

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลัง
: กรณีศึกษา รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

นายวิษณุศาสตร์ อาจโยธา

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

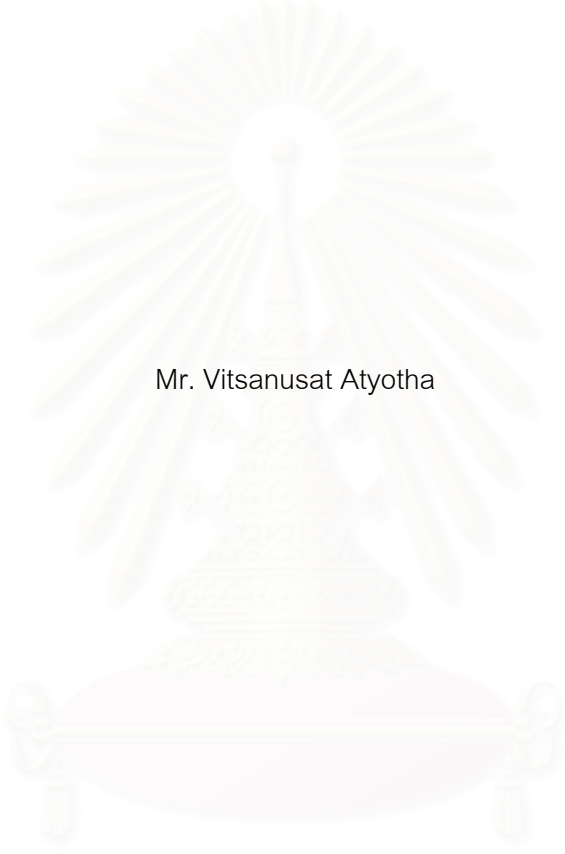
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MONITORING OF RADON CONCENTRATION ALONG ACTIVE FAULT:
A CASE STUDY OF KHLONGMARUI FAULT



Mr. Vitsanusat Atyotha

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อน
มีพลัง : กรณีศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

โดย

นายวิษณุศาสตร์ อาจโยธา

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์.ดร.สุพิชชา จันทโรโยธา

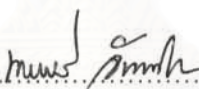
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

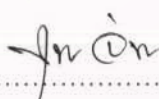
รองศาสตราจารย์.ดร.ปัญญา จารุศิริ

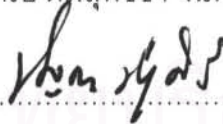
คณะกรรมการศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทโรโยธา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.วรรณ วิมลวัฒนาภักดิ์)

วิทยาศาสตร์ อาจโยธา: การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อน
มีพลัง: กรณีศึกษา รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (MONITORING OF RADON
CONCENTRATION ALONG ACTIVE FAULT: A CASE STUDY OF
KHLONGMARUI FAULT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์.ดร.สุพิชชา
จันทร์โยธา, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รองศาสตราจารย์.ดร.ปัญญา จารุศิริ, 153
หน้า.

เป็นที่ทราบกันดีว่า พฤติกรรมการแพร่กระจายของเรดอนจากใต้พิภพสู่ชั้นดิน สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางธรณีวิทยายุคปัจจุบัน โดยเฉพาะ แนวรอยเลื่อน และแนวรอยแตก ที่เกิดบนแผ่นเปลือกโลก จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือ การประยุกต์เทคนิคการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในดิน เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการระบุตำแหน่งของกลุ่มแนวรอยเลื่อน และรอยแตก แทนวิธีทางธรณีวิทยา เช่น การสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยใช้ความต้านทานทางไฟฟ้า

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องมือตรวจวัดก๊าซเรดอนแบบเคลื่อนย้ายได้ RAD 7 ร่วมกับโปรบ (probe) ที่ทำการพัฒนาขึ้น และเทคนิคการกัดรอยแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 (Track Etch Method) ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ฟุ้งกระจายออกมาจากกลุ่มแนวรอยเลื่อนและรอยแตก โดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนใน 5 พื้นที่ ตามบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ซึ่งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยรอยเลื่อนวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ในแต่ละพื้นที่ ได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจในลักษณะพาดขวางกับแนวรอยเลื่อน จำนวน 3 เส้น แต่ละเส้นยาว 100-150 เมตร ผลการตรวจวัด พบว่า ปริมาณของก๊าซเรดอนที่ทำการตรวจวัดได้ในตำแหน่งของรอยเลื่อนนั้น มีค่ามากกว่าบริเวณแบคกราวด์ ประมาณ 3-8 เท่า และพบว่า 3 พื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนที่วัดได้สัมพันธ์ และสอดคล้องกับแนวรอยเลื่อน ที่ได้จากการขุดร่องสำรวจดูลักษณะธรณีสัณฐาน และพบว่าปริมาณของก๊าซเรดอนในบริเวณรอยเลื่อนมีพลังจะสูงกว่าบริเวณที่ไม่อยู่ในแนวรอยเลื่อนมาก ซึ่งจากผลงานวิจัยนี้ จึงยืนยันได้ว่า เทคนิคการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เหมาะที่จะนำไปเป็นทางเลือกทางหนึ่งสำหรับการค้นหาตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลัง และการทำแผนที่รอยเลื่อนมีพลังได้

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4970577221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: Mr.VITYANUSAT ATYOTHA: MONITORING OF RADON CONCENTRATION
ALONG ACTIVE FAULT: A CASE STUDY OF KHLONGMARUI FAULT.

THESIS PRINCIPAL ADVISOR: Assoc. Prof. SUPITCHA CHANYOTHA, Ph.D.,

THESIS CO ADVISOR: Assoc. Prof. PUNYA CHARUSHIRI, Ph.D., 153 PP.

It has become clear that radon's behaviour can generate valuable information on the study of the present-day tectonic activity, particularly faults and fractures within the earth's crust. The aim of this study was to apply a soil gas radon technique to provide an alternative tool to typical geophysical methods, such as electrical resistivity survey, for identifying or locating the fault and fracture zones. For this purpose, a RAD 7 portable active radon detector device coupled with a soil probe device and CR-39 (Track Etch Method) were employed to detect the soil gas radon emanation from the faults and fracture zones. Five sites in the Khlong Marui Fault in southern Thailand were selected for radon measurement in this study. The Khlong Marui fault has an orientation in the NE-SW direction. At each site, soil gas radon measurement was performed along 3 investigated lines, each, approximately 100 -150 m in length crossing the interpreted fault zones. It was found that radon concentration in soil was anomalously high in all fault zones by a factor of 3–8 above background levels. Three soil gas radon profiles were related and agreed well with the directions of the active fault obtained from the trench logging survey. It was found that radon concentrations became also much lower at the nearby inactive zones in comparison with those along the active ones. This study strongly confirms that the radon gas measurement technique is a suitable alternative tool for detecting and mapping active fault zones.

Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2007

Student's signature.....

Principal advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์.สุวรรณ แสงเพชร อดีตหัวหน้าภาควิชา
นิเวศวิทยาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มนำเทคนิคการ
ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจก มาใช้ในการศึกษาแนวรอยเลื่อนมีพลัง

การที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ ข้าพเจ้าต้อง
ขอบพระคุณ ภาควิชานิเวศวิทยาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ
โครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลัง ใน
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และ
รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย) ที่สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ ทั้งเรื่องของสถานที่ อุปกรณ์การทำวิจัย และ
ทุนสนับสนุนการทำวิจัย

สำหรับความรู้ ประสบการณ์ต่างๆ และคำแนะนำ ที่มอบให้ ขอบพระคุณ
รองศาสตราจารย์.ดร.สุพิชชา จันทร์โยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์.
ดร.ปัญญา จารุศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์.สมพร เฉลิมสุข
และอาจารย์ภาควิชานิเวศวิทยาเทคโนโลยีทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ แก่ข้าพเจ้า
ตลอดมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณนิสิต ภาควิชานิเวศวิทยาเทคโนโลยี ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ
ถามไถ่ และให้กำลังใจ

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้า บิดา มารดา ที่อบรมสั่ง
สอน และพี่ๆ น้องๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้ข้าพเจ้าเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	5
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 แนวความคิด และทฤษฎีทางธรณี.....	8
2.2 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ.....	18
2.3 สมดุลกัมมันตรังสี.....	25
2.4 วิธีการตรวจวัดปริมาณกัมมาเรดอนในงานวิจัย.....	29
2.5 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	40
3 อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 วัสดุ และสารเคมี.....	45
3.2 อุปกรณ์.....	45
3.3 เครื่องมือ.....	46
3.4 การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับ RAD 7.....	48
3.5 การสำรวจ และคัดเลือกพื้นที่ศึกษา.....	52
3.6 ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณกัมมาเรดอนในพื้นที่ที่ทำการศึกษา.....	55

บทที่	หน้า
3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Ra-226 ในดิน โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี.....	62
4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	65
4.1 ผลการทดสอบท่อที่นำมาใช้เป็น Probe.....	65
4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา.....	67
5 สรุป วิเคราะห์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	108
5.1 การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบร่วมกับ RAD 7.....	108
5.2 สรุปผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา.....	110
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	121
รายการเอกสารอ้างอิง.....	122
ภาคผนวก.....	125
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	153

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ²³⁸ U	18
2.2 อนุกรมการสลายตัวของ ²³² Th	19
2.3 สารกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่อยู่นอกเหนืออนุกรมการสลายตัวของ ²³⁸ U และ ²³² Th...	19
3.1 ระยะเวลาในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ด้วยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ในพื้นที่.....	59
3.2 ระยะเวลาในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน โดยใช้แผ่นฟิล์ม CR-39 ในพื้นที่.....	59
4.1 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พื้นที่บ้านบางลึก.....	72
4.2 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจบ้านบางโหว่.....	80
4.3 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พื้นที่บ้านปากด่าน.....	88
4.4 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์..	95
4.5 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ ในตำแหน่งรอยแตก และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบ.....	101
4.6 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พื้นที่วิภาวดี.....	102
5.1 ตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ในแต่ละพื้นที่ศึกษา....	114
5.2 การเปรียบเทียบของการตรวจวัดก๊าซเรดอนจากเทคนิคการใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน..	119
5.3 การเปรียบเทียบของการตรวจวัดก๊าซเรดอนจากเทคนิค Track Etch Method โดยใช้ CR-39.....	120
ก-1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในการ setup protocol	126
ข-1 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อปลายเปิดที่มีขนาดต่างๆ.....	131
ข-2 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อที่มีแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน คลุมตรง บริเวณปลายท่อ.....	131
ข-3 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อที่มีสำลีปิดทับที่มีขนาดต่างๆ.....	132
ข-4 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อปลายปิด.....	132
ข-5 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการใช้อุปกรณ์มาตรฐาน RAD IN SOIL.....	132
ค-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 1 ของพื้นที่บ้านบางลึก.....	133
ค-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 2 ของพื้นที่บ้านบางลึก.....	134
ค-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 3 ของพื้นที่บ้านบางลึก.....	134
ค-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใน ตำแหน่งอ้างอิง.....	135
ค-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่.....	135
ง-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 1 ของพื้นที่บ้านบางโหว่.....	136
ง-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 2 ของพื้นที่บ้านบางโหว่.....	136

ตารางที่	หน้า
ง-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 3 ของพื้นที่บ้านบางโหว่.....	137
ง-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใน ตำแหน่งอ้างอิง.....	137
ง-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่.....	138
จ-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 1 ของพื้นที่บ้านปากด่าน.....	139
จ-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 2 ของพื้นที่บ้านปากด่าน.....	140
จ-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 3 ของพื้นที่บ้านปากด่าน.....	140
จ-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใน ตำแหน่งอ้างอิง.....	141
จ-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่.....	141
ฉ-1 ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 1 ของพื้นที่บ้านเขื่อนรัชชประภา.....	142
ฉ-2 ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 2 ของพื้นที่บ้านเขื่อนรัชชประภา.....	142
ฉ-3 ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 3 ของพื้นที่บ้านเขื่อนรัชชประภา.....	143
ฉ-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใน ตำแหน่งอ้างอิง.....	143
ฉ-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่.....	144
ช-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 1 ของพื้นที่วิภาวดี.....	145
ช-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 2 ของพื้นที่วิภาวดี.....	145
ช-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวที่ 3 ของพื้นที่วิภาวดี.....	146
ช-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใน ตำแหน่งอ้างอิง.....	146
ช-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่.....	147

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการเกิดรอยเลื่อน และชนิดต่างๆ ของรอยเลื่อนที่เกิดขึ้น.....	9
2.2 แผนที่แสดงการกระจายตัวของศูนย์กลางแผ่นดินไหวในพื้นที่วิจัย.....	10
2.3 ลักษณะธรณีสัณฐาน ที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ในการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนที่มีพลัง.....	13
2.4 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงแนวการวางตัวของกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย.....	16
2.5 ขอบเขตรอยเลื่อนที่สำคัญในประเทศไทย (กรอบสีเขียวแสดงพื้นที่ศึกษาใน งานวิจัย).....	17
2.6 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{235}U	20
2.7 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U	23
2.8 การสลายตัวของก๊าซเรดอน.....	24
2.9 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบเชคูลาร์....	27
2.10 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์	28
2.11 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี.....	28
2.12 ส่วนประกอบและรายละเอียดต่างๆ ใน RAD 7.....	30
2.13 ลักษณะโครงสร้างภายในของเครื่องตรวจวัดก๊าซเรดอน RAD7.....	30
2.14 หลักการทำงานของ RAD 7 ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน.....	32
2.15 ส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์มาตรฐาน.....	35
2.16 ลักษณะการประกอบส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์มาตรฐานในการใช้งานต่างๆ.....	35
2.17 การติดตั้งระบบตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนแบบ RAD IN SOIL.....	36
2.18 ลักษณะการบันทึกรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม.....	38
2.19 ลักษณะการกักรอยของสารละลายบนแผ่นฟิล์ม.....	39
2.20 ลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ถูกกักรอย และถูกส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 400-1,000 เท่า.....	39
2.21 ลักษณะการติดตั้งหัววัดรังสีแบบ HPGe ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ.....	40
2.22 แผนภาพการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	41
2.23 การหาความเข้มรังสี (Net Peak Area) จากพีคของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.3 KeV....	42
2.24 การหาความเข้มรังสี (Net Peak Area) พีคของ ^{226}Ra ที่พลังงาน 186.2 KeV.....	42
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดในงานวิจัย.....	47
3.2 ลักษณะ และขนาดต่างๆ ของท่อที่จะนำมาทำการทดสอบ PROBE.....	49
3.3 ระบบการทดสอบขนาดต่างๆ ของโพรบ.....	51

ภาพประกอบ	หน้า
3.4 การวางเส้นแนวสำรวจ และตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดก๊าซเรดอน....	54
3.5 อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเรดอน.....	55
3.6 อุปกรณ์ชุดเจาะบริเวณที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเรดอน.....	56
3.7 การนำร่อง เพื่อทำการฝัง Probe ที่ใช้ในการตรวจวัด.....	56
3.8 การตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน โดยทำการติดตั้ง Probe ในตำแหน่งต่างๆ ตามเส้นแนวสำรวจของพื้นที่.....	58
3.9 ระบบตรวจวัดก๊าซเรดอนในดิน ด้วยเครื่องวัดก๊าซเรดอน.....	58
3.10 การเตรียมหลุม เพื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดก๊าซเรดอน (CR-39).....	60
3.11 การเก็บตัวอย่างดินจากตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดก๊าซเรดอน.....	60
3.12 ระบบการกักรอยของแผ่นฟิล์ม CR-39.....	61
3.13 รอยของแอลฟาจากการกักรอย และส่องด้วยกล้องกำลังขยาย 400 เท่า.....	62
4.1 กราฟปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากท่อขนาดต่างๆ ในหลายรูปแบบ และ อุปกรณ์มาตรฐาน.....	65
4.2 อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับ probe ของอุปกรณ์มาตรฐาน.....	66
4.3 การติดตั้งระบบ RAD IN SOIL โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย RAD 7...	66
4.4 แผนที่แสดงผลการแปลความหมายภาพจากดาวเทียม Landsat 7 ETM ของ บริเวณกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย พื้นที่ในกรอบสี่เหลี่ยมแสดงถึงพื้นที่ของ ตำแหน่งเส้นแนวสำรวจของการศึกษาวิจัย.....	68
4.5 แผนที่ภูมิประเทศ แสดงที่ตั้งของตำแหน่งชุดร่องสำรวจ และลักษณะการวางแนว สำรวจปริมาณก๊าซเรดอนในบริเวณพื้นที่บางลึก, บางโหว่, พื้นที่บ้านปากด่าน, พื้นที่ วิภาวดี.....	69
4.6 แผนที่ภูมิประเทศ แสดงที่ตั้งของตำแหน่งร่องสำรวจ และการวางเส้นแนวสำรวจ ปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์(เขื่อนรัชชประภา).....	70
4.7 (ก) ลักษณะของพื้นที่ และการวางเส้นแนวสำรวจทั้ง 3 แนว (ข) ลักษณะการพาดผ่านแนวรอยเลื่อนบนเส้นแนวสำรวจ และในร่องสำรวจ... ..	71
4.8 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และ ขนาดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านบางลึก ตำบล พลุเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	73

ภาพประกอบ	หน้า
4.9 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	74
4.10 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	75
4.11 กราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรดอนภายใน 1 วันของพื้นที่.....	76
4.12 กราฟแท่งแสดงปริมาณ ²²⁶ Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่บ้านบางลึก.....	77
4.13 (ก) ลักษณะพาดผ่านของแนวรอยเลื่อนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 และร่องสำรวจที่ 1 (ข) แนวการพาดผ่านของแนวรอยเลื่อนในเส้นแนวสำรวจที่ 2, 3 และร่องสำรวจที่ 2 ในเขตพื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	79
4.14 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	81
4.15 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	82
4.16 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	83
4.17 กราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรดอนภายใน 1 วันของพื้นที่.....	84
4.18 กราฟแท่งแสดงระดับปริมาณ ²²⁶ Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่บ้านบางโหว่.....	85
4.19 ลักษณะของพื้นที่ และการวางเส้นแนวการสำรวจที่ 1 และเส้นแนวสำรวจที่ 2.....	87
4.20 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา.....	89
4.21 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา.....	90

ภาพประกอบ	หน้า
4.22 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านปากด่าน ตำบลบางเหริ่ง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา.....	91
4.23 กราฟแท่งระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่บ้านปากด่าน.....	93
4.24 ตำแหน่งเส้นแนวสำรวจ จำนวน 3 แนวในพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	94
4.25 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	96
4.26 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	97
4.27 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	98
4.28 กราฟระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์.....	99
4.29 ลักษณะการวางเส้นแนวสำรวจที่ 1 บนผนังเปิดหน้าดินในพื้นที่ บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งปรากฏมีตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน 2 จุด ตรงกับตำแหน่งการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ 8, 22 เมตร...	100
4.30 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	103
4.31 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	104
4.32 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาดปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี.....	105
4.33 กราฟแท่งแสดงระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่วิภาวดี.....	106

ภาพประกอบ	หน้า
5.1 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงตำแหน่งแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มี ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ของพื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นทึบเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม และความต้านทานทางไฟฟ้า).....	115
5.2 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มี ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ในพื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นทึบเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม และความต้านทานทางไฟฟ้า).....	116
5.3 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มี ปริมาณก๊าซเรดอนสูงในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ในพื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา (เส้นทึบเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม).....	117
5.4 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มี ปริมาณก๊าซเรดอนสูงในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ในพื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน ต.ตะกุกเหนือ กิ่ง อ.วิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นทึบเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม).....	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

การเกิดแผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ อันตรายจากความรุนแรงของแผ่นดินไหวทำให้ชีวิต และทรัพย์สินเสียหายจำนวนมาก ดังนั้น มนุษย์จึงได้มีความพยายามที่จะศึกษาวิจัยปรากฏการณ์นี้ มาอย่างต่อเนื่อง เพื่อหวังที่จะทำนายเวลาล่วงหน้าของการเกิด และบริเวณที่จะเกิดแผ่นดินไหว เพื่อลดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สิน มีบันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวในประวัติศาสตร์ไทย ที่ระบุว่าอาณาจักรของประเทศไทยเคยมีปรากฏการณ์การเกิดแผ่นดินไหวมา ตั้งแต่ พ.ศ. 480 ทั้งปานกลางจนถึงขนาดใหญ่มาแล้ว หลายครั้ง^[1] และเป็นที่ยอมรับว่า ในหลายปีที่ผ่านมา มีความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวทั้งในประเทศไทย และประเทศเพื่อนบ้านสูงขึ้น เช่น เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 มีแผ่นดินไหวในทะเล ขนาด 9.3 ริกเตอร์ ในพื้นที่บริเวณตอนเหนือของเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย, วันที่ 28 กันยายน 2549 ขนาด 5.1 ริกเตอร์ ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, วันที่ 8 ตุลาคม 2549, ขนาด 5.6 ริกเตอร์ มีศูนย์กลางที่ในสหภาพพม่า, วันที่ 16 พฤษภาคม 2550 ขนาด 6.1 ริกเตอร์ ที่ชายแดนพม่าต่อกับลาว และ ล่าสุดเมื่อ 19 มิถุนายน 2550 ขนาด 5.1 ริกเตอร์ ที่ อ.แมริม จ.เชียงใหม่ เป็นต้น ซึ่งการเกิดแผ่นดินไหวเหล่านี้ ได้ส่งผลกระทบต่อหลายพื้นที่ในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณที่มีแนวรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่าน ซึ่งปรากฏการณ์การสั่นสะเทือน เพื่อปลดปล่อยพลังงานออกมานี้ มีสาเหตุมาจากการขยับตัว หรือเคลื่อนตัวของ “รอยเลื่อน” นั้นเอง

จากการที่แผ่นดินไหวมีกลไกการกำเนิดเกี่ยวข้องกับโดยตรง และใกล้ชิดกับแนวรอยเลื่อนมีพลัง (active fault) ตามทฤษฎีการคืนตัวของวัตถุ (elastic rebound theory) ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่ควรทำการศึกษา และวิจัยอย่างจริงจัง ในรายละเอียดเกี่ยวกับรอยเลื่อนที่มีในประเทศ ว่า มีแนวรอยเลื่อนอยู่บริเวณใดบ้าง และเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง ที่จัดเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวในอนาคต การศึกษาหาแนวรอยเลื่อนมีหลายวิธี เช่น การใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียม, การใช้ข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์, การใช้ภาพถ่ายทางอากาศ, การขุดร่องสำรวจลักษณะธรณีสัณฐาน และการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ เป็นต้น สำหรับประเทศไทย เทคนิคทางนิวเคลียร์ได้ถูกนำมาใช้ในการสำรวจแหล่งแร่ยูเรเนียมเท่านั้น แต่ยังไม่เคยใช้ในการสำรวจหาตำแหน่งของรอยเลื่อน จึงทำให้เป็นที่มาของงานวิจัยนี้

แหล่งกำเนิดรังสีในพื้นที่ดิน ที่กำเนิดมาพร้อมกับโลกเมื่อครั้ง 4.5 พันล้านปีมาแล้ว ซึ่งมีสารกัมมันตรังสีที่สำคัญ และมีค่าครึ่งชีวิตยาวพอๆ กับอายุของโลก คือ ยูเรเนียม-238 (^{238}U) มีค่าครึ่งชีวิต 4.47×10^9 ปี และ ทอเรียม-232 (^{232}Th) มีค่าครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี นอกจากนี้ ^{238}U และ ^{232}Th ยังเป็นธาตุเริ่มต้นของรังสีอื่น อีกเป็นจำนวนหนึ่ง จากการที่เปลือกโลกมีธาตุยูเรเนียมเป็นองค์ประกอบอยู่ จึงมีก๊าซเรดอน (^{222}Rn) ซึ่งเป็นนิวไคลด์รังสีตัวหนึ่ง ที่มาจากการสลายตัวของธาตุ ^{226}Ra ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกในอนุกรมยูเรเนียม การที่เรดอนมีสถานะเป็นก๊าซ จึงสามารถแพร่ออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตลอดเวลาตามรอยแตกของเปลือกโลก หรือละลายอยู่ในน้ำพุร้อน และน้ำบาดาล ปริมาณของก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในดินจะขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะ (morphology) ของ base rock และปริมาณธาตุเรเดียม ที่อยู่ใต้พื้นดิน การที่จะสามารถตรวจวัดปริมาณเรดอนที่ชั้นผิวดินได้นั้น เนื่องจาก ปัจจัย 2 ประการ ^[2, 3, 4] คือ (1) การแพร่ (diffuse) ออกจากแหล่งกำเนิดขึ้นสู่ผิวดิน ด้านบน และ/หรือ (2) โดยการขับเคลื่อน หรือพาขึ้นมาพร้อมกับการเคลื่อนที่ (transport) ของน้ำใต้ดิน หรือ ก๊าซใต้ดิน (geo-gas) ซึ่งเป็น carrier gas ที่มีอยู่ในดิน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซฮีเลียม (He) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น

เนื่องจากเรดอนมีค่าครึ่งชีวิตสั้น (3.82 วัน) การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่เพียงอย่างเดียว จึงทำให้มีระยะเวลาเคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกลนัก (ไม่กี่เมตร) แต่ถ้าถูกขับเคลื่อนด้วยก๊าซอื่นแล้ว เรดอนจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลมากกว่าการแพร่ โดยเฉพาะบริเวณที่มีความไม่ต่อเนื่องของผิวโลก จะสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก และเร็วมากขึ้น เช่น รอยแตก (fractures) หรือรอยเลื่อน (fault) เป็นต้น ดังนั้น ก๊าซเรดอนจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ^[5], การเฝ้าระวังการระเบิดของภูเขาไฟ, การทำนายการเกิดแผ่นดินไหว ^[2-9], การหาตำแหน่งโพรงใต้ดินที่มีโอกาสยุบตัว และการทำแผนที่บริเวณรอยเลื่อน จากข้อมูลของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ ทำให้สามารถที่จะบ่งชี้ถึงความไม่ต่อเนื่องของ tectonic discontinuities หรือความเสถียรภาพของโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้ เนื่องจากบริเวณใกล้ หรือตรงกับตำแหน่งแนวรอยเลื่อน, รอยแตก หรือโพรงดินจะสามารถตรวจพบว่า มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าบริเวณอื่น หรือ background ประมาณ 2-10 เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้นวิธีการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน จึงเป็นวิธีทางเลือกทางหนึ่ง นอกเหนือจากการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เช่น ground probing radar, electromagnetic conductivity testing, electrical resistivity หรือ vertical magnetic gradient surveying ขั้นตอนที่ยุงยาก และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การศึกษาด้วยการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนสามารถให้รายละเอียดแผนที่รอยเลื่อน หรือความไม่ต่อเนื่องของทางธรณีวิทยาได้ อีกทั้งเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก (cost effective tool) แต่วิธีการวัด soil gas radon ก็มีข้อจำกัด คือ สภาวะทางภูมิอากาศ (อุณหภูมิ และความชื้น) จะมีผลต่อการสำรวจ หรือคำนวณวัดของ soil gas ดังนั้น เพื่อยืนยันว่าค่าเรดอนที่วัดได้สัมพันธ์กับ geological anomalies ไม่ได้มา

จากปริมาณธาตุเรเดียมที่มีอยู่ในดินของบริเวณนั้น จึงต้องทำการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน มาทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเรเดียม ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี นอกจากนี้ ชั้นดินที่มีรูพรุนที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น ดิน clay ทำให้ก๊าซเรดอนเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวดินได้ไม่ดี ดังนั้น ถ้ารอยเลื่อนอยู่ใต้ชั้นดิน clay การตรวจวัด soil gas radon อาจไม่มีประสิทธิผลเพียงพอ ดังนั้นอาจทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนจากน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้เคียงกับแนวรอยเลื่อน นำมาทำการตรวจวัด เพราะก๊าซเรดอนสามารถละลายได้ในน้ำ และก๊าซเรดอนในน้ำใต้ดินมักแปรตามปัจจัยทางฤดูกาลเพียง 10 %^[10]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์ในการสำรวจรอยเลื่อน 2 วิธี ได้แก่ (1) การตรวจวัดรังสีแอลฟาโดยตรงด้วยหัววัดรังสีแอลฟา (in-situ measurement) และ (2) การทำให้เกิดรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม (Track Etch Method) ซึ่งวิธีแรกจะเป็นการวัดค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ณ เวลานั้นๆ ส่วนวิธีที่สองเป็นการวัดค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตลอดระยะเวลา ที่ทำการติดตั้งหัววัดไว้ในพื้นที่ แล้วนำมาคัดรอย และอ่านรอยที่เกิดจากการชนของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม แล้วทำการปรับเทียบค่าจำนวนรอยแอลฟาให้กลายเป็นค่าความแรงรังสี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการหารอยเลื่อนในหลายประเทศ^[6-13] ซึ่งผลการวิจัยจากทั้งสองวิธีสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำแผนที่รอยเลื่อน รวมทั้ง เพื่อการเฝ้าระวังในระยะยาวของการทำนายการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้าในประเทศไทยได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ย สำหรับสนับสนุนข้อมูลทางธรณีวิทยาในการบ่งชี้ตำแหน่งรอยเลื่อน และการเตือนภัยการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 พื้นที่ศึกษาในการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน คือ บริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ซึ่งอยู่ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา

1.3.2 เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอน ได้แก่ การวัดด้วยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอนที่มีชื่อทางการค้าว่า RAD 7 ร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น และการตรวจวัดด้วยเทคนิคการกัดรอยแฉลฟาบนแผ่นฟิล์ม (Track Etch Method)

1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 กำหนดบริเวณที่ต้องการทำการศึกษา

1.4.3 พัฒนาอุปกรณ์ เพื่อประกอบร่วมกับเครื่องมือตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน (RAD 7)

1.4.4 ตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นประกอบร่วมกับ (RAD 7) และทำการติดตั้งแผ่นฟิล์มพลาสติก CR-39 ในบริเวณรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา

1.4.5 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.4.4 มาทำการวิเคราะห์ ใช้เป็นข้อมูลในการชุดสำรวจทางธรณีวิทยา เพื่อระบุตำแหน่งรอยเลื่อน

1.4.6 สุ่มเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกันกับ ข้อ 1.4.4 นำมาวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

1.4.7 เก็บแผ่นฟิล์มพลาสติก CR-39 ที่ติดตั้งทิ้งไว้ในพื้นที่ เป็นระยะเวลาช่วงหนึ่ง นำมาวิเคราะห์ผล ในห้องปฏิบัติการ

1.4.8 ประมวลผล และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของทั้ง 2 เทคนิค

1.4.9 สรุป วิเคราะห์ผลงานวิจัย และเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.5.1 ได้ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ย เพื่อสนับสนุนข้อมูลทางธรณีวิทยาในการบ่งชี้ตำแหน่งรอยเลื่อน และการเตือนภัยการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้า

1.5.2 ได้เทคนิค และระบบการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดตามแนวรอยเลื่อนอื่นๆ ได้

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 K. Loannides และคณะ^[11] ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนทางตอนเหนือ และตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศกรีซ โดยใช้ฟิล์ม CR-39 ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้น 2 – 13 เท่า เมื่อเทียบกับ บริเวณปกติ และสรุปว่าการตรวจวัดก๊าซเรดอนเป็นวิธีที่ดี สำหรับตรวจหารอยเลื่อนที่ยังมีพลังอยู่ (active fault)

1.6.2 Mohamed M. Mousa และคณะ^[12] ได้ทำการศึกษาหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในพื้นที่ดิน ตามบริเวณ Qena-safaga road เป็นจำนวน 13 จุด แต่ละจุดห่างกัน 45 เมตร และทำการตรวจวัดหาปริมาณ HCO_3 ในน้ำบาดาลในเมืองเคน่า ซึ่งได้ทำการทดลองใน 3 ฤดู คือ วันที่ 7 พฤษภาคม 2001, วันที่ 1 พฤศจิกายน 2001 และวันที่ 12 มิถุนายน 2002 โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลมา 33 ตัวอย่าง โดยเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน คือ แกมมาสเปกโตรเมตรี ทำให้ได้ผลการทดลอง ดังนี้ 7 MAY 2001 มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน 232 pCi , วันที่ 1 พฤศจิกายน 2001 มีปริมาณ 202 pCi, 12 มิถุนายน 2002 มีปริมาณ 210 pCi ผลสรุปในงานวิจัยนี้ ระบุว่า ก๊าซเรดอนจะมีปริมาณมากขึ้นในบริเวณ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ ตาม Qena-safaga road ซึ่งตรงกับแนวรอยเลื่อนที่มีพลัง (active fault)

1.6.3 Y. Yasuoka และคณะ^[13] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในขณะก่อนเกิดแผ่นดินไหว, ขณะเกิดแผ่นดินไหว (เป็นการทำนายล่วงหน้าว่า น่าจะมีการเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในช่วง เดือนมกราคม ปี 1995) และหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวในเมืองโกเบ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอากาศ ดิน และน้ำบาดาล ทำให้ได้ผลดังนี้ คือ ในดิน และในน้ำบาดาลจะมีปริมาณก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก่อนเกิดแผ่นดินไหว

แต่จะมีค่าสูงสุดในช่วงที่มีการเกิดแผ่นดินไหว หลังจากนั้นจะมีค่าคงที่ต่อไป ส่วนปริมาณก๊าซเรดอนในอากาศนั้น จะมีลักษณะคล้ายกับดิน และน้ำบาดาลในช่วงแรก แต่พอหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวปริมาณก๊าซเรดอนจะมีค่าค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่

1.6.4 R. Snieder และ T.van Eck.^[14] ได้กล่าวถึงการเกิดแผ่นดินไหวทั่วโลกในอดีต และบริเวณที่มีศักยภาพที่จะเกิด รวมทั้งกล่าวถึงเมืองใหญ่ที่มีประชากรหนาแน่น ที่อยู่ห่างจากจุดที่มีแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินไหวระดับ 7 ริคเตอร์ และไม่เกินระยะ 200 กิโลเมตร ซึ่งรวมถึงกรุงเทพมหานคร ด้วย นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงปรากฏการณ์ที่เป็นสัญญาณเกิดเหตุ ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว เช่น การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก ความต้านทานไฟฟ้าของพื้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน รวมทั้งปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน พร้อมทั้ง ยกตัวอย่างการเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงที่เมืองโกเบ ประเทศญี่ปุ่น ที่พบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากระดับปกติ 2 – 3 เดือน ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว ถึง 4 – 5 เท่า และสูงกว่าระดับปกติราว 10 เท่า แล้วลดลงอย่างรวดเร็ว ก่อนเกิดแผ่นดินไหว

1.6.5 L.L. Chyi และคณะ^[15] ได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน สำหรับตรวจวัดก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนที่ยังมีพลังงานอยู่ ทางตอนใต้ของไต้หวัน ซึ่งพบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้น ก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

1.6.6 ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย^[16] ได้ทำการศึกษารอยเลื่อนที่มีพลังในบริเวณที่ก่อสร้างศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องค์รักษ์ ตำบลทรายมูล อำเภอองค์รักษ์ จังหวัดนครนายก ซึ่งได้ใช้ข้อมูล และเทคนิคต่างๆ ดังนี้

1. การใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียม, 2. ใช้แผนที่ภูมิประเทศ, 3. แผนที่ธรณีวิทยา, 4. แผนที่ธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ, 5. ข้อมูลเหนือศูนย์กลางแผ่นดินไหว, 6. ทำการลงพื้นที่ชุดสำรวจจุดขึ้นดิน (การเรียงตัวกันของชั้นดิน, การสะสมของดินตะกอน และลักษณะของรอยเลื่อน)

1.6.7 G. Garzon และคณะ^[17] ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในดิน ณ พื้นที่ใกล้ภูเขาไฟ และรอยเลื่อนบางแห่ง ในประเทศโคลัมเบีย โดยทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลานานกว่า 7 ปี ซึ่งผลปรากฏว่า ในหลายจุดที่ทำการตรวจวัดมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้นก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

1.6.8 T. Kuo และคณะ^[18] ได้ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าสเรดอนในน้ำผิวดิน บริเวณใกล้ๆ กับเมือง Chengkung ในทิศตะวันตกของประเทศไต้หวัน โดยใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียมสำรวจดู Chihshang Fault เพื่อดูลักษณะการเคลื่อนตัว ซึ่งมีอัตราการเคลื่อนตัวประมาณ $2-3 \text{ cm/y}^{-1}$ ในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา และในปี 2000-2003 ได้มีอัตราการเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนประมาณ 14 mm/y^{-1} ซึ่งรอยเลื่อนนี้ มีความยาวประมาณ 20 กิโลเมตร จึงได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าสเรดอนในน้ำผิวดินตลอดแนวรอยเลื่อน โดยการเก็บตัวอย่างน้ำมาประมาณ 15 ml ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยได้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าสเรดอนก่อนเกิดแผ่นดินไหว 28.9 Bq/l และหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวเสร็จแล้ว ประมาณ 65 วัน ได้ค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าสเรดอน 12.2 Bq/l

บทที่ 2

ทฤษฎี

แนวคิด และทฤษฎี

การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในบริเวณรอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ยนั้น ต้องอาศัยหลักการ และแนวความคิดทางธรณีวิทยา และทางนิวเคลียร์ เพื่อช่วยในการระบุ ตำแหน่ง และสามารถนำข้อมูลไปทำแผนที่รอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งหลักการ และแนวความคิดทั้งหมด นี้ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.1 แนวความคิด และทฤษฎีทางธรณีวิทยา

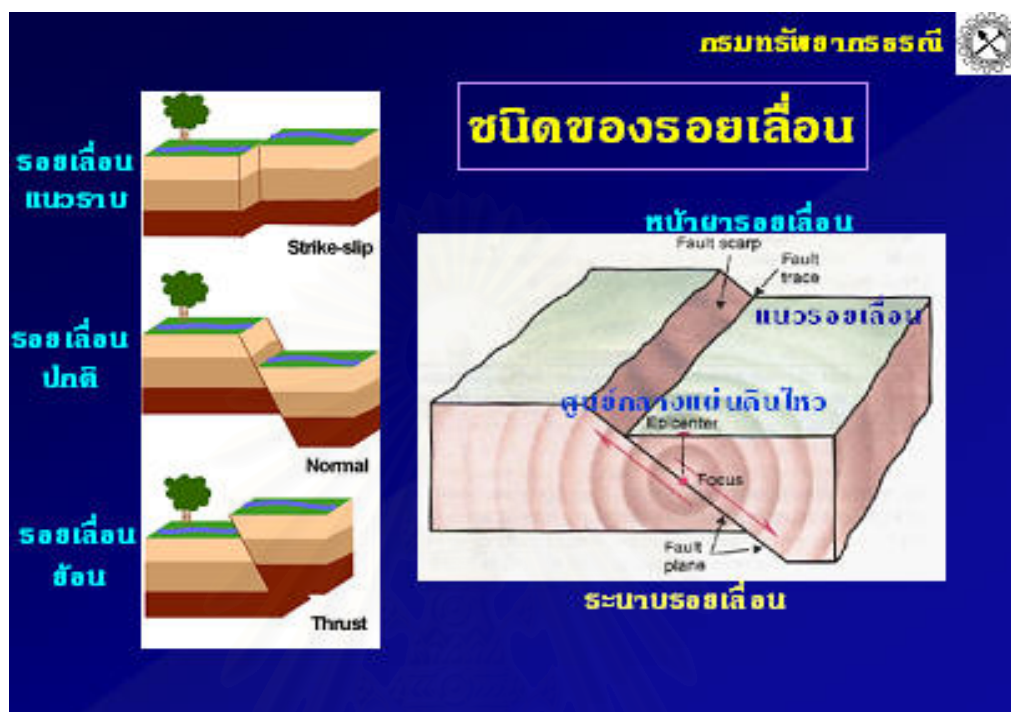
2.1.1 การเกิดแผ่นดินไหว^[19]

“แผ่นดินไหว” เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยพลังงาน เพื่อทำการลดความเครียดที่สะสมไว้ภายในโลกออกมายัง ภายนอก และเพื่อปรับสมดุลของเปลือกโลกให้คงที่ สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวนั้น จัดแบ่งได้ 2 ชนิด ชนิดที่หนึ่ง เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การทดลองระเบิดปรมาณู, การขุดสร้าง เขื่อน และแรงระเบิดของการทำเหมืองแร่ เป็นต้น ชนิดที่สองเป็นแผ่นดินไหวที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งมีทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว อันเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบัน 2 ทฤษฎี คือ

1. ทฤษฎีที่ว่าด้วยการขยายตัวของเปลือกโลก (Dilation source theory) อันเชื่อว่า แผ่นดินไหวเกิดจาก การที่เปลือกโลกเกิดการคดโค้งงออย่างซับซ้อน และเมื่อเปลือกโลกขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว

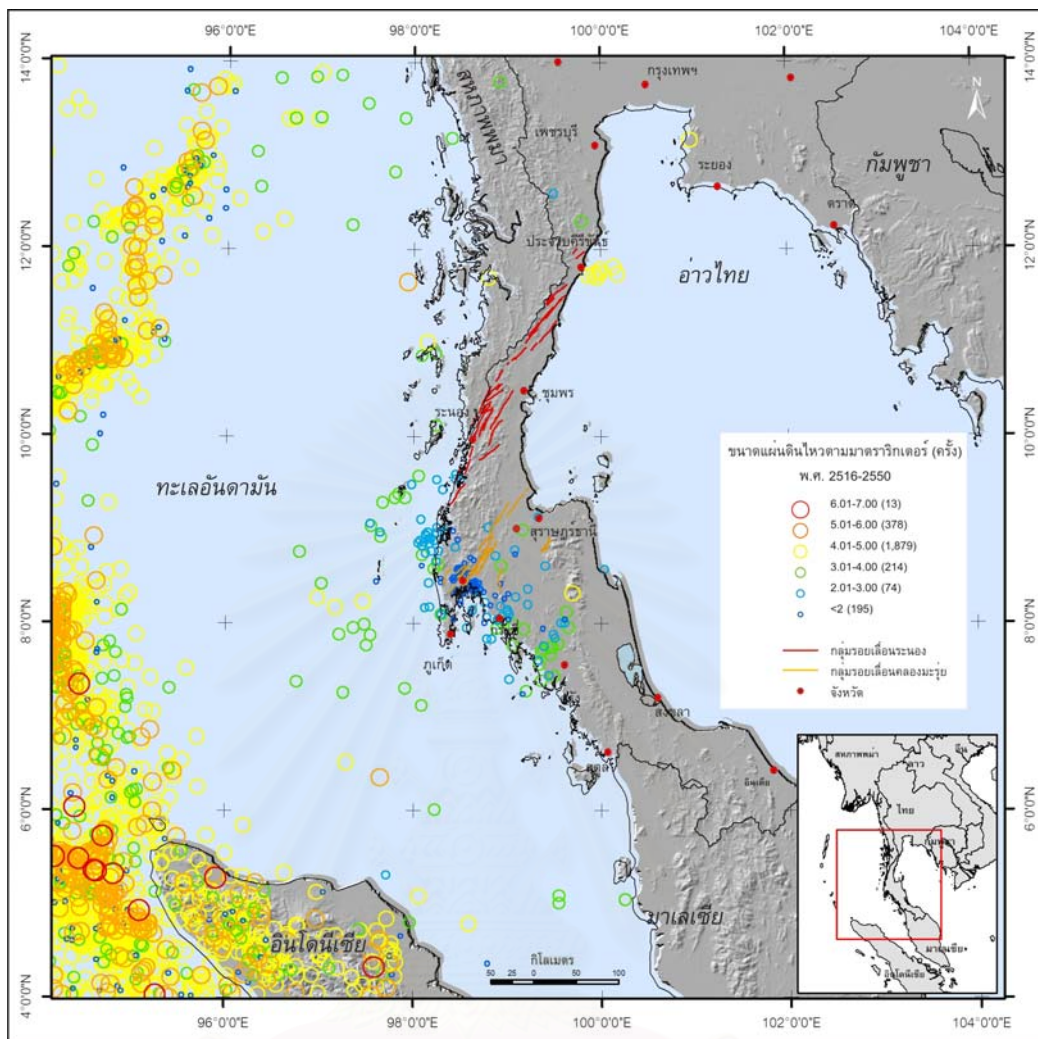
2. ทฤษฎีที่ว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ (Elastic rebound theory) เชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการสั่นสะเทือนอันเป็นเหตุผลมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Fault) ดังนั้นเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ถึงจุดหนึ่งวัตถุจึงขาดออกจากกัน และเสียดสีอย่างมาก พร้อมกับการปลดปล่อยพลังงานออกมา และหลังจากนั้น วัตถุก็คืนตัวกลับสู่รูปเดิม ทฤษฎีนี้สนับสนุนแนวความคิด ที่เชื่อว่า แผ่นดินไหวมีกลไกการกำเนิดเกี่ยวข้องโดยตรง และใกล้ชิดกับแนวรอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) ที่เกิดขึ้นจากผลพวงของการแปรสัณฐานของเปลือกโลก (Plate tectonics) เปลือกโลกของเรา ประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลก จำนวนประมาณ 12 แผ่นใหญ่ ทั้งที่เป็นแผ่นมหาสมุทร และแผ่น

ทวีป ซึ่งมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ต่อให้บางแผ่นมีการเคลื่อนแยกออกจากกัน บางแผ่นเคลื่อนเข้าหา และมุดซ้อนเกยกัน และบางแผ่นเคลื่อนที่เฉียดกัน อันเป็นบ่อเกิดของแรงเครียดที่สะสมไว้ภายในเปลือกโลกนั่นเอง



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดรอยเลื่อน และชนิดต่างๆ ของรอยเลื่อนที่เกิดขึ้น^[19]

สำหรับในพื้นที่ ที่จะทำการศึกษาวิจัยนั้น จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (2547)^[20] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2548) และข้อมูลศูนย์กลางแผ่นดินไหวของสำนักสำรวจธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา^[21] ที่ครอบคลุมระหว่างละติจูด $4^{\circ} 00'$ ถึง $14^{\circ} 00'$ และ ลองจิจูด $94^{\circ} 00'$ ถึง $103^{\circ} 00'$ หรือครอบคลุมพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย บางส่วนมาเลเซีย และ อินโดนีเซีย รวมทั้งทะเลอันดามัน และอ่าวไทยด้วย สามารถตรวจพบแผ่นดินไหวขนาดน้อยกว่า 2.0 ริกเตอร์ จำนวน 195 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 2.01 - 3.0 ริกเตอร์ จำนวน 74 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 3.01-4.0 ริกเตอร์ จำนวน 214 ครั้ง แผ่นดินไหวขนาด 4.01-5.0 ริกเตอร์ จำนวน 1,879 ครั้ง และแผ่นดินไหวขนาด 5.01-6.0 ริกเตอร์ จำนวน 378 ครั้ง สำหรับเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มากกว่า 6 ริกเตอร์ นั้น มีทั้งหมด 13 ครั้ง โดยแผ่นดินไหวขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่เกิดในทะเลอันดามัน และบนเกาะสุมาตรา แผ่นดินไหวที่ตรวจพบมากในพื้นที่ศึกษาวิจัย มักจะเป็นแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงปานกลางเกิดขึ้นมากที่สุด (รูป 2.2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณจังหวัดพังงา และในบริเวณทะเลอันดามัน ที่ใกล้ชายฝั่ง พบว่า เกิดแผ่นดินไหวขนาด 1-2 ริกเตอร์ จำนวนมากกว่า 30 ครั้ง



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงการกระจายตัวของศูนย์กลางแผ่นดินไหวในพื้นที่วิจัย [22]

2.1.2 รอยเลื่อนมีพลัง (Active Fault) [23]

การระบุว่ารอยเลื่อนใดเป็น “รอยเลื่อนมีพลัง” (Active Fault) อาศัยนิยามศัพท์จากหน่วยสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) ที่ว่า “ รอยเลื่อนมีพลัง หมายถึง รอยเลื่อนที่จะมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นอีกในอนาคต รอยเลื่อนที่จัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลังต้องมีการเคลื่อนที่อย่างน้อยหนึ่งครั้งภายในระยะเวลา 10,000 ปี ” [21] และ Hinthong (1997) ได้จัดจำแนกรอยเลื่อนต่างๆ โดยกล่าวไว้ว่า รอยเลื่อนต่างๆ นั้น สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ รอยเลื่อนที่มีพลัง (active or alive)) คือ รอยเลื่อนที่มีประวัติการเคลื่อนตัวในช่วงเวลาธรณีกาลสมัยโฮโลซีน หรือประมาณ 11,000 ปี และรอยเลื่อนที่สงบแล้ว (dead) [24] ทั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลธรณีวิทยา, ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ และข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแผ่นดินไหว สามารถแบ่งเขตรอยเลื่อนในประเทศไทยได้เป็น 4 ประเภท

คือ รอยเลื่อนที่มีแนวโน้มอาจเคลื่อนตัวได้ในอนาคต (potentially active fault), รอยเลื่อนที่มีประวัติเคลื่อนตัวในช่วงเวลาประวัติศาสตร์ และมีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว (historically and seismologically active fault), รอยเลื่อนที่เคลื่อนตัวจากการแปรสัณฐานใหม่ (neotectonically active fault) และรอยเลื่อนที่คาดไว้ก่อนว่ามีพลัง (tentatively active fault) การตรวจสอบรอยเลื่อนมีพลังบริเวณประเทศไทย จึงอาศัยหลักการที่ว่า “ตรวจพบแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนใด ถือว่ารอยเลื่อนนั้นมีพลัง” เทคนิค คือ ใช้เครื่องตรวจแผ่นดินไหวแบบดิจิทัลออนไลน์ระบบไอริส (Incorporated Research Institutions for Seismology) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่สถานีตรวจแผ่นดินไหวเชียงใหม่ เชียงดอยสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบข้อมูลแผ่นดินไหวในประเทศไทยที่รู้จักสั้นสะเทือนระหว่างปี พ.ศ. 2506-2546 การคำนวณพิคตของศูนย์กลางแผ่นดินไหวอาศัยโปรแกรมไดแมส (Display Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms: DIMAS, USGS, 2003) จากนั้นนำผลการคำนวณมาจัดทำฐานข้อมูล แล้วแสดงผลเป็นแผนภูมิกราฟิกทางโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcView GIS Version 3.1) แล้วทับซ้อนด้วยแผนที่รอยเลื่อนจากข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ เมื่อพบว่าแผ่นดินไหวเกิดขึ้นบริเวณรอยเลื่อนใด จึงสรุปว่ารอยเลื่อนนั้น เป็นรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งจากข้อมูลทางด้านธรณีวิทยา ธรณีกาลเวลา ผนวกกับข้อมูลแผ่นดินไหวของ รอยเลื่อนต่างๆ ในประเทศ พบว่าประเทศไทยมีรอยเลื่อนที่มีพลังจริงๆ ซึ่งอาจมีการเคลื่อนตัว และเกิดแผ่นดินไหวได้ถึง 16 รอย (รูปที่ 2.5) ดังนี้ 1. รอยเลื่อนแม่จัน 2. รอยเลื่อนแม่ทา 3. รอยเลื่อนเถิน-ลอง-แพรว 4. รอยเลื่อนน้ำปาด 5. รอยเลื่อนบัว 6. รอยเลื่อนพะเยา 7. รอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน 8. รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ 9. รอยเลื่อนปิง 10. รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ 11. รอยเลื่อนระนอง 12. รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย 13. รอยเลื่อนคลองท่อม 14. รอยเลื่อนโคกโพธิ์-สะบ้าย้อย-ยะลา-เบตง 15. รอยเลื่อนเลย-เพชรบูรณ์ 16. รอยเลื่อนระยอง-แกลง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ย เนื่องจากว่ามีโครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, ระนอง, สุราษฎร์ธานี, กระบี่, พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย), ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งทางผู้วิจัยได้เข้าร่วมทำงานวิจัยในโครงการนี้ด้วย จึงได้นำเทคนิคทางนิวเคลียร์ทำการตรวจวัดปริมาณกัมมาเรดอน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการขุดร่องสำรวจธรณีฐาน ดูว่ามีตำแหน่งของรอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่ ที่ทำการศึกษจริง

2.1.3 ลักษณะธรณีสัณฐาน ที่มีผลมาจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน ^[25]

ในการที่จะทำการศึกษาได้ว่าในบริเวณใดบ้าง ที่จะสามารถมีแนวรอยเลื่อนพาดผ่าน หรือเกิดขึ้นได้นั้น ต้องทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ได้แก่ การใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียม, การใช้ภาพถ่ายทางอากาศ, การศึกษาข้อมูล และประวัติการเกิดแผ่นดินไหวในพื้นที่ เพื่อทำการคัดเลือกพื้นที่ ที่แสดงลักษณะธรณีสัณฐาน ที่บ่งชี้ถึงความมีพลังของแนวรอยเลื่อน โดยดูจากลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏให้เห็นในภาพถ่ายทางอากาศ เช่น สี (color) โทนสี (tone) เนื้อภาพ (texture) รูปแบบ (pattern) ขนาด (size) รูปร่าง (shape) และ เงาแสง (shadow) โดยลักษณะดังกล่าว แสดงถึงสภาพธรณีสัณฐาน, ความชื้นในดิน, ลักษณะของพืชปกคลุมดิน และรูปแบบทางน้ำ ที่จะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ^[26] ซึ่งช่วยในการจำแนกชนิดหิน และธรณีวิทยาโครงสร้าง โดยการศึกษาการจำแนกชนิดหินได้เน้นแปลความหมายบริเวณ ที่เป็นแอ่งสะสมตะกอน และธรณีวิทยาโครงสร้างแนวเส้น (lineament) ที่มีโอกาสเป็นรอยเลื่อนมีพลัง โดยอาศัยลักษณะธรณีสัณฐาน ^[27] ที่มีผลมาจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อน ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.3)

