น multiradionuclides ของบริษัท Eckert & Ziegler

3.1.7 สารมาตรฐานดิน IAEA-375

3.1.8 ตู้อบ

3.1.9 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.10 ตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

3.1.11 ดินจากแหล่งที่ปลูก มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

3.1.12 ที่ร่อนดิน

3.1.13 ถาดอะลูมิเนียม

3.1.14 เครื่องบดอาหาร

3.1.15 อะลูมิเนียมฟอยล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 หัววัดรังสีที่อยู่ภายในตะกั่วต่ออยู่กับถังบรรจุไนโตรเจนเหลว

รูปที่ 3.2 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ที่ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง และเชื่อมต่อกับหัววัดรังสี

รูปที่ 3.3 หัววัดรังสี HPGe ในกำบังรังสีทำจากตะกั่ว

รูปที่ 3.4 สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (Standard Source) สำหรับหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

รูปที่ 3.5 standard soil IAEA-375

รูปที่ 3.6 ภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 ตารางการเก็บตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

ตารางที่ 3.1 วันที่เก็บตัวอย่างแครอต และน้ำหนักสดที่ใช้ในการวิจัย

แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง		
	23 กันยายน 2551	1 ตุลาคม 2551	9 ตุลาคม 2551
ตลาดสดคลองเตย	4.5 กิโลกรัม	5.5 กิโลกรัม	4.7 กิโลกรัม
ห้างเทสโก้โลตัส สาขาพระราม 3	5.3 กิโลกรัม	4.8 กิโลกรัม	5.1 กิโลกรัม
ตลาดสดสะพานสอง	5 กิโลกรัม	4.9 กิโลกรัม	5.2 กิโลกรัม
ตลาดสดนางลิ้นจี่	4.8 กิโลกรัม	5 กิโลกรัม	5 กิโลกรัม
ท็อป ซุปเปอร์มาร์เก็ต สาขา เซ็นทรัล พระราม 3	5.1 กิโลกรัม	4.9 กิโลกรัม	5.3 กิโลกรัม

ตารางที่ 3.2 วันที่เก็บตัวอย่างมันสำปะหลัง และน้ำหนักสดที่ใช้ในการวิจัย

แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง		
	14 ตุลาคม 2550	23 ตุลาคม 2550	2 พฤศจิกายน 2550
จังหวัด นครปฐม	4.5 กิโลกรัม	4.7 กิโลกรัม	5 กิโลกรัม
	วันที่เก็บตัวอย่าง		
จังหวัด กรุงเทพฯ	16 ตุลาคม 2550	28 ตุลาคม 2550	7 พฤศจิกายน 2550
	5.5 กิโลกรัม	4.8 กิโลกรัม	5 กิโลกรัม
ตำบล สำโรงชัย	วันที่เก็บตัวอย่าง		
จังหวัด นครสวรรค์	22 ธันวาคม 2550	2 มกราคม 2551	10 มกราคม 2551
แหล่งที่ 3	4.5 กิโลกรัม	4.1 กิโลกรัม	4.4 กิโลกรัม
แหล่งที่ 4	4.1 กิโลกรัม	4.6 กิโลกรัม	5 กิโลกรัม
แหล่งที่ 5	4.7 กิโลกรัม	4.2 กิโลกรัม	4.5 กิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 วันที่เก็บตัวอย่างหัวไชเท้า และน้ำหนักที่ใช้ในการวิจัย

แหล่งที่เก็บตัวอย่าง	วันที่เก็บตัวอย่าง		
	20 กรกฎาคม 2550	27 กรกฎาคม 2550	4 สิงหาคม 2550
ชุมสายโทรศัพท์ อำเภอบางบัวทอง	12 กิโลกรัม	13.4 กิโลกรัม	15 กิโลกรัม
อำภอ บางบัวทอง	12.7 กิโลกรัม	14 กิโลกรัม	13.5 กิโลกรัม
แหล่งที่ 3 ตำบล บ้านกล้วย - ไทรน้อย	13.1 กิโลกรัม	11 กิโลกรัม	13.2 กิโลกรัม
แหล่งที่ 4 ตำบล บ้านกล้วย - ไทรน้อย	15 กิโลกรัม	11.5 กิโลกรัม	13 กิโลกรัม
แหล่งที่ 5 ตำบล บ้านกล้วย - ไทรน้อย	11 กิโลกรัม	11.3 กิโลกรัม	15 กิโลกรัม

ตัวอย่างแครอตได้ทำการซื้อจากตลาด 5 แหล่ง ได้แก่ ตลาดสดคลองเตย ห้างเทสโก้ โลตัส สาขาพระราม 3 ตลาดสดสะพานสอง ตลาดสดนางลิ้นจี่ และท๊อปซุปเปอร์มาร์เก็ต สาขาเซ็นทรัลพระราม 3 เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถหาแหล่งเพาะปลูกได้ โดยทำการซื้อตัวอย่างแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 1 สัปดาห์ และน้ำหนักที่ใช้โดยประมาณ 5 กิโลกรัม เพราะเป็นขนาดที่พอดีกับตัวอย่างที่แห้งแล้วสามารถบรรจุใส่ได้เต็ม Marinelli beaker

ตัวอย่างมันสำปะหลังที่เก็บมาเพื่อใช้ในการวิจัยมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ใช้ประกอบอาหาร ได้แก่ตัวอย่างมันสำปะหลังที่เก็บจาก อำเภอ นครชัยศรี จังหวัด นครปฐม และ เขตทวีวัฒนา จังหวัด กรุงเทพมหานคร อีกชนิดหนึ่งคือ มันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ แหล่งที่ 3 แหล่งที่ 4 และแหล่งที่ 5 จากตำบล สำโรงชัย จังหวัดนครสวรรค์ โดยตัวอย่างแต่ละแหล่งจะเก็บห่างกันประมาณ 1 สัปดาห์ และน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้โดยประมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อสามารถบรรจุใส่ Marinelli beaker ได้เต็ม.

ตัวอย่างหัวไชเท้าได้ทำการเก็บจากแหล่งเพาะปลูกจาก จังหวัดนนทบุรี อำเภอบางบัวทอง 2 แหล่ง และตำบล บ้านกล้วย – ไทรน้อย 3 แหล่ง น้ำหนักสดที่ใช้ในการวิจัย 15 กิโลกรัม โดยประมาณ โดยตัวอย่างที่เก็บจะเก็บห่างกันประมาณ 1 สัปดาห์

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

1. นำตัวอย่างที่เก็บมาได้มาปอกเปลือก จากนั้นนำมาล้างน้ำให้สะอาด ตั้งตัวอย่างไว้ให้สะเด็ดน้ำ
2. นำตัวอย่างที่สะเด็ดน้ำแล้วมาบดด้วยเครื่องบดอาหารให้ละเอียด
3. จากนั้นนำมาใส่ถาดอะลูมิเนียมที่มีอะลูมิเนียมฟอยด์หุ้มอยู่
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นาน 3 วัน ยกเว้นหัวไชเท้าที่ใช้เวลานาน 5 วัน
5. นำตัวอย่างที่อบแห้งแล้วมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นบรรจุใส่ใน Marinelli beaker ให้มี geometry เหมือนกับสารมาตรฐาน
6. ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 30,000 วินาที
7. นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของแต่ละนิวไคลด์ที่พบ

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำดินที่เก็บจากแหล่งเพาะปลูกพืชที่ทำการวิจัยมาใส่ชามเผาตัวอย่าง
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นาน 3 วัน
3. จากนั้นนำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วมาบด และนำมาร่อนเพื่อให้ได้อนุภาคของดินมีขนาดเดียวกัน
4. บรรจุตัวอย่างดินที่ร่อนแล้วใส่ลงในภาชนะพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร โดยมีความสูงเท่ากับ 4.7 เซนติเมตร ซึ่งความสูงที่ใช้นี้เป็นความสูงเดียวกับสารมาตรฐานดินที่ใช้ในงานวิจัย
5. ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 30,000 วินาที เช่นเดียวกับตัวอย่างพืช
6. นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของแต่ละนิวไคลด์ที่พบในตัวอย่างดินเพื่อหาความสัมพันธ์

3.2.3 การหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

ในงานวิจัยนี้ต้องการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติซึ่งอยู่ในตัวอย่างพืชโดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรสโคปี ซึ่งยังไม่ทราบว่าพืชแต่ละชนิดมีการดูดซึมธาตุชนิดใดเข้าไปสะสม

