



รายงานการวิจัย

การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

Measurement of specific activity of natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and anthropogenic radionuclides (^{137}Cs) in vegetable and drinking water from Muang and Hatyai municipal area of Songkhla province (Thailand) using gamma spectrometry technique.

อัฐชัย ถาวรสุวรรณ	Auttachai Thawonsuwan
ประสงค์ เกษราธิคุณ	Prasong Kessaratikoon
ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล	Supphawut Benjakul

สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2555



รายงานการวิจัย

การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

Measurement of specific activity of natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and anthropogenic radionuclides (^{137}Cs) in vegetable and drinking water from Muang and Hatyai municipal area of Songkhla province (Thailand) using gamma spectrometry technique.

อัฐชัย ถาวรสวรรณ	Auttachai Thawonsuwan
ประสงค์ เกษราธิคุณ	Prasong Kessaratikoon
ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล	Supphawut Benjakul

สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2555

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา ประจำปีงบประมาณ 2555 ทางคณะวิจัยใคร่ขอขอบคุณสาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำโครงการวิจัยและครุภัณฑ์ต่างๆ จนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณหน่วยวิจัยฟิสิกส์นิวเคลียร์และวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัย และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (องค์การมหาชน) และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สารมาตรฐานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องมือเพื่อคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีที่ต้องการในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วยเช่นกัน

และท้ายสุดขอขอบคุณ ผู้ช่วยวิจัยทุกท่านเป็นอย่างมากไว้ ณ ที่นี้ ในฐานะที่มีส่วนช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยเก็บตัวอย่างอาหารประเภทผัก 10 ชนิด ได้แก่ กระน้ำ ชะอม ผักบุ้ง ตำลึง บวบ แตงกวา ถั่วฝักยาว มะเขือยาว ผักกาดขาว และผักกาดหอม จำนวน 240 ตัวอย่าง และน้ำดื่ม จำนวน 60 ตัวอย่าง สำหรับการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างทั้งหมด ใช้ห้วงวัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานดินชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCL และ IAEA/SL-2 และสารมาตรฐาน SH-424 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ที่ต้องการ ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผล ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์วัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา ผลการวิจัยพบว่า ค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างผักที่ตรวจวัดได้นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.82 – 6.58 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , 0.16 – 3.21 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , 0.54 – 1.87 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ < 0.19– 1.55 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs และมีค่าเฉลี่ยเป็น 4.13 ± 0.08 Bq/kg, 0.43 ± 0.07 Bq/kg, 0.86 ± 0.28 Bq/kg และ 0.54 ± 0.30 Bq/kg ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างน้ำ พบว่า ในตัวอย่างน้ำแร่ มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง ND – 1.52 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , <0.59 – 0.22 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , <0.20 – 3.01 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th และ ND – 0.22 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.98 ± 0.29 Bq/kg, 0.18 ± 0.04 Bq/kg, 2.11 ± 0.48 Bq/kg, 0.11 ± 0.03 Bq/kg ตามลำดับ ในตัวอย่างน้ำดื่ม มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง ND – 1.96 Bq/kg สำหรับ ^{40}K , <0.59 – 0.38 Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , < 0.23 – 8.24 Bq/kg สำหรับ ^{232}Th ND – 0.31 Bq/kg สำหรับ ^{137}Cs มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.08 ± 0.30 Bq/kg, 0.18 ± 0.04 Bq/kg, 2.34 ± 0.48 Bq/kg, 0.15 ± 0.03 Bq/kg ตามลำดับ ทั้งนี้ได้นำผลการตรวจวัดและคำนวณในการทำวิจัยครั้งนี้เปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลกนอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยองค์กรเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา(Organization for Economic Cooperation and Development: OECD, 1979) และคณะ กรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) อีกด้วย

ABSTRACT

This research aims to study specific activity of natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and anthropogenic radionuclides (^{137}Cs) in vegetable and drinking water from Muang municipal and Hatyai municipal area of Songkhlaprovince(Thailand). Totally, 260 samples of 10 vegetables which are Ivy Gourd, Acacia Pennata, Morning Glory, Chinese Cabbage, Chinese Kale, Lettuce, Cucumber, Angled Gourd, Eggplant and Yard Long Bean and 60 samples of drinking water. All of samples were determined using a low background high-purity germanium (HPGe) detector and gamma ray spectrometry analysis system and also evaluated by using the standard reference materials IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCL and IAEA/SL-2 For vegetables samples and using standard sources SH-424 for water samples. Experimental set-up and measurement were operated and carried out at Nuclear and Material Physics Laboratory in Department of Physics Faculty of Science Thaksin University Songkhla Campus. It was found that, the vegetables samples the specific activity ranges from 1.82 – 6.58 Bq/kg for ^{40}K , 0.16 – 3.21 Bq/kg for ^{226}Ra , 0.54 – 1.87 Bq/kg for ^{232}Th and < 0.19 – 1.55 Bq/kg for ^{137}Cs with mean values of 4.13 ± 0.08 Bq/kg, 0.43 ± 0.07 Bq/kg, 0.86 ± 0.28 Bq/kg and 0.54 ± 0.30 Bq/kg, respectively. The mineral water samples the specific activity ranges from ND – 1.52 Bq/kg for ^{40}K , < 0.59 – 0.22 Bq/kg for ^{226}Ra , < 0.20 – 3.01 Bq/kg for ^{232}Th and ND – 0.22 Bq/kg for ^{137}Cs with mean values of 0.98 ± 0.29 Bq/kg, 0.18 ± 0.04 Bq/kg, 2.11 ± 0.48 Bq/kg, 0.11 ± 0.03 Bq/kg, respectively. In drinking water samples the specific activity ranges from ND – 1.96 Bq/kg for ^{40}K , < 0.59 – 0.38 Bq/kg for ^{226}Ra , < 0.23 – 8.24 Bq/kg for ^{232}Th and ND – 0.31 Bq/kg for ^{137}Cs with mean values of 1.08 ± 0.30 Bq/kg, 0.18 ± 0.04 Bq/kg, 2.34 ± 0.48 Bq/kg, 0.15 ± 0.03 Bq/kg, respectively. Moreover, experimental results were also compared to the Office of Atoms for Peace (OAP) research data, Thailand and global radioactivity measurements and evaluation. And all of calculated values were also compared with the recommended values which were proposed by United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 1988, 1993, 2000).

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการภาพประกอบ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	
1.2 วัตถุประสงค์	
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	
2.1 อนุกรมกัมมันตรังสีและการสลายตัว	
2.2 กฎการสลายตัวของนิวไคลด์	
2.3 กัมมันตภาพรังสี	
2.4 ครึ่งชีวิต($t_{1/2}$) และชีวิตเฉลี่ย (τ)	
2.5 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium)	
2.6 การตรวจวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างจากธรรมชาติ	
2.7 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา	
2.8 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา	
2.9 ค่าขีดจำกัดในการวัด (lower limit of detection, LLD)	
2.10 การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี	
2.11 หน่วยวัดปริมาณทางรังสี	
2.12 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4	ผลการทดลอง		
	4.1	การเปรียบเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	
	4.2	ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL	
	4.3	ประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/SL-2	
	4.4	ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency: $Eff(\xi)$) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด SH-424	
	4.5.	การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างผัก	
	4.6.	การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างน้ำดื่ม	
บทที่ 5	สรุปและอภิปรายผลการทดลอง		
	5.1	สรุปผลการทดลอง	
	5.2	อภิปรายผลการทดลอง	
	5.3	ข้อเสนอแนะ	
เอกสารอ้างอิง			
ภาคผนวก			
ประวัติผู้วิจัย			

รายการตาราง

ตาราง			หน้า
	1.1	ปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติ	3
	2.1	ค่า Radiation weighting factor (W_R)	23
	4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมาในหน่วยkeV กับหมายเลขช่อง	40
	4.2	ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL	
	4.3	ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL	
	4.4	ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2	
	4.5	ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2	
	4.6	ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิด SH-424	
	4.7	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ในตัวอย่างผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD)	
	4.8	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}Ra ในตัวอย่างผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD)	
	4.9	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ในตัวอย่างผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD)	
	4.10	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัววัด (LLD)	
	4.11	ค่า pH ของตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ จำนวน 30 ตัวอย่าง ที่เก็บจาก บริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.12	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 30 ตัวอย่าง	
4.13	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม และน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง	
4.14	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่และน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง	
4.15	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง	
4.16	การเปรียบเทียบค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักที่เก็บจากตลาดทรัพย์สิน เขตเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา, ตัวอย่างผักที่เก็บจากอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลาและค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000	
4.17	การเปรียบเทียบค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, ค่าเฉลี่ยของน้ำในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยสนง. ปส. และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000	

รายการภาพประกอบ

ภาพที่			หน้า
	2.1	อนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติ	7
	2.2	แสดงกราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี	11
	2.3	จำนวนอะตอมของการสลายตัวแบบต่อเนื่องของ N_1 , N_2 และ N_3	12
	2.4	แผนภาพของหัววัดซิลทิลเลชันและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา	14
	2.5	แผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา	15
	2.6	สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา	16
	3.1	ก. เตาอบไฟฟ้าช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส	
		ข. เตาเผาอุณหภูมิสูง	
	3.2	ก. หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ รุ่น GC 2018	
		ข. เครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) และเครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply)	
		ค. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาชนิดหัววัดแบบ HPGe	
	3.3	ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้าน	
	3.4	ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างน้ำ	
	4.1	กราฟการเปรียบเทียบพลังงานของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี	
	4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา	
	4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา	
	4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา(ต่อ)	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

มนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิดอาศัยอยู่บนโลกที่มีกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมอยู่ทั่วไป โดยส่วนใหญ่เป็นรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (natural occurring radiation) และบางส่วนเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (man made radiation) โดยแหล่งที่ก่อให้เกิดรังสีมากที่สุด ได้แก่ รังสีจากธรรมชาติ ซึ่งอาจมาจากทั้งภายในและภายนอกโลก เช่น จากการสลายตัวของนิวไคลด์รังสีปฐมภูมิของอนุกรมสารกัมมันตรังสีที่มีในธรรมชาติ สามารถพบได้ทั่วไปในหิน พื้นดิน น้ำใต้ดิน สินแร่ และสิ่งแวดล้อมจากอากาศที่เราหายใจเข้าไป ในอาหารที่เราบริโภค แม้กระทั่งในร่างกายของเรา เนื่องจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากธรรมชาติมีเจือปนอยู่ในผิวดินทั่วไป จึงถูกดูดซับโดยพืชและเข้าสู่ร่างกายทางน้ำ และอาหารได้ โดยในอาหารส่วนใหญ่พบในพืชผัก ผลไม้ โดยผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติ (Krishnasawami *et al.*, 1982) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ^{40}K ซึ่งเป็นธาตุที่มีปริมาณมากเป็นอันดับที่เจ็ดในเปลือกโลกและมีมากเป็นอันดับที่หกในน้ำทะเล เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ อีกทั้งส่วนใหญ่มาจาก ^{226}Ra ที่มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม สลายตัวต่อไปอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 ทำให้ในอากาศที่เราสูดหายใจเอาแก๊สเรดอนที่เป็นสารกัมมันตรังสีเข้าไปในร่างกาย (Marovic *et al.*, 1996) และ ^{232}Th ในอนุกรมทอเรียม นอกจากนี้มีรังสีจากแสงอาทิตย์แล้ว ยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิกซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับธาตุในบรรยากาศทำให้ได้นิวไคลด์กัมมันตรังสีหรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับแร่ธาตุในหิน และดิน แต่รังสีจากแหล่งกำเนิดต่างๆ เหล่านี้มีอยู่ในปริมาณต่ำ และทำให้ทุกคนล้วนได้รับรังสีในธรรมชาติเป็นประจำอยู่ตลอดเวลา

ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นมา ได้มีการนำสารกัมมันตรังสีมาใช้งานกว่าหนึ่งร้อยปีมาแล้ว ทำให้กัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น แต่ส่วนใหญ่มีอายุสั้น จึงสลายตัวได้เร็ว ตั้งแต่มีการระงับการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ ทำให้ปริมาณรังสีในธรรมชาติมีค่าลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นนี้ยังหลงเหลืออยู่ในดินและทราย เช่น ^{137}Cs เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากฝุ่นกัมมันตรังสีของการทดสอบอาวุธนิวเคลียร์ของประเทศที่มีการสะสมอาวุธนิวเคลียร์ นิวไคลด์เหล่านี้ เป็นแค่บางส่วนที่ถูกผลิตขึ้นมา นอกจากนี้แหล่งกำเนิดรังสีที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์มีหลายรูปแบบ อาทิเช่น จากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู การระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์ การใช้เครื่องเร่งอนุภาค เครื่องเอกซเรย์ รวมทั้งการผลิตสารกัมมันตรังสีจาก

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่างๆ เป็นต้น แต่มีสัดส่วนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลรวมของปริมาณรังสีทั้งหมดในธรรมชาติ โดยแต่ละคนจะได้รับรังสีที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสถานที่ที่อยู่อาศัย หน้าที่การงาน กิจกรรมต่างๆ

หากปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้มีมากเกินไปในธรรมชาติ จะทำให้มนุษย์โลกได้รับรังสีในปริมาณที่มากตามไปด้วย โดยผลกระทบที่มนุษย์จะได้รับ เช่น ผลของรังสีที่มีต่อเซลล์ โดยทำให้เซลล์ได้รับความเสียหาย ซึ่งสามารถซ่อมแซมให้กลับมาทำงานอย่างปกติได้ หรืออาจไม่สามารถซ่อมแซมให้กลับมาเหมือนเดิม อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งได้ ส่วนผลของรังสีที่มีต่อร่างกาย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการได้รับรังสีแบบฉับพลันหรือแบบเรื้อรัง โดยทำให้มีความผิดปกติทางร่างกาย เช่น หากได้รับรังสีในปริมาณค่าหนึ่งๆ อาจมีอาการคลื่นเหียน ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หรืออาจร้ายแรงถึงขั้นทำลายระบบประสาทและระบบต่าง ๆ ของร่างกาย (การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 1; มาลี ธีรานุสนธิ์ กลุ่มพิษวิทยาและชีวเคมี) ด้วยเหตุนี้ การตรวจวัดปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

จากการประเมินปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับสัมผัสจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มีในธรรมชาติมีค่าประมาณ 2.4 mSv (UNSCEAR, 2000) แบ่งเป็นการได้รับสัมผัสรังสีจากรังสีคอสมิก 0.4 mSv จากการแผ่รังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่บนพื้นโลก 0.5 mSv จากการหายใจโดยการสูดเอาเรดอนและนิวไคลด์ลูกที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนเข้าสู่ร่างกาย 1.2 mSv รวมทั้งจากการบริโภคอาหารและน้ำ 0.3 mSv รายละเอียดแสดงดังตาราง 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติ
ที่มา: UNSCEAR, 2000

Sources	Worldwide average annual effective dose (mSv)	Typical range (mSv)
External exposure		
- Cosmic rays	0.4	0.3-1.0 ^a
- Terrestrial gamma rays	0.5	0.3-0.6 ^b
Internal exposure		
- Inhalation (mainly radon)	1.2	0.2-10 ^c
- Ingestion	0.3	0.2-0.8 ^d
Total	2.4	1-10

^a Range from sea level to high ground elevation.

^b Depending on radionuclide composition of soil and building materials.

^c Depending on indoor accumulation of radon gas.

^d Depending on radionuclide composition of foods and drinking water.

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น “สารกัมมันตรังสีจากธรรมชาติมีเจือปนอยู่ในผิวดินทั่วไป จึงถูกดูดซับโดยพืชและเข้าสู่ร่างกายทางอาหารและทางน้ำได้” และเนื่องด้วยร่างกายของคนเรารับน้ำเข้าสู่ร่างกายหลายทาง ถ้าเราบริโภคอาหารประเภทพืชผัก ผลไม้สด ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำ แต่เราก็กินจำเป็นต้องดื่มน้ำเพื่อให้ร่างกายได้รับน้ำในปริมาณที่มากพอต่อความต้องการของร่างกาย ส่วนพืช ผัก เป็นอาหารที่นิยมนำมาบริโภค อันเนื่องมาจากมีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์เรา คือ เป็นอาหารที่ให้วิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และการรักษาสมดุลของร่างกาย ซึ่งจะช่วยให้ร่างกายมีสุขภาพแข็งแรง เจริญเติบโต ทั้งพืช ผัก และน้ำ จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระบบย่อยอาหาร ระบบขับถ่าย และควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายให้ทำงานอย่างเป็นปกติ อย่างไรก็ตาม พืช ผักก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายจากการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสี โดยถูกดูดซับสารกัมมันตรังสีจากพื้นดินหรือน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการมีกลุ่มนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลก ทางด้านการวัดปริมาณรังสีในธรรมชาติได้ให้ความสนใจในการตรวจวัดและวิเคราะห์ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

อีกทั้ง อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนเฉลี่ยในอากาศจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติของโลก (Terrestrial Gamma Radiation) พบว่า ในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 77 และ 48 nGy/h (UNSCEAR, 2000) สำหรับภายนอก (Outdoor) และภายใน (Indoor) อาคารบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ตามลำดับ ดังนั้น การได้รับสัมผัสปริมาณรังสีจากภายนอกจึงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรม U-238, อนุกรม Th-232 และ K-40 ที่มีอยู่ในดิน หิน ตามลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่นั้นๆ (Quindos *et al.*, 1994)

จังหวัดสงขลา เป็นจังหวัดหนึ่งทางภาคใต้ ติดกับประเทศมาเลเซีย ซึ่งมีแหล่งท่องเที่ยวมากมาย มีทั้งทะเล ภูเขา น้ำตก และแหล่งศูนย์การค้าที่ใหญ่สุดแห่งหนึ่งในภาคใต้ มีนักท่องเที่ยวมาเที่ยวอยู่เป็นจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศ ทำให้มีร้านอาหารมากมายเพื่อตอบสนองการดำเนินชีวิต ดังนั้นการบริโภคอาหาร และน้ำ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่เราควรตระหนัก เพราะสารรังสีอาจปนเปื้อนในอาหารที่เราบริโภคเข้าไป อาจทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการศึกษาและตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์สารรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างอาหารประเภทผักและน้ำ จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์สารรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์สารรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างผักและน้ำดื่มที่เก็บครั้งนี้ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในประเทศทั่วโลก รวมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดและคำนวณได้ดังกล่าวนี้กับค่าที่กำหนดไว้โดยองค์การความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD, 1979) และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) และข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นในบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาต่อไป รวมทั้งการศึกษาถึงโอกาสและความเป็นไปได้ในการป้องกันอันตรายและการสะสมของสารกัมมันตรังสีในบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้อีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific Activity; S.A.) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่

มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก และน้ำดื่ม ที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe detector) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

2. เพื่อทำการเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก และน้ำดื่ม ที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก

3. เพื่อทำการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี (Adult Annual Equivalent Dose) และประเมินความเสี่ยงทางรังสี (Radiation Risk Factor ; RRF) จากการบริโภคอาหารประเภทผัก และน้ำดื่ม ที่มีการปนเปื้อน ^{226}Ra ในบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แล้วทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดและคำนวณไว้ดังกล่าวนี้ที่กำหนดไว้โดยองค์การความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD, 1979) และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 2000)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2. ทำให้มีข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลของปริมาณความเข้มข้นนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ซึ่งทำการตรวจวัดไว้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ นอกจากนี้ ยังสามารถเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้นี้กับข้อมูลการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

3. ทำให้เกิดเครือข่ายของกลุ่มวิจัยเกี่ยวกับการวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมของบุคลากรของหลักสูตรราชบัณฑิตยสถาน สาขาการศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำนักงานปราชญ์เพื่อสันติ และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ
ถนนวิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ

4. หน่วยงานราชการและเอกชนสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ ชุมชน ผู้อยู่อาศัยและผู้ประกอบการบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เจ้าหน้าที่ของรัฐระดับจังหวัด หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา สำนักงานปราชญ์เพื่อสันติ และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ถนนวิภาวดีรังสิต จตุจักร กรุงเทพฯ

5. ได้ผลงานวิจัยที่สามารถนำเสนอต่อที่ประชุมวิชาการในระดับชาติหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 2 เรื่อง

6. ได้ผลงานวิจัยที่สามารถตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการในระดับชาติหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 2 เรื่อง

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.1 อนุกรมกัมมันตรังสีและการสลายตัว

เมื่อนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เป็นต้นกำเนิดรังสีมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่อง จนได้นิวไคลด์ที่เสถียร การสลายตัวเป็นลำดับนี้เรียกว่า “อนุกรมกัมมันตรังสี (Radioactive Series)” โดยอนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติมีทั้งหมด 4 อนุกรม ซึ่งในแต่ละอนุกรมมีการสลายตัวตามลักษณะเฉพาะของอนุกรม ขึ้นอยู่กับเลขมวล อนุกรมทั้ง 4 มีดังนี้ เมื่อ n คือ จำนวนเต็มบวก

Element	Uranium-238 series						Th-232 series			U-235 series		
Uranium	U-238 4.5×10 ⁹ y		U-234 245500 y							U-235 7.0×10 ⁸ y		
Protactinium	↓	Pa-234 1.2 min	↓							↓	Pa-231 32800 y	
Thorium	Th-234 24.1 d		Th-230 75400 y				Th-232 1.4×10 ¹⁰ y	Th-228 1.91 y	Th-231 25.5 h		↓	Th-227 18.7 d
Actinium			↓				↓	Ac-228 6.1 h			↓	Ac-227 21.8 y
Radium			Ra-226 1600 y				Ra-228 5.75 y		Ra-224 3.7 d			Ra-223 11.4 d
Francium			↓									
Radon			Rn-222 3.8 d									
Astatine			↓									
Polonium			Po-218 3.1 min	Po-214 0.00014 s	Po-210 138 d							
Bismuth			↓	Bi-214 19.9 min	↓	Bi-210 5.0 d						
Lead			Pb-214 26.8 min	Pb-210 22.3 y	Pb-206 stable				Pb-208 stable			Pb-207 stable

↓ α-decay
Z: -2
N: -4

↗ β-decay
Z: +1
N: +/-0

↓ decay series
of short-lived
nuclides

symbol of the
element — Pa-231
mass number — 32500 y
half-life —

particle reactivity
 low — blue
 intermediate — yellow
 high — red

ภาพที่ 2.1 อนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติ

ที่มา: <http://www.awi.de/?id=5404>

1. อนุกรมทอเรียม (Thorium Series, 4n Series) นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ^{232}Th ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี มีการสลายตัวต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่เสถียรคือ ^{208}Pb นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวล (A) หารด้วย 4 ลงตัว จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า 4n

2. อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium Series, $4n+1$ Series) นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ^{237}Np มีครึ่งชีวิตประมาณ 2.14×10^6 ปี มีการสลายตัวต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่เสถียร คือ ^{209}Bi นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวล (A) หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 1 จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า $4n+1$

3. อนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series, $4n+2$ Series) นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ^{238}U ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 4.47×10^9 ปี มีการสลายตัวต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่เสถียร คือ ^{206}Pb นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวล (A) หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 2 จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า $4n+2$

4. อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium series, $4n+3$ Series) นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ^{235}U ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 7.04×10^8 ปี มีการสลายตัวต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่เสถียร คือ ^{207}Pb นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมนี้ มีเลขเชิงมวล (A) หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 3 จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า $4n+3$

อนุกรมเนปทูเนียมมีครึ่งชีวิตสั้น (2.14×10^6 ปี) ได้สลายตัวไปหมดแล้วจึงไม่พบในปัจจุบันซึ่งเริ่มจากเนปทูเนียม-237 ($\text{Np}-237$) สลายตัวให้นิวไคลด์สุดท้าย คือ บิสมัท-209 ($\text{Bi}-209$) อนุกรมทอเรียม อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมแอกทิเนียม (ภาพที่ 2.1) ทั้งสามอนุกรมมีคุณสมบัติที่คล้ายกันคือมีครึ่งชีวิตที่ยาวนานนิวไคลด์สุดท้ายสลายตัวให้ตะกั่วเหมือนกันแต่ต่างไอโซโทปกันในทุกอนุกรมจะมีแก๊สเฉื่อยเกิดขึ้นที่เลขอะตอม 86

2.2 กฎการสลายตัวของนิวไคลด์

เมื่อนิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเปลี่ยนสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีชนิดต่างๆ เช่น แอลฟา บีตาหรือแกมมา ซึ่งอัตราการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเป็นแบบสุ่ม ขึ้นอยู่กับจำนวนนิวเคลียสหรือจำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิมในขณะนั้น

กำหนดให้ N คือ จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง
อัตราการสลายตัว คือ

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.1)$$

เมื่อ λ คือ ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) มีหน่วยเป็น s^{-1}

ให้ N_0 เป็นจำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิมเมื่อเวลาเริ่มต้น $t=0$ วินาที

สมการ (2.1) เขียนได้ใหม่เป็น

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

สมการ (2.2) คือ กฎการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี

2.3 กัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพ หรือความแรงรังสี (Activity; A) เป็นอัตราการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี จะได้ว่า

$$A = \frac{dN}{dt}$$

$$A = \lambda N \quad (2.3)$$

จากสมการ (2.2) สามารถเขียนสมการ (2.3) ได้ใหม่เป็น

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น ($t=0$ วินาที)

A คือ กัมมันตภาพที่เวลาใดๆ มีหน่วยเป็นครั้งต่อวินาที (Disintegration per second; dps) หรือคูรี (Curie; Ci)

ในปัจจุบันใช้หน่วยตามระบบ SI คือ เบ็กเควเรล (Becquerel; Bq)

โดยที่

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

2.4 ครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) และชีวิตเฉลี่ย (τ)

ครึ่งชีวิต (Half-life) หมายถึง เวลาที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งจากจำนวนที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น นั่นคือ เมื่อเวลาผ่านไป t เท่ากับ $t_{1/2}$ จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี N เหลือเท่ากับ $N_0/2$ และเมื่อแทนค่าเงื่อนไขดังกล่าวลงในสมการ (2.2) จะได้ว่า

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

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda t_{1/2}$$

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

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.5)$$

สมการ (2.5) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) กับค่าคงที่การสลายตัว (λ) แต่เนื่องจากอะตอมแต่ละนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีชีวิตไม่เท่ากัน โดยค่าเฉลี่ยช่วงชีวิต เรียกว่า ชีวิตเฉลี่ย (mean life: τ) ซึ่งหาได้จากการรวมชีวิตของอะตอมทั้งหมดแล้วหารด้วยจำนวนอะตอมที่มีอยู่ กำหนดให้ อะตอม dN_n มีช่วงชีวิต t_n โดย $n=1, 2, 3, \dots$ จะได้

$$\tau = \frac{dN_1 t_1 + dN_2 t_2 + dN_3 t_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots}$$

$$= \frac{\int_0^{N_\infty} t dN}{\int_0^{N_\infty} dN} \quad (2.6)$$

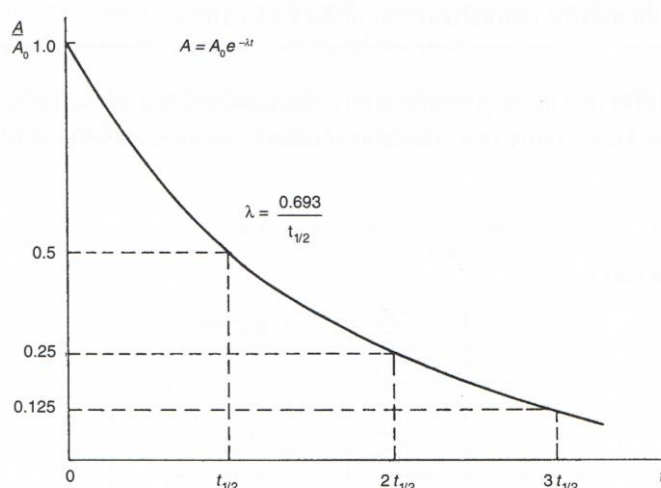
เมื่อ $dN = -\lambda N dt = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$ สมการ (2.6) เขียนได้ใหม่เป็น

$$\tau = -\int_0^{\infty} \lambda t N_0 e^{-\lambda t} \frac{dt}{N_0}$$

$$\tau = -\lambda \left(\frac{-1}{\lambda^2} \right)$$

$$\tau = \lambda^{-1} \quad (2.7)$$

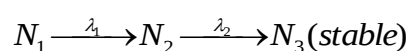
สมการ (2.7) แสดงให้เห็นว่าค่าชีวิตเฉลี่ย (τ) มีค่าแปรผกผันกับค่าคงที่การสลายตัว (λ)



ภาพที่ 2.2 แสดงกราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี
ที่มา: นวลฉวี, 2545

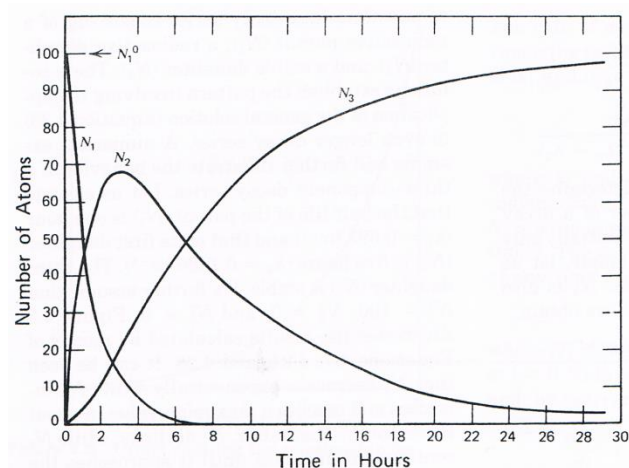
2.5 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium)

เนื่องจากมีสารกัมมันตรังสีหลายตัวที่เมื่อสลายตัวแล้วจะทำให้ได้นิวเคลียสของตัวลูกที่ยังคงเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งจะสลายตัวต่อไปพร้อมกับก่อให้เกิดลูกของกัมมันตรังสีตัวใหม่ โดยตัวมันเองก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นพ่อแม่ สมการต่างๆ ไปสำหรับอนุกรมการสลายตัวแบบนี้คือ



เมื่อ N_1 สลายตัวไปเป็น N_2 และเมื่อ N_2 สลายตัวต่อไปอีกจะก่อให้เกิด N_3

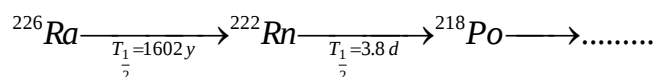
λ_1 และ λ_2 คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ N_1 ไปเป็น N_2 และ N_2 ไป N_3 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.3 จำนวนอะตอมของการสลายตัวแบบต่อเนื่องของ N_1 , N_2 และ N_3
ที่มา: FAURE, 1986

2.5.1 สมดุลเซกูลาร์ (Secular equilibrium)

เป็นสมดุลทางรังสีที่มีเงื่อนไขกำกับว่าครึ่งชีวิตของพ่อแม่จะต้องมีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของลูกหลายเท่าหรือมองอีกแง่หนึ่งคือ $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ถ้าจะให้เห็นชัดของการสมดุลในแบบนี้แล้ว ความแตกต่างของค่าครึ่งชีวิตระหว่างพ่อแม่กับลูกจะต้องต่างกัน 10^4 เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้น ค่าความแรงรังสีของพ่อแม่จะไม่เปลี่ยนแปลงเท่าไร ในขณะที่ค่าความแรงรังสีของลูกเปลี่ยนแปลงไปหลายช่วงครึ่งชีวิต ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของเรเดียม-226 ไปเป็นเรดอน-222



สำหรับสมดุลทางรังสีระหว่างเรเดียมและเรดอนเมื่อพิจารณาค่า λ สามารถตัดค่า λ_1 ที่ได้เลย เมื่อเปรียบเทียบกับค่า λ_2 ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots\dots\dots = \lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n \quad (2.8)$$

2.5.2 สมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)

สมดุลนี้มีความคล้ายคลึงกับสมดุลแบบถาวรในกรณีที่ค่าครึ่งชีวิตของพ่อแม่มีค่ามากกว่าลูกแต่มากกว่าด้วยสัดส่วนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 10 เท่า) เมื่อเทียบกับตัวเลข 10^4 เท่าหรือมากกว่านั้น ดังนั้น $\lambda_1 < \lambda_2$

เมื่อเวลา t มีค่ามากๆ ค่า $e^{-\lambda_2 t}$ จะตัดทิ้งได้เมื่อเทียบกับ $e^{-\lambda_1 t}$ เมื่อมองว่าเทอม $e^{-\lambda_2 t}$ มีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นจำนวนของอะตอมนิวไคลด์ลูกจะกลายเป็น

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01} e^{-\lambda_1 t} \quad (2.9)$$

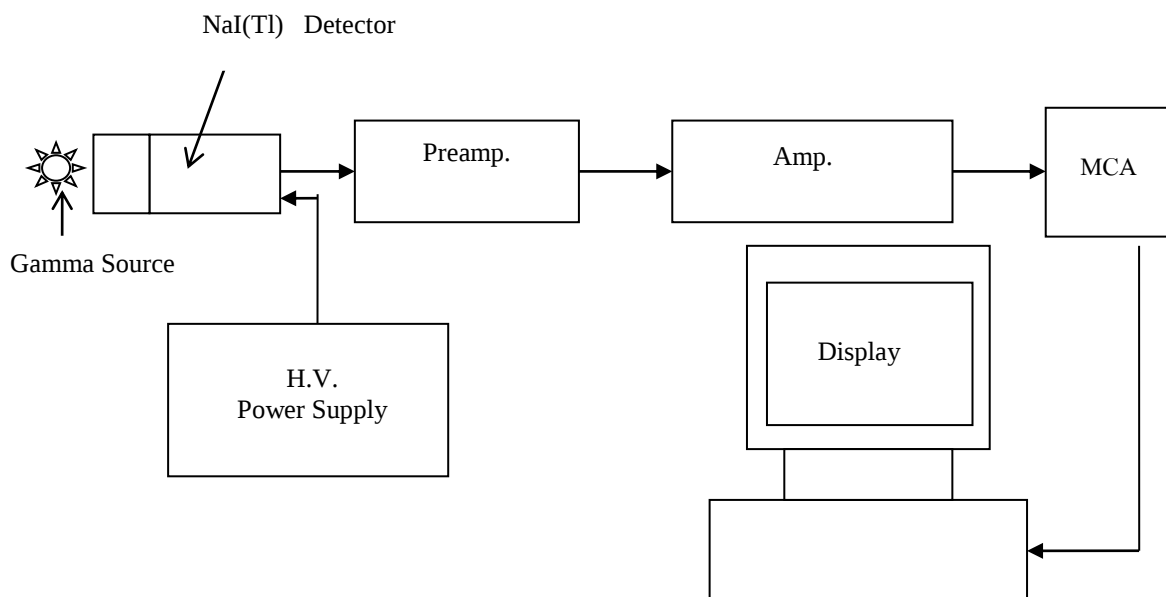
ฉะนั้น

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} \quad (2.10)$$

2.6 การตรวจวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างจากธรรมชาติ

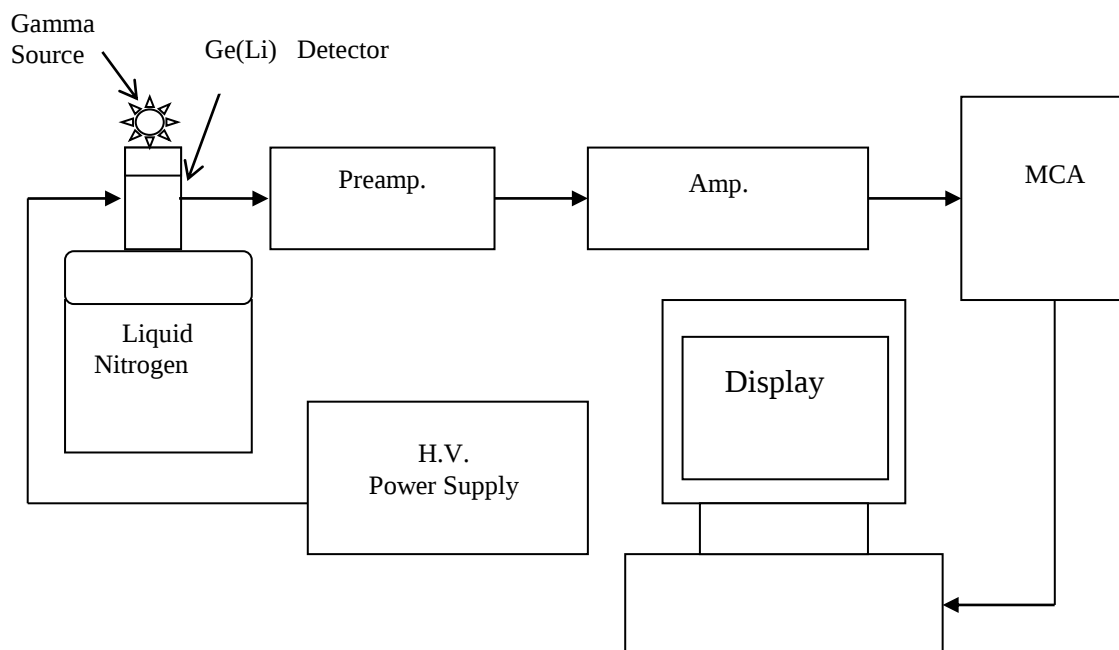
ในการตรวจวัดรังสีแกมมาในธรรมชาตินั้นจะต้องใช้หัววัดรังสีแกมมาที่มีความสะดวกและง่ายต่อการวัด นอกจากนี้ผลของการวัดที่ได้จะต้องมีความเที่ยงตรงและถูกต้องกับค่าที่เป็นจริง หัววัดรังสีแกมมาที่นิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ

2.6.1 หัววัดแบบซิลทิลเลชัน (scintillation detector) โดยหลักการแล้วจะใช้สารที่เรียกว่า ฟอสเฟอร์ (phosphors) หรือ ซิลทิลเลเตอร์ (scintillators) มาใช้ตรวจวัดรังสีแกมมา เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบกับสารดังกล่าวนี้แล้วจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้นมา อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำให้อะตอมของสารอยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้น (excitation) และเมื่ออิเล็กตรอนลดระดับของพลังงานลงมาก็จะปลดปล่อยแสงออกมา แสงที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้จะเป็นปฏิภาคกับพลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกดูดกลืน หัววัดชนิดนี้จะทำการตรวจวัดแสงที่ได้นี้ซึ่งจะสามารถนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของรังสีแกมมาได้ นอกจากนี้หัววัดซิลทิลเลชันจะต้องใช้ร่วมกับหน่วยวิเคราะห์ที่เรียกว่า ตัววิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyzer) หรือ MCA และระบบขยายสัญญาณดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนภาพของหัววัดซิลทิลเลชันและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา

2.6.2 หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector) เป็นหัววัดที่ได้รับความนิยมสูงมาก เนื่องจากเป็นหัววัดที่มีประสิทธิภาพสูง มีอยู่หลายชนิด บางชนิดวัดได้ทั้งรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาพลังงานต่ำ ตัวอย่างเช่น หัววัดแบบ lithium-drifted silicon หรือ Si(Li) ส่วนหัววัดแบบ high-purity germanium หรือ HPGe เป็นหัววัดที่เหมาะสมแก่การใช้วัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงๆ เป็นต้น หลักการโดยย่อของหัววัดชนิดนี้ จะใช้ผลึกของสารกึ่งตัวนำซึ่งต้องแช่ไว้ในไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิ 77 องศาเคลวิน แล้วใช้ตรวจวัดรังสี เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในผลึกจะทำให้เกิดไอออนที่มีประจุบวกและลบ ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล(holes) จำนวนเท่าๆกัน และเมื่อนำขั้วไฟฟ้าสองขั้วมาต่อเข้ากับผลึกคนละด้าน แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป จะทำให้ผลึกนั้นมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ไอออนหรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้นจะถูกดึงดูดไปยังขั้วไฟฟ้า ไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะปฏิกิริยากับพลังงานของรังสีที่สูญเสียไปในผลึกนั้น ด้วยเหตุนี้ เมื่อต่อหัววัดชนิดนี้เข้ากับระบบขยายสัญญาณและ MCA ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับในภาพที่ 2.4 เราจะสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดออกมาในรูปของกราฟที่เขียนขึ้นระหว่างจำนวนช่องของ MCA และ จำนวนนับที่นับได้จากหัววัดในแต่ละช่องของ MCA (counts per channel) เราเรียกว่า **“สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา”(gamma ray energy spectrum)** ซึ่งเราจะได้อีกกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

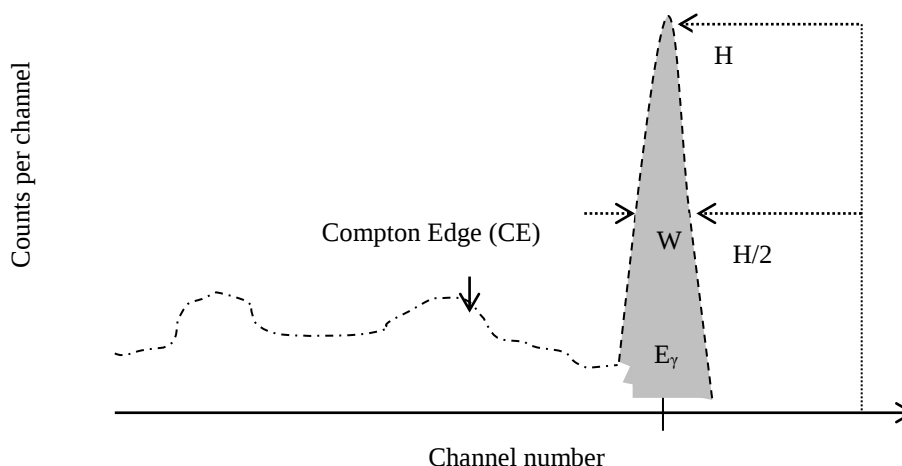


ภาพที่ 2.5 แผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา

2.7 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา

รังสีแกมมาที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจะมีพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นเมื่อวิ่งไปตกกระทบกับหัววัดชนิดต่างๆดังกล่าวแล้วข้างต้น จะมีการถ่ายทอดพลังงานสู่ผลึกของสารที่ใช้เป็นหัววัดที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้น ขนาดของสัญญาณที่ได้จากระบบตรวจวัดรังสีก็จะมีค่าแตกต่างกันตามไปด้วย เมื่อนำสัญญาณดังกล่าวที่วัดได้ในแต่ละช่องของ MCA (counts per channel) ในช่วงเวลาที่ใช้ นำมาเขียนกราฟกับจำนวนช่องของ MCA (สัมพันธ์กับพลังงานของรังสีแกมมา) ดังแสดงในภาพที่ 2.6 จะได้ กราฟที่เป็นสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาดังกล่าวแล้วข้างต้นนั่นเอง





ภาพที่ 2.6 สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา

2.8 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา

จะเห็นว่าลักษณะของสเปกตรัมของรังสีแกมมานั้น จะเริ่มต้นจากรังสีที่มีค่าพลังงานต่ำๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตรวจวัด ได้แก่ รังสีเอ็กซ์ โฟตอนที่สะท้อนกลับ (backscattered photons) ขอบของคอมพ์ตัน (compton edge; CE) หรือ เรียกขานกันว่า บริเวณต่อเนื่องแบบคอมพ์ตัน (compton continuum) และส่วนสำคัญที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ คือ พีกพลังงานของแกมมา (photo peak หรือ full energy peak ; FEP) พลังงานที่พีกดังกล่าวนี้เป็นพลังงานของรังสีแกมมาจริง เราจะทำการวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแกมมาโดยใช้พีกที่เรียกว่า โฟโตพีก (photo peak) นั่นเอง จะเห็นได้ว่า **พื้นที่ใต้พีกของสเปกตรัมรังสีแกมมาจะเป็นปริมาณโดยตรงกับปริมาณกัมมันตภาพรังสี** ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการพิจารณาจากภาพที่ 2.7 ซึ่งเราสามารถหาพื้นที่ใต้สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาในส่วนที่แรงๆ หรือ บริเวณที่ต้องการได้ ซึ่งเรียกว่าเป็น จำนวนนับสุทธิ (net count: n) ที่ไม่นับรวมเอาจำนวนนับที่เป็นรังสีพื้น (background: n_b) เข้าไปด้วย นั่นคือ จำนวนที่นับได้ทั้งหมด (n_t) ลบด้วยจำนวนนับที่เป็นรังสีพื้น เขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$n = n_t - n_b \quad (2.11)$$

ดังนั้น อัตรานับสุทธิ (net count rate : R_n) หมายถึง จำนวนนับสุทธิต่อเวลาที่ทำกรวัดได้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$R_n = \frac{n}{t} \text{ (count/second: cps)} \quad (2.12)$$

สำหรับ ค่าประสิทธิภาพ(ξ) ของห้วัดรังสี คำนวณได้จาก

$$\xi = \frac{R_n}{A} \quad (2.13)$$

เมื่อ R_n คือ ค่าอัตราการนับสุทธิต่างที่ได้จากการทดลอง (ในหน่วยของ Bq หรือ dps)

A คือ ค่ากัมมันตภาพหรือค่าความแรงของรังสีจากสารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ณ เวลาปัจจุบัน (ในหน่วยของ Bq หรือ dps) คำนวณได้จากสมการที่ 2.4

สำหรับการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ(specific activity) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สนใจจากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งๆที่ทำการตรวจวัด (counting time) สามารถคำนวณหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของโฟโตพีคบริเวณที่สนใจ และโดยอาศัยค่าประสิทธิภาพของห้วัดรังสีในสมการที่ 2.13 ดังนั้นค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างดินหรือทรายที่ต้องการตรวจวัดและวิเคราะห์สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$S.A. = \frac{Area/counting\ time}{\xi \times P_\gamma \times W_t} \quad (2.14)$$

เมื่อ $S.A.$ คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของตัวอย่างที่ตรวจวัด

$Area/counting\ time$ คือ อัตราการนับสุทธิ (dps) ที่ได้จากตัวอย่าง

ξ คือ ประสิทธิภาพของห้วัดรังสี

P_γ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของรังสีแกมมาที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี(% yield)

W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ตรวจวัด (kg)

นอกจากนี้การคำนวณค่ากำลังแยกของห้วัด (detector resolution) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะต้องพิจารณา ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบศักยภาพของห้วัดที่ใช้ และต้องมีความเข้าใจในเทคนิคที่ดีพอจึงจะได้ข้อมูลของห้วัดเพื่อใช้ประกอบในการทำการทดลองตรวจวัดและวิเคราะห์ที่ยุ่ยากซับซ้อนต่อไป สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณค่ากำลังแยกของห้วัด ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

$$r(\%) = \frac{W}{E_\gamma} \times 100 \quad (2.15)$$

เมื่อ $r(\%)$ คือ กำลังแยกของห้วัด (คิดเป็นร้อยละ)

W คือ ค่าความกว้างของโฟโตพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูงพีค (FWHM)
 E_γ คือ พลังงานของรังสีแกมมา

2.9 ค่าขีดจำกัดในการวัด (lower limit of detection, LLD)

ในทางปฏิบัติ จะทำการตรวจวัดรังสีจากธรรมชาติ (background) ก่อนการวัดตัวอย่าง ซึ่งเราสามารถระบุบอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าวัดรังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไร เราเรียกระดับนี้ว่า ค่าขีดจำกัดในการวัด ทั้งนี้เพราะการวัดค่ารังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ ร้อยละ 95 โดยในการวัดจะต้องได้ผลการวัดจากตัวอย่างมากกว่าค่าขีดจำกัดในการวัดจึงถือได้ว่าเป็นผลจากการสลายตัวของรังสีในตัวอย่างซึ่งสามารถหาค่าขีดจำกัดในการวัดได้จากสมการต่อไปนี้

$$LLD = \frac{4.66S_n}{\xi} \quad (2.16)$$

เมื่อ LLD คือ ค่าขีดจำกัดในการวัด
 ξ คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัด
 S_n คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับที่หัววัดนับได้

โดยที่

$$S_n = \sqrt{S_T^2 + S_B^2} \quad (2.17)$$

และ

$$S_T^2 = \frac{R_T}{t_c} \quad (2.18)$$

$$S_B^2 = \frac{R_B}{t_c} \quad (2.19)$$

เมื่อ R_B คือ ค่าอัตราการนับรังสีพื้น (background count rate)
 R_T คือ ค่าอัตราการนับรวม (gross count rate)
 S_B^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_B
 S_T^2 คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_T

2.10 การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของรังสีต่อมนุษย์ จากการบริโภคผักและน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนรังสี การประเมินการบริโภคผักพื้นที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ของสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสี (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR, 2000) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคผัก ไร่ที่ 164 กรัมต่อวัน ในเวลา 1 ปี ประชาชนจะบริโภคผัก 60 กิโลกรัม เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28 $\mu\text{Sv/Bq}$ เป็นปัจจัยสำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose)

นอกจากนี้ ได้มีการประเมินปริมาณการบริโภคน้ำและการได้รับปริมาณเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายต่อปี โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ตามองค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO, 2002) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน ในเวลา 1 ปี ประชาชนจะดื่มน้ำ 730 ลิตร เมื่อใช้ค่าปัจจัย $2.8 \times 10^{-7} \text{Sv/Bq}$ (หมายเหตุ Sv เป็นหน่วยการวัดปริมาณรังสีสมมูล หรือ Equivalent Dose ที่เป็นตัววัดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยประเมินจากความเสียหายของเนื้อเยื่อเมื่อถูกคลื่นพลังงานของรังสี; WHO, 2002) เป็นปัจจัยสำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในผู้ใหญ่ (Adult Annual Equivalent Dose) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.20)

$$\text{Adult Annual Equivalent Dose (Sv/y)} = \text{Factor Value (Sv/Bq)} \times \text{Consumption (kg/y)} \times \text{Specific activity of Radium-226 (Bq/kg)} \quad (2.20)$$

เมื่อ	Factor Value	คือ ค่าปัจจัยที่ใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผล มีค่าเท่ากับ 0.28 $\mu\text{Sv/Bq}$
	Consumption	คือ อัตราการบริโภคในผักพื้นบ้านเวลา 1 ปี มีหน่วยเป็น kg/y
	Specific activity of Radium-226	คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีหน่วยเป็น Bq/kg
	Adult annual equivalent Dose	คือ ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีหน่วยเป็น $\mu\text{Sv/y}$

2.11 หน่วยวัดปริมาณทางรังสี

นอกจากค่ากัมมันตภาพที่บ่งบอกถึงอัตราการสลายตัวของนิวไคลด์แล้วยังมีหน่วยวัดปริมาณทางรังสีที่บอกสมบัติอื่นๆ ของกัมมันตรังสี เช่น ความสามารถในการก่อไอออน การดูดกลืนพลังงานจากรังสีของตัวกลาง ผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับรังสี โดยมีคณะกรรมการระหว่างประเทศด้านการวัดและหน่วยรังสี (International Commission on Radiation Unit and Measurements, ICRU) ได้กำหนดมาตรฐานหน่วยการวัดรังสีดังนี้

2.11.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

ดังที่กล่าวมาแล้วว่ากัมมันตภาพรังสี คือ การเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ที่ส่งผลให้เกิดการแผ่รังสีหรือมีอนุภาคที่มีพลังงานเกิดขึ้น โดยเรียกแหล่งกำเนิดรังสีว่าไอโซโทปรังสีหรือนิวไคลด์รังสี (Radionuclide) ซึ่งการวัดจำนวนไอโซโทปรังสีหรือนิวไคลด์รังสีไม่อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนักหรือตวงวัดได้ เพราะไอโซโทปรังสีจะปนอยู่กับไอโซโทปอื่นๆ เสมอ แม้ทำการแยกให้บริสุทธิ์แล้วก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็จะทำให้เกิดธาตุใหม่ปะปนขึ้นอีก ดังนั้น ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะใดขณะหนึ่งจึงวัดได้จากรังสีที่เกิดขึ้นในขณะนั้น โดยหน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสีเดิมจะอาศัยการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ของธาตุเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งเท่ากับ 3.7×10^{10} Disintegration per second (dps) และเรียกว่า 1 คูรี (Ci)

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

ต่อมาใช้หน่วยตามระบบ SI หน่วยของกัมมันตรังสีจึงเปลี่ยนเป็นเบกเคอเรล (Bq) ซึ่งมีค่าเท่ากับ s^{-1}

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dsp} \text{ และ } 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจะมีผลเมื่อเข้าสู่ร่างกาย เพราะรังสีที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลืนในอวัยวะ และเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยเฉพาะเมื่อการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์นั้นให้อนุภาคแอลฟาหรือบีตา เพราะอนุภาคทั้งสองเป็นอนุภาคที่มีพิสัยต่ำจึงทำให้เกิดการถ่ายพลังงานทั้งหมดให้กับอวัยวะ และเนื้อเยื่อซึ่งถือว่าเป็นอันตรายอย่างมาก

2.11.2 ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)

เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดมีความสามารถในการทะลุผ่านวัตถุได้ต่างกัน และถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้น ผลของรังสีต่อวัตถุจึงแปรผันตามพลังงานของรังสีที่วัตถุนั้นดูดกลืน ตัวอย่างเช่น รังสีแอลฟา และรังสีบีตา ซึ่งเป็นรังสีที่มีพิสัยต่ำจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับวัตถุ เช่นเดียวกับกับโฟตอนพลังงานต่ำ โดยจะส่งผลให้เกิดรอยไหม้ที่ผิวหนัง และถ้าเป็นโฟตอนพลังงานสูงหรือนิวตรอน พลังงานส่วนมากจะทะลุผ่านออกไปจากวัตถุ และจะมีเพียงบางส่วนของพลังงานเท่านั้นที่ถูกดูดกลืนไว้ โดยหน่วยของพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืนเดิมนั้นใช้ Radiation Absorbed Dose (RAD) ซึ่งเท่ากับพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืน 100 ergs ในวัตถุมวล 1 g

$$1 \text{ RAD} = 100 \text{ ergs/g}$$

ในปัจจุบันหน่วยเป็นระบบ SI โดยใช้ MKS เป็นมาตรฐาน ทำให้หน่วยปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเปลี่ยนไปเป็นหน่วยเกรย์ (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1} = 100 \text{ RADS}$$

2.11.3 ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)

ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นปริมาณรังสีที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของรังสี เพราะเพียงแต่วัดว่ามีการแตกตัวของอากาศมากน้อยเพียงใด ซึ่งการวัดรังสีในรูปแบบนี้นิยมใช้กันมากเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความไวสูง และสามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำ โดยหน่วยเดิมของปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว คือ เรินเกนท์ (R) ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัวให้ประจุ 1 e.s.u. ในอากาศแห้ง 1 cm³ ที่ ATP หรืออากาศมวล 1.293×10^{-3} g สำหรับในหน่วย SI ใช้คูโลมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดยประจุ 1 e.s.u. มีค่าเท่ากับ 3.335×10^{-10} C

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

2.11.4 ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)

ปริมาณรังสีสมมูลเป็นหน่วยที่นำเอาผลทางชีววิทยาของรังสีเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยอาศัยค่าปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเฉลี่ยทั่วกลุ่มของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะร่วมกับ Radiation weighting factor (W_R) ตามชนิด และพลังงานของรังสี ซึ่งสามารถหาค่าปริมาณรังสีสมมูล (HT) ของกลุ่มเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$H_T = S_R W_R \times D_{T \times R}$$

เมื่อ $D_{T \times R}$ คือ รังสีที่ถูกดูดกลืนเฉลี่ยทั่วกลุ่มเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ (T) เนื่องจากรังสี (R) และค่า W_R จะมีความสัมพันธ์กับค่า Relative Biological Effectiveness (RBE) โดยอาศัยการเปรียบเทียบความเสียหายของเนื้อเยื่อ เมื่อเนื้อเยื่อดูดกลืนรังสีที่ต่างชนิด และต่างพลังงานกัน ในหน่วยเดิมของปริมาณรังสีสมมูล เรียกว่า REM มีค่าเท่ากับ

$$REM = Absorbed\ dose\ (rad) \times W_R$$

สำหรับในปัจจุบันหน่วยของปริมาณรังสีสมมูล ซึ่งเป็นหน่วยตามระบบ SI เปลี่ยนเป็นซีเวิร์ต (Sv) และมีค่าเท่ากับ

$$1Sv = Absorbed\ dose\ (Gy) \times W_R$$

ดังนั้น

$$1\ Sv = 100\ REM$$

แต่หน่วยซีเวิร์ต (Sv) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีที่ใหญ่มาก ดังนั้นค่าปริมาณรังสีสมมูลส่วนมากจึงนิยมใช้เป็นมิลลิซีเวิร์ต (mSv) แทน

ตารางที่ 2.1 ค่า Radiation weighting factor (W_R)

ที่มา: ICRP, 1991

Type and energy range	Radiation weighting factor : W_R
Photon, all energies	1
Electrons Positrons and muons, all energies	1
Energy neutrons:	
< 10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
> 100 keV to 2 MeV	20
> 2 MeV to 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons, other than recoil protons, and energy > 2 MeV	2-5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20

2.12 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของเรเดียม-226 ในผัก

วิราสินี ก้าวศิริรัตน์ (2547) ได้ศึกษาและวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักพื้นบ้านประเภทรับประทานใบ ในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ กระถิน ตำลึง ชะพลู เล็บครุฑ ผักกูด และบวบก แต่ละชนิด จำนวน 2-6 ตัวอย่าง ทั้งหมด 21 ตัวอย่าง อีก 4 ตัวอย่าง ซึ่งจากการจำหน่ายทั่วไปในอำเภอนาหม่อม นำตัวอย่างทั้งหมดไปเผาเป็นจี้ในเตาเผา ด้วยอุณหภูมิ 200-600°C แล้วนำไปวัดรังสีแกมมาด้วยเครื่องวัด HPGe ผลการศึกษาได้ค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในผักผักดังนี้ เล็บครุฑ 11.150 Bq/kg ตำลึง 2.556 Bq/kg กระถิน 1.377 Bq/kg ชะพลู 1.427 Bq/kg ผักกูด 1.66 Bq/kg และบวบก 0.829 Bq/kg โดยค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ทั้งหมดนี้เป็นค่าเฉลี่ย จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 มีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำดื่มของ USEPA ที่กำหนดไว้ว่าไม่ควรเกิน 0.111 Bq/L

สิริพร อังกูรรัตน์ (2550) ได้วิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักที่ปลูกในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ตำบลคลองหรีง และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ตำบลพิจิตร มีค่าเท่ากับ 1,457 และ 1,082 mBq/kg ตามลำดับ ส่วนในตำบลทุ่งขมิ้นและตำบลนา

หม่อมมีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 1,253 และ 1,220 mBq/kg ตามลำดับ พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีการกระจายโดยเฉลี่ยทั่วทั้งอำเภอหนองหม่อม ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผัก 13 ชนิด ที่ปลูกในอำเภอหนองหม่อม จังหวัดสงขลา พบว่า ตำลึงมีค่าสูงที่สุดและถั่วฝักยาวมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 7,882 และ 26 mBq/kg ตามลำดับ การกระจายข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในพื้นที่อำเภอหนองหม่อม จังหวัดสงขลา มีการกระจายทั่วทั้งอำเภอ และจะมีค่าสูงตรงบริเวณใกล้เส้นทางลำน้ำ และคลอง จึงอาจเป็นไปได้ว่าเรเดียม-226 มีกำเนิดจากพื้นที่สูงในเทือกเขาหินแกรนิต โดยเฉพาะบริเวณที่พบรอยเลื่อนทางทิศใต้ของตำบลทุ่งขมิ้นและตำบลคลองหรีง ที่มีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 สูง ซึ่งกระจายครอบคลุมพื้นที่ทั้งอำเภอผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติทั้งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

Clulow และคณะ (1998) เก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนในทะเลสาบ และปลา (ใช้เนื้อและเครื่องในบางส่วน) จากทะเลสาบ Elliot Ontario ประเทศแคนาดา นำมาวัดค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 โดยใช้เทคนิคสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำ ตะกอน และปลา (กระดูก) มีค่าเฉลี่ย 0.076, 3,000 และ 38 Bq/kg ตามลำดับ โดยพบว่า ในฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูหนาว และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในกระดูกวัดได้สูงกว่าในเนื้อเยื่อ (ปลา) เมื่อประเมินค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับจากการบริโภคอาหารและน้ำตลอดปี เท่ากับ 0.003 mSv

Pietrzak-Flis และคณะ (2001) ได้ศึกษากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ในอนุกรมยูเรเนียม และอนุกรมทอเรียม จากเครื่องอุปโภคและน้ำดื่มในประเทศโปแลนด์ วัดค่าความเข้มข้นของไอโซโทปกัมมันตรังสีในอาหาร และน้ำที่ประชาชนบริโภค โดยนำผัก ผลไม้ และเนื้อ มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105°C แล้วเผาที่อุณหภูมิ 500°C จนเหลือแต่ขี้เถ้า บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปแยกยูเรเนียม-238 กับทอเรียม-232 ออกมา นำมาวัดด้วยวิธีการตามรอยรังสี โดยใช้แบเรียมเป็นตัวจับ พบว่ายูเรเนียม-238 ยูเรเนียม-235 ทอเรียม-232 ทอเรียม-230 ทอเรียม-228 และเรเดียม-226 มีค่าเท่ากับ 22.1, 26.5, 2.38, 4.06, 11.2 และ 42.2 mBq/kg ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ในน้ำมีไอโซโทปอนุกรมยูเรเนียมสูงกว่าในผัก ผลผลิตจากสัตว์ ข้าว และธัญพืช พบไอโซโทปของอนุกรมทอเรียมเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบไอโซโทปของเรเดียม-226 ในผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ข้าว และผัก เมื่อประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคอาหารตลอดทั้งปีเป็น 5.95 μ Sv

Romilton dos Santos Amaral และคณะ (2005) ได้ศึกษาพื้นที่ในบริเวณที่มีสารประกอบของฟอสเฟต ทางตอนเหนือของประเทศบราซิล ตามแนวชายฝั่งในเมือง Pernambuco และ Paraiba ซึ่งเป็นบริเวณที่มีกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติสูง โดยรังสีเหล่านี้มาจากยูเรเนียม และธาตุที่เกิดจาก

การสลายตัวของยูเรเนียมปะปนอยู่ในตะกอนฟอสเฟต ได้ทำการวัดปริมาณรังสีจากผลผลิตทางการเกษตรที่ทำการเพาะปลูกในพื้นที่บริเวณนี้ พบว่าค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพจำเพาะของยูเรเนียม-238 มีค่าระหว่าง 13-186 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ย 46 mBq/kg ส่วนเรเดียม-226 มีค่าอยู่ระหว่าง 43-2,209 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ย 358 mBq/kg ประเมินค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับจากการบริโภคผลผลิตทางการเกษตร พบว่าจะได้รับรังสียูเรเนียม-238 และเรเดียม-226 เท่ากับ 7.45 Bq/y และ 69.3 Bq/y

Zhuo และคณะ (2001) ได้ศึกษาความเข้มข้นของกัมมันตภาพจำเพาะเรดอน-222, เรเดียม-226, เรเดียม-228 และยูเรเนียม ในน้ำใต้ดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 552 ตัวอย่างจากเมืองฟุจิ ประเทศจีน ตรวจวัดพบว่า มีความเข้มข้น เท่ากับ $147,800 \text{ Bq/m}^3$, $12,700 \text{ mBq/m}^3$, $30,200 \text{ mBq/m}^3$ และ $0.54 \mu\text{g/m}^3$ ตามลำดับ อีกทั้งพบว่า รังสีเรดอน-222 มีค่าสูง เนื่องจากบริเวณนี้มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน และประชาชนในเมืองได้รับรังสีเรดอน-222 โดยตรงจากการบริโภคน้ำใต้ดิน เมื่อประเมินค่าปัจจัยเสี่ยง (lifetime risk) ที่ได้รับรังสีจากการบริโภคน้ำ เท่ากับ 1.7×10^{-3} และพบว่าค่าความเข้มข้นของเรดอน-222 ในน้ำใต้ดินและในอากาศไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยเรดอน-222 จะพบในอากาศมากกว่าในน้ำใต้ดิน

2.12.2 การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของเรเดียม-226 ในน้ำ

กนกพร นามโชติ (2549) ได้ทำการศึกษากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ด้วยสเปกโตรเมตริรังสีแกมมา โดยเก็บตัวอย่าง ดิน หิน ทราช และน้ำบ่อน้ำดื่ม รวมทั้งหมด 258 ตัวอย่าง ผลการตรวจวัดพบว่าในตัวอย่างดินมีค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K อยู่ในช่วง 42-208 (เฉลี่ย 104 ± 13) Bq/kg, 49-199 (เฉลี่ย 109 ± 14) Bq/kg และ $<\text{LLD}-757$ (เฉลี่ย 238 ± 40) Bq/kg ตามลำดับ ในตัวอย่างหินมีค่าอยู่ในช่วง $<\text{LLD}-156$ (เฉลี่ย 42 ± 23) Bq/kg, 10-234 (เฉลี่ย 61 ± 25) Bq/kg และ $<\text{LLD}-111$ (เฉลี่ย 219 ± 147) Bq/kg ตามลำดับ ในตัวอย่างทราชมีค่าอยู่ในช่วง $<\text{LLD}-181$ (เฉลี่ย 56 ± 12) Bq/kg, 6-232 (เฉลี่ย 65 ± 14) Bq/kg และ $<\text{LLD}-550$ (เฉลี่ย 299 ± 47) Bq/kg ตามลำดับ นำค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K มาหา กัมมันตภาพรังสีโดยรวม พบว่าตัวอย่างดินที่ อ.บางแก้ว (519 Bq/kg) อ.ป่าบอน (442 Bq/kg) อ.กงหรา (427 Bq/kg) และ อ.ศรีบรรพต (424 Bq/kg) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย 370 Bq/kg เมื่อประเมินความเสี่ยงการได้รับรังสีของประชาชนด้วยค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกและภายในร่างกาย (H_{ex} , H_{in}) จากการใช้วัสดุก่อสร้างบ้านเรือน พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับปลอดภัย การหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ในบ่อน้ำดื่ม พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $<\text{LLD}-156$ (เฉลี่ย 18 ± 07)

mBq/l โดยมีตัวอย่างน้ำบ่อตื้น 1 ตัวอย่าง ที่ อ.บางแก้ว (186 mBq/l) ที่มีค่าสูงกว่าค่าที่ปลอดภัยของ ทบวงพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (111 mBq/l)

จเร วุฒิสาสน์ (2548) วัดความเข้มข้นกัมมันตภาพ Ra-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น จำนวน 150 ตัวอย่าง ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เตรียมตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคตกตะกอนร่วมเรเดียม โดยใช้ตัวพาแบเรียมซึ่งได้ประยุกต์วิธีการของ Krieger และ Whittaker (1980) วิธีที่ 900.1 และ APHA (1998) วิธีที่ 711°C กรองตะกอนเรเดียมด้วยกระดาษกรอง แล้วนำไปวางบนจานเหล็กกล้า ไร้สนิม ต่อมานำไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัดรังสีชนิด PIPS พบว่า ความเข้มข้น กัมมันตภาพ Ra-226 มีค่าอยู่ในช่วง 3.5-292.1 mBq/l และมีค่าเฉลี่ย 75.1 mBq/l ซึ่งต่ำกว่าค่า MCL อย่างไรก็ดีตามมีจำนวนน้ำบ่อประมาณ 21% ที่มีความเข้มข้นกัมมันตภาพ Ra-226 เกินค่า MCL เมื่อ ประเมินปริมาณรังสีจาก Ra-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปีจากการบริโภคน้ำบ่อของประชาชนในอำเภอนาหม่อม พบว่า มีค่าเฉลี่ย 15.3 μ Sv

ชัยนะ และสะอิ (2553) ศึกษากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และ ผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน 86 ตัวอย่าง น้ำบ่อตื้น 25 ตัวอย่าง น้ำบาดาล 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างผัก 8 ชนิด จำนวน 30 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำพุร้อน 10 แหล่ง 8 อำเภอ โดยใช้เทคนิคการจับเรเดียมด้วยสารดูดจับเรเดียมในน้ำที่พัฒนาขึ้นเอง และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสมในน้ำพุร้อน โดยใช้เครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ ชนิดหัววัด HPGe และ เครื่อง ICP-OES ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล และผักพื้นบ้านอยู่ในช่วง 102-5,022 (ค่าเฉลี่ย $1,855 \pm 185$) mBq/L, ND-158 (ค่าเฉลี่ย 57 ± 36) mBq/L, ND-122 (ค่าเฉลี่ย 49 ± 17) mBq/L และ ND-26,498 (ค่าเฉลี่ย $4,345 \pm 624$) mBq/kg ตามลำดับ พบว่ามีตัวอย่างน้ำพุร้อนจำนวน 80 ตัวอย่าง และผักพื้นบ้าน 26 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูงกว่า 185 mBq/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ในตัวอย่างน้ำพุร้อนพบการปนเปื้อนของโลหะหนักทองแดง (Cu) อยู่ในช่วง 0.002 - 0.004 mg/L ไม่พบตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในน้ำดื่มของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คือ 0.01 mg/L, 1 mg/L และ 0.05 mg/L ตามลำดับ

จิตติรัตน์ และมารีน่า (2548) ได้ศึกษากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของภาคใต้ประเทศไทย ได้ศึกษาการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในน้ำพุร้อน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน จำนวน 22 แหล่ง จาก 7 จังหวัดในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งใช้สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นตัวจับเรเดียมในน้ำ และวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226

ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมดมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0-3,159 mBq/L โดยมีจำนวนตัวอย่างน้ำพุร้อน 13 แหล่ง จาก 22 แหล่ง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเกิน 111 mBq/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

ไตรภพ และคณะ (2545) ได้ศึกษาการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิคนับรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39 จำนวน 2,161 หลังคาเรือน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 9-1,307 Bq/m³ โดยมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยของ จ.สงขลา และ จ.พัทลุง เท่ากับ 225 และ 268 Bq/m³ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าระดับมาตรฐานของ US EPA คือ 148 Bq/m³ แต่ต่ำกว่าระดับ 296 Bq/m³ ที่เป็นระดับมาตรฐานปฏิบัติของ US NCRP อีกทั้งทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่า มีค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนอยู่ระหว่าง 267-144,212 Bq/m³ (ค่าเฉลี่ย 8,060 Bq/m³) และ พบว่า มี 2 อำเภอ ที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลเกินค่ามาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (11,111 Bq/m³) คือ อ.นาหม่อม จ.สงขลา และ อ.งขลา จ.พัทลุง คือ 47,471 Bq/m³ และ 12,158 Bq/m³ ตามลำดับ

ปริดา นวลจริง (2549) ได้ศึกษาการกระจายของสารกัมมันตรังสีเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในพื้นที่ 4 อำเภอ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้เทคนิคการจับเรเดียมในน้ำด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน และวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาชนิดภูมิหลังต่ำพบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของเรเดียม-226 ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจาก อ.ฉวาง อ.เมือง อ.ถ้าพรณรา และกิ่ง อ.ช้างกลาง มีค่า 12 28 23 และ 15 mBq/L ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวยังต่ำกว่า 111 mBq/L ซึ่งเป็นเกณฑ์ของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

ไพฑูรย์ และสมชัย (2547) ศึกษาการตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนที่ละลายอยู่ในตัวอย่างน้ำพุร้อนที่เก็บจากแหล่งต่างๆ ทั่วประเทศไทย พบว่า ตัวอย่างจากจังหวัดเชียงใหม่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนต่ำสุด (0.8 เบคเคอเรล/ลิตร) และพบระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูงสุดในตัวอย่างจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี (7 และ 219.7 เบคเคอเรล/ลิตร) ซึ่งในจังหวัดนี้ยังพบค่าเรดอนในน้ำสูงมากอีก 2 ตัวอย่าง (973.1 และ 935.0 เบคเคอเรล/ลิตร) นอกจากนี้ ยังพบระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูงมาก (4,514.5 เบคเคอเรล/ลิตร) ที่จังหวัดชุมพร การตรวจพบเรดอนปริมาณมากในน้ำในจังหวัดเดียวกัน อาจนำไปสู่การค้นพบแหล่งกัมมันตรังสีธรรมชาติที่มีระดับสูงแห่งใหม่ ซึ่งจะต้องทำการสำรวจต่อไป ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่สัมผัสแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติด้วย

สุภัทร ภัทรกิจโสภณ (2547) ได้ศึกษาการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาเพื่อทำการตรวจสอบหาประสิทธิภาพในการจับเรเดียมในน้ำของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้เป็นสารกรองน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ในการจับเรเดียมสำหรับน้ำที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยให้มีปริมาณเรเดียมต่างกันเท่ากับ 1,460 และ 2,555 mBq พบว่า มีค่าประสิทธิภาพการจับเรเดียมระหว่าง 85-100% ในการให้น้ำผ่านเรซินเพียงครั้งเดียว และสำหรับน้ำบ่อที่ปนเปื้อนเรเดียม เท่ากับ 26,340 mBq พบว่า มีค่าประสิทธิภาพการจับเรเดียม เท่ากับ 92% ในการผ่านน้ำเพียงครั้งเดียว

Holbert และคณะ (1995) ได้ศึกษาความเข้มข้นกัมมันตภาพของ Ra-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 277 ตัวอย่าง จากรัฐ Arizona ประเทศสหรัฐอเมริกา เตรียมตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วมเรเดียมโดยใช้ตัวพาแบเรียม แล้วนำไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา พบว่า ความเข้มข้นกัมมันตภาพของ Ra-226 เท่ากับ 1.5-1,170 (เฉลี่ย 76.2) mBq/l มีตัวอย่างน้ำบาดาล 5 ตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้นกัมมันตภาพของ Ra-226 มากกว่า 740 mBq/l (20 pCi/l) และมีตัวอย่างน้ำบาดาล 18 ตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้นกัมมันตภาพ Ra-226 มากกว่า 111 mBq/l (3 pCi/l)

Lucase F. และ Ribeiro F.B. (2006) ได้ศึกษาหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำที่เก็บจากบ่อที่ขุด 2 แหล่ง ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน ในประเทศบราซิล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา พบว่า ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ Ra-226 ที่ได้มีค่า 47.9 ± 7.1 และ 51.6 ± 8.8 mBq/l

Marovic G. และคณะ (1996) ได้วัดค่าความเข้มข้นของ Ra-226 ในแหล่งน้ำพุร้อน และแหล่งน้ำแร่ตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่ตั้งของรีสอร์ทและสปาหลายแห่งในประเทศโครเอเชีย ค่าความเข้มข้นของ Ra-226 ที่วัดได้มีค่า 0.07-4.40 Bq/l โดยในสปามีการใช้น้ำทั้งอาบและดื่ม จากการสำรวจพบว่า มีแหล่งน้ำพุร้อนบางแห่งยังมีค่าความเข้มข้นของ Ra-226 สูงกว่าค่าสูงสุดที่ยอมรับของมาตรฐานน้ำดื่มในประเทศโครเอเชียที่กำหนดไว้ว่าไม่ควรเกิน 1 Bq/l

Moon D.S. และคณะ (2003) ได้ศึกษาหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ในน้ำที่เก็บจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยใช้เรซิน MnO_2 ในการแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อกำจัดเรเดียมออกจากน้ำ โดยเรซินชนิดนี้สามารถทำงานได้ในน้ำที่มีค่า pH ในช่วงที่กว้าง แต่ทำหน้าที่ได้ดีที่สุดในน้ำที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 4-8

Sidhu และ Breithart (1998) ได้วัดความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสี Ra-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 149 ตัวอย่าง จากรัฐ Michigan ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีการของ Krieger และ Whittaker (1980) พบว่า ความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี Ra-226 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 115 mBq/l มีตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 37% ที่มีความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี Ra-226 รวมกับ Ra-228 มากกว่า 185 mBq/l (5 pCi/l)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก จำนวน 240 ตัวอย่างและน้ำดื่ม จำนวน 60 ตัวอย่าง โดยเก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และนำมาเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสมตามหลักการที่เป็นมาตรฐาน แล้วนำไปทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณในตัวอย่างผักและน้ำดื่ม โดยใช้หัววัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์วัสดุ ห้อง SC 618 อาคารปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60, Cs-137 และ Ba-133 ในการปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) แก่เครื่องมือและระบบตรวจวัดที่ใช้ในการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในการทำวิจัยครั้งนี้ ต่อจากนั้น ใช้ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองในรูปของสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา มาทำการตรวจสอบและวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อศึกษาชนิดของสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างผักและน้ำดื่มทั้งหมด และคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity ; S.A.) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของกัมมันตรังสี (concentration of radioactivity) ของสารกัมมันตรังสีที่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น (primordial radionuclide) โดยเน้นเฉพาะนิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิดที่สำคัญ ได้แก่ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th เป็นต้น และรวมไปถึงการคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ ^{137}Cs ที่สะสมในตัวอย่างผักและน้ำดื่ม โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน KCl ที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีปริมาณของโปแตสเซียม (K) อยู่ 44.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้ในการคำนวณปริมาณของ ^{40}K ในตัวอย่างผัก และสารมาตรฐานยูเรเนียม (RGU-1) และทอเรียม (RGTh-1) ที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency ; IAEA) ซึ่งใช้ในการคำนวณปริมาณของ ^{238}U หรือ ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างผัก ตามลำดับ โดยที่สารมาตรฐานยูเรเนียม RGU-1 ดังกล่าวนี้นี้เป็นสินแร่ยูเรเนียมที่ทำให้เจือจางลงด้วยซิลิกา มีปริมาณของยูเรเนียม โปแตสเซียมและทอเรียม เท่ากับ 400, 20 และ 1 ppm ตามลำดับ ส่วน สารมาตรฐานทอเรียม RGTh-1 เป็นสินแร่ทอเรียมที่ทำให้เจือจางลงด้วยซิลิกาเช่นเดียวกัน มีปริมาณของทอเรียม ยูเรเนียม และโปแตสเซียม เท่ากับ 800, 6.3 ppm และ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้ใช้สารมาตรฐาน SL-2 ของ IAEA ในการคำนวณปริมาณของ ^{137}Cs ในตัวอย่างผัก โดยที่สารมาตรฐานทั้งหมดที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหา

ปริมาณ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยที่แต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาทีหรือ 6 ชั่วโมง อีกทั้งยังใช้สารมาตรฐาน SH-424 ของ Eckert & Ziegler ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยที่แต่ละตัวอย่างน้ำใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาทีหรือ 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดได้นี้ไปคำนวณหาค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี (Adult Annual Equivalent Dose) และประเมินความเสี่ยงทางรังสี (Radiation Risk Factor ; RRF) จากการบริโภคอาหารประเภทผัก และน้ำดื่ม ที่มีการปนเปื้อน ^{226}Ra ในบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แล้วทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดและคำนวณได้ในการทำวิจัยครั้งนี้กับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยองค์กรเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD, 1979) และ คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์กรสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) อีกด้วย สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งได้แบ่งวิธีดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างผัก

1. ตัวอย่างผัก 10 ชนิด ได้แก่ คื่นช่าย สะระแหน่ ผักบุ้ง ตำลึง บวบ แตงกวา ถั่วฝักยาว มะเขือยาว ผักกาดขาว และผักกาดหอม
2. ถังพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างผัก
3. ฉลากติดถังพลาสติก
4. ปากกาเคมี
5. ตะกร้าสำหรับล้างผัก
6. เครื่องชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักสด

3.1.2 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำ

1. ตัวอย่างน้ำดื่ม และน้ำแร่ที่จำหน่ายตามท้องตลาด จำนวน 30 ยี่ห้อ ยี่ห้อตัวอย่างน้ำดื่ม ได้แก่ คริสตัล เนสเล่ คูลลี เนปจูน ช้าง สิงแอโร Sapuwa พะวงเอกซ์โป 2003 พี.วี. พีที พี.เอส. พิสุทธิ ยูนิค สุรใจ ชันชาชน เอ็ม เจ เกาะยอคศิริมล สวัสดิการฐานทัพเรือสงขลา ลิฟเติ้ล บ้านดอน จีเหล็ก อภิรักษ์ ยี่ห้อตัวอย่างน้ำแร่ ได้แก่ ออรา เพอรา มองเฟลอ evian มินแร่ ลาวี ไอโอ
2. เครื่องมือวัดค่า pH (pH, Eutech Instruments รุ่น pH Scan1)
3. นลากติดกระปุก
4. ปากกาเคมี

3.1.3 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้าน

1. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (METTLER TOLEDO)
2. ถาด สำหรับอบตัวอย่าง
3. หม้อสแตนเลส สำหรับเผาตัวอย่างผัก
4. กระปุกใส่ตัวอย่างผัก
5. เตาอบไฟฟ้า (ภาพที่ 3.1 ก)
6. เตาเผาอุณหภูมิสูง (ภาพที่ 3.1 ข)



ภาพที่ 3.1 ก. เตาอบไฟฟ้า อุณหภูมิ 25-150°C



ภาพที่ 3.1 ข. เตาเผาอุณหภูมิสูง

3.1.4 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างน้ำ

1. หม้อสำหรับต้มน้ำ
2. ชุดเตาแก๊สแรงดันสูง
3. กระจกใส่ตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 1,000 cc.
4. เทปกาสำหรับปิดผนึกตัวอย่าง
5. ฉลากติดกระจก
6. ปากกาเคมี

3.1.5 วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับขั้นตอนการตรวจวัดรังสีแกมมา

1. กระจกสารตัวอย่าง
2. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา (Gamma Ray Spectrometer) ประกอบไปด้วย
 - หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ของบริษัท Canberra Industries เป็นหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำชนิด Standard Electrode Coaxial Ge Detectors (SEGe) รุ่น GC 2018 ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ก
 - เครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ข
 - เครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ค
 - โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GENIE 2000 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (multi-channel analyzer : MCA) พร้อมติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์
 - เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์



ภาพที่ 3.2 ก. หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์
รุ่น GC 2018



ภาพที่ 3.2 ข. เครื่องขยายสัญญาณ (amplifier) และ
เครื่องจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply)



ภาพที่ 3.2 ค. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
รังสีแกมมา ชนิดหัววัดแบบ HPGe

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 กำหนดสถานที่เก็บตัวอย่าง

ในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง ได้พิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ตลาดที่ประชาชนใช้ในการจับจ่ายซื้อของมากที่สุดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และเขตเทศบาลในตัวเมือง จังหวัดสงขลา โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 300 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น ตัวอย่างผัก 240 ตัวอย่าง น้ำดื่ม 60 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บจากตลาดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ 2 ตลาด ได้แก่ ตลาดคลองเรียน และ ตลาดปลาซ่า ส่วนในเขตเทศบาลสงขลา 2 ตลาด เช่นเดียวกัน ได้แก่ ตลาดทรัพย์สิน และตลาดรถไฟ

3.3.2 การเก็บ และการเตรียมตัวอย่างผัก

เก็บตัวอย่างผักตามพื้นที่ที่กำหนดไว้ โดยทำการเก็บตัวอย่างอาหารประเภทผัก 10 ชนิด ได้แก่ คะน้า ชะอม ผักบุ้ง ตำลึง บวบ แตงกวา ถั่วฝักยาว มะเขือยาว ผักกาดขาว และผักกาดหอม

เก็บตัวอย่างผักตัวอย่างละประมาณ 2-3 กิโลกรัม นำมาล้างและชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักสด (ภาพที่ 3.3 ก) จากนั้นนำไปอบแห้งไล่ความชื้นด้วยเตาอบไฟฟ้า (ภาพที่ 3.3 ข) ที่อุณหภูมิ 120-150°C เป็นเวลา 360 นาที และนำไปเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 600°C (ภาพที่ 3.3 ค) เป็นเวลา 180 นาที จะได้ขี้เถ้าผัก (ภาพที่ 3.3 ง) บรรจุใส่กระปุกปิดผนึก และนำไปชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 3.3 จ) จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ชนิดหัววัด HPGe โดยวัดแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างละ 21,600 วินาที



ภาพที่ 3.3 ก. ตัวอย่างผักต่าง ๆ นำมาล้าง และบันทึกน้ำหนักสด



ภาพที่ 3.3 ข. อบแห้งไล่ ความชื้นที่ อุณหภูมิ 120-150°C



ภาพที่ 3.3 ค. เเผาที่อุณหภูมิ 600°C



ภาพที่ 3.3 ง. ขี้เถ้าตัวอย่างผัก



ภาพที่ 3.3 จ. นำน้ำเข้าตัวอย่างฝักชนิดต่างๆบรรจุลงกระปุกและปิดผนึกให้สนิท

ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างฝักพื้นบ้าน

3.3.2 การเก็บ และเตรียมตัวอย่างน้ำ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ ในเดือนกรกฎาคม 2555 ซึ่งขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำได้พิจารณาการเก็บตัวอย่างน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกตัวอย่างน้ำแร่ จำนวน 14 ตัวอย่าง กลุ่มที่สองตัวอย่างน้ำดื่ม จำนวน 46 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะเก็บน้ำจำนวน 5 ลิตร วัดค่าความเป็นกรดเบส (pH) (ภาพที่ 3.4 ก) หลังจากนั้น นำตัวอย่างน้ำไปต้ม (ภาพที่ 3.4 ข) ให้เหลือ 1 ลิตร (ภาพที่ 3.4 ค) ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบรรจุขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาดด้วยน้ำ ROs ปิดฝาให้สนิท (ภาพที่ 3.4 ง) พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลต่างๆ ของตัวอย่างน้ำแต่ละยี่ห้อ จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ชนิดหัววัด HPGe โดยวัดแต่ละตัวอย่างนาน ตัวอย่างละ 21,600 วินาที



ภาพที่ 3.4 ก. วัดค่า pH



ภาพที่ 3.4 ข. นำตัวอย่างน้ำไปต้ม



ภาพที่ 3.4 ค. ต้มตัวอย่างจนเหลือ 1 ลิตร



ภาพที่ 3.4 ง. บรรจุลงขวดและปิดผนึก

ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างน้ำ

3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมหัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกที่เป็นระบบการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์

หัววัดแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกเป็นระบบวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ได้รับการติดตั้งและเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยสายเคเบิลเฉพาะทางโดยพนักงานวิทยาศาสตร์และผู้ช่วยวิจัยของห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์วัสดุเป็นอย่างดี และเมื่อต้องการใช้จะต้องเตรียมเครื่องมือชุดดังกล่าวนี้อย่างมีระเบียบและขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1. ตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen : LN_2) สำหรับหล่อเลี้ยงหัววัดว่ามีเพียงพอหรือไม่ ถ้าไม่เพียงพอต้องทำการเติมไนโตรเจนเหลวก่อนใช้หัววัด

2. เปิดเครื่องสำรองไฟ และเครื่องคอมพิวเตอร์

3. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเข้าสู่โปรแกรม GENIE 2000

4. ตรวจสอบเช็คลูก Amplifier ดังนี้

Fine gain	5.54
Coarse gain	100
Input	Positive

5. ปรับปุ่ม high voltage โดยหมุนเพิ่ม voltage อย่างช้าๆ จาก 0 จนถึง 1,000 Volt (positive) ปล่อยให้ไวประมาณ 15- 20 นาที

6. ตั้งค่าจำนวนช่องการวัดเป็น 1024 ช่อง

7. ตั้งค่าเวลาที่ต้องการใช้ในการตรวจวัด

3.3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี เริ่มต้น

1. ทำการปรับเทียบพลังงานโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60, Cs-137 และ Ba-133 ใช้เวลาในการตรวจวัด 1,000 วินาที

2. ทำการตรวจวัดรังสีพื้นฐาน (background radiation) โดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาที

3. นำสารมาตรฐาน IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1, KCL และ IAEA/SL-2 ไปตรวจวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาโดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกใช้เวลาในการตรวจวัด 65,000 วินาที

4. คำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency, ξ) ของห้ววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (ได้แสดงหลักการและวิธีการคำนวณค่าประสิทธิภาพดังกล่าวไว้ในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.3)

5. วัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาของตัวอย่างผักและน้ำดื่มที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาวัด 21,600 วินาที จนครบทั้ง 300 ตัวอย่าง

6. ทำการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักและน้ำดื่ม 300 ตัวอย่างที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา โดยใช้สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่ตรวจวัดได้จากการทดลอง และใช้สมการที่ 2.13 และ 2.14

ข้อสังเกต** ในการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้นในตัวอย่างผักทั้ง 240 ตัวอย่าง มีหลักการในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ คือ สำหรับ ^{40}K จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 1460.80 keV และ ^{226}Ra จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 351.90 keV จากเส้นสเปกตรัมพลังงานของ ^{214}Pb ในการวิเคราะห์ ส่วน ^{232}Th จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 583.20 keV ในเส้นสเปกตรัมพลังงานของ ^{208}Tl และสำหรับ ^{137}Cs จะใช้โฟโตพีคที่พลังงาน 661.70 keV จากเส้นสเปกตรัมพลังงานของตัวเองในการวิเคราะห์เชิงปริมาณนี้

7. นำผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดได้ นี้ไปคำนวณหาค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี (annual effective dose rate) ในบริเวณจังหวัดสงขลา

8. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักและน้ำดื่ม 300 ตัวอย่างที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะในตัวอย่างผักและน้ำดื่มที่ตรวจวัดได้โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537-2545 และข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้โดยองค์กรเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD, 1979) และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988, 1993, 2000) ในรูปของตารางเปรียบเทียบข้อมูล

9. สรุปผล วิเคราะห์และเสนอแนะผลการวิจัยที่ได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการที่ได้ตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในตัวอย่างผักและน้ำดื่ม จำนวน 300 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลา และเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้ห้ววัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่มีใช้อยู่ประจำที่ห้องปฏิบัติการดังกล่าวข้างต้น ดังมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้ คือ

4.1. การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของห้ววัดห้ววัดแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

4.2. ค่าประสิทธิภาพ (efficiency; ξ) ของห้ววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL

4.3. ค่าประสิทธิภาพ (efficiency; ξ) ของห้ววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/ SL-2

4.4. ค่าประสิทธิภาพ (efficiency; ξ) ของห้ววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด SH-424

4.5. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างผัก

4.6. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างน้ำดื่ม

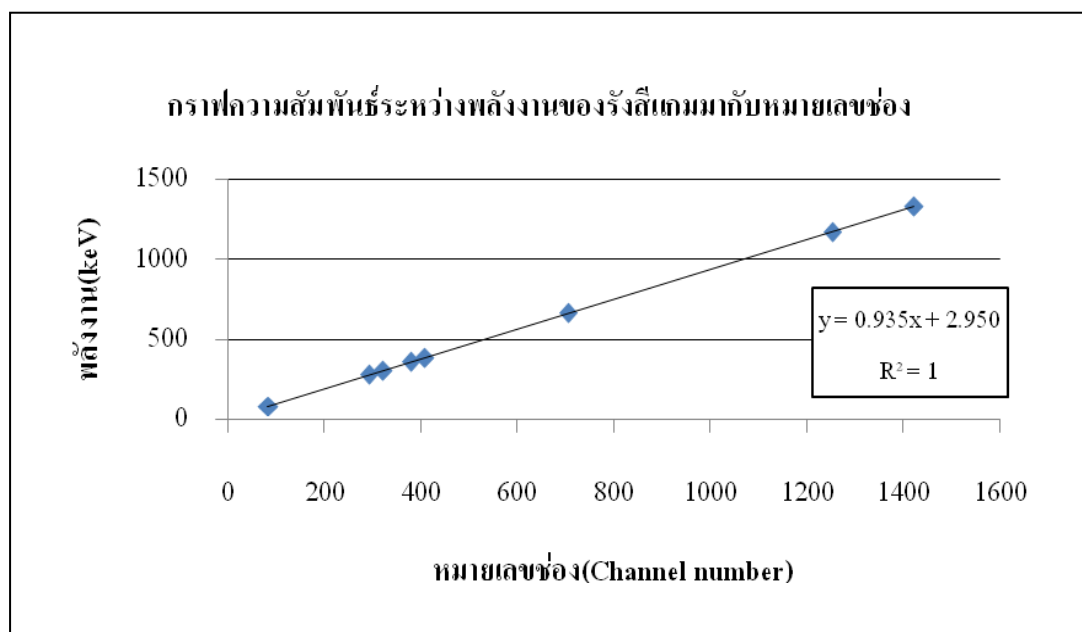
4.7. การคำนวณหาปริมาณรังสียังผลที่ร่างกายได้รับต่อปี (annual effective dose rate) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในตัวอย่างผักและน้ำดื่มของจังหวัดสงขลา ทำการเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและข้อมูลของกลุ่มนักวิจัยในต่างประเทศทั่วโลก และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้มาข้างต้นกับค่าที่กำหนดไว้โดย คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ขององค์การสหประชาชาติเกี่ยวกับผลของรังสีปรมาณู(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR, 1988,1993, 2000)และองค์การอนามัยโลก (WHO, 2002)

4.1 การปรับเทียบพลังงาน (energy calibration) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

ได้ทำการทดลองเพื่อสร้างกราฟการปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยกราฟที่ได้นี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน (energy) ของรังสีแกมมาในหน่วยกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) กับหมายเลขช่อง (channel number) ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (multichannel analyzer : MCA) โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน 3 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดมาตรฐาน ^{133}Ba , ^{137}Cs และ ^{60}Co แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งสามแสดงผลการปรับเทียบพลังงานไว้ดังรายละเอียดในตาราง 4.1 และกราฟการปรับเทียบพลังงานของหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมาในหน่วย keV กับหมายเลขช่อง

ชนิดของแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน (standard sources)	หมายเลขช่อง (channel number)	พลังงานของรังสีแกมมา (keV)
^{133}Ba	82	79.6
	84	81.1
	292	276.4
	321	302.8
	378	356.0
	407	383.9
^{137}Cs	704	661.7
^{60}Co	1252	1173.2
	1422	1332.5



ภาพที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบพลังงานของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

4.2 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL

เป็นที่ทราบกันดีว่า ในการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีเชิงปริมาณในตัวอย่างทรายชายหาด ตัวอย่างดินหรือตัวอย่างอาหาร จะต้องมีการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency; ξ) ของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสี ที่ใช้ในการทดลอง โดยที่จะต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีดังกล่าวแล้วข้างต้น สำหรับแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรสโกปี คือ แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 65,000 วินาที และจัดวางไว้ ณ ตำแหน่งบนหัววัด ซึ่งโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ Genie 2000 ที่ได้ติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทำการประมวลผลข้อมูลของพื้นที่ใต้พีค (net count) ของโฟโตพีคที่มีปรากฏอยู่ในสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาที่ตรวจวัดได้ออกมาในรูปของข้อมูลจากการทดลอง หลังจากนั้นได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสี โดยใช้สมการที่ 4.1 และ 4.2 ดังต่อไปนี้

$$\xi = \frac{cps}{dps} \quad (4.1)$$

โดยที่ cps ซึ่งย่อมาจาก count per second หมายถึง ค่าที่นับได้จากการทดลองวัด
 dps ซึ่งย่อมาจาก disintegration per second หมายถึง ค่าที่นับได้จากการคำนวณ
 หรือค่ากัมมันตภาพของแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลอง

และ

$$dps = A_0 e^{-\lambda t} \quad (4.2)$$

สำหรับข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL เช่น ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0) ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ) และเวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t) เป็นต้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL

ข้อมูล	ชนิดของไอโซโทป			หมายเหตุ
	K-40	Ra-226	Th-232	
ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0)	61.797 Bq	2.526 Bq	1.625 Bq	คำนวณไว้เมื่อ พ.ศ. 2530
ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)	1.28×10^9 ปี	4.47×10^9 ปี	1.405×10^{10} ปี	
ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ)	$1.72 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1}$	$4.92 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$	$1.56 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$	
เวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t)	~ 22 ปี	~ 22 ปี	~ 22 ปี	
ค่ากัมมันตภาพปัจจุบัน ($A(t)$)	61.797 Bq	2.526 Bq	1.625 Bq	ทำการทดลองเมื่อ 15 กันยายน พ.ศ. 2552

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL ได้แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1 และ KCL

Isotopes	Energy(keV)	Area	cps	dps	ξ	ξ (%)
K-40	1460.80	3358	0.052	61.797	8.4×10^{-4}	0.084
Ra-226	351.90	1850	0.028	2.526	1.127×10^{-2}	1.127
Th-232	583.20	455	0.007	1.625	4.31×10^{-3}	0.431

4.3 ประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา IAEA/SL-2

ทำนองเดียวกัน สำหรับการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ในตัวอย่างผัก ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA/SL-2 ของ IAEA จะต้องทำการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (efficiency; ξ) ของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสี ที่ใช้ในการทดลองเช่นเดียวกัน โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 65,000 วินาทีเท่ากัน สำหรับผลจากการตรวจวัดและคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดและระบบวิเคราะห์รังสีที่ได้จากการใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA/SL-2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2

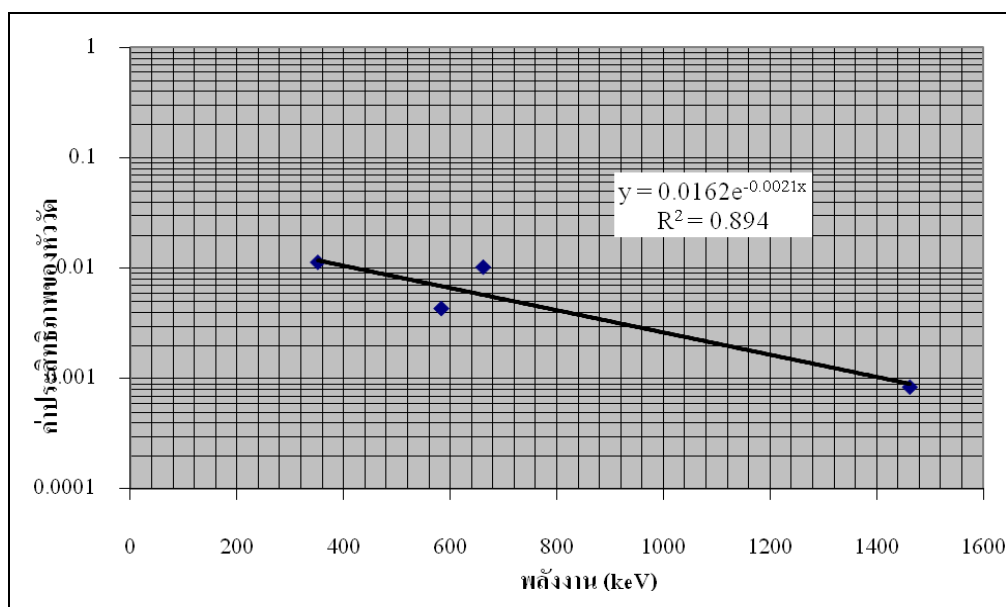
ข้อมูล	ชนิดของไอโซโทป Cs-137	หมายเหตุ
ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น (A_0)	0.6 Bq	คำนวณไว้เมื่อ พ.ศ. 2530
ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)	30.2 ปี	
ค่าคงที่ของการสลายตัว (λ)	$7.28 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$	
เวลาที่ใช้ในการสลายตัว (t)	~ 22 ปี	
ค่ากัมมันตภาพปัจจุบัน ($A(t)$)	0.362 Bq	ทำการคำนวณเมื่อ 15 กันยายน พ.ศ. 2555

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาชนิด IAEA/SL-2 ได้แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/SL-2

Isotopes	Energy(keV)	Area	<i>cps</i>	<i>dps</i>	ξ	ξ (%)
Cs-137	661.70	243	3.7×10^{-3}	0.362	1.021×10^{-2}	1.021

ต่อจากนั้น ได้นำข้อมูลในตารางที่ 4.3 และ 4.5 มาเขียนกราฟระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/ RGTh-1, KCl และ IAEA/SL-2 กับค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่พิจารณา ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีและระบบวิเคราะห์รังสีแบบแกมมาสเปกโตรเมตรีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา

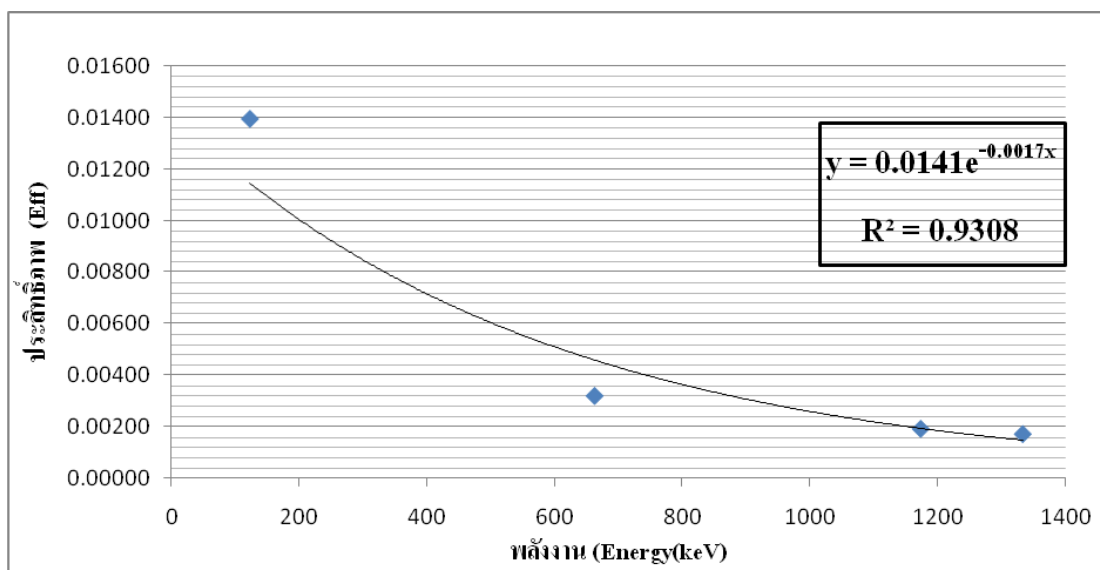
4.4 ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency: $\text{Eff}(\xi)$) ของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด SH-424

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพของของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง(HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิด SH-424 ได้แสดงผลในตารางที่ 4.4

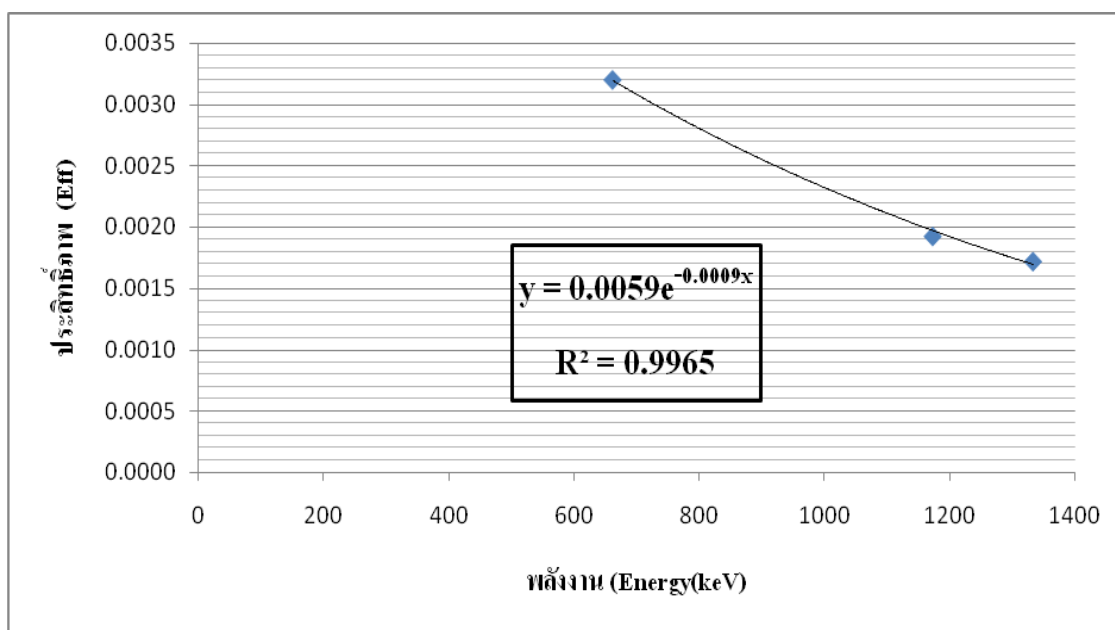
ตารางที่ 4.6 ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิด SH-424

Isotope	Energy (keV)	Area	cps	dps	Eff	Eff(%)
Co-57	122	12649	0.586	41.994	1.39×10^{-2}	1.395
Cs-137	662	147837	6.844	2136.178	3.20×10^{-3}	0.320
Co-60	1173	92561	4.285	2223.832	1.93×10^{-3}	0.193
Co-60	1333	82695	3.828	2223.832	1.72×10^{-3}	0.172

จากนั้น นำข้อมูลในตารางที่ 4.6 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิด SH-424 กับค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตริกกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา(ต่อ)

4.5. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างผัก

โดยการใช้สมการการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity : S.A.) ในบทที่ 2 และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จะสามารถคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของไอโซโทปรังสีบางชนิดที่มีอยู่ในตัวอย่างที่เก็บจากตลาด 4 แห่ง ในบริเวณจังหวัดสงขลา ได้แก่ ตลาดทรัพย์สิน ตลาดรถไฟ ตลาดปลาซา และตลาดคลองเรียน จำนวน 240 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้มีความสนใจที่จะตรวจวัดปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้น (primordial radionuclides) โดยเฉพาะ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th และนิวไคลด์รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ ^{137}Cs เท่านั้น โดยที่แต่ละตัวอย่างใช้เวลาในการตรวจวัด 21,600 วินาที หรือ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้หัววัดรังสีเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ที่มีใช้อยู่ประจำที่ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์วัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวนี้ได้ใช้โปรแกรม Genie 2000 ของบริษัท Canberra ที่ได้ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงผลการคำนวณของพื้นที่ใต้พีค (net area) และได้นำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ตามลำดับ ในที่นี้จะขอนำเสนอผลการทดลองและผลวิเคราะห์ปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของไอโซโทปรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างผัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ปริมาณของไอโซโทปรังสี ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ที่มีอยู่ในตัวอย่างผักในตารางที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ รวมทั้งค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย และค่าขีดจำกัดของห่าวัด (LLD) ที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย

ตารางที่ 4.7 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของหัวใจ (LLD) ในตัวอย่างผัก จากเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และเขตเทศบาลนครสงขลาจังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง

Sample	Weight (kg)	Specific activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
คะน้า (HY)	2.5	4.50 ± 0.08	1.42
ชะอม (HY)	2.5	1.82 ± 0.05	0.94
ผักบุ้ง (HY)	2.5	6.25 ± 0.10	1.68
ตำลึง (HY)	2.5	3.65 ± 0.08	1.30
บวบ (HY)	2.5	2.70 ± 0.07	1.12
แตงกวา (HY)	2.5	3.65 ± 0.08	1.31
ถั่วฝักยาว (HY)	2.5	2.68 ± 0.07	1.12
มะเขือยาว (HY)	2.5	4.24 ± 0.08	1.40
ผักกาดขาว (HY)	2.5	4.05 ± 0.08	1.37
ผักกาดหอม (HY)	2.5	6.58 ± 0.10	1.73
คะน้า (SK)	2.5	4.66 ± 0.09	1.42
ชะอม (SK)	2.5	2.41 ± 0.06	1.06
ผักบุ้ง (SK)	2.5	6.20 ± 0.10	1.58
ตำลึง (SK)	2.5	5.32 ± 0.09	1.53
บวบ (SK)	2.5	3.34 ± 0.07	1.25
แตงกวา (SK)	2.5	3.74 ± 0.08	1.32
ถั่วฝักยาว (SK)	2.5	2.58 ± 0.06	1.11
มะเขือยาว (SK)	2.5	4.45 ± 0.08	1.37
ผักกาดขาว (SK)	2.5	4.76 ± 0.09	1.47
ผักกาดหอม (SK)	2.5	6.51 ± 0.10	1.72
Range		1.82 – 6.58	1.38
Average		4.13 ± 0.08	

หมายเหตุ HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.8 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างผัก จากเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และเขตเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง

Sample	Weight (kg)	Specific activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
คะน้า (HY)	2.5	0.22 ± 0.07	0.19
ชะอม (HY)	2.5	0.27 ± 0.05	0.14
ผักบุ้ง (HY)	2.5	0.69 ± 0.10	0.13
ตำลึง (HY)	2.5	3.16 ± 0.13	0.19
บวบ (HY)	2.5	0.16 ± 0.05	0.17
แตงกวา (HY)	2.5	0.20 ± 0.06	0.17
ถั่วฝักยาว (HY)	2.5	0.31 ± 0.06	0.17
มะเขือยาว (HY)	2.5	0.19 ± 0.07	0.16
ผักกาดขาว (HY)	2.5	0.27 ± 0.06	0.17
ผักกาดหอม (HY)	2.5	0.52 ± 0.09	0.17
คะน้า (SK)	2.5	0.34 ± 0.07	0.16
ชะอม (SK)	2.5	0.44 ± 0.11	0.16
ผักบุ้ง (SK)	2.5	0.62 ± 0.08	0.17
ตำลึง (SK)	2.5	3.21 ± 0.11	0.19
บวบ (SK)	2.5	0.19 ± 0.06	0.15
แตงกวา (SK)	2.5	0.16 ± 0.06	0.17
ถั่วฝักยาว (SK)	2.5	0.19 ± 0.06	0.13
มะเขือยาว (SK)	2.5	0.21 ± 0.07	0.17
ผักกาดขาว (SK)	2.5	0.33 ± 0.09	0.17
ผักกาดหอม (SK)	2.5	0.68 ± 0.09	0.17
Range		< 0.12 – 7.8	0.16
Average		0.43 $\pm$ 0.07	

หมายเหตุ HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.9 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างผัก จากเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และเขตเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง

Sample	Weight (kg)	Specific activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
คะน้า (HY)	2.5	0.62 ± 0.20	0.20
ชะอม (HY)	2.5	0.61 ± 0.18	0.23
ผักบุ้ง (HY)	2.5	1.18 ± 0.36	0.29
ตำลึง (HY)	2.5	1.87 ± 0.40	0.41
บวบ (HY)	2.5	0.87 ± 0.22	0.25
แตงกวา (HY)	2.5	0.66 ± 0.26	0.23
ถั่วฝักยาว (HY)	2.5	0.88 ± 0.25	0.30
มะเขือยาว (HY)	2.5	0.66 ± 0.28	0.21
ผักกาดขาว (HY)	2.5	0.93 ± 0.28	0.24
ผักกาดหอม (HY)	2.5	1.07 ± 0.38	0.28
คะน้า (SK)	2.5	0.67 ± 0.29	0.23
ชะอม (SK)	2.5	0.54 ± 0.22	0.22
ผักบุ้ง (SK)	2.5	1.16 ± 0.29	0.33
ตำลึง (SK)	2.5	1.78 ± 0.35	0.40
บวบ (SK)	2.5	0.57 ± 0.25	0.21
แตงกวา (SK)	2.5	0.80 ± 0.28	0.21
ถั่วฝักยาว (SK)	2.5	0.64 ± 0.22	0.22
มะเขือยาว (SK)	2.5	0.65 ± 0.28	0.21
ผักกาดขาว (SK)	2.5	0.60 ± 0.31	0.21
ผักกาดหอม (SK)	2.5	1.14 ± 0.39	0.26
Range		< 0.19 - 3.88	0.24
Average		0.86 ± 0.28	

หมายเหตุ HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.10 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ยและค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างผัก จากเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และเขตเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง

Sample	Weight (kg)	Specific activity (Bq/kg)	LLD (Bq)
คะน้า (HY)	2.5	0.38 ± 0.35	0.25
ชะอม (HY)	2.5	0.20 ± 0.08	0.25
ผักบุ้ง (HY)	2.5	ND	0.21
ตำลึง (HY)	2.5	1.55 ± 0.50	0.33
บวบ (HY)	2.5	< 0.19	0.19
แตงกวา (HY)	2.5	ND	0.24
ถั่วฝักยาว (HY)	2.5	0.59 ± 0.30	0.24
มะเขือยาว (HY)	2.5	0.49 ± 0.30	0.23
ผักกาดขาว (HY)	2.5	0.33 ± 0.33	0.24
ผักกาดหอม (HY)	2.5	ND	0.24
คะน้า (SK)	2.5	ND	0.25
ชะอม (SK)	2.5	0.30 ± 0.21	0.23
ผักบุ้ง (SK)	2.5	0.12 ± 0.09	0.20
ตำลึง (SK)	2.5	< 0.19	0.19
บวบ (SK)	2.5	< 0.19	0.19
แตงกวา (SK)	2.5	< 0.19	0.19
ถั่วฝักยาว (SK)	2.5	ND	0.21
มะเขือยาว (SK)	2.5	0.52 ± 0.27	0.24
ผักกาดขาว (SK)	2.5	1.02 ± 0.42	0.25
ผักกาดหอม (SK)	2.5	0.61 ± 0.33	0.24
Range		$< 0.19 - 1.55$	0.23
Average		0.54 ± 0.30	

หมายเหตุ HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

4.6. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นที่วัดได้ในตัวอย่างน้ำดื่ม

โดยใช้สมการที่ 2.22 ในบทที่ 2 และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จะสามารถคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (specific activity : S.A.) ของไอโซโทปรังสีบางชนิดที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 60 ตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้ได้สนใจตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และที่มนุษย์สร้างขึ้น ^{137}Cs โดยแต่ละตัวอย่างใช้เวลาตรวจวัด 6 ชั่วโมงหรือ 21,600 วินาที โดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์วัสดุ ชั้น 6 ห้อง SC618 อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (เดิม) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลาในการตรวจวัดและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Genie 2000 ในเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลของข้อมูลของพื้นที่ใต้พีค (net area) และได้นำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ตามลำดับ ในที่นี้จะนำเสนอผลการทดลองและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. แสดงค่า pH ของตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ จำนวน 60 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่า pH ของตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ จำนวน 60 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

น้ำแร่	ค่า pH
NHY-01	8.0
NHY-02	8.5
NHY-03	8.7
NHY-04	8.1
NHY-05	8.5
NHY-06	8.4
NHY-07	7.9
NSK-01	8.0
NSK-02	8.3
NSK-03	8.7
NSK-04	8.4
NSK-05	8.4
NSK-06	8.6
NSK-07	8.1
Range	7.9 – 8.5
Average	8.3

หมายเหตุ N คือ Mineral water, W คือ Drinking water, HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงค่าความเป็นกรด-เบส ของตัวอย่างน้ำดื่ม

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-เบส	ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-เบส
WHY - 01	9.60	WSK – 01	9.30
WHY – 02	10.36	WSK – 02	10.30
WHY – 03	9.55	WSK – 03	9.68
WHY – 04	9.53	WSK – 04	8.94
WHY – 05	9.52	WSK – 05	8.87
WHY – 06	9.10	WSK – 06	10.53
WHY – 07	9.52	WSK – 07	9.52
WHY – 08	9.85	WSK – 08	9.28
WHY – 09	10.16	WSK – 09	9.47
WHY – 10	9.52	WSK – 10	9.67
WHY - 11	9.34	WSK – 11	9.56
WHY – 12	10.20	WSK – 12	9.94
WHY – 13	10.28	WSK – 13	9.87
WHY – 14	9.65	WSK – 14	9.10
WHY – 15	9.45	WSK – 15	9.82
WHY-16	8.50	WSK-16	8.40
WHY-17	9.30	WSK-17	9.30
WHY-18	8.00	WSK-18	8.00
WHY-19	8.20	WSK-19	8.10
WHY-20	9.30	WSK-20	9.30
WHY-21	8.80	WSK-21	9.00
WHY-22	8.70	WSK-22	8.90
WHY-23	8.50	WSK-23	8.50
Range	8.00 – 10.36	Range	8.00 – 10.53
Average	9.71	Average	9.59

หมายเหตุ N คือ Mineral water, W คือ Drinking water, HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

2. แสดงผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 60 ตัวอย่าง ในตารางที่ 4.12, 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ รวมทั้งค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ที่ใช้ในการวัดตัวอย่างอีกด้วย

ตารางที่ 4.12 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
NHY-01	1	1.2 ± 0.31	2.39
NHY-02	1	0.38 ± 0.23	2.33
NHY-03	1	ND	2.31
NHY-04	1	1.42 ± 0.28	2.41
NHY-05	1	1.42 ± 0.54	2.41
NHY-06	1	1.26 ± 0.26	2.39
NHY-07	1	0.49 ± 0.24	2.34
Range		ND – 1.42	2.37
Average		1.03 ± 0.31	
NSK-01	1	1.20 ± 0.31	2.38
NSK-02	1	0.38 ± 0.23	2.30
NSK-03	1	1.53 ± 0.29	2.39
NSK-04	1	0.93 ± 0.23	2.39
NSK-05	1	1.04 ± 0.30	2.38
NSK-06	1	0.82 ± 0.33	2.32
NSK-07	1	0.66 ± 0.19	2.39
Range		0.38 – 1.20	2.36
Average		0.94 ± 0.27	

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลเมืองสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WHY – 01	1	1.09 ± 0.30	2.31
WHY – 02	1	ND	2.33
WHY – 03	1	1.26 ± 0.26	2.37
WHY – 04	1	1.15 ± 0.35	2.38
WHY – 05	1	1.09 ± 0.30	2.40
WHY – 06	1	ND	2.35
WHY – 07	1	1.15 ± 0.31	2.35
WHY – 08	1	ND	2.30
WHY – 09	1	1.47 ± 0.28	2.31
WHY – 10	1	1.97 ± 0.33	2.30
WHY – 11	1	ND	2.30
WHY – 12	1	0.38 ± 0.28	2.35
WHY – 13	1	0.71 ± 0.26	2.35
WHY – 14	1	1.20 ± 0.26	2.30
WHY – 15	1	1.42 ± 0.41	2.35
WHY – 16	1	0.98 ± 0.29	2.39
WHY – 17	1	ND	2.33
WHY – 18	1	ND	2.41
WHY – 19	1	0.98 ± 0.23	2.37
WHY – 20	1	1.04 ± 0.34	2.38
WHY – 21	1	1.37 ± 0.27	2.36
WHY – 22	1	0.60 ± 0.31	2.35
WHY – 23	1	0.71 ± 0.26	2.37
Range		ND – 1.97	
Average		1.09 ± 0.30	

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WSK – 01	1	ND	2.30
WSK – 02	1	2.13 ± 0.34	2.45
WSK – 03	1	ND	2.30
WSK – 04	1	1.47 ± 0.28	2.41
WSK – 05	1	1.09 ± 0.35	2.38
WSK – 06	1	0.49 ± 0.34	2.34
WSK – 07	1	1.31 ± 0.27	2.40
WSK – 08	1	0.60 ± 0.31	2.35
WSK – 09	1	0.98 ± 0.34	2.37
WSK – 10	1	1.04 ± 0.24	2.38
WSK – 11	1	1.09 ± 0.24	2.38
WSK – 12	1	1.09 ± 0.39	2.38
WSK – 13	1	1.58 ± 0.29	2.42
WSK – 14	1	ND	2.30
WSK – 15	1	ND	2.31
WSK – 16	1	ND	2.30
WSK – 17	1	ND	2.41
WSK – 18	1	ND	2.44
WSK – 19	1	ND	2.31
WSK – 20	1	0.71 ± 0.26	2.33
WSK – 21	1	0.60 ± 0.35	2.35
WSK – 22	1	ND	2.39
WSK – 23	1	0.60 ± 0.31	2.41
Range		ND – 2.13	
Average		1.06 ± 0.31	

ตารางที่ 4.13 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
NHY-01	1	ND	0.55
NHY-02	1	0.16 ± 0.04	0.60
NHY-03	1	0.29 ± 0.05	0.65
NHY-04	1	0.19 ± 0.04	0.61
NHY-05	1	0.16 ± 0.04	0.60
NHY-06	1	ND	0.55
NHY-07	1	0.09 ± 0.04	0.57
Range		ND – 0.29	0.59
Average		0.18 ± 0.04	
NSK-01	1	ND	0.55
NSK-02	1	0.16 ± 0.04	0.59
NSK-03	1	0.22 ± 0.04	0.57
NSK-04	1	1.58 ± 0.43	0.67
NSK-05	1	0.15 ± 0.05	0.53
NSK-06	1	ND	0.55
NSK-07	1	0.20 ± 0.03	0.68
Range		ND – 0.22	0.59
Average		0.18 ± 0.04	

หมายเหตุ N คือ Mineral water, W คือ Drinking water, HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WHY – 01	1	0.04 ± 0.04	0.59
WHY – 02	1	0.14 ± 0.04	0.53
WHY – 03	1	0.08 ± 0.03	0.54
WHY – 04	1	0.35 ± 0.04	0.58
WHY – 05	1	ND	0.59
WHY – 06	1	ND	0.62
WHY – 07	1	0.38 ± 0.04	0.62
WHY – 08	1	0.30 ± 0.05	0.59
WHY – 09	1	0.08 ± 0.04	0.59
WHY – 10	1	0.22 ± 0.04	0.59
WHY – 11	1	0.11 ± 0.04	0.53
WHY – 12	1	ND	0.61
WHY – 13	1	0.20 ± 0.04	0.57
WHY – 14	1	0.36 ± 0.04	0.58
WHY – 15	1	0.24 ± 0.04	0.58
WHY – 16	1	0.10 ± 0.04	0.55
WHY – 17	1	0.14 ± 0.03	0.60
WHY – 18	1	ND	0.62
WHY – 19	1	ND	0.60
WHY – 20	1	0.11 ± 0.04	0.60
WHY – 21	1	0.15 ± 0.04	0.53
WHY – 22	1	0.21 ± 0.03	0.61
WHY – 23	1	0.22 ± 0.04	0.58
Range		ND – 0.36	
Average		0.19 ± 0.04	

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WSK – 01	1	0.08 ± 0.05	0.57
WSK – 02	1	0.30 ± 0.03	0.65
WSK – 03	1	0.29 ± 0.05	0.65
WSK – 04	1	0.37 ± 0.04	0.68
WSK – 05	1	0.24 ± 0.04	0.63
WSK – 06	1	0.17 ± 0.05	0.60
WSK – 07	1	ND	0.53
WSK – 08	1	0.15 ± 0.05	0.60
WSK – 09	1	0.06 ± 0.05	0.56
WSK – 10	1	0.04 ± 0.04	0.55
WSK – 11	1	0.20 ± 0.04	0.61
WSK – 12	1	0.25 ± 0.05	0.63
WSK – 13	1	0.07 ± 0.03	0.56
WSK – 14	1	0.17 ± 0.05	0.60
WSK – 15	1	0.28 ± 0.05	0.64
WSK – 16	1	0.14 ± 0.03	0.65
WSK – 17	1	0.14 ± 0.03	0.57
WSK – 18	1	0.13 ± 0.04	0.62
WSK – 19	1	ND	0.58
WSK – 20	1	0.18 ± 0.04	0.55
WSK – 21	1	0.09 ± 0.05	0.62
WSK – 22	1	0.12 ± 0.04	0.67
WSK – 23	1	0.11 ± 0.05	0.63
Range		ND – 0.37	
Average		0.17 ± 0.04	

ตารางที่ 4.14 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
NHY-01	1	2.95 ± 0.46	0.26
NHY-02	1	ND	0.19
NHY-03	1	< 0.17	0.17
NHY-04	1	2.34 ± 0.38	0.24
NHY-05	1	0.85 ± 0.37	0.20
NHY-06	1	1.90 ± 0.47	0.23
NHY-07	1	1.31 ± 0.38	0.22
Range		$< 0.17 - 2.95$	0.22
Average		1.87 ± 0.41	
NSK-01	1	2.95 ± 0.46	0.19
NSK-02	1	ND	0.27
NSK-03	1	< 0.17	0.17
NSK-04	1	1.58 ± 0.43	0.19
NSK-05	1	< 0.17	0.17
NSK-06	1	3.01 ± 0.41	0.17
NSK-07	1	< 0.17	0.17
Range		$< 0.17 - 2.95$	0.19
Average		2.51 ± 0.43	

หมายเหตุ N คือ Mineral water, W คือ Drinking water, HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WHY – 01	1	0.41 ± 0.32	0.25
WHY – 02	1	3.27 ± 0.47	0.18
WHY – 03	1	ND	0.24
WHY – 04	1	0.47 ± 0.32	0.25
WHY – 05	1	ND	0.24
WHY – 06	1	ND	0.36
WHY – 07	1	ND	0.17
WHY – 08	1	ND	0.21
WHY – 09	1	ND	0.25
WHY – 10	1	ND	0.26
WHY – 11	1	3.48 ± 0.40	0.22
WHY – 12	1	0.76 ± 0.41	0.23
WHY – 13	1	2.57 ± 0.40	0.21
WHY – 14	1	2.98 ± 0.45	0.25
WHY – 15	1	ND	0.26
WHY – 16	1	2.37 ± 0.54	0.26
WHY – 17	1	2.60 ± 0.44	0.19
WHY – 18	1	ND	0.26
WHY – 19	1	2.04 ± 0.47	0.22
WHY – 20	1	2.45 ± 0.29	0.24
WHY – 21	1	2.28 ± 0.34	0.26
WHY – 22	1	8.24 ± 0.61	0.18
WHY – 23	1	ND	0.24
Range		ND – 8.24	
Average		2.61 ± 0.42	

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{2232}Th และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WSK – 01	1	3.21 ± 0.46	0.26
WSK – 02	1	2.86 ± 0.53	0.26
WSK – 03	1	1.20 ± 0.64	0.21
WSK – 04	1	5.84 ± 0.52	0.32
WSK – 05	1	1.11 ± 0.50	0.21
WSK – 06	1	0.73 ± 0.50	0.20
WSK – 07	1	0.91 ± 0.39	0.20
WSK – 08	1	0.50 ± 0.43	0.19
WSK – 09	1	3.65 ± 0.53	0.27
WSK – 10	1	2.63 ± 0.55	0.25
WSK – 11	1	0.79 ± 0.52	0.20
WSK – 12	1	1.96 ± 0.66	0.23
WSK – 13	1	ND	0.17
WSK – 14	1	3.51 ± 0.49	0.27
WSK – 15	1	ND	0.17
WSK – 16	1	1.05 ± 0.37	0.18
WSK – 17	1	2.60 ± 0.44	0.17
WSK – 18	1	2.92 ± 0.56	0.17
WSK – 19	1	1.43 ± 0.47	0.27
WSK – 20	1	1.78 ± 0.52	0.20
WSK – 21	1	1.26 ± 0.54	0.25
WSK – 22	1	2.66 ± 0.80	0.26
WSK – 23	1	3.07 ± 0.54	0.17
Range		ND – 5.84	
Average		2.17 ± 0.52	

ตารางที่ 4.15 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่มจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
NHY-01	1	0.09 ± 0.03	0.95
NHY-02	1	ND	0.89
NHY-03	1	0.09 ± 0.03	0.95
NHY-04	1	0.14 ± 0.02	0.98
NHY-05	1	0.21 ± 0.03	1.03
NHY-06	1	0.13 ± 0.02	0.98
NHY-07	1	0.06 ± 0.03	0.93
Range		ND – 0.21	0.96
Average		0.12 ± 0.03	
NSK-01	1	0.09 ± 0.03	1.01
NSK-02	1	ND	1.05
NSK-03	1	0.03 ± 0.03	0.92
NSK-04	1	0.05 ± 0.04	0.94
NSK-05	1	0.22 ± 0.03	1.04
NSK-06	1	0.06 ± 0.03	0.97
NSK-07	1	0.17 ± 0.04	0.89
Range		2.57 – 10.29	0.97
Average		0.09 ± 0.03	

หมายเหตุ N คือ Mineral water, W คือ Drinking water, HY คือ เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และ SK คือ เขตเทศบาลนครสงขลา

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WHY – 01	1	0.17 ± 0.02	1.09
WHY – 02	1	0.23 ± 0.03	0.89
WHY – 03	1	0.04 ± 0.04	1.05
WHY – 04	1	0.07 ± 0.03	0.89
WHY – 05	1	0.23 ± 0.03	0.96
WHY – 06	1	0.12 ± 0.04	0.92
WHY – 07	1	ND	1.03
WHY – 08	1	0.15 ± 0.02	0.89
WHY – 09	1	0.12 ± 0.03	1.09
WHY – 10	1	ND	0.98
WHY – 11	1	0.18 ± 0.04	1.04
WHY – 12	1	0.07 ± 0.04	0.89
WHY – 13	1	ND	1.07
WHY – 14	1	ND	0.89
WHY – 15	1	ND	0.99
WHY – 16	1	0.21 ± 0.03	0.95
WHY – 17	1	0.31 ± 0.03	0.89
WHY – 18	1	ND	0.91
WHY – 19	1	0.24 ± 0.03	0.92
WHY – 20	1	ND	1.04
WHY – 21	1	0.11 ± 0.03	0.89
WHY – 22	1	0.04 ± 0.04	1.00
WHY – 23	1	0.21 ± 0.03	1.03
Range		ND – 0.23	
Average		0.16 ± 0.03	

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs และค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (LLD) ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาจำนวน 60 ตัวอย่าง

Sample	Volume (liter : L)	Specific Activity (Bq/L)	LLD (Bq/L)
WSK – 01	1	0.10 ± 0.04	0.96
WSK – 02	1	0.13 ± 0.03	0.98
WSK – 03	1	0.08 ± 0.03	0.95
WSK – 04	1	0.21 ± 0.03	1.03
WSK – 05	1	ND	0.89
WSK – 06	1	0.12 ± 0.03	0.97
WSK – 07	1	0.17 ± 0.03	1.00
WSK – 08	1	0.12 ± 0.04	0.97
WSK – 09	1	0.09 ± 0.04	0.95
WSK – 10	1	0.06 ± 0.04	0.93
WSK – 11	1	0.08 ± 0.03	0.95
WSK – 12	1	0.10 ± 0.04	0.96
WSK – 13	1	0.15 ± 0.03	0.99
WSK – 14	1	0.17 ± 0.03	1.00
WSK – 15	1	0.16 ± 0.03	1.00
WSK – 16	1	ND	0.99
WSK – 17	1	0.31 ± 0.03	0.97
WSK – 18	1	0.14 ± 0.03	0.89
WSK – 19	1	0.22 ± 0.03	1.01
WSK – 20	1	ND	0.94
WSK – 21	1	0.26 ± 0.03	0.89
WSK – 22	1	ND	0.89
WSK – 23	1	0.14 ± 0.02	1.02
Range		ND – 0.31	
Average		0.15 ± 0.03	

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักที่เก็บจากตลาดทรัพย์สิน เขตเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา, ตัวอย่างผักที่เก็บจากอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลาและค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000

สถานที่เก็บตัวอย่าง	^{40}K (Bq/kg)		^{226}Ra (Bq/kg)		^{232}Th (Bq/kg)		^{137}Cs (Bq/kg)	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
- ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000	-	50.00	-	40.00	-	15.00	-	-
- ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างผัก ในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยสนง.ปส.	1,000 - 15,000	-	10 - 100	-	10 - 50	-	0 - 10	-
- ตัวอย่างผักที่เก็บจาก อ.นาหม่อม จ.สงขลา 98 ตัวอย่าง	-	-	0.03 - 7.88	-	-	-	-	-
- ตัวอย่างผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา 240 ตัวอย่าง	1.82 – 6.58	4.13 ± 0.08	0.16 – 3.21	0.43 ± 0.07	0.54 – 1.87	0.86 ± 0.28	< 0.19-1.55	0.54 ± 0.30

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, ค่าเฉลี่ยของน้ำในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยสนง. ปส. และค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000

สถานที่เก็บตัวอย่าง	^{40}K (Bq/L)		^{226}Ra (Bq/L)		^{232}Th (Bq/L)		^{137}Cs (Bq/L)	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ค่าเฉลี่ย
- ค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000	-	-	-	0.19	-	0.05	-	-
- ค่าเฉลี่ยของน้ำในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยสนง. ปส.	0 – 3.00	-	0 - 0.20	-	0 – 0.05	-	0 – 0.30	-
- ตัวอย่างน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จ.สงขลา 14 ตัวอย่าง	ND – 1.52	0.98 ± 0.29	$<0.59 - 0.22$	0.18 ± 0.04	$<0.20 - 3.01$	2.11 ± 0.48	ND – 0.22	0.11 ± 0.03
- ตัวอย่างน้ำดื่มที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จ.สงขลา 46 ตัวอย่าง	ND – 1.96	1.08 ± 0.30	$<0.59 - 0.38$	0.18 ± 0.04	$< 0.23 - 8.24$	2.34 ± 0.48	ND – 0.31	0.15 ± 0.03

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักและน้ำดื่ม จำนวน 300 ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณ จังหวัดสงขลา ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางต่างๆในบทที่ 4 แล้วนั้น ทำให้สามารถสรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผลการทำวิจัยที่ได้ และนอกจากนี้ยังได้นำเสนอข้อเสนอนี้ต่างๆ ที่ได้จากประสบการณ์การทำวิจัยในครั้งนี้อีกด้วย ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สรุปผลการทดลอง

จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างผักและ น้ำดื่ม ที่เก็บจาก เขตเทศบาล นครสงขลา และเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้กราฟการเปรียบเทียบพลังงานในภาพที่ 4.1 โดยที่ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ตรวจพบนี้มีอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม คือ ^{214}Pb ^{214}Bi และในอนุกรมทอเรียม คือ ^{208}Tl , ^{212}Pb และ ^{228}Ac นอกจากนี้ ยังพบว่าไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมกัมมันตรังสีใดๆ คือ ^{40}K ซึ่งเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่พบในธรรมชาติและเกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดของโลก และกัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นคือ ^{137}Cs

การทดลองที่ได้จากการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผักที่เก็บจากบริเวณ จังหวัดสงขลา จำนวน 240 ตัวอย่าง จะใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิด IAEA/RGU-1, IAEA/RGTh-1,KCl และIAEA-SL-2 ในการเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี และคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และที่มนุษย์สร้างขึ้น ^{137}Cs ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.2

เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K ที่พีคพลังงาน 1460.8 keV ของ ^{40}K ตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra โดยใช้พีคพลังงานที่ 351.9 keV ของ ^{214}Pb ตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th โดยใช้พีคพลังงานที่ 583.2 keV ของ ^{208}Tl และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs โดยใช้พีคพลังงานที่ 661.7 keV ของ ^{137}Cs พบว่าข้อมูลที่ได้ใน 240 ตัวอย่าง มีค่าทั้งมากกว่าและน้อยกว่าค่า LLD โดยจะแยกพิจารณาเป็นค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และที่มนุษย์สร้างขึ้น ^{137}Cs ในตัวอย่างผักแต่ละชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 และพิจารณาโดยรวมผักทั้ง 10 ชนิด

จากการศึกษาไอโซโทปกัมมันตรังสีในตัวอย่างผักที่เก็บจาก บริเวณเขตเทศบาลนคร สงขลา และเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 10 ชนิด 240 ตัวอย่าง ได้แก่ กระน้ำ ชะอม ผักบุ้ง ตำลึง บวบ แตงกวา ถั่วฝักยาว มะเขือยาว ผักกาดขาว และผักกาดหอม ทำการวัดโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง และระบบวิเคราะห์แบบสเปกโตรเมตรี และในการ ตรวจวัดแต่ละตัวอย่างใช้เวลา 21,600 วินาที

การวัดปริมาณค่ากัมมันตรังสีของไอโซโทป ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ในตัวอย่างผัก บริเวณเขตเทศบาลนครสงขลา จังหวัดสงขลา จำนวน 10 ชนิด ได้แก่ กระน้ำ ชะอม ผักบุ้ง ตำลึง บวบ แตงกวา ถั่วฝักยาว มะเขือยาว ผักกาดขาว และผักกาดหอม พบว่า มีค่าพิสัยอยู่ในช่วง **1.82 – 6.58 (ค่าเฉลี่ย 4.13 ± 0.08) Bq/kg, 0.16 – 3.21 (ค่าเฉลี่ย 0.43 ± 0.07) Bq/kg, 0.54 – 1.87 (ค่าเฉลี่ย 0.86 ± 0.28) Bq/kg และ $< 0.19\text{--}1.55$ (ค่าเฉลี่ย 0.54 ± 0.30) Bq/kg** ตามลำดับ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{40}K มีค่ามากที่สุดในการผักกาดหอม และมีค่าน้อยที่สุดในชะอม ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{226}Ra มีค่ามากที่สุดในการตำลึงและมีค่าน้อยที่สุดในแตงกวา ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{232}Th มีค่ามากที่สุดในการตำลึงและมีค่าน้อยที่สุดในชะอม และค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{137}Cs มีค่ามากที่สุดในการตำลึง มีค่าน้อยที่สุดในผักบุ้ง และ บวบ ซึ่งในตัวอย่างผักทั้ง 10 ชนิด มีค่าเฉลี่ยสูงสุดของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ได้แก่ ^{40}K และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{137}Cs

สำหรับค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000 ส่วนค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{40}K ที่ตรวจวัดได้ในผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา อยู่ในเกณฑ์สูงกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000 ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra และ ^{232}Th ที่ตรวจวัดได้ในผักที่เก็บจาก จังหวัดสงขลา อยู่ในเกณฑ์ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000

สำหรับตัวอย่างน้ำดื่ม จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองในบทที่ 4 และสรุปผลการทดลองในบทที่ 5 สามารถกล่าวได้ว่า ปริมาณของกัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าพิสัยของปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{137}Cs อยู่ในช่วงของค่าพิสัยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{137}Cs ที่ตรวจวัดในน้ำที่เก็บจากบริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และค่าพิสัยของปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th มีค่าเกินกว่าช่วงของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ที่ตรวจวัดในน้ำที่เก็บจากบริเวณพื้นที่ภาคใต้ โดยสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

สำหรับปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra ในค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000 แต่ปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ในค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณของค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{226}Ra ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาอยู่ในเกณฑ์ปกติ และค่าเฉลี่ยของปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ^{232}Th ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำแร่ที่เก็บจากเขตเทศบาลนครสงขลาและเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทั่วโลก UNSCEAR 2000

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอเสนอแนะให้แก่ผู้ที่สนใจในการทำวิจัยในรูปแบบดังกล่าวนี้ ไว้เป็นข้อๆดังต่อไปนี้

1. ควรให้ความสำคัญกับการเตรียมตัวอย่างผักและน้ำดื่มอย่างยิ่ง โดยจะต้องมีการวางแผนและเตรียมการที่ดี ผู้วิจัยควรศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการเตรียมตัวอย่างเป็นอย่างดี จะทำให้สามารถเตรียมตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วและมีปัญหาน้อยที่สุด
2. ควรมีเครื่องมือและอุปกรณ์การตรวจวัดทางรังสีให้พอเพียงกว่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารรังสีมาตรฐานที่เป็นมาตรฐานสากล เนื่องจากมีนิติตทั้งปริมาตรและปริมาตรที่ควรใช้เครื่องมือดังกล่าวในการทำโครงการงานและวิทยานิพนธ์เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดความล่าช้าในการจัดเก็บข้อมูลและเป็นการป้องกันความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายของเครื่องมือดังกล่าว
3. ผู้ศึกษาและวิจัยจะต้องมีความอดทนและตั้งใจจริงในการเก็บข้อมูลจากการทดลองที่ต้องใช้เวลานานๆ
4. ควรศึกษาค่ากัมมันตภาพรังสี ในผักทุกฤดูกาล เพื่อให้ได้ข้อมูลเฉลี่ยตลอดทั้งปี
5. ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วน of ตัวอย่างชนิดอื่นๆ เช่น ผักประเภทหัว ข้าว รวมทั้งผลไม้ต่างๆ และในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ต่างๆ เป็นต้น
6. ควรนำข้อมูลดังกล่าวไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทำวิจัยในระดับสูงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- คว้น ขาวหนู, 2522. โภชนศาสตร์: ครั้งที่ 2 อักษรบัณฑิต, กรุงเทพมหานคร; 401-417.
- ธวัช ชิตระการ, 2541. การตรวจวัดรังสี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จเร วุฒิสาสตร์, 2548. “ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบริโภคน้ำ (น้ำบ่อตื้น) ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัยนะ เจ๊ะสะอ๊ะ, 2553. กัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน และผกพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จิตติรัตน์ เจริญตา, มารินา ตาเคอิน, 2548. “การตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนวิธีใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา”, โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ณัฐธิดา พรหมยอด, 2547. การตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำ ด้วยวิธีใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน และวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา, โครงการงานทางฟิสิกส์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นวลทวิ รุ่งชนเกียรติ, 2545. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปรีดา นวลจริง, 2549. “กัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิไลลักษณ์ สว่างแสง, 2546. “ความเข้มข้นกัมมันตภาพเรเดียม-226 ในน้ำบ่อในพื้นที่ที่พบผกปนเปื้อนรังสีสูง” โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิราสินี ก้าวศิริรัตน์, 2547. “การหาปริมาณเรเดียม-226 ในผกพื้นบ้านในอำเภอนาหม่อม ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา”, โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุภัทร ภัทรกิจโสภณ, 2547. “ประสิทธิภาพการจับเรเดียมของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดแคตไอออน”, โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Chaturongkawanich, S., 2001. Geothermal resources of Changwat Surat Thani, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, pp. 48-50.
- Faure, G. 1986. Principle of isotope geology (Second Edition). Singapore: John Wiley & Sons.

- Clulow F.V., Dave N.K., Lim T.P. and Avadhanula R., 1998. Radium-226 in water, sediments and fish from lakes near the city of Elliot Lake, Ontario, Canada. *Environmental Pollution*. 99:13-28.
- Lucase,F and Ribeiro,F.B., 2006. "Radium content in ground water from a granitic batholiths of the metamorphic basement,eastern Sao Paulo State,BraZil" ,*Applied Radiation and Isotopes*. 64(2006),735-749.
- Holbert, K.E., Stewart, B.D. and Eshraghi, P., 1995. "Measurement of radioactivity in Arizona groundwater using improved analytical techniques for sample with high dissolved solid", *Health Physics*. 2 (1995), 185-194.
- Marovic,G.,et al., 1996. "Radium-226 in thermal and Mineral Springs of Croatia and Assosiated Health Risks",*Journal of environmental Radioactivity*. 33(1996), 55-67.
- Moon, D.S.,et al., 2003. "Preconcentration of radium isotopes from natural water using MnO₂ Rasin", *Applied Radiation and isotopes*.59 (2003), 255-262.
- Merril, E. and Thomas, G., 1997. *Environmental radioactivity from natural, industrial and military sources*. New York: Academic Press.
- Pietrzak-Flis, Z., Rosiak, L., Suplinska, M.M., Chrzanowski E., Dembinska S., 2001. "Daily intake of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁸Th and ²²⁶Ra in the adult population of central Poland. The Science of the Total Environment, 273:163-169.
- Pietrzak-Flis, Z., Suplinska, M.M. and Rosiak, L., 1997. "The dietary intake of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁸Th and ²²⁶Ra from food and drinking water by inhabitants of the Walbrzych region", *J. Radional. Nucl. Chem*. 1-2, 183-193.
- Quindos, L.S., et al., 1994. "Natural radioactivity in Spanish soil", *Health Physics*. 66, 194-200.
- Romilton A., Wagner E.V., Edvane B., Sueldo V.S and Barbara P.M., 2005. Intake of uranium and radium-226 due to food crops consumption in the phosphate region of Pernambuco Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 82:383-393.
- Sidhu, K.S. and Breithart, M.S., 1998. "Naturally occurring radium-226 and radium-228 in water supplies of Michigan", *Bulletin of Environment al Contamination and Toxicology*. 61, 722-729.
- UNSCEAR 1988. The United Nation scientific committee on the effects of atomic radiation, sources and effects of ionizing radiation, Unitad Nations, New York.

- UNSCEAR 2000. The United Nation scientific committee on the effects of atomic radiation, sources and effects of ionizing radiation, United Nations, New York.
- US Environmental Protection Agency., 1976. Interim primary drinking water regulations. Washinton DC. EPA.570/9-76-003.
- WHO (World Health Organization) 2002. Guidelines for drinking water quality. 3d ed. Radiological aspects.
- Zhuo, W., Lida, T. and Yang, X., 2001. "Occurrence of ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra and U in groundwater in Fujian Province, China", Journal of environmental Radioactivity. 53, 111-120.

ภาคผนวก
สรรพคุณของฝึกแต่ละชนิด

<u>ชื่อ</u>	บวบเหลี่ยม
<u>ชื่ออื่นๆ</u>	-
<u>ชื่อวิทยาศาสตร์</u>	<i>Luffa acutangula</i>
<u>วงศ์</u>	Cucurbitaceae
<u>ชื่อสามัญ</u>	loofah
<u>แหล่งที่พบ</u>	ทุกภาคของประเทศ
<u>ประเภทไม้</u>	ไม้เถามีอายุปีเดียว



ลักษณะทางพันธุศาสตร์ บวบเป็นไม้เถาขาว โตเร็ว มีอายุประมาณ 1 ปี เป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงทั้งหลาย แต่ว่าอยู่คนละสกุลกัน คือ แตงอยู่ในสกุล Cucumis แต่บวบอยู่ในตระกูล Luffa บวบมีลำต้นเป็นเหลี่ยมสัน ตามข้อมีมือที่ใช้เกาะเกี่ยวเป็นเส้นยาว ใบเป็นแบบใบเดี่ยวเรียงสลับกัน แผ่นใบเป็นรูปเหลี่ยมมีราว 5-7 เหลี่ยม ตามขอบใบมีรอยเว้าตื้นๆ ปลายใบค่อนข้างแหลม ส่วนโคนใบเว้าลึกเข้าด้านในจนคล้ายกับรูปหัวใจ ก้านใบยาวราว 4-9 ซม. และเป็นเหลี่ยมเหมือนกับลำต้น ดอกเป็นสีเหลือง ออกดอกตามง่ามใบ ทั้งแบบเป็นดอกเดี่ยวๆ หรือเป็นช่อ โดยมีดอกทั้งตัวเมียและตัวผู้อยู่บนต้นเดียวกัน สำหรับผลเป็นรูปทรงคล้ายกระบองกลม ยาวราวๆ 20 ซม. ผิวมีเหลี่ยมเป็นเส้นไปตามความยาวของผล นับได้ 10 เหลี่ยมเท่ากันทุกลูก ลองทำพิสูจน์ให้นับดูได้ โคนผลเรียวเล็กแล้วค่อยๆ กว้างออก ก่อนที่จะค่อยๆ แคบลงไปอีกครึ่งจนไปบรรจบกันที่ปลายผลอย่างสวยงาม ให้ผลตกและงามยามหน้าฝน ขยายพันธุ์ง่ายโดยการใช้เมล็ด ขอบขึ้นตามที่รกร้าง หรือที่ขึ้นและตามริมคลอง และแหล่งน้ำขนาดใหญ่ คนตามชนบทนิยมปลูกไว้ตามบ้าน เป็นได้ทั้งรั้ว ทั้งอาหาร

ส่วนที่ใช้บริโภค ผล

คุณค่าทางอาหาร

Cal Unit	Moisture%	Protein Gm	Fat Gm	CHO Gm	Ca mg.	P mg.	Fe mg.	Vitamins	
								A mg.	C Mg.
18	95.4	0.7	0.2	3.3	5	24	0.7	5	15

<u>ชื่อ</u>	ชะอม
<u>วงศ์</u>	Leguminosae
<u>ชื่อวิทยาศาสตร์</u>	<i>Acacia Pennata (L.)</i> Willd.Subsp.InsuavisNielsen
<u>ชื่อท้องถิ่น</u>	ผักหละ, อม, ผักขา, ฝ่ำเซ่งคู่, พูชูเต๊ะ, โพซุยโตะ, ผักหละ
<u>ประเภทไม้</u>	ไม้ยืนต้น



ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น เป็นพรรณไม้พุ่มขนาดย่อมกิ่งเลื้อยลำต้น และกิ่งก้านมีหนามแหลมอยู่ทั่วไปลำต้นเลื้อยสีขาว

ใบ เป็นใบประกอบ มีก้านใบจะแยกออกเป็นใบอยู่ 2 ทาง จะมีลักษณะคล้ายใบส้มป่อยหรือใบ กระถิน ใบอ่อนมีกลิ่นฉุน ใบเรียงสลับ ใบย่อยอยู่ตรงข้ามกันมี 13-18 คู่

ดอก ลักษณะคล้ายดอกกระถินออกที่ซอกใบสีขาวนวลหรือขาว ดอกขนาดเล็ก จะเห็นชัดเจนเฉพาะเกสรตัวผู้เป็นเส้นฝอย

ส่วนที่ใช้บริโภค ใบ

สรรพคุณทางยา ยอดและใบ ช่วยลดความร้อนของร่างกาย ราก แก้อาการท้องอืดท้องเฟ้อ ขับลมในลำไส้ ด้วยการนำมาฝนกินเป็นยา

คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ

Cal Unit	Moisture %	Protein Gm	Fat Gm	CHO Gm	Fibre Gm	Ash Gm.	Ca mg.	P mg.	Fe mg.	Vitamins				
										A I.U	B1 mg.	B2 mg	Niacin mg.	C mg.
57	79.7	9.5	0.6	3.5	5.7	1.0	58	80	4.1	10}066	0.05	0.24	1.5	58

ชื่อ ผักบุ้งไทย
ชื่ออื่นๆ ผักทอดยอด ผักบุ้ง ผักบุ้งแดง
 ผักบุ้งนา กำจระ โหนดเจาะ
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Ipomoea aquatica* Forsk
วงศ์ Convolvulaceae
ชื่อสามัญ Swamp Morning
แหล่งที่พบ ทั่วไปของทุกภาค
ประเภทไม้ ไม้ล้มลุก



ลักษณะทางพันธุศาสตร์

ต้น เป็นไม้น้ำและเป็นไม้ล้มลุกหลายปี ลำต้นทอดเลื้อยไปตามน้ำหรือในที่ลุ่มที่มีความชื้นหรือดินแฉะ ลำต้นกลมสีเขียวหรือสีม่วงแดง มีข้อปล้องและมีรากออกตามข้อได้

ใบ เป็นใบเดี่ยวออกแบบสลับ ใบเป็นรูปหอกหรือรูปไข่ ขอบใบเรียบหรือมีคลื่นเล็กน้อย ปลายใบแหลมหรือมน ฐานใบเว้าเป็นรูปหัวใจ ใบยาว 3-10 ซม. กว้าง 1-9 ซม.

ดอก เป็นรูประฆังออกที่ซอกใบ แต่ละช่อมีดอกย่อย 1-5 ดอก กลีบเลี้ยงสีเขียวกลีบดอกมีทั้งสีขาวหรือ สีชมพูอยู่ที่ฐาน เกสรตัวผู้มี

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน ใบอ่อน

คุณค่าอาหาร คุณค่าทางอาหารในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ประกอบด้วย

Cal Unit	Moistur e%	Protein Gm	Fat Gm	CHO Gm	Fibre Gm	Ash Gm.	Ca mg.	P mg.	Fe mg.	Vitamins				
										A I.U	B1 mg.	B2 mg	Niacin mg.	C mg.
21	92.9	1.4	0.3	3.2	3.3	0.8	41	30	3.6	6362	0.09	0.09	3.20	3

ชื่อ ตำลึง
ชื่ออื่นๆ ผักแฉับ แคะเตาะ ลีบาท
ผักตำนิน
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Coccinia grandis* (L.) Voigt
วงศ์ Cucurbitaceae
ชื่อสามัญ Ivy Gourd
แหล่งที่พบ ทุกภาคของประเทศ
ประเภทไม้ ไม้เถาเลื้อย



ลักษณะทางพันธุศาสตร์

ต้น เป็นไม้เถาเลื้อยอายุหลายปี เถาแก่ของตำลึงใหญ่และแข็ง เถากลมสีเขียวตามข้อมีหนวดหรือมือจับไว้ยึดเกาะหลักและต้นไม้อื่น

ใบ เป็นใบเดี่ยวออกแบบสลับ ใบรูปร่างคล้าย 5 เหลี่ยม ขอบใบเว้าเข้าเล็กน้อยหรือเว้าลึก ใบสีเขียวเรียบไม่มีขน

ดอก เป็นดอกเดี่ยวออกจากบริเวณซอกใบ ดอกแยกเพศกันอยู่คนละดอก กลีบเลี้ยงสีเขียวโคนกลีบเชื่อมติดกันปลายแยกออกเป็น 5 แฉก กลีบดอกสีขาวโคนกลีบติดกันเป็นถ้วยปลายแยกเป็น 5 แฉก เกสรตัวผู้มี 3 อัน เกสรตัวเมียมี 1 อัน

ผล รูปร่างกลมรีคล้ายแตงกวาแต่มีขนาดเล็กกว่า ผลอ่อนมีสีเขียวลายขาวเมื่อแก่มีสีแดง

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน ใบอ่อน ผลอ่อน

คุณค่าอาหาร คุณค่าทางอาหารในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ประกอบด้วย

Cal Unit	Moisture %	Protein Gm.	Fat Gm.	CHO Gm.	Fibre Gm.	Ash. Gm.	Ca mg.	P mg.	Fe mg.	Vitamins				
										A.I.U.	B1 mg.	B2 mg.	Niacin mg.	C mg.
72	80.5	5	1.1	10.6	0.8	1	70	90	1	3000	0.04	0.12	0.17	68

ลักษณะพิเศษ ใบและเถาของตำลึง รสเย็น เป็นผักที่เหมาะสมในการรับประทานช่วงฤดูร้อนจะช่วยผ่อนคลายความร้อน

ชื่อ ถั่วฝักยาว
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Vigna sinensis*
วงศ์ Leguminosae
ชื่อสามัญ Yard long bean
 Asparagus bean



แหล่งที่พบ ทุกภาคของประเทศไทย

ประเภทไม้ เป็นเถาเลื้อย เถาแข็งและเหนียวคล้ายกับถั่วพูล แต่มีอายุเพียงปีเดียว หรือฤดูเดียว เถาสีเขียวอ่อน ลำต้นมีขนสั้นที่ยืดยาวได้ดี ไม่มีมือเกาะ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ใบ ประกอบแบบฝ่ามือ มี 3 ใบย่อย รูปสามเหลี่ยมยาว 6-10 เซนติเมตร ดอกช่อออกตามซอกใบใกล้โคนดอกสีขาว หรือน้ำเงินอ่อน

ผล เป็นฝักกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1 เซนติเมตร ยาว 20-80 เซนติเมตร มีหลายเมล็ด

ส่วนที่ใช้บริโภค ฝัก

คุณค่าทางอาหาร

Cal	Moisture%	Protein	Fat	CHO	Fibre	Ca	P	Fe	Vitamins				
									A.I.U.	B1	B2	Niacin	C
Unit		Gm.	Gm.	Gm.	Gm.	mg.	mg.	mg.		mg.	mg.	mg.	mg.
38	88.1	2.8	0.2	8.2	1.5	42	46	0.9	570	0.12	0.13	1.2	22

ส่วนที่นำมาเป็นยา ฝักอ่อน ใบ เมล็ด ราก

สรรพคุณทางยา ช่วยลดคอเรสเตอรอลในเลือด ช่วยให้ร่างกายดูดซึมธาตุเหล็กได้ดี และระบบขับถ่ายทำงานปกติ

<u>ชื่อ</u>	ผักกาดหอม
<u>ชื่ออื่นๆ</u>	ผักกาดยี่ ผักพังฉ้าย
<u>ชื่อวิทยาศาสตร์</u>	<i>Lactuca sativa</i> Linn
<u>วงศ์</u>	Asteraceae
<u>ชื่อสามัญ</u>	Lettuce
<u>แหล่งที่พบ</u>	ทุกภาคของประเทศ
<u>ประเภทไม้</u>	พืชล้มลุก



ลักษณะทางพันธุศาสตร์

ราก รากของผักกาดหอมเป็นระบบรากแก้ว มีรากแก้วที่แข็งแรงอวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วน ปนทราย ที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไป ในดินได้ถึง 5 ฟุต หรือมากกว่าแต่รากแก้วจะเสียหายในขณะที่ย้ายปลูก ดังนั้นรากที่เหลือจะเป็น รากแขนง ซึ่งแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 1-2 ฟุต โดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแผ่กว้างออกไปมากนัก อย่างไรก็ตามการย้ายปลูกนั้นมีผลดีในการช่วยให้ผักกาดหอมประเภทหัวห่อหัวได้ดีขึ้น

ลำต้น ของผักกาดหอมในระยะแรกมักจะมองไม่ค่อยเห็น เนื่องจากใบมักจะปกคลุมไว้ จะเห็นชัดก็ต่อเมื่อระยะแทงช่อดอก ลักษณะลำต้นผักกาดหอมจะตั้งตรง สูงชะลูดขึ้นจนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ลำต้นมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์มากๆ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2 นิ้ว ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อสั้น แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ

ใบ ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ทำให้ มีสีแดง บรอนซ์ หรือน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ ข้างใน จะเป็นมัน บางชนิดมีใบม้วนงอเปราะมีเส้นใบเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยักขนาดและรูปร่างของใบ ผักกาดหอมจะแตกต่าง

ส่วนที่ใช้บริโภค ใบ

คุณค่าทางอาหาร คุณค่าทางอาหารในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ประกอบด้วย

Cal Unit	Moisture%	Protein Gm	Fat Gm	CHO Gm	Fibre Gm	Ash Gm.	Ca m g.	P mg.	Fe mg.	Vitamins				
										A I.U	B1 mg.	B2 mg	Niacin mg.	C mg.
23	93	1.2	0.4	4.6	0.5	1.0	83	34	5.4	2,885	0.96	0.12	0.4	81

<u>ชื่อ</u>	คะน้า
<u>ชื่อวิทยาศาสตร์</u>	<i>Brassica alboglabra</i> Bailey
<u>วงศ์</u>	Brassicaceae
<u>ชื่อสามัญ</u>	KALE
<u>แหล่งที่พบ</u>	ปลูกตามแหล่งสวนผัก
<u>ประเภทไม้</u>	พืชล้มลุก



ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น ลำต้นเดี่ยว อวบ ส่วนกลางป่องใหญ่ สูงเฉลี่ย 33.4 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ส่วนใหญ่ที่สุดคือ 2.0 เซนติเมตร ช่วงข้อยาว

ใบ แผ่นใบเรียบ ปลายใบแหลมตั้งชี้ขึ้น ก้านใบบาง น้ำหนักใบน้อยกว่าส่วนที่เป็นต้น และก้านใบ จำนวนใบต่อต้นเฉลี่ย 9 ใบ

ส่วนที่ใช้บริโภค ใบ ก้าน และลำต้น

คุณค่าทางอาหาร -

ลักษณะพิเศษ ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ ประโยชน์ คือเป็นผักที่ให้วิตามินเอสูงมากและเป็นแหล่งของเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารยับยั้งการก่อมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินซีอีกด้วย

สรรพคุณทางยา มีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านการเกิดมะเร็ง และเป็นสารอาหารที่ส่งเสริมภูมิคุ้มกัน

<u>ชื่อ</u>	มะเขือยาว
<u>ชื่ออื่นๆ</u>	มะเขือม่วง, มะเขือฝรั่ง, มะเขือยาว
<u>ชื่อวิทยาศาสตร์</u>	<i>Solanum melongena</i> L.
<u>วงศ์</u>	SOLANACEAE
<u>ชื่อสามัญ</u>	Egg plant, Poto tree
<u>แหล่งที่พบ</u>	ปลูกตามแหล่งสวนผัก
<u>ประเภทไม้</u>	พืชล้มลุก



ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นพรรณไม้ล้มลุก ลำต้นมีความสูงประมาณ 0.5-1 เมตร ใบออกสลับกัน ลักษณะของใบเป็นรูปค่อนข้างกลม ดอกออกเป็นช่อ หรือออกเป็นดอกเดี่ยว ลักษณะของดอกมีสีม่วง ผลมีลักษณะกลมยาว มีสีเขียวอ่อน สีม่วงคล้ำ

คุณค่าทางอาหาร ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เส้นใย โปรตีน แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โพแทสเซียม วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินซี และสารไกลโคอัลคาลอยด์ (glycolkaloids) สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เทอร์ปีน (terpenes)

สรรพคุณทางยา มีสรรพคุณทางยามากมาย เช่น รากและลำต้น ใช้แก้บิดเรื้อรัง หรือ ถายเป็นเลือด ฟ้าป๋วย บวมอักเสบ ปวดฟัน และใช้รักษาแผลที่เกิดจากการถูกความเย็นจัด ใบ ใช้แก้ปัสสาวะขัด หนองใน ถายเป็นเลือด ตกเลือดในลำไส้ แผลบวมอักเสบ มีหนอง ดอก ใช้แก้แผลมีหนองและปวดฟัน

ชื่อ	ผักกาดขาว
ชื่ออื่นๆ	ผักกาดขาวปลี แปะน่าย แปะน่ายล้วย
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Brassica pekinensis</i>
วงศ์	Cruciferae
ชื่อสามัญ	Chinese Cabbage
แหล่งที่พบ	ทุกภาคของประเทศ
ประเภทไม้	พืชล้มลุก



ลักษณะทางพันธุศาสตร์ ผักกาดขาวปลีเป็นผักที่มีอายุปีเดียว ผักกาดขาวขึ้นได้ในดินเกือบทุกประเภท ชอบดินร่วนที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง ในดินต้องขึ้นตลอดฤดูปลูก ผักกาดขาวปลีต้องการน้ำมากสม่ำเสมอ และการพรวนดินบ่อยๆ ในระยะที่เข้าปลี ในประเทศไทยสามารถปลูกได้ตลอดปี และปลูกได้ผลดีที่สุดในช่วง เดือนตุลาคม - กุมภาพันธ์

ส่วนที่ใช้บริโภค หัว

คุณค่าทางอาหาร คุณค่าทางอาหารในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ประกอบด้วย น้ำ 91.7 กรัม, โปรตีน 0.6 กรัม, คาร์โบไฮเดรต 5.7 กรัม, ความร้อน 250,000 แคลอรี, เส้นใยหยาบ 0.8 กรัม, คาโรทีน (Carotene) 0.2 มก., วิตามินบี 1 0.02 มก., วิตามินบี 2 0.04 มก., กรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) 0.5 มก., วิตามินซี 30 มก., แคลเซียม 49 มก., ฟอสฟอรัส 34 มก., โมลิบดีนัม 0.125 มก., โบรอน 2.07 มก., ทองแดง 0.21 มก., นอกจากนี้ยังมี กลูโคส (Glucose), ซูโครส (Sucrose), Fructose, Coumaric acid, Gentisic acid, Phenylpyruvic acid และกรดอะมิโนหลายชนิด

<u>ชื่อ</u>	แตงกวา
<u>ชื่ออื่นๆ</u>	แตงร้าน
<u>ชื่อวิทยาศาสตร์</u>	<i>Cucumis sativus L.</i>
<u>วงศ์</u>	<i>Cucurbitaceae – Gourd family</i>
<u>ชื่อสามัญ</u>	Cucumber
<u>แหล่งที่พบ</u>	ทั่วไปของทุกภาค
<u>ประเภทไม้</u>	ไม้เลื้อย



ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น เป็นต้นแข็งแรงเลื้อยยาวได้ถึง 2.19 เมตร มีขน มือพัน (tendrils) แบบเดี่ยว ใบเดี่ยว รูปไข่สามเหลี่ยม (Triangular ovate)

ใบ ด้านกว้างมากกว่าด้านยาว ใบกว้าง 27.76 เซนติเมตร ยาว 19.83 เซนติเมตร ขอบใบหยักซี่ฟัน (Dentate) ปลายใบเรียวแหลม (Acuminate) โคนใบรูปหัวใจ (Cordate)

ดอก ดอกเดี่ยวสีเหลือง ดอกเพศผู้และดอกเพศเมียแยกกันคนละดอกในต้นเดียวกัน (Monoecious) ดอกเพศผู้ออกเป็นกลุ่มตรงมุมระหว่างข้อกับก้านใบ (Axillary) เพศเมียออกแยกเดี่ยว (Solitary) มีกลีบดอก 5 กลีบ ยาว 1.3-3.9 เซนติเมตร ก้านดอกยาว 1.0-3.5 เซนติเมตร ผลสดสีเขียว (Green) รูปขอบขนาน (Oblong) หัวท้ายมน ผิวขรุขระ (Tuberculate) หนามสีขาว (White spines)

ผล ผลขนาด 4.2 x 13.67 เซนติเมตร ก้านผลยาว 1.6 เซนติเมตร ใ้ภายในผลตัน มี 3 ช่อง (Locules) ขนาดใ้ 2.10 x 11.06 เซนติเมตร เนื้อหนา 0.87 เซนติเมตร ผลแก่สีเหลืองอ่อนหรือสีครีม เมล็ดแบน สีครีม กว้าง 3.5-4.0 มิลลิเมตร ยาว 9.3-10.1 มิลลิเมตร หนา 1.1-1.7 มิลลิเมตร ใน 1 ผล มีเมล็ด 44-297 เมล็ด

ส่วนที่ใช้บริโภค ผล

ทำให้ผิวหนังมีความชุ่มชื้น ยืดหยุ่น

ภาคผนวก 2

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายอัฐชัย ถาวรสุวรรณ
คุณวุฒิ/สาขา กศ.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาควิ
 วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ
ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
สถานที่ทำงาน สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
 อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
 โทรศัพท์ 074 – 317189 – 90 โทรสาร 074 – 317190 ต่อ 111
 E- mail : tiger_banban@hotmail.com
ที่อยู่อาศัย 301 ถนนไทรบุรี ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
 โทร. (074) 324446 มือถือ (089) 9745643

ผลงานทางวิชาการ

งานวิจัยที่ดำเนินการไปแล้ว

1. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาตกกลืนในอากาศ บริเวณจังหวัด
 สงขลา หลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำ
 วิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (งบประมาณ 2554)

เป็นหัวหน้าโครงการ

2. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสี
 ธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจาก
 บริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาส
 เปกโตรเมตรี โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
 (งบประมาณ 2555)

เป็นหัวหน้าโครงการ

การประชุมทางวิชาการและเสนอผลงานวิจัย

1. A. Thawonsuwan, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and P. Kessaratikoon., 2012.
 Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province,
 Thailand, after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan.

The 7th Siam Physics Congress (SPC2012) : Past, Present and Future of Physics, 9-12 May 2012, Phra nakhon Si Ayutthaya, Thailand.

2. อัญญชัย ถาวรสุวรรณ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2555. การแผ่รังสีและการตรวจวัดปริมาณค่าระดับรังสีแกมมาในอากาศบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนธันวาคม 2554 หลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22, 23-26 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
3. A. Thawonsuwan, S.Jeasai, S. Benjakul and P. Kessaratikoon., 2013. Measurement of Specific activity of ^{226}Ra in bottled mineral and drinking water products in Songkhla province, Thailand. **The 8th Siam Physics Congress (SPC2013): Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community** 21-23 March 2013, Chiangmai, Thailand.
4. อัญญชัย ถาวรสุวรรณ, จิราวรรณ แก้วคำ, อริย์สร ฐริอัครณิษฐ์, ชัยชนะ เจะสะอึ, ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และประสงค์ เกษราธิคุณ. 2556. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก บริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย. การประชุมวิชาการ "วลัยลักษณ์วิจัย" ครั้งที่ 5, 1 สิงหาคม 2556 ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1. อัญญชัย ถาวรสุวรรณ ประสงค์ เกษราธิคุณ และ ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล. 2555. การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาดูดกลืนในอากาศ บริเวณจังหวัดสงขลา หลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในประเทศญี่ปุ่น. สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. สงขลา. 76 หน้า.
2. อัญญชัย ถาวรสุวรรณ ประสงค์ เกษราธิคุณ และ ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล. 2556. การตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K ^{226}Ra และ

^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. สงขลา. 150 หน้า.

- 1. ชื่อ-สกุล** นายประสงค์ เกษราธิคุณ
- คุณวุฒิ/สาขา** กศ.บ. (ฟิสิกส์) เกียรตินิยมอันดับสอง มศว.บางแสน
วท.ม. (ฟิสิกส์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
M.S. (Physics) Old Dominion University U.S.A.
Ph.D. (Plasma Physics) Old Dominion University U.S.A.
- ตำแหน่งทางวิชาการ** ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- สถานที่ทำงาน** สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา
อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
โทร. (074) 311885-7 ต่อ 2115 โทรสาร (074) 443946
E-mail : prasong_mi@hotmail.com และ prasong@tsu.ac.th
- ที่อยู่อาศัย** 741/117 หมู่ 2 ตำบลพะวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90100
โทร. (074) 335339 มือถือ (081) 5423598

ผลงานทางวิชาการ

ตำรา/เอกสารประกอบการสอน

1. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2533. คู่มือการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์พื้นฐาน. สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
2. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์. สงขลา : ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา.
3. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. คู่มือการสอนวิชาฟิสิกส์ 0209292 (ปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับครู) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. (กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการ)

บทความทางวิชาการ

1. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2532. ข้อวินิจฉัยจากการพิจารณาปัญหาฝาแฝด. วิทยาศาสตร์ มศว. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2. 130

2. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2536. การก่อตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย. ปาริชาติ ฉบับวิทยาศาสตร์. มศว ภาคใต้. ปีที่ 7 ฉบับที่ 1. 51
3. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2536. การสำรวจความเห็นเกี่ยวกับการก่อตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย. ปาริชาติฉบับวิทยาศาสตร์. มศว ภาคใต้. ปีที่ 7 ฉบับที่ 1. 63
4. สุนทร โกมลศุกร์ และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2539. ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต. ปาริชาติ ฉบับวิทยาศาสตร์. มศว ภาคใต้. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1. 75
5. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2549. ป้อนอายุกับสมการโฟโตอิเล็กทริก. วารสารปาริชาติ. มหาวิทยาลัยทักษิณ. ปีที่ 18. ฉบับที่ 2. 73

ผลงานวิจัย

บทความวิจัย (ลงตีพิมพ์ในวารสาร)

1. Popovic, S., P. Kessaratikoon, A. Markhotok, G. Brooke IV, and L. Vuskovic, “**Shock Wave Propagation and Dispersion in a Microwave Cavity Discharge**”, AIAA 2002-2279, 2002.
2. Kessaratikoon, P., A. Markhotok, G. Brook IV, S. Popovic, and L. Vuskovic “**Shock Wave Dispersion in Microwave Discharge**”, Bull. Am. Phys. Soc., 47(7), 43, 2002.
3. Vuskovic, L., P. Kessaratikoon, and S. Popovic, “**Energy Pooling Processes in Partially Ionized Argon**”, Bull. Am. Phys. Soc. , 48(3), 39, 2003.
4. Popovic S., P. Kessaratikoon, and L. Vuskovic, “**Diagonostics of Microwave Cavity Discharges Modified by Weak Shock Waves**”, Bull. Am. Phys. Soc. , 48(6), 37, 2003.
5. Kuo, S. P., Blvolaru, D., Lai, H., Lai, W. and Kessaratikoon, P., 2004, “*Characteristics of an Arc-Seeded Microwave Plasma Torch*”, IEEE Transactions on Plasma Science, 32(4), pp. 1734-1741.
6. อาหาหมัด แมเราะ และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2548. การศึกษาการกำบังทางรังสีโดยใช้คอนกรีต. ว. วิทยาศาสตร์ทักษิณ, 2(1) : 93-108.
7. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, “*Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands*”, Kasetsart Journal (Natural Science), 41, pp.157-164. (in English).
8. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2008, “*Quantitative Analysis of*

- Specific Activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from the Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma-Ray Spectrometry*”, Thai Journal of Physics, Series 3, pp.99-102 (in English).
9. Kessaratikoon, P. and Awaekuchi, S., 2008. “*Natural radioactivity measurement in soil samples collected from municipal area of Hat Yai district in Songkhla province, Thailand*”, KMITL Science Journal, 8(2), pp. 45-51. (in English).
 10. ประสงค์ เกษราธิคุณ และ อุดร ยังช่วย. 2552. “การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในทรายชายหาดหลังการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ต โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี”, วารสารสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 9(1) : 9-22.
 11. Kessaratikoon, P., Ayusuk, W. and Youngchaay, U., 2009. “*Natural radioactivity in beach sands of the Pakmeng beach in Trang province, Thailand*”, Thai Journal of Physics, Series 5, pp. 284-289. (in English)
 12. ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล เจนจิรา งามเพียร หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. ค่ากัมมันตภาพจำเพาะและแผนภาพทางรังสีของเรเดียม-226 (^{226}Ra) ทอเรียม-232 (^{232}Th) และ โพแทสเซียม (^{40}K) ในตัวอย่างดินบริเวณจังหวัดตรัง, ประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12(3) : 38-51.
 13. Klaywittaphat, P., Onjun, T., Kessaratikoon, P. and Picha, R., 2010. “*Study of NGS pellet ablation rate in ITER based on two different pellet ablation rate models using 1.5D BALDUR code*”. Thammasat Int. J. Sc. Tech., 15(4), pp. 49-53. (in English)
 14. Kessaratikoon, P. and Youngchaay, U., 2010. “*Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Beach Sand Samples from Patong Beach in Phuket Province, Thailand*”, Thai Journal of Physics, Series 6, pp. 163-165. (in English)
 15. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010. “*Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang Districts in Phuket Province, Thailand*”, Thai Journal of Physics, Series 6, pp. 163-165. (in English)
 16. ชัยวัฒน์ รัตนสำเนียง สุชิน อุดมสมพร ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ.

2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินบริเวณจังหวัดสงขลา(ประเทศไทย). วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 13(3) : 49-61.
17. ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ ศุภวุฒิ เบญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในดินบริเวณจังหวัดภูเก็ต. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 13(3) : 62-70.
18. มูรณี คาโอ๊ะ สุชิน อุดมสมพร ศุภวุฒิ เบญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจาก 6 อำเภอ ของจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 14(1) : 19-29.
19. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and U. Youngchauly, 2013. “Specific activities and radioactive contour maps of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after tsunami disaster in Phuket province, Thailand”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (J Radioanal Nucl Chem), DOI 10.1007/s10967-012-2384-8.
20. S. Chauymanee, P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, S. Benjakul and U. Youngchauly, 2013. “Specific Activity and Radioactive Contour Map of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Samples from Chumphon Province, Thailand ”, Advanced Materials Research (AMR).
21. N. Phakdee, P. Kessaratikoon and D. Peekhantod, 2013. “Quantitative Measurement of Gamma Activities of Radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in Human Urine Samples Collected from Residents in Southern Region of Thailand ”, Advanced Materials Research (AMR).

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

1. โครงการวิจัย เรื่อง การประเมินค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาในดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดชุมพรและสุราษฎร์ธานีก่อนการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในภาคใต้ของประเทศไทย โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณแผ่นดิน 2555)

เป็นหัวหน้าโครงการ

2. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาตกดินในอากาศบริเวณจังหวัดสงขลาหลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา (งบรายได้ 2555)

เป็นผู้ร่วมวิจัย

3. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ(^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณแผ่นดิน 2555)

เป็นผู้ร่วมวิจัย

4. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีบีตาในปัสสาวะของคนไทยจาก 4 จังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย เป็นโครงการวิจัยประเภท ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ของนางสาวนภาพิพย์ ภักดี นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ (วท.ม. ฟิสิกส์) โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

5. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินและทรายชายหาดจากบริเวณฝั่งทะเลอันดามัน (กระบี่ ภูเก็ต พังงา ระนอง ตรังและ สตูล) ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณแผ่นดิน 2556)

เป็นหัวหน้าโครงการ

การประชุมทางวิชาการและเสนอผลงานวิจัย

ปี พ.ศ. 2543 มีจำนวน 1 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Popovic, S., Kessaratikoon, P., and Vuskovic, L., 2000, “Ionization/ Recombination Model for the Initial Stage of Pulsed Discharges”, *The 53th Annual Gaseous Electronics Conference*, 24-27 October. Houston, Texas U.S.A.

ปี พ.ศ. 2545 มีจำนวน 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Popovic S., Kessaratikoon, P., Markhotok, A., Brooke IV, G. and Vuskovic, L., 2002, “Shock Wave Propagation and Dispersion in a Microwave Cavity Discharge”, *The 33rd Plasmadynamics and Lasers Conference*, 20-23 May. Maui, Hawaii, U.S.A.
2. Kessaratikoon P., Markhotok, A., Brook IV, G., Popovic, S. and Vuskovic, L., 2002, “Shock Wave Dispersion in Microwave Discharge”, *The 55th Annual Gaseous Electronics Conference*, 15-18 October. Minneapolis, Minnesota, U.S.A.

ปี พ.ศ. 2546 มีจำนวน 3 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Vuskovic L., Kessaratikoon, P. and Popovic, S., 2003, “Energy Pooling Processes in Partially Ionized Argon”, *The 2003 Meeting of the Division of Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 20-24 May. Boulder, Colorado, U.S.A.
2. Kessaratikoon, P. , Popovic, S. and Vuskovic, L., 2003, “Mode structure and dispersion of shock wave in microwave cavity discharges”, *The 34th AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference*, 23-26 June 2003, Orlando, Florida, U.S.A.
3. Popovic S., Kessaratikoon, P. and Vuskovic, L., 2003, “Diagnostics of Microwave Cavity Discharges Modified by Weak Shock Waves”, *The 56th Annual Gaseous Electronics Conference*, 21-24 October. San Francisco, California, U.S.A.

ปี พ.ศ. 2547 มีจำนวน 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon P., Markhotok A., Popovic S. and Vuskovic L., 2004, “Dispersion and Propagation of Weak Shock Waves through Microwave Cavity Discharges”, *the 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting*, 6-8 January 2004, Reno, Nevada, U.S.A.
2. Kuo, S.P., Blvolaru, D., Lai, H., Lai, W. and Kessaratikoon, P., 2004, “Characteristics of an Arc-Seeded Microwave Plasma Torch”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 32(4), pp.1734-1741.

ปี พ.ศ. 2548 มีจำนวน 2 เรื่อง ดังต่อไปนี้

- 1 . Kiangai, J., Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Thorarit, W., 2005, “Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Soil Samples from Muang District in Songkhla Province”, *the 2005 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 31 August. BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
2. Sukhowattanakit, J., Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Thorarit, W., 2005, “Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Sand Samples from Chalatat Beach in Songkhla Province”, *The 31st Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2005. Nakhon Ratchasima, Thailand.

ปี พ.ศ. 2549 มีจำนวน 5 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2006, Measurement of natural radioactivity in Songkhla beach sands, *The 10th Annual GLOBE Conference : The New Decade for Globe Sustainable Development*, 30 July - 4 August 2006, Phuket, Thailand.
- 2 . Benjakul, S., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Quantitative Measurement of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th Concentration in Soil Samples from Muang District in Songkhla Province, *The 2006 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 16 August 2006, BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
- 3 . Meesa, I., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Sand Samples from Samila

Beach in Songkhla Province, *The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 October, 2006, at Queen Sirikit National Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.

4 .Benjakul, S., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Natural Radionuclide Distribution in Soil From Muang District in Songkhla Province, *The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 October 2006, at Queen Sirikit National Convention Center(QSNCC), Bangkok, Thailand.

5.Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2006, ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th Analysis in Songkhla Beach Sands Using Gamma Ray Spectrometry, *The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand*, 10-12 October 2006, at Queen Sirikit Natinal Convention Center(QSNCC), Bangkok, Thailand.

ปี พ.ศ. 2550 มีจำนวน 11 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, Distribution of natural radionuclides and gamma-absorbed dose rates in Songkhla beach sands, *The 45th Annual Conference of Kasetsart University*, 30 January – 2 February 2007, Bangkok, Thailand.

2. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, “Quantitative Analysis of Specific Activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma Ray Spectrometry”, *The Siam Physics Congress 2007 : Physics and Technologies for Self-Reliance*, 22-24 March 2007, The Rose Garden Riverside, Nakorn Pathom, Thailand.

3. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2007, “Gamma-absorbed dose rate and distribution of natural radionuclides in Songkhla beach sands”, *The 10th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Energy of the World*, 16-17 August 2007, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand. (in Thai)

4. Boobkrongcheep, R., and Kessaratikoon, P., 2007, “Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Beach Sand from Patong Beach in Phuket

- Province”, *The 10th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Energy of the World*, 16-17 August 2007, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand. (in Thai)
5. Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2007, “Quantitative Assessment of Natural Radioactivity in Municipal Area of Muang District in Songkhla Province”, *The 2007 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 20-21 September 2007, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 6. Boobkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P., 2007, “Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Beach Sand from Patong Beach in Phuket Province”, *The 2007 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation*, 20-21 September 2007, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 7. Intaratat, W. and Kessaratikoon, P., 2007, “Study on Successive Decay and Radioactive Equilibrium Using Computer Programming”, *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat, Thailand.
 8. Tongrueng, L. and Kessaratikoon, P., 2007, “Study on Binding Energy per Nucleon Using Computer Programming”, *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat, Thailand.
 9. Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Katathikarnkul, S., 2007, “Radioactivity of Sand Samples from the Chalatat And Samila Beaches in Songkhla Province”, *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat, Thailand.
 10. Boobkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P., 2007, “Quantitative and Qualitative Measurement of Radioactivity in Beach Sand from Patong Beach in Phuket Province”, *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand*, 18-20 October 2007, at Walailak University, NaKhon Si Thammarat,

Thailand.

11. Kessaratikoon, P., Tongrueng, L. and Intaratat, W., 2007, "Study on Successive Decay Radioactive Equilibrium and Binding Energy per Nucleon in Nuclear Physics Course Using Computer Programming", *The 1st International Conference on Science Education in the Asia-Pacific*, 28-29 November, 2007 at Sofitel Centara Grand Bangkok Hotel, Thailand.

ปี พ.ศ. 2551 มีจำนวน 10 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P., 2008, "Specific Activity and Antropogenic Radionuclides in Beach Sand Samples of Patong Beach in Phuket Province (Thailand) Using Hyper-pure Germanium (HPGe) Gamma Ray Spectroscopy, *The Siam Physics Congress 2008 : Physics for Life*, 20-22 March 2008, Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand.
2. Jakkrich, M., Chyjan, R., Funklin, R. and Kessaratikoon, P., 2008, Measurement of Specific Activity in Ceramic Plates Using High-purity Germanium Detector and Gamma-Ray Spectroscopy Analysis System, *The Siam Physics Congress 2008 : Physics for Life*, 20-22 March 2008, Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand.
3. Kessaratikoon, P., Udomsomporn, S. and Katathikarnkul, S., 2008, Distribution of Primordial Radionuclides, Gamma Dose Rate and Annual Effective Dose Equivalent in Beach Sands of Songkhla, Thailand, *The Siam Physics Congress 2008 : Physics for Life*, 20-22 March 2008, Khao Yai, Nakhon Ratchasima, Thailand.
4. Kessaratikoon, P., Pocharuang, W. and Thongsri, R., 2008, Measurement of Specific Activity of the Natural Radionuclides Ra-226, Th-232 and K-40 in Construction Sand from Quarries in Rattaphum District Songkhla Province and in Pak Phayun District Phthalung Province, *The 1st Academic Conference of Rajamangala University of Technology*, 27-29 August 2008, Thammarin Tana Hotel, Trang, Thailand. (in Thai)
5. Ayusuk, W. and Kessaratikoon, P., 2008, Quantitative Measurement of Natural Radioactivity in Beach Sand Samples from the Pakmeng Beach in Trang

Province, *The 1st Academic Conference of Rajamangala University of Technology*, 27-29 August 2008, Thammarin Tana Hotel, Trang, Thailand.
(in Thai)

6. Buesa, N., Awae, A. and Kessaratikoon, P., 2008, Measurement of Specific Activity of Natural Radioactivities in Soil Samples from Thaksin University Songkhla and Phatthalung Province, *The 18th Thaksin University Annual Conference: The Research and National Crisis Solutions*, 25-26 September 2008, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 7. Ratanasumniang, C., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2008, Research Proposal : Measurement of Specific Activity of Natural and Antropogenic Radionuclides in Soil Samples in Songkhla Province (Thailand), *The 18th Thaksin University Annual Conference: The Research and National Crisis Solutions*, 25-26 September 2008, Green World Hotel, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 8. Kessaratikoon, P. and Awaekuchi, S., 2008, : Natural Radioactivity Measurement in Soil Samples Collected from Municipal Area of Hat Yai District in Songkhla Province, Thailand, *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand, 31 October – 2 November 2008*, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
 9. Pukkem, P., Kajornrith, V. and Kessaratikoon, P., 2008, Neutron Flux Measurement in Accessory Irradiation Facility of Thai Research Reactor-1/Modification 1, *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand*, 31 October – 2 November 2008, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
 10. Waharag, Y. and Kessaratikoon, P., Study on Mechanics Problems Using MATLAB Computer Program, *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand*, 31 October – 2 November 2008, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
- ปี พ.ศ. 2552 มีจำนวน 9 เรื่อง ดังต่อไปนี้
1. Kessaratikoon, P., Ayusuk, W. and Youngchaay, U., 2009, Natural Radioactivity in

- Beach Sands of the Pakmeng Beach in Trang Province, Thailand, *The Siam Physics Congress 2009 : Physics for Dynamic Society*, 19-21 March 2009, Methavalai Hotel, Cha-am Beach, Petchaburi, Thailand.
2. Hengpiya, T., Kessaratikoon, P. Udomsomporn, S. and Saigern, T. , 2009, Measurement of Gross Alpha and Beta Radioactivity of Tap Water in Songkhla Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2009 : Physics for Dynamic Society*, 19-21 March 2009, Methavalai Hotel, Cha-am Beach, Petchaburi, Thailand.
 3. Kessaratikoon P., Ngampein, J., Uthaiwankaew, H. and Youngchaui, U., 2009, Assessment of Radioactivity in Soil from Trang Province. *The 11th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Technology for Thai Society*, 2-3 July, 2009, The Siam Commercial Bank Main Office, Chatuchak, Bangkok, Thailand. (in Thai)
 4. Kessaratikoon P., Thaneerat S. and Youngchaui, U., 2009, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in Beach Sand Samples from Chaweng Beach Ko Samui District Surat Thani Province. *The 11th Conference on Nuclear Science and Technology: Nuclear Technology for Thai Society*, 2-3 July, 2009, The Siam Commercial Bank Main Office, Chatuchak, Bangkok, Thailand. (in Thai)
 5. Benjakul, S., Ngampein, J., Uthaiwankaew, H. and Kessaratikoon, P., 2009, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Radium-226 (^{226}Ra) Thorium-232 (^{232}Th) and Potassium-40 (^{40}K) in Soil Samples from Trang Province, Thailand. *The 19th Thaksin University Annual Conference: Research and Development for Thai Society*, 24-25 September 2009, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 6. Maimoon J. and Kessaratikoon, P., 2009, Quantitative Measurement of Specific Activity ^{40}K in Rice Sample from Rice Research Center in the South of Thailand Using Gamma Spectrometry Technique. *The 19th Thaksin University Annual Conference: Research and Development for Thai*

Society, 24-25 September 2009, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)

7. Hengpiya, T. and Kessaratikoon, P., 2009, Measurement of Gross Alpha and Beta Radioactivity of Tap Water in Songkhla Province Using Gas Flow Proportional Counter. *The 19th Thaksin University Annual Conference: Research and Development for Thai Society*, 24-25 September 2009, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 8. Kessaratikoon, P., Thaneerat, S. and Youngchaury, U., 2009, Measurement of Natural Radioactivity in Beach sand Samples from Chaweng Beach Amphur Ko Samui Surat Thani Province, *The 35th Congress on Science and Technology of Thailand*, 15-17 October, 2009, the Tide Resort (Bangsean Beach), Chonburi, Thailand.
 9. Kessaratikoon, P., Ngampein, J., Uthaiwankaew, H. and Youngchaury, U., 2009, Specific Activities of Natural Radioactivity in Soil Samples Collected from Trang Province, Thailand. *The 35th Congress on Science and Technology of Thailand*, 15-17 October, 2009, the Tide Resort (Bangsean Beach), Chonburi, Thailand.
- ปี พ.ศ. 2553 มีจำนวน 14 เรื่อง ดังต่อไปนี้
1. Kessaratikoon, P. and Youngchaury, U., 2010, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Beach Sand Samples from Patong Beach in Phuket Province, Thailand, *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
 2. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang District in Phuket Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
 3. Thongna, T., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Specific

Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from 6 Districts in Nakhon Si Thammarat Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.

4. Ratanasumniang, C., Phakdee, N., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples Collected from 4 Districts in the North of Songkhla Province, Thailand *The Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
5. Soedsaen, T., Boonkrongcheep, R., Thongna, T., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2010, Natural Radioactivity in Beach Sands of the Naiyang Beach in Phuket Province, Thailand. *The Siam Physics Congress 2010: Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
6. Klaywittaphat, P., Onjun, T., Kessaratikoon, P., Picha, R., and Poolyarat, N., 2010, Simulations of Pellet Injection in ITER using NGS Model. *The Siam Physics Congress 2010: Physics for Creative Society*, 25-27 March 2010, River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
7. Klaywittaphat, P., Onjun, T., Kessaratikoon, P., Picha, R., and Poolyarat, N., 2010, The Simulations of ITER during Pellet Injection. *The 37th European Physical Society (EPS) Conference on Plasma Physics*, 21-25 June, 2010, Dublin, Ireland.
8. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Quatitative Measurement of Specific Activities of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soil Samples in Phuket Province. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
(in Thai)
9. Ratanasumeniang, C., Udomsomporn, S., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010,

- Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Soil from Songkhla Province (Thailand). *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
10. Daoh, M., Udomsomporn, S., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Soil from 6 Districts in Phthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 11. Dearamae, R., Kessaratikoon, P., and Khongratana, P., 2010, Thermal Analysis of Ranong Kaolin, Narathiwas Kaolin and Nakhon Si Thammarat Ballclay with Differential Thermal Analysis (DTA) and Thermogravimetry Analysis (TGA) Techniques. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 12. Thongna, T., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Natural Radioactivity Assessment in Nakhon Si Thammarat Province. *The 20th Thaksin University Annual Conference: Thai Society Development with Creative Research*, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 13. Kessaratikoon, P., and Youngchaui, U., 2010, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Patong Beach Sand Samples after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. *The 36th Congress on Science and Technology of Thailand*, 26-28 October, 2010, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand.
 14. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2010, Specific Activities

and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Soil Samples in Phuket Province, Thailand. *The 36th Congress on Science and Technology of Thailand*, 26-28 October, 2010, The Bangkok Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand.

ปี พ.ศ. 2554 มีจำนวน 12 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P. and Youngchaay, U., 2011, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Kata and Karon Beach Sand Samples after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
2. Daoh, M., Udomsomporn, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Measurement of Specific Activity of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from Phthalung Province (Thailand) Using Gamma Ray Spectrometry. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
3. Mina, M., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Measurement of Natural and Anthropogenic Radioactivities in Soil Samples from Muang, Khuan Don, Khuan Kalong and Manang Districts in Satun Province, Thailand. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
4. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Specific Activities and Radioactive Contour Maps Of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Beach Sand Samples From Muang District in Phuket Province (Thailand). *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
5. Dearamae, R., Kessaratikoon, P., and Khongratana, P., 2011, A Study on Chemical compositions of Ranong Kaolin, Narathiwat Kaolin and Nakhon Si

- Thammarat Ball Clay for a White Pigment Production under ASTM Standard Using X-ray Fluorescence Spectrometry techniques. *The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society (SPC 2011)*, 23-26 March, 2011, The Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Chonburi, Thailand.
6. Kessaratikoon, P., Tunsuwan, K., and Chumruksa., C., 2011 Potential Development in CAI Electronic Media Construction of Science Teachers from Three Southernmost Provinces of Thailand. *The 21stThaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 7. Kessaratikoon, P. and Youngchaay, U., 2011, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Beach Sand Samples of Phuket Province after Tsunami Disaster Using Gamma Ray Spectrometry. *The 21stThaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 8. Mina, M., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Assessment of Natural and Anthropogenic Radioactivities in Soil Samples from Satun Province, Thailand. *The 21stThaksin University Annual Conference: Humanity; Community; The Path of Wisdom*, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 9. Dearamae, R., Kessaratikoon, P., and Khongratana, P., 2011, Mineralogical Analyses of Ranong Kaolin, Narathiwat Kaolin and Nakhon Si Thammarat Ball Clay Before and After Calcinations Using X-ray diffraction (XRD) Technique. *The 21stThaksin University Annual Conference: Humanity; Community;*

The Path of Wisdom, 25-28 May, 2011, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)

10. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., and Youngchaury, U., 2011, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Beach Sand Samples Collected from Nai Yang Beach of Phuket Province After Tsunami Disaster. *The 12th Conference on Nuclear Science and Technology (NST12): Half Century and Upcoming Decade of Nuclear Technology in Thailand*, 6-7 July, 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai)
 11. Mina, M., Benjakul, S., and Kessaratikoon, P., 2011, Radioactivity Assessment of Natural and Artificial Radionuclides in Soil Samples from Tha Phae, La-ngu and Thung Wa Districts in Satun Province, Thailand. *The 12th Conference on Nuclear Science and Technology (NST12): Half Century and Upcoming Decade of Nuclear Technology in Thailand*, 6-7 July, 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai)
 12. Daoh, M., Kessaratikoon, P., and Udomsomporn, S., 2011, Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Soil Samples from in Phatthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry. *The 12th Conference on Nuclear Science and Technology (NST12): Half Century and Upcoming Decade of Nuclear Technology in Thailand*, 6-7 July, 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- ปี พ.ศ. 2555 มีจำนวน 11 เรื่อง ดังต่อไปนี้
1. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U., 2012, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural and Anthropogenic Radionuclides in 5 Beach Sand Samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. *The 10th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences (NAMLS10)*. 15–20 January, 2012, Swissotel

Park Nai Lert, Bangkok, Thailand.

2. Thawonsuwan, A., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2012, Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province, Thailand, after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan. *The 7th Annual Conference of the Thai Physics Society “Past, Present and Future of Physics” (SPC 2012)*, 9-12 May, 2012, The Krungsri River Hotel, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand.
3. Thawonsuwan, A., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P., 2012, Monitoring and Quantitative Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province, Thailand since March to December, 2011 after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan. *The 22nd Thaksin University Annual Conference: Thai - ASEAN: Path of Collaboration*, 23-26 May, 2012, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
4. Kessaratikoon, P. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaui, U. 2012, Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples Collected from Surat Thani Province in the South of Thailand. *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
5. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S., Kessaratikoon, P., Daoh³ M., Meena³, M. and Ratanasumeniang, C. 2012, Measurement of Specific Activities of Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) Radionuclides (^{137}Cs) in soil Samples from 4 Provinces (Phuket, Songkhla, Satun and Phatthalung) in the South of Thailand, *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
6. Jhelee, M., Chuaymanee, S. and Kessaratikoon, P. 2012, Quantitative Measurement

- of Natural Radionuclides in Soil Samples from Yala Province, Thailand, *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
7. Phakdee, N., Peekhantod, D. and Kessaratikoon, P. 2012, Quantitative Measurement of Activities of Radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in Human Urine of Thai People Collected from Surat Thani and Nakhon Si Thammarat Provinces in the South of Thailand, *The 38th Congress on Science and Technology of Thailand*, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand.
 8. Jhelee, M., Chuaymanee, S. and Kessaratikoon, P. 2012, Quantitative Measurement of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Soil Samples from Yala Province, Thailand, *The 8th SRU National Research Conference: Integrated Research for Community and Local Development*, 15-16 November, 2012, Surattani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand. (in Thai)
 9. Chuaymanee, S., Jhelee, M., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R. and Benjakul, S. 2012, Assessment of Natural Radioactivity in Surface Soil from Muang Chumphon, Sawi and Thung Tako districts in Chumphon Province, Thailand, *The 8th SRU National Research Conference: Integrated Research for Community and Local Development*, 15-16 November, 2012, Surattani Rajabhat University, Surat Thani, Thailand. (in Thai)
 10. Jhelee, M., Chuaymanee, S. and Kessaratikoon, P. 2012, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from Yala Province, Thailand, *The 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference of*, 6 – 7 December 2012, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pratom, Thailand. (in Thai)
 11. Chuaymanee, S., Jhelee, M., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R. and Benjakul, S. 2012, Assessment of Natural Radioactivity in Surface Soil in Chumphon Province, Thailand, *The 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference of*, 6 – 7 December 2012, Kasetsart University

Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pratom, Thailand. (in Thai)

ปี พ.ศ. 2556 มีจำนวน 11 เรื่อง ดังต่อไปนี้

1. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U. 2013, Measurement and Analysis of Specific Activity of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Sample from Surat Thani Province, Thailand, *The 51st Annual Conference of Kasetsart University*, 5 – 7 February 2013, Bangkok, Thailand.
2. Chauymanee, S., Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U. 2013. Specific Activity and Radioactive Contour Map of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Samples from Chumphorn Province, Thailand, *International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2013)*, 20-22 February 2013, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand.
3. Phakdee, N., Kessaratikoon, P. and Peekhantod, D. 2013. Quantitative Measurement of Gamma Activities of Radionuclides (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K) in Human Urine Samples Collected from Residents in Southern Region of Thailand, *International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2013)*, 20-22 February 2013, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand.
4. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Youngchaury, U. 2013. Assessment and Radioactive Contour Maps of Specific Activities of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Surface Soil Samples from Surat Thani Province, Thailand, *The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)*, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
5. Boonkrongcheep, R., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P. 2013. Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Radiological Hazard Indices in Surface Soil Samples from Phuket Province, Thailand, *The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai*

- Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)***, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
6. Thawonsuwan, A., Jeasai, S., Benjakul, S. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement of Specific activity of ^{226}Ra in bottled mineral and drinking water products in Songkhla province, Thailand, ***The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)***, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 7. Daoh, M., Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples from Rajabhat Songkhla University (Thailand), ***The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society “Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community” (SPC 2013)***, 21-23 March, 2013, Chiangmai Grandview Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 8. Kessaratikoon, P., Rhian-nui, J. and Boonkrongcheep R. 2013. Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides and Radiological Hazard Indices in Beach Sand Samples from Ao Nang Beach Krabi Province, Thailand, ***The 23rd Thaksin University Annual Conference “Green Society: Food and Energy Security”***, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King’s Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 9. Phakdee, N., Kessaratikoon, P. and Peekhantod, D. 2013. Measurement of Beta and Alpha Activities in Human Urine Samples of Thai Residents in Southern Region of Thailand, ***The 23rd Thaksin University Annual Conference “Green Society : Food and Energy Security”***, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King’s Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)
 10. Chuaymanee, S., Kessaratikoon, P. and Boonkrongcheep, R. 2013. Specific Activity

and Radioactive Contour Map of Natural Radionuclides in Soil Samples from Chumphon Province, Thailand, *The 23rd Thaksin University Annual Conference "Green Society : Food and Energy Security"*, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)

11. Daoh, M., Nijibulad, M., Bahem, M., Boonkrongcheep, R. and Kessaratikoon, P. 2013. Measurement and Analysis of Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Surface Soil Samples from Songkhla Rajabhat University using Gamma Spectrometry Technique, *The 23rd Thaksin University Annual Conference "Green Society: Food and Energy Security"*, 22-25 May, 2013, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center, Prince of Songkhla University, Hat Yai Campus, Hat Yai, Songkhla, Thailand. (in Thai)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1. ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2548. การวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีของสิ่งแวดล้อม : จากข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเฉพาะบริเวณจังหวัดสงขลา. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 94 หน้า.
2. ประสงค์ เกษราธิคุณ สุชิน อุดมสมพร และ ศุภกร กตาทิการกุล. 2549. ค่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างทรายจากบริเวณชายหาดขลาทัศน์และชายหาดสมิหลาในจังหวัดสงขลา. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 100 หน้า.
3. ประสงค์ เกษราธิคุณ และ อุดร ยังช่วย. 2553. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในทรายชายหาดหลังจากการเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ต โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 128 หน้า.
4. ประสงค์ เกษราธิคุณ เกษม ต้นสุวรรณ และ ชัชวาล ชุมรักษา. 2554. การพัฒนาศักยภาพด้านเทคโนโลยีการผลิตสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับครูวิทยาศาสตร์ในระดับช่วงชั้นที่ 3 ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้. สาขาวิชา

ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา. 117 หน้า.

3. ชื่อ-สกุล นายศุภวุฒิ เบ็ญกุล

คุณวุฒิ/สาขา วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ

วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ

ตำแหน่งทางวิชาการ -

ที่อยู่อาศัย 90 ถนนชื่อนา ซอย 1 ตำบลกันตัง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง 92110

โทร. (089) 9833322

E-mail : s_benjaku04@hotmail.com

ผลงานทางวิชาการ

ตำรา/เอกสารประกอบการสอน -

บทความทางวิชาการ -

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

1. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาตกดินในอากาศ บริเวณจังหวัดสงขลา หลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (งบประมาณ 2554)

เป็นผู้ร่วมโครงการ

2. โครงการวิจัย เรื่อง การตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในอาหารประเภทผัก และน้ำดื่มจากบริเวณเขตเทศบาลนครสงขลาและเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (งบประมาณ 2555)

เป็นผู้ร่วมโครงการ

ผลงานวิจัย

1. การศึกษาการอบยางแผ่นดิบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

(A Study of Rubber Drying with Solar Energy.)

2. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2006, Measurement of natural radioactivity in Songkhla beach sands. **The 10th Annual GLOBE Conference :**

- The New Decade for Globe Sustainable Development**, 30 July – 4 August 2006, Phuket, Thailand.
3. **Benjakul, S.**, Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Quantitative Measurement of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th Concentration in Soil Samples from Muang District in Songkhla Province. **The 2006 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation**, 16 August 2006. BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand.
 4. **Benjakul, S.**, Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Natural Radionuclide Distribution in Soil From Muang District in Songkhla Province. **The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand**, 10-12 October 2006, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
 5. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2006, ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th Analysis in Songkhla Beach Sands Using Gamma Ray Spectrometry. **The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand**, 10-12 October 2006, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
 6. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, Distribution of Natural Radionuclides and Gamma-absorbed Dose Rates in Songkhla Beach Sands. **The 45th Annual Conference of Kasetsart University**, 30 January – 2 February 2007, Bangkok, Thailand.
 7. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, Quantitative Analysis of Specific Activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma Ray Spectrometry. **The Siam Physics Congress 2007 : Physics and Technologies for Self-Reliance**, 22-24 March 2007, The Rose Garden Riverside, Nakorn Pathom, Thailand.
 8. Kessaratikoona, P., **Benjakul, S.**, Udomsompornb, S. **Gamma-absorbed Dose Rate and Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands.** Physics Department, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000, Thailand. Bureau of Technical Support for Safety Regulation, Office of Atoms for Peace, Bangkok, 10900, Thailand.

9. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, Gamma-absorbed Dose Rate and Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands. **The 10th Conference on Nuclear Science and Technology**, 16–17 August 2007, Bangkok International Trade & Exhibition Center (BITEC).
10. **Benjakul, S.**, Ngampein, J., Uthaiwankeaw, H. and Kessaratikoon, P. 2009. Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Radium-226 (^{226}Ra) Thorium-232 (^{232}Th) and Potassium-40 (^{40}K) in Soil Samples from Trang Province, Thailand. **The 19th Thanksin University Annual Conference 24-25 September 2009**, J.B. Hotel Hatyai, Songkhla, 49-50.
11. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang District in Phuket Province, Thailand. **Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society**, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
12. Soedsaen, T., Boonkrongcheep, R., Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Natural Radioactivity in Beach Sands of the Naiyang Beach in Phuket Province, Thailand. **Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society**, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
13. Thongna, T., Boonkrongcheep, R., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from 6 Districts in Nakhon Si Thammarat Province, Thailand. **Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society**, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
14. Ratanasumniang, C., Phakdee, N., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples Collected from 4 District in the North of Songkhla Province, Thailand. **Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society**, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
15. ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ **ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล** และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีและแผนภาพทางรังสีของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างดินบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, ประเทศไทย. **การประชุมวิชาการและการประชุม**

- ใหญ่สามัญประจำปี 2552 เรื่อง “การเขียนการพิมพ์ศัพท์ภาษาไทย – ภาษาอังกฤษ ตามราชบัณฑิตยสถาน”, 31 กรกฎาคม 2553 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
16. ชุมวดี ทองนะ สุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช. การประชุมวิชาการและการประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2552 เรื่อง “การเขียนการพิมพ์ศัพท์ภาษาไทย – ภาษาอังกฤษ ตามราชบัณฑิตยสถาน”, 31 กรกฎาคม 2553 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
 17. Ratanasumeniang, C., Udomsomporn, S., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from Songkhla Province (Thailand), **The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research**, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
 18. Boonkrongcheep, R., **Benjakul S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Quantitative measurement of specific activities of natural and anthropogenic radionuclides in soil samples from Phuket province (Thailand), **The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research**, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
 19. Daoh, M., Udomsomporn, S., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from 6 Districts in Phthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry, **The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research**, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
 20. Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., Natural Radioactivity Assessment in Nakhon Si Thammarat Province, **The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research**, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
 21. Ruthairat, B., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic

- Radionuclides (^{137}Cs) in Soil Samples in Phuket Province, Thailand. **The 36th Congress on Science and Technology of Thailand**, 26-28 October 2010, Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC), Bangkok, Thailand.
22. M. Meena, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon., 2011. Measurement of Natural and Anthropogenic Radioactivities in Soil samples from Muang, Khuan Kalong and Manang Districts in Satun Province, Thailand. **The 6th Siam Physics Congress (SPC2011) : Physics for all, all for physics**, 23-26 March 2011, the Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand.
23. R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon., 2011. Specific Activities and Radioactive Contour Maps of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Beach Sand Samples from Thalang District in Phuket Province, Thailand. **The 6th Siam Physics Congress (SPC2011) : Physics for all, all for physics**, 23-26 March 2011, the Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand.
24. Marina Mina, **Supphawut Benjakul** and Prasong Kessaratikoon. , 2011. Radioactivity Assessment of Natural and Artificial Radionuclides in Soil Samples from Tha Phae, La-ngu and Thung Wa Districts in Satun Province, Thailand. **The 12th Conference on Nuclear Science and Technology**, 6–7 July 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand.
25. A. Thawonsuwan, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon., 2012. Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province, Thailand, after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan. **The 7th Siam Physics Congress (SPC2012) : Past, Present and Future of Physics**, 9-12 May 2012, Phra nakhon Si Ayutthaya, Thailand.
26. อัญชลัย ถาวรสุวรรณ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ สุภาวดี เบี้ยจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2555. การเฝ้าระวังและการตรวจวัดปริมาณค่าระดับรังสีแกมมาในอากาศบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนธันวาคม 2554 หลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น. **การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22**, 23–26 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผลงานทางวิชาการ

ผลงานวิจัย

1. การศึกษาการอบยางแผ่นดิบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์(A Study of Rubber Drying with Solar Energy.)
2. Kessaratikoon, P., Benjakul, S. and Udomsomporn, S., 2006, Measurement of natural radioactivity in Songkhla beach sands. The 10th Annual GLOBE Conference : The New Decade for Globe Sustainable Development, 30 July – 4 August 2006, Phuket, Thailand.
3. **Benjakul, S., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Quantitative Measurement of ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th Concentration in Soil Samples from Muang District in Songkhla Province.** The 2006 Thaksin University Academic Meeting and Research Presentation, 16 August 2006. BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand.
4. **Benjakul, S., Kessaratikoon, P. and Udomsomporn, S., 2006, Natural Radionuclide Distribution in Soil From Muang District in Songkhla Province.** The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, 10-12 October 2006, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
5. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2006, ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th Analysis in Songkhla Beach Sands Using Gamma Ray Spectrometry. The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, 10-12 October 2006, Queen Sirikit Natinal Convention Center (QSNCC), Bangkok, Thailand.
6. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, **Distribution of Natural Radionuclides and Gamma-absorbed Dose Rates in Songkhla Beach Sands.** The 45th Annual Conference of Kasetsart University , 30 January – 2 February 2007, Bangkok, Thailand.
7. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, **Quantitative Analysis of Specific Activity of ⁴⁰K, ²²⁶Ra and ²³²Th in Soil Samples from Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma**

- Ray Spectrometry.** The Siam Physics Congress 2007 : Physics and Technologies for Self-Reliance, 22-24 March 2007, The Rose Garden Riverside, Nakorn Pathom, Thailand.
8. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.**, Udomsompornb, S. **Gamma-absorbed Dose Rate and Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands.** Physics Department, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000, Thailand. Bureau of Technical Support for Safety Regulation, Office of Atoms for Peace, Bangkok, 10900, Thailand.
 9. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, **Gamma-absorbed Dose Rate and Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands.** The 10th Conference on Nuclear Science and Technology, 16–17 August 2007, Bangkok International Trade & Exhibition Center (BITEC).
 10. สุภวุฒิ เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. “การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติเชิงปริมาณบริเวณเขตเทศบาล อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา”. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 17, โรงแรมกรีนเว็ลด์ สงขลา, 20-21 กันยายน 2550.
 11. **Benjakul, S.**, Ngampein, J., Uthaikwankeaw, H. and Kessaratikoon, P. 2009. **Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Radium-226 (²²⁶Ra) Thorium-232 (²³²Th) and Potassium-40 (⁴⁰K) in Soil Samples from Trang Province, Thailand.** The 19th Thaksin University Annual Conference 24-25 September 2009, J.B. Hotel Hatyai, Songkhla, 49-50.
 12. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang District in Phuket Province, Thailand.** Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
 13. Soedsaen, T., Boonkrongcheep, R., Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Natural Radioactivity in Beach Sands of the Naiyang Beach in Phuket Province, Thailand.** Siam Physics Congress 2010 :

- Physics for Creative Society, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
14. Thongna, T., Boonkrongcheep, R., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Specific Activities of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from 6 Districts in Nakhon Si Thammarat Province, Thailand.** Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
 15. Ratanasumniang, C., Phakdee, N., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples Collected from 4 District in the North of Songkhla Province, Thailand.** Siam Physics Congress 2010 : Physics for Creative Society, 25-27 March 2010, The River Kwai Village Hotel, Kanchanaburi, Thailand.
 16. ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ สุภาวดี เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีและแผนภาพทางรังสีของ ^{40}K , ^{226}Ra และ ^{232}Th ในตัวอย่างดิน บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, ประเทศไทย. การประชุมวิชาการและการประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2552 เรื่อง “การเขียนการพิมพ์ศัพท์ภาษาไทย – ภาษาอังกฤษ ตามราชบัณฑิตยสถาน”, 31 กรกฎาคม 2553 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
 17. ฐมวดี ทองนะ สุภาวดี เบ็ญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช. การประชุมวิชาการและการประชุมใหญ่สามัญประจำปี 2552 เรื่อง “การเขียนการพิมพ์ศัพท์ภาษาไทย – ภาษาอังกฤษ ตามราชบัณฑิตยสถาน”, 31 กรกฎาคม 2553 ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
 18. Ratanasumeniang, C., Udomsomporn, S., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from Songkhla Province (Thailand),** The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.

19. Boonkrongcheep, R., **Benjakul S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Quantitative measurement of specific activities of natural and anthropogenic radionuclides in soil samples from Phuket province (Thailand)**, The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
20. Daoh, M., Udomsomporn, S., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Measurement of Specific Activity of Natural (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra and ^{40}K) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil from 6 Districts in Phthalung Province (Thailand) using Gamma Ray Spectrometry**, The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
21. Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., **Natural Radioactivity Assessment in Nakhon Si Thammarat Province**, The 20th Thaksin University Annual Conference : Thai Society Development with Creative Research, 16-18 September 2010, JB Hotel, Hat Yai, Songkhla, Thailand.
22. Ruthairat, B., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010, **Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil Samples in Phuket Province, Thailand**. The 36th Congress on Science and Technology of Thailand, 26-28 October 2010, Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC), Bangkok, Thailand.
23. M. Meena, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon., 2011. **Measurement of Natural and Anthropogenic Radioactivities in Soil samples from Muang, Khuan Kalong and Manang Districts in Satun Province, Thailand**. The 6th Siam Physics Congress (SPC2011) : Physics for all, all for physics, 23-26 March 2011, the Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand.
24. R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon., 2011. **Specific Activities and Radioactive Contour Maps of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{137}Cs in Beach Sand Samples from Thalung District in Phuket Province, Thailand**.

- The 6th Siam Physics Congress (SPC2011) : Physics for all, all for physics, 23-26 March 2011, the Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand.
25. มาริโน มีนา **สุภวุฒิ เบญจกุล** และ ประสงค์ เกษราธิคุณ “การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้นในตัวอย่างดิน บริเวณจังหวัดสตูล, ประเทศไทย” การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21, ศูนย์ประชุมนานาชาติเฉลิมฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา, 25-28 พฤษภาคม 2554.
 26. Marina Mina, **Supphawut Benjakul** and Prasong Kessaratikoon. , 2011. Radioactivity Assessment of Natural and Artificial Radionuclides in Soil Samples from Tha Phae, La-ngu and Thung Wa Districts in Satun Province, Thailand. **The 12th Conference on Nuclear Science and Technology**, 6–7 July 2011, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand.
 27. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and U. Youngchauly. 2012. Specific Activities and Radioactive Contour Maps of Natural and Anthropogenic Radionuclides in 5 Beach Sand Samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after Tsunami Disaster in Phuket Province, Thailand. **The 10th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences (NAMLS10)**. 15–20 January, 2012, Swissotel Park Nai Lert, Bangkok, Thailand. (oral presentation)
 28. A. Thawonsuwan, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon., 2012. Measurement of Ambient Gamma Dose Rate in Air in Songkhla Province, Thailand, after Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant Accident in Japan. **The 7th Siam Physics Congress (SPC2012) : Past, Present and Future of Physics**, 9-12 May 2012, Phra nakhon Si Ayutthaya, Thailand.
 29. อัญชลัย ถาวรสุวรรณ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ **สุภวุฒิ เบญจกุล** และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2555. การเฝ้าระวังและการตรวจวัดปริมาณค่าระดับรังสีแกมมาในอากาศบริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนธันวาคม 2554 หลังการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟูกูชิมะ ไดอิจิ ในประเทศญี่ปุ่น. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22, 23–26

พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

30. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and U. Youngchauly. 2012. Measurement of Specific Activities of Natural Radionuclides(^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Surface Soil Samples Collected from Surat Thani Province in the South of Thailand. **The 38th Congress on Science and Technology of Thailand**, 17-19 October, 2012, The Empress Convention Centre Chiang Mai, Chaing Mai, Thailand. (poster)
31. Ruthairat Boonkrongcheep, **Supphawut Benjakul**, Prasong Kessaratikoon, Murnee Daoh, Mareena Meena and Chaiwat Ratanasumeniang., 2012. Measurement of Specific Activity of Anthropogenic Radionuclides (^{137}Cs) in Soil Samples from 4 Provinces (Phuket, Songkhla, Satun and Phatthalung) in the south of Thailand. **The 38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT 38) : Science for The Future of Mankind**, 17-19 October 2012, Empress Convention Centre, Chiang Mai, Thailand.
32. สุทธิณี ช่วยมณี ไมมุน เจ๊ะลี ประสงค์ เกษราธิคุณ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และสุภาวุดิ เบ็ญจกุล “การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในดินผิวน้ำบริเวณอำเภอเมืองชุมพร อำเภอสวี และอำเภอทุ่งตะโกในจังหวัดชุมพร ประเทศไทย” การประชุมวิชาการระดับชาติของมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี, 15-16 พฤศจิกายน 2555.
33. สุทธิณี ช่วยมณี ไมมุน เจ๊ะลี ประสงค์ เกษราธิคุณ ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ และสุภาวุดิ เบ็ญจกุล “การประเมินค่ากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในดินผิวน้ำบริเวณจังหวัดชุมพร ประเทศไทย” การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม, 6-7 ธันวาคม 2555.
34. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and U. Youngchauly. 2013, Measurement and Analysis of Specific Activity of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Sample from Surat Thani Province, Thailand, **The 51st**

- Annual Conference of Kasetsart University**, 5 – 7 February 2013, Bangkok, Thailand. (oral presentation)
35. S. Chauymanee, P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and U. Youngchauly. 2013. Specific Activity and Radioactive Contour Map of Anthropogenic Radionuclide (^{137}Cs) in Surface Soil Samples from Chumporn Province, Thailand, **International Conference on Applied Physics and Material Applications (ICAPMA2013)**, 20-22 February 2013, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand. (oral presentation)
 36. **S. Benjakul**, W. Limmun, T. Eadkhong and S. Danworaphong. 2013. Exploring Post-harvest Variation of Electrical Capacitance of Mangosteen. **The 8th Siam Physics Congress (SPC2013) : Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community**, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand.
 37. P. Kessaratikoon, R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and U. Youngchauly. 2013. Assessment and Radioactive Contour Maps of Specific Activities of Natural (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Anthropogenic (^{137}Cs) Radionuclides in Surface Soil Samples from Surat Thani Province, Thailand. **The 8th Siam Physics Congress (SPC2013) : Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community**, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand.
 38. R. Boonkrongcheep, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon. 2013. Frequency Distribution of Specific Activities of Natural Radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) and Radiological Hazard Indices in Surface Soil Samples from Phuket Province, Thailand. 2013. **The 8th Siam Physics Congress (SPC2013) : Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community**, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand.
 39. A. Thawonsuwan, S. Jeasai, **S. Benjakul** and P. Kessaratikoon. 2013. Measurement of Specific Activity of ^{226}Ra in Bottled Mineral and Drinking Water Products in Songkhla Province, Thailand. 2013. **The 8th Siam Physics Congress (SPC2013) : Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community**, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand.

40. อัญชัญ ถาวรสุวรรณ, จีราวรรณ แก้วคำ, อริย์สร ฐริอัครวณิชย์, ชัยนะ เจะสะอิ, **สุภาวดี เบ็ญจกุล** และประสงค์ เกษราธิคุณ. 2556. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างอาหารประเภทผัก บริเวณจังหวัดสงขลา ประเทศไทย. งานประชุมวิชาการ วลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช. 1 สิงหาคม 2556.

ผลงานตีพิมพ์วารสารระดับชาติ

1. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2007, **Distribution of Natural Radionuclides in Songkhla Beach Sands**, Kasetsart Journal (Natural Science), 41, 157-164.
2. Kessaratikoon, P., **Benjakul, S.** and Udomsomporn, S., 2008, **Quantitative Analysis of Specific Activity of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th in Soil Samples from the Municipal Area of Muang District in Songkhla Province Using Gamma-Ray Spectrometry**, Thai Journal of Physics, Series 3, pp.99-102.
3. **สุภาวดี เบ็ญจกุล** เจนจิรา งามเพียร หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2553. ค่ากัมมันตภาพจำเพาะและแผนภาพทางรังสีของเรเดียม-226 (^{226}Ra) ทอเรียม-232 (^{232}Th) และ โพแทสเซียม (^{40}K) ในตัวอย่างดินบริเวณจังหวัดตรัง, ประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12(3): 38-51.
4. Boonkrongcheep, R., Thongna, T., **Benjakul, S.** and Kessaratikoon, P., 2010. **Measurement of Natural Radioactivity in Soil Samples of Muang Districts in Phuket Province, Thailand**, Thai Journal of Physics, Series 6, pp. 163-165.
5. ชัยวัฒน์ รัตนสำเนียง สุชิน อุดมสมพร **สุภาวดี เบ็ญจกุล** และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินบริเวณจังหวัดสงขลา(ประเทศไทย). วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 13(3): 49-61.
6. ฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ **สุภาวดี เบ็ญจกุล** และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นในดินบริเวณจังหวัดภูเก็ต. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 13(3): 62-70.

7. มูรณี ดาโอะ สุชิน อุดมสมพร สุภวุฒิ เบญจกุล และ ประสงค์ เกษราธิคุณ. 2554. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีธรรมชาติ (^{238}U ^{232}Th ^{226}Ra และ ^{40}K) และที่มนุษย์สร้างขึ้น (^{137}Cs) ในดินจาก 6 อำเภอ ของจังหวัดพัทลุง (ประเทศไทย) โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 14(1): 19-29.

ผลงานตีพิมพ์วารสารระดับนานาชาติ

1. Kessaratikoon, P., Boonkrongcheep, R., **Benjakul, S.** and Youngchaay, U., 2013. **Specific activities and radioactive contour maps of natural and anthropogenic radionuclides in beach sand samples (Patong, Kamala, Kata, Karon and Nai Yang) after tsunami disaster in Phuket province, Thailand,** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, DOI 10.1007/s10967-012-2384-8. (IF 0.659)
2. **S. Benjakul,** T. Eadkhong, W. Limmun, and S. Danworaphong., 2012. The probability of find the translucent flesh in mangosteen based on their electrical resistance and capacitance. **Food Science and Biotechnology, Korean Society of Food Science and technology.** ISSN 1226-7708 (Print) ISSN 2092-6459 (Online). (IF 0.493)