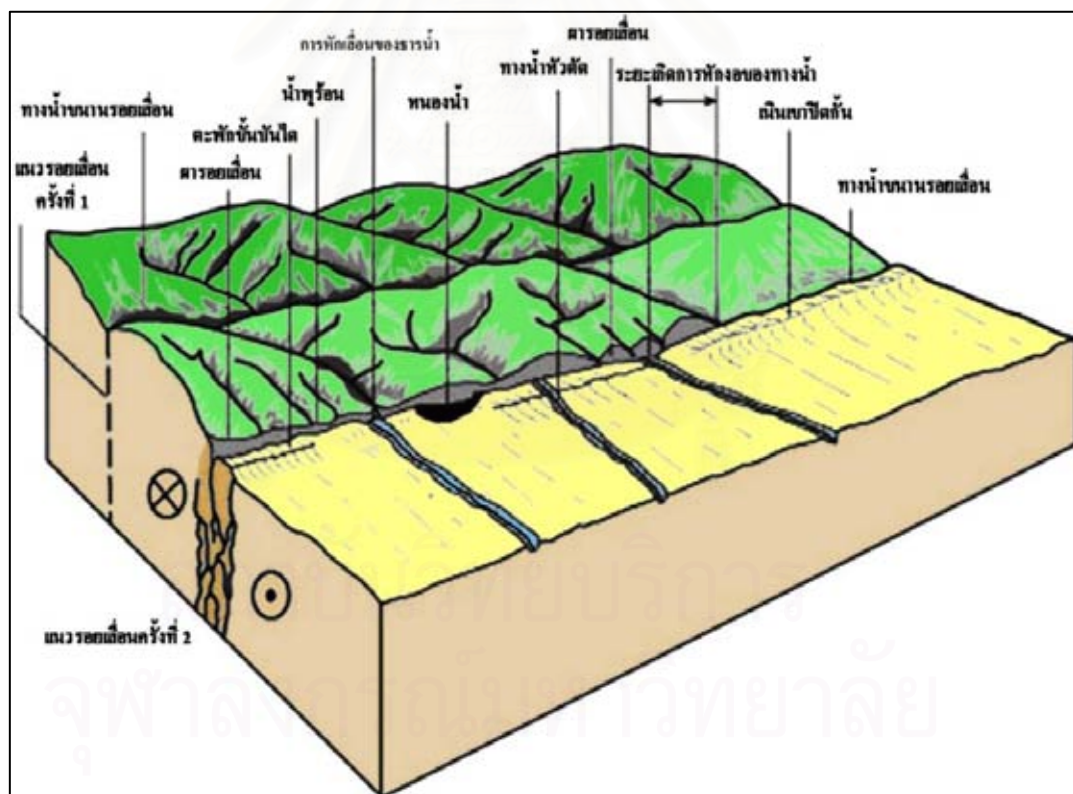
- 1) ทางน้ำขนานรอยเลื่อน (linear valleys) ซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนที่มีการเลื่อนตัวด้านข้าง (strike-slip fault) ทำให้เกิดทางน้ำที่ขนานไปกับแนวรอยเลื่อน
- 2) เนินเขาปิดกั้น (shutter ridge) ซึ่งเป็นผลมาจากรอยเลื่อนเกิดการเลื่อนตัวตัดผ่านสันเขาทำให้สันเขาเลื่อนตัวออกไปจากแนวเดิม แสดงถึงการเลื่อนตัวด้านข้าง (strike-slip fault)
- 3) การหักเลี้ยวของธารน้ำ (offset stream) ซึ่งเกิดจากรอยเลื่อนที่มีการเลื่อนตัวด้านข้าง (strike-slip fault) ตัดผ่านทางน้ำ และส่งผลให้ทางน้ำที่เดิมไหลเป็นแนวเส้นตรงเกิดการหักเลี้ยว ซึ่งระยะที่ทางน้ำเลื่อนตัวไปจากแนวเดิม สามารถบอกถึงระยะการเลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนได้
- 4) ทางน้ำถูกตัด (beheaded stream) เกิดจากรอยเลื่อนที่มีการเลื่อนตัวด้านข้าง (strike-slip fault) โดยทางน้ำที่ปรากฏเป็นแนวเส้นตรงตัดขาดจากทางน้ำเดิม ทำให้เกิดทางน้ำใหม่ไม่ต่อเนื่องกับทางน้ำเดิม
- 5) หน้าผารอยเลื่อน (scarp) มีลักษณะเป็นหน้าผาชัน เกิดจากรอยเลื่อนตัดผ่านสามารถเกิดได้ทั้งจากรอยเลื่อนแบบปกติ (normal fault) และรอยเลื่อนด้านข้าง (strike-slip fault) มักจะทำให้เกิดภูมิประเทศที่เป็นหน้าผาสูงชันติดกับที่ราบ และเห็นเป็นแนวรอยเลื่อนชัดเจน
- 6) แอ่งน้ำ (sag pond) เกิดจากการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนแล้ว ทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน ในบริเวณที่รอยเลื่อนตัดผ่านเกิดเป็นแอ่งน้ำ เกิดได้จากรอยเลื่อนแบบปกติ และรอยเลื่อนด้านข้าง

7) น้ำพุ หรือน้ำพุร้อน (spring และ hot spring) เกิดจากรอยเลื่อนที่เลื่อนตัวแล้ว เกิดแนวรอยเลื่อนที่ปิดตัวไม่สนิท ทำให้น้ำใต้ดินในบริเวณนั้น ไหลออกมาตามรอยแตก ซึ่งในบางแห่งสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนใต้ดิน (hydrothermal) เกิดเป็นน้ำพุร้อน

8) หน้าผาสสามเหลี่ยม (triangular facet) เป็นหน้าผาที่เกิดจากการเลื่อนตัวใน แนวตั้งของรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ทำให้เกิดเป็นหน้าผารอยเลื่อน หลังจากนั้นถูกทางน้ำกัดเซาะลงไป จนมีลักษณะเป็นหน้าผารูปสามเหลี่ยม

9) ตะพักชั้นบันได (bench) เป็นภูมิประเทศที่พัฒนาต่อมาจากหน้าผาสสามเหลี่ยม มีผลมาจากการเลื่อนตัวหลายครั้งของรอยเลื่อนปกติ (normal fault)

10) หุบเขาแก้วไวน์ (wine glass canyon) เกิดจากรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ที่ตัดผ่านร่องน้ำ แล้วเกิดการเลื่อนตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้ทางน้ำที่เดิมกัดเซาะในแนวระนาบ เปลี่ยนมากัดเซาะในแนวตั้ง เกิดเป็นหุบเขาที่มีรูปร่างคล้ายแก้วไวน์ คือ ด้านบนของหุบจะค่อนข้าง กว้าง ส่วนด้านล่างจะแคบ และลึก



รูปที่ 2.3 ลักษณะธรณีสัณฐาน ที่ใช้เป็นตัวชี้บ่งชี้ในการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนที่มีพลัง [27]

2.1.4 กลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย (Klong Marui Fault) ^[25]

กลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย มีการวางตัวทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีความยาวประมาณ 148 กิโลเมตร พาดผ่านตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต ซึ่งกลุ่มรอยเลื่อนแนวนี้ มีการเคลื่อนที่ตามแนวระนาบแบบซ้ายเข้า (Left Lateral Strike-slip Fault) และมีธรณีวิทยาตามแนวรอยเลื่อน คล้ายคลึงกับกลุ่มรอยเลื่อนระนอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (รูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5)

หินตะกอน และหินแปร (Sedimentary and Metamorphic Rock)

- มหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน (Upper Palaeozoic)

1) กลุ่มหินแก่งกระเจาน (Kaeng Krachang Group, CP)

เป็นกลุ่มหิน ที่มีการแผ่กระจายตัวครอบคลุมเกือบทั้งพื้นที่กลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ประกอบด้วยหินโคลนปนกรวด สีเทา ดินดาน หินทรายแป้ง และหินทรายที่มีอายุอยู่ในช่วงของคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน (Carboniferous - Permian) โดยกลุ่มหินนี้วางตัวอย่างต่อเนื่องรองรับหินปูนของกลุ่มหินราชบุรี ซึ่งมีอายุในยุคเพอร์เมียน

การเรียงลำดับของชั้นหินสามารถแบ่งย่อยได้ โดยลักษณะของเนื้อหิน โครงสร้างภายในของชั้นหินตลอดจนถึงการกำเนิดของหินเหล่านี้ ได้แบ่งออกเป็น 4 หมวด หินย่อยจากล่างขึ้นบน ได้แก่ หมวดหินเขาวังกระดาด หมวดหินสปิลเวย์ หมวดหินเกาะเฮ และหมวดหินเขาพระเป็นต้น

- หมวดหินเขาวังกระดาด (Khao Wang Kadat Formation) ประกอบไปด้วยหินทรายเกรย์แวก และหินโคลนซึ่งเกิดภายใต้อิทธิพลของกระแสน้ำขุ่นวนเป็นหลัก

- หมวดหินสปิลเวย์ (Spillway Formation) ประกอบไปด้วย หินทรายแป้งเป็นชั้นดี มักมี worm burrow และ bioturbation มากมาย พบ lone-stone หรือ dropstone-like structure โดยทั่วไปมักมีชั้นหินทรายควอร์ตซิติค ซึ่งมีการวางชั้นเฉียงระดับแทรกสลับอยู่เป็นระยะ โดยรูปของชั้นเฉียงระดับ มีลักษณะแบบ hummocky cross bedding ซึ่งแสดงถึงการสะสมตัวภายใต้อิทธิพลของลมพายุ

- หมวดหินเกาะเฮ (Ko He Formation) ประกอบไปด้วยหินโคลนปนกรวด หรือ diamictic สามารถพบลักษณะของ channel-filled structure ได้

- หมวดหินเขาพระ (Khao Phra Formation) ประกอบไปด้วยหินโคลน หินทรายแป้ง หินทราย ควอร์ตซิติค และหินทรายอาร์โคสเป็นหลัก อาจพบ Limestone-lens บ้างมี key bed คือ ชั้นซากดึกดำบรรพ์เป็นจำนวนมาก ซึ่งประกอบไปด้วย bryozoa เป็นหลัก จนอาจเรียกได้ว่าเป็น bryozoa beds

2) กลุ่มหินราชบุรี (Ratchaburi Group, P)

เป็นกลุ่มหินที่มีการแผ่กระจายตัวบริเวณตอนกลางของพื้นที่รอยเลื่อน ลักษณะส่วนใหญ่เป็นหินปูนที่เกิดเป็นชั้น และเป็นมวลหนา สีเทาอ่อน เทาดำ มีก้อนเชิร์ต (Chert nodule) มากในตอนล่าง พบซากดึกดำบรรพ์มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิวซิลินิด แบรคิโอพอด ไบรโอซัว ซากปะการัง และฟอสซิลเฟอรา บ่งชี้ได้ว่าหินปูนกลุ่มนี้มีอายุอยู่ในยุคเพอร์เมียน

หินตะกอนอายุไทรแอสซิก-จูแรสซิก (Triassic-Juassic Sedimentary Rock) พบกระจายตัวตามแนวชายฝั่งทางด้านตะวันออกของแนวรอยเลื่อน ประกอบด้วยหินทรายแป้ง และหินทราย แทรกสลับกัน และบางบริเวณพบเลนส์ของหินปูน

หินตะกอนอายุไทรแอสซิก-ครีเทเชียส (Triassic-Cretaceous Sedimentary Rock) พบแผ่กระจายตัวเฉพาะบริเวณทางด้านตะวันออกของแนวรอยเลื่อน ประกอบด้วย หินดินดาน ทรายแป้ง ทราย สีน้ำตาลแดง จนถึงแดง โดยบางบริเวณมีลักษณะของชั้นเฉียงระดับ (cross bedding) และรอยริ้วคลื่น (ripple mark) เป็นต้น

ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของคลื่น (Q) ได้แก่ ตะกอนที่สะสมตัวตามชายฝั่งทะเล ส่วนใหญ่ประกอบด้วยทราย, ทรายแก้ว ปะปนด้วยเศษเปลือกหอย และปะการัง

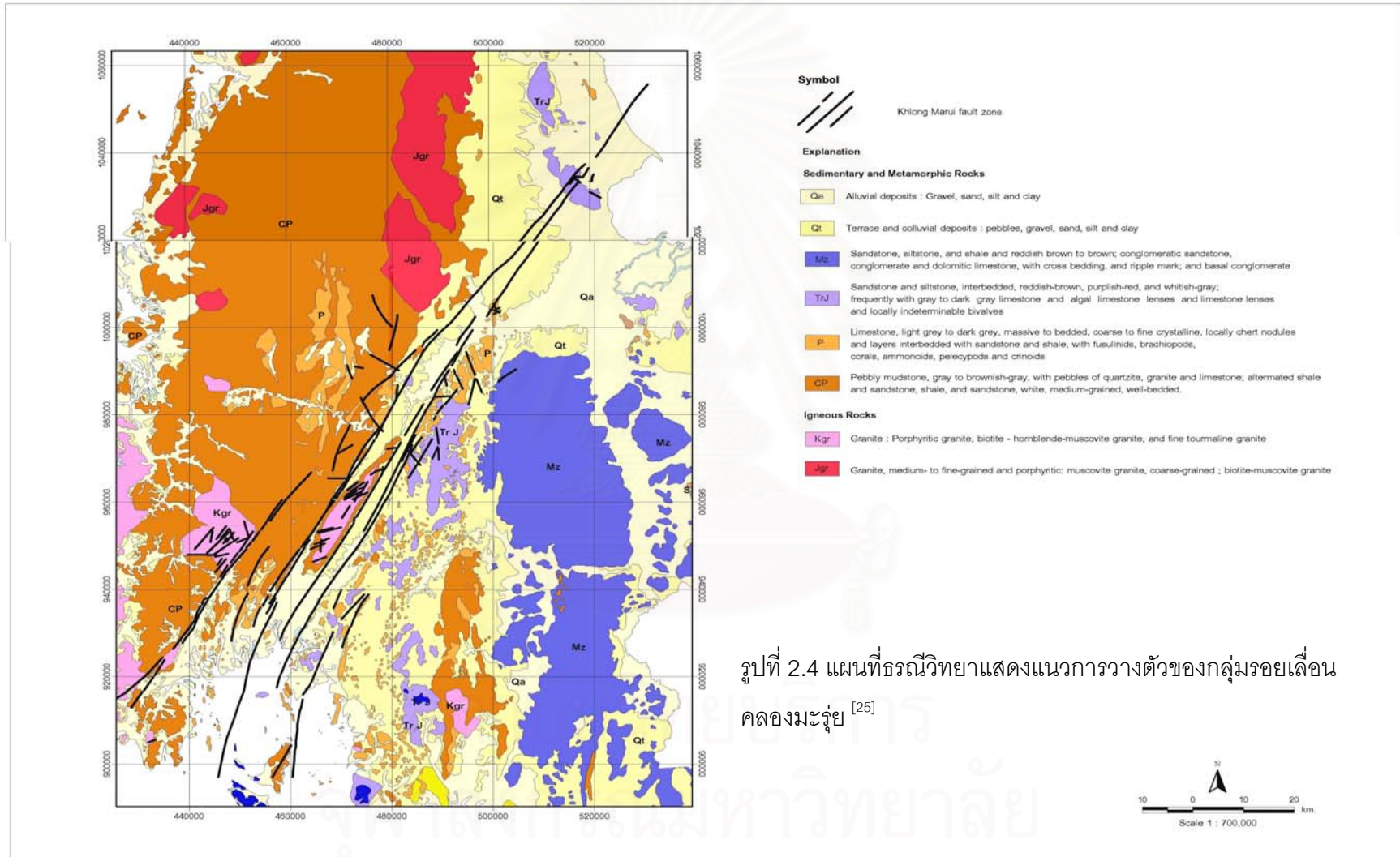
ตะกอนธารน้ำพา (Qa) ได้แก่ ตะกอนที่เกิดจากแม่น้ำ ปกคลุมในบริเวณพื้นที่ราบลุ่ม ตั้งแต่ชายฝั่งทะเลขึ้นมาถึงตะพักลุ่มน้ำ ตะกอนประกอบด้วยกรวด ทราย ดินเหนียว และโคลน

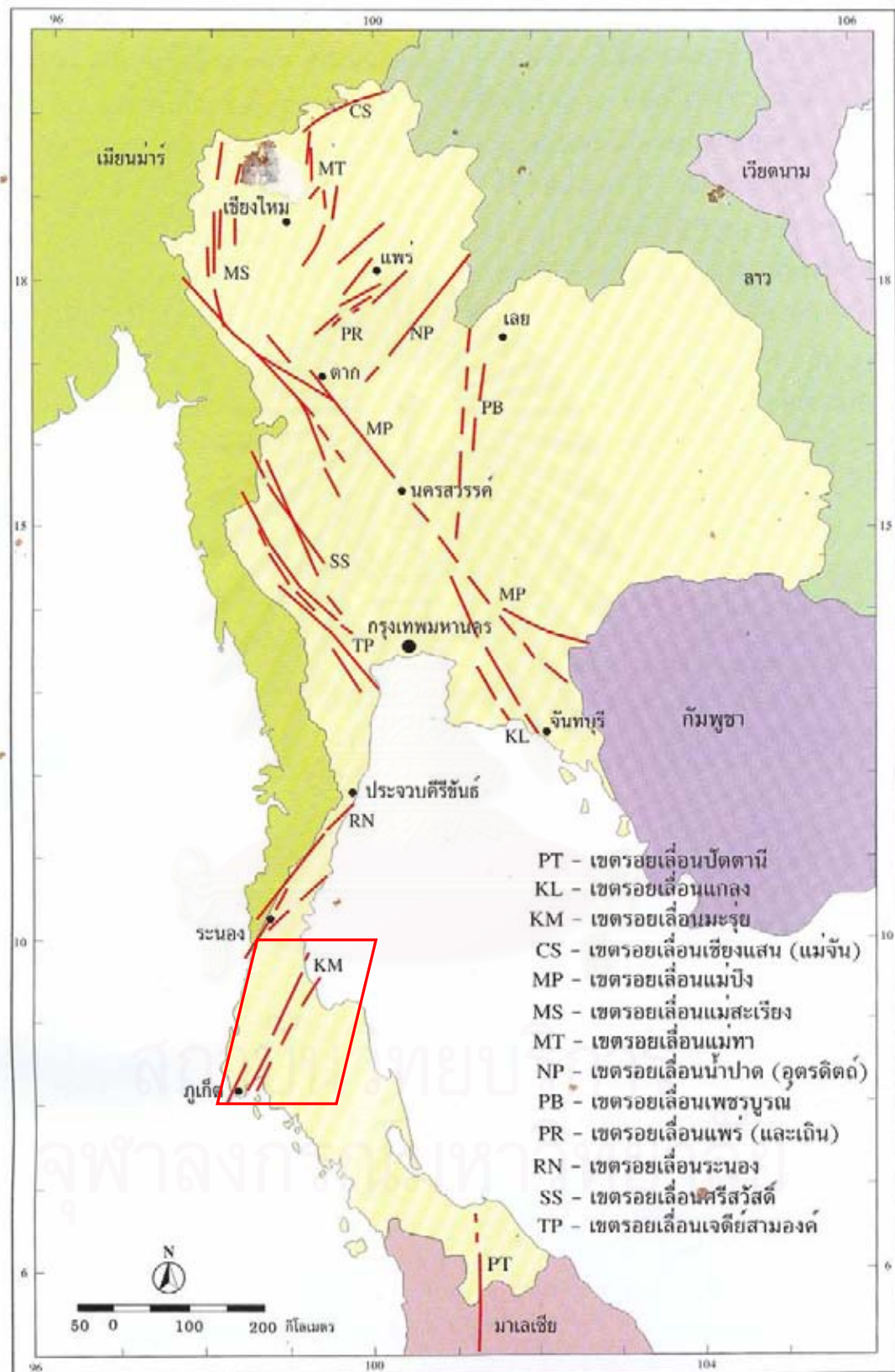
ตะกอนตะพัก และเศษหินเชิงเขา (Qt) ประกอบด้วย ชั้นตะกอนของกรวด, ทราย, ดิน, ดินลูกรัง และคราบปูน ตะกอนตะพักลุ่มน้ำนี้ จะปรากฏตามเชิงเขา และเนินเขาเตี้ย ๆ

หินอัคนี (Igneous Rock)

พบหินแกรนิตอายุไทรแอสซิก และหินแกรนิตอายุจูแรสซิก (Triassic & Jurassic Granite, Trgr & Jgr) แทรกซอนเป็นบริเวณแคบๆ ทางตะวันตกของแนวรอยเลื่อน มีลักษณะเป็นมวลหินขนาดใหญ่ (Batholiths and plutons) แทรกซอนกันเป็นแนวยาว กระจายตัวตามบริเวณชายแดนไทย-สหภาพพม่า (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) โดยที่ ลักษณะทั่วไปของหินแกรนิตแนวนี้มีผลึกหยาบขนาดใหญ่ไม่เท่ากัน ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์, ควอร์ตซ์, ไบโอไทต์, และ มัสโคไวต์ แต่หินแกรนิตบางส่วนมีแร่ฮอร์นเบลนด์ และแมกเนไทต์เป็นแร่ประกอบหิน

หินแกรนิตอายุครีเทเชียส (Cretaceous Granite, Kgr) แทรกซอนขึ้นสู่ผิวดินบริเวณทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของแนวรอยเลื่อน โดยที่ลักษณะทั่วไปของหินแกรนิตแนวนี้มีผลึกหยาบขนาดใหญ่ไม่เท่ากัน ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์, ควอร์ตซ์, ไบโอไทต์ และ มัสโคไวต์ แต่หินแกรนิตบางส่วนมีแร่ฮอร์นเบลนด์ และแมกเนไทต์เป็นแร่ประกอบหิน





รูปที่ 2.5 ขอบเขตรอยเลื่อนที่สำคัญในประเทศไทย (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดงแสดงพื้นที่ศึกษาในงานวิจัย)^[28]

2.2 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ ^[29]

แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติมีทั้งแหล่งกำเนิดที่เกิดจากนอกโลก ซึ่งได้แก่รังสีคอสมิก และธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิกทำอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศของโลก และแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติบนพื้นโลกที่มีมาตั้งแต่เริ่มแรกของโลก (Primordial radioactive elements) เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวมากประมาณหลายร้อยล้านปีขึ้นไป คือ อนุกรมยูเรเนียม และอนุกรมทอเรียม เช่น ^{238}U มีค่าครึ่งชีวิต 4.47×10^9 ปี และ ^{232}Th มีค่าครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี เป็นต้น รวมทั้งธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่นอกเหนือจากอนุกรมทั้งสองข้างต้น ที่สำคัญมี 2 ตัว ได้แก่ ^{40}K มีค่าครึ่งชีวิต 1.28×10^9 ปี และ ^{87}Rb มีค่าครึ่งชีวิต 4.7×10^{10} ปี นอกจากนี้ ^{238}U และ ^{232}Th ยังเป็นต้นกำเนิดไอโซโทปรังสีอื่นๆ อีกเป็นจำนวนมาก โดยมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่อง ไปสิ้นสุดที่ไอโซโทปเสถียร อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U และ ^{232}Th แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 สำหรับไอโซโทปที่อยู่นอกเหนืออนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม และทอเรียม แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ซึ่งไอโซโทปรังสีเหล่านี้ จะปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในบรรยากาศ และพื้นผิวโลกที่เราอาศัยอยู่ ซึ่งทำให้สามารถนำหลักการ และทฤษฎีนี้ ไปใช้ในการสำรวจหาตำแหน่งของรอยเลื่อนแผ่นดินไหว โดยทำการพิจารณาคุณค่าความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์ลูกหลานของ ^{238}U ซึ่งก็คือ ก๊าซเรดอน ในตำแหน่งรอยเลื่อนกับตำแหน่งอื่นๆ ในพื้นที่ ที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U ^[29]

Nuclide	Half-life	Energy (MeV)			เปอร์เซ็นต์ของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
^{238}U	$4.47 \times 10^9 \text{ y}$	4.2	-	0.048	23
^{234}Th	24.1 d	-	0.19	0.09	4
^{234}Pa	1.17 m , 6.69 h	-	2.29	1.0	0.6
^{234}U	$2.46 \times 10^5 \text{ y}$	4.8	-	0.05	28
^{230}Th	$7.54 \times 10^4 \text{ y}$	4.8	-	0.068	24
^{226}Ra	1600 y	4.8	-	0.186	4
^{222}Rn	3.82 d	5.49	-	0.5	0.07
^{218}Po	3.10 m	6.00	-	-	-
^{214}Pb	27 m	-	0.65	0.24	4
^{214}Bi	19.9 m	5.5	1.5	0.61	47
^{214}Po	164 μs	7.7	-	0.8	0.014
^{210}Pb	22.6 y	-	0.016	0.046	81
^{210}Bi	5.01 d	-	1.16	-	-
^{210}Po	138.38 d	5.30	-	0.80	0.001
^{206}Pb		stable			

ตารางที่ 2.2 อนุกรมการสลายตัว ^{232}Th [29]

Nuclide	Half-life	Energy(MeV)			เปอร์เซ็นต์ของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
^{232}Th	1.40×10^{10} y	4.0	-	0.06	23
^{228}Ra	5.76 y	-	0.054	-	-
^{228}Ac	6.15 h	-	1.11	0.09	30
^{228}Th	1.913 y	5.43	-	0.08	28
^{224}Ra	3.66 d	5.68	-	0.24	5
^{220}Rn	55.6 s	6.29	-	-	-
^{216}Po	0.145 s	6.78	-	-	-
^{212}Pb	10.64 h	-	0.36	0.238	81
^{212}Bi	1.009 h	6.05	2.20	0.04	17
^{212}Po	0.29 μs	8.78	-	-	-
^{208}Tl	3.053 m	-	1.79	2.62	100
^{208}Pb		stable			

ตารางที่ 2.3 นิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติที่อยู่นอกเหนืออนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U และ ^{232}Th [29]

Nuclide	Decay mode	Half life (y)	Abundance (%)
^{40}K	β^- , EC	1.28×10^9	0.0117
^{87}Rb	β^-	4.8×10^{10}	27.83
^{115}In	β^-	5.1×10^{14}	95.7
^{138}La	β^- , EC	1.1×10^{11}	0.089
^{147}Sm	A	1.06×10^{11}	15.5
^{176}Lu	β^-	3.6×10^{10}	2.61
^{187}Re	β^-	4×10^{10}	62.60
^{190}Nd	A	6×10^{11}	0.013
^{144}Nd	A	2.1×10^{15}	23.8

จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 พบว่า เรดอน-222 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสี ที่เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม และเรดอน-220 นั้นเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสี ที่เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมทอเรียม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีจากพื้นดิน สำหรับไอโซโทปของเรดอนมีทั้งหมด 3 ตัว คือ เรดอน-219 หรือแอกติโนน (^{219}Rn มีค่า half life= 3.92 วินาที), เรดอน-220 หรือไทรอน (^{220}Rn มีค่า half life= 55.6 วินาที) และเรดอน-222 (^{222}Rn มีค่า half life= 3.82 วัน) ซึ่งไอโซโทปตัวที่สำคัญของเรดอนก็คือ เรดอน-222 เนื่องจากมีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซโทปตัวอื่น ๆ ซึ่งไอโซโทปของเรดอนทั้ง 3 ตัว ที่ได้มาจากการสลายตัวของอนุกรม ^{238}U , ^{232}Th และ ^{235}U นั้นจะแสดงในรูปที่ 2.6

Element	Uranium-238 series					Th-232 series			U-235 series			
Uranium	U-238 4.5×10 ⁹ y		U-234 245500 y							U-235 7.0×10 ⁸ y		
Protactinium		Pa-234 1.2 min									Pa-231 32800 y	
Thorium	Th-234 24.1 d		Th-230 75400 y			Th-232 1.4×10 ¹⁰ y	Th-228 1.91 y	Th-231 25.5 h				Th-227 18.7 d
Actinium							Ac-228 6.1 h					Ac-227 21.8 y
Radium			Ra-226 1600 y			Ra-228 5.75 y	Ra-224 3.7 d					Ra-223 11.4 d
Francium												
Radon			Rn-222 3.8 d					Rn-220 55.6 s				Rn-219 3.92 s
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

mass
number

half-life

particle reactivity

low

intermediate

high

รูปที่ 2.6 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U , ^{232}Th และ ^{235}U [29]

2.2.1 ยูเรเนียม (Uranium)

ยูเรเนียมเป็นธาตุกัมมันตรังสี ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงในปฏิกิริยาปรมาณูสำหรับผลิตไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้ธาตุยูเรเนียมยังเป็นต้นกำเนิดรังสีของธาตุเรเดียม และเรดอน ปัจจุบันธาตุยูเรเนียมที่มีอยู่ในแร่ และหินยังนำไปทำการวิเคราะห์หาอายุของแร่ และหินนั้น ๆ ด้วย

คุณสมบัติทางกายภาพ ธาตุยูเรเนียมในธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่พบว่าเกิดเป็นธาตุบริสุทธิ์ มักเกิดปะปนกับธาตุอื่น ๆ เสมอ สีของแร่ยูเรเนียมมีหลายสี เช่น ดำ, เขียว, เหลือง และสีอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการเกิดของแร่ยูเรเนียม และธาตุอื่น ๆ ที่เกิดร่วมด้วย ธาตุยูเรเนียมเป็นธาตุหนัก คือ มีความถ่วงจำเพาะถึง 19.05 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 1,133 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ประมาณ 3,927 องศาเซลเซียส แร่ยูเรเนียมยังสามารถละลายน้ำได้ง่าย

คุณสมบัติทางเคมี ยูเรเนียมมีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ U นำหนักอะตอม 238.07 จำนวนอะตอม 92 โดยทั่วไปยูเรเนียมมีวาเลนซ์ +3, +4 และ +6 และมี oxides อยู่เพียง 4 ตัว คือ UO , UO_2 , UO_3 และ UO_4 พบว่า UO นั้นจะพบเป็นชั้นบาง ๆ บนผิวของแร่ยูเรเนียม

ยูเรเนียมมี 3 ไอโซโทป คือ ^{238}U , ^{235}U และ ^{234}U ชนิดที่มีมากที่สุดคือ ^{238}U มีถึง 99.275% ค่าครึ่งชีวิตของธาตุยูเรเนียมแต่ละชนิดแตกต่างกัน มีดังนี้ ^{234}U มีค่าครึ่งชีวิต 2.48×10^5 ปี, ^{235}U มีค่าครึ่งชีวิต 7.13×10^8 ปี และ ^{238}U มีค่าครึ่งชีวิต 4.51×10^9 ปี

ชนิดการเกิดของแหล่งแร่ยูเรเนียม

- แบบที่เกิดเป็นสายแร่ โดยจะมีการเกิดแทรกเข้ามาในหินที่อายุแก่กว่า เนื่องจากยูเรเนียมเกิดในช่วง Late magmatization ถูกพวก Volatile เป็นตัวนำมา
- แบบที่เกิดในหินชั้น ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในชั้นใดชั้นหนึ่ง โดยเฉพาะเกิดได้ ทั้งในหินทราย, หินกรวด, หินฟอสเฟต และหินดินดาน รวมถึงถ่านหินด้วย แหล่งแร่ยูเรเนียมที่สำคัญพบอยู่ในชั้นของหินทราย
- แบบที่เกิดในลานแร่ ซึ่งเป็นแร่แบบทุติยภูมิ ถูกพัดพามาจากแหล่งกำเนิด มักเป็นพวก Pegmatite หินแกรนิตชนิดต่าง ๆ ถ้าถูกพัดพาไปไม่ไกลนัก ก็ยังเป็นของแข็งอยู่ แต่ถ้าถูกพัดพาไปไกลมาก ก็จะสลายตัวเป็นผง หรือละลายปนกับน้ำ
- แบบที่เกิดในหินอัคนี มักพบทั้งในพวก Alkali และ Acid igneous rock โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในหินแกรนิต ยูเรเนียมจะเกิดแบบกระจุกกระจายอยู่ในเนื้อหิน และเป็นแบบสายแร่ด้วย

2.2.2 ทอเรียม (Thorium)

ทอเรียมเป็นธาตุกัมมันตรังสีอีกชนิดหนึ่ง ที่เพิ่งนำมาใช้ประโยชน์ในทางนิวเคลียร์เมื่อไม่นานมานี้เอง เนื่องจากได้มีการค้นพบว่า ทอเรียมสามารถแปลงเป็นเชื้อเพลิงปรมาณูได้ดี และปริมาณทอเรียมในธรรมชาติก็มีมากพอๆ กับยูเรเนียม

คุณสมบัติทางกายภาพ แร่ทอเรียมมีการกระจายอยู่ทั่วโลก โดยจะปะปนอยู่กับสินแร่ชนิดอื่น เฉลี่ยประมาณ 0.001 – 0.002 % ส่วนมากจะปะปนอยู่กับแร่ยูเรเนียม และในพวก rare earth ในแร่ทอเรียไนท์ (Thorianite) และทอไรท์ (Thorite) จะมีทอเรียมปะปนถึง 90 % แต่แร่พวกนี้ มีอยู่ไม่มากนัก จึงไม่เหมาะจะนำมาแยกทอเรียมเป็นอุตสาหกรรม แร่ที่สำคัญ และเหมาะแก่การอุตสาหกรรมก็คือ โมนาไซต์ ซึ่งมีทอเรียมไดออกไซด์ (ThO_2) อยู่สูงถึง 11 % และมีแร่ยูเรเนียมปะปนอยู่มากน้อยต่างกัน

คุณสมบัติทางเคมี ทอเรียมที่ปรากฏในธรรมชาติ มีเลขอะตอม 90 และ เลขมวล 232 มีค่าครึ่งชีวิต 1.39×10^{10} ปี เป็นสารกัมมันตรังสีที่มีการสลายตัวโดยปลดปล่อยรังสีแอลฟา

แร่ทอเรียมมักพบปะปนอยู่กับยูเรเนียม และออกไซด์ของโลหะจำพวก rare earth ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของแร่ทอไรท์ (Thorite) และทอเรียไนท์ (Thorianite) แต่แร่พวกนี้หายาก ส่วนใหญ่ได้จากแร่โมนาไซต์ ซึ่งพบอยู่เกือบทั่วไป

แร่โมนาไซต์ ($\text{Ce, La, Y, Th} \text{PO}_4$) เป็นแร่ที่มีส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย ธาตุ ยูเรเนียม, ทอเรียม และ rare earth elements อื่น ๆ อยู่ในสารประกอบของ Phosphate มีลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ มีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล มีความวาวคล้ายยาง

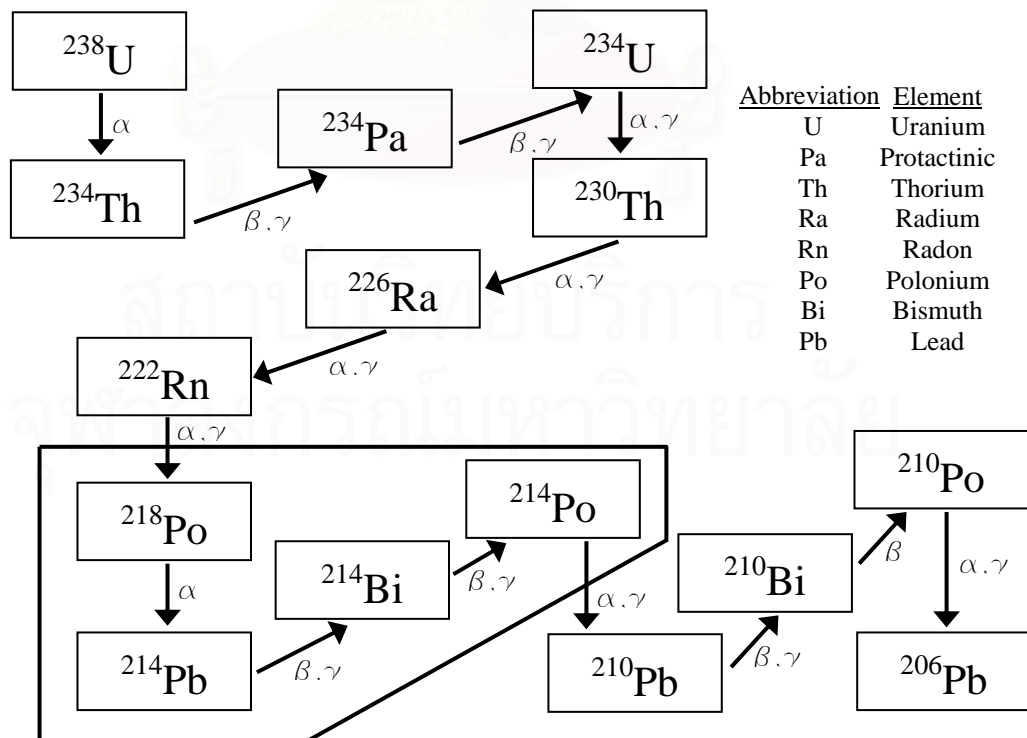
2.2.3 เรดอน (Radon)

เรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสี ที่เกิดมาจากการสลายตัวของเรเดียม ซึ่งจะมีจำนวน 3 ไอโซโทปด้วยกัน คือ ^{219}Rn หรือเรียกอีกชื่อว่า แอคตินอน (Actinon), ^{220}Rn เรียกอีกอย่างว่า โทรอน (Thoron) และ ^{222}Rn เรียกอีกชื่อว่า เรดอน (Radon) พบว่าแอคตินอนนั้น จะสลายตัวมาจากอนุกรมการสลายตัวของแอคตินีเยียม (Actinium Series) ที่มี ^{235}U เป็นธาตุตั้งต้น พบได้น้อยมากในธรรมชาติ เนื่องจาก ^{235}U มีปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ นอกจากนี้แอคตินอน ก็ยังมีค่าครึ่งชีวิตสั้นเพียง 5 วินาทีเท่านั้น โอกาสที่จะมีแอคตินอนเกิดขึ้น และหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงมีโอกาสน้อยมาก ส่วนโทรอนนั้น จะสลายตัวมาจากอนุกรมทอเรียม (Thorium Series) ที่มีธาตุตั้งต้น คือ ^{232}Th ถึงแม้ว่า ^{232}Th จะพบมากในธรรมชาติ แต่โทรอนมีค่าครึ่งชีวิตสั้นแค่ 55 วินาที จึงมักมีการสลายตัวไปก่อนที่จะหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นทั้งแอคตินอน และโทรอน จึงไม่ใช่ไอโซโทปที่

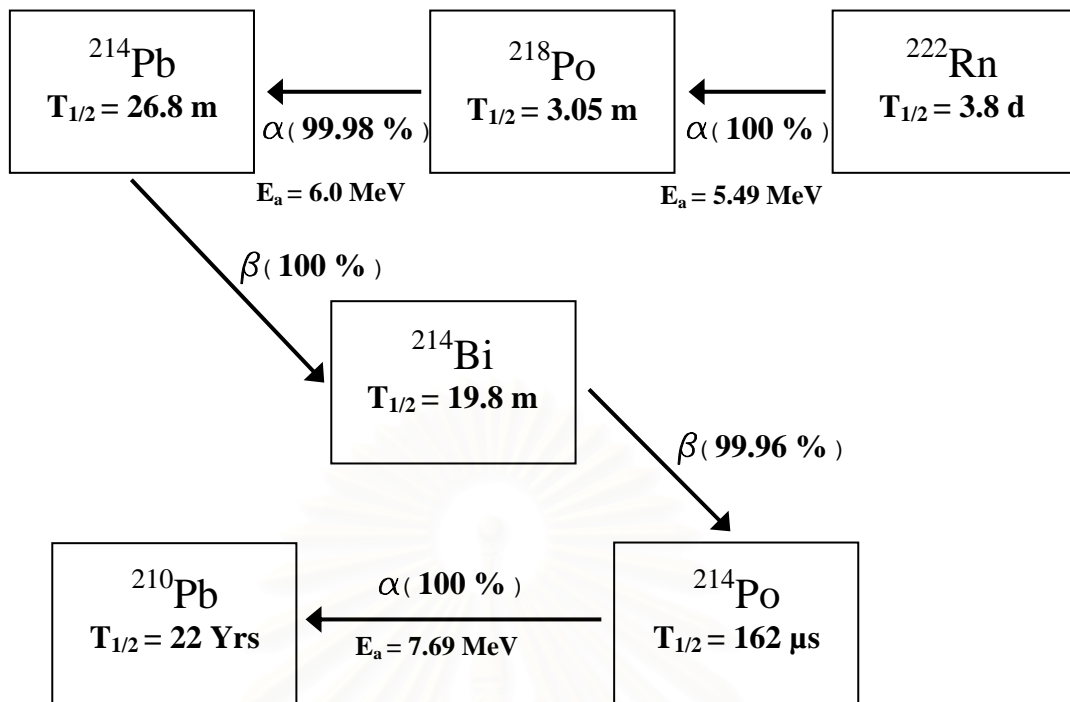
สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อม และนำไปใช้ในการศึกษา และวิเคราะห์ในงานวิจัยต่างๆ ได้ แต่เมื่อพิจารณาเรดอนพบว่า เรดอนนั้น จะสลายตัวมาจากอนุกรมยูเรเนียม ที่มียูเรเนียม-238 เป็นธาตุตั้งต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า นอกจาก ^{238}U จะพบมากในธรรมชาติแล้ว เรดอนยังเป็นไอโซโทป ที่มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวที่สุด คือ 3.82 วัน จึงสามารถฟุ้งกระจายไปในอากาศ และยังสามารถปะปนอยู่กับสิ่งแวดล้อมได้ง่ายด้วย ดังนั้นเมื่อทำการศึกษาเรื่องเรดอน จึงมักพิจารณาเฉพาะ ^{222}Rn เท่านั้น

คุณสมบัติเชิงเคมีของเรดอน พบว่าเรดอนมีสถานะเป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และเป็นก๊าซเฉื่อย แต่ก็ไม่ใช่ก๊าซเฉื่อยสมบูรณ์ เนื่องจากเรดอนสามารถเกิดปฏิกิริยาในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับฟลูออไรด์เกิดเป็นเรดอนฟลูออไรด์ (Radon Fluoride) ได้ เช่นเดียวกับก๊าซเฉื่อยบางตัว เช่น คริปทอน (Krypton) และซีนอน (Xenon) และเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุหมู่ 8 ตัวอื่นๆ พบว่าเรดอนเป็นธาตุที่มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูงที่สุด คือ จะมีจุดเดือด -61.8 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวเท่ากับ -71.0 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของเรดอน พบว่า ก๊าซเรดอนสามารถละลายน้ำได้ แต่ความสามารถในการละลายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ โดยเรดอนจะละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูง และเรดอนยังสามารถละลายได้ดีมากในตัวทำละลายอินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่าก๊าซเรดอนจะไม่มีสีในอุณหภูมิปกติ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง เรดอนจะเปล่งแสงสีเหลืองสุกใส และเมื่อลดอุณหภูมิลงอีกเรดอนจะเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง



รูปที่ 2.7 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U [30]



รูปที่ 2.8 การสลายตัวของก๊าซเรดอน ^[30]

2.2.4 แหล่งกำเนิดเรดอน

- **ดิน** จากการสำรวจพบว่า ค่าเฉลี่ยของก๊าซเรดอนที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศทั่วโลกประมาณ 80 % มาจากพื้นดินชั้นบน ซึ่งการฟุ้งกระจายของเรดอนมีส่วนสัมพันธ์กับเรเดียมและยูเรเนียมในดิน แม้ว่าธาตุเหล่านี้ จะมีในดิน และหินเกือบทุกชนิด แต่ปริมาณจะแปรผันตามสภาพพื้นที่ และวัสดุทางธรณีวิทยา โดยทั่วไปความเข้มข้นของยูเรเนียมจะแสดงในหน่วย หนึ่งในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (ppm) หรือในเทอมของความแรงรังสีจำเพาะ (specific activity) แสดงในหน่วย pCi ของ ²³⁸U ต่อกรัมของวัสดุ และในหน่วย Bq ของ ²²²Rn ต่อลูกบาศก์เมตรของ Soil gas เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของธาตุยูเรเนียมในหิน พบว่าหินแต่ละชนิดจะมีความเข้มข้นของยูเรเนียมแตกต่างกัน เช่น หินแกรนิตจะมีความเข้มข้นของยูเรเนียมสูง โดยจะมีความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 1.6 pCi/g หินบะซอลต์จะมีความเข้มข้นยูเรเนียมประมาณ 0.3 pCi/g ส่วนหินในชั้นเปลือกโลกจะมีความเข้มข้นยูเรเนียมเฉลี่ยประมาณ 1 pCi/g และในแร่บางชนิดอาจมีค่ามากกว่านี้ สำหรับอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนในแต่ละพื้นที่นั้น จะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นเรเดียม และค่าความสามารถในการซึมผ่านของดิน นอกจากนี้ปริมาณน้ำในดิน ก็มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนด้วย คือ ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำต่ำ จะมีการปลดปล่อยของก๊าซเรดอนได้มากกว่าบริเวณที่มีปริมาณน้ำสูง รวมทั้งบริเวณที่มีความดันบรรยากาศสูง ก็จะมี

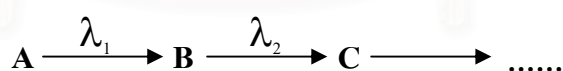
ทำให้การปลดปล่อยของก๊าซเรดอนลดลงด้วย ดังนั้นอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจะแปรปรวนขึ้นกับเวลา และสถานที่

- **น้ำใต้ดิน** แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่สามารถปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ที่มีสำคัญเป็นอันดับสอง คือ น้ำใต้ดิน เนื่องจากน้ำใต้ดินจะเชื่อมกับหินในชั้นเปลือกโลก และแทรกซึมไปตามรูพรุน และช่องว่างในดิน และหิน จึงทำให้เรดอนที่ปลดปล่อยภายในช่องว่างนั้นสามารถละลายมากับน้ำได้ และเมื่อระดับน้ำขึ้นมาถึงผิวดิน เรดอนส่วนใหญ่จะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ สำหรับความเข้มข้นของเรดอนนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะ และชนิดของหินในบริเวณนั้นๆ ด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบเรดอนที่ถูกปลดปล่อยจากน้ำใต้ดินสู่บรรยากาศนั้นพบว่ามีความน้อยมาก คือประมาณหนึ่งในห้าของปริมาณเรดอนที่ถูกปลดปล่อยจากดิน

- **แหล่งอื่นๆ** นอกจากนี้ ยังมีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากน้ำทะเลอีกด้วย แต่ความเข้มข้นของยูเรเนียม และเรเดียมในน้ำทะเลมีค่าน้อยกว่าในดิน และหิน แม้ว่าจะมีความเข้มข้นยูเรเนียมกับเรเดียมต่ำ แต่เรดอนยังมีความสามารถในการละลายน้ำสูง จึงทำให้มีการปลดปล่อยเรดอนจากผิวน้ำทะเลสู่บรรยากาศได้ แม้เพียงเล็กน้อยก็ตาม

2.3 สมดุลทางกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium) ^[31]

มีสารกัมมันตรังสีหลายตัว เมื่อสลายตัวแล้ว จะทำให้นิวเคลียสของตัวลูก ยังคงเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งก็จะสลายตัวต่อไป พร้อมกับก่อให้เกิดลูกของกัมมันตรังสีตัวใหม่ไปเรื่อยๆ เช่น อนุกรมยูเรเนียม และอนุกรมทอเรียม เป็นต้น สมการทั่วไป สำหรับอนุกรมการสลายตัวแบบนี้ คือ



เมื่อ A สลายตัวไปเป็น B และเมื่อ B สลายตัวต่อจะก่อให้เกิด C

λ_1 เป็นค่าคงที่ของการสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ A ไป B

λ_2 เป็นค่าคงที่ของการสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ B ไป C

ให้ N_1^0 และ N_2^0 แทนจำนวนอะตอมของ A และ B ณ เวลาเริ่มต้น

N_1 และ N_2 แทนจำนวนอะตอมของ A และ B ตามลำดับ ณ เวลาใด ๆ

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี คือ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลง} = \text{อัตราการเกิด} - \text{อัตราการสลายตัว}$$

ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณของ N_2 ในขณะใดขณะหนึ่งได้ดังสมการ

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.1)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.2)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.3)$$

แทนค่าสมการ (2.1) ลงใน (2.3)

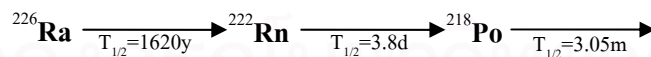
$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (2.4)$$

และเมื่อแก้สมการจะได้สมการสำหรับอนุกรมการสลายตัวดังนี้

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] \quad (2.5)$$

2.3.1 สมดุลแบบเซคูลาร์ (Secular equilibrium)

เป็นสมดุลทางรังสี ที่มีเงื่อนไขกำกับไว้ว่า ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่จะต้องมีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกหลายเท่า หรือมองอีกแง่หนึ่ง คือ $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ถ้าจะให้เห็นได้ชัดของการเกิดสมดุลในแบบนี้แล้ว ความแตกต่างของค่าครึ่งชีวิตระหว่างนิวไคลด์แม่กับนิวไคลด์ลูกจะต้องต่างกันประมาณ 10^4 เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้นค่าความแรงรังสีของนิวไคลด์แม่จะไม่เปลี่ยนแปลงเท่าไร ในขณะที่ค่าความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกเปลี่ยนแปลงไปหลายช่วงครึ่งชีวิต ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของ ^{226}Ra ไปเป็น ^{222}Rn



สำหรับสมดุลทางรังสีระหว่างเรเดียม และเรดอนทำให้สมการ (2.5) เปลี่ยนแปลงง่ายขึ้น กล่าวคือ λ_1 นั้นมีค่าน้อยมาก จนสามารถตัดทิ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า λ_2 และเช่นเดียวกัน เมื่อเวลา t ผ่านไปนานหลายช่วงครึ่งชีวิตของเรดอน ผลคูณของ t และ λ_2 จะมีค่ามหาศาล ดังนั้น $e^{-\lambda_1 t}$ จะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการ (2.5) สามารถลดรูปได้เป็น

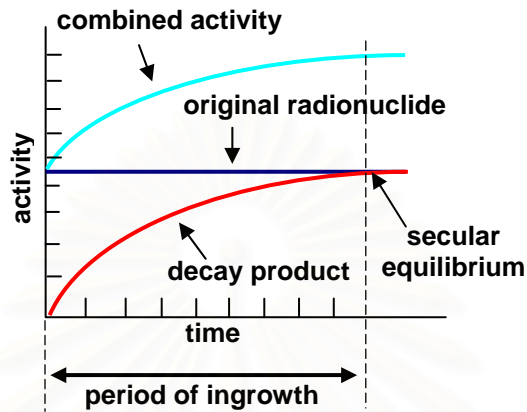
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.6)$$

แทนค่า N_1 จาก (1) ลงใน (6) จะได้

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (2.7)$$

หรือเมื่อเข้าสู่ระบบสมดุลแบบเซคูลาร์จะได้รับความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B = \lambda_C N_C = \dots \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์

2.3.2 สมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)

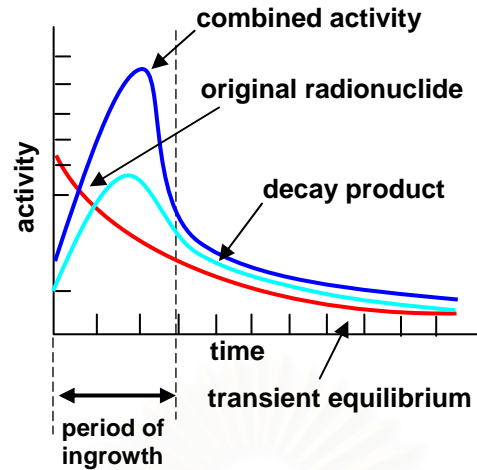
สมดุลนี้ มีความคล้ายคลึงกับสมดุลแบบเซคูลาร์ในกรณีที่ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีค่ามากกว่านิวไคลด์ลูก แต่มากกว่าด้วยสัดส่วนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 10 เท่า) ดังนั้นค่า $\lambda_1 < \lambda_2$ เมื่อเวลา t มีค่ามาก ๆ ค่า $e^{-\lambda_2 t}$ จะตัดทิ้งได้ เมื่อเทียบกับ $e^{-\lambda_1 t}$ เมื่อมองว่าเทอม $e^{-\lambda_2 t}$ มีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการ (5) จะเปลี่ยนให้ง่ายขึ้นเป็น

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.9)$$

เมื่อแทนค่า N_1 จาก (1) ลงใน (9) จะได้

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

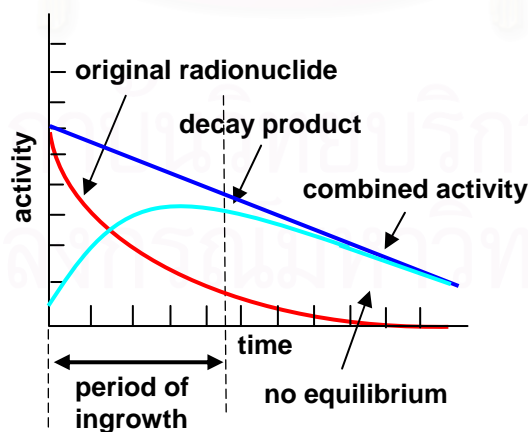
อย่างไรก็ตาม ในกรณีของสมดุลแบบทรานเซียนต์นั้น ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่จะสั้นกว่าในกรณีของสมดุลแบบเซคูลาร์ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าค่าความแรงรังสีทั้งหมดจะลดลงตามเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์

2.3.3 ไม่มีสมดุลทางรังสี (No equilibrium)

สมดุลทางรังสีจะไม่เกิดขึ้น ถ้าค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีน้อยกว่าของนิวไคลด์ลูก ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถ้าเริ่มต้นจากนิวไคลด์แม่แล้ว พิจารณาความแรงรังสีจะพบว่า ความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจะเพิ่มขึ้นผ่านจุดที่มากที่สุดแล้วลดลง ณ จุดที่ค่าความแรงรังสีมากที่สุด ความชันของเส้นกราฟนิวไคลด์ลูก $dN_2/dt = 0$ สามารถคำนวณระยะเวลาของความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจากเริ่มต้นจนมีค่ามากที่สุดได้ โดยอาศัยสมการดิฟเฟอเรนเชียล (5) โดยทำการตั้งสมการดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับศูนย์ แล้วคำนวณหาค่า t ในรูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับความแรงรังสี



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี

2.4 วิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในงานวิจัย

การตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่มีความไวต่อการตรวจจับอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยตรง เมื่อก๊าซเรดอน และลูกหลานของก๊าซเรดอนเกิดการสลายตัว เครื่องมือก็จะทำการตรวจวัดปริมาณอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวแล้ว ทำการปรับเทียบกลับเป็นค่าความแรงรังสีของก๊าซเรดอน โดยทั่วไปการตรวจวัดก๊าซเรดอนจะทำการในทอมของกัมมันตภาพรังสี หรือความแรงรังสี (Activity) ซึ่งมีหน่วยเป็น เบคเคอเรล (Bq)

สำหรับวิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนในงานวิจัยนี้เป็นการตรวจวัดในพื้นที่ (In-situ) 2 วิธี คือ

1. วิธี RAD IN SOIL
2. วิธี Track Etch Method

การตรวจวัดก๊าซเรดอนในวิธี RAD IN SOIL นั้น จะใช้เครื่องมือตรวจวัดก๊าซเรดอนที่มีชื่อทางการค้า ว่า RAD 7: Electronic Radon Detector หลักการทำงานของ RAD 7 และ RAD IN SOIL ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ RAD 7 มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

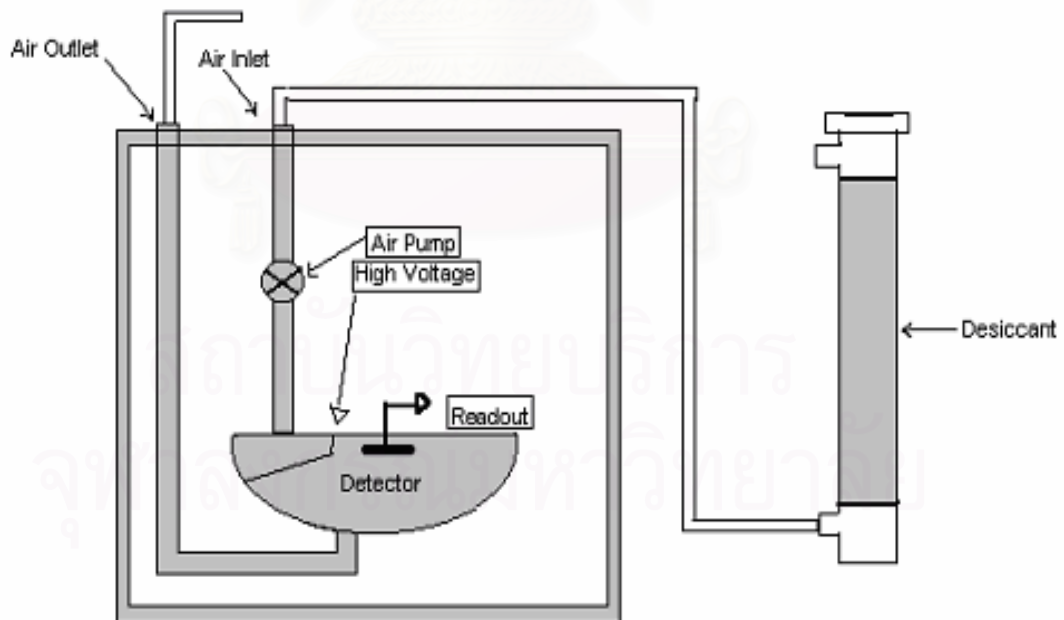
2.4.1 RAD 7: Electronic Radon Detector ^[32]

RAD 7 เป็นเครื่องมือตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ใช้หัววัดแบบ Semiconductor ซึ่งหัววัดชนิดนี้ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ส่วนใหญ่จะเป็นพวกซิลิกอน ซึ่งข้อดีของหัววัดชนิดนี้ คือมีความคงทน แข็งแรง และสามารถตรวจวัด แยกแยะระดับพลังงานของอนุภาคแอลฟาได้อย่างดี เช่น การตรวจวัด และแยกแยะระดับพลังงานของ ^{218}Po และ ^{214}Po ฯลฯ ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกหลานที่เกิดจากการสลายตัวของก๊าซเรดอน และข้อดี อีกรายสำคัญของเครื่องมือวัดชนิดนี้ คือสามารถตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนได้ ในระยะเวลาสั้นๆ แบบ Real Time ได้ ซึ่งการนำเครื่องมือวัดก๊าซเรดอนชนิดนี้ ไปใช้งาน ขึ้นอยู่กับความต้องการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตัวอย่างชนิดใด เช่น อากาศ น้ำ ดิน และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น แต่ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่างนั้น จะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบร่วมกับ RAD 7 แตกต่างกันไป ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน ในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตัวอย่างนั้นๆ ด้วย ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าจะตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำ ต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า RAD H₂O, ถ้าตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนในแม่น้ำ, ลำคลอง, ทะเล และมหาสมุทร ก็ต้องใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า RAD AQUA และถ้าตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในดิน ต้องใช้

อุปกรณ์ที่เรียกว่า RAD IN SOIL เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย RAD 7 นั้น จะมีทั้ง อุปกรณ์มาตรฐาน และ/หรืออุปกรณ์ที่ทำการพัฒนาขึ้นเอง เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่จะนำไปทำการตรวจวัดให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง และแม่นยำที่สุดด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้นำ RAD 7 มาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่ทำการพัฒนาขึ้น เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในบริเวณรอยเลื่อนแผ่นดินไหว



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบ และรายละเอียดต่างๆ ใน RAD 7



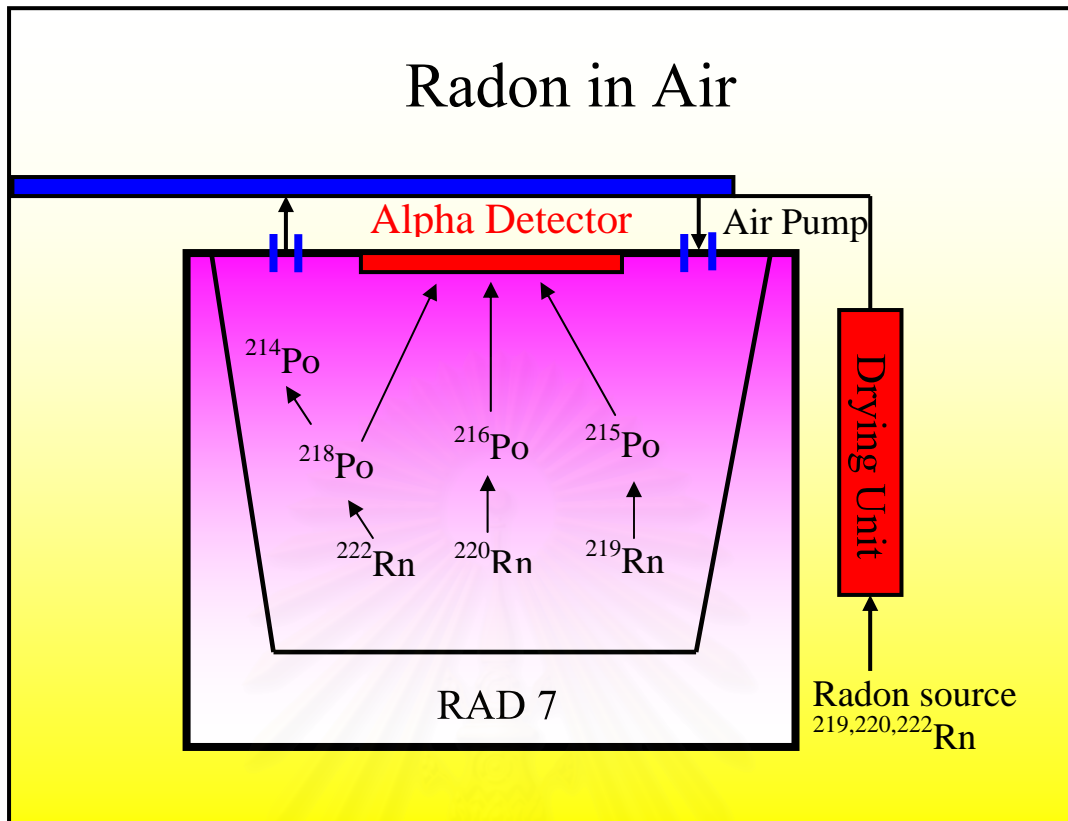
RAD7 Radon Monitor

รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างภายในของเครื่องตรวจวัดก๊าซเรดอน RAD7 ^[32]

2.4.1.1 หลักการทำงานของ RAD 7

ในงานวิจัยนี้ การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนนั้น จะต้องใช้ RAD 7 เป็นเครื่องมือในการตรวจวัด จากโครงสร้างของห้องวัดรังสีแอลฟา (Chamber) ของ RAD 7 ในรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าประกอบด้วยหัววัดรังสีแอลฟาชนิดสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจ่ายศักย์ไฟฟ้า -2 ถึง 2.5 kV ไว้ที่ผิวหน้าของหัววัดรังสี เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำไอออนบวก ทั้งนี้เนื่องจากรังสีแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสียูเรเนียมเสียดพลังงานในอากาศได้ง่าย การที่วัดพลังงานรังสีแอลฟาได้ถูกต้องนั้น ธาตุกัมมันตรังสีจะต้องอยู่ใกล้ผิวหน้าของหัววัดรังสีในกรณีห้องวัดอากาศแบบไหลผ่าน ดังนั้น RAD 7 จึงออกแบบให้วัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (^{222}Rn) ทางอ้อม โดยการวัดรังสีแอลฟาจากการสลายตัวให้รังสีแอลฟาของนิวไคลด์ลูก (^{218}Po) แทน เพราะก๊าซเรดอนมีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงฟุ้งกระจายในห้องวัด แต่นิวไคลด์ลูก (^{218}Po) หลังการสลายตัวของก๊าซเรดอน จะอยู่ในสถานะไอออนบวก มีสภาพเป็นไอออนบวก จึงถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้าไปเกาะที่ผิวหน้าของหัววัดรังสีก่อน มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า และสลายตัวให้รังสีแอลฟา ถ่ายโอนพลังงานให้หัววัดรังสี เมื่อ RAD 7 ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟาแล้ว และจะแปลผลค่าปริมาณความเข้มรังสีพีค ^{218}Po และทำการปรับเทียบค่าให้กลายเป็นค่าความเข้มรังสีของก๊าซเรดอนได้ โดยอาศัยคุณสมบัติดังกล่าว และหลักการเข้าสู่สมดุลทางรังสี เมื่อพิจารณาครึ่งชีวิตของ ^{218}Po มีค่าเท่ากับ 3.05 นาที ส่งผลทำให้ใช้เวลาไม่นานในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยใช้ RAD 7

RAD 7 ไม่เพียงสามารถตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้เท่านั้น แต่ยังสามารถตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโธรอน (^{220}Rn) และแอกติโนน (^{219}Rn) ได้ด้วย ซึ่งใช้หลักการเดียวกับการตรวจวัดก๊าซเรดอน แต่จะแตกต่างกัน คือ ถ้าทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโธรอน เครื่องจะทำการวัดปริมาณความเข้มข้นของ ^{216}Po แทน ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของโธรอนเอง และถ้าทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอกติโนน เครื่องจะทำการวัดปริมาณความเข้มข้นของ ^{215}Po แทน ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของแอกติโนนเอง แต่การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโธรอน (^{220}Rn) และแอกติโนน (^{219}Rn) นั้น ไม่เป็นที่สนใจ เนื่องจากทั้งคู่มีครึ่งชีวิตสั้น หลักการทำงานของ RAD 7 แสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของ RAD 7 ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน^[32]

2.4.1.2 RAD 7 Spectrum

พลังงานของอนุภาคแอลฟาส่วนใหญ่อยู่ที่ช่วงประมาณ 0-10 MeV แต่ถ้าเป็นอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของลูกหลานเรดอน และโพรทอนนั้น พลังงานอยู่ที่ช่วงประมาณ 6-9 MeV เมื่อลูกหลานเรดอน และโพรทอนสลายตัว และปลดปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา เข้าไปทำอันตรกิริยากับหัววัด พลังงานที่ถ่ายโอนให้หัววัดรังสีจะถูกสร้างสัญญาณไฟฟ้าขึ้น สัญญาณอนาลอกนี้ จะส่งไปยังระบบอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่อง เพื่อทำการขยายขนาดเป็นสัญญาณดิจิทัล เครื่องจะทำการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงาน และแสดงผลให้เป็นค่าความแรงรังสีในรูปแบบของตัวเลข ซึ่งแสดงออกในจอ LCD บริเวณตัวเครื่อง ซึ่งสเปกตรัมของลูกหลานของเรดอน และโพรทอน จะแสดงค่าออกมา โดยแยกตามพลังงานการสลายตัวของแต่ละนิวไคลด์ แบ่งเป็นช่องหน้าต่างพลังงาน (Window) ซึ่งใน RAD 7 นี้ แบ่งช่องวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานออกเป็น 8 Window ด้วยกัน โดย จะแสดงค่าสเปกตรัมของลูกหลานของเรดอน และโพรทอน ดังนี้

(1) Window A; Radon Sniff Mode Count: เป็นค่าของจำนวนนับ (count) ทั้งหมดของอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากการสลายของ ^{218}Po ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3 นาที และพลังงานที่ 6 MeV

(2) Window B; Thoron 1 window: เป็นจำนวนนับทั้งหมดของอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากการสลายของ ^{216}Po ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 0.15 วินาที และพลังงานที่ 6.78 MeV โดยจะอยู่ในช่วงของ Window A และ Window C ซึ่งเป็นการสลายตัวของลูกหลานเรดอนในช่วง 2 Window ดังกล่าว

(3) Window C; Radon ^{214}Po Count: เป็นจำนวนนับทั้งหมดของอนุภาคแอลฟาที่พลังงาน 7.69 MeV ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวของลูกหลานเรดอนที่มีค่าครึ่งชีวิตเกือบชั่วโมง

(4) Window D; Thoron 2 widow: เป็นจำนวนนับทั้งหมดของช่วงพลังงานที่ 8.78 MeV จากการสลายตัวของ ^{212}Po ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิตเกือบ 10 ชั่วโมง

(5) Window E; High Energy Window: ส่วนใหญ่ค่า count ที่เกิดขึ้นใน Window นี้ จะมีค่าแสดงออกมาในการตรวจวัดแต่ละครั้งน้อยมาก หรือไม่มีค่าเลย เนื่องจากพลังงานของอนุภาคแอลฟามีค่าในช่วงพลังงานต่ำ ๆ แต่ใน Window นี้จะทำการตรวจวัดพลังงานที่ระดับสูงๆ จนทำให้ไม่สามารถตรวจวัดได้ หรือตรวจวัดได้น้อย แต่ถ้าค่านับ ใน Window นี้ มีค่าสูงนั้น จะเป็นผลมาจากการกระทำของ ของจำนวนนับ ใน Window A, B, C, D

(6) Window F; Low Noise Count: ค่านับใน Window นี้ ส่วนใหญ่จะมาจากสเปกตรัมในช่วง 10 channel แรกๆ ซึ่งค่านับใน Window นี้ จะวัดได้จาก noise ของระบบ และค่านับวัดจะมีค่าสูงได้ ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิในเครื่องมีค่าสูง

(7) Window G; Medium Noise Count: ค่านับส่วนใหญ่มาจากช่วงสเปกตรัมประมาณ 30-40 channel ซึ่ง Window G มีค่านับน้อยมาก เมื่อค่า count ใน Window F มีค่าสูง

(8) Window H; High Noise หรือ ^{210}Po Window: จำนวนนับส่วนใหญ่มาจากช่วงพลังงาน 5.31 MeV จากการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาของ ^{210}Po แล้วให้ ^{210}Pb มีค่าครึ่งชีวิต 22 yr ออกมา ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูก แต่เนื่องจากค่าจากการวิเคราะห์ผล และการใช้ระยะเวลาอันเกินไปใน การตรวจวัด เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ต้องการ ดังนั้นค่านับใน Window นี้ จึงไม่ผลต่อการตรวจวัด

การตั้งค่าระบบของเครื่องวัดก๊าซเรดอน RAD 7 ที่จะใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน แสดงรายละเอียดในผนวก ก.

ข้อควรระวัง: ในการใช้ RAD 7 นั้น จะต้องคำนึงถึงหลักการใหญ่ ดังนี้

- ระวังไม่ให้ของเหลวทุกชนิดเข้าไปภายในเครื่องโดยเด็ดขาด
- ไม่ทำการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ในขณะที่ฝนตก เพราะอาจจะทำให้มี น้ำหรือความชื้นเข้าไปในเครื่องได้
- ระวังไม่ให้หยดน้ำ หรือของเหลวที่ติดค้างอยู่ที่ท่อนำก๊าซ ไหลเข้าสู่เครื่องได้ ดังนั้นต้องทำความสะอาดท่อให้แห้งสนิท ก่อนทำการตรวจวัดทุกครั้ง
- ต้องมั่นใจตรวจเช็คดูความชื้นภายในเครื่องอยู่ตลอดเวลาว่ามีค่าผิดปกติหรือไม่ เนื่องจากความชื้นมีผลอย่างมากต่อระบบหัววัดรังสี และระบบอิเล็กทรอนิกส์ใน RAD 7

2.4.2 RAD IN SOIL ^[32]

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบร่วมกับ RAD 7 เพื่อใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนในดิน โดยมีลักษณะที่เป็นโพรบ (Probe) ที่ทำหน้าที่นำก๊าซเรดอนจากใต้ดินขึ้นสู่เครื่องมือตรวจวัด RAD 7 เพื่อจะทำการนับวัดจำนวนรังสี และแสดงค่าความแรงรังสีออกมา โดยจะมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.4.2.1 อุปกรณ์ และส่วนประกอบ

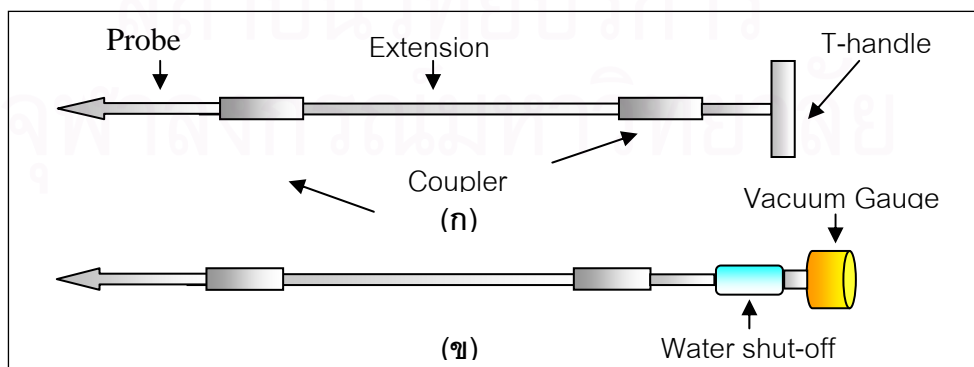
- โพรบโลหะ จำนวน 1 แท่ง มีความยาวประมาณ 14" (35.6 cm) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5" (1.3 cm)
- ทำการต่อโพรบ (Extension) จำนวน 1 แท่ง มีความยาวประมาณ 36" (91.4 cm) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.75" (1.9 cm)
- Rod จำนวน 2 แท่ง (ไว้สำหรับสอดใส่ภายใน Probe และ extension)
- T-handle
- Barbed hose adapter
- Coupler 2 ชิ้น
- Teflon Tape
- มิเตอร์วัดสุญญากาศ (Vacuum Gauge)
- วาล์วที่ใช้สำหรับปิด- เปิดแบบอัตโนมัติ (Water shut-off Valve)
- Tubing & Adapter



รูปที่ 2.15 อุปกรณ์ และส่วนประกอบต่างๆ ของ RAD IN SOIL

2.4.2.2 การประกอบเครื่องมือ

ทำการประกอบส่วนต่างๆ ของ RAD IN SOIL โดยการนำ Rod ทั้ง 2 แท่ง สอดใส่เข้าไปใน probe และ extension แล้วใช้ Coupler 2 ชิ้น ทำการเชื่อมต่อ probe และ extension ให้ติดกัน แล้วนำ T-handle ต่อกับด้านบนของ extension เมื่อประกอบเสร็จจะมีลักษณะเหมือนตัวที่ (รูปที่ 2.15 ก.) และถ้าจะนำไปตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนในบริเวณที่ต้องการนั้น จะต้องนำเอาอุปกรณ์ในรูปที่ 2.15 ก.ไปทำการปัก หรือทำการฝังลงในดิน ในตำแหน่งที่ต้องการ โดยใช้ค้อนกระแทกลงไปในตำแหน่งของ T-handle เพื่อให้ได้ความลึกตามต้องการ จากนั้นทำการหมุน เอา T-handle ออก และต้องนำเอา Rod ทั้ง 2 แท่ง ที่สอดใส่เข้าไปใน Probe และ Extension ในครั้งแรกออกมาด้วย เพื่อไม่ให้มีอะไรมาขวางกั้นทางเดินของก๊าซเรดอน และอากาศที่จะไหลเข้าสู่ RAD 7 หลังจากนั้น นำเอา Water shut-off และ Valve Vacuum Gauge มาประกอบเข้าแทนที่ของ T-handle (รูปที่ 2.14 ข) เมื่อทำการตรวจเช็คดูความเรียบร้อยของอุปกรณ์ดังกล่าวแล้ว จึงนำเอา RAD 7 มาต่อเชื่อมเข้าให้กลายเป็น RAD IN SOIL (รูปที่ 2.15) และจึงทำการตั้งค่าระบบของ RAD 7 เพื่อทำการตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนต่อไป



รูปที่ 2.16 ลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์มาตรฐานในการใช้งาน



รูปที่ 2.17 การติดตั้งระบบตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนแบบ RAD IN SOIL

2.4.2.3 การตรวจวัด

ในการตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนในเทคนิคนี้ จะใช้รูปแบบในการตรวจวัดอยู่ 3 mode ดังนี้

- **GRAB protocol:** ก่อนจะทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนใน mode นี้ จะทำการ purge ไล่ความชื้นในเครื่องออก ให้มีค่าน้อยกว่า 10% โดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที หลังจากทำการต่อระบบ RAD IN SOIL เสร็จเรียบร้อย ทำการ set up ระบบ โดยการ set protocol to " GRAB" และ ไปที่ Test start จากนั้นกด [Enter] เครื่องก็จะเริ่มทำงาน การตั้งค่าระบบแบบนี้ Pump จะทำงาน 5 นาที และในการทำงานของ Pump แต่ละครั้งจะสามารถดูดอากาศประมาณ 5 L หลังจากนั้น Pump จะหยุดทำงาน แล้วเครื่องจะทำการนับวัดความแรงรังสี โดยใช้เวลาในการนับวัด 5 นาที จำนวน 4 recycle หลังจากเครื่องทำการตรวจวัดเสร็จ ครบทั้ง 4 recycle แล้วเครื่องจะทำการพิมพ์ข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนในแต่ละ recycle ออกมา และ ข้อมูลเฉลี่ยของทั้ง 4 recycle ออกมาด้วย ซึ่งสรุปแล้ว การตรวจวัดหาปริมาณก๊าซเรดอนในรูปแบบนี้จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที หลังจากทำการตรวจวัดเสร็จทุกครั้ง จะต้องทำการ purge ไล่ความชื้นออกจากเครื่องให้มียุทธค่า RH (relative humidity) ประมาณ 10 % หรือน้อยกว่านั้น จาก การตรวจวัดในรูปแบบนี้ ข้อมูลที่ได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน $\pm 10\%$

- **Continuous monitoring:** เป็นรูปแบบการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยทำการตรวจวัดในรูปแบบของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ในช่วงคาบเวลา โดยจะทำการ set up ระบบ เป็น protocol [1-day] และก่อนทำการกด

ปั๊ม start เพื่อเริ่มทำการตรวจวัด จะต้องทำการ purge ไล่ความชื้นของเครื่องให้ค่า RH (relative humidity) น้อยกว่า 10 % ซึ่งการทำงานของ Pump ในรูปแบบนี้ จะทำงานใน 5 นาทีแรก ของทุกๆ 30 นาที ในแต่ละ cycle และจะทำงานในทุก 1 นาที ของ 5 นาที ในแต่ละ recycle และในการตรวจวัดในรูปแบบนี้ จะต้องคอยเช็คดูความชื้นอยู่ตลอดเวลาไม่ให้เกิน 10 % หลังจากตรวจวัดผ่านไปครึ่งชั่วโมง จะมีการพิมพ์ข้อมูลออกมาใน 1 cycle และจะทำการ print ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง ถัดไปเรื่อยๆ จนครบ recycle ที่ได้ตั้งค่าไว้ ในการตรวจวัดรูปแบบนี้ เครื่องจะมีการบันทึก (save) ข้อมูลไว้ตลอดเวลาในขณะที่ทำการพิมพ์ข้อมูลของแต่ละ cycle อัตราของ Pump มีค่าประมาณ 1 L/min

2.4.3 เทคนิคการเกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม (Track Etch Method)

เป็นเทคนิคในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยการเกิดรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม (Alpha track-etch film) และนำมาปรับเทียบค่ากลับเป็นปริมาณก๊าซเรดอน ซึ่งวิธีการนี้ จะนำแผ่นฟิล์มไปวางไว้ในบริเวณที่ต้องการวัดความเข้มข้นของเรดอน จากนั้น จึงนำฟิล์มมาล้างกัดรอย แล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อบันทึกจำนวนรอยของอนุภาคแอลฟาของเรดอน ทำการปรับเทียบค่ากลับไปเป็นค่าความแรงทางรังสี ได้ปริมาณความเข้มข้นของเรดอนออกมา

วิธีการนี้ มีข้อดี คือ เสียค่าใช้จ่ายน้อย และสามารถทำการตรวจวัดได้ ในหลายๆ ตำแหน่งพร้อมกัน แต่มีข้อเสีย คือ ต้องทิ้งฟิล์มวัดรังสีไว้นานถึง 1-4 สัปดาห์ และยังมีความแปรปรวนของผลการวัดจากสภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ ที่จะทำการฝังตัวฟิล์มดินแข็งเกินไป ไม่สามารถเจาะฝังตัวฟิล์มตามความลึกที่ต้องการได้ หรือลักษณะ และสภาพธรณีในพื้นที่ไม่อำนวยต่อการฟุ้งกระจายของก๊าซเรดอนจากใต้ดินได้ และสภาพภูมิอากาศ ก็จะมีผลต่อปริมาณเข้มข้นของเรดอนด้วย เพราะว่า ถ้าภูมิอากาศมีฝนตก หรือมีความชื้นสูงในพื้นที่ ก็จะมีผลกระทบต่อจำนวนรอยของอนุภาคแอลฟา เนื่องจากความชื้น หรือหยดน้ำจะเข้าไปแย่งพื้นที่ในการจับ หรือเกาะติดของอนุภาคแอลฟากับแผ่นฟิล์ม ทำให้ผลการตรวจวัดเกิดความผิดพลาดได้

ในปัจจุบันนี้ ได้มีการประยุกต์วิธีการนับรอยที่สะดวก และรวดเร็วขึ้น เช่น การใช้สปาร์คเคาน์เตอร์ (spark counter) การนับรอยจากภาพโดยคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ตัวอย่างฟิล์มที่นำมาใช้ในบ้านที่ก่ำนวรอยอนุภาคแอลฟา ได้แก่

- เซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate) เช่น Kodak LR115, Kodak CN85
- เซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate)
- พลาสติก CR-39

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้แผ่นฟิล์มพลาสติก CR-39 ใช้อุปกรณ์ในการบันทึกจำนวนรอยของอนุภาคแอลฟา

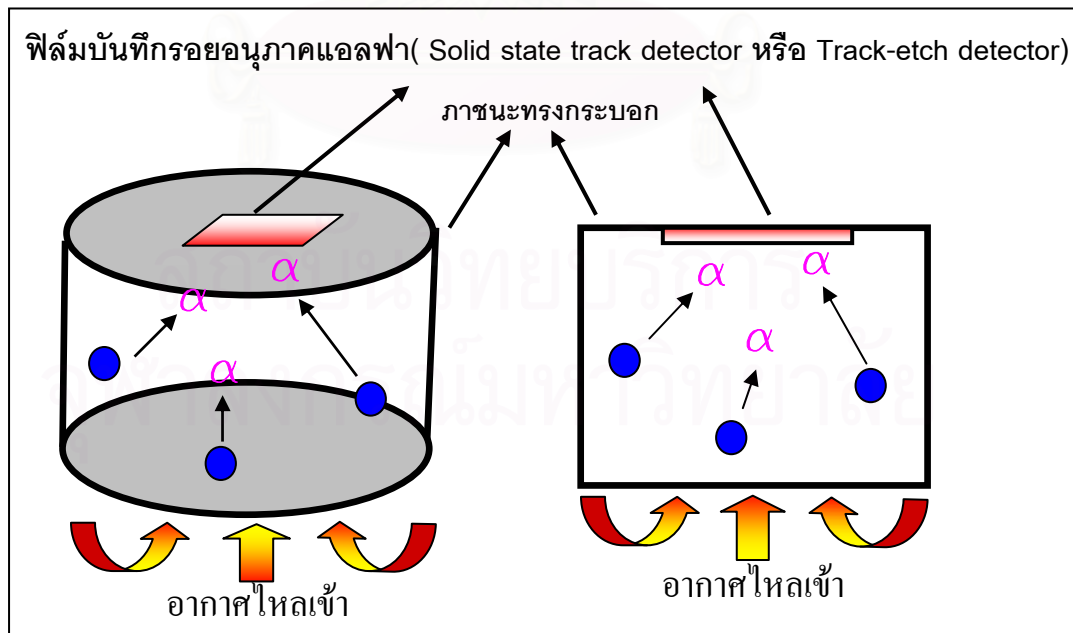
2.4.3.1 หลักการ และขั้นตอนการปฏิบัติ

1.ติดตั้งภาชนะทรงกระบอกที่มีฟิล์มบันทึกรอยอนุภาคแอลฟาอยู่ที่ฐานด้านใน ทิ้งไว้ในบริเวณที่ต้องการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนประมาณ 1-4 สัปดาห์

2.นำไปล้างกัดรอยด้วยสารละลายที่เหมาะสม (etching)

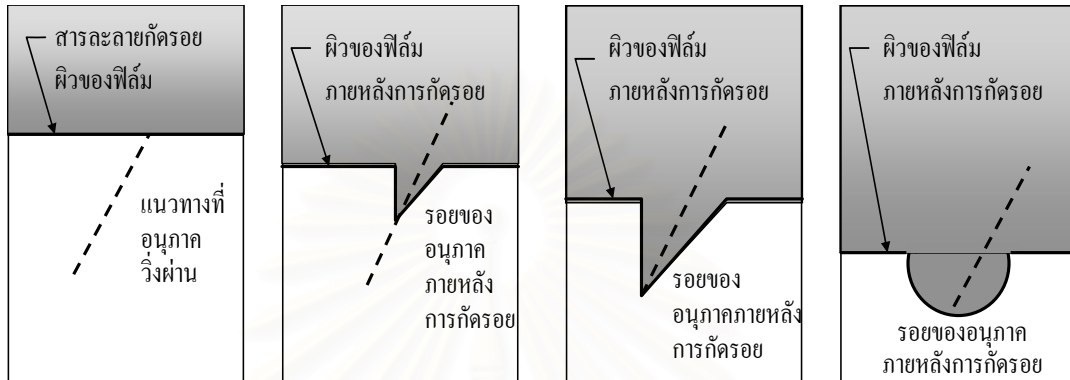
3.ส่องดู และนับความหนาแน่นของจำนวนรอย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อนำเอาภาชนะที่มีการติดตั้งแผ่นฟิล์มไว้ภายใน ไปทิ้งไว้ในบริเวณที่ต้องการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน อนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยจากการสลายตัวของก๊าซเรดอนบริเวณนั้นจะเคลื่อนเข้าชนกับแผ่นฟิล์ม ทำให้เกิดการบันทึกรอยการชนของอนุภาคแอลฟาเอาไว้ในแผ่นฟิล์ม ซึ่งถ้าก๊าซเรดอนมีปริมาณความเข้มข้นมากเท่าไร ก็จะทำให้มีอนุภาคแอลฟาเกิดขึ้นมากด้วย ส่งผลทำให้จำนวนรอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์มมีมากด้วยเช่นกัน



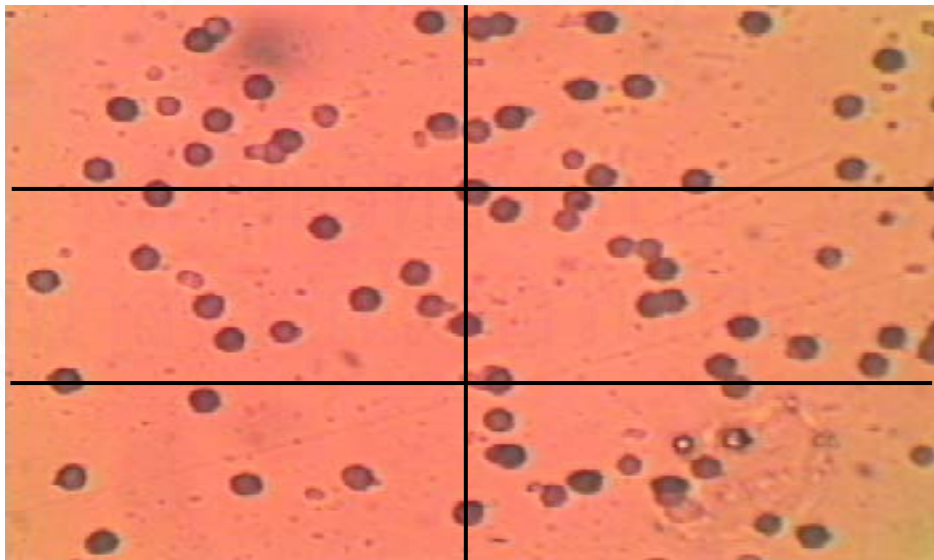
รูปที่ 2.18 ลักษณะการบันทึกรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม

เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดในการติดตั้งแผ่นฟิล์มในบริเวณที่ต้องการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนแล้ว นำแผ่นฟิล์มมากัดรอยด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการกัดรอยนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนด้วย และจะมีการเงื่อนไขต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในการกัดรอย, ระยะเวลาในการกัดรอย ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นฟิล์มด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.19 ลักษณะการกัดรอยของสารละลายบนแผ่นฟิล์ม

เมื่อทำการกัดรอยอนุภาคแอลฟาด้วยสารละลายบนแผ่นฟิล์มเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นขั้นตอนในการส่องดูจำนวนรอย และทำการนับจำนวนรอยของอนุภาคแอลฟา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ขนาดกำลังขยาย 400-1,000 เท่า เมื่อได้จำนวนของอนุภาคแอลฟา นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (Standard curve) เพื่อปรับเทียบค่าให้กลายเป็นค่าความแรงทางรังสี ซึ่งมีหน่วยเป็น Bq/m^3

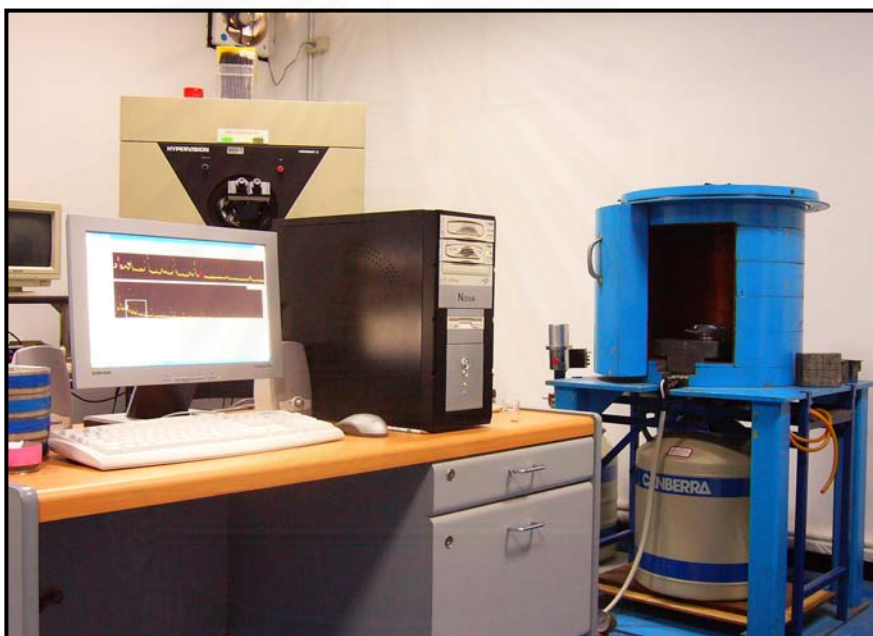


รูปที่ 2.20 ลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ถูกกัดรอย และถูกส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 400 เท่า

2.5 ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ ใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High-purity germanium detector) ซึ่งเป็นหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detectors) ซึ่งข้อดีของหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ คือ มีความสามารถในการแยกแยะพลังงานสูง

ข้อจำกัดในการใช้งานหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ คือ หัววัดรังสีมีราคาสูง เมื่อเทียบกับหัววัดรังสีแบบอื่นๆ และข้อจำกัดที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ความจำเป็นที่ต้องให้หัววัดทำงานที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส เป็นตัวลดอุณหภูมิ เพื่อลดสัญญาณรบกวน



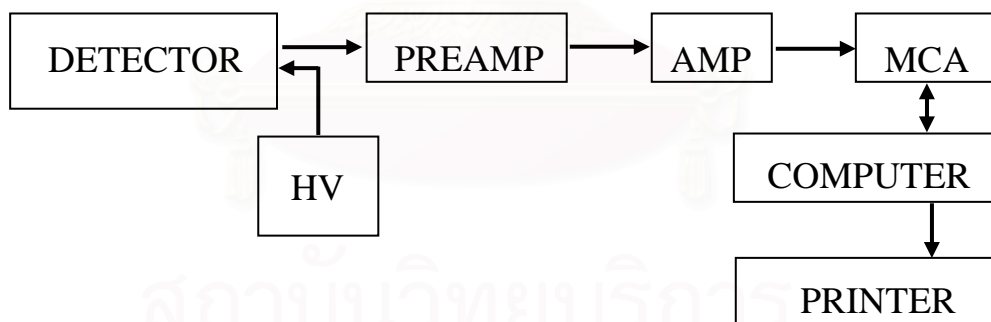
รูปที่ 2.21 ลักษณะการติดตั้งหัววัดรังสีแบบ HPGe ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.1 โครงสร้าง และการทำงานของหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ

เมื่อนำสารเจือ (impurity) มาเติมลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ ดังที่เรียกว่า การโด๊ป (doping) สารเจือที่เติมลงไปนั้น แม้จะมีปริมาณน้อย แต่มีผลทำให้การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อนำสารเจือ ซึ่งเป็นธาตุในกลุ่ม 5 ของตารางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส มาเติมลงในสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ทำให้ได้อิเล็กตรอนเป็นตัวนำไฟฟ้าส่วนใหญ่ (majority carrier) เรียกสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ ว่าชนิดเอ็น(N-type) แต่ถ้าเติมด้วยสารเจือ ซึ่งเป็นธาตุในกลุ่ม 3 ของตารางธาตุ เช่น โบรอน ทำให้ได้โฮลเป็นตัวนำไฟฟ้าส่วนใหญ่ เรียกสารกึ่งตัวนำนี้ว่า

ชนิดพี (P-type) เมื่อได้ปัสสาวกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และพีทับกัน จะเกิดรอยต่อที่เรียกว่า P-N junction อิเล็กตรอนจากผลึกชนิดเอ็น จะเคลื่อนกระจายผ่านรอยต่อเข้าไปในผลึกชนิดพี และโฮลจากผลึกพี จะเคลื่อนกระจายผ่านรอยต่อเข้าไปในผลึกชนิดเอ็น เกิดเป็นแนวขั้วไฟฟ้าบวกในผลึกชนิดเอ็น และแนวขั้วไฟฟ้าลบในผลึกชนิดพี โดยมีรอยต่ออยู่ตรงกลาง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นจากแนวขั้วบวกไปยังแนวขั้วลบ บริเวณระหว่างแนวขั้วไฟฟ้าจะไม่มีตัวนำประจุเหลืออยู่เลย เรียกบริเวณนี้ว่า เขตปลอดพาหะ (depletion region) บริเวณปลอดพาหะเปรียบเสมือนตัวกลางก้ำกึ่งในหัววัดรังสีชนิดบรรจุด้วยก้ำกึ่ง เมื่อต่อขั้วศักย์ไฟฟ้าบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และต่อขั้วลบเข้ากับด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพี เรียกการต่อชนิดนี้ว่า reverse bias มีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายตัวกว้างขึ้น เมื่อรังสีตกกระทบในบริเวณปลอดพาหะ เกิดการถ่ายเทพลังงานได้เป็นคู่ของอิเล็กตรอน-โฮล จำนวนมาก เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไปตามอิทธิพลของสนามไฟฟ้า และเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรที่ต่อครบ

ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา โดยทั่วไปประกอบด้วย หัววัดรังสี และเครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (MCA) โดยหัววัดรังสีต่อกับอุปกรณ์ขยายส่วนหน้า เพื่อขยายสัญญาณ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูงจ่ายกระแสให้กับหัววัดรังสี เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้าทำอันตรกิริยากับหัววัด ทำให้เกิดคู่ของพาหะประจุ และเปลี่ยนเป็นสัญญาณ จากนั้นทำการขยายสัญญาณ ส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง ซึ่งขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ตกกลงในหัววัด

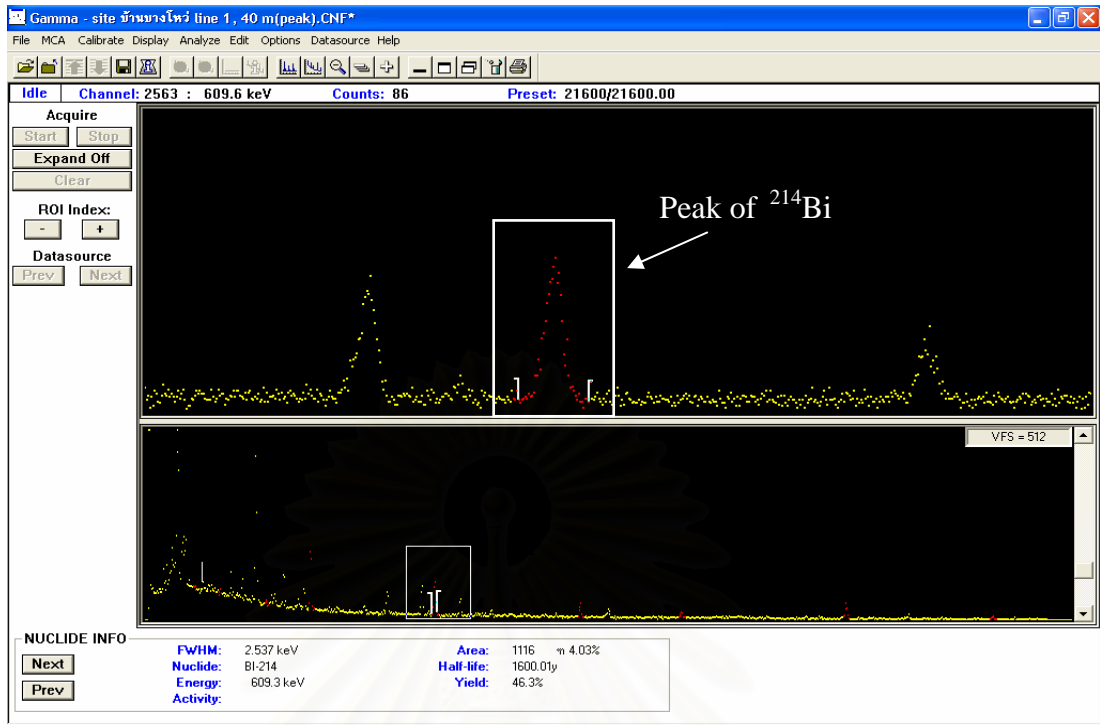


รูปที่ 2.22 แผนภาพแสดงการจัดระบบการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา

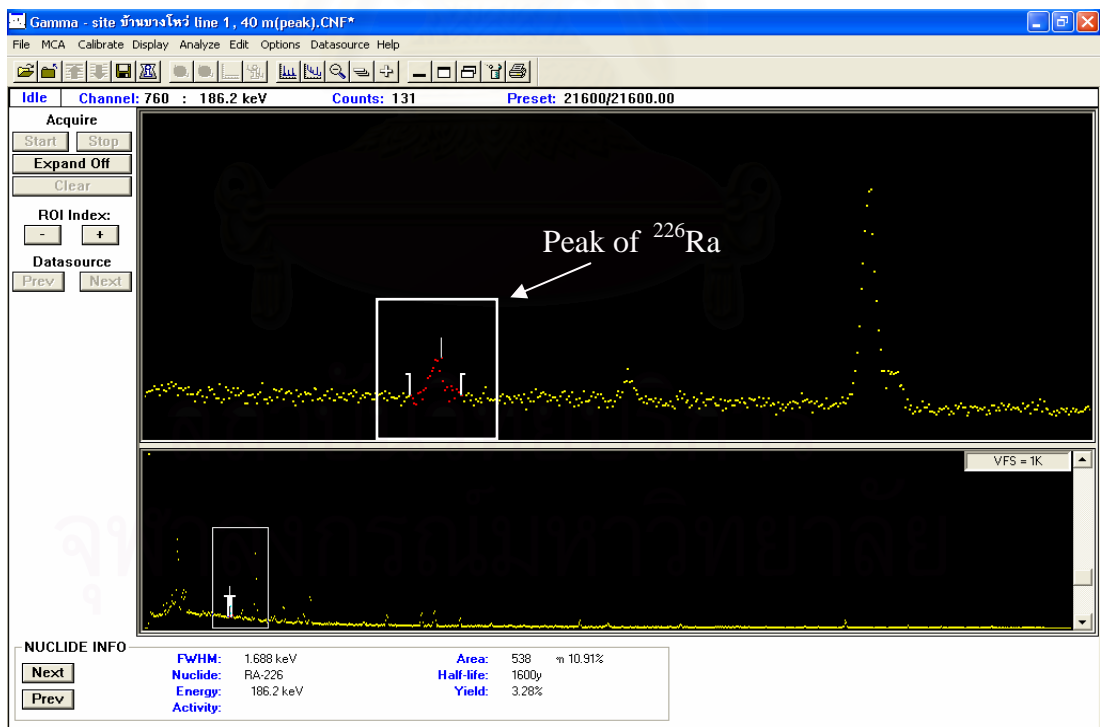
2.5.2 การหาความเข้มรังสีของ ^{226}Ra โดยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

การหาความเข้มรังสีในตัวอย่างดิน จะต้องทำการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา โดยการหาอัตราการนับของโฟโตพีคของนิวไคลด์ที่ต้องการหา ซึ่งอัตราการนับดังกล่าวคำนวณได้จากจำนวนนับรังสี (Net Peak Area) หารด้วยเวลาที่ต้องการนับวัด (Total Live Time)

โดยหลักการเลือกโฟโตพีคนั้น จะเลือกพีคที่มีสัดส่วนของความเข้มรังสีแกมมา(Intensity) สูง และพีคดังกล่าว จะต้องไม่มีการรบกวนจากโฟโตพีคของนิวไคลด์ตัวอื่นๆ



รูปที่ 2.23 การหาความเข้มรังสี (Net Peak Area) จากพีคของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 2.24 การหาความเข้มรังสี (Net Peak Area) พีคของ ^{226}Ra ที่พลังงาน 186.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

การวิเคราะห์รังสีแกมมาจากตัวอย่างดิน สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

- วัดโดยตรงจากรังสีแกมมาพลังงาน 186.2 keV ของ ^{226}Ra
- วัดโดยอ้อมจากธาตุลูก ซึ่งได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra คือ ^{214}Pb ที่พลังงาน 352 keV และ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ภายหลังการเกิดภาวะสมดุลทางรังสี (Radioactive Equilibrium) กับ ^{226}Ra แล้ว ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ จากนั้นนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

2.5.3 การคำนวณความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน

การคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน จะทำการคำนวณความเข้มข้นรังสี โดยใช้ค่าความเข้มข้นสุทธิ (Net Peak Area) ของพีคที่น่าสนใจ สำหรับการทดลองนี้ พีคที่น่าสนใจ ก็คือ พีคของ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องจากให้ความเข้มข้นของพลังงานที่สูงกว่าธาตุอื่น และให้ค่าแบบควอดรนต์ต่ำ สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

โดยการนำค่าอัตรานับรังสีสุทธิของสารมาตรฐาน, ตัวอย่าง และภาชนะบรรจุเปล่า ตามลำดับ หักลบกับค่าอัตรานับรังสีสุทธิของแบบควอดรนต์ ค่าที่ได้คือ

- ค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านสารมาตรฐาน และตัวอย่าง (I_x)
- ค่าอัตรานับรังสีสุทธิขณะไม่มีสารมาตรฐาน และตัวอย่าง (I_0)

แล้วนำค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่ได้ ไปคำนวณหาค่าการดูดกลืนตัวเองของสารมาตรฐาน ($f_{ab(\text{std})}$) และตัวอย่าง ($f_{ab(\text{sample})}$) ได้จากสมการที่ (2.1)

$$f_{ab} = \frac{\ln(I_0/I_x)}{1-(I_x/I_0)} \dots\dots\dots (2.1)$$

f_{ab} = ค่าแก้การดูดกลืนโดยตัวเอง

I_0 = ค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านขณะไม่มีสารตัวอย่าง (จำนวนนับ / วินาที) และ

I_x = ค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านตัวอย่าง (จำนวนนับ / วินาที)

การคำนวณค่าดูดกลืนตัวเองนั้น จะขึ้นอยู่กับภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสารมาตรฐาน และตัวอย่าง ถ้าภาชนะมีขนาด และลักษณะที่เหมาะสมกับหัววัดรังสีที่ใช้ในการทดลอง ก็ไม่จำเป็นต้องทำการคำนวณค่าดูดกลืนตัวเอง

เมื่อได้ค่าทั้งหมดก็ทำการคำนวณหาค่าความแรงรังสีของ ^{226}Ra ในสารตัวอย่างดังสมการที่ (2)

$$A_{\text{Ra(sample)}} = A_{\text{Ra(Std)}} \times \frac{\text{wt(Std)}}{\text{wt(Sample)}} \times \frac{R(\text{sample})}{R(\text{std})} \times \frac{f_{\text{ab(Sample)}}}{f_{\text{ab(Std)}}} \quad (2.2)$$

เมื่อ A_{Ra} = ความแรงรังสีของ ^{226}Ra (Bq/g)
 wt = น้ำหนัก (กรัม)
 R = อัตรานับรังสีสุทธิ (จำนวนนับ / วินาที)
 f_{ab} = ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนโดยตัวเอง

หมายเหตุ การคำนวณค่า ความแรงรังสีคำนวณได้ดังนี้

$$A = \frac{C}{M} N_A \times 10^{-6} \times \left(\frac{0.693}{t_{1/2}}\right) \times i \quad (2.3)$$

โดยที่

A = ความแรงรังสี (Bq/g)
 C = ความเข้มข้น (ppm), (mg/kg)
 N_A = เลขอาโวกาโด, 6.02×10^{23} (อะตอม / โมล)
 M = มวลอะตอม (กรัม / โมล)
 i = อัตราส่วนโดยอะตอมในธรรมชาติ (abundance factor)
 10^{-6} = conversion factor (1 / ppm), (kg/mg) และ
 $t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิต (วินาที)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุ และสารเคมี

- 3.1.1 สารมาตรฐานแร่ยูเรเนียมของ IAEA รหัส RGU-1 ที่มียูเรเนียมเข้มข้น 400 mg/kg
- 3.1.2 สารมาตรฐานแร่ทอเรียมของ IAEA รหัส RGTh-1 ที่มีทอเรียมเข้มข้น 800 mg/kg
- 3.1.3 สารมาตรฐานแร่โปแตสเซียมของ IAEA รหัส RGK-1 ที่มีโปแตสเซียมเข้มข้น 448 mg/kg
- 3.1.4 กาวซิลิโคน
- 3.1.5 วัสดุกำบังรังสีสำหรับหัววัด ได้แก่ ทองแดง และตะกั่ว
- 3.1.6 ตัวอย่างดิน สำหรับตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226
- 3.1.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.8 แผ่นฟิล์ม CR-39
- 3.1.9 แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน หนาประมาณ 30 ไมโครเมตร
- 3.1.10 ซอรัคแท่งป้องกันมด และแมลง
- 3.1.11 สารเคมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ดูดความชื้นใน Dry Line

3.2 อุปกรณ์

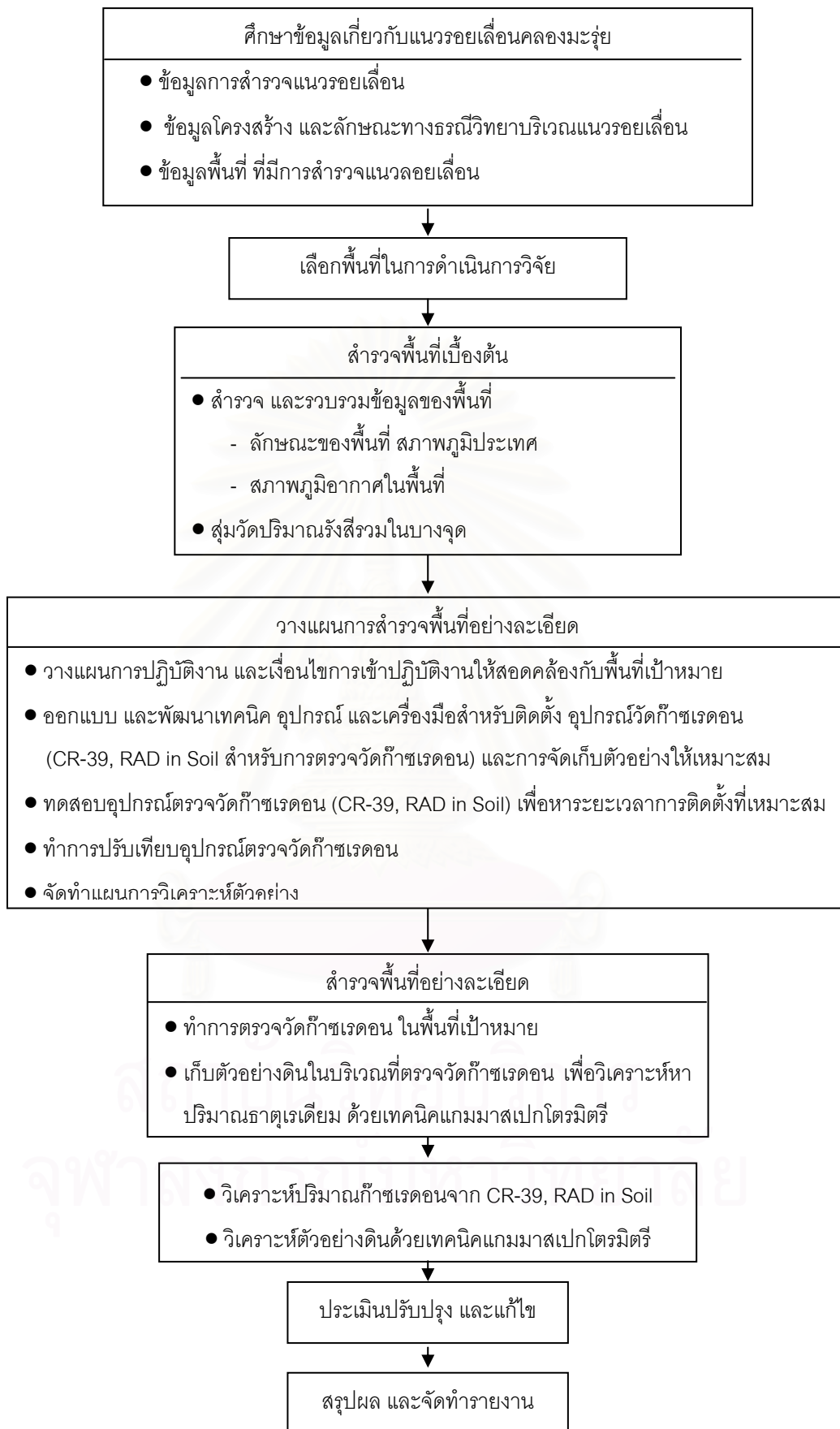
- 3.2.1 ถังมือยาง
- 3.2.2 ถาดทนความร้อนขนาด 8 นิ้ว \times 12 นิ้ว \times 12 นิ้ว (กว้าง \times ยาว \times สูง)
- 3.2.3 วาล์วทองเหลืองขนาด 0.25 นิ้ว
- 3.2.4 สายยางขนาด 0.25 นิ้ว
- 3.2.5 ตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช
- 3.2.6 ถังชิปลึค
- 3.2.7 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.2.8 เหล็กข้อต่อ 3 ทางใช้ต่อกับท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว
- 3.2.9 บีเกอร์ขนาดต่างๆ
- 3.2.10 แท่งแก้วคนสาร
- 3.2.11 ตลับเมตร ขนาด 50 และ 100 เมตร
- 3.2.12 ค้อนปอนด์

- 3.2.13 แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 1 เมตร
- 3.2.14 กระจกใช้บรรจุดิน ขนาดกว้าง 25.5 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตร และ สูง 28 เซนติเมตร
- 3.2.15 กระจกพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร
- 3.2.16 ข้อต่อเกลียวทองเหลืองขนาด 0.25 นิ้ว
- 3.2.17 ท่อพลาสติก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
- 3.2.18 ท่อ Stainless ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
- 3.2.19 ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
- 3.2.20 ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร
- 3.2.21 อุปกรณ์มาตรฐาน RAD IN SOIL
- 3.2.22 Dry stick (อุปกรณ์ลดความชื้นของระบบการตรวจวัด)

3.3 เครื่องมือ

- 3.3.1 ระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HighPurity Germanium, HPGe) ของ CANBERRA มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (relative efficiency) ที่พลังงาน 1.332 MeV เท่ากับ 30 %
- 3.3.2 เครื่องมือวัดระดับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (RAD7)
- 3.3.3 เครื่องชั่งสารแบบดิจิตอลทศนิยม 6 ตำแหน่ง และเครื่องชั่งสารขนาด 2,000 กรัม
- 3.3.4 เต้าไฟฟ้าชนิดปรับอุณหภูมิได้ (50 - 400 องศาเซลเซียส)
- 3.3.5 เครื่องคอมพิวเตอร์
- 3.3.6 เครื่องบดตัวอย่าง
- 3.3.7 กล้องถ่ายภาพ
- 3.3.8 เต้าอบตัวอย่าง (0 - 200 องศาเซลเซียส)
- 3.3.9 เครื่องระบุตำแหน่งพิกัดของพื้นที่ ยี่ห้อ GARMIN รุ่น GPSMAP 60CSx
- 3.3.10 กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 -1,000 เท่า
- 3.3.11 Water Bath

ขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมดของงานวิจัย แสดงอยู่ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดในงานวิจัย

3.4 การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับ RAD 7

การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบร่วมกับเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน RAD 7 เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ ที่ทำการตรวจวัดมากที่สุด ดังนั้นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ควรประหยัด และสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้ง่าย โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

3.4.1 การเตรียมวัสดุ

3.4.1.1 พิจารณาลักษณะของอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ประกอบร่วมกับ RAD 7 อย่างละเอียด ว่า มีส่วนประกอบอะไร และมีหลักการทำงานแบบใด

3.4.1.2 คัดเลือกวัสดุที่น่าจะมีความเหมาะสม ที่สำคัญต้องมีราคาประหยัด และหาได้ง่ายตามท้องตลาด ซึ่งวัสดุที่หามาได้ มีดังนี้

- ท่อพลาสติกทึบแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
- ท่อ Stainless ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร
- ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
- ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร

เหตุผลที่เลือกขนาดท่อทั้งหมด 4 ขนาด เพื่อนำมาทำการทดสอบนั้น เป็นเพราะว่าขนาดของท่อมาตรฐานที่ใช้ใน RAD IN SOIL มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 1-2 เซนติเมตร ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกท่อที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่สามารถหาได้ และสามารถใช้ในการทดลองได้ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร และขนาดใหญ่ที่สุด คือ 5 เซนติเมตร (มีขนาดเดียวกันกับขนาดของท่อที่ใช้สำหรับติดตั้ง CR-39) เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่จะนำมาทดสอบมีขนาดครอบคลุมขนาดของอุปกรณ์มาตรฐาน

3.4.1.3 ตัดท่อทุกขนาดให้มีความยาว 50 เซนติเมตร แล้วทำการติดตั้งข้อต่อเกลียวทองเหลืองขนาด 0.5 เซนติเมตรบริเวณปลายท่อ ในท่อทุกขนาด ยกเว้นท่อขนาด 0.5 เซนติเมตร ซึ่งสามารถติดตั้งกับระบบทดสอบได้ทันที

3.4.1.4 ท่อ PVC ทั้ง 2 ขนาด คือ ขนาด 2 เซนติเมตร และ ขนาด 5 เซนติเมตร นั้น จะมีฝาครอบเกลียวที่สามารถหมุนประกบกับตัวท่อได้ ทำการเจาะรูตรงกลางของฝา แล้วทำการติดตั้งข้อต่อเกลียวทองเหลือง หรือสายยางที่สามารถต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อื่นๆ ใน RAD 7 ได้

3.4.1.5 ท่อ PVC ขนาด 5 เซนติเมตร จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

- แบบที่ 1 (มีท่ออยู่ภายใน) ทำการเจาะรูตรงกลางของฝา แล้วนำท่อ Stainless ขนาด 1 เซนติเมตร ที่มีความยาว 50 เซนติเมตร เสียบตามรูที่ทำการเจาะไว้แล้ว เช็คดูความเรียบร้อย และนำเอากาวซิลิโคนทาให้ทั่วบริเวณรอยต่อ

- แบบที่ 2 (ไม่มีท่ออยู่ภายใน) ทำการเจาะตรงกลางของฝา แล้วนำสายยางที่มี ขนาด 1 เซนติเมตร มีความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งต่ออยู่กับข้อต่อเกลียวทองเหลืองเสียบตามรูที่ทำการเจาะไว้แล้วให้แน่น เช็คดูความเรียบร้อย และนำเอาภาวซีลิโคนทาให้ทั่วบริเวณรอยต่อ

3.4.1.6 ทำการตรวจเช็คอุปกรณ์ทั้งหมดให้เรียบร้อย และนำเอาภาวซีลิโคนมาทาในทุกๆ บริเวณที่มีรอยต่อ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซเรดอนในขณะที่ทำการตรวจวัด



รูปที่ 3.2 ลักษณะ และขนาดต่างๆ ของท่อที่จะนำมาทำการทดสอบโปรบ

3.4.2 การทดสอบโปรบ

3.4.2.1 สร้างแบบจำลองสถานที่ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่จะใช้ในการทำการทดลอง โดยทำกระบะขึ้นมา มีขนาดกว้าง 25.5 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตรและสูง 28 เซนติเมตร และนำภาวซีลิโคนมาทาทตามรอยต่อต่างๆ ของกระบะ เพื่อป้องกันการรั่วของกระบะ

3.4.2.2 บรรจุแร่โมนาไซต์ จำนวน 400 กรัม บริเวณด้านล่างสุดของกระบะ แล้วเกลี่ยให้ทั่ว

3.4.2.3 บรรจุดินทราย (มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับแรมโมนาไซต์) ในกระบะ ต่อจากชั้นของแรมโมนาไซต์ ให้มีความสูง ประมาณ 25 ซม.

3.4.2.4 ออกแบบลักษณะต่างๆ ของท่อทุกขนาด ที่จะนำมาทำการทดลอง เพื่อ ต้องการทราบว่าท่อในรูปแบบไหนที่จะสามารถไหลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนได้ใกล้เคียงกับ อุปกรณ์มาตรฐานมากที่สุด โดยมีรูปแบบในการออกแบบ ดังนี้

- เปิดปากท่อ 1 ด้าน โดยไม่มีอะไรมาคลุม หรือปิดทับ
- คลุมบริเวณปลายท่อด้วยแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน หนาประมาณ 30 ไมโครเมตร
- ใส่สำลี ที่มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ใส่บริเวณปลายท่อ
- ปิดฝาตรงปลายท่อ หรืออุปกรณ์ และทำการเจาะรูด้านข้างของบริเวณ ปลายท่อ ซึ่งสูงจากปลายท่อประมาณ 1 เซนติเมตร จำนวน 6 รู

3.4.2.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง

- เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน RAD 7 จะใช้ต้องเป็นเครื่องเดียวกัน เพราะประสิทธิภาพของเครื่องในการทดลองจะได้มีค่าเท่ากัน
- การตั้งระบบในเครื่อง ต้องใช้ระบบทุกอย่างเหมือนกัน และระยะเวลาในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนต้องเท่ากัน
- ดินในการทดลอง เป็นดินชนิดเดียวกัน คือ ดินทราย
- สภาพอากาศของช่วงเวลาในการตรวจวัดแต่ละครั้งต้องเหมือนกัน เพราะก๊าซเรดอนในแต่สภาพอากาศอาจจะแพร่ออกมาไม่เท่ากัน
- ความชื้นของดิน ต้องควบคุมให้เท่ากันในการตรวจวัดในแต่ละครั้ง เนื่องจากความชื้นมีผลต่อระบบการตรวจวัดก๊าซเรดอน ซึ่งในการทดลองนี้ ได้ควบคุมความชื้น ประมาณ 13.20 % เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นมีผลต่อการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน
- ความลึกในการฝังท่อลงในดินประมาณ 25 เซนติเมตร เนื่องจาก ต้องการให้ปลายของที่จะใช้ในการทดลองสัมผัสกับแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนจำลอง คือ แรมโมนาไซต์เท่ากันทุกครั้ง

3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบโปรบ

3.4.3.1 ทำการเช็คดูความพร้อมของเครื่อง โดยเช็คดูค่าต่างๆ ดังนี้ อุณหภูมิ, ความชื้น, แรงดูดของปั๊ม, แบตเตอรี่, ปริมาณของก๊าซเรดอน และโทรอน ฯลฯ

3.4.3.2 ทำการ purge เครื่อง RAD 7 เพื่อไล่ความชื้นให้ลดลงน้อยกว่า RH 10 % ก่อนต่อวงจรของระบบการตรวจวัด โดยใช้ Dry stick ด้วย

3.4.3.3 นำท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ไม่มีอะไรปิด หรือ ปกคลุมตรงปลายท่อปักลงบนดินในกระเบาะให้มีควมลึกประมาณ 25 เซนติเมตร

3.4.3.4 นำ RAD 7 ที่ทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้ว มาทำการต่อเข้ากับท่อ ซึ่งปักอยู่ในกระเบาะดิน ทำการเช็คดูความเรียบร้อย (ทำทันทีหลังจากการ purge เสร็จสิ้น)

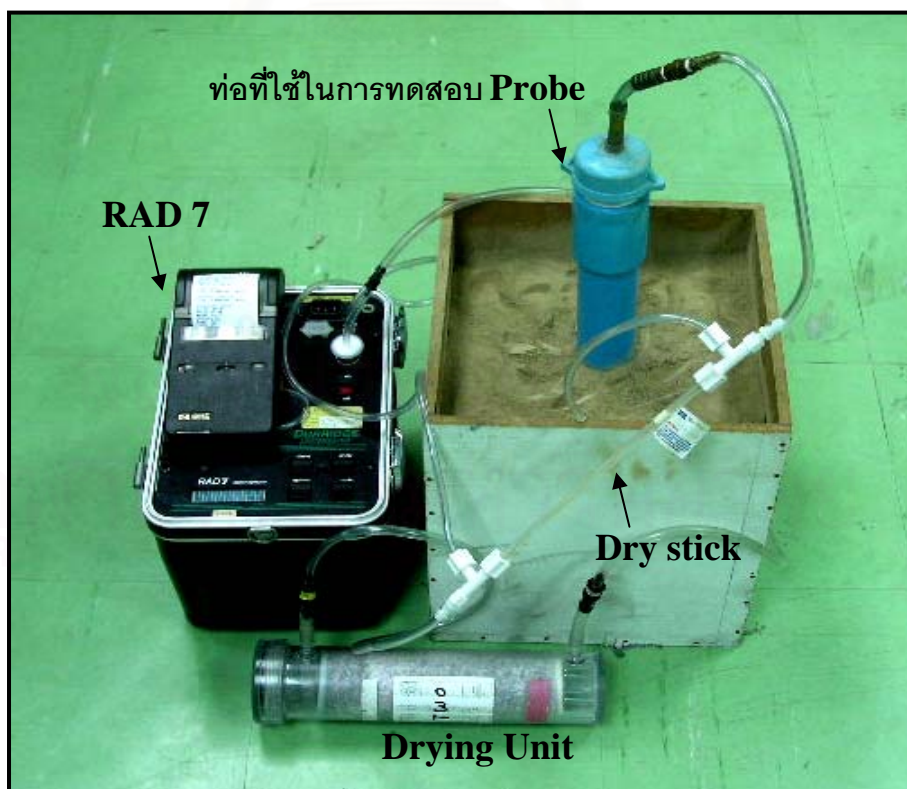
3.4.3.5 การตรวจวัดใช้ Protocol [none], Sniff [mode], Cycle 00:05, Recycle 04, Pump [Auto], Thoron [off], Units [Bq/m³]

3.4.3.6 เมื่อตรวจวัดเสร็จ ทำการ purge ไล่ความชื้น และปริมาณก๊าซ เรดอนที่ยังติดค้างอยู่ในเครื่องออกให้หมด ก่อนทำการตรวจวัดในครั้งต่อไป

3.4.3.7 บันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และข้อมูลค่าต่างๆ ในขณะที่ทำการตรวจวัด หรือสามารถทำการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่อง RAD7 ลงในคอมพิวเตอร์ได้ เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จ

3.4.3.8 เปลี่ยนขนาดท่อ และรูปแบบของท่อ โดยทำตามขั้นตอนข้างต้น เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมด ทำการเปรียบเทียบข้อมูล โดยนำมาเขียนกราฟ แสดงระหว่างขนาดท่อกับ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

3.4.3.9 ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน โดยใช้อุปกรณ์ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ ตัดสินใจในการเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาเป็น โพรบ ที่ใช้ประกอบร่วมกับ RAD 7



รูปที่ 3.3 ระบบการทดสอบขนาดต่างๆ ของโพรบ

3.5 การสำรวจ และคัดเลือกพื้นที่

ขั้นตอนการสำรวจ และคัดเลือกพื้นที่ ได้ข้อมูลจากการทำงานร่วมกับนักธรณีวิทยา จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรมทรัพยากรธรณี และบริษัท GMT ซึ่งได้ทำงานวิจัยในโครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย) โดยการศึกษาข้อมูลพื้นฐานส่วนใหญ่ ทางนักธรณีได้ทำการสำรวจ และคัดเลือกพื้นที่ จำนวน 15 พื้นที่ ที่ได้จากการแปลความหมายโทรสัมผัส แล้วจึงทำการตรวจสอบภาคสนามเบื้องต้น จากนั้นจึงกำหนดเป็นพื้นที่ ที่เหมาะสม สำหรับการสำรวจธรณีวิทยาแผ่นดินไหวจำนวน 10 พื้นที่ ซึ่งมีพื้นที่ในการศึกษารอยเลื่อนคลองมะรุ่ย จำนวน 6 พื้นที่ ดังนี้

1. พื้นที่บ้านบางลึก 1 ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. พื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
3. พื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา
4. พื้นที่วิภาวดี และพื้นที่บ้านเพชรเกล็ด ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
5. พื้นที่บ้านบางลึก 2 ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
6. พื้นที่บ้านควนสบาย ตำบลนาเหนือ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่

แต่ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาปริมาณก๊าซเรดอน ในพื้นที่ เพียง 5 พื้นที่ เท่านั้น คือ

1. พื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. พื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
3. พื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา
4. พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี (1 ใน 15 พื้นที่ ที่ทำการคัดเลือกครั้งแรก)
5. พื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เมื่อได้พื้นที่ในการศึกษาแล้ว เดินทางเข้าสำรวจพื้นที่ต่างๆ โดยใช้ข้อมูลจากข้อมูลโทรสัมผัส, การใช้แผนที่ และGPS เป็นเครื่องมือนำทาง และระบุตำแหน่งของพื้นที่ ที่ทำการศึกษา ซึ่งสามารถทำการวางแผน และปฏิบัติงาน ดังนี้

3.5.1 พื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี เข้าพื้นที่ในวันที่ 9 กรกฎาคม 2550 มี 3 ขั้นตอนสำรวจ คือ

3.5.1.1 สำรวจคุณลักษณะทั่วไปของพื้นที่ เช่น ขนาดของพื้นที่, ลักษณะดิน และหิน, ความลาดเอียงของพื้นที่ สิ่งกีดขวางต่างๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการวางแนวสำรวจ เป็นต้น

3.5.1.2 หาดำแหน่งคร่าวๆ ของรอยเลื่อนที่พาดผ่านในพื้นที่ โดยใช้เข็มทิศ และข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่ ซึ่งรอยเลื่อนจะทำมุมประมาณ 60-80 องศา ในทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้

3.5.1.3 ทำการวางเส้นแนวสำรวจ โดยให้แนวสำรวจพาดผ่านแนวรอยเลื่อน โดยจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของขนาด และลักษณะของพื้นที่ด้วย ซึ่งได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจทั้งหมด จำนวน 3 แนว ในพื้นที่ ได้แก่

ก. เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาวประมาณ 90 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 78 องศา

ข. เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาวประมาณ 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 85 องศา

ค. เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาวประมาณ 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 90 องศา

3.5.2 พื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี เข้าพื้นที่ในวันที่ 22 กรกฎาคม 2550 (ขั้นตอนในการสำรวจเหมือนกับพื้นที่บ้านบางลึก) ประกอบด้วย 3 เส้นแนวสำรวจ ได้แก่

ก. เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาวประมาณ 80 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 75 องศา

ข. เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาวประมาณ 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 85 องศา

ค. เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาวประมาณ 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 87 องศา

3.5.3 พื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา เข้าพื้นที่ในวันที่ 21 กรกฎาคม 2550 (ขั้นตอนในการสำรวจเหมือนกับพื้นที่บ้านบางลึก) ประกอบด้วย 3 เส้นแนวสำรวจ ได้แก่

ก. เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาวประมาณ 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อน ประมาณ 90 องศา

ข. เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาวประมาณ 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 88 องศา

ค. เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาวประมาณ 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 75 องศา

3.5.4 พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เข้าพื้นที่ในวันที่ 27 กรกฎาคม 2550 (ขั้นตอนในการสำรวจเหมือนกับพื้นที่บ้านบางลึก) ประกอบด้วย 3 เส้นแนวสำรวจ ได้แก่

ก. เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาวประมาณ 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 110 องศา

ข. เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาวประมาณ 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 87 องศา

ค. เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาวประมาณ 70 m ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 83 องศา

3.5.5 พื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี เข้าพื้นที่ในวันที่ 29 กันยายน 2550 (ขั้นตอนในการสำรวจเหมือนกับพื้นที่บ้านบางลึก) ประกอบด้วย 3 เส้นแนวสำรวจ ได้แก่

ก. เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาวประมาณ 50 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 68 องศา

ข. เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาวประมาณ 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 72 องศา

ค. เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาวประมาณ 70 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 75 องศา



รูปที่ 3.4 การวางเส้นแนวสำรวจ และตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดก๊าซเรดอน

3.6 ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา

3.6.1 การเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ใน RAD in SOIL

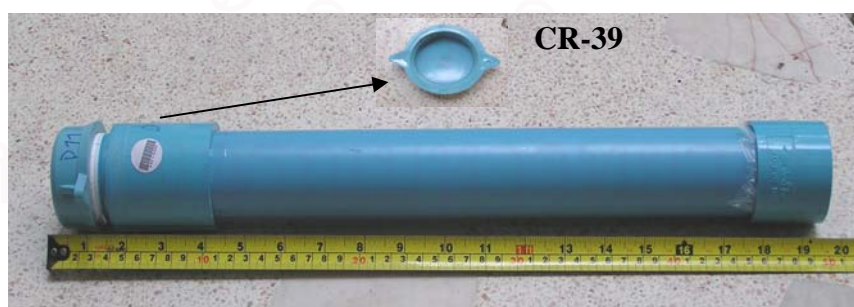
3.6.1.1 เตรียม RAD 7 โดยการเช็คคุณภาพของเครื่อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้นำ RAD 7 ไปใช้งาน 2 เครื่อง ดังนี้ ในช่วงวันที่ 9 กรกฎาคม – 3 สิงหาคม 2550 ใช้เครื่องหมายเลข 1444 และ 1445 ส่วนในช่วงวันที่ 29 กันยายน – 6 ตุลาคม 2550 ใช้เครื่องหมายเลข 1444 และ 1310

3.6.1.2 อบ CaCO_3 ซึ่งทำหน้าที่ดูดความชื้น ที่อุณหภูมิประมาณ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง โดยนำไปใส่ใน Drying Tube ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันความชื้นเข้าสู่ RAD 7 และนำเอา CaCO_3 สำรองไปอีก 3-4 ชุด เพื่อเปลี่ยน CaCO_3 ที่อิ่มตัวด้วยความชื้นหลังจากใช้งานไปแล้ว

3.6.2 การเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ในติดตั้ง CR-39

3.6.2.1 บรรจุแผ่นฟิล์ม CR-39 ในภาชนะที่ปิดมิดชิด จำนวนประมาณ 300 แผ่น โดยทำการเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ

3.6.2.2 ประกอบอุปกรณ์ ซึ่งเป็นทรงกระบอกปลายปิดด้านเดียว สำหรับติดตั้งฟิล์ม CR-39 จำนวนประมาณ 300 อัน ที่จะใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเรดอนในพื้นที่เป้าหมาย โดยลักษณะของอุปกรณ์ดังกล่าว ทำด้วยท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร และมีฝาเกลียวปิดด้านบน (สำหรับติดตั้งแผ่นฟิล์ม CR-39) ที่ด้านล่างของปลายท่อ จะมีแผ่นโพลีเอทิลีน ที่มีหนาประมาณ 30 ไมโครเมตร ปิดอยู่ เพื่อกันความชื้นไม่ให้เข้าไปในท่อ แต่อากาศสามารถผ่านเข้าไปได้



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเรดอน



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ชุดเจาะบริเวณที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเรดอน

3.6.3 ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนโดยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน

3.6.3.1 ลากตลับเมตรตามเส้นแนวสำรวจที่ได้กำหนดไว้แล้ว ในพื้นที่

3.6.3.2 กำหนดตำแหน่ง ที่จะทำการตรวจวัด โดยเริ่มแรกจะวางระยะห่างระหว่างตำแหน่ง 20 เมตร ซึ่งจุดแรกเริ่มที่ 0 เมตร

3.6.3.3 เปิดเครื่อง และ purge ไล่ความชื้นของเครื่อง RAD 7 จนกว่าภายในเครื่องจะมีความชื้นต่ำกว่า 10 %

3.6.3.4 นำแท่งเหล็กปลายแหลมตอกนำร่องลงไปในดิน ให้มีความลึกประมาณ 60 เซนติเมตร หรือมากกว่านั้น ได้ตำแหน่งที่จะทำการตรวจวัด เพื่อทำการฝัง Probe หัววัดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น มีความยาว 50 เซนติเมตร ซึ่งต่อเชื่อมกับ RAD 7 ลงไปในตำแหน่งที่มีการนำร่องด้วยเหล็กปลายแหลมแล้ว กลบดินให้แน่น ป้องกันการรั่วไหลของอากาศจากด้านบนเข้าสู่หัววัด



รูปที่ 3.7 การนำร่อง เพื่อทำการฝังโปรบที่ใช้ในการตรวจวัด

3.6.3.5 เมื่อความชื้นลดลงน้อยกว่า 10 % หยุดการไล่ความชื้น และทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบวงจรของ RAD IN SOIL ให้เรียบร้อย

3.6.3.6 ระบบของเครื่อง RAD 7 ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ตั้งค่า ดังนี้

Protocol: (None)

Cycle: 00:05

Recycle: 04

Mode: Sniff

Thoron: On

Pump: Auto

Tone: Off

Format: Med

Units: Bq/m³

3.6.3.7 ทำการบันทึกพิกัดของตำแหน่งของการตรวจวัด ทุกตำแหน่งตลอดทั้งเส้นแนวสำรวจ โดยใช้ GPS

3.6.3.8 เมื่อเครื่องทำการตรวจวัดเสร็จ แต่ละ cycle (5 นาที) เครื่องก็จะพิมพ์ข้อมูลออกมาแต่ละ cycle จนครบทั้ง 4 cycle ข้อมูลที่ได้ จะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซเรดอนที่วัดได้ในตำแหน่งนั้นๆ ออกมา ซึ่งจะมีหน่วย คือ Bq/m³ (ค่าความแรงทางรังสี/ปริมาตรอากาศที่เครื่องดูดเข้ามา) โดยจะใช้เวลาในการตรวจวัดแต่ละตำแหน่งประมาณ 20 นาที

3.6.3.10 เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จ ก็ทำการ purge ไล่ความชื้นให้ลดลง น้อยกว่า 10 % แล้วก็ทำการเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ โดยทำตามขั้นตอนในข้อ 3.5.3.1-ข้อ 3.5.3.10 จนครบทุกตำแหน่งในเส้นแนวการสำรวจนั้นๆ

3.6.3.11 พิจารณาค่าปริมาณก๊าซเรดอนจากการตรวจวัดทุกตำแหน่งในเส้นแนวสำรวจ ว่า จะต้องทำการตรวจวัดอย่างละเอียดเพิ่มตรงบริเวณไหนบ้าง เช่น ตำแหน่งที่ 40 และ 60 เมตร มีค่า เรดอนสูง ดังนั้นจะต้องทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้นในตำแหน่งที่ 50 เมตร

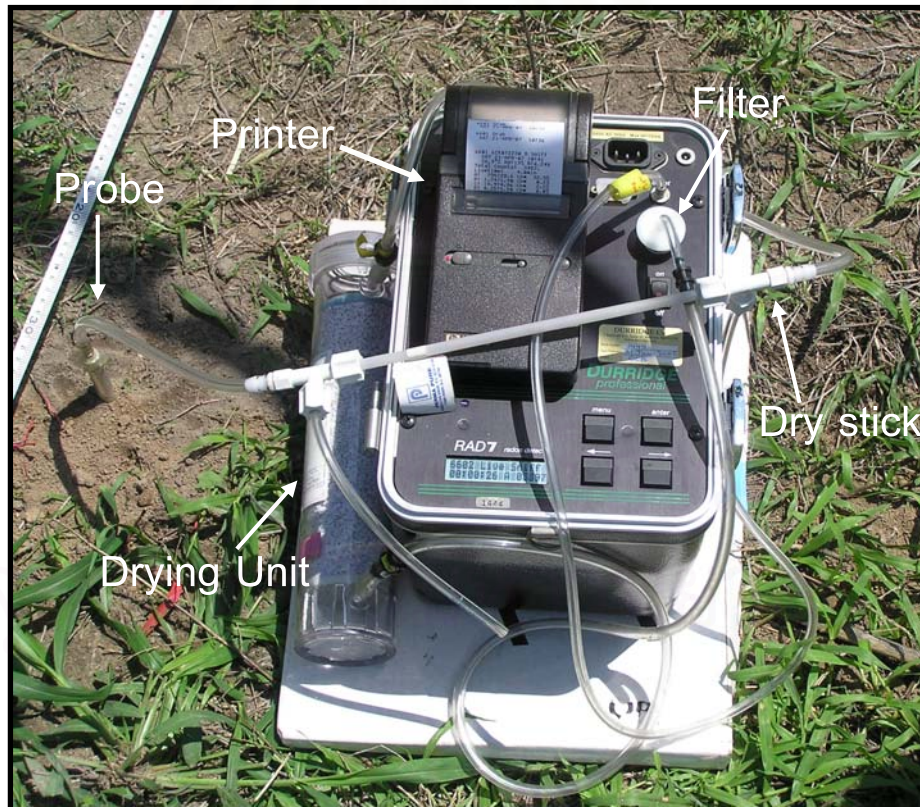
3.6.3.12 ตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา ในช่วงระยะเวลา 1 วัน โดยการตั้งค่าเครื่อง RAD 7 ดังนี้ Protocol [1-day], Auto [mode], Cycle 00:30, Recycle 48, Pump [Auto], Thoron [off], Units [Bq/m³]

3.6.3.13 ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้ง 2 เทคนิค ในตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณที่ใกล้ และไกลจากพื้นที่ศึกษา เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 3.8 การตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน โดยทำการติดตั้งโปรบในตำแหน่งต่างๆ ตามเส้นแนวสำรวจของพื้นที่

3.6.3.14 นำข้อมูลที่ได้ มาเขียนกราฟระหว่างปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดนั้น ๆ



รูปที่ 3.9 ระบบตรวจวัดก๊าซเรดอนในดิน ด้วยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน

โดยระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนด้วยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอนในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ด้วยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ในพื้นที่

พื้นที่	ระยะเวลา	จำนวนวันในการตรวจวัด (วัน)
พื้นที่ บ้านบางลึก	9-11 กรกฎาคม 2550	3
พื้นที่บ้านบางโหว่	23-24 กรกฎาคม 2550	2
พื้นที่บ้านปากด่าน	22-24 กรกฎาคม 2550	3
พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์	27-29 กรกฎาคม 2550	3
พื้นที่วิภาวดี	29 กันยายน- 1 ตุลาคม 2550	3

3.6.4 ขั้นตอนการตรวจวัดก๊าซเรดอนโดยการทำให้เกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม CR-39

หลังจากทำการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น จึงทำการออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ซึ่งมีขั้นตอนในการทำงาน ดังนี้

ระยะเวลาในการติดตั้งฟิล์ม CR-39

ผู้วิจัยได้เข้าไป ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน (CR-39) ในพื้นที่ศึกษา ตามที่ได้วางแผนการดำเนินงานไว้ โดยใช้เวลาในการติดตั้งแผ่นฟิล์มนานแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศ และภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษานั้นๆ โดยเวลาที่ใช้ในการติดตั้ง CR-39 ในพื้นที่ต่างๆ มีดังนี้

ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน โดยใช้ CR-39 ในพื้นที่

พื้นที่	ระยะเวลา	จำนวนวันในการตรวจวัด (วัน)
พื้นที่ บ้านบางลึก	10-17 กรกฎาคม 2550	8
พื้นที่บ้านบางโหว่	23-30 กรกฎาคม 2550	8
พื้นที่บ้านปากด่าน	22-31 กรกฎาคม 2550	10
พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์	27 กรกฎาคม-3 สิงหาคม 2550	8
พื้นที่วิภาวดี	29 กันยายน- 9 ตุลาคม 2550	8

3.6.4.1 ขั้นตอนการติดตั้งแผ่นฟิล์ม CR-39 ในพื้นที่

1. วัดระยะตลับเมตรตามเส้นแนวสำรวจที่ได้กำหนดไว้แล้ว
2. กำหนดตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง CR-39 โดยจะทำการติดตั้งในตำแหน่งเดียวกัน กับตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดในรูปแบบ RAD IN SOIL
3. เตรียมอุปกรณ์ที่จะทำการฝังลงในพื้นที่ โดยการนำแผ่นฟิล์ม CR-39 ไปติดตั้งกับอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้น
4. เมื่อได้ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง ทำการขุดหลุม เพื่อทำการฝังอุปกรณ์ที่มีการติดแผ่นฟิล์มอยู่ ให้มีความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร
5. บันทึกพิกัดของตำแหน่งการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนทุกตำแหน่งตลอดทั้งเส้นแนวสำรวจ โดยใช้ GPS
6. เก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน CR-39 และทำการจดบันทึกตำแหน่ง, วัน และเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.10 การเตรียมหลุม เพื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดก๊าซเรดอน (CR-39)



รูปที่ 3.11 การเก็บตัวอย่างดินจากตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดก๊าซเรดอน (CR-39)

7. ทิ้งอุปกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นฟิล์ม CR-39 ไว้ในพื้นที่ ตามระยะเวลาที่ได้ระบุไว้แล้วข้างต้น
8. เมื่อครบกำหนด ทำการเก็บอุปกรณ์ที่ติดตั้งแผ่นฟิล์ม CR-39 และนำแผ่นฟิล์มกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

3.6.4.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ในห้องปฏิบัติการ

1. ทำการเตรียมสารละลาย NaOH 6.25 N ที่จะใช้ในการกัดรอยของแผ่นฟิล์ม โดยชั่ง NaOH 250 กรัม แล้วเติมน้ำปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร คนให้ละลาย
2. นำแผ่นฟิล์มลงไปแช่ในสารละลาย (อย่าให้แผ่นฟิล์มสัมผัสกับภาชนะ)
3. นำบีกเกอร์สารละลาย ที่มีแผ่นฟิล์มอยู่ ตั้งบน Water Bath ที่มีอุณหภูมิของน้ำประมาณ 98 องศา (อุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1 %) แล้วทำการแช่ไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.12 ระบบการกัดรอยของแผ่นฟิล์ม CR-39

4. นำบีกเกอร์สารละลาย ที่มีแผ่นฟิล์มอยู่ ออกมา ทิ้งไว้สักครู่ นำแผ่นฟิล์มไปล้างในน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง เพื่อทำการล้าง และหยุดปฏิกิริยาของสารเคมี
5. ซับแผ่นฟิล์มด้วยทิชชู หรืออุปกรณ์ที่มีความนุ่ม เช่น ผ้า, สำลี เป็นต้น (ป้องกันการเกิดร่องรอยบนแผ่นฟิล์ม) ให้แห้งสนิท
6. นำแผ่นฟิล์มที่ซับแห้งแล้ว ไปทำการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า ทำการนับจำนวนรอยแอลฟาที่เกิดขึ้นในแผ่นฟิล์มนั้นๆ และทำการบันทึกข้อมูลไว้

7. คำนวณความหนาแน่นของรอยอนุภาคแอลฟา มีหน่วย density/ [mm² ×day] เมื่อได้ค่าจำนวนรอยของแอลฟา

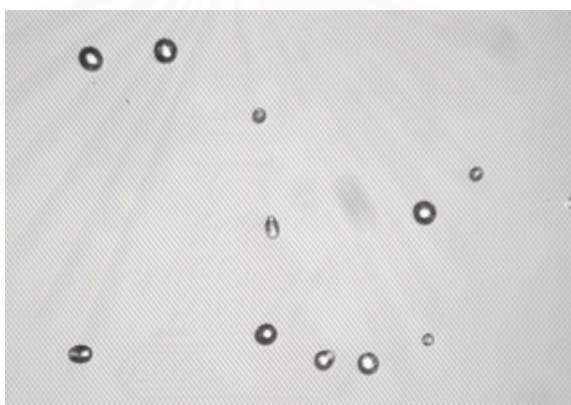
8. ปรับเทียบค่าให้กลายเป็นค่าความแรงรังสี ซึ่งมีหน่วย Bq/m³ โดยนำค่าความหนาแน่นจำนวนรอยของแอลฟาไปแทนในค่า X ของสมการ Calibration Curve ^[22] ซึ่งสมการ (3.1) คือ

$$Y = 712.75X + 58.201 \quad (3.1)$$

โดยที่ $R^2 = 0.9169$

X = ความหนาแน่นจำนวนรอยของแอลฟา (density/ [mm² ×day])

9. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดบนเส้นแนวสำรวจต่างๆ



รูปที่ 3.13 ลักษณะรอยของอนุภาคแอลฟาที่ได้จากการกักรอย และส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า

3.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ ²²⁶Ra ในตัวอย่างดิน โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

3.7.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินก่อนนำไปทำการวิเคราะห์

3.7.1.1 ในขั้นตอนการซุดหลุม เพื่อทำการฝังอุปกรณ์ติดตั้งฟิล์ม CR-39 ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างดินได้ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินเฉพาะบางตำแหน่งเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ ดังนี้

- ตัวอย่างดินในตำแหน่งของที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงที่สุด ที่ได้จากการตรวจวัด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ โดยจะเก็บ 1 ตัวอย่าง/ ตำแหน่ง
- ตัวอย่างดินในตำแหน่งที่มีค่าปริมาณก๊าซเรดอนปานกลาง ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ โดยเก็บ 1 ตัวอย่าง/ ตำแหน่ง

- ตัวอย่างดินในตำแหน่งที่มีค่าปริมาณก๊าซเรดอนต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นค่าปกติของพื้นที่ โดยอาจจะทำการเก็บ 2-3 ตัวอย่างในแต่ละเส้นแนวสำรวจ

3.7.1.2 นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกไว้ เป็นน้ำหนักก่อนทำการอบ

3.7.1.3 นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 200°C ใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งแห้ง ปล่อยให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึก เป็นน้ำหนักหลังอบ

3.7.1.4 ทำการคำนวณหาความชื้นในดิน ณ ตำแหน่ง นั้นๆ จากสมการ ดังนี้

$$\% \text{ ความชื้นในดิน} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

3.7.1.5 เมื่อทำการอบตัวอย่างดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างดินไปบดในเครื่องบดสาร โดยใช้เวลาประมาณ 20 นาที/ ครั้ง

3.7.1.6 นำตัวอย่างดินที่ทำการบดละเอียดไปบรรจุใส่กล่องพลาสติกทรงกระบอก No 27 ขนาดสูง 6 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. ทำการปิดฝา และปิดผนึกให้เรียบร้อย และนำภาชนะลิโคเนมาทาบรอบๆ รอยต่อของฝากับกล่องพลาสติก ทำการบันทึกวันที่ ที่ทำการบรรจุตัวอย่างดินลงกล่อง ตำแหน่ง และชื่อพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง

3.7.1.7 ปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 3-4 อาทิตย์ เพื่อให้สารกัมมันตรังสีที่อยู่ในดิน เข้าสู่สมดุล ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Ra-226

3.7.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างดิน โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

ในขั้นตอนนี้ จะใช้หัววัดรังสีที่ตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณ Ra-226 ในตัวอย่างดินในพื้นที่ ที่ทำการศึกษา ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

(1) จัดระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา ดังรูปที่ 2.20

(2) วัดรังสีของแบคกราวด์ภายในวัสดุกำบังรังสี ในขณะที่ไม่มีตัวอย่างเป็นเวลา 21,600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV จาก ^{214}Bi

(3) นำสารมาตรฐานยูเรเนียม เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 10,800 วินาที หาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV สำหรับคำนวณเปรียบเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra ในตัวอย่าง

(4) นำสารตัวอย่าง เข้าวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 21,600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV

(5) นำอัตรานับรังสีต่อวินาทีที่ได้จากข้อ (2) ถึง (4) ของสารมาตรฐานยูเรเนียมและสารตัวอย่าง ตามลำดับ หักลบกับค่าอัตรานับรังสีต่อวินาทีของแบคกราวด์ ค่าที่ได้คือ ค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของสารมาตรฐาน ($R_{(Std)}$) และค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของสารตัวอย่าง ($R_{(Sample)}$)

(6) ทำการคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra จากสมการที่ (2.2) ดังนี้

$$A_{\text{Ra(sample)}} = A_{\text{Ra(Std)}} \times \frac{\text{wt}_{(std)}}{\text{wt}_{(Sample)}} \times \frac{R_{(sample)}}{R_{(std)}} \times \frac{f_{ab(\text{Sample})}}{f_{ab(\text{Std})}}$$

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้เลือกภาชนะที่ใช้ในการบรรจุสารมาตรฐาน และตัวอย่างดินที่ไม่จำเป็นต้องทำการแก้ค่าการดูดกลืนโดยตัวเองของตัวอย่าง ดังนั้นทอมสุดท้ายในสมการที่ (2.2) สามารถทำการตัดทิ้งไปได้

$$A_{\text{Ra(sample)}} = A_{\text{Ra(Std)}} \times \frac{\text{wt}_{(std)}}{\text{wt}_{(Sample)}} \times \frac{R_{(sample)}}{R_{(std)}} \dots\dots\dots (3.3)$$

โดยที่ A_{Ra} = ความแรงรังสีของเรเดียม (เบคเคอเรล / กรัม)
 wt = น้ำหนัก (กรัม)
 R = อัตรานับรังสีสุทธิ (จำนวนนับ / วินาที)
 f_{ab} = ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนโดยตัวเอง

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

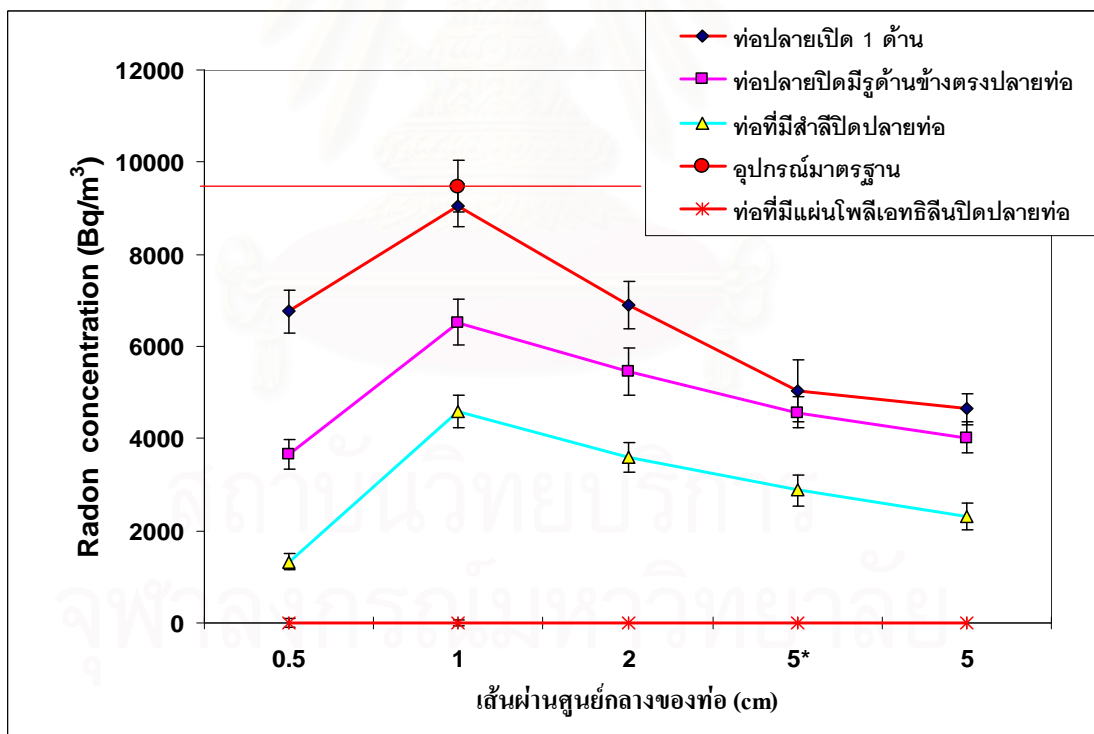
บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผล

ทำการศึกษา และทดลองอุปกรณ์ เพื่อทำการพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้ประกอบร่วมกับเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (RAD 7) และนำเทคนิคการตรวจวัดก๊าซเรดอนทั้ง 2 วิธี คือ ใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ Track Etch Method ไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา จำนวน 5 พื้นที่ บริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ซึ่งผลการทดลอง มีดังนี้

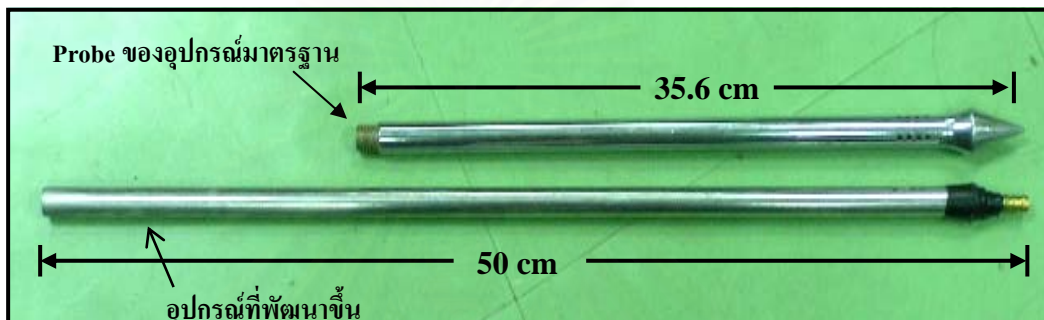
4.1 ผลการทดลองอุปกรณ์ที่นำมาใช้เป็นโพรบ (Probe)

ได้จัดระบบจำลองในการทดลองอุปกรณ์ที่จะใช้ร่วมกับเครื่อง RAD 7 โดยใช้เครื่อง RAD 7 Serial 1444 ซึ่งในการทดลองนี้ ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานด้วย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกอุปกรณ์ ที่จะนำมาใช้เป็นโพรบ ซึ่งผลการทดลอง แสดงได้ในรูปที่ 4.1 (ข้อมูลดิบ แสดงอยู่ในภาคผนวก ข)



หมายเหตุ 5* = มีท่อขนาด 1 เซนติเมตรอยู่ภายใน และ 5 = ไม่มีท่อขนาด 1 เซนติเมตรอยู่ภายใน
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากท่อขนาดต่างๆ ในหลายรูปแบบ และอุปกรณ์มาตรฐาน

ผลการทดลอง ได้แสดงในตารางที่ ข-1 ถึง ข-5 ของภาคผนวก ค. และรูปที่ 4.1 ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นว่า ท่อปลายเปิด 1 ด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน โดยใช้อุปกรณ์มาตรฐาน ซึ่งมีความเหมาะสม ที่จะใช้เป็นโพรบ ประกอบร่วมกับเครื่อง RAD 7 เพื่อใช้ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ในพื้นที่ศึกษาตามแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยได้ ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัด โดยใช้ท่อปลายเปิด 1 ด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. มีค่า $9,060.927 \pm 457.095 \text{ Bq/m}^3$ หรือประมาณ 95.65 % ของปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัด โดยใช้อุปกรณ์มาตรฐาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ $9,481.012 \pm 566.145 \text{ Bq/m}^3$



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับโพรบ (probe) ของอุปกรณ์มาตรฐาน

นำอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้น ทำการประกอบร่วมกับ RAD 7 โดยทำการติดตั้งระบบในรูปแบบ RAD IN SOIL เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ ที่ทำการศึกษา



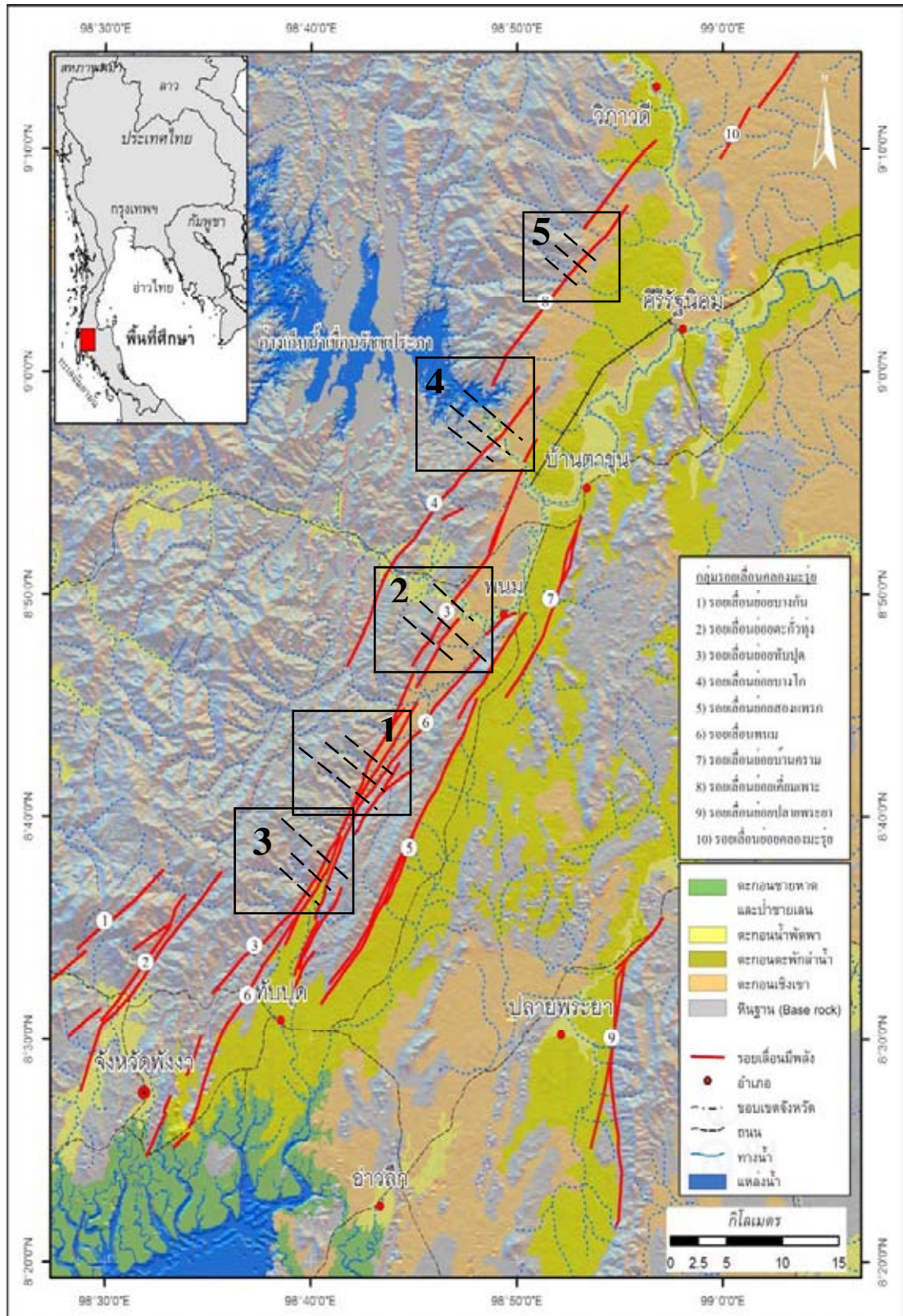
รูปที่ 4.3 การติดตั้งระบบ RAD IN SOIL โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นประกอบร่วมกับ RAD 7

4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา

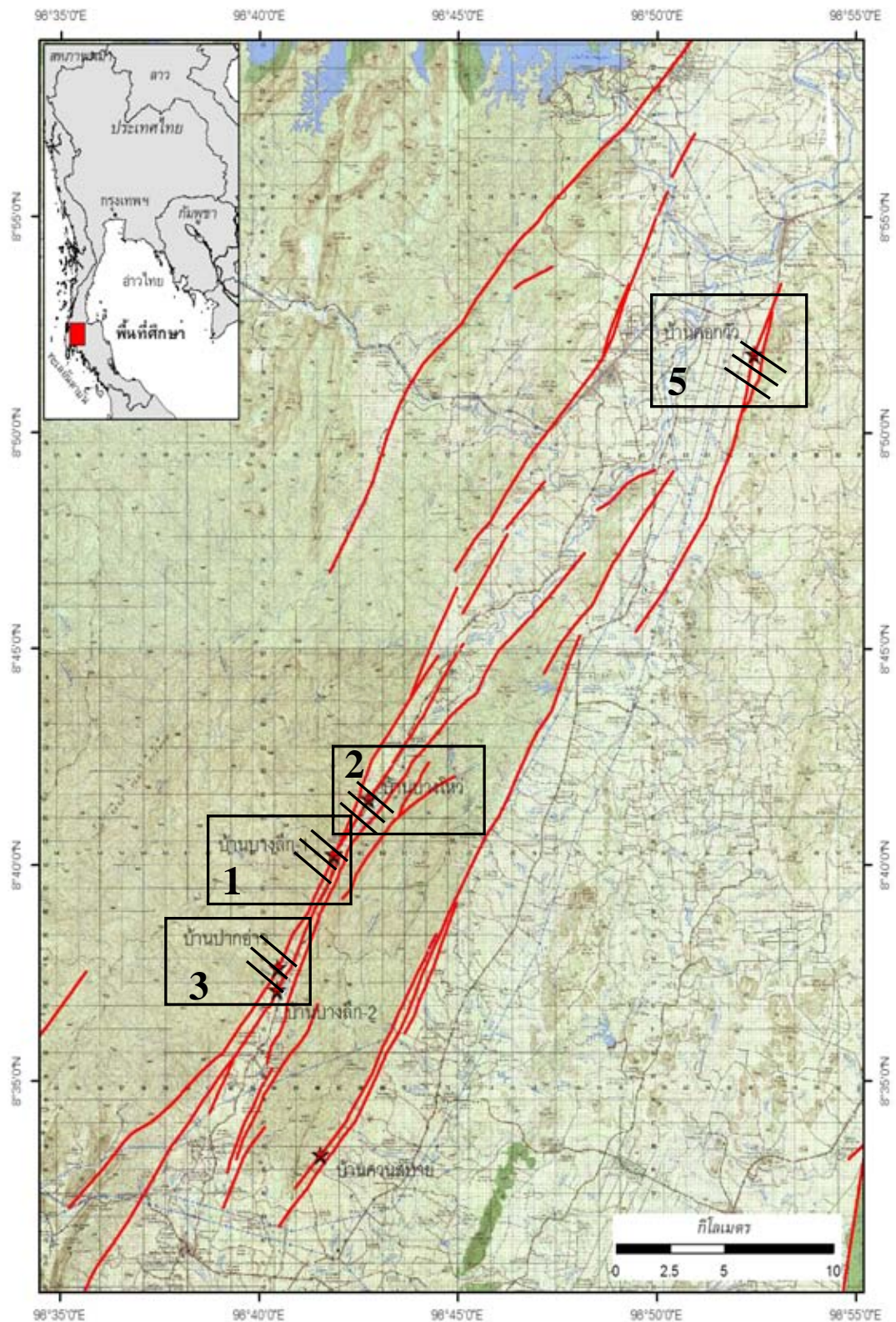
รอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ย ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย มีการวางตัวในทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และมีความยาวประมาณ 150 กิโลเมตร อยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดพังงา, สุราษฎร์ธานี, กระบี่ และภูเก็ต เมื่อทำการศึกษาข้อมูลทางธรณีวิทยาต่างๆ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการคัดเลือกพื้นที่ ที่เหมาะสม เพื่อทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในบริเวณที่มีรอยเลื่อน คลองมะรุ่ยพาดผ่านได้พื้นที่ในการศึกษาทั้งหมด 5 พื้นที่ ได้แก่

1. บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
3. บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา
4. โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
5. วิภาวดี บ้านหัวสะพาน กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

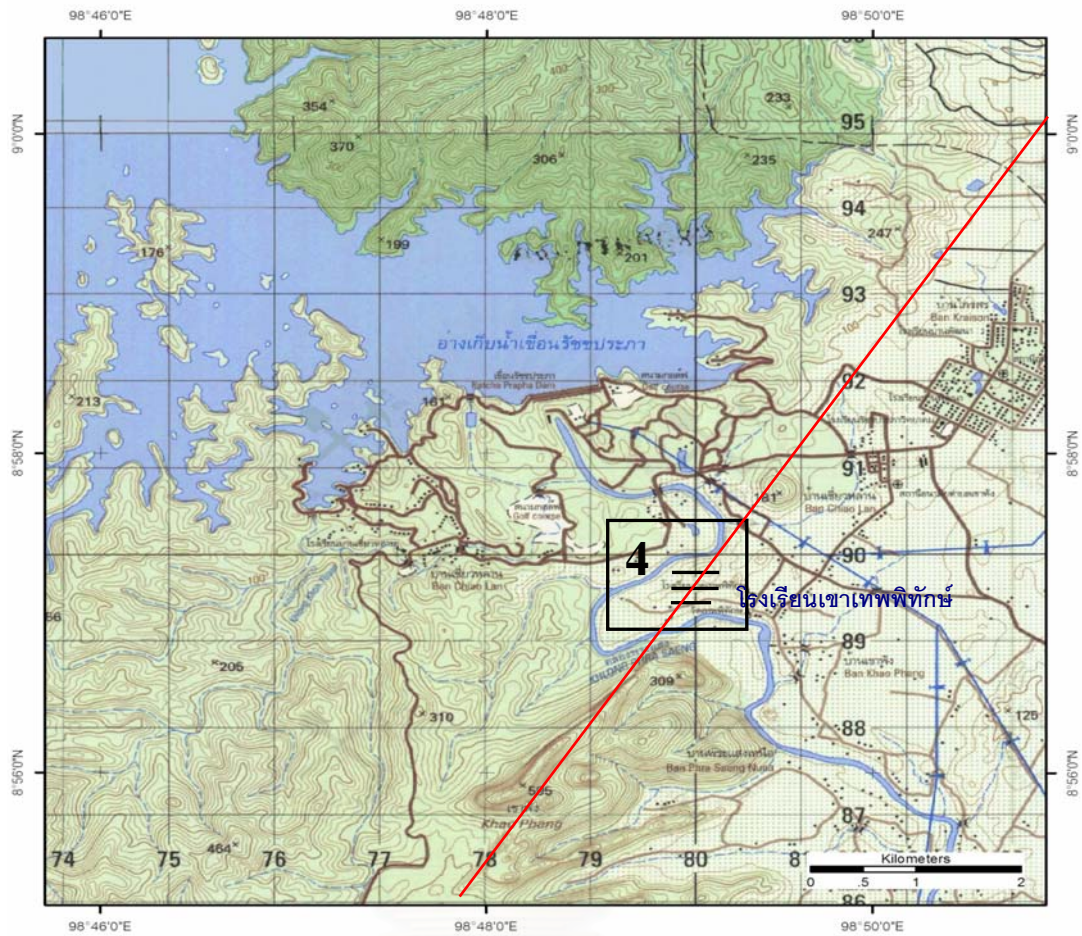
ในแต่ละพื้นที่ได้กำหนดเส้นแนวสำรวจ 3 แนว ให้ทำมุมตั้งฉาก หรือเกือบตั้งฉาก กับแนวรอยเลื่อนย่อย ซึ่งเส้นแนวสำรวจ แต่ละแนวห่างกัน 20-50 เมตร ความยาวของแต่ละแนวสำรวจขึ้นอยู่กับลักษณะ และขนาดของพื้นที่ ได้ทำการวางตำแหน่งการสำรวจโดยใช้เครื่องมือวัด ก๊าซเรดอน และ CR-39 ในตำแหน่งเดียวกัน บนแต่ละเส้นแนวสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ในแต่ละพื้นที่ศึกษา กรมทรัพยากรธรณีได้ทำการชุดร่องสำรวจดูลักษณะธรณีสังฐาน ยกเว้น พื้นที่ โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.6 ซึ่งผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนทั้ง 2 วิธี และผลการระบุ ตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนในทุกพื้นที่ ได้แสดงในหัวข้อย่อยข้างล่าง



รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงผลการแปลความหมายภาพจากดาวเทียม Landsat 7 ETM ของบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย พื้นที่ในกรอบสี่เหลี่ยมแสดงถึงพื้นที่ของตำแหน่งเส้นแนวสำรวจของการศึกษาวิจัย^[17]



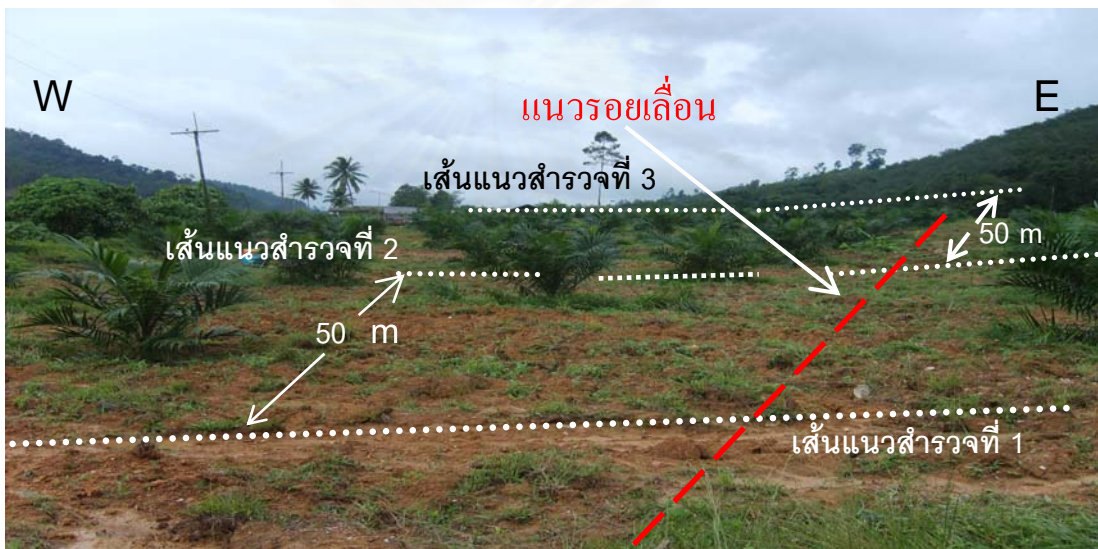
รูปที่ 4.5 แผนที่ภูมิประเทศ แสดงที่ตั้งของตำแหน่งการขุดร่องสำรวจ และลักษณะการวางแนวสำรวจปริมาณก๊าซเรดอนในบริเวณพื้นที่บางลึก, พื้นที่บางโหว, พื้นที่บ้านปากด่าน และพื้นที่วิภาวดี^[17]



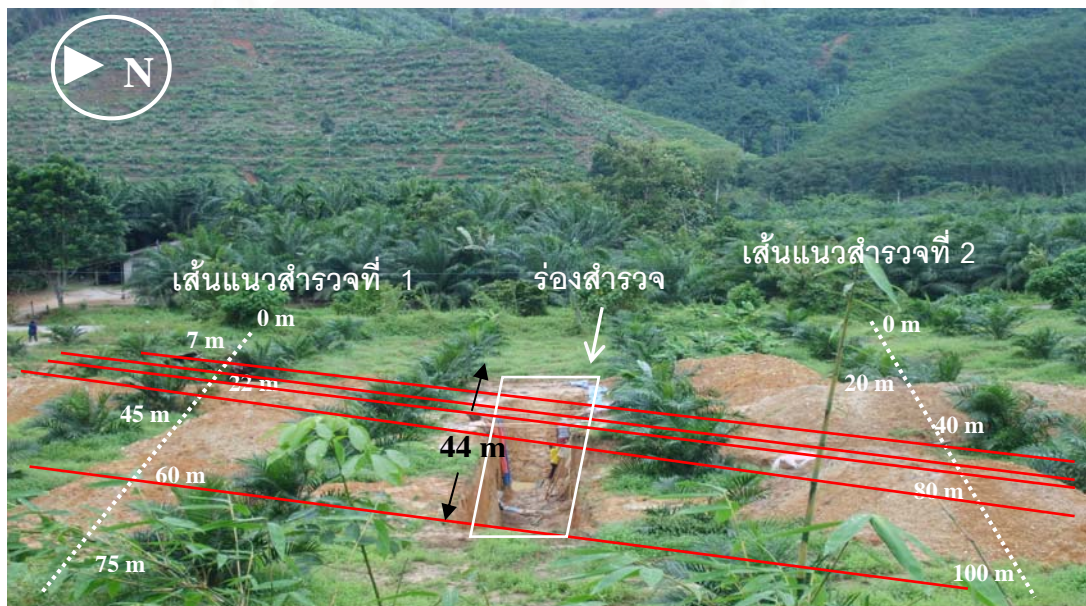
รูปที่ 4.6 แผนที่ภูมิประเทศ แสดงลักษณะการวางแนวสำรวจปริมาณก๊าซเรดอนในบริเวณพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) ^[17]

4.2.1 พื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี พิกัด 466796 E / 958520 N

ในพื้นที่บ้านบางลึก ได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจ 3 แนว มีจุดตรวจวัดทั้งหมด 32 จุด มีระยะห่างระหว่างจุดของเส้นที่ 1 เท่ากับ 7 เมตร, เส้นที่ 2 เท่ากับ 10 เมตร และเส้นที่ 3 เท่ากับ 20 เมตร และระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจ ในแต่ละเส้นเท่ากับ 50 เมตร ซึ่งมีค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนโดยการใช้อุปกรณ์มือวัดก๊าซเรดอน เท่ากับ $3,750.11 \pm 674.141 \text{ Bq/m}^3$ และไนวีซี CR-39 เท่ากับ $6,817.64 \pm 816.26 \text{ Bq/m}^3$ (การคำนวณค่าปกติ ได้แสดงในภาคผนวก ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) ลักษณะของพื้นที่ และการวางเส้นแนวสำรวจทั้ง 3 แนว

(ข) ลักษณะการพาดผ่านแนวรอยเลื่อนบนเส้นแนวสำรวจ และในร่องสำรวจ

เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาว 90 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 78 องศา พบว่าการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนโดยการใส่เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่าสูงสุด ที่ตำแหน่ง 7 และ 22 เมตร (พีค A และ พีค B) และมีค่าสูงรองลงมา ที่ตำแหน่ง 45 และ 60 เมตร (พีค C และ พีค D) ส่วนในวิธี CR-39 นั้นให้ค่าสูงสุด ที่ตำแหน่ง 10 และ 20 เมตร (พีค A และ พีค B) และมีค่าสูงรองลงมา ที่ตำแหน่ง 60 และ 80 เมตร (พีค D และ พีค E) ในการตรวจวัด ทั้ง 2 วิธี ให้ค่าของก๊าซเรดอนสูงในตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน เนื่องจากว่า การตรวจวัดในวิธี CR-39 ไม่สามารถฝังอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งในตำแหน่งเดียวกันกับการตรวจวัด โดยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอนได้ แต่ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จาก ทั้ง 2 วิธี ยังให้ค่าเรดอนที่สูงในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งพีค ที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 5 เท่า และใน CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า

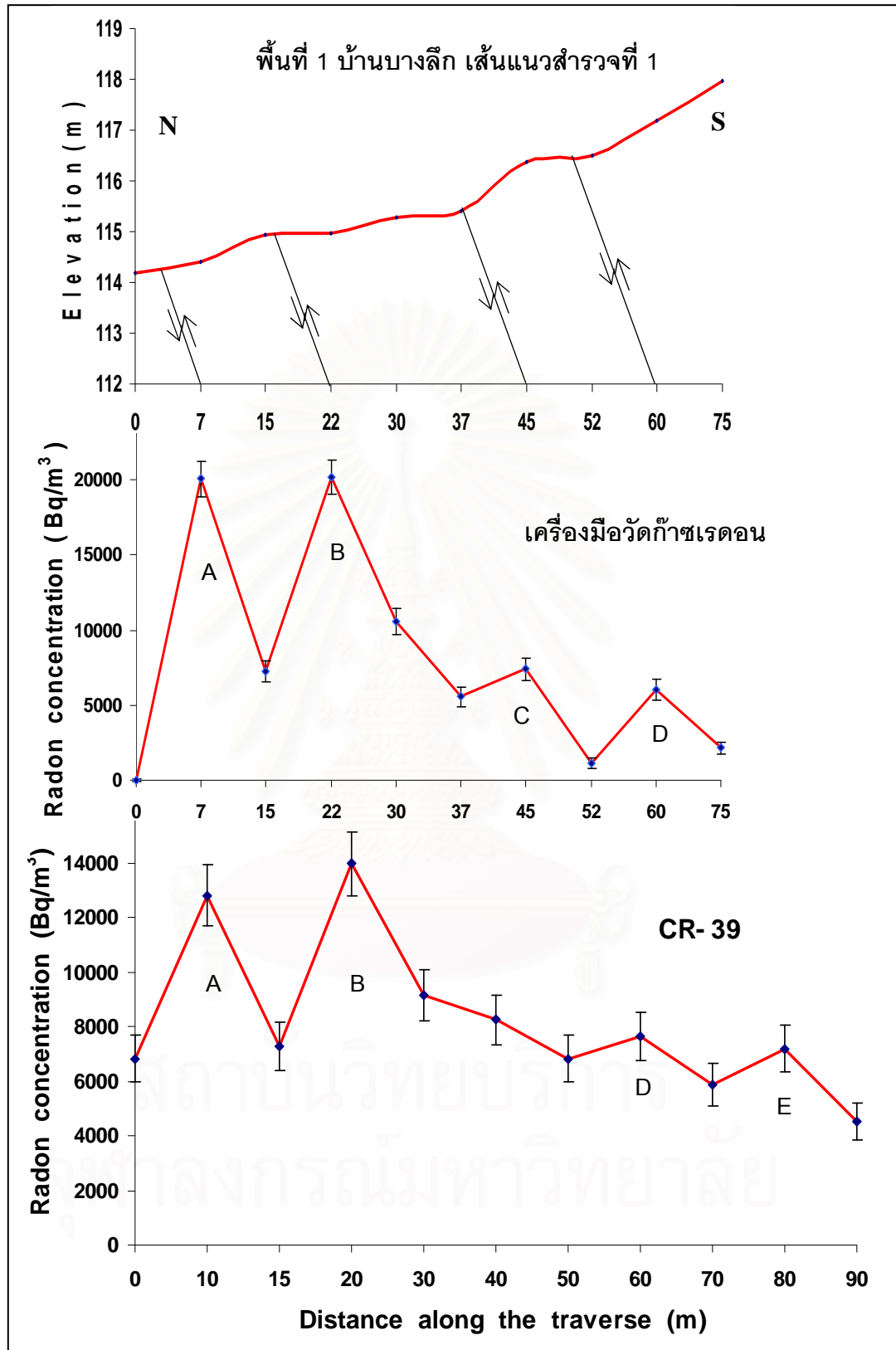
เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาว 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 85 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ ทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 40 และ 80 เมตร (พีค A และ พีค B) ซึ่งสามารถระบุให้เป็นตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนได้ และปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งพีค ที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 6 เท่า และในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า

เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาว 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 90 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จาก 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 10 และ 20 เมตร (พีค A และ พีค B) ซึ่งสามารถระบุเป็นตำแหน่งแนวรอยเลื่อนได้ และในตำแหน่งพีค ที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 5 เท่า และในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 5 เท่า

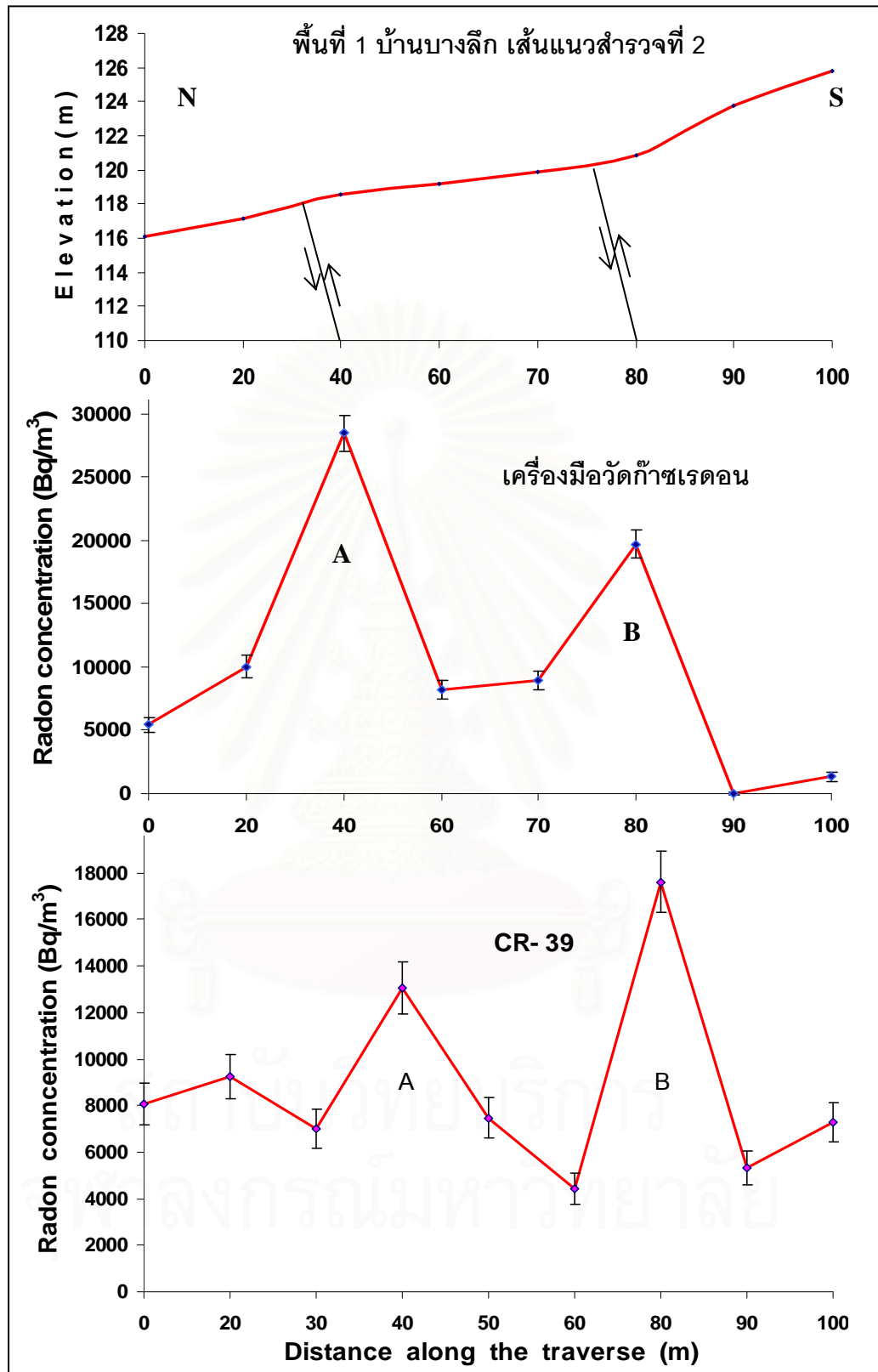
ซึ่งข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของการตรวจวัดในแต่ละเส้นแนวสำรวจ จะแสดง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พื้นที่บ้านบางลึก

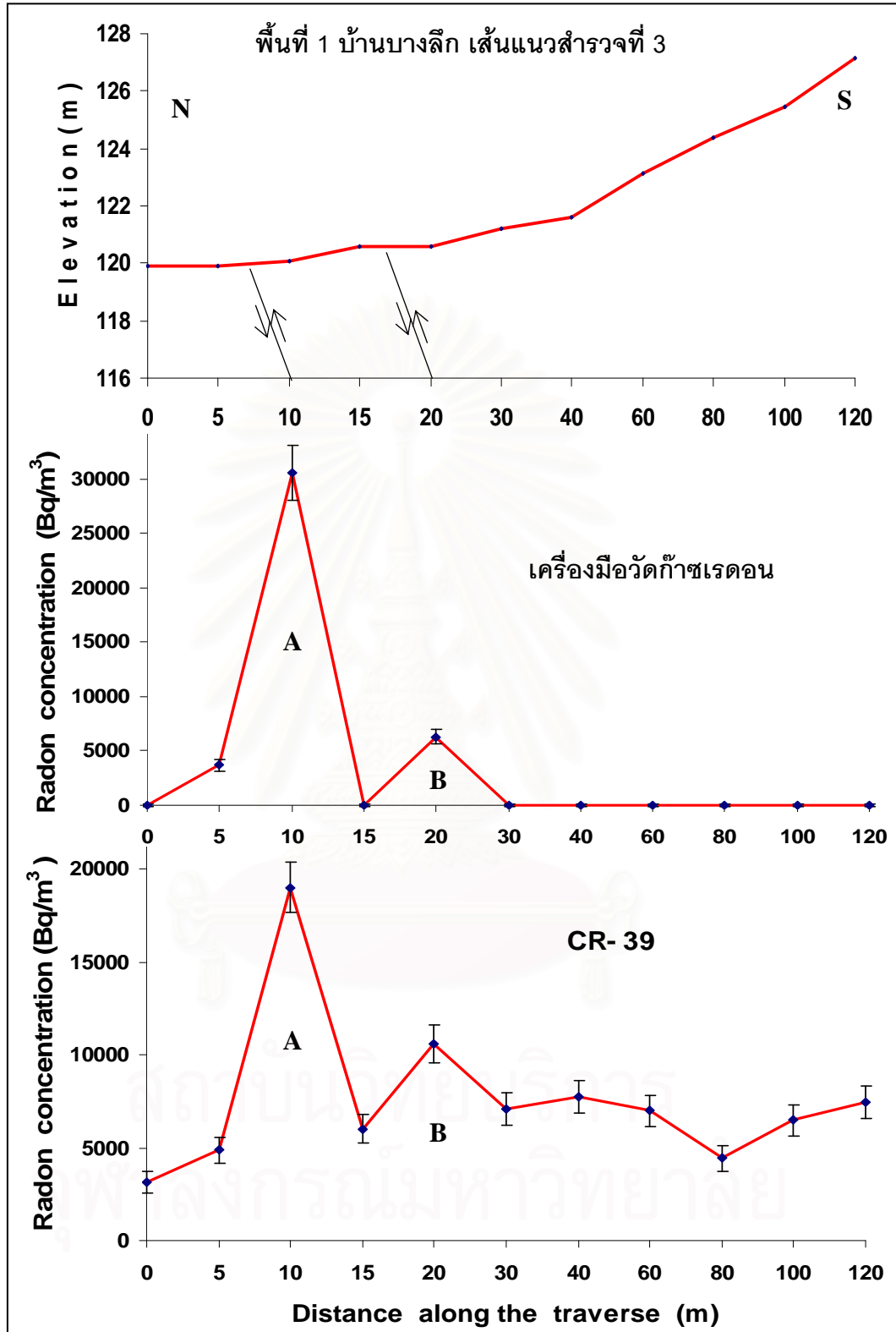
เส้นแนวสำรวจ	ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนต่ำสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m ³)	ค่าปกติโดยเฉลี่ย	
				เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	CR-39 (Bq/m ³)
1	20,206±1,130.7	11.32±108.14	8,126.50±788.92	5,026.50±560.12	5,057±844.44
2	28,482.02±1,417.60	11.3±94.50	9,544.83±791.40	5,649.90±564.40	6,969.33±838
3	30,549±2487.90	4.2±98.34	5,661.05±631.60	426.95±151.1	6,027.5±781.24



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

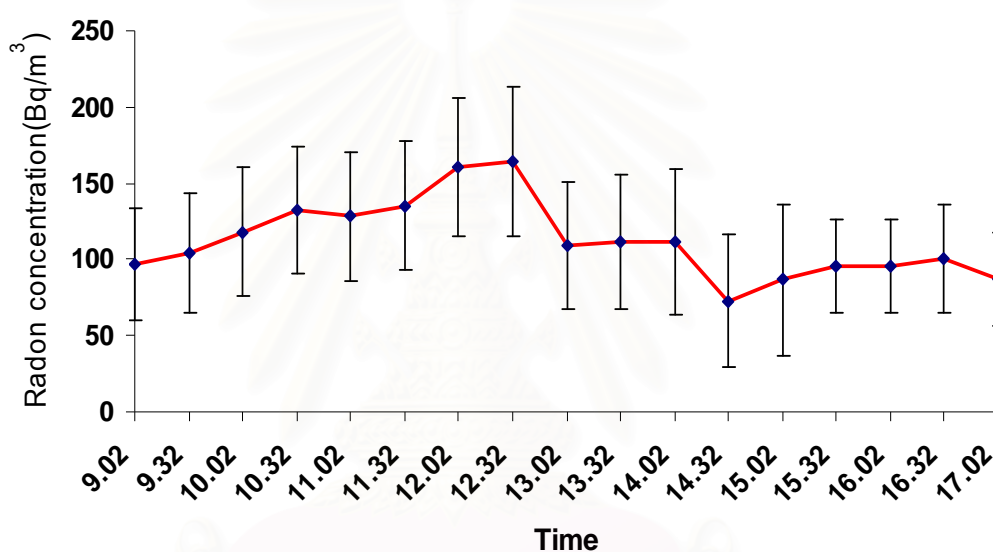


รูปที่ 4.10 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

4.2.1.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนใน 1 วัน

ได้ทำการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา 1 วัน (ช่วงเวลาตั้งแต่ 9.02 -17.02 น.) ของพื้นที่ (รูปที่ 4.11) เมื่อทำการเปรียบเทียบ ดูอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา ที่ทำการตรวจวัดในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พบว่าปริมาณก๊าซเรดอน มีระดับการเปลี่ยนแปลงน้อย ในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด แต่ในช่วงเวลา 12.02-12.32 น. มีปริมาณก๊าซเรดอนจะสูงกว่าเวลาอื่นเล็กน้อย เมื่อทำการวิเคราะห์ผล จะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา 1 วัน ไม่ส่งกระทบต่อปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในแต่ละช่วงเวลา และแต่ละเส้นแนวสำรวจ ในพื้นที่

กราฟแสดงระดับปริมาณก๊าซเรดอนใน 1 วัน พื้นที่บ้านบางลึก



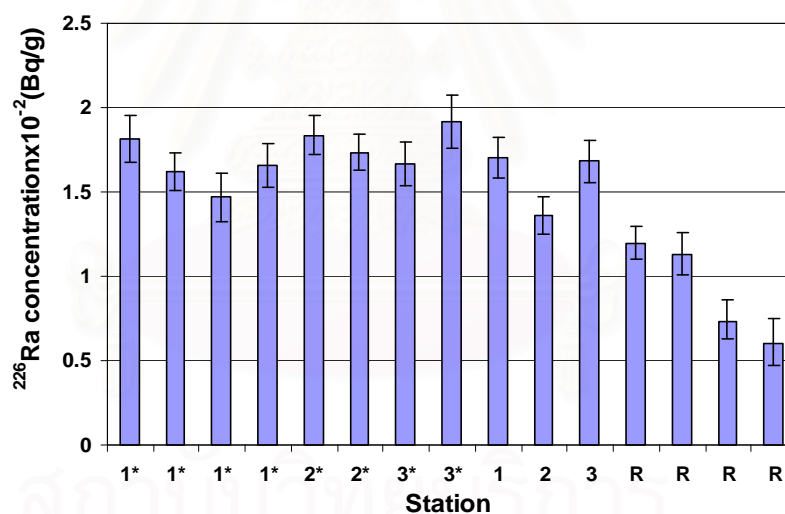
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรดอนภายใน 1 วันของพื้นที่

4.2.1.2 ตำแหน่งอ้างอิง

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ในตำแหน่งที่ห่างจากพื้นที่ ที่ทำการศึกษา จำนวน 4 ตำแหน่ง ดังนี้ คือ ในตำแหน่ง ที่ระยะ 0.5 (S), 0.8 (N), 1.2 (NW) และ 1.5 (SW) กิโลเมตร และทำการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ ปริมาณ ²²⁶Ra ที่อยู่ในดิน เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรดอน ซึ่งผลการตรวจวัด ได้แสดงในรูปที่ 4.12 และตารางที่ ค-4 ทำให้สามารถสรุปผล ได้ว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ จากทั้ง 2 วิธี ในตำแหน่งอ้างอิง ทั้ง 4 ตำแหน่งนั้น มีปริมาณก๊าซเรดอนน้อย อยู่ในเกณฑ์เท่ากับค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า ในตำแหน่งรอยเลื่อนที่พาดผ่านในพื้นที่ มีปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้สูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ

4.2.1.3 ปริมาณเรเดียม-226 ของตัวอย่างดินในจุดตรวจวัดก๊าซเรดอน

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณ ^{226}Ra เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งแสดงผล ได้ดังนี้ ในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ได้แก่ พิค A, พิค B, พิค C และ พิค D และทำการเก็บในตำแหน่ง 0 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าเรดอนปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่, ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูง ได้แก่ พิค A และ พิค B และทำการเก็บในตำแหน่ง 0 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าเรดอนปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ และในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอน ได้แก่ พิค A และ พิค B และทำการเก็บในตำแหน่ง 40 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าเรดอนปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ ทำการวิเคราะห์ผล พบว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งนั้นๆ มาจากก๊าซในดิน (soil gas) มากกว่ามาจากการสลายของ ^{226}Ra ที่อยู่ในดิน ในตำแหน่งนั้นๆ เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในแต่ละตำแหน่งนั้น มีปริมาณน้อย (1 กรัมให้ความแรงรังสีของ ^{226}Ra ประมาณ 0.017 Bq) เมื่อสลายตัวแล้ว จะให้ปริมาณก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อยด้วย ซึ่งไม่สามารถส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนั้นๆ ได้



หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3

1, 2, 3 = ค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2, และ 3

R = ตำแหน่งอ้างอิง

รูปที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่บ้านบางลึก

ในพื้นที่นี้ ได้มีการขุดร่องสำรวจของนักธรณีวิทยา ซึ่งห่างจากเส้นแนวสำรวจที่ 1 ประมาณ 10 เมตร ลักษณะร่องขุดสำรวจ วางตัวตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ ยาว 44 เมตร กว้าง 4 เมตร ลึก 3 – 4 เมตร พิกัด 466794E/958539N มองไปทางทิศ ตะวันออกเฉียงใต้ ปรากฏว่า มีแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจริงในร่องสำรวจ จำนวน 5 แนว ของผนังด้านตะวันตกเฉียง

ได้ จากขอบทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ โดยที่รอยแตกที่ 1 (แนวรอยเลื่อน) ปรากฏที่ระยะ 3 เมตร, พบรอยแตกที่ 2 (แนวรอยเลื่อน) ปรากฏที่ระยะ 3.5 เมตร, พบรอยแตกที่ 3 (แนวรอยเลื่อน) ปรากฏที่ระยะ 6 เมตร, พบรอยแตกที่ 4 (แนวรอยเลื่อน) ปรากฏที่ระยะ 13 เมตร และพบรอยแตกที่ 5 (แนวรอยเลื่อน) ปรากฏที่ระยะ 14.5 เมตร (รูปที่ 4.7 ข.) อนึ่งผลการศึกษาวิจัยยังสอดคล้องกับผลการสำรวจด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ ในการกำหนดตำแหน่งรอยเลื่อน คือ การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) จำนวน 5 แนว จากผลการสำรวจรายละเอียดพบบริเวณที่คาดว่าเป็นรอยแตกที่ระยะ 26-28 เมตร ของแนวสำรวจที่ 1 และ ที่ระยะ 50-52 เมตร ของแนวสำรวจที่ 3 (ข้อมูลจากโครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย)) ซึ่งเมื่อทำการสรุปผลจากข้อมูลต่างๆ ที่ได้ คือ ผลจากการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน, ผลจากการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) และผลจากการขุดร่องสำรวจ ทำให้ สามารถระบุลักษณะการพาดผ่านของแนวรอยเลื่อน ได้ดังนี้

ก. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 7 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ตรงกับตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 40 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 2

ข. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงที่ระยะ 22 เมตรในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ตรงกับตำแหน่งรอยแตกที่ 1, 2 และ 3 (แนวรอยเลื่อน) ที่ระยะ 3, 3.5 และ 6 เมตร ในร่องสำรวจ ตรงกับตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 60 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 และตรงกับตำแหน่งการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ในแนวสำรวจที่ 3 ที่ระยะ 50-52 เมตร

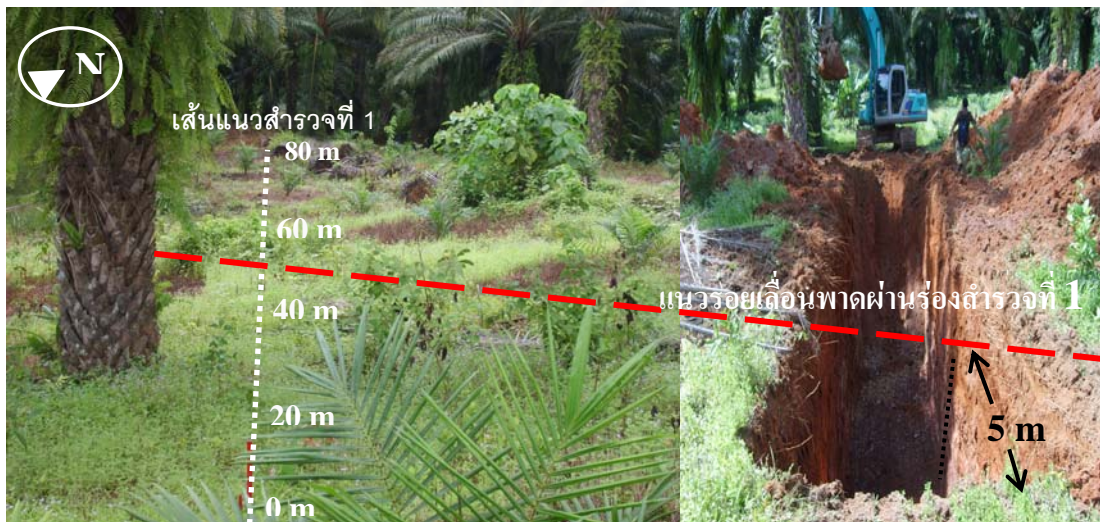
ค. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงที่ 45 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ตรงกับตำแหน่งรอยแตกที่ 4 และ 5 (แนวรอยเลื่อน) ที่ระยะ 13 และ 14.5 เมตรในร่องสำรวจ

ง. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงที่ระยะ 60 เมตรในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ไม่ตรงกับตำแหน่งใดในร่องสำรวจ

จ. ตำแหน่ง 10 และ 20 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ไม่ตรงกับตำแหน่งใดเลย ทั้งในร่องขุดสำรวจ และเส้นแนวสำรวจที่ 1 และ 2 เนื่องจากความยาวของเส้นแนวสำรวจที่ 3 ยาวมากกว่าเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และร่องสำรวจ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบตำแหน่งกันได้

4.4.2 พื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี พิกัด 468360 E / 960863 N

ในพื้นที่บ้านบางโหว่ ได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจ 3 แนว มีจุดตรวจวัดทั้งหมด 26 จุด มีระยะห่างระหว่างจุด ของเส้นที่ 1 เท่ากับ 10 เมตร, เส้นที่ 2 เท่ากับ 20 เมตร และเส้นที่ 3 เท่ากับ 10 เมตร และระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจแต่ละเส้น เท่ากับ 40 เมตร ซึ่งมีค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ จากการตรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน เท่ากับ $2,746.23 \pm 322.37 \text{ Bq/m}^3$ และ โดยใช้วิธี CR-39 เท่ากับ $7,303.684 \pm 534.38 \text{ Bq/m}^3$ (การคำนวณค่าปกติ ได้แสดงในภาคผนวก ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) แนวการพาดผ่านของรอยเลื่อนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 และร่องสำรวจที่ 1

(ข) แนวการพาดผ่านของแนวรอยเลื่อนในเส้นแนวสำรวจที่ 2, 3 และร่องสำรวจที่ 2

ในเขตพื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาว 80 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 75 องศา พบว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จาก ทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 40 เมตร ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 4 เท่า และในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า

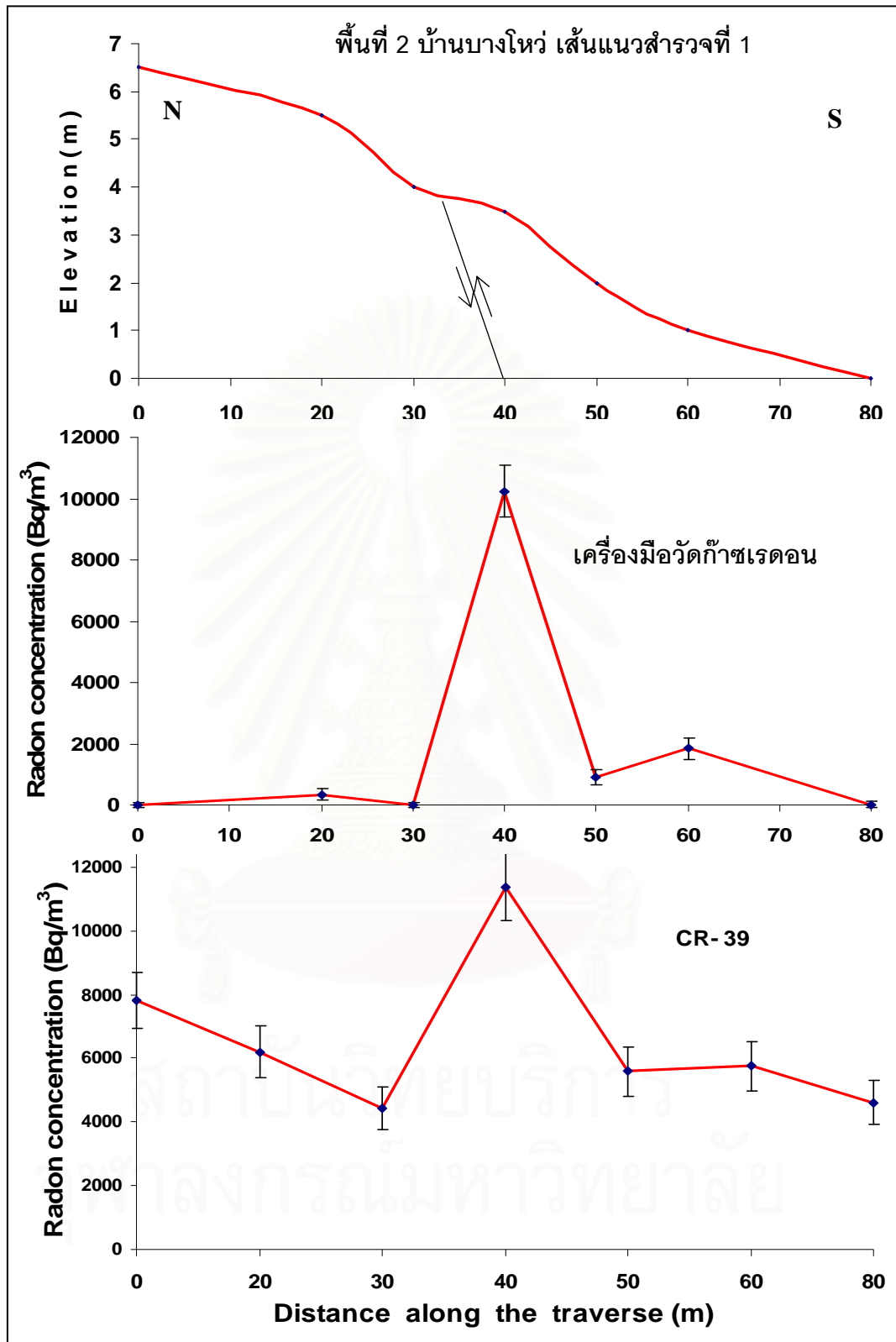
เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาว 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 85 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 100 เมตร ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดโดยการใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 3 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่ง ในตำแหน่ง 100 เมตร ค่าเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดนี้ มีค่าน้อย เนื่องจากมีไอน้ำเกาะติดแผ่นฟิล์ม CR-39

เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาว 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 87 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จาก ทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 10, 40 และ 70 เมตร (พิกัด A, พิกัด B และพิกัด C) ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 10 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่ง ในตำแหน่ง 40 เมตร ค่าเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดนี้ มีค่าน้อย เนื่องจากมีไอน้ำเกาะติดแผ่นฟิล์ม CR-39

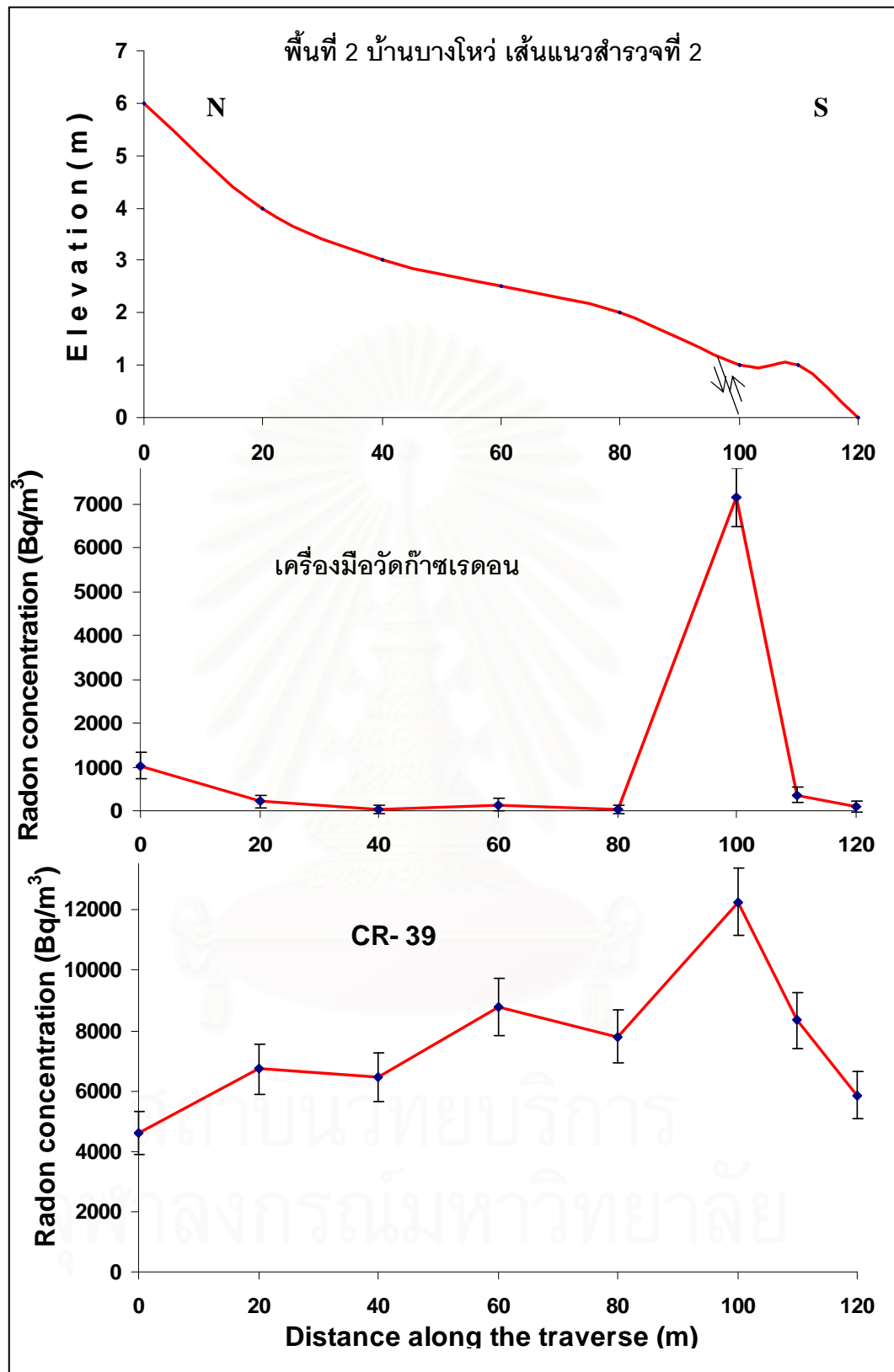
ซึ่งข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของการตรวจวัด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ จะแสดง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจบ้านบางโหว่

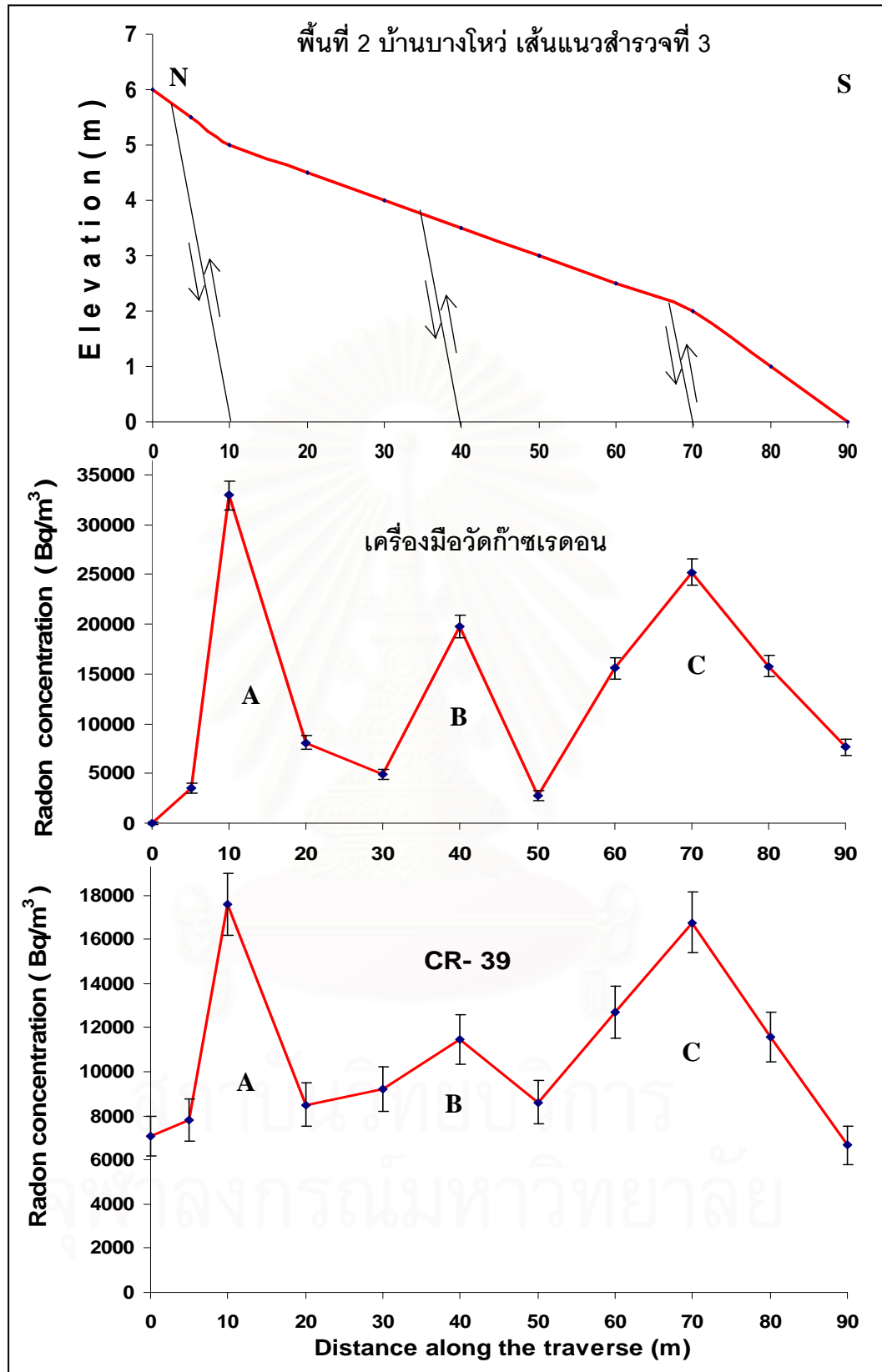
เส้นสำรวจ	ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนต่ำสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m ³)	ค่าปกติโดยเฉลี่ย	
				เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	CR-39 (Bq/m ³)
1	11,373.11±1,062.24	8.46±91.70	4,224.59±540.30	523.57±177.66	5,730.50±765.8
2	12,264.04±1,101.02	18.87±97.43	4,368.93±537.53	269.64±137.97	6,943.88±837.4
3	32,914.36±1486.22	4.2±70.45	11,547.24±961.4	7,277.33±647.28	9,018.49±1,008



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านบางโหว่ ตำบลพยุหะเลื่อน อำเภอนวม จังหวัดสุราษฎร์ธานี



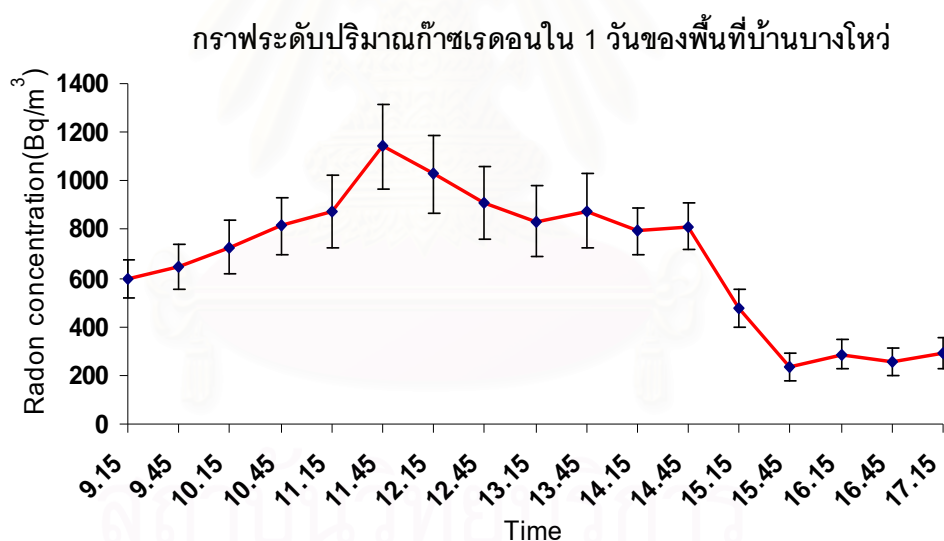
รูปที่ 4.15 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 4.16 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านบางโหว่ ตำบลพลู เลื่อน อำเภอนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

4.2.2.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนใน 1 วัน

ได้ทำการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา 1 วัน (ช่วงเวลา ตั้งแต่ 9.15 -17.15 น.) เช่นเดียวกันกับใน หัวข้อ 4.2.2.1 ในพื้นที่บ้านบางลึก ซึ่งผลการตรวจวัดแสดงในรูปที่ 4.17 ปริมาณก๊าซเรดอนโดยเฉลี่ยในพื้นที่ ถือได้ว่ามีค่าสูงซึ่งในโครงการศึกษาปริมาณก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนองครักษ์ บริเวณศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องครักษ์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา 1 วัน ซึ่งผลที่ได้ แสดงลักษณะปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้เหมือนกับกรณีของพื้นที่บ้านบางใหม่ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลที่ตรวจวัดได้ เปรียบเทียบกับก๊าซเรดอนที่วัดได้จากตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่ พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา ถึงแม้จะมีค่าสูงกว่าค่าปกติในธรรมชาติมาก แต่ค่าที่ได้ อยู่ในระดับเท่ากับค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ ซึ่งไม่มีผลกระทบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในแต่ละช่วงเวลา และแต่ละแนวสำรวจ ในพื้นที่ได้ ซึ่งอัตราการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรดอนจะแปรปรวนขึ้นกับเวลา และสถานที่ ในการตรวจวัด



รูปที่ 4.17 กราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรดอนภายใน 1 วันของพื้นที่

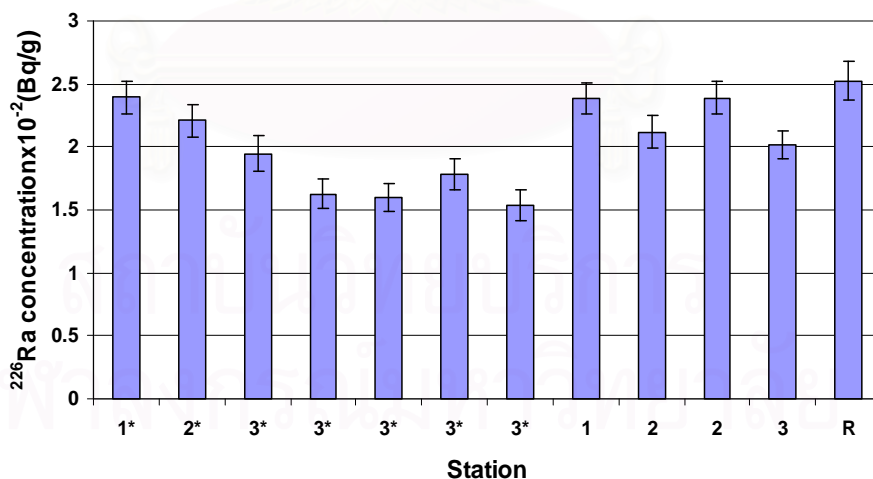
4.2.2.2 ตำแหน่งอ้างอิง

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) จำนวน 1 ตำแหน่ง ในบริเวณที่ห่างจากพื้นที่ ที่ทำการศึกษา ประมาณ 500 เมตร ในทิศตะวันตกของพื้นที่ (พิกัด E468355, N960772) และเก็บตัวอย่างดินมาทำการวิเคราะห์ปริมาณ ²²⁶Ra ที่อยู่ในดิน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดในตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งผลได้แสดงในรูปที่ 4.18 และตารางที่ ง-4 ทำให้สามารถสรุปผล ได้

ว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ จากทั้ง 2 วิธี ในตำแหน่งอ้างอิงนั้น มีปริมาณก๊าซเรดอนน้อย อยู่ในเกณฑ์เท่ากับค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า ในตำแหน่งรอยเลื่อนจะมีปริมาณก๊าซเรดอนที่สูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ

4.2.2.3 ปริมาณ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินในจุดที่มีการตรวจวัดก๊าซเรดอน

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน นำมาไปวิเคราะห์หาปริมาณ ^{226}Ra เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งเดียวกัน กับการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 40 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 50 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่, ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 100 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 60 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ และในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 10, 40, 60, 70 และ 80 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 20 และ 90 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ โดยทำการวิเคราะห์ผล พบว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งนั้นๆ มาจากก๊าซในดิน (soil gas) มากกว่ามาจากปริมาณ ^{226}Ra ที่อยู่ในดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในแต่ละตำแหน่ง ที่เก็บมาตัวอย่างดินมาวิเคราะห์นั้น มีปริมาณน้อย (1 กรัมให้ค่าความแรงรังสีของ ^{226}Ra ประมาณ 0.018 Bq) เมื่อสลายตัว จะปลดปล่อยให้ปริมาณก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งไม่สามารถส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนั้นๆ ได้



หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3

1, 2, 3 = ค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2, และ 3

R = ตำแหน่งอ้างอิง

รูปที่ 4.18 กราฟแท่งแสดงระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่บ้านบางโหว่

ในพื้นที่ศึกษานี้ ได้มีการขุดร่องสำรวจของนักธรณีวิทยา โดยทำการขุดร่องสำรวจจำนวน 2 ร่อง โดยร่องสำรวจที่ 1 ห่างจากเส้นแนวการสำรวจที่ 1 ประมาณ 5 เมตร ลักษณะร่องขุดสำรวจ กว้าง 3 เมตร ยาว 13 เมตร ลึก 3.0 เมตร (โดยเฉลี่ย) โดยร่องสำรวจวางตัวในทิศทางประมาณ 290 องศา พิกัด 468353 E/ 960873N เมื่อนักธรณีได้ทำการวิเคราะห์ทางธรณีสัญญาณพบว่า มีรอยแตก 1 รอย (แนวรอยเลื่อน) ปรากฏที่ระยะ 5 เมตร ของผนังด้านตะวันตกเฉียงใต้จากขอบทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.13 ก) และได้มีการขุดร่องสำรวจที่ 2 อยู่ระหว่างเส้นแนวสำรวจที่ 2 กับ เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีลักษณะ กว้าง 3 เมตร ยาว 26 เมตร ลึก 4 เมตร (โดยเฉลี่ย) โดยร่องสำรวจวางตัวในทิศทางประมาณ 290 องศา พิกัด 468368 E/ 960828 N ที่ระยะ 22 เมตร พบรอยแตกจำนวน 1 รอย (แนวรอยเลื่อน) ของผนังด้านตะวันออกเฉียงเหนือ จากขอบทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ (รูป 4.13 ข) นอกเหนือจากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ ในการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนในพื้นที่นี้ ยังมีการใช้เทคนิคอื่นในการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนด้วย คือ การสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) จำนวน 5 แนว จากผลการสำรวจรายละเอียด พบบริเวณที่คาดว่าเป็นรอยแตก ที่ระยะ 26-28 , 73-75 เมตร ของแนวสำรวจที่ 1 และ ที่ระยะ 28-30 เมตร ของแนวสำรวจที่ 3 (ข้อมูลจากโครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย)) ซึ่งเมื่อสรุปผลจากข้อมูลต่างๆ ที่ได้ คือ ผลจากการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในงานวิจัย, ผลจากการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) และ ผลจากการขุดร่องสำรวจของนักธรณี สามารถระบุลักษณะการพาดผ่านของแนวรอยเลื่อน ได้ดังนี้

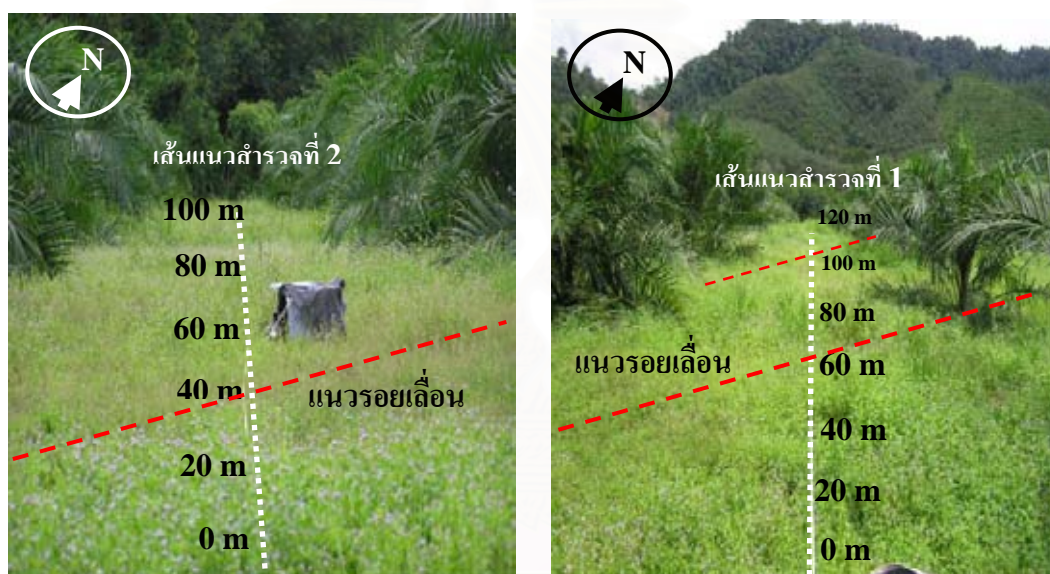
ก. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 40 เมตร ตรงกับตำแหน่งรอยแตกที่ 1 (แนวรอยเลื่อน) ที่ระยะ 5 เมตรในร่องสำรวจ และตรงกับตำแหน่งการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ในแนวสำรวจที่ 1 ที่ระยะ 26-28 เมตร

ข. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 100 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ไม่ตรงกับตำแหน่งใดเลย ทั้งในร่องขุดสำรวจ และเส้นแนวสำรวจที่ 1 และ 3 เนื่องจากความยาวของเส้นแนวสำรวจที่ 2 ยาวมากกว่าเส้นแนวสำรวจที่ 1, 3 และร่องสำรวจ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบตำแหน่งกันได้

ค. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 10 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ตรงกับ ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 40 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ส่วนในตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 40 เมตร ตรงกับตำแหน่งของรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ที่ระยะ 22 เมตร ในร่องสำรวจที่ 2 และ ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 70 เมตร ตรงกับตำแหน่งการสำรวจสภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ในแนวสำรวจที่ 1 ที่ระยะ 73-75 เมตร

4.4.3 พื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหริย อำเภอบึงปูด จังหวัดพังงา พิกัด 464145E / 952834N

ในพื้นที่บ้านปากด่าน ได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจ 3 แนว มีจุดตรวจวัดทั้งหมด 29 จุด มีระยะห่างระหว่างจุด ของเส้นที่ 1 เท่ากับ 20 เมตร, เส้นที่ 2 เท่ากับ 10 เมตร และเส้นที่ 3 เท่ากับ 20 เมตร และระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจที่ 1 และ 2 เท่ากับ 20 เมตร และระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจที่ 2 และ 3 เท่ากับ 50 เมตร ซึ่งมีค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ จากการตรวจวัดปริมาณก๊าสเรดอน โดยใช้เครื่องวัดก๊าสเรดอน เท่ากับ $5,726.80 \pm 458.34 \text{ Bq/m}^3$ และ โดยการใช้ CR-39 เท่ากับ $5,216.663 \pm 639.55 \text{ Bq/m}^3$ (การคำนวณค่าปกติ ได้แสดงในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.19 ลักษณะของพื้นที่ และการวางเส้นแนวการสำรวจที่ 1 และเส้นแนวสำรวจที่ 2

เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาว 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 90 องศา ปริมาณก๊าสเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าสเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 60 และ 100 เมตร (พีค A และ พีค B) ซึ่งปริมาณก๊าสเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดก๊าสเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 2 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่งในตำแหน่ง 60 เมตร ค่าเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดนี้ มีค่าน้อย เนื่องจากมีไอน้ำเกาะติดแผ่นฟิล์ม CR-39

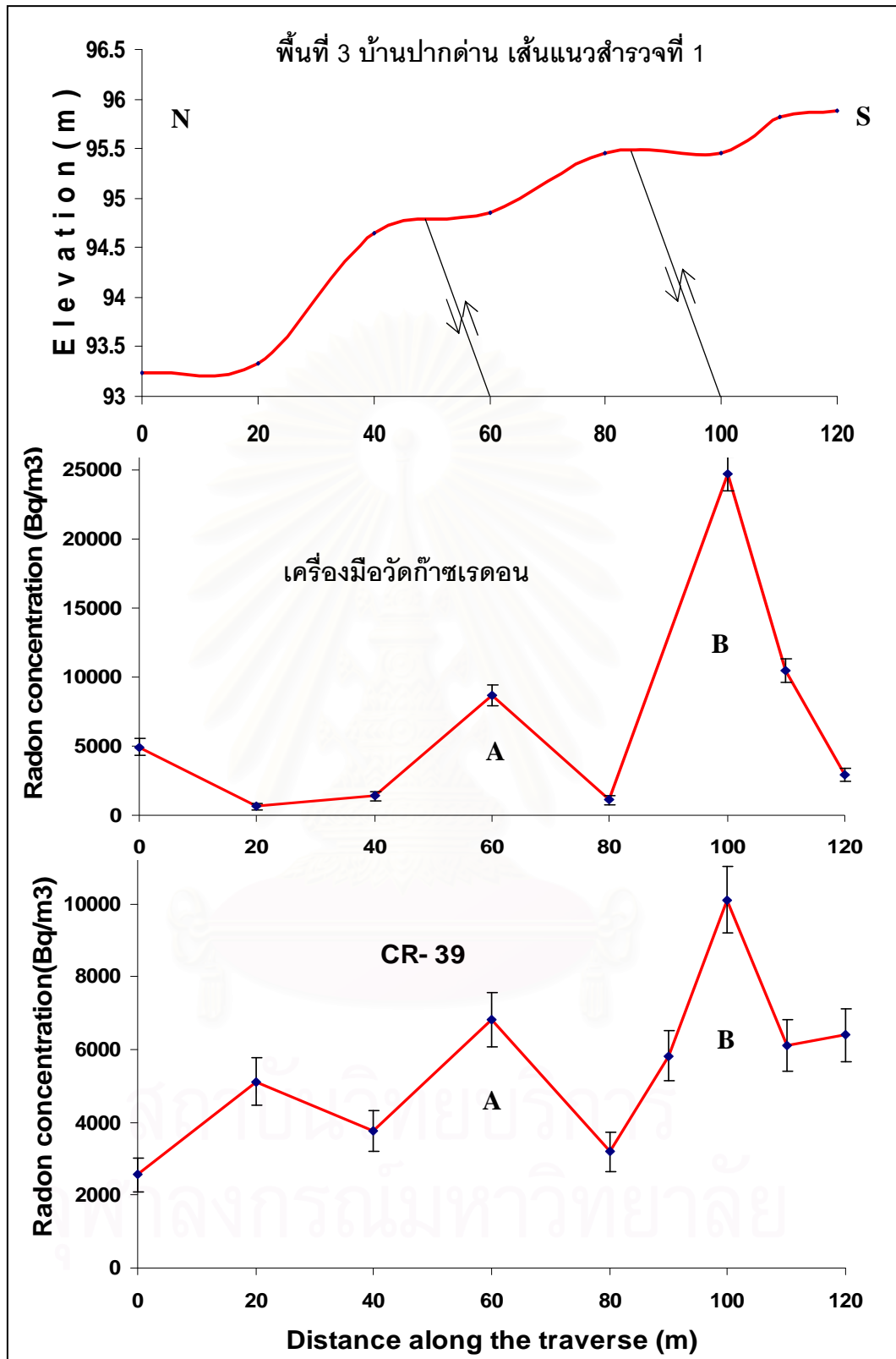
เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาว 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 88 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 40 เมตร ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งพิกัด ที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 5 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า

เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาว 120 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 75 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 20, 60 และ 100 เมตร (พิกัด A, พิกัด B และ พิกัด C) ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 4 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่งในตำแหน่ง 60 และ 100 เมตร ค่าเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดนี้ มีค่าน้อย เนื่องจากมีไอน้ำเกาะติดแผ่นฟิล์ม CR-39

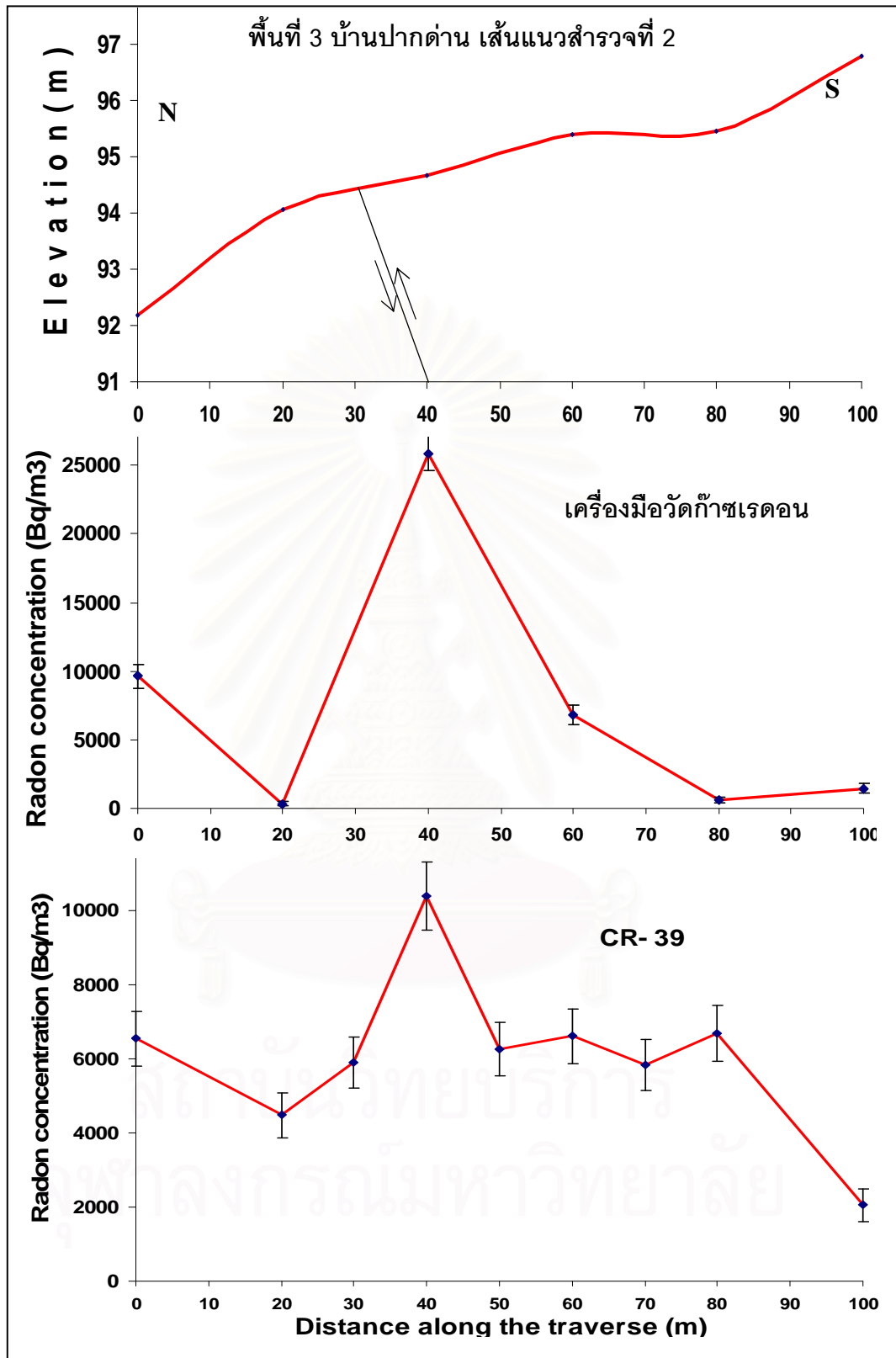
ซึ่งข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของการตรวจวัด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ จะแสดง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พื้นที่บ้านปากด่าน

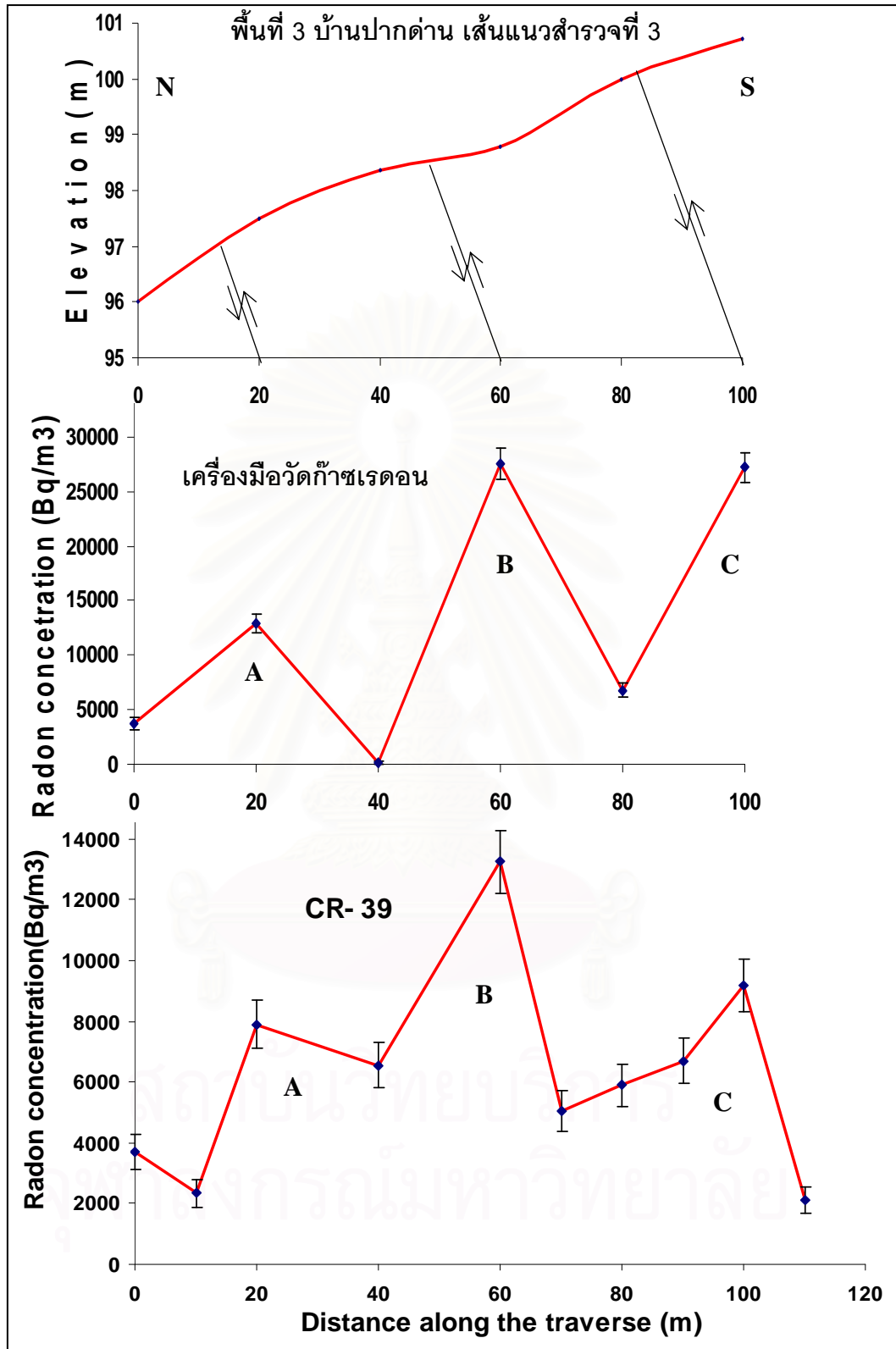
เส้นสำรวจ	ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนต่ำสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m ³)	ค่าปกติโดยเฉลี่ย	
				เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	CR-39 (Bq/m ³)
1	24,734.54±1,247.131	625.74±220.35	6,114.563±605.90	3,570.58±452.28	4,945.6±558.05
2	25,865.36±1,303.724	339.45±186.55	6,768.3±610.8	4,711.21±569.90	5,546.29±610.8
3	27,522.94±1389.85	164.56±164.45	9,657.55±776.732	10,154.04±744.9	5,490.94±664.8



รูปที่ 4.20 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอบ้านปลิว จังหวัดพังงา



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านบ้านปากด่าน ตำบล บางเหริ่ง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา



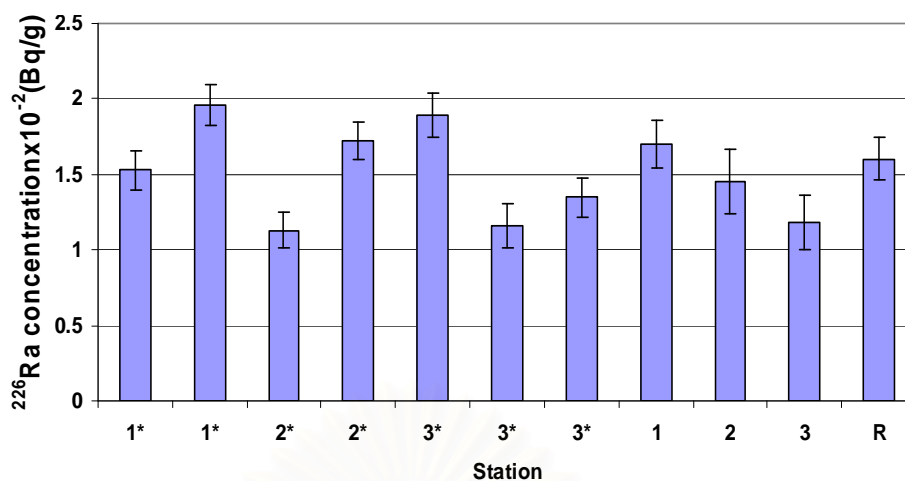
รูปที่ 4.22 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านปากด่าน ตำบล บางเหริยง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา

4.4.3.1 ตำแหน่งอ้างอิง

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) จำนวน 1 ตำแหน่ง ในบริเวณที่ห่างจากพื้นที่ศึกษา ประมาณ 700 เมตร ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ (พิกัด E464203,N952654) และทำการเก็บตัวอย่างดิน มาทำการวิเคราะห์ปริมาณ ^{226}Ra ที่อยู่ในดินด้วย เพื่อเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดแนวรอยเลื่อนในตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งผลได้แสดงในรูปที่ 4.23 และตารางที่ ๑-4 ทำให้สามารถสรุปผล ได้ว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ จากทั้ง 2 วิธี ในตำแหน่งอ้างอิงนั้น มีปริมาณก๊าซเรดอนน้อย อยู่ในเกณฑ์เท่ากับค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า ในตำแหน่งรอยเลื่อนจะมีปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าในตำแหน่งอื่นๆ

4.4.3.2 ปริมาณ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินในตำแหน่งการตรวจวัดก๊าซเรดอน

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ^{226}Ra เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งเดียวกัน กับการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ พิกัด A และ พิกัด B และทำการเก็บในตำแหน่ง 80 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่, ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 0 และ 40 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 60 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ และในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ที่ พิกัด A, พิกัด B และ พิกัด C และทำการเก็บในตำแหน่ง 40 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ โดยได้ทำการวิเคราะห์ผล พบว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งนั้นๆ มาจากก๊าซในดิน (soil gas) มากกว่ามาจากการสลายตัวของปริมาณ ^{226}Ra ที่อยู่ในดิน ในตำแหน่งนั้นๆ เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในแต่ละตำแหน่ง ที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้น มีปริมาณน้อย (1 กรัมให้ค่าความแรงรังสีของ ^{226}Ra ประมาณ 0.015 Bq) เมื่อสลายตัวแล้ว ปลดปล่อยให้ปริมาณก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งไม่สามารถส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนั้นๆ ได้



หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3

1, 2, 3 = ค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2, และ 3

R = ตำแหน่งอ้างอิง

รูปที่ 4.23 กราฟแท่งระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่บ้านปากด่าน

ในพื้นที่ มีการขุดร่องสำรวจของนักธรณีวิทยา โดยทำการขุดร่องสำรวจ จำนวน 2 ร่อง โดยร่องสำรวจที่ 1 อยู่บนเส้นแนวสำรวจที่ 1 ลักษณะร่องขุดสำรวจ วางตัวในทิศทางประมาณ 285 องศา กว้าง 3.5 เมตร ยาว 15 - 30 เมตร ลึก 3.5 เมตร และขุดร่องสำรวจที่ 2 อยู่บนเส้นแนวสำรวจที่ 2 ลักษณะของร่องขุดสำรวจ วางตัวในทิศทางประมาณ 285 องศา กว้าง 3.5 เมตร ยาว 15 - 30 เมตร ลึก 3.5 เมตร เมื่อนักธรณีได้ทำการวิเคราะห์ทางธรณีสิ่งแวดล้อม ผลปรากฏว่าไม่พบรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ในร่องสำรวจทั้ง 2 ร่องเลย (ข้อมูลจากโครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย)) ซึ่งเมื่อทำการสรุปผลจากข้อมูลต่างๆ ที่ได้ คือ ผลจากการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน และผลจากการขุดร่องสำรวจ ทำให้สามารถระบุลักษณะการพาดผ่านของแนวรอยเลื่อน ดังนี้

ก. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 60 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ตรงกับ และตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 60 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 3

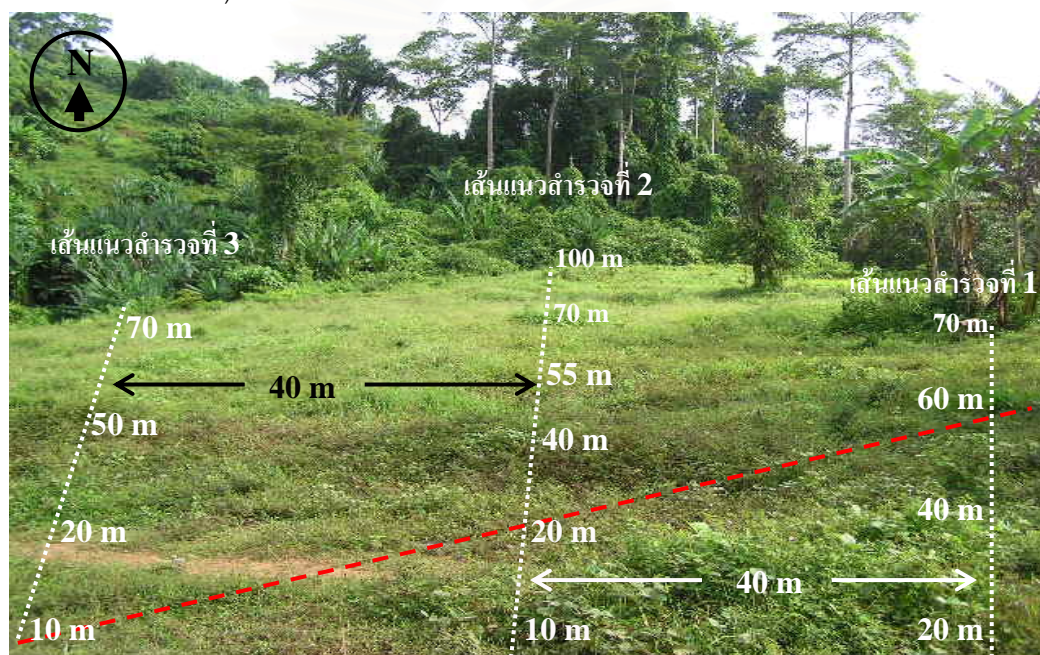
ข. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ระยะ 40 เมตร เส้นแนวสำรวจที่ 2

ค. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 100 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ตรงกับตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 100 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 3

ง. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 20 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ไม่ตรงกับตำแหน่งใดเลย

4.4.4 พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พิกัด 480330,989551

ในพื้นที่ศึกษานี้ ได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจ 3 แนว มีจุดตรวจวัดทั้งหมด 25 จุด มีระยะห่างระหว่างจุด ของเส้นแนวสำรวจที่ 1 เท่ากับ 20 เมตร, เส้นที่ 2 เท่ากับ 10 เมตร และเส้นที่ 3 เท่ากับ 10 เมตร และระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจ เท่ากับ 40 เมตร ซึ่งมีค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ ในการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอนเท่ากับ $7,850.54 \pm 590.04$ Bq/m³ และในการใช้ CR-39 เท่ากับ $7,831.035 \pm 823.52$ Bq/m³ (การคำนวณค่าปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ ได้แสดงในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.24 ตำแหน่งเส้นแนวสำรวจ จำนวน 3 แนวในพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาว 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 110 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุด ที่ตำแหน่ง 60 เมตร ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 14 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 3 เท่า

เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาว 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 87 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 20 และ 40 เมตร (พิกัด A และ พิกัด B) ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มี

ค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 13 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 3 เท่า ซึ่งในตำแหน่ง 40 เมตร ค่าเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดนี้มีค่าน้อย เนื่องจากมีไอน้ำเกาะติดแผ่นฟิล์ม CR-39

เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาว 70 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 83 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 50 เมตร ถึงแม้ค่าเรดอนที่วัดได้จะมีค่าไม่สูงมาก แต่ยังคงให้เห็นถึงความแตกต่างเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นในขั้นต้นจะระบุว่า น่าจะมีแนวรอยเลื่อนในตำแหน่งนี้ ซึ่งจะต้องมีการสำรวจในรายละเอียดเพิ่มเติมต่อไป ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 2 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 1 เท่า

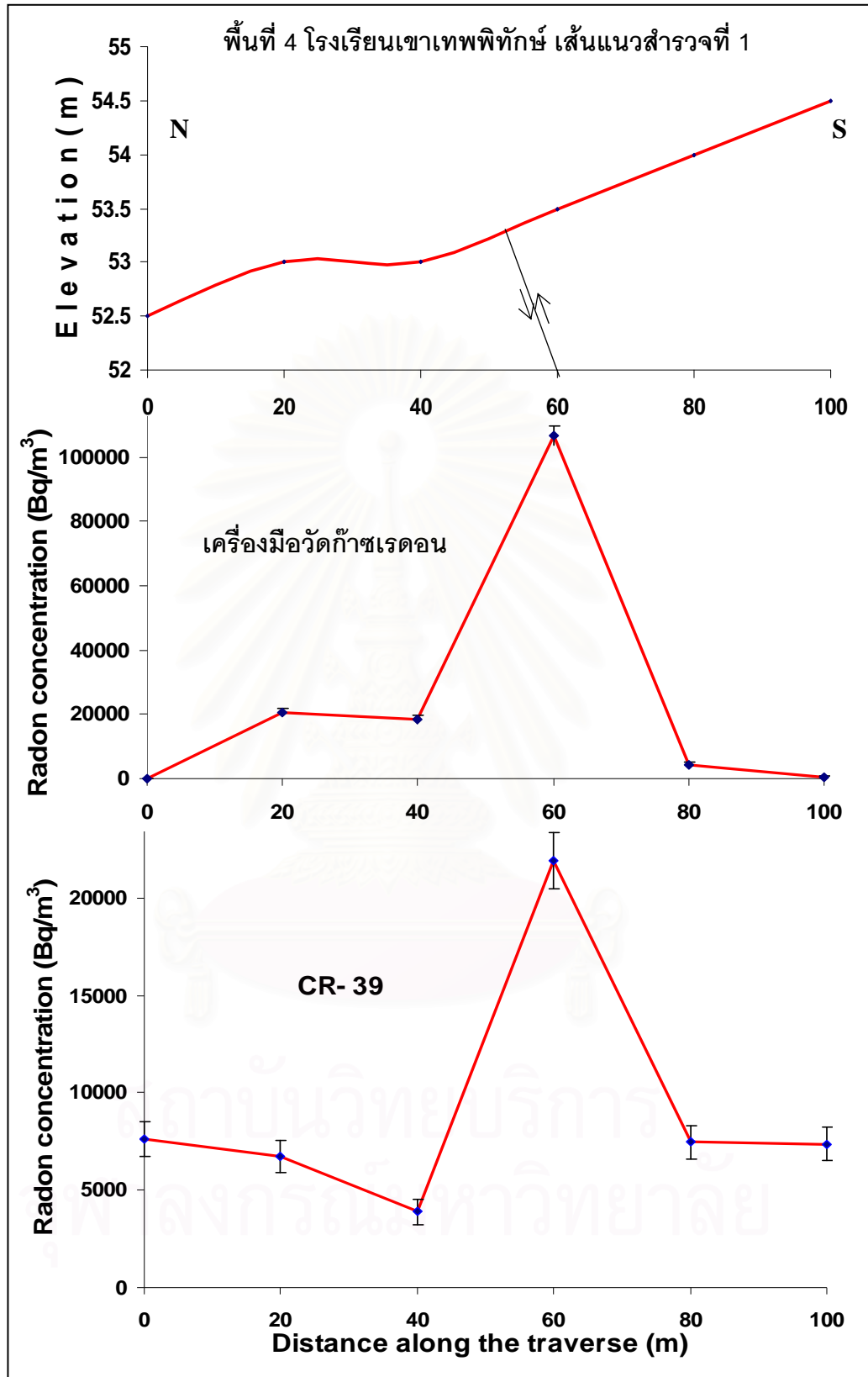
ซึ่งข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของการตรวจวัดในแต่ละเส้นแนวสำรวจ จะแสดง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์

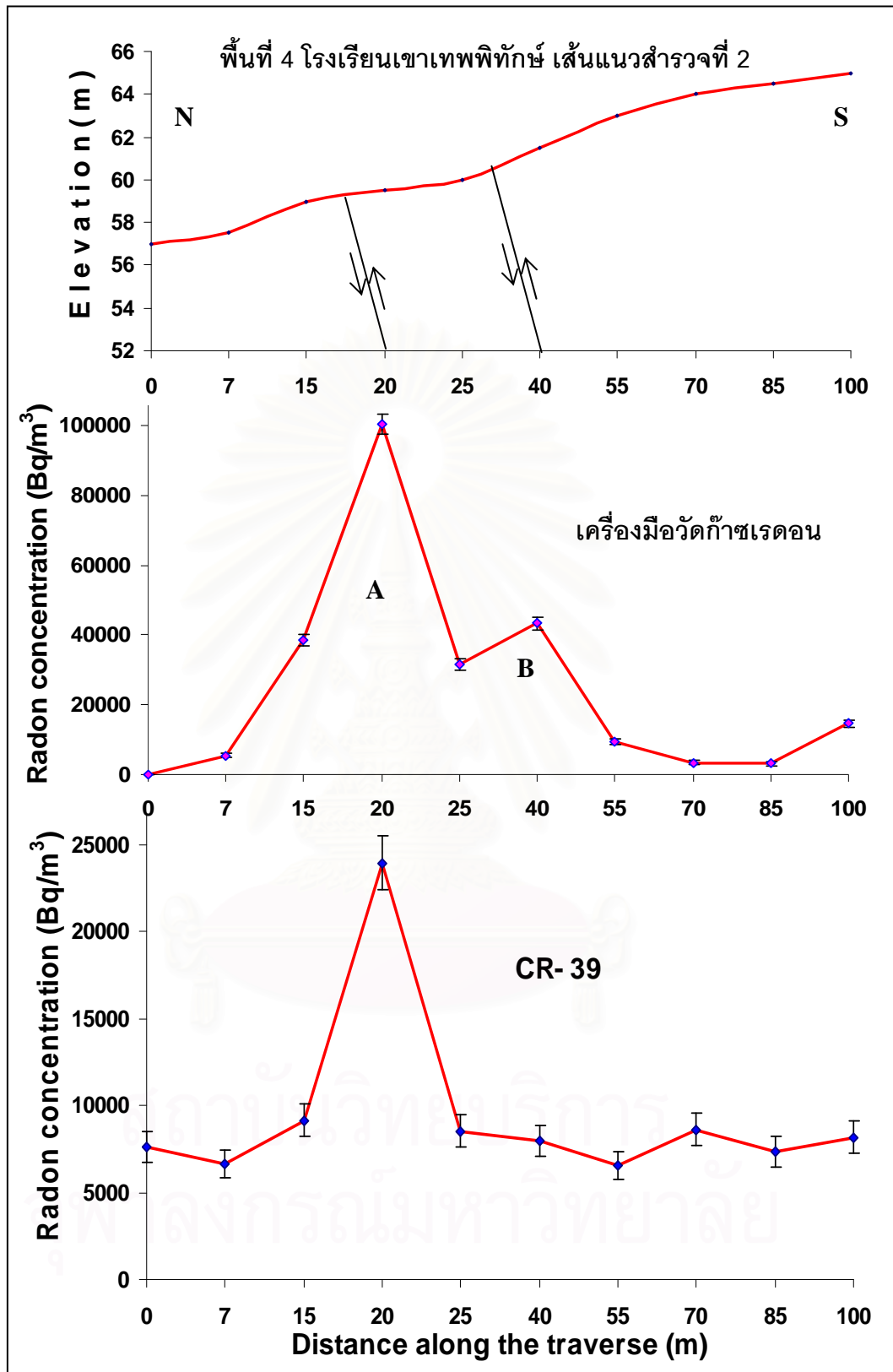
เส้นสำรวจ	ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนต่ำสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m ³)	ค่าปกติโดยเฉลี่ย	
				เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	CR-39 (Bq/m ³)
1	106,538.8±2,963	46.41±120.46	17,119.99±992.63	9,786.90±681.79	6,515.50±817.3
2	100,386.2±2,862.22	46.41±120.46	17,258.6±1,041.7	13,255.09±813.8	7,849±890.13
3	3,999.63±515.95	25.15±98.98	5,406.75±582.89	1,509.87±330.32	8,669.38±1,002

4.4.4.1 ตำแหน่งอ้างอิง

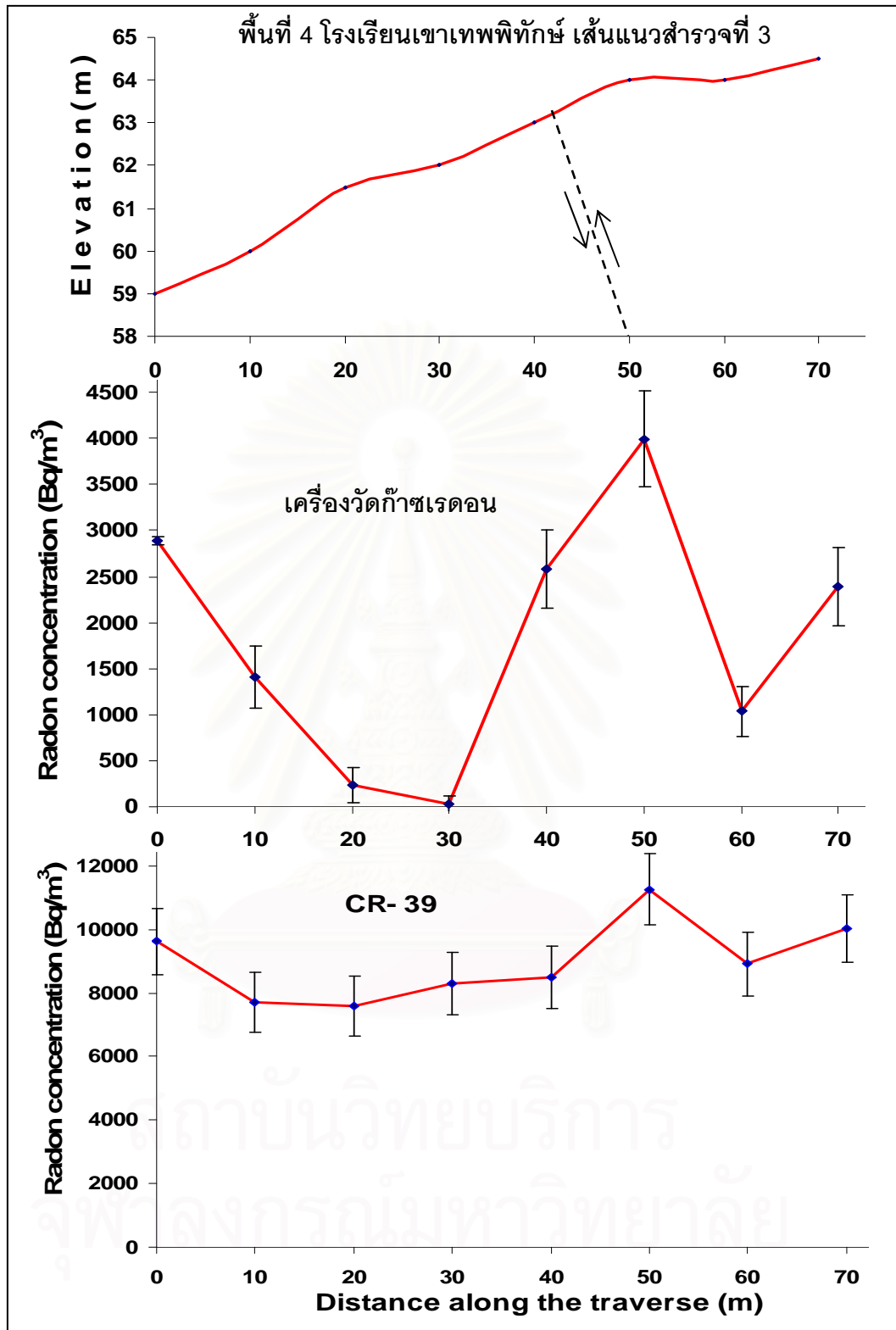
ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) จำนวน 3 ตำแหน่ง ในบริเวณต่างๆ ดังนี้ ในตำแหน่ง ที่ระยะ 10 (S), 20 (SE), 40 (SE) กิโลเมตร ห่างจากพื้นที่ศึกษา และทำการเก็บตัวอย่างดินมาทำการวิเคราะห์ปริมาณ ²²⁶Ra ที่อยู่ในดิน เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรดอน ซึ่งผลได้แสดงในรูปที่ 4.28 และตารางที่ 4-4 ทำให้สามารถสรุปผล ได้ว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ จากทั้ง 2 วิธี ในตำแหน่งอ้างอิง นั้น มีปริมาณก๊าซเรดอนน้อย อยู่ในเกณฑ์เท่ากับค่าเฉลี่ยปกติในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า ในตำแหน่งรอยเลื่อนจะมีปริมาณก๊าซเรดอนที่สูงกว่าตรงตำแหน่งอื่นๆ



รูปที่ 4.25 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี



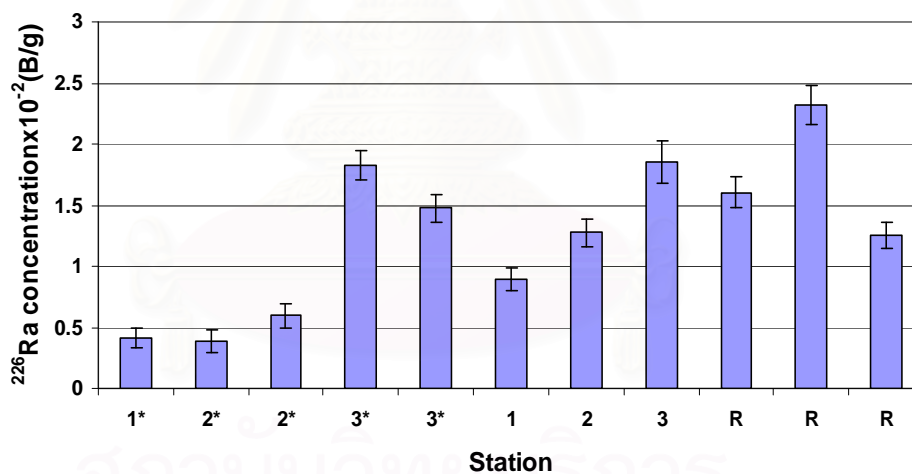
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 4.27 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นประแทนตำแหน่งที่คาดว่าจะ เป็นแนวรอยเลื่อน)

4.4.4.2 ปริมาณ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินในตำแหน่งการตรวจวัดก๊าซเรดอน

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณ ^{226}Ra เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งเดียวกัน กับการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุดที่ระยะ 60 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 80 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่, ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงที่ระยะ 20 และ 40 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 70 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ และในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงที่ระยะ 0 และ 50 เมตร และทำการเก็บในตำแหน่ง 60 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ ทำการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งนั้นๆ มาจากก๊าซในดิน (soil gas) มากกว่ามาจากการสลายตัวของ ^{226}Ra ที่อยู่ในดิน ในตำแหน่งนั้นๆ เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในแต่ละตำแหน่ง ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์นั้น มีปริมาณน้อยมาก (1 กรัมให้ค่าความแรงรังสีของ ^{226}Ra ประมาณ 0.009 Bq) เมื่อสลายตัวแล้ว จะปลดปล่อยให้ปริมาณก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งไม่สามารถส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนั้นๆ ได้



หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3

1, 2, 3 = ค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2, และ 3

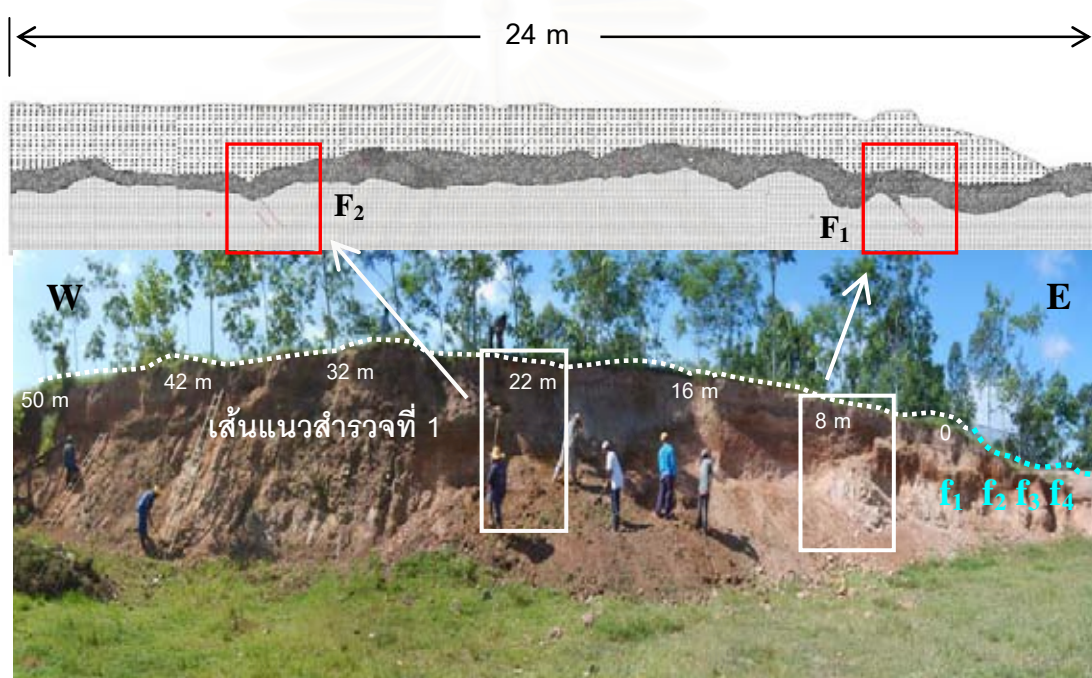
R = ตำแหน่งอ้างอิง

รูปที่ 4.28 กราฟระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์

เนื่องจากในขณะที่ทำการศึกษา และวิจัยในพื้นที่นี้ นักธรณีวิทยายังไม่ได้ทำการขุดร่องสำรวจ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ โดยเฉพาะบริเวณที่ตรวจพบปริมาณก๊าซเรดอนสูง จึงสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของนักธรณีวิทยา หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

4.4.5 พื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี พิกัด 496376E 1018694 N

ในพื้นที่ศึกษานี้ ได้ทำการวางเส้นแนวสำรวจ 3 แนว มีจุดตรวจวัดทั้งหมด 28 จุด มีระยะห่างระหว่างจุด ของเส้นแนวสำรวจที่ 1 เท่ากับ 8 เมตร, เส้นที่ 2 เท่ากับ 7 เมตร และเส้นที่ 3 เท่ากับ 20 เมตร ระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจที่ 1 และ 2 เท่ากับ 30 เมตร และระยะห่างระหว่างเส้นแนวสำรวจที่ 2 และ 3 เท่ากับ 40 เมตร ซึ่งมีค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ จากการตรวจวัดในเครื่องวัดก๊าซเรดอน เท่ากับ $697.26 \pm 308.83 \text{ Bq/m}^3$ และใน CR-39 เท่ากับ $4,096.38 \pm 619.49 \text{ Bq/m}^3$ (การคำนวณค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่แสดงในภาคผนวก ซ)



รูปที่ 4.29 ลักษณะการวางเส้นแนวสำรวจที่ 1 บนผนังเปิดหน้าดินในพื้นที่ บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งปรากฏมีตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน 2 จุด ตรงกับตำแหน่งการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ 8, 22 เมตร

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีลักษณะเป็นรอยแตก และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบแล้ว ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของเส้นแนวการสำรวจที่ 1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งข้อมูลที่ทำกรตรวจวัด มีดังนี้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ ในตำแหน่งรอยแตก และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบ

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(In-situ) concentration(Bq/m ³)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m ³)
1,2	f ₁	496421,1018725	514.81±320.48	3,515.78±558.713
1,2	f ₂	496418,1018728	494.85±319.43	4,118.21±628.56
1,2*	f ₃	496415,1018730	648.15±342.38	3,752.19±601.48
1,2	f ₄	496413,1018731	471.56±302.23	4,058.45±583.75

หมายเหตุ 1 = In-situ, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม), f₁-f₄ = ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด fault เก้า และ fracture

จากปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งรอยแตก และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบแล้ว มีค่าอยู่ในระดับปกติโดยเฉลี่ยของพื้นที่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลัง จะมีปริมาณก๊าซเรดอนมากกว่าในตำแหน่งรอยแตก และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบแล้ว เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งนี้ ไปวิเคราะห์หาปริมาณ ²²⁶Ra เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ ผลปรากฏว่า ปริมาณ ²²⁶Ra ในแต่ละตำแหน่ง ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์นั้น มีปริมาณน้อยมาก (1 กรัมให้รังสีประมาณ 0.007 Bq) เมื่อสลายตัวแล้ว จึงปลดปล่อยให้ปริมาณก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่สามารถส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนี้ได้ (รูปที่ 4.33)

เส้นแนวสำรวจที่ 1 มีความยาว 50 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 68 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 8 และ 22 เมตร (พิกัด A และ พิกัด B) ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 7 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 3 เท่า

เส้นแนวสำรวจที่ 2 มีความยาว 50 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 72 องศา ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 20 เมตร ถึงแม้ค่าเรดอนที่วัดได้จะไม่สูงมาก แต่ยังคงให้เห็นถึงความแตกต่างเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นในขั้นต้นจึงระบุว่า น่าจะมีแนวรอยเลื่อนในตำแหน่งนี้ ซึ่งจะต้องมีการสำรวจในรายละเอียดเพิ่มเติมต่อไป โดยปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 2 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 1 เท่า

เส้นแนวสำรวจที่ 3 มีความยาว 100 เมตร ทำมุมกับแนวรอยเลื่อนประมาณ 75 องศา ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ให้ค่าเรดอนสูงสุดที่ตำแหน่ง 40 เมตร ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งที่มีค่าสูง ที่ได้จากการตรวจวัดในเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน ให้ค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจนี้ ประมาณ 4 เท่า และ ในวิธี CR-39 ให้ค่ามากกว่าประมาณ 1 เท่า

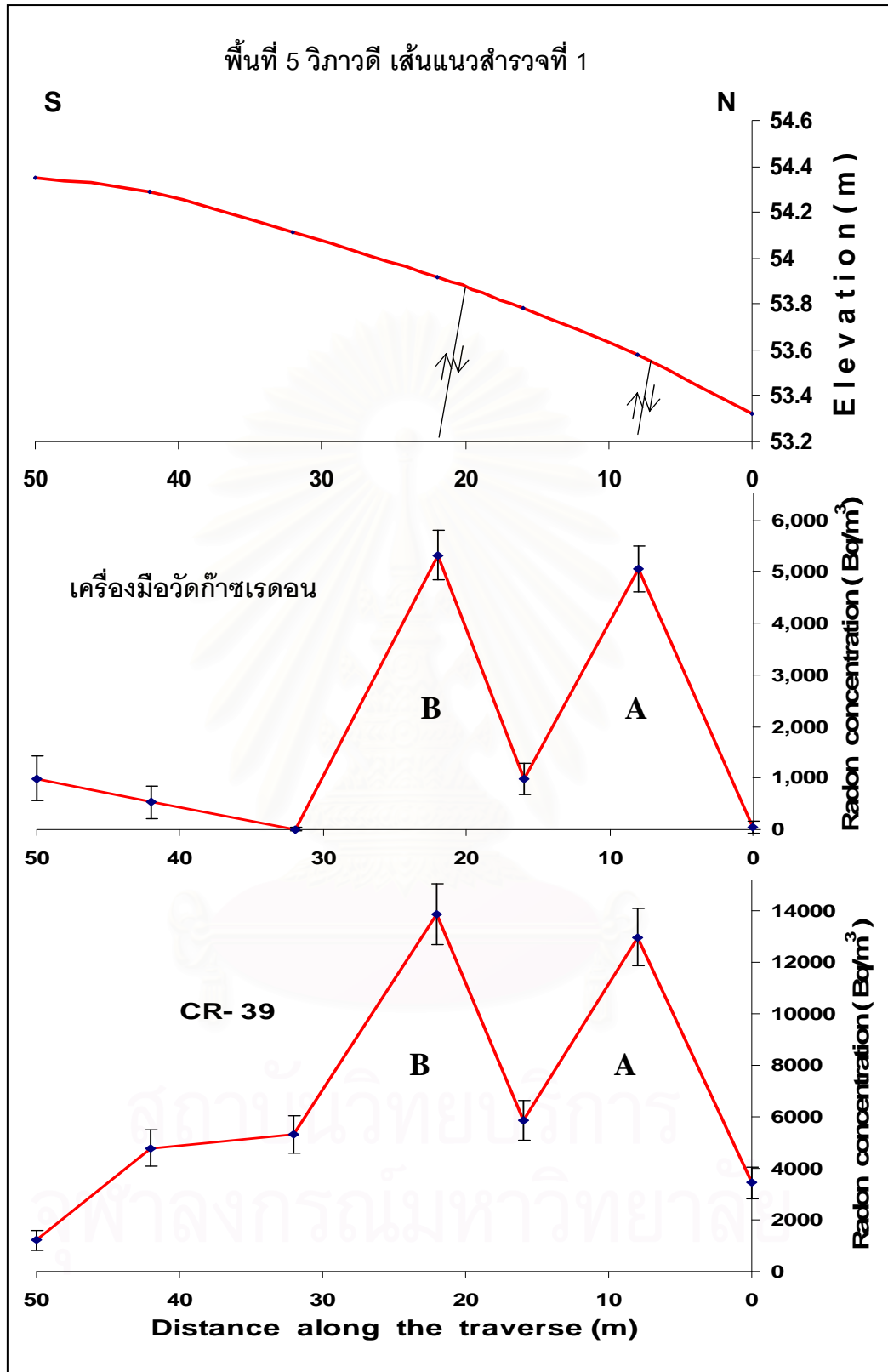
ซึ่งข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของการตรวจวัด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ จะแสดง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ พื้นที่วิภาวดี

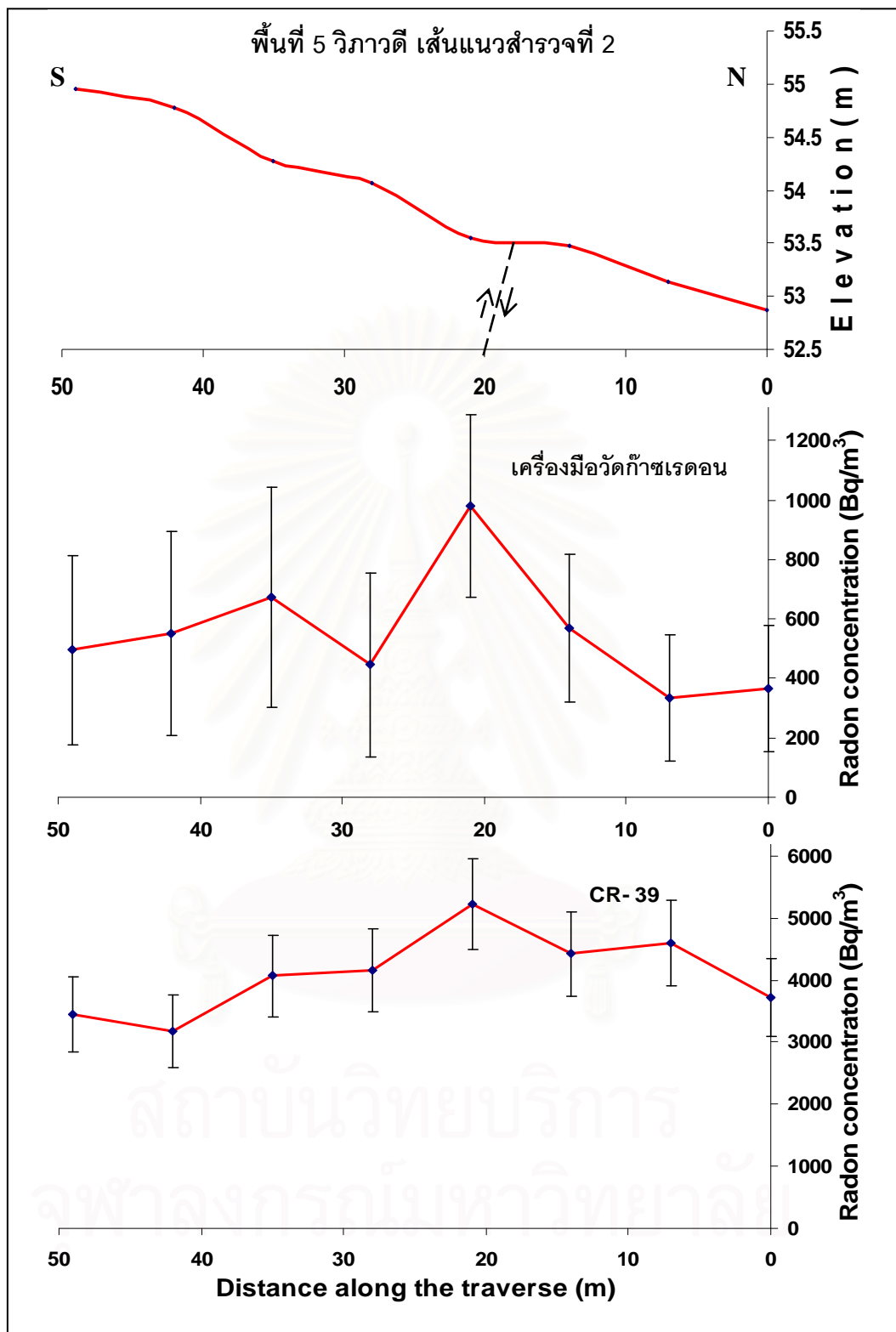
เส้นสำรวจ	ปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนต่ำสุด (Bq/m ³)	ปริมาณก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m ³)	ค่าปกติโดยเฉลี่ย	
				เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	CR-39 (Bq/m ³)
1	13,867.73±1,167.409	8.12±136.46	2,326.33±473.55	490.68 ±288.19	3,911.5±539.87
2	5,225.64±736.72	333.04±212.75	2,326.33±473.55	490.68 ±288.19	3,940.14 ±645.2
3	5,849.295±782.0877	514.85±339.43	2,863.05±503.19	696.93 ±343.78	3,911.5±539.87

4.4.5.1 ตำแหน่งอ้างอิง

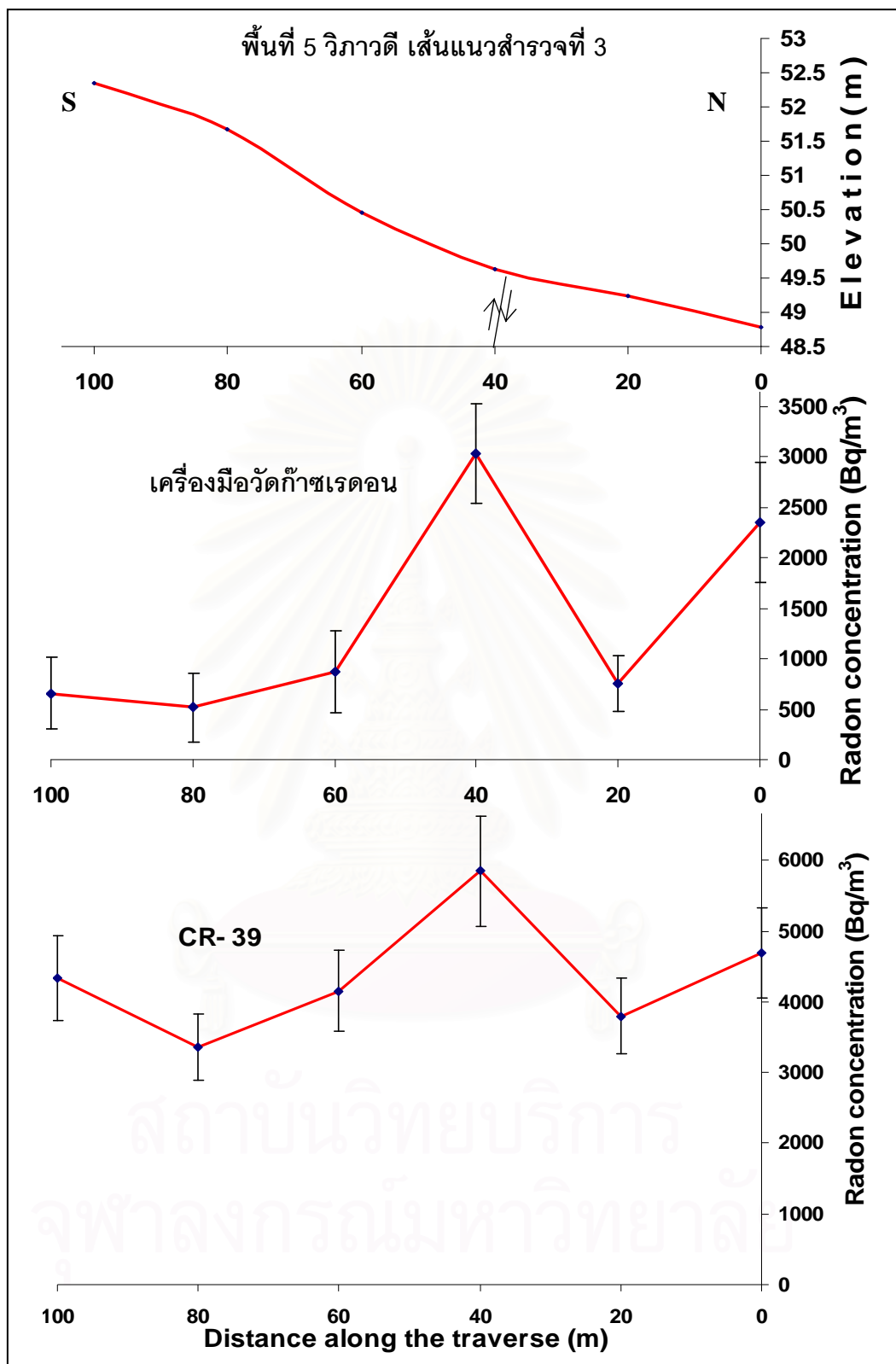
ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) จำนวน 1 ตำแหน่ง ในบริเวณที่ห่างจากพื้นที่ศึกษา ประมาณ 400 เมตร ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ (พิกัด E496335, N1018658) และทำการเก็บตัวอย่างดิน มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณ ²²⁶Ra ที่อยู่ในดิน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลของปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดในตำแหน่งแนวรอยเลื่อนในพื้นที่ศึกษา และนอกบริเวณพื้นที่ศึกษา (ตำแหน่งอ้างอิง) ซึ่งผลได้แสดงในรูปที่ 4.33 และตารางที่ 4-4 ทำให้สามารถสรุปผล ได้ว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ จากทั้ง 2 วิธี ในตำแหน่งอ้างอิงนั้น มีปริมาณก๊าซเรดอนน้อย อยู่ในเกณฑ์เท่ากับค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า ในตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนมีปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าในตำแหน่งอื่นๆ



รูปที่ 4.30 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี



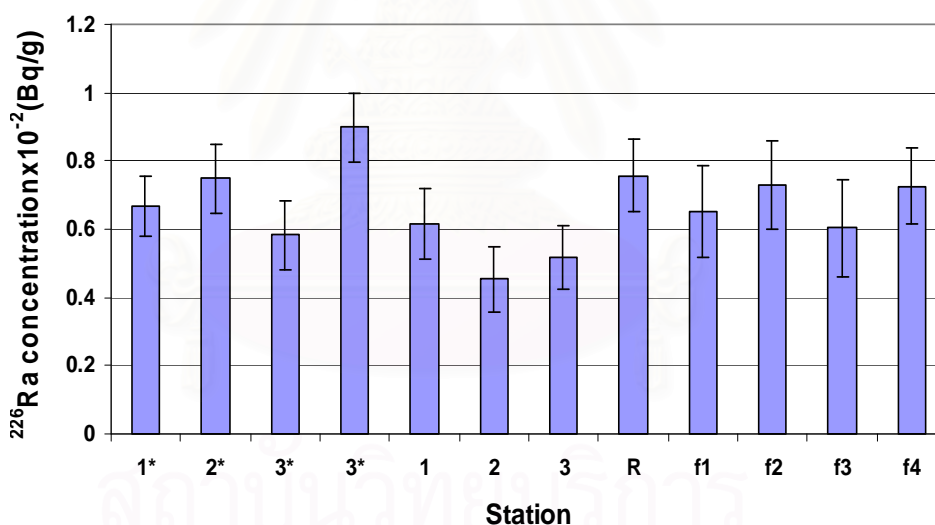
รูปที่ 4.31 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นประแทนตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นแนว รอยเลื่อนในพื้นที่)



รูปที่ 4.32 ตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการแปลความหมายในพื้นที่ เทียบกับตำแหน่ง และขนาด ปริมาณ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 บ้านหัวสะพาน ตำบลตะกุกเหนือ กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

4.4.5.2 ปริมาณ ^{226}Ra ของตัวอย่างดินในจุดตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน

ได้เก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์หาปริมาณ ^{226}Ra เพื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งเดียวกัน กับการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 22 เมตร และในตำแหน่ง 16 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่, ในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ที่ระยะ 21 เมตร และในตำแหน่ง 0 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ และในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 0 และ 40 เมตร และในตำแหน่ง 20 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ โดยจากการวิเคราะห์ผลปรากฏว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนั้นๆ มาจากก๊าซในดิน (soil gas) มากกว่ามาจากการสลายตัวของ ^{226}Ra ที่อยู่ในดิน ในตำแหน่งนั้นๆ เนื่องจาก ปริมาณ ^{226}Ra ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละตำแหน่ง มีปริมาณน้อยมาก (1 กรัมให้ค่าความแรงรังสี ^{226}Ra ประมาณ 0.0065 Bq) เมื่อสลายตัว ไม่สามารถปลดปล่อยให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่มากพอ ที่จะส่งผลต่อปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในตำแหน่งนั้นๆ ได้



หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3

1, 2, 3 = ค่าปกติโดยเฉลี่ยในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2, และ 3

R = ตำแหน่งอ้างอิง และ f = ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด fault เก้า และ fracture

รูปที่ 4.33 กราฟแท่งแสดงระดับปริมาณ ^{226}Ra ในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่วิภาวดี

นักธรณีวิทยาได้ทำการสำรวจ บริเวณที่มีการตักหน้าดินในพื้นที่ ซึ่งเป็นผนังเปิด (open pit) ที่มีการขุดเปิดมาก่อน และมีรอยเลื่อนปรากฏในชั้นตะกอนดิน โดยที่ผนังวางตัว 80 องศา มีความยาวประมาณ 24 เมตร สูง 3 เมตร (โดยเฉลี่ย) ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้าง รอยเลื่อนที่ปรากฏในผนังด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ที่กล่าวถึง มีแนวรอยเลื่อน 2 แนว โดยที่รอยเลื่อน (รอยเฉือน) F_1 ปรากฏที่ระยะ 6 เมตร จากขอบผนังทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ และที่ระยะ 20 เมตร จากขอบผนังด้านตะวันออกเฉียงเหนือพบรอยเลื่อน F_2 แสดงการเลื่อนตัวแบบย้อน (reverse fault) (ข้อมูลจากโครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, ระนอง, สุราษฎร์ธานี, กระบี่, พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย)) เมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจกับตำแหน่งของรอยเลื่อนที่ปรากฏในผนังสำรวจของพื้นที่ ได้ดังนี้

1. ตำแหน่งรอยเลื่อน F_1 ในผนังสำรวจ ที่ระยะ 6 เมตร ตรงกับตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 8 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1
2. ตำแหน่งรอยเลื่อน F_2 ในผนังสำรวจ ที่ระยะ 20 เมตร ตรงกับตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 22 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 1
3. ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง ที่ระยะ 40 เมตร ในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ไม่ตรงกับตำแหน่งใดเลย ทั้งในร่องขุดสำรวจ และเส้นแนวสำรวจที่ 1 และ 2 เนื่องจากความยาวของเส้นแนวสำรวจที่ 3 ยาวมากกว่าเส้นแนวสำรวจที่ 1 และ 2 และร่องสำรวจ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบตำแหน่งกันได้

บทที่ 5

สรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุป และวิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษา และการวิจัยต่างๆ เพื่อทำการระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เช่น ground probing radar, electromagnetic conductivity testing, electrical resistivity หรือ vertical magnetic gradient surveying แต่ยังไม่เคยนำเทคนิคทางนิวเคลียร์มาใช้ ในการระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนมีพลังในงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยชิ้นแรกที่ได้นำเทคนิคทางนิวเคลียร์มาทำการศึกษา และระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนมีพลังและทำแผนที่รอยเลื่อน โดยได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ซึ่งเป็นก๊าซกัมมันตรังสีในธรรมชาติตามแนวรอยเลื่อนมีพลังคลองมะรุ่ย อยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการตรวจวัดในพื้นที่ (In-situ) 2 วิธี คือ การตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (RAD 7) ร่วมกับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น และการตรวจวัดทางอ้อมโดยใช้เทคนิคการกักรอยแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ซึ่งผลการพัฒนาอุปกรณ์ และผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่สามารถสรุปเป็นลำดับขั้นตอนตามวิธีการที่ได้ปฏิบัติ ดังนี้

5.1 การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบร่วมกับ เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (RAD 7)

ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์ท่อนำก๊าซ เพื่อใช้ประกอบร่วมกับเครื่องมือวัดก๊าซเรดอนที่สามารถนำไปใช้ได้เหมาะสมกับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา จากการคัดเลือกขนาดของท่อ (0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 ซม.) และมีรูปแบบลักษณะช่องทางไหลของอากาศแบบต่างๆ และทำการวัดปริมาณก๊าซเรดอนในระบบธรณีที่จำลองขึ้น โดยควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรดอน โดยทำการทดลองเทียบค่าที่ตรวจวัดได้กับอุปกรณ์มาตรฐานของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ซึ่งจากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า ท่อปลายเปิด 1 ด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. ให้ค่าตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ($9,060.927 \pm 457.095 \text{ Bq/m}^3$ หรือประมาณ 95.56 %) ที่ใกล้เคียงมากที่สุดกับผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนโดยใช้อุปกรณ์มาตรฐาน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ทั้งนี้เนื่องจากท่อปลายเปิด 1 ด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร มีลักษณะ และขนาดใกล้เคียงกับอุปกรณ์มาตรฐานมากที่สุด ทำให้มีความสัมพันธ์กับอัตราดูดอากาศของปั๊มภายในเครื่อง และปริมาตรของอากาศที่ดูดเข้าไปในเครื่อง

มีค่าใกล้เคียงกับอุปกรณ์มาตรฐาน มีผลให้ประสิทธิภาพในการนับวัดรังสีของหัววัดทำได้เต็มที่ ทำให้ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มีค่ามากด้วย ซึ่งแตกต่างจากท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กเกินไป และใหญ่เกินไป ซึ่งไม่เหมาะสม และไม่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดอากาศของบีม ทำให้อัตราดูดอากาศของบีมมีค่าน้อยลง ส่งผลให้สามารถดูดอากาศได้น้อย ทำให้ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้นั้น มีค่าน้อยด้วย ส่วนในรูปแบบของท่อปลายเปิด 1 ด้านนั้น ที่มีผลการทดลองดีที่สุด เป็นเพราะว่า บีมสามารถดูดอากาศได้เต็มอัตราความแรงของบีม โดยไม่มีอะไรมาปิดกั้นทางเดินของอากาศที่จะเข้าสู่เครื่อง ทำให้ผลการทดลองดีกว่าในรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ รูปแบบท่อที่มีแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน หนาประมาณ 30 ไมโครเมตรปิดทับ เครื่องไม่สามารถทำการดูดอากาศได้ จนทำให้ไม่มีกานับวัดรังสี เนื่องจากขณะทำการตรวจวัด ระบบของบีมกลายเป็นสุญญากาศ และในส่วรูปแบบของท่อที่มีการบรรจุลำลี และท่อปลายปิดนั้น มีลักษณะทางเดินของอากาศเข้าสู่เข้าสู่หัววัดน้อย ไม่สัมพันธ์กับอัตราแรงของบีม ส่งผลให้ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ มีค่าน้อยด้วย จากข้อมูลทั้งหมดทางผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า ท่อปลายเปิด 1 ด้าน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร เหมาะสมที่จะใช้เป็น Probe ประกอบร่วมกับเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน (RAD 7) เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ที่จะใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซในพื้นที่ ที่ทำการศึกษาคือ บริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

ข้อดีของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่

1. อุปกรณ์ที่ทำการพัฒนาขึ้นมีราคาถูก (500 บาท) กว่าอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป (21,00 บาท) และวัสดุที่ใช้ หาได้ง่ายตามท้องตลาด
2. นำไปใช้ในการตรวจวัดในตำแหน่งที่มีลักษณะทางธรณีของพื้นที่ ที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากสามารถทำการประยุกต์ให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ได้ง่าย
3. การดูแล และรักษาอุปกรณ์ทำได้ง่าย และเกิดความเสียหายได้ยาก

ข้อเสียของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

1. การติดตั้งโพรบ ฝังลงในตำแหน่งที่ต้องการศึกษานั้น จะต้องทำการนำ ร่องด้วยแท่งเหล็กก่อน เนื่องจากไม่มีหัวนำร่องเช่นเดียวกับโพรบมาตรฐาน

5.2 สรุปผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษา และในตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดย 2 เทคนิค ผลการวิจัยพบว่าบริเวณตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนมีพลังตรวจพบว่ามีปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าในตำแหน่งอื่นๆ และเพื่อยืนยันว่าก๊าซเรดอนที่ตรวจพบแพร่ออกมาจากแนวรอยเลื่อนจึงทำการเก็บตัวอย่างดินในตำแหน่งที่มีค่าเรดอนสูง และต่ำในบางตำแหน่งของการตรวจวัด ทั้ง 2 เทคนิค เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณ ^{226}Ra ซึ่งผลการวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณ ^{226}Ra น้อยมาก และไม่สอดคล้องกับปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในตำแหน่งนั้นๆ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้สูงมาก จากทั้ง 2 เทคนิคนี้ ได้มาจากก๊าซเรดอนในดิน (soil gas) รวมกับเรดอนที่แพร่ขึ้นมาตามรอยแตก หรือรอยเลื่อน มากกว่ามาจากการสลายตัวของ ^{226}Ra ที่อยู่ในดินในตำแหน่งนั้นๆ ในงานวิจัยนี้ยังได้ตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรดอนใน 1 วัน เพื่อดูอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนในช่วงระยะเวลา ที่ทำการตรวจวัด ผลปรากฏ ว่าปริมาณก๊าซเรดอน มีระดับการเปลี่ยนแปลงน้อย ในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด แต่ในช่วงเวลา 11.00-13.00 น. โดยเฉลี่ย มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าเวลาอื่นเล็กน้อย ซึ่งปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ไม่สามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ ในแต่ละพื้นที่ ที่ทำการศึกษา โดยผลการตรวจวัด และการวิเคราะห์ผลต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีทั้งหมด 5 พื้นที่ สามารถสรุปได้ ดังนี้

5.2.1 การทำแผนที่รอยเลื่อน

การศึกษานี้ ได้นำข้อมูลตำแหน่งที่ตรวจพบทุกพื้นที่ มาเขียนเส้นแนวสำรวจใหม่ในแผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน ที่ทำโดยกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งสรุปผลในแต่ละพื้นที่ ได้ดังนี้

1.พื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายทางดาวเทียม จำนวน 1 รอย (ใช้สัญลักษณ์ A ในแผนที่) วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ และมีรอยเลื่อน 2 รอย ที่ได้จากการสำรวจความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistivity) (ใช้สัญลักษณ์ B_1 และ B_2 ในแผนที่) โดยรอยเลื่อน B_2 สามารถระบุตำแหน่งตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ที่ปรากฏในร่องสำรวจ และรอยเลื่อน B_1 ตรงกับแนวรอยเลื่อน A

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน ที่พาดผ่านในพื้นที่ ได้ทั้งหมด 6 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 และ C_6) วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และในตำแหน่งรอยเลื่อน

ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ประมาณ 3-5 เท่า และปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ $30,549 \pm 2487.9 \text{ Bq/m}^3$ และค่าต่ำสุดอยู่ที่ $4.2 \pm 98.34 \text{ Bq/m}^3$ เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าเส้นแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคนิวเคลียร์ จำนวน 2 รอย คือ เส้น C_4 มีแนวรอยเลื่อนตรงกับเส้น B_2 ที่สำรวจ โดยความต้านทานทางไฟฟ้า และจากการขุดร่องสำรวจ โดยนักธรณีวิทยา และเส้น C_5 มีแนวรอยเลื่อนตรงกับผลการสำรวจ โดยการขุดร่องสำรวจเช่นกัน แต่ในตำแหน่งรอยเลื่อนที่เหลือ ยังไม่มีข้อมูลยืนยัน เนื่องจากในขณะทำการศึกษาและวิจัยในพื้นที่นี้ นักธรณีวิทยายังไม่ได้ทำการขุดร่องสำรวจ สาเหตุจากข้อจำกัดของพื้นที่ในการขุดร่องสำรวจ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ โดยเฉพาะบริเวณที่ตรวจพบปริมาณก๊าซเรดอนสูง และยังไม่มีการขุดร่องสำรวจ จึงสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของนักธรณีวิทยา หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป ดังนั้นการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนเพื่อศึกษาคาบอุบัติซ้ำของพื้นที่บ้านบางลึกนี้ สามารถ ให้ข้อมูลตำแหน่งรอยเลื่อนได้อย่างละเอียดและระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนได้ตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) และมีจำนวนที่พบมากกว่าที่ปรากฏในร่องสำรวจ และการสำรวจโดยความต้านทานทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5.2

2. พื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายทางดาวเทียม จำนวน 2 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ A_1 และ A_2) วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ และมีรอยเลื่อน 3 รอยที่ได้จากการสำรวจความต้านทานทางไฟฟ้า (Resistivity) (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ B_1 , B_2 และ B_3) โดยรอยเลื่อน B_1 สามารถระบุตำแหน่งตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ที่ปรากฏในร่องสำรวจที่ 1 และรอยเลื่อน B_2 ตรงกับรอยเลื่อน C_3

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน ที่พาดผ่านในพื้นที่ ได้ทั้งหมด 4 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ C_1 , C_2 , C_3 และ C_4) วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และในตำแหน่งรอยเลื่อนให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ประมาณ 2-6 เท่า และปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ $32,914.36 \pm 1486.22 \text{ Bq/m}^3$ และค่าต่ำสุดอยู่ที่ $4.2 \pm 70.45 \text{ Bq/m}^3$ เมื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่า เส้นแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคนิวเคลียร์ จำนวน 2 รอย คือ เส้น C_1 มีแนวรอยเลื่อนตรงกับเส้น B_1 ที่สำรวจ โดยความต้านทานทางไฟฟ้า และจากการขุดร่องสำรวจที่ 1 (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ TBV1) โดยนักธรณีวิทยา และเส้น C_2 สามารถระบุตำแหน่งตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ที่ปรากฏในร่องสำรวจที่ 2 (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ TBV2) เช่นกัน แต่ในตำแหน่งรอยเลื่อนที่เหลือ ยังไม่มีข้อมูลยืนยัน เนื่องจากมีข้อจำกัดในการขุดร่องสำรวจใน

พื้นที่ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้ อาจนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาในงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการระบุตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลังในพื้นที่บางโหวต่อไป ดังนั้นจากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์สามารถสรุปได้ว่า การตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษานี้ ระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนได้ตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ที่ปรากฏในร่องสำรวจ และการสำรวจโดยความต้านทานทางไฟฟ้าได้มากกว่า และให้ข้อมูลตำแหน่งรอยเลื่อนได้อย่างละเอียด ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ ได้ดีกว่าการใช้เทคนิคอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งข้อมูลทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 5.3

3. พื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหริ่ง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา มีแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายทางดาวเทียม จำนวน 2 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ A_1 และ A_2) วางตัวในทิศตะวันออกของพื้นที่

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทำให้สามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน ที่พาดผ่านในพื้นที่ ได้ทั้งหมด 4 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ C_1 , C_2 , C_3 และ C_4) วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และในตำแหน่งแนวรอยเลื่อนให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ ประมาณ 2-4 เท่า ปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุด อยู่ที่ $27,522.94 \pm 1389.85$ Bq/m³ และค่าต่ำสุด อยู่ที่ 164.557 ± 164.4445 Bq/m³ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีฐาน ของนักธรณีวิทยาปรากฏว่าไม่พบรอยเลื่อนในร่องสำรวจ ทั้ง 2 ร่อง แต่มีรอยแตก (fracture) กระจายตัวอย่างหนาแน่นในร่องสำรวจ ทั้ง 2 ร่อง แทน ดังนั้นจากข้อมูลตำแหน่งรอยเลื่อนที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนนั้น น่าจะมาจากรอยแตก (fracture) ที่กระจัดกระจายตัวอยู่เป็นจำนวนมากในร่องสำรวจทั้ง 2 มากกว่า ที่จะมาจากรอยเลื่อนมีพลังในพื้นที่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคที่ใช้ควรต้องมีการขุดร่องสำรวจควบคู่กันไป เพื่อให้แน่ใจว่าเรดอนที่ตรวจพบได้มาจากรอยแตกของชั้นหิน หรือมาจากรอยแตกที่เป็นรอยเลื่อน แต่ในตำแหน่งรอยเลื่อนที่เหลือ ยังไม่มีข้อมูลยืนยัน เนื่องจากในขณะทำการศึกษา และวิจัยในพื้นที่นี้ นักธรณีวิทยายังไม่ได้ทำการขุดร่องสำรวจ สาเหตุจากข้อจำกัดของพื้นที่ในการขุดร่องสำรวจ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ โดยเฉพาะบริเวณที่ตรวจพบปริมาณก๊าซเรดอนสูง และยังไม่มีการขุดร่องสำรวจ จึงสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของนักธรณีวิทยา หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป ดังนั้นการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เพื่อศึกษาคาบอุบัติซ้ำของพื้นที่บ้านปากด่านนี้สามารถ ให้ข้อมูลตำแหน่งรอยเลื่อนได้อย่างละเอียด และระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนได้ตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) และมีจำนวนที่พบมากกว่าที่ปรากฏในร่องสำรวจ และการสำรวจโดยความต้านทานทางซึ่งข้อมูลทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 5.4

4. พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทางนักธรณีไม่ได้ทำการขุดร่องสำรวจ เพื่อดูลักษณะทางธรณีฐานจึงไม่มีข้อมูลยืนยันตำแหน่งรอยเลื่อนที่ตรวจพบได้

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในงานวิจัย มีความน่าสนใจมาก เนื่องจากก๊าซเรดอนที่วัดได้ มีค่าสูงมาก ในตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็แนวรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ ประมาณ 2-9 เท่า และปริมาณก๊าซเรดอนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ $106,538.8 \pm 2963 \text{ Bq/m}^3$ และค่าต่ำสุดอยู่ที่ $46.41 \pm 120.46 \text{ Bq/m}^3$ โดยสามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนมีพลัง ที่พาดผ่านในพื้นที่ ได้ทั้งหมด 4 รอย จากข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้นั้น ยังไม่มีข้อมูลยืนยันจากการขุดร่องสำรวจ เพื่อดูลักษณะธรณีฐานเลย เนื่องจากนักธรณีวิทยายังไม่ได้ทำการขุดร่องสำรวจ สาเหตุจากข้อจำกัดของพื้นที่ในการขุดร่องสำรวจ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ โดยเฉพาะบริเวณที่ตรวจพบปริมาณก๊าซเรดอนสูง จึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาคาบอุบัติซ้ำของนักธรณีวิทยา หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะกรมทรัพยากรธรณี ต่อไป

5. พื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งนักธรณีวิทยาได้ทำการสำรวจ บริเวณที่มีการตักหน้าดินในพื้นที่ มีความยาวประมาณ 24 เมตร ซึ่งเป็นผนังเปิด (open pit) ที่มีการขุดเปิดมาก่อน พบตำแหน่งรอยเลื่อนมีพลังปรากฏอยู่ จำนวน 2 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ F_1 และ F_2) มีรอยแตก (fracture) และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบแล้ว (dead fault) จำนวน 4 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ f_1 , f_2 , f_3 และ f_4) ปรากฏอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของเส้นแนวการสำรวจ และมีแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการแปรสภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายทางดาวเทียม จำนวน 1 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ A)

ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อน ที่พาดผ่านในพื้นที่ ได้ทั้งหมด 3 รอย (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ C_1 , C_2 และ C_3) วางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และในตำแหน่งของรอยเลื่อนให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มากกว่าค่าปกติโดยเฉลี่ยในพื้นที่ประมาณ 2-6 เท่า ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ มีค่าสูงสุดอยู่ที่ $13,867.73 \pm 1,167.409 \text{ Bq/m}^3$ และค่าต่ำสุดอยู่ที่ $8.12 \pm 136.46 \text{ Bq/m}^3$ เมื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่า เส้นแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคนิวเคลียร์ จำนวน 2 รอย คือ เส้น C_1 มีแนวรอยเลื่อนตรงกับเส้น F_1 จากการขุดร่องสำรวจ (ในแผนที่ใช้สัญลักษณ์ TBD) โดยนักธรณีวิทยา และเส้น C_2 สามารถระบุตำแหน่งตรงกับเส้น F_2 ที่ปรากฏในร่องสำรวจที่เช่นกัน แต่ในตำแหน่งรอยเลื่อนที่เหลือ ยังไม่มีข้อมูลยืนยัน เนื่องจากมีข้อจำกัดในการขุดร่องสำรวจในพื้นที่ ซึ่งอาจจะใช้เป็นข้อมูลทำการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่

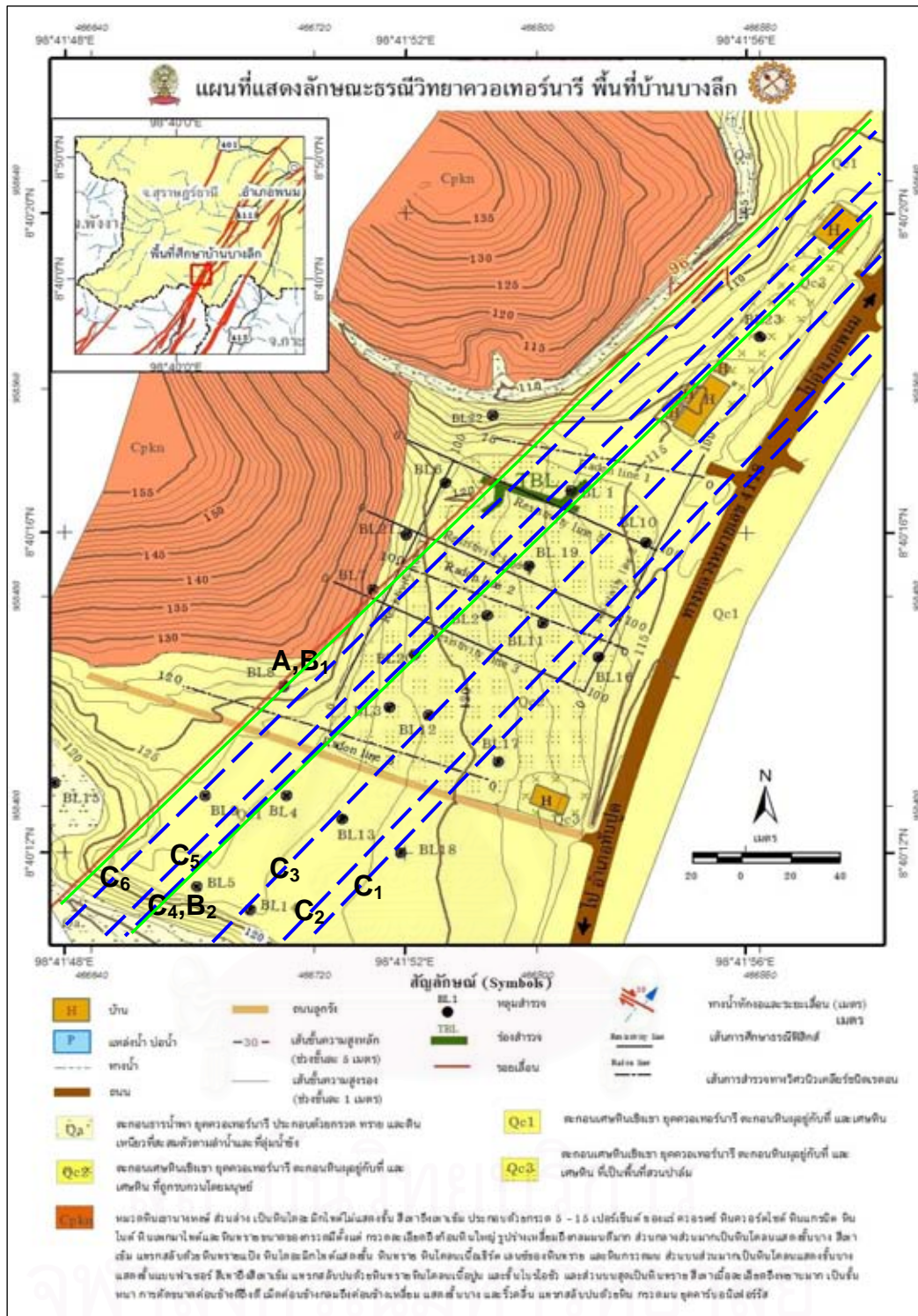
วิภาวดีต่อไป และผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งรอยแตก (fracture) และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบแล้ว (dead fault) จำนวน 4 รอย ให้ค่าอยู่ในระดับค่าปกติเฉลี่ยของพื้นที่ ดังนั้นจากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์สามารถสรุปได้ว่าการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ศึกษานี้สามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนได้ตรงกับรอยแตก (แนวรอยเลื่อน) ที่ปรากฏในร่องสำรวจได้ครบทุกตำแหน่ง ถือได้ว่าเป็นความแม่นยำอย่างมาก ให้ข้อมูลตำแหน่งรอยเลื่อนได้อย่างละเอียดครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ และปริมาณก๊าซเรดอนในตำแหน่งรอยเลื่อนจะมีค่าสูงกว่าในตำแหน่งรอยแตก (fracture) และ/หรือแนวรอยเลื่อนที่สงบแล้ว (dead fault) ซึ่งข้อมูลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 5.5

จากข้อมูลตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ทั้งหมด ที่กล่าวแล้วข้างต้นในแต่ละพื้นที่ศึกษาจะเห็นว่าเทคนิคนิวเคลียร์สามารถระบุแนวรอยเลื่อนที่พบในพื้นที่ศึกษาได้มากกว่าเทคนิคอื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ตารางที่ 5.1 สรุปจำนวนรอยเลื่อนที่พบในพื้นที่ศึกษาจากการศึกษานี้ และจากการใช้เทคนิคอื่น

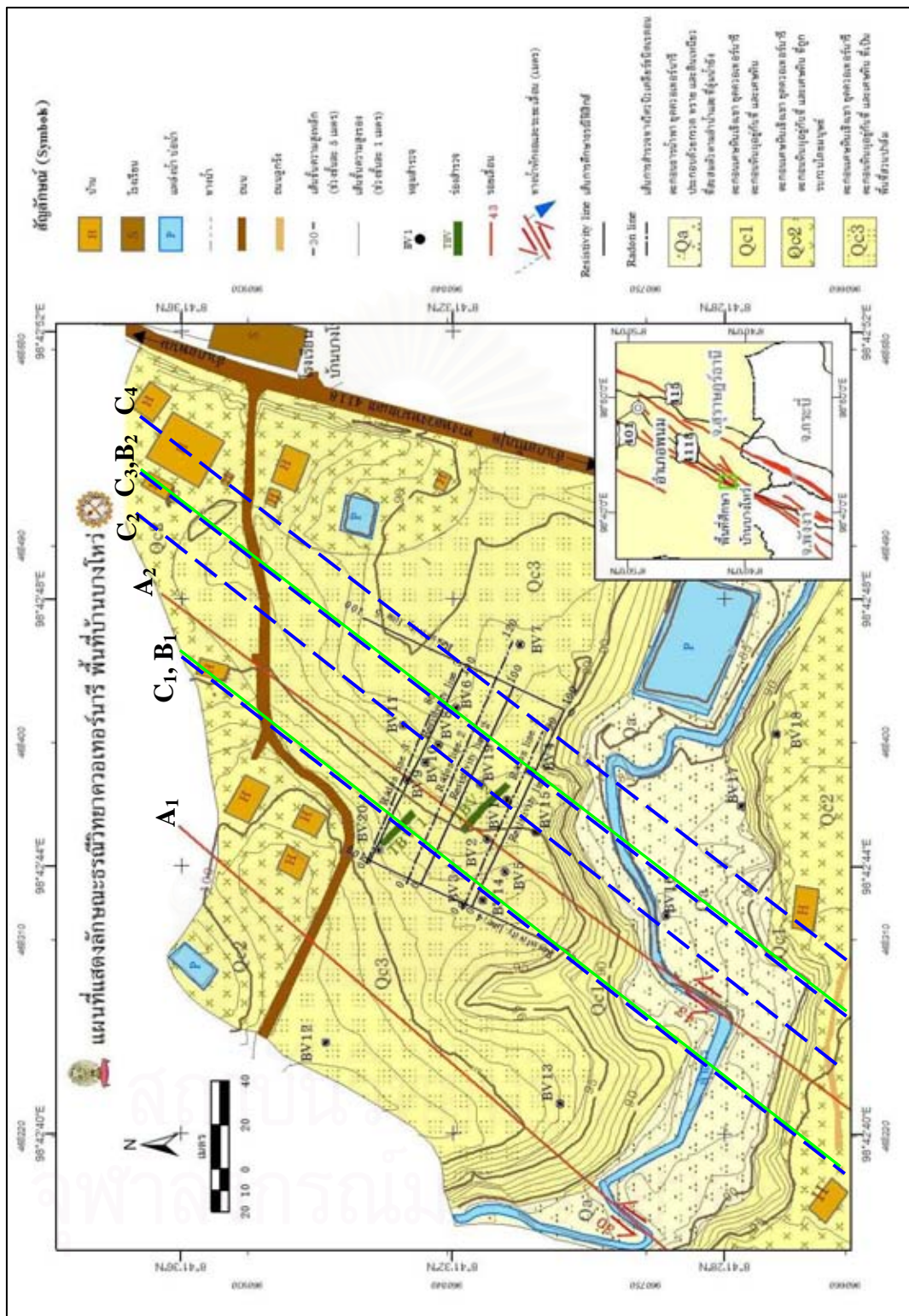
ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนที่ได้จากการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	รอยเลื่อนที่ตรวจพบทั้งหมดในพื้นที่	รอยเลื่อนที่ได้รับการยืนยันจากข้อมูลการขุดร่องสำรวจ โดยนักธรณีวิทยา
พื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี	6	2
พื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี	4	2
พื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหรียง อำเภอทับปุด จังหวัดพังงา	4	ไม่พบแนวรอยเลื่อน
พื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี	4	ไม่มีการขุดร่องสำรวจ
พื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน กิ่งอำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี	3	2

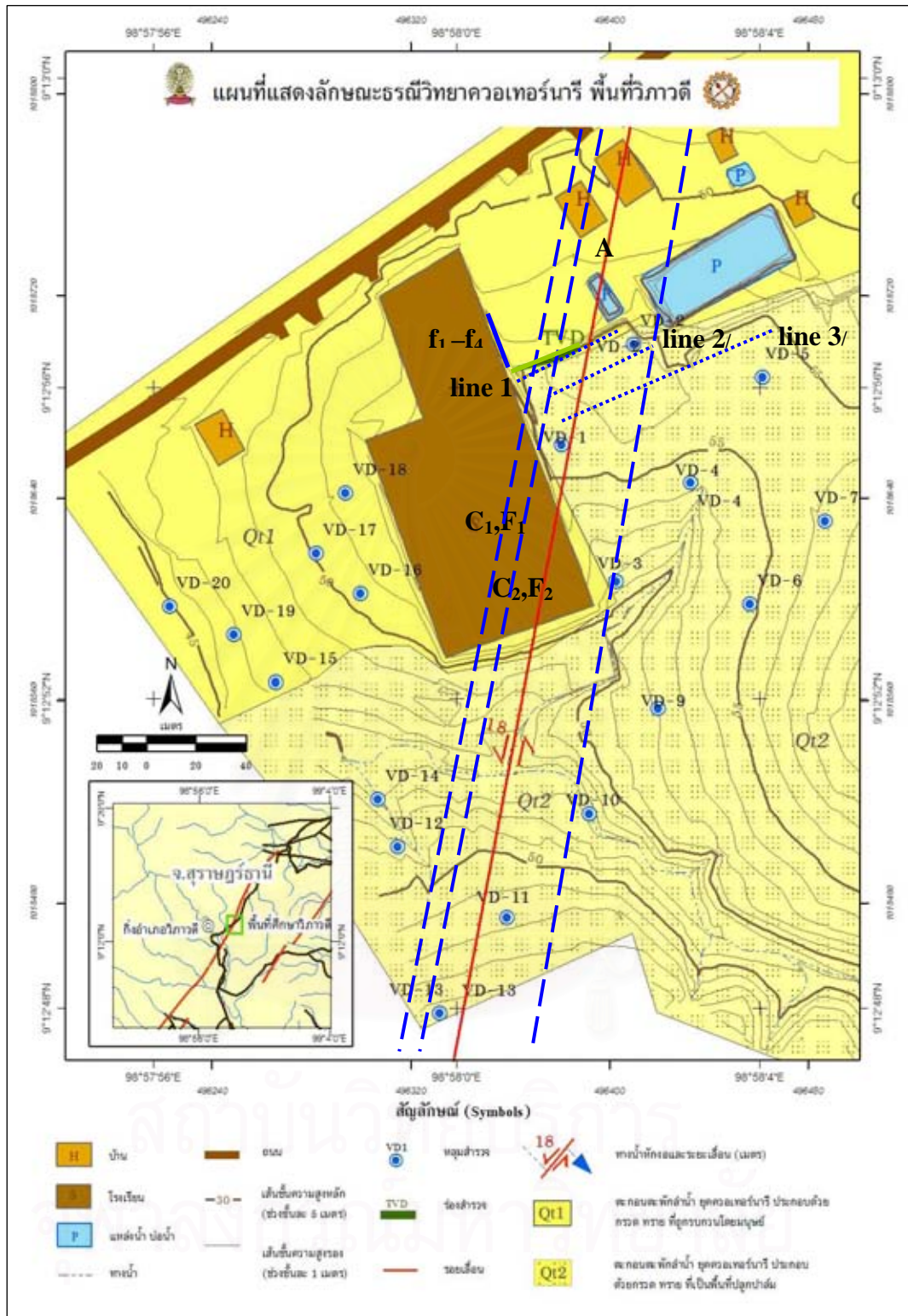
ผลการวิจัยทั้งหมดนี้ ถือได้ว่าให้ผลที่น่าพอใจ สามารถนำเทคนิค และวิธีการในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลังนี้ ไปใช้แทนเทคนิค และวิธีการอื่นๆ ที่สามารถระบุตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลังได้ เนื่องจากให้ผลที่แม่นยำ นอกจากนี้แผนที่รอยเลื่อนที่เขียนขึ้นจากข้อมูลของการวิจัยนี้ สามารถนำไปศึกษา และใช้ประโยชน์ต่อไปได้



รูปที่ 5.1 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงตำแหน่งแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ของพื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นทึบเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม และความต้านทานทางไฟฟ้า)



รูปที่ 5.3 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงสุด ในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ในพื้นที่บ้านบางไหว่ ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นทึบเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม และความต้านทานทางไฟฟ้า)



รูปที่ 5.5 แผนที่ธรณีวิทยาควอเทอร์นารียุคปัจจุบัน แสดงแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านจุดที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในแต่ละเส้นแนวสำรวจ (เส้นประ) ในพื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน ต.ตะกุกเหนือ กิ่ง อ.วิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี (เส้นที่บเป็นเส้นแสดงแนวรอยเลื่อนจากการศึกษาธรณีฟิสิกส์ ที่ได้จากการแปรภาพถ่ายทางดาวเทียม)

5.2.2 ผลการเปรียบเทียบการตรวจวัดก๊าซเรดอน

จากผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน จาก ทั้ง 2 เทคนิค ที่ใช้ คือ การใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39 ให้ผลที่มีแนวโน้มสอดคล้องกัน คือ ทั้ง 2 เทคนิค สามารถระบุตำแหน่งของแนวรอยเลื่อนในแต่ละพื้นที่ ได้ในตำแหน่งเดียวกัน แต่ปริมาณก๊าซเรดอนจากการตรวจวัดทั้ง 2 วิธีนั้น ให้ค่าที่ไม่เท่ากัน ส่วนใหญ่ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จาก วิธี CR-39 เป็นเพราะการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน นั้น ก๊าซเรดอนจะถูกดูดขึ้นมาสู่หัววัด โดยใช้แรงดูดอากาศจากปั๊มของเครื่องมือวัด ทำให้ก๊าซเรดอนถูกนำขึ้นมาเป็นปริมาณมากกว่าการตรวจวัดในวิธี CR-39 ซึ่งต้องอาศัยการแพร่ และการถูกพาขึ้นมาตามธรรมชาติ และยังมีตัวแปรอื่นๆ อีก เช่น ความชื้น, ภูมิอากาศ, ลักษณะกายภาพของพื้นที่ และพวกสัตว์จำพวก แมลงต่างๆ เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ ส่งผลทำให้การตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนด้วยแผ่นฟิล์ม CR-39 ให้ค่าปริมาณก๊าซเรดอนที่น้อยกว่าการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลจากการตรวจวัดทั้ง 2 วิธี ก็มีความสอดคล้องกัน และสามารถระบุตำแหน่งของรอยเลื่อน (ตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูง) ได้เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการตรวจวัดก๊าซเรดอน โดยใช้เครื่องมือร่วมกับโปรบ ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เพื่อระบุตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลังอื่นๆ ได้ดี เช่นเดียวกับการใช้แผ่นฟิล์ม CR-39 ซึ่งได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วิธี หรือเทคนิคใดนั้นขึ้นอยู่กับว่า วิธีการใดมีความเหมาะสมมากที่สุดกับพื้นที่ ที่จะต้องทำการศึกษา ซึ่งได้เปรียบเทียบ ข้อดี และข้อเสียจากการใช้งาน ทั้ง 2 เทคนิค ดังนี้

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบของการตรวจวัดก๊าซเรดอนจากเทคนิคการใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน

ข้อดี	ข้อเสีย
ใช้เวลาในการตรวจวัดสั้น ประมาณ 20 นาทีต่อตำแหน่ง	ไม่สามารถทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนได้ในหลายตำแหน่งพร้อมๆ กัน
ได้ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนที่รวดเร็ว โดยไม่ต้องนำผล มาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการอีก	ต้องคอยเฝ้าระวังเครื่องมือในขณะที่ทำการตรวจวัด เนื่องจากเครื่องไม่สามารถทนต่อสภาพภูมิอากาศต่างๆ ได้ เช่น มีความชื้นสูง, มีฝนตก และสภาพอากาศที่ร้อนกว่า 40 °C เป็นต้น
ขั้นตอนในติดตั้ง และการตรวจวัด ทำได้ง่ายไม่มีความยุ่งยาก	มีค่าใช้จ่ายสูง (เครื่องมือ และอุปกรณ์มีราคาแพง 280,000 บาท) ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เมื่อเทียบกับการตรวจวัดแบบ Track Etch Method โดยใช้ CR-39 (12,500 บาท/100 ชั้น โดย 1 ชั้น มีขนาด 25×25×1 มิลลิเมตร)
สามารถทำการฝังโปรบนำก๊าซ ได้ตามความลึกที่ต้องการ	-

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบของการตรวจวัดก๊าซเรดอนจากเทคนิคการใช้เครื่องมือวัด
ก๊าซเรดอน

ข้อดี	ข้อเสีย
สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และใช้ซ้ำได้	-
ผลการตรวจวัดเกิดความผิดพลาดน้อย เนื่องจากมีตัวแปรที่สามารถส่งผลกระทบต่อ ผลการตรวจวัดน้อย	-

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบของการตรวจวัดก๊าซเรดอนจากเทคนิค Track Etch Method
โดยใช้ CR-39

ข้อดี	ข้อเสีย
ตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนพร้อมกันได้หลายๆ ตำแหน่ง ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน	ใช้เวลาในการตรวจวัดนานประมาณ 1-4 สัปดาห์
อุปกรณ์ในการติดตั้ง และแผ่นฟิล์มมีราคาถูก	ขั้นตอนในการตรวจวัด และวิเคราะห์ผลมีความ ยุ่งยาก กว่าจะได้ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการ ตรวจวัดออกมาในแต่ละตำแหน่ง
ไม่จำเป็นต้องดูแล และเฝ้าระวังหัววัดในขณะที่ทำ การตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เนื่องจากได้ทำ การติดตั้งหัววัด ทิ้งไว้ในพื้นที่ ที่ทำการศึกษา	ปริมาณก๊าซเรดอนอาจเกิดความผิดพลาดได้ ใน ขั้นตอนการนับจำนวนรอยของอนุภาคแอลฟาบน แผ่นฟิล์ม
-	การติดตั้งหัววัดในพื้นที่ศึกษา หัววัดอาจเกิดความ เสียหาย และสูญหายได้ ส่งผลกระทบต่อข้อมูลได้
-	มีความแปรปรวนจากสภาพภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ ที่ จะทำการฝังตัวฟิล์มดินแข็งเกินไป ไม่สามารถเจาะฝัง ตัวฟิล์มตามความลึกที่ต้องการได้ หรือลักษณะ และ สภาพธรณีในพื้นที่ไม่อำนวยต่อการฟุ้งกระจายของ ก๊าซเรดอนจากใต้ดินได้ และสภาพภูมิอากาศ ก็จะมี ผลต่อปริมาณเข้มข้นของเรดอนไปด้วย เพราะว่า ถ้า ภูมิอากาศมีฝนตก หรือมีความชื้นสูงในพื้นที่ ก็จะมี ส่งผลกระทบต่อทำให้จำนวนรอยของอนุภาคแอลฟา น้อยลง เนื่องจากความชื้น หรือหยดน้ำจะเข้าไปบัง อนุภาคแอลฟาไม่ให้ไปกระทบแผ่นฟิล์ม
-	สิ้นเปลืองวัสดุหัววัด CR-39 เนื่องจากใช้ได้เพียงครั้ง เดียวต่อการวัด 1 ครั้ง ต้องทำการเปลี่ยนหัววัด CR- 39 ใหม่ ทุกครั้งที่จะทำการวัดแต่ละครั้ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เทคนิคที่ใช้ ควรต้องมีการชั่งตวงสำรวจควบคู่กันไป เพื่อให้แน่ใจว่าเรดอนที่ตรวจพบมาจากรอยแตกของชั้นหินหรือมาจากรอยแตกที่เป็นรอยเลื่อน
2. อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ใช้ประกอบกับ RAD 7 นี้ สามารถทำการเปลี่ยนแปลง หรือพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ ที่จะทำการศึกษาในบริเวณอื่นๆ ได้ หรือสามารถทำการเปลี่ยนแปลง หรือพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ และควรติดตั้งมาตรวัดความดันเพิ่มที่ท่อโปรบ เพื่อบ่งชี้สภาพของความดันของระบบในขณะวัด
3. ในการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาเรเดียม-226 ควรเก็บทุกตำแหน่งที่มีการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน และต่างระดับความลึกกัน ควรทำการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนใน 1 วัน ให้ครบในทุกพื้นที่ ที่ทำการศึกษา เพื่อทำให้ผลการทดลองน่าเชื่อถือมากขึ้น
4. ควรจัดหาเครื่องวัดก๊าซเรดอนให้เพียงพอ ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถทำการตรวจวัดได้หลายจุดพร้อมกัน ทำให้ประหยัดเวลาได้
5. เป็น ในกรณีที่ใช้หัววัด CR-39 ควรจัดหาอุปกรณ์ป้องกันความชื้นชนิดอื่นปิดปลายกระบอก และหาวิธีป้องกันแมลงเข้าไปรบกวน
6. ควรจะมีการตรวจวัดรังสีแกมมาในพื้นที่ด้วย เครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมาสเปกโตรเมตรีแบบ In-situ เพื่อเปรียบเทียบผลความเชื่อมั่นในการตรวจวัดด้วยเทคนิคนิวเคลียร์

รายการอ้างอิง

- [1] สุทธิพันธ์ ชูทรานนท์. 2539. *บันทึกข้อมูลแผ่นดินไหวในประวัติศาสตร์ไทย*. จัดทำ และรวบรวม โดยนักประวัติศาสตร์ของหอสมุดแห่งชาติ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย,
- [2] Fleischer R.L., Hart Jr. H.R., Mogro-Campero, A.1980. Radonemanation over an ore body: search for long-distance transport of radon, *Nucl. Instrum. Methods*, 173,169 -181.
- [3] Kristianson, K and Malmqvist, L.1982. Evidence for non-diffusive transport of ^{222}Rn in the ground and a new physical model for transport, *Geophysics*, 1444 -1452.
- [4] Rogers, V.C., Nielson, K.K.1991. *Multiphase radon generation and transport in porous materials*, Health phys, 60, 807-815.
- [5] Balcázar, M., González, D., Santoyo, E., and E. Goenzalez, 1991. Radon measurements in heat-producing geothermal wells, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 18, 283-387.
- [6] Crenshaw, W. B., Williams S.N., and Stoiber R. E.1982. Fault location by radon and Mercury detection at an active volcano in Nicaragua, *Nature*, 300, 345-346.
- [7] D' Alessandro W., De Domenico R., Parello F., and valenza M.1992. Soil degassing in tectonically active areas of Mt. Etna, *Acta Vulcanol.*, 2, 175 -183.
- [8] Burton M., and D Condarelli, 2004, High spatial resolution radon measurement reveal hidden active faults on Mt. Etna, *Geophys. Res Lett*, 31, L07618.
- [9] Guerre, M., and S. Lombarddi, 2001. Soil-gas method for tracing neotectonic faults in clay basins: the Pisticci field (southern Italy), *Tectonophysics* 339: 511-522.
- [10] Radon, Available from <http://www.gfzpotdam.de/pb21/Mudurnu/radon.htm>.2007
- [11] Loannides K., et. al. 2003. Soil gas radon: a tool for exploring active fault zones. *Applied Radiation and Isotopes*: 59, 205-213.
- [12] Mohamed M. Mousea, Abdel-Gabar M.El Arabi. 2001. Soil radon survey tracing active fault:a case study along Qena-Safaga road ,Eastern Desert, Egypt.
- [13] Y.Yasuoka, T.Ishii, S. Tokonami, T.Ishikawa, Y.Narazaki, M.Shinogi.1995. Radon anomaly relate to the 1995 Kobe earthquake, Kobe Pharmaceutical University.
- [14] R. Snieder and T. van Eck.1997. Earthquake Prediction: a Political Problem. *Geol. Rundsch* 86: 446-463.

- [15] L.L. Chyi et al. 2003. Soil gas spectra and earthquake prediction. *Proc. Of ICGG7*:31-32.
- [16] ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548. *โครงการดำเนินการสำรวจ และศึกษาวิจัยรอยเลื่อน ณ ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์องค์กรฯ ตำบลทรายมูล อำเภอองค์กรฯ จังหวัดนครนายก.*
- [17] G. Garzon et al. 2003. Radon soil increases before volcano-tectonic earthquakes in Columbia. *Proc. Of ICGG7*: 6-7.
- [18] T.Kuo,K.Fan,H.Kuochen,Y.Han,H.Chu,Y.Iee. 2003. *Anomalous decrease in groundwater radon before the Taiwan M 6.8 Chengkung earthquake,* Department of Mineral and Petroleum Engineering,National Cheng Kung University.
- [19] กรมทรัพยากรธรณี. 2002. *Earthquake*, Available from <http://www.dmr.go.th/geohazard/earthquake/EQthaiHAZARD.htm>.
- [20] กรมอุตุนิยมวิทยา. 2547. *การสร้างฐานข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวที่บันทึกได้ด้วยเครือข่ายสถานีวัดแผ่นดินไหว. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).*
- [21] United States Geological Survey: USGS. 2002. *Earthquake*, Available from www.usgs.org.
- [22] กรมทรัพยากรธรณี. 2549. *แผ่นดินไหวรู้สึกได้บริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และเพชรบุรี, กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี, 20 หน้า.*
- [23] กรมทรัพยากรธรณี. 2002. ACTIVE FAULT. Thailand, Available from [www.dmr.go.th/geohazard/earthquake/PMR ACTIVEFAULT.htm](http://www.dmr.go.th/geohazard/earthquake/PMR_ACTIVEFAULT.htm).
- [24] Hinthong, C.1997. The study of active faults in Thailand. *Report of EANHMP. An Approach to Natural Hazards in the Eastern Asia*: p.17-22.
- [25] ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550. *โครงการการศึกษาคาบอุบัติซ้ำในพื้นที่ ที่แสดงร่องรอยการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนมีพลังในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, ระนอง, สุราษฎร์ธานี, กระบี่, พังงา และภูเก็ต (รอยเลื่อนระนอง และรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย).*
- [26] Sarapirome. 2002. *Application of DEM Data to Geological Interpretation: Thong Pha Phum Area, Thailand*, Available from <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/geo/029.pdf>.

- [27] Keller, E. A., and Pinter, N.1996. Active tectonics: Earthquake, uplift, and landscape, *Prentice-Hall*: New Jersey, 338 p.
- [28] แสงอาทิตย์ เชื้อวิโรจน์. 2534. *ธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย*, กรมทรัพยากรธรณี กองธรณีวิทยา ฝ่ายแปลภาพถ่ายทางอากาศและดาวเทียม.
- [29] สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2546. *การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2*. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [30] Environmental Protection Agency. United States. 2006, Available from www.epa.gov/radiation/undrestand/equilibrium.htm.
- [31] ธวัช ชิตตระการ. 2541. *การตรวจและการวัดรังสี*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- [32] Derek Lane-Smith, Ph.D. 2000. *RAD 7 Manual*.76 หน้า



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

จากการที่ได้ศึกษาโครงสร้างทั้งภายนอก และภายในของเครื่องมือวัดก๊าซเรดอน RAD 7 ทำให้เราได้รับรู้ถึงหลักการทำงาน และระบบต่างๆ ของเครื่องมือวัดนี้ แต่ยังไม่สามารถทำการควบคุมระบบให้ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องศึกษา ให้เข้าใจถึงการตั้งค่าของระบบในเครื่อง RAD 7 ว่า มีขั้นตอนอย่างไร เพื่อให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับงานที่ต้องทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตัวกลางต่างๆ ซึ่งการตั้งค่าของระบบระบบใน RAD 7 นั้นจะมีหลักการ และรายละเอียด ดังต่อไปนี้

Setup Protocol: เป็นการตั้งค่าการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อระบบการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยจะมีตัวแปรต่างๆ เข้าเกี่ยวข้องในการ setup protocol เป็นจำนวนมาก ซึ่งการตั้งค่า protocol นี้ จะเป็นการตั้งค่า ที่แสดงถึงภาพลักษณ์ หรือระบบการทำงานส่วนใหญ่ของตัวเครื่อง RAD 7 ถ้าหากไม่ต้องการที่จะทำการตั้งค่าระบบใน protocol แล้ว ก็สามารถทำการกด enter เพื่อทำการตั้งค่าตัวแปรอื่นๆ ให้เหมาะสมกับงานที่จะทำการตรวจวัดได้ การตั้งค่าต่างๆ ใน protocol มีแสดงในตาราง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในการ setup protocol

	Cycle	Recycle	Mode	Thoron	Pump
Sniff	00:05	00	Sniff	Off	Auto
1-day	00:30	48	Auto	Off	Auto
2-day	01:00	48	Auto	Off	Auto
Weeks	02:00	00	Auto	Off	Auto
User	xxx	Xxx	xxx	xxx	xxx
Grab	00:05	04	Sniff	Off	Grab
Wat-40	00:05	04	Wat-40	Off	Grab
Wat-250	00:05	04	Wat-250	Off	Grab
Thoron	00:05	00	Sniff	On	Auto

Setup Cycle: เป็นการตั้งค่าระยะเวลาของระบบในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ว่า จะใช้เวลาในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในแต่ละรอบนานเท่าไร ซึ่งส่วนใหญ่ ก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับงาน และสภาพลักษณะทั่วไปของงานที่จะการตรวจวัดด้วย การตั้งค่าระยะเวลาในการตรวจวัดทำได้ โดยทำการกดปุ่ม enter และกดปุ่มลูกศรเลื่อนไปทางขวา เพื่อเลือก setup แล้วกดปุ่ม enter เลือก setup cycle แล้วก็ป้อนค่าระยะเวลาที่ต้องการตรวจวัดลงไป

ยกตัวอย่าง เช่น CYCLE: 00:30 (1 รอบใช้เวลาในการตรวจวัด 30 นาที)

CYCLE: 00:05 (1 รอบใช้เวลาในการตรวจวัด 5 นาที)

Setup Recycle: เป็นการตั้งค่าจำนวนรอบ ที่จะทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เหมือนกับการตั้งค่า cycle แต่การตั้งค่าจำนวนรอบในการตรวจวัดทำได้ โดยการกดปุ่ม enter และกดปุ่มลูกศรเลื่อนไปทางขวา เพื่อเลือก setup แล้วกดปุ่ม enter เลือก setup recycle แล้ว ก็ป้อนค่าจำนวนรอบที่ต้องการตรวจวัดลงไป แต่ค่าจำนวนรอบในการตรวจวัดนั้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0-99 รอบ เท่านั้น

ยกตัวอย่าง เช่น RECYCLE: 33 (ทำการตรวจวัด 33 รอบ)

RECYCLE: 08 (ทำการตรวจวัด 8 รอบ)

Setup Mode: เป็นการตั้งค่ารูปแบบของระบบการทำงานของ RAD 7 เพื่อให้เหมาะสมกับงาน ที่จะทำการตรวจวัดมากที่สุด โดยที่จะนำรูปแบบ ที่ได้ตั้งค่าไว้ นั้น ไปทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เพื่อให้เหมาะสมกับงาน ทำให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และแม่นยำมากที่สุด ซึ่งในการตั้งค่ารูปแบบต่างๆ ในระบบของเครื่องนั้น จะสามารถแบ่งออกได้ เป็น 5 mode ด้วยกัน ดังนี้

- Sniff mode: เป็น mode ที่ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในระยะเวลาสั้นๆ คือ เป็นการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในช่วงเวลาประมาณ 3 นาที ซึ่งเป็น alpha peak ของ ^{218}Po ซึ่งจะแสดงค่าการตรวจวัดออกมาใน Window A เท่านั้น

- Normal mode: เป็น mode ที่ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในทางสถิติ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของ ^{218}Po และ ^{214}Po โดยจะแสดงค่าการตรวจวัดออกมาใน Window A และ Window C

- Auto mode: เป็น mode ที่ใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนแบบอัตโนมัติ คือ เมื่อทำการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาในการตรวจวัด

นานมากกว่า 3 ชั่วโมงขึ้นไป mode นี้จะทำการเปลี่ยนรูปแบบการตรวจวัดไปจากเดิม คือ เริ่มต้น จะทำการตรวจวัดโดยใช้ sniff mode แต่พอเวลาผ่านไปมากกว่า 3 ชั่วโมง จะถูกเปลี่ยนไปเป็น normal mode ทันที ซึ่งจะได้ข้อมูลทั้งแบบ real data และ statistic data ด้วย

- Wat-40 and Wat-250 mode: เป็น mode ที่ใช้ในการตรวจวัดหา ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในน้ำ โดยนำน้ำตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดมาบรรจุในภาชนะ ที่มีขนาด 40 หรือ 250 ml ซึ่งการตรวจวัดใน mode ดังกล่าวนี จะทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนใน ตัวกลางที่เป็นน้ำ หรือเรียกอีกอย่างว่า RAD H₂O

Setup Thoron: เป็นการตั้งค่าระบบของ RAD 7 ที่ต้องการให้เครื่องตรวจวัด หรือไม่ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโทรอน ในการตั้งค่าจะต้องทำการกดปุ่ม setup thoron แล้วกด enter เลือก yes เพื่อต้องการให้ตรวจวัดก๊าซโทรอน หรือกด No เพื่อไม่ ต้องการให้ตรวจวัดก๊าซโทรอน

Setup Pump: เป็นการตั้งค่าระบบ Pump ดูดอากาศของ RAD 7 ซึ่งลักษณะการ ตั้งค่า จะมีทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ Auto, on, Grab, และ off ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของรูปแบบ ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- Auto: เป็นการตั้งค่าของ Pump ที่สามารถควบคุมการปิด-เปิดตัวปั๊มได้ ซึ่งปั๊มจะทำงานเป็นรอบๆ ใน 1 cycle ของการวัด โดยที่ ในทุกๆ 5 นาที ปั๊มจะทำงานประมาณ 1 นาที สามารถดูดอากาศได้ประมาณ 1 ลิตร แล้วก็หยุดทำงาน ซึ่งหัววัดจะทำการนับวัดปริมาณ รัังสีตลอดเวลา ตั้งแต่ปั๊มเริ่มทำงาน หรือหยุดทำงานก็ตาม จนครบ 1 cycle เมื่อเริ่มทำการวัดใน cycle ใหม่ ปั๊มก็จะทำงานใหม่แบบนี้ ไปเรื่อยๆ จนครบค่า recycle ที่ตั้งไว้ ซึ่งข้อดีของการตั้งค่า ปั๊มแบบ Auto นี้ คือ ช่วยประหยัดแบตเตอรี่ และเป็นการถนอม รักษาตัวปั๊มได้ด้วย

- On: เป็นการตั้งค่าของ Pump ให้ทำงานตลอดเวลา ซึ่งการตั้งค่าแบบนี้ เพื่อต้องการตรวจวัดค่า count ในทุกรูปแบบของสารกัมมันตรังสีต่างๆ ที่ถูกดูดเข้ามาภายใน ตัวเครื่อง RAD 7

- Grab: เป็นการตั้งค่าของ Pump เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่จะต้องการ ตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน โดยที่ปั๊มจะทำงานประมาณ 5 นาที แล้วก็หยุด ทำงานทันที หลังจากนั้นหัววัดก็จะทำการนับวัดปริมาณรัังสี ซึ่งในขณะที่หัววัดทำการนับวัดรัังสี นั้น ปั๊มจะไม่มีการทำงาน จนกระทั่งหัววัดทำการนับวัดรัังสีเสร็จสิ้นตาม recycle ที่ตั้งไว้ แต่การ ทำงานของปั๊มใน Grab จะขึ้นอยู่กับค่าในการตรวจวัด ว่า เป็นรูปแบบไหน เช่น ถ้าตั้งค่าใน การตรวจวัดเป็น 4 cycle ช่วง 5 นาทีแรก ปั๊มจะทำงาน และหลังจากเวลาผ่านไป 5 นาที ปั๊มจะ

หยุดทำงานทันที และจะมีการนับวัดปริมาณรังสีเกิดขึ้น ใน cycle ที่ 1-4 แล้วเครื่องก็ทำการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนออกมา

- Off: เป็นการปิดการทำงานของปั๊มภายในเครื่อง หรือในบางกรณี ที่ไม่ต้องการใช้งานปั๊มภายในเครื่อง เนื่องจากมีการต่อปั๊มจากภายนอกมาใช้แทน

Setup Tone: เป็นการตั้งค่าเสียงของการนับวัดปริมาณก๊าซเรดอน เมื่อหัววัดมีการนับวัดปริมาณก๊าซเรดอนเกิดขึ้น เครื่องก็จะทำการส่งเสียงเป็นจังหวะให้สัมพันธ์กับการนับวัดปริมาณก๊าซเรดอนในแต่ละครั้ง ซึ่งถ้าไม่ต้องการ ให้มีเสียงในการนับวัดปริมาณก๊าซเรดอน ก็ปิดการตั้งค่าในระบบนี้ได้

Setup Format: เป็นการตั้งค่าการ print ข้อมูลของเครื่อง ในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

- Short: เป็นการตั้งค่าการ print ข้อมูลออกมา ในรูปแบบ 3 line ซึ่งข้อมูลที่แสดงออกมามีดังนี้: run/cycle number, Radon concentration, units and mode, time and data, temperature, relative humidity (internal) and battery voltage

- Medium: เป็นการตั้งค่าการ print ข้อมูลออกมา เพิ่มขึ้นจากการ setup แบบ short เป็นรูปแบบ 7 line ซึ่งมีข้อมูลเพิ่มขึ้น ดังนี้: total count, live time and count per minute for five alpha energy windows

- Long: เป็นการตั้งค่าการ print ข้อมูลเท่ากับการตั้งค่าแบบ medium แต่จะไม่สามารถ saved สเปกตรัมพลังงานของอนุภาคแอลฟาได้ และไม่สามารถที่จะ print spectrum of alpha energy ได้จากข้อมูลที่มีการตรวจวัดผ่านมาแล้ว

- Off: เป็นการตั้งค่า เพื่อไม่ให้มีการ print ข้อมูลออกมา เมื่อมีการตรวจวัดข้อมูลเสร็จในแต่ละ cycle แต่จะมีการ print ข้อมูลออกมา เมื่อทำการตรวจวัดเสร็จสิ้นลงในแต่ละ run หรือ recycle

Setup Units: เป็นการตั้งค่าหน่วยวัดของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ซึ่งมีหน่วยให้เลือก ดังนี้ pCi/L= picoCuries per liter, Bq/m³= Becquerels per cubic meter, cpm = count per minute, #cnte = number of raw counts และถ้าทำการกดปุ่ม enter ก็จะเป็นการตั้งค่าหน่วยของอุณหภูมิ ดังนี้ _F=degree Fahrenheit, _C=degree Celsius or Centigrade

Setup Savuser: เป็นการตั้งค่าระบบ เพื่อทำการ save ค่าที่ได้ตั้งไว้ในระบบต่างๆ ให้อยู่ในชื่อที่สามารถเรียกใช้งานได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว

Setup Clock: เป็นการตั้งค่า วัน/ เดือน/ ปี และเวลาของเครื่อง RAD 7 โดยมีตัวอย่างในการตั้งค่า ดังนี้

Time: 15:05:33

Date: 13-AUG-91

Setup Review: เป็นการตั้งค่าระบบ เพื่อให้แสดงข้อมูลการตั้งค่ารูปแบบต่างๆ ที่เคยได้ setup ไว้ในเครื่องแล้ว หรือแสดงข้อมูลการ setup เครื่อง ที่ได้ทำการตรวจวัดล่าสุดในเครื่อง ซึ่งเครื่องจะทำการแสดงข้อมูลออกมา โดยการ print ข้อมูลออกมาในขณะที่ตอนเปิดเครื่อง หรือเราทำการสั่งเครื่องให้ print ข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่แสดงออกมาจะมีดังนี้ Date and Time, Protocol, Cycle Time, Recycle, Mode, Thoron, Pump, Tone, Format and Units



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

1 การทดสอบท่อที่นำมาใช้เป็น Probe

ได้ทำการจัดระบบการทดสอบ โดยใช้เครื่อง RAD 7 Serial 1444 ซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการพิจารณาเฉพาะปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ และอัตราดูดอากาศของปั๊มเท่านั้น ซึ่งผลการทดสอบขนาดของท่อต่างๆ มีดังนี้

1.1 ท่อปลายเปิด 1 ด้าน ที่ไม่มีอะไรปิดทับปลายท่อ

ตารางที่ ข-1 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อปลายเปิดที่มีขนาดต่างๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของท่อ(cm)	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	ค่าเฉลี่ยความแรงของปั๊ม (mA)
0.5	6,759.483±473.216	42.5
1	9,060.927±457.095	57.5
2	6,903.572±507.136	45
5* (มีท่อภายใน)	5,046.716±680.427	52.5
5 (ไม่มีท่อภายใน)	4,640.629±327.195	50

1.2 ท่อที่มีแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน หนาประมาณ 30 ไมโครเมตรปิดทับบริเวณปลายท่อ

ในการทดสอบท่อในรูปแบบนี้ เครื่องมือ RAD 7 ไม่สามารถทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนได้ เนื่องจาก ระบบการตรวจวัดของเครื่องมือเป็นสูญญากาศ ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองต่อได้ และไม่สามารถนำท่อลักษณะแบบนี้ไปใช้งานได้ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีดังนี้

ตารางที่ ข-2 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อที่มีแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน คลุมตรงบริเวณปลายท่อ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของท่อ (cm)	ผลการทดลอง
0.5	แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนไม่ขาด แต่ไม่มีการวัดรังสี
1	แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนไม่ขาด แต่ไม่มีการวัดรังสี
2	วัดได้ประมาณ 5 นาที แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนขาด
5* (มีท่อภายใน)	วัดได้ประมาณ 3 นาที แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนขาด
5 (ไม่มีท่อภายใน)	วัดได้ประมาณ 2 นาที แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนขาด

1.3 ท่อที่มีสาลีหนา 1 เซนติเมตรปิดอยู่บริเวณปลายท่อ

ตารางที่ ข-3 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อที่สาลีปิดทับที่มีขนาดต่างๆ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของท่อ (cm)	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	ค่าเฉลี่ยความแรงของปั๊ม (mA)
0.5	1,320.045±173.342	40
1	4,598.372±352.65	52.5
2	3,598.135±331.162	42.5
5* (มีท่อภายใน)	2,874.376±326.963	47.5
5 (มีท่อภายใน)	2,315.904±289.483	45

1.4 ท่อปลายปิด และทำการเจาะรูด้านข้างของบริเวณปลายท่อ ซึ่งสูงจากปลายท่อประมาณ 1 cm จำนวน 6 รู

ตารางที่ ข-4 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการทดสอบท่อปลายปิด

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของท่อ(cm)	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Bq/m ³)	ค่าเฉลี่ยความแรงของปั๊ม (mA)
0.5	3,659.642±318.145	42.5
1	6,214.842±498.229	55
2	5,439.759±513.268	42.5
5* (มีท่อภายใน)	4569.148±331.471	50
5 (มีท่อภายใน)	4,025.908±348.129	47.5

1.5 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนโดยใช้อุปกรณ์มาตรฐาน RAD IN SOIL ในระบบที่ใช้ตรวจวัดขนาดท่อต่างๆ ใน Chamber

เป็นการทดสอบดูค่าปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซเรดอน ที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ ข-5 ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการใช้อุปกรณ์มาตรฐาน RAD IN SOIL

ครั้งที่	ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน(Bq/m ³)	ค่าเฉลี่ยความแรงของปั๊ม(mA)
1	9,458.673±568.321	57.5
2	9,505.542±547.987	55
3	9,478.421±582.129	60
เฉลี่ย	9,481.012±566.145	57.5

ภาคผนวก ค

1. ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ในพื้นที่บ้านบางลึก ตำบลพลูเถื่อน อำเภอพนม จังสุราษฎร์ธานี

ภูมิอากาศ: อากาศร้อน มีแดดในช่วงเช้า ถึงประมาณ 15.00น.มีเมฆปกคลุม ฝนเริ่มตก
ประมาณ 16.00 น. เกือบทุกวันในการทำงานวิจัย

ภูมิประเทศ: เป็นที่ราบเชิงเขา ดินตะกอนเชิงเขา พื้นดินมีความชื้นประมาณ 14.35 %

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่จำนวน 3 เส้นแนวสำรวจ และทำการตรวจวัดในตำแหน่งอ้างอิง ที่อยู่ในบริเวณทั้งใกล้ และไกลของพื้นที่ ซึ่งข้อมูลทั้งหมด มีดังนี้

1.1 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 1

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0(0)	466860,958526	11.32±108.136	6,829.326±834.9023
1,2	7(10)	466848(51),958531	20,079.6±1171.56	12,798.61±1,123.607
1,2	15(15)	466844,958528	7,252.92±715.13	7,274.795±860.045
1,2	22(20)	466838(41),958532	20,206±1130.7	13,956.83±1,170.982
1,2	30(30)	466828,958534	10,564.56±892.81	9,145.764±958.0038
1,2*	37(40)	466820(22),958536	5,564.82±637	8,254.826±912.7582
1,2	45(50)	466805(12),958531	7,418.65±731.78	6,829.326±834.9023
1,2	52(60)	466808(01),958541	1,156.63±331.47	7,631.17±879.6048
1,2*	60(70)	466801(793),958540	6,050.08±675.79	5,849.295±776.4978
1,2	75(80)	466785(81),958541	2,168.9±388.84	7,185.701±855.0797
2*	(90)	466765,958543	-	4,512.889±688.1889

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอโซโทปแก๊สเรดอนฟิล์ม), Distance (ระยะจุดตรวจวัด CR-39), Location (CR-39)

1.2 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 2

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	466832,958460	5,435.31±584.28	8,076.639±903.4185
1,2	20	466820,958466	10,033.14±863.77	9,234.857±962.4038
1,2	(30)	466813,958463	-	7,007.514±845.0557
1,2	40	466802,958465	28,482.02±1417.56	13,065.89±1,134.725
1,2	(50)	466792,958471	-	7,452.982±869.8837
1,2*	60	466780,958477	8,206.14±770.56	4,423.795±681.8573
1,2	70	466768,958485	8,898.9±745.32	-
1,2	80	466761,958487	19,703.87±1131.74	17,609.732±1,308.691
1,2*	90	466751,958488	11.3±94.48	5,314.732±742.543
1,2	100	466749,958493	1,314.62±328.1	7,274.795±860.0448

1.3 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 3

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	466783,958410	12.6±98.87	3,176.482±585.2867
1,2*	5	466779,958406	3,706±548.37	4,869.264±712.9037
1,2	10	466778,958411	30,549±2487.9	19,035.17±1,358.481
1,2*	15	466764,958410	22.59±104.65	6,027.482±787.4648
1,2	20	466766,958404	6,297.87±631.38	10,838.54±1,030.099
1,2	30	466752,958413	15.1±100.08	7,096.607±850.0836
1,2	40	466739,958411	8.39±88.93	7,720.064±884.4224
1,2	60	466720,958428	30.36±114.5	7,007.514±845.0557
1,2*	80	466692,958437	4.2±98.34	10,571.26±1,026.007
1,2	100	466687,958445	26.5±112.09	6,472.951±854.1865
1,2	120	466673,958446	16.79±93.95	7,452.982±869.8837

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม), Distance (CR-39)

ในตำแหน่งอ้างอิงได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนจำนวนทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ทั้ง
ใกล้ และไกล ในบริเวณพื้นที่ ที่ทำการศึกษา โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตำแหน่งอ้างอิง

Sample type	ระยะทางจากพื้นที่สำรวจ(Km)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2*	1.5(SW)	467265,958352	16.79±93.95	1,178.237±294.5934
1,2	0.5(S)	466887,958653	1,033.392±294.69	1,721.284±421.1155
1,2*	1.2(NW)	466462,957102	549.67±154.87	1,593.75±342.14
1,2	0.8(N)	466605,957240	987.45±367.28	1,671.43±409.56

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม)

ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นRa-226 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินในบางตำแหน่งที่น่าสนใจ ซึ่งข้อมูล มีดังนี้

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่

เส้นแนวสำรวจที่	Distance(m)	Location	ความชื้น (%)	Ra-226 concentration $\times 10^{-2}$ (Bq/m3)
1*	7	466848,958531	13.6905	1.812±0.138
1*	22	466838,958532	26.7252	1.625±0.111
1*	45	466805,958531	20.48331	1.47±0.146
1*	60	466801,958540	11.70604	1.66±0.128
1	0	466860,958526	16.28341	1.705±0.117
2*	40	466739,958411	29.319	1.836±0.117
2*	80	466761,958487	31.58718	1.734±0.109
2	0	466832,958460	23.93162	1.36±0.115
3*	10	466778,958411	16.58291	1.67±0.132
3*	20	466766,958404	30.39677	1.92±0.154
3	40	466739,958411	22.58503	1.684±0.125
R	500	466887,958653	21.071	1.20±0.14
R	800	466605,957240	12.33	1.46±0.132
R	1,200	466462,957102	21.181	1.132±0.127
R	1,500	467265,958352	16.461	1.16±0.151

หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่ง peak และ 1, 2, 3 = ตำแหน่ง backgroundในแต่ละ line, R=Reference

ภาคผนวก ง

2. ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ในพื้นที่บ้านบางโหว่ ตำบลพยุหะเกษ อำเภอพนม จังสุราษฎร์ธานี

2.1 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 1

ภูมิอากาศ: อากาศร้อนในช่วงเช้าถึงช่วงบ่าย ก็เริ่มมีเมฆปกคลุม และมีฝนตกลงมา
ประมาณ 17.00 น. เกือบทุกวันที่ทำการวิจัย

ภูมิประเทศ: เป็นที่ราบ ดินตะกอนเชิงเขา พื้นดินมีความชื้นประมาณ 23.2 %

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่จำนวน 3 เส้นแนวสำรวจ และทำการตรวจวัดในตำแหน่งอ้างอิง ที่อยู่ในบริเวณทั้งใกล้ และไกลของพื้นที่ ซึ่งข้อมูลทั้งหมด มีดังนี้

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	468344,960877	12.59018±85.86273	7,809.357±889.2122
1,2	20	468362,960871	34.4742±181.7822	6,205.67±798.2693
1,2*	30	468371,960867	8.46135±91.69058	4,423.795±681.8573
1,2	40	468377,960864	10,244.36±841.4754	11,373.11±1,062.237
1,2	50	468384,960861	910.3288±257.3291	5,582.014±759.7259
1,2	60	468395,960854	1,853.903±348.7933	5,760.201±770.951
1,2*	80	468415,960847	12.72703±100.5222	4,601.982±694.4576

2.2 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 2

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2*	0	468335,960859	153.392±294.69	4,601.982±694.4576
1,2	20	468350,960848	218.87±143.91	6,740.232±829.7755
1,2*	40	468366,960838	18.87±97.43	6,472.951±814.1865
1,2	60	468384,960830	138.74±140.16	8,789.389±940.1841
1,2	80	468409,960824	20.94±97.19	7,809.357±889.2122
1,2*	100	468414,960815	7,144.24±672.13	12,264.04±1,101.017
1,2	110	468434,960814	357.7±179.52	8,343.92±917.39
1,2*	120	468447,960810	98.96±131.28	5,849.295±776.4978

2.3 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 3

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m ³)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m ³)
1,2*	0	468324,960833	4.2±70.45	7,083.88±903.9933
1,2	5	468325,960836	3,488.35±519.67	7,796.63±945.8596
1,2	10	468329,960828	32,914.36±1486.22	17,571.49±1,393.577
1,2	20	468338,960824	8,105.902±716.76	8,509.38±985.8384
1,2	30	468350,960818	4,905.67±561.9	9,222.13±1,024.164
1,2*	40	468366,960813	19,752.27±1163.15	11,462.2±1,135.778
1,2	50	468381,960812	2,785.6±460.7	8,611.201±996.4098
1,2	60	468390,960807	15,539.44±1050.38	12,684.06±1,192.036
1,2	70	468407,960806	25,215.5±1341.44	16,756.92±1,362.152
1,2	80	468416,960790	15,776.45±1027.4	11,564.02±1,140.578
1,2*	90	468424,960788	7,613.053±770.98	6,676.594±879.1116

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39(มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม)

ในตำแหน่งอ้างอิงได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้งใกล้ และไกล ในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ ง-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตำแหน่งอ้างอิง

Sample type	ระยะทางจากพื้นที่สำรวจ (Km)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m ³)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m ³)
1,2*	0.5 (W)	468355,960772	363.31±683.56	1,063.72±416.31

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39(มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม)

ในตำแหน่งที่มีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (RAD 7 และ CR-39) ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้น Ra-226 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินในบางตำแหน่งที่น่าสนใจ ซึ่งข้อมูล มีดังนี้

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่

เส้นแนวสำรวจที่	Distance(m)	Location	ความชื้น (%)	Ra-226 concentration $\times 10^{-2}$ (Bq/m ³)
1*	40	468377,960864	15.035	2.392 \pm 0.134
1	50	468384,960861	17.111	2.389 \pm 0.121
2*	100	468414,960815	28.767	2.211 \pm 0.129
2	60	468384,960830	22.785	2.119 \pm 0.127
3*	10	468329,960828	25.954	1.947 \pm 0.139
3*	40	468366,960813	26.79	1.624 \pm 0.116
3*	60	468390,960807	28.094	1.60 \pm 0.111
3*	70	468407,960806	33.631	1.783 \pm 0.122
3*	80	468416,960790	13.726	1.537 \pm 0.127
3	20	468338,960824	22.086	2.390 \pm 0.128
3	90	468424,960788	21.687	2.016 \pm 0.117
R	500	468355,960772	24.085	2.526 \pm 0.15

หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่ง peak และ 1, 2, 3 = ตำแหน่ง background ในแต่ละ line, R=Reference

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

3. ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ในพื้นที่บ้านปากด่าน ตำบลบางเหริยง อำเภอทับปุด จังพังกา

3.1 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 1

ภูมิอากาศ: อากาศร้อน มีแดดในช่วงเช้า ประมาณ 15.00น.มีเมฆปกคลุม ฝนเริ่มตก
ประมาณ 17.30 น.

ภูมิประเทศ: เป็นที่ราบเชิงเขา ดินตะกอนเชิงเขา พื้นดินมีความชื้นประมาณ 17.68 %

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่จำนวน 3 เส้นแนวสำรวจ และทำการตรวจวัด
ในตำแหน่งอ้างอิง ที่อยู่ในบริเวณทั้งใกล้ และไกลของพื้นที่ ซึ่งข้อมูลทั้งหมด มีดังนี้

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2*	0	464233,952798	4931.16±594.4519	2,552.826±479.8696
1,2	20	464213,952867	625.7395±220.35	6,758.051±749.2378
1,2*	40	464195,952813	1377.247±297.0283	3,764.501±572.1723
1,2*	60	464178,952821	8686.247±788.0126	6,829.326±752.9038
1,2*	80	464160,952829	1091.232±298.667	3,194.301±530.9859
1,2	(90)	464149,952834	-	5,831.476±699.676
1,2	100	464142,952837	24734.54±1247.131	10,107.98±904.5447
1,2	110	464129,952843	10444.64±835.6517	6,116.576±715.324
1,2	120	464119,952848	2953.473±468.1567	6,401.676±730.608

หมายเหตุ 1 = In-situ, 2 = CR-39, 2*=CR-39(มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม), Distance (ระยะจุดตรวจวัด CR-39)

3.2 เส้นแนวสำรวจที่ 2

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	464222,952816	9,610.594±821.7444	6,544.226±738.1212
1,2*	20	464204,952809	339.4466±186.5505	4,477.251±619.4209
1,2	(30)	464194,952806	-	5,902.751±703.6236
1,2	40	464190,952803	25,865.36±1303.724	10,393.08±916.4657
1,2	(50)	464176,952798	-	6,259.126±723.0099
1,2	60	464167,952792	6,850.291±702.6097	6,615.501±741.8468
1,2	(70)	464164,952788	-	5,831.476±699.676
1,2	80	464149,952785	588.1087±229.9616	6,686.776±745.5522
1,2*	100	464132,952776	1,456.402±338.7408	2,053.901±435.3528

3.3 ข้อมูลสันแนวสำรวจที่ 3

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2*	0	464146,952717	3,709.162±533.0794	3,693.226±567.2063
1,2*	(10)	464142,952719	-	2,339.001±461.3933
1,2	20	464136,952720	12,899.39±913.7235	7,898.451±805.7395
1,2	40	464118,952721	164.557±164.4445	6,544.226±738.1212
1,2*	60	464100,952722	27,522.94±1389.85	13,244.08±1,027.648
1,2	(70)	464089,952724	-	5,047.451±654.5304
1,2	80	464078,952726	6,803.997±702.6237	5,902.751±703.6236
1,2	(90)	464062,952732	-	6,686.776±745.5522
1,2*	100	464054,952723	27,193.1±1410.819	9,181.401±864.5856
1,2*	(110)	464048,952729	-	2,125.176±442.0286

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม), Distance (ระยะจุดตรวจวัด CR-39)

ในตำแหน่งอ้างอิงได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้งใกล้ และไกล ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ จ-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตำแหน่งอ้างอิง

Sample type	ระยะทางจากพื้นที่สำรวจ(Km)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0.7 (SW)	464203,952654	3,211.51±1,123.05	1,076.69±264.98

หมายเหตุ 1 = In-situ, 2 = CR-39, 2*=CR-39(มีใอน้ำเกาะติดฟิล์ม), Distance (ระยะจุดตรวจวัด CR-39)

ในตำแหน่งที่มีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (RAD 7 และ CR-39) ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นRa-226 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินในบางตำแหน่งที่น่าสนใจ ซึ่งข้อมูล มีดังนี้

ตารางที่ จ-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่

เส้นแนวสำรวจที่	Distance(m)	Location	ความชื้น (%)	Ra-226 concentration $\times 10^{-2}$ (Bq/m3)
1*	60	464233,952798	21.192	1.527±0.129
1*	100	464142,952837	12.325	1.958±0.132
1	80	464160,952829	20.536	1.7±0.157
2*	0	464222,952816	18.548	1.13±0.12
2*	40	464190,952803	26.835	1.723±0.125
2	60	464167,952792	18.088	1.451±0.215
3*	20	464136,952720	26.667	1.89±0.147
3*	60	464100,952722	16.461	1.16±0.151
3*	100	464054,952723	22.857	1.347±0.131
3	40	464118,952721	23.826	1.184±0.182
R	700	464203,952654	23.708	1.61±0.131

หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่ง peak และ 1, 2, 3 = ตำแหน่ง background ในแต่ละ line, R=Reference

ภาคผนวก จ

4. ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ในพื้นที่โรงเรียนเขาเทพพิทักษ์ (เขื่อนรัชชประภา) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ภูมิอากาศ: อากาศร้อนในช่วงเช้าถึง 15.00 น. หลังจากนั้นเมฆปกคลุม และมีฝนตกลงมาประมาณ 17.23 น. เกือบทุกวันที่ทำงานวิจัย

ภูมิประเทศ: เป็นที่ราบเชิงเขา ดินตะกอนเชิงเขา พื้นดินมีความชันประมาณ 13 %

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่ จำนวน 3 เส้นแนวสำรวจ ซึ่งข้อมูล มีดังนี้

4.1 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 1

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	480682,989239	46.41±120.46	7,631.17±879.6048
1,2	20	480674,989262	20,575.88±1187.56	6,740.232±829.7755
1,2*	40	480668,989281	18,418.43±1161.39	3,889.232±642.4278
1,2	60	480666,989295	106,538.8±2963	21,886.17±1,452.739
1,2	80	480662,989305	4,380.98±615.882	7,452.482±869.8837
1,2	100	480655,989321	511.29±323.095	7,363.889±864.9792

4.2 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 2

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	480669,989225	46.41±120.46	7,631.17±879.6048
1,2	7	480657,989233	5,398.79±628.32	6,651.139±824.6144
1,2	15	480656,989237	38,372.73±1582	9,145.764±958.0038
1,2	20	480654,989242	100,386.2±2862.22	23,935.33±1,516.729
1,2	25	480651,989248	31,562±1498.74	8,522.107±926.5795
1,2*	40	480641,989259	43,278±1788.63	7,987.545±898.7098
1,2*	55	480639,989269	9,576.95±844.48	6,562.045±819.4183
1,2*	70	480629,989285	3,417±516.16	8,611.201±931.1379
1,2	85	480620,989297	3,077.84±494.16	7,363.889±864.9792
1,2	100	480615,989311	14,589±970.29	8,165.732±908.1012

4.3 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 3

ตารางที่ ๓-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	480638,989216	2,887±42.09	9,629.415±1,045.396
1,2	10	480632,989227	1,408.27±334.34	7,694.808±940.0004
1,2	20	480627,989242	235.69±195.82	7,592.987±934.102
1,2	30	480624,989252	25.15±98.98	8,305.737±974.5939
1,2	40	480615,989258	2,586.94±425.68	8,509.38±985.8384
1,2	50	480614,989268	3,999.63±515.95	11,258.56±1,126.928
1,2	60	480612,989280	1,033.76±271.02	8,916.665±1,007.928
1,2	70	480609,989288	2,392.24±428.39	10,036.7±1,066.182

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม)

ในตำแหน่งอ้างอิงได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้งใกล้ และไกล ในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ ๓-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตำแหน่งอ้างอิง

Sample type	ระยะทางจากพื้นที่สำรวจ(Km)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	10(S)	484885,981314	689.409±370.2393	1,394.607±403.2596
1,2	20(SE)	484904,975409	1,618.173±499.1217	2,107.357±314.3455
1,2	40(SE)	485861,968483	226.7379±249.9673	2,807.38±587.2807

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม), Distance (ระยะจุดตรวจวัด CR-39)

ในตำแหน่งที่มีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (RAD 7 และ CR-39) ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นRa-226 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินในบางตำแหน่งที่น่าสนใจ ซึ่งข้อมูล มีดังนี้

ตารางที่ ๕-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่

เส้นแนวสำรวจที่	Distance(m)	Location	ความชื้น (%)	Ra-226 concentration $\times 10^{-2}$ (Bq/m ³)
1*	60	480666,989295	23.101	0.417 \pm 0.081
1	80	480662,989305	22.824	0.887 \pm 0.093
2*	20	480654,989242	27.56	0.39 \pm 0.092
2*	40	480641,989259	13.647	0.594 \pm 0.095
2	70	480629,989285	22.514	1.275 \pm 0.112
3*	0	480638,989216	25.966	1.831 \pm 0.123
3*	50	480614,989268	13.291	1.476 \pm 0.115
3	60	480612,989280	27.09	1.848 \pm 0.174
R	10,000	484885,981314	23.708	1.607 \pm 0.131
R	20,000	484904,975409	21.214	2.315 \pm 0.157
R	40,000	485861,968483	10.112	1.252 \pm 0.104

หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่ง peak และ 1, 2, 3 = ตำแหน่ง background ในแต่ละ line, R=Reference

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

5. ข้อมูลปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้จากทั้ง 2 วิธี (เครื่องมือวัดก๊าซเรดอน และ CR-39) ในพื้นที่วิภาวดี บ้านหัวสะพาน ต.ตะกุกเหนือ กิ่ง อ.วิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

5.1 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 1

ภูมิอากาศ: อากาศร้อนในช่วงเช้าถึงช่วงบ่าย ก็เริ่มมีเมฆปกคลุม และมีเมฆปกคลุม

ภูมิประเทศ: เป็นที่ราบ ดินตะกอนเชิงเขา พื้นดินมีความชื้นประมาณ 20.26 %

ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในพื้นที่จำนวน 3 เส้นแนวสำรวจ และทำการตรวจวัดในตำแหน่งอ้างอิง ที่อยู่ในบริเวณทั้งใกล้ และไกลของพื้นที่ ซึ่งข้อมูลทั้งหมด มีดังนี้

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2*	0	496363,1018682	46.41±120.48	3,443.764±607.4118
1,2	8	496368,1018685	5,054.47±447.075	12,976.79±1,131.032
1,2	16	496377,1018688	990.39±300.174	5,849.295±776.4978
1,2	22	496384,1018691	5,324.056±487.56	13,867.73±1,167.409
1,2	32	496396,1018695	8.12±136.46	5,314.732±742.5431
1,2	42	496405,1018699	527.41±325.46	4,780.17±706.8133
1,2*	50	496413,1018653	989.74±427.89	1,216.42±379.4331

5.2 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 2

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 2 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2*	0	0496378,1018653	366.85±213.22	3,711.045±628.6794
1,2	7	0496383,1018655	333.04±212.75	4,601.982±694.4576
1,2	14	0496386,1018656	569.03±249.81	4,423.795±681.8573
1,2	21	0496399,1018662	979.72±307.94	5,225.639±736.7188
1,2	28	0496400,1018665	446.39±308.94	4,156.514±662.4642
1,2	35	0496407,1018670	673.26±369	4,067.42±655.86
1,2*	42	0496413,1018672	551.423±342.98	3,176.482±585.2867
1,2*	49	0496420,1018676	494.85±319.43	3,443.764±607.4118

5.3 ข้อมูลเส้นแนวสำรวจที่ 3

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 3 ของพื้นที่

Sample type	Distance (m)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0	0496407,1018631	2,349.973±594.73	4,691.076±637.3104
1,2*	20	0496429,1018638	747.32±274.51	3,800.139±525.9432
1,2	40	0496443,1018651	3,031.96±489.37	5,849.295±782.0877
1,2	60	0496462,1018659	867.38±408.81	4,156.514±570.4901
1,2*	80	496471,1018663	514.85±339.43	3,354.67±470.2596
1,2	100	496483,1018676	658.15±352.38	4,334.701±592.7635

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม)

ในตำแหน่งอ้างอิงได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน ทั้งใกล้ และไกล ในบริเวณพื้นที่ทำการศึกษา โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลการสำรวจปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใน ตำแหน่งอ้างอิง

Sample type	ระยะทางจากพื้นที่สำรวจ (Km)	Location	Gas Radon(RAD 7) concentration(Bq/m3)	Gas Radon(CR-39) concentration(Bq/m3)
1,2	0.4 (N)	496335,1018658	877.645±312.47	2,552.826±479.8696

หมายเหตุ 1 = RAD 7, 2 = CR-39, 2*=CR-39 (มีไอน้ำเกาะติดฟิล์ม), Distance (ระยะจุดตรวจวัด CR-39)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในตำแหน่งที่มีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (RAD 7 และ CR-39) ได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นRa-226 โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินในบางตำแหน่งที่น่าสนใจ ซึ่งข้อมูล มีดังนี้

ตารางที่ ซ-5 ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในตำแหน่งต่างๆในพื้นที่

เส้นแนวสำรวจที่	Distance(m)	Location	ความชื้น (%)	Ra-226 concentration $\times 10^{-2}$ (Bq/m ³)
1*	22	496384,1018691	25.064	0.67 \pm 0.088
1	16	496377,1018688	9.345	0.616 \pm 0.102
2*	21	0496399,1018662	25.811	0.748 \pm 0.103
2	0	0496378,1018653	25.581	0.453 \pm 0.102
3*	0	0496407,1018631	22.126	0.583 \pm 0.101
3*	40	0496443,1018651	26.379	0.898 \pm 0.101
3	20	0496429,1018638	17.900	0.516 \pm 0.093
R	400	496335,1018658	29.75	0.758 \pm 0.104
F ₁	-	496421,1018725	15.091	0.6524 \pm 0.101
F ₂	-	496418,1018728	13.708	0.730 \pm 0.087
F ₃	-	496415,1018730	18.214	0.603 \pm 0.106
F ₄	-	496413,1018731	14.112	0.725 \pm 0.094

หมายเหตุ 1*, 2*, 3* = ตำแหน่ง peak และ 1, 2, 3 = ตำแหน่ง background ในแต่ละ line, R=Reference และ F = ตำแหน่งรอยแตก และ/หรือรอยเลื่อนที่สงบแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ

1. การคำนวณค่าแบคกราวน์ (ปริมาณก๊าซเรดอนในระดับต่ำ)

ได้ทำการคำนวณค่าแบคกราวน์ (B.G) ในแต่ละเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ในทั้ง 2 วิธี (In-situ และ CR-39) ได้ดังนี้

ปริมาณแบคกราวน์ในการตรวจวัดแบบ In-situ หาได้จากสมการ (1.1)

$$B.G \text{ In-situ} = \frac{\Sigma(Rn_1 + Rn_2 + Rn_3) \text{ In-situ}}{(N_1 + N_2 + N_3)} \dots\dots\dots (1.1)$$

ยกตัวอย่าง เช่น ค่า B.G ใน พื้นที่บ้านบางลึก

$$= \frac{(5.023.47 \pm 560.123) + (5.649.90 \pm 1.311.19) + (426.95 \pm 151.11)}{(10 + 11 + 11)}$$

$$= 3,750.11 \pm 674.141 \text{ Bq/m}^3$$

และปริมาณแบคกราวน์ในการตรวจวัดแบบ CR-39 หาได้จากสมการ (1.2)

$$B.G \text{ CR-39} = \frac{\Sigma(Rn_1 + Rn_2 + Rn_3) \text{ CR-39}}{(N_1 + N_2 + N_3)} \dots\dots\dots (1.2)$$

โดยที่ $B.G_{\text{In-situ}}$ = ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซเรดอนที่เป็นแบคกราวด์ในพื้นที่ของการตรวจวัดแบบ In-situ

$B.G_{\text{CR-39}}$ = ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซเรดอนที่เป็นแบคกราวด์ในพื้นที่ของการตรวจวัดแบบ CR-39

$(Rn_1, Rn_2 \text{ และ } Rn_3)_{\text{In-situ}}$ = ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในทุกตำแหน่ง ยกเว้นในตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3 ของการตรวจวัดแบบ In-situ

$(Rn_1, Rn_2 \text{ และ } Rn_3)_{\text{CR-39}}$ = ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในทุกตำแหน่ง ยกเว้นในตำแหน่งที่มีปริมาณก๊าซเรดอนสูงในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3 ของการตรวจวัดแบบ ในการตรวจวัดแบบ CR-39

$(N_1, N_2 \text{ และ } N_3)$ = จำนวนตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในเส้นแนวสำรวจที่ 1, 2 และ 3 ในพื้นที่

ยกตัวอย่าง เช่น ค่า B.G ใน พื้นที่บ้านบางลึก

$$= \frac{6,803.87 \pm 177.664 + (6,969.33 \pm 837.89) + (7,445.47 \pm 6,679.172)}{(10+11+11)}$$

$$= 6,817.23 \pm 322.37 \text{ Bq/m}^3$$

ซึ่งในพื้นที่ ที่ทำการศึกษานในบริเวณอื่นๆ นำเอาสมการข้างต้นไปใช้หาแบคกราวด์จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในทั้ง 2 วิธี ได้ เช่นกัน

2 การคำนวณ และเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นจำนวนรอยของแอลฟาในแผ่นฟิล์ม CR-39 เพื่อให้เป็นค่าความแรงทางรังสี

ในการติดตั้ง CR-39 ในพื้นที่ ได้ทำการเก็บ และนำแผ่นฟิล์มมาถอย และนับจำนวนรอยของแอลฟาที่เกิดขึ้น เมื่อได้จำนวนรอย นำมาทำการคำนวณ และเปรียบเทียบค่าให้กลายเป็นความแรงทางรังสี ได้จากสมการ ดังนี้

ทำการคำนวณหาความหนาแน่นของจำนวนรอยแอลฟาต่อจำนวนวันที่ทำการติดตั้งหัววัดในพื้นที่ก่อน ได้ดังนี้

$$N_{\alpha} = \frac{n_{\alpha}}{\text{day}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

โดยที่

N_{α} = ความหนาแน่นของจำนวนรอยต่อจำนวนวันที่ทำการติดตั้งหัววัดมีหน่วยเป็น density/mm²*day

n_{α} = จำนวนรอยของอนุภาคแอลฟาที่ได้จากการนับ มีหน่วยเป็น density/mm²

day = จำนวนวันที่ทำการติดตั้งหัววัด CR-39 ในพื้นที่ มีหน่วยเป็น day

ยกตัวอย่าง เช่น

เมื่อ นับจำนวนรอยของอนุภาคแอลฟาได้ เท่ากับ 139±11.79 density/mm² และได้ทำการติดตั้งหัววัดนี้ในพื้นที่ เป็นเวลา 8 วัน

$$N_{\alpha} = \frac{139 \pm 11.79}{8} = 17.375 \pm 1.474 \text{ density/mm}^2 \cdot \text{day}$$

เมื่อได้ความหนาแน่นของจำนวนรอยแอลฟาต่อจำนวนวันที่ทำการติดตั้งหัววัดในพื้นที่ นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ 2.2 ซึ่งเป็นสมการ Calibration Curve [22] ดังนี้

$$Y = 712.75X + 58.201 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

โดยที่ $R^2 = 0.9169$

X = ความหนาแน่นจำนวนรอยของแอลฟา (density/mm²*day)

Y = ปริมาณก๊าซเรดอนที่ได้จากการปรับเทียบค่า (Bq/m³)

ยกตัวอย่าง เช่น

เมื่อได้คำนวณความหนาแน่นของจำนวนรอยแอลฟาต่อจำนวนวันที่ทำการติดตั้งหัววัดในพื้นที่ มีค่า เท่ากับ 17.375±1.474 density/mm²*day แล้วนำไปแทนในค่า x ของสมการที่ 2.2 ดังนี้

$$\begin{aligned} Y &= [(712.75) (17.375 \pm 1.474)] + 58.201 \\ &= 12,442.23 \pm 1,108.80 \text{ Bq/m}^3 \end{aligned}$$

3.การคำนวณค่าความชื้นของตัวอย่างดิน

เมื่อได้ตัวอย่างดินมาแล้วต้องทำการคำนวณหาความชื้นในตัวอย่างดินนั้น โดยทำการชั่งน้ำหนักก่อนที่จะนำไปอบ และชั่งน้ำหนักหลังการอบ ซึ่งสามารถนำไปแทนในสมการที่ 3.1 เพื่อหาความชื้นในตัวอย่างดินนั้น ได้ดังนี้

$$\%RH = \frac{(W_I - W_F) \times 100}{W_I} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยที่ %RH = ความชื้นสัมพัทธ์ในตัวอย่างดิน

W_I = น้ำหนักตัวอย่างดินก่อนทำการอบ

W_F = น้ำหนักตัวอย่างดินหลังทำการอบ

ยกตัวอย่าง เช่น

เมื่อทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบ มีค่า เท่ากับ 1,075 กรัม และหลังจากนำไปอบ นำไปชั่งน้ำหนัก มีค่า เท่ากับ 950 กรัม นำค่าที่ได้ แทนในสมการที่ 3.1 จะได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในตัวอย่างดินในตำแหน่งที่ทำการเก็บนั้นๆ ดังนี้

$$\%RH = \frac{(1,075 - 950) \times 100}{1,075} = 11.63\%$$

4.การคำนวณปริมาณเรเดียม-226 ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตตรี

เมื่อนำตัวอย่างดินที่อบ และทำการบด บรรจุใส่ในภาชนะ ทำการปิดผนึกให้มิดชิดไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างดิน โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตตรี ซึ่งจะได้ค่าเป็นอัตรานับรังสีต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV จาก ^{214}Bi ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกหลานของเรเดียม-226 ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ และได้ค่าต่างๆ ที่ต้องการ นำไปแทนในสมการที่ 4.1 เพื่อทำการหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra

$$A_{\text{Ra(sample)}} = A_{\text{Ra(std)}} \times \frac{\text{wt}_{(\text{std})}}{\text{wt}_{(\text{Sample})}} \times \frac{R_{(\text{sample})}}{R_{(\text{std})}} \times \frac{f_{\text{ab}(\text{Sample})}}{f_{\text{ab}(\text{Std})}} \dots\dots (4.1)$$

แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ได้เลือกภาชนะบรรจุตัวอย่างดินที่มีความเหมาะสมกับหัววัดรังสี จึงทำให้ไม่ต้องทำการคำนวณค่าอัตราส่วนการดูดกลืนรังสีโดยตัวเอง ดังนั้นสมการที่ 4.2 ในเทอมสุดท้ายจึงตัดออก ทำให้สมการที่ 4.1 เปลี่ยนไป ดังนี้

$$A_{\text{Ra(sample)}} = A_{\text{Ra(std)}} \times \frac{\text{wt}_{(\text{std})}}{\text{wt}_{(\text{Sample})}} \times \frac{R_{(\text{sample})}}{R_{(\text{std})}} \dots\dots\dots (4.1^*)$$

โดยที่ A_{Ra} = ความแรงรังสีของเรเดียม (เบคเคอเรล / กรัม)

wt = น้ำหนัก (กรัม)

R = อัตรานับรังสีสุทธิ (จำนวนนับ / วินาที)

f_{ab} = ค่าอัตราส่วนการดูดกลืนโดยตัวเอง

ยกตัวอย่างเช่น

จากการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

- ความแรงรังสีของเรเดียมในสารมาตรฐานมีค่า = 4.936652 ± 0.024683 Bq/g
- น้ำหนักของสารตัวอย่างมีค่า = 350 g
- น้ำหนักของสารมาตรฐานมีค่า = 324.25 g
- อัตรานับรังสีสุทธิ (จำนวนนับ / วินาที) ของสารมาตรฐานมีค่า = 9.058264 cps
- อัตรานับรังสีสุทธิ (จำนวนนับ / วินาที) ของสารตัวอย่างมีค่า = 0.0459724 cps

นำค่าที่ได้ทั้งหมด ไปแทนในสมการที่ 4.1* จะได้ค่าความแรงรังสีของเรเดียมในตัวอย่างดิน ได้ดังนี้

$$A_{Ra(sample)} = (4.936652) \frac{234.25}{350} \times \frac{0.0459724}{9.058264} = 0.0169$$

$$A_{Ra(sample)} = (1.69 \pm 0.13) \times 10^{-2} \text{ Bq/g}$$

ซึ่งค่าความแรงรังสีของเรเดียมในสารมาตรฐานมีค่า = 4.936652 ± 0.024683 Bq/g จะได้มาจากการคำนวณค่ารังสีจากสมการดังนี้

$$A = \frac{C}{M} N_A \times 10^{-6} \times \left(\frac{0.693}{t_{1/2}} \right) \times \text{abundance factor} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

โดยที่

A = ความแรงรังสี (เบคเคอเรล / กรัม)

C = ความเข้มข้น (ppm), (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

N_A = เลขอาโวกาโด , 6.02×10^{23} (อะตอม / โมล)

M = มวลอะตอม (กรัม / โมล)

abundance factor = อัตราส่วนโดยอะตอมในธรรมชาติ

10^{-6} = conversion factor (1 / ppm), (กิโลกรัม / มิลลิกรัม)

$t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิต (วินาที)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิชาญศาสตร์ อาจโยธา เกิดเมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาระดับประถม จากโรงเรียนบ้านศรีวิไล อำเภอศรีวิไล จังหวัดหนองคาย ในปี พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยม จากโรงเรียนบึงกาฬ อำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย ในปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จการศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นิเวศวิทยาเทคโนโลยี) ที่ภาควิชานิเวศวิทยาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย