



การทำนายการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง
โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง
Prediction of Earthquakes at the Ranong Fault, Ranong Province
by Analyzing the Amount of Radon Gas Changed

ถิรวิทย์ คงสอนหมาน
Tirawit Kongsonman

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Applied Physics
Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การทำนายการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง
โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง
Prediction of Earthquakes at the Ranong Fault, Ranong Province
by Analyzing the Amount of Radon Gas Changed

ถิรวิทย์ คงสอนหมาน
Tirawit Kongsonman

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Applied Physics
Prince of Songkla University

2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทำนายการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง
 โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง

ผู้เขียน นายถิรวิทย์ คงสอนหมาน

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
 (ดร.สุนารี บดีพงศ์) (รองศาสตราจารย์ ดร.ชวิช ชิตตระการ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม) (ดร.สุนารี บดีพงศ์)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกิง วงศ์ศิริโชติ)
 รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(ดร.สุนารี บดีพงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(นายถิรวิทย์ คงสอนหมาน)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายถิรวิทย์ คงสอนหมาน)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การทำนายการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง
ผู้เขียน	นายถิรวิทย์ คงสอนหมาน
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่บ่งบอกว่าโลกยังไม่อยู่ในสภาวะสมดุล เนื่องจากความกดดันมหาศาลที่สะสมภายใต้แผ่นเปลือกโลก ทำให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว ส่งผลให้โครงสร้างอาคารต่าง ๆ ได้รับความเสียหายหรือพังทลาย รวมถึงชีวิตของผู้คน ส่วนใหญ่เกิดในบริเวณรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่านในพื้นที่ และในบริเวณนี้จะมีการแพร่ของก๊าซเรดอนขึ้นมาอันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของก๊าซเรดอนอย่างฉับพลัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนเกิดแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง 10 ตำแหน่งและบริเวณตำแหน่งอ้างอิง 2 ตำแหน่ง (ความยาวรอยเลื่อนเส้นนี้ 20.65 km) เนื่องจากบริเวณนี้รอยเลื่อนระนองพาดผ่านในพื้นที่ชุมชนจึงมีความน่าสนใจในการทำวิจัย โดยตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนด้วยเทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรดอนและข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนองและบริเวณใกล้เคียง ในช่วง 5 ปี ย้อนหลังจากฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (Seismograph) และต่อเนื่องไปในอนาคตอีกอย่างน้อย 1 ปี ผลการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีรอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนจะตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าสถานีอื่น ในช่วงทำการวิจัยในครั้งที่ 1 พบข้อมูลแผ่นดินไหวในกลุ่มรอยเลื่อนระนองทั้งหมด 3 ครั้ง ในพื้นที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา จำนวน 2 ครั้ง ขนาด 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ และในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2563 และในพื้นที่อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 1 ครั้ง ขนาด 2.8 โดยความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ทุกสถานี ในครั้งที่ 1 พบว่า มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนสูงในทุกสถานี และลดลงในครั้งที่ถัดไปที่ทำการตรวจวัด สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้ และระบุได้ว่าสถานี RNF2 และสถานี RNF8 เป็นสถานีที่มีศักยภาพที่จะใช้เตือนภัยการเกิดแผ่นดินไหวที่จะเกิดจากแนวรอยเลื่อนระนองในอนาคตได้ เนื่องจาก 2 สถานีนี้ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าสถานีอื่นและ สถานี Background 2 ถึง 5 เท่า และอยู่ใกล้ในแนวรอยเลื่อนระนอง

Thesis Title	Prediction of Earthquakes at the Ranong Fault, Ranong Province by Analyzing the Amount of Radon Gas Changed
Author	Mr. Tirawit Kongsonman
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2022

ABSTRACT

An earthquake is a natural phenomenon that indicates the Earth isn't equilibrium. Due to the enormous pressure that has accumulated under the tectonic plates causing the release of energy in the form of seismic waves. As a result, various building structures are damaged or collapsed. including people's lives. Most of them occur in areas of active fault pass through in the area. In this area, radon is formed due to the movement of tectonic plates. The sudden increase or decrease in radon is usually a phenomenon that occurs before an earthquake. The purpose of this research was to analyze radon changes at 10 locations and 2 reference locations on Ranong fault, Ranong province (the length of this fault is 20.65 km). Due to this fault passes through in the community area, it's interesting to do research in this area. The radon concentration was measured using the Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTD, CR-39). To analyze radon gas changes and seismic data at the Ranong Fault, Ranong province and nearby areas during the past 5 years from the earthquake data of the Thai Meteorological Department database. and continuing in the future for at least 1 year. The results showed that radon gas concentrations were measured in the area, or near the fault line more than other stations. There were 3 earthquakes in the Ranong fault group on January 26, 2020 in the area of Takua Pa, Phang Nga, 2 times with magnitude 2.1 and 2.2 respectively and on February 6, 2020 and in the area of Bang Saphan, Prachuap Khiri Khan, 1 time, magnitude 2.8 by the concentration of radon gas measured at every station in the 1st time. It was found that the radon gas concentration at all stations is high and will decrease during the next measurement. In summary, the changed in radon gas concentration is related to the measured earthquakes. It can also be identified that RNF2 and RNF8 stations have the potential to be used to warn of future earthquakes caused by the Ranong Fault because these two stations measure the concentration of radon gas higher than other stations. and Background stations 2 to 5 times and are located near the Ranong fault line.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ดร.สุนารี บดีพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงทิพย์ แก้วทับทิม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการปฏิบัติงาน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและการสนับสนุนในด้านต่าง ๆ จนงานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ และอาจารย์ปิยะ ผ่านศึก ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำงาน และขอขอบคุณ คุณพชิรารัฐ โสลา นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ชำนาญการ ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ สำหรับหลักการในการนับรอยอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39

ขอขอบคุณ กองแผ้วถางแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา และคุณปิยะ ทรัพย์ทวี เจ้าหน้าที่ส่วนวิจัยและพัฒนาแผ่นดินไหวและสึนามิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวในประเทศไทย ช่วงปี 2559 ถึง 2565

ขอขอบคุณ คุณมยุรี เสียงดัง, คุณอ้ออง นวลเขียน, คุณร่มละ ทับสมุทร, คุณสร้อยสุดา เหมพิทักษ์, คุณสุไลมาน พรหมดี, คุณวิทยา ชูพัฒน์, คุณสุทธิศักดิ์ แซ่จ้อย, คุณสุพจน์ โพธิ์ทอง, คุณเจษฎาวุธ ชาญไพโรพย์ค์, คุณอรุณ ศิลารุ่ง, เจ้าอาวาสวัดควนไทรงาม และคุณนาซิม กล้าศึก ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องพื้นที่ในการวางหัววัดในการทำวิจัยครั้งนี้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนและให้คำแนะนำในการเดินทาง

ขอขอบคุณ คุณวันมีนา อินตัน และคุณคอลลีเยาะ บาทะลา ที่ให้ความอนุเคราะห์จักรยานยนต์ในการเดินทางไปในพื้นที่ทำการวิจัย และการช่วยเหลือต่าง ๆ และขอขอบคุณ คุณนवल คำพิทักษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการไปเก็บตัวอย่างแผ่นฟิล์ม CR-39 คุณปิยวรรณ หละต๋า และคุณปฏิพัฒน์ เสียงแจ้ว ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างดิน

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ทุนยกเว้นค่าธรรมเนียมการศึกษาตลอดหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณ แผนกชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ OLYMPUS BX51 และขอขอบคุณ คุณสมศักดิ์ บัวทิพย์ เจ้าหน้าที่แผนกชีววิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์และคำแนะนำต่าง ๆ

ขอขอบคุณ อาจารย์แผนกฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ครอบครัวที่ให้คำปรึกษา กำลังใจ ความช่วยเหลือต่าง ๆ และการสนับสนุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจมา ณ ที่นี้ด้วย

ธีรวิทย์ คงสอนหวาน

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญภาพ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
2.1 ทฤษฎีทางธรณีวิทยา	6
2.1.1 แนวคิดทวีปเลื่อน (Continental drift)	6
2.1.2 แนวคิดการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร (Sea-floor spreading)	8
2.1.3 แนวคิดของไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ (Vine-Matthews-Morley)	10
2.1.4 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (Plate tectonics theory)	12
2.1.4.1 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกัน (Divergent plate boundary)	14
2.1.4.2 แผ่นธรณีเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent plate boundary)	17
2.1.4.3 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform plate boundary)	21
2.1.5 รอยเลื่อนมีพลัง (Active fault)	22
2.1.5.1 รอยเลื่อนตามแนวเอียงเท (Dip-slip fault)	23
2.1.5.2 รอยเลื่อนตามแนวระดับ (Strike-slip fault)	23
2.1.5.3 รอยเลื่อนเฉียง (Oblique fault)	23
2.1.6 การเกิดแผ่นดินไหว	23
2.1.6.1 ทฤษฎีที่ว่าด้วยการขยายตัวของเปลือกโลก (Dilation source theory)	24
2.1.6.2 ทฤษฎีที่ว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ (Elastic rebound theory)	24
2.1.7 คลื่นไหวสะเทือน (Seismic wave)	25

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
2.1.7.1 คลื่นภายในโลก (Body wave)	25
2.1.7.2 คลื่นผิวโลก (Surface wave)	25
2.1.8 ตำแหน่งแผ่นดินไหว (Earthquake location)	26
2.1.9 ขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake magnitude)	28
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นทางรังสี	29
2.2.1 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี	29
2.2.1.1 การสลายให้อนุภาคแอลฟา (Alpha decay)	29
2.2.1.2 การสลายให้อนุภาคบีตา (Beta decay)	30
2.2.1.3 การสลายให้อนุภาคโพสิตรอน (Positron decay)	31
2.2.1.4 การจับอิเล็กตรอน (Electron capture, EC)	31
2.2.1.5 การสลายให้รังสีแกมมา (Gamma decay)	33
2.2.2 สมดุลกัมมันตรังสี	33
2.2.2.1 สมดุลแบบถาวร (Secular equilibrium)	34
2.2.2.2 สมดุลแบบชั่วคราว (Transient equilibrium)	35
2.2.2.3 ไม่มีสมดุลทางรังสี (No equilibrium)	36
2.2.3 หน่วยปริมาณทางรังสี	37
2.3 ก๊าซเรดอน	37
2.3.1 แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอน	37
2.3.2 ประโยชน์ของก๊าซเรดอน	40
2.3.3 อันตรายของก๊าซเรดอน	40
2.3.4 การตรวจวัดก๊าซเรดอน	41
2.4 การเกิดรอย (Track formation mechanism)	41
2.4.1 ทฤษฎีไอออนเอกซ์ปlosionสไปค์ (Ion explosion spike)	42
2.4.2 ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์เทอร์มัลสไปค์ (Electronic thermal spike)	42
2.5 ขอบเขตและพลังงาน (Range and energy)	42
2.6 ทฤษฎีแทรค-เอทซ์ (Track etched theory)	44
2.6.1 กลไกการเกิดรอยในผลึก (Ion explosion spike model)	44
2.6.2 กลไกการเกิดรอยอนุภาคในพอลิเมอร์	44
2.6.3 กลไกการกัดขยายรอย	44
2.7 ลักษณะของรอยอนุภาค	45
2.8 เทคนิคการขยายรอยให้โตขึ้น	46
2.9 ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา	47

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	49
3.1 วัสดุ และอุปกรณ์	49
3.1.1 วัสดุ	49
3.1.2 อุปกรณ์	49
3.1.2.1 อุปกรณ์สำหรับเตรียมฝั่งแผ่นฟิล์ม CR-39	49
3.1.2.2 อุปกรณ์เตรียมสารละลายใช้สำหรับการกัดรอย (Etching) แผ่นฟิล์ม CR-39	49
3.1.2.3 อุปกรณ์สำหรับการกัดรอย (Etching) แผ่นฟิล์ม CR-39	49
3.1.2.4 อุปกรณ์สำหรับการส่องรอยอนุภาคแอลฟา (Track) แผ่นฟิล์ม CR-39	50
3.1.2.5 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน	50
3.1.2.6 อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน	50
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	50
3.2.1 พื้นที่ทำการศึกษา	50
3.2.1.1 ธรณีวิทยาของจังหวัดระนอง	51
3.2.1.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	51
3.2.2 การออกแบบการเก็บข้อมูลตามแนวรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง	55
3.2.2.1 การตรวจวัดก๊าซเรดอนในดินด้วยเทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39	57
3.2.2.2 การตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน	63
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย	65
4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง	65
4.1.1 ตำแหน่งอ้างอิง (Background): BG1 และ BG2	65
4.1.2 Station RNF1: บ้านราชกรูด ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	66
4.1.3 Station RNF2: บ้านนงาง ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	67
4.1.4 Station RNF3: บ้านห้วยปลิง ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	68
4.1.5 Station RNF4: บ้านคลองช้างแหก ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	69
4.1.6 Station RNF5: บ้านคลองช้างแหก ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	70
4.1.7 Station RNF6: บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	71
4.1.8 Station RNF7: บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	72
4.1.9 Station RNF8: บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	73
4.1.10 Station RNF9: บ้านม่วงกลวง ตำบลม่วงกลวง อำเภอกะเปอร์ จังหวัดระนอง	74
4.1.11 Station RNF10: บ้านม่วงกลวง ตำบลม่วงกลวง อำเภอกะเปอร์ จังหวัดระนอง	75

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการศึกษา	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก ผลการเปรียบเทียบวัสดุตรวจวัดรังสีแอลฟาด้วยแผ่น CR-39	91
ภาคผนวก ข แสดงวิธีการคำนวณผลการทดลอง	92
ภาคผนวก ค คุณลักษณะเฉพาะของกลุ่มรอยเลื่อนระนองและรายงานแผ่นดินไหว	94
ภาคผนวก ง ข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง ช่วงปี 2559 ถึง 2565	95
ภาคผนวก จ การเผยแพร่งานวิจัย	98
ประวัติผู้เขียน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปสาระสำคัญหน่วยปริมาณรังสี	37
2.2 อนุกรมการสลายตัวของ ^{232}Th	38
2.3 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U	39
3.1 แสดงตำแหน่งที่วางหัววัดและแผ่นฟิล์ม CR-39	56
3.2 แสดงช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง (แผ่นฟิล์ม CR-39)	57
3.3 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และจำนวนรอยต่อพื้นที่บนแผ่นฟิล์ม CR-39	61
4.1 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) และกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ สถานี BG1 และ สถานี BG2	65
4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน บริเวณรอยเลื่อนระนอง	77
4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ของตัวอย่างดิน บริเวณรอยเลื่อนระนอง	77
4.4 ข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณใกล้เคียงจังหวัดระนองช่วงปี 2559 ถึง 2565	79

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วิวัฒนาการเคลื่อนตัวของทวีปต่าง ๆ ในมหาทวีปพันเจีย	6
2.2 หลักฐานสนับสนุนแนวคิดทวีปเลื่อนของอัลเฟรด เวกเนอร์	7
2.3 ลักษณะภูมิประเทศใต้มหาสมุทรแอตแลนติก	9
2.4 หลักฐานที่ถูกค้นพบเพิ่มเติมจากทีมสำรวจไวน์-แมททิว-มอร์เลย์	10
2.5 การกลับขั้วสนามแม่เหล็กโลก	11
2.6 การกระจายตัวของแผ่นเปลือกโลกและการเคลื่อนที่	13
2.7 แบบจำลองกระแสพาความร้อน (ก) ตัวอย่างในหม้อต้มน้ำ (ข) ภายในโลก	13
2.8 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกัน (Divergent plate boundary)	14
2.9 วิวัฒนาการเคลื่อนที่ออกจากกันของแผ่นเปลือกโลก	15
2.10 (ก) แผนที่แสดงการแยกตัวในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปแอฟริกา (ข) รอยแยกฝั่งตะวันออกของทวีปแอฟริกาที่เกิดจากการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลก	16
2.11 สันเขากลางมหาสมุทรที่สำคัญของโลก (Mid Atlantic ridge)	16
2.12 แผ่นธรณีเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent plate boundary)	17
2.13 (ก) แบบจำลองการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (ข) ประเทศญี่ปุ่น (ค) หมู่เกาะเอลูเทียน	18
2.14 การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกมี 3 ลักษณะ	18
2.15 (ก) แบบจำลองการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและแผ่นเปลือกโลกทวีป (ข) ทวีปอเมริกาใต้	19
2.16 (ก) การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดียชนกับแผ่นยูเรเชีย (ข-ค) ภูมิภาคเอเชียแสดงตำแหน่งและการวางตัวของที่ราบสูงทิเบต	20
2.17 สรุปลักษณะธรณีแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค	20
2.18 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform plate boundary)	21
2.19 (ก) ภูมิภาค (ข) แบบจำลองการเกิด (ค-ง) ภายจากมุมสูงในบริเวณรอยเลื่อนซานแอนเดรียส (San Andreas fault) ทางตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา	21
2.20 พื้นที่ส่วนต่าง ๆ ที่ถูกแบ่งระหว่างระนาบรอยเลื่อน	22
2.21 ชนิดของรอยเลื่อน	22
2.22 แนวคิดการคืนตัวของวัตถุ	24
2.23 คลื่นไหวสะเทือนชนิดต่าง ๆ และผลกระทบต่อวัตถุบนพื้นผิวโลก	26
2.24 หลักการประเมินจุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหว	27
2.25 จุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว	27
2.26 แผนผังการประเมินขนาดแผ่นดินไหว	29
2.27 แผนการสลายของ ^{226}Ra	30

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.28 แผนการสลายตัวของ ^{131}I	31
2.29 แผนการสลายของ ^{26}Al ที่ให้ทั้งอนุภาคโพซิตรอน และการจับอิเล็กตรอน	32
2.30 การเกิดโอเจอิเล็กตรอน	32
2.31 แผนการสลายของ ^{60}Co	33
2.32 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบถาวร	35
2.33 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบชั่วคราว	36
2.34 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี	36
2.35 อนุกรมการสลายตัวของ ^{222}Rn	39
2.36 การสูญหายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าไปในปอดจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด	41
2.37 การเกิดรอยอนุภาคบนวัสดุเมื่ออนุภาคมีพลังงานจลน์ต่างกัน	45
2.38 แสดงลักษณะของผิวพลาสติกที่ถูกกัด ขณะทำปฏิกิริยากับ NaOH	46
2.39 แผนภาพการแสดงการจัดการของระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา	47
2.40 หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)	48
3.1 แสดงกลุ่มรอยเลื่อนระนองที่พาดผ่านพื้นที่จังหวัดระนอง ซึ่งทอดยาวมาตั้งแต่ทะเลอันดามันไปจนถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดชุมพร ความยาวประมาณ 300 km วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้	51
3.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดระนอง	52
3.3 แผนที่รอยเลื่อนมีพลังประเทศไทย	53
3.4 แผนที่หมู่บ้านรอยเลื่อนมีพลังพาดผ่าน จังหวัดระนอง	54
3.5 แผนที่แสดงตำแหน่งการวิจัย 10 ตำแหน่งและ Background 2 ตำแหน่ง	55
3.6 แผนที่แสดงตำแหน่งการวิจัย	56
3.7 ลักษณะบันทึกรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39	58
3.8 แผ่นฟิล์ม CR-39 ที่เกี่ยวข้องกับลาว	58
3.9 การเตรียมอนุภูมิภาคของสารละลายในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	59
3.10 กระบวนการกัดรอย (Etching) แผ่นฟิล์ม CR-39	59
3.11 การถ่ายภาพรอยอนุภาคแอลฟาโดยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10x	60
3.12 รอย (Track) บนแผ่นฟิล์ม CR-39 ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10x	60
3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Track density ($/\text{cm}^2$) กับ Radon concentration (Bq/m^3)	61
3.14 แสดงการเตรียมตัวอย่างดิน (ก) การบด (ข) การร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm	63
3.15 การวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากพีคพลังงาน (Net peak area) ของ ^{214}Bi พลังงาน 609.32 keV	64

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF1	66
4.2 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF2	67
4.3 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF3	68
4.4 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF4	69
4.5 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF5	70
4.6 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF6	71
4.7 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF7	72
4.8 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF8	73
4.9 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF9	74
4.10 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF10	75
4.11 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF1 ถึงสถานี RNF10	81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติในโลกที่ยังไม่สงบนิ่งเมื่อเกิดการแปรธรณีฐาน (Tectonics) คือแผ่นธรณีภาคเคลื่อนที่ผ่านกัน ขนานกัน ในแนวราบตามธรรมชาติหรืออาจมีมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีฐาน (สอวน., 2562a) เช่น การทดลองระเบิดนิวเคลียร์ การระเบิดใต้ดินเพื่อทำเหมือง เป็นต้น หรือสาเหตุจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ คลื่นพายุกระแทกฝั่งรุนแรง เป็นต้น นั้นจะทำให้เกิดแรงกระทำส่งผลจากจุดกำเนิดผ่านตามวลของโลกไปยังตำแหน่งที่อยู่ไกลห่างออกไปในรูปคลื่นไหวสะเทือนเรียกว่า คลื่นภายในโลก (Body wave) เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านมวลของโลกจะขยับตัวสอดคล้องกับรูปแบบของคลื่นนั้น คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าใกล้ผิวโลกจะทำให้มวลใกล้ผิวโลกขยับตัวจนถึงบริเวณพื้นผิวทำให้เกิดปรากฏการณ์แผ่นดินไหว (Earthquake) (สอวน., 2562b) การเคลื่อนที่ลักษณะนี้เกิดได้ทั้งในแผ่นธรณีภาคชนิดแผ่นมหาสมุทรและแผ่นทวีป เหตุผลเพราะอัตราการเคลื่อนตัวของแมกมาในชั้นเนื้อโลกไม่เท่ากันหรือไม่พร้อมกัน ทำให้ธรณีภาคบางส่วนไถลเลื่อนผ่านและเนียนกันเองเกิดเป็นรอยเลื่อนเคลื่อนที่ผ่านกันขนาดใหญ่ หรือ Transform fault โดยชนิดของรอยเลื่อนพื้นฐานมี 3 ชนิด คือ รอยเลื่อนปกติ รอยเลื่อนย้อน และรอยเลื่อนตามแนวระดับ (สันติ, 2562)

ก๊าซเรดอน เป็นก๊าซกัมมันตรังสีซึ่งไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เกิดจากการสลายตัวของแร่เรเดียม ที่ได้จากการสลายตัวของอนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติ มีค่าครึ่งชีวิต 3.82 d ซึ่งมีปะปนอยู่ในดินและหินทั่วไปบนพื้นโลก (คลังความรู้สุขภาพ, 2562) เคลื่อนที่ด้วยการแพร่โดยเฉพาะบริเวณที่มีความไม่ต่อเนื่องของผิวโลกจะสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกและเร็วมากขึ้นเช่น รอยแตก (Fractures) หรือรอยเลื่อน (Fault) เป็นต้น ดังนั้นก๊าซเรดอนจึงถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ การเฝ้าระวังการระเบิดของภูเขาไฟ การทำนายการเกิดแผ่นดินไหว การหาตำแหน่งโพรงใต้ดินที่มีโอกาสขุดตัวและการทำแผนที่บริเวณรอยเลื่อน จากข้อมูลของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ทำให้สามารถที่จะบ่งชี้ถึงความไม่ต่อเนื่องของ Tectonic discontinuities หรือความเสถียรของโครงสร้างธรณีวิทยาได้ เนื่องจากบริเวณใกล้หรือตรงกับตำแหน่งแนวรอยเลื่อน รอยแตกจะสามารถตรวจพบปริมาณก๊าซเรดอนสูงกว่าบริเวณอื่นหรือ สูงกว่า Background ประมาณ 2 ถึง 10 เท่า หรือมากกว่านั้น (วิษณุศาสตร์, 2550) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดของปริมาณก๊าซเรดอนสามารถนำมาใช้ทำนายการเกิดแผ่นดินไหวได้ เพราะก๊าซเรดอนจะอยู่กระจายตามแนวรอยต่อของเปลือกโลก ถ้าเปลือกโลกมีการขยับก็จะมีอัตราสูงที่ก๊าซเรดอนพุ่งขึ้นมาได้

ในประเทศไทยนั้นมีรอยเลื่อนที่มีพลังอยู่ 16 รอยเลื่อน นั้นคือ 1. กลุ่มรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ 2. กลุ่มรอยเลื่อนเถิน 3. กลุ่มรอยเลื่อนปัว 4. กลุ่มรอยเลื่อนพะเยา 5. กลุ่มรอยเลื่อนเพชรบูรณ์ 6. กลุ่มรอยเลื่อนเมย 7. กลุ่มรอยเลื่อนแม่จัน 8. กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา 9. กลุ่มรอยเลื่อนแม่ลาว 10. กลุ่มรอยเลื่อนแม่เอ็ง 11. กลุ่มรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอน 12. กลุ่มรอยเลื่อนเวียงแหง 13. กลุ่ม

รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ 14. กลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ 15. กลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย และ 16. กลุ่มรอยเลื่อนระนอง (กรมทรัพยากรธรณี, 2563) ซึ่งในอนาคตมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ ผลกระทบโดยตรงจากการเกิดแผ่นดินไหว คือการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ส่งผลให้โครงสร้างอาคารต่าง ๆ ได้รับความเสียหายหรือพังทลาย นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อได้แก่ เกิดรอยแตกบนพื้นดิน ดินถล่ม และไฟไหม้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2559)

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการเลือกพื้นที่จังหวัดระนองเพราะมีรอยเลื่อนที่สำคัญได้แก่ กลุ่มรอยเลื่อนระนอง เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับ วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบด้วยรอยเลื่อนต่าง ๆ แผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขนานกัน พาดผ่านตั้งแต่ทะเลอันดามันจังหวัดระนอง ไปยังอ่าวไทยในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จนถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจังหวัดชุมพร ยาวประมาณ 300 km กลุ่มรอยเลื่อนระนองเป็นรอยเลื่อนที่ยังมีพลังอยู่ โดยมีการเคลื่อนตัวไปทางขวา รอยแตกส่วนใหญ่อยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) เหมาะสมต่อการทำงานวิจัยอย่างยิ่ง อีกทั้งยังไม่มีเคยมีผู้วิจัยทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนองเพื่อทำนายการเกิดแผ่นดินไหวมาก่อน บริเวณรอยเลื่อนระนองจึงเป็นพื้นที่ที่น่าสนใจสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจากการสำรวจบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง ด้วยวิธีทางนิวเคลียร์โดยใช้เทคนิคหัววัดเรดอนนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 ซึ่งทำให้เกิดรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 เป็นวิธีการวัดค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการติดตั้งหัววัดไว้ในพื้นที่เส้นทางที่มีรอยเลื่อนพาดผ่าน แล้วนำมากัดรอย (Etching) และอ่านรอยที่เกิดจากการชนของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 แล้วทำการเปรียบเทียบค่าจำนวนอนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยออกมาจากก๊าซเรดอนให้กลายเป็นค่าความแรงรังสี (วิชาศาสตร์, 2550) นำมาคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และการตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินด้วยเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์โดยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA) โดยใช้ตรวจสอบปริมาณก๊าซเรดอน (^{222}Rn) เนื่องจากก๊าซเรดอน (^{222}Rn) เป็นธาตุลูกที่ได้จากการสลายตัวของเรเดียม (^{226}Ra) เพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อการทำนายการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตได้

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่บ่งบอกว่าโลกยังไม่อยู่ในสภาวะสมดุลภายใต้โลกยังคงคุกรุ่น แมกมาภายใต้เปลือกโลกเคลื่อนที่ เนื่องจากความกดดันมหาศาลที่สะสม ทำให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมา การไหลเวียนของแมกมาที่อยู่ในชั้นเนื้อโลกซึ่งอยู่ใต้แผ่นธรณีภาค ทำให้เกิดการดันแผ่นเปลือกโลกให้เคลื่อนที่ ทำให้แผ่นธรณีภาคเกิดการเปลี่ยนแปลง เรียกว่ากระบวนการแปรสัณฐานธรณีวิทยา (Plate Tectonic) ทฤษฎีนี้ใช้อธิบายการเคลื่อนที่และปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของแผ่นหินแข็งที่เรียกว่า แผ่นเปลือกโลก (Plates) ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลง

พื้นผิวโลก แผ่นเปลือกโลกเหล่านี้หมายถึงแผ่นธรณีภาค (Lithosphere) ที่ประกอบด้วยเปลือกโลก (Crust) และชั้นเนื้อโลกส่วนบน (Upper mantle) โดยแผ่นธรณีภาควางตัวอยู่บนชั้นหินหนืดร้อนที่สามารถไหลได้คล้ายของเหลวเรียกว่า หินฐานธรณีภาค (Asthenosphere) ซึ่งสามารถเปลี่ยนสภาพและเลื่อนไหลในอัตราส่วนนี้ต่อปี (In/y) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่

โดยทฤษฎีกระบวนการแปรสัณฐานธรณีวิทยาอธิบายการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกมี 3 ลักษณะคือ เคลื่อนที่แยกออกจากกัน (Divergent) เคลื่อนที่เข้าชนกัน (Convergent) และเคลื่อนผ่านกันได้ (Transform) โดยกรณีเคลื่อนผ่านกันทำให้เกิดรอยเลื่อน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดแผ่นดินไหวนั่นเอง โดยก่อนการเกิดแผ่นดินไหวนั้นจะมีสัญญาณเตือนซึ่งเราสามารถตรวจวัดได้นั้นคือก๊าซเรดอน ซึ่งอยู่ตามรอยต่อของแผ่นเปลือกโลก ถ้ารอยเลื่อนเกิดการขยับตัวก็จะมีโอกาสที่ก๊าซเรดอนขึ้นมาบนผิวโลกได้มาก และก็เป็นสัญญาณบ่งบอกได้ว่าอาจจะเกิดแผ่นดินไหวในอนาคตข้างหน้าได้ จึงมีผู้วิจัยศึกษาความผิดปกติของก๊าซเรดอนก่อนการเกิดแผ่นดินไหว เพื่อใช้ทำนายการเกิดแผ่นดินไหว โดยวิธีทางนิวเคลียร์ใช้เทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 ซึ่งทำให้เกิดรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 และกัดรอยแผ่นฟิล์ม CR-39 (Etching) เพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาใช้ในการทำนายเกิดแผ่นดินไหว เป็นที่สนใจอย่างมากในการศึกษาด้านนี้ในต่างประเทศ เช่น งานวิจัยของ Deb *et al.* (2018) ศึกษาชุดข้อมูลเวลาของก๊าซเรดอนจากดินที่บันทึกไว้ประมาณหนึ่งปีครึ่งระหว่างปี 2012-2013 ที่สถานที่ใกล้เคียงสองแห่งในวิทยาเขต Jadavpur University เมืองกัลกัตตา รัฐเบงกอลตะวันตก ประเทศอินเดีย โดยใช้ SSNTD CR-39 พบว่า ความผันผวนของก๊าซเรดอนในดินเป็นเวลาประมาณหนึ่งเดือนก่อนเกิดแผ่นดินไหวทั้งสองตำแหน่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อนที่จะลดลงอีกครั้ง นั่นคือความผิดปกติที่สอดคล้องกับแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นใน 15 d ต่อมา ซึ่งความผิดปกติของก๊าซเรดอนก่อนเกิดแผ่นดินไหวมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Kim *et al.* (2018) ที่ทำการศึกษาดูความเข้มข้นของก๊าซเรดอนโดย RAD 7 พบว่า ความเข้มข้นของเรดอนโดยรวมเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน 1-4 d ก่อนเกิดแผ่นดินไหวโดยจะลดลงที่ละน้อยก่อนแผ่นดินไหวและลดลงอย่างกะทันหันในวันที่เกิดแผ่นดินไหว อีกทั้งงานวิจัยของ Zoran *et al.* (2012) พบว่า ความผิดปกติของเรดอนดังกล่าวเริ่มขึ้นภายในไม่กี่วันก่อนเกิดแผ่นดินไหวตามที่คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภายใน 30-200 d ก่อนเกิดแผ่นดินไหว เวลาที่มากขึ้นระหว่างจุดเริ่มต้นของความผิดปกติและแผ่นดินไหวตลอดจนระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นของความผิดปกติของเรดอนที่เกี่ยวข้องกับขนาดแผ่นดินไหว งานวิจัยของ Deb *et al.* (2016) ศึกษาชุดเวลาของความเข้มข้นของเรดอนในดิน ระหว่าง 1 มีนาคม-30 มิถุนายน 2015 ที่ตำแหน่ง A และ B ใช้ SSNTD CR-39 วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนทั้ง 2 ตำแหน่ง ปรากฏว่าทั้ง 2 แห่ง มีผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยก๊าซเรดอนจะมีความเข้มข้นสูงสุดก่อน แล้วจึงลดลงมาจนต่ำ จากนั้นจึงเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งความผิดปกติของก๊าซเรดอนที่ลดลงมาเป็นสัญญาณเตือนการเกิดแผ่นดินไหวล่วงหน้า งานวิจัยของ Savastru *et al.* (2012) กล่าวว่าเวลาที่มากขึ้นระหว่างจุดเริ่มต้นของความผิดปกติและแผ่นดินไหว ตลอดจนระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นของความผิดปกติของเรดอนมีความสัมพันธ์กับขนาดแผ่นดินไหวที่ใหญ่ขึ้น และงานวิจัยของ Bal *et al.* (2020) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซเรดอนในดินบริเวณเขตรอยเลื่อน

ระยะเวลาหนึ่ง มีความสัมพันธ์กับขนาดแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้น และยังสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรดอนเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการคาดคะเนการเกิดแผ่นดินไหวได้

โดยการศึกษาความผิดปกติของก๊าซเรดอนไม่เพียงเป็นที่สนใจในต่างประเทศ ในประเทศไทยก็มีผู้วิจัยสนใจเช่นกัน เนื่องจากก็มีรอยเลื่อนที่สำคัญ ซึ่งส่งผลให้เกิดแผ่นดินไหว เช่น รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย รอยเลื่อนระนอง รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ เป็นต้น มีผู้วิจัยศึกษาความผิดปกติของก๊าซเรดอนโดยวิธีทางนิวเคลียร์ใช้เทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 กัดรอยแผ่นฟิล์ม CR-39 (Etching) เพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาใช้ในการคาดคะเนการเกิดแผ่นดินไหวเช่นกัน เช่น งานวิจัยของ วิษณุศาสตร์ (2550) ศึกษา ความเข้มข้นก๊าซเรดอนโดยใช้ RAD 7 และเทคนิคการกัดรอยแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 (Track Etch Method) ในบริเวณกลุ่มแนวรอยเลื่อนและรอยแตก โดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนใน 5 พื้นที่ ตามบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ซึ่งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยรอยเลื่อนวางตัวในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ผลการตรวจวัด พบว่า ปริมาณของก๊าซเรดอนที่ทำการตรวจวัดได้ในตำแหน่งของรอยเลื่อนนั้น มีค่ามากกว่า Background ประมาณ 3-8 เท่า และ 3 พื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรดอนที่วัดได้สัมพันธ์และสอดคล้องกับแนวรอยเลื่อน ที่ และพบว่าปริมาณของก๊าซเรดอนในบริเวณรอยเลื่อนมีพลังจะสูงกว่าบริเวณที่ไม่อยู่ในแนวรอยเลื่อนมาก ซึ่งจากผลงานวิจัยนี้ จึงยืนยันได้ว่า เทคนิคการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอน เหมาะที่จะนำไปเป็นทางเลือกทางหนึ่งสำหรับการค้นหาตำแหน่งของรอยเลื่อนมีพลัง และการทำแผนที่รอยเลื่อนมีพลังได้ และงานวิจัยของ Bhongsuwan *et al.* (2011) ทำการศึกษาบริเวณรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย จังหวัดพังงา พบว่า ความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่เพิ่มขึ้นอาจเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของความดันและการเพิ่มขึ้นของความเครียดในพื้นที่ผิวใต้ผิวดิน หลังจากนั้นจะสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของจำนวนเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่สัมพันธ์กับจุดสูงสุด ต่ำสุดในข้อมูลก๊าซเรดอน ดังนั้นข้อมูลก๊าซเรดอนสามารถเป็นตัวตรวจสอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงความเค้นในเปลือกโลก ในทางกลับกันความเครียดนี้นำไปสู่การปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบของคลื่นไหวสะเทือนซึ่งปรากฏบนพื้นผิวและเกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินไหว

งานวิจัยในต่างประเทศและในประเทศไทย มีผลที่ไปในทางเดียวกัน โดยก๊าซเรดอนจะมีการเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงต่ำก่อนการเกิดแผ่นดินไหว นั่นก็คือความผิดปกติของก๊าซเรดอน ยิ่งเวลาของความผิดปกติมากเท่าใดก็ยิ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของแผ่นดินไหวที่ใหญ่ขึ้น รุนแรงขึ้น อาจจะได้ว่าความผิดปกติของก๊าซเรดอนเป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าก่อนการเกิดแผ่นดินไหว

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง และบริเวณใกล้เคียง ในช่วง 5 ปี ย้อนหลังจากฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (Seismograph) และต่อเนื่องไปในอนาคตอีกอย่างน้อย 1 ปี

1.3.2 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง เป็นเวลาต่อเนื่อง 1 ปี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ใช้เทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 วัดก๊าซเรดอนซึ่งสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาทำให้เกิดรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39 บริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง 10 ตำแหน่งและบริเวณตำแหน่งอ้างอิง (Background) 2 ตำแหน่ง ความยาวของรอยเลื่อนเส้นนี้ยาว 20.65 km ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 และอ่านรอยที่เกิดจากการชนของอนุภาคแอลฟาและนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

1.4.2 ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง เพื่อใช้วิเคราะห์ในการทำนายการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาใช้ในการวิเคราะห์ทำนายการเกิดแผ่นดินไหวในอนาคต

1.5.2 สามารถเตือนภัยการเกิดแผ่นดินไหว บริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง โดยทำนายจากปริมาณการฟุ้งกระจายของก๊าซเรดอนบริเวณผิวดินที่เปลี่ยนแปลงผิดปกติในบริเวณที่รอยเลื่อนระนองพาดผ่าน

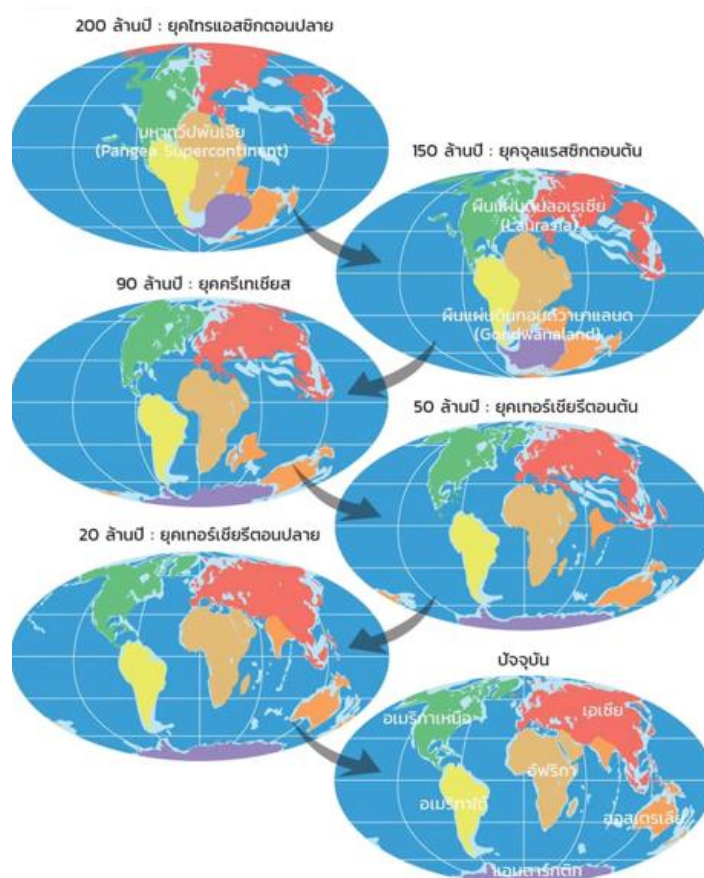
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีทางธรณีวิทยา

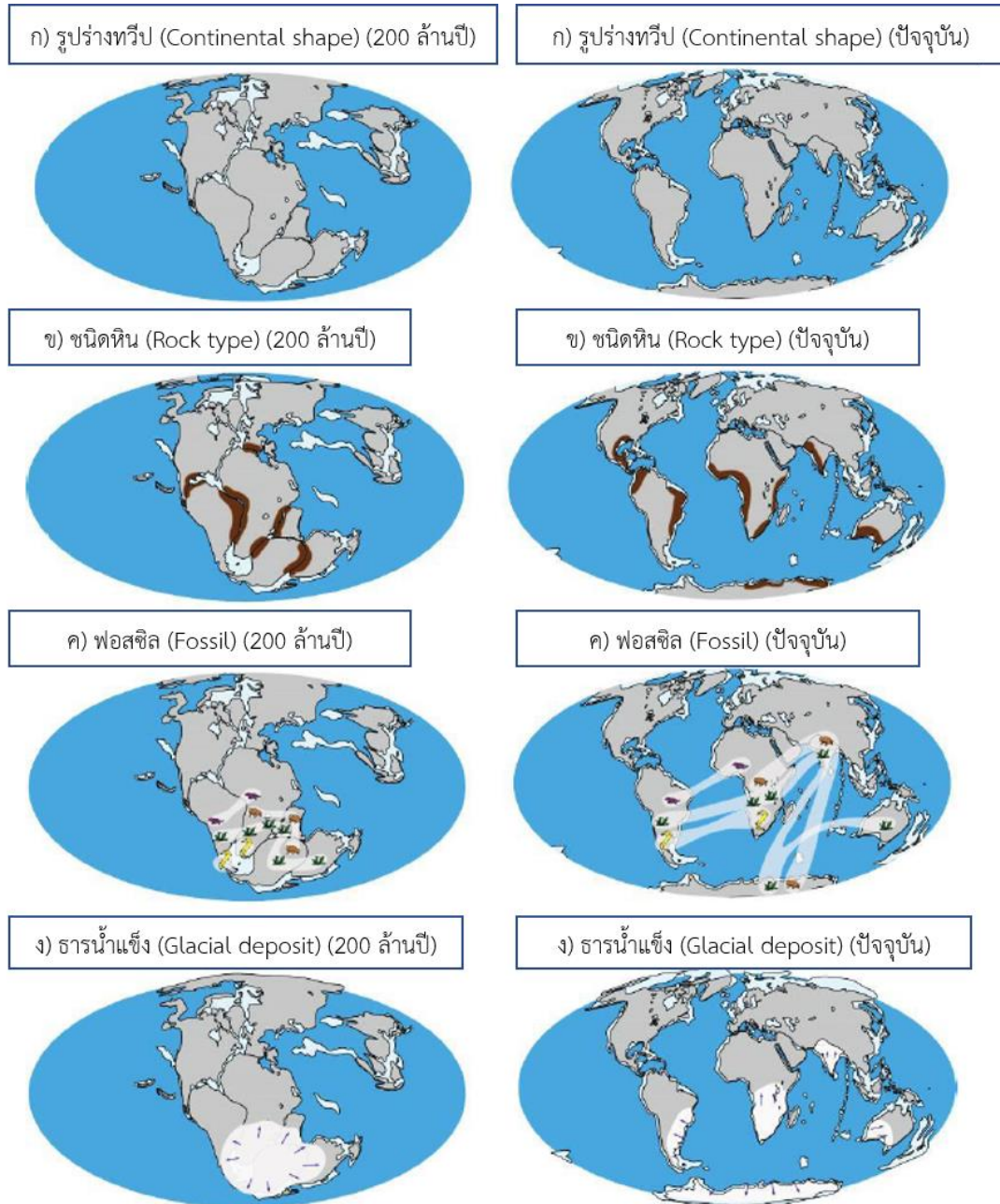
2.1.1 แนวคิดทวีปเลื่อน (Continental drift)

ปี พ.ศ. 2458 อัลเฟรด เวเกเนอร์ (Wegener A.) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน นำเสนอ แนวคิดทวีปเลื่อน (Continental drift) โดยอธิบายว่า เมื่อประมาณ 200 ล้านปี ที่ผ่านมา พื้นทวีปปัจจุบันเคยอยู่ติดเป็นแผ่นดินเดียวกันมาก่อน เรียกว่า มหาทวีปพันเจีย (Pangaea supercontinent) ต่อมามหาทวีปพันเจียเริ่มปริแตกและเลื่อนตัว (Drift) แยกออกจากกันเป็น 2 ส่วน คือ 1) ลอเรเชีย (Laurasia) ทางซีกโลกเหนือ และ 2) กอนด์วานาแลนด์ (Gondwanaland) ทางซีกโลกใต้ (Wegener, 1966) และแผ่นดินทั้งสองเกิดการแยกย่อยและเลื่อนตัวตลอดช่วงเวลา 200 ล้านปี ที่ผ่านมาจนมีการกระจายตัวของทวีปต่าง ๆ ในปัจจุบันดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 วิวัฒนาการเลื่อนตัวของทวีปต่าง ๆ ในมหาทวีปพันเจีย (ที่มา: Rolf *et al.*, 2018)

โดยหลักฐานที่เชื่อว่าแผ่นทวีปเคลื่อนที่นั้นคือ ในปัจจุบันได้พบชนิดหินที่เกิดในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน แต่อยู่คนละทวีปซึ่งห่างไกลกันมาก โดยหินอายุเดียวกันที่อยู่ต่างทวีปกันมีรูปแบบสนามแม่เหล็กโบราณคล้ายคลึงกันและขอบของทวีปสามารถเชื่อมตัวประสานแนบสนิทเข้าด้วยกันได้ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 หลักฐานสนับสนุนแนวคิดทวีปเลื่อนของอัลเฟรด เวเกเนอร์
(ดัดแปลงจาก: สันติ, 2564a)

จากภาพที่ 2.2 อัลเฟรด เวเกเนอร์ ใช้อ้างอิงหลักฐานสนับสนุนแนวคิดทวีปเลื่อน (Continental drift) ดังนี้

ก) รูปร่างทวีป (Continental shape) อัลเฟรด เวเกเนอร์ พบว่า เมื่อตัดพื้นน้ำออก รูปร่างของทวีปอเมริกาใต้และทวีปแอฟริกาสามารถเชื่อมต่อกันสนิทกันได้ (ภาพที่ 2.2ก)

ข) ชนิดหิน (Rock type) อัลเฟรด เวเกเนอร์ พบว่า หินที่ขอบตะวันออกของทวีปอเมริกาเหนือและขอบตะวันตกของทวีปแอฟริกา ซึ่งในปัจจุบันอยู่ห่างกันหลายพันกิโลเมตรเป็นหินชนิดเดียวกัน (ภาพที่ 2.2ข)

ค) ฟอสซิล (Fossil) อัลเฟรด เวเกเนอร์ พบว่า มีฟอสซิลหลายชนิดอยู่คนละฝั่ง มหาสมุทร โดยไม่มีอวัยวะที่เชื่อว่าจะสามารถว่ายน้ำข้ามมหาสมุทรได้ (ภาพที่ 2.2ค)

ง) ธารน้ำแข็ง (Glacial deposit) อัลเฟรด เวเกเนอร์ พบหลักฐานของหินที่แสดง ลักษณะการสะสมตัวแบบธารน้ำแข็งในอดีตกระจายตัวอยู่ในหลายทวีป ซึ่งเมื่อลองนำมาต่อกันตาม รูปร่างทวีป (ภาพที่ 2.2ง) พบว่า ธารน้ำแข็งนั้นกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่เดียวกัน จึงสรุปว่าในอดีตพื้นที่ ดังกล่าวน่าจะอยู่ติดกันในบริเวณที่มีภูมิอากาศหนาวเย็น เช่น ขั้วโลก

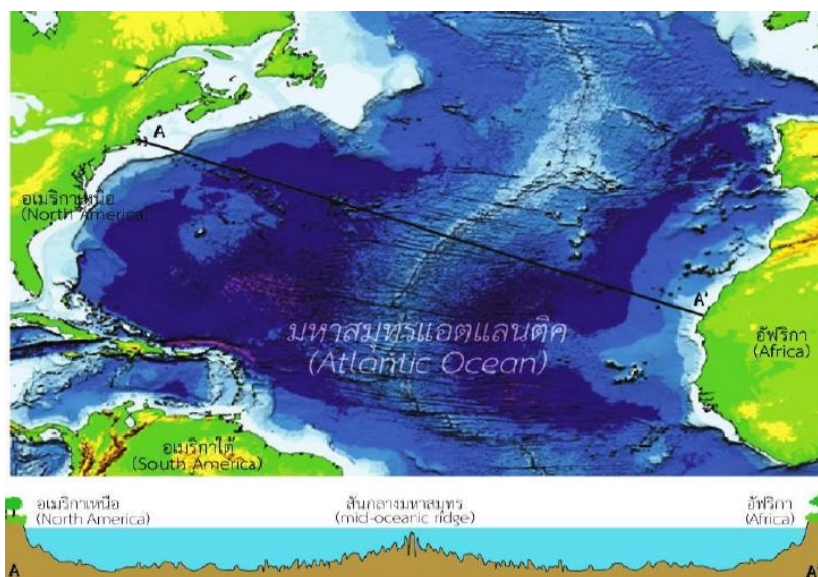
ถึงแม้ว่าหลักฐานต่าง ๆ ที่อัลเฟรด เวเกเนอร์ นำเสนอต่อสังคมวิทยาศาสตร์นั้นมีความน่าเชื่อถือและสมเหตุสมผล แต่เนื่องจากไม่สามารถอธิบายได้ว่าแรงหรือกลไกใดที่ทำให้แผ่นทวีปเคลื่อนที่ได้ กลุ่มนักวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะแถบยุโรปจึงคัดค้านแนวคิดของเขาอย่างรุนแรงและไม่ยอมรับแนวคิดนี้ ในเวลานั้น

2.1.2 แนวคิดการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร (Sea-floor spreading)

จากปรากฏการณ์แตกตัวและแยกออกจากกันของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปและใต้มหาสมุทรสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหว การเกิดหมู่เกาะภูเขาไฟ การเกิดแนวเทือกเขากลางมหาสมุทร การขยายตัวและการเกิดใหม่ของมหาสมุทร ทำให้เกิดสมมติฐานและกลายเป็นทฤษฎีขึ้นเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นและการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกต่าง ๆ โดยผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ก็คือ แฮร์รี่ เฮส (Hess H.H.)

ที่มาของทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร เกิดจากการค้นพบหลักฐานเกี่ยวกับอายุ หิน ของพื้นมหาสมุทร โดยทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร ได้อธิบายถึงสาเหตุที่ทำให้มหาทวีป พ้นเจียปริแตก และเคลื่อนที่แยกออกจากกัน ซึ่งเกิดจากการปะทุแทรกขึ้นมาของแมกมาบนเปลือกโลกทวีป ทำให้เปลือกโลกทวีปโป่งตัวขึ้น เกิดเป็นเทือกเขากลางมหาสมุทรจนแตกออกจากกัน แล้วเกิดการทรุดตัวเป็นหุบเขาทรุด ร่องที่เกิดจากการทรุดตัวเกิดเป็นทะเล และมหาสมุทร (ปิตุพร, 2564)

โดยในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 (พ.ศ. 2482-2488) กองทัพเรือของประเทศสหรัฐอเมริกา นำโดยกัปตันแฮร์รี่ เฮส (Hess H.H.) ได้รับการกิจสำรวจและค้นหาเรือดำน้ำของฝ่ายศัตรูโดยใช้ เครื่องหยั่งความลึกน้ำ (Echo sounder) ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับที่ชาวประมงใช้ค้นหาฝูงปลาใต้ทะเล โดยสิ่งที่แฮร์รี่ เฮส พบไม่ใช่เรือดำน้ำอย่างที่คิด แต่กลับพบภูมิประเทศใต้ทะเล (Bathymetry) ที่น่าสนใจจำนวนมาก (Almalki *et al.*, 2014) เช่น สันเขากลางมหาสมุทร (Mid-oceanic ridge) โซนรอยแยก (Fracture zone) ร่องลึกก้นสมุทร (Trench) ที่ราบทะเลลึก (Abyssal plain) และภูเขาใต้ทะเล (Seamount) เป็นต้น ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะภูมิประเทศใต้มหาสมุทรแอตแลนติก
(ที่มา: Almalki *et al.*, 2014)

โดยจากภาพที่ 2.3 เปลือกโลกมหาสมุทรที่อยู่ใกล้แนวรอยแตกของเปลือกโลก จะมีลักษณะเป็นสันเขาใต้สมุทร การเพิ่มขึ้นของเปลือกโลกใต้มหาสมุทร เนื่องจากลาวาแข็งตัวเป็นหินอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดแรงดึงดูด และดันเปลือกโลกมหาสมุทรที่เกิดขึ้นก่อนหรือมีอายุมากกว่า ให้เคลื่อนที่ออกห่างจากแนวรอยแตกมากขึ้น ส่งผลให้พื้นมหาสมุทรที่อยู่ใกล้กับแนวรอยแตกของเปลือกโลกมีอายุน้อยกว่าพื้นสมุทรที่อยู่ไกลออกไป และการแข็งตัวเป็นหินของลาวาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดเปลือกโลกมหาสมุทรชุดใหม่อยู่ตลอดเวลา (ปิตุพร, 2564)

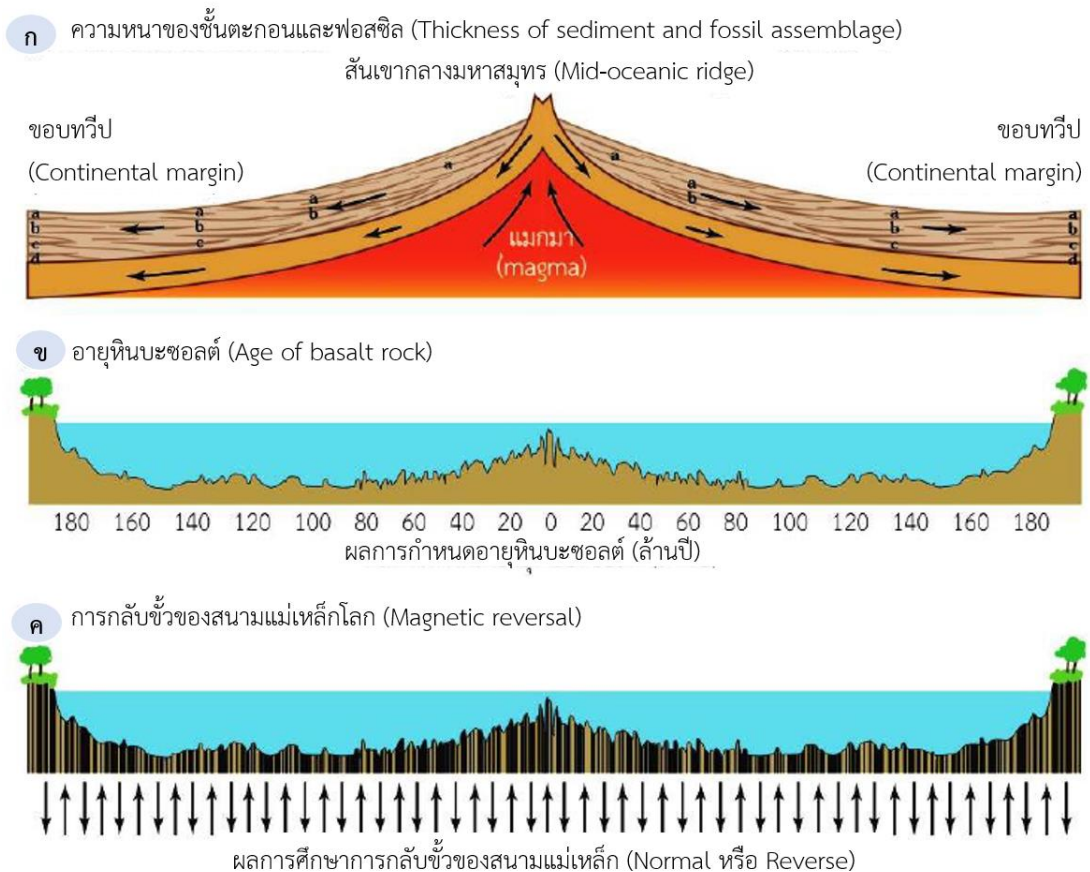
โดยหลักฐานที่สนับสนุนว่ามีการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร ได้แก่ 1) เทือกเขากลางสมุทร เนื่องจากเกิดรอยแยกบริเวณมหาสมุทร กลายเป็นบริเวณที่เกิดการปะทุของภูเขาไฟ การแทรกดันของหินหนืดในบริเวณดังกล่าว จะดันให้แผ่นธรณีมหาสมุทรเคลื่อนที่ออกจากกัน จากส่วนกลางของเทือกเขากลางมหาสมุทร 2) อายุหินบริเวณพื้นมหาสมุทร จากการศึกษาหินบะซอลต์บริเวณหุบเขาทรุด หรือรอยแยกบริเวณเทือกเขากลางมหาสมุทร พบว่าหินบะซอลต์ที่อยู่ไกลจากรอยแยก จะมีอายุมากกว่าหินบะซอลต์ที่อยู่ใกล้รอยแยก เพราะเมื่อแผ่นธรณีเกิดรอยแยก แผ่นธรณีจะเคลื่อนที่ออกจากกันอย่างช้า ๆ ตลอดเวลา ซึ่งเนื้อของหินบะซอลต์จากส่วนล่าง จะแทรกเสริมขึ้นมาตรงรอยแยกเป็นธรณีภาคใหม่ ทำให้บริเวณรอยแยกเกิดหินบะซอลต์ใหม่เรื่อย ๆ ดังนั้น แผ่นธรณีบริเวณเทือกเขากลางมหาสมุทร จึงมีอายุน้อยที่สุด และแผ่นธรณีใกล้ขอบทวีปจะมีอายุมากกว่า 3) ภาวะแม่เหล็กโลกบรรพกาล คือร่องรอยสนามแม่เหล็กโลกในอดีต ศึกษาจากหินบะซอลต์ที่มีแร่แมกนีไทต์ (Fe_3O_4) เป็นองค์ประกอบ เพราะธาตุเหล็กที่อยู่ในแร่นี้ จะถูกเหนี่ยวนำโดยสนามแม่เหล็กโลก ทำให้มีการเรียงตัวในทิศทางเดียวกับเส้นแรงแม่เหล็กโลก (ปิตุพร, 2564)

จากข้อมูลภูมิประเทศใต้ทะเลที่ค้นพบโดยบังเอิญ ทำให้แฮร์รี เฮส วิเคราะห์ว่าน่าจะมีการสร้างแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรขึ้นมาใหม่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งเกิดจากการแทรกดันของแมกมาบริเวณสันเขากลางมหาสมุทร ทำให้แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรเก่าถูกแทนที่และดันให้แยกออกทั้งสองฝั่งของสันเขากลางมหาสมุทรอย่างช้า ๆ โดยแฮร์รี เฮส นำเสนอแนวคิดนี้ต่อสังคมวิทยาศาสตร์ และ

เรียกแนวคิดนี้ว่า แนวคิดการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร (Sea-floor spreading) (Hess, 1946) ซึ่งแนวคิดนี้ช่วยสนับสนุนแนวคิดทวีปเลื่อนของอัลเฟรด เวเกเนอร์ ทำให้ถูกยกขึ้นมากล่าวอีกครั้ง เนื่องจากช่วยอธิบายกลไกการเคลื่อนตัวของออกทั้งสองด้านของมหาสมุทรแอตแลนติก จึงทำให้ทวีปอเมริกาใต้และทวีปแอฟริกาซึ่งในอดีตเคยอยู่ชิดติดกันก่อนแยกออกจากกันในปัจจุบัน

2.1.3 แนวคิดของไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ (Vine-Matthews-Morley)

ในเวลาต่อมา เฟรเดริก จอร์จ ไวน์ (Vine F.J.) ดรรัมมอนต์ ฮอยล์ แมททิว (Matthews D.H.) และลาเวนค์ ดับเบิลยู มอร์เลย์ (Morley L.W.) นักวิทยาศาสตร์ชาวแคนาดา ได้สำรวจพื้นมหาสมุทรอีกครั้งและเก็บตัวอย่างทั้งตะกอนและหิน ตัดขวางข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก จากนั้นได้แปลความหมายและวิเคราะห์ตัวอย่างดังกล่าว ซึ่งผลการศึกษาพบข้อมูลหลายอย่างที่จะช่วยสนับสนุนแนวคิดทวีปเลื่อนของอัลเฟรด เวเกเนอร์ และแนวคิดการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทรของแฮร์รี เฮส ดังภาพที่ 2.4



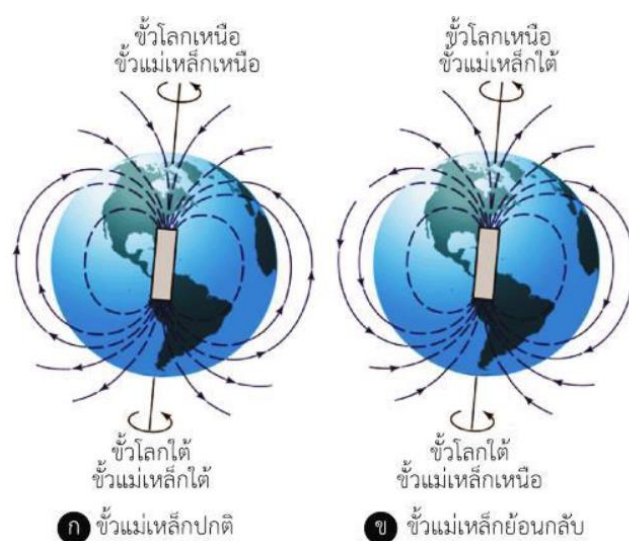
ภาพที่ 2.4 หลักฐานที่ถูกรื้อค้นพบเพิ่มเติมจากทีมสำรวจไวน์-แมททิว-มอร์เลย์
(ดัดแปลงจาก: สันติ, 2564a)

โดยหลักฐานที่ถูกรื้อค้นพบเพิ่มเติมจากทีมสำรวจไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ มีดังนี้

ก) ความหนาของชั้นตะกอน (Thickness of sediment) โดยไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ พบว่ามีการสะสมตัวของตะกอนหนาขึ้นอย่างต่อเนื่องในบริเวณที่ห่างออกไปจากสันเขากลางมหาสมุทร (ภาพที่ 2.4ก) ซึ่งโดยธรรมชาติ กระแสน้ำในมหาสมุทรจะค่อนข้างนิ่ง ทำให้อัตราการสะสมตัวของตะกอนจึงสม่ำเสมอ ไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ จึงตั้งข้อสังเกตว่าพื้นทะเลบริเวณที่ห่างจากสันเขากลางมหาสมุทรอาจจะเกิดขึ้นก่อนพื้นที่ใกล้สันเขากลางมหาสมุทร ทำให้มีเวลาในการสะสมตัวของตะกอนมากกว่าและมีการสะสมตะกอนที่หนามากกว่า นอกจากนี้ในชั้นตะกอนที่ห่างจากสันเขากลางมหาสมุทรมีความหลากหลายของชนิดฟอสซิลมากกว่าที่พบในบริเวณสันเขากลางมหาสมุทร (สัญลักษณ์ a b c d ในภาพที่ 2.4ก แสดงฟอสซิลชนิดต่าง ๆ ที่ถูกพบอยู่ในชั้นตะกอน) โดยฟอสซิลที่บ่งบอกอายุที่แก่ จะเริ่มหายไปชั้นตะกอนเมื่อเข้าใกล้สันเขากลางมหาสมุทร

ข) อายุหินบะซอลต์ (Age of basalt rock) นอกจากนี้ไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ วิเคราะห์และกำหนดอายุหินบะซอลต์จากพื้นมหาสมุทร ซึ่งแสดงถึงอายุที่แมกมาเย็นตัวกลายเป็นหินแข็ง ผลการกำหนดอายุบ่งชี้ว่าหินบะซอลต์ทั้ง 2 ฝั่งซึ่งมีระยะห่างจากสันเขากลางมหาสมุทรใกล้เคียงกันจะมีอายุใกล้เคียงกัน โดยหินบะซอลต์ที่อยู่ใกล้สันเขากลางมหาสมุทรมีอายุที่อ่อนกว่าหินบะซอลต์ที่อยู่ห่างออกไปจากบริเวณสันเขากลางมหาสมุทร (ภาพที่ 2.4ข)

ค) การกลับขั้วของสนามแม่เหล็กโลก (Magnetic reversal) สืบเนื่องจาก Cox และคณะ (1967) ศึกษาและพบองค์ความรู้ใหม่ที่บ่งชี้ว่าในอดีต สนามแม่เหล็กโลกเคยกลับขั้วไปมาหลายครั้ง (Magnetic reversal) ดังภาพที่ 2.5 และจากการตรวจสอบตัวอย่างหินบะซอลต์ที่เก็บมาได้ ไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ พบว่า หินบะซอลต์มีการกลับขั้วสนามแม่เหล็กไป-มา อยู่หลายครั้ง ซึ่งหากพบครั้ง บริเวณสันเขากลางมหาสมุทรจะพบว่าพฤติกรรมการกลับขั้วของทั้ง 2 ฝั่งซ้าย-ขวานั้นสมมาตรกัน (Cox *et al.*, 1967) (ภาพที่ 2.4ค) ไวน์-แมททิว-มอร์เลย์ จึงสรุปว่า 1) มีการเกิดขึ้นใหม่ของพื้นมหาสมุทรอยู่ตลอดเวลาในบริเวณสันเขากลางมหาสมุทร และ 2) แนวคิดทวีปเลื่อนของอัลเฟรด เวเกเนอร์ และแนวคิดการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทรของแฮร์รี เฮส นั้นถูกต้องและเป็นจริง



ภาพที่ 2.5 การกลับขั้วสนามแม่เหล็กโลก

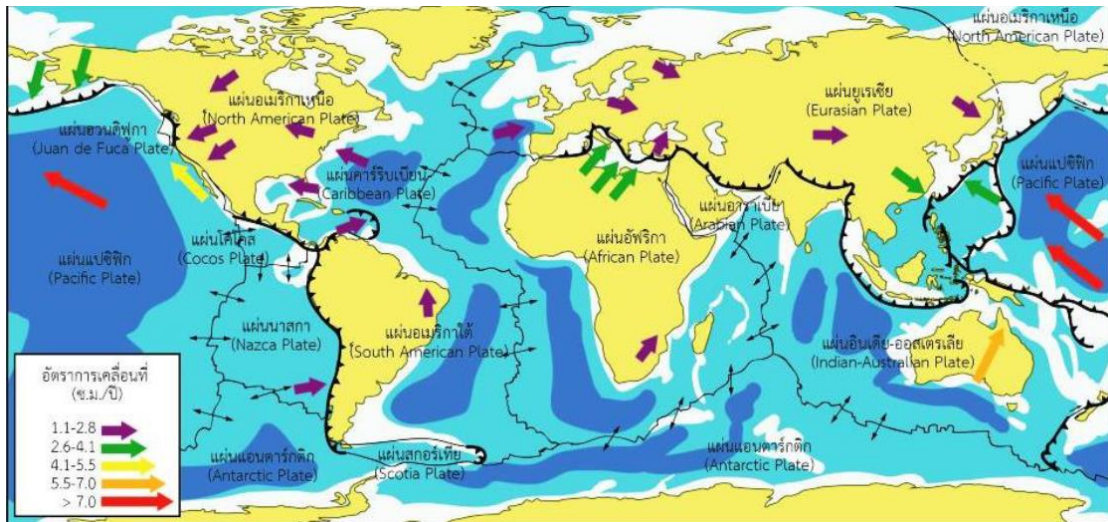
(ที่มา: Cox *et al.*, 1967)

2.1.4 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (Plate tectonics theory)

ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก หรือ ทฤษฎีการแปรสัณฐานแบบแผ่น (Plate tectonics theory) เป็นทฤษฎีที่เกิดจากทฤษฎีทวีปเลื่อน (Continental drift) ที่เชื่อว่าในยุคแรก ๆ ของโลกเรา ทวีปอยู่ติดกันเป็นแผ่นเดียวกันและต่อมาเกิดการแยกออกและเคลื่อนตัวออกจากกัน รวมทั้งทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร (Sea-floor spreading) ที่ได้พบว่าพื้นมหาสมุทรแยกตัวออกจากกันในแนวก่อเกิดภูเขาไฟใต้ทะเลที่ยาวต่อเนื่องกัน

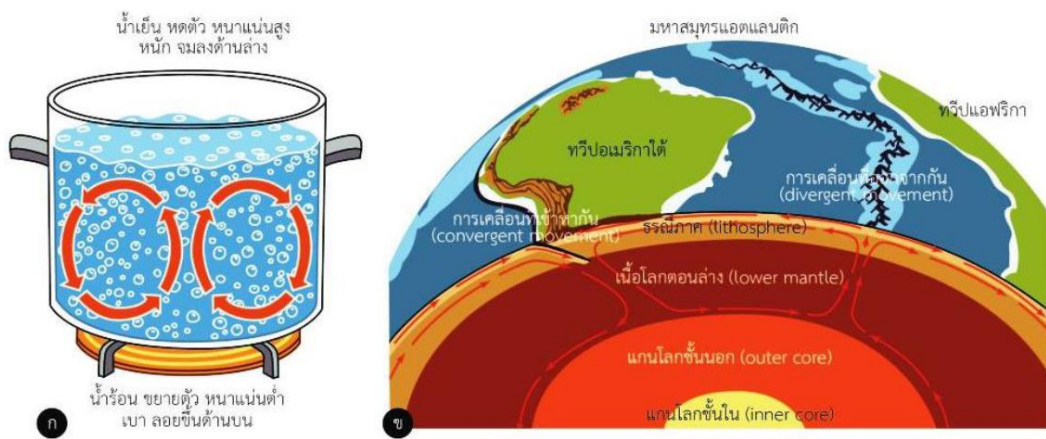
โดยทฤษฎีนี้เกิดจาก วิลเลียม เจสัน มอร์แกน (Morgan, W.J.) นักวิทยาศาสตร์ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นคนนำเสนอโดยประมวลผลหลักฐานและแนวคิดต่างๆ ที่เคยมีการนำเสนอมา สรุปและนำเสนอทฤษฎีธรณีแปรสัณฐานหรือการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก (Plate tectonics theory) โดยอธิบายว่าโลกประกอบด้วยชั้นธรณีภาค (Lithosphere) ซึ่งเป็นของแข็งแตกเป็นแผ่น ๆ วางตัวและเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ อยู่บนชั้นฐานธรณีภาค (Asthenosphere) ซึ่งมีสถานะเป็นของหนืดไหลวนอยู่ใต้พื้นผิวโลก

จากทฤษฎีธรณีแปรสัณฐาน นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าแผ่นเปลือกโลก (Tectonic plate) ในแต่ละแผ่นเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทั้งในอดีต ปัจจุบัน และจะยังเคลื่อนที่ต่อไปอีกในอนาคต ซึ่งผลจากการเคลื่อนที่และกระทบกระทั่งกันระหว่างขอบแผ่นเปลือกโลก ทำให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ มากมาย เช่น การเกิดภูเขา (Mountain building หรือ Orogeny) ภูเขาไฟ (Volcano) แผ่นดินไหว (Earthquake) รวมทั้งการเกิดแหล่งทรัพยากร (Earth resource) ทั้งแร่และปิโตรเลียม ดังนั้นจากการจำแนกและกำหนดขอบเขตของแผ่นเปลือกโลกโดยใช้ข้อมูลการกระจายตัวของภูเขาไฟและแผ่นดินไหวรวมทั้งชนิดของหินเป็นเกณฑ์แบ่งซึ่งว่าโลกประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลก 14 แผ่น แบ่งย่อยเป็น แผ่นเปลือกโลกทวีป (Continental plate) จำนวน 7 แผ่น ได้แก่ แผ่นยูเรเชีย (Eurasian plate) แผ่นอเมริกาเหนือ (North American plate) แผ่นอเมริกาใต้ (South American plate) แผ่นอินเดีย-ออสเตรเลีย (Indian-Australian plate) แผ่นแอฟริกา (African plate) แผ่นแอนตาร์กติก (Antarctica plate) และ แผ่นอาหรับ (Arabian plate) และ แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (Oceanic plate) จำนวน 7 แผ่น ได้แก่ แผ่นแปซิฟิก (Pacific plate) แผ่นทะเลฟิลิปปินส์ (Philippine-sea plate) แผ่นนัสคา (Nazca plate) แผ่นสกอตเซีย (Scotia plate) แผ่นฮวนเดฟูคา (Juan De Fuca plate) แผ่นโคโคส (Cocos plate) และแผ่นแคริบเบียน (Caribbean plate) โดยแผ่นเปลือกโลกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ แผ่นแปซิฟิก รองลงมาคือแผ่นยูเรเชียและแผ่นแอฟริกาตามลำดับ ส่วนแผ่นเปลือกโลกที่เล็กที่สุดคือ แผ่นฮวนเดฟูคา (สันติ, 2564a) ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การกระจายตัวของแผ่นเปลือกโลกและการเคลื่อนที่ (ที่มา: สันติ, 2564a)

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่ากลไกการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก คือ กระแสพาความร้อน (Convection current) ซึ่งเป็นกระบวนการที่โลกพยายามลดอุณหภูมิภายในโลก เนื่องจากโลกในช่วงแรกยังมีอุณหภูมิสูง แต่ภายนอกของโลกสัมผัสกับอวกาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของโลก ทำให้ส่วนนอกสุดของโลกจึงแข็งตัวกลายเป็นแผ่นเปลือกโลกปิดกั้นการระบายความร้อนที่เหลืออยู่ภายในโลก ดังนั้นหินหนืดภายในเนื้อโลก (Mantle) จึงใช้วิธีการถ่ายเทความร้อนภายในด้วยการหมุนเวียนหินหนืด ซึ่งหินหนืดที่อยู่ด้านล่างของโลกมีอุณหภูมิสูงกว่าและความหนาแน่นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหินหนืดด้านบน มวลหินหนืดด้านล่างจึงลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน ในขณะที่เดียวกันหินหนืดด้านบนเมื่อสัมผัสกับแผ่นเปลือกโลกทำให้อุณหภูมิลดลงและมีความหนาแน่นสูงจึงจมตัวลงสู่ด้านล่าง การหมุนเวียนของมวลหินหนืดนี้เกิดขึ้นไปอย่างต่อเนื่องเป็นกระแสนับเคลื่อนให้แผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 2.7



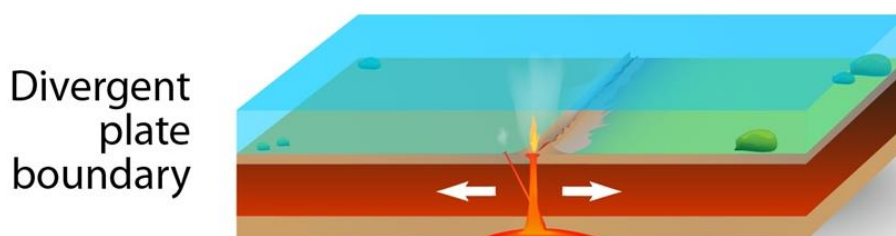
ภาพที่ 2.7 แบบจำลองกระแสพาความร้อน (ก) ตัวอย่างในหม้อต้มน้ำ (ข) ภายในโลก (ที่มา: สันติ, 2564a)

หินหนืดบางส่วนจะแทรกดันผ่านแผ่นเปลือกโลกขึ้นมาสร้างเป็นแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรใหม่และผลักให้สองแผ่นเปลือกโลกแยกออกจากกัน ในขณะที่ส่วนที่จมตัวจะช่วยดึงแผ่นเปลือกโลกเก่าอีกด้านหนึ่งลงสู่ภายในโลก เกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกเป็นวัฏจักร (Kobes *et al.*, 2002)

ผลจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกที่แตกต่างกันทั้งในด้านความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่ (ดังภาพที่ 2.6) ทำให้แผ่นเปลือกโลกในแต่ละแผ่นมีการกระทบกระทั่งซึ่งกันและกัน และมีนัยสำคัญต่อกระบวนการทางธรณีวิทยาต่าง ๆ ทั้งภูมิประเทศ หิน ทรัพยากร และภัยพิบัติ โดยนักวิทยาศาสตร์แบ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

2.1.4.1 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกัน (Divergent plate boundary)

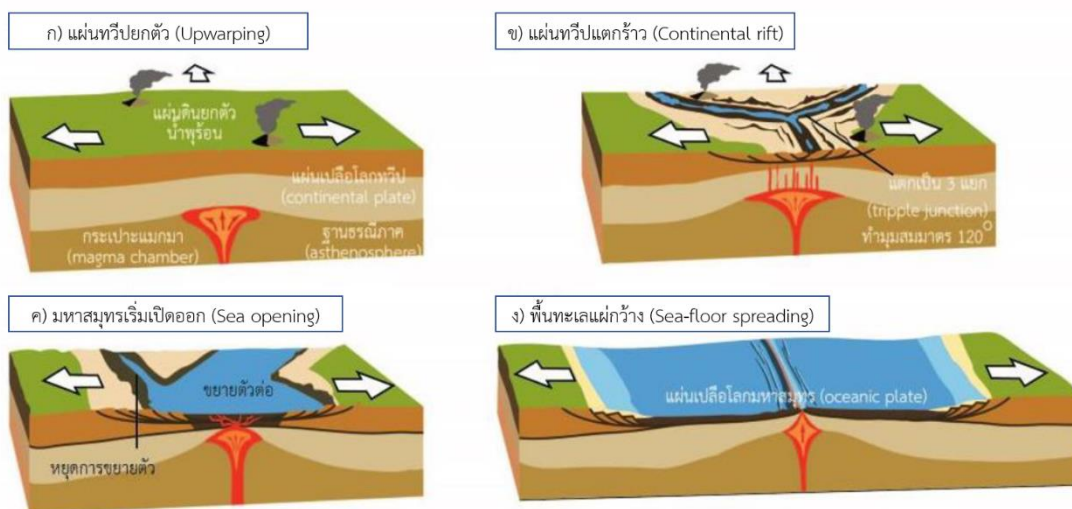
เกิดจากการดันตัวของแมกมา ทำให้เกิดรอยแยกจนแมกมาถ่ายโอนความร้อนสู่เปลือกโลกได้ ทำให้อุณหภูมิและความดันลดลง จนทำให้เปลือกโลกหดตัวกลายเป็นหุบเขาทรุด (Rift valley) ในระยะเวลาต่อมาเมื่อน้ำไหลมาสะสมกลายเป็นทะเล และเกิดเป็นรอยแยกทำให้เกิดร่องลึก (Trench) แมกมาจึงเคลื่อนตัวแทรกดันขึ้นมาอีก ทำให้แผ่นธรณีภาคใต้มหาสมุทรแยกออกไปทั้ง 2 ด้านเกิดการขยายตัวของพื้นมหาสมุทร (Sea-floor spreading) และทำให้เกิดเทือกเขากลางมหาสมุทร เช่น บริเวณทะเลแดง อ่าวแคลิฟอร์เนีย แอฟริกาตะวันออก มีลักษณะหุบเขาทรุด มีร่องรอยแยก เกิดแผ่นดินไหวตื้น ๆ มีภูเขาไฟและลาวาไหลอยู่ใต้มหาสมุทร ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกัน (Divergent plate boundary)

(ที่มา: Amki, 2018)

โดยกระบวนการแผ่นธรณีเคลื่อนที่ออกจากกันแบ่งย่อยเป็น 4 ระยะ (สันติ, 2564a) ดังภาพที่ 2.9 ได้แก่ ก) แผ่นเปลือกโลกทวีปยกตัว (Continental upwarping) เป็นช่วงแรกที่แมกมาลอยตัวขึ้นมาสัมผัสและหลอมละลายแผ่นเปลือกโลกทวีป ทำให้แผ่นเปลือกโลกบางลง และในบางพื้นที่อาจเกิดภูเขาไฟแทรกตามแนวแตกร่วมด้วย (ภาพที่ 2.9ก) ลักษณะทางธรณีแปรสัณฐานแบบนี้พบชัดเจนใน อุทยานแห่งชาติเยลโลว์สโตน (Yellow Stone National park) บนเทือกเขาร็อกกี ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจากการสำรวจทางธรณีวิทยาพบว่า บริเวณใต้อุทยานแห่งชาติเยลโลว์สโตนมีกระเปาะแมกมาขนาดใหญ่มาก กำลังแทรกดันแผ่นเปลือกโลกอยู่ ทำให้มีปรากฏการณ์เกี่ยวกับภูเขาไฟและน้ำพุร้อนเกิดขึ้นจำนวนมากในบริเวณใต้อุทยานแห่งชาติเยลโลว์สโตน



ภาพที่ 2.9 วิวัฒนาการเคลื่อนที่ออกจากกันของแผ่นเปลือกโลก
(ดัดแปลงจาก: สันติ, 2564a)

ข) แผ่นเปลือกโลกทวีปแตกร้าว (Continental rift) แผ่นเปลือกโลกเริ่มปริแตกและแยกออกจากกัน ซึ่งโดยธรรมชาติการแตกในช่วงแรกหลังจากถูกแมกมาแทรกดันนั้น แผ่นเปลือกโลกจะแตกออกเป็น 3 แฉกที่สมมาตรกัน (ดังภาพที่ 2.9ข) และต่อมาแมกมาจะเลือกแทรกดันเพียง 2 แฉกที่มีความอ่อนไหวมากกว่า ทำให้เกิดวิวัฒนาการเปิดแอ่ง ส่วนแฉกที่เหลือจะหยุดการพัฒนา กลายเป็น แอ่งรอยเลื่อนปกติ (Aulacogen) โดยลักษณะภูมิประเทศที่ชัดเจนที่สุดในบริเวณนี้คือ เทือกเขาและแอ่งขนาดใหญ่ขนานกับแนวรอยแยกของแผ่นเปลือกโลก บางพื้นที่อาจมีภูเขาไฟแทรกสลับอยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้ ซึ่งพื้นที่ซึ่งแสดงการแยกตัวระยะนี้ ได้แก่ ร่องทรุดแอฟริกาตะวันออก (ภาพที่ 2.10ข)

ค) มหาสมุทรเริ่มเปิดออก (Sea opening) แผ่นเปลือกโลกเริ่มแยกออกจากกันมากขึ้น และเกิดเป็นแอ่งตะกอนที่เปิดกว้าง ซึ่งฐานด้านล่างของแอ่งตะกอนเริ่มเกิดกระบวนการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร (Sea-floor spreading) เป็นหินบะซอลต์ของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร ในบางกรณีมีน้ำทะเลรุกเข้ามาในพื้นที่กลายเป็นทะเลแคบ ๆ ในบริเวณแอ่ง เช่น ทะเลแดง (Red sea) และอ่าวเอเดน (Gulf of Aden) (ภาพที่ 2.10ก)



ภาพที่ 2.10 (ก) แผนที่แสดงการแยกตัวในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปแอฟริกา (ข) รอยแยกฝั่งตะวันออกของทวีปแอฟริกาที่เกิดจากการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลก (ที่มา: Ebinger, 2005)

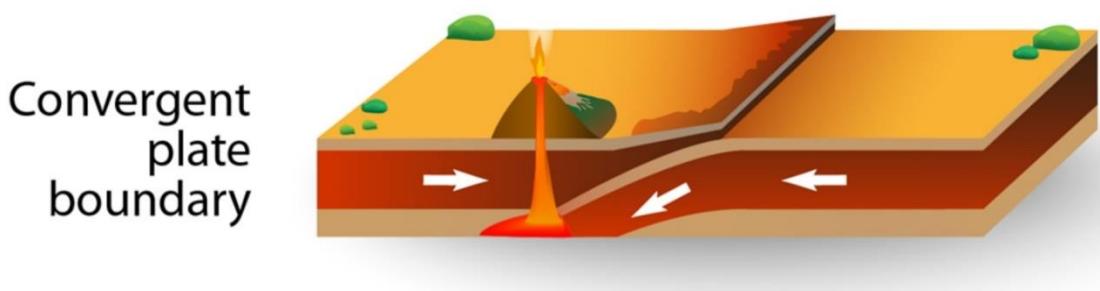
ง) พื้นทะเลแผ่กว้าง (Sea-floor spreading) เป็นระยะที่สมบูรณ์ที่สุดของการเคลื่อนที่ออกจากกันของแผ่นเปลือกโลก โดยแผ่นเปลือกโลกทวีปเดิมแยกออกจากกันและมีการสร้างแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรขึ้นใหม่ ตัวอย่างของการแยกตัวในระยะนี้ ได้แก่ สันเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติก (Mid Atlantic ridge) ดังภาพที่ 2.11 สันเขากลางมหาสมุทรอินเดีย (Mid-Indian ridge) และเนินขามมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก (East Pacific rise) เป็นต้น



