



กัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน และผักพื้นบ้านโหละแวก  
ใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี  
**Specific Activity of Ra-226 in Hot Spring Water and Nearby Local  
Vegetables in Suratthani Province.**

ชัยนะ เจาะสะอิ  
**Saina Jeasai**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Physics  
Prince of Songkla University  
2554  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

ชื่อวิทยานิพนธ์                   กัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน และผักพื้นบ้านในละแวก  
ใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี  
ผู้เขียน                                 นางสาวชัชนะ เจะสะอิ  
สาขาวิชา                             ฟิสิกส์

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

**คณะกรรมการสอบ**

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไทรภพ ผ่องสุวรรณ)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....กรรมการ  
(ดร.สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัช ชิตตระการ)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไทรภพ ผ่องสุวรรณ)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัช ชิตตระการ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



**Thesis Title** Specific activity of Ra-226 in hot spring water and nearby local vegetables in Suratthani Province.

**Author** Saina Jeasai

**Major Program** Physics

**Academic Year** 2010

### ABSTRACT

This work aims to study specific activity of Radium-226 in hot spring, nearby shallow well water, well water and local vegetable samples of Suratthani Province. Totally, 86 hot spring samples, 25 shallow well water, 9 well water and 30 samples in 8 types of local vegetables were collected and examined from 10 sites, 8 districts. Radium in water sample was absorbed by an absorbing media and the specific activity of Radium-226 was analyzed using a low background HPGe Gamma ray spectrometer. The metals in hot spring water samples were analyzed using ICP-OES. Results show that the specific activities of Ra-226 in hot spring water samples ranged from 102-5,022 (mean  $1,855 \pm 185$ ) mBq/L, ND-158 (mean  $57 \pm 36$ ) mBq/L, ND-122 (mean  $49 \pm 17$ ) mBq/L and ND-26,498 (mean  $4,345 \pm 624$ ) mBq/kg for nearby shallow well water, well water and local vegetable samples, respectively. Apparently, 80 samples of hot spring water and 26 samples of local vegetable had the Ra-226 content exceeding 185 mBq/L, which is the maximum contaminant level proposed by US EPA. However, Cu in hot spring water samples were found to be 0.002-0.004 mg/L and not found for Pb and Cd, which values are below contaminant level proposed by Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, i.e., 0.01 mg/L, 1 mg/L and 0.05 mg/L, respectively.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1    บทนำ	1
1.1    บทนำต้นเรื่อง	1
1.2    การตรวจเอกสาร	4
1.2.1    การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของเรเดียม-226 ในน้ำ	4
1.2.2    การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของเรเดียม-226 ในผัก	8
1.3    วัตถุประสงค์	10
2    ทฤษฎี	11
2.1    อนุกรมกัมมันตรังสีและการสลายตัว	11
2.2    กฎการสลายตัวของนิวไคลด์	13
2.3    กัมมันตภาพรังสี	14
2.4    ครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) และชีวิตเฉลี่ย ( $\tau$ )	15
2.5    สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium)	16
2.5.1    สมดุลแบบแซคูลาร์ (Secular equilibrium)	17
2.5.2    สมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)	18
2.6    หน่วยวัดทางรังสี	18
3    วิธีการวิจัย	22
3.1    วัสดุ และอุปกรณ์	22
3.2    ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	26
3.3    วิธีดำเนินการวิจัย	27
3.3.1    กำหนดสถานที่การเก็บตัวอย่าง	27
3.3.2    การเก็บ และเตรียมตัวอย่างน้ำ	28
3.3.3    การเก็บ และการเตรียมตัวอย่างผัก	30
3.3.4    การเตรียมสารมาตรฐานน้ำ ROs (Reverse Osmosis)	32
	(6)

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำ ROs (Reverse Osmosis) และฝักพื้นบ้านด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาแบบหัววัด HPGe	33
3.3.6 การปรับเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency Calibration)	33
3.3.7 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด HPGe	34
3.3.8 ค่าขีดจำกัดของหัววัด (Lower Limit of Detection, LLD)	37
3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสมในตัวอย่างน้ำพุร้อน	38
3.4 การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี	38
3.5 สถิติของการนับข้อมูล	39
4 ผลและการอภิปรายผล	44
4.1 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ	44
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน	44
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นและน้ำบาดาล	52
4.2 การกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ	57
4.3 การกระจายของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล และความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาในพื้นที่	65
4.4 การประเมินปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำต่อปี	66
4.5 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในฝักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน	72
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในฝักพื้นบ้านในละแวก ใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน	72
4.5.2 การกระจายของค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในฝักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน	73

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3 การกระจายของเรเดียม-226 ในผิวก้นบ้านในละแวกใกล้ เคียงแหล่งน้ำพุร้อน และความสัมพันธกับธรณีวิทยาในพื้นที่	78
4.5.4 การประเมินปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการ บริโภคผักต่อปี	78
4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่มีอยู่ในผักแต่ ละชนิด	80
4.5.6 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม (K-40) ในผิวก้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน	82
4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ที่สะสมในตัวอย่างน้ำพุร้อน	83
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	84
5.1 สรุปผล	84
5.2 ข้อเสนอแนะ	86
บรรณานุกรม	88
ภาคผนวก	93
ก พื้นที่ศึกษา และแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทย	94
ข ทฤษฎีเพิ่มเติม	101
ค ตารางแสดงข้อมูลต่างๆ	124
ประวัติผู้เขียน	139

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติ	3
2.1	ค่า Radiation weighting factor ( $W_R$ )	21
3.1	จำนวนตัวอย่างฝักแต่ละชนิด	32
4.1	แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำพุร้อน (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี	58
4.2	แสดงค่าเฉลี่ยค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำบ่อต้น จ.สุราษฎร์ธานี	62
4.3	แสดงค่าเฉลี่ยค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำบาดาล จ.สุราษฎร์ธานี	64
4.4	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำ จังหวัดสุราษฎร์ธานี เปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณอื่น	71
4.5	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เฉลี่ยในแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนจังหวัดสุราษฎร์ธานี	72
4.6	ปริมาณแคลเซียมที่พบในฝักแต่ละชนิด	76
4.7	แสดงค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี ในตัวอย่างฝัก เปรียบเทียบกับอำเภอห่มอม จังหวัดสงขลา	77
4.8	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และปริมาณรังสีประสิทธิผลในฝักประเภทใบ บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณอื่น	81
4.9	แสดงปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี	83



## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
2.1	อนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติ	11
2.2	อนุกรมการสลายตัวของเรเดียม-226	13
2.3	แสดงกราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี	16
2.4	จำนวนอะตอมของการสลายตัวแบบต่อเนื่องของ $N_1$ , $N_2$ และ $N_3$	17
3.1	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมในน้ำ	22
3.2	ก. เต้าอบไฟฟ้าช่วงอุณหภูมิ 25-150 องศาเซลเซียส	24
	ข. เต้าเผาอุณหภูมิสูง	24
3.3	ชุดระบบวัดรังสีแกมมา ชนิดหัววัดแบบ HPGe	25
3.4	แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ และฝักพื้นบ้าน ทั้งหมด 10 จุด	27
3.5	ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างน้ำ	29
3.7	ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างฝัก	31
3.8	แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำพุร้อนที่บ้านน้ำพุร้อน อ.ไชยา (SR1)	36
3.9	แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของรังสีแกมมาในตัวอย่างฝัก(ชะพลู)ที่บ้านเขาตอก อ.เคียนซา (SR9)	36
4.1	แสดงการกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละพื้นที่ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ	48
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ	50
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ	51
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเบส (pH) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ	52
4.5	แสดงการกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละพื้นที่ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง	56

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.6 แสดงการแจกแจงแบบปกติปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำพุร้อนต่อปี	68
4.7 แสดงปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำบ่อตื้นต่อปี	70
4.8 กราฟการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40และปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ได้รับต่อปีในตัวอย่างผัก จ.สุราษฎร์ธานี	82

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำตั้งเรื่อง

กัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมมีอยู่ทั่วไปรอบๆ ตัวเรา ส่วนใหญ่มนุษย์ได้รับสัมผัสกัมมันตภาพรังสีที่มาจากทั้งภายนอกและภายในร่างกาย การได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอก (External Exposure) มาจากแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติ ทั้งในดินและหิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก และจากรังสีคอสมิกจากนอกโลกที่แผ่เข้ามาถึงชั้นบรรยากาศของโลก การได้รับสัมผัสรังสีจากภายใน (Internal Exposure) มาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีการปนเปื้อนอยู่ในอาหาร ในน้ำที่บริโภคเข้าไป และในอากาศ กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติจะพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทั้งใน ดิน หิน พืช น้ำ และอากาศ (Malanca *et al.*, 1996)

แหล่งน้ำพุร้อน และแหล่งน้ำแร่ธรรมชาติเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีน้ำร้อนไหลขึ้นมาจากใต้ดิน ซึ่งในประเทศไทยพบแหล่งน้ำพุร้อนจำนวน 112 แหล่ง กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ทางภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคใต้ วัตถุประสงค์ของน้ำร้อนที่ผิวดินอยู่ในช่วง 40-100°C (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ปัจจุบันแหล่งน้ำพุร้อนเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายจากประชาชนทั่วไปและชาวต่างชาติ บางแห่งได้ถูกพัฒนาเป็นสถานที่พักผ่อนเสริมสุขภาพ บางแห่งยังคงอยู่ในสภาพธรรมชาติและยังสามารถนำมาพัฒนาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า ด้านอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม และการท่องเที่ยวอีกด้วย อีกทั้งในต่างประเทศยังใช้บำบัดโรคภัยไข้เจ็บบางโรค เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่มีความเชื่อว่า ในน้ำพุร้อนจะมีแร่ธาตุบางอย่างที่สามารถรักษาโรคบางโรคได้ เช่น โรคกล้ามเนื้อ โรคข้อกระดูก ปวดเมื่อยต่างๆ และยังช่วยให้ระบบโลหิตหมุนเวียนได้ดีอีกด้วย น้ำพุร้อนไม่เพียงแต่มีประโยชน์ในด้านอุปโภคเท่านั้น การบริโภคหรือการดื่มน้ำพุร้อนก็มีประโยชน์เช่นกันเพราะน้ำที่ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ จะกระตุ้นการทำงานของระบบเผาผลาญอาหาร (metabolism) การดื่มน้ำพุร้อนต้องมั่นใจว่าส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำพุร้อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหรือตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เพราะน้ำพุร้อนมีแหล่งกำเนิดจากน้ำที่ไหลผ่านใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินต่างๆ แต่ละชั้นจะมีแร่ธาตุปะปนอยู่หลายชนิดทั้งที่มีประโยชน์ และโทษต่อร่างกาย ทั้งนี้ประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่ทราบถึงธรรมชาติแท้จริงของน้ำพุร้อนธรรมชาติ เช่น การปนเปื้อนด้วยเชื้อก่อโรคในธรรมชาติ การปนเปื้อนแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 และสาร

กัมมันตรังสีเรเดียม-226 ที่ละลายอยู่ในน้ำพุร้อน เนื่องจากหินในบริเวณนั้นอาจมีความเข้มข้นเรเดียม-226 ค่อนข้างสูงผิดปกติ เมื่อน้ำชะล้างละลายเรเดียม-226 ลงสู่ระบบน้ำใต้ดินและสัมผัสความร้อนใต้พิภพและถูกแรงดันแทรกตามรอยแยกพุ่งมาเป็นน้ำพุร้อน ก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่เรเดียม-226 อาจมาปะปนอยู่ในน้ำพุร้อนเป็นปริมาณสูง หากระบบน้ำใต้ดินในบริเวณนี้สามารถเชื่อมต่อกันก็อาจจะมีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น หรือน้ำบาดาล (จเร, 2548) และผักพื้นบ้านที่เจริญเติบโตในละแวกใกล้เคียงก็ต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำบริเวณนี้ ทำให้ผักพื้นบ้านที่อยู่บริเวณนี้มีสารกัมมันตรังสีปะปนอยู่ก็เป็นได้

เนื่องจากมีรายงานว่าแหล่งน้ำพุร้อนบางแห่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณสารกัมมันตรังสีปนเปื้อนอยู่มาก ข้อมูลจากการตรวจวัดแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทย ได้รายงานว่แก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดชุมพร มีค่าความเข้มข้นสูงถึง 7,219.7 Bq/l และ 4,514.5 Bq/l ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ U.S.EPA กำหนดไว้ (150 Bq/l) และยังมีค่าสูงที่สุดจากการวัดระดับเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติจากแหล่งอื่นๆ ในประเทศไทย (ไพฑูริย์ และสมชัย, 2547) และจากรายงานการตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนในภาคใต้ ของประเทศไทย พบว่า แหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงตามไปด้วย (ฐิติรัตน์ และมารีนา, 2548) ทั้งนี้หากมีการนำพาสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ การกินอาหาร หรือดื่มน้ำ จะเกิดการดูดซึมและสะสมภายในร่างกายคล้ายคลึงกับแคลเซียมเนื่องจากเป็นธาตุในหมู่เดียวกันจึงไปสะสมอยู่ที่กระดูก การขับออกจากร่างกายเป็นไปในอัตราต่ำ เรเดียม-226 ที่สะสมอยู่ในร่างกายจะยังคงสลายตัวปลดปล่อยรังสีแอลฟาอะตอมยิ่งเนื้อเยื่อทำให้เกิดการระคายเคืองเซลล์ผิดปกติ และอาจก่อตัวเป็นมะเร็งในที่สุด หากร่างกายได้รับการสะสมเป็นระยะเวลาหลายปี อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่เพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง มีรายงานว่ เรเดียมที่สะสมในร่างกายจัดเป็นสารก่อมะเร็งในโครงกระดูก มะเร็งโพรงจมูก มะเร็งไซนัส และมะเร็งในสวนติระษะ (May and Rowland., 1985)

จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีแหล่งน้ำพุร้อนมากที่สุดในภาคใต้ โดยมีแหล่งน้ำพุร้อนทั้งหมด 10 แห่ง 8 อำเภอ ได้แก่ น้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน น้ำพุร้อนเขานางฮี และน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ อ.ไชยา น้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน อ.ท่าฉาง น้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน อ.กาญจนดิษฐ์ น้ำพุร้อนบ้านวังหิน อ.นาสาร น้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย อ.คีรีรัฐนิคม น้ำพุร้อนรัตนโกสย อ.พุนพิน น้ำพุร้อนบ้านเขาพลู อ.บ้านนาเดิม น้ำพุร้อนบ้านเขาตอก อ.เคียนซา โดยปัจจุบันแหล่งน้ำพุร้อนเหล่านี้ถูกใช้ประโยชน์เพื่อการสันนาการ และการท่องเที่ยว จากการศึกษาด้านธรณีวิทยา พบว่า แหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีความสัมพันธ์กับหินปูนโดโลไมต์ หินทราย และหินทรายแปง แหล่งน้ำพุร้อนเหล่านี้ถูกควบคุมโดยระบบรอยเลื่อน และรอยแตกซึ่งวางตัวอยู่ในทิศ NW-SE, NE-SW, N-S และ E-W และคาดว่าหินแกรนิตในระดับลึก

เป็นต้นกำเนิดความร้อนของแหล่งน้ำพุร้อนเหล่านี้ โดยความร้อนได้มาจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในหินแกรนิตเหล่านั้น (Chaturongkawanich, 2001)

น้ำพุร้อนในธรรมชาติได้รับแก๊สเรดอนจากเปลือกโลกที่เป็นดิน หิน และทราย ซึ่งมีการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม (U-238) ที่กำเนิดขึ้นมาพร้อมกับโลก ไอโซโทปตัวที่สำคัญของอนุกรมนี้คือ เรเดียม-226 (Ra-226) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปในธรรมชาติ ดังนั้นในน้ำพุร้อนจึงน่าจะมีธาตุเรเดียมปนเปื้อนอยู่ด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในธรรมชาติ ซึ่งถือเป็นเรื่องสำคัญอีกทางหนึ่ง เพื่อใช้ในการประเมินและป้องกันจากการได้รับสัมผัสกัมมันตภาพรังสีของประชาชน และตรวจสอบระดับความปลอดภัยจากรังสี เนื่องจากการได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอกโลก โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการแผ่รังสีจากธรรมชาติ (UNSCEAR, 1988)

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

ตาราง 1.1 ปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งกำเนิดรังสีธรรมชาติ

ที่มา: UNSCEAR, 2000

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

<sup>a</sup> Range from sea level to high ground elevation.

<sup>b</sup> Depending on radionuclide composition of soil and building materials.

<sup>c</sup> Depending on indoor accumulation of radon gas.

<sup>d</sup> Depending on radionuclide composition of foods and drinking water.

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)

เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่อยู่ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 (U-238 series) ซึ่งมียูเรเนียม-238 เป็นนิวไคลด์สารตั้งต้น มีครึ่งชีวิต  $4.51 \times 10^9$  ปี สลายตัวแบบต่อเนื่องมาเป็นเรเดียม-226 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 1,600 ปี และจะสลายตัวต่อไปอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 3.82 วัน สลายตัวต่อไปจนเกิดผลผลิตสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร (Marovic *et al.*, 1996) ในธรรมชาติสามารถพบเรเดียมได้ทั่วไปในหิน ดิน น้ำใต้ดิน รวมทั้งแหล่งน้ำพุร้อนต่างๆ เนื่องจากเรเดียมเป็นธาตุในหมู่ 2 (alkaline earth) เช่นเดียวกับ Ca, Mg ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่เรเดียมมีการกระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย โดยผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติ (Krishnasawami *et al.*, 1982)

โดยในการวิจัยนี้จะนำตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาลในตัวเมือง และผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน มาทำการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ Ra-226 ด้วยเทคนิควิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโคปี และนำค่ากัมมันตรังสีที่วัดได้ ไปทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของทางสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่ากัมมันตรังสีของประเทศต่างๆ ที่ได้ทำการตรวจวัดไว้แล้ว อีกทั้งวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก แคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสมในตัวอย่งน้ำพุร้อน ดังนั้นผลการวิจัยที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถใช้เป็นประโยชน์ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยระดับสูงต่อไป และยังเป็นการสำรวจทางรังสีเพื่อป้องกันความเสี่ยงจากรังสีแก่ประชาชนต่อไปในอนาคต

## 1.2 การตรวจเอกสาร

### 1.2.1 การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของเรเดียม-226 ในน้ำ

กนกพร นามโชติ (2549) ได้ทำการศึกษากัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ด้วยสเปกโตรเมตริ่งสีแกมมา โดยเก็บตัวอย่าง ดิน หิน ทราย และน้ำบ่อตื้น รวมทั้งหมด 258 ตัวอย่าง ผลการตรวจวัดพบว่าในตัวอย่างดินมีค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  และ  $^{40}\text{K}$  อยู่ในช่วง 42-208 (เฉลี่ย  $104 \pm 13$ ) Bq/kg, 49-199 (เฉลี่ย  $109 \pm 14$ )

Bq/kg และ <LLD-757 (เฉลี่ย 238±40) Bq/kg ตามลำดับ ในตัวอย่างหินมีค่าอยู่ในช่วง <LLD-156 (เฉลี่ย 42±23) Bq/kg, 10-234 (เฉลี่ย 61±25) Bq/kg และ <LLD-111 (เฉลี่ย 219±147) Bq/kg ตามลำดับ ในตัวอย่างทรายมีค่าอยู่ในช่วง <LLD-181 (เฉลี่ย 56±12) Bq/kg, 6-232 (เฉลี่ย 65±14) Bq/kg และ <LLD-550 (เฉลี่ย 299±47) Bq/kg ตามลำดับ นำค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีของ <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra และ <sup>40</sup>K มาหาค่ากัมมันตภาพรังสีโดยรวม พบว่าตัวอย่างดินที่ อ.บางแก้ว (519 Bq/kg) อ.ป่าบอน (442 Bq/kg) อ.กงหรา (427 Bq/kg) และอ.ศรีบรรพต (424 Bq/kg) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย 370 Bq/kg เมื่อประเมินความเสี่ยงการได้รับรังสีของประชาชนด้วยค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกและภายในร่างกาย (H<sub>ex</sub>, H<sub>in</sub>) จากการใช้วัสดุก่อสร้างบ้านเรือน พบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับปลอดภัย การหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ <sup>226</sup>Ra ในบ่อน้ำตื้น พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง <LLD-156 (เฉลี่ย 18±07) mBq/l โดยมีตัวอย่างน้ำบ่อน้ำตื้น 1 ตัวอย่าง ที่ อ.บางแก้ว (186 mBq/l) ที่มีค่าสูงกว่าค่าที่ปลอดภัยของทบวงพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (111 mBq/l)

จเร วุฒิศาสตร์ (2548) วัดความเข้มข้นกัมมันตภาพ Ra-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อน้ำตื้น จำนวน 150 ตัวอย่าง ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เตรียมตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคกึ่งตะกอนร่วมเรเดียมโดยใช้ตัวพาแบเรียมซึ่งได้ประยุกต์วิธีการของ Krieger และ Whittaker (1980) วิธีที่ 900.1 และ APHA (1998) วิธีที่ 711°C กรองตะกอนเรเดียมด้วยกระดาษกรองแล้วนำไปวางบนจานเหล็กกล้าไร้สนิม ต่อมานำไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัดรังสีชนิด PIPS พบว่า ความเข้มข้นกัมมันตภาพ Ra-226 มีค่าอยู่ในช่วง 3.5-292.1 mBq/l และมีค่าเฉลี่ย 75.1 mBq/l ซึ่งต่ำกว่าค่า MCL อย่างไรก็ตามมีจำนวนน้ำบ่อประมาณ 21% ที่มีความเข้มข้นกัมมันตภาพ Ra-226 เกินค่า MCL เมื่อประเมินปริมาณรังสีจาก Ra-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปีจากการบริโภคน้ำบ่อของประชาชนในอำเภอนาหม่อม พบว่า มีค่าเฉลี่ย 15.3 µSv.

จิตร์รัตน์ 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 จากทั้งหมด 22 แหล่ง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเกิน 111 mBq/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

ไทรภพ และคณะ (2545) ได้ศึกษาการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าศเรดอนภายในบ้านเรือนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิคนับรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39 จำนวน 2,161 หลังคาเรือน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 9-1,307 Bq/m<sup>3</sup> โดยมีระดับความเข้มข้นก๊าศเรดอนเฉลี่ยของ จ.สงขลา และ จ.พัทลุง เท่ากับ 225 และ 268 Bq/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ซึ่ง

มีค่าสูงกว่าระดับมาตรฐานของ US EPA คือ  $148 \text{ Bq/m}^3$  แต่ต่ำกว่าระดับ  $296 \text{ Bq/m}^3$  ที่เป็นระดับมาตรฐานปฏิบัติของ US NCRP อีกทั้งทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่า มีค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนอยู่ระหว่าง  $267\text{-}144,212 \text{ Bq/m}^3$  (ค่าเฉลี่ย  $8,060 \text{ Bq/m}^3$ ) และพบว่า มี 2 อำเภอ ที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลเกินค่ามาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ( $11,111 \text{ Bq/m}^3$ ) คือ อ.นาหม่อม จ.สงขลา และ อ.กงหรา จ.พัทลุง คือ  $47,471 \text{ Bq/m}^3$  และ  $12,158 \text{ Bq/m}^3$  ตามลำดับ

ปรีดา นวลจริง (2549) ได้ศึกษาการกระจายของสารกัมมันตรังสีเรเดียม-226 ในน้ำป่อดิน ในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการเก็บตัวอย่างน้ำป่อดินในพื้นที่ 4 อำเภอ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้เทคนิคการจับเรเดียมในน้ำด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน และวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาชนิดภูมิหลังต่ำ พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของเรเดียม-226 ของตัวอย่างน้ำป่อดินจาก อ.ฉวาง อ.เมือง อ.ถ้าพรธร และ กิ่ง อ.ช้างกลาง มีค่า 12 28 23 และ  $15 \text{ mBq/L}$  ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวยังต่ำกว่า  $111 \text{ mBq/L}$  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) อีกทั้งยังพบระดับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนสูงมาก ( $4,514.5$  เบคเคอเรล/ลิตร) ที่จังหวัดชุมพร ได้มีการตรวจพบเรดอนปริมาณมากในน้ำในจังหวัดเดียวกัน อาจจะไปสู่การค้นพบแหล่งกัมมันตรังสีธรรมชาติที่มีระดับสูงแห่งใหม่ ซึ่งจะต้องทำการสำรวจต่อไป เพราะอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่สัมผัสแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติด้วย

สุกิจ อติพันธ์ (2550) ได้ศึกษา และกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่มีภูมิหลังรังสีแกมมาสูงผิดปกติ ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ได้ทำการตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาที่ผิวดิน เก็บตัวอย่างดิน ดินก้นบ่อ ทราย และหินแกรนิต รวมทั้งหมด 97 ตัวอย่าง วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา หัววัดชนิด HPGe และ NaI(Tl) ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำป่อดินและน้ำคลอง รวม 43 ตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา ผลการตรวจวัดรังสีแกมมาที่ผิวดิน และในตัวอย่างดิน ทราย หินแกรนิต และผลการตรวจวัดรังสีแอลฟาในตัวอย่างน้ำ พบว่า การมีปริมาณธาตุกัมมันตรังสีค่อนข้างสูงในพื้นที่นี้ น่าจะเกิดจากหินแกรนิตผุ โดยหินแกรนิตเหล่านี้ผุพังแตกสลายกลายเป็นดินและทรายในพื้นที่ และเรเดียมในหินแกรนิตเหล่านี้ น่าจะถูกชะล้างแล้วละลายน้ำเข้าสู่บ่อน้ำในพื้นที่ ขอบเขตพื้นที่ที่มีรังสีภูมิหลังสูง สามารถกำหนดได้จากกราฟวิเคราะห์บีจายโดยวิเคราะห์จากตัวแปรกัมมันตรังสีที่ผิวดิน ( $eU$ ,  $eTh$ ,  $K$ ,  $eTh/eU$ ,  $K/eU$  และ  $K/eTh$ ) และจากปริมาณรังสีแกมมาคำนวณที่ผิวดินและจากตัวอย่างดิน



พบว่า พื้นที่ที่มีรังสีกัมมันตภาพสูงอยู่ทางตะวันออกของตำบลพิจิตรต่อเนื่องไปในตำบลนาหม่อม ตำบลคลองหรีง จนถึงตอนใต้ของตำบลทุ่งขมิ้น คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 50% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งสัมพันธ์กับหินแกรนิตในพื้นที่

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

Holbert และคณะ (1995) ได้ศึกษาความเข้มข้นกัมมันตภาพของ Ra-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 277 ตัวอย่าง จากรัฐ Arizona ประเทศสหรัฐอเมริกา เตรียมตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคการตกตะกอนรวมเรเดียมโดยใช้ตัวพาแบเรียม 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 แห่ง ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน ในประเทศบราซิล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา พบว่า ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ Ra-226 ที่ได้มีค่า  $47.9 \pm 7.1$  และ  $51.6 \pm 8.8$  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<sub>2</sub> 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 ความเข้มข้น

กัมมันตภาพรังสี Ra-226 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 115 mBq/l มีตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 37% ที่มีความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสี Ra-226 รวมกับ Ra-228 มากกว่า 185 mBq/l (5 pCi/l)

### 1.2.2 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 นำตัวอย่างทั้งหมดไปเผาเป็นขี้เถ้าในเตาเผา ด้วยอุณหภูมิ 200-600°C แล้วนำไปวัดรังสีแกมมาด้วยเครื่องวัด HPGe ผลการศึกษาได้ค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในถั่วฝักงั่วนี้ 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 (3 pCi/L)

สิริพร อังกูรรัตน์ (2550) ได้วิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักที่ปลูกในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ตำบลคลองหรั่ง และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ตำบลพิจิตร มีค่าเท่ากับ 1,457 และ 1,082 mBq/kg ตามลำดับ ส่วนในตำบลทุ่งขมิ้นและตำบลนาหม่อมมีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 1,253 และ 1,220 mBq/kg ตามลำดับ พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีการกระจายโดยเฉลี่ยทั่วทั้งอำเภอนาหม่อม ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผัก 13 ชนิด ที่ปลูกในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา พบว่า ตำลึงมีค่าสูงที่สุดและถั่วฝักยาวมีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 7,882 และ 26 mBq/kg ตามลำดับ การกระจายข้อมูลของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีการกระจายทั่วทั้งอำเภอ และจะมีค่าสูงตรงบริเวณใกล้เส้นทางลำน้ำ และคลอง จึงอาจเป็นไปได้ว่าเรเดียม-226 มีกำเนิดจากพื้นที่สูงในเทือกเขาหินแกรนิต โดยเฉพาะบริเวณที่พบรอยเลื่อนทางทิศใต้ของตำบลทุ่งขมิ้นและตำบลคลองหรั่ง ที่มีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 สูง ซึ่งกระจายครอบคลุมพื้นที่ทั้งอำเภอผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติทั้งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

Clulow และคณะ (1998) เก็บตัวอย่างน้ำ ตะกอนในทะเลสาบ และปลา (ใช้น้ำและเครื่องในบางส่วน) 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 ผลไม้ และเนื้อสัตว์ ข้าว และธัญพืช พบไอโซโทปของอนุกรมทอเรียมเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบไอโซโทปของเรเดียม-226 ในผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ข้าว และผัก เมื่อประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคอาหารตลอดทั้งปีเป็น 5.95  $\mu$ Sv

Romilton dos Santos Amaral และคณะ (2005) ได้ศึกษาพื้นที่ในบริเวณที่มีสารประกอบของฟอสเฟต ทางตอนเหนือของประเทศบราซิล ตามแนวชายฝั่งในเมือง Pernambuco และ Paraiba ซึ่งเป็นบริเวณที่มีกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติสูง โดยรังสีเหล่านี้มาจากยูเรเนียม และธาตุที่เกิดจากการสลายตัวของยูเรเนียมปะปนอยู่ในตะกอนฟอสเฟต 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 ตัวอย่าง จากเมืองฟู่จิ ประเทศจีน ตรวจวัดพบว่า มีความเข้มข้น เท่ากับ 147,800 Bq/m<sup>3</sup>, 12,700 mBq/m<sup>3</sup>, 30,200 mBq/m<sup>3</sup> และ 0.54  $\mu$ g/m<sup>3</sup> ตามลำดับ อีกทั้งพบว่า รังสีเรดอน-222 มีค่าสูง เนื่องจากบริเวณนี้มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน และประชาชนในเมืองได้รับรังสีเรดอน-222 โดยตรงจากการบริโภคน้ำใต้ดิน เมื่อประเมินค่าปัจจัยเสี่ยง (lifetime risk) ที่ได้รับรังสีจากการบริโภคน้ำ เท่ากับ  $1.7 \times 10^{-3}$  และพบว่าค่าความเข้มข้นของเรดอน-222 ในน้ำใต้ดินและในอากาศ ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยเรดอน-222 จะพบในอากาศมากกว่าในน้ำใต้ดิน

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณการกระจายของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
  2. เพื่อศึกษาปริมาณการกระจายของเรเดียม-226 ในผิวก้นบ้าน บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของห่วงโซ่อาหาร
  3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์กัมมันตรังสีจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ
- (Specific Activity; S.A.)

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 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 <sup>9</sup> y		U-234 245500 y						U-235 7.0×10 <sup>8</sup> 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 <sup>10</sup> 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  
half-life — 32500 y

particle reactivity  
 low  
 intermediate  
 high

ภาพประกอบ 2.1 อนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติ

1. อนุกรมทอเรียม (Thorium Series, 4n Series) นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ  $^{232}\text{Th}$  ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต  $1.41 \times 10^{10}$  ปี มีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่

เสถียร คือ  $^{208}\text{Pb}$  นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวล (A) หาดด้วย 4 ลงตัว จึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า  $4n$

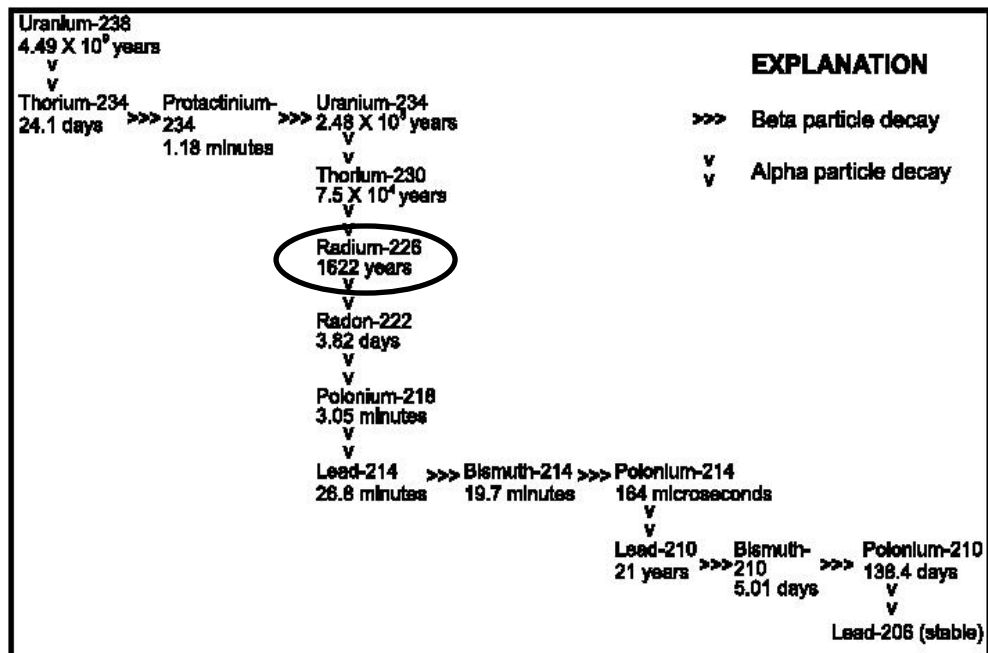
**2. อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium Series,  $4n+1$  Series)** นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ  $^{237}\text{Np}$  มีครึ่งชีวิตประมาณ  $2.14 \times 10^6$  ปี มีการสลายตัวต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่เสถียร คือ  $^{209}\text{Bi}$  นิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขเชิงมวล (A) หาดด้วย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

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

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

อนุกรมเนปทูเนียมมีครึ่งชีวิตสั้น ( $2.14 \times 10^6$  ปี) ได้สลายตัวไปหมดแล้วจึงไม่พบในปัจจุบันซึ่งเริ่มจากเนปทูเนียม-237 (Np-237) สลายตัวให้นิวไคลด์สุดท้าย คือ บิสมัท-209 (Bi-209) อนุกรมทอเรียม อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมแอกทิเนียม (ภาพประกอบ 2.1) ทั้งสามอนุกรมมีคุณสมบัติที่คล้ายกันคือมีครึ่งชีวิตที่ยาวนานนิวไคลด์สุดท้ายสลายตัวให้ตะกั่วเหมือนกันแต่ต่างไอโซโทปกัน ในทุกอนุกรมจะมีแก๊สเฉื่อยเกิดขึ้นที่เลขอะตอม 86

เรเดียม-226 เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม-238 (U-238) สลายตัวให้รังสีแอลฟาเป็นก๊ากัมมันตรังสีเรดอน-222 (Rn-222) มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน ซึ่งผลผลิตจากก๊ากเรดอน-222 ที่สลายตัวจากเรเดียม-226 ให้รังสีแอลฟาเช่นเดียวกัน คือ พอลเนียม-218 (Po-218) มีครึ่งชีวิต 3.05 นาที พอลเนียม-214 (Po-214) มีครึ่งชีวิต 164 ไมโครวินาที และพอลเนียม-210 (Po-210) มีครึ่งชีวิต 138.4 นาที จากนิวไคลด์เรเดียม-226 จะสลายตัวต่อเนื่องจนถึงนิวไคลด์สุดท้ายคือ ตะกั่ว-206 (Pb-206) มีนิวไคลด์ถึง 5 นิวไคลด์ ที่ให้รังสีแอลฟาซึ่งเป็นรังสีที่มีมวลหนัก และวิ่งด้วยความเร็วสูง เมื่อเข้าไปภายในร่างกายก็จะไปชนกับเนื้อเยื่อทำให้เนื้อเยื่อเกิดการระคายเคือง ทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง



ภาพประกอบ 2.2 อนุกรมการสลายตัวของเรเดียม-226

## 2.2 กฎการสลายตัวของนิวไคลด์

เมื่อนิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเปลี่ยนสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีชนิดต่างๆ 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  $\lambda$  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 เบ็กเคเรล (Becquerel; Bq)

โดยที่

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

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



## 2.4 ครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) และชีวิตเฉลี่ย ( $\tau$ )

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

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}N_0 &= N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \\ \ln\left(\frac{1}{2}\right) &= -\lambda t_{1/2} \\ t_{1/2} &= \frac{\ln 2}{\lambda} \\ t_{1/2} &= \frac{0.693}{\lambda}\end{aligned}\quad (2.5)$$

สมการ (2.5) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ ) กับค่าคงที่การสลายตัว ( $\lambda$ ) แต่เนื่องจากอะตอมแต่ละนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีครึ่งชีวิตไม่เท่ากัน โดยค่าเฉลี่ยช่วงชีวิต เรียกว่า ชีวิตเฉลี่ย (mean life:  $\tau$ ) ซึ่งหาได้จากการรวมชีวิตของอะตอมทั้งหมดแล้วหารด้วยจำนวนอะตอมที่มีอยู่

กำหนดให้ อะตอม  $dN_n$  มีช่วงชีวิต  $t_n$  โดย  $n=1, 2, 3, \dots$  จะได้

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{dN_1 t_1 + dN_2 t_2 + dN_3 t_3 + \dots}{dN_1 + dN_2 + dN_3 + \dots} \\ &= \frac{\int_0^{N_\infty} t dN}{\int_0^{N_\infty} dN}\end{aligned}\quad (2.6)$$

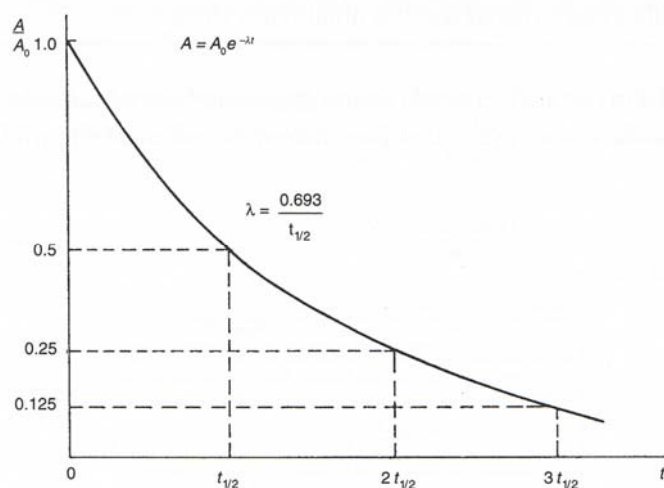
เมื่อ  $dN = -\lambda N dt = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$  สมการ (2.6) เขียนได้ใหม่เป็น

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

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

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

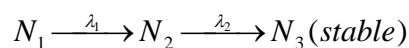
สมการ (2.7) แสดงให้เห็นว่าค่าชีวิตเฉลี่ย ( $\tau$ ) มีค่าแปรผกผันกับค่าคงที่การสลายตัว ( $\lambda$ )



ภาพประกอบ 2.3 แสดงกราฟการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี  
ที่มา: นวลฉวี, 2545

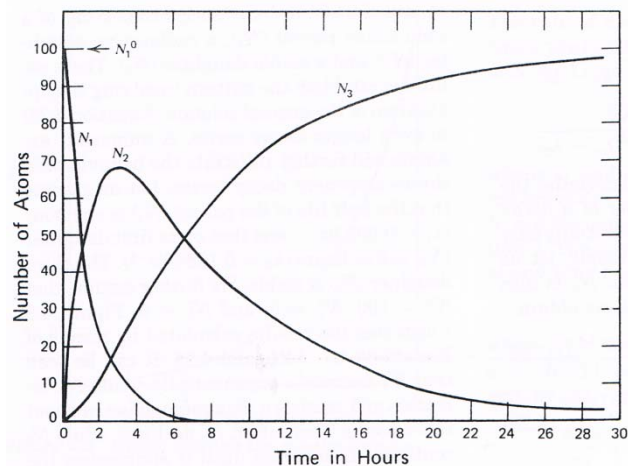
## 2.5 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium)

เนื่องจากมีสารกัมมันตรังสีหลายตัวที่เมื่อสลายตัวแล้วจะทำให้ได้นิวเคลียสของตัวลูกที่ยังคงเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งจะสลายตัวต่อไปพร้อมกับก่อให้เกิดลูกของกัมมันตรังสีตัวใหม่ โดยตัวมันเองก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นพ่อแม่ สมการต่างๆ ไปสำหรับอนุกรมการสลายตัวแบบนี้คือ



เมื่อ  $N_1$  สลายตัวไปเป็น  $N_2$  และเมื่อ  $N_2$  สลายตัวต่อไปอีกจะก่อให้เกิด  $N_3$

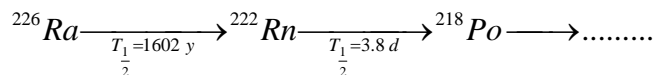
$\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ  $N_1$  ไปเป็น  $N_2$  และ  $N_2$  ไป  $N_3$  ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.4 จำนวนอะตอมของการสลายตัวแบบต่อเนื่องของ  $N_1$ ,  $N_2$  และ  $N_3$  ที่มา: FAURE, 1986

### 2.5.1 สมดุลเซคูลาร์ (Secular equilibrium)

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



สำหรับสมดุลทางรังสีระหว่างเรเดียมและเรดอนเมื่อพิจารณาค่า  $\lambda$  สามารถตัดค่า  $\lambda_1$  ทิ้งได้เลย เมื่อเปรียบเทียบกับค่า  $\lambda_2$  ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามสมการ

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

## 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 หน่วยวัดปริมาณทางรังสี

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

### 2.6.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

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

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

ต่อมาใช้หน่วยตามระบบ SI หน่วยของกัมมันตรังสีจึงเปลี่ยนเป็นเบคเคอเรล (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

## 2.6.2 ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)

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

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

ในปัจจุบันหน่วยเป็นระบบ SI โดยใช้ MKS เป็นมาตรฐาน ทำให้หน่วยปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเปลี่ยนไปเป็นหน่วยเกรย์ (Gy)

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

### 2.6.3 ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)

ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นปริมาณรังสีที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของรังสี เพราะเพียงแต่วัดว่ามีการแตกตัวของอากาศมากน้อยเพียงใด ซึ่งการวัดรังสีในรูปแบบนี้นิยมใช้กันมากเนื่องจากเป็นวิธีที่มีความไวสูง และสามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำ โดยหน่วยเดิมของปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว คือ เรินเกนท์ (R) ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัวให้ประจุ 1 e.s.u. ในอากาศแห้ง 1 cm<sup>3</sup> ที่ ATP หรืออากาศมวล 1.293×10<sup>-3</sup> g สำหรับในหน่วย SI ใช้คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดยประจุ 1 e.s.u มีค่าเท่ากับ 3.335×10<sup>-10</sup> C

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

### 2.6.4 ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)

ปริมาณรังสีสมมูลเป็นหน่วยที่นำเอาผลทางชีววิทยาของรังสีเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยอาศัยค่าปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเฉลี่ยทั่วกลุ่มของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะร่วมกับ Radiation weighting factor ( $W_R$ ) ตามชนิด และพลังงานของรังสี ซึ่งสามารถหาค่าปริมาณรังสีสมมูล ( $H_T$ ) ของกลุ่มเนื้อเยื่อ และอวัยวะต่างๆ 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

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ REM}$$

แต่หน่วยซีเวิร์ต (Sv) เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีที่ใหญ่มาก ดังนั้นค่าปริมาณรังสี  
สมมูล ส่วนมากจึงนิยมใช้เป็นมิลลิซีเวิร์ต (mSv) แทน

ตาราง 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

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

ในการวิจัยนี้เพื่อตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาลในตัวเมือง และผักรพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ที่สะสมอยู่ในตัวอย่างน้ำพุร้อน ได้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย ซึ่งได้แบ่งวิธีดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

#### 3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

##### 3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำ

1. ถังน้ำขนาด 20 ลิตร
2. ถุงพลาสติกสำหรับปิดฝาขวด
3. ฉลากติดกระปุก
4. ปากกาเคมี
5. เครื่องมือบอกพิกัดภูมิศาสตร์ (Garmin etrex, USA)
6. เครื่องมือวัดค่า pH (pH, Eutech Instruments รุ่น pH Scan1)
7. เครื่องมือวัดค่า TDS (TDS, Eutech Instruments รุ่น TDS Scan1)
8. เทอร์โมมิเตอร์แบบพกพา
9. แผนที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

##### 3.1.2 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างผักรพื้นบ้าน

1. ตัวอย่างผักรพื้นบ้าน 8 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง กระถิน พาโหม โสม ชีเหล็ก ชะพลู ผักกูด ใบยอ
2. ถุงพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างผักรพื้นบ้าน
3. ฉลากติดถุงพลาสติก
4. ปากกาเคมี
5. เครื่องมือบอกพิกัดภูมิศาสตร์ (Garmin etrex, USA)
6. แผนที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร



### 3.1.3 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างน้ำ

#### 1. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมน้ำ

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมน้ำ เป็นเครื่องกรองน้ำอย่างง่าย แบบคอลัมน์เดี่ยว (สุภัทร, 2547) แสดงดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมน้ำ

ภาพประกอบ 3.1 เป็นเครื่องกรองน้ำอย่างง่าย แบบคอลัมน์เดี่ยว ภายในจะบรรจุสารจับเรเดียมน้ำลงไป เพื่อทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนไอออนออกจากน้ำ

2. สารดูดจับเรเดียมน้ำ (สารจับเรเดียมน้ำ ชนิดกรดแก่)
3. กระจุกใส่สารจับเรเดียมน้ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5×5.5 เซนติเมตร
4. น้ำกรอง ROs (Reverse Osmosis)
5. ฉลากติดกระจุก
6. กรวยพลาสติก
7. เทปกาว
8. ถาดรอง
9. กรรไกร
10. ผ้าขาวบาง
11. ปากกาเคมี

### 3.1.4 วัสดุ และอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้าน

1. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (METTLER TOLEDO)
2. ถาดจำนวน 6 ใบ สำหรับอบตัวอย่าง
3. หม้อสแตนเลส จำนวน 2 ใบ สำหรับเผาตัวอย่างผักพื้นบ้าน
4. กระจุกใส่ตัวอย่างผักพื้นบ้าน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5×7.5 เซนติเมตร
5. เตาอบไฟฟ้า (ภาพประกอบ 3.2 ก)
6. เตาเผาอุณหภูมิสูง (ภาพประกอบ 3.2 ข)



ภาพประกอบ 3.2 ก. เตาอบไฟฟ้าช่วง  
อุณหภูมิ 25-150°C

ภาพประกอบ 3.2 ข. เตาเผาอุณหภูมิสูง

### 3.1.5 วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับขั้นตอนการตรวจวัดรังสีแกมมา

1. กระจุกสารตัวอย่าง
2. เครื่องคอมพิวเตอร์
3. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา (Gamma Ray Spectrometer) ประกอบไปด้วยหัววัด HPGe (Canberra Model GC 1319, USA) อยู่ภายในถังตะกั่วกำบังรังสี (Canberra Model 747, USA) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA 8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และทำการวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA) ภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ชนิดหัววัดแบบ HPGe

### 3.1.6 วัสดุ และอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

1. ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้ง 10 แห่ง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก คือ ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) รุ่น Optima 4300 DV ยี่ห้อ Perkin Elmer Instrument.

## 3.2 ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตั้งอยู่บนฝั่งตะวันออกของภาคใต้ตอนบน ที่พิกัด UTM 445000E-650000E และ 900000N-1100000N มีเนื้อที่ประมาณ 12,891.4 ตารางกิโลเมตร มีเนื้อที่มากเป็นอันดับ 6 ของประเทศ และมีเนื้อที่มากที่สุดในภาคใต้ ลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความหลากหลาย ทั้งภูเขา ที่ราบลุ่ม แม่น้ำ ชายฝั่งทะเล และหมู่เกาะนับร้อย ทิศตะวันตกเป็นที่ราบสูง มีภูเขาสลับซับซ้อนประมาณ 49% ของพื้นที่ทั้งหมด มีเทือกเขาสูงทอดยาวตามแนวเหนือใต้ของพื้นที่จังหวัด และป่าดิบชื้นในเขตเทือกเขาภูเก็ต และเทือกเขานครศรีธรรมราช ส่วนด้านตะวันออกเป็นแหล่งพืชพรรณและสัตว์ป่าหลากหลาย ทั้งไม้มีค่า ผลไม้ พืชผักพื้นบ้าน สมุนไพร และยังเป็นต้นน้ำลำธารสำคัญถึง 15 ลุ่มน้ำ จนได้ชื่อว่าเป็น “เมืองแห่งลุ่มน้ำ” และยังมีแร่ธาตุที่สำคัญของจังหวัด คือ ยิปซัม โดโลไมต์ แอนไฮไดรต์ หินปูน ดินขาว และบอลเคลย์

ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษาวิจัย ได้พิจารณาลักษณะโครงสร้างทางธรณีและลักษณะของหินที่เป็นปัจจัยสำคัญที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงมาตั้งแต่อดีต ลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ เกิดขึ้นจากการแทรกตัวของหินหลอมเหลวขึ้นมาที่ผิวโลก

ปรากฏเป็นหินแกรนิต 3 แนว ได้แก่ เทือกเขาภูเก็ท เทือกเขานครศรีธรรมราช และเทือกเขาสันกาลาคีรี ประกอบด้วยชั้นหินที่มีอายุตั้งแต่หินยุคเพอร์เมียนจนถึงตะกอนยุคควาเทอร์นารี (Chaturongkawanich, 2001)

หินปูนยุคเพอร์เมียน (280-230 ล้านปี) จัดอยู่ในกลุ่มหินราชบุรี ประกอบด้วย หินปูน หินโดโลไมต์เนื้อปูน และโดโลไมต์มีสีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม สีเทาแกมน้ำตาล และสีเทาแกมแดง มีลักษณะเป็นชั้นบางถึงหนามาก มีสายแร่แคลไซต์และบางช่วงมีหินเชิร์ตแทรกสลับ มีซากดึกดำบรรพ์เป็นพวก fusulinids, brachiopods, corals, ammonoid, pelecypods และ crinoids หินปูนโดโลไมต์ที่พบอยู่ในบริเวณของแหล่งน้ำพุร้อนในอำเภอไชยา ซึ่งมีลักษณะเป็นภูเขาโดดวางตัวอยู่แนวเหนือ-ใต้ นอกจากนี้บนเขาหินปูนโดโลไมต์ในพื้นที่ยังพบหินกรวดมนบางส่วนฝังตัวอยู่ในเนื้อหินปูนโดโลไมต์

หินตะกอนยุคครีเทเชียส-จูแรสซิก (70-180 ล้านปี) ประกอบด้วยหินกรวดมน หินทรายเนื้อปนกรวด หินทรายเนื้อควอตซ์ หินทราย และหินทรายแป้ง มีสีขาว สีขาวแกมเหลือง สีน้ำตาลแกมเหลือง สีแดงแกมม่วงถึงแดงเข้ม มีการวางชั้นเฉียงระดับ และการวางชั้นแบบเรียงขนาดมีหินดินดานแทรกสลับกันอยู่

ตะกอนยุคควอเทอร์นารี ประกอบด้วยตะกอนพัดพา และตะกอนลุ่มน้ำ ซึ่งปกคลุมเนื้อที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม โดยเฉพาะในบริเวณทิศเหนือ และทิศตะวันออก มีลักษณะเป็นป่าชายเลนที่วางตัวขนานไปกับแนวชายฝั่งอ่าวไทย ในบริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้

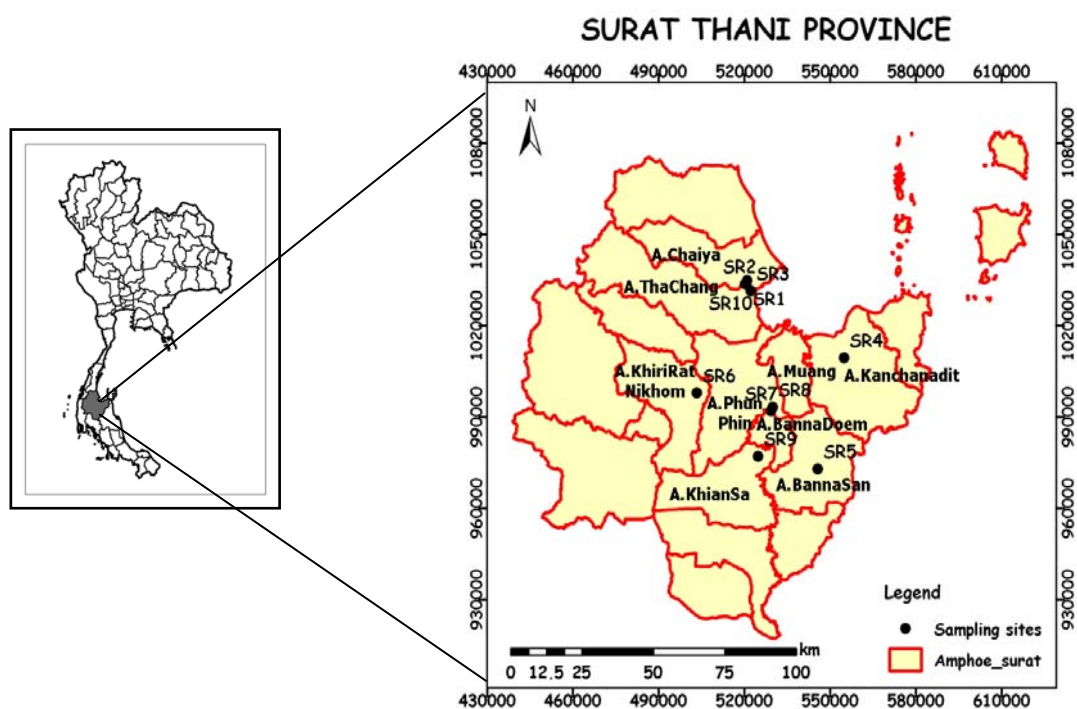
ลักษณะหินที่มีความโดดเด่นที่สุดในจังหวัดสุราษฎร์ธานี คือ หินปูนประเภทแคลเซียมสูง และหินปูนประเภทโดโลไมต์ โดยหินปูนที่พบส่วนใหญ่จะมีต้นกำเนิดมาตั้งแต่ยุคออร์โดวิเซียนถึงยุคเพอร์เมียน นอกจากนี้ลักษณะของการกระจายยังเป็นการกระจายตัวในแนวเหนือ-ใต้ และมีบางบริเวณที่มีการกระจายเป็นแนวค่อนข้างยาวไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้และด้านตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้

โครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญในบริเวณใกล้เคียงของพื้นที่ศึกษา คือ รอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและรอยเลื่อนระนอง โดยรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยวางตัวอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ และลากผ่านตั้งแต่ชายฝั่งทะเลอันดามันจังหวัดภูเก็ต จนถึงอ่าวบ้านดอนที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในขณะที่รอยเลื่อนระนองพาดผ่านระหว่างชายฝั่งทะเลอันดามันจังหวัดระนอง จังหวัดชุมพร และอ่าวไทย และอาจเป็นไปได้ว่ารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย อาจเป็นต้นกำเนิดความร้อนของแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี อนึ่งพื้นที่ศึกษาไม่มีหินโผล่ของหินแกรนิตหรือหินแปรซึ่งสัมพันธ์กับการแทรกซอนของหินแกรนิต มีแต่การเปลี่ยนแปลงของหินปูนเป็นหินปูนโดโลไมต์ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีของหินตะกอน

### 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 กำหนดสถานที่เก็บตัวอย่าง

ในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง ได้พิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พื้นที่ที่มีแหล่งน้ำพุร้อน มีน้ำบ่อตื้น และผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงกับแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 150 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็นตัวอย่างน้ำพุร้อน 86 ตัวอย่าง น้ำบ่อตื้น 25 ตัวอย่าง น้ำบาดาลในตัวเมือง 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างผักพื้นบ้าน 30 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำพุร้อนทั้งหมด 10 แหล่ง 8 อำเภอ ได้แก่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) และแหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) แหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา แหล่งน้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน (SR3) อ.ท่าฉาง แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสีย์ (SR7) อ.พุนพิน แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาพลู (SR8) อ.บ้านนาเดิม และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา



ภาพประกอบ 3.4 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนและผักพื้นบ้าน ทั้งหมด 10 บริเวณ

### 3.3.2 การเก็บ และเตรียมตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาลในตัวเมือง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 รอบ ได้แก่ รอบที่ 1 เดือนมกราคม 2551 รอบที่ 2 เดือนมิถุนายน 2551 รอบที่ 3 เดือนกันยายน 2551 และรอบที่ 4 เดือนมีนาคม 2552 ซึ่งขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำได้พิจารณาการเก็บตัวอย่างน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนจำนวน 86 ตัวอย่าง กลุ่มที่สองเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในละแวกใกล้เคียงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบางพื้นที่ที่มีน้ำบ่อตื้นและน้ำบาดาลในตัวเมืองบางตัวอย่าง จำนวน 34 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 120 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ (ภาพประกอบ 3.4) ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะเก็บน้ำจำนวน 20-30 ลิตร บรรจุขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาดด้วยน้ำ ROs ปิดฝาให้สนิท พร้อมทั้งบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Garmin etrex, USA) (ภาพประกอบ 3.5 ก) วัดค่าอุณหภูมิของน้ำพุร้อน (T) (ภาพประกอบ 3.5 ข) วัดค่ามวลสารรวมที่ละลายในน้ำ (TDS) (ภาพประกอบ 3.5 ค) และค่าความเป็นกรดเบส (pH) (ภาพประกอบ 3.5 ง) ในตัวอย่างน้ำของแต่ละพื้นที่

#### ขั้นตอนการจับเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำด้วยสารดูดจับเรเดียม ดังนี้

1. ปั่นตัวอย่างน้ำ 20 ลิตร โดยการใส่ตัวอย่างน้ำในถังแรงดันขนาด 12 ลิตร ใส่ครึ่งละ 10 ลิตร แล้วทำการปั้มน้ำให้ไหลผ่านอุปกรณ์จับเรเดียมในน้ำซึ่งภายในจะบรรจุสารดูดจับเรเดียม (absorbant) ที่พัฒนาและทดสอบแล้วในห้องปฏิบัติการ (สุภัทร, 2547) โดยควบคุมอัตราการไหลผ่านของน้ำ ซึ่งแต่ละตัวอย่างน้ำจะใช้สารดูดจับเรเดียมประมาณ 150-160 กรัม (ภาพประกอบ 3.5 จ)
2. เมื่อปั้มน้ำจนครบ 20 ลิตร นำสารดูดจับเรเดียมบรรจุลงในกระปุกพลาสติกที่เตรียมไว้ ปิดฝาให้สนิทพร้อมพันด้วยเทปกาวเพื่อการรั่วไหลของแก๊สเรดอน และติดฉลากบอกข้อมูลที่ทำกรทดลอง ตั้งทิ้งไว้ 30 วัน เพื่อให้กัมมันตภาพรังสีของ U/Th และลูกหลานอยู่ในสภาวะสมดุลทางกัมมันตภาพรังสี (ภาพประกอบ 3.5 ฉ)
3. ทำความสะอาดเครื่องมือจับเรเดียมด้วยน้ำ ROs (Reverse Osmosis) เพื่อใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำครั้งต่อไป
4. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาแบบหัววัด HPGe เป็นเวลา 10,800 วินาที (ภาพประกอบ 3.3)



ภาพประกอบ 3.5 ก. เก็บตัวอย่างน้ำ และวัดพิกัดด้วย GPS



ภาพประกอบ 3.5 ข. วัดอุณหภูมิตัวอย่างน้ำพุร้อน



ภาพประกอบ 3.5 ค. วัดค่า TDS



ภาพประกอบ 3.5 ง. วัดค่า pH



ภาพประกอบ 3.5 จ. นำตัวอย่างน้ำผ่านอุปกรณ์จับเรเดียมน้ำ ซึ่งภายในจะบรรจุสารดูดจับเรเดียมน้ำ (absorbant)



ภาพประกอบ 3.5 ฉ. นำสารจับเรเดียมน้ำบรรจุลงกระปุกและปิดผนึกตัวอย่าง

ภาพประกอบ 3.5 ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างน้ำ

### 3.3.3 การเก็บ และการเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้าน

เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้านที่มีในละแวกใกล้เคียงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บตัวอย่างผักพื้นบ้านทั้งหมด 8 ชนิด จำนวน 30 ตัวอย่าง (ตาราง 3.1) ได้แก่ ผักบั้ง กระถิน โสม ขี้เหล็ก พาโหม ใบชะพลู ผักกูด ใบยอ จากพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนบางพื้นที่ ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งได้วัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Garmin etrex, USA) ดำเนินการเก็บตัวอย่างผักพื้นบ้านในเดือนกันยายน 2551 ดังนี้

- แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 4 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 2 ชนิด ได้แก่ ผักกูด และโสม

- แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 9 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 2 ชนิด ได้แก่ กระถิน และ ผักบั้ง

- แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 4 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 3 ชนิด ได้แก่ ผักบั้ง ใบยอ และใบชะพลู

- แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม ได้เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 2 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 1 ชนิด ได้แก่ ผักบั้ง

- แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา ได้เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 4 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 2 ชนิด ได้แก่ ใบชะพลูและใบพาโหม

- แหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 5 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 1 ชนิด ได้แก่ กระถิน

- ในตัวเมือง (ม.ราชภัฏฯ (SRU)) อ.เมือง เก็บตัวอย่างผักพื้นบ้าน 2 ตัวอย่าง ที่กระจายบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี โดยเก็บผักพื้นบ้านได้ 1 ชนิด ได้แก่ ขี้เหล็ก

เก็บผักพื้นบ้านตัวอย่างละประมาณ 1-2 กิโลกรัม (ภาพประกอบ 3.6 ก) นำมาล้างและซังน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักสด (ภาพประกอบ 3.6 ข) จากนั้นนำไปอบแห้งไล่ความชื้นด้วยเตาอบไฟฟ้า (ภาพประกอบ 3.6 ค) ที่อุณหภูมิ 120-150°C เป็นเวลา 360 นาที หลังจากนั้นนำไปเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 180 นาที (ภาพประกอบ 3.6 ง) จะได้ขี้เถ้าของตัวอย่างผักพื้นบ้าน (ภาพประกอบ 3.6 จ) บรรจุใส่กระปุกปิดผนึกตัวอย่างผักพื้นบ้าน (ภาพประกอบ 3.6 ฉ) ตั้งทิ้งไว้ 30 วัน จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ชนิดหัววัด HPGe โดยตัวอย่างผักพื้นบ้านจะใช้เวลาวัดตัวอย่างละ 21,600 วินาที (ภาพประกอบ 3.3)

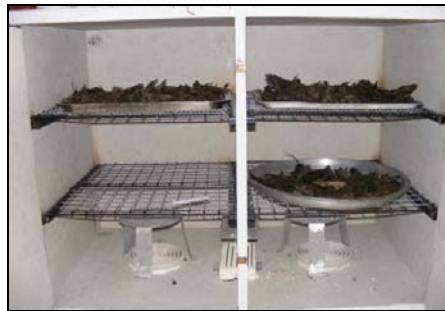




ภาพประกอบ 3.6 ก. เก็บตัวอย่างผัก  
พื้นบ้าน จากแหล่งน้ำพุร้อนต่างๆ



ภาพประกอบ 3.6 ข. ล้าง และบั่นที่ก  
น้ำหนักสด



ภาพประกอบ 3.6 ค. อบแห้งใล่  
ความชื้น ที่อุณหภูมิ 120-150°C



ภาพประกอบ 3.6 ง. เผาจนเป็นขี้เถ้า  
ที่อุณหภูมิ 600°C



ภาพประกอบ 3.6 จ. ขี้เถ้าผักพื้นบ้าน  
จากการเผา



ภาพประกอบ 3.6 ฉ. นำขี้เถ้าผักพื้นบ้าน  
บรรจุลงกระปุกและปิดผนึกตัวอย่าง

ภาพประกอบ 3.6 ขั้นตอนการเก็บและการเตรียมตัวอย่างผักพื้นบ้าน

ตาราง 3.1 จำนวนตัวอย่างผักพื้นบ้านแต่ละชนิด

Type of Vegetables	Part of use	Sample of Vegetables						
		SR2	SR4	SR5	SR6	SR9	SR10	SRU
Oak fern (ผักกูด)	leave	2	-	-	-	-	-	-
Fame-Flowe (โสม)	leave	2	-	-	-	-	-	-
Swamp Cabbage (ผักบั้ง)	leave	-	4	2	2	-	-	-
White Popina (กระถิน)	leave	-	5	-	-	-	5	-
Betel vine (ใบชะพลู)	leave	-	-	1	-	2	-	-
Indian Mulberry (ใบยอ)	leave	-	-	1	-	-	-	-
Pacderia Foetida (พาโหม)	leave	-	-	-	-	2	-	-
Yellow Cassia (ขี้เหล็ก)	leave	-	-	-	-	-	-	2
Total		4	9	4	2	4	5	2

หมายเหตุ: - ไม่มีตัวอย่าง

### 3.3.4 การเตรียมสารมาตรฐานน้ำ ROs (Reverse Osmosis)

การเตรียมสารมาตรฐานน้ำ ROs (Reverse Osmosis) เพื่อใช้ในการวัดค่ารังสีกัมมันตรังสี

1. นำตัวอย่างน้ำ ROs ปริมาตร 20 ลิตร
2. ทำการบีบตัวอย่างน้ำ โดยการใส่น้ำในถังแรงดันขนาด 12 ลิตร โดยใส่น้ำครั้งละ 10 ลิตร แล้วทำการบีบน้ำให้ไหลผ่านสารจับเรเดียมที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ของเครื่องมือจับเรเดียมน้ำ โดยใช้สารดูดจับเรเดียมประมาณ 150-160 กรัม
3. เมื่อบีบตัวอย่างน้ำ ROs จนครบ 20 ลิตร นำสารดูดจับเรเดียมบรรจุลงในกระปุกพลาสติกที่เตรียมไว้ ปิดฝาให้สนิทพร้อมพันด้วยเทปกาวยเพื่อการรั่วไหลของแก๊สเรดอนและติดฉลากบอกข้อมูลที่ทำกรทดลอง ตั้งทิ้งไว้ 30 วัน เพื่อให้ตัวอย่างเข้าสู่สมดุลทางรังสี
4. นำตัวอย่างน้ำ ROs ไปตรวจวัดรังสีแกมมา ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ชนิดหัววัด HPGe เป็นเวลา 10,800 วินาที

### 3.3.5 การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อ ตื้นน้ำ ROs (Reverse Osmosis) และฝักพื้นบ้าน ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา แบบหัววัด HPGe

1. เข้าโปรแกรม Genie 2k
2. Click file แล้วไป click open data source
3. Click detector แล้วเลือก DET 01
4. Click MCA แล้วไป click adjust แล้วเลือก click HVPS เลือก click on
5. รอคำว่า wait ให้หายก่อน แล้ว click exit
6. Click MCA แล้วไป click acquire setup แล้วตั้งเวลาที่ต้องการวัด คิดเป็นวินาที (Second) Click execute และปล่อยทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง
7. การตรวจวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำ และฝักพื้นบ้าน ทำได้โดยวางกระปุกตัวอย่างให้อยู่กึ่งกลางของหัววัดรังสีแกมมา และ Click start เพื่อวัดรังสีแกมมา โดยใช้เวลาในการวัดรังสีแกมมา 10,800 วินาที และ 21,600 วินาที ตามลำดับ
8. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการบันทึกสเปกตรัมรังสีแกมมาไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์
9. จากนั้นปิดเครื่องโดย Click MCA ไป Click adjust แล้วเลือก Click HVPS เลือก Click off
10. รอคำว่า wait ให้หายก่อน แล้ว Click exit
11. ปิดโปรแกรม Genie 2k แล้วปิดสวิทช์ที่ MCA

### 3.3.6 การปรับเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency Calibration)

การคำนวณค่าประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว คือ ลักษณะรูปร่างของภาชนะที่บรรจุตัวอย่าง (Geometry) ขนาดของกระปุกใส่ตัวอย่าง (Sample-size) ความหนาแน่นของตัวอย่าง (Density) ระยะห่างระหว่างสารตัวอย่างกับหัววัด และสำหรับหัววัดที่ใช้วัดรังสีแกมมา ค่าประสิทธิภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับค่าพลังงานรังสี

ดังนั้นในระบบการวัดรังสีหนึ่งๆ จึงต้องมีการปรับเทียบค่าประสิทธิภาพโดยการใช้สารมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นหรือค่ากัมมันตภาพของไอโซโทปต่างๆ ที่ปลดปล่อยรังสีแกมมาหลายค่าพลังงาน กลุ่มข้อมูลของค่าประสิทธิภาพและค่าพลังงานจะมีความสัมพันธ์กัน ดังสมการ (3.1)

$$Efficiency = \frac{Net\ area}{(livetime)(Activity)(Yield)} \quad (3.1)$$

เมื่อ Activity	คือ	ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี มีหน่วยเป็น Bq ของสารมาตรฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ
Yield	คือ	branching ratio fraction
Live time	คือ	the actual ADC live time มีหน่วยเป็นวินาที (s)
Efficiency	คือ	ค่าประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมา ในหน่วย cps/Bq
Net area	คือ	พื้นที่ใต้ยอดสเปกตรัมพลังงานรังสีที่วิเคราะห์

จากการทดลองใช้ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาที่มีหัววัด HPGe และ MCA ขนาด 8192 ช่อง ทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานรังสีแกมมา โดยการวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยมาจากสารอ้างอิงมาตรฐานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, International Atomic Energy Agency) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน IAEA EU-152

### 3.3.7 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด HPGe

สเปกตรัมรังสีแกมมาของแต่ละตัวอย่างจะถูกวัดด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ (Gamma ray spectrometer) โดยมีหัววัด HPGe (High Purity Germanium) (Canberra Model GC 1319, USA) อยู่ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสีกัมมันตภาพรังสี (Canberra Model 747, USA) หัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 21, USA) หัววัดรังสีแกมมามีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13.9% และมีกำลังแยก 1.75 keV ที่พลังงานรังสีแกมมา 1332 keV ของโคบอลต์-60 และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพ์ตันเท่ากับ 44.8: 1