บ้าง และมีความสัมพันธ์กับดินที่เพาะปลูกอย่างไร จึงต้องมีการหาประสิทธิภาพของพืชและดินซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำสารมาตรฐานที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ในที่นี้ใช้สารมาตรฐานของบริษัท Eckert&Ziegler ซึ่งเป็น multinuclides มาทำการวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 10,000 วินาที

2. นำค่านับวัดรังสีที่ได้มาทำการพลอตกราฟเพื่อหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

3. สำหรับการหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่ใช้กับตัวอย่างดินทำเช่นเดียวกับข้อที่ 1-2 เพียงแต่เปลี่ยนสารมาตรฐานเป็นสารมาตรฐานดิน IAEA-375 ซึ่งบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกที่มีลักษณะเหมือนกับที่บรรจุตัวอย่าง

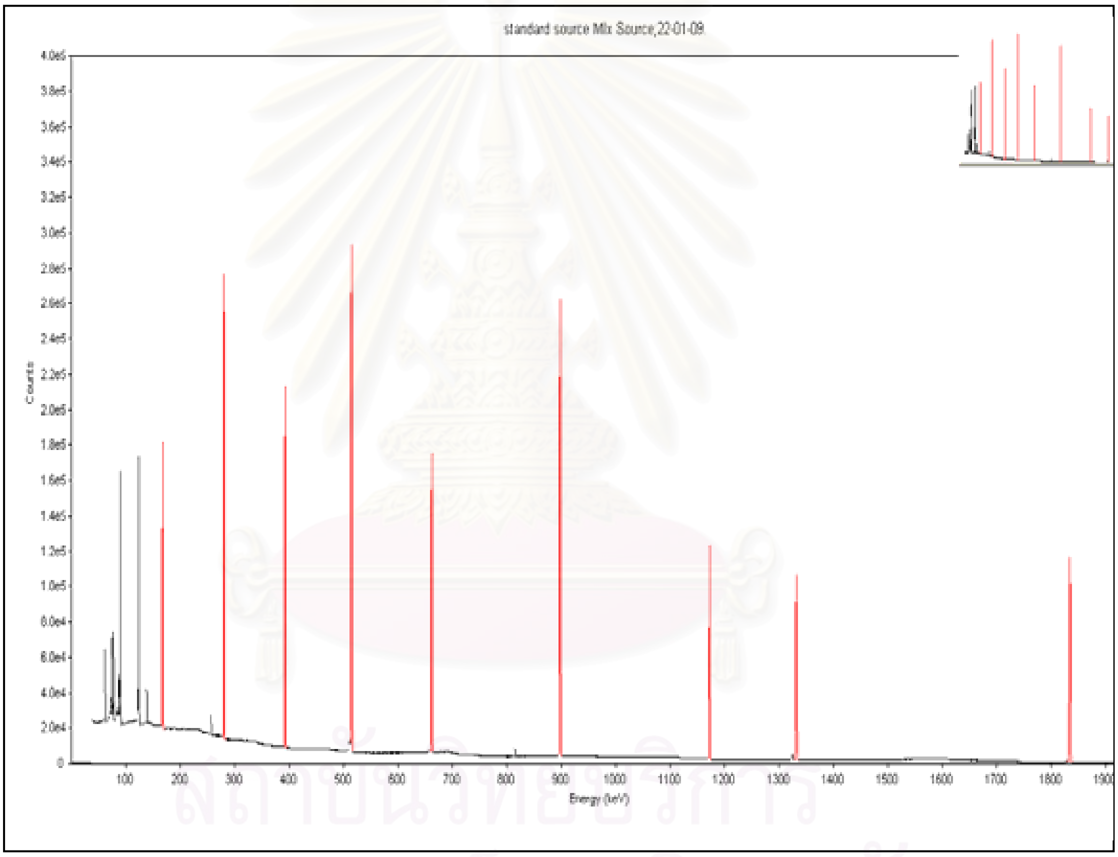
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีสำหรับตัวอย่างพืช

เมื่อนำสารกัมมันตรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเพื่อใช้เปรียบเทียบกับตัวอย่างพืชมาทำการวัดรังสีเป็นเวลา 10,000 วินาที ได้ผลดังรูปที่ 4.1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

จากนั้นนำค่าพื้นที่ใต้พีคที่พลังงานต่างๆมาคำนวณ แต่เนื่องจากสารกัมมันตรังสีมีการสลายตัวตลอดเวลา จึงต้องมีการคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในสารมาตรฐาน ณ เวลาปัจจุบัน โดยใช้สมการ

$$A_n(t) = A_0 e^{-\lambda_t} \qquad \ldots(4.1)$$

เมื่อ A_n คือ ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ชนิดใดๆ ณ. เวลาใดๆ (เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม)

A_0 คือ ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ชนิดใดๆ ณ.เวลาเริ่มต้น (เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิดใดๆ มีค่าเท่ากับ 0.693/ครึ่งชีวิต (วินาที$^{-1}$)

t คือ เวลาที่สารมาตรฐานสลายตัวตั้งแต่รับรองผลความเข้มข้น กัมมันตภาพ จนถึงปัจจุบัน(วินาที)

เมื่อได้ค่ากัมมันตภาพรังสี ณ เวลาที่ทำการวัดแล้ว สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานของนิวไคลด์ที่พบในสารมาตรฐานที่ใช้วัด โดยใช้สมการ

$$\varepsilon = \frac{cps}{AxP_\gamma}$$

เมื่อ ε คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานใดๆ

cps คือ จำนวนนับรังสี/เวลา

A คือ กัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีชนิดต่างๆ

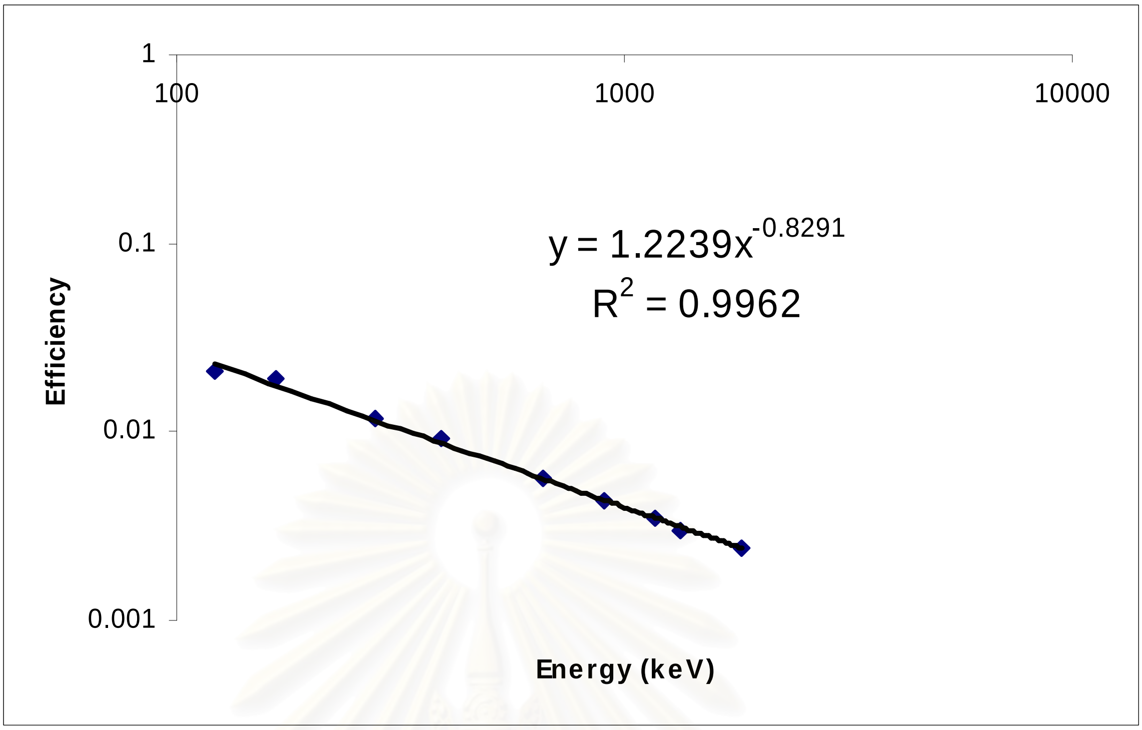
P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

ผลของพื้นที่ใต้พีคที่พลังงานต่างๆของแต่ละนิวไคลด์กัมมันตรังสีนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแต่ละพลังงานได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพื้นที่ใต้พีคและประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆ

ชนิดของนิวไคลด์	พลังงาน (keV)	พื้นที่ใต้พีค	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี
Co - 57	122	86100	0.02069
Ce - 139	166	80100	0.01886
Hg – 103	279	92300	0.01171
Sn - 113	392	107000	0.00911
Cs - 137	662	119000	0.00570
Y - 88	898	157000	0.00432
Co - 60	1173	101000	0.00343
Co - 60	1333	88700	0.00301
Y - 88	1836	93700	0.00244

นำข้อมูลประสิทธิภาพหัววัดรังสีในแต่ละค่าพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ไปสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ และหลังจากนั้นใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด ในการหาแนวโน้มของประสิทธิภาพ เพื่อใช้เส้นแนวโน้มไปคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานอื่นๆ เพื่อที่จะนำประสิทธิภาพที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างพืชชนิดต่างๆผลที่ได้แสดงดังกราฟรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับพลังงานต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.2 จะได้สมการของประสิทธิภาพของหัววัดรังสี คือ

$$y = 1.2239x^{-0.8291} \qquad \ldots(4.2)$$

เมื่อ y คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

x คือ พลังงานของรังสี

4.2 ผลการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในตัวอย่างแครอต มันสำปะหลังและหัวไชเท้า และขีดจำกัดของการวัดของนิวไคลด์ที่พลังงานต่างๆ

นำสมการที่ (4.2) ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พลังงานต่างๆในตัวอย่างพืชที่วิเคราะห์ และใช้สมการที่ (4.3) คำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างพืช

$$A_n = \frac{R_n}{\varepsilon_n \times P_\gamma \times m} \qquad \ldots(4.3)$$

เมื่อ A_n คือ ความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์ n (เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม)

m คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

R_n คือ อัตราการนับสุทธิของนิวไคลด์ n (จำนวนนับ/วินาที)

ε_n คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่ค่าพลังงานนั้นๆ

P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

เมื่อคำนวณค่ากัมมันตภาพในตัวอย่างทั้งพืชและดินแล้วจำเป็นต้องคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัด ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกถึงสมรรถภาพในการวัดของระบบวัดรังสี ซึ่งค่าขีดต่ำสุดที่หัววัดสามารถวัดได้อธิบายได้ด้วยค่า LLD (Lower Limit of Detection)

$$LLD = \frac{4.66 \times S_B}{\varepsilon_E \times P_\gamma} \quad \ldots(4.4)$$

(รายละเอียดของค่าขีดจำกัดของการวัดแสดงไว้ในภาคผนวก)

นำค่านับวัดรังสีที่ได้ในตัวอย่างไปคำนวณด้วยสมการที่ (4.3) และ (4.4) ได้ผลดังนี้

ผลการคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัด ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ค่าขีดจำกัดของการวัดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ที่พลังงานต่างๆ

นิวไคลด์	พลังงาน (keV)	ค่าขีดจำกัดของการวัด Bq/kg)
Ra - 226	186.20	3.79
Ac - 228	911.60	0.87
K - 40	1460.80	26.29

เมื่อหาค่าขีดจำกัดของการวัดของแต่ละนิวไคลด์ที่พลังงานต่างได้แล้ว จึงคำนวณผลความแรงรังสีจำเพาะของพืชแต่ละชนิดได้แก่ แครอต มันสำปะหลังและหัวไชเท้าแสดงดังตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างแครอต

แหล่งที่	ความแรงรังสีจำเพาะ (Bq/kg)								
	Ra - 226			Ac - 228			K - 40		
	ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง			ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง			ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	<3.79	21.55 ± 2.88	<3.79	2.03 ± 0.48	1.74 ± 0.46	4.14 ± 0.62	669.92 ± 13.81	641.87 ± 13.53	619.65 ± 13.30
แหล่งที่ 2	13.07 ± 2.58	<3.79	3.98 ± 2.28	5.81 ± 0.70	<0.87	2.34 ± 0.50	367.94 ± 10.21	351.40 ± 9.99	371.46 ± 10.26
แหล่งที่ 3	<3.79	<3.79	11.11 ± 3.70	<0.87	<0.87	1.32 ± 0.58	487.18 ± 14.68	460.72 ± 14.29	480.88 ± 14.58
แหล่งที่ 4	4.75 ± 3.72	<3.79	<3.79	4.23 ± 0.85	5.17 ± 0.91	1.76 ± 0.65	793.69 ± 19.21	698.86± 18.07	704.25 ± 18.13
แหล่งที่ 5	<3.79	<3.79	<3.79	3.12 ± 0.90	1.04 ± 0.71	>0.46	896.31 ± 23.02	969.56 ± 22.69	917.37 ± 23.28

จากตารางผลการวิจัยพบว่าแครอตมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226 มีค่าตั้งแต่ 0 - 21.55 , Ac – 228 มีค่าตั้งแต่ 0 – 5.81 และ K – 40 มีค่าตั้งแต่ 351.40 – 969.56 Bq/kg dry weight

ตารางที่ 4.4 ความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างมันสำปะหลัง

แหล่งที่	ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี (Bq/kg) dry weight								
	Ra - 226			Ac - 228			K – 40		
	ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง			ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง			ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	<3.79	<3.79	<3.79	<0.87	0.93 ± 0.25	<0.87	623.63 ± 9.94	560.44 ± 9.19	496.40 ± 8.18
แหล่งที่ 2	<3.79	<3.79	<3.79	3.12 ± 0.40	0.90 ± 0.24	<0.87	482.49 ± 8.85	527.19 ± 8.75	485.31 ± 7.98
แหล่งที่ 3	<3.79	<3.79	<3.79	1.36 ± 0.27	1.79 ± 0.29	1.31 ± 0.25	244.42 ± 5.97	270.24 ± 6.18	255.87 ± 5.89
แหล่งที่ 4	<3.79	<3.79	<3.79	<0.87	<0.87	1.61 ± 0.25	240.48 ± 5.41	263.61± 5.87	277.66 ± 5.76
แหล่งที่ 5	<3.79	<3.79	<3.79	<0.87	<0.87	<0.87	230.35 ± 5.64	253.62 ± 5.85	250.65 ± 5.93

จากตารางผลการวิจัยพบว่ามันสำปะหลังมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226 ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดของการวัด (LLD) ทุกตัวอย่าง , Ac – 228 มีค่าตั้งแต่ 0 – 3.12 และ K – 40 มีค่าตั้งแต่ 230.35 – 623.63 Bq/kg dry weight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นกัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างหัวไชเท้า

แหล่งที่	ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี (Bq/kg) dry weight								
	Ra - 226			Ac - 228			K - 40		
	ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง			ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง			ครั้งที่ของการเก็บตัวอย่าง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	<3.79	8.54 ± 1.45	10.78 ± 3.91	3.77 ± 0.62	<0.87	17.06 ± 1.49	1326.17 ±19.90	561.03 ± 9.19	1519.30 ±26.30
แหล่งที่ 2	<3.79	11.89 ± 3.61	8.15 ± 2.52	<0.87	5.50 ± 0.87	5.92 ± 0.72	2085 91± 26.97	1708.98 ±26.49	2058.03 ±24.24
แหล่งที่ 3	<3.79	5.64 ± 3.65	17.59 ± 3.75	8.53 ± 0.98	1.60 ± 0.62	7.82 ± 0.99	1900.54 ±26.42	1138.93 ±22.56	1294.25± 22.94
แหล่งที่ 4	<3.79	8.07 ± 3.67	<3.79	5.16 ± 0.75	3.36 ± 0.76	1.46 ± 0.49	2150.82 ±26.73	1898.63± 28.74	2150.82 ±26.73
แหล่งที่ 5	26.39 ± 3.16	<3.79	<3.79	5.33 ± 0.71	4.18 ± 0.78	3.59 ± 0.83	2366.07 ±26.54	1916.75 ±27.85	1458.60 ±26.56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางผลการวิจัยพบว่าหัวไชเท้ามีค่าความแรงรังสีจำเพาะ Ra – 226 มีค่าตั้งแต่ 0 – 26.39, Ac – 228 มีค่าตั้งแต่ 0 – 17.06 และ K – 40 มีค่าตั้งแต่ 561.03 – 2366 Bq/kg dry weight

4.3 ผลการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีสำหรับตัวอย่างดิน

ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีสำหรับตัวอย่างดินทำเช่นเดียวกับการหาประสิทธิภาพในตัวอย่างพืช ผลที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.6