ภาพที่ 2.11 สันเขากลางมหาสมุทรที่สำคัญของโลก (Mid Atlantic ridge) (ที่มา: Barnes et al., 2014)

2.1.4.2 แผ่นธรณีเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent plate boundary)

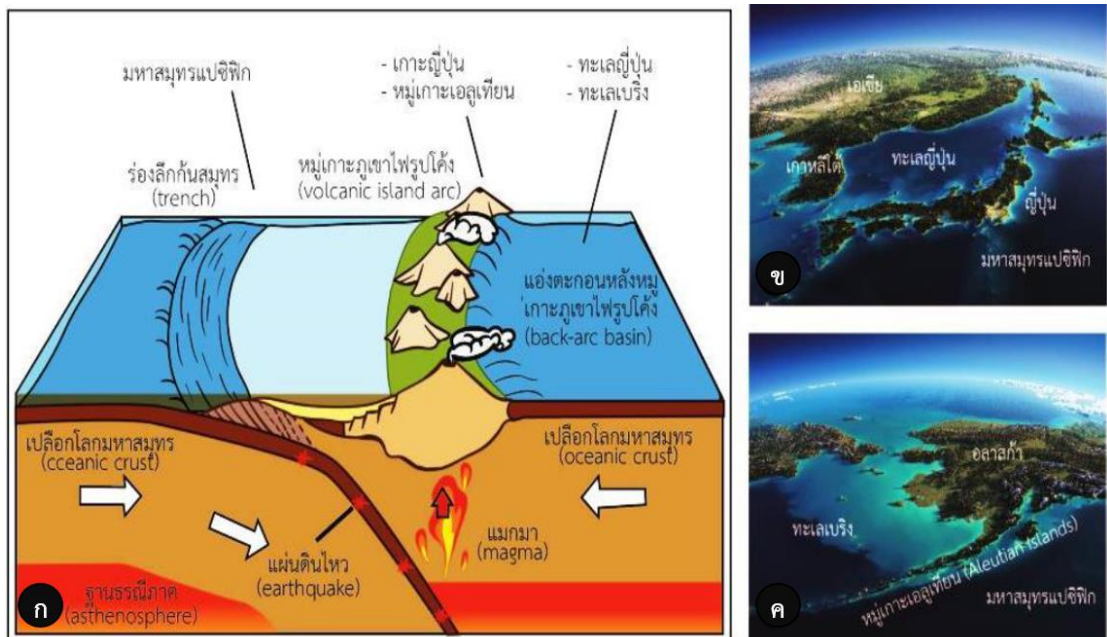
เมื่อพิจารณาแผ่นเปลือกโลกใด ๆ ในขณะที่ขอบด้านหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกถูกผลักดันให้เคลื่อนที่ออกจากกันและสร้างแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรใหม่แทนที่ ขอบอีกด้านหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกก็จะเคลื่อนที่เข้าหาแผ่นเปลือกโลกที่อยู่ด้านตรงกันข้าม ทำให้เกิดรูปแบบ การเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent movement) ซึ่งเพื่อเป็นการรักษาปริมาณพื้นที่พื้นผิวโลกให้คงเดิม ในกระบวนการเคลื่อนที่เข้าหากันโดยส่วนใหญ่จึงมีแผ่นใดแผ่นหนึ่งมุดตัวลงไปได้อีกแผ่นเปลือกโลกหนึ่งเสมอ เรียกโซนการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกว่า เขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก (Subduction zone) (สันติ, 2564a) ดังภาพที่ 2.12



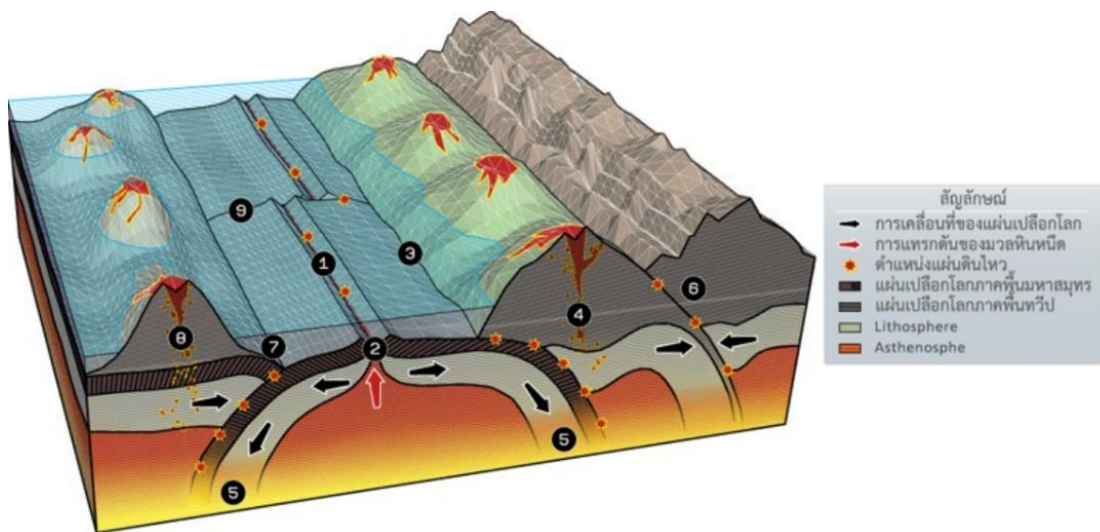
ภาพที่ 2.12 แผ่นธรณีเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent plate boundary)
(ที่มา: Amki, 2018)

โดยสามารถจำแนกชนิดการเคลื่อนที่เข้าหากันเป็น 3 กรณี ตามชนิดของแผ่นเปลือกโลก คือ

1) แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรชนแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (Oceanic-oceanic collision) แผ่นธรณีภาคที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะจมตัวลง โดยที่นักธรณีวิทยาจะเรียกบริเวณนี้ว่า เขตมุดตัวของเปลือกโลก (Subduction zone) แผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่งจะมุดลงใต้ อีกแผ่นหนึ่ง ปลายของแผ่นที่มุดลงจะหลอมกลายเป็นแมกมา และปะทุขึ้นมาบนแผ่นเปลือกโลกได้ มหาสมุทรเกิดเป็นแนวภูเขาไฟใต้มหาสมุทร ซึ่งการมุดตัวลงนี้ ก่อให้เกิดร่องลึกใต้มหาสมุทร มีแนวการเกิดแผ่นดินไหวตามขอบแผ่นธรณีภาคลึกลงไปถึงชั้นเนื้อโลก (Mantle) จนมีภูเขาไฟที่มีพลัง เช่น ที่หมู่เกาะมารีอานาส์ หมู่เกาะเอลูเทียน ญี่ปุ่น ฟิลิปปีนส์ เป็นต้น ดังภาพที่ 2.13, 2.14 และภาพที่ 2.17



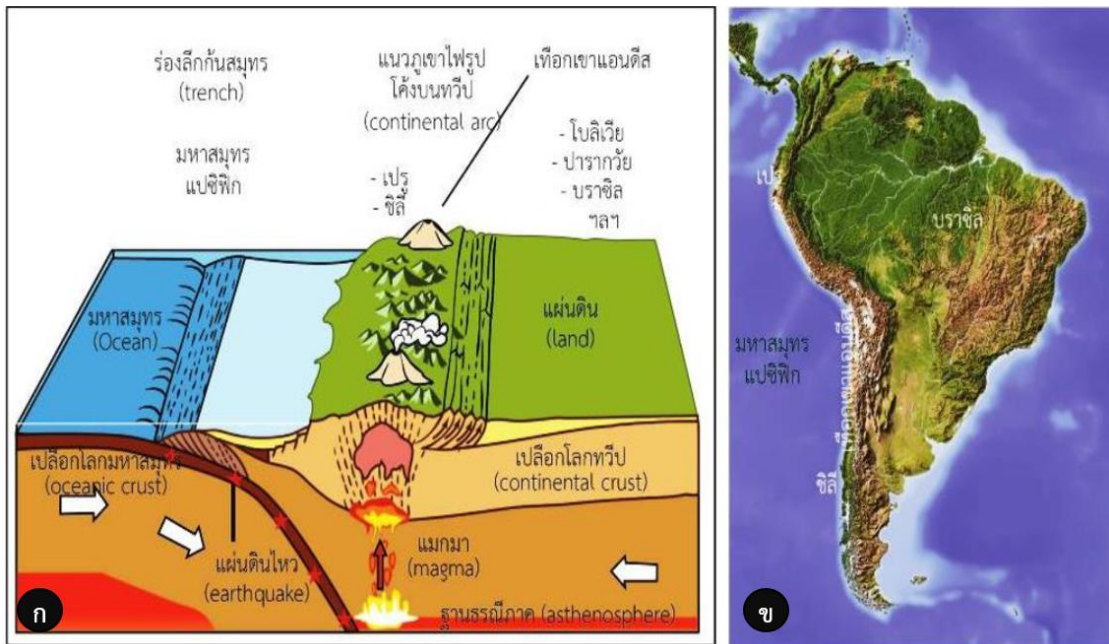
ภาพที่ 2.13 (ก) แบบจำลองการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (ข) ประเทศญี่ปุ่น (ค) หมู่เกาะอลูเชียน (ที่มา: สันติ, 2564a)



ภาพที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกมี 3 ลักษณะ (ที่มา: ทีมวิชาการธรณีไทย, 2551)

2) แผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรชนแผ่นเปลือกโลกทวีป (Oceanic-continental collision) ในกรณีแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรชนแผ่นเปลือกโลกทวีป โดยแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรซึ่งบางกว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าจะมุดตัวลงข้างล่างใต้แผ่นเปลือกโลกทวีป ทำให้เกิดร่องลึกใต้ทะเล (Trench) และเกิดเทือกเขาตามแนวขอบทวีปเป็นแนวภูเขาไฟชายฝั่ง และแผ่นดินไหวรุนแรง เช่น อเมริกาใต้แถบตะวันตก โดยจะขนานไปกับเขตมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก

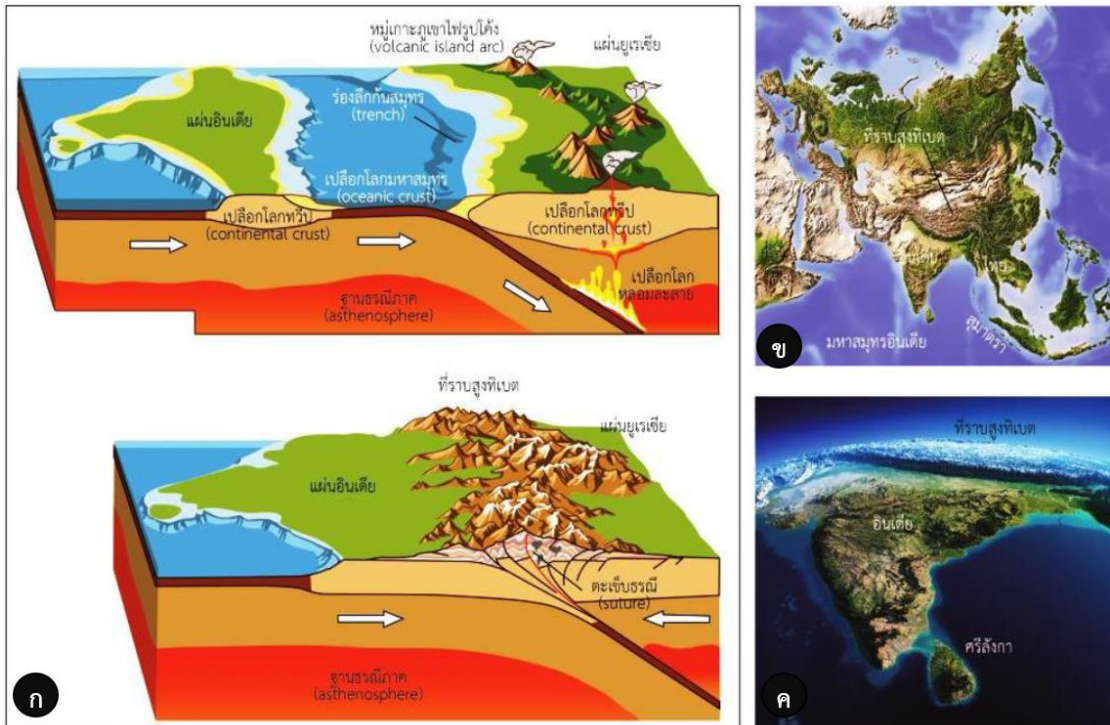
กรณีศึกษาของการเคลื่อนที่เข้าหากันแบบนี้ ได้แก่ การเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรซีกาและแผ่นเปลือกโลกทวีปอเมริกาใต้ ผลจากการชนกันทำให้แผ่นนี้ซีกามุดตัวลงไปใต้แผ่นอเมริกาใต้ เกิดเป็นร่องลึกก้นสมุทรเปรู-ประเทศชิลี (Peru-Chile trench) และเกิดแนวภูเขาไฟรูปโค้งเป็นเทือกเขาแอนดีส (สันติ, 2564a) ดังภาพที่ 2.15 และภาพที่ 2.17



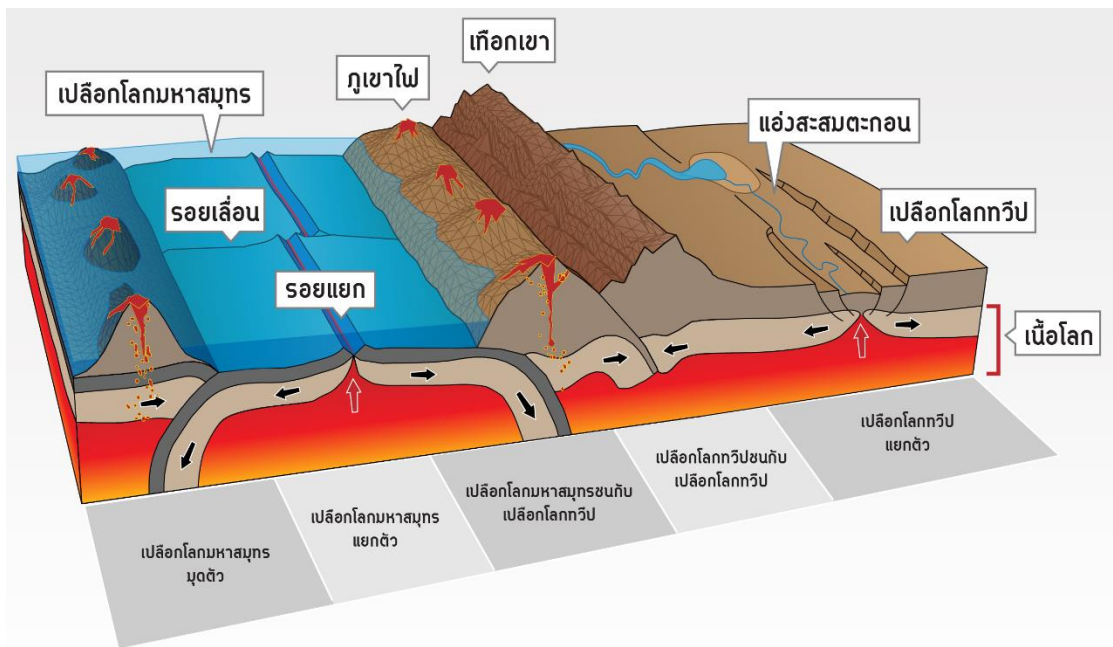
ภาพที่ 2.15 (ก) แบบจำลองการชนและมุดกันของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทรและแผ่นเปลือกโลกทวีป (ข) ทวีปอเมริกาใต้

(ที่มา: สันติ, 2564a)

3) แผ่นเปลือกโลกทวีปชนแผ่นเปลือกโลกทวีป (Continental-continental collision) กรณีของแผ่นเปลือกโลกทวีปชนแผ่นเปลือกโลกทวีปซึ่งทั้งสองแผ่นมีความหนามาก ทำให้แผ่นหนึ่งมุดลง แต่อีกแผ่นหนึ่งเกยขึ้นเกิดเป็นเทือกเขาแนวยาวอยู่กลางทวีปหรือแผ่นธรณีภาคภาคพื้นทวีป ก่อให้เกิดแนวเทือกเขา เช่น การชนกันระหว่างแผ่นธรณีภาคอินเดีย-ออสเตรเลียและแผ่นธรณีภาคยูเรเชีย ซึ่งก่อให้เกิดการดันตัวขึ้นของชั้นหินบริเวณของแผ่นทวีปยูเรเชีย (National Geographic, 2019) ผลจากการชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกทวีปและแผ่นเปลือกโลกทวีปทำให้เกิดการยกตัวขึ้นอย่างรุนแรงในบริเวณการชนกัน เกิดเป็นที่ราบสูงทิเบต (Tibetan plateau) และเทือกเขาหิมาลัยในทวีปเอเชียปัจจุบัน (Himalayan mountain ranges) ดังภาพที่ 2.16 และภาพที่ 2.17



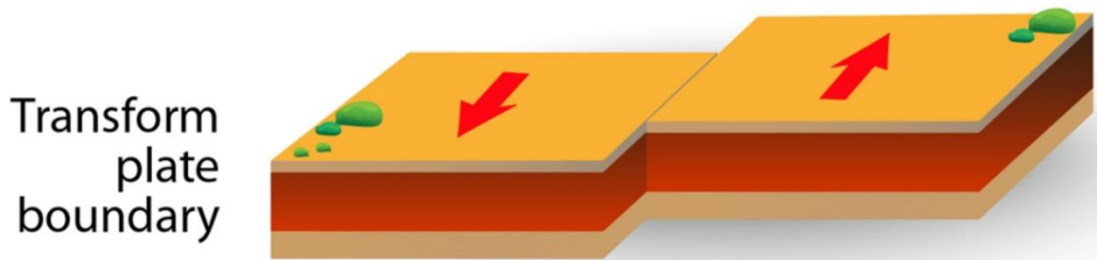
ภาพที่ 2.16 (ก) การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกอินเดียชนกับแผ่นยูเรเชีย (ข-ค) ภูมิประเทศทวีปเอเชียแสดงตำแหน่งและการวางตัวของที่ราบสูงทิเบต (ที่มา: สันติ, 2564a)



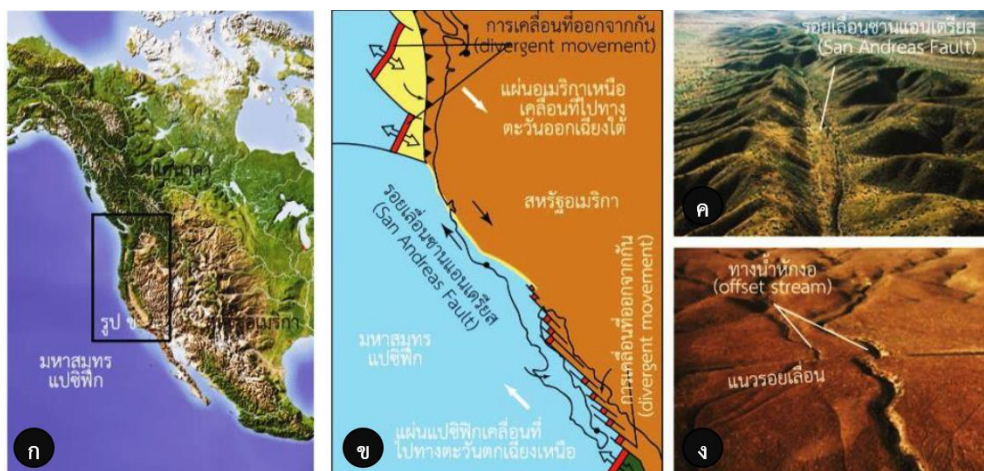
ภาพที่ 2.17 สรุปลักษณะธรณีแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค (ที่มา: สุคนธ์เมธ, 2555)

2.1.4.3 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform plate boundary)

การเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform movement) เป็นปฏิสัมพันธ์การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกที่ไม่มีทั้งการสร้างแผ่นเปลือกโลกใหม่ (การเคลื่อนที่แยกออกจากกัน) และการทำลายแผ่นเปลือกโลกเดิม (การเคลื่อนที่เข้าหากัน) และไม่มีควมซับซ้อนด้านการเกิดหินมากนัก แต่การเคลื่อนที่แบบผ่านกันเป็นแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่สำคัญ เพราะสามารถสร้างแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ได้ (สันติ, 2564a) ซึ่งเกิดจากอัตราการเคลื่อนตัวของแมกมาในชั้นเนื้อโลกไม่เท่ากัน ส่งผลให้เปลือกโลกและเทือกเขาใต้มหาสมุทรเลื่อนไหลผ่านและเฉือนกัน เกิดเป็นรอยเลื่อน (Fault) เฉือนระนาบด้านข้างขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 2.18 สันเขากลางมหาสมุทรเป็นแนวหล่อมักกันอยู่ มีลักษณะเป็นรอยแตกแคบยาว มีทิศทางตั้งฉากกับเทือกเขากลางมหาสมุทรและร่องใต้ทะเลลึก มักจะเกิดแผ่นดินไหวรุนแรงในระดับตื้น ๆ ระหว่างขอบของแผ่นเปลือกโลกที่ซ้อนเกยกัน โดยกรณีศึกษาของการเคลื่อนที่แบบผ่านกัน เช่น รอยเลื่อนซานแอนเดรียส (San Andreas fault) ทางตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังภาพที่ 2.19 (Kim *et al.*, 2016) ซึ่งเป็นรอยเลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านกันของแผ่นเปลือกโลกฮวนเดฟูกาด้านตะวันตกและแผ่นอเมริกาเหนือด้านตะวันออก และรอยเลื่อนอัลไพล์ ประเทศนิวซีแลนด์



ภาพที่ 2.18 แผ่นธรณีเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform plate boundary)
(ที่มา: Amki, 2018)



ภาพที่ 2.19 (ก) ภูมิประเทศ (ข) แบบจำลองการเกิด (ค-ง) ภายจากมุมสูงในบริเวณรอยเลื่อนซานแอนเดรียส (San Andreas fault) ทางตะวันตกของประเทศสหรัฐอเมริกา
(ที่มา: Kim *et al.*, 2016)

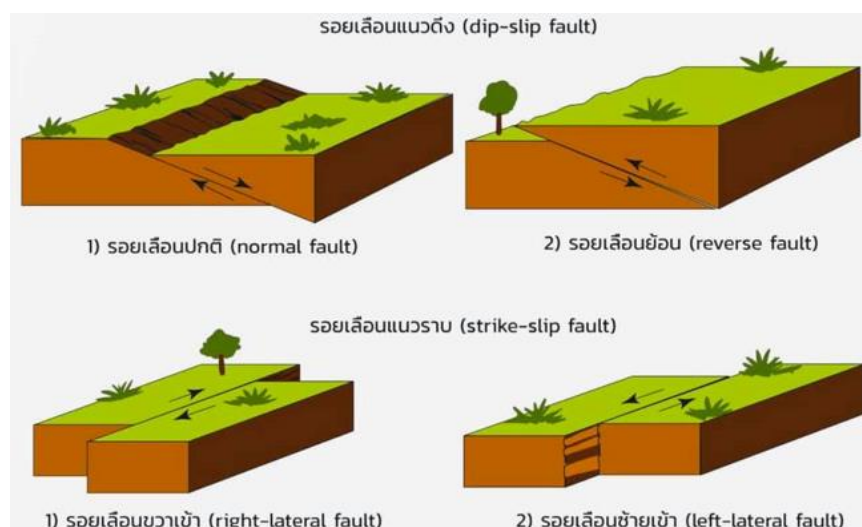
2.1.5 รอยเลื่อนมีพลัง (Active fault)

รอยเลื่อน (Fault) คือ รอยแยกหรือรอยแตกของหินที่มีการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงเค้นที่เข้ามากระทำ ซึ่งรอยเลื่อนโดยส่วนใหญ่จะมีระนาบการเคลื่อนตัว หรือระนาบรอยเลื่อน (Fault plane) อยู่ในแนวเอียงเทไปด้านใดด้านหนึ่ง ดังภาพที่ 2.20 ซึ่งทำให้พื้นที่ทั้ง 2 ฝั่งที่ถูกแบ่งโดยระนาบรอยเลื่อนนั้นมีรูปทรงไม่เหมือนกัน และถูกเรียกแตกต่างกัน (สันติ, 2562)



ภาพที่ 2.20 พื้นที่ส่วนต่าง ๆ ที่ถูกแบ่งระหว่างระนาบรอยเลื่อน
(ที่มา: สันติ, 2562)

ชั้นหินที่อยู่เหนือระนาบของรอยแตก เรียกว่า หินเพดาน (Hanging wall) ส่วนหินที่อยู่ด้านล่างระนาบของรอยแตกเรียกว่า หินพิง (Foot wall) โดยสามารถจำแนกการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนรูปแบบต่าง ๆ ได้ 3 แบบ ดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ชนิดของรอยเลื่อน
(ที่มา: สันติ, 2562)

2.1.5.1 รอยเลื่อนตามแนวเอียงเท (Dip-slip fault)

รอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนตัวตามระนาบการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง แบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด

1) รอยเลื่อนปกติ (Normal fault) เกิดจากแรงเค้นดึงที่ทำให้แผ่นเปลือกโลกเกิดการแยกตัวออกจากกัน ทำให้หินเพดานเลื่อนลง เมื่อเปรียบเทียบกับหินพื้น (หินที่มีอายุน้อยกว่าอยู่บนหินที่อายุแก่กว่า)

2) รอยเลื่อนย้อน (Reverse fault) เกิดจากแรงเค้นบีบอัดซึ่งตรงกันข้ามกับรอยเลื่อนปกติ ทำให้ชั้นหินหดสั้นลง หินเพดานเลื่อนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับหินพื้น (หินอายุแก่อยู่บนหินที่อายุน้อยกว่า) ในกรณีของรอยเลื่อนย้อนที่ระนาบการเคลื่อนตัวเอียงเทเป็นมุมมากกว่า 45 องศา เรียกรอยเลื่อนชนิดนี้ว่า รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ (Thrust fault)

2.1.5.2 รอยเลื่อนตามแนวระดับ (Strike-slip fault)

เกิดจากแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ผ่านกันแนวราบ แบ่งย่อยเป็น 2 ชนิด

1) รอยเลื่อนแบบขวาเข้า (Dextral หรือ Right-lateral fault) คือ รอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนตัวและพื้นที่ฝั่งขวาของรอยเลื่อน เคลื่อนเข้าหาผู้สังเกต

2) รอยเลื่อนแบบซ้ายเข้า (Sinistral หรือ Left-lateral fault) คือ รอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนตัวและพื้นที่ฝั่งซ้ายของรอยเลื่อน เคลื่อนเข้าหาผู้สังเกต

2.1.5.3 รอยเลื่อนเฉียง (Oblique fault)

รอยเลื่อนที่มีการเคลื่อนตัวผสมทั้งในแนวตั้งและแนวระนาบในเวลาเดียวกัน

“คำว่า รอยเลื่อนมีพลัง” (Active fault) จากหน่วยสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) ให้ความหมายว่า รอยเลื่อนมีพลัง หมายถึง รอยเลื่อนที่อาจจะมีการเกิดแผ่นดินไหวเกิดขึ้นอีกในอนาคต โดยรอยเลื่อนที่จัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลังต้องมีการเคลื่อนที่อย่างน้อยหนึ่งครั้งในช่วง ระยะเวลา 10,000 y (USGS, 2002) โดยรอยเลื่อนต่าง ๆ นั้น สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ 1. รอยเลื่อนที่มีพลัง (Active fault or Alive fault) คือ รอยเลื่อนที่มีประวัติการเคลื่อนตัวในช่วงเวลาธรณีกาลสมัยโฮโลซีน หรือประมาณ 11,000 y และ 2. รอยเลื่อนที่สงบแล้ว (Dead fault) (Hinthong, 1997) โดยสามารถแบ่งเขตรอยเลื่อนในประเทศไทยได้เป็น 4 ประเภท คือ 1) รอยเลื่อนที่มีแนวโน้มอาจเคลื่อนตัวได้ในอนาคต (Potentially active fault) 2) รอยเลื่อนที่มีประวัติเคลื่อนตัวในช่วงเวลาประวัติศาสตร์ และมีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินไหว (Historically and Seismologically active fault) 3) รอยเลื่อนที่เคลื่อนตัวจากการแปรสัณฐานใหม่ (Neotectonically active fault) 4) รอยเลื่อนที่ คาดไว้ก่อนว่ามีพลัง (Tentatively active fault) โดยการตรวจสอบรอยเลื่อนมีพลังบริเวณประเทศไทยนั้น อาศัยหลักการที่ว่า “ตรวจพบแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนใด ถือว่ารอยเลื่อนนั้นมีพลัง” (วิชญศาสตร์, 2550)

2.1.6 การเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว (Earthquake) หมายถึง แรงสั่นสะเทือนของพื้นผิวโลกซึ่งเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน ซึ่งเกิดจากการปลดปล่อยพลังงานออกมาเพื่อทำการลดความเครียด (Strain) ที่สะสมไว้ภายในโลกออกมาอย่างฉับพลัน และเพื่อปรับสมดุลของ

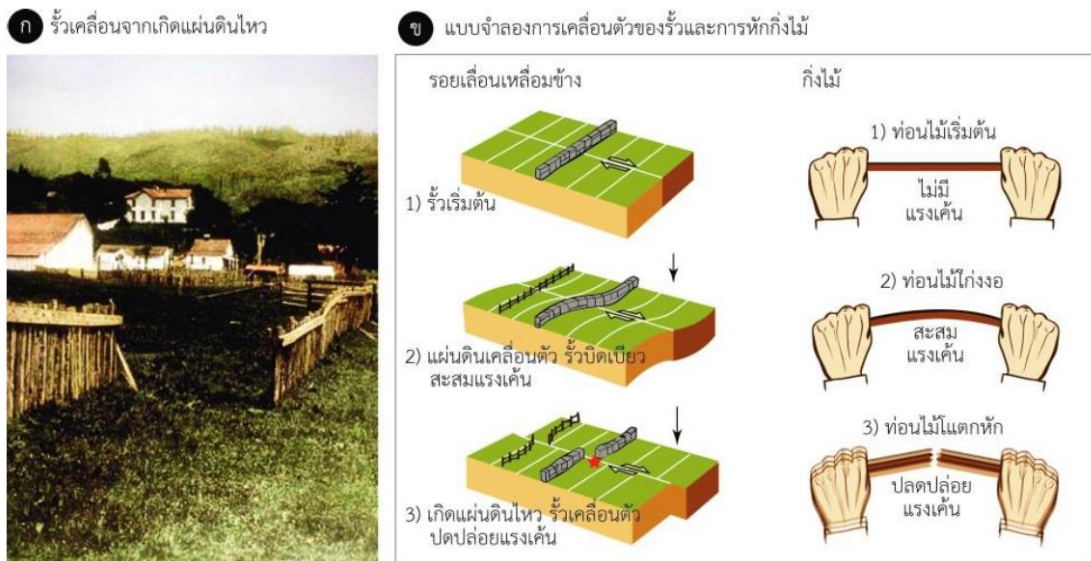
เปลือกโลกให้คงที่ สาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวนั้น แบ่งได้ 2 ชนิด คือ 1. เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทดลองระเบิดปรมาณู, การขุดสร้างเขื่อน และแรงระเบิดจากการทำเหมืองแร่ เป็นต้น 2. แผ่นดินไหวที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งมีทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหว ที่เป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบัน อยู่ 2 ทฤษฎี คือ

2.1.6.1 ทฤษฎีที่ว่าด้วยการขยายตัวของเปลือกโลก (Dilation source theory)

โดยเชื่อว่า แผ่นดินไหวเกิดจากการที่เปลือกโลกเกิดการคดโค้งงออย่างฉับพลัน และเมื่อเปลือกโลกขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว

2.1.6.2 ทฤษฎีที่ว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ (Elastic rebound theory)

เชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการสั้นสะเทือนอันเป็นเหตุผลมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Fault) ดังนั้นเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ถึงจุดหนึ่งทำให้วัตถุขาดออกจากกันและเสียรูปอย่างมาก พร้อมกับมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว และหลังจากปลดปล่อยพลังงาน วัตถุก็คืนตัวกลับสู่รูปเดิม ทฤษฎีนี้สนับสนุนแนวความคิด ที่เชื่อว่าแผ่นดินไหวมีกลไกการกำเนิดเกี่ยวข้องโดยตรง และใกล้ชิดกับแนวรอยเลื่อนมีพลัง (Active fault) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรสัณฐานของแผ่นเปลือกโลก (Plate tectonics) (วิชาธรณีวิทยา, 2550; Reid, 1910) ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 แนวคิดการคืนตัวของวัตถุ (ที่มา: สันติ, 2564b)

ซึ่งผลจากการกระทบกันของแผ่นเปลือกโลกทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) การเคลื่อนที่ออกจากกัน (Divergent movement) 2) การเคลื่อนที่เข้าหากัน (Convergent movement) และ 3) การเคลื่อนที่ผ่านกัน (Transform movement) ทำให้เกิดแผ่นดินไหวจำนวนมากตามขอบของแผ่นเปลือกโลกและสามารถหรือมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้หลากหลายขนาดรวมไปถึงแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่สร้างภัยพิบัติต่อมนุษย์ ดังนั้นจึงสรุปว่ากระบวนการธรณีแปรสัณฐาน (Plate tectonics) เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดแผ่นดินไหวที่สร้างภัยพิบัติภายในโลก

2.1.7 คลื่นไหวสะเทือน (Seismic wave)

เมื่อเกิดแผ่นดินไหวในแต่ละครั้ง จะก่อให้เกิดคลื่นไหวสะเทือน 2 กลุ่ม ที่เกิดขึ้นต่างเวลา ต่างสถานที่ และต่างลักษณะเฉพาะกัน ได้แก่

2.1.7.1 คลื่นภายในโลก (Body wave)

เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นทันทีที่จุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหวประกอบด้วย 2 คลื่นย่อย ที่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคแตกต่างกัน คือ

1) คลื่นปฐมภูมิ (Primary wave หรือ P-wave) เป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal wave) โดยอนุภาคที่คลื่นเดินทางผ่านจะถูกแรงอัด-ขยายตัว ไปในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เป็นคลื่นที่เร็วที่สุด สามารถเดินทางผ่านตัวกลางได้ทุกสถานะทั้งของแข็งของเหลว หรือก๊าซ แต่ไม่สร้างภัยพิบัติ เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนต่ำและทิศทางการสั่นสะเทือนตั้งฉากกับแรงโน้มถ่วงของโลก

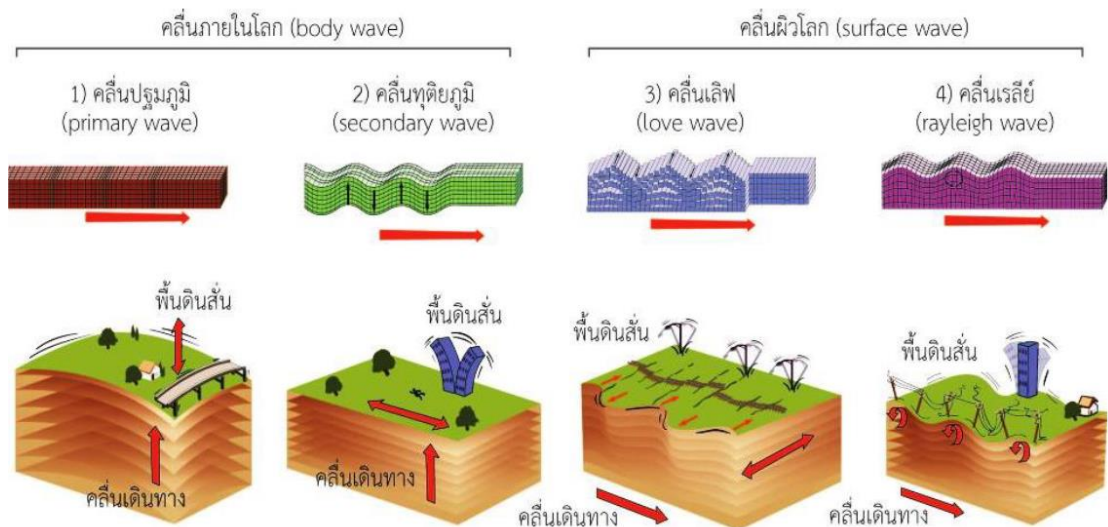
2) คลื่นทุติยภูมิ (Secondary wave หรือ S-wave) เป็นคลื่นตามขวาง (Transverse wave) ที่อนุภาคเคลื่อนที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เดินทางช้ากว่าคลื่นปฐมภูมิ และผ่านได้เฉพาะของแข็งเท่านั้น ถึงแม้ว่าคลื่นจะเคลื่อนที่ในแนวราบ แต่เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนต่ำ เช่นเดียวกับคลื่นปฐมภูมิ คลื่นทุติยภูมิจึงไม่สร้างความเสียหายมากนักต่อสิ่งปลูกสร้าง

2.1.7.2 คลื่นผิวโลก (Surface wave)

เป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นเนื้อโลกสัมผัสกับผิวโลกและสร้างคลื่นผิวโลกขึ้น โดยแบ่งเป็น 2 คลื่นย่อย คือ

1) คลื่นเลิฟ (Love wave หรือ Q-wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคที่คลื่นเดินทางผ่านเคลื่อนที่ส่ายไป-มาในแนวราบเหมือนกับงู โดยเคลื่อนที่เร็วเป็นลำดับที่ 3 รองจากคลื่นภายในโลก (Body wave) ทั้ง 2 ชนิด และในเชิงภัยพิบัติ คลื่นเลิฟสามารถสร้างความเสียหายให้กับอาคารได้มาก เนื่องจากเป็นคลื่นที่มีความรุนแรง และสั่นในแนวราบแบบปั่นป่วน

2) คลื่นเรลีย์ (Rayleigh wave หรือ R-wave) เคลื่อนที่แบบม้วนตัวแนวตั้ง เหมือนกับคลื่นน้ำหรือเหมือนกับการเคลื่อนตัวของหนอน เป็นคลื่นที่เดินทางช้าที่สุด แต่สร้างความเสียหายได้มากที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปคลื่นไหวสะเทือน (Seismic wave) (สันติ, 2564b) ได้ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 คลื่นไหวสะเทือนชนิดต่าง ๆ และผลกระทบต่อวัตถุบนพื้นผิวโลก
(ที่มา: สันติ, 2564b)

2.1.8 ตำแหน่งแผ่นดินไหว (Earthquake location)

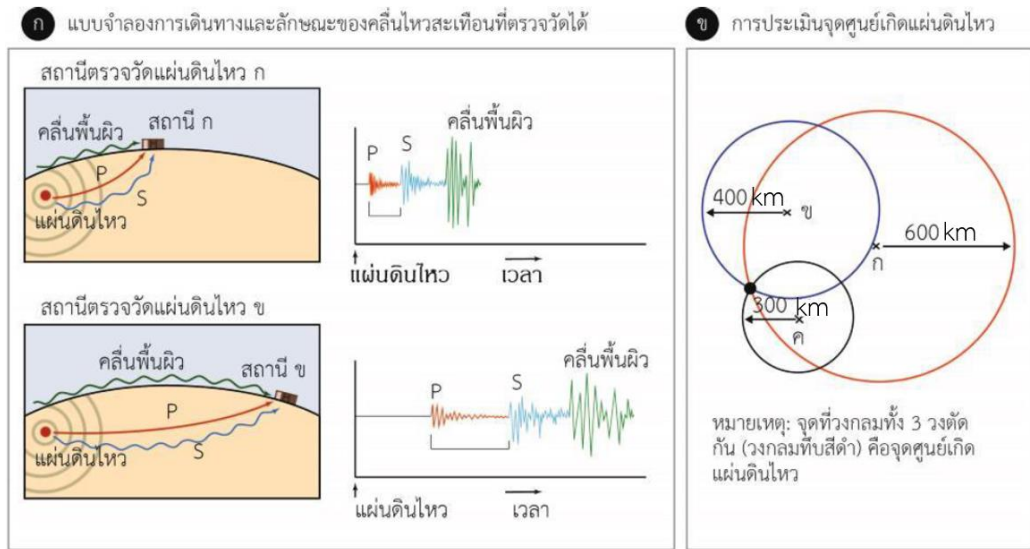
จากหลักการที่ว่าคลื่นปฐมภูมินั้นเดินทางได้เร็วกว่าคลื่นทุติยภูมิ หากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหว เวลาของการเดินทางมาถึงสถานีของคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมินั้นก็จะแตกต่างกันมากขึ้น (ภาพที่ 2.24ก) และจากหลักการดังกล่าว สามารถวิเคราะห์ตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) ดังนี้

$$V = \frac{S}{T} \text{ หรือ } T = \frac{S}{V} \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้ V คือ ความเร็ว (km/s) ซึ่งสัมพันธ์กับ S คือ ระยะทาง และ T คือ ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางมาถึงสถานี ดังนั้นความแตกต่างของเวลาของการเดินทางมาถึงสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิจึงแสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

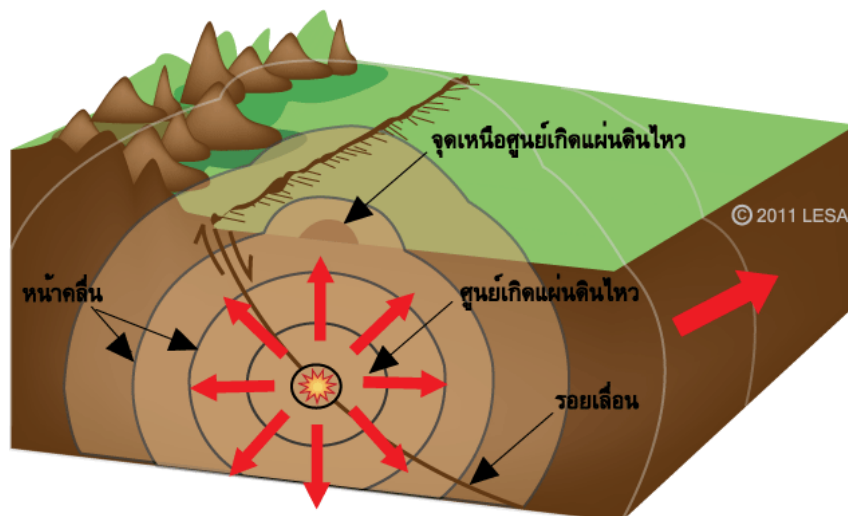
$$T_p - T_s = S \left(\frac{1}{V_p} - \frac{1}{V_s} \right) \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.2) ความเร็วของทั้งคลื่นปฐมภูมิ (V_p) และคลื่นทุติยภูมิ (V_s) ที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดต่าง ๆ สามารถประเมินได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ และความแตกต่างของเวลาการเดินทางมาถึงสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของคลื่นทั้งสองชนิด ($T_p - T_s$) ตรวจวัดได้โดยตรงจากกราฟแผ่นดินไหว (ภาพที่ 2.24ก)