การวิเคราะห์สเปกตรัมที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาชนิด HPGe และ MCA จะประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ว่ายอดพลังงานรังสีแกมมาแต่ละยอดพลังงานมาจากนิวไคลด์ตัวใด โดยปกติยอดพลังงานรังสีแกมมาของหัววัด HPGe จะมีความแหลมคม และถ้าเปรียบเทียบพลังงานกับช่องทำได้โดยตรง การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Automatic peak search) ของโปรแกรมวิเคราะห์ จะทำให้สามารถสรุปชนิดของนิวไคลด์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

ขั้นตอนสุดท้ายของการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสี คือ การหาความเข้มของกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของแต่ละไอโซโทป ซึ่งโดยปกติพื้นที่ใต้สเปกตรัม (Net area) จะ

สัมพันธ์โดยตรงเชิงเส้นกับความเข้มข้น และกับความเข้มข้น แต่ก็จำเป็นต้องปรับแก้ค่าประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงานต่าง ๆ ด้วย (ประสิทธิภาพของหัววัดเป็นฟังก์ชันกับพลังงานรังสี) สัดส่วนการสลายตัวของพลังงานรังสีตัวนั้นและค่าครึ่งชีวิต

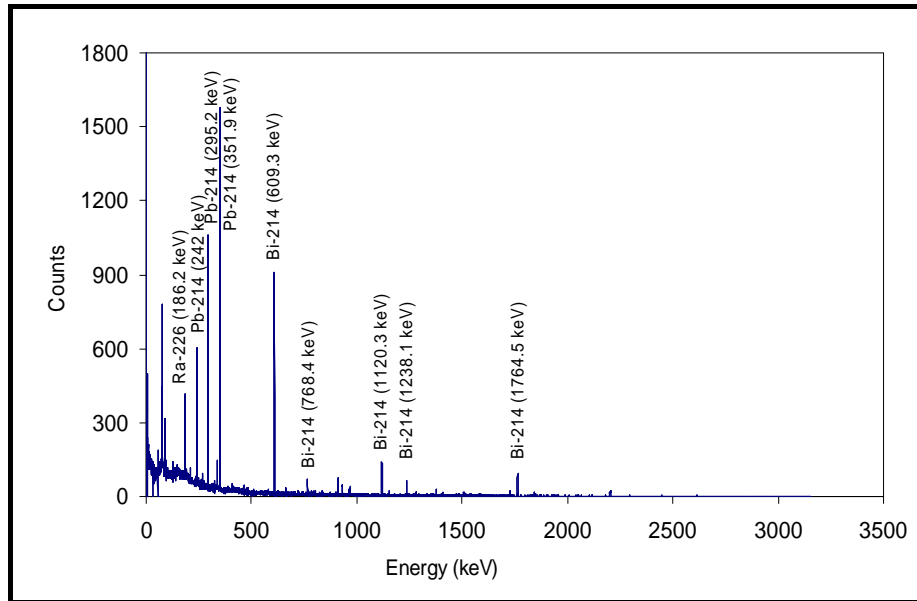
ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของตะกั่ว-214 ที่พลังงาน 295.2 keV และ 315.9 keV จากยอดพลังงานรังสีแกมมาของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40 จากยอดพลังงานรังสีแกมมา ที่พลังงาน 1460.8 keV โดยใช้เวลาในการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำและตัวอย่างผักพื้นบ้านเป็นเวลา 10,800 วินาที และ 21,600 วินาที ตามลำดับ โดยได้ทำการปรับเทียบมาตรฐานระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาที่ใช้ในการวิเคราะห์เรเดียม-226 ตะกั่ว-214 บิสมัท-214 และโพแทสเซียม-40 ด้วยสารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA EU-152 จากนั้นนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ไปใช้ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาลในตัวเมือง และผักพื้นบ้านต่อไป คำนวณจากสมการ (3.2) และสมการ (3.3) ดังนี้

$$Activity (Bq) = \frac{Net Area}{(Live Time)(Efficiency)(Yield)} \quad (3.2)$$

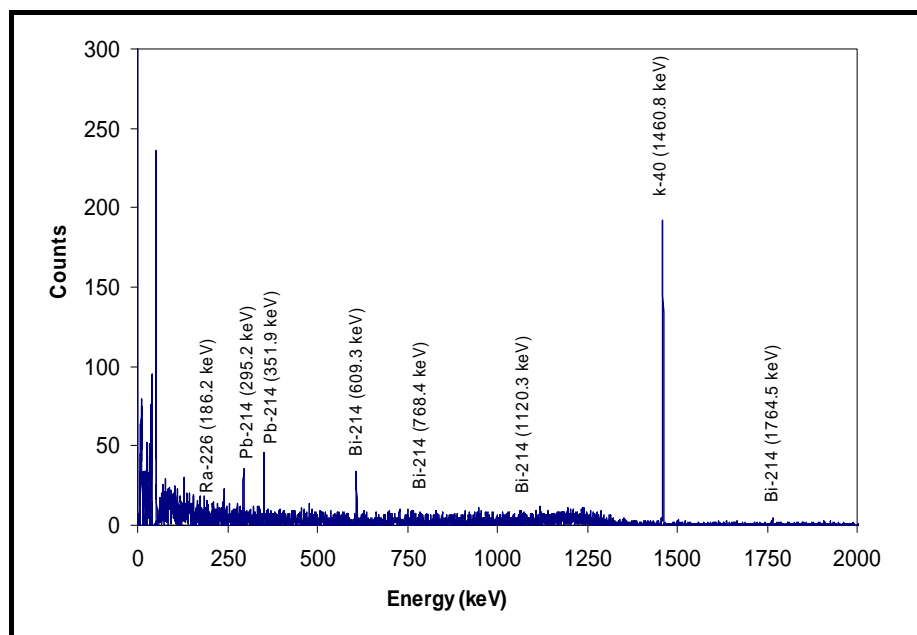
$$ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 (Bq/kg) = \frac{Activity(Bq)}{weight(kg)} \quad (3.3)$$

เมื่อ Activity คือ ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี มีหน่วยเป็น Bq ของสารมาตรฐาน  
ฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ  
Yield คือ branching ratio fraction  
Live time คือ the actual ADC live time มีหน่วยเป็นวินาที (s)  
Efficiency คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมา ในหน่วย  
cps/Bq  
Net area คือ พื้นที่ที่ยอดสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่วิเคราะห์ได้

คำนวณค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในหน่วย mBq/L และ mBq/kg



ภาพประกอบ 3.7 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำพุร้อน บ้านน้ำพุร้อน อ.ไชยา (SR1)



ภาพประกอบ 3.8 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของรังสีแกมมาในตัวอย่างฝุ่นบ้าน (ตะพูลู) บ้านเขาตอก อ.เคียนซา (SR9)

### 3.3.8 ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด (Lower Limit of Detection, LLD)

ในทางปฏิบัติ จะทำการตรวจวัดรังสีจากธรรมชาติ (background) ก่อนการวัดตัวอย่าง ซึ่งเราสามารถระบุบอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าวัดรังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไรเราเรียกระดับนี้ว่า ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด ทั้งนี้เป็นเพราะการวัดค่ารังสีจากธรรมชาติและค่าวัดรังสีในตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 โดยในการวัดจะต้องได้ผลการวัดจากตัวอย่างมากกว่าค่าขีดจำกัดของห้วงวัดจึงถือได้ว่าเป็นผลจากการสลายตัวของรังสีในตัวอย่าง

ซึ่งสามารถหาค่าขีดจำกัดของห้วงวัดได้จากสมการต่อไปนี้

$$LLD = \frac{4.66 S_n}{\xi} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $LLD$  คือ ค่าขีดจำกัดของห้วงวัด  
 $\xi$  คือ ค่าประสิทธิภาพของห้วงวัด  
 $S_n$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับที่ห้วงวัดนับได้

โดยที่

$$S_n = \sqrt{S_T^2 + S_B^2} \quad (3.5)$$

และ

$$S_T^2 = \frac{R_T}{t_c} \quad (3.6)$$

$$S_B^2 = \frac{R_B}{t_c} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $R_B$  คือ ค่าอัตราการนับในธรรมชาติ (background count rate)  
 ซึ่งเท่ากับ  $\frac{\text{count background}}{t_c}$

$R_T$	คือ	ค่าอัตราการนับรวม (gross count rate) ซึ่งเท่ากับ
		$\frac{\text{count net}}{t_c}$
$S_B^2$	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $R_B$
$S_T^2$	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $R_T$
$t_c$	คือ	ระยะเวลาที่ทำการวัด

### 3.3.9 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในตัวอย่างน้ำพุร้อน

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้ง 10 แหล่ง ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) รุ่น Optima 4300 DV ยี่ห้อ Perkin Elmer Instrument.

### 3.4 การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของรังสีต่อมนุษย์ จากการบริโภคน้ำและผักพื้นบ้านที่มีการปนเปื้อนรังสี จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบที่มาจากเรเดียม-226 และลูกหลานของมันเท่านั้น โดยจะไม่พิจารณาส่วนที่เป็นผลกระทบที่มาจาก ทอเรียม-232 และลูกหลานของทอเรียม-232

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

นอกจากนี้ การประเมินการบริโภคผักพื้นบ้านที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ของสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสี (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR, 2000) ซึ่งประเมิน



อัตราการบริโภคผักพื้นบ้านไว้ที่ 164 กรัมต่อวัน ในระยะเวลา 1 ปี ประชาชนจะบริโภคผักพื้นบ้าน 60 กิโลกรัม เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28  $\mu\text{Sv/Bq}$  เป็นปัจจัยสำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose) จากสมการ (3.8)

$$\text{Adult Annual Equivalent Dose (Sv/y)} = \text{Factor Value (Sv/Bq)} \times \text{Consumption (kg/y)} \times \text{Specific activity of Radium-226 (Bq/kg)} \quad (3.8)$$

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 ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีมีหน่วยเป็น  $\mu\text{Sv/y}$

### 3.5 สถิติของการนับข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย (Mean) หมายถึง ค่าตัวแทนข้อมูลที่มาจากทุกค่าของข้อมูลจริงถูกเฉลี่ยมาเป็นตัวแทนข้อมูลเพียงค่าเดียว นิยมใช้มากที่สุด และมีคุณสมบัติทางคณิตศาสตร์มากที่สุด เพราะนำข้อมูลทุกตัวมาหาค่าเฉลี่ย ยกเว้นกรณีที่มีข้อมูลมีการกระจายมากๆ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของข้อมูล ได้แก่

1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\bar{X}$  หมายถึง ค่ากลางของข้อมูลที่หาค่าได้จากผลรวมข้อมูลชนิดปริมาณทั้งหมด จากนั้นหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)

$$\text{โดย} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3.9)$$

1.2 ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean) แทนด้วยสัญลักษณ์  $G$  โดยสำหรับเลขจำนวนเต็มบวก  $N$  จำนวน ประกอบด้วย  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$  เป็นรูปแบบอนุกรมเรขาคณิต ค่าเฉลี่ยข้อมูลหาได้จาก

$$G = \sqrt[N]{X_1 X_2 X_3 \dots X_N} \quad (3.10)$$

จะใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายมาก และข้อมูลไม่มีค่า 0 เมื่อแปลงเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแล้วข้อมูลจะมีลักษณะการกระจายแบบปกติ

1.3 ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic mean) แทนด้วยสัญลักษณ์  $H$  คือส่วนกลับของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของจำนวนตัวเลขซึ่งกันและกัน โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$H = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{X_i}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{X_i}} \quad (3.11)$$

2. มัชฌิม (Median) เป็นค่าสถิติที่ใช้ได้กับข้อมูลที่อยู่ตรงกลางเมื่อเรียงค่าจากน้อยไปมาก ใช้เมื่อข้อมูลมีค่าสูงสุด และต่ำสุดต่างกันมาก เป็นค่าสถิติที่มีความคงที่น้อยกว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิต แต่มีค่าคงที่มากกว่าค่าฐานนิยม เป็นค่าที่ใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ใกล้เคียงน้อยกว่าค่าเฉลี่ย แต่ดีกว่าค่าฐานนิยม สามารถใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนที่แตกต่างไปจากข้อมูลอื่นมากๆ ปนอยู่ด้วยได้ เนื่องจากจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการคำนวณค่ามัชฌิมที่จัดว่าเป็นตัวแทนของข้อมูล

3. ฐานนิยม (Mode) เป็นค่าสถิติที่ใช้กับข้อมูลได้ทุกชนิด คือมีจำนวนข้อมูลที่ซ้ำมากที่สุด ใช้ในข้อมูลชุดหนึ่งเป็นค่าสถิติที่หาง่ายที่สุดแต่เป็นตัวแทนที่มีความหมายน้อยที่สุด เป็นค่าที่มีความคงที่น้อยที่สุดและในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ค่าฐานนิยมจะใกล้เคียงความจริงน้อยที่สุด

4. การวัดการกระจายของข้อมูล (Measurement of Dispersion) สถิติที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลมีหลายแบบ เช่น พิสัย (Range) ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Quartile Deviation) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าความแปรปรวน (Variance) ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) การผันแปรปกติ (Coefficient of Variation) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of the mean)

ก. พิสัย (Range) จะบอกค่าต่ำสุดและสูงสุดของข้อมูลนั้น

ข. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จะมีค่าสูงถ้าข้อมูลแต่ละค่าได้มาจากประชากรที่มีลักษณะแตกต่างกันมาก และจะมีค่าน้อย ถ้าได้มาจากประชากรที่มีลักษณะแตกต่างกันน้อย

ค. การผันแปรปกติ (Coefficient of Variation) เป็นตัวเลขที่มีประโยชน์ในการใช้เปรียบเทียบขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเหล่านั้นไม่เท่ากันหรือมีหน่วยวัดต่างกัน

$$\text{Coefficient of Variation} = \frac{S.D}{\text{mean}} \times 100 \quad (3.12)$$

ทั้งนี้เพื่อให้ SD ของข้อมูลกลุ่มต่างๆ เปรียบเทียบกันได้ นอกจากนี้ยังใช้ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมได้ด้วย

ง. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of the mean or SE) คือ ตัวเลขที่บ่งบอกถึงความผันแปรปกติของค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่าง ที่สุ่มออกจากประชากรเดียวกัน ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีค่าน้อยกว่าความแปรปรวนปกติของข้อมูลทั่วไป (Standard Deviation) เพราะค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างย่อมผันแปรน้อยกว่าความผันแปรของกลุ่มประชากร

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (3.13)$$

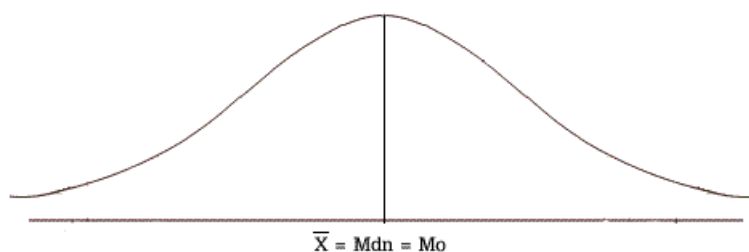
จ. ช่วงเชื่อมั่นที่ 95% (95% Confidence interval) การสรุปข้อมูลนอกจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว ในการทดลองซ้ำๆ 100 ครั้ง ค่าเฉลี่ยที่ได้จะตกอยู่ในช่วง  $X \pm 1.96 SE$  95 ครั้ง

$$95\% \text{ Confidence Interval} = X \pm 1.96SE \quad (3.14)$$

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้หาค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน อีกทั้งได้ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นตัวแทนการแจกแจงข้อมูลการกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาลในตัวเมือง และผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

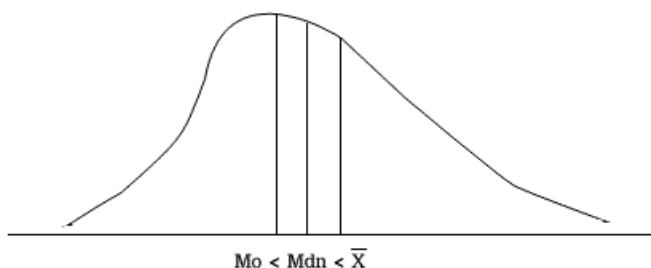
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัธยฐาน และฐานนิยมในลักษณะการแจกแจงต่าง ๆ

1. ข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงแบบโค้งปกติ (Normal Curve) หรือแบบสมมาตร (Symmetric Curve) คือเป็นโค้งที่มีลักษณะคล้ายรูประฆัง (bell shape) จะมีลักษณะสมมาตร ค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัธยฐาน และฐานนิยมจะมีค่าเท่ากัน



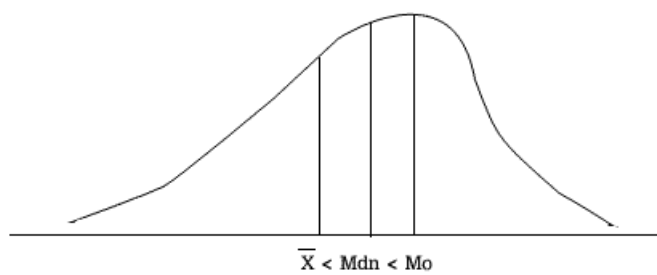
ภาพประกอบ 3.9 แสดงตัวอย่างลักษณะของกราฟการแจกแจงแบบโค้งปกติ (Normal Curve) หรือแบบสมมาตร (Symmetric Curve)

2. ถ้าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางขวา (Positively Skewed) คือโค้งที่แสดงให้เห็น ค่าเฉลี่ยเลขคณิตมากกว่ามัธยฐานและฐานนิยม



ภาพประกอบ 3.10 แสดงตัวอย่างลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางขวา (Positively Skewed)

3. ถ้าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางซ้าย (Negative Skewed) คือโค้งที่แสดงให้เห็นว่า ค่าฐานนิยมจะมากกว่ามัธยฐานและค่าเฉลี่ยเลขคณิต



ภาพประกอบ 3.11 แสดงตัวอย่างลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางซ้าย (Negative Skewed)

## บทที่ 4

### ผลและการอภิปรายผล

การวิจัยนี้เพื่อตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อดูการเชื่อมโยงปริมาณของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน ว่ามีการเชื่อมโยงกับน้ำบ่อตื้น และผักพื้นบ้าน มากน้อยเพียงใด และปริมาณของเรเดียม-226 มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันหรือไม่ จึงได้แบ่งวิธีการอภิปรายผลออกเป็นขั้นตอนดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ

4.2 การกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาล

4.3 การกระจายของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล และความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาในพื้นที่ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

4.4 การประเมินปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำต่อปี

4.5 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน

4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ที่สะสมในตัวอย่างน้ำพุร้อน

#### 4.1 ผลวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน

จากการเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 86 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 10 แห่งใน 8 อำเภอ ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แก่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) และแหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา แหล่งน้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน (SR3) อ.ท่าฉาง แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาพลู (SR8) อ.บ้านนาเดิม

และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาคอก (SR9) อ.เคียนซา งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 4 รอบ ได้แก่ เดือนมกราคม 2551 เดือนมิถุนายน 2551 เดือนกันยายน 2551 และเดือนมีนาคม 2552 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 โดยใช้สารดูดซับเรเดียม แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.1

จากตาราง 4.1 พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนจากการเก็บตัวอย่างรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 190-4,317 (เฉลี่ย  $2,066 \pm 193$ ) mBq/L, 132-5,022 (เฉลี่ย  $2,153 \pm 172$ ) mBq/L, 132-4,379 (เฉลี่ย  $1,863 \pm 185$ ) mBq/L และ 112-3,603 (เฉลี่ย  $1,531 \pm 187$ ) mBq/L ตามลำดับ รายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ของแต่ละตัวอย่างน้ำพุร้อน เช่น พิกัดทางภูมิศาสตร์ อุณหภูมิน้ำพุร้อน (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) แสดงดังตารางภาคผนวก ค-4 เมื่อนำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ของตัวอย่างน้ำพุร้อน เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนเรเดียม-226 สูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminant Level; MCL) ของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA, 1976) ได้กำหนดค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำบริโภคไม่ควรเกิน 185 mBq/L ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนจ.สุราษฎร์ธานี ทั้ง 10 แห่ง แสดงค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนจากการเก็บตัวอย่างในแต่ละรอบ ดังนี้

รอบที่ 1 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 23 ตัวอย่าง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 190-4,317 (เฉลี่ย  $2,066 \pm 193$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร ( $246 \pm 54$  mBq/L) และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา ( $4,221 \pm 258$  mBq/L) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 23 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เกินค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนในบริเวณที่ทำการศึกษามีความเสี่ยงทางรังสีสูง ที่จะนำมาใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนมกราคม 2551 อุณหภูมิ (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อน พบว่ามีปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ ( $39^{\circ}\text{C}$ ) และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา ( $56^{\circ}\text{C}$ ) ตามลำดับ ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (275 ppm) และที่แหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา (9,765 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าความเป็นกรดเบส ต่ำสุดและสูงสุด

พบที่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาคอก (SR9) อ.เคียนซา (7.4) และแหล่งน้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน (SR3) อ.ท่าฉาง (8.8) ตามลำดับ รายละเอียดต่าง ๆ แสดงดังตาราง 4.1

รอบที่ 2 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 16 ตัวอย่าง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 132-5,022 (เฉลี่ย  $2,153 \pm 172$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดที่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร ( $132 \pm 61$  mBq/L) และสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา ( $4,123 \pm 276$  mBq/L) ตามลำดับ จากตารางจะเห็นได้ว่ามีตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เกินค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนในบริเวณที่ทำการศึกษามีความเสี่ยงทางรังสีสูง ที่จะนำมาใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง ยกเว้นตัวอย่างน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร 1 ตัวอย่าง ( $132 \pm 61$  mBq/L) ซึ่งมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่ามาตรฐาน MCL อาจเป็นไปได้ว่าน้ำพุร้อนบริเวณนี้มีการเจือจางกับน้ำผิวดิน เนื่องจากมีแม่น้ำไหลผ่านแหล่งน้ำพุร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เรเดียม-226 เจือจางมากกว่าบริเวณอื่นๆ

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนมิถุนายน 2551 อุณหภูมิ (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อน พบว่า มีปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา ( $39^{\circ}\text{C}$ ) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน ( $59^{\circ}\text{C}$ ) ตามลำดับ ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (270 ppm) และที่แหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา (9,920 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าความเป็นกรดเบส ต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม (7.3) และพบที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา (8.2) ตามลำดับ รายละเอียดต่าง ๆ แสดงดังตาราง 4.1

รอบที่ 3 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 17 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 132-4,379 (เฉลี่ย  $1,863 \pm 185$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดและสูงสุดพบที่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร ( $102 \pm 61$  mBq/L) และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา ( $4,221 \pm 333$  mBq/L) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 16 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงเกินค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนในบริเวณที่ทำการศึกษามีความเสี่ยงทางรังสีสูง ที่จะนำมาใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง ยกเว้นตัวอย่างน้ำพุร้อนจากแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร 1 ตัวอย่าง ( $102 \pm 61$  mBq/L) มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน



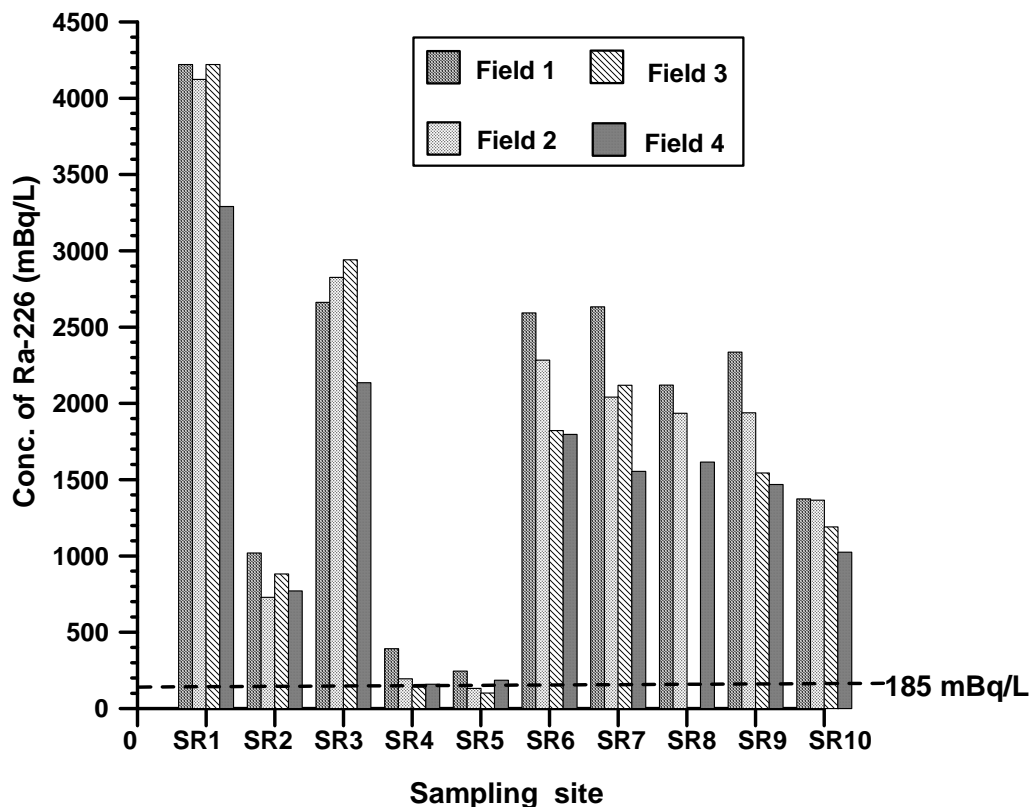
ฐาน MCL อาจเป็นไปได้ว่าน้ำพุร้อนบริเวณนี้มีการเจือจางกับน้ำผิวดิน เนื่องจากมีแม่น้ำไหลผ่านแหล่งน้ำพุร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เรเดียม-226 เจือจางมากกว่าบริเวณอื่นๆ

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนกันยายน 2551 อุณหภูมิ (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อน พบว่ามีปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา (38°C) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน (53°C) ตามลำดับ ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (280 ppm) และแหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา (9,970 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าความเป็นกรดเบสต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร และที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา (7.3) และแหล่งน้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน (SR3) อ.ท่าฉาง และแหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน (7.8) ตามลำดับ รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.1

รอบที่ 4 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 112-3,603 (เฉลี่ย  $1,531 \pm 187$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดและสูงสุด พบที่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ ( $159 \pm 51$  mBq/L) และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา ( $3,291 \pm 276$  mBq/L) จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 27 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เกินค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนในบริเวณที่ทำการศึกษามีความเสี่ยงทางรังสีสูง ที่จะนำมาใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง ยกเว้นตัวอย่างน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ 2 ตัวอย่าง ( $112 \pm 26$  และ  $133 \pm 57$  mBq/L) และตัวอย่างน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร 1 ตัวอย่าง ( $158 \pm 11$  mBq/L) มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL อาจเป็นไปได้ว่าน้ำพุร้อนบริเวณนี้มีการเจือจางกับน้ำผิวดิน เนื่องจากมีแม่น้ำไหลผ่านแหล่งน้ำพุร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เรเดียม-226 เจือจางมากกว่าบริเวณอื่นๆ

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนมีนาคม 2552 อุณหภูมิ (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อน พบว่ามีปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา และที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (40°C) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาพลู (SR8) อ.บ้านนาเดิม (57°C) ตามลำดับ ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (265 ppm) และที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน

(SR1) อ.ไชยา (6,238 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่มีค่าความเป็นกรดเบสต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา (6.8) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (8.0) ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.1



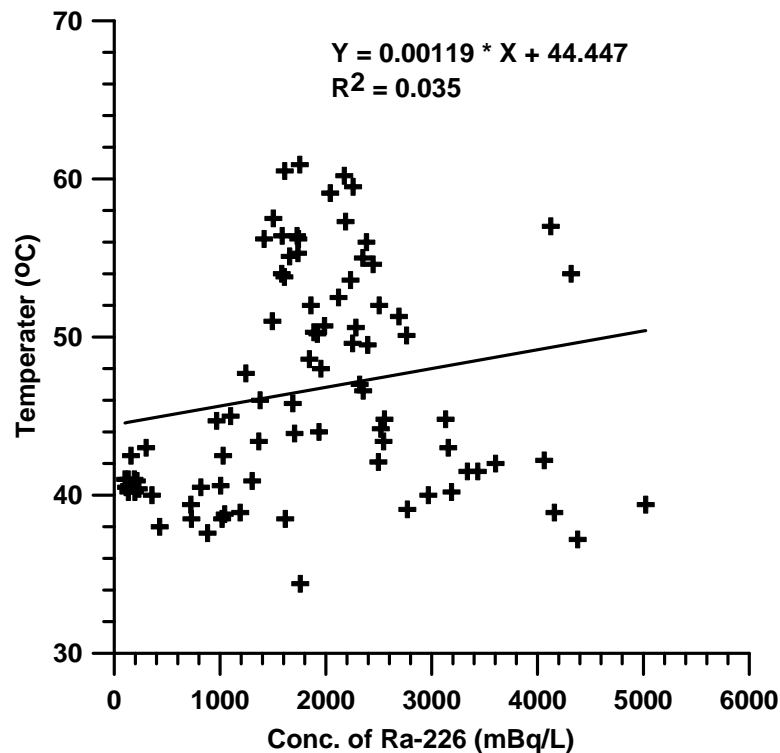
ภาพประกอบ 4.1 แสดงการกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละพื้นที่ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ

เมื่อนำข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละพื้นที่ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ มาเขียนกราฟ พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จะมีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงและต่ำ ได้แก่ ตัวอย่างน้ำพุร้อนจากแหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา และตัวอย่างน้ำพุร้อนจากแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 4.1

เมื่อเรียงลำดับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน ในแต่ละรอบที่ได้เก็บตัวอย่างน้ำจากที่มีค่ามากไปหาตัวอย่างที่มีค่าน้อย ซึ่งได้แก่ รอบที่ 2 ( $2,153 \pm 172$  mBq/L), รอบที่ 1 ( $2,066 \pm 193$  mBq/L), รอบที่ 3 ( $1,863 \pm 185$  mBq/L) และรอบที่ 4

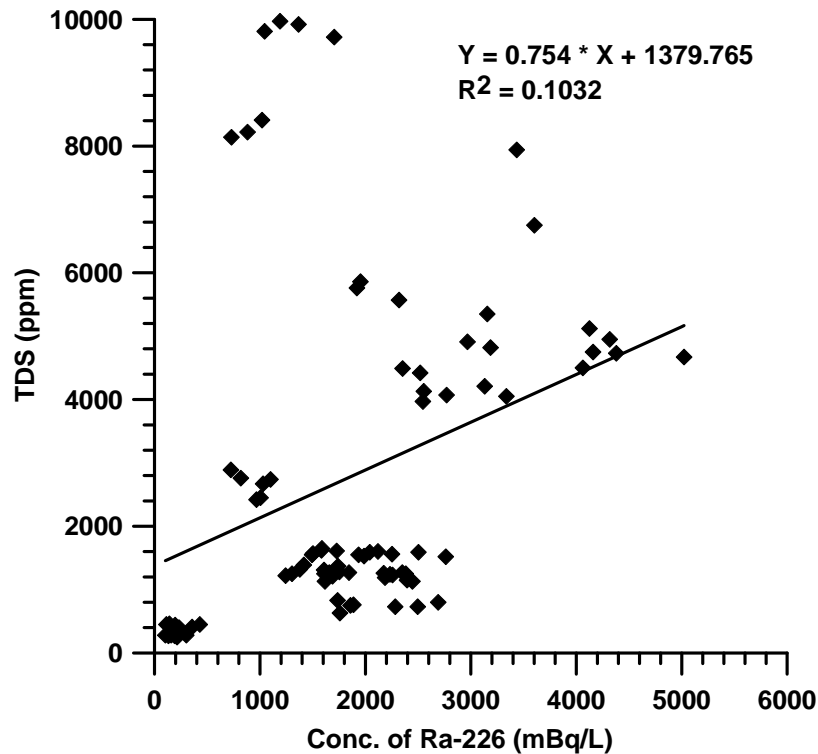
( $1,531 \pm 187 \text{ mBq/L}$ ) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย กัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เกือบทุกบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน MCL  $185 \text{ mBq/L}$ . ยกเว้น 6 ตัวอย่างจากแหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ 3 ตัวอย่าง และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร 3 ตัวอย่าง ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL ( $185 \text{ mBq/L}$ ) เนื่องจากว่าน้ำพุร้อนเป็นน้ำระดับลึกและมีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำที่ไหลผ่านชั้นใต้ดินที่ประกอบด้วยชั้นหินต่าง ๆ ซึ่งแต่ละชั้นหินจะมีแร่ธาตุปะปนอยู่หลายชนิดทั้งที่มีประโยชน์และโทษต่อร่างกาย ดังนั้น น้ำที่ไหลผ่านชั้นมาตามรอยเลื่อน รอยแตก และรูพรุนของหินจึงมีแร่ธาตุต่าง ๆ ขึ้นมาด้วย รวมทั้งสารกัมมันตรังสีเรเดียม-226 ที่ละลายอยู่ในน้ำ หากบริเวณนั้นเป็นชั้นหินที่มีความเข้มข้นของเรเดียม-226 ก่อนข้างสูง ผิดปกติ เมื่อน้ำชะล้างละลายเรเดียม-226 ลงสู่ระบบน้ำใต้ดินสัมผัสความร้อนใต้พิภพ และถูกแรงดันแทรกตามรอยแยกพุ่งขึ้นมาเป็นน้ำพุร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่เรเดียม-226 อาจมาปะปนอยู่ในน้ำพุร้อนเป็นปริมาณสูง อีกทั้งพื้นที่ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีความสัมพันธ์กับหินแกรนิต หินปูนประเภทแคลเซียมสูง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ดังที่ปรากฏในแผนที่ทางธรณีวิทยา ดังนั้น การที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนเหล่านี้มีปริมาณรังสีเรเดียม-226 ก่อนข้างสูง น่าจะเกิดจากหินแกรนิตผุ โดยหินแกรนิตเหล่านี้ผุพังแตกสลายกลายเป็นดินและทรายในพื้นที่ และเกิดจากแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยที่พาดผ่าน จึงทำให้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนมีค่าสูงตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อน พบว่า ค่าอุณหภูมิ (T) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.43, 0.006, 0.002 และ 0.03 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีความสัมพันธ์กันเฉพาะตัวอย่างน้ำพุร้อนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างรอบที่ 1 ส่วนตัวอย่างน้ำพุร้อนที่เก็บในรอบที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความสัมพันธ์กัน เพราะค่า  $R^2$  มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ พบว่า ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.035 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน อาจเป็นไปได้ว่า ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนในแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ณ วันที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วย ดังนั้นค่าอุณหภูมิที่วัดได้จึงมีค่าที่ไม่แน่นอน จึงทำให้ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าอุณหภูมิ (T) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนในพื้นที่ดังกล่าว แสดงดังภาพประกอบ 4.2



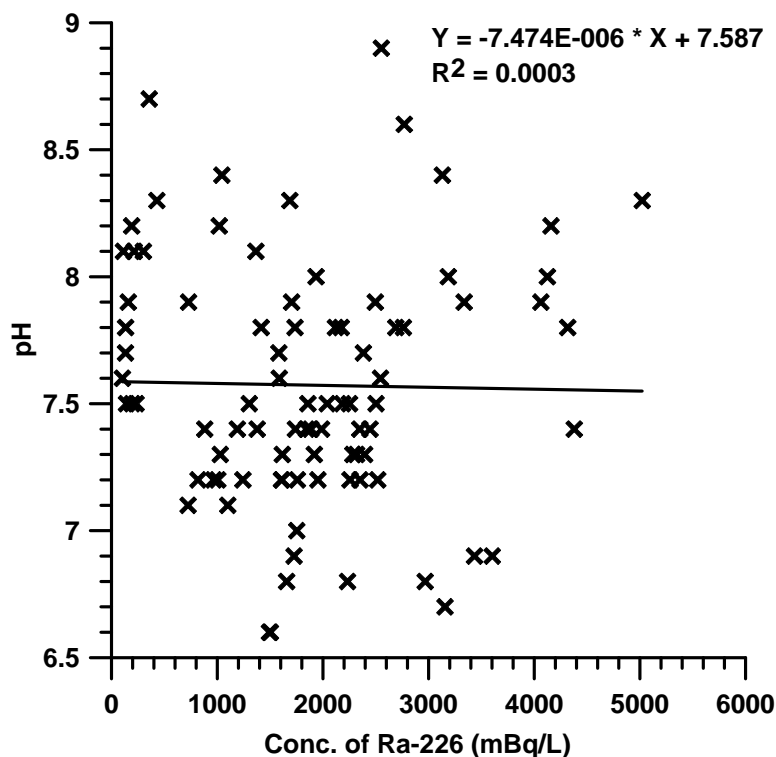
ภาพประกอบ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ

เมื่อพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 พบว่า ในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.01, 0.04, 0.05 และ 0.62 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีความสัมพันธ์กันเฉพาะตัวอย่างน้ำพุร้อนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในรอบที่ 4 ส่วนตัวอย่างน้ำพุร้อนที่เก็บในรอบที่ 1, 2 และ 3 ไม่มีความสัมพันธ์กัน เพราะค่า  $R^2$  มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ พบว่า ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.10 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันแต่ไม่มาก อาจเป็นไปได้ว่าค่ามวลสารรวมละลายในน้ำพุร้อนมีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างมาก เพราะมีแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานีบางแห่งเป็นน้ำเค็ม เนื่องจากอยู่ติดกับทะเลอ่าวไทยซึ่งมีการปนเปื้อนของน้ำทะเล จึงทำให้น้ำพุร้อนมีปริมาณสารละลายในน้ำสูงมากตามไปด้วย เช่น ตัวอย่างน้ำพุร้อนที่ อ.ไชยา และ อ.ท่าฉาง จะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 4 แห่ง มีค่า TDS สูง แสดงดังภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ

อีกทั้งพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเบส (pH) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 พบว่า ในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.12, 0.11, 0.14 และ 0.36 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดเบส (pH) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีความสัมพันธ์กัน เมื่อรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ พบว่า ค่า  $R^2$  มีค่าเท่ากับ 0.0003 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน แสดงดังภาพประกอบ 4.4 เมื่อสังเกตค่าความเป็นกรดเบส (pH) ในตัวอย่างน้ำพุร้อน จากตาราง 4.1 พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนส่วนใหญ่ มีค่าเป็นเบส เพราะน้ำพุร้อนเป็นน้ำระดับลึก ไม่ได้มีการปนเปื้อนกับน้ำบนผิวดิน จึงทำให้ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อนมีค่าเป็นเบส (ต่าง  $pH > 7$ ) มากกว่าที่จะเป็นกรด ( $pH < 7$ )



ภาพประกอบ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเบส (pH) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละจุดที่เก็บตัวอย่างทั้ง 4 รอบ

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้น และน้ำบาดาล

จากการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นทั้งหมดจำนวน 25 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนที่มีน้ำบ่อต้น ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีทั้งหมด 5 แหล่ง ได้แก่ แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 4 รอบ ได้แก่ เดือนมกราคม 2551 เดือนมิถุนายน 2551 เดือนกันยายน 2551 และเดือนมีนาคม 2552 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 โดยใช้สารดูดซับเรเดียม แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ผลที่ได้แสดงดังตาราง 4.2

จากตาราง 4.2 พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น ในการเก็บตัวอย่างในรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง ND-158 (เฉลี่ย  $62 \pm 39$ ) mBq/L, ND-91 (เฉลี่ย  $43 \pm 31$ ) mBq/L, ND-158 (เฉลี่ย  $97 \pm 62$ ) mBq/L และ 38-59 (เฉลี่ย  $50 \pm 27$ ) mBq/L ตาม

ล่ำดับ และน้ำบาดาลในตัวเมือง มีค่าอยู่ในช่วง ND-122 (เฉลี่ย  $38\pm 17$ ) mBq/L ได้จากการเก็บตัวอย่างในรอบที่ 3 รายละเอียดข้อมูลต่างๆ ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้นและน้ำบาดาลในตัวเมืองของแต่ละตัวอย่าง เช่น พิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) แสดงดังตารางภาคผนวก ค-5 เมื่อนำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาล เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนเรเดียม-226 สูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminant Level; MCL) ของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA, 1976) ได้กำหนดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบริโภคไม่ควรเกิน 185 mBq/L ผลจากการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ทั้ง 5 แหล่ง และน้ำบาดาลในตัวเมือง ได้แสดงผลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละรอบ ดังนี้

รอบที่ 1 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 33-158 (เฉลี่ย  $62\pm 39$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดพบที่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร ( $33\pm 25$  mBq/L) และแหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสีย์ (SR7) อ.พุนพิน ( $33\pm 8$  mBq/L) และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา ( $158\pm 92$  mBq/L) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในบริเวณที่ทำการศึกษาดังกล่าว มีความปลอดภัยที่จะใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากได้รับปริมาณของเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างน้อย

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนมกราคม 2551 ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้นพบว่า มีปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำบ่อตื้นที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (125 ppm) และแหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา (1,430 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) มีค่าต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสีย์ (SR7) อ.พุนพิน (6.6) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (8.8) ตามลำดับ รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.2

รอบที่ 2 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ทั้งหมด 8 ตัวอย่าง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง ND-91 (เฉลี่ย  $43\pm 31$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (ND mBq/L) และแหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา ( $91\pm 64$  mBq/L) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งหมด 8 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในบริเวณที่ทำการศึกษาดังกล่าว มีความ

ปลอดภัยที่จะใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากได้รับปริมาณของเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างน้อย

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนมิถุนายน 2551 ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้นพบว่า มีปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำบ่อตื้นที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (95 ppm) และที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา (1,470 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) มีค่าต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (6.7) และที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา (8.6) ตามลำดับ รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.2

รอบที่ 3 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง ND-158 (เฉลี่ย  $97 \pm 62$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดและสูงสุดพบที่ แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (ND mBq/L) และที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม ( $158 \pm 78$  mBq/L) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในบริเวณที่ทำการศึกษาดังกล่าว มีความปลอดภัยที่จะใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากได้รับปริมาณของเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างน้อย

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนกันยายน 2551 ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้น พบว่า มีปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำบ่อตื้นที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (115 ppm) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (250 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) มีค่าต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม (6.5) และที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (7.8) ตามลำดับ รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.2

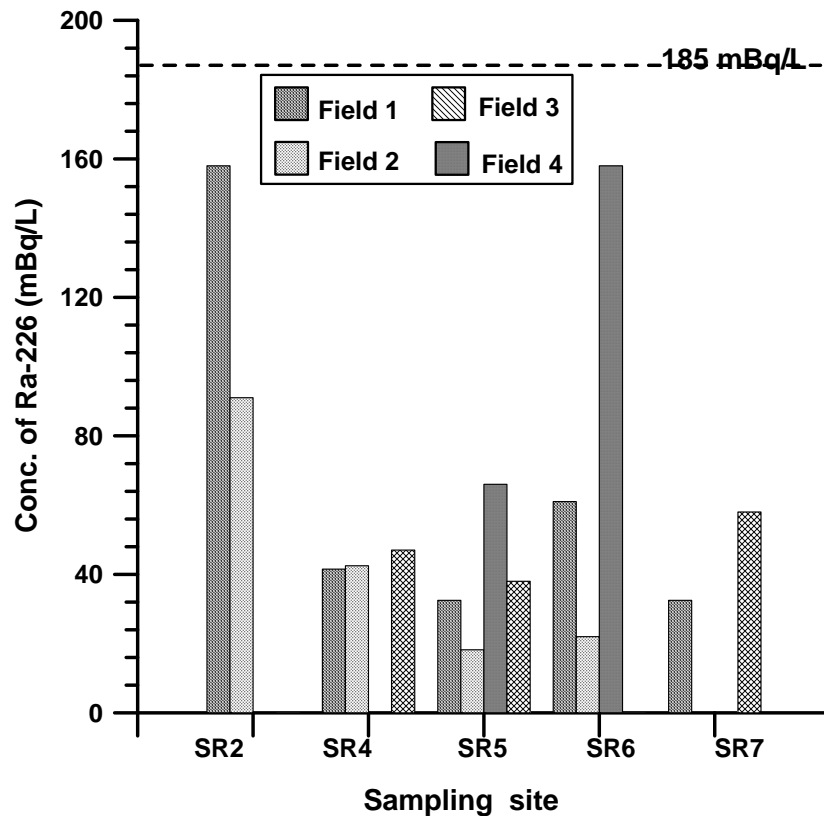
รอบที่ 4 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง 38-58 (เฉลี่ย  $50 \pm 27$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดและสูงสุดพบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร ( $38 \pm 27$  mBq/L) และพบที่แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน ( $58 \pm 42$  mBq/L) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งหมด 4 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในบริเวณที่ทำการศึกษาดังกล่าว มีความปลอดภัยที่จะใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากได้รับปริมาณของเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างน้อย



ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนมีนาคม 2552 ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้น พบว่า มีปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำบ่อตื้นที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด พบที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (70 ppm) และแหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสีย์ (SR7) อ.พุนพิน (280 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) มีค่าต่ำสุดและสูงสุด ที่แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสีย์ (SR7) อ.พุนพิน (7.1) และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (7.6) ตามลำดับ รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.2

ส่วนตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บจากตัวเมือง 9 ตัวอย่าง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีค่าอยู่ในช่วง ND-122(เฉลี่ย  $46 \pm 23$ ) mBq/L โดยมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำสุดและสูงสุดพบที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี และโรงเรียนนิคม (ND mBq/L) ซึ่งเป็นโรงเรียนที่ตั้งอยู่ตรงปากทางเข้า มอ.สุราษฎร์ฯ และสูงสุดที่ร้านอาหารป่าเขียว ซึ่งตั้งอยู่ตรงด้านข้างของมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ( $122 \pm 31$  mBq/L) ตามลำดับ

ผลการวัดค่าปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำฝนของเดือนกันยายน 2551 ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำบาดาล รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตารางภาคผนวก ค-6 พบว่า มีปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร ตัวอย่างน้ำบาดาลที่มีค่ามวลสารรวมละลายในน้ำต่ำสุดและสูงสุด ที่ร้านอาหารเรือนหลวง (W-9) (20 ppm) และพบที่โรงแรมนิภาการ์เดน (W-7) (180 ppm) ตามลำดับ และค่าความเป็นกรดเบส (pH) มีค่าต่ำสุดและสูงสุด พบที่ร้านอาหารป่าเขียว ข้างๆมหาวิทยาลัยราชภัฏ สุราษฎร์ธานี (W-8) (6.5) และที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี (W-3) (8.2) ตามลำดับ รายละเอียดต่างๆ แสดงดังตาราง 4.3



ภาพประกอบ 4.5 แสดงการกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของแต่ละพื้นที่ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง

เมื่อเรียงลำดับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้น ในแต่ละรอบที่เก็บจากมากไปหาน้อย ได้แก่ รอบที่ 3 ( $97 \pm 62$  mBq/L), รอบที่ 1 ( $62 \pm 39$  mBq/L), รอบที่ 4 ( $50 \pm 27$  mBq/L) และรอบที่ 2 ( $46 \pm 23$  mBq/L) จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เกือบทุกบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนที่มีน้ำบ่อต้น ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL 185 mBq/L. เมื่อสังเกตค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น พบว่า น้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นไม่มีความเชื่อมโยงกัน เนื่องจากมาจากคนละแหล่งกำเนิดกัน น้ำพุร้อนมาจากแหล่งกำเนิดของน้ำใต้ดินในระดับลึก ส่วนน้ำบ่อต้นมาจากแหล่งกำเนิดของน้ำบนผิวดินในระดับตื้น อีกทั้งยังได้รับปริมาณน้ำจากน้ำฝน ทำให้น้ำบ่อต้นมีการปนเปื้อนเรเดียม-226 น้อย ดังนั้น น้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นจึงมีปริมาณของเรเดียม-226 ที่แตกต่างกันมาก

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ในตัวอย่างบ่อต้น พบว่า ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา พบว่ามีค่า TDS สูง เนื่องจากอยู่ติดกับทะเลอ่าวไทยและมี

การปนเปื้อนของน้ำทะเล จึงทำให้น้ำบ่อตื้นมีปริมาณสารละลายสูงมากตามไปด้วย รวมทั้งพิจารณาค่าความเป็นกรดเบส (pH) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-8.8 เมื่อสังเกตข้อมูลในแตรอบที่เก็บตัวอย่าง พบว่าข้อมูลที่ได้จากการเก็บรอบที่ 4 มีค่าความเป็นกรดมากที่สุด ทั้งในตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อตื้น เนื่องจากว่าในเดือนมีนาคม 2552 มีปริมาณน้ำฝนมาก มีค่าเท่ากับ 85.62 มิลลิเมตร จึงทำให้น้ำบ่อตื้นมีค่าความเป็นกรดมากกว่าเดือนอื่นๆ ที่ไปเก็บตัวอย่าง โดยปกติค่าความเป็นกรดเบสในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ส่วนใหญ่จะมีค่าเป็นกรด เพราะเป็นน้ำระดับตื้น มีการปนเปื้อนของปริมาณน้ำฝนเป็นประจำ จึงทำให้ค่าความเป็นกรดเบส (pH) มีค่าต่ำ

#### 4.2 การกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาล

เมื่อนำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน มาเขียนกราฟเพื่อดูลักษณะการแจกแจงความถี่ พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางขวา คือมีหางยาวไปทางค่าสูง ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปที่ข้อมูลจากการวัดทางวิทยาศาสตร์ของข้อมูลในสิ่งแวดล้อม โดยจะมีบางข้อมูลที่มีค่าสูงแตกต่างไปจากกลุ่มจะแสดงลักษณะการกระจายแบบ Log Normal (Limpert *et al.*, 2001) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) จะมีค่าแตกต่างกับค่ามัธยฐาน (Median) มาก สำหรับข้อมูลในงานวิจัยนี้ พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาล ได้มีค่าทางสถิติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตัวอย่างน้ำพุร้อนมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต เท่ากับ 2,066, 2,153, 1,863 และ 1,531 mBq/L ตามลำดับ ค่ามัธยฐาน เท่ากับ 2,349, 2,108, 1,740 และ 1,543 mBq/L ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 193, 172, 185 และ 187 mBq/L ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.1 ตัวอย่างน้ำบ่อตื้น มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต เท่ากับ 62, 46, 97 และ 50 mBq/L ตามลำดับ ค่ามัธยฐาน เท่ากับ 48, 35, 74 และ 52 mBq/L ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 39, 27, 62 และ 27 mBq/L ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.2 และตัวอย่างน้ำบาดาล มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 49, 25 และ 17 mBq/L ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.3 การแจกแจงแบบปกติของค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาล โดยปกติแล้วจะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเป็นตัวแทนของข้อมูลค่าเฉลี่ย แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตได้ เนื่องจากมีข้อมูลบางข้อมูลมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะที่ระบบสามารถวัดได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจะกำหนดให้ข้อมูลเหล่านี้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เท่ากับ 0 mBq/L จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดของงานวิจัยเล่มนี้

ตาราง 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำพุร้อน (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากำมะถัน

ตภาพจำเพาะเรเดียม-226

และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

Resource (No. of sample)	T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)		LLD	Annual effective dose (μSv)
				Range	Mean±SD (mBq/L)		
F1 January 2008 (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)							
SR1 (2)	56	5035	7.9	4,125-4,317	4,221±258	2.15	863
SR2 (1)	39	8410	8.2	1,019	1019±86	1.09	208
SR3 (2)	42	4100	8.8	2,770-2,553	2,662±208	1.72	544
SR4 (2)	39	430	8.5	356-429	393±87	0.71	80
SR5 (2)	42	275	8.2	190-301	246±54	0.59	50
SR6 (2)	47	765	7.9	2,690-2,496	2,593±296	1.68	530
SR7 (2)	51	1555	7.7	2,762-2,503	2,633±223	1.70	538
SR8 (2)	50	1545	7.5	1,987-2,252	2,120±90	1.55	433
SR9 (6)	55	1203	7.4	2,186 -2,446	2,336±262	1.61	477
SR10 (2)	41	9765	8.2	1,044-1,704	1,374±175	1.23	281
Total (23)				190-4,317	2,066±193	-	422
มัธยฐาน (Median)					2,349		480

ตาราง 4.1 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)		LLD	Annual effective dose (μSv)
				Range	Mean±SD (mBq/L)		
F2 June 2008 (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)							
SR1 (3)	40	4747	8.2	3,187-5,022	4,123±276	2.12	843
SR2 (1)	39	8140	7.9	729	729±169	0.41	149
SR3 (2)	45	4315	7.8	2,519-3,131	2,825±241	1.76	578
SR4 (1)	40	440	7.5	195	195±83	0.53	40
SR5 (1)	41	270	7.7	132	132±61	0.47	27
SR6 (1)	51	730	7.3	2,283	2,283±197	1.59	467
SR7 (1)	59	1590	7.5	2,041	2,041±174	1.50	417
SR8 (1)	44	1550	8.0	2,233	1,935±98	1.47	396
SR9 (4)	54	1245	7.4	1,657-2,174	1,938±128	1.47	396
SR10 (1)	43	9920	8.1	1,366	1,366±145	1.24	279
Total (16)				132-5,022	2,153±172	-	440
มัธยฐาน (Median)					2,108	-	431
F3 September, 2008 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)							
SR1 (2)	40	4615	7.7	4,063-4,379	4,221±333	2.14	863

SR2 (1)	38	8220	7.4	882	882±95	1.01	180
---------	----	------	-----	-----	--------	------	-----

ตาราง 4.1 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)		LLD	Annual effective dose (µSv)
				Range	Mean±SD (mBq/L)		
SR3 (2)	42	4010	7.8	2,545-3,337	2,941±155	1.80	601
SR4 (1)	41	460	7.5	195	141±60	0.48	29
SR5 (1)	41	280	7.6	132	102±61	0.47	21
SR6 (2)	42	695	7.3	2,041-2,283	1,822±258	1.42	372
SR7 (1)	53	1603	7.8	1,935	2,119±287	1.54	433
SR8 (0)	-	-	-	-	-	-	-
SR9 (6)	50	1260	7.3	1,243-1,753	1,544±176	1.31	316
SR10 (1)	39	9970	7.4	1,190	1,190±103	1.19	243
Total (17)				132-4,379	1,863±185	-	381
มัธยฐาน (Median)					1,740	-	356
F4 March, 2009 (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)							
SR1 (4)	42	6238	6.8	2,968-3,603	3,291±380	1.90	673
SR2 (2)	40	2825	7.2	724-818	771±140	0.96	158
SR3 (4)	48	5420	7.3	1,919-2,352	2,136±305	1.53	436

SR4 (3)	40	427	7.8	112-232	159±51	0.53	32
SR5 (2)	42	265	8.0	158-214	186±22	0.56	38

ตาราง 4.1 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)		LLD	Annual effective dose (μSv)
				Range	Mean±SD (mBq/L)		
SR6 (2)	54	790	7.7	1,736-1,858	1,797±112	1.43	367
SR7 (3)	54	1607	7.3	1,494-1,587	1,555±148	1.33	318
SR8 (2)	57	1590	6.8	1,503-1,727	1,615±142	1.37	330
SR9 (4)	54	1320	7.5	1,378-1,844	1,468±187	1.33	300
SR10 (4)	43	2570	7.2	967-1,100	1,025±183	1.08	210
Total (30)				112-3,603	1,531±187	-	313
มัธยฐาน (Median)					1,543	-	315



ตาราง 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสี  
ประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำบ่อตื้น จ.สุราษฎร์ธานี

Resource (No. of sample)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)		LLD	Annual effective dose ( $\mu$ Sv)
			Range	Mean $\pm$ SD (mBq/L)		
F1 January 2008 (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)						
SR2 (1)	1430	8.7	158	158 $\pm$ 92	0.48	32
SR4 (2)	300	8.8	29-54	42 $\pm$ 34	0.36	8
SR5 (2)	125	6.8	ND-65	33 $\pm$ 25	0.34	7
SR6 (2)	220	7.4	20-102	61 $\pm$ 44	0.37	12
SR7 (2)	530	6.6	24-41	33 $\pm$ 8	0.32	7
Total (9)			ND-158	62 $\pm$ 39	-	13
มัธยฐาน (Median)				48	-	10
F2 June 2008 (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)						
SR2 (1)	1470	8.6	91	91 $\pm$ 64	0.92	19
SR4 (2)	285	7.0	37-48	43 $\pm$ 47(<LLD)	0.35	9

SR5 (4)	95	6.7	ND-60	18±8	0.32	4
SR6 (1)	210	6.9	22	22±3	0.33	4
Total (8)			ND-91	46±27	-	9
มัธยฐาน (Median)				35	-	10

ตาราง 4.2 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)		LLD	Annual effective dose (μSv)
			Range	Mean±SD (mBq/L)		
F3 September, 2008 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)						
SR4 (1)	250	7.8	ND	ND	0.29	ND
SR5 (2)	115	6.8	58-74	66±54	0.36	14
SR6 (1)	210	6.5	158	158±78	0.49	32
Total (4)			ND-158	97±62	-	15
มัธยฐาน (Median)				74	-	14
F4 March, 2009 (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)						
SR4 (1)	160	7.2	47	47±9	0.41	10
SR5 (1)	70	7.6	38	38±27	0.39	8
SR7 (2)	280	7.1	57-59	58±42	0.42	12
Total (30)			38-59	50±27	-	11

มัธยฐาน (Median)	52	-	11
------------------	----	---	----

หมายเหตุ ND: Not detectable

ตาราง 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำบาดาล จ.สุราษฎร์ธานี

Resource (No. of sample)	TDS (ppm)	pH	Specific activity of Ra-226 (mBq/L)	LLD	Annual effective dose ( $\mu$ Sv)
			Mean $\pm$ SD (mBq/L)		
F3 September, 2008 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)					
W-1(Ptt)	80	7.8	ND	0.32	ND
W-2(Caltex)	150	7.5	46 $\pm$ 18	0.33	5
W-3(SRU)	70	7.5	ND	0.29	ND
W-4(PSU SR1)	80	8.2	25 $\pm$ 6	0.32	5
W-5(PSU SR2)	78	8.1	ND	0.29	ND
W-6(Nikom School)	60	7.9	ND	0.29	ND
W-7(Nipha Hotel)	180	8.1	18 $\pm$ 17	0.30	4
W-8 (ร้านป่าเขียว)	40	6.5	122 $\pm$ 31	0.48	25

W-9 (ร้านเรือนหลวง)	20	7.9	58±15	0.34	12
Total (9)			49±17	-	8
มัธยฐาน (Median)			25	-	5

หมายเหตุ ND: Not detectable

#### 4.3 การกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาด

## าล และความสัมพัทธ์กับธรณีวิทยาในพื้นที่ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน กับ ลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ เรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อประชาชนที่อาศัยบริเวณ แหล่งน้ำพุร้อนเหล่านี้ เนื่องจากน้ำพุร้อนมีแหล่งกำเนิดจากน้ำที่ไหลผ่านใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วย ชั้นหินต่าง ๆ แต่ละชั้นจะมีแร่ธาตุปะปนอยู่หลายชนิดทั้งที่มีประโยชน์และโทษต่อร่างกาย เนื่องจากหินในบริเวณนั้นอาจมีความเข้มข้นเรเดียม-226 ค่อนข้างสูงผิดปกติ เมื่อน้ำชะล้าง ละลายเรเดียม-226 ลงสู่ระบบน้ำใต้ดินและสัมผัสความร้อนใต้พิภพและถูกแรงดันแทรกตามรอย แยกพุ่งมาเป็นน้ำพุร้อน ก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่เรเดียม-226 อาจมาปะปนอยู่ในน้ำพุร้อนเป็น ปริมาณสูง หากระบบน้ำใต้ดินในบริเวณนี้สามารถเชื่อมต่อกันก็อาจจะมีการปนเปื้อนของ เรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล (จเร, 2548) และผักพื้นบ้านที่เจริญเติบโตใน ละแวกใกล้เคียงก็ต้องใช้น้ำจากแหล่งน้ำพุร้อนบริเวณนี้ จึงทำให้ผักพื้นบ้านที่ปลูกบริเวณนี้มีสาร กัมมันตรังสีปะปนอยู่ก็เป็นได้ อีกทั้งจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีหินแกรนิต หินปูนประเภทแคลเซียม สูง และหินปูนประเภทโดโลไมต์เป็นหินฐาน มีเทือกเขาหินแกรนิตทั้ง 3 แนว ได้แก่ เทือกเขา ภูเก็ท เทือกเขานครศรีธรรมราช เทือกเขาสันกาลาคีรี และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยที่พาดผ่านอาจ ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 มีค่าสูงโดยเฉลี่ยเกือบทุกแห่ง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะ อธิบายการกระจายของเรเดียม-226 บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี หากชั้นหินฐาน ในพื้นที่เป็นหินแกรนิตชนิดที่มีปริมาณยูเรเนียมสูง เมื่อเกิดการผุพังสลายตัว หินแกรนิตเหล่านี้ จะแตกสลายกลายเป็นดินและทรายในพื้นที่ แสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ใต้พื้นดินก็จะมีแหล่งกำเนิด เรเดียม-226 อยู่ทั่วไป และพร้อมที่จะปลดปล่อยเรเดียม-226 ออกมาอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งมี แม่น้ำหลายสายไหลผ่าน จึงทำให้เรเดียม-226 สามารถกระจายออกมา ผ่านทางระบบน้ำ ธรรมชาติทั้งน้ำผิวดิน และระบบน้ำใต้ดิน ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุหลักของแหล่งกำเนิดเรเดียม-226 ในพื้นที่ จึงทำให้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนมีค่าสูงกว่า เกณฑ์มาตรฐาน MCL

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำตื้นกับ ลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ เรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นมีค่าค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำบ่อตื้นในบริเวณ แหล่งน้ำพุร้อนที่ประชาชนนำมาใช้อุปโภคและบริโภคมีความลึกของบ่อน้ำประมาณ 7-10 เมตร อาจจะยังลึกลงไปไม่ถึงระดับชั้นหินฐาน บางพื้นที่มีชุดหินแกรนิตเป็นหินฐาน ซึ่งน่าจะมีเรเดียม ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณมาก แต่จากการศึกษาพบว่า มีเรเดียม-226 ปะปนอยู่ในน้ำในปริมาณที่

น้อย ไม่น่าจะเป็นอันตรายต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน และอาจเป็นไปได้ว่า หินแกรนิตในบริเวณที่ศึกษาเป็นหินแกรนิตที่แน่น และไม่ผุ ทำให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในหินไม่หลุดออกไปปนเปื้อนกับน้ำบ่อตื้น ยกเว้น ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะสูง ทั้งนี้เนื่องจากจุดนี้เป็นจุดที่มีการขุดบ่อลงไปลึกกว่าบ่ออื่นๆ จึงทำให้มีเรเดียมปะปนอยู่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน MCL

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบาดาล กับลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาลมีค่าค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในบริเวณศึกษาอยู่ในตัวเมือง อีกทั้งน้ำบาดาลที่ประชาชนนำมาใช้อุปโภคและบริโภคมีความลึกของบ่อน้ำประมาณ 50-100 เมตร อาจะยังลึกลงไปไม่ถึงระดับชั้นหินฐาน ซึ่งบางพื้นที่พบว่า มีชุดหินแกรนิตเป็นหินฐาน น่าจะมีเรเดียมปะปนอยู่ในน้ำในปริมาณมาก แต่จากการศึกษาพบว่า มีเรเดียม-226 ปะปนอยู่ในน้ำในปริมาณที่น้อย ไม่มีความเสี่ยงต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในตัวเมือง และอาจเป็นไปได้ว่า หินแกรนิตในบริเวณที่ศึกษาเป็นหินแกรนิตที่แน่น และไม่ผุ ทำให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในหินไม่หลุดออกไปปนเปื้อนกับน้ำ ทำให้มีเรเดียมปะปนอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน MCL

#### 4.4 การประเมินปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำต่อปี

เมื่อประเมินปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปีจากการบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยใช้เกณฑ์ตาม WHO (2002) ซึ่งประเมินการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน ซึ่งในเวลา 1 ปีจะดื่มน้ำ 730 ลิตร เมื่อใช้ค่าปัจจัย  $0.28 \mu\text{Sv/Bq}$  ซึ่งใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose) ผลคำนวณปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปีที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำพุร้อน น้ำบ่อตื้น และน้ำบาดาล แสดงในตาราง 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ นอกจากนี้ WHO (2002) ยังได้กำหนดปริมาณรังสีที่ได้รับจากเรเดียม-226 ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรเกิน  $8 \mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยแยกพิจารณาในแต่ละรอบของการเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ดังนี้ รายละเอียดแสดงดังตาราง 4.1

รอบที่ 1 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 23 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 50-863 (เฉลี่ย 422)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (50  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา (863  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะ

เห็นได้ว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 23 ตัวอย่าง มีปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี เกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

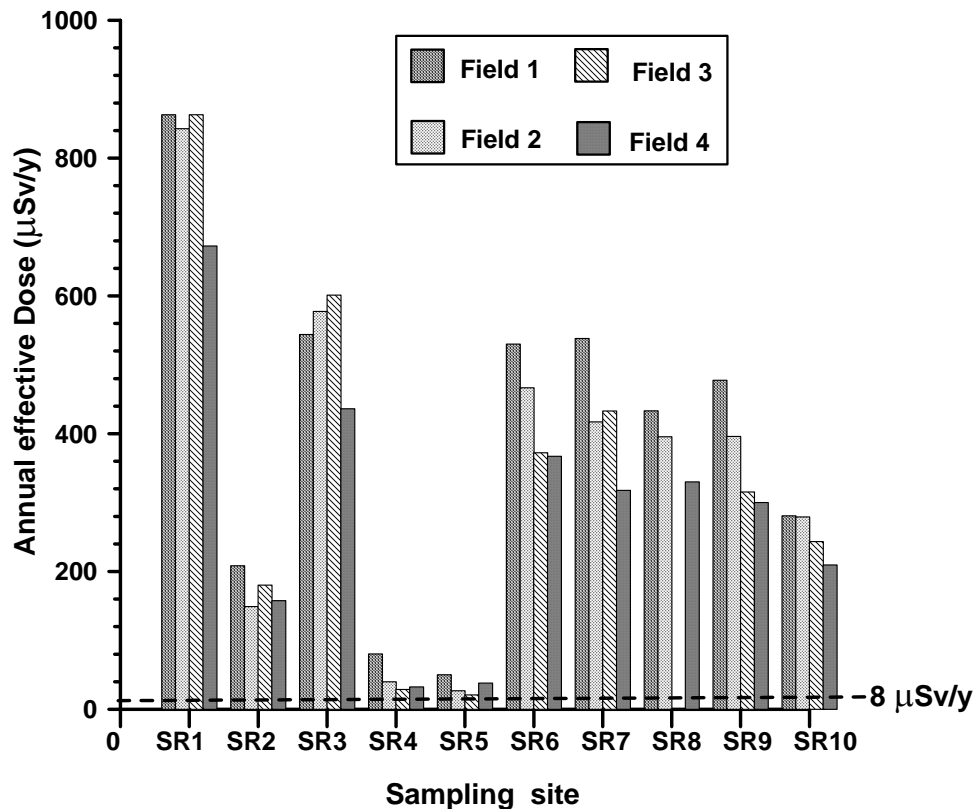
รอบที่ 2 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 16 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 27-843 (เฉลี่ย 440)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (27  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา (843  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 16 ตัวอย่าง มีปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี เกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

รอบที่ 3 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 17 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 21-863 (เฉลี่ย 381)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (21  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา (863  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 17 ตัวอย่าง มีปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี เกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

รอบที่ 4 ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 32-673 (เฉลี่ย 313)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (32  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านน้ำพุร้อน (SR1) อ.ไชยา (673  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง มีปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีเกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

จากการศึกษาปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี ในน้ำพุร้อน พบว่า ประชาชนที่อาศัยบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคเรเดียม-226 ในน้ำ สูงกว่าเกณฑ์ปกติที่กำหนดไว้ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่า น้ำพุร้อนมีความเสี่ยงทางรังสีสูงที่จะนำมาใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง แสดงดังภาพประกอบ 4.6





ภาพประกอบ 4.6 แสดงการแจกแจงแบบปกติปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำพุร้อนต่อปี

สำหรับตัวอย่างน้ำบ่อตื้น WHO (2002) ยังได้กำหนดปริมาณรังสีที่ได้รับจากรadium-226 ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยแยกพิจารณาในแต่ละรอบของการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ดังนี้ รายละเอียดแสดงดังตาราง 4.2

รอบที่ 1 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งหมด 9 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 7-32 (เฉลี่ย 13)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร และแหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน (7  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา (32  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีตัวอย่างน้ำบ่อตื้น 2 ตัวอย่าง มีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีเกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

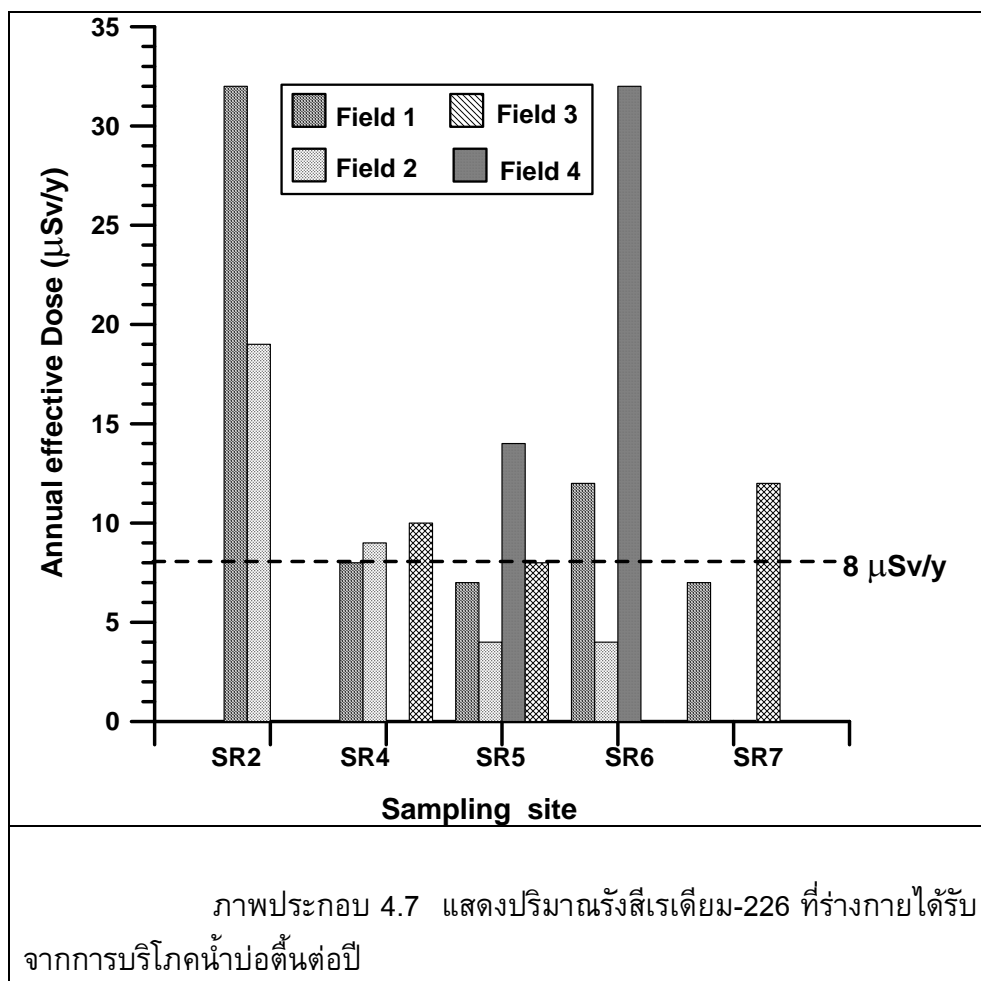
รอบที่ 2 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งหมด 8 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 4-19 (เฉลี่ย 9)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม (4  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี

(SR2) อ.ไชยา (19  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีตัวอย่างน้ำบ่อต้น 2 ตัวอย่าง มีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีเกินกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

รอบที่ 3 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นทั้งหมด 4 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง ND-32 (เฉลี่ย 15)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ (ND  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม (32  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีตัวอย่างน้ำบ่อต้น 1 ตัวอย่าง มีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

รอบที่ 4 ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นทั้งหมด 4 ตัวอย่าง พบว่า ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีค่าอยู่ในช่วง 8-12 (เฉลี่ย 11)  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยมีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีต่ำสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร (8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) และสูงสุดที่แหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน (12  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีตัวอย่างน้ำบ่อต้น 1 ตัวอย่าง มีค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีอยู่ในเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

จากการศึกษาปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี ในน้ำบ่อต้น พบว่า ประชาชนที่อาศัยบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น สูงกว่าเกณฑ์ปกติที่กำหนดไว้ค่อนข้างสูง ยกเว้น น้ำบ่อต้นบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร แสดงให้เห็นว่า น้ำบ่อต้นมีความเสี่ยงทางรังสีสูงที่จะนำมาใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง แสดงดังภาพประกอบ 4.7



สำหรับตัวอย่างน้ำบาดาลในต้วมือง จำนวน 9 ตัวอย่าง พบว่า มีตัวอย่างน้ำบาดาล 2 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณเรเดียม-226 เกิน 8 μSv ต่อปี ได้แก่ ร้านอาหารที่อยู่ด้านข้างของมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีและร้านอาหารเรือนหลวง ซึ่งมีปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจากเรเดียม-226 มีค่าเท่ากับ 25 และ 12 μSv ตามลำดับ

ตาราง 4.4 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำ จังหวัดสุราษฎร์ธานีเปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณอื่น

Region/Country	Concentration Ra-226 (mBq/L)	References
Europe		
Germany	1-1,800	Gan <i>et al.</i> , 1985
Poland	1.7-4.5	Pietrzak-Flis <i>et al.</i> , 1997
U.K.	0-180	Bradley <i>et al.</i> , 1993
America		
North America	0.4-1.8	Cothorn and Lappenbusch., 1983
Asia		
China	1.2-941	Zhuo <i>et al.</i> , 2001
Taiwan	0-28.1	Kuo <i>et al.</i> , 1997
Thailand		
Nakhon Si Thammarat Province	2-179	Preda <i>et al.</i> , 2006
Phatthalung Province	0-186	Kanokporn <i>et al.</i> , 2006
Songkhla Province		
Namom District	3.5-292.1	Jare <i>et al.</i> , 2005
Namom District	2.8-432.6	Sukit <i>et al.</i> , 2005
Suratthani Province		
Hot Spring Water	95-2,490	Thitirat and Marina., 2003
Hot Spring Water	112-5,022	This study
Shallow well water	ND-158	
Well water	ND-122	
Reference Value	185	US EPA, 1972

หมายเหตุ ND: Not detectable

#### 4.5 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้าน ในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน

##### 4.5.1 ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน

จากการเก็บตัวอย่างผักพื้นบ้านทั้งหมด 8 ชนิด จำนวน 30 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 แสดงดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เฉลี่ยในแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำพุร้อน (จำนวนตัวอย่าง)	ช่วงค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ของ Ra-226 (mBq/kg)	ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ เฉลี่ย±SD (mBq/kg)	ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสี ที่ได้รับต่อปี (µSv/y)
SR2(4)	902-2,722	1,568±441	26
SR4(9)	ND-812	586±222	8
SR5 (4)	2,852-18,272	1,0534±830	177
SR6 (2)	345-4,572	1,736±345	41
SR9 (4)	789-26,498	12,273±1,556	206
SR10 (5)	647-1,667	1,124±366	19
SRU (2)	852-1,146	999±643	17
รวมทั้งหมด (30)	ND-26,498	4,345±624	73
มัธยฐาน (Median)		1,087	18

หมายเหตุ ND: Not detectable

จากตาราง 4.5 พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้าน มีค่าอยู่ในช่วง ND-26,498 (เฉลี่ย 4,345±624) mBq/kg รายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ของตัวอย่างผัก แสดงดังภาคผนวก ค-7 โดยมีตัวอย่างผัก 4 ตัวอย่าง จาก 30 ตัวอย่าง ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ระบบสามารถตรวจวัดได้ ซึ่งในการ

วิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างจะกำหนดให้ตัวอย่างเหล่านี้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เป็น 0 mBq/kg เมื่อนำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ของตัวอย่าง เทียบกับ เกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนเรเดียม-226 สูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminant Level; MCL) ของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA, 1976) ได้ กำหนดให้ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำบริโภคไม่ควรเกิน 185 mBq/L ผลจากการ วิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงบริเวณ แหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี พบว่า ตัวอย่างผักพื้นบ้านทั้งหมดมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ เรเดียม-226 เกินค่า MCL แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างผักพื้นบ้านในบริเวณที่ทำการศึกษามีความ เสี่ยงที่จะนำมาบริโภคเป็นอาหาร เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนในผักพื้นบ้าน อยู่ค่อนข้างสูง

เมื่อเรียงค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักพื้นบ้าน ในแต่ ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนจากมากไปหาน้อย ได้แก่ SR9 ( $12,273 \pm 1,556$  mBq/kg), SR5 ( $10,534 \pm 830$  mBq/kg), SR6 ( $1,736 \pm 345$  mBq/kg), SR2 ( $1,568 \pm 441$  mBq/kg), SR10 ( $1,124 \pm 366$  mBq/kg), SRU ( $999 \pm 643$  mBq/kg) และ SR4 ( $586 \pm 222$  mBq/kg) รายละเอียด แสดงดังตาราง 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เกือบทุกพื้นที่ มีค่าสูงกว่า 185 mBq/kg

#### 4.5.2 การกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านใน ละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน

เมื่อนำข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้าน มาเขียน กราฟเพื่อดูลักษณะการแจกแจงความถี่ พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางขวา คือมีหางยาวไปทางค่าสูง ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปที่ข้อมูลจากการวัดทางวิทยาศาสตร์ของข้อมูล ในสิ่งแวดล้อม โดยจะมีบางข้อมูลที่มีค่าสูงแตกต่างไปจากกลุ่มจะแสดงลักษณะการกระจายแบบ Log Normal (Limpert *et al.*, 2001) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) จะมีค่าต่างกับ ค่ามัธยฐาน (Median) มาก จากข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านใน งานวิจัยนี้ มีค่าทางสถิติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 4,345, 1,087 และ 624 mBq/kg ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิต และ ค่ามัธยฐานมีค่าที่แตกต่างกันมาก โดยปกติข้อมูลที่มีการแจกแจงความถี่แบบ log normal ในการวิเคราะห์ผลจะมีการนำข้อมูลมาคำนวณหาค่า Log และเขียนกราฟการแจกแจงความถี่ จะ ทำให้กราฟแจกแจงความถี่ที่ได้จะมีการแจกแจงแบบปกติ และจะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต เป็นตัวแทนของข้อมูลค่าเฉลี่ย แต่ในงานวิจัยไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตได้ เนื่องจากมี

ข้อมูลบางข้อมูลมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ระบบสามารถวัดได้ ซึ่งจะกำหนดให้ข้อมูลเหล่านี้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดโดยแยกพิจารณาแต่ละแหล่งน้ำพุร้อนที่มีฝักพื้นบ้าน ส่วนค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40 สามารถหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลโพแทสเซียม-40 เนื่องจากข้อมูลไม่มีค่าเป็น 0

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในฝักพื้นบ้าน ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง ND-26,498 mBq/kg เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการกระจายในช่วงกว้าง แสดงดังตาราง 4.7 ทั้งนี้อาจมีปัจจัยด้านภูมิประเทศและปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงแยกวิเคราะห์การกระจายของเรเดียม-226 ในตัวอย่างฝักพื้นบ้าน ตามแหล่งน้ำพุร้อน ดังนี้

แหล่งน้ำพุร้อนเขานางสี (SR2) อ.ไชยา ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างฝักพื้นบ้าน 2 ชนิด คือฝักกูด และโสม พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 902-2,576 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 1,568 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในฝักกูดและต่ำสุดในฝักโสม เท่ากับ 2,185 mBq/kg และ 951 mBq/kg ตามลำดับ เนื่องจากฝักกูดเป็นฝักพื้นบ้านที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (ค่าวัน, 2522) ดังตาราง 4.6 จึงอาจสามารถเก็บสะสมเรเดียมซึ่งเป็นธาตุหมู่เดียวกันไว้ในปริมาณสูง อีกทั้งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ฝักพื้นบ้านที่มีปริมาณแคลเซียมสูงจะมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับฝักกูดของ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ที่ อ.นาหม่อม มีค่าต่ำกว่าฝักกูดบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ มีตัวอย่างฝักพื้นบ้าน 2 ชนิด คือ ฝักบุง และกระถิน พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง ND-812 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 586 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในฝักบุง และต่ำสุดในฝักกระถิน เท่ากับ 677 mBq/kg และ 449 mBq/kg ตามลำดับ เนื่องจากฝักบุงอยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จึงทำให้ในตัวอย่างฝักบุงมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่ากระถิน เมื่อเปรียบเทียบกับฝักบุงและกระถินของ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในฝักบุงและกระถินที่ อ.นาหม่อม มีค่าสูงกว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร มีตัวอย่างฝักพื้นบ้าน 3 ชนิด คือ ฝักบุง ไบยอ และไบชะพลู พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 2,852-17,306 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 10,534 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในฝักบุง ไบยอ และต่ำสุดในไบชะพลู เท่ากับ 17,306, 4,670 mBq/kg และ 2,852 mBq/kg ตามลำดับ เนื่องจากฝักบุงอยู่บริเวณรอบๆ แหล่งน้ำพุร้อน ส่วนไบยอ และไบชะพลูอยู่ห่างออกไปจากบ่อน้ำพุร้อนประมาณ 100 เมตร จึงทำให้

ผักบุ้งมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่าใบยอ และใบชะพลู เมื่อเปรียบเทียบกับผักบุ้ง และใบชะพลูของ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักบุ้งและใบชะพลู ที่ อ.นาหม่อม มีค่าต่ำกว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม มีตัวอย่างผักพื้นบ้าน 1 ชนิด คือ ผักบุ้ง พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 345-4,572 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 1,736 mBq/kg เนื่องจากผักบุ้งอยู่บริเวณรอบๆ แหล่งน้ำพุร้อน และมีแม่น้ำพุมดวงไหลผ่าน จึงทำให้ผักบุ้งมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับผักบุ้งที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ที่ อ.นาหม่อม มีค่าสูงกว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบกับผักบุ้งที่อ.บางกล่ำ จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ที่ อ.บางกล่ำ มีค่าต่ำกว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี เช่นกัน

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา มีตัวอย่างผักพื้นบ้าน 2 ชนิด คือ ใบชะพลูและใบพาโหม พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 789-26,498 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 12,273 mBq/kg และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในใบพาโหมและต่ำสุดในใบชะพลูเท่ากับ 23,531 mBq/kg และ 1,015 mBq/kg ตามลำดับ เนื่องจากใบพาโหมเป็นพืชไม้เลื้อยขึ้นตรงทางน้ำไหลของน้ำพุร้อนที่ไหลผ่านลงสู่แม่น้ำตาปี จึงทำให้ใบพาโหมมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่าใบชะพลู เมื่อเปรียบเทียบกับใบชะพลูของ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ที่ อ.นาหม่อม มีค่าต่ำกว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา มีตัวอย่างผักพื้นบ้าน 1 ชนิด คือ กระจิน พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 647-1,667 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 1,124 mBq/kg เนื่องจากกระจินอยู่รอบๆ บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จึงทำให้กระจินมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูง เมื่อเปรียบเทียบกับกระจินในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ที่ อ.นาหม่อม มีค่าสูงกว่ากระจินบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

ในตัวเมือง (ม.ราชภัฏฯ (SRU)) อ.เมือง มีตัวอย่างผักพื้นบ้าน 1 ชนิด คือ ชี้เหล็ก พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 852-1,146 mBq/kg ค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่เท่ากับ 999 mBq/kg เนื่องจากชี้เหล็กเป็นผักพื้นบ้านที่มีปริมาณแคลเซียมสูง (คั่วน, 2522) จึงอาจสามารถเก็บสะสมเรเดียม ซึ่งเป็นธาตุหมู่เดียวกันไว้ในปริมาณสูง จึงทำให้ชี้เหล็กมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับชี้เหล็กในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ที่ อ.นาหม่อม มีค่าสูงกว่าบริเวณน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี และเมื่อเปรียบเทียบกับชี้เหล็กที่อ.บางกล่ำ จ.สงขลา พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ที่ อ.บางกล่ำ มีค่าต่ำกว่าบริเวณในตัวเมือง จ.สุราษฎร์ธานี เช่นกัน



จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผักพื้นบ้านในแต่ละบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จะมีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงในตัวอย่างผักพื้นบ้านที่มีปริมาณแคลเซียมเป็นส่วนประกอบสูง ได้แก่ ตัวอย่างผักพื้นบ้านผักกูด โสม ผักบั้ง กระถิน ใบชะพลู ใบยอ ใบพาโหม และขี้เหล็ก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายปริมาณเรเดียม-226 กับปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในผักพื้นบ้าน มีความสัมพันธ์กัน ส่วนในผักพื้นบ้านที่มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ต่ำ จะมีปริมาณแคลเซียมอยู่น้อยเช่นกัน ได้แก่ ผักกูด โสม และผักบั้ง แต่จากการวิเคราะห์ พบว่า มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงมาก อาจเนื่องจากการเจริญเติบโตของผักพื้นบ้านทั้ง 3 ชนิดนี้อยู่ใกล้กับแหล่งน้ำพุร้อน จึงทำให้สามารถดูดซึมปริมาณเรเดียม-226 ได้มาก เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนเปรียบเทียบกับตัวอย่างผักพื้นบ้านที่อำเภอห่มอม จังหวัดสงขลา (วิราสินี, 2547 และสิริพร, 2550) พบว่าตัวอย่างผักพื้นบ้านบางชนิดของบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่ามาก

ตาราง 4.6 ปริมาณแคลเซียมที่พบในผักแต่ละชนิด

Type of vegetable	Calcium content in vegetables 100 g*(mg)
ผักกูด (Oak fern)	> 50
โสม (Fame - Flower)	> 50
ผักบั้ง (Swamp Cabbage)	73
กระถิน (White Popinac)	137
ใบชะพลู (Betel vine)	601
ใบยอ (Indian Mulberry)	469
พาโหม (Pacderia Foetida)	155
ขี้เหล็ก (Yellow Cassia)	156

\*ค้วน, 2522. โภชนศาสตร์.

ตาราง 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสี  
 ประสิทธิภาพที่ร่างกายได้รับต่อปี ในตัวอย่างผักพื้นบ้านบริเวณแหล่ง  
 น้ำพุร้อนเปรียบเทียบกับผักพื้นบ้านในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

Type of vegetables	Concentration of Ra-226 in vegetables grown at Suratthani Pro							Nar Songk
	SR2	SR4	SR5	SR6	SR9	SR10	SRU	
ผักกูด (Oak fern)	2,185(2)	-	-	-	-	-	-	1,5
โสม (Fame - Flower)	951(2)	-	-	-	-	-	-	
ผักบุง (Swamp Cabbage)	-	677(4)	17,306(2)	2,458(2)	-	-	-	29
กระถิน (White Popinac)	-	449(5)	-	-	-	1,124(5)	-	49
ใบชะพลู (Betel vine)	-	-	2,852(1)	-	1,015(2)	-	-	47
ใบยอ (Indian Mulberry)	-	-	4,670(1)	-	-	-	-	
ปาโหม (Pacderia Foetida)	-	-	-	-	23,531(2)	-	-	
ซีเหล็ก (Yellow Cassia)	-	-	-	-	-	-	999(2)	76
Minimum	902	ND	2,852	345	789	647	852	
Maximum	2,722	812	18,272	4,572	26,498	1,667	1,146	
Arithmetic mean	1,568	586	10,534	1,736	12,273	1,124	999	
Median	1324	551	10,505	2,458	10,902	1,028	999	
Standard error	441	222	830	344	1556	366	643	
Mean annual dose***( $\mu$ Sv)	26	8	177	41	206	19	17	

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บแสดงจำนวนตัวอย่าง, \*\*\*Annual dose estimated using the factors in UNSCEAR (2000)

#### 4.5.3 การกระจายของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียง แหล่งน้ำพุร้อน และความสัมพัทธ์กับธรณีวิทยาในพื้นที่ของ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 กับลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักพื้นบ้านมีค่าค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของตัวอย่างผักพื้นบ้านในแต่ละบริเวณซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า หากตัวอย่างผักพื้นบ้านที่มีการเจริญเติบโตบริเวณรอบ ๆ บ่อของแหล่งน้ำพุร้อนจะมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูง เพราะตัวอย่างผักพื้นบ้านเหล่านี้มีการดูดซึมน้ำที่มีการปะปนของเรเดียม-226 จากน้ำพุร้อนโดยตรง หากอยู่ห่างจากแหล่งน้ำพุร้อน ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จะมีค่าต่ำลง เนื่องจากตัวอย่างผักพื้นบ้านได้ดูดซึมน้ำจากแหล่งน้ำอื่น ๆ ด้วยไม่ใช่จากแหล่งน้ำพุร้อนเพียงอย่างเดียว จึงทำให้มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เจือจางลง อีกทั้งจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีหินแกรนิต หินปูนประเภทแคลเซียมสูง และหินปูนประเภทโพลีไมต์เป็นหินฐาน อาจส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 มีค่าสูงโดยเฉลี่ยเกือบทุกแห่ง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะอธิบายการกระจายของเรเดียม-226 ในพื้นที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี คือ เรเดียม-226 มีต้นกำเนิดจากพื้นที่สูงในเทือกเขาหินแกรนิตทั้ง 3 แนว ได้แก่ เทือกเขาภูเก็ต เทือกเขานครศรีธรรมราช และเทือกเขาสันกาลาคีรี โดยเฉพาะบริเวณที่มีรอยเลื่อนต่างๆ เช่น รอยเลื่อนคลองมะรุ่ยที่พาดผ่าน หากชั้นหินฐานในพื้นที่เป็นหินแกรนิตชนิดที่มีปริมาณยูเรเนียมสูง เมื่อเกิดการผุพังสลายตัว หินแกรนิตเหล่านี้จะแตกสลายกลายเป็นดินและทรายในพื้นที่ แสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ใต้พื้นดินก็จะมีแหล่งกำเนิดเรเดียม-226 อยู่ทั่วไป และพร้อมที่จะปลดปล่อยเรเดียม-226 ออกมา รวมทั้งมีแม่น้ำหลายสายไหลผ่าน จึงทำให้เรเดียม-226 กระจายครอบคลุมพื้นที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน ผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติทั้งน้ำผิวดิน และระบบน้ำใต้ดิน ซึ่งน่าจะเป็นแหล่งกำเนิดของเรเดียม-226 ในพื้นที่

#### 4.5.4 การประเมินปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคผักต่อปี

เมื่อประเมินการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน โดยใช้เกณฑ์ตาม UNSCEAR (2000) ซึ่งประเมินการบริโภคผักไว้ที่ 164 กรัม/วัน หรือ 60 กิโลกรัม/ปี เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28  $\mu\text{Sv/Bq}$  ซึ่งใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose) ผลคำนวณปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปีที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคผักพื้นบ้าน แสดงในตาราง 4.7

นอกจากนี้ UNSCEAR (2000) ยังได้กำหนดปริมาณรังสีที่ได้รับจากเรเดียม-226 ต่ออายุ-น้ำหนักรวมว่าไม่ควรเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี แสดงดังภาพประกอบ 4.9 โดยแยกพิจารณาแต่ละแหล่งน้ำพุร้อนที่มีฝักพื้นบ้าน

แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) พบว่ามีค่า 26  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยผู้ที่บริโภคผักกูดจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงที่สุดเท่ากับ 37  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และต่ำสุดในผักโสมเท่ากับ 16  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) พบว่ามีค่า 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยผู้ที่บริโภคผักบุงจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงที่สุดเท่ากับ 9  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ปกติ (8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี) และสำหรับในกระถินได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลต่ำสุดเท่ากับ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) พบว่ามีค่า 177  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยผู้ที่บริโภคผักบุง จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงที่สุดเท่ากับ 291  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และสำหรับใบยอและใบชะพลู จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผล เท่ากับ 78 และ 48  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) พบว่ามีค่า 41  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) พบว่ามีค่า 206  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ตามลำดับ โดยผู้ที่บริโภคใบพาโหม จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงที่สุดเท่ากับ 395  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี และสำหรับใบชะพลู จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลต่ำสุดเท่ากับ 17  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

แหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) และในตัวเมือง (ม.ราชภัฏฯ (SRU)) พบว่ามีค่า 19  $\mu\text{Sv}$  และ 17  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ปกติ 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

จากการศึกษาปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี ในตัวอย่างผักพื้นบ้าน พบว่าประชาชนที่อาศัยบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคเรเดียม-226 ในผัก สูงกว่าเกณฑ์ปกติที่กำหนดไว้ค่อนข้างสูง ยกเว้น ผักบุงบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างผักพื้นบ้านมีความเสี่ยงทางรังสีสูงที่จะนำมาบริโภคเป็นอาหาร เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในผักค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับผักแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซึม มากน้อยแค่ไหน

#### 4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียม-226 ที่มีอยู่ในฝักพื้นบ้านแต่ละชนิด

จากการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ได้รับจากการบริโภคเรเดียม-226 ในฝักพื้นบ้าน บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคือ 8  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  (UNSCEAR, 2000) เมื่อนำมาจัดอันดับฝักพื้นบ้านแต่ละชนิดที่ประชาชนจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคฝักพื้นบ้านสูงสุด 5 อันดับแรก ประกอบด้วย ใบพาโหม (395  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ) ฝักบุง (SR5)(291  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ) ใบยอ (78  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ) ใบชะพลู (SR5)(48  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ) และฝักบุง (SR6)(41  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ) พิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณแคลเซียมที่พบในฝักพื้นบ้านแต่ละชนิด แสดงดังตาราง 4.6 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเป็นส่วนประกอบสูง ยกเว้น ฝักบุงซึ่งมีแคลเซียมเพียง 73 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักฝักบุง 100 กรัม ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับฝักชนิดอื่น แต่จากลักษณะการเจริญเติบโตของฝักบุงที่นำมาบริโภคจะติดอยู่กับดินและบ่อน้ำพุร้อน ซึ่งมีการสะสมแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งเรเดียม-226 ไว้ค่อนข้างสูง เมื่อนำมาตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 จึงพบในปริมาณสูง และยังพบว่าฝักบุงในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เท่ากับ 17,306  $\text{mBq}/\text{kg}$  ส่วนฝักพื้นบ้านชนิดอื่น เช่น ใบยอและใบชะพลู จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 78 และ 48  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ฝักที่มีปริมาณแคลเซียมสูงจะตรวจพบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ได้สูง ส่วนฝักที่มีปริมาณแคลเซียมน้อย ก็จะตรวจพบค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ได้น้อยเช่นกัน

จากผลการวิเคราะห์การได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลจากการบริโภคเรเดียม-226 ในฝัก พบว่า ประชาชนบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา ได้รับสูงสุดเท่ากับ 206  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  รองลงมาคือประชาชนบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน อ.นาสาร (SR5) ได้รับ 177  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม ได้รับ 41  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) และแหล่งน้ำพุร้อนสวนโมกข์นานาชาติ (SR10) อ.ไชยา ได้รับ 26 และ 19  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  ตามลำดับ ในตัวเมือง (ม.ราชภัฏฯ (SRU)) อ.เมือง ได้รับ 17  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ ได้รับต่ำสุด 8  $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$  ซึ่งปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ประชาชนในแต่ละพื้นที่ได้รับมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

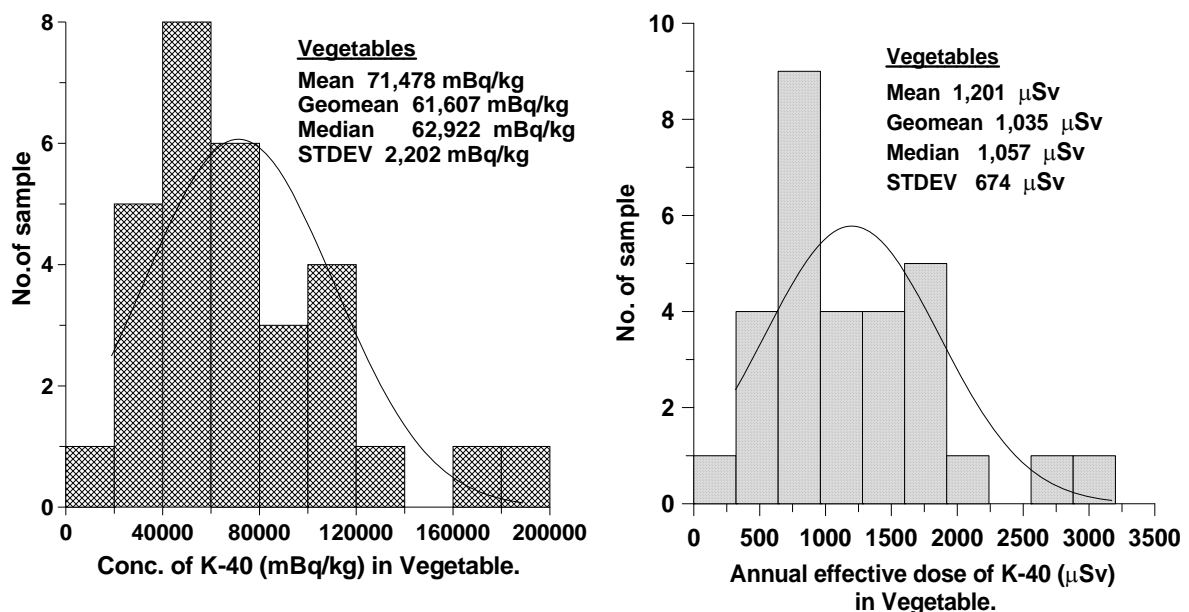
ตาราง 4.8 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และปริมาณรังสีประสิทธิผล ในผักพื้นบ้าน  
ประเภทใบ บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณอื่น

Region/Country	Concentration Ra-226 (mBq/kg)	Annual Dose ( $\mu$ Sv)	References
Europe			
Germany	6-1,150	0.10-19.32	Globel <i>et al.</i> , 1980
Italy	27-44	0.45-0.74	De Bortoli <i>et al.</i> , 1972
Poland	37-43	0.62-0.72	Pietrzak-Flis <i>et al.</i> , 1997
U.K.	2.2-170	0.04-2.86	Bradley <i>et al.</i> , 1993
North America	56	0.94	Fisenne <i>et al.</i> , 1987
United States			
Asia			
India	75	1.26	Zhuo <i>et al.</i> , 2001
China			
Thailand			
-Songkhla Province			
Namom District	26-7,882	0.44-132.42	Siriporn <i>et al.</i> , 2006
Bang Klum District,	450	8	
-Suratthani Province			
SR2	902-2722	15-46	This study
SR4	347-812	6-14	
SR5	2852-18272	48-307	
SR6	345-4572	6-77	
SR9	789-26498	13-455	
SR10	647-1667	11-28	
SRU	852-1146	14-19	
Reference Value	50	0.84	UNSCEAR 2000
หมายเหตุ : * Annual Dose recalculated by using the factor from UNSCEAR 2000			

#### 4.5.6 กัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม (K-40) ในผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน

ผลการการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40 ในผักพื้นบ้านทั้งหมด 30 ตัวอย่าง พบว่าการกระจายของข้อมูลมีค่าระหว่าง 18,869-188,851 mBq/kg นำมาเขียนกราฟแจกแจงความถี่ พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ภาพประกอบ 4.7 โดยมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 71,478, 62,922 และ 2,202 mBq/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่ามัธยฐานมีค่าแตกต่างกันไม่มาก เมื่อนำข้อมูลมาแจกแจงความถี่แบบ normal ผลการแจกแจงพบว่า มีค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเท่ากับ 61,607 mBq/kg ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามัธยฐานมากกว่า จึงใช้เป็นค่าตัวแทนของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40 ในผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียง แหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40 ในผักพื้นบ้านมีค่าสูงในตัวอย่าง ผักพื้นบ้านเกือบทุกชนิด เนื่องจากโพแทสเซียม-40 เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ และมีครึ่งชีวิต  $1.3 \times 10^8$  ปี เป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในร่างกายมนุษย์ ในพืชผัก และสัตว์ชนิดต่างๆ ซึ่งปริมาณโพแทสเซียมที่มีมากในร่างกายไม่ส่งผลให้เกิดอันตรายเท่ากับปริมาณเรเดียม-226



ภาพประกอบ 4.8 กราฟการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลค่ากัมมันตภาพจำเพาะของโพแทสเซียม-40

และปริมาณโพแทสเซียม-40 ที่ได้รับต่อปีในตัวอย่างผักพื้นบ้าน จ.สุราษฎร์ธานี

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสม ในตัวอย่างน้ำพุร้อน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสมอยู่ในตัวอย่างน้ำพุร้อนด้วยเครื่อง ICP-OES (Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer) รุ่น Optima 4300 DV ยี่ห้อ Perkin Elmer Instrument. พบว่าตัวอย่างน้ำพุร้อน SR3 และ SR4 มีปริมาณโลหะหนักทองแดง (Cu) 0.002 และ 0.004 mg/l ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในน้ำดื่มของ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คือ 0.01 mg/l, 1 mg/l และ 0.05 mg/l ตามลำดับ นอกจากนี้ในตัวอย่างน้ำพุร้อนอื่นๆ ไม่พบปริมาณโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่วสะสมอยู่ อาจเนื่องจากปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสมอยู่ใน ตัวอย่างน้ำพุร้อนมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวัดได้ แสดงดังตาราง 4.10

ตาราง 4.9 แสดงปริมาณโลหะหนักแคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

รหัส	แหล่งน้ำพุร้อน	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)		
		แคดเมียม (Cd)	ทองแดง (Cu)	ตะกั่ว (Pb)
SR 1	บ้านน้ำพุร้อน	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR 2	เขานางฮี	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR 3	วัดธารน้ำร้อน	ไม่พบ	0.002	ไม่พบ
SR 4	บ้านบ่อน้ำร้อน	ไม่พบ	0.004	ไม่พบ
SR 5	บ้านวังหิน	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR 6	บ้านเขาน้อย	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR 7	รัตนโกสัย	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR 8	บ้านเขาพลู	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR 9	บ้านเขาดอก	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
SR10	สวนโมกข์นานาชาติ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ



หมายเหตุ ไม่พบ คือ ค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบได้ (LOD) ค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจพบได้ของ Cd = 0.005 mg/l, Cu = 0.001 mg/l, Pb = 0.05 mg/l

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเพื่อตรวจวัดกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อ ตื้น น้ำบาดาล และผิพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี จากแหล่งน้ำพุร้อน ทั้งหมด 10 แหล่ง 8 อำเภอ สรุปผลที่ได้คือ

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน ในการเก็บตัวอย่างในรอบ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง 190-4,317 (เฉลี่ย  $2,066 \pm 193$ ) mBq/L, 132-5,022 (เฉลี่ย  $2,153 \pm 172$ ) mBq/L, 132-4,379 (เฉลี่ย  $1,863 \pm 185$ ) mBq/L และ 112-3,603 (เฉลี่ย  $1,531 \pm 187$ ) mBq/L ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในทุกตัวอย่างน้ำพุร้อน มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (185 mBq/L) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนในบริเวณที่ทำการศึกษามีความปลอดภัยในการอุปโภคและบริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับอันตรายจากปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างสูง และเมื่อประเมินปริมาณรังสี Ra-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรได้รับเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมด มีปริมาณรังสีเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี

เมื่อเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน ทั้ง 4 รอบ โดยเรียงค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน ในแต่ละรอบที่เก็บตัวอย่าง พบว่า ในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนสูงสุด และต่ำสุดในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 4 เท่ากับ 2,153 mBq/L และ 1,531 mBq/L อาจเป็นไปได้ว่า ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 มีการเจือจางกับปริมาณน้ำฝน เพราะในช่วงเดือนที่เก็บตัวอย่างมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่าครั้งอื่นๆ (85.62 มิลลิเมตร) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในทุกพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานียังคงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน MCL ที่กำหนดไว้คือ 185 mBq/L

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น ในการเก็บตัวอย่างในรอบ ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าอยู่ในช่วง ND-158 (เฉลี่ย  $62 \pm 39$ ) mBq/L, ND-91 (เฉลี่ย  $46 \pm 27$ ) mBq/L, ND-158 (เฉลี่ย  $97 \pm 62$ ) mBq/L และ 38-59 (เฉลี่ย  $50 \pm 27$ ) mBq/L ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในทุกตัวอย่างน้ำบ่อตื้น มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (185 mBq/L) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในบริเวณที่ทำการศึกษามีความปลอดภัยในการอุปโภคและบริโภคในครัวเรือน เนื่องจากอาจได้รับอันตรายจากปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำค่อนข้างน้อย และเมื่อประเมินปริมาณรังสี Ra-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี

ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรได้รับเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี พบว่า มีตัวอย่างน้ำบ่อต้น 13 ตัวอย่าง จากทั้งหมด จำนวน 25 ตัวอย่าง มีปริมาณรังสีเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ได้แก่ แหล่งน้ำพุร้อนเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา มี 2 ตัวอย่าง แหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ มี 3 ตัวอย่าง แหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร มี 4 ตัวอย่าง แหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาน้อย (SR6) อ.คีรีรัฐนิคม มี 2 ตัวอย่าง และแหล่งน้ำพุร้อนรัตนโกสัย (SR7) อ.พุนพิน มี 2 ตัวอย่าง มีปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจากเรเดียม-226 มีค่าเท่ากับ 32, 19, 11, 10, 10, 13, 12, 15, 12, 21, 32, 12 และ 12  $\mu\text{Sv}$  ตามลำดับ ซึ่งไม่ควรจะบริโภคน้ำบ่อต้นทั้ง 5 แห่ง เนื่องจากจะได้รับอันตรายจากปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำบ่อต้นค่อนข้างสูง

เมื่อเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น ทั้ง 4 ครั้ง โดยเรียงค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในแต่ละรอบที่เก็บตัวอย่าง พบว่า ในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นสูงสุดและต่ำสุดในการเก็บตัวอย่างรอบที่ 2 เท่ากับ 97  $\text{mBq/L}$  และ 43  $\text{mBq/L}$  ตามลำดับ

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบาดาลที่เก็บจากตัวเมือง มีค่าอยู่ในช่วง ND-122(เฉลี่ย  $49 \pm 17$ )  $\text{mBq/L}$  ตัวอย่าง พบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในทุกตัวอย่างน้ำบาดาล มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ปลอดภัย (185  $\text{mBq/L}$ ) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำบาดาลในตัวเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความปลอดภัยในการอุปโภคและบริโภค เนื่องจากได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างน้อย และเมื่อประเมินปริมาณรังสี Ra-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรได้รับเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี พบว่า มีตัวอย่างน้ำบาดาล 2 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณรังสีเกิน 8  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี ได้แก่ ร้านอาหารป่าเขียวด้านข้างของมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และร้านอาหารเรือนหลวง มีปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจากเรเดียม-226 มีค่าเท่ากับ 25 และ 12  $\mu\text{Sv}$  ตามลำดับ ซึ่งไม่ควรจะบริโภคน้ำบาดาลทั้ง 2 ตัวอย่าง เนื่องจากจะได้รับปริมาณเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำบาดาลมีปริมาณค่อนข้างสูง

ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนจังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่าแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 12,273 และ 586 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผัก 8 ชนิด ที่เจริญเติบโตในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าใบพาดโหม มีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด และกระถินมีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุด เท่ากับ 23,531 และ 449 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายปริมาณรังสีเรเดียมกับปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในผักพื้นบ้าน มีความสัมพันธ์กัน โดยผักที่มีค่าความเข้มข้นของเรเดียมต่ำจะมีปริมาณแคลเซียมอยู่น้อย ได้แก่ ผักบุ้ง ผักกูด โสม ส่วนในผักพื้นบ้านที่มีค่าความเข้มข้นของเรเดียมสูง จะมีปริมาณแคลเซียมเป็นส่วนประกอบสูง ได้แก่ กระถิน ใบชะพลู ใบยอ พาดโหม และขี้เหล็ก ยกเว้นใน ผักกูด โสม และผักบุ้งที่มีปริมาณแคลเซียมน้อย (50, 50 และ 73  $\text{mg}$  ใน 100  $\text{g}$ ,

ตาราง 4.7) แต่จากการวิเคราะห์พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงมาก อาจเนื่องจากการเจริญเติบโตของผักทั้ง 3 ชนิดนี้ อยู่ใกล้กับแหล่งน้ำพุร้อนจึงทำให้สามารถดูดซึมปริมาณเรเดียม-226 ได้มาก ดังนั้นปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่จึงไม่มีผลต่อค่าความเข้มข้นของปริมาณรังสีเรเดียม-226 เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนเปรียบเทียบกับตัวอย่างผักพื้นบ้านที่อำเภอหนองมอม จังหวัดสงขลา พบว่าตัวอย่างผักพื้นบ้านบางชนิดของบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 สูงกว่ามาก

จากข้อมูลการกระจายค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักแต่ละชนิดพบว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างผักพื้นบ้าน ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ปริมาณแคลเซียมที่มีในผักพื้นบ้าน นอกจากนี้ ยังพบว่าผักพื้นบ้านทุกชนิดมีธาตุโพแทสเซียม (K-40) อยู่ในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งธาตุนี้เป็นองค์ประกอบหลักในผักพื้นบ้านเกือบทุกชนิด แต่ธาตุชนิดนี้ไม่เป็นอันตรายมากเมื่อเทียบกับเรเดียม(Ra-226) แม้จะจัดเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่พบในธรรมชาติเช่นกัน และเมื่อประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปีของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน ได้รับต่อปี ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า 73  $\mu\text{Sv}$  และพบว่าประชาชนที่อยู่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขาตอก (SR9) อ.เคียนซา จะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลสูงกว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนอื่นๆ เท่ากับ 206  $\mu\text{Sv}$  ต่อปี โดยประชาชนที่บริโภคผักพาลโหมจะได้รับปริมาณรังสีประสิทธิผลเฉลี่ยต่อปีสูงถึง 395  $\mu\text{Sv}$  ซึ่งสูงกว่าการบริโภคผักพื้นบ้านชนิดอื่นๆ และมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับปริมาณรังสีเรเดียม-226 จากการบริโภค

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่สะสมอยู่ในตัวอย่างน้ำพุร้อนด้วยเครื่อง ICP-OES (Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectrometer) รุ่น Optima 4300 DV ยี่ห้อ Perkin Elmer Instrument. พบว่า มีตัวอย่างจากแหล่งน้ำพุร้อนวัดธารน้ำร้อน (SR3) อ.ท่าฉาง และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านปอน้ำร้อน (SR4) อ.กาญจนดิษฐ์ มีปริมาณโลหะหนักทองแดง (Cu) 0.002 และ 0.004 mg/l ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในน้ำดื่มของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สรุปได้ว่า ค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานโลหะหนักในน้ำดื่มของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

### ข้อเสนอแนะ

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำป้อนดิน และผักพื้นบ้านในละแวกใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ของงานวิจัยครั้งนี้ สามารถแสดงผลระดับความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีของแต่ละบริเวณแหล่งน้ำพุร้อน ที่มีความแตกต่างกัน

อย่างชัดเจน และระดับความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีของแต่ละตัวอย่างน้ำและผักพื้นบ้าน ในแหล่งน้ำพุร้อนเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกันออกไปบ้าง เพราะมีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น ผู้วิจัยขอเสนอแนะควรศึกษาเพิ่มเติมจากขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้ คือ

1. ศึกษาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน น้ำบ่อต้นในทุกฤดูกาลเพื่อได้ข้อมูลเฉลี่ยตลอดทั้งปี

2. ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดเป็นบริเวณกว้าง เพื่อตรวจหาบริเวณที่เป็นบริเวณเสี่ยงทางรังสี ดังนั้นในการดำเนินงานวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการเจาะจงพื้นที่เก็บตัวอย่างให้มีบริเวณแคบลงและครอบคลุมบริเวณจุดที่มีความเสี่ยงทางรังสีมากขึ้น

3. ศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของตัวอย่างผักประเภทอื่นๆ เช่น ผักประเภทหัว ข้าว รวมทั้งผลไม้ต่างๆ และในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งอาจมีปริมาณเรเดียม-226 ปนเปื้อนอยู่ แล้วนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้ว่ามีค่าแตกต่างหรือใกล้เคียงกันเพียงใดกับผักประเภทใบ เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงและการได้รับธาตุกัมมันตรังสีชนิดอื่นๆ เข้าสู่ร่างกาย

4. ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างผักแต่ละชนิดให้มากกว่านี้ เพื่อให้เกิดความแม่นยำของข้อมูล

5. สำหรับผลการทดลองในงานวิจัยนี้มีค่าค่อนข้างสูง ควรแจ้งให้เจ้าหน้าที่ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ทราบ เพื่อหาแนวทางแก้ไขและป้องกันทางด้านรังสีแก่ประชาชน

6. ถ้าหากมีผู้ประกอบการโรงแรมใดๆ จัดให้มีการอาบน้ำแร่ หรือผลิตน้ำแร่จากน้ำพุร้อน ควรจะมีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของเรเดียม-226 ว่าจะเกินปริมาณขีดจำกัดหรือไม่ เพื่อป้องกันความเสี่ยงอันตรายจากรังสีแก่ประชาชนที่มาใช้บริการ

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้ค่าสูงของแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนไม่สามารถสรุปเป็นอำเภอที่มีความเสี่ยงได้ เพราะบางอำเภอไม่มีแหล่งน้ำพุร้อน ทั้งนี้ ค่าความเสี่ยงที่ได้จากกัมมันตภาพรังสีถือเป็นปัจจัยหนึ่งเท่านั้นที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอด เพราะยังมีอีกหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ ไม่ว่าจะเป็นการดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ การกินอาหารหรือแม้แต่เพศและอายุ ก็มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยกันทั้งหมด ดังนั้น ผู้วิจัยถือว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนที่วัดค่ากัมมันตภาพรังสีได้สูงเป็นแค่บริเวณที่มีโอกาสเสี่ยงทางรังสีเท่านั้น เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหา แก่ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

### บรรณานุกรม

กนกพร นามโชติ, 2550. กัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่ จังหวัดพัทลุง, วิทยานิพนธ์วิทยาศา  
สตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

คำนวณ ขาวหนู. โภชนศาสตร์: ครั้งที่ 2 อักษรบัณฑิต, กรุงเทพมหานคร; 401-417. 2522.

จเร วุฒิศาสตร์, 2548. ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบริโภค (น้ำบ่อต้น) ในอำเภอนาหม่อม  
จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จิตติรัตน์ เจริญตาและมารีนา ตาเดอิน, 2548. กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุ  
ร้อนของภาคใต้ประเทศไทย. โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ณัฐธิดา พรหมยอด, 2547. การตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำ ด้วยวิธีใช้เรซินแลกเปลี่ยน  
และวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา, โครงการงานทางฟิสิกส์ วิทยาศาตร  
บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไทรภพ ผ่องสุวรรณ, ชวัช ชิตระการ, สมพร จงคำ, พรศรี พลพงษ์, สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล,  
อภิพันธ์ ฐิติภรณ์พันธ์, คมฤทธิ์ วัฒนวาที และจเร วุฒิศาสตร์, 2545. ก๊าซกัมมันตรังสี  
เรดอนในบ้าน. วารสารสงขลานครินทร์ 20(2): เม.ย.-มิ.ย.

ชวัช ชิตระการ. การตรวจวัดรังสี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตร  
ศาสตร์, 2545.

ปรีดา นวลจริง, 2549. กัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่ จังหวัดนครศรีธรรมราช, วิทยานิ-  
พนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- ไพฑูริย์ วรรณพงษ์ และสมชัย บวรกิตติ, 2547. แก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทย. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, ปีที่ 13 ฉบับที่ 4.
- พงศกร สุวรรณเดชา. ฟิสิกส์นิวเคลียร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2540.
- พิไลลักษณ์ สว่างแสง, 2546. ความเข้มข้นกัมมันตภาพเรเดียม-226 ในน้ำบ่อในพื้นที่ที่พบผักปนเปื้อนรังสีสูง โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มานพ รักษาสกุลวงศ์, 2544, น้ำพุร้อน-แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ. *วารสารเศรษฐศาสตร์วิทยา*. กรมทรัพยากรธรณี 3 (4):
- มันสิน ตันตุลเวศน์. วิศวกรรมการประปาเล่ม 2. กรุงเทพฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- วิราสินี ก้าวศิริรัตน์, 2547. การหาปริมาณเรเดียม-226 ในผักพื้นบ้านในอำเภอหนองม่อม ด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา. โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สิริพร อังกูร์รัตน์, 2550. กัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในผักที่ปลูกในพื้นที่ อ.หนองม่อม จ.สงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุกิจ อติพันธ์, 2550. การสำรวจรังสีแกมมาจากธรรมชาติในอำเภอหนองม่อม จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาธรณีฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุภัทร ภัทรกิจโสภณ, 2547. ประสิทธิภาพการจับเรเดียมของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดแคตไอออน. โครงการงานฟิสิกส์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- Bradley, E.J. 1993. Contract Report. Natural radionuclides in environmental media. NRPB-M439.
- Chaturongkawanich, S., 2001. Geothermal resources of Changwat Surat Thani, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, pp. 48-50.
- 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.
- Cothorn, C.R. and Lappenbusch, W.L. 1983. "Occurrence of uranium in drinking water in the United States", Health Physics. 1 (1983), 89-93.
- Faure, G. 1986. Principle of isotope geology (Second Edition). Singapore:John Wiley & Sons.
- Gan, I. 1985. "Natural radionuclides in mineral waters", Sci. Total Environ. 45 (1985), 93-99.
- 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.
- Krishnasawami, S., Graustein, W.C., Turekian, K.K., and Dowd, J.F, 1982, Radium, Thorium, and radioactive lead isotopes in ground water: application to the in-situ determination of absorption rate constant and retardation factors, Water Resour. Res 18:1663-1675.
- Kuo, Y.C., Lai, S.Y., Huang, C.C. and Lin, Y.M. 1997. "Activity Concentrations and Population Dose from Radium-226 in Food and Drinking Water in Taiwan", Appl. Radiat. Isot. 9 (1997), 1245-1249.



- 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.
- Marovic, G., Sencar, J., Franic, Z and Lokobaner, N. 1996. "Radium-226 in thermal and Mineral Springs of Croatia and Associated Health Risks", *Journal of environmental Radioactivity*. 33(1996), 55-67.
- Mays, C.W. and Rowland, R.E. 1985. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotope, *Health Physics*, 48:635-647.
- Malanca, A., Gaidolfi, L., Pessina, V. and Dallara, G. 1996. "Distribution of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  in soil of Rio do Norte (Brazil)", *Journal of Environmental Radioactivity*. 30 (1996), 55-67.
- Moon, D.S., Burnett, W.C., Nour, S., Horwitz, P. and Bond, A. 2003. "Preconcentration of radium isotopes from natural water using  $\text{MnO}_2$  Resin", *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  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$  and  $^{226}\text{Ra}$  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  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$  and  $^{226}\text{Ra}$  from food and drinking water by inhabitants of the Walbrzych region", *J. Radional. Nucl. Chem.* 1-2 (1997), 183-193.

- Quindos, L.S., et al. 1994. "Natural radioactivity in Spanish soil", Health Physics. 66(1994), 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 Machigan", Bulletin of Environment al Contamination and Toxicology. 61 (1998), (722-729).
- UNSCEAR 1988. The United Nation scientific committee on the effects of atomic radiation,sources and effects of ionizing radiation, Unitaad Nations, New York.
- UNSCEAR 2000. The United Nation scientific committee on the effects of atomic radiation,sources and effects of ionizing radiation, Unitaad Nations, New York.
- WHO (World Health Organization) 2002. Guidelines for drinking water quality. 3d ed. Radiological aspects.
- Zhuo, W., lida, T. and Yang, X. 2001. "Occurrence of  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  and U in groundwater in Fujian Province, China", Journal of environmental Radioactivity. 53 (2001), 111-120.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### พื้นที่ศึกษา และแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทย

#### น้ำพุร้อน (Hot Spring Water)

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดจากความร้อนที่ถูกกักเก็บอยู่ภายใต้ผิวโลกซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในโลกเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกหรือมีเกรเดียนท์ของอุณหภูมิ (gradient temperature) (คณาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2529) แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพเกิดขึ้นในบริเวณที่เปลือกโลกมีการเคลื่อนที่ เขตภูเขาไฟที่ยังคุกรุ่นอยู่ บริเวณที่มีการไหลของของเหลวร้อนจากภายใต้ผิวโลกขึ้นมาสู่ผิวดินมากกว่าปกติและในบริเวณที่มีชั้นของเปลือกโลกบาง ซึ่งทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดแนวรอยแตก รอยแยก รอยเลื่อน ซึ่งเป็นช่องทางให้น้ำจากผิวดินจำนวนหนึ่งไหลซึมลงไปใต้ผิวโลก น้ำซึ่งสะสมตัวอยู่ใต้ผิวโลกจะได้รับความร้อนจากชั้นหินที่มีความร้อนและทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจนเป็นน้ำร้อนและไอน้ำ น้ำร้อนและไอน้ำเหล่านี้จะพยายามแทรกดันตัวขึ้นมาตามแนวรอยแตกของชั้นหินและปรากฏให้เห็นในรูปของน้ำพุร้อนธรรมชาติบนผิวดิน (มานพ รักษาสกุลวงศ์, 2529) ปัจจุบันในประเทศไทยพบแหล่งน้ำพุร้อน 112 แหล่ง กระจายอยู่ทั่วไปตั้งแต่ทางภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคใต้ วัตถุประสงค์ของน้ำร้อนที่ผิวดินอยู่ในช่วง 40-100°C

พลังงานความร้อนใต้พิภพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น เพื่อการเกษตร การอบแห้งหรือในกระบวนการให้ความร้อนในอุตสาหกรรม รวมทั้งเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจและแหล่งพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพงและน้ำพุร้อนฝาง ในภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ด้วยการกำลังการผลิต 50 MW และ 300 kW ตามลำดับ

#### ต้นกำเนิดความร้อน

- น้ำพุร้อนที่พบบริเวณหินอัคนี น้ำใต้ดินได้รับการถ่ายเทความร้อนจากหินอัคนีที่ร้อนในระดับลึก และไหลย้อนกลับสู่ผิวดิน
- น้ำพุร้อนที่เกิดอยู่ใกล้หรือเกิดอยู่ในหินแกรนิตจะได้รับความร้อนจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีซึ่งพบมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในหิน
- น้ำพุร้อนที่เกิดอยู่บริเวณรอยเลื่อนมีพลังได้รับการถ่ายเทความร้อนจากแรงเฉือนและรอยเลื่อนดังกล่าว เป็นช่องทางนำน้ำเย็นไหลลงสู่ระดับลึกแล้วไหลขึ้นสู่ผิวดินเป็นน้ำพุร้อน

- รอยเลื่อนปกติในทิศทางเหนือ-ใต้ ที่เกิดอยู่ทั่วไปในช่วงเวลาไม่เกิน 1.8 ล้านปี (หลังยุคเทอร์เชียรี) เป็นตัวให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

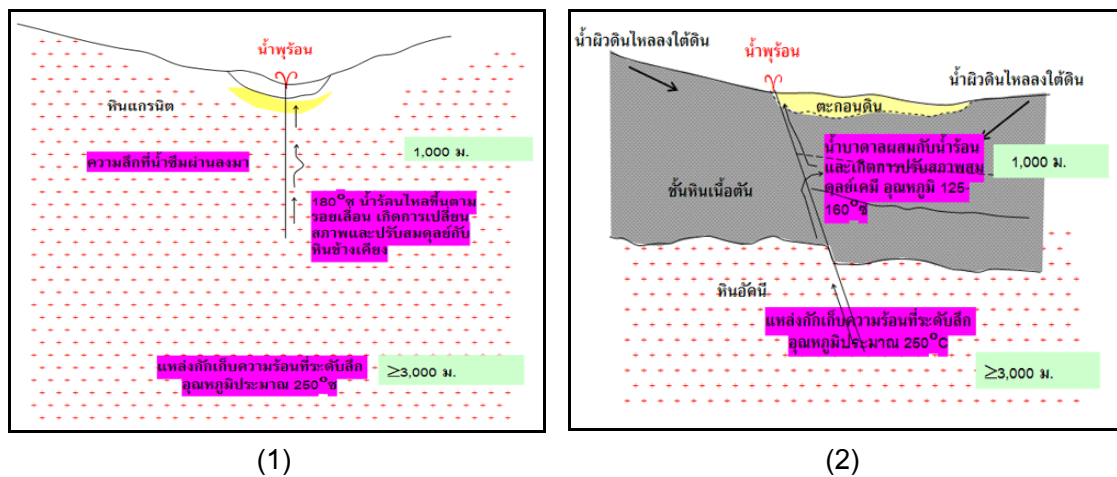
- บริเวณประเทศไทยมีค่าการไหลถ่ายความร้อนสูง (high heat flow) ซึ่งเป็นผลมาจากชั้นเปลือกโลก และชั้นแมนเทิล (mantle) บางหรืออยู่ตื้นกว่าปกติ

### แบบจำลองน้ำพุร้อน แบบที่ 1

เกิดในหินแกรนิต โดยน้ำฝนและน้ำผิวดินไหลลงสู่ใต้ดินตามรอยเลื่อน รอยแตกของหิน จนถึงความลึกระดับหนึ่ง ได้รับการถ่ายเทความร้อนแล้วไหลกลับสู่ผิวดินตามรอยเลื่อนหรือรอยแตกของหิน เกิดเป็นน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิใกล้เคียง (ภาพประกอบ ก-1 (1))

### แบบจำลองน้ำพุร้อน แบบที่ 2

เกิดในหินชนิดอื่นที่ปิดทับหินแกรนิต โดยน้ำฝนและน้ำผิวดินไหลลงสู่ใต้ดินตามรอยเลื่อน รอยแตก และรูพรุนของหินจนถึงความลึกระดับหนึ่ง ได้รับการถ่ายเทความร้อนแล้วไหลกลับสู่ผิวดินตามรอยเลื่อนหรือรอยแตกของหิน เกิดเป็นน้ำพุร้อน หรือบ่อน้ำอุ่น (ภาพประกอบ ก-1 (2))



ภาพประกอบ ก-1 (1) การเกิดน้ำพุร้อนที่สัมพันธ์กับหินแกรนิตในประเทศไทย

(2) การเกิดน้ำพุร้อนที่สัมพันธ์กับหินชนิดอื่นซึ่งปิดทับอยู่บนหินแกรนิต

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2542

### ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำพุร้อนในประเทศไทย

1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ระหว่าง 6.4-9.5
2. ปริมาณสารละลายในน้ำต่ำ (low total dissolve solid) ระหว่าง 200-650 pp ยกเว้นน้ำพุร้อนที่เป็นน้ำเค็มให้ค่าปริมาณสารละลายสูงมาก
3. น้ำพุร้อนส่วนใหญ่บริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกมีค่าฟลูออไรด์สูงมากกว่า 5 ส่วนในล้าน (ppm) และได้กลิ่นกำมะถันค่อนข้างแรง
4. น้ำพุร้อน 6 แหล่งในภาคใต้เป็นน้ำเค็ม และให้เอนทัลปีต่ำถึงปานกลาง (Enthalpy)

ตาราง ก-1 ประเภทน้ำพุร้อน และประโยชน์จากการอาบน้ำพุร้อน

ที่มา: <http://www.east.co.jp/dip-e/ante/onsen/what.html>

ประเภท	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ประโยชน์
น้ำพุร้อนทั่วไป (Simple Springs)	อุณหภูมิสูงกว่า 25°C ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน, เกลือและแร่อื่น ๆ น้อยกว่า 1 กรัม	รักษาโรคปวดวิถีประสาทและโรคปวดข้อ การอาบน้ำพุร้อนเป็นประจำ จะช่วยในการฟื้นฟูสมรรถภาพ
น้ำพุร้อนคาร์บอเนต (Carbonate Springs)	ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและแร่อื่น ๆ น้อยกว่า 1 กรัม/ลิตร ลักษณะทั่วไปคล้ายกับน้ำพุร้อนทั่วไปแต่มีปริมาณของคาร์บอเนตสูงกว่า อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ หรือเป็นพุน้ำเย็น	รักษาโรคเกี่ยวกับหัวใจ ทำให้การไหลเวียนของโลหิตดีขึ้น รักษาโรคประสาท และความผิดปกติของเพศหญิง
น้ำพุร้อนดินคาร์บอนหนัก (Heavy Carbon Soil Springs)	ธาตุคาร์บอน และแร่อื่น ๆ มากกว่า 1 กรัม/ลิตร	รักษาโรคปวดข้อ โรคปวดวิถีประสาท และโรคผิวดึง ปกติของผิวหนังเรื้อรัง การดื่มน้ำนี้ช่วยผ่อนคลายปัญหาเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารและอาการอักเสบของกระเพาะอาหาร

## ตาราง ก-1 (ต่อ)

ประเภท	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ประโยชน์
น้ำพุร้อนเกลือ (Salt Springs)	ประกอบด้วยสารเคมีมากกว่าน้ำพุร้อนทั่วไป คือมีแร่ธาตุต่างๆ มากกว่า 1 กรัม/ลิตร ในกรณีที่น้ำประกอบด้วยเกลือระหว่าง 1-5 กรัม/ลิตร เรียกว่า น้ำพุเกลืออ่อน (Weak Saline) เกลือระหว่าง 5-10 กรัม/ลิตร เรียกว่า น้ำพุเกลือ และเกลือมากกว่า 10 กรัม/ลิตร เรียกว่า น้ำพุเกลือเข้มข้น (Strong Salt) และมีคุณสมบัติแก้บรรเทาอุณหภูมิและความร้อนได้ดี	
น้ำพุร้อนเกลือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Saltine Sodium Hydrogen Carbomate Springs)	น้ำพุเกลือ ที่มีส่วนประกอบของโซเดียม ไฮโดรเจนคาร์บอเนต และ Alkaline Base	เช่นเดียวกับ น้ำพุร้อนดินคาร์บอเนต

\*Alkine Base = สารละลายต่างเข้มข้น, พลายา และน้ำพุ Sulfite = เกลือของกรดซัลฟูรัส, Vitrol = เป็นอีกชื่อหนึ่งของกรดซัลฟูริก หรือ สิ่งที่มีเกลือ, Arteriosclerosis = ไขมันอุดตันในเส้นเลือดหัวใจ, Cholecystitis = ถุงน้ำดีอักเสบ, Female Disorder = ความผิดปกติของเพศหญิง, Neuralgia = โรคปวดวิถีประสาท, Neurological = โรคประสาท, วิกฤจจิต, Rehabilitation = การฟื้นฟูสมรรถภาพ, Rheumatism = โรคปวดข้อ โรคเข้าข้อ

ตาราง ก-2 แสดงพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษา 10 แห่ง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

รหัส	แหล่งน้ำพุร้อน	หมู่บ้าน	อำเภอ
SR1	บ้านน้ำพุร้อน	น้ำพุร้อน หมู่ที่ 2	ไชยา
SR2	เขานางฮี	เขาน้ำร้อนใน	ไชยา
SR3	วัดธารน้ำร้อน	วัดธารน้ำร้อน หมู่1	ท่าฉาง
SR4	บ้านบ่อน้ำร้อน	บ่อน้ำร้อน หมู่ที่ 5	กาญจนดิษฐ์
SR5	บ้านวังหิน	วังหิน หมู่ที่ 5	นาสาร
SR6	บ้านเขาน้อย	เขาน้อย หมู่ที่ 5	คีรีรัฐนิคม
SR7	รัตนโกสัย	ท่าสะท้อน หมู่ 6	พุนพิน
SR8	บ้านเขาพลู	เขาพลู หมู่ 5	บ้านนาเดิม
SR9	บ้านเขาตอก	เขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองทุ่งทอง	เคียนซา
SR 10	สวนโมกข์นานาชาติ	บ้านละเม็ด	ไชยา

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี





SR1 บ้านน้ำพุร้อน อ.ไชยา



SR2 บ้านเขานางฮี อ.ไชยา



SR10 สวนโมกข์นานาชาติ อ.ไชยา



SR3 วัดธารน้ำร้อน อ.ท่าฉาง



SR4 บ้านบ่อน้ำร้อน อ.กาญจนดิษฐ์



ภาพประกอบ ก-2 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อและฝักพื้นบ้าน บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี



SR5 บ้านวังหิน อ.นาสาร



SR6 บ้านเขาน้อย อ.คีรีรัฐนิคม



SR7 รัตนโกสย อ.พุนพิน



SR8 บ้านเขาพลู อ.บ้านนาเดิม



SR9 บ้านเขาดอก อ.เคียนซา

ภาพประกอบ ก-2 (ต่อ) แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน น้ำบ่อและฝักพื้นบ้าน บริเวณแหล่งน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

## ภาคผนวก ข

### ข-1 นิยามศัพท์เฉพาะ

นิวไคลด์ (nuclide) คือ อะตอมที่ระบุสมบัติของนิวเคลียส โดยแสดงจำนวนโปรตอน นิวตรอน อย่างชัดเจน

นิวไคลด์กัมมันตรังสี (radionuclide) คือ นิวไคลด์ที่มีสภาพไม่เสถียร เกิดการสลายตัว เป็นนิวไคลด์ชนิดอื่นแล้วแผ่รังสีออกมา

ธาตุกัมมันตรังสี (radioactive element) คือ ธาตุที่มีสมบัติในการแผ่รังสีได้เอง เช่น ยูเรเนียม ทอเรียม โพลแทสเซียม และเรเดียม เป็นต้น

กัมมันตภาพ (activity) คือ การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่อหน่วยเวลา หน่วยที่มักใช้คือ เบ็กเคอเรล

สารกัมมันตรังสี (radioactive materials) เป็นคำคุณศัพท์ หมายถึง เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี ตัวอย่างเช่น สารกัมมันตรังสี หมายถึง วัสดุที่สามารถแผ่รังสีออกมาได้ด้วยตนเอง หรือ กากกัมมันตรังสี หมายถึง ขยะหรือของเสียที่เจือปนด้วยสารกัมมันตรังสี

กัมมันตภาพรังสี (radioactivity) คือ ปรากฏการณ์ที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีสลายตัวและมีการปล่อยรังสีออกมาด้วย เช่น รังสีแกมมา รังสีแอลฟา และรังสีบีตา โดยทั่วไปการสลายตัวจะให้นิวไคลด์ใหม่

การได้รับรังสี (exposure) คือ การที่มนุษย์ได้รับรังสีที่แผ่มาจากภายนอกร่างกาย หรือ จากการได้รับสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย

สมมูล (equivalent, e) คือ มีค่าเทียบเท่าหรือเท่ากัน เช่น ความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูล คือ ความเข้มข้นที่เทียบเท่ายูเรเนียม เพราะค่ากัมมันตภาพที่วัดเป็นของไอโซโทปลูกซึ่งสมมุติให้เข้าสู่สภาวะสมดุลกัมมันตภาพของการสลายตัวแบบเชอคูลาร์กับไอโซโทปแม่

รีเจเนอเรชัน (regeneration) หมายถึง การทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นคืนตัวขึ้นมา มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนใหม่อีก การที่เรซินหมดอำนาจชั่วคราวเพราะว่าไอออนอิสระ ส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำจนหมดสิ้น การทำรีเจเนอเรชัน ได้แก่ การขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกมาจากน้ำ และเติมไอออนอิสระให้กับเรซิน ทำให้เรซินกลับคืนสู่สภาพเดิม และมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนเดิมอีกครั้งหนึ่ง สารเคมีที่ใช้ในการเติมไอออนอิสระให้กับเรซินที่เสื่อมอำนาจไปแล้วเรียกว่า สารรีเจเนอเรนต์ ตัวอย่างของสารรีเจเนอเรนต์ ได้แก่ NaCl ใช้เติม  $\text{Na}^+$  หรือ  $\text{Cl}^-$  ให้กับเรซิน หรือ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ใช้เติม  $\text{H}^+$  ให้กับเรซิน เป็นต้น

## ข-2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับสสาร

เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบและผ่านเข้าไปในเนื้อสารบางชนิด จะเกิดอันตรกิริยาขึ้นโดยอันตรกิริยาที่สำคัญมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect) และการผลิตสารคู่ (Pair production) มีรายละเอียดต่อไปนี้

### 1. ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)

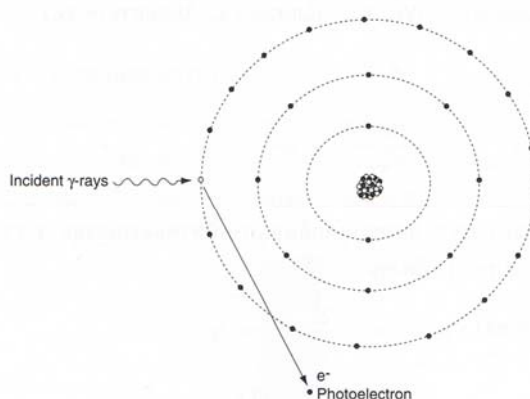
เป็นการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมา กับอะตอมของสสาร ซึ่งเมื่ออะตอมของสสารถูกชนโดยรังสีแกมมา จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอม เรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) และอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์เท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีแกมมา กับค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม (ภาพประกอบ ข-2.1 และสมการที่ ข-2.1)

$$T_e = E_\gamma - B_e \quad (\text{ข-2.1})$$

เมื่อ  $T_e$  คือ พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน หน่วย keV

$E_\gamma$  คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบสสาร หน่วย keV

$B_e$  คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม หน่วย keV



ภาพประกอบ ข-2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ที่มา: นवलฉวี, 2545

การที่มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากอะตอมนี้ทำให้เกิดที่ว่างขึ้นมาทำให้ อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นพลังงานถัดไปตกลงมาแทนที่ที่ว่างนั้นทำให้เกิดการคายรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristics X-ray) ของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้ามาแทน รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะทำอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นที่สูงกว่าในอะตอม แล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาอีก เรียกว่า ออร์เจอร์อิเล็กตรอน (Auger electron) ซึ่งทั้งอิเล็กตรอนและรังสีเอกซ์ที่เป็นผลจากการ เกิดอันตรกิริยาดังกล่าว สามารถถูกดูดกลืนได้โดยผลึกที่ใช้เป็นหัววัดรังสี เนื่องจาก ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก อะตอมสามารถดูดกลืนพลังงานของรังสีแกมมาได้หมด จึงนิยมใช้ ปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กทริกในการอธิบายการดูดกลืนพลังงานของรังสีแกมมาในการทำ การทดลอง ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจะมีบทบาทขึ้นอีกในกรณีที่รังสีแกมมาที่เข้ามามีพลังงาน ต่ำๆ (น้อยกว่า 250 keV) และความน่าจะเป็นในการเกิดอันตรกิริยาจะขึ้นอยู่กับค่าเลขอะตอม ของตัวดูดกลืน

## 2. ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect)

ในปรากฏการณ์คอมป์ตัน รังสีแกมมาหรือโฟตอนที่มีพลังงาน  $h\nu$  จะวิ่งเข้ามาชนอิเล็กตรอนที่อยู่หนึ่งในอะตอมของสสารแบบยึดหยุ่น คือ ทั้งโมเมนตัมและพลังงานไม่สูญหาย รังสีแกมมาจะถ่ายทอดพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนที่ถูกชน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา เรียกว่า คอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) และเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์  $T_e$  ในทิศทางทำมุม  $\phi$  กับทิศทางเดิมของอิเล็กตรอน ส่วนรังสีแกมมาที่มีพลังงานลดลงเป็น  $h\nu'$  จะเกิดการกระเจิงไปเป็นมุม  $\theta$  ใดๆ ที่คิดเทียบกับทิศทางเดิมของรังสีแกมมา (ภาพประกอบ ข-2.2)

เนื่องจากการชนแบบยึดหยุ่น เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของพลังงาน เริ่มต้นของรังสีแกมมา พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิง และพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่ถูกชน ได้ดังนี้

$$h\nu = h\nu' + T_e \quad (\text{ข-2.2})$$

จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม จะได้ว่า

ในแนวแกน x

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos \theta + P \cos \theta \quad (\text{ข-2.3})$$

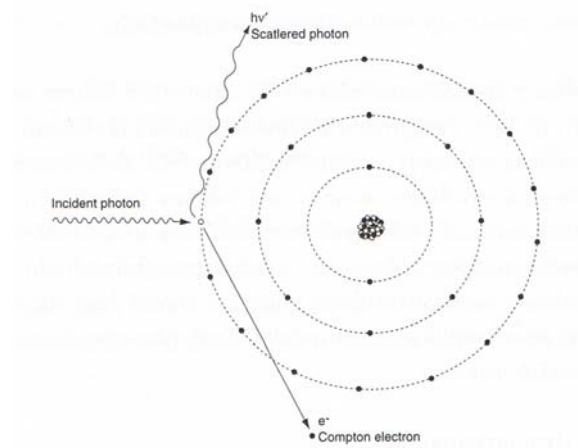
ในแนวแกน y

$$0 = -\left(\frac{h\nu'}{c}\right)\sin\theta + P\sin\theta \quad (\text{ข-2.4})$$

จากการแก้สมการทั้ง 3 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของพลังงานของรังสีแกมมาที่เข้าชนและพลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกไป ได้ดังต่อไปนี้

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \left(\frac{h\nu}{m_0c^2}\right)(1 - \cos\theta)} \quad (\text{ข-2.5})$$

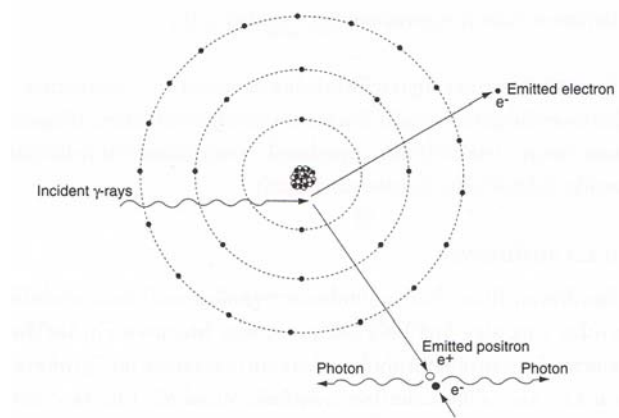
การเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันจะมีค่าแปรผันตามอัตราส่วนระหว่างเลขอะตอมกับเลขมวล ( $Z/A$ ) ของสารที่เป็นตัวดูดกลืน และขึ้นกับค่าพลังงานของโฟตอนอยู่บ้าง แต่ไม่มากเท่ากับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก



ภาพประกอบ ข-2.2 แสดงการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตัน  
ที่มา: นวลฉวี, 2545

### 3. การผลิตสารคู่ (Pair production)

การผลิตสารคู่เกิดขึ้นได้เมื่อรังสีแกมมาที่วิ่งเข้ามามีพลังงานอย่างน้อย 1.02 MeV หรือมีพลังงานเป็น 2 เท่าของพลังงานมวลนิ่งของอิเล็กตรอน ทำอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส ทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน (positron) ขึ้นมาจากโฟตอนที่วิ่งเข้ามาชนแล้วหายไป ถ้ารังสีแกมมาที่วิ่งเข้ามามีพลังงานมากกว่า 1.02 MeV พลังงานส่วนเกินนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน การผลิตสารคู่มักเกิดขึ้นบริเวณใกล้ๆ นิวเคลียส อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกดึงดูดด้วยนิวเคลียส แต่โพสิตรอนจะถูกผลักรอก โดยปกติแล้วโพสิตรอนที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานจลน์มากกว่าอิเล็กตรอน แต่ทั้งอิเล็กตรอนและโพสิตรอนต่างก็ถูกสกัดกั้นได้อย่างรวดเร็วในผลึกของตัวดูดกลืน ส่งผลให้อิเล็กตรอนและโพสิตรอนกลับมารวมกันเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ที่มีพลังงาน 0.511 MeV ซึ่งเรียกว่า การประลัย (annihilation) รังสีแกมมา 2 ตัวที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามซึ่งกันและกัน (180 องศา) และอาจจะเกิดหรือไม่เกิด อันตรกิริยากับผลึกของตัวดูดกลืนก็ได้ (ภาพประกอบ ข-2.3)



ภาพประกอบ ข-2.3 แสดงการเกิดการผลิตสารคู่  
ที่มา: นวลฉวี, 2545

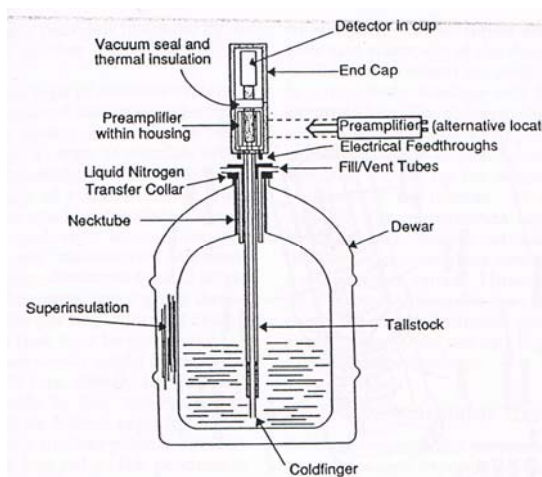
ในผลึกของตัวดูดกลืน การเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 จะขึ้นอยู่กับพลังงานของโฟตอน ดังนี้ การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ส่วนใหญ่จะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่า 250 keV ปรากฏการณ์คอมป์ตันจะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงาน 300 keV ถึง 5 MeV และการผลิตสารคู่จะเกิดกับโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่า 5 MeV

### ข-3 การตรวจวัดรังสีแกมมาและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสี โดยใช้หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำและระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

ในการตรวจวัดรังสีแกมมาในธรรมชาติ วิธีการที่ใช้จะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุ ผลที่เกิดขึ้นก็คือ อะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) หรือถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น (Excitation) หัววัดรังสีที่อาศัยหลักการแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ หัววัดแบบก๊าซทุกชนิด และหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ ส่วนหัววัดที่ใช้หลักการกระตุ้น ได้แก่ หัววัดแบบซิลทิลเลชัน สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป สำหรับการตรวจวัดรังสีแกมมา หัววัดรังสีแกมมาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิดคือ หัววัดแบบซิลทิลเลชัน (Scintillation detector) และหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ

#### 1. หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ

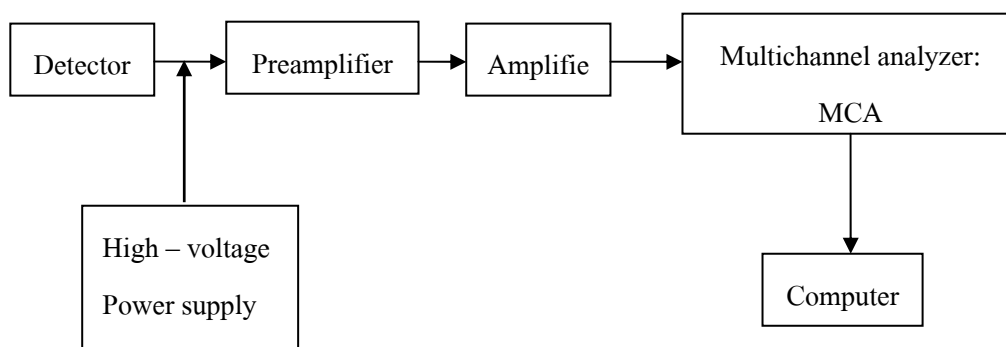
หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ เป็นหัววัดรังสีที่ได้รับความนิยมสูงมาก เนื่องจากเป็นหัววัดที่มีประสิทธิภาพสูง มีอยู่หลายชนิด บางชนิดวัดได้ทั้งรังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมาพลังงานต่ำ ตัวอย่างเช่น หัววัดแบบ lithium-drifted silicon หรือ Si(Li) ส่วนหัววัดแบบ lithium-drifted germanium หรือ Ge(Li) เป็นหัววัดที่เหมาะสมแก่การใช้วัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงๆ



ภาพประกอบ ข-3.1 แสดงภาพหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ที่  
ที่มา: Gilmore and Hemingway, 1995.



หลักการโดยย่อของหัววัดชนิดนี้ จะใช้ผลึกของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งต้องแช่ไว้ในไนโตรเจนเหลว ที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลวิน แล้วใช้ตรวจวัดรังสี เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในผลึกจะทำให้เกิดไอออนที่มีประจุบวกและลบ ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล (holes) จำนวนเท่าๆ กัน และเมื่อนำขั้วไฟฟ้าสองขั้วมาต่อเข้ากับผลึกคนละด้าน แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป จะทำให้ผลึกนั้นมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ไอออนหรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้นจะถูกดึงดูด ไปยังขั้วไฟฟ้า ไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะปฏิกิริยากับพลังงานของรังสีที่สูญเสียไปในผลึกนั้น ด้วยเหตุนี้ เมื่อต่อหัววัดชนิดนี้เข้ากับระบบขยายสัญญาณและ MCA (ภาพประกอบ ข-3.2) เราจะสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดออกมาในรูปของกราฟที่เขียนขึ้นระหว่างจำนวนช่องของ MCA และจำนวนนับที่นับได้จากหัววัดในแต่ละช่องของ MCA (counts per channel) เรียกว่า “สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา” (gamma ray energy spectrum)



ภาพประกอบ ข-3.2 แสดงแผนภาพของหัววัดสารกึ่งตัวนำและระบบการตรวจวัดรังสีแกมมา

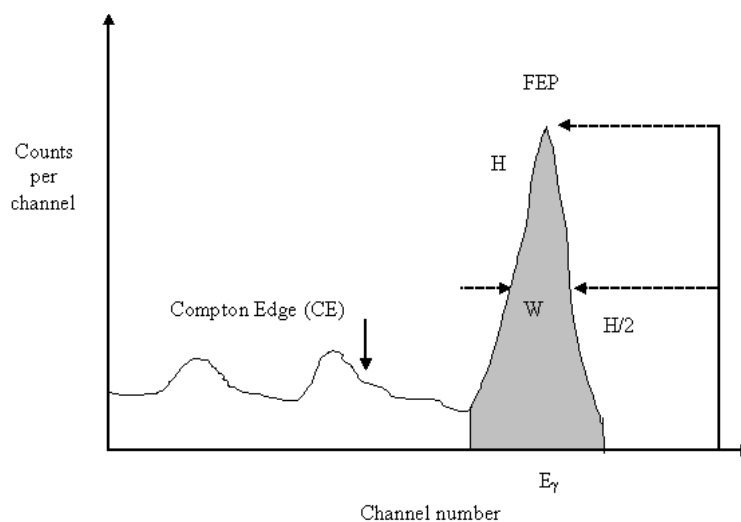
## 2. อุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์

- แหล่งจ่ายกำลังศักย์สูง (High Voltage Power Supply) จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และจะต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักย์ไฟฟ้าทางเอาต์พุตให้คงที่ ณ จุดที่ตั้งไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อม หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์สำหรับหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ แหล่งจ่ายกำลังศักย์สูงควรปรับค่าได้จาก 0 ถึง 5,000 โวลต์ และให้กระแสได้จาก 0 ถึง 100  $\mu\text{A}$

- ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) จะทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัด แล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ซึ่งมีขนาดที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุ

- ภาคขยายหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์จากภาคขยายส่วนหน้า แล้วนำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะกับการนำไปวิเคราะห์ความสูง อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain) มี 2 แบบ คือ อัตราขยายหยาบ (Coarse gain) และอัตราขยายละเอียด (Fine gain)

- เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (Multichannel Analyzer: MCA) จะบันทึกและเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กัขนาดความสูง หน่วยเก็บแต่ละหน่วยจะเรียกว่าช่อง ความสูงของพัลส์จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ในรูปของปฏิภาคกับพลังงานของอนุภาคที่เข้าสู่หัววัด แต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะที่สมนัยกับพลังงานนั้นๆ การแจกแจงของพัลส์ในช่องก็คือ ภาพของการแจกแจงพลังงานของอนุภาค เมื่อสิ้นสุดเวลาการวัด สเปกตรัมที่ถูกบันทึกจะแสดงผลที่จอภาพของ MCA และแกนระนาบคือหมายเลขช่องหรือพลังงานของอนุภาค ส่วนแกนตั้งจะเป็นจำนวนอนุภาคที่ถูกบันทึกต่อช่อง



ภาพประกอบ ข-3.3 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมา

จะเห็นได้ว่า ลักษณะของสเปกตรัมของรังสีแกมมานั้น จะเริ่มต้นจากรังสีที่มีพลังงานต่ำๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตรวจวัด ได้แก่ รังสีเอ็กซ์ โฟตอนที่สะท้อนกลับ (Backscattered photon) ขอบของคอมพ์ตัน (Compton edge; CE) หรือเรียกรวมๆ ว่าบริเวณต่อเนื่องแบบคอมพ์ตัน (Compton continuum) ซึ่งส่วนที่สำคัญที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือ พีดพลังงานของรังสีแกมมา (Photo peak หรือ Full Energy Peak; FEP) พลังงานที่พีดดังกล่าวนี้เป็นพลังงานของ รังสีแกมมาจริง เราจะทำการวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแกมมาโดยใช้พีดที่เรียกว่า โฟโตพีด (Photo peak) นั้นเอง

## ข-6 การแลกเปลี่ยนไอออน

### 1. สารแลกเปลี่ยนไอออน

สารแลกเปลี่ยนไอออนอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ซีโอไลต์ (Zeolite) และเรซิน แลกเปลี่ยนไอออน ปัจจุบันสารประเภทหลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาก

ซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นสารประกอบที่มีความสามารถแลกเปลี่ยน  $\text{Na}^+$  ที่อยู่ในตัวกับไอออนบวก ที่อยู่ในน้ำหลายชนิด เช่น Alkaline Earth Ions,  $\text{NH}_4^+$  และ ไอออนที่มีประจุเป็น  $2+$  บางตัว ซีโอไลต์มี 2 ชนิด คือ แบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ ซีโอไลต์แบบธรรมชาติ ได้แก่ Green Sand หรือ Glaucanite เป็นแร่ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ พบมากในรัฐนิวเจอร์ซีย์ สหรัฐอเมริกาแร่ชนิดนี้มีน้ำอยู่ประมาณ 10% ซีโอไลต์แบบสังเคราะห์ ได้มาจากสารประกอบหลายชนิดผสมกัน เช่น โซเดียมซิลิเกตและอะลูมิเนียมซิลเฟต หรือโซเดียมอะลูมิเนต ความถ่วงจำเพาะของซีโอไลต์ทั้งสองชนิดเมื่อแห้งแล้วจะมีค่าประมาณ 2.1 ถึง 2.4 ซึ่งนับว่าต่ำกว่าของทรายธรรมดา (ความถ่วงจำเพาะ 2.65) ไม่มากนัก ซีโอไลต์แบบสังเคราะห์มีน้ำอยู่ในตัวประมาณ 50% การที่มีน้ำอยู่ในตัวดังกล่าวทำให้ความหนาแน่นของซีโอไลต์แบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์มีค่า ประมาณ 10 และ 50 ถึง 70 ปอนด์ต่อลบ.ฟุต ตามลำดับ เนื่องจากซีโอไลต์มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนต่ำจึงได้มีการพัฒนาสาร อินทรีย์ โพลีเมอร์ จนกระทั่งสามารถใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนที่มีอำนาจสูงกว่าซีโอไลต์เป็นอันมาก สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดใหม่นี้เรียกว่า Resinous Ion Exchanger หรือ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออน ในงานวิจัยนี้ เราจะกล่าวถึงเฉพาะ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเท่านั้น เนื่องจากมีการใช้กันอย่างกว้างขวางมากกว่าซีโอไลต์ ในปัจจุบันจะใช้กรีนแซนด์ ในการกำจัดเหล็กและแมงกานีสเท่านั้น

### 2. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน

- เรซินที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ DOWEX HCR-S/S
- Cation Exchange Resin
- ชนิด: เรซินแบบกรดแก่
- ไอโตรคาร์บอนที่เป็นต้นกำเนิด: สไตรีน
- หมู่ฟังก์ชัน: กรดซัลโฟนิก
- ปริมาตรความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน: 1.9 eq/L
- ขนาดอนุภาค: อยู่ในช่วง 300  $\mu\text{m}$ -1200  $\mu\text{m}$
- ค่าสภาพความเป็นกรด-เบส: pH 7.0-9.5
- ค่าความจุในการกักเก็บน้ำ: 48-52 %

- ค่าความหนาแน่นของอนุภาค: 1.30 g/mL
- น้ำหนักโดยประมาณ: 800 g/L

### 3. คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน

เพื่อให้มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ต้องมีไอออนอิสระ ที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนในน้ำ
2. ต้องไม่ละลายน้ำ
3. ต้องมีช่องว่างภายในโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนอย่างพอเพียง เพื่อให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกได้อย่างสะดวก

เรซินทั่วไปมีลักษณะกลม และขนาดใกล้เคียงทรายกรอง แต่ไม่แข็งและไม่หนักเท่า

### 4. หน้าทีของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน

หน้าทีของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน 2 ประการ ซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องกันคือ

1. ใช้ในการกำจัดไอออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$  เป็นต้น นอกจากนี้ ในบางครั้งเรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษต่างๆ ออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะพิษที่ใช้เรซินกำจัดออก ได้แก่ อาเซนิก แบเรียม แคดเมียม โครเมียมโคบอลต์ ทองแดง ทอง ตะกั่ว โมลิบดีนัม เซเลเนียม เงิน สังกะสี

2. ทำให้ไอออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ งานในส่วนนี้เกิดขึ้นหลังจากได้น้ำสะอาดแล้ว กล่าวคือ ไอออนที่ถูกกำจัดออกจากสารละลาย จะหลุดออกมาจากสารละลายรีเจนเนอแรนต์ (Regenerant) ในระหว่างการทำรีเจนเนอแรชัน (Regeneration) เนื่องจากปริมาณของสารละลายรีเจนเนอแรนต์ต่ำกว่าปริมาณของสารละลายซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของไอออน ความเข้มข้นใหม่ของไอออนจึงสูงมาก ลักษณะเช่นนี้เท่ากับเป็นการทำให้ไอออนซึ่งเดิมเจือจางมากมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลายเท่า ระบบประปามักไม่สนใจหน้าที่ประการหลังนี้ เพราะสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงดังกล่าวถือว่าเป็นของเสีย แต่ในบางกรณี เช่น ในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำ เราต้องการแยกไอออนออกจากสารละลายเจือจาง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ จึงต้องการทำให้ไอออนมีความเข้มข้นสูงมากๆ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนจึงมีประโยชน์มากในกรณีนี้ โดยปกติสารแลกเปลี่ยนไอออนมักออกแบบเพื่อกำจัดสารละลายที่อยู่ในรูปไอออนเท่านั้นและไม่ใช้ในการกรองคอลลอยด์หรือโมเลกุลขนาดใหญ่ที่อยู่ในรูปของไอออน (มีประจุ) อันที่จริงแล้วสารแลกเปลี่ยนไอออน มีความเหมาะสมในการเป็นเครื่องกรองได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าใช้กรองแล้วหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออนอาจด้อย หรือสูญเสียประสิทธิภาพ แล้วแต่ว่าจะกรองมากหรือน้อย ถ้าหากภาระในการกรองอยู่ในระดับต่ำ สารแลกเปลี่ยนไอออนอาจทำหน้าที่ได้ทั้งสองอย่างพร้อมกัน

การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนให้ทำหน้าที่อื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว เช่น สารแลกเปลี่ยนไอออนอาจใช้เป็นสารดูดเกาะผิว (Adsorbent) หรือเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Catalist) เป็นต้น มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย

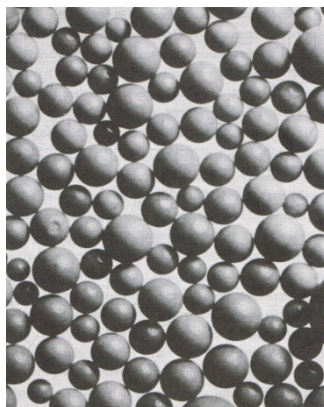
## 5. โครงสร้างของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดสมรรถภาพในการแลกเปลี่ยนไอออน ผู้ใช้เรซินจึงต้องมีความเข้าใจถึงรายละเอียดบางประการเกี่ยวกับโครงสร้างของเรซิน โดยคำว่า “เรซิน” ในที่นี้จะหมายถึง เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) ที่สังเคราะห์ขึ้นมาใช้ในงานต่างๆ

เรซินมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ โครงสร้างที่ไม่มีประจุไฟฟ้าและหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า (Functional Group) โครงสร้างของเรซินเป็นส่วนที่ทำให้มันมีรูปร่างอย่างที่ปรากฏ (ดูภาพประกอบ ข-6.2) และคงรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ และไม่แตกหักโดยง่าย โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากที่เป็นชนิดเดียวกันซึ่งต่อกันเป็นเส้นยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่ประสานเพื่อให้เกิดเป็นรูป 3 มิติ (ดูภาพประกอบ ข-6.3) ที่มีความโปร่งหรือความพรุน ความโปร่งของเรซินขึ้นอยู่กับความเหนียวแน่นของการประสาน (Degree of Crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของตัวประสาน (ภาพประกอบ ) ในกรณีนี้ตัวประสานคือ DVB (Divinylbenzene) โพลีสไตรีนจะเกาะจับกันแน่นหนาเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ DVB ที่ใช้ กล่าวคือ ถ้าใช้ DVB มากโครงสร้างของเรซินจะแข็งและทึบ แต่ถ้าใช้ DVB น้อยโครงสร้างของเรซินจะอ่อนและโปร่ง โดยปกติมักให้เรซินมี Degree of Crosslinkage ประมาณ 8-12 % DVB ซึ่งหมายความว่า มี DVB ประมาณ 8-12 % ของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ความโปร่ง หรือความพรุนของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน (Exchange Capacity) และกำหนดลักษณะอื่นๆ ของเรซินด้วย เช่น ความชื้นในเรซิน เป็นต้น กล่าวคือ เรซินจะต้องมีความพรุนพอเพียงที่จะทำให้ไอออนต่างๆ เคลื่อนที่เข้าออกได้สะดวกจึงจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ เรซินที่มี Degree of Crosslinkage สูงเกินไป จะมีความพรุนต่ำ ทำให้มีน้ำ (ความชื้น) อยู่ในเรซินน้อย นอกจากนี้ยังแตกหักง่ายอีกด้วย เรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำเกินไปจะมีความพรุนมาก ทำให้อมน้ำได้มากแต่ละลายตัวได้ง่าย เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยว หรือแรงประสานต่ำ นอกจากนี้ยังมีข้อเสียคือ ทำให้ไอออนที่มีขนาดใหญ่ (เช่น โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีประจุไฟฟ้า) สามารถเข้าถึงภายในโครงสร้าง และทำให้เรซินเสียได้ในเวลาต่อมา

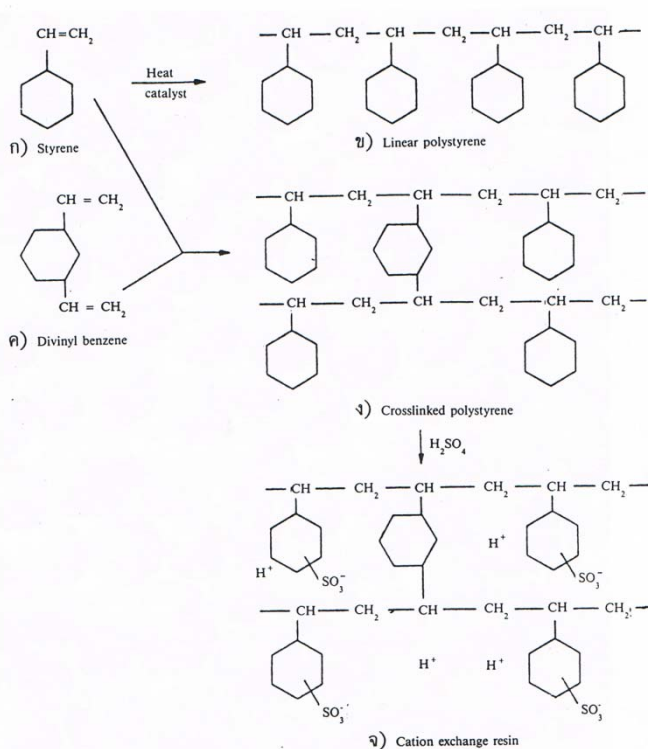
การบวมหรือพองน้ำของเรซินที่มี Degree of Crosslinkage ต่ำๆ ทำให้ปริมาณของเรซินเพิ่มขึ้นได้มาก ดังนั้น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่คิดต่อปริมาตร (เช่น meq/ml) จึงมีค่าลดหรือ เพิ่มตามการลดหรือเพิ่มของ Degree of Crosslinkage เรซินที่มี %

DVB สูงจึงมีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (คิดต่อปริมาตร) สูงกว่าเรซินชนิดเดียวกันที่มี % DVB ต่ำ



ภาพประกอบ ข-6.2 ภาพขยายของเม็ดเรซิน  
ที่มา: มั่นสิน, 2539

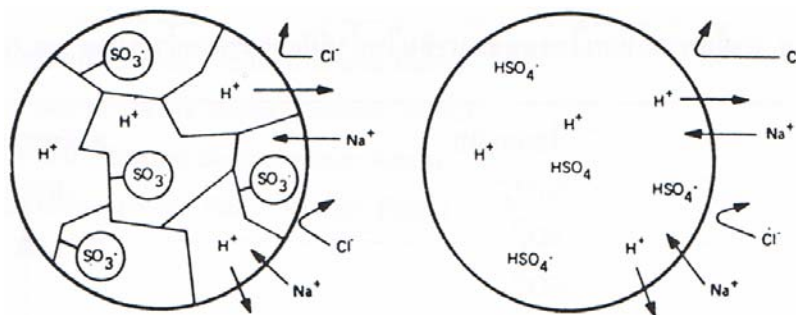
หมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซิน เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน เช่น ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น หมู่ไอออนเกาะจับอยู่บนโครงร่างไฮโดรคาร์บอน (ภาพประกอบ ข-6.3) ทำให้เรซินประจุบวกหรือลบ ยกตัวอย่างเช่น ซัลโฟนิก ( $-SO_3^-$ ) หรือ หมู่คาร์บอกซิลิก ( $-COO^-$ ) ทำให้เรซินมีประจุลบประจำตัว และเรียกว่า Cationic Resin ซึ่งใช้ในการกำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ ส่วนหมู่เอมีน (Amin) ชนิดต่างๆ เช่น  $RRNH_2^+$  ทำเรซินมีประจุบวกประจำตัว และเรียกว่า Anionic Resin สามารถใช้กำจัดไอออนจากน้ำได้



- ภาพประกอบ ข-6.3 (ก) Styrene เป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นต้นกำเนิดของโครงสร้างเรซิน  
 (ข) เมื่อมีหลายโมเลกุลมาต่อกันจะเป็นโพลิเมอร์เป็นสายยาว  
 (ค) การต่อกันเป็นสามมิติเมื่อมีตัวประสาน คือ Divinylbenzene ลงไป  
 (ง) โครงร่างของเรซินที่ยังไม่มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน  
 (จ) การเติมหมู่ไอออน เช่น  $-\text{SO}_3\text{H}$  (ซัลโฟนิก) ทำให้ได้เรซินที่มีอำนาจอย่างสมบูรณ์

ที่มา: มั่นสิน, 2539

โครงสร้างไฮโดรคาร์บอน และหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าจับตัวกันเป็นส่วนประกอบถาวรของเรซิน ที่จำเป็นต้องมีไอออนอิสระที่มีประจุตรงกันข้าม มาทำปฏิกิริยาให้เรซินเป็นกลาง เรซินใหม่นี้จะมี  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$  ตัวใดตัวหนึ่งเป็นไอออนอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซินและสิ่งที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ ไอออนอิสระนี้จับอยู่กับหมู่ไอออน (Functional Group) ของเรซิน (ภาพประกอบ ข-6.4 และ ข-6.5) อย่างชั่วคราวและพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ กล่าวโดยสรุป คือ เรซินมีไฮโดรคาร์บอนหลายๆ โมเลกุลประสานต่อกันเป็นโครงร่าง ซึ่งทำให้เรซินคงสภาพดังที่ให้เห็น แต่ส่วนที่ให้เรซินมีอำนาจแลกเปลี่ยนไอออนกับน้ำได้นั้น เป็นหมู่ไอออนซึ่งมีส่วนหนึ่งเกาะติดอยู่กับโครงร่างและไม่เคลื่อนที่ อีกส่วนหนึ่งเป็นไอออนที่เคลื่อนที่ได้ และเป็นส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในน้ำ

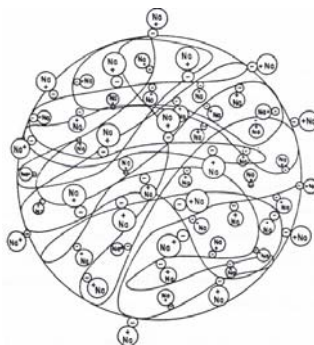


ภาพประกอบ ข-6.4 การแลกเปลี่ยนระหว่าง  $H^+$  ของเรซิน และ  $Na^+$  ในน้ำ หมู่ซัลโฟนิค ประกอบด้วย  $-SO_3^-$  ซึ่งไม่เคลื่อนที่ และ  $H^+$  ซึ่งใช้แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกที่อยู่ในน้ำ ภายในเรซินจะมีน้ำอยู่มากกว่า 50% แม้ว่าจะเป็นเรซินแห้งๆ ก็ตาม หมู่ซัลโฟนิคทำให้สารละลายภายในเรซิน มีความเข้มข้นกรดสูงประมาณ 25%  $H^+$  หรือไอออนบวกอื่นๆ สามารถเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากเรซินได้ จึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนไอออนบวก

(ก) แสดงภาพตัดภายในของเรซิน (เป็นจินตนาการ)

(ข) เรซินแบบกรดแก่ อาจเปรียบเทียบได้เป็นหยดสารละลายกรดกำมะถันที่มีเยื่อเมมเบรนซึ่งยอมให้เฉพาะไอออนบวกผ่านเข้าออก

ที่มา: มั่นสิน, 2539



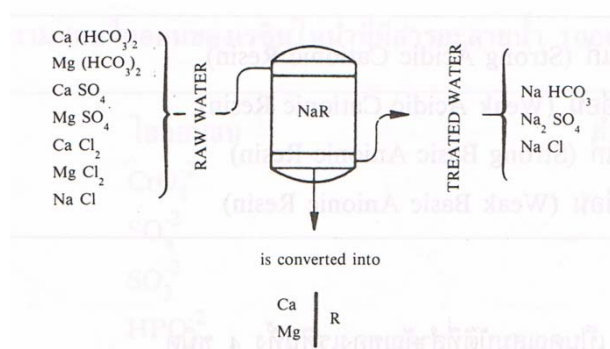
ภาพประกอบ ข-6.5 เรซินแลกเปลี่ยนไอออน เป็นโครงสร้างพลาสติก ที่มีประจุลบหรือบวกติประจำตัวอยู่ เรซินที่มีประจุลบประจำตัวสามารถจับ  $Na^+$  หรือ  $H^+$  ไว้แลกเปลี่ยนกับประจุบวกในน้ำ เรซินชนิดนี้เรียกว่า Cationic Resin ส่วนเรซินที่มีประจุบวกประจำตัว สามารถจับ  $OH^-$  และ  $Cl^-$  ไว้แลกเปลี่ยนกับประจุลบในน้ำ จึงมีชื่อเรียกว่า Anionic Resin

ที่มา: มั่นสิน, 2539



## 6. เรซินประเภทกรดแก่

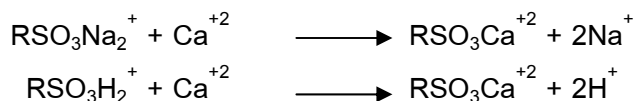
หน้าที่ของเรซินแบบกรดแก่ คือใช้อิออนบวกของตัวเอง (มักเป็น  $H^+$  หรือ  $Na^+$ ) แลกกับอิออนที่ต้องการกำจัดออกจากน้ำ เช่น  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  เป็นต้น  $H^+$  หรือ  $Na^+$  เป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ของหมู่อิออนของเรซิน ยกตัวอย่างเช่น เรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิค หรือ  $-SO_3^-$  เป็นหมู่อิออน ซึ่งจับติดอยู่กับโครงไฮโดรคาร์บอน หมู่ซัลโฟนิคนี้อาจอยู่ในรูปของ  $H^+$  ดังเช่น  $-SO_3^- H^+$  หรืออยู่ในรูปของ  $Na^+$  เช่น  $-SO_3^- Na^+$  ก็ได้  $-SO_3^-$  จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการแลกเปลี่ยน มีแต่  $H^+$  หรือ  $Na^+$  เท่านั้น ที่ใช้แลกกับอิออนบวกที่อยู่ในน้ำ (ภาพประกอบ ข-6.6)



ภาพประกอบ ข-6.6 การเปลี่ยน  $Na^+$  ของเรซินแบบกรดแก่กับอิออนบวกทุกตัวที่อยู่ในน้ำ สิ่งที่ไม่เปลี่ยนแปลงคือ อิออนลบในน้ำ

ที่มา: มั่นสิน, 2539

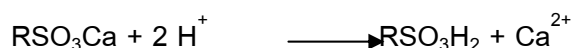
ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนอิออนของเรซินแบบกรดแก่ที่มี  $H^+$  หรือ  $Na^+$  เป็นดังนี้คือ



เรซินทุกชนิดต้องหมดอำนาจเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง แต่สามารถเรียกอำนาจกลับคืนมาได้ อีกโดยการทำรีเจนเนอเรชัน เรซินที่อยู่ในรูปของ  $Na^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วยเกลือแกง (NaCl) ดังนี้



ส่วนเรซินที่อยู่ในรูปของ  $H^+$  ต้องรีเจนเนอเรตด้วยกรดแก่ ( $H^+$ ) ดังนี้



เรซินแบบกรดแก่มีข้อดีหลายประการ เช่น

1. ใช้ได้ดีกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับ
2. สามารถแยก  $\text{Na}^+$  จากเกลือแกงได้ อำนวยเช่นเรียกว่า Salt Splitting
3. การรั่วของไอออนบวกที่ต้องการกำจัด เช่น  $\text{Ca}^+$  เป็นต้น เกิดขึ้นน้อย
4. สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้รวดเร็ว
5. มีความคงทน อาจใช้ได้นานถึง 20 ปี หรือนานกว่า โดยมีการสูญเสียอำนาจเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
6. การเปลี่ยนรูปของ  $\text{Na}^+$  ในเรซินให้กับ  $\text{H}^+$  ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น 7% (พองน้ำ) เหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์ (Demineralization)

ข้อเสียที่สำคัญ คือ มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันต่ำประมาณ 25-45% ทำให้ต้องเปลี่ยนสารเคมีในการทำรีเจนเนอเรชัน

## ข-7 คุณสมบัติของผัก

### 1. ชื่อ ผักบุ้ง (Swamp Cabbage)(ใบ)

ชื่ออื่น ผักทอดยอด ผักบุ้ง ผักบุ้งแดง ผักบุ้งนา กำจระ โหนดเจาะ

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Ipomoea aquatica* Forsk.

วงศ์ *Convolvulaceae*

ชื่อสามัญ Swamp cabbage

แหล่งที่พบ ทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ ไม้ล้มลุกที่ลำต้นทอดคลานไปตามพื้น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น เป็นไม้ล้มลุก และเป็นไม้ล้มลุกหลายปี ลำต้นทอดเลื้อยไปตามน้ำ หรือในที่ลุ่มที่มีความชื้นหรือดินแฉะ ลำต้นกลมสีเขียว หรือสีม่วงแดง มีข้อปล้อง และมีรากออกตามข้อ

ใบ เป็นใบเลี้ยงเดี่ยวออกแบบสลับ ใบเป็นรูปหอกหรือรูปไข่ ขอบใบเรียบหรือมีคลื่นเล็กน้อย ปลายใบแหลม หรือมน ฐานใบเว้าเป็นรูปหัวใจ ใบยาว 3-10 ซม. กว้าง 1-9 ซม.

ดอก เป็นรูประฆังออกที่ซอกใบ แต่ละช่อมีดอกย่อย 1-5 ดอก กลีบเลี้ยงสีเขียวกลีบดอกมีทั้งสีขาว หรือ สีชมพูอยู่ที่ฐาน เกสรตัวผู้มี 5 อันยาวไม่เท่ากัน

ผล เป็นแบบแคปซูล รูปไข่หรือกลม สีน้ำตาลมีเมล็ดกลมสีดำ

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน ใบอ่อน

คุณค่าอาหาร

	Cal Unit	Moist ure%	Protien G m.	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
ผักบุ้ง	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

ลักษณะพิเศษ ผักบุ้งรสจืดเย็น ช่วยขับพิษ ถอนพิษเบื่อเมา

สรรพคุณทางยา มีสารอย่างหนึ่งที่มีโครงสร้างคล้ายอินซูลิน ทำหน้าที่ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้เป็นอย่างดี และมีสรรพคุณในการดูดซับไขมันได้ดี ในผักบุ้งไทยประกอบด้วยวิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม ธาตุเหล็ก เส้นใยอาหาร และฟอสฟอรัส



ภาพประกอบ ข-7.1 ผักบุ้ง

## 2. ชื่อกระถิน (White Popinac)(ใบ)

ชื่ออื่น กระถินไทย กระถินดอกขาว กระถินหัวหงอก  
สะตอเทศ สะตอเบา กระถิน กระถินน้อย กระถินบ้าน  
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Leucaena leucocephala*

วงศ์ *Leguminosae-Mimosoideae*

ชื่อสามัญ Lead tree, Acacia

แหล่งที่พบ ทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ ไม้พุ่มขนาดใหญ่ถึงไม้ต้นขนาดเล็ก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ดอก ออกเป็นช่อ ช่อดอกออกแบบช่อกระจุกแน่น ออกตามง่ามใบ 1-3 ช่อ เป็นฝอยนุ่มมีกลิ่นหอมเล็กน้อย

ใบ ใบประกอบแบบขนนกสองชั้น เรียงสลับ ยาว 12.5-25 ซม. แกนกลางใบ ประกอบยาว 10-20 ซม. มีขน แยกแขนง 2-10 คู่ ยาว 5-10 ซม. ก้านแขนงสั้น มีขน ใบย่อย 5-20 คู่ปลายแหลม โคนเบี้ยว ขอบมีขน ท้องใบมีนวล

ผล เป็นฝัก ฝักออกเป็นช่อแบนยาวประมาณ 4-5 นิ้วฟูต เห็นเมล็ดเป็นจุดๆ ในฝักตลอดฝัก

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน และฝักอ่อน

ลักษณะพิเศษ สามารถนำมาทำเป็นเครื่องประดับหลายชนิด เช่นสายสร้อย เข็มกลัด เข็มขัด เปลือก ให้เส้นใยสั้น ใช้ทำกระดาษได้ แต่คุณภาพไม่ดี

สรรพคุณทางยา ดอก รสมัน บำรุงตับ แก้เกล็ดกระดี่ขึ้นตา ราก รสเฝื่อน ขับลม ขับระดูขาว เป็นยาอายุวัฒนะ เมล็ดใช้ถ่ายพยาธิตัวกลม



ภาพประกอบ ข-7.2 กระถิน

## 3. ชื่อขี้เหล็ก (Yellow Cassia)(ใบ)

ชื่ออื่น ขี้เหล็กบ้าน ขี้เหล็กแก่น ขี้เหล็กหลวง ขี้เหล็กใหญ่  
ฝักจี้ลี มะ ขี้เหล็ก พะโตะ ยะหา ขี้เหล็กเผือก

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cassia siamea Britt.*

วงศ์ *Caesalpiniaceae*

ชื่อสามัญ ThaiCopper Pld, Yellow Cassia, Cassod Tree, Kassof tree, Minjri, Muang, Angkanh, Bombayblackwood

แหล่งที่พบ พบทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ ไม้ยืนต้น

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น ไม้ยืนต้น สูง 5-10 เมตร เปลือกแตกสีดำแก่นไม้ออกสีดำแตกกิ่งแขนง



ภาพประกอบ ข-7.3 ขี้เหล็ก

ใบ ใบประกอบแบบขนนก เรียงสลับใบย่อยรูปขอบขนาน กว้างประมาณ 1.5 ซม. ยาว 4 ซม.

ใบอ่อนมีขนสีน้ำตาลแกมเขียว ยอดอ่อนมีรสขม

ดอก เป็นช่อออกที่ปลายกิ่ง กลีบดอกสีเหลือง มีเกสรยาวออกมาภายนอก

ผล เป็นฝักแบนยาว และหนา ฝักแห้งจะแตกออกเป็น 2 ซีก มีเมล็ดเรียงอยู่ตรงกลางฝักแถว

เดียว จำนวน 10-30 เมล็ด เมล็ดแข็งสีน้ำตาลเข้ม

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน ใบอ่อน ดอกอ่อน

#### คุณค่าทางอาหาร

	Cal Unit	Moist ure%	Protien G m.	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
ดอก	80	74.7	4.9	0.4	14.3	4.3	1.3	13	4	1.6	822 1	0.11	3.26	1.80	84
ใบ	157	57.8	7.7	1.9	27.3	3.7	1.6	156	190	5.8	762 5	0.04	0.69	1.30	11

**ลักษณะพิเศษ** ยอดอ่อน ดอกอ่อน รสขม สรรพคุณระบายอ่อนๆ

**สรรพคุณทางยา** เปลือกแก้ริดสีดวง ใบแก้ระดูขาว แก้นิว ขับปัสสาวะ ดอกตูม และใบอ่อน  
ระบายอ่อน ดอก ทำให้อ่อนหลับ แก้หืด ล้างศีรษะ แก้รังแค กระจับปี่ แก้อ่อน กระจับกระสาย แก่น  
แก้ไฟธาตุพิการ แก้ไข้ ทำให้ตัวเย็น แก้แสบตา แก้กาฬโรค แก้หนองใน ราก แก้ไข้

#### 4. พาโหมm กระจับปี่ (Pacderia Foetida) (ใบ)

ชื่ออื่น ย่านพาโหม (ใต้), ตดหมูตดหมา, พังโหม

ชื่อวิทยาศาสตร์ PAEDERIO: foetida Linn.

วงศ์ Rubiaceae

ชื่อสามัญ Pacderia Foetida

แหล่งที่พบ พบทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ ไม้เถาเนื้ออ่อน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น ไม้เถาเลื้อยประเภทล้มลุกลำต้นมีขนาดเล็ก ชอบเลื้อยไปตามพื้นดิน หรือพันต้นไม้อื่น

ใบ ใบเดี่ยวรูปหอกกว้างประมาณ 5 ซม. ปลายแหลม โคนใบรูปหัวใจ เถาและใบมีขนละเอียด  
ปกคลุมมีกลิ่นเฉพาะตัว ใบมียางสีขาวและขี้ตมคู่มักกลิ่นเหม็นใบเป็นใบเดี่ยว รูปรียาวหรือ  
รูปหอกออกเป็นคู่ตรงข้ามใบสีเขียวเนื้อในบางก้านใบสั้นเส้นใบโค้งจรดกันที่ใกล้ๆขอบใบ ใบ  
กว้าง 3-25 มม. ยาว 10-15 ซม.



ภาพประกอบ ข-7.4 พาโหม

**ดอก** ดอกออกเป็นช่อตรงซอกใบหรือโคนก้านใบช่อละ 2-3 ดอกกลีบเลี้ยง 5 กลีบ ขนาดเล็ก กลีบปลายแฉิบแยกกันกลีบด้านนอกสีขาวกลีบด้านในสีม่วงแดงหรือสีชมพูประดับด้วยสีม่วงจุดสีน้ำตาลเกสรตัวผู้มี 5 อันเกสรตัวเมีย 1 อันอยู่ตรงกลางผลเป็นฝักยาวสีเขียวยาวประมาณ 4-7 ซม. กว้าง 1.6 ซม.

**ส่วนที่ใช้บริโภค** ยอดใบอ่อน ผล ดอก

**สรรพคุณทางยา** เป็นยาอายุวัฒนะทั้งต้นสรรพคุณรักษาอาการอักเสบบริเวณคอปากรักษาบาดแผลปรุงเป็นยาขับน้ำนมแก้บิดไข้รากสาด, ใบและเถาสรรพคุณแก้ไข้รักษาบาดแผลระบายอ่อนๆในเด็ก, รากสรรพคุณแก้โรคดีซ่าน ใช้ถอนพิษสุรายาสูบ พิษจากอาหารขับปัสสาวะ แก้ท้องเสีย เจริญอาหาร แก้ธาตุพิการ

## 5. โสม (Fame - Flower) (ใบ)

**ชื่ออื่น** โสมไทย โสมจีน โสมคน ว่านผักปัง

**ชื่อวิทยาศาสตร์** *Talinum paniculatum Gaertn*

**วงศ์** *Portulacaceae*

**ชื่อสามัญ** แฟมฟลาวเวอร์ (Fame-Flower)

ซีลอนสปิแนช (Ceylon Spinach) สวีทฮาร์ท (Sweetheart)

ซูรินัม เพอร์สเลน (Surinam Purslane)

**แหล่งที่พบ** พบทั่วไปของทุกภาค

**ประเภทไม้** ไม้ล้มลุก

**ลักษณะทางพฤกษศาสตร์**

**ต้น** ลำต้นมีเนื้อแข็ง รากแก้วใหญ่

**ใบ** ใบเป็นใบเดี่ยว รูปมนรี สีเขียวเข้ม

**ดอก** ดอกออกเป็นช่อตามปลายกิ่งหรือส่วนยอด สีม่วงแดง ปลายมนแหลม โคนใบเรียวแคบ

**ผล** ไม่มี

**ส่วนที่ใช้บริโภค** ยอดอ่อน ใบ และหัว

**สรรพคุณทางยา** หัว บำรุงร่างกาย บำรุงกำลัง ใบ กินเป็นผักใบเขียว บำรุงร่างกาย แก้บวม อักเสบ มีหนอง ขับน้ำนม ราก บำรุงปอด แก้อ่อนเพลีย แก้ไอ ท้องเสีย ปัสสาวะขัด



ภาพประกอบ ข-7.5 โสม

## 6. ใบชะพลู (Betel vine)(ใบ)

ชื่ออื่น ช้ำพลู (ภาคกลาง) ชะพลูเถา (สุรินทร์) ผักปुนา ผักปูลิง ผักปูริง ปูลิงนก ผักพลูนก ผักอีไร ผักอีเลิศ (ภาคอีสาน) พลูลิง (ภาคเหนือ) เย่เที้ย (แม่ฮ่องสอน) พลูนก ผักปุนก (พายัพ) พลูลิงนก (เชียงใหม่) นมวา (ใต้)

ชื่อวิทยาศาสตร์ Piper betle Linn., Piper sarmentosum Roxb.

วงศ์ Piperaceae

ชื่อสามัญ BETEL VINE

แหล่งที่พบ พบทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ ไม้เถา

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น ลำต้นเกลี้ยง เลื้อยเกาะบนต้นไม้อื่น หรือเกาะไม้ค้ำ

ใบ ใบ เดี่ยว ออกสลับกัน ใบใหญ่ บางพันธุ์รูปไข่กลม กว้าง บางพันธุ์รูปไข่รี โคนใบรูปหัวใจ ปลายใบแหลม เนื้อใบเป็นมัน สีเขียวสดหรือสีเหลืองอมเขียว ก้านใบยาว

ดอก ดอกมีสีขาวขนาดเล็กเป็นช่อบนแกนยาว

ผล ผลเดี่ยวทรงกลมเล็กเนื้อนุ่ม เมื่อสุกมีสีแดง

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน ใบอ่อน ดอกอ่อน

คุณค่าทางอาหาร

	Cal Unit	Moist ure%	Protien G m.	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
	101		5.4		14.2	4.6		601	30	7.6		0.13	0.11	3.4	22

สรรพคุณทางยา รักษาอาการจ้ำบวม รักษาอาการปวดท้อง รักษาอาการไอเจ็บคอ และขับเสมหะ รักษาอาการผื่นคันเนื่องจากเกิดลมพิษ รักษาโรคผิวหนัง รักษาโรคกลากเกลื้อนฮ่องกงฟุต แผลอักเสบ ฟีหนอง และสิ่ว



ภาพประกอบ ข-7.6 ใบชะพลู

### 7. ผักกูด (Oak fern) (ใบ)

ชื่ออื่น กูดน้ำ

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Athyrium Eseulentum Copel.*

วงศ์ *Dryopteridaceae*

ชื่อสามัญ

แหล่งที่พบ พบทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ เหง้า

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น เป็นกอมีหัวใต้ดิน ก้านใบ แตกจากเหง้าในดิน

ใบ ใบเป็นแพแบบขนนก แตกเป็นคู่ขนาน

ดอก ไม่มี

ผล ไม่มี

ส่วนที่ใช้บริโภค ยอดอ่อน

คุณค่าทางอาหาร -

ลักษณะพิเศษ -

สรรพคุณทางยา ใช้ยอดตำประสมกับดินประสิวและผสมน้ำ พอกกระหม่อมเด็กแก้ร้อนใน ใบ แก่ไข่ ตัวร้อน แก้พิษอักเสบ



ภาพประกอบ ข-7.7 ผักกูด

### 8. ใบยอ (Indian Mulberry) (ใบ)

ชื่ออื่น ยอบ้าน

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Morinda citrifolia Linn.*

วงศ์ *Rubiaceae*

ชื่อสามัญ Indian Mulberry

แหล่งที่พบ พบทั่วไปของทุกภาค

ประเภทไม้ ไม้ยืนต้นขนาดกลาง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ต้น ไม้ยืนต้นขนาดกลาง

ใบ ใบยอมีขนาดใหญ่ รูปใบธรรมดาและเส้นใบลึก ใบมีสีเขียวเข้มและเป็นมัน

ดอก ดอกมีขนาดเล็กและสีขาว

ผล ผลยอเป็นผลรวม กลิ่นฉุนเมื่อสุก

ส่วนที่ใช้บริโภค ใบอ่อนและหำของยอใช้เป็นผัก



ภาพประกอบ ข-7.8 ใบยอ



### คุณค่าทางอาหาร

	Cal Unit	Moist ure%	Protien G m.	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
ใบยอ	73	77.3	5.0	2.2	10.5	4		469		1.4	43333	0.30	0.14	7.2	3

สรรพคุณทางยา ราก สรรพคุณ ระบาย ใบยอ สรรพคุณ บำรุงธาตุ แก้ไข้ ฆ่าเหา ปวดข้อ แก้ท้องร่วงในเด็ก แก้เหงือกปวดบวม ผล รสเผ็ดร้อน ผลยอ มีสรรพคุณ ขับลม บำรุงธาตุ เจริญอาหาร ขับโลหิต ระดูของสตรี ฟอกเลือด แก้คลื่นเหียนอาเจียน ผลสุกของยอบ้านมีกลิ่นฉุน สรรพคุณ ขับผายลมในลำไส้

## ภาคผนวก ค

## ค-1 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency Calibration) ของหัววัด HPGe

ตาราง ค-1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน  $^{152}\text{Eu}$  เวลา 7,200 วินาที

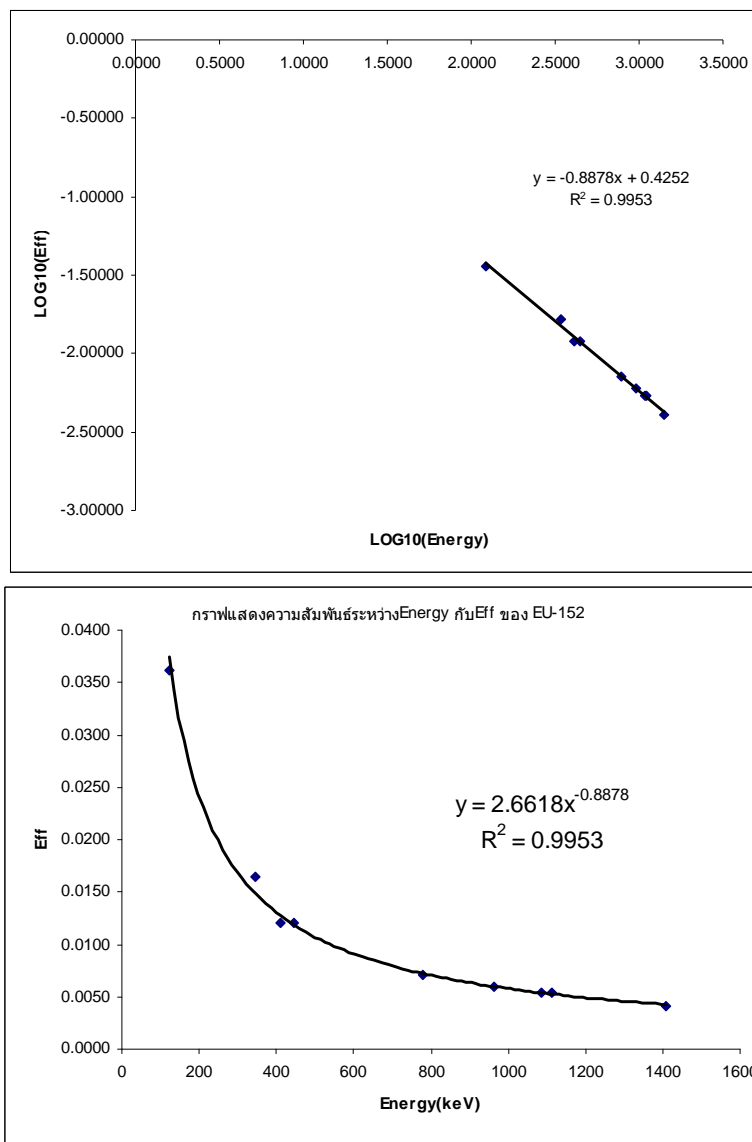
$^{152}\text{Eu}$	ข้อมูล	หมายเหตุ
ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น $A_0$	$1502 \pm 70 \text{ Bq}$	23 May 2001
ค่าครึ่งชีวิต ( $t_{1/2}$ )	$13.54 \text{ y} = 4952 \text{ d}$	-
ค่าคงที่การสลายตัว ( $\lambda$ )	$0.693/t_{1/2}$	-
เวลาที่ใช้ในการทดลอง (t)	$7.28 \text{ y} = 2508 \text{ d}$	-
ค่ากัมมันตภาพ ณ วันทำการทดลอง $A = A_0 e^{-\lambda t}$	$1057.407 \text{ Bq}$	3 April 2008

ตาราง ค-2 แสดงค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบHPGe และระบบการวิเคราะห์แบบ

แกมมาสเปกโตรสโคปี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน  $^{152}\text{Eu}$

Energy (keV)	LOG10 (Energy)	area	cps	yield	dps $dps = A_0 e^{-\lambda t} \times BR$	Eff $Eff(\xi) = \frac{cps}{dps}$	%Eff
121.8	2.08565	78282	10.8725	0.2840	300.3035	0.0362	3.62
344.3	2.53694	33311	4.6265	0.2650	280.2128	0.0165	1.65
411.1	2.61395	2018	0.2803	0.0221	23.3687	0.0120	1.20
444	2.64738	2841	0.3946	0.0311	32.8853	0.0120	1.20
778.9	2.89148	6882	0.9558	0.1274	134.7136	0.0071	0.71
964	2.98408	6567	0.9121	0.1440	152.2666	0.0060	0.60
1085.8	3.03575	4104	0.5700	0.1000	105.7407	0.0054	0.54
1112	3.04610	5476	0.7606	0.1330	140.6351	0.0054	0.54
1408	3.14860	6466	0.8981	0.2070	218.8832	0.0041	0.41

จากนั้น นำข้อมูลในตาราง ค-3 มาเขียนกราฟระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโคปี โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน  $^{152}\text{Eu}$  กับค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ได้ ดังภาพประกอบ ค-2



ภาพประกอบ ค-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบ HPGe และระบบการวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรสโคปีกับค่าพลังงานของรังสีแกมมา

ตาราง ค-3 แสดงค่าประสิทธิภาพที่พลังงานต่างๆ

Eff จาก สมการในกราฟ Eu - 152					$2.6618 \cdot X^{(-0.8878)}$
isotope	Energy (keV)	LOG10 (Energy)	LOG10 (Eff)	Eff	Eff
Ra - 226	186.2	2.2700	-1.5901	0.0257	0.0257
Pb - 214	242	2.3838	-1.6912	0.0204	0.0204
	295.2	2.4701	-1.7678	0.0171	0.0171
	351.9	2.5464	-1.8355	0.0146	0.0146
Bi - 214	609.3	2.7848	-2.0472	0.0090	0.0090
	768.4	2.8856	-2.1366	0.0073	0.0073
	1120.3	3.0493	-2.2820	0.0052	0.0052
	1238.1	3.0928	-2.3205	0.0048	0.0048
	1764.5	3.2466	-2.4572	0.0035	0.0035
K-40	1460.8	3.1646	-2.3843	0.0041	0.0041

ตาราง ค-4 แสดงพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำพุร้อน (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (μSv)
	E	N						
F1 January 2008 (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)								
SR1-1	521107	1034879	57	5120	8	4,125±352	2.12	843
SR1-2			54	4950	7.8	4,317±164	2.18	882
SR2	520385	1033727	39	8410	8.2	1,019±86	1.09	208
SR3-1	522397	1031520	39	4070	8.6	2,770±338	1.74	566
SR3-2			45	4130	8.9	2,553±78	1.69	522
SR4-1	554983	1009474	40	410	8.7	356±98	0.67	73
SR4-2			38	450	8.3	429±76	0.75	88
SR5-1	545795	972976	41	270	8.2	190±78	0.54	39
SR5-2			43	280	8.1	301±30	0.65	61
SR6-1	503511	997939	51	800	7.8	2,690±303	1.71	550
SR6-2			42	730	7.9	2,496 ±288	1.65	510
SR7-1	529419	992045	50	1520	7.8	2,762±260	1.74	564
SR7-2			52	1590	7.5	2,503±186	1.67	512

ตาราง ค-4 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (µSv)
	E	N						
SR8-1	530010	993253	51	1530	7.4	1,987±67	1.51	406
SR8-2			50	1560	7.5	2,252±113	1.59	460
SR9-1	524923	977092	55	1270	7.4	2,349±231	1.64	480
SR9-2			60	1230	7.2	2,257±249	1.57	461
SR9-3			55	1130	7.4	2,446±212	1.64	500
SR9-4			56	1250	7.7	2,383±368	1.60	487
SR9-5			57	1190	7.5	2,186 ±217	1.57	447
SR9-6			50	1150	7.3	2,395±296	1.62	490
SR10-1	520556	1033894	39	9810	8.4	1,044±51	1.10	213
SR10-2			44	9720	7.9	1,704 ±298	1.36	348
F2 June 2008 (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)								
SR1-1	521107	1034879	39	4670	8.3	5,022±291	2.35	1027
SR1-2			39	4750	8.2	4,159±280	2.13	850
SR1-3			40	4820	8	3,187±256	1.87	651

ตาราง ค-4 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (μSv)
	E	N						
SR2-1	520385	1033727	39	8140	7.9	729±169	0.41	149
SR3-1	522397	1031520	45	4210	8.4	3,131±243	1.85	640
SR3-2			44	4420	7.2	2,519±238	1.66	515
SR4-1	554983	1009474	40	440	7.5	195±83	0.53	40
SR5-1	545795	972976	41	270	7.7	132±61	0.47	27
SR6-1	503511	997939	51	730	7.3	2,283±197	1.59	467
SR7-1	529419	992045	60	1590	7.5	2,041±174	1.50	417
SR8-1	530010	993253	44	1550	8	1,935±98	1.47	396
SR9-1	524923	977092	54	1240	6.8	2,233±138	1.59	456
SR9-2			55	1270	6.8	1,657±166	1.36	339
SR9-3			60	1260	7.8	2,174±142	1.56	444
SR9-4			46	1210	8.3	1,687±64	1.38	345
SR10-1	520556	1033894	43	9920	8.1	1,366±145	1.24	279

ตาราง ค-4 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (µSv)
	E	N						
F3 September, 2008 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)								
SR1-1	521107	1034879	37	4730	7.4	4,379±345	2.18	895
SR1-2			42	4500	7.9	4,063±321	2.10	830
SR2-1	520385	1033727	38	8220	7.4	882±95	1.01	180
SR3-1	522397	1031520	42	4050	7.9	3,337±183	1.92	682
SR3-2			43	3970	7.6	2,545±127	1.68	520
SR4-1	554983	1009474	41	460	7.5	141±60	0.48	29
SR5-1	545795	972976	41	280	7.6	102±61	0.47	21
SR6-1	503511	997939	50	760	7.4	1,886±356	1.43	385
SR6-2			34	630	7.2	1,758±159	1.40	359
SR7-1	529419	992045	53	1603	7.8	2,119±287	1.54	433
SR8-1	530010	993253	-	-	-	-	-	-
SR9-1	524923	977092	54	1310	7.2	1,608±193	1.34	329
SR9-2			48	1220	7.2	1,243±214	1.18	254



ตาราง ค-4 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (µSv)
	E	N						
SR9-3			41	1250	7.5	1,303±52	1.22	266
SR9-4			61	1280	7	1,753±285	1.40	358
SR9-5			39	1130	7.3	1,616±139	1.35	330
SR9-6			56	1370	7.4	1,740±171	1.39	356
SR10-1	520556	1033894	39	9970	7.4	1,190±103	1.19	243
F4 March, 2009 (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)								
SR1-1	521107	1034879	40	4910	6.8	2,968 ±647	1.80	607
SR1-2			42	7940	6.9	3,435 ±375	1.93	702
SR1-3			42	6750	6.9	3,603 ±310	1.99	736
SR1-4			43	5350	6.7	3,156 ±188	1.87	645
SR2-1	520385	1033727	39	2890	7.1	724 ±137	0.95	148
SR2-2			41	2760	7.2	818 ±142	0.98	167
SR3-1	522397	1031520	47	4490	7.2	2,352±244	1.62	481
SR3-2			47	5570	7.3	2,319±286	1.60	474

ตาราง ค-4 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (µSv)
	E	N						
SR3-3			50	5760	7.3	1,919±283	1.46	391
SR3-4			48	5860	7.2	1,953±408	1.46	399
SR4-1	554983	1009474	40	400	7.5	232±69	0.59	47
SR4-2			40	430	7.8	133±57	0.52	27
SR4-3			41	450	8.1	112±26	0.49	23
SR5-1	545795	972976	41	250	8.1	214±32	0.59	44
SR5-2			43	280	7.9	158±11	0.53	32
SR6-1	503511	997939	52	750	7.5	1,858±138	1.45	380
SR6-2			55	830	7.8	1,736±86	1.41	355
SR7-1	529419	992045	51	1550	6.6	1,494±180	1.30	305
SR7-2			56	1650	7.6	1,587±153	1.34	324
SR7-3			54	1620	7.7	1,583±112	1.34	323
SR8-1	530010	993253	58	1570	6.6	1,503±160	1.33	307
SR8-2			56	1610	6.9	1,727±123	1.40	353

ตาราง ค-4 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		T (°C)	TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (μSv)
	E	N						
SR9-1	524923	977092	56	1390	7.8	1,416±188	1.28	289
SR9-2			61	1250	7.2	1,611±232	1.35	329
SR9-3			46	1320	7.4	1,378±142	1.25	282
SR9-4			49	1270	7.4	1,844±141	1.44	377
SR10-1	520556	1033894	45	2420	7.2	967±297	1.03	198
SR10-2			45	2740	7.1	1,100±208	1.12	225
SR10-3			43	2670	7.3	1,029±129	1.09	210
SR10-4			41	2450	7.2	1,005±98	1.09	205

ตาราง ค-5 แสดงพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าเฉลี่ย ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะ ของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำบ่อต้น จ.สุราษฎร์ธานี

Resource (No. of sample)	Mark		TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) ±SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose (µSv)
	E	N					
F1 January 2008 (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)							
SR2	520385	1033727	1430	8.7	158±92	1.09	32
SR4-1	554983	1009474	280	8.9	54±36	0.67	11
SR4-2			320	8.6	29±31 (<LLD)	0.75	6
SR5-1	545795	972976	120	6.9	65±50	0.54	13
SR5-2			130	6.7	ND	0.65	0
SR6-1	503511	997939	170	7.5	102±62	1.71	21
SR6-2			270	7.2	20±25 (<LLD)	1.65	4
SR7-1	529419	992045	660	7.7	41±13	1.74	8
SR7-2			400	5.4	24±2	1.67	5
F2 June 2008 (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)							
SR2-1	520385	1033727	1470	8.6	91±64	0.92	19
SR4-1	554983	1009474	190	6.8	37±21	0.35	8
SR4-2			380	7.1	48±28	0.32	10

ตาราง ค-5 (ต่อ)

Resource (No. of sample)	Mark		TDS (ppm)	pH	Specificactivity of Ra-226 (mBq/L) $\pm$ SD (mBq/L)	LLD	Annual effective dose ( $\mu$ Sv)
	E	N					
SR5-1	545795	972976	100	6.6	4 $\pm$ 21 (<LLD)	0.30	1
SR5-2			120	6.8	9 $\pm$ 21 (<LLD)	0.30	2
SR5-3			90	6.7	60 $\pm$ 18	0.38	12
SR5-4			70	6.5	ND	0.29	0
SR6-1	503511	997939	210	6.9	22 $\pm$ 3	0.33	4
F3 September, 2008 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)							
SR4-1	554983	1009474	250	7.8	ND	0.29	0
SR5-1	545795	972976	120	6.7	74 $\pm$ 39	0.33	15
SR5-2			110	6.8	58 $\pm$ 24	0.40	12
SR6-1	503511	997939	210	6.5	158 $\pm$ 78	0.49	32
F4 March, 2009 (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)							
SR4-1	554983	1009474	160	7.2	47 $\pm$ 9	0.41	10
SR5-1	545795	972976	70	7.6	38 $\pm$ 27	0.39	8
SR7-1	529419	992045	280	6.9	57 $\pm$ 42	0.42	12
SR7-2			250	7.2	59 $\pm$ 29	0.42	12

ตาราง ค-6 แสดงพิกัดทางภูมิศาสตร์ ค่าเฉลี่ย ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำบาดาลในตัวเมือง จ.สุราษฎร์ธานี

Resource (No. of sample)	Mark		TDS (ppm)	pH	Specficactivity of Ra-226 (mBq/L)	LLD	Annual effective dose ( $\mu$ Sv)
	E	N			Mean $\pm$ SD (mBq/L)		
F3 September, 2008 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)							
W-1 (Ptt)	535045	1009412	80	7.8	16 $\pm$ 19(<LLD)	0.32	3
W-2 (Caltex)	538332	1007437	150	7.5	46 $\pm$ 18	0.33	5
W-3 (SRU)	540264	1003520	70	7.5	2 $\pm$ 16(<LLD)	0.29	0
W-4 (PSU SR1)	539568	1005444	80	8.2	25 $\pm$ 6	0.32	5
W-5 (PSU SR2)	-	-	78	8.1	ND	0.29	0
W-6 (Nikom School)	539236	1003291	60	7.9	ND	0.29	0
W-7 (Nipha Hotel)	537440	1006588	180	8.1	18 $\pm$ 17	0.30	4
W-8 (ร้านป่าเขียว)	540681	1003067	40	6.5	122 $\pm$ 31	0.48	25
W-9 (ร้านเรือหลวง)	538274	1005207	20	7.9	58 $\pm$ 15	0.34	12

ตาราง ค-7 ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 เฉลี่ยของตัวอย่างผักในแต่ละพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Sample site/Code	Mark		Specificactivity of Ra-226 (mBq/kg)		Annual effective dose ( $\mu$ Sv)	Specificactivity of K-40 (mBq/kg) $\pm$ SD	Annual effective dose ( $\mu$ Sv)
	E	N	Range	Mean $\pm$ SD (mBq/kg)			
SR2-1 ผักกูด	520385	1033727	1,729-3,417	2,722 $\pm$ 883	46	81,468 $\pm$ 2,183	1369
SR2-2 ผักกูด			1,160-1,960	1,648 $\pm$ 428	28	62,788 $\pm$ 1,953	1055
SR2-1 โสม	520385	1033727	958-1,053	999 $\pm$ 49	17	162,534 $\pm$ 1,918	2731
SR2-2 โสม			618-1,187	902 $\pm$ 403	15	188,851 $\pm$ 3,267	3173
SR4-1 กระถิน	554983	1009474	ND	ND	ND	32,707 $\pm$ 1,603	549
SR4-2 กระถิน			ND	ND	ND	21,024 $\pm$ 1,270	353
SR4-3 กระถิน			ND	ND	ND	40,622 $\pm$ 1,613	682
SR4-4 กระถิน			ND-347	347 $\pm$ 32	6	26,133 $\pm$ 1887	439
SR4-5 กระถิน			ND-551	551 $\pm$ 102	9	18,869 $\pm$ 1,266	317
SR4-1 ผักนึ่ง	554983	1009474	588-1036	812 $\pm$ 317	14	76,642 $\pm$ 2,246	1288
SR4-2 ผักนึ่ง2			ND	ND	ND	92,447 $\pm$ 2,792	1553
SR4-3 ผักนึ่ง3			ND-711	711 $\pm$ 134	12	101,554 $\pm$ 2,153	1706
SR4-4 ผักนึ่ง4			137-882	510 $\pm$ 527	9	100,819 $\pm$ 2,410	1694
SR5-1 ผักนึ่ง	545795	972976	16,454-19,635	18,272 $\pm$ 1,638	307	124,398 $\pm$ 2,861	2090
SR5-2 ผักนึ่ง			15,080-17,043	16,340 $\pm$ 1,094	275	105,005 $\pm$ 2,709	1764

ตาราง ค-7 (ต่อ)

Sample site/Code	Mark		Specificactivity of Ra-226 (mBq/kg)		Annual effective dose ( $\mu$ Sv)	Specificactivity of K-40 (mBq/kg) $\pm$ SD	Annual effective dose ( $\mu$ Sv)
	E	N	Range	Mean $\pm$ SD (mBq/kg)			
SR5 ชะพลู			2486-3140	2852 $\pm$ 334	48	111,257 $\pm$ 2,503	1869
SR5 ใบยอ			4383-4859	4670 $\pm$ 253	78	77,239 $\pm$ 1,985	1298
SR6-1 ผักนึ่ง	503511	997939	222-467	345 $\pm$ 173	6	75,078 $\pm$ 2,042	1261
SR6-2 ผักนึ่ง			4130-5140	4572 $\pm$ 517	77	97,658 $\pm$ 2,539	1641
SR9-1 ชะพลู1	524923	977092	767-1,714	1,240 $\pm$ 669	21	47,265 $\pm$ 1,659	794
SR9-2 ชะพลู2			777-810	789 $\pm$ 18	13	63,055 $\pm$ 2,024	1059
SR9-1 ป่าโหม	524923	977092	24,138-29,052	26,498 $\pm$ 2,463	445	66,975 $\pm$ 5,063	1125
SR9-2 ป่าโหม			1,7611-23,743	20,564 $\pm$ 3,072	345	53,988 $\pm$ 3,153	907
SR10-1 กระจิน	520556	1033894	653-1,402	1,028 $\pm$ 530	17	49,195 $\pm$ 2,155	826
SR10-2 กระจิน			440-855	647 $\pm$ 293	11	44,801 $\pm$ 1,680	753
SR10-3 กระจิน			703-920	811 $\pm$ 153	14	52,219 $\pm$ 2,037	877
SR10-4 กระจิน			1,461-1,468	1,464 $\pm$ 4	25	45,601 $\pm$ 1,851	766
SR10-5 กระจิน			942-2,599	1,667 $\pm$ 848	28	52,205 $\pm$ 1,791	877
SRU-1 ขี้เหล็ก	540264	1003520	575-1,942	1,146 $\pm$ 711	19	39,504 $\pm$ 1,695	664
SRU-2 ขี้เหล็ก			446-1,258	852 $\pm$ 574	14	32,436 $\pm$ 1,758	545