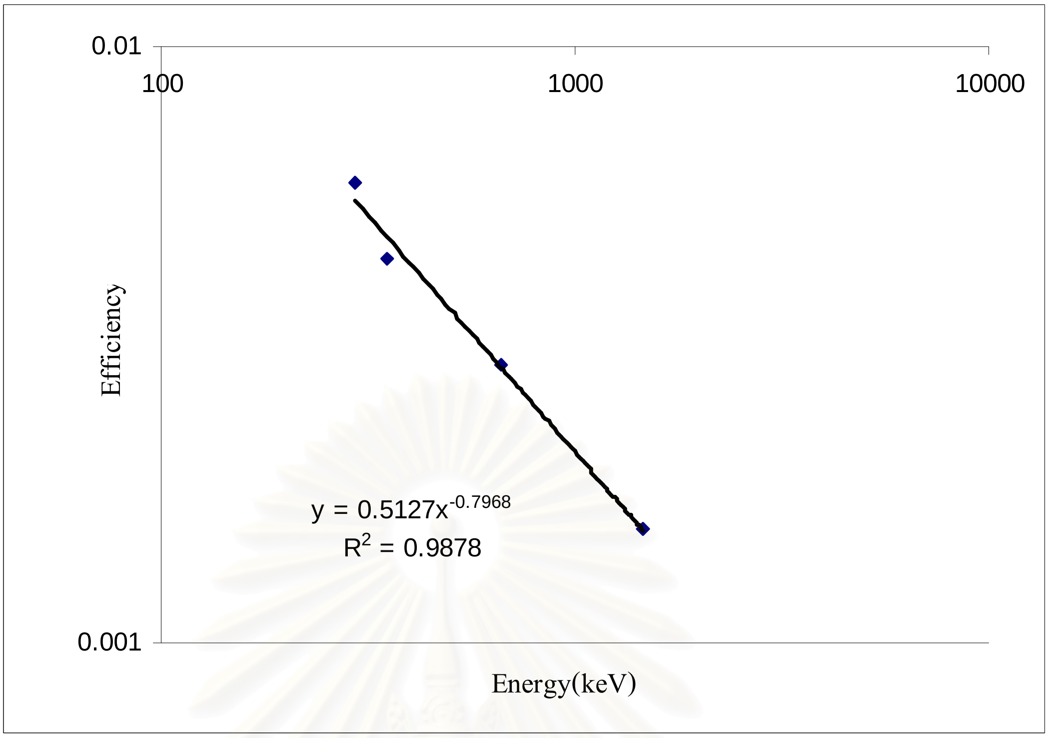
ตารางที่ 4.6 ค่าพื้นที่ใต้พีคและประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆของ

สารมาตรฐานดิน IAEA - 375

ชนิดของนิวไคลด์	พลังงาน (keV)	พื้นที่ใต้พีค	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี
Pb - 214	295.2	2256	5.92×10^{-3}
Pb - 214	351.9	3252	4.40×10^{-3}
Cs - 137	661.7	887403	2.93×10^{-3}
K - 40	1460.8	7006	1.55×10^{-3}

นำค่าในตารางไปสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์เช่นเดียวกับตัวอย่างพืช ได้กราฟดังรูปที่ 4.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดรังสีกับพลังงานต่างๆ ของสารมาตรฐานดิน IAEA – 375

จากกราฟรูปที่ 4.3 จะได้สมการของประสิทธิภาพของหัววัดรังสี คือ

$$y = 0.5127x^{-0.7968} \qquad ...(4.5)$$

เมื่อ y คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

x คือ พลังงานของรังสี (keV)

4.4 ผลการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พบในตัวอย่างดินที่ใช้เพาะปลูกมันสำปะหลังและหัวไชเท้า

ใช้สมการที่ (4.3), (4.4) และ (4.5) คำนวณความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์ในดินได้ผลดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 โดยเลือกนิวไคลด์ที่ตรงกับที่พบในพืช คือ Ra – 226 , Ac – 228 และ K – 40 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ความแรงรังสีจำเพาะของแต่ละนิวไคลด์ที่พบในตัวอย่างดินที่ใช้เพาะปลูกหัวไชเท้า

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะของแต่ละนิวไคลด์ในตัวอย่างดิน (Bq/kg)		
	Ra - 226	Ac - 228	K - 40
แหล่งที่ 1	778.95±25.80	374.29±11.26	1910.79±52.09
แหล่งที่ 2	837.46±24.54	335.65±9.79	1933.41±48.04
แหล่งที่ 3	769.71±23.68	978.68±22.33	2297.34±85.82
แหล่งที่ 4	768.62±23.85	575.87±17.36	4251.61±111.60
แหล่งที่ 5	799.89±23.67	321.36±9.45	1868.41±46.60

หมายเหตุ แหล่งที่ 1 คือ ดินที่ใช้ปลูกหัวไชเท้า บริเวณชุมสายโทรศัพท์ อำเภอ บางบัวทอง
แหล่งที่ 2 คือ ดินที่ใช้ปลูกหัวไชเท้า บริเวณ อำเภอ บางบัวทอง
แหล่งที่ 3, 4, 5 คือ ดินที่ใช้ปลูกหัวไชเท้า ตำบล บ้านกล้วย - ไทรน้อย

ตารางที่ 4.8 ความแรงรังสีจำเพาะของแต่ละนิวไคลด์ที่พบในตัวอย่างดินที่ใช้เพาะปลูกมันสำปะหลัง

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะของแต่ละนิวไคลด์ในตัวอย่างดิน (Bq/kg)		
	Ra - 226	Ac - 228	K - 40
แหล่งที่ 1	601.93±17.31	211.57±6.49	113.89±15.30
แหล่งที่ 2	221.76±12.64	121.83±5.52	565.41±26.50
แหล่งที่ 3	481.24±16.32	163.83±8.12	1221.64±56.41
แหล่งที่ 4	419.98±14.41	174.96±7.87	171.42±31.62
แหล่งที่ 5	302.24±13.42	145.51±7.73	128.35±34.08

หมายเหตุ แหล่งที่ 1 คือ ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังเก็บจาก อำเภอนครชัยศรี จังหวัด นครปฐม
แหล่งที่ 2 คือ ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังเก็บจาก เขตทวีวัฒนา จังหวัด กรุงเทพฯ
แหล่งที่ 3, 4, 5 คือ ดินที่ใช้ปลูกมันสำปะหลังเก็บจาก ตำบลสำโรงชัย จังหวัด นครสวรรค์

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นำข้อมูลความแรงรังสีจำเพาะในตัวอย่างดินและในพืชมาทำการเปรียบเทียบได้ผลดังนี้

4.5 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์ต่างๆที่พบในพืชกับดินที่ใช้เพาะปลูก

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226 ที่พบในตัวอย่างหัวไชเท้ากับตัวอย่างดิน

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะ ของ Ra - 226ใน ดิน (Bq/kg)	ความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226 ในตัวอย่างหัวไชเท้า (Bq/kg)		
		ผลการเก็บครั้งที่ 1	ผลการเก็บครั้งที่ 2	ผลการเก็บครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	778.95±25.80	<3.79	8.54 ± 1.45	10.78 ± 3.91
แหล่งที่ 2	837.46±24.54	<3.79	11.89 ± 3.61	8.15 ± 2.52
แหล่งที่ 3	769.71±23.68	<3.79	5.64 ± 3.65	17.59 ± 3.75
แหล่งที่ 4	768.62±23.85	<3.79	8.07 ± 3.67	<3.79
แหล่งที่ 5	799.89±23.67	26.39 ± 3.16	<3.79	<3.79

จากตารางจะพบว่าในพืชและในดินไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เนื่องจากผลของความแรงรังสีจำเพาะที่พบในดินแหล่งที่ 2 มีค่าสูงกว่าแหล่งอื่น แต่ค่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในพืชไม่ได้สูง และยังต่ำกว่าค่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในหัวไชเท้าที่เก็บจากแหล่งที่ 5 ซึ่งค่าความแรงรังสีจำเพาะในดินต่ำกว่าดินในแหล่งที่ 2

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ที่พบในตัวอย่างหัวไชเท้ากับตัวอย่างดิน

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะของ Ac - 228ในดิน (Bq/kg)	ความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในตัวอย่างหัวไชเท้า (Bq/kg)		
		ผลการเก็บครั้งที่ 1	ผลการเก็บครั้งที่ 2	ผลการเก็บครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	374.29±11.26	3.77 ± 0.62	<0.87	17.06 ± 1.49
แหล่งที่ 2	335.65±9.79	<0.87	5.50 ± 0.87	5.92 ± 0.72
แหล่งที่ 3	978.68±22.33	8.53 ± 0.98	1.60 ± 0.62	7.82 ± 0.99
แหล่งที่ 4	575.87±17.36	5.16 ± 0.75	3.36 ± 0.76	1.46 ± 0.49
แหล่งที่ 5	321.36±9.45	5.33 ± 0.71	4.18 ± 0.78	3.59 ± 0.83

จากตารางจะพบว่าในพืชและในดินไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เนื่องจากผลของความแรงรังสีจำเพาะที่พบในดินแหล่งที่ 3 มีค่าสูงกว่าแหล่งอื่น แต่ค่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในพืชไม่ได้สูง และยังต่ำกว่าค่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในหัวไชเท้าที่เก็บจากแหล่งที่ 1 ซึ่งค่าความแรงรังสีที่พบในดินที่เก็บจากแหล่งที่ 1 ยังมีค่าต่ำกว่าค่าความแรงรังสีที่พบในดินแหล่งที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ที่พบในตัวอย่างหัวไชเท้ากับตัวอย่างดิน

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะของ K - 40ในดิน (Bq/kg)	ความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ในตัวอย่างหัวไชเท้า (Bq/kg)		
		ผลการเก็บครั้งที่ 1	ผลการเก็บครั้งที่ 2	ผลการเก็บครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	1910.79±52.09	1326.17 ±19.90	561.03 ± 9.19	1519.30 ±26.30
แหล่งที่ 2	1933.41±48.04	2085 91± 26.97	1708.98 ±26.49	2058.03 ±24.24
แหล่งที่ 3	2297.34±85.82	1900.54 ±26.42	1138.93 ±22.56	1294.25±22.94
แหล่งที่ 4	4251.61±111.60	2150.82 ±26.73	1898.63± 28.74	2150.82 ±26.73
แหล่งที่ 5	1868.41±46.60	2366.07 ±26.54	1916.75 ±27.85	1458.60 ±26.56

จากตารางพบว่าความแรงรังสีจำเพาะของ K–40 ที่พบในตัวอย่างหัวไชเท้าไม่มีความสัมพันธ์กับตัวอย่างดิน ซึ่งค่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในตัวอย่างหัวไชเท้าแหล่งที่ 4 ควรจะมีค่าสูงกว่าแหล่งอื่นเนื่องจากมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K–40 ในดินสูงกว่าแหล่งอื่นที่ทำการวิเคราะห์ แต่ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K–40 ในหัวไชเท้ากลับมีค่าต่ำกว่าแหล่งที่ 5 ซึ่งค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K–40 ในดินต่ำกว่าแหล่งที่ 4 ประมาณ 2 เท่า

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ที่พบในตัวอย่างมันสำปะหลังกับตัวอย่างดิน

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะของ Ac - 228ในดิน (Bq/kg)	ความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในตัวอย่างมันสำปะหลัง (Bq/kg)		
		ผลการเก็บครั้งที่ 1	ผลการเก็บครั้งที่ 2	ผลการเก็บครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	211.57±6.49	<0.87	0.93 ± 0.25	<0.87
แหล่งที่ 2	121.83±5.52	3.12 ± 0.40	0.90 ± 0.24	<0.87
แหล่งที่ 3	163.83±8.12	1.36 ± 0.27	1.79 ± 0.29	1.31 ± 0.25
แหล่งที่ 4	174.96±7.87	<0.87	<0.87	1.61 ± 0.25
แหล่งที่ 5	145.51±7.73	<0.87	<0.87	<0.87

จากตารางพบว่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ที่พบในตัวอย่างมันสำปะหลังไม่มีความสัมพันธ์กับตัวอย่างดิน ซึ่งค่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในตัวอย่างแหล่งที่ 1 ควรจะมีค่าสูงกว่าแหล่งอื่นเนื่องจากมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228ในดินสูงกว่าแหล่งอื่นที่ทำการวิเคราะห์ แต่ค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในมันสำปะหลังกลับมีค่าต่ำกว่าแหล่งที่ 2 ซึ่งค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในดินต่ำกว่าแหล่งอื่นที่ทำการวิจัย

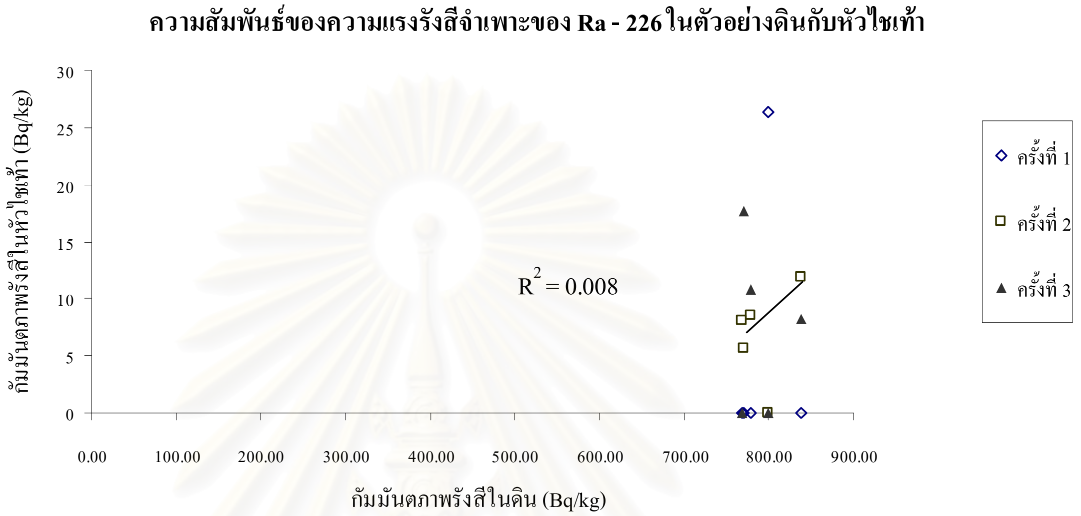
ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ที่พบในตัวอย่างมันสำปะหลัง กับตัวอย่างดิน

แหล่งที่เก็บ	ความแรงรังสีจำเพาะของ K - 40ในดิน (Bq/kg)	ความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ในตัวอย่างมันสำปะหลัง (Bq/kg)		
		ผลการเก็บครั้งที่ 1	ผลการเก็บครั้งที่ 2	ผลการเก็บครั้งที่ 3
แหล่งที่ 1	113.89±15.30	623.63 ± 9.94	560.44 ± 9.19	496.40 ± 8.18
แหล่งที่ 2	565.41±26.50	482.49 ± 8.85	527.19 ± 8.75	485.31 ± 7.98
แหล่งที่ 3	1221.64±56.41	244.42 ± 5.97	270.24 ± 6.18	255.87 ± 5.89
แหล่งที่ 4	171.42±31.62	240.48 ± 5.41	263.61± 5.87	277.66 ± 5.76
แหล่งที่ 5	128.35±34.08	230.35 ± 5.64	253.62 ± 5.85	250.65 ± 5.93

จากตารางการเปรียบเทียบจะพบว่ามันสำปะหลังกับดินไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของ K–40 ในดินแหล่งที่ 1 มีค่าต่ำกว่าความแรงรังสีจำเพาะที่พบในมันสำปะหลังที่เก็บจากแหล่งที่ 1 ส่วนความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ที่พบในดินแหล่งที่ 3, 4 และ 5 พบว่ามีค่าต่างกันมาก แต่ความแรงรังสีจำเพาะที่พบในมันสำปะหลังกลับมีค่าใกล้เคียงกัน

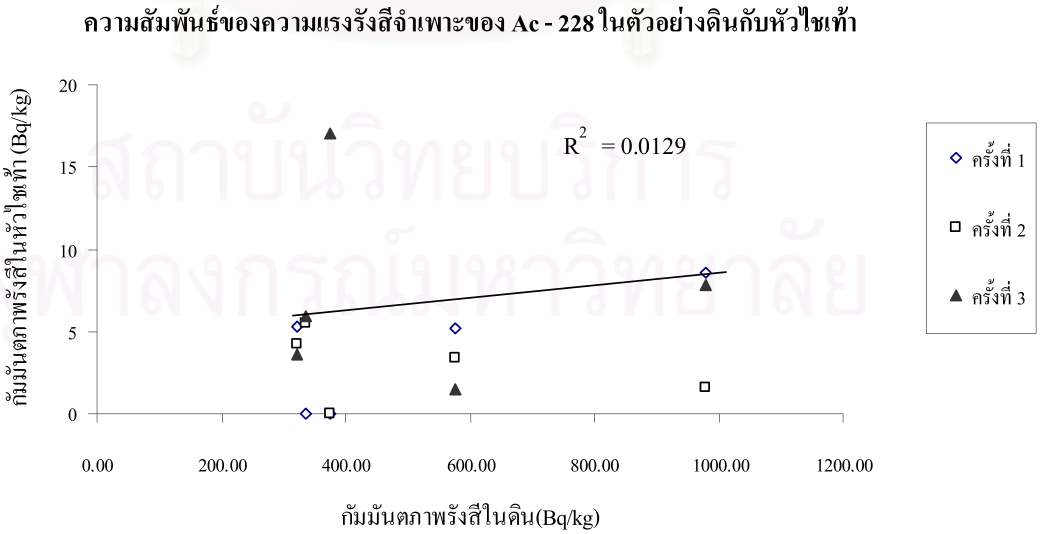
นำผลการเปรียบเทียบที่ได้จากตารางมาสร้างกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ ได้ผลดังนี้