ภาพที่ 2.24 หลักการประเมินจุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (ดัดแปลงจาก: สันติ, 2564b)

ดังนั้นจากระยะห่างจากตำแหน่งการเกิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว (S) จึงสามารถประเมินได้ตามสมการที่ (2.2) ซึ่งหากมีสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวอย่างน้อย 3 สถานี ที่สามารถตรวจวัดคลื่นไหวสะเทือนจากแผ่นดินไหวเหตุการณ์เดียวกันได้ ก็สามารถประเมินตำแหน่งแผ่นดินไหวได้จากการสร้างวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับค่า S ที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละสถานี ซึ่งจุดตัดของวงกลมอย่างน้อย 3 วง คือตำแหน่งแผ่นดินไหว (ภาพที่ 2.24ข) ซึ่งจะเรียกตำแหน่งนี้ว่า จุดศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (Hypocenter หรือ Focus) โดยแสดงรายละเอียดของตำแหน่งแผ่นดินไหวทั้ง 1) ละติจูด 2) ลองจิจูด และ 3) ความลึกของแผ่นดินไหวได้ นอกจากนี้ในกรณีของการนำเสนอข้อมูลตำแหน่งแผ่นดินไหวบนแผนที่ซึ่งเป็นภาพ 2 มิติ โดยไม่พิจารณาค่าความลึก นักวิทยาศาสตร์เรียกการบอกตำแหน่งแผ่นดินไหวในรูปแบบนี้ว่า จุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (Epicenter) ดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 จุดเหนือศูนย์เกิดแผ่นดินไหว (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2554)

2.1.9 ขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake magnitude)

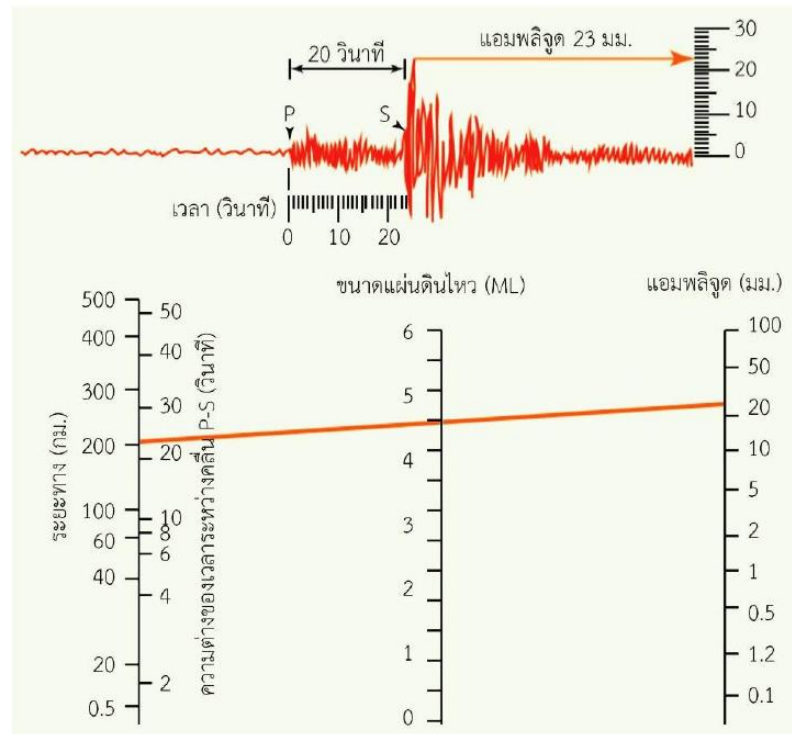
ขนาดแผ่นดินไหว (Earthquake magnitude) คือ ระดับพลังงานที่โลกปลดปล่อยออกมาจากจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหวในรูปแบบของแรงสั่นสะเทือน ดังนั้นในแต่ละเหตุการณ์แผ่นดินไหวจะมีขนาดแผ่นดินไหวหรือระดับพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเพียงระดับเดียวเท่านั้น แตกต่างจากแรงสั่นสะเทือนที่มีอยู่หลายระดับขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหว

พ.ศ. 2478 ชาลส์ ฟรานซิส ริคเตอร์ (Richter C.F.) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันพบว่าแม้แต่แผ่นดินไหวเหตุการณ์เดียวกัน หากตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวต่างพื้นที่กัน แอมพลิจูดของคลื่นไหวสะเทือนจะสูงไม่เท่ากัน ดังนั้น ริคเตอร์จึงสรุปว่าแรงสั่นสะเทือน (ความสูงของแอมพลิจูด) แผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้บนกราฟแผ่นดินไหว ขึ้นอยู่กับขนาดและระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหว และนำเสนอวิธีการประเมินขนาดแผ่นดินไหวจากความสูงของแอมพลิจูดคลื่นไหวสะเทือน ร่วมกับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหวของสถานีตรวจวัด โดยแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.3) (Richter, 1935)

$$M_L = \log A + C \quad (2.3)$$

เมื่อกำหนดให้ M_L คือ ขนาดแผ่นดินไหว (Richter) A คือ ความสูงของแอมพลิจูดสูงสุด (mm) ตรวจวัดโดยตรงจากกราฟแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องตรวจวัดแผ่นดินไหวรุ่น Wood-Anderson ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดแผ่นดินไหวที่มีใช้ในขณะนั้น และ C คือ ค่าปรับแก้เนื่องจากระยะห่างระหว่างเครื่องตรวจวัดและจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหว

จากสมการที่ (2.3) การประเมินขนาดแผ่นดินไหวยังสามารถแสดงในแบบของแผนผังอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรด้านแผ่นดินไหว 3 ตัวแปร วางเรียงอยู่ 3 แถว โดยแถวด้านซ้ายแสดงค่าระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหวถึงสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว แถวด้านขวาแสดงความสูงของแอมพลิจูด คลื่นไหวสะเทือน ส่วนแถวกลางแสดงขนาดแผ่นดินไหว ซึ่งวิธีการประเมินเริ่มจากการตรวจวัดความสูงของแอมพลิจูด และเวลาความแตกต่างของการมาถึงสถานีระหว่างคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิซึ่งสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางเกิดแผ่นดินไหวและสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว จากนั้นนำทั้งสองค่าไปจุดในแถวซ้าย (ระยะห่าง) และขวา (Amplitude) และลากเส้นตรงตัดผ่านระหว่าง 2 จุด ซึ่งจุดตัดที่แกนกลางของเส้นตรงที่ลากไว้ คือ ขนาดแผ่นดินไหว (Richter) ดังภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 แผนผังการประเมินขนาดแผ่นดินไหว
(ที่มา: Bolt, 1978)

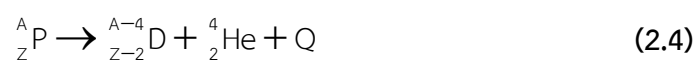
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นทางรังสี

2.2.1 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี

การสลายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ โดยทั่วไปจะจำแนกตามรังสีที่ปล่อยออกมา ดังนี้

2.2.1.1 การสลายให้อนุภาคแอลฟา (Alpha decay)

อนุภาคแอลฟามีสัญลักษณ์ (α , ${}^4_2\text{He}$) ประกอบด้วย โปรตอน 2 อนุภาค และ นิวตรอน 2 อนุภาค เหมือนกับนิวเคลียสของฮีเลียม จึงอาจกล่าวได้ว่าอนุภาคแอลฟา คือ นิวเคลียสของฮีเลียม อนุภาคแอลฟามีประจุ $+2e$ มีมวลเท่ากับ 4.001516 amu มักเกิดจากการสลายของนิวไคลด์ที่มีเลขเชิงอะตอมสูง ๆ และมีเลขมวลตั้งแต่ 83 ขึ้นไป เมื่อสลายแล้วจะได้นิวไคลด์ลูกที่มีเลขมวลลดลง 4 หน่วย เลขเชิงอะตอมลดลง 2 หน่วย ดังสมการที่ (2.4) ก็คือสมการทั่วไปของอนุภาคแอลฟา



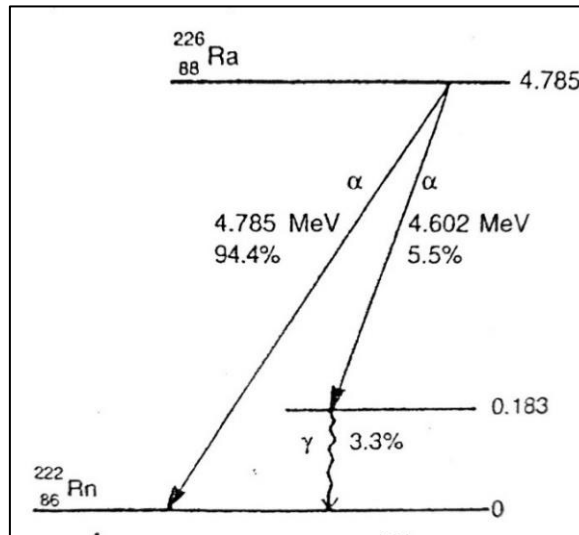
เมื่อ ${}^A_Z\text{P}$ คือ นิวไคลด์แม่ (Parent nuclide)

${}^{A-4}_{Z-2}\text{D}$ คือ นิวไคลด์ลูก (Daughter nuclide)

${}^4_2\text{He}$ คือ อนุภาคแอลฟา (Alpha particle)

Q คือ พลังงานของการสลาย (Decay energy)

พลังงานที่ได้จากการสลาย ส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคแอลฟา ที่มีลักษณะสเปกตรัมพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete energy) และเป็นค่าเฉพาะของแต่ละนิวไคลด์กัมมันตรังสี ดังตัวอย่างภาพที่ 2.27



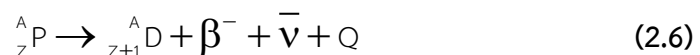
ภาพที่ 2.27 แผนการสลายของ ${}^{226}\text{Ra}$
(ที่มา: นวลฉวี 2553)

2.2.1.2 การสลายให้อนุภาคบีตา (Beta decay)

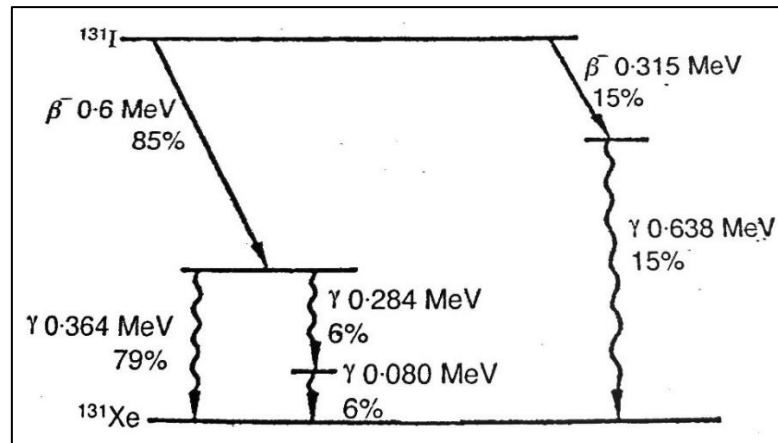
อนุภาคบีตา (β^-) หรืออนุภาคเนกาตรอน (Negatron) คือ อนุภาคอิเล็กตรอนซึ่งมีมวล 0.00055 amu มีประจุ $-1e$ อนุภาคบีตามีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ดีกว่าอนุภาคแอลฟา เพราะอนุภาคบีตามีมวลน้อยกว่ามาก การสลายตัวให้อนุภาคบีตา จะเกิดขึ้นกับนิวไคลด์ที่อยู่ด้านขวาของเส้นเสถียรภาพในแผนภูมินิวไคลด์ ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่มีนิวตรอนมากเกินไป (Neutron excess) ทำให้ไม่มีเสถียรภาพนิวเคลียร์ อนุภาคนิวตรอนจะเปลี่ยนไปเป็นโปรตอน พร้อมทั้งให้อนุภาคบีตา และอนุภาคแอนตินิวทริโน (Antineutrino) ตามสมการที่ (2.5)



ดังนั้น การสลายให้อนุภาคบีตาจะทำให้นิวไคลด์ลูก มีเลขเชิงอะตอมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย แต่เลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง ดังสมการที่ (2.6)



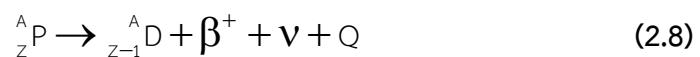
พลังงานของการสลาย (Q) นี้ จะเป็นพลังงานของอนุภาคบีตาและแอนตินิวทริโน โดย จะแบ่งกันด้วยอัตราส่วนที่ไม่แน่นอน ดังนั้นอนุภาคบีตาที่ได้จากการสลายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีหนึ่ง จะมีสเปกตรัมพลังงานที่ต่อเนื่อง (Continuous energy) ดังตัวอย่างภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 แผนการสลายตัวของ ^{131}I
(ที่มา: นवलวี 2553)

2.2.1.3 การสลายให้อนุภาคโพซิตรอน (Positron decay)

อนุภาคโพซิตรอน (β^+) คือ อนุภาคบีตาที่มีประจุบวก มีมวลเท่ากับอิเล็กตรอน คือ 0.00055 amu อนุภาคโพซิตรอนเกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่อยู่ด้านซ้ายมือของเส้น เสถียรภาพในแผนภูมินิวไคลด์ เนื่องจากมีอนุภาคโปรตอนมากเกินไป (Proton excess) โปรตอนจะเปลี่ยนเป็นอนุภาคนิวตรอน พร้อมทั้งให้อนุภาคโพซิตรอนและอนุภาคนิวทริโนออกมาตั้งในสมการที่ (2.7) และสมการที่ (2.8) เป็นสมการทั่วไปของการสลายตัวให้อนุภาคโพซิตรอน



การสลายให้อนุภาคโพซิตรอนทำให้นิวไคลด์ลูกที่เกิดขึ้น มีเลขเชิงอะตอมลดลง 1 หน่วย และในทำนองเดียวกับการสลายตัวให้อนุภาคบีตา พลังงานที่ได้จากการสลายตัวจะแบ่งปันกันระหว่างอนุภาคโพซิตรอน และอนุภาคนิวทริโน ทำให้อนุภาคโพซิตรอนมีสเปกตรัมพลังงานต่อเนื่อง เหมือนกับอนุภาคบีตา

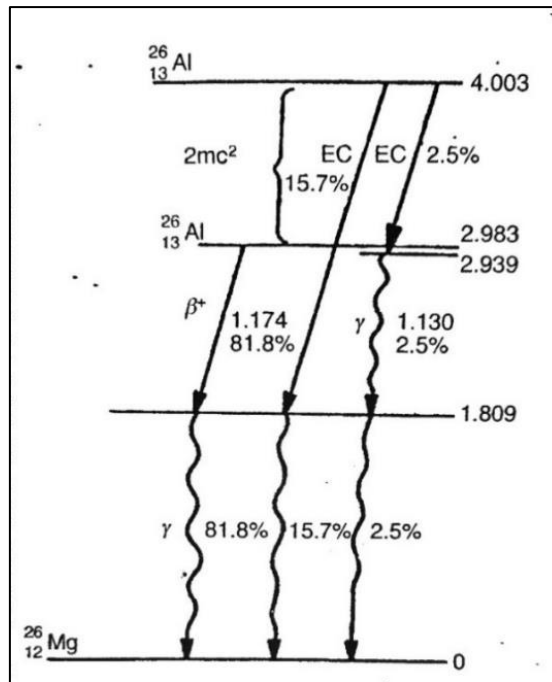
2.2.1.4 การจับอิเล็กตรอน (Electron capture, EC)

นิวไคลด์กัมมันตรังสี ที่มีจำนวนอนุภาคโปรตอนมากเกินไป อาจจะสลายโดยการดึงเอาอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรมารวมกับโปรตอน แล้วเปลี่ยนเป็นนิวตรอน ในสมการที่ (2.9)



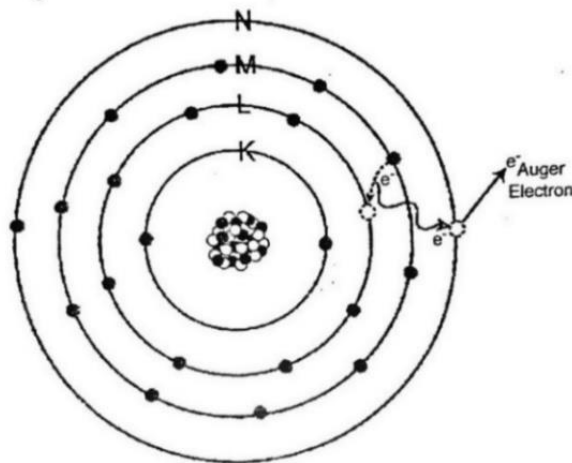
การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า การจับอิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนที่ถูกจับเข้าไปรวมกับโปรตอน มักเป็นอิเล็กตรอนที่อยู่ในวง K (K shell) เนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสมากที่สุด สมการทั่วไปของกระบวนการจับอิเล็กตรอนแสดงได้ในสมการที่ (2.10) และตัวอย่างแผนการสลายตัวของ ^{26}Al ดังภาพที่ 2.29 ดังนี้





ภาพที่ 2.29 แผนการสลายของ ^{26}Al ที่ให้ทั้งอนุภาคโพซิตรอน และการจับอิเล็กตรอน (ที่มา: นवलวี, 2553)

เมื่ออิเล็กตรอนวงในเข้าไปรวมกับโปรตอนในนิวเคลียสแล้ว อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงถัดไป จะเข้ามาแทนที่ว่างนั้น โดยการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือรังสีเอกซ์ นั่นเอง ปรากฏการณ์อีกอย่างหนึ่งที่อาจจะพบ ได้พร้อมกับกระบวนการจับอิเล็กตรอน คือ โอเจอิเล็กตรอน (Auger electron) ที่เกิดขึ้นจากรังสีเอกซ์ ที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการจับอิเล็กตรอน เข้าชนพร้อมกับถ่ายเทพลังงานให้ อิเล็กตรอนในวงใด ๆ ของอะตอม เพื่อเอาชนะ แรงยึดเหนี่ยว แล้วทำให้อิเล็กตรอนนั้น หลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนนั้น เรียกว่า โอเจอิเล็กตรอน ดังภาพที่ 2.30

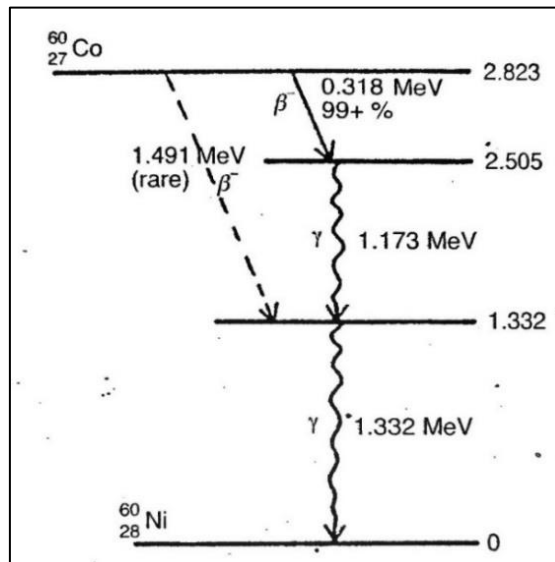


ภาพที่ 2.30 การเกิดโอเจอิเล็กตรอน (ที่มา: นवलวี, 2553)

2.2.1.5 การสลายให้รังสีแกมมา (Gamma decay)

การสลายให้รังสีแกมมา เป็นการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน (Photon) จาก นิวไคลด์ที่อยู่ในสถานะกระตุ้นลงสู่สถานะกระตุ้นที่ต่ำกว่าหรือสถานะพื้น (Ground state) มักจะเกิดขึ้นหลังจากการสลายให้รังสีแอลฟา หรือรังสีบีตาแล้ว ช่วงเวลาการสลายให้รังสีแกมมานี้ สั้นมาก คือ น้อยกว่า 10^{-12} s การส่งรังสีแกมมาอาจจะมีหลายขั้นตอน ทำให้ได้รังสีแกมมาหลายพลังงาน และพลังงานของรังสีแกมมาอาจจะมีค่าตั้งแต่ eV จนถึง MeV

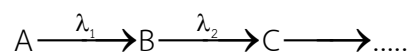
การสลายให้รังสีแกมมาไม่มีผลต่อเลขมวล และเลขเชิงอะตอมของนิวไคลด์แม่ แต่ทำให้ได้นิวไคลด์ลูกที่มีพลังงานลดลง จึงอาจเรียกการสลายให้รังสีแกมมาว่า การเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ (Isomeric transition, IT) ดังสมการที่ (2.11) และตัวอย่างแผนการสลายตัวของ ^{60}Co ดังภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 แผนการสลายของ ^{60}Co
(ที่มา: นวลฉวี, 2553)

2.2.2 สมดุลกัมมันตรังสี

มีสารกัมมันตรังสีหลายตัว เมื่อสลายตัวแล้วจะทำให้นิวไคลด์ตัวลูก ยังคงเป็นสารกัมมันตรังสี ซึ่งก็จะสลายตัวต่อไป พร้อมกับก่อให้เกิดนิวไคลด์ลูกของกัมมันตรังสีตัวใหม่ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเสถียร เช่น อนุกรมยูเรเนียม และอนุกรมทอเรียม เป็นต้น สมการทั่วไปสำหรับอนุกรมการสลายตัว คือ



เมื่อ A สลายตัวเป็น B และ B สลายตัวทำให้เกิด C

λ_1 เป็นค่าคงที่การสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ A ไป B

λ_2 เป็นค่าคงที่การสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ B ไป C

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

ตามลำดับ

N_1 และ N_2 แทนจำนวนอะตอมของ A และ B ณ เวลาใด ๆ ตามลำดับ

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี คือ

อัตราการเปลี่ยนแปลง = อัตราการเกิด - อัตราการสลายตัว

ดังนั้น จึงสามารถหาปริมาณของ N ในขณะใดขณะหนึ่งได้ดังสมการ

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.12)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (2.13)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (2.14)$$

แทนค่าสมการที่ (2.12) ลงใน (2.14) จะได้ว่า

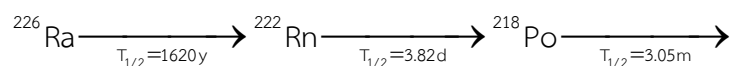
$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad (2.15)$$

เมื่อแก้สมการจะได้สมการสำหรับอนุกรมสลายตัวดังนี้

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 \left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right] \quad (2.16)$$

2.2.2.1 สมดุลแบบถาวร (Secular equilibrium)

เป็นสมดุลทางรังสี โดยมีเงื่อนไขว่า ครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่จะต้องมีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกหลายเท่า หรือ $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ความแตกต่างของค่าครึ่งชีวิตระหว่างนิวไคลด์แม่กับนิวไคลด์ลูก จะต้องต่างกันประมาณ 10^4 เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้นค่าความแรงรังสีของนิวไคลด์แม่จะไม่เปลี่ยนแปลงเท่าไร ดังแสดงในภาพที่ 2.32 ในขณะที่ค่าความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกเปลี่ยนแปลงไปหลายช่วงครึ่งชีวิต ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของ ^{226}Ra ไปเป็น ^{222}Rn



สำหรับสมดุลทางรังสีระหว่างเรเดียมและก๊าซเรดอนทำให้สมการที่ (2.16) ง่ายขึ้น กล่าวคือ λ_1 นั้นมีค่าน้อยมาก จนสามารถตัดทิ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า λ_2 และ เมื่อเวลา t ผ่าน

ไปนานหลายช่วงครึ่งชีวิตของก๊าซเรดอน ผลคูณของ t และ λ_2 จะมีค่ามหาศาล ดังนั้น $e^{-\lambda_1 t}$ จะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการที่ (2.16) สามารถลดรูปได้เป็น

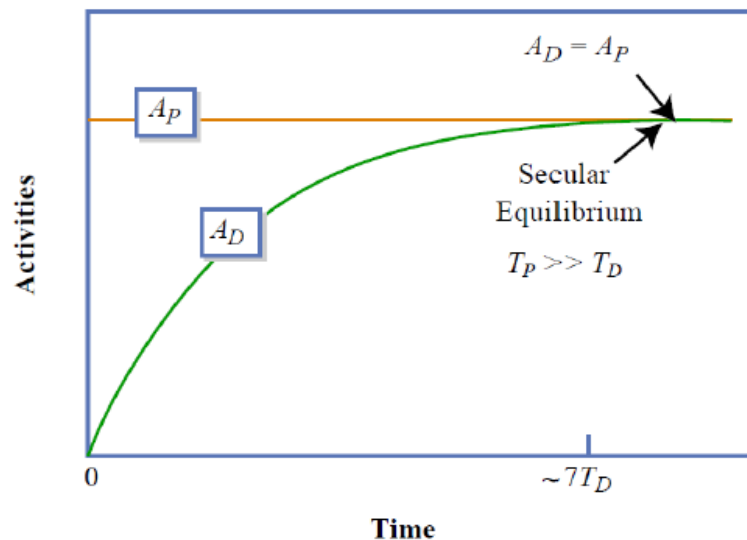
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.17)$$

แทนค่า N_1 จาก (2.12) ลงใน (2.17) จะได้

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad (2.18)$$

จะเห็นว่าเมื่อเข้าสู่ระบบสมดุลแบบถาวรจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B = \lambda_C N_C = \dots \quad (2.19)$$



ภาพที่ 2.32 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบถาวร (ที่มา: Ibrahim *et al.*, 2016)

2.2.2.2 สมดุลแบบชั่วคราว (Transient equilibrium)

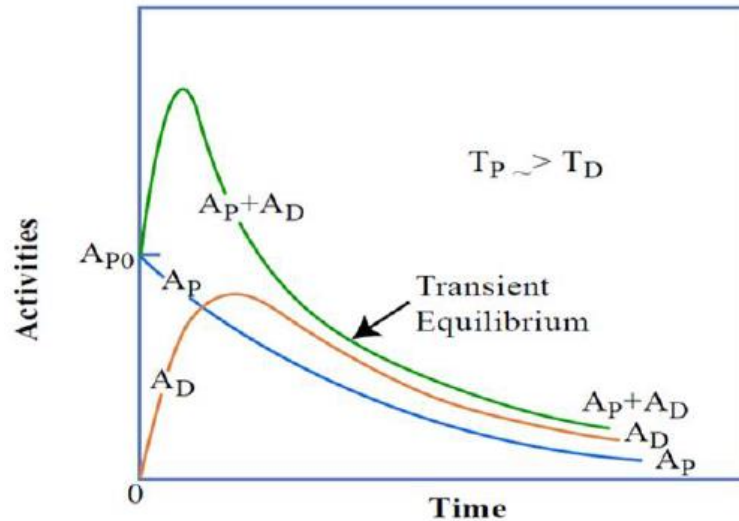
สมดุลนี้มีความคล้ายคลึงกับสมดุลแบบถาวร โดยกรณีนี้ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีค่ามากกว่านิวไคลด์ลูก แต่มากกว่าด้วยสัดส่วนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 10 เท่า) ดังนั้นค่า $\lambda_1 < \lambda_2$ เมื่อเวลา t มีค่ามาก ๆ ค่า $e^{-\lambda_2 t}$ จะตัดทิ้งได้ เมื่อเทียบกับ $e^{-\lambda_1 t}$ เมื่อมองว่าเทอม $e^{-\lambda_2 t}$ มีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการที่ (2.16) จะกลายเป็น

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (2.20)$$

เมื่อแทนค่า N_1 จาก (2.12) ลงใน (2.20) จะได้

$$N_1 \lambda_1 = N_2 (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (2.21)$$

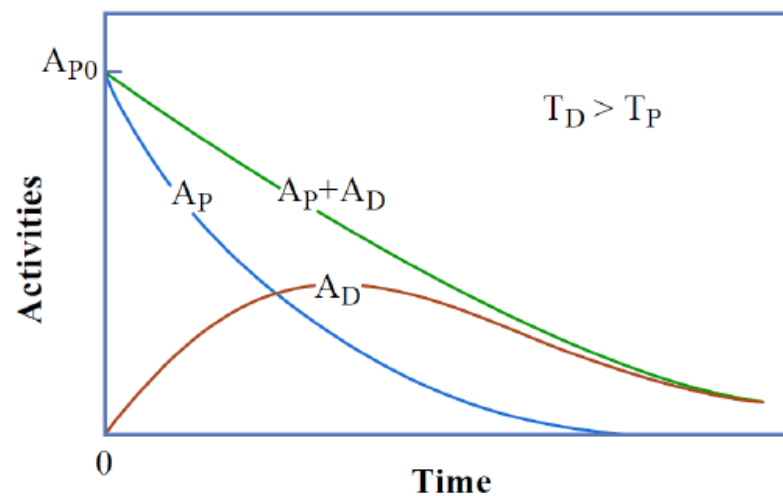
ในกรณีของสมดุลแบบชั่วคราวนั้น ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่จะสั้นกว่าในกรณีของสมดุลแบบถาวร จะได้ว่าค่าความแรงรังสีทั้งหมดจะลดลง ตามเวลาดังแสดงในภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบชั่วคราว (ที่มา: Ibrahim *et al.*, 2016)

2.2.2.3 ไม่มีสมดุลทางรังสี (No equilibrium)

สมดุลทางรังสีจะไม่เกิดขึ้น ถ้าค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่น้อยกว่าของนิวไคลด์ลูก ดังแสดงในภาพที่ 2.34 ถ้าเริ่มต้นจากนิวไคลด์แม่แล้ว พิจารณาความแรงรังสีจะพบว่า ความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจะเพิ่มขึ้นผ่านจุดที่มากที่สุดแล้วลดลง ณ จุดที่ค่าความแรงรังสีมากที่สุด ความชันของเส้นกราฟนิวไคลด์ลูก $dN_2/dt = 0$ สามารถคำนวณระยะเวลาของความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจากเริ่มต้นจนมีค่ามากที่สุดได้โดยอาศัยสมการดิฟเฟอเรนเชียล (สมการที่ 2.15) โดยทำการตั้งสมการดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับศูนย์ แล้วคำนวณหาค่า t



ภาพที่ 2.34 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี (ที่มา: Ibrahim *et al.*, 2016)

2.2.3 หน่วยปริมาณทางรังสี

หน่วยที่ใช้บอกถึงกัมมันตภาพรังสี หมายถึง อัตราการสลายนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่อหน่วยเวลา เดิมใช้หน่วย คูรี (Ci) โดยกำหนด ให้ 1 Ci เป็นการสลายของนิวไคลด์กัมมันตรังสี 3.7×10^{10} dps ซึ่งค่านี้มาจากการสลายโดยประมาณของเรเดียม (^{226}Ra) 1 g แต่ในปัจจุบันใช้ หน่วย SI ว่า เบ็กเคอเรล (Bq) โดยกำหนดให้ 1 Bq เป็นการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี 1 ครั้งต่อวินาที (s^{-1}) ความสัมพันธ์ของหน่วยปริมาณรังสี ได้แก่ เอกซ์โพเซอ์ ปริมาณรังสีดูดกลืน ปริมาณรังสีสมมูล และปริมาณรังสียังผล สรุปได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปสาระสำคัญของหน่วยปริมาณรังสี

ปริมาณรังสี	ความหมาย	หน่วยเก่า	หน่วยสากล
เอกซ์โพเซอ์	ประจุไฟฟ้าต่อหน่วยน้ำหนักอากาศ $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$	Roentgen, R	C/kg
ปริมาณรังสีดูดกลืน (D)	พลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ต่อหน่วยน้ำหนักของตัวกลาง $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$ $1 \text{ Gy} = 100 \text{ J/kg}$ $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$	rad	Gray, Gy
ปริมาณรังสีสมมูล (H)	ปริมาณรังสีดูดกลืนในเนื้อเยื่อหรืออวัยวะใด ๆ หลังจากได้ถ่วงน้ำหนักตามชนิดของรังสีแล้ว $H = D \times W_R$	Rem	Sievert, Sv
ปริมาณรังสียังผล (E)	ปริมาณรังสีสมมูลของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะใด ๆ หลังจากได้ถ่วงน้ำหนักตามชนิดของเนื้อเยื่อหรืออวัยวะนั้น $E = H \times W_T$	Rem	Sievert, Sv

(ที่มา: นवलฉวี 2553)

2.3 ก๊าซเรดอน

2.3.1 แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอน

เรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดมาจากการสลายตัวของเรเดียมซึ่งจะมีจำนวน 3 ไอโซโทปด้วยกันคือ ^{219}Rn หรือเรียกอีกชื่อว่า ก๊าซแอกทินอน (Actinon gas), ^{220}Rn เรียกอีกชื่อว่า ก๊าซทรอน (Thoron gas), ^{222}Rn เรียกอีกชื่อว่า ก๊าซเรดอน (Radon gas) พบว่าก๊าซแอกทินอนนั้น

จะสลายตัวมาจากอนุกรมการสลายตัวของแอกทิเนียม (Actinium series) ที่มี ^{235}U เป็นธาตุตั้งต้น พบได้น้อยมากในธรรมชาติ ดังตารางที่ 2.2 เนื่องจาก ^{235}U มีปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ นอกจากก๊าซแอกทิโนนนี้ ก็ยังมีค่าครึ่งชีวิตสั้นเพียง 5 s เท่านั้น โอกาสที่จะมี ก๊าซแอกทิโนนเกิดขึ้น และหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อมจึงมีโอกาสน้อยมาก ส่วนก๊าซโทรอนนั้น จะสลายตัวมาจากอนุกรมทอเรียม (Thorium series) ที่มีธาตุตั้งต้นคือ ^{232}Th ถึงแม้ว่า ^{232}Th พบมากในธรรมชาติ แต่ก๊าซโทรอนนั้นมีค่าครึ่งชีวิตสั้นแค่ 55 s จึงมักมีการสลายตัวไปก่อนที่จะหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นทั้งก๊าซแอกทิโนนและก๊าซโทรอน จึงไม่ใช่ไอโซโทปสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อมและนำไปใช้ในการศึกษา และวิเคราะห์ในงานวิจัยต่าง ๆ ได้

ตารางที่ 2.2 อนุกรมการสลายตัวของ ^{232}Th

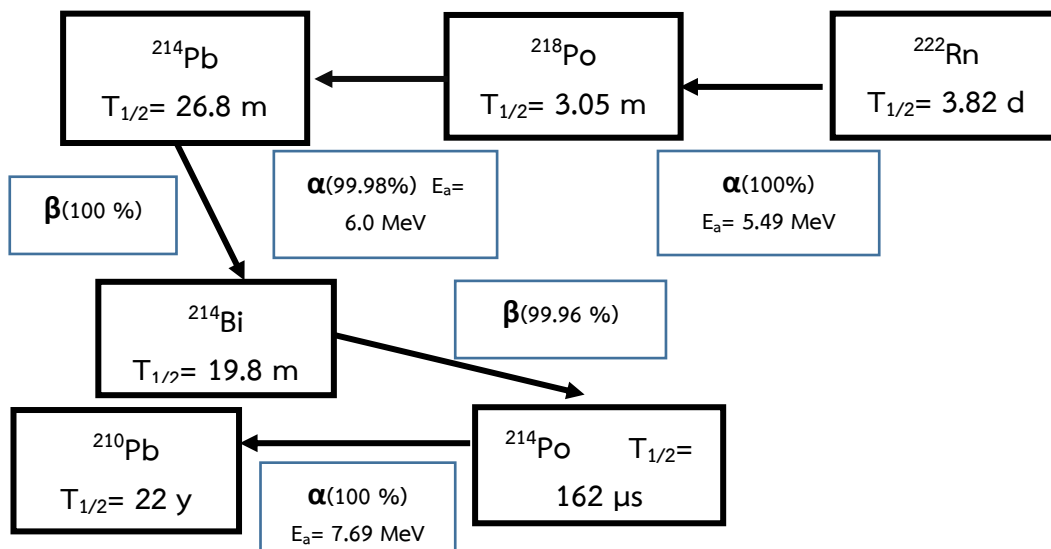
Nuclide	Half-life	Energy (MeV)			เปอร์เซ็นต์ของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
^{232}Th	1.40×10^{10} y	4.0	-	0.06	23
^{228}Ra	5.76 y	-	0.054	-	-
^{228}Ac	6.15 h	-	1.11	0.09	30
^{228}Th	1.913 y	5.43	-	0.08	28
^{224}Ra	3.66 d	5.68	-	0.24	5
^{220}Rn	55.6 s	6.29	-	-	-
^{216}Po	0.145 s	6.78	-	-	-
^{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		

(ที่มา: วิทยาศาสตร์, 2550)

แต่เมื่อพิจารณาพบว่า ก๊าซเรดอนนั้นจะสลายตัวมาจากอนุกรมยูเรเนียมที่มี ^{238}U เป็นธาตุตั้งต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่านอกจาก ^{238}U จะพบในธรรมชาติแล้ว ก๊าซเรดอนยังเป็นไอโซโทปที่มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวที่สุดคือ 3.82 d มันจึงสามารถฟุ้งกระจายไปในอากาศและยังสามารถปะปนกับสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ดังนั้นเมื่อทำการศึกษาเรื่องก๊าซเรดอน มักจะพิจารณาเฉพาะไอโซโทป ^{222}Rn เท่านั้น

เรดอน (^{222}Rn) เป็นเป็นก๊าซกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น เกิดขึ้นในพื้นดินโดยการสลายกัมมันตรังสีของยูเรเนียม (^{238}U) (ภาพที่ 2.35 และตารางที่ 2.3) พบในหิน ดิน และน้ำใต้ดินสูง (Sola et al., 2017) แหล่งกำเนิดของก๊าซเรดอน สามารถแบ่งได้ 4 แหล่งใหญ่ ๆ ได้แก่ ยูเรเนียมในดิน น้ำบาดาล วัสดุก่อสร้าง และก๊าซธรรมชาติ โดยในขณะที่มีมนุษย์ประกอบ

กิจกรรมใด ๆ อยู่ในอาคาร มนุษย์หายใจนำก๊าซเรดอนเข้าไปในปอด ซึ่งสามารถละลายได้ในเลือดและไหลเวียนผ่านร่างกาย อวัยวะและเนื้อเยื่อ จนกระทั่งระบายออก ผ่านทางปอดหรือผิวหนังทำให้เกิดสมดุลขึ้นระหว่างความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่อยู่ภายนอกและภายใน



ภาพที่ 2.35 อนุกรมการสลายตัวของ ²²²Rn
(ดัดแปลงจาก: วิชาศาสตร์, 2550)

ตารางที่ 2.3 อนุกรมการสลายตัวของ ²³⁸U

Nuclide	Half-life	Energy (MeV)			เปอร์เซ็นต์ของการ ปลดปล่อยรังสี แกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
²³⁸ U	4.47×10 ⁹ 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	2.46×10 ⁵ y	4.8	-	0.05	28
²³⁰ Th	7.54×10 ⁴ y	4.8	-	0.068	24
²²⁶ Ra	1,600 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	-	0.80	0.014
²¹⁰ Pb	22.6 y	-	0.016	0.046	81

Nuclide	Half-life	Energy (MeV)			เปอร์เซ็นต์ของการ ปลดปล่อยรังสี แกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
²¹⁰ Bi	5.01 d	-	1.16	-	-
²¹⁰ Po	138.38 d	5.30	-	0.80	0.001
²⁰⁶ Pb		stable			

(ที่มา: วิทยาศาสตร์, 2550)

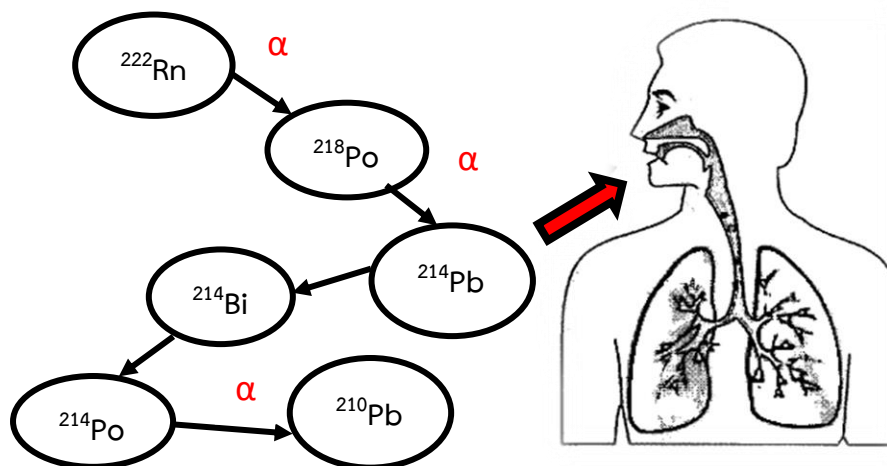
โดยกรณีที่เป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนอยู่ในระดับสูง อันเนื่องมาจากบ้านเรือนนั้นตั้งอยู่บนชั้นหินหรือตะกอนที่มีปริมาณของเรเดียม (²²⁶Ra) หรือยูเรเนียม (²³⁸U) อยู่สูงเท่านั้น (Miklyaev *et al.*, 2019) ลักษณะทางธรณีโครงสร้างบางอย่างก็มีส่วนที่สำคัญ ได้แก่ บริเวณที่เป็นรอยเลื่อน (Fault) หรือบริเวณที่เกิดแรงเฉือนของเปลือกโลก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเหล่านี้ ความพรุนและความซึมได้ของน้ำและส่วนประกอบทางเคมีของหินปัจจุบัน ทำให้เกิดก๊าซเรดอนอยู่ในช่องว่างของหิน ความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่และปริมาณความเข้มข้นของยูเรเนียมและอาจมีส่วนให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรดอนเพิ่มขึ้น (เชิงชาย, 2548)

2.3.2 ประโยชน์ของก๊าซเรดอน

การประยุกต์ใช้ก๊าซเรดอนในทางธรณีวิทยา เช่น การสำรวจเหมืองแร่ยูเรเนียม การทำนายการเกิดแผ่นดินไหว โดยวิเคราะห์ความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง เช่น การตรวจสอบเรดอนในดินโดยวิธี Solid State Nuclear Track Detector ในอินเดียตะวันออกเพื่อค้นหาต้นกำเนิดของการเกิดแผ่นดินไหว (Deb *et al.*, 2018) การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นดินไหวและความเข้มข้นของเรดอนในอาคารในเมืองคยองจู ประเทศเกาหลี (Kim *et al.*, 2018) การประเมินระดับเรดอนที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์แผ่นดินไหวในภูมิภาคควรานเซีย ประเทศโรมาเนีย (Savastru *et al.*, 2012) เป็นต้น

2.3.3 อันตรายของก๊าซเรดอน

ก๊าซเรดอนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ไม่ได้เพราะตัวของก๊าซเรดอนเอง ความเสี่ยงโดยเฉพาะสถานที่ที่อากาศไม่ไหลเวียน จะเพิ่มโอกาสการรับก๊าซเรดอนเข้าไปในร่างกายของมนุษย์ ผู้ที่สูดดมก๊าซเรดอนความเข้มข้นสูงและธาตุลูกหลานของก๊าซเรดอนสะสมเข้าไป เนื่องจากก๊าซเรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวได้เป็นธาตุที่เป็นของแข็งคือ โพลonium ตะกั่ว และบิสมัท (ภาพที่ 2.36) เมื่อหายใจเอาอากาศที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าไปและถ้าเกิดสลายตัวภายในปอด ของแข็งที่เกิดขึ้นนั้นจะเกาะติดกับผนังหลอดลม เนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในปอดเมื่อมีการสะสมมานานและปริมาณมากขึ้น จะเพิ่มโอกาสความเสี่ยงของการเป็นโรคมะเร็งปอด (เชิงชาย, 2548; Sola *et al.*, 2017; Senitkova *et al.*, 2019)



ภาพที่ 2.36 การสูดหายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าไปในปอดจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด (ดัดแปลงจาก: เซิงชาย, 2548)

2.3.4 การตรวจวัดก๊าซเรดอน

การตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่มีความไวต่อการตรวจจับอนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยตรง เมื่อก๊าซเรดอนและธาตุลูกหลานของก๊าซเรดอนเกิดการสลายตัว เครื่องมือก็จะทำการตรวจวัดปริมาณอนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวแล้วทำการปรับเทียบกลับเป็นค่าความแรงรังสีของก๊าซเรดอน ซึ่งมีหน่วยเป็นเบ็กเคอเรล (Bq)

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วิธีทางนิวเคลียร์โดยเทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดอนุภาคแอลฟา โดยมีหลักการว่า เมื่ออนุภาคแอลฟาชนกับวัสดุประเภทพลาสติกบางชนิดจะทำให้เกิดความเสียหายต่อพันธะทางเคมี (Chemical bonds) ของวัสดุนั้น ซึ่งบริเวณที่เกิดเสียหายนั้นก็คือรอยของอนุภาค (Track) สามารถตรวจสอบได้เมื่อทำการกัดขยายรอย (Etching) ที่เกิดขึ้นให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (วลิตา, 2549) และนับรอยที่เกิดขึ้นมาคำนวณปรับเทียบเป็นความแรงของรังสี ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานภาคสนามโดยวางอุปกรณ์นี้ไว้ให้ได้รับก๊าซเรดอนเป็นเวลานาน ๆ เป็นเดือนเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการวัดในระยะยาว

2.4 การเกิดรอย (Track formation mechanism)

เมื่ออนุภาคที่มีประจุ เช่น อนุภาคแอลฟาหรือนิวเคลียสของธาตุอื่นวิ่งผ่านเข้าไปในวัตถุ ของแข็งที่เป็นฉนวน มันจะคายพลังงานให้แก่อะตอมของวัตถุตามทางที่เคลื่อนที่ไป ทำให้โครงสร้างของวัตถุในบริเวณที่เกิดไอออนนั้นได้รับความเสียหายเกิดเป็นรอย (Track) ขึ้นมา สำหรับวัตถุที่เป็น ฉนวนรอยจะเกิดรอยปรากฏอยู่อย่างถาวร (วลิตา, 2549) แต่รอยนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ

อัตราการสูญเสียพลังงาน dE/dx ของอนุภาคต่อวัตถุ มีค่ามากกว่าอัตราการสูญเสียพลังงานวิกฤต $(dE/dx)_c$ (Critical energy loss) เท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ปรากฏรอยเกิดขึ้น วัตถุแต่ละชนิดจะให้ค่า $(dE/dx)_c$ ต่าง ๆ กัน วัตถุที่ให้ค่า $(dE/dx)_c$ น้อย ๆ จะเกิดรอยกับนิวคลีไอเบา (Light nuclei) โดยนักฟิสิกส์ได้อธิบายกลไกการเกิดรอยในวัสดุตัวกลางไว้ 2 ทฤษฎี คือ

2.4.1 ทฤษฎีไอออนเอกซ์โปรชันสไปค์ (Ion explosion spike)

เมื่ออนุภาคมีประจุวิ่งผ่านเข้าไปในวัสดุตัวกลางจะทำให้อะตอมเกิดการสั่น (Vibration) ซึ่งถ้าหากมีพลังงานเพียงพอจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร (Ionization) เกิดประจุรอบ ๆ แนวที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่าน อะตอมที่มีประจุบวกเหล่านี้จะเกิดการผลักกัน ทำให้อะตอมที่มีประจุเคลื่อนที่ไปเบียดกับอะตอมที่ถัดไปทำให้เกิดความเครียด (Strain) ขึ้น ความเครียดนี้จะแผ่กระจาย ไปยังอะตอมถัดไปทุกทิศทาง ทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวกันใหม่เกิดความสมดุลและกลายเป็นช่องว่างเกิดขึ้นในบริเวณนั้นจนสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ขบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้กับสารจำพวกที่เป็นฉนวน เช่น ไมกา และพลาสติก เป็นต้น แต่ถ้าเป็นตัวกลางที่เป็นตัวนำที่ดี เช่น โลหะ อะตอมที่กลายเป็นไอออนบวกดังกล่าวจะจับเอาอิเล็กตรอน จากบริเวณรอบ ๆ ทำให้อะตอมนั้นกลายเป็นกลางกลับคืนสู่สภาพเดิมจึงไม่เกิดช่องว่าง (Durrani *et al.*, 1987)

2.4.2 ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกสเทอร์มัลสไปค์ (Electronic thermal spike)

เมื่ออนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ จะคายพลังงานให้กับวัตถุ ตัวกลางที่วิ่งผ่านเกิดเป็นความร้อนขึ้น ในกรณีที่วัตถุตัวกลางเป็นตัวนำความร้อนที่ดี ความร้อนที่เกิดขึ้นจะแผ่กระจายไปอย่างรวดเร็ว ทำให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมากพอที่จะทำให้โครงสร้างของตัวกลางในบริเวณนั้นถูกทำลายไปทำให้เกิดรอยขึ้น (Durrani *et al.*, 1987)

จากทฤษฎีทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าการเกิดรอยบนวัตถุตัวกลางนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1) คุณสมบัติของอนุภาคที่ประจุ เช่น ชนิดพลังงาน และประจุของอนุภาค 2) คุณสมบัติของตัวกลาง เช่น ชนิดของวัตถุตัวกลางเป็นฉนวนหรือตัวนำความร้อนหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมมากหรือน้อย เป็นต้น

ในการเกิดรอยนี้ขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของอนุภาคมีประจุ อนุภาคมีประจุต้องถ่ายเทพลังงานให้วัสดุตัวกลางมากกว่าค่าพลังงานวิกฤต (Critical energy) ของวัสดุชิ้นนั้นจึงจะปรากฏรอยขึ้น ดังนั้นการที่จะเกิดรอยหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดและระดับพลังงานของอนุภาคมีประจุและชนิดของวัสดุที่ใช้

2.5 ขอบเขตและพลังงาน (Range and energy)

อนุภาคแอลฟาเมื่อหลุดออกจากแหล่งกำเนิดจะเคลื่อนที่ไปด้วยพลังงานเริ่มต้นค่าหนึ่ง ถ้าอนุภาคมีพลังงานเริ่มต้นสูง การเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น อะตอมหรือโมเลกุลของ

สิ่งแวดล้อมก็จะเคลื่อนที่ไปได้ระยะไกล ซึ่งเราเรียกว่า พิสัย (Range, R) ซึ่งพิสัยหรือขอบเขตของอนุภาคแอลฟาจะขึ้นอยู่กับพลังงานและชนิดของสิ่งกีดขวาง อนุภาคแอลฟามีประจุไฟฟ้าเป็นบวกเนื่องจากนิวเคลียร์ของอะตอมของฮีเลียมประกอบด้วย โปรตอนสองตัวและนิวตรอนสองตัว ดังนั้นอนุภาคแอลฟาจึงมีประจุไฟฟ้าบวก โดยมีประจุเป็นสองเท่าและน้ำหนักอะตอมเป็นสี่เท่า อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 19,200 km/s หรือประมาณ 1 ใน 15 เท่าของความเร็วแสงในสุญญากาศ

เนื่องจากอนุภาคแอลฟาค่อนข้างใหญ่ เมื่อเทียบกับอนุภาคชนิดอื่น มันจึงไม่สามารถทะลุ ทะลวงผ่านเนื้อวัสดุง่ายเหมือนอนุภาคอื่น ๆ แต่จะสามารถถูกกั้นให้หยุดได้ โดยใช้กระดาษ 1 ชั้น หรือ 2 ชั้น โดยปกติเคลื่อนที่ได้ไม่เกินกว่า 9 cm ในอากาศ เมื่ออนุภาคแอลฟาชนอะตอมหรือโมเลกุลของวัตถุใด ๆ จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นสาเหตุให้เกิดไอออน

ในช่วงพลังงานต่ำ ๆ ที่ไม่ต้องคำนึงถึงช่วงสัมพันธ์ภาพพลังงาน (E) ของอนุภาคแอลฟาจะสัมพันธ์กับความเร็วเริ่มต้นดังสมการที่ (2.22) คือ

$$E = \frac{1}{2} m V_0^2 \quad (2.22)$$

เมื่อ m เป็นมวลของอนุภาคแอลฟา หน่วยเป็นกรัม (g),

V_0 มีหน่วยเป็น cm/s และ V_0 สัมพันธ์กับพิสัยในอากาศ ดังสมการที่ (2.23) คือ

$$V_0^2 = 1.03 \times 10^{27} R \quad (2.23)$$

ซึ่งได้ขอบเขตจำกัดเมื่ออนุภาคแอลฟามีพลังงานต่ำในช่วงหนึ่งเท่านั้น คือ 4 ถึง 7 MeV ที่พลังงานต่ำกว่านี้และพลังงานสูงกว่านี้ เราจะพบว่า $R \propto E^{3/4}$

เมื่ออนุภาคแอลฟาสูญเสียพลังงานให้กับสสารต่อหน่วยระยะทางที่เพิ่มขึ้น ๆ เรียกว่า กำลังหยุดยั้ง (Stopping power, $-dE/dx$) มีหน่วยเป็น eV/cm (นวลฉวี, 2553) อัตราส่วนระหว่างกำลังหยุดยั้งในอากาศต่อกำลังหยุดยั้งในสสารที่เป็นของแข็ง เรียกว่า กำลังหยุดยั้งสัมพัทธ์ (Relative stopping power) แต่ทั้งนี้อนุภาคแอลฟาต้องมีพลังงานช่วงเดียวกัน

สมการที่แสดงให้เห็นพิสัยของอนุภาคแอลฟาในตัวกั้นที่เป็นของแข็งโดยประมาณได้มาจากความสัมพันธ์แบร็ก-คลีแมน (Bragg-Kleeman relation) ดังสมการที่ (2.24)

$$R_s = (3.2 \times 10^{-4} R A^{1/2}) / \rho \quad (2.24)$$

โดยที่ R_s คือ พิสัยในของแข็งที่มีความหนา ρ และ A คือ เลขมวล และมีค่าพิสัยในอากาศ เท่ากับ R

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยในอากาศกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่นักชีววิทยาและ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์สนใจ ประมาณค่าคร่าว ๆ ได้ดังสมการที่ (2.25)

$$R_{\text{air}} \rho_{\text{air}} = R_{\text{tissue}} \rho_{\text{tissue}} \quad (2.25)$$

2.6 ทฤษฎีแทรค-เอทช์ (Track etched theory)

2.6.1 กลไกการเกิดรอยในผลึก (Ion explosion spike model)

อาศัยหลักการเกิดสนามไฟฟ้า เนื่องจากความไม่สมดุลของประจุตามแนวที่อนุภาคเคลื่อนที่ผ่าน โดยเมื่อประจุเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในตัวกลางจะเกิดถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอมของตัวกลางซึ่งถ้าพลังงานมากพอจะทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรหลุดออกไปเกิดประจุบวกขึ้นตามทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ ประจุเหล่านี้จะออกแรงผลักซึ่งกันและกันเนื่องจากเป็นประจุเดียวกัน ทำให้ต้องจัดเรียงอะตอมใหม่ เพื่อให้เกิดสมดุล จึงมีช่องว่างเกิดขึ้นหรือเกิดรอยของอนุภาค (Knoll, 2010)

2.6.2 กลไกการเกิดรอยอนุภาคในพอลิเมอร์

กระบวนการที่สำคัญในการทำให้เกิดรอยอนุภาคในพอลิเมอร์ คือกระบวนการไอออไนซ์ (Ionize) โดยการเกิดรอยอนุภาคในพอลิเมอร์นั้นเกิดลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ ที่มีลักษณะเป็นลูกโซ่ที่เกิดจากการจับตัวกันของไฮโดรคาร์บอนเป็นสายยาว เมื่อมีอนุภาคที่มีพลังงานวิ่งเข้าไปในพอลิเมอร์จะเกิดการไอออไนซ์เซชัน (Ionization) ทำให้สายโซ่ของพันธะถูกตัดขาดออกจากกันและทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงด้วย ดังนั้นทำให้ค่าอัตราการขยายรอยในบริเวณที่เกิดรอยอนุภาค (V_t) มีค่าสูงกว่าอัตราการขยายรอยที่บริเวณไม่เกิดรอยอนุภาค (V_G) (Knoll, 2010)

2.6.3 กลไกการกัดขยายรอย

เนื่องจากรอยอนุภาคที่ได้จากการบันทึกในวัสดุชนิดต่าง ๆ นั้นมีขนาดเล็ก ($<50 \text{ \AA}$) จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อทำการขยายขนาดรอยอนุภาคให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จนกระทั่งในปี ค.ศ.1962 ไพรซ์และวอล์กเกอร์ ได้ค้นพบว่ารอยอนุภาคสามารถขยายใหญ่ขึ้นได้โดยใช้กระบวนการกัดขยายขนาดรอยด้วยสารเคมี (Track etching)

การกัดขยายขนาดรอยบนแผ่นพลาสติก

อัตราการกัดผิวเชิงปริมาตร (Bulk etch rate), V_G คือ อัตราการละลายของฟิล์มในบริเวณที่ไม่เกิดอนุภาคนิวเคลียร์โดยคำนวณได้จากความชันของกราฟที่ระบุข้อมูลระหว่าง ความยาวของรอยอนุภาคกับเวลาที่ใช้ในการกัดขยายรอย

ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร V_t และ V_G จะสามารถบอกรูปร่างของรอยที่เกิดขึ้นภายหลังการกัดขยายรอยได้ โดยจะบอกเป็นค่าตอบสนองการกัดผิว (Etching respond) (V_t/V_G) ดังนี้

ถ้า (V_t/V_G) มีค่ามาก หมายถึง รอยอนุภาคจะเป็นรูปกรวยแคบและยาว

(V_t/V_G) มีค่าต่ำมาก คือเท่ากับ 1 หมายถึง ไม่มีการเกิดรอยอนุภาคขึ้นบนผิวของแผ่นฟิล์ม

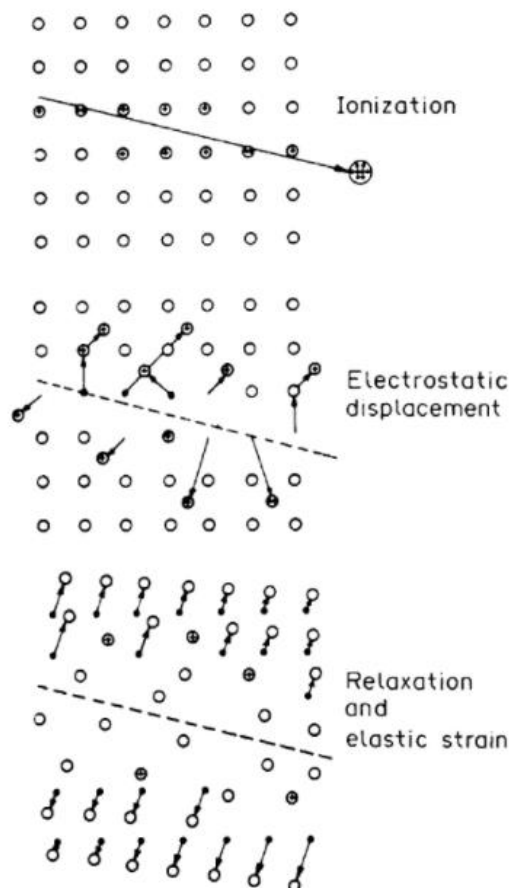
ถ้านำเวลาที่ใช้ในการกัดขยายรอยมาเกี่ยวข้องกับตัวแปร V_t และ V_G จะสามารถบอกความสัมพันธ์ได้อีกเช่นกัน คือ

V_{ft} หมายถึง ระยะทางที่ผิวฟิล์มละลายออกตามแนวรอยอนุภาค
 V_{Gt} หมายถึง หมายถึง ระยะทางที่ผิวฟิล์มละลายออกบริเวณผิวทั่วไป
 ค่า V_{ft} และ V_{Gt} จะเป็นค่าที่บ่งบอกคุณสมบัติเฉพาะของพอลิเมอร์แต่ละชนิดได้

2.7 ลักษณะของรอยอนุภาค

การเกิดรอยของอนุภาคบนแผ่นวัสดุบันทึกรอยนั้นจะมีความลึกของรอยอยู่ในระดับที่ แตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ของอนุภาคที่พุ่งเข้าชนวัสดุบันทึกรอยชนิดนั้น ถ้าอนุภาคที่ชนมีพลังงานจลน์มาก อัตราการสูญเสียพลังงานให้ตัวกลางก็จะน้อย แต่ถ้าอนุภาคมีพลังงานจลน์น้อย อัตราการสูญเสียพลังงานจลน์ให้ตัวกลางก็จะมาก เช่น ถ้าใช้วัสดุตัวกลางเป็นเซลลูโลส ในเตปรต อนุภาคที่ทำให้เกิดรอยบนแผ่นตัวกลางชนิดนี้ได้จะมีพลังงานจลน์ในช่วงต่ำกว่าหรือ เท่ากับ 0.55 MeV แต่ถ้าอนุภาคโปรตอนมีพลังงานมากกว่า 0.55 MeV พุ่งเข้าชนตัวกลางจะต้องรอให้โปรตอนนั้นเสียพลังงานบางส่วนก่อนจนกระทั่งเหลือ 0.55 MeV จึงจะทำให้เกิดรอยขึ้นในตัวกลาง ดังนั้นรอยที่เกิดขึ้นจึงอยู่ลึกลงไปอีกในแผ่นวัสดุตัวกลาง ดังภาพที่ 2.37

The Nature of Charged-Particle Tracks



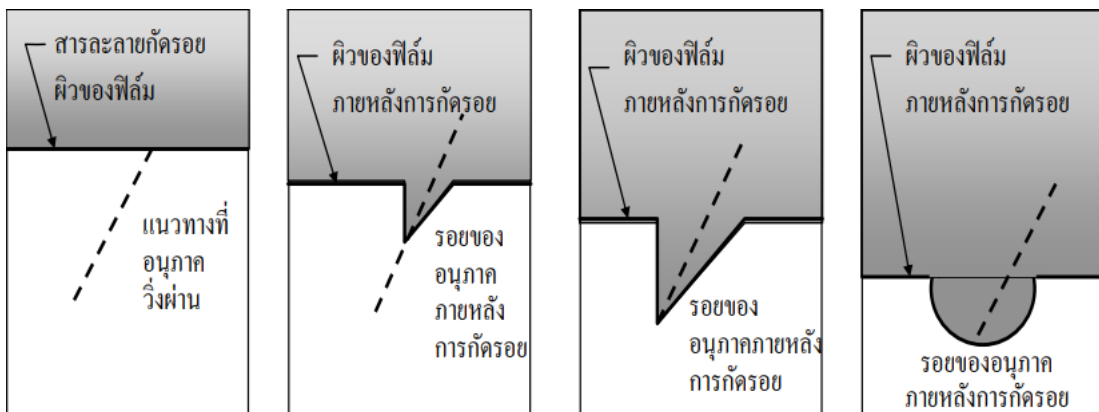
ภาพที่ 2.37 การเกิดรอยอนุภาคบนวัสดุเมื่ออนุภาคมีพลังงานจลน์ต่างกัน
 (ที่มา: Durrani et al., 1987)

เมื่อนำแผ่นตัวกลางไปกัดขยายรอยด้วยสารละลายที่เหมาะสม ก็จะปรากฏรอยขึ้นบนแผ่นวัสดุ ถ้าใช้เวลาในการกัดรายนานก็จะเห็นรอยของอนุภาคที่อยู่ลึกลงไปและรอยที่อยู่ตื้นก็จะถูกจางไป

2.8 เทคนิคการขยายรอยให้โตขึ้น

รอยของอนุภาคที่ปรากฏในวัตถุจะมองเห็นได้ต่อเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แต่มีวิธีที่จะขยายรอยให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ทำได้โดยนำวัตถุนั้นไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิดที่เหมาะสม เรียกว่า นำไปกัดผิว (Etching) โดยเงื่อนไขของการทำปฏิกิริยามีตัวประกอบ 3 ตัว คือ 1) ความเข้มข้นของสารเคมีซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย 2) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 3) เวลาในการทำปฏิกิริยา

สำหรับวัตถุที่เป็นแผ่นพลาสติก เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) NaOH ซึ่งเรียกว่า กระบวนการกัดรอย และผิวพลาสติกที่ถูกกัดออกขณะทำปฏิกิริยาจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.38



ภาพที่ 2.38 แสดงลักษณะของผิวพลาสติกที่ถูกกัด ขณะทำปฏิกิริยากับ NaOH (ที่มา: วิทยาศาสตร์, 2550)

จากภาพที่ 2.38 ผิวพลาสติกบริเวณที่ไม่ได้ถูกทำให้เกิดรอยถูกกัดออกโดยสารละลาย NaOH ด้วยอัตราการกัดออก V_G และผิวพลาสติกบริเวณที่เกิดรอยจะถูกกัดออกตามแนวรอยด้วยอัตราการกัดออก V_t ถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยานานจนผิวพลาสติกถูกกัดออกจนถึงจุดสิ้นสุดของรอยแล้ว ปลายของรอยจะลักษณะที่

ดังนั้น หลังจากทำปฏิกิริยาแล้ว ความยาว (Length) ของรอยที่มองเห็นส่วนหนึ่งจะหายไปโดยติดไปกับผิวหน้าของแผ่นพลาสติกที่ถูกกัดออกไป ความยาวส่วนที่หายไป ΔL จะเป็นไปตามสมการที่ (2.26) ดังนี้

$$\Delta L = V_G t \csc \theta \quad (2.26)$$

เมื่อ t คือ เวลาในการทำปฏิกิริยา

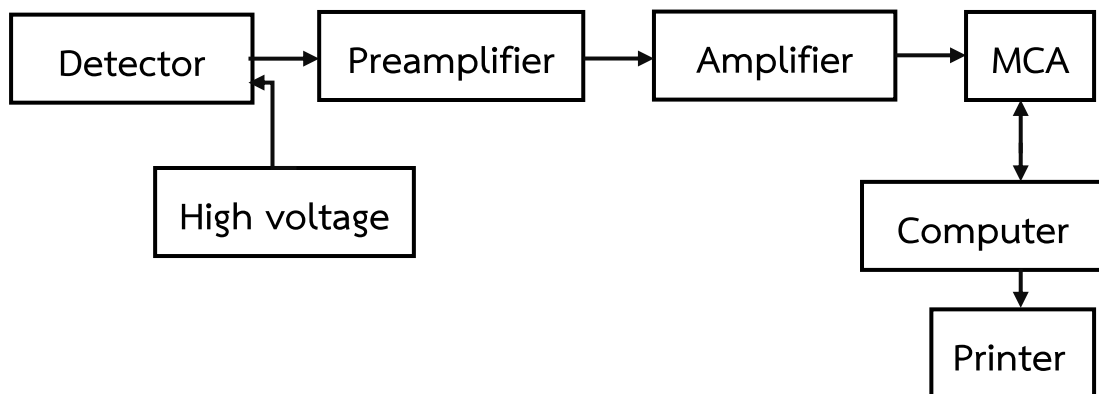
θ คือ มุมที่อนุภาคตกกระทบบนแผ่นพลาสติก

มุมที่อนุภาคตกกระทบแผ่นพลาสติกจะต้องมากกว่ามุมวิกฤต (Critical angle), θ_c ไม่เช่นนั้นหลังจากที่ตกแล้วจะไม่เห็นรอย เนื่องมาจากมุมตกกระทบน้อยเกินไปทำให้อนุภาคเกิดการกระเจิง (Scattering) ออกไป (วลิตา, 2549) แทนที่จะวิ่งเข้าไปในพลาสติกหรือทางที่อนุภาควิ่งผ่านอยู่ตั้งเกือบ ขนานกับแผ่นพลาสติกจึงหลุดติดไปกับส่วนหน้าของผิวพลาสติกที่ถูกกัดออกไป ระหว่างทำปฏิกิริยาเคมีหรือรอยที่เกิดขึ้นนั้นจางจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้

2.9 ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

ระบบวัดรังสีแกมมาในงานวิจัยนี้ใช้ระบบวัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe) มีความสามารถในการแยกแยะพลังงานสูง และหัววัดต้องทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่ส่งผลให้ความสามารถในการแยกพลังงาน (Energy resolution) มีค่าน้อยลง และเพื่อที่จะรักษาผลึกหัววัดจึงต้องแช่ไว้ในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ หัววัดจะบรรจุในอุปกรณ์หล่อเย็นซึ่งเป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกันอุณหภูมิจากอากาศที่แวดล้อมถ่ายเทเข้าไป

หลักการทำงานของหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium, HPGe) จะประกอบไปด้วยหัววัดรังสี และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA) โดยหัววัดรังสีจะต่อเข้ากับอุปกรณ์ขยายส่วนหน้า (Preamplifier) และมีแหล่งจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูงเพื่อจ่ายกระแสให้กับหัววัดรังสี เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้าทำอันตรกิริยากับหัววัด ส่งผลให้เกิดไอออนที่มีประจุบวก และประจุลบ และเมื่อนำขั้วไฟฟ้าสองขั้วมาต่อเข้ากับผลึกคนละด้านจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ทำให้ผลึกนั้นมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ไอออนหรืออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้านั้นก็จะถูกดูดไปยังขั้วไฟฟ้า ไอออนที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยากับพลังงานที่สูญเสียไปในผลึกหัววัด และเปลี่ยนสัญญาณ จากนั้นทำการขยายสัญญาณ (Amplifier) ส่งเข้าเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA) ดังภาพที่ 2.39 และภาพที่ 2.40 ทำให้สามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตรังสีได้ ซึ่งขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ดูดกลืนในหัววัด



ภาพที่ 2.39 แผนภาพการแสดงการจัดการของระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา (ดัดแปลงจาก: นภาพิพย์, 2555)



ภาพที่ 2.40 หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชนิดเม็ด 98% เกรดสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical reagent, AR grade) ยี่ห้อ LOBA CHEMIE
- น้ำกลั่น
- แผ่นฟิล์ม CR-39 ขนาดกว้าง 2 cm ยาว 2 cm ยี่ห้อ FWT

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 อุปกรณ์สำหรับเตรียมฝั่งแผ่นฟิล์ม CR-39

- ท่อ PVC ความยาว 50 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 cm พร้อมฝาขนาดพอดีกับท่อ PVC
- เครื่องบดพิกัดภูมิศาสตร์
- เสียมชุดดิน
- เข็อกาว
- ปากกาและสมุดจดบันทึกข้อมูล
- ถังซีปล้อคขนาดเล็ก
- ถังซีปล้อคอะลูมิเนียม
- ปากกาเคมีชนิดกันน้ำ

3.1.2.2 อุปกรณ์เตรียมสารละลายใช้สำหรับการกัดรอย (Etching) แผ่นฟิล์ม

CR-39

- แท่งแก้วคนสาร
- บีกเกอร์ขนาด 500 mL, 1,000 mL และ 2,000 mL
- ซ้อนตักสารเคมี

3.1.2.3 อุปกรณ์สำหรับการกัดรอย (Etching) แผ่นฟิล์ม CR-39

- ลวดทองแดง
- สว่าน ยี่ห้อ Kanto KT-4106
- ตะแกรงเหล็ก
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- ตู้ดูดควัน

3.1.2.4 อุปกรณ์สำหรับการส่องรอยอนุภาคแอลฟา (Track) แผ่นฟิล์ม CR-39

- กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10x ยี่ห้อ OLYMPUS BX51
- แผ่นกระจกสไลด์

3.1.2.5 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน

- ภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 cm สูง 7.5 cm ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างดิน

- ตัวอย่างดินบริเวณรอยเลื่อนระนอง (ความยาว 20.65 km) จำนวน 10 ตัวอย่าง และบริเวณ Background 2 ตัวอย่าง

- ครกบดตัวอย่าง
- ตะแกรงร่อนใช้สำหรับร่อนดินที่บดแล้วขนาด 250 μm
- เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน
- เทปกาว

3.1.2.6 อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่าง

ดิน

- แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม (^{137}Cs) และโคบอลต์ (^{60}Co)
- สารมาตรฐานดิน (IAEA-375) จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
- หัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA)
- โปรแกรมวิเคราะห์ Gamma Acquisition Analysis 2000

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 พื้นที่ทำการศึกษ

รอยเลื่อนจังหวัดระนอง ตำแหน่งที่ทำการวิจัยสถานที่ที่มีรอยเลื่อนระนองพาดผ่านซึ่งทำการวิจัยทั้งสิ้น 10 ตำแหน่ง และตำแหน่งอ้างอิง (Background) 2 ตำแหน่ง

ภูมิภาคจังหวัดระนอง มีลักษณะรูปร่างเรียวยาว จากทิศเหนือสุดจดใต้สุดยาว 169 km มีส่วนที่กว้างที่สุดที่เป็นพื้นดิน ประมาณ 25 km ส่วนที่แคบที่สุดอยู่ที่คอคอดกระ อำเภอกระบุรี กว้าง 9 km ซึ่งถือเป็นส่วนที่แคบที่สุดในแหลมมลายู ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสลับซับซ้อน และมีป่าปกคลุมทางทิศตะวันออกของจังหวัด พื้นที่ลาดเอียงลงสู่ทะเลอันดามันทางทิศตะวันตก ภูเขาที่สูงที่สุดของจังหวัด คือ ภูเขาพ่อตาโขงโดง สูง 1,700 ft มีหมู่เกาะกระจายในทะเลอันดามัน จำนวน 62 เกาะ และมีแม่น้ำกระบุรีกั้นพรมแดนไทยกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา (สำนักงานพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์จังหวัดระนอง, 2560)

3.2.1.1 ธรณีวิทยาของจังหวัดระนอง

ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปของจังหวัดระนองส่วนใหญ่ เกือบ 90% ของพื้นที่จังหวัด เป็นเทือกเขาสูงซึ่งเป็นส่วนตอนใต้เทือกเขาตะนาวศรี แนวการวางตัวของเทือกเขาอยู่ในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีพื้นที่ราบเป็นแนวแคบ ๆ ตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันด้าน ตะวันตกของจังหวัด พื้นที่จังหวัดรองรับด้วยหินแข็งอายุตั้งแต่ 360 My จนถึงตะกอนปัจจุบัน มีทั้ง หินตะกอน หินแปร หินอัคนี และ ตะกอนร่วน (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ดังแสดงในภาพที่ 3.2

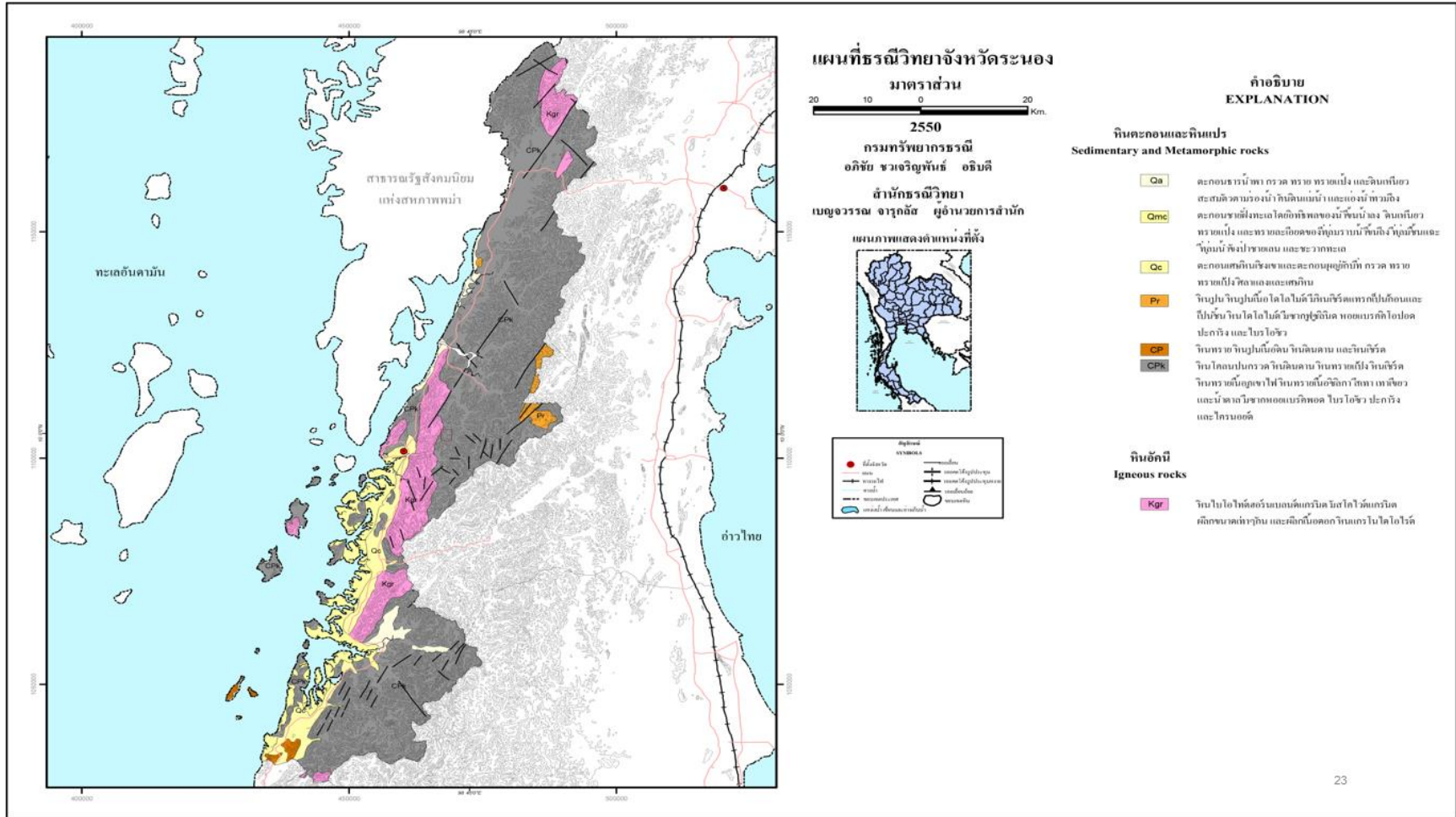
3.2.1.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

พบโครงสร้างรอยคดโค้ง รอยเลื่อน และรอยแตกมากมายในกลุ่มหินแก่งกระเจาน (ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน) รอยเลื่อนที่สำคัญที่พบในพื้นที่จังหวัดระนองได้แก่ กลุ่มรอยเลื่อน ระนอง เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับ วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบด้วยรอยเลื่อนต่าง ๆ แผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขนานกัน พาดผ่านตั้งแต่ทะเลอันดามัน จังหวัดระนอง ไปยังอ่าวไทยในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จนถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัด ชุมพร ยาวประมาณ 300 km ดังภาพที่ 3.1 กลุ่มรอยเลื่อนระนองเป็นรอยเลื่อนที่ยังมีพลังอยู่ ดังภาพที่ 3.3 และภาพที่ 3.4 โดยมีการเคลื่อนตัวไปทางขวา รอยแตกส่วนใหญ่อยู่ในแนว ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ อิทธิพลจากกลุ่ม รอยเลื่อนระนองที่ ตัดเข้ามาในกลุ่มหินแก่งกระเจาน ทำให้มี พุน้ำร้อนหลายแห่ง (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

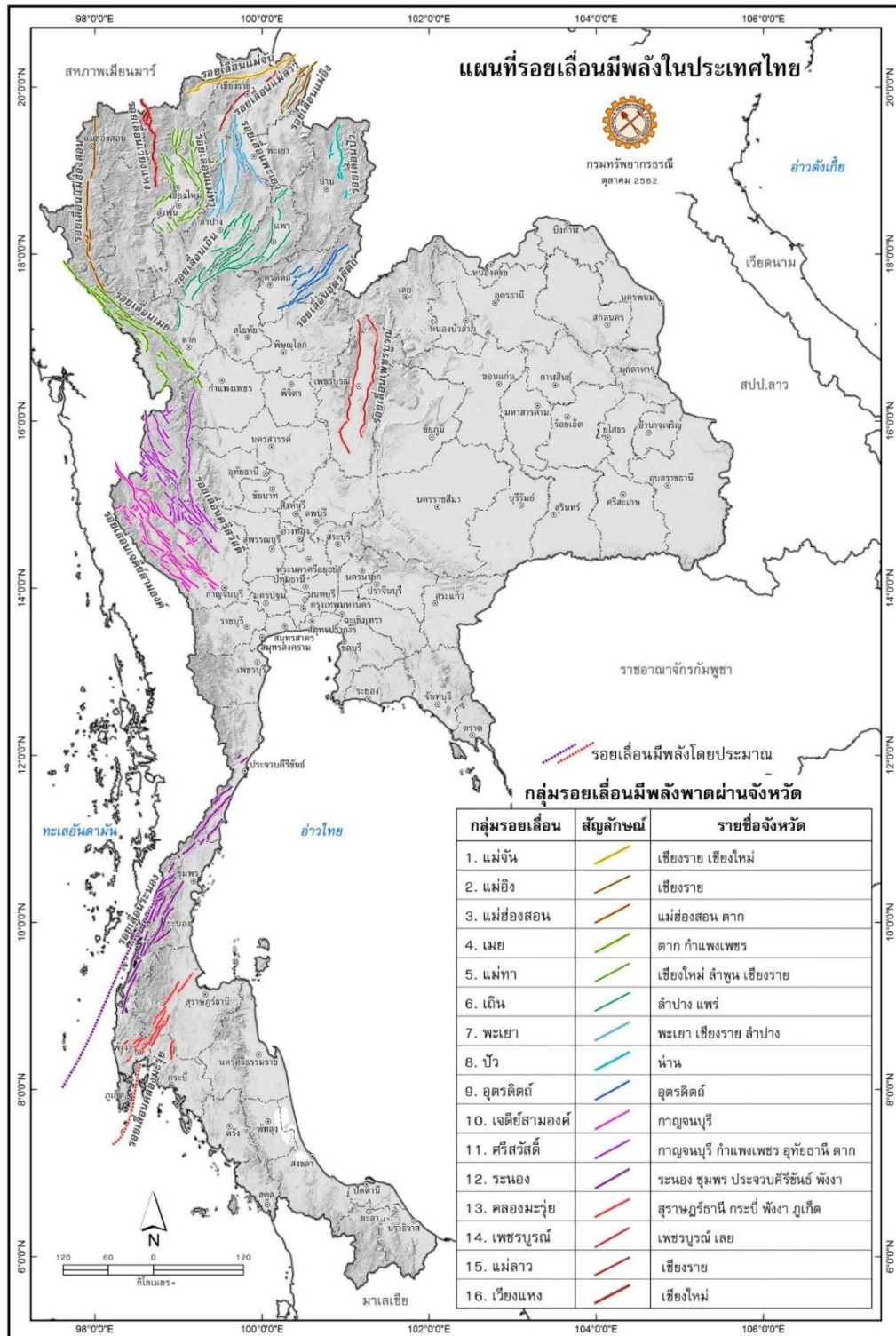


ภาพที่ 3.1 แสดงกลุ่มรอยเลื่อนระนองที่พาดผ่านพื้นที่จังหวัดระนอง ซึ่งทอดยาวมาตั้งแต่ทะเลอันดามัน ไปจนถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดชุมพร ความยาวประมาณ 300 km วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



ภาพที่ 3.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดระนอง
 (ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



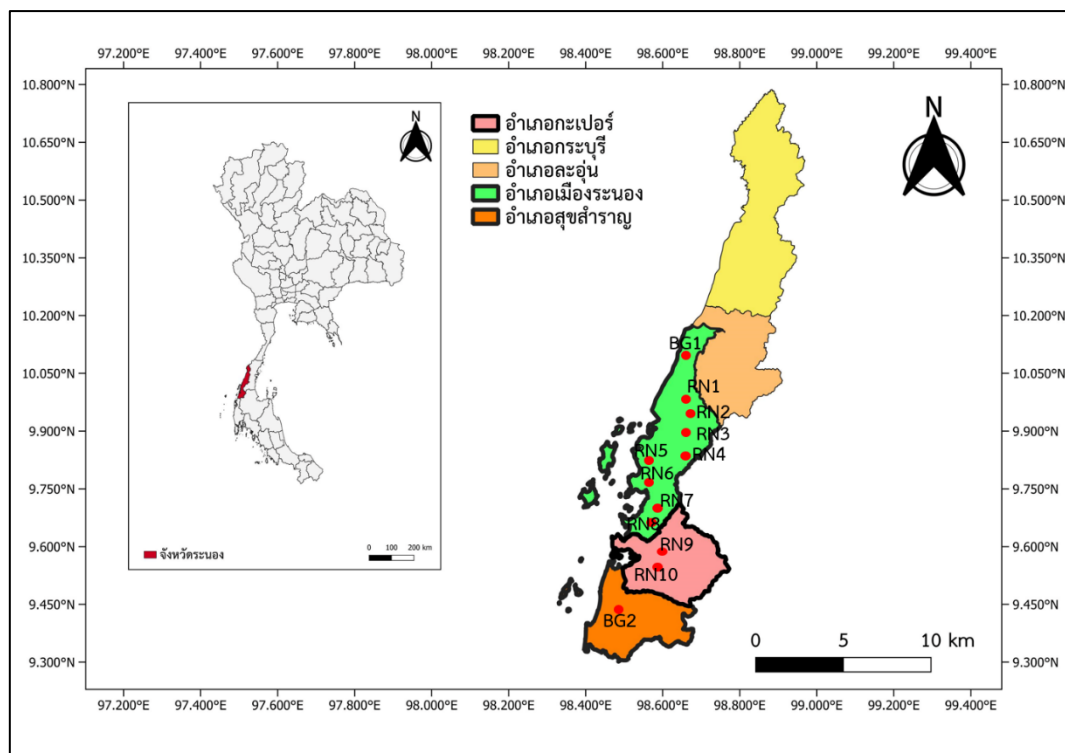
ภาพที่ 3.3 แผนที่รอยเลื่อนมีพลังประเทศไทย
(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี, 2563)

3.2.2 การออกแบบการเก็บข้อมูลตามแนวรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง

ทำการศึกษาแผนที่รอยเลื่อนระนอง เพื่อดูเส้นทางที่รอยเลื่อนระนองพาดผ่าน แล้วทำการเลือก 10 ตำแหน่งเพื่อวางอุปกรณ์ตามแนวรอยเลื่อน (ความยาว 20.65 km) โดยแต่ละตำแหน่งวางห่างเท่า ๆ กัน และมีตำแหน่งอ้างอิง 2 ตำแหน่ง เพื่อหาค่า Background บันทึกตำแหน่งโดยใช้เครื่องมือบอกพิกัดทางภูมิศาสตร์ เพื่อหาละติจูด ลองจิจูดในการเก็บข้อมูล ดังภาพที่ 3.5 และภาพที่ 3.6 และข้อมูลในการเก็บตัวอย่าง ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างช่วง 1 y ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.5 แผนที่แสดงตำแหน่งการวิจัย 10 ตำแหน่งและ Background 2 ตำแหน่ง
(ดัดแปลงจาก: ศูนย์สารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 3.6 แผนที่แสดงตำแหน่งการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่วางห้ววัดและแผ่นฟิล์ม CR-39

Station	Station location	Latitude	Longitude
RNF1	บ้านราชกรูด ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°44'59.7"N	98°35'46.1"E
RNF2	บ้านนกงาง ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°42'35.4"N	98°34'49.5"E
RNF3	บ้านห้วยปลิง ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°41'08.9"N	98°34'04.2"E
RNF4	บ้านคลองช้างแหก ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°40'25.8"N	98°34'14.1"E
RNF5	บ้านคลองช้างแหก ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°40'22.8"N	98°34'02.8"E
RNF6	บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°39'00.8"N	98°33'25.1"E
RNF7	บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°38'08.6"N	98°32'57.1"E
RNF8	บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°37'52.2"N	98°32'54.5"E

Station	Station location	Latitude	Longitude
RNF9	บ้านม่วงกลวง ตำบลม่วงกลวง อำเภอกะเปอร์ จังหวัดระนอง	9°36'59.8"N	98°32'35.8"E
RNF10	บ้านม่วงกลวง ตำบลม่วงกลวง อำเภอกะเปอร์ จังหวัดระนอง	9°36'52.7"N	98°32'34.6"E
BG1	บ้านท่าฉาง ตำบลหงาว อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9°51'00.5"N	98°35'44.4"E
BG2	วัดควนไทรงาม ตำบลนาคา อำเภอสุขสำราญ จังหวัดระนอง	9°24'53.0"N	98°26'29.4"E

ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง (แผ่นฟิล์ม CR-39)

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ระยะเวลาที่ห้ววัดได้รับรังสี (d)
1	26 มกราคม 2563 ถึง 22 กุมภาพันธ์ 2563	27
2	22 กุมภาพันธ์ 2563 ถึง 21 มีนาคม 2563	28
3	21 มีนาคม 2563 ถึง 13 มิถุนายน 2563	84
4	13 มิถุนายน 2563 ถึง 5 กรกฎาคม 2563	22
5	5 กรกฎาคม 2563 ถึง 26 กรกฎาคม 2563	21
6	26 กรกฎาคม 2563 ถึง 23 สิงหาคม 2563	28
7	23 สิงหาคม 2563 ถึง 25 กันยายน 2563	33
8	25 กันยายน 2563 ถึง 1 พฤศจิกายน 2563	37
9	1 พฤศจิกายน 2563 ถึง 10 ธันวาคม 2563	39
10	10 ธันวาคม 2563 ถึง 25 ธันวาคม 2563	15
11	25 ธันวาคม 2563 ถึง 5 กุมภาพันธ์ 2564	42
12	5 กุมภาพันธ์ 2564 ถึง 5 มีนาคม 2564	28
13	5 มีนาคม 2564 ถึง 3 เมษายน 2564	29

หมายเหตุ : เนื่องจากสถานการณ์ COVID-19 ทำให้ไม่สามารถเข้าพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง (แผ่นฟิล์ม CR-39) ได้ ทำให้ห้ววัดได้รับปริมาณรังสีมากจนเกินไป ส่งผลต่อการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน จึงได้ทำการเก็บตัวอย่าง (แผ่นฟิล์ม CR-39) เพิ่มต่อเนื่อง ในครั้งที่ 13

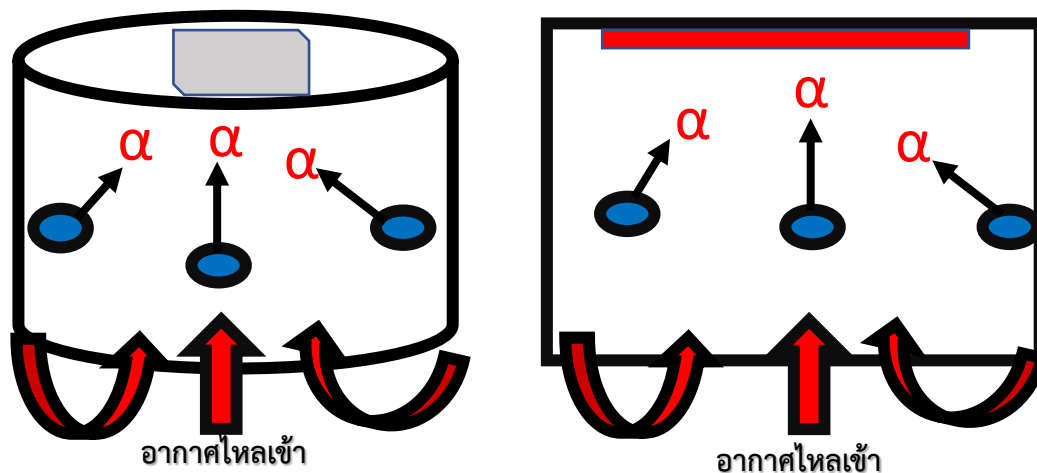
ในงานวิจัยนี้สำหรับการออกแบบการเก็บข้อมูลในการทดลองตามแนวรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง ประกอบไปด้วย 2 เทคนิคดังนี้

3.2.2.1 การตรวจวัดก๊าซเรดอนในดินด้วยเทคนิคห้ววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39

1) แต่ละตำแหน่งชุดหลุมวางท่อ PVC มีความลึก 70 cm จากนั้นนำแผ่นฟิล์ม CR-39 ติดที่ด้านในของขาฝาท่อ PVC แล้วนำแผ่นพลาสติกใสครอบฝาท่อ PVC ไปประกบกับตัวท่อ PVC แล้วฝังดินและทำการจัดบันทึกข้อมูล

2) เมื่อครบ 30 d ทำการเปิดฝาท่อ PVC แล้วนำแผ่นฟิล์ม CR-39 ออกมา

การที่เกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม CR-39 เนื่องจากอากาศในดินที่มีก๊าซเรดอนปะปนอยู่ในธรรมชาติไหลเข้าภายในท่อ PVC ระบบปิด ก๊าซเรดอนจะเกิดการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาออกมาไปกระทบแผ่นฟิล์ม CR-39 ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ลักษณะบันทึกรอยของอนุภาคแอลฟาบนแผ่นฟิล์ม CR-39
(ดัดแปลงจาก: วิชาศาสตร์, 2550)

3) จากนั้นนำแผ่นฟิล์ม CR-39 มาเข้ากระบวนการกัดรอย (Etching) เพื่อขยายรอยที่อนุภาคแอลฟาทำบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้ (ดัดแปลงจาก ทิพวรรณ, 2560)

(1) นำแผ่นฟิล์ม CR-39 ไปเจาะรูที่มุมใดมุมหนึ่ง จากนั้นใช้ลวดผูกแผ่นฟิล์ม CR-39 ไว้ตรงตำแหน่งที่เจาะรู ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แผ่นฟิล์ม CR-39 ที่เกี่ยวข้องกับลวด

(2) เตรียมสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 6.25 mol/L ลงในปิกเกอร์ขนาด 2,000 mL แล้วนำปิกเกอร์ใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิน้ำ 96 °C โดยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมินี้เติมน้ำไว้ครึ่งหนึ่ง ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การเตรียมอนุหุมิของสารละลายในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

(3) เมื่อวัดอุณหภูมิสารละลาย NaOH ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิได้ 83 °C จึงจุ่มแผ่นฟิล์ม CR-39 โดยใช้ลวดที่ผูกแผ่นฟิล์ม CR-39 ติดกับตะแกรง เป็นเวลา 2 h ดังภาพที่ 3.10



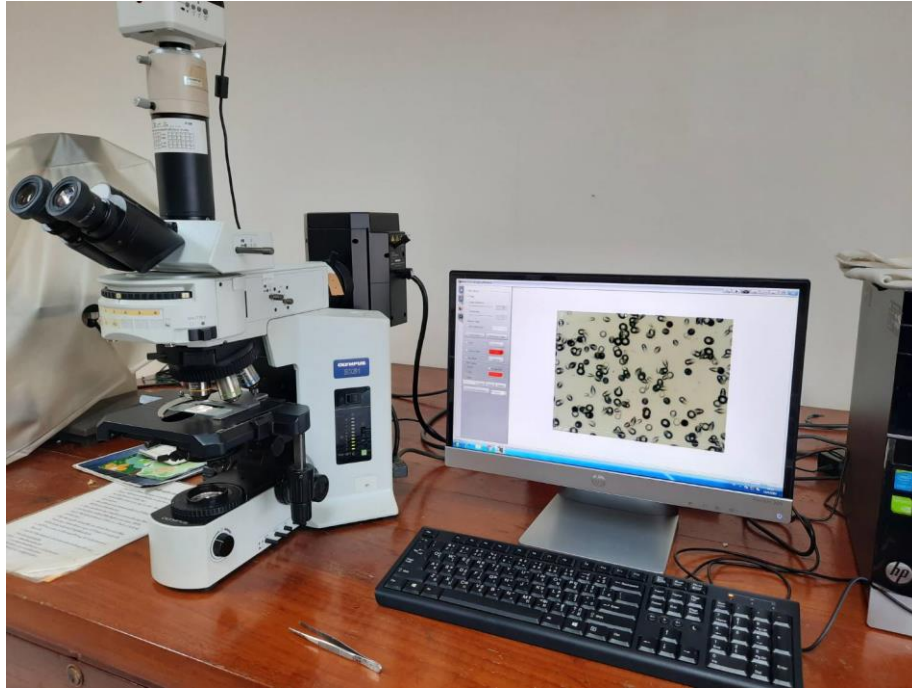
ภาพที่ 3.10 กระบวนการกัดรอย (Etching) แผ่นฟิล์ม CR-39

(4) เมื่อน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแห้ง ให้เติมน้ำที่ละน้อย ระวังอย่าให้อนุหุมิสารละลายในปีกเกอร์เปลี่ยน

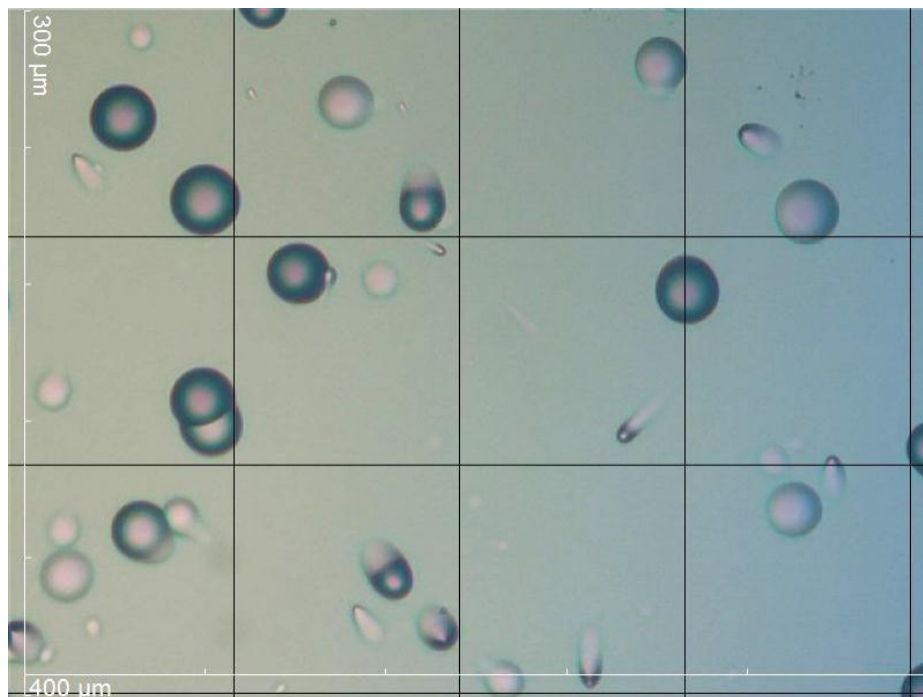
(5) เมื่อครบเวลาแล้ว นำแผ่นฟิล์ม CR-39 มาผ่านน้ำกลั่น เป็นเวลา 1 h แล้วผึ่งแผ่นฟิล์ม CR-39 ให้แห้ง

(6) นำแผ่นฟิล์ม CR-39 ไปถ่ายภาพรอยอนุภาคแอลฟา

4) นำแผ่นฟิล์ม CR-39 ที่ผ่านการกัดรอย (Etching) ไปส่องกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10x ดังภาพที่ 3.11 เพื่อนับรอยอนุภาคแอลฟา (Track) ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.11 การถ่ายภาพรอยอนุภาคแอลฟาโดยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10x



ภาพที่ 3.12 รอย (Track) บนแผ่นฟิล์ม CR-39 ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10x

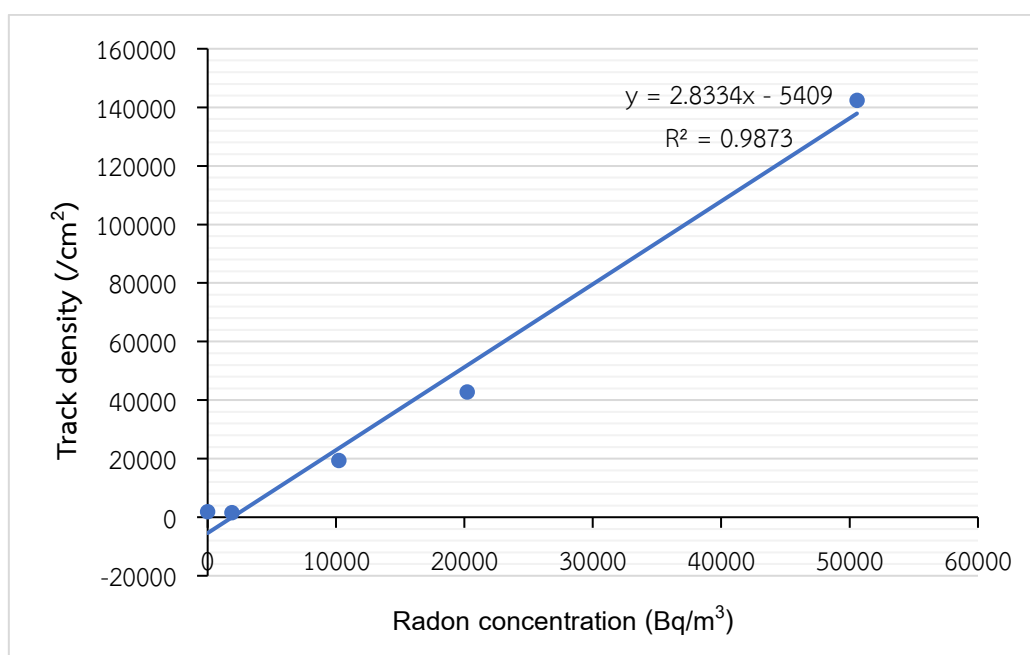
5) การปรับเทียบมาตรฐานก๊าซเรดอน (^{222}Rn) ด้วยแผ่นฟิล์ม CR-39 และการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

กราฟเทียบมาตรฐานโดยใช้สำหรับความลึก 0.5 m สามารถปรับเทียบได้จากข้อมูลการนับจำนวนรอยต่อพื้นที่ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และจำนวนรอยต่อพื้นที่บนแผ่นฟิล์ม CR-39

Volume code	ในระบบปิดต่อชั่วโมง (h)	
	Rn-conc (Bq/m^3)	Track density/ cm^2
Background	0	1851.85
1	1890	1574.07
2	10230	19351.85
3	20215	42777.78
4	50573	142314.81

จากตารางที่ 3.3 นำข้อมูลในตารางมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Track density ($/\text{cm}^2$) กับ Radon concentration (Bq/m^3) แสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Track density ($/\text{cm}^2$) กับ Radon concentration (Bq/m^3)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Track density ($/\text{cm}^2$) กับ Radon concentration (Bq/m^3) ได้สมการเส้นตรง (3.1)

$$y = 2.8334x - 5409 \quad (3.1)$$

ดังนั้น เมื่อ $y = \text{Track density } (/ \text{cm}^2)$ และ $x = \text{Radon concentration } (\text{Bq}/\text{m}^3)$ จะได้

$$TD (\text{Track/cm}^2) = 2.8334 \text{ Rn-conc (Bq/m}^3) - 5409 \quad (3.2)$$

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3) = (TD + 5409) \times \left(\frac{1}{2.8334} \right) \quad (3.3)$$

$$= (TD + 5409) \times 0.35293$$

$$\text{เมื่อ Corr. TD} = (TD + 5409)$$

ในการศึกษาความหนาแน่นของจำนวนรอยพื้นหลังที่วัดได้คือ $1851.85 / \text{cm}^2$ ซึ่งแตกต่างจากค่าสมการถดถอยในสมการที่ (3.1) คือ $5409 / \text{cm}^2$ เมื่อปรับเทียบจำนวนรอยพื้นหลังเป็นศูนย์ ดังนั้นความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในดินสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.4)

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3) = \text{Corr.TD} \times 0.35293 \quad (3.4)$$

สามารถหาความเข้มข้นของเรดอนในหน่วย $\text{Bq/m}^3 / \text{h}$ ได้จาก

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3) \text{ per hour} = 0.35293 \times \text{Corr.TD} \quad (3.5)$$

$$\text{ถ้า Rn-conc (Bq/m}^3) \text{ per day} = 8.47032 \times \text{Corr.TD (in Bq/m}^3 / \text{day unit)}$$

ดังนั้นสมการที่ได้จะเป็นสมการสำหรับความยาว 0.5 m ในหน่วย $\text{Bq/m}^3 / \text{day unit}$ สำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ดังสมการที่ (3.6)

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3) = \frac{8.47032 \times \text{Corr.TD (Track/cm}^2)}{\text{Exposure time (day)}} \quad (3.6)$$

เมื่อ $\text{Rn-conc (Bq/m}^3)$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Bq/m^3)

Corr.TD คือ Track density (Track/cm^2)

Exposure time คือ เวลาที่แผ่นฟิล์ม CR-39 อยู่ในหัววัด (day)

6) นำค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน มาวิเคราะห์เพื่อทำนายการเกิดแผ่นดินไหวและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง ในช่วง 5 ปี ย้อนหลังจากข้อมูลแผ่นดินไหวของฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (Seismograph) และต่อเนื่องไปในอนาคตอีกอย่างน้อย 1 ปี

7) การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อใช้ในการทำนายการเกิดแผ่นดินไหว

(1) สถิติพื้นฐานที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนของข้อมูล

(2) Linear Regression หรือ การวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง และปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนบริเวณตำแหน่งอ้างอิง (Background) และเทียบกับ Amplitude การเปลี่ยนแปลงของแผ่นดินไหวจาก Seismograph เพื่อใช้วิเคราะห์ในการทำนายการเกิดแผ่นดินไหว

3.2.2.2 การตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน

1) วิธีการเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน

(1) เก็บและเตรียมตัวอย่างดินสำหรับวิเคราะห์ บริเวณรอยเลื่อนระนอง (ความยาว 20.65 km) จำนวน 10 ตัวอย่าง และตำแหน่ง Background 2 ตัวอย่าง

(2) นำตัวอย่างดินที่เก็บมาตากให้แห้งจนสนิท และนำมาบดในครกบดสารให้ละเอียด แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด $250\ \mu\text{m}$ ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แสดงการเตรียมตัวอย่างดิน (ก) การบด (ข) การร่อนผ่านตะแกรงขนาด $250\ \mu\text{m}$

(3) จากนั้นบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 cm สูง 7.5 cm แล้วพันด้วยเทปกาว ปิดให้สนิท และนำไปเก็บเป็นระยะเวลา 3-4 w เพื่อให้เกิดสมดุลทางกัมมันตภาพรังสี (Secular equilibrium) ในตัวอย่างดิน

2) การตรวจและวิเคราะห์รังสีแกมมา (Gamma spectrometry)

(1) หลังจากเตรียมอย่างดินเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างไปทำการตรวจวัดและวิเคราะห์โดยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA) ใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม (^{137}Cs) และโคบอลต์ (^{60}Co) เป็นตัวปรับเทียบพลังงานของหัววัดและใช้สารมาตรฐานดิน (IAEA-375) จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติในการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน 12 ตัวอย่าง เป็นเวลา 21,600 s

(2) เมื่อทำการวัดตัวอย่างดินเสร็จ นำมาวิเคราะห์พีคพลังงาน (Photo peak) จากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ Gamma Acquisition Analysis 2000 โดยในการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์เรเดียม (^{226}Ra) จะใช้วิธีวัดแบบทางอ้อม โดยตรวจวัดนิวไคลด์ลูกที่อยู่ในอนุกรมกัมมันตรังสีเดียวกันและเกิดสมดุลกัมมันตภาพรังสี

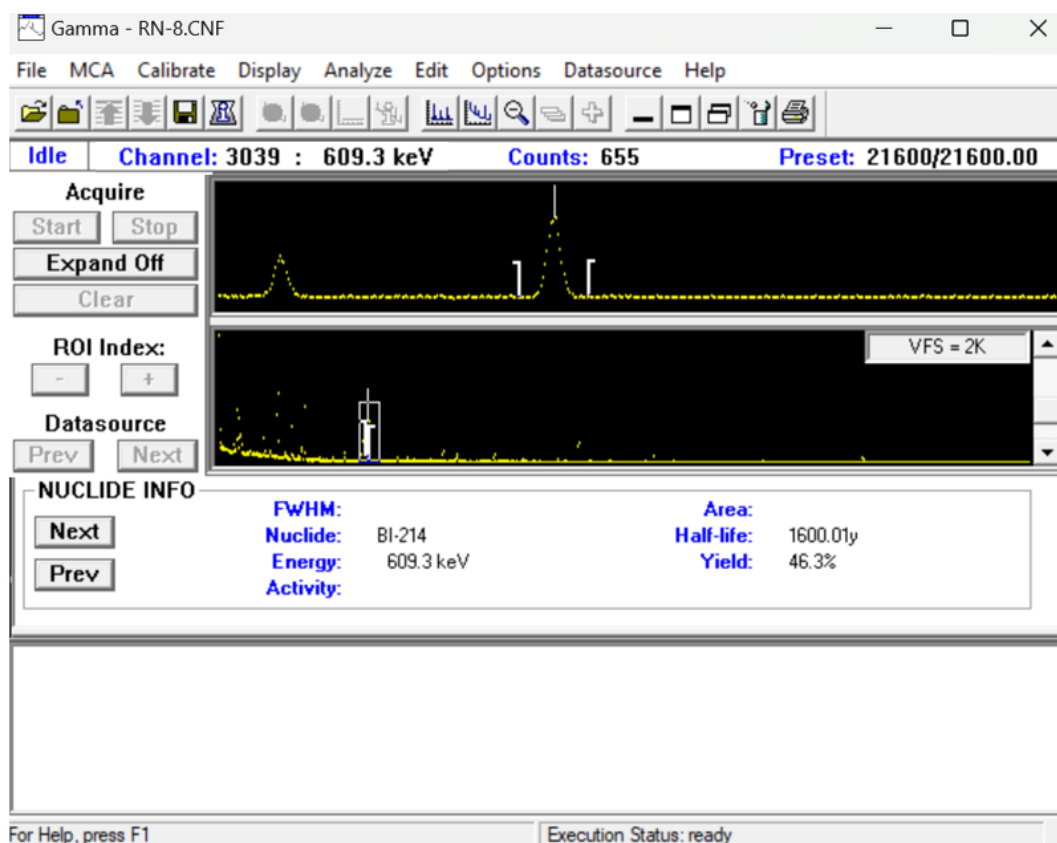
(3) สำหรับค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra คำนวณจากพื้นที่ใต้พีคพลังงานที่สนใจคือ บิสมัท (^{214}Bi) ที่พลังงาน 609.32 keV ดังภาพที่ 3.15 คำนวณกัมมันตภาพ

ของนิวไคลด์ ^{226}Ra ได้จากสมการที่ (3.7) และคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific activity) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีได้จากสมการที่ (3.8)

$$\text{Activity (Bq)} = \frac{\text{Net area}}{(\text{Live time})(\text{Efficiency})(\%a)} \quad (3.7)$$

$$\text{Specific Activity (Bq / kg)} = \frac{\text{Activity}}{\text{Sample Weight}} \quad (3.8)$$

โดย Activity คือ กัมมันตภาพนิวไคลด์กัมมันตรังสี (Bq), Net area คือพื้นที่ใต้พีคพลังงานรังสีแกมมา, Live time คือ เวลาที่ใช้ในการวัด (s), Efficiency คือ ประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมาของนิวไคลด์นั้น (cps/Bq), %a คืออัตราการปล่อยพลังงานของรังสีแกมมา ณ พลังงานต่าง ๆ



ภาพที่ 3.15 การวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากพีคพลังงาน (Net peak area) ของ ^{214}Bi พลังงาน 609.32 keV

บทที่ 4

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 ผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง

จากการศึกษาการทำนายการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง ด้วยวิธีทางนิวเคลียร์โดยใช้เทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (^{222}Rn) โดยทำการวางหัววัด 10 ตำแหน่ง และตำแหน่งอ้างอิง 2 ตำแหน่ง เป็นระยะเวลา 1 y และใช้เทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์โดยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel analyzer: MCA) เพื่อตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่ทำการวางหัววัดไว้ ได้ผลการวิเคราะห์แต่ละตำแหน่งดังนี้

4.1.1 ตำแหน่งอ้างอิง (Background): BG1 และ BG2

สถานี BG1 พิกัด $9^{\circ}51'00.5''\text{N} / 98^{\circ}35'44.4''\text{E}$ บ้านท่าฉาง ตำบลหงาว อำเภอเมือง จังหวัดระนอง และสถานี BG2 พิกัด $9^{\circ}24'53.0''\text{N} / 98^{\circ}26'29.4''\text{E}$ วัดควนไทรงาม ตำบลนาคา อำเภอสุขสำราญ จังหวัดระนอง เป็นสถานีที่เลือกเป็น Background ซึ่งอยู่ห่างจากรอยเลื่อนระนอง (ความยาว 20.65 km) ตำแหน่งที่ทำการวิจัย โดยได้ทำการวางหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และนำตัวอย่างดิน มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1 ดังนี้

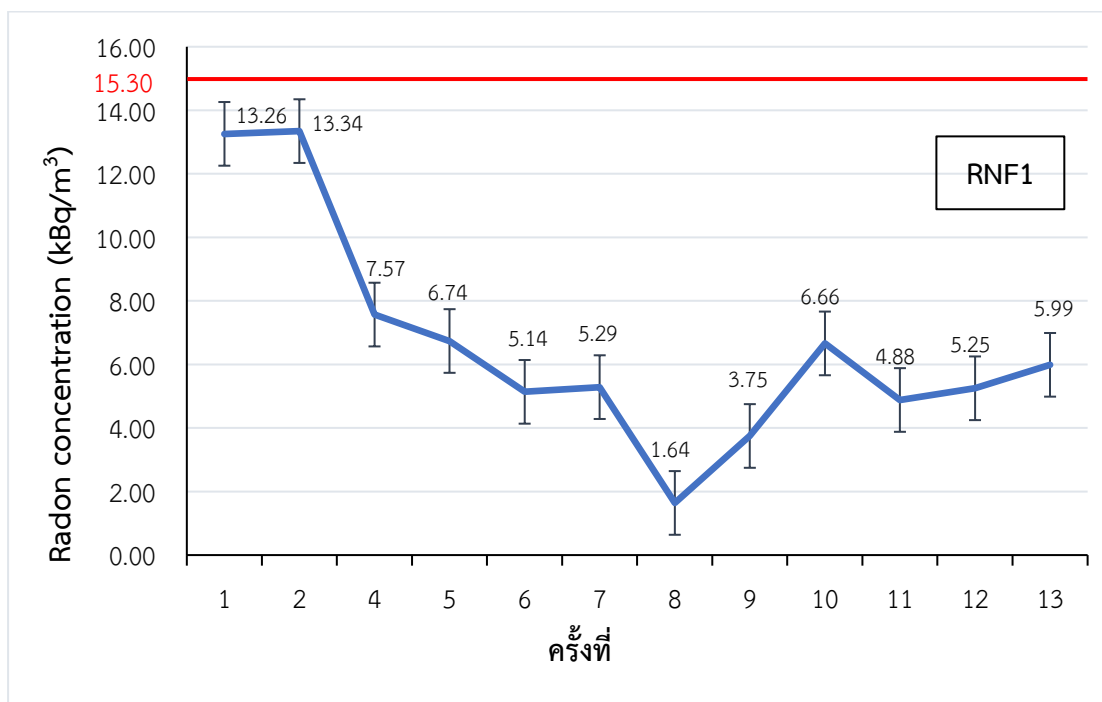
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) และกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ สถานี BG1 และ สถานี BG2

Station	Radon Concentration (kBq/m^3)				^{226}Ra (Bq/kg)
	ครั้งที่ 10	ครั้งที่ 11	ครั้งที่ 12	ครั้งที่ 13	
BG1	18.27±3.04	15.30±1.51	-	9.69±1.02	229.79±0.72
BG2	-	17.45±1.57	12.53±1.36	-	121.79±0.55
Median	15.30±1.51				-
Average					175.79±0.64

จากตารางที่ 4.1 สถานี BG1 พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง $9.69 \pm 1.02 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $18.27 \pm 3.04 \text{ kBq/m}^3$ และสถานี BG2 ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง $12.53 \pm 1.36 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $17.45 \pm 1.57 \text{ kBq/m}^3$ โดยมีค่ากลางของข้อมูล $15.30 \pm 1.51 \text{ kBq/m}^3$ และมีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra เฉลี่ย $175.79 \pm 0.64 \text{ Bq/kg}$ ซึ่งมีปริมาณน้อย จากการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี BG1 และ สถานี BG2 นั้นมาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่ามาจากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดินที่ตรวจวัดได้ เนื่องจากค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra ที่ตรวจวัดได้ตัวอย่างดินมีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่น้อย และไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี BG1 และ BG2

4.1.2 Station RNF1: บ้านราชกรูด ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF1 พิกัด $9^{\circ}44'59.7''\text{N} / 98^{\circ}35'46.1''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.1 ดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF1

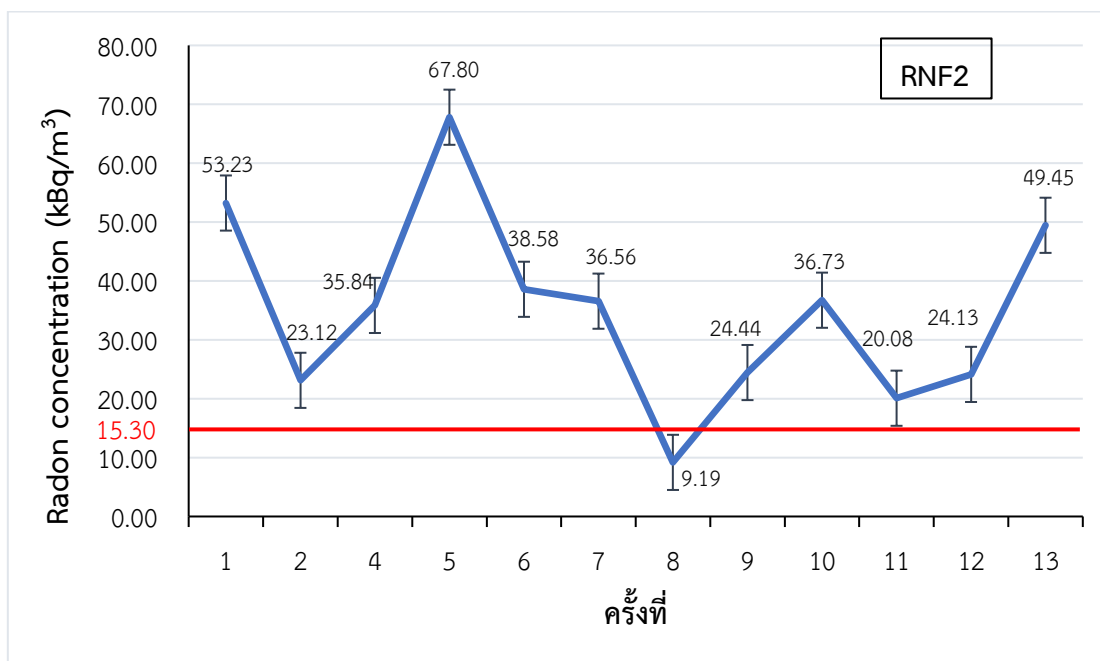
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.1 พบว่า สถานี RNF1 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง $1.64 \pm 0.15 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $13.34 \pm 1.86 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $6.63 \pm 0.69 \text{ kBq/m}^3$ เมื่อเทียบกับค่า

Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าต่ำกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ²²⁶Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 340.72 ± 0.86 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF1 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ²²⁶Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ²²⁶Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF1 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่ห่างจากแนวรอยเลื่อนออกไป จะตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้ต่ำกว่าตำแหน่งที่รอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน

4.1.3 Station RNF2: บ้านนงาง ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF2 พิกัด $9^{\circ}42'35.4''\text{N} / 98^{\circ}34'49.5''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ²²⁶Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.2 ดังนี้



ภาพที่ 4.2 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF2

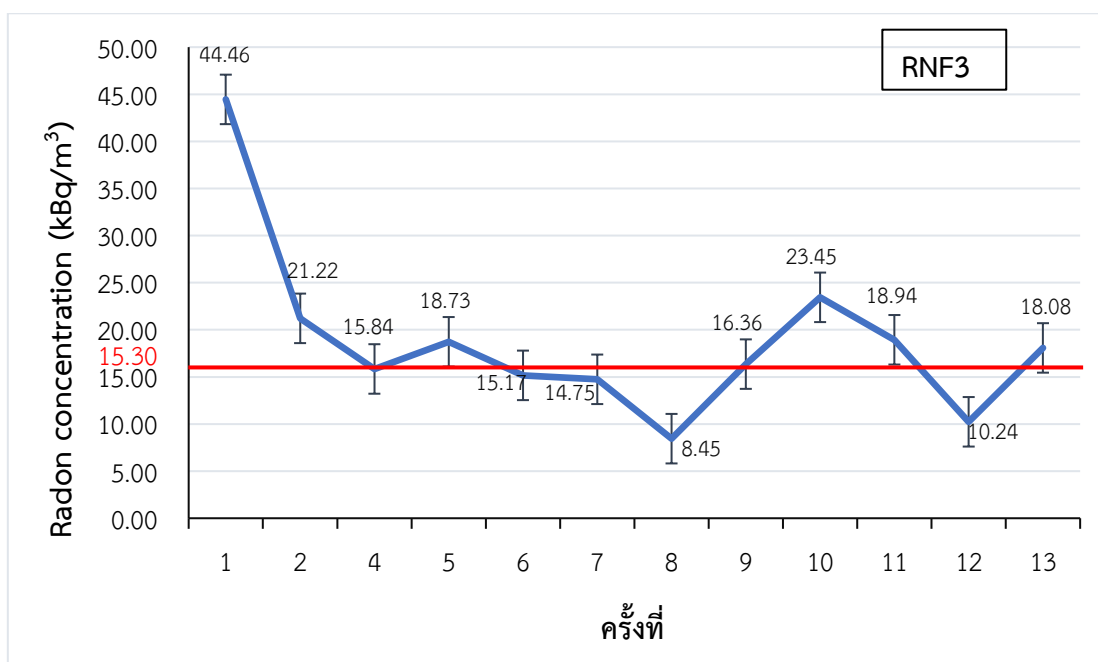
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.2 พบว่า สถานี RNF2 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 9.19 ± 3.27 kBq/m³ ถึง 67.80 ± 8.97 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 34.93 ± 3.99 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าสูง

กว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ $349.57 \pm 0.87 \text{ Bq/kg}$ จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF2 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF2 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่มีรอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าบริเวณที่ห่างจากแนวรอยเลื่อน (วิศวกรรมศาสตร์, 2550)

4.1.4 Station RNF3: บ้านห้วยปลิง ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF3 พิกัด $9^{\circ}41'08.9''\text{N} / 98^{\circ}34'04.2''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางห้ววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.3 ดังนี้



ภาพที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF3

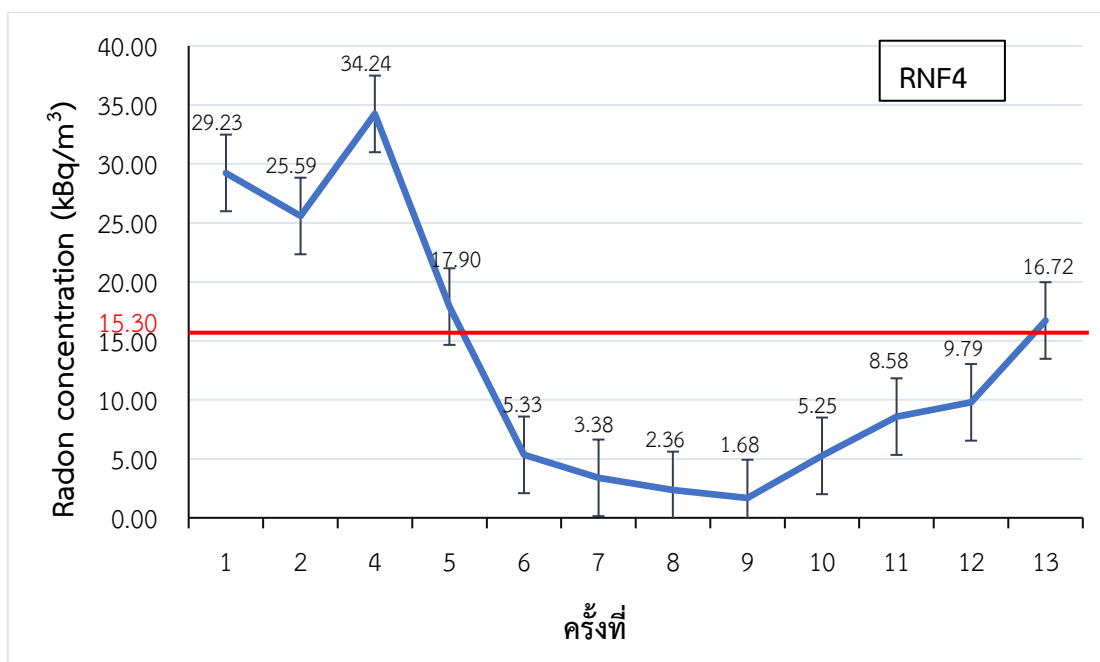
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากห้ววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาานาน ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.3 พบว่า สถานี RNF3 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง $8.45 \pm 1.88 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $44.46 \pm 5.67 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $18.80 \pm 2.45 \text{ kBq/m}^3$ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ $15.30 \pm 1.51 \text{ kBq/m}^3$ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าสูงกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra

จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 462.78 ± 0.99 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF3 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF3 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่มีรอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าบริเวณที่ห่างจากแนวรอยเลื่อน

4.1.5 Station RNF4: บ้านคลองช้างแหก ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF4 พิกัด $9^{\circ}40'25.8''\text{N}$ / $98^{\circ}34'14.1''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.4 ดังนี้



ภาพที่ 4.4 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF4

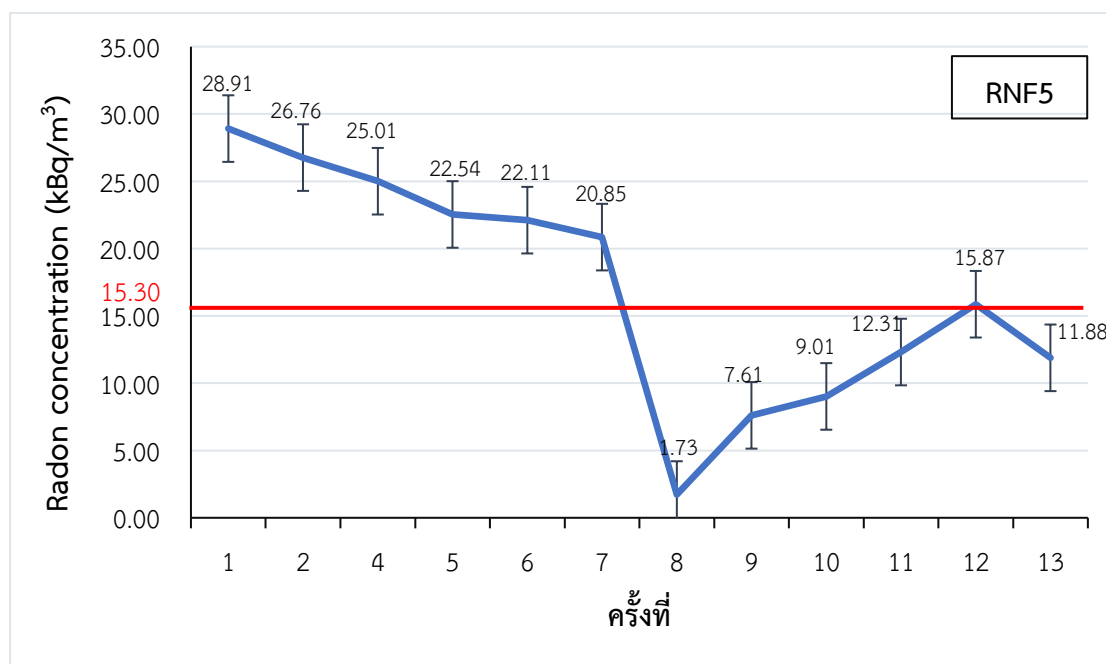
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.4 พบว่า สถานี RNF4 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 1.68 ± 0.10 kBq/m³ ถึง 34.24 ± 2.93 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13.34 ± 1.31 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าต่ำกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 279.64 ± 0.78 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความ

เข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF4 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF4 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่ห่างจากแนวรอยเลื่อนออกไป จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้ต่ำกว่าตำแหน่งที่รอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน

4.1.6 Station RNF5: บ้านคลองช้างแหก ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF5 พิกัด $9^{\circ}40'22.8''\text{N} / 98^{\circ}34'02.8''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.5 ดังนี้



ภาพที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF5

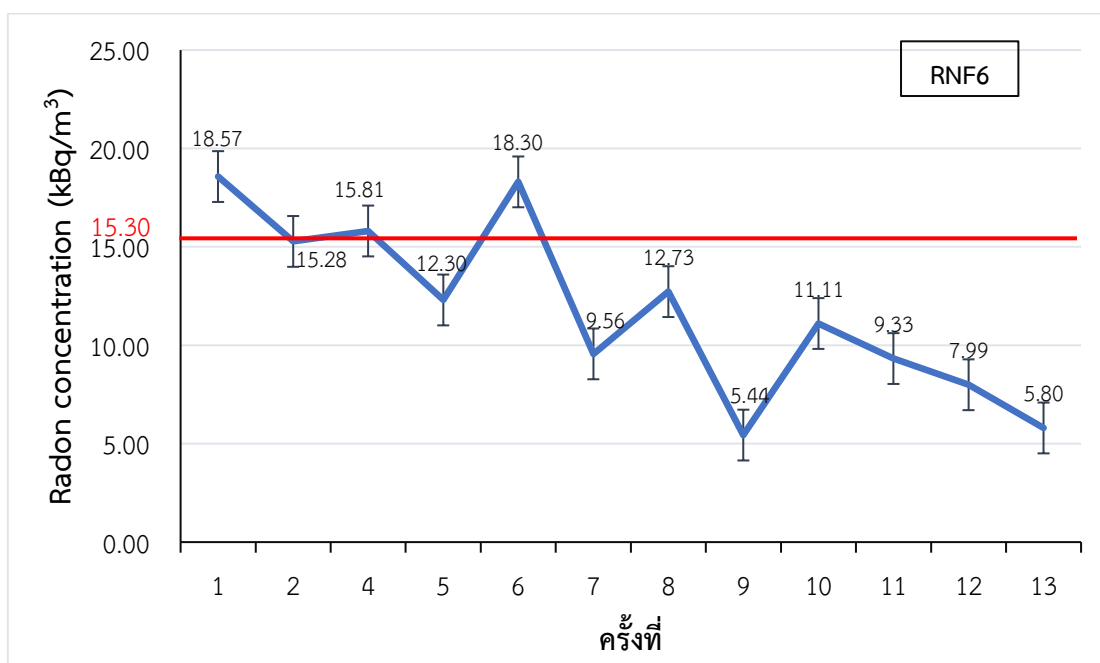
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.5 พบว่า สถานี RNF5 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 1.73 ± 0.08 kBq/m³ ถึง 28.91 ± 5.93 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.05 ± 2.16 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าสูงกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 301.28 ± 0.81 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF5 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้

จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF5 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่รอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างจากแนวรอยเลื่อน

4.1.7 Station RNF6: บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF6 พิกัด $9^{\circ}39'00.8''\text{N} / 98^{\circ}33'25.1''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.6 ดังนี้



ภาพที่ 4.6 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF6

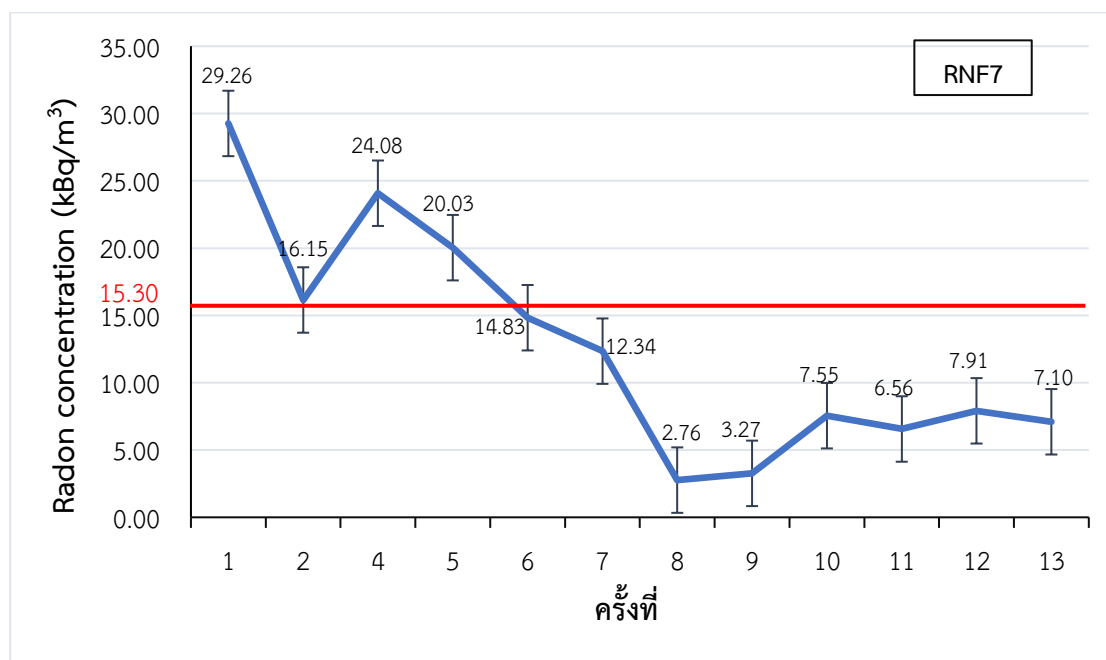
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.6 พบว่า สถานี RNF6 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 5.44 ± 1.21 kBq/m³ ถึง 18.57 ± 1.82 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.85 ± 1.45 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าต่ำกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 239.01 ± 0.73 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF6 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มี

ปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF6 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่ห่างจากแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้ต่ำกว่าบริเวณที่รอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน

4.1.8 Station RNF7: บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF7 พิกัด $9^{\circ}38'08.6''N / 98^{\circ}32'57.1''E$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.7 ดังนี้



ภาพที่ 4.7 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF7

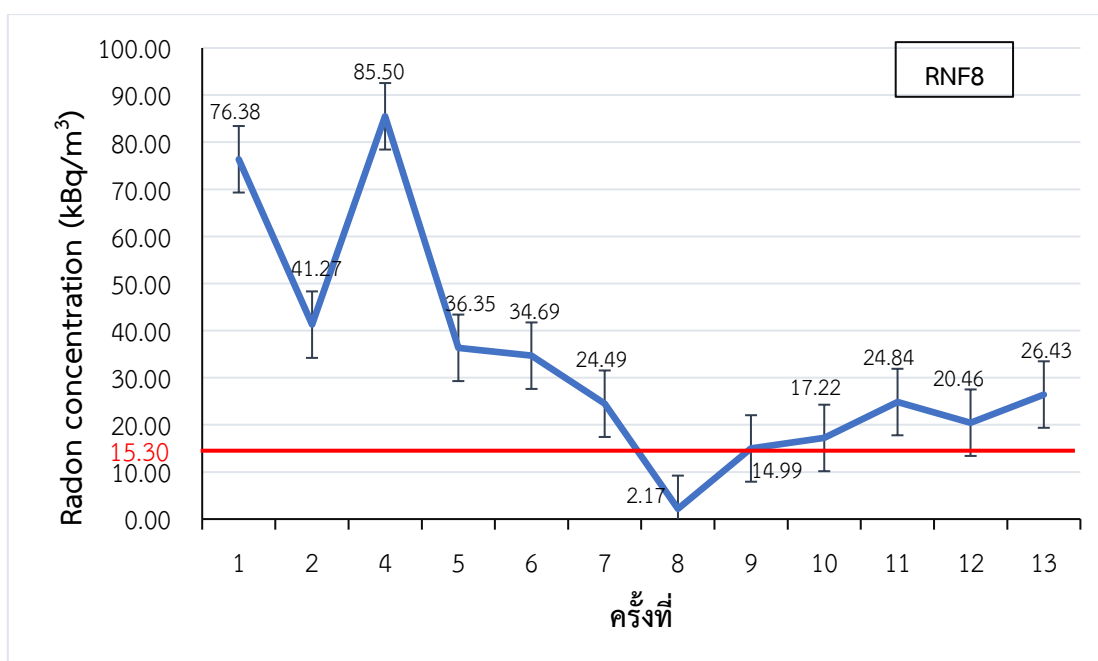
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาานาน ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.7 พบว่า สถานี RNF7 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 2.76 ± 0.30 kBq/m³ ถึง 29.26 ± 2.82 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.65 ± 1.19 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าต่ำกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 167.25 ± 0.63 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF7 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF7 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่ห่างจากแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้ต่ำกว่าบริเวณที่รอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน

4.1.9 Station RNF8: บ้านคลองของ ตำบลราชกรูด อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

สถานี RNF8 พิกัด $9^{\circ}37'52.2''\text{N} / 98^{\circ}32'54.5''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.8 ดังนี้



ภาพที่ 4.8 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF8

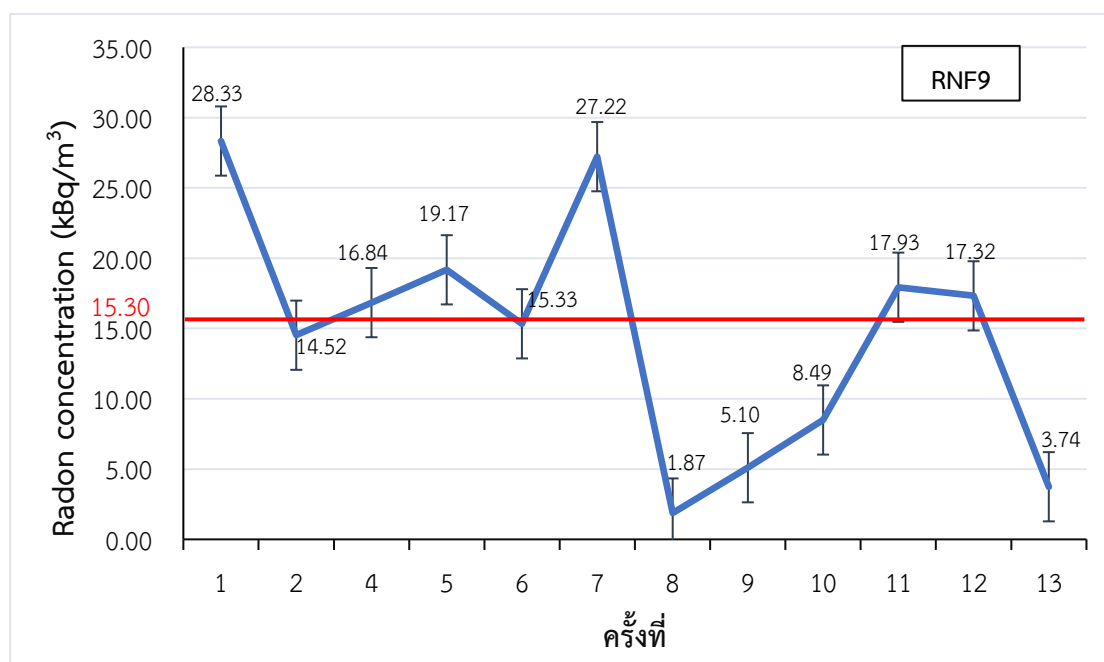
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาานาน ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.8 พบว่า สถานี RNF8 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 2.17 ± 0.17 kBq/m³ ถึง 85.50 ± 20.02 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.73 ± 5.29 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าสูงกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 428.27 ± 0.95 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF8 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF8 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่มีรอยเลื่อน

พาดผ่านในพื้นที่หรือใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าบริเวณที่ห่างจากแนวรอยเลื่อน (วิชุนศาสตร์, 2550)

4.1.10 Station RNF9: บ้านม่วงกลาง ตำบลม่วงกลาง อำเภอกะเปอร์ จังหวัดระนอง

สถานี RNF9 พิกัด $9^{\circ}36'59.8''\text{N} / 98^{\circ}32'35.8''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.9 ดังนี้



ภาพที่ 4.9 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF9

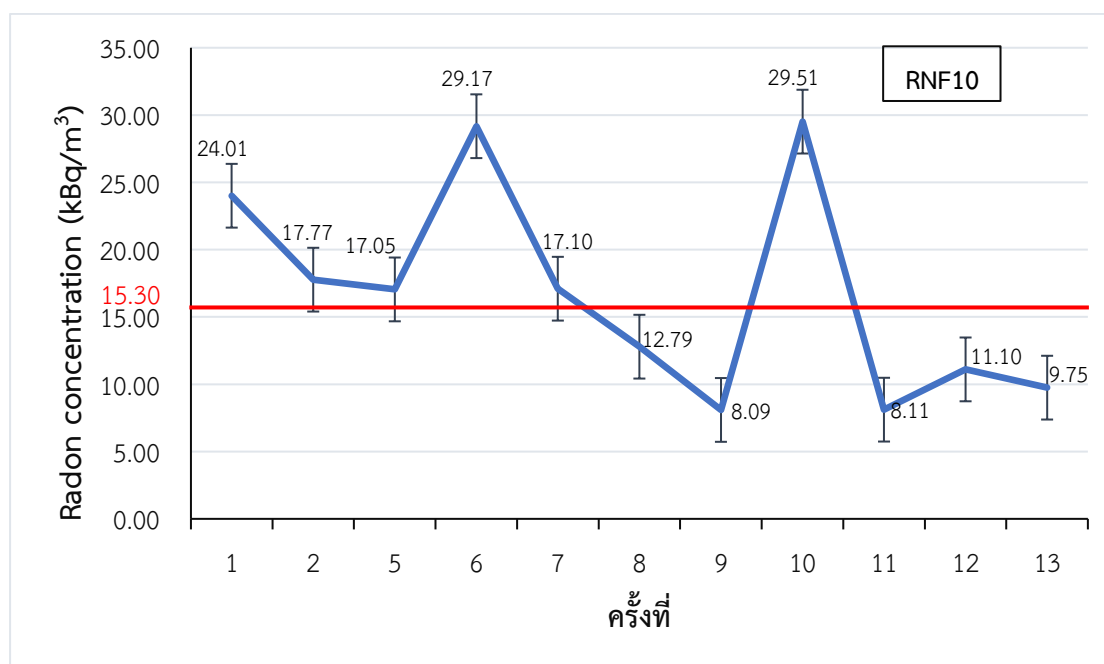
หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.9 พบว่า สถานี RNF9 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 1.87 ± 0.08 kBq/m³ ถึง 28.33 ± 4.85 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14.66 ± 1.88 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าต่ำกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 272.98 ± 0.78 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF9 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF9 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่ห่างจากแนว

รอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้ต่ำกว่าตำแหน่งที่รอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน

4.1.11 Station RNF10: บ้านม่วงกลวง ตำบลม่วงกลวง อำเภอกะเปอร์ จังหวัดระนอง

สถานี RNF10 พิกัด $9^{\circ}36'52.7''\text{N} / 98^{\circ}32'34.6''\text{E}$ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งหมด 13 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 y และตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ณ ตำแหน่งที่วางหัววัด ดังแสดงผลในภาพที่ 4.10 ดังนี้



ภาพที่ 4.10 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m³) สถานี RNF10

หมายเหตุ: ครั้งที่ 3 ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากหัววัดได้รับปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น ทำให้วิเคราะห์รอยที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม CR-39 ไม่ได้ จึงได้ทำการวัดต่อเนื่องในครั้งที่ 13

จากภาพที่ 4.10 พบว่า สถานี RNF10 มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 8.09 ± 0.85 kBq/m³ ถึง 29.51 ± 1.13 kBq/m³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 16.77 ± 1.84 kBq/m³ เมื่อเทียบกับค่า Background เท่ากับ 15.30 ± 1.51 kBq/m³ (เส้นสีแดงในกราฟ) จากตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าสูงกว่า Background และเมื่อนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งวิเคราะห์ได้ 242.67 ± 0.74 Bq/kg จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF10 ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ^{226}Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในสถานี RNF10 และสรุปได้ว่าตำแหน่งที่รอยเลื่อนพาด

ผ่านในพื้นที่หรืออยู่ใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าบริเวณที่อยู่ห่างจากแนวรอยเลื่อน

จากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และการตรวจวัดกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน บริเวณรอยเลื่อนระนอง ระหว่างสถานี BG1 ถึง สถานี BG2 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน บริเวณรอยเลื่อนระนอง

ครั้งที่	Radon concentration (kBq/m ³)									
	RNF1	RNF2	RNF3	RNF4	RNF5	RNF6	RNF7	RNF8	RNF9	RNF10
1	13.26±1.88	53.23±1.74	44.46±5.67	29.23±4.08	28.91±5.93	18.57±1.82	29.26±2.82	76.38±15.67	28.33±4.85	24.01±2.48
2	13.34±1.86	23.12±4.49	21.22±3.07	25.59±3.36	26.76±1.51	15.28±1.08	16.15±1.04	41.27±7.38	14.52±1.96	17.77±1.66
3	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected	*Undetected
4	7.57±0.59	35.84±3.86	15.84±2.79	34.24±2.93	25.01±2.37	15.81±2.27	24.08±2.20	85.50±20.02	16.84±2.22	*Undetected
5	6.74±0.44	67.80±8.97	18.73±1.61	17.90±1.46	22.54±2.70	12.30±1.35	20.03±2.30	36.35±1.61	19.17±3.65	17.05±3.12
6	5.14±0.52	38.58±6.64	15.17±2.39	5.33±0.58	22.11±5.32	18.30±3.10	14.83±1.14	34.69±3.49	15.33±2.63	29.17±4.78
7	5.29±0.56	36.56±4.40	14.75±2.65	3.38±0.41	20.85±3.65	9.56±1.26	12.34±1.55	24.49±2.56	27.22±3.34	17.10±2.27
8	1.64±0.15	9.19±3.27	8.45±1.88	2.36±0.16	1.73±0.08	12.73±2.53	2.76±0.30	2.17±0.17	1.87±0.08	12.79±1.90
9	3.75±0.20	24.44±2.12	16.36±2.24	1.68±0.10	7.61±1.39	5.44±1.21	3.27±0.51	14.99±3.68	5.10±0.66	8.09±0.85
10	6.66±0.55	36.73±5.12	23.45±2.73	5.25±0.37	9.01±0.65	11.11±1.17	7.55±0.69	17.22±3.05	8.49±1.20	29.51±1.13
11	4.88±0.67	20.08±3.25	18.94±2.66	8.58±0.62	12.31±0.59	9.33±0.62	6.56±0.55	24.84±2.25	17.93±0.63	8.11±0.43
12	5.25±0.45	24.13±2.37	10.24±1.00	9.79±1.09	15.87±1.17	7.99±0.59	7.91±0.55	20.46±1.85	17.32±1.20	11.10±1.14
13	5.99±0.39	49.45±1.67	18.08±0.74	16.72±0.56	11.88±0.59	5.80±0.37	7.10±0.57	26.43±1.73	3.74±0.19	9.75±0.49
Average	13.26±1.88	34.93±3.99	18.80±2.45	13.34±1.31	17.05±2.16	11.85±1.45	12.65±1.19	33.73±5.29	14.66±1.88	16.77±1.84

*Undetected หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ²²⁶Ra ของตัวอย่างดิน บริเวณรอยเลื่อนระนอง

²²⁶ Ra	RNF1	RNF2	RNF3	RNF4	RNF5	RNF6	RNF7	RNF8	RNF9	RNF10
(Bq/kg)	340.72±0.86	349.57±0.87	462.78±0.99	279.64±0.78	301.28±0.81	239.01±0.73	167.25±0.63	428.27±0.95	272.98±0.78	242.67±0.74

เมื่อตรวจสอบข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนองล่าสุด มีรายงานแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในอ่าวไทย เมื่อวันที่ 27-28 กันยายน 2549 มีขนาด 4.1-4.7 จำนวน 6 ครั้ง และในวันที่ 8 ตุลาคม 2549 มีขนาด 5.0 จำนวน 1 ครั้ง ประชาชนในหลายพื้นที่รู้สึกได้ถึงแรงสั่นสะเทือนของพื้นดิน ได้แก่ อำเภอกันตัง อำเภอสทิงพระ อำเภอคูยบุรี อำเภอปราณบุรี อำเภอบางสะพาน อำเภอบ้านลาด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และอำเภอชะอำ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี นอกจากนี้ยังเกิดแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2555 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในเขตพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดระนอง ขนาด 4.0 ประชาชนรู้สึกสั่นไหวในพื้นที่ ตำบลเขาหินเวศน์ ตำบลบางนอน อำเภอเมืองจังหวัดระนอง (สำนักงานเฝ้าระวังแผ่นดินไหว, 2560) และเมื่อตรวจสอบข้อมูลแผ่นดินไหวย้อนหลังในช่วงปี 2559 ถึง 2565 บริเวณรอยเลื่อนระนอง พบข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณใกล้เคียงจังหวัดระนอง ได้แก่ บริเวณทะเลอันดามัน, จังหวัดพังงา, จังหวัดชุมพร, จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และประเทศพม่า ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณใกล้เคียงจังหวัดระนองช่วงปี 2559 ถึง 2565

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)	ขนาด (magnitude)	ความลึก (กิโลเมตร)	เฟส (สถานี)	บริเวณ
31/03/2559	9:26:11	7.92	98.54	2.4	4	7	ในทะเล ใกล้เกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา
8/05/2559	11:06:39	7.94	98.52	2.4	2	7	ในทะเล ใกล้เกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา
18/06/2559	5:17:29	7.99	98.52	3.1	5	8	ในทะเล ใกล้เกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา
6/01/2560	17:45:08	18.67	97.68	2.3	10	8	ประเทศพม่า
14/02/2560	2:53:09	17.89	97.61	2.3	1	17	ประเทศพม่า
6/04/2560	18:24:43	10.03	99.16	2.9	1	7	อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร
24/05/2560	12:58:42	8.05	98.48	3.4	2	6	อำเภอเกาะยาว จังหวัดพังงา
5/10/2562	19:09:52	7.66	97.90	2.6	10	12	บริเวณทะเลอันดามัน
26/01/2563	0:41:54	8.85	98.38	2.1	1	10	อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา
26/01/2563	0:42:49	8.86	98.38	2.2	1	9	อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา
6/02/2563	18:10:32	11.46	99.41	2.8	3	10	อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
6/09/2563	06:12:05	14.45	96.60	3.9	10	33	บริเวณทะเลอันดามัน
11/11/2563	18:17:22	13.94	94.33	3.6	10	13	บริเวณทะเลอันดามัน
8/02/2564	22:40:35	13.73	96.23	4.0	10	22	บริเวณทะเลอันดามัน
16/02/2564	16:01:39	12.52	98.12	3.5	8	9	บริเวณทะเลอันดามัน
16/09/2564	05:18:33	8.38	97.99	3.5	9	15	บริเวณทะเลอันดามัน

จากข้อมูลแผ่นดินไหว บริเวณใกล้เคียงจังหวัดระนองในตารางที่ 4.4 ช่วงเวลาทำการวิจัยระหว่างวันที่ 26 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 3 เมษายน 2564 พบข้อมูลแผ่นดินไหวในกลุ่มรอยเลื่อนระนองทั้งหมด 3 ครั้ง ได้แก่ วันที่ 26 มกราคม 2563 ในพื้นที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา จำนวน 2 ครั้ง ขนาด 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ และในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2563 ในพื้นที่อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 1 ครั้ง ขนาด 2.8 ซึ่งแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ครั้ง เกิดในช่วงทำการวิจัยในครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 26 มกราคม 2563 ถึง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2563 โดยความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF1 ถึง สถานี RNF10 ในครั้งที่ 1 พบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนสูงในทุกสถานีโดยมีค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนอยู่ระหว่าง 13.26 ± 1.88 kBq/m³ ถึง 76.38 ± 15.67 kBq/m³ และลดลงในครั้งถัดไปที่ทำการตรวจวัด ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และเมื่อตรวจสอบข้อมูลการเกิดแผ่นดินไหวในช่วง 1 y บริเวณจังหวัดระนอง พบเฉพาะข้อมูลแผ่นดินไหวในพื้นที่ใกล้เคียงรัศมีไม่เกิน 600 km บริเวณทะเลอันดามัน หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย และหมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย เพียงเท่านั้น

จะให้เห็นได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในแต่ละเดือนของแต่ละสถานี จะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ (Elastic rebound theory) เชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการสั่นสะเทือนอันเป็นเหตุผลมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Fault) เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ถึงจุดหนึ่ง (ความเค้นและความเครียดสะสมภายใต้เปลือกโลกเปลี่ยนแปลง) ทำให้วัตถุขาดออกจากกันและเสียรูปอย่างมาก พร้อมกับมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว และหลังจากปลดปล่อยพลังงาน ก็คืนตัวกลับสู่รูปแบบเดิม ตามกลไกการบีบอัดภายใต้แผ่นเปลือกโลก ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรดอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแรงบีบอัดของเปลือกโลกที่ส่งผลให้ก๊าซในดินออกสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นก่อนเกิดแผ่นดินไหว โดยการเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซเรดอน อาจเรียกว่า ความผิดปกติ (Anomaly) ซึ่งจะเป็นสัญญาณเตือนก่อนเกิดแผ่นดินไหว (Deb *et al.*, 2018; Bhongsuwan *et al.*, 2011; Savastru *et al.*, 2012; Zoran *et al.*, 2012; Miklavčić *et al.*, 2008; Mavrodiev *et al.*, 2018) จึงทำให้ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงในบริเวณใกล้แนวรอยเลื่อนมีพลังหรือบริเวณที่มีรอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่



ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (kBq/m^3) สถานี RNF1 ถึงสถานี RNF10

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทำนายการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง โดยวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรดอนที่เปลี่ยนแปลง ด้วยเทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 และการวิเคราะห์กัมมันตภาพของนิวไคลด์ ^{226}Ra ในตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์โดยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตำแหน่งอ้างอิง (สถานี BG1 และ สถานี BG2) ค่ากลางของข้อมูล $15.30 \pm 1.51 \text{ kBq/m}^3$ และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra เฉลี่ย $175.79 \pm 0.64 \text{ Bq/kg}$

5.1.2 สถานี RNF1 มีค่าอยู่ระหว่าง $1.64 \pm 0.15 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $13.34 \pm 1.86 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $6.63 \pm 0.69 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าต่ำกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $340.72 \pm 0.86 \text{ Bq/kg}$

5.1.3 สถานี RNF2 มีค่าอยู่ระหว่าง $9.19 \pm 3.27 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $67.80 \pm 8.97 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $34.93 \pm 3.99 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าสูงกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $349.57 \pm 0.87 \text{ Bq/kg}$

5.1.4 สถานี RNF3 มีค่าอยู่ระหว่าง $8.45 \pm 1.88 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $44.46 \pm 5.67 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $18.80 \pm 2.45 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าสูงกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $462.78 \pm 0.99 \text{ Bq/kg}$

5.1.5 สถานี RNF4 มีค่าอยู่ระหว่าง $1.68 \pm 0.10 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $34.24 \pm 2.93 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $13.34 \pm 1.31 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าต่ำกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $279.64 \pm 0.78 \text{ Bq/kg}$

5.1.6 สถานี RNF5 มีค่าอยู่ระหว่าง $1.73 \pm 0.08 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $28.91 \pm 5.93 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $17.05 \pm 2.16 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าสูงกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $301.28 \pm 0.81 \text{ Bq/kg}$

5.1.7 สถานี RNF6 มีค่าอยู่ระหว่าง $5.44 \pm 1.21 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $18.57 \pm 1.82 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $11.85 \pm 1.45 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าต่ำกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $239.01 \pm 0.73 \text{ Bq/kg}$

5.1.8 สถานี RNF7 มีค่าอยู่ระหว่าง $2.76 \pm 0.30 \text{ kBq/m}^3$ ถึง $29.26 \pm 2.82 \text{ kBq/m}^3$ เฉลี่ย $12.65 \pm 1.19 \text{ kBq/m}^3$ มีค่าต่ำกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra $167.25 \pm 0.63 \text{ Bq/kg}$

5.1.9 สถานี RNF8 มีค่าอยู่ระหว่าง 2.17 ± 0.17 kBq/m³ ถึง 85.50 ± 20.02 kBq/m³ เฉลี่ย 33.73 ± 5.29 kBq/m³ มีค่าสูงกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ²²⁶Ra 428.27 ± 0.95 Bq/kg

5.1.10 สถานี RNF9 มีค่าอยู่ระหว่าง 1.87 ± 0.08 kBq/m³ ถึง 28.33 ± 4.85 kBq/m³ เฉลี่ย 14.66 ± 1.88 kBq/m³ มีค่าต่ำกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ²²⁶Ra 272.98 ± 0.78 Bq/kg

5.1.11 สถานี RNF10 มีค่าอยู่ระหว่าง 8.09 ± 0.85 kBq/m³ ถึง 29.51 ± 1.13 kBq/m³ เฉลี่ย 16.77 ± 1.84 kBq/m³ มีค่าสูงกว่า Background และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ²²⁶Ra 242.67 ± 0.74 Bq/kg

5.1.12 จากผลการวิเคราะห์ในทุกสถานี พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ส่วนใหญ่มาจากก๊าซเรดอนใต้ผิวดินมากกว่าที่ได้จากการสลายตัวของ ²²⁶Ra บริเวณผิวดิน เนื่องจากปริมาณ ²²⁶Ra ในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ก๊าซเรดอนในปริมาณที่น้อย ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดในทุกสถานี และยืนยันได้ว่า ตำแหน่งที่มีรอยเลื่อนพาดผ่านในพื้นที่หรือใกล้บริเวณแนวรอยเลื่อน จะตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าบริเวณที่ห่างจากแนวรอยเลื่อน

5.1.13 จากข้อมูลแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า ข้อมูลแผ่นดินไหวในช่วงทำการวิจัยในครั้งที่ 1 เกิดแผ่นดินไหวทั้งหมด 3 ครั้งในกลุ่มรอยเลื่อนระนอง ได้แก่ วันที่ 26 มกราคม 2563 ในพื้นที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา จำนวน 2 ครั้ง ขนาด 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ และในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2563 ในพื้นที่อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 1 ครั้ง ขนาด 2.8 โดยความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในสถานี RNF1 ถึง สถานี RNF10 ในครั้งที่ 1 พบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนสูงในทุกสถานี และลดลงในครั้งถัดไปที่ทำการตรวจวัด และสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวที่ตรวจวัดได้

5.1.14 จากข้อมูลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนทุกสถานี พบว่า สถานี RNF2 และสถานี RNF8 เป็นสถานีที่มีศักยภาพที่จะใช้เตือนภัยการเกิดแผ่นดินไหวที่จะเกิดจากแนวรอยเลื่อนระนองในอนาคตได้ เนื่องจาก 2 สถานีนี้ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้สูงกว่าสถานีอื่นและ สถานี Background 2 ถึง 5 เท่า และอยู่ใกล้ในแนวรอยเลื่อนระนอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน อาจจะใช้เทคนิคอื่น ในการวัดก๊าซเรดอนควบคู่ไปด้วยกับเทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดแผ่นฟิล์ม CR-39

5.2.2 ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน อาจจะทำ การตรวจวัดเป็นรายสัปดาห์ หรือรายวัน เพื่อที่จะดูแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของก๊าซเรดอนในพื้นที่ทำการวิจัย

หรืออาจวาง Seismograph ในพื้นที่ทำการวิจัยด้วย เพื่อตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหว ทำให้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นดินไหวและการแปลงความเข้มข้นของก๊าซเรดอน

5.2.3 หัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39 ควรใช้แผ่นพลาสติกใส หรือฟิล์มถนอมอาหารปิดบริเวณฝาท่อ PVC ที่มีแผ่นฟิล์ม CR-39 ติดอยู่ด้วย เพื่อป้องกันก๊าซโทรมอนจากธรรมชาติ ไอน้ำจากดิน และป้องกันแผ่นฟิล์ม CR-39 หลุดออกจากฝาท่อ PVC

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดระนอง, พิมพ์ครั้งที่ 1, ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์, กรุงเทพฯ, หน้า 10-17.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2553. แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย. สืบค้นจาก:
http://www.dmr.go.th/download/article/article_20100625094329
[29 เมษายน 2563].
- กรมทรัพยากรธรณี. 2559. แผ่นดินไหว. สืบค้นจาก:
http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=58227&filename=index
[10 กุมภาพันธ์ 2564].
- กรมทรัพยากรธรณี. 2563. พื้บัตัภัยแผ่นดินไหว. สืบค้นจาก:
http://www.dmr.go.th/n_more_news.php?nid=137239&filename=index
[10 กุมภาพันธ์ 2564].
- กรมทรัพยากรธรณี. 2563. แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย 16 กลุ่มรอยเลื่อน_ปรับปรุง มีนาคม 2563. สืบค้นจาก: <https://www.dmr.go.th> -2563/แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย-16-กลุ่มรอยเลื่อน_ปรับปรุง-มีนาคม-2563/ [26 เมษายน 2566].
- กรมทรัพยากรธรณี. 2563. คุณลักษณะเฉพาะของ 16 กลุ่มรอยเลื่อนมีพลัง. สืบค้นจาก:
<https://www.dmr.go.th> -2563/คุณลักษณะเฉพาะของ-16-กลุ่มรอยเลื่อนมีพลัง/
[26 เมษายน 2566].
- คลังความรู้สุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. 2562. มหันตภัยเงียบในอาคาร. สืบค้นจาก:
http://healthydee.moph.go.th/view_article.php?id=371 [29 พฤศจิกายน 2563].
- เชิงชาย ไกรคง. 2548. ธรณีวิทยาของศักยภาพเรดอนในประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ, หน้า 3-16.
- ทิพวรรณ คงภักดี. 2560. วิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรดอนจากวัสดุก่อสร้าง และศึกษาระดับก๊าซเรดอนในอาคารทางตอนเหนือของจังหวัดยะลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทีมวิชาการธรณีไทย. 2551. ธรณีแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค (Plate Tectonics). สืบค้นจาก:
<https://www.geothai.net/plate-tectonics/> [9 ธันวาคม 2564].
- นภาพิพย์ ภักดี. 2555. การตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในปัสสาวะของคนไทยจาก 4 จังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ. 2553. นิวเคลียร์เทคโนโลยี: พื้นฐานและการประยุกต์ใช้ด้านดินและพืช, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 15-79.

- ปีตุงพร พิมพาเพชร. 2564. แนวคิดและทฤษฎีการแผ่ขยายพื้นมหาสมุทร และหลักฐานสนับสนุน. สืบค้นจาก: <https://www.truelookpanya.com/learning/detail/34154> [11 ธันวาคม 2564].
- มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการ และพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.). 2562a. ธรณีวิทยา 1, บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 118-119.
- มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการ และพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.). 2562b. ธรณีวิทยา 2, บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 159-160.
- วลิตา อุ่นเรือน. 2549. การวัดปริมาณแก๊สทอรอนในอาคารด้วยอุปกรณ์บันทึกที่กรอຍอนุภาคแอลฟา CR-39. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วิชญศาสตร์ อัจโยธา. 2550. การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลังกรณีศึกษา รอยเลื่อนคลองมะรุ่ย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). 2554. คลื่นไหวสะเทือน. สืบค้นจาก: <http://www.lesa.biz/earth/lithosphere/geological-phenomenon/earthquake/seismic-waves> [11 ธันวาคม 2564].
- ศูนย์สารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. ม.ป.ป. แผนที่แสดงตำแหน่งแผ่นดินไหวในประเทศไทย. สืบค้นจาก: <https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=ed61912a7047475d4e3c7> [2 มีนาคม 2563].
- สันติ ภัยหลบลี้. 2562. รอยแยกและรอยเลื่อนของหิน. สืบค้นจาก: <http://www.mitrearth.org/17-5-fracture-and-fault/> [12 มกราคม 2564].
- สันติ ภัยหลบลี้. 2564a. ธรณีแปรสัณฐาน. สืบค้นจาก: <https://drive.google.com/file/d/1iEVwLM2aOK1rh2IWTbvN9ETatiHxTxVA/view?fbclid=IwAR3O EZ1mj2LV7Vh34d-U E L F 6 s 5 l v N T 4 F v j I B Y P B q L - o r Q O H A p 7 W P O g L O 8 0> [15 มกราคม 2564].
- สันติ ภัยหลบลี้. 2564b. แผ่นดินไหว. สืบค้นจาก: https://drive.google.com/file/d/1ObRu9_zTWOLhIVRnBSL4NiolzbTZLGWM/view?fbclid=IwAR3O EZ1mj2LV7Vh34d-U E L F 6 s 5 l v N T 4 F v j I B Y P B q L - o r Q O H A p 7 W P O g L O 8 0 [18 มกราคม 2564].
- สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล. 2555. Plate Tectonics. สืบค้นจาก: https://www.geothai.net/plate-tectonics/geothai_plate_tectonics-2/ [9 ธันวาคม 2564].

- สำนักงานเฝ้าระวังแผ่นดินไหว. 2560. รายงานการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 (รายงานการเกิดแผ่นดินไหว เลขที่ ๕๕๐.๓๔๑-๑๗-๒๕๖๐). กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ, หน้า 9-13.
- สำนักงานพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์จังหวัดระนอง. 2560. รายงานสถานการณ์ทางสังคม จังหวัดระนอง ปี 2560. สืบค้นจาก: <http://www.ranong.m-society.go.th/web-2012/phocadownload/2560.pdf> [25 เมษายน 2563].
- Almalki, K.A., Betts, P.G. and Ailleres, L. 2014. Episodic Sea-Floor Spreading in the Southern Red Sea. *Tectonophysics*. 617, 140-149.
- Amki, G. 2018. Plate Tectonics. Available online: <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/68133/-blo-sci-ar-sci-> [December 13, 2021].
- Bal, S.S. and Dogru, M. 2020. Evaluation of Soil Radon Gas and Earthquake on the Fault Zone. *Journal of Science*. 9(2), 703-710.
- Barnes, C.A., Ericson, D.B., Fleming, R.H., LaMourie, M.J., Broadus, J.M., Namias, J., Augustyn, A., Gaur, A., Goldberg, M., Gorlinski, V., Lotha, G., McKenna, A., Rafferty, J.P., Rodriguez, E. and Wallenfeldt, J. 2014. Atlantic Ocean. Available online: <https://www.britannica.com/place/Atlantic-Ocean> [June 10, 2023]
- Bhongsuwan, T., Pisapak, P. and Dürrast, H. 2011. Result of Alpha Track Detection of Radon in Soil Gas in the Khlong Marui Fault Zone, Southern Thailand: A Possible Earthquake Precursor. *Journal Science Technology*. 33(5), 609-616.
- Bolt, B.A. 1978. *Earthquakes: A Primer*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 112-115.
- Cox, A., Doell, R.R. and Dalrymple, G.B. 1967. Reversals of the Earth's Magnetic Field. *Scientific American*. 216(2), 44-54.
- Deb, A., Gazi, M., Ghosh, J., Chowdhury, S. and Barman, C. 2018. Monitoring of Soil Radon by SSNTD in Eastern India in Search of Possible Earthquake Precursor. *Journal of Environmental Radioactivity*. 184-185, 63-70.
- Deb, A., Gazi, M. and Barman, C. 2016. Anomalous Soil Radon Fluctuations—Signal of Earthquakes in Nepal and Eastern India Regions. *Journal of Earth System Science*. 125(8), 1657-1665.
- Durrani, S.A. and Bull, R.K. 1987. *Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications*. British: Pergamon Press, 41-42.
- Ebinger, C.J. 2005. Continental Break-up: The East African Perspective. *Astronomy and Geophysics* 46(2), 16-21.

- Hess, H.H. 1946. Drowned Ancient Islands of the Pacific Basin. *American Journal of Science*. 244(11), 772-791.
- Hinthong, C. 1997. The Study of Active Faults in Thailand. Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand, pp. 17-22.
- Ibrahim, N.K. and Kadhim, N.F. 2016. Radioactive Contamination and Radiological Risk Assessment of the Destroyed Nuclear Facilities at Al-Tuwaitha Nuclear Site. Ph.D. Thesis, AL-Mustansiriyah University.
- Kim, J.W., Joo, H.Y., Kim, R. and Moon, J.H. 2018. Investigation of the Relationship Between Earthquakes and Indoor Radon Concentrations at a Building in Gyeongju, Korea. *Journal of Nuclear Engineering and Technology*. 50(3), 512-518.
- Kim, W., Hong, T.K., Lee, J. and Taira, T. 2016. Seismicity and Fault Geometry of the San Andreas Fault Around Parkfield, California and Their Implications. *Tectonophysics*. 677-678, 34-44.
- Knoll, G.F. 2010. *Radiation Detection and Measurement (Fourth Edition)*. Canada: John Wiley & Sons, 759-762.
- Kobes, R. and Kunstatter, G. 2002. *Mantle Convection*. Physics Department, University of Winnipeg.
- Mavrodiev, S.C., Pekevski, L., Botev, E., Pinar, A., Kikuashvili, G., Vol, A. and Gilat, A. 2018. Study of the Possibility of Predicting Earthquakes. *International Journal of Geosciences*. 9, 688-706. Doi: 10.4236/ijg.2018.912042.
- Miklavčić, I., Radolić, V., Vuković, B., Poje, M., Varga, M., Stanić, D. and Planinić, J. 2008. Radon Anomaly in Soil Gas as an Earthquake Precursor. *Applied Radiation and Isotopes*. 66(10), 1459-1466.
- Miklyaev, P.S., Petrova, T.B. and Sidyakin, P.A. 2019. Abnormal High Radon Exhalation Levels on the Mount Beshtau, North Caucasus. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 272(2), 1-5
Doi: 10.1088/1755-1315/272/2/022084.
- National Geographic. 2019. Plate Tectonics and Lithosphere Changes. (Science). Available online: <https://ngthai.com/science/24009/tectonic-plates/>. [December 13, 2021].
- Reid, H.F. 1910. The Mechanics of the Earthquake, the California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission 2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Richter, C.F. 1935. An Instrumental Earthquake Magnitude Scale. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 25(1), 1-32.

- Rolf, T., Capitanio, F.A. and Tackley, P.J. 2018. Constraints on Mantle Viscosity Structure from Continental Drift Histories in Spherical Mantle Convection Models. *Tectonophysics*. 746, 339-351.
- Savastru, R., Zoran, M., Savastru, D., Chitaru, C., Baschir, L. and Tautan, M. 2012. Monitoring of Radon Anomalies in South-Eastern Part of Romania for Earthquake Surveillance. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*. 293(3), 769-781.
- Senitkova, I.J. and Michal, K.M. 2019. Seasonal and Floor Variations of Indoor Radon Concentration. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 221(1), 1-7. Doi: 10.1088/1755-1315/221/1/012127.
- Sola, P., Youngchuay, U., Kongsri, S. and Kongtana, A. 2017. Investigation of radon level in air and tap water of workplaces at Thailand Institute of Nuclear Technology, Thailand. *Journal of Physics*. 860(1), 1-6. Doi: 10.1088/1742-6596/860/1/012012.
- United States Geological Survey (USGC). 2002. Earthquake Glossary. Available online: <https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=active%20fault> [December 9, 2021].
- Wegener, A. 1966. *The Origin of Continents and Oceans*, 4th ed., Dover Publications Inc., New York, U.S.A., pp. 5-21.
- Zoran, M., Savastru, R. and Savastru, D. 2012. Radon Levels Assessment in Relation with Seismic Events in Vrancea Region. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*. 293(2), 655-663.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการเปรียบเทียบวัสดุตรวจวัดรังสีแอลฟาด้วยแผ่น CR-39

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการเปรียบเทียบวัสดุตรวจวัดรังสีแอลฟาด้วยแผ่น CR-39

ผู้ขอใช้บริการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชนิดบริการ เปรียบเทียบวัสดุตรวจวัดรังสีแอลฟาด้วยแผ่น CR-39

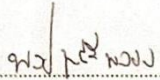
วันที่ทำการเปรียบเทียบ 14 พฤศจิกายน พ.ศ.2565 จนถึงวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ.2565

ความแรงของต้นกำเนิดรังสี Rn-228 1,850 Bq

อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นของรังสีเรดอน-226 RAD7

รายการการเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นต่างๆ

No. of CR-39	Concentration of Rn-226 (Bq)	Time Period (hr)
0000057	1,890	1
0000058, 0000061	10,230	11
000100, 000101	20,215	21
000300, 000301	50,753	53
0000129	181,090	79

ผู้ทำการเปรียบเทียบ 

(นายพงษ์ยุทธ ศรีพลอย)

ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์

ผู้รับรองผลการให้บริการ 

(ผศ.ดร.พงษ์เทพย์ เฟ่งวานิชย์)

ตำแหน่ง หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

วัน/เดือน/ปี 22 พ.ย. 2565

ภาคผนวก ข แสดงวิธีการคำนวณผลการทดลอง

1. การคำนวณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคหัววัดรอยนิวเคลียร์ชนิดของแข็ง (Solid State Nuclear Track Detectors, SSNTD) ชนิดแผ่นฟิล์ม CR-39

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนบริเวณรอยเลื่อนระนอง จากการนับรอย (Track) บนแผ่นฟิล์ม CR-39 ได้ 60 track พื้นที่ 0.0012 cm² มี Exposure time เท่ากับ 29 d และสมการคำนวณที่ Calibration มาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Track density (/cm²) กับ Radon concentration (Bq/m³) ดังแสดงในภาคผนวก ค คำนวณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนได้จากสมการที่ (3.6)

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3\text{)} = \frac{8.47032 \times \text{Corr.TD (Track/cm}^2\text{)}}{\text{Exposure time (day)}}$$

$$\text{เมื่อ Corr.TD (Track/cm}^2\text{)} = (\text{TD} + 5409) ; \text{TD} = \frac{\text{Track}}{\text{Area (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{60}{0.0012} + 5409$$

$$= 55409 \text{ Track/cm}^2$$

แทนค่า Corr.TD (Track/cm²) และ Exposure time ในสมการที่ (3.1) จะได้ว่า

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3\text{)} = \frac{8.47032 \times 55409 \text{ (Track/cm}^2\text{)}}{29 \text{ (day)}}$$

$$\text{Rn-conc (Bq/m}^3\text{)} = 16.18 \text{ kBq/m}^3$$

2. การคำนวณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ²²⁶Ra ในตัวอย่างดิน ด้วยเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์โดยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry)

ตัวอย่างการคำนวณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ ²²⁶Ra ในตัวอย่างดิน เมื่อ Area ของบิสมัท (²¹⁴Bi) ที่พลังงาน 609.32 keV = 3928 cps, Background = 196 cps, Live time = 21600 s, Efficiency = 0.0011 และ %a ของบิสมัท (²¹⁴Bi) = 46.1% คำนวณหา กัมมันตภาพของนิวไคลด์ ²²⁶Ra ได้จากสมการที่ (3.7)

$$\text{Activity (Bq)} = \frac{\text{Net area}}{(\text{Live time})(\text{Efficiency})(\%a)}$$

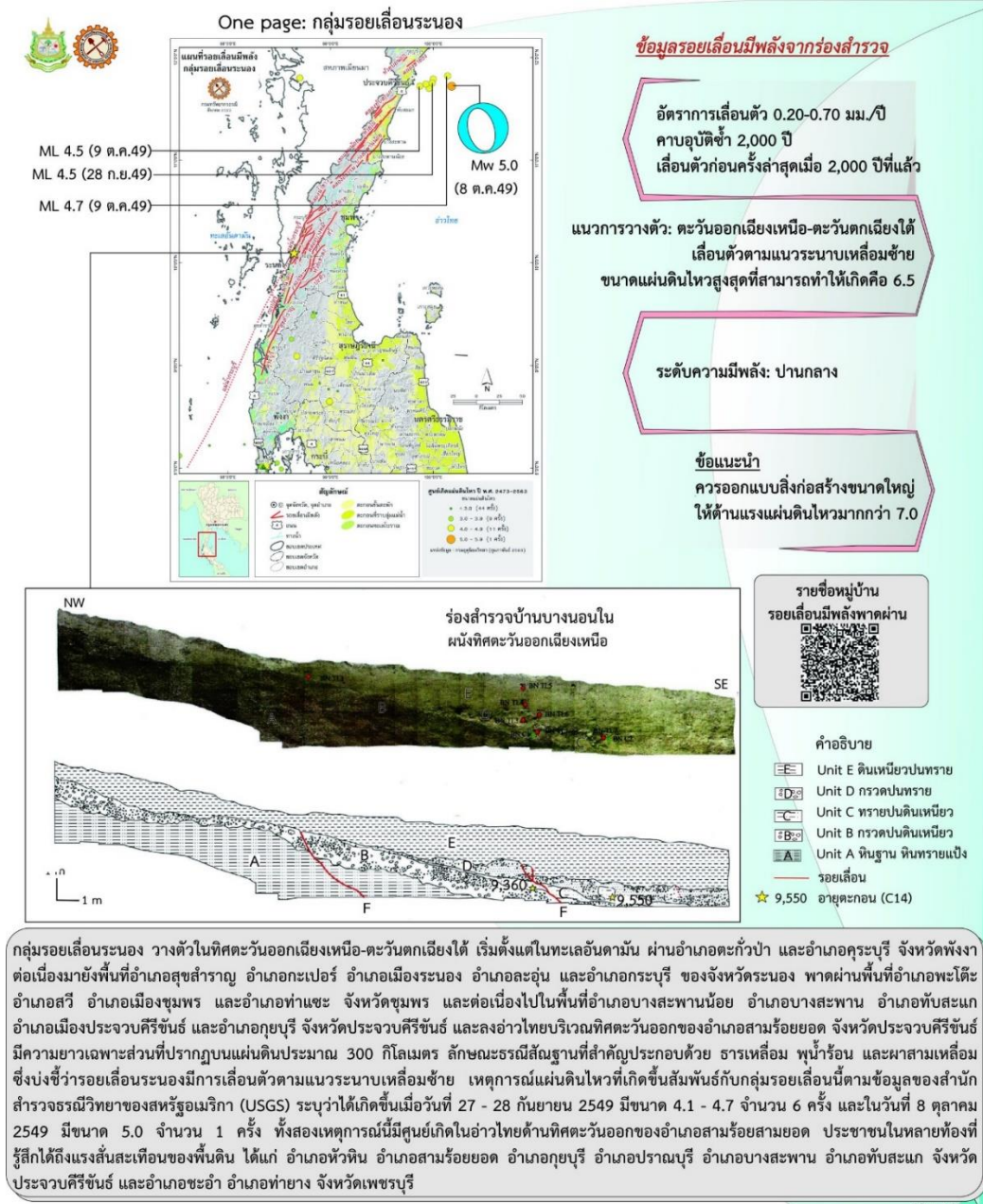
$$\text{เมื่อ Net area} = \text{Area} - \text{Background}$$

$$\text{Net area} = 3928 - 196 = 3732 \text{ cps}$$

$$\text{จะได้ว่า Activity (Bq)} = \frac{3732}{(21600)(0.0011)\left(\frac{46.1}{100}\right)}$$

$$\text{Activity} = 340.72 \text{ Bq}$$

ภาคผนวก ค คุณลักษณะเฉพาะของกลุ่มรอยเลื่อนระนองและรายงานแผ่นดินไหว
ภาคผนวก ค 1 คุณลักษณะเฉพาะของกลุ่มรอยเลื่อนระนอง (กรมทรัพยากรธรณี, 2563)



มีรายงานแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในอ่าวไทย เมื่อวันที่ 27-28 กันยายน 2549 มีขนาด 4.1-4.7 จำนวน 6 ครั้ง และในวันที่ 8 ตุลาคม 2549 มีขนาด 5.0 จำนวน 1 ครั้ง ประชาชนในหลายพื้นที่รู้สึกได้ถึงแรงสั่นสะเทือนของพื้นดิน ได้แก่ อำเภอหัวหิน อำเภอสามร้อยยอด อำเภอกุยบุรี อำเภอปราณบุรี อำเภอบางสะพาน อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และอำเภอชะอำ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี

นอกจากนี้ยังเกิดแผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2555 จุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดระนอง ขนาด 4.0 ประชาชนรู้สึกสั่นไหวในพื้นที่ ตำบลเขานิวเวรน์ ตำบลบางนอน อำเภอเมือง จังหวัดระนอง (สำนักงานเฝ้าระวังแผ่นดินไหว, 2560)

ภาคผนวก ง ข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง ช่วงปี 2559 ถึง 2565

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)	ขนาด (magnitude)	ความลึก (กิโลเมตร)	เฟส (สถานี)	บริเวณ
20/03/2559	22:04:20	9.48	98.83	3.3	5	11	ตำบลปากฉลุย อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
25/03/2559	18:24:31	7.93	98.50	2.4	4	5	ในทะเล ใกล้จังหวัดภูเก็ต
29/03/2559	2:10:02	9.52	98.83	2.4	1	8	อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
31/03/2559	9:26:11	7.92	98.54	2.4	4	7	ในทะเล ใกล้เกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา
1/04/2559	2:45:00	9.51	98.86	2.3	2	9	อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
8/05/2559	11:06:39	7.94	98.52	2.4	2	7	ในทะเล ใกล้เกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา
18/06/2559	5:17:29	7.99	98.52	3.1	5	8	ในทะเล ใกล้เกาะยาวใหญ่ จังหวัดพังงา
6/01/2560	17:45:08	18.67	97.68	2.3	10	8	ประเทศพม่า
14/02/2560	2:53:09	17.89	97.61	2.3	1	17	ประเทศพม่า
6/04/2560	18:24:43	10.03	99.16	2.9	1	7	อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร
1/05/2560	15:43:03	7.18	100.74	2.4	2	4	จังหวัดสงขลา
24/05/2560	12:58:42	8.05	98.48	3.4	2	6	อำเภอเกาะยาว จังหวัดพังงา
3/02/2562	8:28:14	9.43	99.19	2.3	10	7	อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
5/10/2562	19:09:52	7.66	97.90	2.6	10	12	บริเวณทะเลอันดามัน
26/01/2563	0:41:54	8.85	98.38	2.1	1	10	อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา
26/01/2563	0:42:49	8.86	98.38	2.2	1	9	อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา
6/02/2563	18:10:32	11.46	99.41	2.8	3	10	อำเภอบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
6/09/2563	06:12:05	14.45	96.60	3.9	10	33	บริเวณทะเลอันดามัน
11/11/2563	18:17:22	13.94	94.33	3.6	10	13	บริเวณทะเลอันดามัน

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)	ขนาด (magnitude)	ความลึก (กิโลเมตร)	เฟส (สถานี)	บริเวณ
8/02/2564	22:40:35	13.73	96.23	4.0	10	22	บริเวณทะเลอันดามัน
16/02/2564	16:01:39	12.52	98.12	3.5	8	9	บริเวณทะเลอันดามัน
22/04/2564	02:34:47	10.48	94.63	4.5	10	21	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
22/04/2564	02:39:09	10.56	94.62	4.3	10	11	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
22/04/2564	02:48:29	10.52	94.34	3.9	10	8	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
22/04/2564	04:33:14	10.62	94.29	4.3	10	9	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
22/04/2564	07:20:22	10.64	94.21	4.0	10	9	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
25/05/64	20:36:19	12.133	95.40	3.8	10	11	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
4/06/2564	05:43:48	9.24	96.34	2.7	10	6	หมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย
19/06/2564	05:53:43	10.25	94.38	4.0	113	17	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
8/08/2564	03:44:12	9.61	93.66	3.9	10	16	หมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย
31/08/2564	01:54:46	10.05	94.05	4.6	15	16	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
15/09/2564	01:47:11	10.23	93.09	4.1	78	42	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
16/09/2564	05:18:33	8.38	97.99	3.5	9	15	บริเวณทะเลอันดามัน
22/09/2564	01:14:52	9.66	93.68	4.8	10	25	หมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย
7/11/2564	07:02:19	11.74	92.64	3.9	48	10	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
8/11/2564	06:58:26	9.76	93.64	5.0	20	16	หมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย
22/12/2564	04:08:33	10.12	93.99	4.8	10	24	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
30/01/2565	06:46:26	10.56	93.78	4.2	10	17	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
7/02/2565	01:18:43	9.84	93.98	4.3	10	14	หมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)	ขนาด (magnitude)	ความลึก (กิโลเมตร)	เฟส (สถานี)	บริเวณ
7/04/2565	16:38:11	10.08	94.08	4.2	10	11	หมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย
16/04/2565	05:23:07	11.39	93.64	4.0	10	14	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
9/05/2565	23:10:24	10.51	94.21	4.1	10	18	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย
10/05/2565	05:06:31	10.03	93.75	4.0	10	21	หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย

หมายเหตุ

1. เฟส หมายถึง จำนวนสถานีที่ใช้ในการคำนวณแผ่นดินไหว

2. ข้อมูลถึงวันที่ 10 พฤษภาคม 2565

3. ข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณทะเลอันดามัน, หมู่เกาะอันดามัน ประเทศอินเดีย และหมู่เกาะนิโคบาร์ ประเทศอินเดีย เลือกเฉพาะข้อมูลที่มี

Direction ใกล้เคียงกับกลุ่มรอยเลื่อนระนอง ในรัศมีไม่เกิน 600 km

4. ผู้ให้ข้อมูล นายปิยะ ทรัพย์ทวี โทรศัพท์ 0851234563

5. สอบถามข้อมูลแผ่นดินไหวเพิ่มเติมได้ที่กองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา โทรศัพท์ 02 3994547 (ตลอด 24 ชั่วโมง)

ภาคผนวก จ การเผยแพร่งานวิจัย

O17

ประเมินปริมาณสารกัมมันตรังสีบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง

ฉิรวีทย์ คงสอนหมาน^{1*} พวงทิพย์ แก้วทับทิม² และสุนารี บดีพงค์³

บทคัดย่อ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้อาศัยและสัมผัสสารรังสีที่มีในธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีแหล่งกำเนิดทั้งภายในโลกและมาจากนอกโลก โดยจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามสภาพธรณีวิทยา โดยพื้นที่ใกล้ภูเขาหินแกรนิตจะมีปริมาณกัมมันตภาพรังสีสูง เนื่องจากในหินแกรนิตมีปริมาณเรเดียมและยูเรเนียมสูง หรือบริเวณใกล้รอยเลื่อน ก็จะมีชั้นหิน ชั้นดินที่มีการผุพัง เกิดรอยแยกทำให้เกิดช่องว่างในชั้นหินและชั้นดิน เพราะธรณีสัณฐานเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีโอกาสได้รับสารกัมมันตรังสีเพิ่มเข้าสู่ร่างกาย นั่นก็คือก๊าซเรดอนที่อยู่ตามรอยแยกและบริเวณความไม่ต่อเนื่องของเปลือกโลก ซึ่งสลายตัวจากเรเดียมในธรรมชาติ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณสารกัมมันตรังสีบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง รอยเลื่อนเส้นนี้มีความยาว 20.65 km โดยทำการเก็บตัวอย่างดินใกล้บริเวณรอยเลื่อน 10 ตัวอย่าง และตำแหน่งแบคกราวด์ 2 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์โดยใช้หัตถวิธีซีซันเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี ผลการวิเคราะห์พบว่ามีโคบอลต์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ย $286.31 \pm 0.78 \text{ Bq/kg}$, $109.01 \pm 0.66 \text{ Bq/kg}$ และ $1451.73 \pm 0.65 \text{ Bq/kg}$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก นอกจากนี้คำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียมได้ 553.98 Bq/kg ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย 1.50 ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย 2.27 อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ 260.00 nGy/hr พบว่ามีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกและสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ UNSCEAR ที่ 370 Bq/kg , $1, 1$ และ 57 nGy/hr ตามลำดับ แต่เมื่อประเมินปริมาณรังสีซึ่งผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี พบว่ามีค่า 0.32 mSv/y ซึ่งต่ำกว่า 0.48 mSv/y ที่ UNSCEAR กำหนด ซึ่งประเมินได้ว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

คำสำคัญ : กัมมันตภาพจำเพาะ กัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ ปริมาณรังสีซึ่งผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี

¹ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

² ผศ.ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

³ ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี 94000

¹ Graduate Student, Master of Science Program in Applied Physics, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

² Asst. Prof. Dr., Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

³ Dr., Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000, Thailand

*Corresponding author: Tel. 082-2806166. Email address: 6320320801@email.psu.ac.th

Assessment of Radioactive Dose in Soil from Ranong Fault Area, Ranong Province

Tirawit Kongsonman^{1*} Pungtip Kaewtubtim² and Sunaree Bordeepong³

Abstract

In the daily life of humans and creatures are exposed to natural radiation all the time. Which has origins both within the world and from outside the world. There will be different amounts according to geological conditions. The area near the granite mountain will have a high amount of radioactivity. Because of the high content of radium and uranium in granite or near the faults will have a weathered rock layer and soil layer which leads to the gaps between the rock layer and soil layer. Because the tectonics have changed. There is a chance to get more radioactive material into the body. That's radon gas which is located along the fissures and tectonic discontinuities from radium's decay in nature. The objective of this research was to assess the amount of radioactive dose around the Ranong fault area, Ranong province, this fault line has a 20.65 km long. Soil samples were collected near the fault area, 10 samples and 2 samples in the background location. The analysis was using a high-purity germanium (HPGe) detector and gamma spectrometry analysis system. The analysis results show that the nuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K have an average specific activity of 286.31 ± 0.78 Bq/kg, 109.01 ± 0.66 Bq/kg and 1451.73 ± 0.65 Bq/kg, respectively, higher than the global average. In addition, the radium equivalent radioactivity was 553.98 Bq/kg, the external hazard index was 1.50, the internal hazard index was 2.27, the absorbed radiation dose rate in the air was 260.00 nGy/hr. The values were above the global average and above the UNSCEAR benchmark of 370 Bq/kg, 1, 1 and 57 nGy/hr, respectively. The annual external effective dose rate has been found to be 0.32 mSv/y, which is lower than the 0.48 mSv/y specified by the UNSCEAR, which is considered safe.

Keywords : Specific activity, Radium equivalent activity, External hazard index, Internal hazard index, Absorbed dose rate in air, Annual external effective dose rate

บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้อาศัยและได้รับรังสีที่มีในธรรมชาติอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีแหล่งกำเนิดทั้งรังสีภายในโลกและมาจากนอกโลก การรับเอาสารกัมมันตรังสีเข้าไปในร่างกายได้นั้นเกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ปฐมภูมิของอนุกรมกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในดิน หิน และทรายที่มีอยู่ในธรรมชาติ และอาจปะปนอยู่ในอากาศที่หายใจ อาหาร และน้ำ โดยสารกัมมันตรังสีส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่บริเวณทั่วไปของโลก พบอยู่ในดิน หิน น้ำ และอากาศ ซึ่งในดินส่วนใหญ่จะมาจากเรเดียม (^{226}Ra) ยูเรเนียม (^{238}U) ในอนุกรมยูเรเนียม (Uranium series) และทอเรียม (^{232}Th) ในอนุกรมทอเรียม (Thorium series) [1] รวมไปถึงนิวไคลด์ลูก (Daughter nuclide) และอนุภาคที่ได้จากการสลายตัวของอนุกรมกัมมันตรังสีเหล่านั้น นอกจากนี้ยังมีธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติตั้งแต่กำเนิดโลก คือโพแทสเซียม (^{40}K) โดยนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้จะมีปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันไปตามสภาพธรณีวิทยา ภูมิศาสตร์แตกต่างกันไป พื้นที่ใกล้ภูเขาหินแกรนิต ก็จะมีปริมาณสารกัมมันตรังสีสูง เนื่องจากในหินแกรนิตมีปริมาณเรเดียม ยูเรเนียมสูง หรือบริเวณใกล้รอยเลื่อน ก็จะมีชั้นหิน ชั้นดินที่มีการผุพังแตกและแยกออกจากกันเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน รอยแยกเหล่านั้นทำให้เกิดช่องว่างในชั้นดินและชั้นดิน เพราะธรณีสัณฐานเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีโอกาสได้รับกัมมันตรังสีเพิ่มเข้าสู่ร่างกาย นั่นก็คือ ก๊าซเรดอน (^{222}Rn) ที่มีอยู่ตามรอยแตกและบริเวณความไม่ต่อเนื่องของเปลือกโลก ซึ่งสลายตัวจากเรเดียมในธรรมชาติ (^{226}Ra) ที่อยู่ในอนุกรมยูเรเนียม (Uranium series)

ถ้าปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติมีมากเกินไป จะทำให้โอกาสที่มนุษย์ได้รับปริมาณโดสของรังสีแกมมามากเกินไป ซึ่งมีความอันตรายหากได้รับปริมาณที่มากเกินไป จึงมีการตรวจวัดปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติเพื่อคำนวณหาปริมาณโดสของรังสีแกมมาที่มนุษย์ได้รับ และเปรียบเทียบกับค่าโดสของรังสีแกมมามาตรฐานที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประชากรโลก (External dose) กำหนดโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์แห่งสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสีปรมาณู (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR) [2][3]

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี เรเดียม (^{226}Ra) ทอเรียม (^{232}Th) และโพแทสเซียม (^{40}K) ในตัวอย่างดิน 10 ตัวอย่าง บริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง ความยาว 20.65 km (บริเวณอ.เมือง ถึง อ.กะเปอร์) และตำแหน่ง Background อีก 2 ตัวอย่าง เนื่องจากบริเวณนี้ประกอบด้วยหินแกรนิต ยุคครีเทเชียส พบกระจายตัวเป็นเทือกเขาสูงที่ทอดตัวเป็นแนวยาวตลอดด้านตะวันออกของจังหวัด [4] จึงมีความน่าสนใจมากในการวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสี เรเดียม (^{226}Ra) ทอเรียม (^{232}Th) และโพแทสเซียม (^{40}K) ในตัวอย่างดินด้วยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) และนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์กัมมันตรังสีดังกล่าวใช้ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม ค่าดัชนีวัดความเสี่ยงรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี เพื่อใช้ประเมินความปลอดภัยจากการได้รับนิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติของประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว

วิธีดำเนินการ

วัสดุอุปกรณ์

1. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม (^{137}Cs) และโคบอลต์ (^{60}Co)
2. สารมาตรฐานดิน (IAEA-375) จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

3. หัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel Analyzer: MCA)
4. โปรแกรมวิเคราะห์ Gamma Acquisition Analysis 2000
5. ตัวอย่างดินบริเวณรอยเลื่อนระนอง (ความยาว 20.65 km) จำนวน 10 ตัวอย่าง และบริเวณ Background 2 ตัวอย่าง
6. ภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 cm สูง 7.5 cm ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างดิน
7. เครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System: GPS)
8. ครกบดตัวอย่าง
9. ตะแกรงร่อนใช้สำหรับร่อนดินที่บดแล้วขนาด 250 μm
10. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ความละเอียด 4 ตำแหน่ง
11. อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างดิน
12. เทปกาว

วิธีการวิจัย

1. วิธีการเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน
 - 1.1 เก็บและเตรียมตัวอย่างดินสำหรับวิเคราะห์ บริเวณรอยเลื่อนระนอง (ความยาว 20.65 km) บริเวณที่เก็บนั้นอยู่ใกล้บริเวณพื้นที่ชุมชน จำนวน 10 ตัวอย่าง และตำแหน่ง Background 2 ตัวอย่าง
 - 1.2 นำตัวอย่างดินที่เก็บมาตากให้แห้งจนสนิท และนำมาบดในครกบดสารให้ละเอียด แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 μm
 - 1.3 จากนั้นบรรจุใส่ภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 cm สูง 7.5 cm แล้วพันด้วยเทปกาวปิดให้สนิท และนำไปเก็บเป็นระยะเวลา 3-4 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดสมดุลทางกัมมันตภาพรังสี (Secular equilibrium) ในตัวอย่างดิน
2. การตรวจและวิเคราะห์รังสีแกมมา (Gamma spectrometry)
 - 2.1 หลังจากเตรียมอย่างดินเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างไปทำการตรวจวัดและวิเคราะห์โดยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel Analyzer: MCA) ใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานชนิดซีเซียม (^{137}Cs) และโคบอลต์ (^{60}Co) เป็นตัวปรับเทียบพลังงานของหัววัดและใช้สารมาตรฐานดิน (IAEA-375) จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติในการวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างดิน 12 ตัวอย่าง เป็นเวลา 21,600 s
 - 2.2 เมื่อทำการวัดตัวอย่างดินเสร็จ นำมาวิเคราะห์ที่คัพพลังงาน (Photo peak) จากสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมา โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ Gamma Acquisition Analysis 2000 โดยในการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีของเรเดียม (^{226}Ra) และทอเรียม (^{232}Th) จะใช้วิธีวัดแบบทางอ้อม โดยตรวจวัดนิวไคลด์ลูกที่อยู่ในอนุกรมกัมมันตรังสีเดียวกันและเกิดสมดุลกัมมันตภาพรังสี
 - 2.3 สำหรับค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{226}Ra คำนวณจากพื้นที่ใต้คัพพลังงานที่สนใจคือ บิสมัท (^{214}Bi) ที่พลังงาน 609.32 keV สำหรับกัมมันตภาพรังสีของ ^{232}Th คำนวณจากพื้นที่ใต้คัพพลังงานของ ^{208}Tl ที่พลังงาน 583.2 keV ส่วนกัมมันตภาพรังสีของ ^{40}K คำนวณจากพื้นที่ใต้คัพพลังงานรังสีแกมมาของตัวเองที่พลังงาน 1460.83 keV คำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ได้จากสมการ (1) และคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะ (Specific activity) ของนิวไคลด์กัมมันตรังสีได้จากสมการ (2)

$$\text{Activity (Bq / kg)} = \frac{\text{Net area}}{(\text{Live time})(\text{Efficiency})(\%a)} \quad (1)$$

$$\text{Specific Activity (Bq / kg)} = \frac{\text{Activity}}{\text{Sample Weight}} \quad (2)$$

โดย Activity คือ กัมมันตภาพนิวไคลด์กัมมันตรังสี (Bq/kg), Net area คือพื้นที่พิคพลังงานรังสีแกมมา, Live time คือ เวลาที่ใช้ในการวัด (s), Efficiency คือ ประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมาของนิวไคลด์นั้น (cps/Bq), %a คือ อัตราการปล่อยพลังงานของรังสีแกมมา ณ พลังงานต่าง ๆ

2.4 จากนั้นนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มาคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Radium equivalent activity: R_{eq}) ได้จากสมการ (3) [5], ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (External hazard index: H_{ex}) ได้จากสมการ (4) [6], ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย (Internal hazard index: H_{in}) ในสมการ (5) [7], อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rate in air: D) ในสมการ (6) [8] และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (Annual external effective dose rate: AED_{out}) ได้ในสมการ (7) [9]

$$R_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1.43C_{\text{Th}} + 0.077C_{\text{K}} \quad (3)$$

เมื่อ C_{Ra} , C_{Th} และ C_{K} คือค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K (Bq/kg) โดยค่าสูงสุดของ R_{eq} จะต้องไม่เกิน 370 Bq/kg [3]

$$H_{\text{ex}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810} \quad (4)$$

เมื่อ H_{ex} คือ ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย ซึ่งค่า H_{ex} ที่ปลอดภัยต้องมีค่าน้อยกว่า 1 [3]

$$H_{\text{in}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{185} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810} \quad (5)$$

เมื่อ H_{in} คือ ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย ซึ่งค่า H_{in} ที่ปลอดภัยต้องมีค่าน้อยกว่า 1 [3]

$$D(\text{nGy / hr}) = 0.461C_{\text{Ra}} + 0.623C_{\text{Th}} + 0.0414C_{\text{K}} \quad (6)$$

เมื่อ D คือ ค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ โดยมีค่าเฉลี่ยทั่วโลก 57 nGy/h [3]

$$AED_{\text{out}}(\text{mSv / y}) = D(\text{nGy / hr}) \times 8760(\text{hr}) \times 0.2 \times 0.7(\text{Sv / Gy}) \times 10^{-5} \quad (7)$$

เมื่อ AED_{out} (Annual external effective dose rate) คือ ปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี, D คือ อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนแกมมาในอากาศ, 8760 คือ จำนวนเวลา (hr) ใน 1 ปี, 0.2 คือ ค่าปริมาณรังสียังผลที่บุคคลทั่วไปได้รับหรือใช้เวลาออกอาคารบ้านเรือนประมาณ 20%, 0.7 คือ Dose conversion factor (Sv/Gy)

2.5 จากนั้นนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม (Radium equivalent activity: R_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (External hazard index: H_{ex}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย (Internal hazard index: H_{in}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (Absorbed dose rate in air: D) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (Annual external effective dose rate: AED_{out}) มาประเมินความปลอดภัยจากการได้รับนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติและเทียบกับค่าเฉลี่ยทั่วโลกซึ่งกำหนดโดยคณะกรรมการวิทยาศาสตร์แห่งสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสีปริมาณ (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีเรเดียม (^{226}Ra), ทอเรียม (^{232}Th) และโพแทสเซียม (^{40}K) ในตัวอย่างดินด้วยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) ต่อกับ

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (Multichannel Analyzer: MCA) บริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง (ความยาว 20.65 km) จำนวน 10 ตัวอย่าง และตำแหน่ง Background 2 ตำแหน่ง เพื่อคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน บริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง (ความยาว 20.65 km)

Sample	Sample position	Specific activity (Bq/kg)		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
RN1	บ.ราชกรูด ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	340.72 ± 0.86	126.74 ± 0.70	2419.38 ± 0.80
RN2	บ.นกงาง ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	349.57 ± 0.87	63.12 ± 0.52	2017.60 ± 0.75
RN3	บ.ห้วยปลิง ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	462.78 ± 0.99	121.06 ± 0.69	1363.29 ± 0.65
RN4	บ.คลองช้างแหก ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	279.64 ± 0.78	70.79 ± 0.54	866.05 ± 0.57
RN5	บ.คลองช้างแหก ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	301.28 ± 0.81	123.85 ± 0.70	1159.36 ± 0.62
RN6	บ.คลองของ ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	239.01 ± 0.73	112.19 ± 0.67	285.50 ± 0.46
RN7	บ.คลองของ ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	167.25 ± 0.63	100.29 ± 0.63	417.40 ± 0.48
RN8	บ.คลองของ ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง	428.27 ± 0.95	106.61 ± 0.65	2285.74 ± 0.79
RN9	บ.ม่วงกลวง ต.ม่วงกลวง อ.กะเปอร์ จ.ระนอง	272.98 ± 0.78	121.11 ± 0.69	714.19 ± 0.54
RN10	บ.ม่วงกลวง ต.ม่วงกลวง อ.กะเปอร์ จ.ระนอง	242.67 ± 0.74	110.35 ± 0.66	428.69 ± 0.49
BG1	บ้านท่าฉาง ตำบลหงาว อำเภอเมือง จ.ระนอง	229.79 ± 0.72	140.79 ± 0.74	3629.07 ± 0.94
BG2	วัดควนไทรงาม ต.นาคา อ.สุขสำราญ จ.ระนอง	121.79 ± 0.55	111.20 ± 0.66	1834.50 ± 0.72
Average		286.31 ± 0.78	109.01 ± 0.66	1451.73 ± 0.65
World[3]		33	45	420

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน จำนวน 12 ตัวอย่าง บริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง โดยเส้นนี้มีความยาว 20.65 km มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra จะสูงที่สุดที่ตัวอย่าง RN8 บ.คลองของ ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง 428.27 ± 0.95 Bq/kg และต่ำสุดที่ BG2 (Background) วัดควนไทรงาม ต.นาคา อ.สุขสำราญ จ.ระนอง 121.79 ± 0.55 Bq/kg ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{232}Th มีค่าสูงที่สุดที่ตัวอย่าง BG1 (Background) บ้านท่าฉาง ตำบลหงาว อำเภอเมือง จ.ระนอง 140.79 ± 0.74 Bq/kg มีค่าต่ำสุดที่ RN2 บ.นกงาง ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง 63.12 ± 0.52 Bq/kg และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{40}K มีค่าสูงที่สุดที่ BG1 (Background) 3629.07 ± 0.94 Bq/kg และต่ำสุดที่ RN6 บ.คลองของ ต.ราชกรูด อ.เมือง จ.ระนอง 285.50 ± 0.46 Bq/kg พบว่าในแต่ละตำแหน่งและ Background มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะของแต่ละตัวอย่างและค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก นั่นก็คือ 33 Bq/kg, 45 Bq/kg และ 420 Bq/kg ตามลำดับ [3]

นำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มาใช้คำนวณหาค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (R_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย (H_{in}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกประจำปี (AED_{out}) โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยทั่วโลกจาก UNSCEAR [3] ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่ากัมมันตภาพสมมูลเรเดียม (R_{eq}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย (H_{in}) อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) และค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out})

Sample	R_{eq} (Bq/kg)	H_{in}	H_{ex}	D (nGy/hr)	AED_{out} (mSv/y)
RN1	708.25	2.83	1.91	336.19	0.41
RN2	595.19	2.55	1.61	284.01	0.35
RN3	740.87	3.25	2.00	345.20	0.42
RN4	447.56	1.96	1.21	208.87	0.26
RN5	567.66	2.35	1.53	264.05	0.32
RN6	421.43	1.78	1.14	191.90	0.24
RN7	342.80	1.38	0.93	156.86	0.19
RN8	756.73	3.20	2.04	358.48	0.44
RN9	501.16	2.09	1.35	230.86	0.28
RN10	433.47	1.83	1.17	198.36	0.24
BG1	710.56	2.54	1.92	343.89	0.42
BG2	422.06	1.47	1.14	201.37	0.25
Average	553.98	2.27	1.50	260.00	0.32
UNSCEAR [3]	370	1	1	57	0.48

จากข้อมูลในตารางที่ 2 ซึ่งได้มาจากการนำค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มาใช้คำนวณ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียมมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกและสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ UNSCEAR ที่ 370 Bq/kg [3] โดยมีค่าสูงสุดที่ RN8 756.73 Bq/kg และต่ำสุดที่ RN7 342.80 Bq/kg ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น

สำหรับค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย (H_{in}) และค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (H_{ex}) พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.27 และ 1.50 ตามลำดับ มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ UNSCEAR กำหนดมีค่าไม่เกิน 1 โดย H_{in} และ H_{ex} มีค่าสูงสุดที่ RN3 และ RN8 คือ 3.25 และ 2.04 ตามลำดับ และต่ำสุดที่ RN7 คือ 1.38 และ 0.93 ตามลำดับ

ส่วนอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) พบว่าทุกตำแหน่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ UNSCEAR ที่ 57 nGy/hr [3] และนำค่าอัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ (D) มาคำนวณหาค่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (AED_{out}) ปรากฏว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.32 mSv/y พบว่าปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปีต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ UNSCEAR กำหนดที่ 0.48 mSv/y [3] ถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินกัมมันตภาพรังสีบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง และบริเวณตำแหน่ง Background ด้วยหัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ (HPGe) และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรี (Gamma spectrometry) เพื่อหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างดิน พบว่ามีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก อันเนื่องมาจากบริเวณดังกล่าวมีการทำเกษตรกรรม ซึ่งอาจทำให้มี ^{40}K สูง ในบางพื้นที่ที่อยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนระนองและหินแกรนิต ยุคครีเทเชียส พบกระจายตัวเป็นเทือกเขาสูงที่ทอดตัวเป็นแนวยาวตลอดด้านตะวันออกของจังหวัด ทำให้มีปริมาณ ^{226}Ra และ ^{232}Th

สูง เมื่อนำไปคำนวณประเมินค่าดัชนีบ่งชี้ความเป็นอันตรายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติ นั่นก็คือค่ากัมมันตภาพรังสีสมมูลเรเดียม, ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย, ค่าดัชนีความเสี่ยงจากการได้รับรังสีภายในร่างกาย อัตราปริมาณรังสีดูดกลืนในอากาศ พบว่ามีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลกและเกณฑ์มาตรฐานของ UNSCEAR จึงได้นำไปคำนวณหาปริมาณรังสียังผลที่ได้รับจากภายนอกจากร่างกายประจำปี พบว่ามีค่า 0.32 mSv/y ซึ่งต่ำกว่า 0.48 mSv/y ที่ UNSCEAR กำหนดซึ่งประเมินได้ว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประเภททุนวิจัยตามยุทธศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2564 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนยกเว้นค่าธรรมเนียม และสถานที่สำหรับการวิจัย จากสาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสงค์ เกษราธิคุณ, หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว, เจนจิรา งามเพียร และอุดร ยังช่วย. (2552). “การประเมินค่ากัมมันตรังสีในดินบริเวณจังหวัดตรัง” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ครั้งที่ 11. หอประชุมมหิศร ไทยพาณิชย์ปาร์ค, กรุงเทพฯ, 2-3 กรกฎาคม 2552, ES02-2-ES02-7.
- [2] UNSCEAR. (1993). “Exposure from natural sources of radiation” United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [3] UNSCEAR. (2000). “Sources effects and risk of ionizing radiation” United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [4] กรมทรัพยากรธรณี. (2550). “การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดระนอง” พิมพ์ครั้งที่ 1, ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไอเดีย สแควร์, กรุงเทพฯ, 10-17.
- [5] Beretka, J. and Mathew, P. J. (1985). “Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products” *Health Physics*. 48, 87-95.
- [6] Veiga, R., Sanches, N., Anjos, R. M., Macario, K., Bastos, J., Iguatemy, M., Aguiar, J. G., Santos, A. M. A., Mosquera, B., Carvalho, C., Baptista Filho, M., and Umisedo, N. K., (2006). “Measurement natural radioactivity in Brazilian beach sands” *Radiation Measurements*. 41, 189-196.
- [7] Abdulrahman, K., Abdelhakim H. B. and Benamar D. (2013). “Radioactivity investigation of sand from the northern region of Tlemcen-Algeria, using well-shape NaI(Tl) Detector” *Civil and Environmental Research*. 3(12), 171-179.
- [8] Singh, S., Rani, A. and Mahajan, R. K. (2005). “ ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry” *Radiation Measurements*. 39, 431-439.
- [9] Faweya E. B. and Oniya E. O. (2012). “Radiological safety assessment and physico-chemical characterization of soil mixed with mine tailings used as building materials from Oke-Kusa mining sites in Ijero, Nigeria” *Nature and Science*. 10(3), 64-71.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายถิรวิทย์ คงสอนหมาน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6320320801

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2562

ทุนการศึกษา

1. ทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ทุนสนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษา จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ถิรวิทย์ คงสอนหมาน, พวงทิพย์ แก้วทับทิม และสุนารี บดีพงค์. 2565. ประเมินปริมาณสารกัมมันตรังสีบริเวณรอยเลื่อนระนอง จังหวัดระนอง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 33 ประจำปี 2565. โรงแรมทวินโลตัส, นครศรีธรรมราช, 22-23 สิงหาคม 2565, 163-170.