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของนิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีที่พบในตัวอย่างพืชและดินหัวไชเท้า



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226 ในดินกับหัวไชเท้า

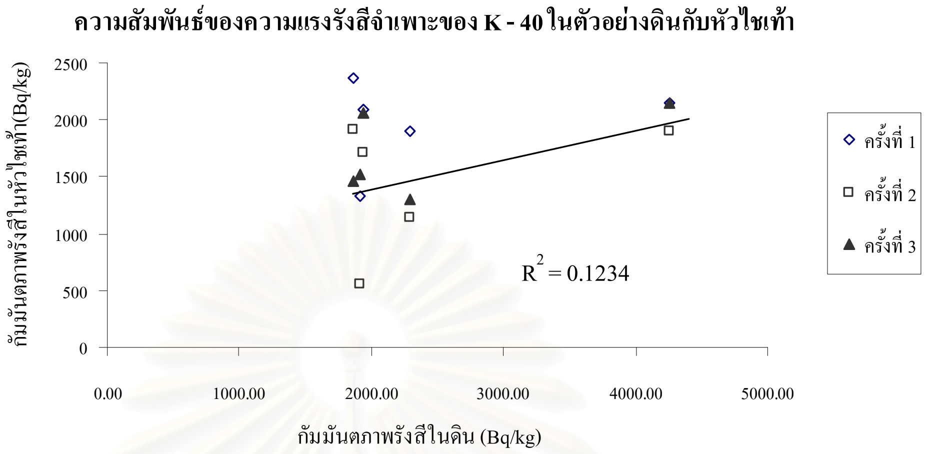
จากกราฟความสัมพันธ์เมื่อนำมาหาค่า R – Square ได้ 0.008 ซึ่งแนวโน้มไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัย



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในดินกับหัวไชเท้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

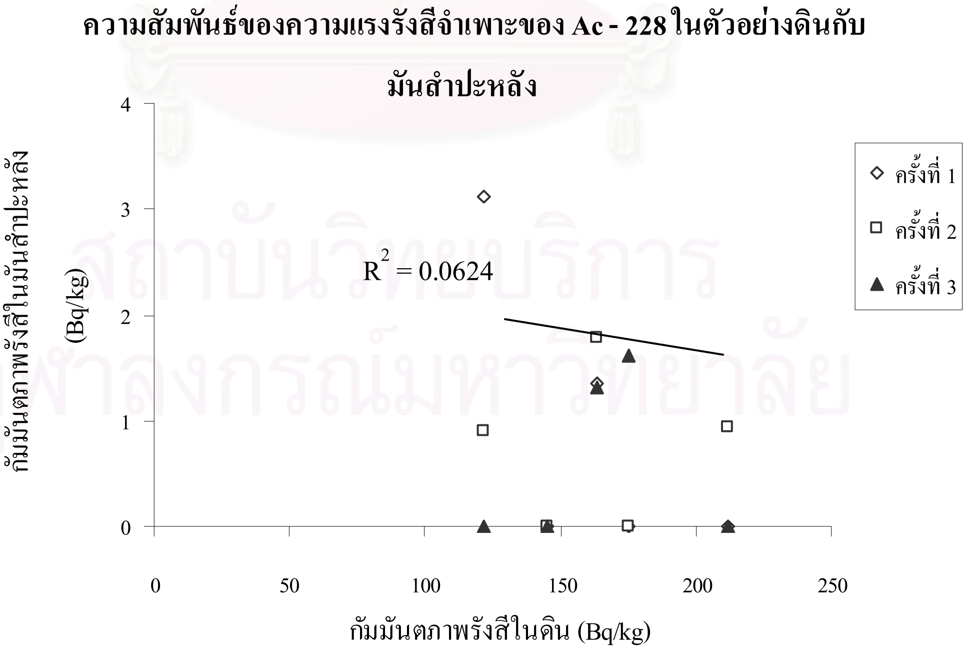
จากกราฟความสัมพันธ์เมื่อนำมาหาค่า R – Square ได้ 0.0129 ซึ่งแนวโน้มไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัย



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ในดินกับหัวไชเท้า

จากกราฟความสัมพันธ์เมื่อนำมาหาค่า R – Square ได้ 0.1234 ซึ่งแนวโน้มไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัย

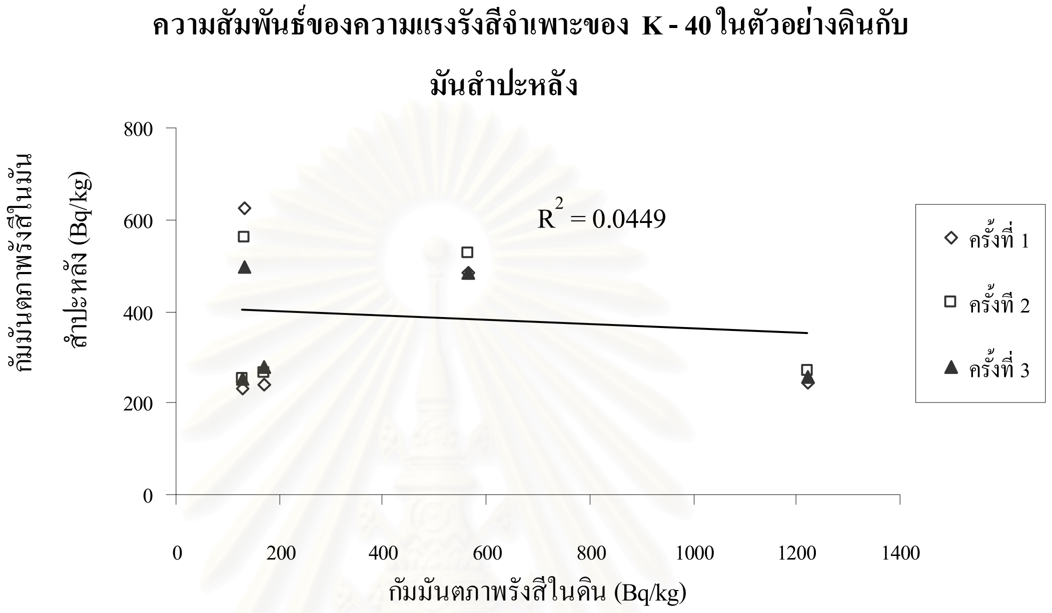
มันสำปะหลัง



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ Ac – 228 ในดินกับมันสำปะหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟความสัมพันธ์เมื่อนำมาหาค่า R – Square ได้ 0.0624 ซึ่งแนวโน้มไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัย



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของ K – 40 ในดินกับมันสำปะหลัง

จากกราฟความสัมพันธ์เมื่อนำมาหาค่า R – Square ได้ 0.0449 ซึ่งแนวโน้มไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัย

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1.1 การทดลองหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า พบ เรเดียม– 226 , แอคติเนียม – 228 และโพแทสเซียม – 40 ซึ่งค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

5.1.2 สรุปผลการคำนวณความแรงรังสีจำเพาะในหน่วย เบคเคอเรลต่อน้ำหนักแห้ง (Bq/kg) ที่พบในตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้าได้ผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ra – 226, Ac – 228 และ K – 40 ในตัวอย่างแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า

ชนิดของพืชที่วิจัย	ความแรงรังสีจำเพาะของนิวไคลด์ที่พบในตัวอย่างพืช (Bq/kg)		
	Ra - 226	Ac - 228	K - 40
แครอต	0 – 21.55	0 – 5.81	351.40 – 969.56
มันสำปะหลัง	มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดของการวัดทุกตัวอย่าง	0 – 3.12	230.35 – 623.63
หัวไชเท้า	0 – 26.39	0 – 17.06	561.03 – 2366

5.1.3 ในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีในแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้าพบว่า พืชทั้งสามชนิดมีการดูดซึมธาตุกัมมันตรังสีเหมือนกัน ยกเว้นมันสำปะหลังที่มีค่ากัมมันตภาพของเรเดียม – 226 ต่ำกว่าขีดจำกัดของการวัดในตัวอย่างทุกตัว

5.1.4 ผลการหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของแครอต มันสำปะหลัง และหัวไชเท้าไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องมาจากไม่ได้รอให้ธาตุกัมมันตรังสีที่อยู่ในตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุล

5.1.5 งานวิจัยนี้ได้ใช้มันสำปะหลัง 2 ชนิดมาทำการวิจัย คือ มันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยเก็บจากจังหวัด นครสวรรค์ และมันสำปะหลังที่ใช้ทำเป็นอาหารเก็บจาก จังหวัดนครปฐมและกรุงเทพมหานคร พบว่า มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม แตกต่างกัน โดยในมันสำปะหลังที่ใช้ทำเป็นอาหารมีปริมาณของโพแทสเซียมสูงกว่ามันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

5.1.7 ตัวอย่างดินที่เก็บจากแหล่งเพาะปลูกได้แก่ มันสำปะหลัง และหัวไชเท้า ยกเว้น แครอต เนื่องจากไม่สามารถหาแหล่งที่เพาะปลูกแครอตได้ จึงได้ทำการซื้อตัวอย่างแครอตจากท้องตลาดมาทำการวิจัย พบว่าจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของมันสำปะหลังและหัวไชเท้าโดยค่า R – Square ที่ได้ไม่มีค่าใดที่มีแนวโน้มว่าจะสัมพันธ์กัน จึงสรุปว่าตัวอย่างมันสำปะหลังและหัวไชเท้าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความแรงรังสีจำเพาะที่พบในตัวอย่างดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากในการวัดตัวอย่างพบว่าค่าแบคกราวด์ที่พลังงาน186.20 keV มีค่าค่อนข้างสูง โดยอาจมาจากโลหะที่ใช้ประกอบหัววัดรังสี เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจแก้ไขโดยการใช้วัสดุที่ผลิตจากโพลีเมอร์ครอบหัววัดรังสีเพื่อป้องกันรังสีจากตัวหัววัดรังสีเอง

5.2.2 ถ้าใช้เวลานับรังสีนานขึ้น และเพิ่มขนาดตัวอย่างมากขึ้น จะได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดต่ำลง และจะได้ค่าทางสถิติในการนับรังสีดีขึ้นด้วย

5.2.3 ควรมีการวิจัยในพืชชนิดอื่นที่มนุษย์นำส่วนที่อยู่ใต้ดินมาบริโภค เพื่อใช้ยืนยันว่ามีการดูดซึมธาตุกัมมันตรังสีชนิดอื่นนอกเหนือจากธาตุที่พบในงานวิจัยนี้หรือไม่

5.2.4 ควรมีการเก็บตัวอย่างจากแหล่งอื่นๆ เพื่อทดสอบผลการวิจัย เนื่องจากแหล่งเพาะปลูกต่างกัน ดินที่ใช้เพาะปลูกย่อมต่างกัน สภาพภูมิอากาศก็ย่อมต่างกัน อาจมีการดูดซึมแร่ธาตุต่างๆแตกต่างกันก็ได้

5.2.5 ควรมีการทดลองเก็บตัวอย่างตามฤดูกาลเพื่อดูการสะสมในแต่ละฤดูกาลว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

5.2.6 อาจทำการวิจัยโดยเพาะปลูกและเก็บตัวอย่างเองบนพื้นที่ที่จะใช้วิจัย เพื่อป้องกันการรบกวนของปัจจัยอื่นที่จะมีผลต่อการวิเคราะห์

5.2.7 ควรมีการควบคุมตัวแปร เช่น อายุของพืชที่ใช้ในงานวิจัย ระยะเวลาที่ใช้เพาะปลูก ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว เป็นต้น ซึ่งตัวแปรต่างๆเหล่านี้มีผลต่อความแรงรังสีจำเพาะ

5.2.8 เนื่องจากในการวิเคราะห์พบนิวไคลด์ที่เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม – 226 และแอกติเนียม – 228 ได้แก่ ตะกั่ว – 214 , บิสมัท – 214 และตะกั่ว – 212 แต่ในงานวิจัยไม่ได้รอจนกระทั่งตัวอย่างเข้าสู่สมดุล จึงไม่ได้รายงานค่าของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้ ดังนั้นจึงควรรอให้เก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 1 เดือน ในภาชนะที่ปิดผนึก จนกระทั่งตัวอย่างเข้าสู่สมดุลจึงทำการวัดตัวอย่าง เพื่อที่จะได้ทราบว่าพืชมีการดูดซึมธาตุเหล่านี้หรือเกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีตัวแม่

รายการอ้างอิง

[1] บรรจง หวังเจริญรุ่ง. การศึกษาปริมาณของสารกัมมันตรังสี ซีเซียม-137 และโปแตสเซียม-40 ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม โดยวิธีแกมมาสเปคโตรสโคปี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521

[2] Y.H. Choi, C.W. Lee, S.R. Kim, J.h. Lee and J.S. Jo. Effect of application Time of Radionuclides on Their Root Uptake By Chinese Cabbage and Radish. J.Environ.Radioactivity. 1998:183-189

[3] Adam Khatir Sam, Ake Eriksson. Radium-226 Uptake by Vegetation Grown in Western Sudan. J.Environ.Radioactivity. 1995:27-38

[4] H.M. Badran, T. Sharshar, T. Elnimer. Levels of ^{137}Cs and ^{40}K in edible parts of some vegetables consumed in Egypt. J.Environ.Radioactivity. 2003:181-190

[5] V.A. Pulhani, S. Dafauti, A.G. Hegde, R.M. Sharma and U.C. Mishra. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. J.Environ.Radioactivity. 2005:331-346

[6] O. Oestling, P. Kopp and W.Burkart. Foliar Uptake of Cesium, Iodine and Strontium and Their Transfer To The Edible Parts of Beans, Potatoes and Radishes. Radiat. Phys. Chem. Vol.33,No.6,1989:551-554

[7] J.R.Cooper, K. Randle and R.S. Sokhi. Radioactivity Releases in the Environment : Impact and Assesment. John Wiley & Sons, 2003

[8] Gerhart Friedlander, Joseph W. Kennedy, Edward S. Kennedy, Julian Malcolm Miller. Nuclear and Radiochemistry. 3rded.John Wiley & Sons, 1981

[9] บูลัน เตาวะโต. การตรวจหานิวไคลด์กัมมันตรังสีในอาหารสดด้วยหัววัดรังสีแกมมาชนิดเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูงเพื่อการประเมินปริมาณรังสีที่ประชากรไทยได้รับจากการบริโภคประจำวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

[10] ภารตี สราภัสสร. การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม โดยใช้หัววัดรังสีเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[11] IAEA. 1989. Measurement of Radionuclides in Food and the environment. Vienna. 163 p.

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[12] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurements. 3rd ed.New York:John Wiley & Sons, 1999

[13] Adams, F., and Dams, R. Applied Gamma-Ray Spectrometry. 2nd ed. Oxford:Pergamon Press, 1970

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แครอต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แครอต

1. ชื่อสามัญ Carrot, Bird’nest Root, Beesnest Plant

2. ชื่อวิทยาศาสตร์ Daucus carota Linn

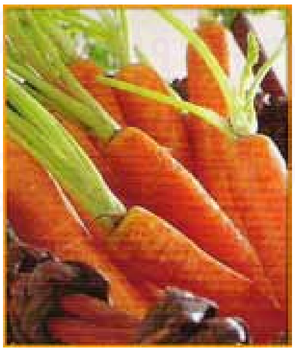
3. ชื่อวงศ์ Umbelliferae

4. ชื่ออื่นๆ ผักกาดหัวเหลือง ผักหัวชี

5. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

แครอตจัดเป็นพืชล้มลุกอายุ 1 – 2 ปี สูงประมาณ 1 – 1.50 เมตร รากมีลักษณะยาวเรียว ใช้เป็นที่สะสมอาหาร เรียกว่าหัว รากมีสีส้มทั้งเนื้อและผิว ใบเป็นใบประกอบแบบขนนก มีลักษณะเป็นฝอยรูปสามเหลี่ยม รูปใบหอกโผล่ขึ้นมาเหนือดินเป็นกระจก ดอกออกรูปเป็นช่อรูปร่างคล้ายร่มสีขาว-เหลือง ผลเป็นรูปยาวรี แข็ง มีสันกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 4 มิลลิเมตร ทั้งต้นจะมีกลิ่นเฉพาะ การขยายพันธุ์ทำโดยใช้เมล็ดเพาะและขุดหลุมปลูก โดยแครอตชอบดินร่วนและอากาศเย็น ดังนั้นจึงสามารถปลูกได้ดีในภาคเหนือของประเทศไทย

6. การขยายพันธุ์ ใช้เมล็ดปลูก



รูปแครอต

ภาคผนวก ข

มันสำปะหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มันสำปะหลัง

1. ชื่อสามัญ Cassava, Yuca, Mandioca, Manioc, Tapioca

2. ชื่อวิทยาศาสตร์ *Manihot esculenta* (L.) Crantz

3. ชื่อวงศ์ Euphorbiaceae

4. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มขนาดเล็กและมีอายุได้หลายปี เมื่ออายุประมาณ 2 เดือน รากจะค่อยๆ สะสมแป้งทำให้รากมีขนาดโตขึ้นเรียกว่า หัว โดยทั่วไปแล้วจะเก็บเกี่ยวพืชหัวนี้เมื่ออายุประมาณ 1 ปี ระยะนี้ต้นมันสำปะหลังจะมีความสูงประมาณ 2 – 3 เมตร

นอกจากนี้มันสำปะหลังยังสามารถขึ้นได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ใช้ปลูกพืชไร่ชนิดอื่นไม่ได้ผลแล้วแต่ยังสามารถปลูกมันสำปะหลังได้ และยังเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี หลังจากกมันสำปะหลังตั้งตัวแล้วแม้จะไม่มีฝนตกติดต่อกันระยะยาวนานเป็นเดือนมันสำปะหลังก็ไม่ตาย แต่ต้นจะทิ้งไปและหยุดการเจริญเติบโต พอได้ฝนก็จะลำเลียงแป้งจากหัวมาสร้างยอดและใบเจริญเติบโตต่อไป จะเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 6 – 12 เดือนหรือนานกว่านั้น ยิ่งทิ้งไว้นานๆผลผลิตก็ยิ่งเพิ่มขึ้น

พันธุ์มันสำปะหลังที่ปลูกอยู่ทั่วไปในประเทศไทยมีอยู่ 3 พันธุ์ คือ

1. พันธุ์ที่ใช้หัวเป็นอาหารของมนุษย์ นิยมปลูกกันตามบ้านเพื่อใช้เป็นอาหารในครอบครัว เรียกกันว่า พันธุ์ห้านาที เป็นพันธุ์ที่มีกรดไฮโดรไซยานิกในหัวต่ำ เมื่อต้มแล้วเนื้อจะซุย นุ่ม ไม่ขม และมีรสชาติดี ใช้เป็นอาหาร โดยปิ้ง เผา ต้ม และเชื่อม เป็นต้น พันธุ์นี้สังเกตได้ที่ก้านใบมีสีแดงเข้ม ทั้งก้านและเปลือกของหัวขรุขระและมีสีน้ำตาล มีขายทั่วไปตามท้องตลาด

2. พันธุ์ที่ใช้หัวในอุตสาหกรรม พันธุ์นี้ปลูกเป็นการค้าจำนวนมากนับล้านๆไร่ เพื่อส่งเข้าโรงงานทำแป้ง หรือโรงงานมันเส้น เรียกกันว่าพันธุ์พื้นเมืองหรือพันธุ์ระยอง เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งในหัวมากและมีกรดไฮโดรไซยานิกสูง จึงมีรสขม เนื้อหัวหยาบรสไม่อร่อย แต่เจริญเติบโตได้ดี ผลผลิตสูง จึงปลูกเพื่อส่งเข้าโรงงาน ลักษณะประจำพันธุ์นี้คือ ก้านใบมีสีเขียวอ่อนปนแดง หัวเรียบมีสีขาว

3. พันธุ์ที่ใช้เป็นไม้ประดับ นิยมปลูกกันตามบ้านเพื่อความสวยงาม เรียกว่า “มันด่าง” ใบจะด่างมีสีเขียวปนเขียวอ่อนและขาว สีด่างของใบสวยงาม จึงปลูกเป็นไม้ประดับ

รูปมันสำปะหลัง

รูปต้นมันสำปะหลัง

รูปมันสำปะหลัง

ภาคผนวก ค

หัวไชเท้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวไชเท้า

1. ชื่อสามัญ หัวผักกาดขาว ไช่เท้า ไช่โป๊ ผักกาดขาว ผักกาดจีน ผักกาดหัว ผักขี้หูด ผักเป๊กหัว Chinese radish , Oriental radish, Daikon

2. ชื่อวิทยาศาสตร์ Raphanus sativus Linn. , Cv group Chinese radish

3. ชื่อวงศ์ Cruciferae

4. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อายุ 1 หรือ 2 ฤดู แต่ส่วนมากจะปลูกเป็นพืชฤดูเดียว รากเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารขยายพองโตออก ด้านข้างอาจมีรากฝอยบ้าง เป็นส่วนที่นำมาบริโภคเป็นอาหาร ลำต้นสั้นเชื่อมต่ออยู่ระหว่างรากกับใบ ใบเป็นใบเดี่ยว ใบเรียวยาว ปลายใบมนขอบใบเป็นคลื่นเว้าเข้าหลายหยักดอก ออกเป็นช่อแบบราซีม มีสีขาวหรือสีม่วงติดฝักชนิดผ่าแล่ง การเก็บเกี่ยวจะได้เมื่อมีอายุประมาณ 40 – 50 วัน สำหรับพันธุ์เบา 70 – 90 วัน สำหรับพันธุ์หนัก

รูปหัวไชเท้า

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K-40 ในมันสำปะหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K-40 ในตัวอย่าง และค่าขีดจำกัดของการวัด

1. ค่านับรังสีแกมมาสุทธิของK – 40 (counts/s) = (ค่านับรังสีของK – 40) - (ค่านับรังสีของแบคกราวด์ K – 40)

2. สมการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆ

$$y = 1.2239x^{-0.8291}$$

เมื่อ y คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

x คือ พลังงานของรังสี

3. ค่าความแรงรังสีของ K – 40

$$A_n = \frac{R_n}{\varepsilon_n \times P_\gamma \times m}$$

เมื่อ A_n คือ ความเข้มข้นกัมมันตภาพของนิวไคลด์ n (เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม)

m คือ มวลของสารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

R_n คือ อัตราการนับสุทธิของนิวไคลด์ n (counts/วินาที)

ε_E คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่ค่าพลังงานใดๆ

P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

4. ค่าขีดจำกัดของการวัด

$$LLD = \frac{4.66 \times S_B}{\varepsilon_E \times P_\gamma}$$

เมื่อ S_b คือ อัตราการนับของแบคกราวด์ (counts/s)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าความแรงรังสีของK – 40 ในตัวอย่างมันสำปะหลังและค่าขีดจำกัดของการวัด

(ตัวอย่างมันสำปะหลังเก็บแหล่งที่1 ครั้งที่ 1)

ค่านับรังสีของ K – 40 ในตัวอย่างมันสำปะหลัง	=	4056 counts
ค่านับรังสีของ K – 40 ของแบคกราวด์	=	61 counts
เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	=	30,000 second
ค่านับรังสีสุทธิของ K – 40	=	$\frac{(4056-61)}{30000}$
	=	0.133167 count/s
ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีของ K – 40	=	0.002911
น้ำหนักที่ใช้วิเคราะห์	=	0.686 kg
จำนวนรังสีแกมมาที่สลายตัวในหนึ่งครั้ง	=	0.107
ค่ากัมมันตภาพรังสีของ K – 40	=	$\frac{0.133167}{(0.002911x0.686x0.107)}$
	=	623.629 Bq/kg
อัตราการนับวัดของแบคกราวด์	=	0.002033 counts/s
ค่าขีดจำกัดของการวัด	=	$\frac{(4.66x0.002033)}{(0.002911x0.107)}$
	=	31.76 Bq/kg

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ค่าขีดจำกัดของการวัด (Lower Limits of Detection)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าขีดจำกัดของการวัด (Lower Limits of Detection)

ในการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นระดับที่มีกัมมันตภาพรังสีต่ำ ระดับกัมมันตภาพรังสีนี้ได้นำมาเปรียบเทียบกับแบคกราวด์ โดยที่ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ต่ำที่สุดที่เครื่องวัดสามารถวัดได้ คือ LLD (Lower Limits of Detection) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{LLD} = \frac{4.66 x S_n}{P_\gamma x \varepsilon}$$

เมื่อ	LLD	คือ	ค่าต่ำสุดของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สามารถวิเคราะห์ได้
	4.66	คือ	ค่าคงที่ซึ่งมาจากการกำหนดให้ค่าที่วัดได้มีความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ค่าที่ได้เป็นค่าที่มาจากรังสีจริง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{2}k$ โดยที่ค่า k ได้จากการแจงแจงแบบปกติ
	S_n	คือ	ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการวัดสุทธิใต้พีค
	P_γ	คือ	จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง
	ε	คือ	ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานนั้นๆ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางกนกพร ธรฤทธิ์ เกิดวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2521 ที่ กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย