สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วิทยานิพนธ์ งานวิจัย
Vtls = 120842

รายงานการวิจัยนักศึกษาระดับปริญญาตรี
เรื่อง
การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์

Measuring the Concentration of Radon (Rn-222) in Ground Water Using Ionization Chamber

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กฤษณะ สุขเสนา
ปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ

Mx 119342

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วันรับ.....
วันลงทะเบียน 15 ธ.ค. 2559
เลขทะเบียน วจ. 248558
เลขเรียกหนังสือ 628.114 ก198ก
2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558)

คณะกรรมการสอบได้พิจารณาโครงงานวิจัยฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามได้

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง) (อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์) (ประธานการควบคุมโครงงานฟิสิกส์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ วิษณุศาสตร์ อาจโยธา) (กรรมการควบคุมโครงงานฟิสิกส์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ พิริยะ ปราณีกิจ) (อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์)

..... เลขานุการ
(อาจารย์ ปริย นิลแสงรัตน์) (อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อนุมัติให้รับโครงงานวิจัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง)
หัวหน้าโปรแกรม/สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญะโพธิ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
วันที่ 17 เดือน ก.ย. พ.ศ. 58

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

รายงานการวิจัยนักศึกษาระดับปริญญาตรี
เรื่อง
การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์

Measuring the Concentration of Radon (Rn-222) in Ground Water Using Ionization Chamber

กฤษณะ สุขเสนา
ปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558)

รายงานการวิจัยนักศึกษาระดับปริญญาตรี
เรื่อง
การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์

Measuring the Concentration of Radon (Rn-222) in Ground Water Using Ionization Chamber

กฤษณะ สุขเสนา
ปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558)

คณะกรรมการสอบได้พิจารณาโครงงานวิจัยฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามได้

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง) (อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์) (ประธานการควบคุมโครงงานฟิสิกส์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ วิษณุศาสตร์ อาจโยธา) (กรรมการควบคุมโครงงานฟิสิกส์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ พิริยะ ปราณีกิจ) (อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์)

..... เลขานุการ
(อาจารย์ ปริย นิลแสงรัตน์) (อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อนุมัติให้รับโครงงานวิจัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร เชาว์วันกลาง)
หัวหน้าโปรแกรม/สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญะโพธิ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยเรื่อง การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์ ซึ่งรายงานการวิจัยเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้วิชาฟิสิกส์ ทำให้ผู้จัดทำได้นำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำความรู้ตลอดจนรูปแบบวิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เกิดกระบวนการการเรียนรู้ที่ถูกต้องตลอดมาในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ วิษณุศาสตร์ อาจโยธาอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนความเอาใจใส่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิจิตร เชาว์วันกลาง อาจารย์ประจำวิชาโครงงานฟิสิกส์ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำรูปแบบวิธีการดำเนินงานวิจัยจนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำและอบรมสั่งสอนสิ่งที่ดีงามแก่ศิษย์มาจนตลอดจนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณสาขาวิชา ภูมิศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้โปรแกรม ArcGIS ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนตำบลเขวาใหญ่และตำบลโคกพระ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งน้ำบาดาลและข้อมูลแผนที่ในการเดินทาง ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเทศบาลตำบลขามเรียง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งน้ำบาดาลและข้อมูลแผนที่ในการเดินทาง ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงงานวิจัยในครั้งนี้จนประสบผลสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ โปรแกรมฟิสิกส์ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังลังใจตลอดมาในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำวิจัย ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดามารดา ที่ให้ความเมตตา ให้กำลังใจ เวลาและกำลังทรัพย์สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา คุณค่าและเกียรติภูมิใดๆ อันพึงมีในโครงงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบกตเวทิคุณ แก่บิดามารดาและบูรพาจารย์ทุกท่าน

นายกฤษณะ สุขเสนา

นายปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ชื่อเรื่อง การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์
ผู้วิจัย นายกฤษณะ สุขเสนา
นายปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์วิษณุศาสตร์ อาจโยธา
โปรแกรม / คณะ วิชาฟิสิกส์ / วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปีที่พิมพ์ 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในตัวอย่างน้ำบาดาล เขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวนทั้งหมด 43 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค Ionization chamber ด้วยเครื่องวัด Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX และทำการวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำบาดาลที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกาย

จากการวิจัยพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำบาดาล อยู่ในช่วง 3.02 – 21.87 Bq/l โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาสำหรับเรดอนในน้ำบริโภค ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l และในน้ำอุปโภค ควรมีค่าไม่เกิน 150 Bq/l จากผลการตรวจวัดในตัวอย่างน้ำบาดาลสำหรับอุปโภคทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับน้ำบริโภคมีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.87 Bq/l อยู่ที่บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ตำบลเขวาใหญ่ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.02 Bq/l อยู่ที่บ้านเลขที่ 3 หมู่ 13 บ้านเหล่า ตำบลโคกพระ ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการวิจัยพบว่าค่าที่มากที่สุด อยู่ที่บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่ มีค่า 21.87 Bq/l ซึ่งมีค่าเรดอนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำบาดาลมีปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานที่ใช้ในการบริโภค ในงานวิจัยนี้ยังได้วิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำบาดาลที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี จะมีค่าสูงสุดที่เกินมาตรฐานอยู่ที่ บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่ มีค่า 0.16 mSv/y. โดยค่ามาตรฐานควรมีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y.

Research Title Measuring the Concentration of Radon (Rn-222) in Ground Water Using Ionization Chamber
Authors Mr. Kitsana Suksena
Mr. Pradchayaphong Tummaprasert
Advisors Mr. Patapong Panpiboon
Co-Advisors Mr. Vitsanusat Atyotha
Department / Faculty Physics / Science and Technology
University RajabhatMahasarakham University
Year 2015

ABSTRACT

This research have measure dose activities of Radon in 43 water samples in ground water at Amphur Kuntharawichai, Mahasarakham Province using techniques Ionization chamber by Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX and analyzed for the risks associated consumption and intake ground water Radon gas is mixed into the body.

Research found that dose radioactivity of radon contained in the ground water sample in the range 3.02 – 21.87 Bq/l. Compared to the standard of United State Environmental Protection Agency requires that the specific activities of Radon. The drinking water should not exceed 11 Bq/l and water supply should not exceed 150 Bq/l. From measurements in all samples water supply there have lower than the standard amount. For drinking water highest value at 22 Moo 8 Ban Kui chaug Tambon Khao Yai were 21.87 Bq/l and lower value at 3 Moo 13 Ban Lao Tambon Khokphra were 3.02 Bq/l. Found that the highest value at 22 Moo 8 Ban Kui chaug Tambon Khao Yai were 21.87 Bq/l. In this research also evaluates the size radiation risks for residents who use the water for consumption all year round. Which default value size radiation risks for residents who use the water for consumption all year. There is exceeding the highest standards 22 Moo 8 Ban Kui chaug Tambon Khao Yai were 0.16 mSv/y. The standard should not exceed 0.1 mSv/y.

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ข
บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 สารกัมมันตรังสี 6
2.2 ยูเรเนียม 8
2.3 ทอเรียม 11
2.4 เรเดียม 13
2.5 เรดอน 15
2.6 การสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี 17
2.7 กฎการสลายตัวของนิวไคลด์ 21
2.8 กัมมันตภาพรังสี 23
2.9 ครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) และชีวิตเฉลี่ย (τ) 24
2.10 หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี 25
2.11 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium) 32

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12 ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต 35
2.13 การป้องกันรังสี 36
2.14 เครื่องวัดรังสีแบบแก็ส 37
2.15 Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX 39
2.16 น้ำบาดาล 43
2.17 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค 47
2.18 เกณฑ์มาตรฐานของเรดอนและเรเดียม 50
2.19 สมการการวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอน-222 (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกาย 50
2.20 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 50

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 56
3.1 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ 56
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 56

บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิเคราะห์ข้อมูล 65

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ผล และข้อเสนอแนะ 81
5.1 สรุปผล 81
5.2 วิจารณ์ผล 82
5.3 ข้อเสนอแนะ 82

บรรณานุกรม 83

ภาคผนวก 86
ภาคผนวก ก ผลการวิจัย 87
ภาคผนวก ข แสดงวิธีการคำนวณในงานวิจัย 91

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค การสร้าง radioactive contour map โดยโปรแกรม ArcGIS 10.1 97
ภาคผนวก ง แผนภาพทางธรณีวิทยา 115
ภาคผนวก จ ภาพแสดงการวิจัย 120
ภาคผนวก ฉ หนังสือขอความอนุเคราะห์ 125
ภาคผนวก ช การอ่านค่าความเข้มข้นจากโปรแกรม Atmos 32 128

ประวัติผู้วิจัย 131

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 หน่วยวัดรังสี 25
2.2 ค่าแฟกเตอร์น้ำหนักความอันตรายของรังสี (Radiation Weighting factor) 27
2.3 เป็นองค์การสากลในการป้องกันอันตรายจากรังสีได้รวบรวมผลกระทบจากรังสี ต่อร่างกาย..... 28
2.4 เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ 29
2.5 แสดงค่าแฟกเตอร์น้ำหนักของผลกระทบจากรังสีต่ออวัยวะต่างๆ (Tissue Weighting Factor) 29
2.6 เกณฑ์ระดับความแรงรังสีที่ปลอดภัย 30
2.7 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น 31
2.8 แสดงข้อมูลจำเพาะทางเทคนิค 41
2.9 ตารางแสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค 48
3.1 ตารางแสดงจุดที่จะไปเก็บตัวอย่างน้ำ 57
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองของตัวอย่างน้ำบาดาล 65
ก-1 ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวัด 89
ข-1 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 96
ง-1 ชนิดของหิน ความลึก และระดับน้ำปกติสำเจาะบ่อบาดาล 118
ง-2 คำอธิบายประกอบแผนภาพทางธรณี 119

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

1.1 แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 4
2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U 8
2.2 อนุกรมการสลายตัวของ ^{232}Th 13
2.3 อนุกรมการสลายตัวของ ^{226}Ra 15
2.4 อนุกรมการสลายตัวของ ^{222}Rn 17
2.5 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีอัลฟา 18
2.6 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีเบต้าลบ 19
2.7 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีเบต้าบวก 20
2.8 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแกมมา 21
2.9 กราฟการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี แสดงความสัมมันธ์ของจำนวนนิวไคลด์ (N) และระยะเวลาของการสลายตัว (t) 22
2.10 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์ 33
2.11 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์ 34
2.12 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี 35
2.13 วงจรพื้นฐานสำหรับเครื่องวัดรังสีแบบแก๊ส 37
2.14 กราฟของความสูงสัญญาณกับค่าโวลท์เทจคร่อมระหว่างหัววัดรังสีแบบแก๊ส แสดงถึงบริเวณอิออนไนเซชั่น แซมเบอร์ บริเวณสัดส่วน และบริเวณไกเกอร์ 38
2.15 Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX 39
2.16 แสดงอุปกรณ์ของ ATMOS 12 DPX 42
2.17 กราฟแสดงการกระจายของเวลาของ ATMOS 12 DPX 42
2.18 กราฟแสดงค่าพลังงานสเปกตรัมจาก ATMOS 12 DPX 43
2.19 ภาพตัดขวางแสดงระดับน้ำใต้ดิน เขตอิ่มอากาศ เขตอิ่มน้ำและระดับน้ำใต้ดินที่ลดลงในฤดูแล้ง 45
2.20 แสดงชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกขนาบด้วยชั้นหินกันน้ำทั้งด้านบนและด้านล่าง 46
2.21 การเจาะบ่อบาดาลลงไปในชั้นตะกอนแบบต่าง ๆ 47
3.1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 59

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.2 ออกพื้นที่สอบถามแหล่งน้ำบาดาล ณ บ้านเหล่าตำบลโคกพระ 59
3.3 แหล่งประปาบาดาลบ้านเขวาน้อย ตำบลเขวาใหญ่ 60
3.4 แหล่งน้ำบาดาลเจาะเอง บ้านโนนค้อ ตำบลโคกพระ 60
3.5 สอบถามแหล่งน้ำบาบาลจากผู้นำหมู่บ้าน บ้านโนนแสบง ตำบลขามเรียง 60
3.6 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 61
3.7 การวัดค่าต่างๆของตัวอย่างน้ำบาดาล 61
3.8 ลังพลาสติกโดยมีแผ่นอลูมิเนียมขั้นอยู่ระหว่างขวด 62
3.9 วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนด้วยเครื่องวัดชนิด Ionization Chamber ATMOS 12 DPX 63
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปน 69
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความเค็ม 69
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการนำไฟฟ้า 70
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับอุณหภูมิ 71
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่า pH 71
4.6 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 73
4.7 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตตำบลเขวาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 74
4.8 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 75
4.9 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 76
4.10 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 77
4.11 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตตำบลเขวาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 78
4.12 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 79

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.13 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 80
ก-1 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอนบ้านเหล่า หมู่ 10 ต.โคกพระ 87
ก-2 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอน บ้านเลขที่ 3หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ 87
ก-3 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอน 92 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่ 88
ก-4 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอน 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่ 88
ข-1 ชุดข้อมูลความเค็มกับค่าความเข้มข้น 93
ข-2 แสดงภาพเลือกคำสั่ง 94
ข-3 แสดงหน้าต่าง Bivariate 94
ข-4 แสดงหน้าต่าง Bivariate Correlations Options 95
ข-5 แสดงผล Correlations 95
ค-1 แสดงการเปิดโปรแกรม ArcGIS 10.1 97
ค-2 แสดงตัวโปรแกรม ArcGIS 10.1หลังจากการเปิดโปรแกรม ArcGIS 10.1ขึ้นมา 97
ค-3 ภาพแสดงเครื่องมือการนำเข้าข้อมูล 98
ค-4 แสดงตัวอย่างไฟล์ข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงเนื่องจากการ บริโภคน้ำที่มีRn-222ปะปนที่ทำขึ้นด้วยโปรแกรม Excel 98
ค-5 แสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีRn-222ปะปน 99
ค-6 แสดงตัวข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงที่นำเข้ามาแล้ว 99
ค-7 แสดงขั้นตอนกางลงพิกัดทางภูมิศาสตร์ในแทบเครื่องมือ Display XY Data 100
ค-8 แสดงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์ 100
ค-9 แสดงเมนู Export Data 101
ค-10 แสดงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์หลังจากทำการ Export Data ข้อมูลแล้ว 101
ค-11 แสดงจุดการนำเข้าข้อมูล Shape file 102
ค-12 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูล Shape file อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 102
ค-13 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบนพื้นที่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคามในโปรแกรม ArcGIS 103

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค-14 แสดงเครื่องมือในการ IDW 103
ค-15 แสดงวิธีการ IDW 104
ค-16 แสดงวิธีการ IDW 104
ค-17 แสดงวิธีการ IDW 105
ค-18 แสดงวิธีการ IDW 105
ค-19 แสดงภาพเมื่อ IDW เสร็จ 106
ค-20 แสดงการเปลี่ยนสีแผนที่ 106
ค-21 แสดงแผนที่ที่เปลี่ยนสีเสร็จแล้ว 107
ค-22 แสดงการเปลี่ยนแนวหน้ากระดาษ 107
ค-23 แสดงแผนที่ในแนวนอน 108
ค-24 แสดงเครื่องหมายบอกทิศให้กับแผนที่ 108
ค-25 แสดงมาตราส่วนสำหรับแผนที่ 109
ค-26 แสดงชื่อแผนที่ 110
ค-27 แสดงระดับความเข้มข้น 110
ค-28 แสดงวิธีการใส่แผนที่มุมบนซ้ายของแผนที่ 111
ค-29 แสดงแผนที่มุมบนซ้ายของแผนที่ 111
ค-30 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids 112
ค-31 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids 112
ค-32 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids 113
ค-33 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids 113
ค-34 แสดงแผนที่ที่สร้างด้วยโปรแกรม Arcgis 114
ค-35 แสดงการนำออกของแผนที่ 114
ง-1 แผนที่ทางธรณีวิทยาของตำบลโคกพระ 115
ง-2 แผนที่ทางธรณีวิทยาของตำบลเขวาใหญ่ 116
ง-3 แผนที่ทางธรณีวิทยาของตำบลขามเรียง 117
ง-4 ดัชนีแสดงถึงน้ำบาดาลที่หาได้ 118
จ-1 รูปการออกพื้นที่สอบถามแหล่งน้ำบาดาล 120
จ-2 รูปบ่อน้ำบาดาลเจาะเอง 120

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

จ-3 รูปแสดงบ่อน้ำตื้น 121
จ-4 รูปแสดงบ่อประปาน้ำบาดาล 121
จ-5 รูปแสดงการออกพื้นที่สอบถามแหล่งน้ำบาดาล 122
จ-6 รูปแสดงเครื่อง Atmos 12 DPX 122
จ-7 รูปแสดงการอ่านค่าจากเครื่อง Atmos 12 DPX 123
จ-8 รูปแสดงการบันทึกค่าจากเครื่อง Atmos 12 DPX 123
จ-9 รูปแสดงหน้าปัดและการต่อสายของเครื่อง Atmos 12 DPX 124
จ-10 รูปนักวิจัยผู้ดูแลเครื่อง Atmos 12 DPX 124
ช-1 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32 128
ช-2 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32 129
ช-3 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32 130
ช-4 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32 130

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

น้ำ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพราะเราต้องอุปโภค บริโภคน้ำอยู่เป็นประจำทุกวัน ถ้าน้ำที่เรานำมาอุปโภค บริโภคนั้นไม่สะอาดหรืออาจมีปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สูงมากจนเกินไป จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของเราได้

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำวิจัย

น้ำเป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่เขียนสูตรเคมีได้ว่า H_2O น้ำ 1 โมเลกุลประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม สร้างพันธะโควาเลนต์รอบออกซิเจน 1 อะตอม ค่าความหนาแน่นของน้ำคือ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นของเหลว น้ำ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีพของมนุษย์ คนเราอาจขาดน้ำได้ประมาณ 3-5 วัน หากเกินกว่านี้เราอาจเสียชีวิตได้เพราะน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของร่างกายมนุษย์ คุณภาพของน้ำจึงมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อสุขภาพร่ายกาย และเหตุผลสำคัญที่สุดที่คุณภาพของน้ำมีความสำคัญนั้นคือ คนเราดื่มน้ำถึงหนึ่งตันต่อปี ดังนั้นน้ำจึงไม่ได้เป็นเพียงเครื่องดื่มคลายกระหายปกติทั่วไปเท่านั้น แต่เป็นสิ่งจำเป็นต่อชีวิตของเราอวัยวะทุกส่วนในร่างกายของคนเรา ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ และของเหลวในร่างกายก็เป็นสิ่งแวดล้อมของเซลล์ต่างๆ บ่งชี้ได้ว่าของเหลวภายใน และภายนอกรายรอบเซลล์ที่มีสุขภาพดีคือ โมเลกุลของน้ำ จะชำระล้างของเสียที่สะสมมานานออกไปจากร่างกาย และช่วยสร้างความชุ่มชื้น ส่งผลให้เกิดความยืดหยุ่นกับเซลล์ในร่างกายพูดง่ายๆ ก็คือ น้ำช่วยสร้างสรรค์และส่งเสริมทุกชีวิต ที่ก่อกำเนิดบนโลกใบนี้ ตั้งแต่เริ่มแรก การดื่มน้ำอย่างเพียงพอและต่อเนื่องทุกวัน ผิวพรรณ และเซลล์ก็จะได้รับประโยชน์ ของเสียก็จะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยป้องกัน และลดผลกระทบที่เกิดจากภาวะความเสื่อมต่าง ๆ ได้ ร่างกายของมนุษย์ เป็นน้ำมากกว่าครึ่ง โดยร่างกายของคนเรามีน้ำเป็นส่วนประกอบถึง 70% โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ น้ำที่ประกอบอยู่ในเซลล์ประมาณ 60% มีอยู่นอกเซลล์ประมาณ 30% และที่อยู่ในเนื้อเยื่อหรือเลือดอีก 10% เมื่อเราจะดื่มน้ำ เราต้องมั่นใจว่าน้ำนั้น จะต้องมีทั้งปริมาณที่พอเพียงและมีคุณภาพที่เหมาะสมกับสุขภาพ มิใช่น้ำดื่มที่มีสารปนเปื้อน และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ หากเราดื่มน้ำที่ไม่สะอาดอาจส่งผลเสียต่อร่างกาย เช่น อาจทำให้อุจจาระร่วง หรืออาจได้รับสารเคมีโลหะหนัก ที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งส่งผลต่อตับ ตับอ่อน ไต และกระเพาะปัสสาวะ ซึ่งอาจเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ (Water Net Professional Solutions, 2553)

ในธรรมชาติรอบตัวเรามีรังสีต่างๆมีที่มาจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง เช่น รังสีจากนอกโลก ซึ่งเรียก รังสีคอสมิก โดยแหล่งกำเนิดที่ใหญ่ที่สุดของรังสีนี้ คือ ดวงอาทิตย์ส่วนรังสีจากโลก อันได้แก่รังสีจากไอโซโทปของธาตุกัมมันตรังสีต่างๆ ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดที่เป็นส่วนประกอบของโลก

ได้แก่ ดิน หิน น้ำ และแก๊ส เช่น โพแทสเซียม 40 แวนาเดียม 50 รูบิเดียม 87 อินเดียม 115 ทอเรียม 232 ยูเรเนียม 238 แก๊สเรดอน 220 และแก๊สเรดอน 222 ไอโซโทปกัมมันตรังสีเหล่านี้ มีปริมาณแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิศาสตร์ เช่นมักมีปริมาณมากในบริเวณที่เป็นเหมืองแร่ เหมืองน้ำมัน และแหล่งแก๊สธรรมชาติ เป็นต้นนอกจากแหล่งกำเนิดดังกล่าว ร่างกายของมนุษย์สัตว์และพืชก็ยังมีสารไอโซโทปกัมมันตรังสีอยู่ในร่างกาย ตามธรรมชาติด้วยซึ่ง ได้แก่ ตริเทียม คาร์บอน 14 โพแทสเซียม 40 ทอเรียม 232 ยูเรเนียม 238 ที่ผ่านจากสิ่งแวดล้อมรอบตัวเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งตามปกติร่างกายมนุษย์จะรับรังสีเข้าสู่ร่างกายจากธรรมชาติโดยเฉลี่ยประมาณ 85% ที่เหลือ 15% เป็นรังสีจากสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นมา โดยรังสีจากสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามสภาพที่ได้รับ เช่น จากอาหาร เครื่องดื่มและยาชนิดต่างๆ รวมทั้งการรับรังสีเอ็กซ์เวลาตรวจร่างกาย จากจอภาพของโทรทัศน์และเครื่องคอมพิวเตอร์ การได้รับรังสีจากฝุ่นกัมมันตรังสีที่ฟุ้งมาจากการทดลองของระเบิดนิวเคลียร์ เมื่อเราพิจารณาจากแผนที่ธรณีวิทยาของอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม พบว่าพื้นที่ของอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคามส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินลูกรังซึ่งในกรวด ทราย และทรายแป้ง นั้นจะมีทรายโมนาไซต์ปะปนอยู่ เนื่องด้วยในทรายโมนาไซต์ก็จะมีธาตุยูเรเนียม และทอเรียมเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสลายตัวให้ Ra-266 และ Rn-222 เกิดขึ้นตามมาด้วย กรวด ทราย และทรายแป้ง เหล่านั้นส่วนใหญ่ก็ปะปนอยู่ในแหล่งน้ำต่างๆ และเมื่อธาตุยูเรเนียม และทอเรียมที่อยู่ในกรวด, ทราย และทรายแป้ง ในแหล่งน้ำต่างๆ สลายตัวให้ Ra-266 และ Rn-222 แหล่งน้ำเหล่านั้นก็ชะล้างเอา Ra-266 และ Rn-222 ปะปนออกมากับแหล่งน้ำ (ถึงแม้ปริมาณการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะมีปริมาณที่น้อยก็ตามแต่ถ้าเกิดมีการสะสมในร่างกายปริมาณมาก จากการใช้น้ำอยู่เป็นประจำก็จะส่งผลให้เกิดอันตรายได้)โดยเฉพาะจากแหล่งน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นอยู่ในชั้นดิน กรวด และทราย หรือหิน โดยในชั้นเหล่านี้อาจจะมีหินชนิดที่มีปริมาณยูเรเนียมและทอเรียมปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นในแหล่งน้ำบาดาลก็จะมีการชะล้างเอา Ra-226 และ Rn-222 ปะปนออกมากับแหล่งน้ำบาดาลก่อนที่นำมาใช้เป็นน้ำประปาด้วย ก๊าซเรดอน เป็น ก๊าซไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีรส และมองไม่เห็น มีครึ่งชีวิตสั้นและเป็นสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติซึ่งเป็นกัมมันตรังสีที่มาจากธาตุ เรเดียม 226 (Ra-226) อยู่ในอนุกรมยูเรเนียม 238 โดย ก๊าซเรดอน ที่เกิดขึ้นนั้น จะสะสมอยู่ในบริเวณต่างๆในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ หิน พืช และอาหาร เป็นต้นก๊าซเรดอน เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้คนเป็นโรคมะเร็งรองลงมาจากการสูบบุหรี่ เราอาจจะไม่รู้ว่าก๊าซเรดอน เข้าไปสู่ร่างกายได้อย่างไร แต่มีการศึกษาค้นคว้าว่าก๊าซเรดอน จะเข้าสู่ร่างกายจากการหายใจ จากการดื่มน้ำ จากการรับประทานอาหาร เป็นต้น ก๊าซเรดอนอาจจะไม่เข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากในครั้งเดียวเลยแต่จะเข้าสู่ร่างกายในปริมาณครั้งละน้อยๆ แต่ถ้าก๊าซเรดอน เข้าสู่ร่างกาย เป็นระยะเวลานานๆ ก็จะเกิดการสะสมไปเรื่อยๆ จนก่อให้เกิดโรคมะเร็งในลำดับต่อมา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2556)

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาในเรื่องอันตรายที่เกิดจากก๊าซเรดอน ที่มีอัตราเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งกับผู้อุปโภค บริโภคน้ำบาดาล จึงได้ทำการวิจัยในเรื่องการตรวจวัดเรดอนในน้ำบาดาล โดยใช้เทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์ (Ionization Chamber) ด้วยเครื่องวัดเรดอน แก๊ส มอนิเตอร์ แอดมอส 12 ดีพีเอ็ก (RADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX) เพื่อทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอนในตัวอย่างน้ำบาดาล ที่ประชาชนใช้อยู่เป็นประจำ โดย

เลือกที่จะศึกษาตัวอย่างน้ำจากหมู่บ้านต่างๆ ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคามเพื่อที่จะชี้วัดถึงความปลอดภัย หาทางป้องกันความเสี่ยงที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชน สร้างมาตรฐานของน้ำบาดาลที่ประชาชนในหมู่บ้านนั้นๆ ใช้ โดยทำการประเมินค่าความเข้มข้นของรังสีและประเมินความเสี่ยงของประชาชนที่จะได้รับจากการใช้น้ำบาดาลตลอดทั้งปี

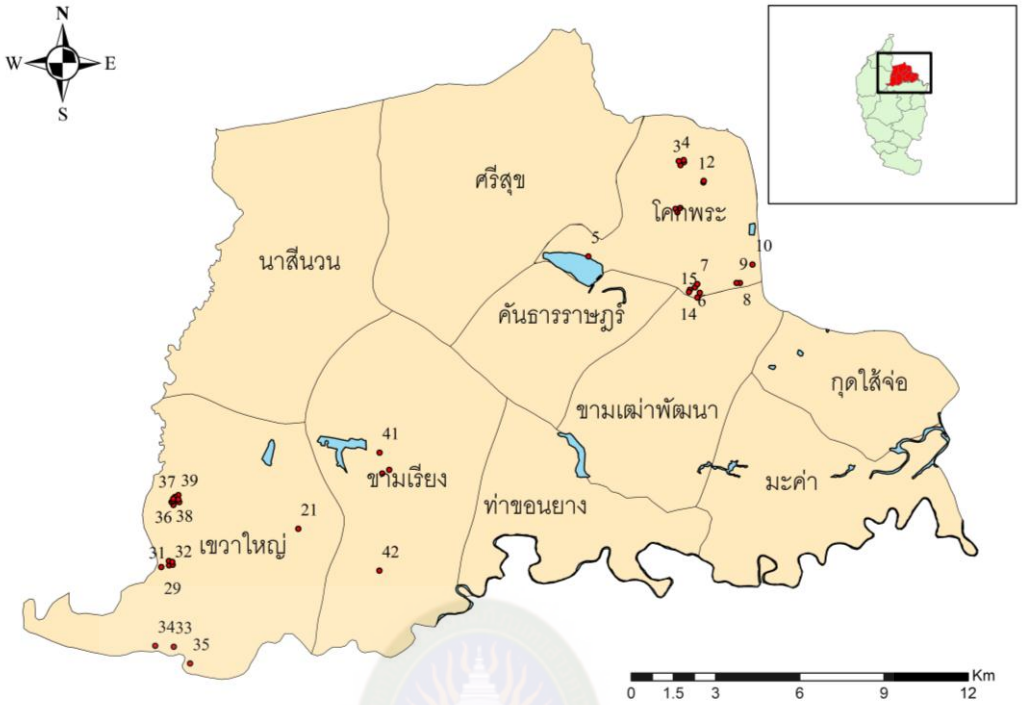
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดหา ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล
2. เพื่อวิเคราะห์หา ค่าความเสี่ยงเนื่องจากการ อุปโภค บริโภค น้ำบาดาลที่มีก๊าซเรดอน (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกาย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 500 ml ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวนทั้งหมด 43 ตัวอย่าง
2. ตรวจวัดหาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล โดยใช้เทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์ (Ionization Chamber) ด้วยเครื่องวัด เรดอน แก๊ส มอนิเตอร์ แอดมอส 12 ดีพีเอ็ก(RADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX)
3. คำนวณหาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอน (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกาย
4. ระยะเวลาในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นเวลา 7 เดือน ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ.2557 ถึง เมษายน พ.ศ.2558
5. พื้นที่ทำการศึกษาวิจัยคือตำบลในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ทั้งหมด 3 ตำบล คือ ตำบลเขวาใหญ่ ตำบลโคกพระ และตำบลขามเรียง โดยตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลได้แสดง**ดังรูปที่ 1.1**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลบริเวณ ตำบลเขวาใหญ่ ตำบลโคกพระและตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลที่มีประชาชนใช้ในการอุปโภคบริโภคเป็นประจำ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล เขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

2. นำข้อมูลที่ได้ไปเผยแผ่แก่ประชาชนในพื้นที่วิจัย ได้รับรู้ถึงอันตรายของก๊าซเรดอน (Rn-222) ที่อาจจะส่งผลให้เกิดโรคมะเร็งได้

3. นำเสนอวิธีการให้กับประชาชนในพื้นที่วิจัยให้ได้รับรู้ถึงวิธีการป้องกันอันตรายจากก๊าซเรดอน (Rn-222) ได้อย่างถูกต้อง

4. ได้ข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และความปลอดภัยจากการบริโภคน้ำบาดาลเพื่อให้ประชาชนในเขตพื้นที่วิจัย ได้ตระหนักถึงอันตรายจากก๊าซเรดอนที่อยู่ในน้ำบาดาล

5. ได้ทราบถึงข้อมูลการกระจายตัวของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

6. ได้แผนที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) และแผนที่แสดงความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอน (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกาย ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งได้จากการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสีกลายเป็นธาตุต่าง ๆ ธาตุกัมมันตภาพรังสีที่สำคัญมีอยู่ 2 ตระกูลคือ ยูเรเนียม (Uranium) และทอเรียม(Thorium) ธาตุทั้งสองนี้ต่างก็สลายตัวเป็นธาตุต่าง ๆ หลายธาตุที่น่าสนใจคือ ตระกูลยูเรเนียมให้ธาตุเรดอน(Radon) และตระกูลทอเรี่ยมให้ธาตุโทรอน (Thoron) ทั้งเรดอนและโทรอน มีสภาพเป็นก๊าซลอยขึ้นมาจากพื้นดินขึ้นสู่อากาศอยู่ตลอดเวลา ธาตุทั้ง 2 นี้ จะส่งกัมมันตรังสีออกเป็นหลายช่วง กลายเป็นธาตุต่าง ๆ ดังนั้นทุกครั้งที่เราหายใจเอากาศเข้าปอด ย่อมได้รับส่วนของรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วเข้าไปด้วย

2.1 สารกัมมันตรังสี

ธาตุกัมมันตรังสี หมายถึง ธาตุที่แผ่รังสีได้ เนื่องจากนิวเคลียสของอะตอมไม่เสถียร เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 82

กัมมันตภาพรังสี หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ธาตุแผ่รังสีได้เองอย่างต่อเนื่อง รังสีที่ได้จากการสลายตัว มี 3 ชนิด คือ รังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมา

การแผ่รังสีจะทำให้เกิดธาตุใหม่ได้ หรืออาจเป็นธาตุเดิมแต่จำนวนโปรตอนหรือนิวตรอนอาจไม่เท่ากับธาตุเดิม และธาตุกัมมันตรังสีแต่ละธาตุ มีระยะเวลาในการสลายตัวแตกต่างกันและแผ่รังสีได้แตกต่างกัน เรียกว่าครึ่งชีวิตของธาตุ โดยครึ่งชีวิตเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละไอโซโทป และสามารถใช้เปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดได้ ตัวอย่างเช่น ไอโอดีน-131 มีครึ่งอายุ 8 วัน เมื่อนำมาเก็บเป็นเวลา 40 วัน จะเหลือพลังงานเพียง 3 % เท่านั้น สารบางตัวมีครึ่งชีวิตค่อนข้างนาน เช่น โคบอลท์-60 มีครึ่งชีวิต 5.2 ปี ถ้าต้องการให้เหลือพลังงาน 3% ต้องเก็บนานถึง 25 ปี ส่วนแร่ซีเซียม-137 มีครึ่งอายุ 30 ปี ต้องใช้เวลานานถึง 150 ปี จึงจะเหลือพลังงาน 3% สารกัมมันตรังสีบางชนิดมีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่น แร่เรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ฯลฯ แต่ที่มีใช้ในวงการแพทย์ปัจจุบันเป็นสารที่มนุษย์ผลิตขึ้น เช่น โคบอลท์-60 ซีเซียม-137 อิริเดียม-192 เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.1.1 ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

รังสีที่แผ่ออกจากธาตุกัมมันตรังสีคือกัมมันตภาพรังสี (radioactivity) เมื่อผ่านเข้าไปในสิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมตามแนวทางที่รังสีผ่านไปทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต 2 แบบคือ

1. ผลของรังสีที่มีต่อร่างกายคือเกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนังผมร่วงเซลล์ตายเป็นแผลเปื่อยเกิดเนื้อเส้นใยจำนวนมากที่ปอด (fibrosis of the lung) เกิดโรคเม็ดโลหิตขาวมาก (leukemia) เกิดต้อกระจก (cataracts) ขึ้นในนัยน์ตาเป็นต้นซึ่งร่างกายจะเป็นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ได้รับส่วนของร่างกายที่ได้และอายุของผู้ได้รับรังสี

2. ผลของรังสีที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์คือทำให้โครโมโซม (chromosome) เกิดการเปลี่ยนแปลงมีผลทำให้ลูกหลานเกิดเปลี่ยนลักษณะได้โดยหลักการการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีในน้ำทะเลจะส่งผลให้เกิดการกลายพันธุ์ในสัตว์ทะเลได้โดยเฉพาะที่กลุ่มสารกัมมันตรังสีที่ให้เบต้าจะมีผลต่อการกลายพันธุ์ทั้งนี้ต้องขึ้นกับปริมาณการรับและการสะสมเช่นหากสารกัมมันรังสีลงไปในน้ำเมื่อแพลงก์ตอนรับสารรังสีเข้าไปถูกหอยปลากินแพลงก์ตอนเป็นล้านตัวจะเพิ่มความเข้มข้นไปเรื่อยๆสะสมในห่วงโซ่อาหารอย่างไรก็ตามขณะนี้ยังไม่มีผลการยืนยันที่ชัดเจนว่าจะถึงขั้นเปลี่ยนระบบนิเวศน์ใต้ทะเลหรือไม่แต่มีความเสี่ยงต่อการทำให้สิ่งมีชีวิตกลายพันธุ์มากกว่า

2.1.2 อาการที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากได้รับกัมมันตรังสีโดยไม่มีการควบคุม

1. คลื่นไส้อาเจียน
2. อ่อนเพลีย
3. เม็ดเลือดขาวถูกทำลายอย่างรุนแรง
4. ระบบการสร้างโลหิตจากไขกระดูกบกพร่อง
5. ความต้านทานโรคต่ำ
6. เกิดความผิดปกติบริเวณที่ถูกรังสีเช่นผิวหนังไหม้พุพองผมร่วงปากเปื่อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.1.3 ประโยชน์จากการใช้ธาตุกัมมันตรังสี

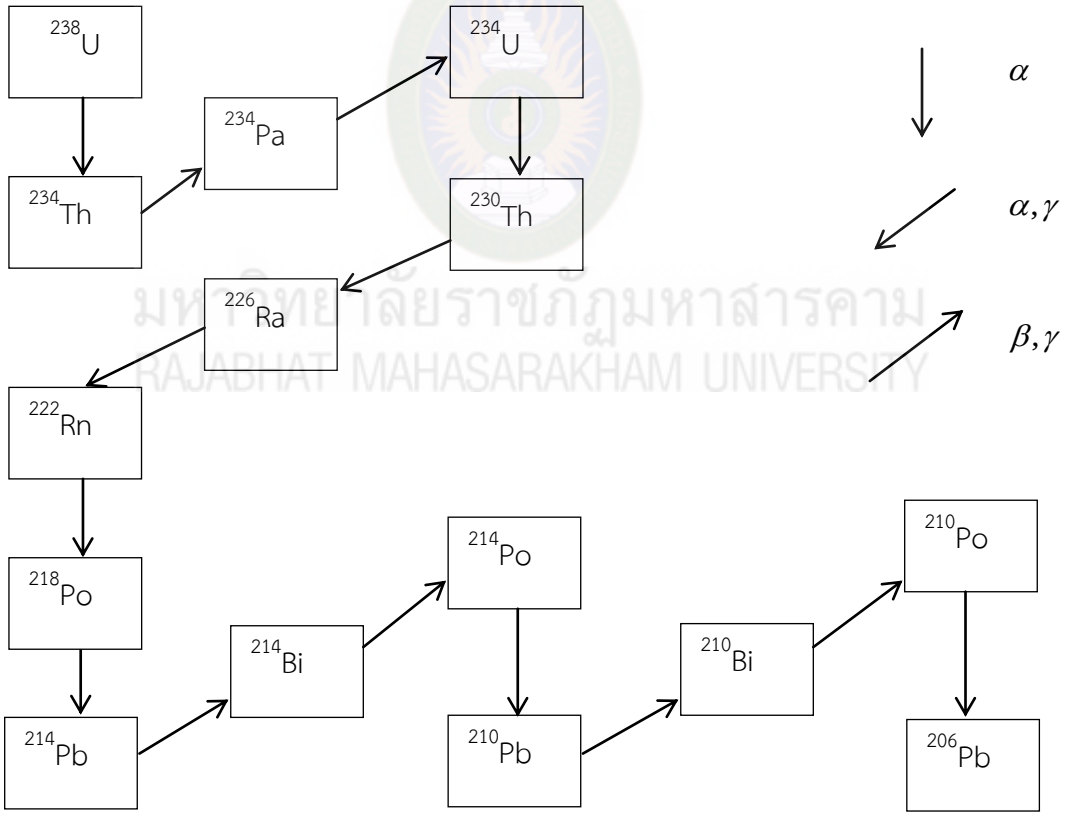
1. ด้านธรณีวิทยาการใช้คาร์บอน-14 (C-14) คำนวณหาอายุของวัตถุโบราณ
2. ด้านการแพทย์ใช้ไอโอดีน-131 (I-131) ในการติดตามเพื่อศึกษาความผิดปกติของต่อมไทรอยด์โคบอลต์-60 (Co -60) และเรเดียม-226 (Ra-226) ใช้รักษาโรคมะเร็ง
3. ด้านเกษตรกรรมใช้ฟอสฟอรัส 32 (P-32) ศึกษาความต้องการปุ๋ยของพืชปรับปรุงเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการและใช้โพแทสเซียม-32 (K–32) ในการหาอัตราการดูดซึมของต้นไม้
4. ด้านอุตสาหกรรมใช้ธาตุกัมมันตรังสีตรวจหารอยตำหนิเช่นรอยร้าวของโลหะหรือท่อขนส่งของเหลวใช้ธาตุกัมมันตรังสีในการตรวจสอบและควบคุมความหนาของวัตถุใช้รังสีฉายบนอัญมณีเพื่อให้มีสีสันสวยงาม

5. ด้านการถนอมอาหารใช้รังสีแกมมาของธาตุโคบอลต์-60 (Co–60) ปริมาณที่พอเหมาะใช้ทำลายแบคทีเรียในอาหารจึงช่วยให้เก็บรักษาอาหารไว้ได้นานขึ้น

6. ด้านพลังงานมีการใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูของยูเรเนียม-238 (U-238) ต้มน้ำให้กลายเป็นไอแล้วผ่านไอน้ำไปหมุนกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.)

2.2 ยูเรเนียม

ยูเรเนียมเป็นธาตุชนิดหนึ่งในตารางธาตุ มีสัญลักษณ์ U มีเลขอะตอม 92 เป็นโลหะหนัก มีสีขาวเงินเป็นกัมมันตภาพรังสีโดยธรรมชาติ ยูเรเนียมเป็นธาตุในอนุกรมแอกทิไนด์ (Actinide) มีไอโซโทป U-235 และ U-233 ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูและระเบิดนิวเคลียร์ ส่วนยูเรเนียมด้อยสมรรถนะ (Depleted Uranium) ที่มีไอโซโทป U-238 เป็นหลัก ใช้เป็นอาวุธในการเจาะทำลายและทำแผ่นเกราะ (Armor Plate) แสดงได้ **ดังรูปที่ 2.1**



รูปที่ 2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U

ที่มา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.1 คุณสมบัติ

ยูเรเนียมบริสุทธิ์มีสีขาวเงิน เป็นโลหะที่มีกัมมันตภาพรังสีอ่อนมีความแข็งน้อยกว่าเหล็กเล็กน้อย มีความอ่อนตัวบิดงอได้ มีความเป็นแม่เหล็กเล็กน้อย โลหะยูเรเนียมมีความหนาแน่นสูงมาก โดยมีความหนาแน่นมากกว่าตะกั่ว 65% แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่าทอง เมื่อโลหะยูเรเนียมถูกอากาศจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้เกิดยูเรเนียมออกไซด์ ยูเรเนียมสกัดออกมาจากแร่โดยวิธีเคมี ทำให้อยู่ในรูปยูเรเนียมไดออกไซค์ (Uranium Dioxide) หรือสารประกอบรูปอื่นเพื่อนำมาใช้ทางอุตสาหกรรม

โลหะยูเรเนียมธรรมชาติ ประกอบด้วย U-235 ≈ 0.71%, U-238 ≈ 99.28%, และ U-234 ≈ 0.0054% การเสริมสมรรถนะยูเรเนียม (Enriched Uranium) ใช้กระบวนการแยกไอโซโทป (Isotope Separation) เพื่อเพิ่มสัดส่วนหรือความเข้มข้นของไอโซโทป U-235 สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ หรืออาวุธนิวเคลียร์ ส่วนที่เหลืออยู่เรียกว่า Depleted Uranium จะมี U-235 เหลืออยู่ 0.2 - 0.4% เนื่องจากยูเรเนียมธรรมชาติมีสัดส่วนของ U-235 น้อยอยู่แล้ว กระบวนการเสริมสมรรถนะ (Enrichment) จึงทำให้มี Depleted Uranium จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิต

ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ (Enriched Uranium) 5% จำนวน 1 กิโลกรัม ต้องใช้ยูเรนียมธรรมชาติ 11.8 กิโลกรัม ทำให้มี Depleted Uranium ที่มี U-235 อยู่ 0.3% จำนวน 10.8 กิโลกรัม ยูเรเนียมธรรมชาติมี 2 ไอโซโทปหลัก ได้แก่ U-235 และ U-238 และมีไอโซโทป U-234 ที่เกิดจากการสลายตัวของ U-238 อีกเล็กน้อย ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะที่มี U-235 สูงขึ้น มีความสำคัญสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงาน ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์และอาวุธนิวเคลียร์ เนื่องจากเป็นไอโซโทปธรรมชาติที่เรียกว่า ฟิซไซส์ (Fissile) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้ (Fissionable) ด้วยนิวตรอนพลังงานต่ำหรือเทอร์มัลนิวตรอน (Thermal Neutrons) U-238 มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจาก U-238 ที่ดูดกลืนนิวตรอนแล้วจะกลายเป็นไอโซโทปรังสีที่สลายตัวไปเป็นพลูโตเนียม-239 (Pu-239) ซึ่งเป็นวัสดุฟิซไซส์เช่นกัน ยูเรเนียม (U-233) เป็นวัสดุฟิซไซส์ โดยเป็นไอโซโทปที่เกิดจากการยิงทอเรียม (Th-232) ด้วยนิวตรอน ยูเรเนียมเป็นธาตุแรกที่พบว่าเป็นฟิซไซส์ โดยการยิงด้วยนิวตรอนพลังงานต่ำ ไอโซโทปยูเรเนียม-235 จะกลายเป็น ยูเรเนียม-236 ในเวลาสั้นๆ จากนั้นจะแตกออกเป็นสองส่วน กลายเป็น 2 นิวเคลียสที่เล็กลง พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานและนิวตรอนจำนวนมากขึ้นออกมา เรียกว่าปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission) นิวตรอนที่ปล่อยออกมาจะถูก U-235 นิวเคลียสอื่นดูดกลืนและเกิดฟิชชันเพิ่มขึ้น กลายเป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่อเนื่อง ถ้าไม่มีการดูดจับนิวตรอนออกไป เพื่อควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาลดลง ก็จะเกิดการระเบิดขึ้น ระเบิดปรมาณูลูกแรกทำงานด้วยหลักการของปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ส่วนอาวุธนิวเคลียร์ (Nuclear Weapon) เป็นชื่อที่ใช้เรียกโดยรวมทั้งระเบิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันและระเบิดไฮโดรเจน ที่เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.2 การใช้ประโยชน์ยูเรเนียม

ก่อนที่จะมีการค้นพบรังสี ยูเรเนียมถูกใช้ผสมลงไปเล็กน้อยในแก้วและสีเคลือบเซรามิกส์ เรียกว่า แก้วยูเรเนียม (Uranium Glass) และ Fiestaware มีการใช้เป็นสารเคมีในการถ่ายรูป ได้แก่ Uranium Nitrate ใช้ทำไส้หลอดไฟฟ้า ใช้ในสีย้อมของอุตสาหกรรมเครื่องหนังและไม้ ใช้เกลือยูเรเนียมผสมในสีย้อมไหมและขนสัตว์ นอกจากนั้นยังใช้ในการตกแต่งฟันปลอม หลังจากที่มีการค้นพบรังสีจากยูเรเนียมจึงมีการใช้ยูเรเนียมในงานค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นมาหลังจากที่มีการค้นพบปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันในปี ค.ศ.1939 ยูเรเนียมก็มีความสำคัญมากขึ้นในการพัฒนาเพื่อใช้พลังงานนิวเคลียร์ ระเบิดปรมาณูลูกแรกที่ใช้ในสงครามนั้นเป็นระเบิดยูเรเนียม ซึ่งตัวระเบิดมีไอโซโทป U-235 เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง และทำให้อะตอมของยูเรเนียมจำนวนมากเกิดฟิชชันในเวลาเพียงเสี้ยววินาที และปล่อยพลังงานออกมาเป็นลูกไฟ

2.2.3 ข้อควรระวังจากยูเรเนียม

สารประกอบยูเรเนียมทุกไอโซโทปเป็นสารพิษ และมีกัมมันตภาพรังสี ถ้าได้รับรังสีในปริมาณที่ต่ำ อาจจะได้รับผลจากความเป็นพิษต่อไต ผลที่เกิดจากรังสีส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเฉพาะที่เนื่องจากรังสีอัลฟาซึ่งส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของ U-238 เคลื่อนที่ได้ในระยะสั้นเท่านั้น สารประกอบยูเรเนียมมักจะไม่ค่อยถูกดูดซึมโดยเยื่อบุปอด จึงอาจจะทำให้ได้รับอันตรายจากรังสีที่ตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดเวลา ในการทดสอบกับสัตว์ทดลอง ไอออนของ Uranyl (UO^{2+}) ที่มาจากยูเรเนียมไตรออกไซค์ (Uranium Trioxide) หรือยูเรนิวไนเตรต (Uranyl Nitrate) และสารประกอบยูเรเนียมที่มีเฮกซาวาเรน (Hexavalent) ชนิดอื่น ทำให้มีการเกิดที่ผิดปกติหรือทำให้ระบบภูมิคุ้มกันเสียหาย โลหะยูเรเนียมที่แบ่งเป็นชิ้นเล็กๆ จะติดไฟได้ เนื่องจากยูเรเนียมสามารถลุกไหม้ได้เอง (Pyrophoric) ถ้าอยู่ในรูปที่เป็นเม็ดเล็กๆ อาจจะติดไฟได้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องคนเราสามารถได้รับยูเรเนียมหรือไอโซโทปลูกที่เกิดขึ้น โดยการหายใจเอาฝุ่นในอากาศ หรือดูดควันบุหรี่จากใบยาสูบที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต หรือโดยการดื่มหรือทานอาหาร สำหรับคนทั่วไปที่ได้รับยูเรเนียมจากการรับประทาอาหาร โดยเฉลี่ยจะได้รับยูเรเนียม 0.07 ถึง 1.1 ไมโครกรัมต่อวัน ปริมาณยูเรเนียมในอากาศมีน้อยมาก แต่สำหรับประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้กับสถานที่ผลิตหรือทดลองอาวุธนิวเคลียร์ หรือสถานที่ทำเหมืองหรือโรงงานเสริมสมรรถนะยูเรเนียมสำหรับผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์อาจจะได้รับยูเรเนียมเพิ่มขึ้น บ้านหรืออาคารที่สร้างบนพื้นที่มีแร่ยูเรเนียมอาจจะได้รับก๊าซเรดอน ที่มาจากยูเรเนียม ซึ่งมีกัมมันตภาพรังสีและเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ยูเรเนียมสามารถเข้าสู่ร่างกายเมื่อหายใจหรือกินอาหาร หรือบางกรณีอาจจะเข้าทางบาดแผล ยูเรเนียมจะไม่ซึมผ่านผิวหนัง และรังสีอัลฟาที่มาจากยูเรเนียมก็ไม่สามารถผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายได้ ยูเรเนียมที่อยู่ภายนอกร่างกายจึง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มีอันตรายน้อยกว่าเมื่อเข้าไปในร่างกายแล้ว ยูเรเนียมไม่ใช่สารก่อมะเร็งแต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อไตได้

การทำเหมืองแร่ยูเรเนียมอาจจะทำให้เกิดอันตรายจากฝุ่นกัมมันตรังสี (Airborne Radioactive) ก๊าซเรดอน ที่มีกัมมันตภาพรังสี และไอโซโทปที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของยูเรเนียม ถ้าไม่มีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี คนงานในเหมืองยูเรเนียมจะมีความเสี่ยงที่จะเกิดมะเร็งปอดหรือโรคทางเดินหายใจสูงขึ้น นอกจากนั้น น้ำใต้ดินก็อาจมีการปนเปื้อนสารพิษที่ใช้ในการแยกแร่ยูเรเนียมได้ (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2557)

2.3 ทอเรียม

ทอเรียม เป็นธาตุชนิดหนึ่งในตารางธาตุ มีสัญลักษณ์ Th มีเลขอะตอม 90 เป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีคุณสมบัติเป็นโลหะที่มีกัมมันตภาพรังสีเล็กน้อย สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ได้เช่นเดียวกับยูเรเนียม

2.3.1 คุณสมบัติ

ทอเรียมบริสุทธิ์เป็นโลหะสีขาวเงิน โดยยังคงเป็นมันเงาอยู่แม้จะเก็บไว้เป็นเวลาหลายเดือน แต่ถ้ามีออกไซด์ปะปนอยู่ทอเรียมจะหมองลงช้าๆ เมื่อสัมผัสอากาศ จากนั้นจะกลายเป็นสีเทาและเป็นสีดำในที่สุด ทอเรียมไดออกไซด์ (Thorium Dioxide, ThO_2) มีชื่อเรียกว่า ทอเรีย (Thoria) เป็นออกไซด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงที่สุด (3,300 °C) เมื่อให้ความร้อนในอากาศ โลหะทอเรียมจะติดไฟและจะลุกไหม้โดยให้เปลวไฟเป็นแสงสีขาว

ทอเรียมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีไอโซโทปเดียว คือ Th-232 ส่วนไอโซโทปรังสีของทอเรียมที่ตรวจพบแล้วมี 25 ไอโซโทป มีน้ำหนักอะตอมตั้งแต่ 212 amu (Th-212) ไปจนถึง 236 amu (Th-236) โดย Th-232 เป็นไอโซโทปที่เสถียรที่สุด มีครึ่งชีวิต 14.05 พันล้านปี ถัดมาเป็น Th-230 มีครึ่งชีวิต 75,380 ปี Th-229 มีครึ่งชีวิต 7,340 ปี และ Th-228 มีครึ่งชีวิต 1.92 ปี ส่วนที่เหลือเป็นไอโซโทปรังสีที่มีครึ่งชีวิตน้อยว่า 30 วัน และส่วนใหญ่มีครึ่งชีวิตน้อยกว่า 10 นาที

2.3.2 การนำมาใช้ประโยชน์

1. ไส้ตะเกียง (mantles) ในตะเกียงที่ใช้น้ำมันหรือแก๊ส เช่นตะเกียงเจ้าพายุ เมื่อได้รับความร้อนจากเปลวไฟของแก๊สไส้ตะเกียงจะส่องแสงสว่างจ้า (ไม่ได้เกิดจากกัมมันตภาพรังสี)
2. เมื่อทำให้อยู่ในรูปอัลลอยด์ของแมกนีเซียม จะทำให้มีความแข็งแรงมากและทนต่ออุณหภูมิสูง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. มีการใช้ทอเรียมเคลือบลวดทังสเตนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำให้คาโทด (cathodes) ที่ได้รับความร้อนมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้ดีขึ้น

4. มีการใช้ทอเรียมในขั้วทังสเตนที่ใช้ในการเชื่อมด้วยไฟฟ้าและเซรามิกส์ทนความร้อน (heat-resistant ceramics)

5. มีการใช้เทคนิคการหาอายุด้วยยูเรเนียม-ทอเรียม (Uranium-thorium age dating) เพื่อหาอายุของฟอสซิลมนุษย์โบราณ (hominid fossils)

6. ทอเรียมเป็นวัสดุเฟอร์ไทล์ (fertile material) ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับทอเรียมและทำให้มีเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นได้

7. ทอเรียมใช้ทำวัสดุป้องกันรังสีได้ดี แม้ว่าจะไม่เป็นที่นิยมใช้ดังเช่นตะกั่วหรือ depleted uranium

2.3.3 การใช้ทอเรียมทำเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

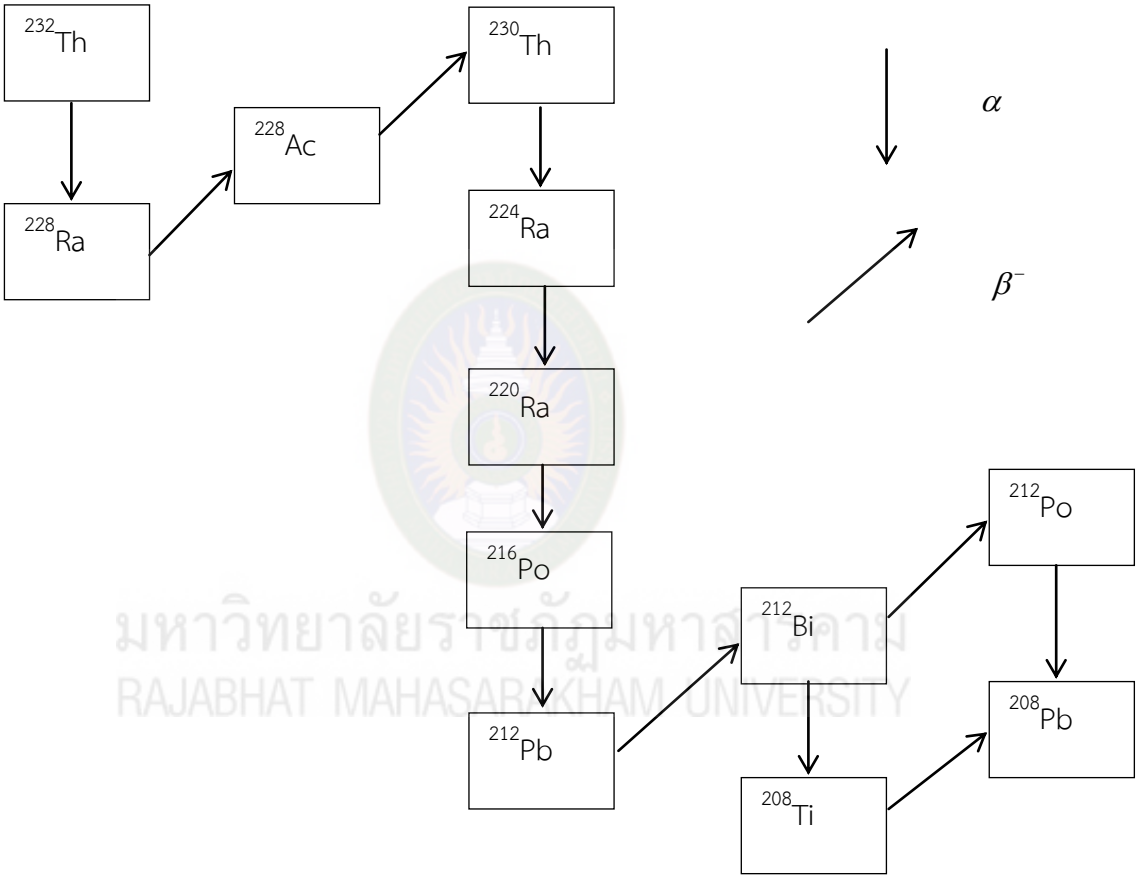
ทอเรียมสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ได้เช่นเดียวกับยูเรเนียมกับพลูโตเนียม แม้ว่าทอเรียมเองจะไม่ใช่วัสดุฟิชไซล์ แต่เมื่อดูดกลืนนิวตรอนแล้วจะกลายเป็นยูเรเนียม-233 (uranium-233) ซึ่งเป็นวัสดุฟิชไซล์ จึงเป็นวัสดุเฟอร์ไทล์เช่นเดียวกับยูเรเนียม-238 (U-238) ความจริง (U-233) ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ได้ดีกว่าวัสดุฟิชไซล์อีก 2 ชนิด คือ U-235 กับ plutonium-239 (Pu-239) เนื่องจากเมื่อดูดกลืนนิวตรอนแล้วจะให้นิวตรอนออกมาจากปฏิกิริยาฟิชชันได้มากกว่า มีการนำไปใช้ในผลิตเชื้อเพลิงโดยวิธี breeding cycle โดยใช้วัสดุฟิชไซล์ เช่น U-235 หรือ Pu-239 เป็นเชื้อเพลิงตั้งต้น ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการเปลี่ยน U-238 ไปเป็น Pu-239 ดังที่ใช้อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบนิวตรอน (slow-neutron reactors) ในปัจจุบัน Th-232 ที่ดูดกลืนนิวตรอนจะกลายเป็น Th-233 และสลายตัวไปเป็น protactinium-233 (Pa-233) และสลายตัวอีกครั้งเป็น U-233 เมื่อนำเชื้อเพลิงออกจากเครื่องปฏิกรณ์มาสกัด U-233 ออกจากทอเรียมด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งใช้วิธีการที่ง่ายและราคาถูกกว่าการใช้กระบวนการเสริมสมรรถนะ (enrichment) จากนั้นจึงขึ้นรูปและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ต่อไป

ปัญหาของการผลิตเชื้อเพลิงด้วยวิธีนี้ นอกจากจะมีราคาสูงในส่วนของการขึ้นรูป (fabrication) เชื้อเพลิงแล้ว U-233 ยังมีกัมมันตภาพรังสีสูงจากการปนเปื้อนของไอโซโทปรังสี U-232 ซึ่งมีอายุสั้น และการนำทอเรียมกลับมาใช้ก็จะมีกัมมันตภาพรังสีสูงจาก Th-228 รวมทั้งมีความเสี่ยงกับการที่จะมีการนำ U-233 ไปใช้ทำอาวุธนิวเคลียร์ ซึ่งปัญหาทางเทคนิคในการนำเชื้อเพลิงกลับมาใช้ใหม่ ยังต้องมีการพัฒนาวัฏจักรเชื้อเพลิงทอเรียม (thorium fuel cycle) ก่อนที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งต้องมีความพยายามอย่างสูง เนื่องจากยังมียูเรเนียมให้ใช้ได้อยู่ในปริมาณมาก

อย่างไรก็ตาม วัฏจักรเชื้อเพลิงทอเรียม ก็ถือว่าเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในระยะยาว เนื่องจากเป็นผลิตเชื้อเพลิง (breeding fuel) โดยไม่ต้องใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบนิวตรอนเร็ว (fast neutron reactors) ทอเรียมนั้นมีปริมาณมากกว่ายูเรเนียม จึงเป็นกุญแจสำคัญของความยั่งยืนของพลังงานนิวเคลียร์

2.3.4 ข้อควรระวัง

ผงโลหะทอเรียมนั้นติดไฟได้เอง (Pyrophoric) จึงควรใช้ความระมัดระวังปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับบทบาทของธาตุทอเรียมในสิ่งมีชีวิต แต่การสูดละอองทอเรียมเข้าไปอาจจะทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งปอด ตับและเม็ดโลหิต การรับทอเรียมเข้าไปในร่างกายจะทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งตับแสดงได้**ดังรูปที่ 2.2** (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, 2557)



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.2 อนุกรมการสลายตัวของ ^{232}Th
ที่มา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)

2.4 เรเดียม

เรเดียม (Radium) คือธาตุเคมีที่มีเลขอะตอม 88 และสัญลักษณ์ คือ Ra ซึ่งเรเดียมเป็นธาตุโลหะ แอลคาไลน์เอิร์ทหมู่ 2 คาบ 7 บล็อก S มวลอะตอม 226 g/mol การจัดเรียงอิเล็กตรอน $7S^2$ อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน 2, 8, 18, 32, 18, 8, 2 คุณสมบัติทางกายภาพสถานะ ของแข็ง

ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.) 5.5 g/cm³ จุดหลอมเหลว 973 K (700 °C) จุดเดือด 2010 K (1737 °C) ความร้อนของการหลอมเหลว 8.5 KJ/mol ความร้อนของการกลายเป็นไอ 113 KJ/mol ถูกค้นพบโดยมารี กูรี ขณะบริสุทธิ์จะมีสีขาวและจะดำลงเมื่อสัมผัสกับอากาศในธรรมชาติ พบอยู่กับแร่ยูเรเนียม เรเดียมเป็นธาตุกัมมันตรังสีชนิดเข้มข้นไม่มีไอโซโทปที่เสถียร ไอโซโทปกัมมันตรังสีมีประมาณ 16 ไอโซโทป และไอโซโทปที่เสถียรที่สุด คือ Ra-226 มีครึ่งชีวิต 1,620 ปี เรเดียมในธรรมชาติเกิดจากการสลายตัวของ ยูเรเนียม-238 (U-238) เมื่อ Ra-226 สลายตัวจะได้ Rn-222 และจะสลายตัวต่อไป จนได้ตะกั่ว206 (Pb-206) ซึ่งเป็นธาตุเสถียร (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง, 2556)

2.4.1 ประโยชน์

รังสีแกมมาที่ได้จากการสลายตัวของเรเดียมใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งนอกจากนั้นธาตุเรเดียมยังใช้ในอุตสาหกรรมสารเรืองแสง เพราะเรเดียมเรืองแสงได้ในที่มืด

2.4.2 การใช้ประโยชน์

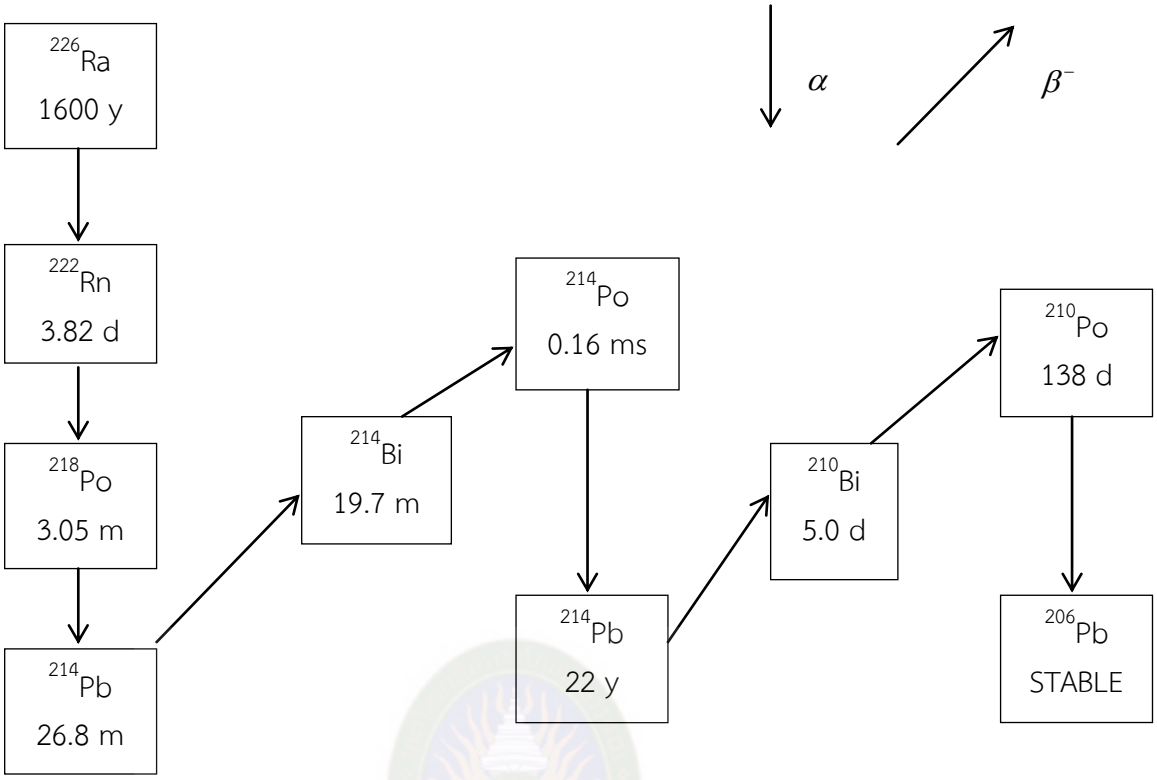
การใช้ประโยชน์ของเรเดียมอาศัยสมบัติกัมมันตรังสีพอสรุปได้ดังนี้

1. แหล่งนิวตรอน (Neutron Source) อนุภาคแอลฟาที่ปล่อยออกมาโดยเรเดียมและไอโซโทปลูกของมันมีพลังงานสูงพอที่จะไปริเริ่มปฏิกิริยานิวเคลียร์ของธาตุที่เบา
2. สีเรืองแสง (Luminous Paint) เป็นการใช้ประโยชน์ของเรเดียมที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรม โดยให้เรเดียม (หรือไอโซโทปที่ปล่อยอนุภาคแอลฟาอื่นๆ) ผสมอย่างทั่วถึงในฟอสเฟอร์ อนินทรีย์ ซึ่งอนุภาคแอลฟาที่ปล่อยออกมามีพลังงานเพียงพอในการกระตุ้นทำให้เกิดการเรืองแสงได้ (จึงไม่ต้องใช้แหล่งพลังงานจากภายนอก) สีเรืองแสงใช้ในหน้าปัดนาฬิกา (ทำให้สามารถอ่านเวลาได้ในที่มืด) และสัญญาณจราจรต่างๆ
3. ในวงการแพทย์ใช้รักษามะเร็งโดยการฉายรังสี
4. เป็นแหล่งหลักของธาตุเรดอน

2.4.3 ความเป็นพิษ

เนื่องจากเรเดียมให้กัมมันตรังสีที่เข้มมาก สามารถฆ่าเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ จึงเป็นธาตุอันตรายมาก การใช้จึงต้องใช้ความระมัดระวังสูง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.3 อนุกรมการสลายตัวของ ^{226}Ra
ที่มา (สุรศักดิ์ พงศ์พันธุ์สุข, ม.ป.ป.)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.5 เรดอน

เรดอน (Radon) คือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 86 มีครึ่งชีวิต 3.8 วัน และสัญลักษณ์คือ Rn มีจุดหลอมเหลว -71 $^{\circ}C$ และจุดเดือด -61.8 $^{\circ}C$ เรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่เป็นก๊าซเฉื่อย (Radioactive Noble Gas) ได้จากการแยกสลายธาตุเรเดียม เรดอน (Rn-222) เป็นก๊าซที่หนักที่สุด และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ไอโซโทปของเรดอนคือ (Rn-222) ใช้ในงานรักษาผู้ป่วยแบบเรดิโอเธอราปี (Radiotherapy) และเมื่อเรดอนสลายจะให้ธาตุกัมมันตรังสีอื่น พร้อมกับให้รังสีแอลฟา และเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางลมหายใจ จะเป็นอันตรายโดยตรงหรือโดยอ้อมต่อดีเอ็นเอ (DNA) ในเซลล์ปอด ซึ่งยูเรเนียมพบได้ในดิน หิน และน้ำทำให้พบเรดอนได้ทั่วไป

เนื่องจากเรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีจึงเป็นพิษและมีอันตรายมากทำนองเดียวกับไอโซโทปกัมมันตรังสีอื่นๆซึ่งสามารถก่อความเสียหายต่อร่างกายอย่างมากอันตรายเกิดจากการสูดก๊าซนี้และไอโซโทปลูก(เป็นของแข็ง)ซึ่งเกาะบนฝุ่นละอองในอากาศเข้าสู่ร่างกายสถานที่ที่มีการใช้ธาตุนี้(รวมทั้งธาตุกัมมันตรังสีอื่นๆ)ควรเป็นที่ๆอากาศสามารถถ่ายทอดได้เป็นอย่างดี เพื่อลดความเข้มข้นของธาตุนี้

ในอากาศ ระดับความทนได้ (tolerance level) ของธาตุนี้ คือ 10^{-8} ไมโครคูรี /มิลลิลิตรของอากาศ (สารานุกรมเสรี, 2557)

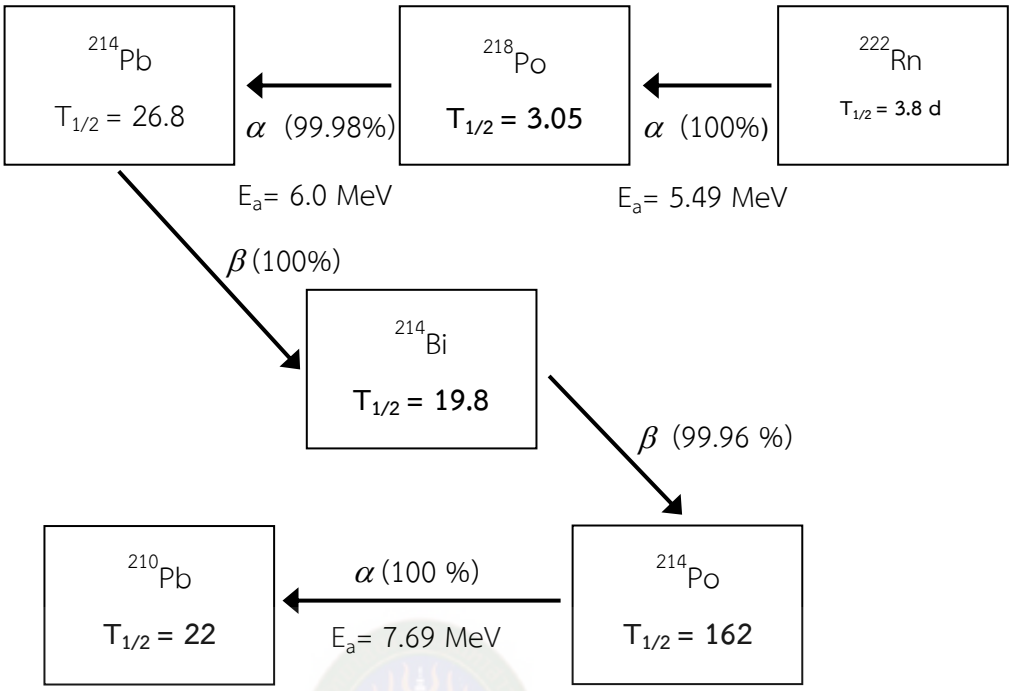
2.5.1 การใช้ประโยชน์

เรดอน (Rn-222) ใช้ประโยชน์ในวงการแพทย์ในการรักษามะเร็ง นอกจากนี้แล้วยังใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบว่าอุปกรณ์มีรอยรั่วหรือไม่ ใช้ในการวัดอัตราการไหล และในการศึกษาวิจัยทางเคมีและฟิสิกส์

2.5.2 ความเป็นพิษ

เนื่องจากเรดอนเป็นธาตุกัมมันตรังสี จึงเป็นพิษและมีอันตรายมากทำนองเดียวกับไอโซโทปกัมมันตรังสีอื่น ๆ ซึ่งสามารถก่อความเสียหายต่อร่างกายอย่างมาก อันตรายเกิดจากการสูดหายใจก๊าซนี้และไอโซโทปลูก (เป็นของแข็ง) ซึ่งเกาะบนฝุ่นละอองในอากาศเข้าสู่ร่างกาย สถานที่ที่ปลอดภัยจากเรดอน (รวมทั้งธาตุกัมมันตรังสีอื่น ๆ) ควรเป็นที่ ๆ อากาศสามารถถ่ายเทได้เป็นอย่างดี เพื่อลดความเข้มข้นของธาตุนี้ในอากาศ ระดับความทนได้ (Tolerance Level) ของธาตุนี้ คือ 10^{-8} ไมโครคูรี/มิลลิลิตรของอากาศ (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2557)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.4 อนุกรมการสลายตัวของ ^{222}Rn
ที่มา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)

2.6 การสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

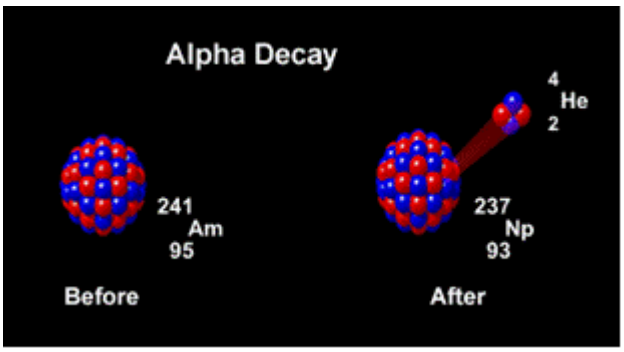
ในนิวเคลียสของอะตอมประกอบด้วยอนุภาคหลัก 2 ชนิดคือ โปรตอนและนิวตรอน แต่ในนิวเคลียสของธาตุบางอย่างไม่เสถียรและพยายามที่จะปรับตัวเองให้อยู่ในสภาพที่เสถียรโดยการปล่อยอนุภาคบางอย่างออกมา ปรากฏการณ์เช่นนี้ได้ค้นพบโดย เบกเคอเรล (Henri Becquerel) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ.1896 จากการแผ่รังสีของแร่ยูเรเนียม สิ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัวโดยการแผ่รังสีออกมานี้ เรียกว่า “กัมมันตภาพรังสี” (radioactivity)

กัมมันตภาพรังสีที่แผ่ออกมาจากสารกัมมันตภาพรังสีที่สำคัญมี 3 ชนิดคือ

2.6.1 รังสีอัลฟา หรือ อนุภาคอัลฟา (α-particle)

รังสีอัลฟา คือ นิวเคลียสของฮีเลียมนั่นเอง ประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัวและนิวตรอน 2 ตัว ดังนั้นจึงมีประจุบวกสองเท่าของค่าประจุอิเล็กตรอนและมีมวลประมาณสี่เท่าของโปรตอนหรือนิวตรอนมีอำนาจทะลุผ่านต่ำมาก สามารถวิ่งผ่านอากาศได้เพียงไม่กี่เซนติเมตรหรืออาจกั้นได้ด้วยกระดาษบางๆ เท่านั้น และสามารถเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้อนุภาคอัลฟาที่สลายตัวมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีมีความเร็วอยู่ในระดับ 10^7 เมตรต่อวินาที

ตามปกติ อนุภาคอัลฟาที่จะถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสขนาดใหญ่เช่นเรเดียมที่มีเลขอะตอม Z ปล่อยอนุภาคอัลฟาออกมาแล้วจะมีประจุลดลง 2 หน่วยและมีมวลลดลง 4 หน่วย กลายเป็นนิวเคลียสของธาตุชนิดใหม่ **ดังรูปที่ 2.5**



รูปที่ 2.5 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีอัลฟา
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, ม.ป.ป.)

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีอัลฟา เป็นดังนี้

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \quad \text{..... (2.1)} $$

จากรูปที่ 2.5 จะได้สมการการสลายตัวดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

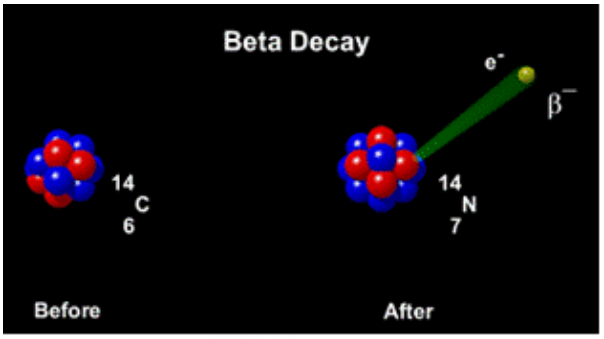
$$ {}^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{237}_{93}Np + {}^{4}_{2}He \quad \text{..... (2.2)} $$

2.6.2 รังสีเบต้า หรืออนุภาคเบต้า (β-particle)

รังสีเบต้า คือ อิเล็กตรอนหรือโปสิตรอนพลังงานสูง ที่ถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีแต่ส่วนมากมักจะเป็นอิเล็กตรอน ซึ่งมีอำนาจทะลุผ่านสูงกว่าอนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเกือบเท่าความเร็วของแสง สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปในอากาศได้ระยะทางเป็นฟุต มีสมบัติเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับอนุภาคอัลฟา เมื่อนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีปล่อยอนุภาคเบต้าออกมา เลขอะตอมของนิวเคลียสนั้นจะเปลี่ยนไป 1 หน่วย แต่เลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง

โดยรังสีเบต้าแบ่งได้ 2 แบบคือ

1. เบต้าลบหรือหรืออิเล็กตรอน ใช้สัญลักษณ์ β^- หรือ ${}^{0}_{-1}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีนิวตรอนมากกว่าโปรตอน ดังนั้นจึงต้องลดจำนวนนิวตรอน ลงเพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ **ดังรูปที่ 2.6**



รูปที่ 2.6 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีเบต้าลบ
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, ม.ป.ป.)

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีเบต้าลบ เป็นดังนี้

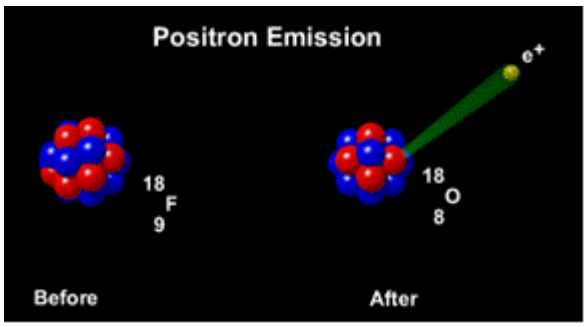
$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e \quad \text{..... (2.3)} $$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากรูปที่ 2.6 จะได้สมการการสลายตัวดังนี้

$$ {}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e \quad \text{..... (2.4)} $$

2. เบต้าบวกหรือหรือโพสิตรอน ใช้สัญลักษณ์ β^+ หรือ ${}^{0}_{+1}e$ เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสที่มีโปรตอนมากเกินกว่านิวตรอน ดังนั้นจึงต้องลดจำนวนโปรตอนลงเพื่อให้นิวเคลียสเสถียรภาพ **ดังรูปที่ 2.7**



รูปที่ 2.7 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีเบต้าบวก
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, ม.ป.ป.)

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีเบต้าบวก เป็นดังนี้

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e \quad \text{..... (2.5)} $$

จากรูป ที่ 2.7 จะได้สมการการสลายตัวดังนี้

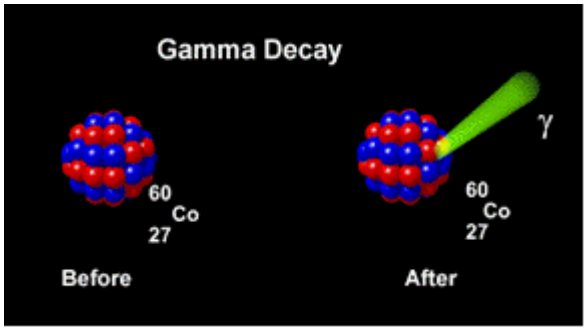
$$ {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}e \quad \text{..... (2.6)} $$

เนื่องจากอิเล็กตรอนนั้นเบามาก จึงทำให้รังสีเบต้าเกิดการเบี่ยงเบนได้ง่าย สามารถเบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กได้ มีความเร็วสูงมากคือมากกว่าครึ่งของ ความเร็วแสงหรือประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที มีอำนาจในการทะลุทะลวงมากกว่ารังสีอัลฟา แต่น้อยกว่ารังสีแกมมา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.6.3 รังสีแกมมา

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก ไม่มีประจุไฟฟ้า ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า มีความเร็วเท่าแสง ตามปกติหลังจากนิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น สลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ผลก็คือ บางครั้งนิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้นเช่นเดียวกับอะตอมแต่แตกต่างกันตรงระดับพลังงานซึ่งในนิวเคลียสมีค่ามากกว่าประมาณล้านเท่า ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อนิวเคลียสที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้นกลับคืนสู่สถานะปกติจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีแกมมา **ดังรูปที่ 2.8**



รูปที่ 2.8 แสดงการสลายตัวของสารแล้วให้รังสีแกมมา
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, ม.ป.ป.)

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมา เป็นดังนี้

$$\left({}^{A}_{Z}X\right)_{exited} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma \quad \text{..... (2.7)}$$

จากรูปที่ 2.8 จะได้สมการการสลายตัวดังนี้

$${}^{60}_{27}Co^{+} \rightarrow {}^{60}_{27}Co + \gamma \quad \text{..... (2.8)}$$

นอกจากรังสีทั้ง 3 ชนิด คือ รังสีอัลฟา รังสีเบต้า และรังสีแกมมา ซึ่งเป็นรังสีที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีเป็นส่วนใหญ่แล้ว ยังมีรังสีชนิดอื่นๆ ที่อาจแผ่ออกมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีบางชนิดได้อีกเช่น รังสีโปรตอน นิวตรอน และโปสิตรอน เป็นต้น (โสรัชต์ เจริญวงค์, 2530)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.7 กฎการสลายตัวของนิวไคลด์

เมื่อนิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเปลี่ยนสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีชนิดต่างๆ เช่น แอลฟา บีตาหรือแกมมา ซึ่งอัตราการสลายตัวของนิวเคลียสกัมมันตรังสีเป็นแบบสุ่ม ขึ้นอยู่กับจำนวนของนิวเคลียสหรือจำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิมในขณะนั้น

กำหนดให้ N คือ จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ ขณะใดขณะหนึ่งอัตราการสลายตัว คือ

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

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

เมื่อ λ คือ ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) มีหน่วยเป็นหนึ่งหน่วยต่อเวลา (s^{-1}, d^{-1}, y^{-1})

ให้ N_0 เป็นจำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิมเมื่อเวลาเริ่มต้น t=0 วินาที

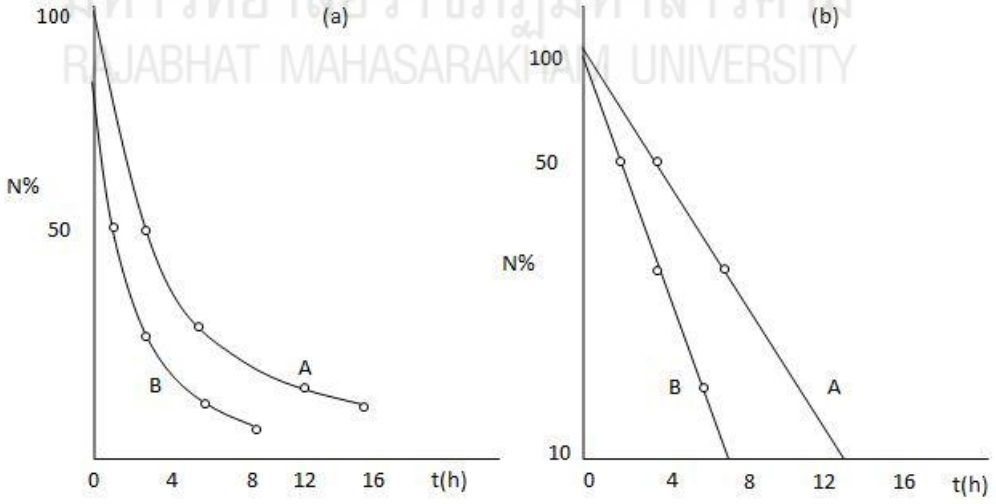
สมการ (2.9) เขียนได้ใหม่เป็น

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{0}^{t} dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

สมการ (2.10) คือ กฎการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ซึ่งมีลักษณะการลดลงของจำนวนอะตอมนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามเวลา (พวงเพชร ศรีประดู่และสมโภชน์ นันบุญ, 2549) **ดังรูปที่ 2.9**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



(a) กราฟเชิงเส้น (b) กราฟกึ่งลอการิทึม

รูปที่ 2.9 กราฟการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนนิวไคลด์ (N) และระยะเวลาของการสลายตัว (t)

ที่มา (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545)

2.8 กัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสี (Activity, A) ของธาตุกัมมันตรังสี หมายถึง อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีหรือจำนวนของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สลายตัวต่อหน่วยเวลา หน่วยของกัมมันตภาพ คือ เบ็กเกอเรล (Becquerel, Bq) หรือแบ็กเกอแรล เมื่อออกเสียงตามภาษาฝรั่งเศสเพื่อให้เป็นเกียรติกับแบ็กเกอแรล ผู้ค้นพบกัมมันตภาพรังสีซึ่ง 1 Bq หมายถึงการ การสลายตัว 1 ครั้งต่อวินาที (Disintegrationper sec, dps) แต่หน่วยของกัมมันตภาพที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ คูรี (Curie, Ci) ซึ่งกำหนดจากการสลายตัวของ Ra-226 หนัก 1 กรัม โดยมีค่าเท่ากับ 3.7×10^{10} dps กัมมันตภาพเป็นสัดส่วนกับจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสี ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2545)

$$A \alpha N$$

$$A = \lambda N \quad \text{.....(2.11)}$$

จากสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ เมื่อคูณตลอดด้วย λ จะได้ $\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$

ดังนั้น $$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \text{.....(2.12)}$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น (t = 0)

A คือ กัมมันตภาพที่เวลา t ใดๆ

t คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

จากสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ เมื่อ $N_\circ$ เป็นจำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น และ N เป็นจำนวนนิวไคลด์เมื่อเวลา t ดังนั้น $N_\circ - N$ หรือ N_D หมายถึง จำนวนนิวไคลด์ที่สลายตัวไปในเวลา t หรือจำนวนนิวไคลด์ของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น

$$N_D = N_0 - N$$

เมื่อแทนค่า N จากสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$

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

$$N_D = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad \text{.....(2.13)}$$

สรุปได้ว่า การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีมีลักษณะสำคัญ ดังนี้

1. จำนวนนิวไคลด์กัมมันตรังสีและกัมมันตภาพลดลงเรื่อยๆ แบบเอกซ์โพแนนเชียลตามเวลาที่ผ่านไปดังสมการ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ และ (2.11)

2. การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีทำให้เกิดนิวไคลด์ใหม่ขึ้น โดยเพิ่มขึ้นในลักษณะของเอกซ์โพแนนเชียลเช่นกัน ดังสมการ (2.13)

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

ครึ่งชีวิต (half-life) หมายถึง เวลาที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งจากจำนวนที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น นั้นคือ เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ $t_{1/2}$ จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี N เหลือเท่ากับ $N_0/2$ และเมื่อแทนค่าเงื่อนไขดังกล่าวลงในสมการ (2.10) จะได้ว่า

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

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

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

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \text{.....(2.14)}$$

สมการ (2.14) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) กับค่าคงที่การสลายตัว (λ) แต่เนื่องจากอะตอมแต่ละนิวไคลด์กัมมันตรังสีมีชีวิตไม่เท่ากัน โดยค่าเฉลี่ยช่วงชีวิต เรียกว่า ชีวิตเฉลี่ย (mean life: τ) ซึ่งหาได้จากการรวมชีวิตของอะตอมทั้งหมดแล้วหารด้วยจำนวนอะตอมที่มีอยู่

สมมุติให้อะตอม dN_1 มีช่วงชีวิต t_1

อะตอม dN_2 มีช่วงชีวิต t_2

อะตอม dN_3 มีช่วงชีวิต t_3

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

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

$$= \frac{\int_0^{N_\infty} t\,dN}{\int_0^{N_\infty} dN} \quad \text{.....(2.15)}$$

เมื่อ $dN = -\lambda N dt = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt$ สมการ (2.15) เขียนได้ใหม่เป็น

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

$$\tau = -\lambda\left[\frac{-1}{\lambda^2}\right]$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad \text{.....(2.16)}$$

สมการ (2.16) แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ย (τ) มีค่าแปรผกผันกับค่าคงที่การสลายตัว (λ) (พวงเพชร ศรีประดู่และสมโภชน์ นันบุญ, 2549)

2.10 หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี

หน่วย คือชื่อเฉพาะที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้บอก ขนาดและปริมาณของสิ่งต่างๆ หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี แสดงได้ **ดังตารางที่ 2.1**

ตารางที่ 2.1 หน่วยวัดรังสี

ปริมาณ	หน่วยเดิม	หน่วยใหม่ (SI unit)
กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)	คูรี (Ci)	เบคเคอเรล (Bq)
รังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)	แรด (Rad)	เกรย์ (Gy)
รังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)	เรินท์เกน (R)	คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg)
รังสีสมมูล (Dose Equivalent)	เรม (Rem)	ซีเวิร์ต (Sv)

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

จากการกำหนดหน่วยของปริมาณต่างๆ ดังกล่าวมาในข้างต้น การวัดรังสีเพื่อกำหนดปริมาณซึ่งเป็นที่ยอมรับ และเปรียบเทียบผลกันได้ โดยอาศัย การวัดค่าพื้นฐานตามคำจำกัดความของแต่ละหน่วย เช่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

ปริมาณกัมมันตภาพรังสี คือ การเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ ยังผลให้เกิดการแผ่รังสีหรือมีอนุภาคที่มีพลังงานเกิดขึ้น ไอโซโทป รังสีหรือนิวไคลด์รังสี (Radionuclide) จึงเป็นแหล่งกำเนิดรังสีชนิดหนึ่งในหลายชนิด การวัดจำนวนไอโซโทปรังสี หรือนิวไคลด์รังสี ไม่อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนัก หรือ ตวง วัดได้ เพราะไอโซโทปรังสีจะปนอยู่กับไอโซโทปอื่นๆเสมอ แม้แต่เมื่อทำการแยกให้บริสุทธิ์แล้ว เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็จะทำให้เกิด ธาตุใหม่ขึ้นปะปน ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะใดขณะหนึ่งจึงวัดได้โดยวัดรังสีที่เกิดขึ้น ในขณะนั้น ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงทาง นิว เคลียร์ที่เกิดขึ้น หน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสี เดิมอาศัยการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ ของธาตุเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งเท่ากับ 3.7×10^{10} disintegration per second หรือเรียกว่า 1 คูรี (Ci)

1 คูรี (Ci) = 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที (s^{-1}) ..... (2.17)

ต่อมาใช้หน่วยใหม่ หน่วยของกัมมันตรังสีควรจะเป็น s^{-1} แต่ให้ใช้ชื่อเฉพาะว่า เบคเคอเรล (Bq) ดังนั้น

1 (Bq) = $1s^{-1}$ และ 1 Ci = 3.7×10^{10} Bq ..... (2.18)

ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจะมีผลเมื่อเข้าสู่ร่างกาย เพราะรังสีที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลืนในอวัยวะและเนื้อเยื่อของร่างกายมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อการ เปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์นั้นให้อนุภาคอัลฟา หรือ เบต้า เพราะอนุภาคทั้งสองเป็นอนุภาคที่มีพิสัยต่ำ แน่นอนว่าจะต้องถ่ายทอด พลังงานทั้งหมด ให้อวัยวะ และ เนื้อเยื่อในร่างกาย ทำให้เกิดอันตรายมากที่สุด

2. ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (Absorbed dose)

ผลของรังสีต่อวัตถุต่างๆ บางอย่างที่สามารถสังเกตเห็นได้ เช่น การที่แก้วหรือพลาสติกเปลี่ยนสีเมื่อนำไปฉายรังสี เป็นเพราะเนื้อแก้ว ดูดกลืน พลังงานของรังสีเข้าไว้ เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดมีความสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ไม่เท่ากัน และถ่ายเทพลังงานให้กับวัตถุแต่ละ ชนิดได้ไม่เท่า กันดังนั้น ผลของรังสีต่อวัตถุ จึงแปรผันตามปริมาณพลังงานรังสีที่วัตถุนั้นดูดกลืนไว้ ตัวอย่าง เช่น รังสีแอลฟาและรังสีเบต้า จะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับวัตถุ ในระยะทางจากผิวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โฟตอนพลังงานต่ำๆ ก็เช่นกัน ผลก็คือจะทำให้เกิดรอยไหม้ที่ผิวหนัง ถ้าเป็นโฟตอนพลังงานสูงหรือนิวตรอน พลังงานบางส่วนอาจทะลุออกไปจากวัตถุ บางส่วนของพลังงานถูกดูดกลืนไว้ หน่วยของ Absorbed dose เดิมใช้ rad (radiation absorbed dose) ซึ่งเท่ากับพลังงานรังสีที่ถูกดูดกลืน 100 ergs ในวัตถุมวล 1 gm

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergs/gm} \quad \text{..... (2.19)}$$

ในปัจจุบันหน่วย SI unit ซึ่งใช้หน่วยใหญ่คือ MKS เป็นมาตรฐาน ให้หน่วยของ absorbed dose จากหน่วยของพลังงานเป็นจูล (Joule) และหน่วยของมวลเป็นกิโลกรัม (kg) โดยใช้ชื่อเฉพาะว่า เกรย์ (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1} = 100 \text{ rads} \quad \text{..... (2.20)}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (Exposure)

Exposure เป็นปริมาณรังสีที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของรังสีเพียงแต่วัดว่า มีการแตกตัวของกากาศมากน้อยเพียงใด การวัด Exposure เป็นที่นิยมเพราะเป็นวิธีที่มีความไวสูง และสามารถวัดค่าได้ถูกต้องมากด้วยเทคนิคในปัจจุบัน

หน่วยเดิมของ Exposure คือ เรินเกนท์ (R) ซึ่งเท่ากับปริมาณรังสี ที่ทำให้อากาศแตกตัวให้ประจุ 1 e.s.u. ในอากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ที่ NTP หรืออากาศมวล 1.293×10^{-3} กรัม ปัจจุบันหน่วย SI ใช้เป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดยที่

$$1 \text{ เรินท์เกน} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม} \quad \text{..... (2.21)}$$

ประจุ 1 e.s.u. มีค่าเท่ากับ 3.335×10^{-10} คูลอมบ์

4. ปริมาณรังสีสมมูล (Dose Equivalent)

Dose equivalent เป็นหน่วยที่นำเอาผลทางชีววิทยาของรังสีเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยอาศัยค่า absorbed dose เฉลี่ยทั่ว กลุ่ม ของเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะร่วมกับ radiation weighting

factor (W_R) ตามชนิดและพลังงานของรังสีซึ่งแสดง **ดังตารางที่ 2.2** ในการหาค่า dose equivalent (H_T) ของกลุ่ม เนื้อเยื่อ และอวัยวะต่างๆ ดังสูตรต่อไปนี้

$$H_T = S_R W_R x D_{TxR} \quad \text{.....(2.22)}$$

เมื่อ D_{TxR} เท่ากับ absorbed dose เฉลี่ยทั่วกลุ่มเนื้อเยื่อ หรืออวัยวะ (T) เนื่องจากรังสี (R) ค่า W_R นี้มีความสัมพันธ์กับค่า relative biological effectiveness (RBE) ซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบความเสียหายของเนื้อเยื่อ เมื่อได้รับ absorbed dose จากรังสีต่างชนิด และ ต่างพลังงาน

ตารางที่ 2.2 ค่าแฟกเตอร์น้ำหนักความอันตรายของรังสี (Radiation Weighting factor)

ชนิดของรังสี	Radiation Weighting Factor
โฟตรอนทุกพลังงาน	1
อิเล็กตรอนและมิวออนทุกพลังงาน	1
นิวตรอนพลังงานต่ำกว่า 10 Kev	5
นิวตรอนพลังงาน 10 Kevถึง 100 Kev	10
นิวตรอนพลังงาน 100 Kevถึง 2 Mev	20
นิวตรอนพลังงาน 2 Mevถึง 20 Mev	10
นิวตรอนพลังงานสูงกว่า 20 Mev ขึ้นไป	5
โปรตอนพลังงานสูงกว่า 2 Mev	5

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

หน่วยเดิมของ dose equivalent เรียกว่า rem มีค่าเท่ากับ Absorbed dose (rad) x W_R ในปัจจุบัน หน่วย equivalent dose ใน SI unit ใช้ว่า ซีเวิร์ต (Sv) และมีค่าเท่ากับ Absorbed dose (Gy) x W_R ดังนั้น

1 ซีเวิร์ต (Sv) = 100 เรม (rem) .....(2.23)

แต่หน่วย ซีเวิร์ต (Sv) เป็นหน่วยใหญ่ ค่าปริมาณรังสีส่วนมากจะเป็นมิลลิซีเวิร์ต (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

International Commission on Radiological Protection (ICRP) เป็นองค์การสากลในการป้องกันอันตรายจากรังสีได้รวบรวมผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายไว้ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.3**

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบจากรังสีต่อร่างกายของ (ICRP)

ปริมาณรังสี (mSv)	อาการ
2.2	เป็นระดับรังสีปกติในธรรมชาติที่มนุษย์แต่ละคนได้รับใน 1 ปี
5	เกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้สาธารณชนได้รับใน 1 ปี
50	เกณฑ์สูงสุดที่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีได้รับใน 1ปี
250	ไม่ปรากฏอาการผิดปกติใดๆทั้งระยะสั้นและระยะยาว
500	เม็ดเลือดขาวลดลงเล็กน้อย
1,000	มีอาการคลื่นเหียนและอ่อนเพลียเม็ดเลือดขาวลดลง
3,000	อ่อนเพลียอาเจียนท้องเสียเม็ดเลือดขาวลดลงผมร่วงเบื่ออาหาร ตัวซีดคอแห้งมีไข้อายุสั้นอาจเสียชีวิตภายใน 3-6 สัปดาห์
6,000	อ่อนเพลียอาเจียนท้องร่วงภายใน 1-2 ชั่วโมงเม็ดเลือดลดลงอย่างรวดเร็วผมร่วงมีไข้อักเสบบริเวณปากและลำคออย่างรุนแรงมีเลือดออกมีโอกาสเสียชีวิตถึง 50% ภายใน 2-6 สัปดาห์
10,000	มีอาการเหมือนข้างต้นผิวหนังพองบวมผมร่วงเสียชีวิตภายใน 2-3 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

เนื่องจากรังสีเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งดังนั้นเมื่อกระทบวัสดุต่างๆและสิ่งที่มีชีวิตก็ย่อมเกิดผลกระทบขึ้นได้ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ชนิดของรังสีพลังงานของรังสีปริมาณของรังสีและชนิดของอวัยวะที่รังสีตกกระทบรังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออนส่วนใหญ่ส่งผลกระทบต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในรูปของความร้อน (Thermal Effects) ในขณะที่รังสีที่ก่อให้เกิดไอออนมีผลต่อสิ่งมีชีวิตโดยทำให้อะตอม/โมเลกุลของเซลล์มีการแตกตัวเป็นไอออนและทำให้มีการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งโครงสร้างของเซลล์มีการแตกตัวเป็นไอออนและทำให้มีการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งโครงสร้างของเซลล์และระบบการทำงานของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปด้วยและเกิดอาการผิดปกติในร่างกายขึ้นรังสีแต่ละชนิดนั้นก่อผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตไม่เหมือนกันซึ่งในทางวิชาการได้มีการศึกษาถึงความรุนแรงของผลกระทบดังกล่าวสรุปได้ใน **ตารางที่ 2.4**

ตารางที่ 2.4 เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับยกตัวอย่างเช่นโดยปกติใน 1 ปี แต่ละคนจะได้รับรังสีจากธรรมชาติประมาณ 2.23 mSv ดังนี้

ที่มา	อัตราการไก้รับรังสี (mSv)
รังสีคอสมิค	0.3
พื้นดิน	0.4
บ้านเรือน	1.2
อาหารและเครื่องดื่ม	0.2
เอกซ์เรย์ทางการแพทย์	0.1
ฝุ่นกัมมันตรังสี	0.01
เครื่องใช้ในบ้าน	0.01
ขึ้นเครื่องบิน	0.01
รวม	2.23

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

ทั้งนี้โดยที่เซลล์เนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆแต่ละส่วนในร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อรังสีแตกต่างกันไปดังนั้นแม้มนุษย์ได้รับรังสีทั่วร่างกายแต่ผลที่เกิดขึ้นต่ออวัยวะต่างๆจะไม่เท่ากันตามข้อมูลใน **ตารางที่ 2.5**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าแฟกเตอร์น้ำหนักของผลกระทบจากรังสีต่ออวัยวะต่างๆ (Tissue Weighting Factor)

อวัยวะ	Tissue weighting factor
อวัยวะสืบพันธุ์ (gonad)	0.20
ไขกระดูก (Bone Marrow)	0.12
ลำไส้ (Colon)	0.12
ปอด (Lung)	0.12
กระเพาะ (Stomach)	0.12
ถุงน้ำดี (Bladder)	0.05

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าแฟกเตอร์น้ำหนักของผลกระทบจากรังสีต่ออวัยวะต่างๆ (Tissue Weighting Factor) (ต่อ)

อวัยวะ	Tissue weighting factor
หน้าอก (Breast)	0.05
ตับ (Liver)	0.05
หลอดอาหาร (Oesophagus)	0.05
ต่อมไทรอยด์ (Thyroid)	0.05
ผิวหนัง (Skin)	0.01
กระดูก (Bone surface)	0.01
อวัยวะอื่นๆ (Remainder)	0.05

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป)

ด้วยเหตุที่นักวิทยาศาสตร์ทราบดีว่ารังสีนั้นอาจจะก่ออันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ดังกล่าวแล้ว จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าว่าระดับความแรงรังสีเท่าใดที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำงาน (ระดับปลอดภัย) และระดับรังสีเท่าใดที่จะถือได้ว่าปลอดภัยต่อประชาชนโดยรวมทั้งนี้ไม่นับรวมปริมาณรังสีที่เกิดในธรรมชาติและระดับรังสีที่ใช้ประโยชน์ในการตรวจวินิจฉัยและรักษาพยาบาลทางการแพทย์และสรุปเป็นระดับรังสีที่ปลอดภัย **ดังตารางที่ 2.6**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ระดับความแรงรังสีที่ปลอดภัย

ระดับความแรงรังสี	ระดับรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงาน	ระดับรังสีสำหรับบุคคลทั่วไป
ความแรงรังสีรวม	20 mSv/y	1 mSv/y
เลนส์ตา	150 mSv/y	15 mSv/y
ผิวหนัง	500 mSv/y	50 mSv/y
มือเท้า	500 mSv/y	50 mSv/y

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

จากประสบการณ์ตรวจสอบผลจากรังสีจากการทิ้งระเบิดนิวเคลียร์และการศึกษาวิจัยและปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์รังสีและวัสดุกัมมันตรังสีตลอดช่วงเวลา 100 ปีที่ผ่านมาได้มีการสรุปผลความเสี่ยงและอันตรายของรังสีต่อมนุษย์และสรุปเป็นเกณฑ์อันตรายของรังสี **ดังตารางที่ 2.7**

ตารางที่ 2.7 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น

ระดับความแรงรังสี	อันตรายที่จะเกิดขึ้น
ความแรงรังสีระดับ 10,000 mSv ในระยะเวลาสั้นๆ	เกิดการบาดเจ็บทางรังสีทันทีและทำให้ถึงแก่ความตายใน 2-3 สัปดาห์
ความแรงรังสีระดับ 1,000 mSv ในระยะเวลาสั้นๆ	เกิดการบาดเจ็บทางรังสีเช่นคลื่นไส้อาเจียนแต่ไม่ถึงตายและอาจเกิดเป็นมะเร็งในระยะหลัง
ความแรงรังสีระดับ 20 mSv/y	เกณฑ์ความปลอดภัยทางรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสถานปฏิบัติงานทางรังสี
ความแรงรังสีระดับ 2 mSv/y	ระดับรังสีปกติในธรรมชาติ
ความแรงรังสีระดับ 0.05 mSv	ระดับรังสีสูงสุดที่ยอมให้มีอยู่ ณ รอบบริเวณสถานปฏิบัติงานนิวเคลียร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ที่มา (ชาตรี ศรีระพงษ์, ม.ป.ป.)

2.11 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive equilibrium)

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

$$X_A \xrightarrow{\lambda_1} X_B \xrightarrow{\lambda_2} X_C \xrightarrow{\lambda_3} \cdots\cdots\cdots X_n \xrightarrow{\lambda_n}$$

เมื่อ X_A สลายตัวไปเป็น X_B และเมื่อ X_B สลายตัวต่อจะก่อให้เกิด X_C

λ_1 เป็นค่าคงที่ของการสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ X_A ไป X_B

λ_2 เป็นค่าคงที่ของการสลายตัวในการเปลี่ยนแปลงของ X_B ไป X_C

ให้ N_1^0 และ N_2^0 แทนจำนวนอะตอมของ X_A และ X_B ณ เวลาเริ่มต้น

N_1 และ N_2 แทนจำนวนอะตอมของ X_A และ X_B ตามลำดับ ณ เวลาใด

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีคือ

อัตราการเปลี่ยนแปลง = อัตราการเกิด = อัตราการสลายตัว

ดังนั้นจึงสามารถหาปริมาณของ N_2 ในขณะใดขณะหนึ่งได้ดังสมการ

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad \text{.....} \quad (2.24)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad \text{.....} \quad (2.25)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad \text{.....} \quad (2.26)$$

แทนค่าสมการ (2.24) ลงในสมการ (2.26)

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad \text{.....} \quad (2.27)$$

และเมื่อแก้สมการจะได้สมการสำหรับอนุกรมการสลายตัวดังนี้

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 \left[e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right] \quad \text{.....} \quad (2.28)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.11.1 สมดุลแบบเซคูลาร์ (Secular equilibrium)

เป็นสมดุลทางรังสี ที่มีเงื่อนไขกำกับไว้ว่า ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่จะต้องมีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์ลูกหลายเท่า หรือมองอีกแง่หนึ่ง คือ $\lambda_1 << \lambda_2$ ถ้าจะให้เห็นได้ชัดของการเกิดสมดุลในแบบนี้แล้วความแตกต่างของครึ่งชีวิตระหว่างนิวไคลด์แม่กับนิวไคลด์ลูกจะต้องต่างกันประมาน 10^4 เท่า หรือมากกว่านั้น ดังนั้นค่าความแรงรังสีของนิวไคลด์แม้จะไม่เปลี่ยนแปลงเท่าไหร่ ในขณะที่ค่าความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกเปลี่ยนแปลงไปหลายช่วงครึ่งชีวิต ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของ ^{226}Ra ไปเป็น ^{222}Rn และกราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์แสดง **ดังรูปที่ 2.10**

^{226}Ra ⟶ ^{222}Rn ⟶ ^{218}Po ⟶

$T_{1/2}$=1620y $T_{1/2}$ = 3.8d $T_{1/2}$ = 3.05m

สำหรับสมดุลทางรังสีระหว่างเรเดียม และเรดอนทำให้สมการ (2.28) เปลี่ยนแปลงง่ายขึ้น กล่าวคือ λ_1 นั้นมีค่าน้อยมาก จนสามารถตัดทิ้งได้ เมื่อเปรียบกับค่า λ_2 และเช่นเดียวกัน เมื่อผ่าน t และ λ_2 จะมีค่ามหาศาล ดังนั้น $e^{-\lambda_1 t}$

จะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการ (2.28) สามารถลดรูปได้เป็น

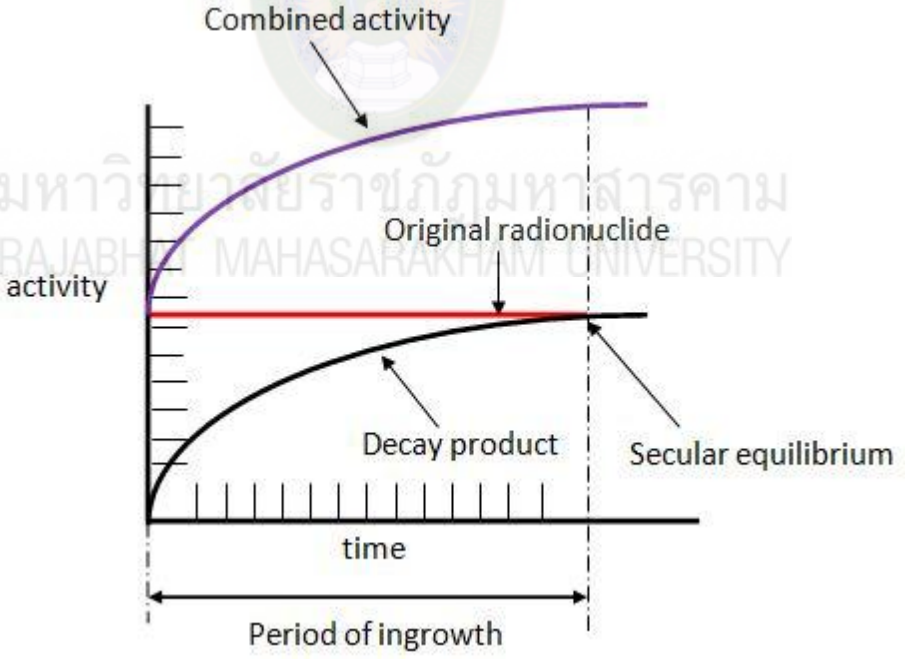
$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad \text{.....} \quad (2.29)$$

แทนค่า N_1จาก (2.24) ลงใน (2.29) จะได้

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \quad \text{.....} \quad (2.30)$$

หรือเมื่อเข้าสู่ระบบสมดุลแบบเซคูลาร์จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B = \lambda_C N_C = \text{.....} \lambda_n N_n \quad \text{.....} \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบเซคูลาร์
ที่มา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.11.2 สมดุลแบบทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)

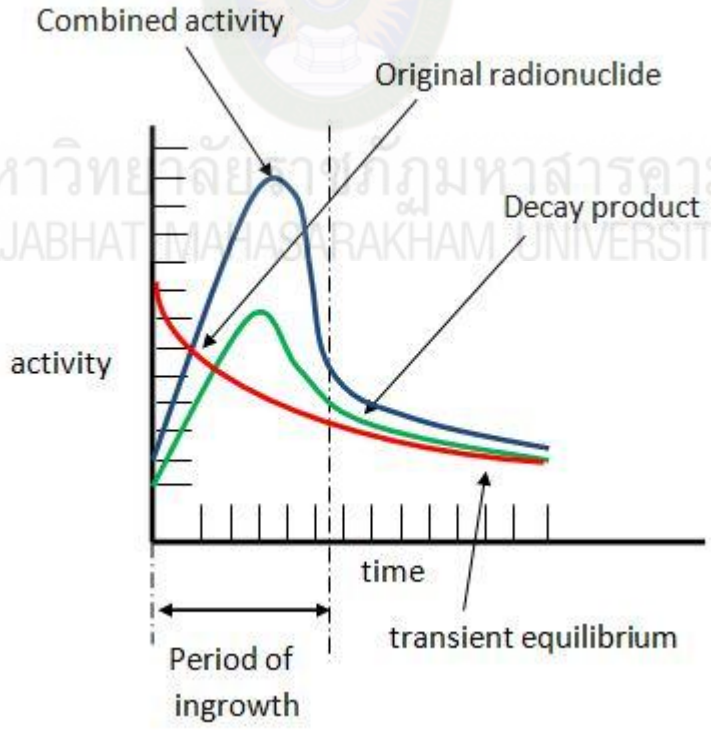
สมดุลนี้ มีความคล้ายคลึงกับสมดุลแบบเซคูลาร์ในกรณีค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีค่ามากกว่านิวไคลด์ลูก แต่มากกว่าด้วยสัดส่วนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 10 เท่า) ดังนั้นค่า $\lambda_1 < \lambda_2$ เมื่อเวลา t มีค่ามากๆค่า $e^{-\lambda_2 t}$ จะตัดทิ้งได้ เมื่อเทียบกับ $e^{-\lambda_1 t}$ เมื่อมองว่าเทอม $e^{-\lambda_2 t}$ มีค่าเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นสมการ (2.28) จะเปลี่ยนให้ง่ายขึ้นเป็น

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad \text{.....} \quad (2.32)$$

เมื่อแทนค่า N_1จาก (2.20) ลงใน (2.28) จะได้

$$N_1 \lambda_1 = N_2(\lambda_2 - \lambda_1) \quad \text{.....} \quad (2.33)$$

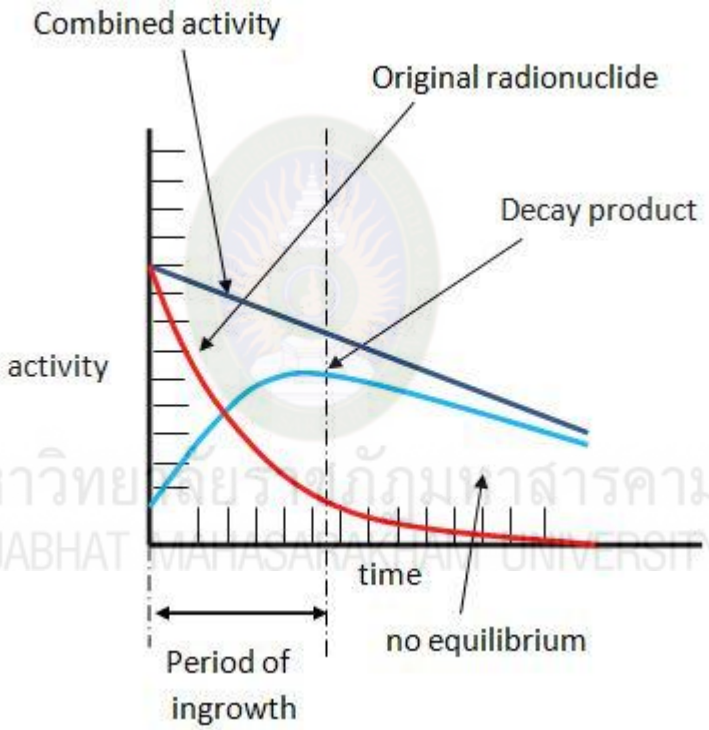
อย่างไรก็ตาม ในกรณีของสมดุลแบบทรานเซียนต์นั้น ค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่จะสั้นกว่าในกรณีของสมดุลแบบเซคูลาร์ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าค่าความแรงรังสีทั้งหมดจะลดลงตามเวลาแสดง **ดังรูปที่ 2.11** (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)



รูปที่ 2.11 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดสภาวะสมดุลแบบทรานเซียนต์
ที่มา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)

2.11.3 ไม่มีสมดุลทางรังสี (No equilibrium)

สมดุลทางรังสีจะไม่เกิดขึ้น ถ้าค่าครึ่งชีวิตของนิวไคลด์แม่มีน้อยกว่าของนิวไคลด์ลูก แสดง **ดังรูปที่ 2.12** ถ้าเริ่มต้นจากนิวไคลด์แม่แล้ว พิจารณาความแรงรังสีจะพบว่าความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจะเพิ่มขึ้นผ่านจุดที่มากที่สุดแล้วลดลง ณ จุดที่ค่าความแรงรังสีมากที่สุด ความชันของเส้นกราฟนิวไคลด์ลูก $dN_2/dt = 0$ สามารถคำนวณระยะเวลาของความแรงรังสีของนิวไคลด์ลูกจากเริ่มต้นจนมีค่ามากที่สุดได้ โดยอาศัยสมการดิฟเฟอเรนเชียล (2.28) โดยทำการตั้งสมการดิฟเฟอเรนเชียลเท่ากับศูนย์ แล้วคำนวณหาค่า t ใน**รูปที่ 2.12** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับความแรงรังสี (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.12 ความแรงรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ไม่มีสมดุลทางรังสี
ที่มา (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2550)

2.12 ผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต

รังสีที่แผ่ออกจากธาตุกัมมันตรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอมตามแนวทางที่รังสีผ่านไป ทำให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิต 2 แบบ คือ

1. ผลของรังสีที่มีต่อร่างกาย คือ เกิดเป็นผื่นแดงขึ้นตามผิวหนัง ผมร่วง เซลล์ตาย เป็นแผลเปื่อย เกิดเนื้อเส้นใยจำนวนมากที่ปอด (fibrosis of the lung) เกิดโรคเม็ดโลหิตขาวมาก (leukemia) เกิดต้อกระจก (cataracts) ขึ้นในนัยน์ตา เป็นต้น ซึ่งร่างกายจะเป็นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีที่ได้รับส่วนของร่างกายที่ได้ และอายุของผู้ได้รับรังสี ดังนั้นผู้ได้รับรังสีมีอายุน้อยแล้วอันตรายเนื่องจากรังสีจะมีมากกว่าผู้ที่มีอายุมาก ในทารกแรกเกิดแล้วอาจได้รับอันตรายถึงพิการหรือเสียชีวิตได้ (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.)

2. ผลของรังสีที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์ คือ ทำให้โครโมโซม (chromosome) เกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้ลูกหลานเกิดการเปลี่ยนลักษณะได้

2.13 การป้องกันรังสี

รังสีทุกชนิดมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งนั้น จึงต้องทำการป้องกันไม่ให้ร่างกายได้รับรังสี หรือได้รับแต่เพียงปริมาณน้อยที่สุด ในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากต้องทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีแล้ว ควรมีหลักยึดถือเพื่อปฏิบัติดังนี้

1. เวลาของการเผย (time of exposure) โดยใช้เวลาในการทำงานในบริเวณที่มีรังสีให้สั้นที่สุด เพราะปริมาณกำหนดของรังสีจะแปรตรงกับเวลาของการเผย

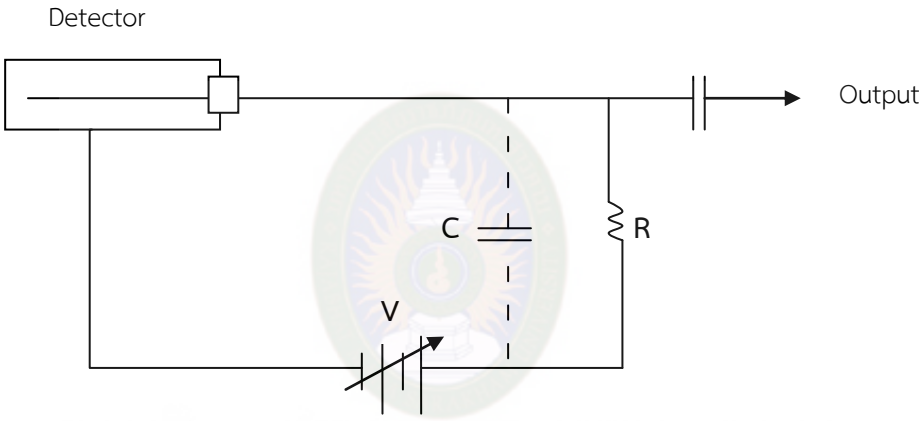
2. ระยะทาง (distance) การทำงานเกี่ยวกับรังสีควรอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมาก ๆ ทั้งนี้เพราะความเข้มของรังสีจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทาง คือ $I\alpha\frac{1}{d^2}$ เมื่อ d คือ ระยะทาง และ I คือ ความเข้มของรังสี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. เครื่องกำบัง (shielding) เครื่องกำบังที่วางกั้นระหว่างคนกับแหล่งกำเนิดรังสีจะดูดกลืนบางส่วนของรังสีหรืออาจจะทั้งหมดเลยก็ได้ ดังนั้นในกรณีที่ต้องทำงานใกล้กับสารกัมมันตรังสีและต้องใช้เวลานานในการปฏิบัติงาน เราจำเป็นต้องใช้เครื่องกำบังช่วยเครื่องกำบังที่ดีควรเป็นพวกโลหะหนัก เพราะว่าโลหะ หนักจะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้รังสีเมื่อวิ่งมาชนกับอิเล็กตรอนแล้วจะสูญเสียพลังงานไปหมด ตัวอย่างของเครื่องกำบังเช่น แผ่นตะกั่ว แผ่นเหล็ก แผ่นคอนกรีต ใช้เป็นเครื่องกำบังพวกรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา แผ่นลูไซท์ควอทซ์ ใช้เป็นเครื่องกำบังรังสีเบต้าได้ อากาศและแผ่นกระดาษ อาจใช้เป็นเครื่องกำบังอนุภาคอัลฟา ส่วนน้ำและพาราฟินใช้เป็นเครื่องกำบังอนุภาคนิวตรอนได้ (สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.)

2.14 เครื่องวัดรังสีแบบแก๊ส

เครื่องมือของระบบนี้ ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ที่เปลี่ยนค่าได้ (v) ความต้านทานที่มีค่าสูงมาก (R) หัววัดรังสีบรรจุด้วยแก๊ส (D) ภายในจะมีลวดนำไฟฟ้าสองเส้นที่แยกออกจากกันด้วยด้วยฉนวนต้านไฟฟ้าอย่างดี เส้นที่หนึ่งจะอยู่ตรงกลางหลอดอีกเส้นจะเชื่อมติดกับแผ่นโลหะรูปทรงกระบอกติดผนังหลอดวัดรังสี c จะเป็นคาปาซิเตอร์ (capacitor)เมื่อรังสีวิ่งผ่านหัววัดรังสี จะทำให้แก๊สที่อยู่ภายในเกิดการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า เรียกว่า อิออน (ions) เมื่อประจุบวกวิ่งไปขั้วคาโทด ประจุลบวิ่งไปขั้วอาโนดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แสดง **ดังรูปที่ 2.13**



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.13 วงจรพื้นฐานสำหรับเครื่องวัดรังสีแบบแก๊ส
ที่มา (โสรัชต์ เจริญวงค์, 2530)

ค่าไทม์คอนสแตนท์ (time constant, RC) ของวงจรมีค่ามากกว่าเวลาที่หัววัดรังสีจับอิออนที่เกิดขึ้นมาทั้งหมด จะได้ขนาดสัญญาณ (voltage pulse)

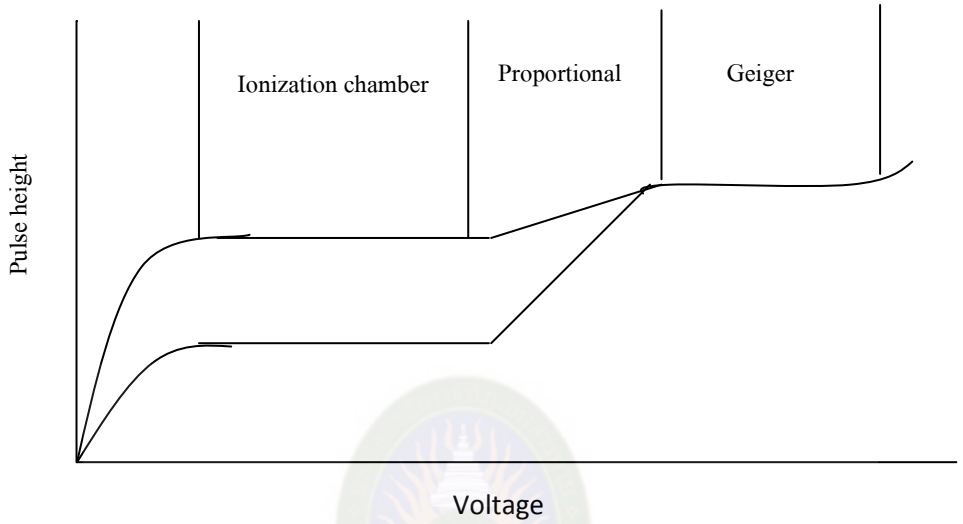
$$V = Q/C \quad (2.34)$$

เมื่อ Q = จำนวนประจุทั้งหมดที่ถูกจับ

C = ค่าคาปาซิแทนซ์ (capacitance) ของวงจร

2.14.1 อิออนไนเซชัน แซมเบอร์ (ionization chamber)

ถ้าเราให้ลำรังสีผ่านหัววัดรังสีด้วยปริมาณคงที่ให้ความต่างศักย์ V ซึ่งสามารถเปลี่ยน แปลงได้โดยเริ่มตั้งแต่ 0 โวลต์ และค่อยๆ เพิ่มมากขึ้น เราจะได้บริเวณที่สำคัญในการวัดรังสีหลายบริเวณ **ดังรูปที่ 2.14**



รูปที่ 2.14 กราฟของความสูงสัญญาณกับค่าโวลท์เทจคร่อมระหว่างหัววัดรังสีแบบแก๊ส แสดงถึงบริเวณอิออนไนเซชั่น แซมเบอร์ บริเวณสัดส่วน และบริเวณไกเกอร์

ที่มา (โสรัชต์ เจริญวงค์, 2530)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บริเวณแรกมีชื่อเรียกว่าบริเวณอิออนไนเซชั่น แซมเบอร์ (ionization chamber region) ที่บริเวณนี้อิออนบวกที่เกิดขึ้นมาทั้งหมดจะถูกจับโดยคาโทดที่อยู่รอบๆผนังหลอด และอิออนลบหรืออิเล็กตรอนจะถูกจับโดยแอโนดที่อยู่ตรงกึ่งกลางของหลอด ความต่างศักย์ช่วงนี้ไม่สามารถทำให้อิออนเหล่านี้เคลื่อนที่ด้วยความเร่งได้ ดังนั้นไม่ว่าเราจะเพิ่มค่าความต่างศักย์ในบริเวณนี้เท่าใดก็ตาม ขนาดของสัญญาณที่เกิดขึ้นมาก็มีค่าคงที่และไม่เกิดอิออนทุติยภูมิ (secondary ionization) เนื่องจากอิออนไปชนกับผนังหลอด จำนวนของอิเล็กตรอนที่ถูกจับ โดยแอโนดจะมีค่าเท่ากับจำนวนของอนุภาคที่เกิดการแตกตัวครั้งแรก (pimary ionizing particle) ขนาดของสัญญาณ ไม่ขึ้นกับค่าความต่างศักย์แต่จะขึ้นอยู่กับจำนวนของอิออนที่เกิดขึ้นมา (ในช่วงที่ระยะลำรังสีผ่านเข้าไปในหัววัดรังสี) เพียงอย่างเดียว

จากความจริงที่ว่าขนาดของสัญญาณในช่วงบริเวณอิออนไนเซชันแซมเบอร์ ขึ้นอยู่กับจำนวนของอิออนที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสี จะทำให้เครื่องมือมีความสามารถแยกรังสีต่างๆที่มีค่าอิออนไนเซชั่นจำเพาะ (specific ionization) แตกต่างกัน เช่น รังสีแอลฟา รังสีเบต้า หรือรังสีแกมมา อนุภาครังสีแอลฟา 1 ตัว เมื่อผ่านเข้าไปในหัววัดรังสีจะทำให้เกิดอิออนประมาณ 10^5 คู่ เทียบเท่ากับประจุไฟฟ้า 1.6×10^{-14} C ถ้าหัววัดรังสีมีค่าคาปาซิแทนซ์ 10 μF และถ้าประจุทั้งหมดถูก

จับหมด จะได้ว่าสัญญาณโวลท์เทจ (voltage pulse) ที่เกิดจากอนุภาแอลฟา 1 ตัววิ่งผ่านจะได้ ดังสมการที่ (2.35)

$$V = Q/C = \frac{1.6\times10^{-14}}{10\times10^{-12}} = 1.6\times10^{-3} \text{ โวลต์} \quad \text{.....} \quad (2.35)$$

ในทำนองเดียวกับอนุภาครังสีเบต้า 1 ตัว จะทำให้เกิดอิออน 1000คู่ ในหัววัดรังสี สัญญาณโวลต์เทจที่เกิดจากอนุภาคเบต้า1 ตัววิ่งผ่านหัววัดรังสีจะมีค่าเพียง $V = 1.6 \times10^{-5}$ โวลต์ กำลังขยายแตกต่างกัน 100 เท่า (โดยที่สัญญาณโวลท์เทจของรังแอลฟา V = 0.6 โวลต์ และของรังสีเบต้า มีค่า V = 0.0016 โวลต์) ถ้าใช้วงจรดิสคริมิเนเตอร์ ร่วมกับวงจรเกเลอร์ สัญญาณโวลท์เทจที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่เราตั้งไว้ จะถูกกำจัดออกไปและสัญญาณโวลท์เทจที่มีค่ามากกว่า (ค่าที่เรากำหนดไว้) เท่านั้นที่เครื่องมือจะนับได้จากตัวอย่างนี้ ถ้าตั้งดิสคริมิเนเตอร์ที่ 0.1 โวลต์ เครื่องวัดรังสีจะนับค่ารังสีเนื่องจากรังสีแอลฟา ส่วนรังสีเบต้าจะไม่สามารถผ่านวงจรดิสคริมิเนเตอร์ออกมาเข้าสู่เครื่องนับได้ เครื่องวัดรังสีจะไม่นับดิสคริมิเนเตอร์นี้จะตั้งตามความไวสัญญาณอินพุดของสเกลเลอร์ การเพิ่มค่าความไวอินพุท จากตัวอย่างข้างบน จะอนุญาตให้ทั้งรังสีอัลฟา และเบต้าสามารถถูกวัดได้ ความสามารถในการแยกรังสีทั้งสองนี้แสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงถึงความสูงสัญญาณเอาท์พุท ที่เป็นฟังก์ชั่นกับโวลเทจหัววัดรังสี (โสรัชต์ เจริญวงค์, 2530)

2.15 Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Rajabhat Mahasarakham University

Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX มีรูปร่างลักษณะ แสดง**ดังรูปที่ 2.15**

รูปที่ 2.15 Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX
ที่มา (Gammadata, ม.ป.ป.)

RADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX จะใช้พื้นฐานของเทคโนโลยี pulsed ionization-chamber เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าในแง่ของความไวและความรวดเร็วในการตอบสนอง สำหรับผู้ใช้ มันจะมีความแม่นยำมากในการวัดต่อวันและมีความเป็นไปได้มากในการดูดอากาศ ฟังก์ชั่นของเครื่องจะถูกควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ รังสีพื้นหลังถูกปฏิเสธโดยอัตโนมัติ และผลลัพธ์ที่ได้จะนำเสนอบนจอ LC เพียงแค่เลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการทำงาน ในระหว่าง 1 นาทีถึง 24 ชั่วโมง และกดปุ่มเริ่มต้นนอกเหนือไปจากการอ่านของความเข้มข้นเรดอน การแสดงผลจะแสดงข้อผิดพลาดทางสถิติในปัจจุบัน เวลาจะทำงานตั้งแต่เริ่มต้น รวมเวลาที่เลือกและวันที่และเวลาปัจจุบัน สำหรับผู้ใช้ที่นี้หมายถึงการควบคุมเต็มรูปแบบและการจัดการที่ง่าย ทุกๆ10นาที ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของ Micro-computer โดยไม่คำนึงถึงวิธีการที่ใช้ในการจัดการโดยจะกดปุ่ม ETC หน่วยความจำจะเก็บข้อมูลของ 28 วันล่าสุด นอกจากนี้ ถ้าเวลาของการทำงานถูกกำหนดเป็นหนึ่งชั่วโมงหรือนานกว่านั้น พลังงานที่สเปกตรัมจะถูกเก็บไว้โดยอัตโนมัติ หน่วยความจำที่สามารถอ่านได้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีหรือส่งเข้าเครื่องพิมพ์โดยตรงสำหรับพิมพ์รายงานและการแจกแจงเวลาของความเข้มข้นเรดอน ATMOS 12 DPX เป็นเครื่องมือที่ทำงานโดยใช้เทคโนโลยีหัววัดรังสีที่จับแรงสั่น เทคนิคนี้ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในแง่ของความไวต่อการรับรู้และความเร็วในการตอบสนอง สำหรับผู้ใช้ นี่หมายความว่าจะได้การวัดผลที่ถูกต้องแม่นยำต่อวัน และความเป็นไปได้ที่จะใช้ sniffing การทำงานของเครื่องมือนี้ถูกควบคุมโดย micro-processor โดยรังสีพื้นหลังจะถูกปฏิเสธ คัดออกโดยอัตโนมัติ และผลก็จะถูกนำเสนอ แสดงผลบนจอ LCD สามารถเลือก integration time ได้ง่ายระหว่าง 1 นาที และ 24 ชั่วโมง แล้วกดปุ่มเริ่มทำงาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

นอกจากนี้การอ่านค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนแล้ว หน้าจอยังแสดงความผิดพลาดทางสถิติ เวลาที่ดำเนินการตั้งแต่เริ่ม integration time ที่ถูกตั้งไว้ รวมทั้งวันที่และเวลา ณ ปัจจุบันด้วย สำหรับผู้ใช้นี่หมายความว่า คุณสามารถจัดการ/ใช้งานได้ง่าย ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจะถูกเก็บไว้ของ micro-computer ไม่ว่าเครื่องมือจะถูกเปิดใช้งาน (ซึ่งปุ่มถูกกด หรืออื่นๆ) หรือไม่ ความจำก็จะบรรจุ มีข้อมูลของ 28 วันล่าสุดเสมอ นอกจากนี้แล้วถ้า integration time ถูกตั้งค่าไว้ 1 ชั่วโมงหรือนานกว่านั้น spectrum ของพลังงานก็จะถูกเก็บไว้โดยอัตโนมัติ ความจำสามารถอ่านได้ทั้งโดย PC computer และ เครื่อง printer โดยตรง เพื่อพิมพ์เอกสารรายงานค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนออกมา สำหรับผู้ใช้นี่เป็นวิธีการที่ดีมากที่จะผลิตเอกสารที่ให้ข้อมูลและรายละเอียดเป็นอย่างดี เนื่องด้วยข้อดีทั้งหมดนี้ ATMOS 12 PDX คือตัวเลือกที่ดีสำหรับผู้ใช้งานระดับมืออาชีพ มีประโยชน์สำหรับการตรวจวัดในทุกสถานการณ์ จากการ screen ที่รวดเร็วไปจนถึงการวัดที่เข้มงวดก่อนที่จะติดตั้งระบบบรรเทา (mitigation system) และข้อมูลจำเพาะทางเทคนิคของเครื่อง ATMOS 12 PDX มีรายละเอียด **ดังตารางที่ 2.8**

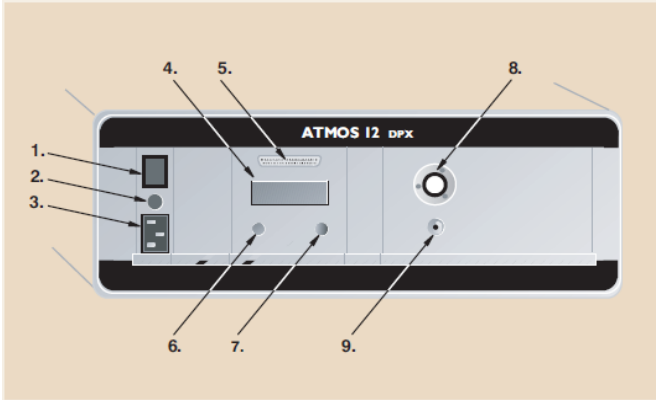
ตารางที่ 2.8 แสดงข้อมูลจำเพาะทางเทคนิค

ประเภท	รายละเอียด
ช่วงการวัด	1 – 100,000 Bq/m^3
ความไว	10% ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 800 Bq / m^3สำหรับก๊าซเรดอน และใช้เวลาวัด 10 นาที. ขีดจำกัดสำหรับก๊าซเรดอนคือ 100,000 Bq/m^3.กัมมันตภาพที่ตรวจพบต่ำที่สุด (Minimum Detectable Activity: MDA)ที่วัดในช่วงเวลาที่ต่างกัน : 5 วินาที ได้ 1800 Bq/m^3,1 นาที ได้ 150 Bq/m^3 และ1 ชั่วโมง ได้ 2 Bq/m^3
ความจุของหน่วยความจำ	สามารถเก็บข้อมูลล่าสุดได้ 28 วัน และ20 พลังงานสเปกตรัม
การแสดงผล	หน้าจอ LCD 4 x 16 ตัวอักษร.แสดงการอ่านในหน่วย Bq / m^3 (สามารถเลือกเป็น pCi / l) แต่มีความไม่แน่นอน เลือกการรวมของเวลาได้ เวลาตั้งแต่เริ่มต้น วันที่และเวลา
อัตราการไหลของอากาศ	อัตราการไหลของอากาศในห้องคือ 1.0 ลิตร / นาที
พอร์ตสื่อสาร	RS 232 สำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ หรือเครื่องเพจเจอร์
ช่วงของความชื้น	0 - 99 % RH
ช่วงอุณหภูมิ	0-50 องศาเซลเซียส
ซอฟต์แวร์	ATMOS 32 PC สำหรับ Windows 95/98 / NT / 2000 / ME / XP เป็นซอฟแวร์ที่ใช้สำหรับการหาค่าเวลาการกระจายของสเปกตรัมและพลังงานรวมถึงเป็นการจัดเก็บฐานข้อมูลรายงานการตรวจวัดซอฟแวร์นี้สร้างขึ้นสำหรับการพิมพ์ค่าโดยตรงและสำหรับการจัดสรรเวลาในเครื่องพิมพ์ (โดยไม่ต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์)
ขนาด	กว้าง 500 มิลลิเมตร สูง 385 มิลลิเมตร ยาว 220 มิลลิเมตร (19.7 x 15.2 x 8.7นิ้ว) น้ำหนัก 14 กิโลกรัม (31 ปอนด์)
กำลังไฟ	110/230V, 50/60 Hz

ที่มา (Gammadata, ม.ป.ป.)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

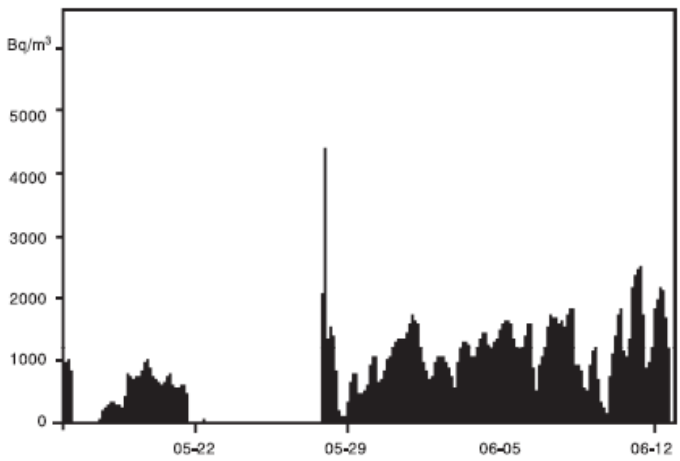
2.15.1 ข้อมูลจำเพาะทางเทคนิค



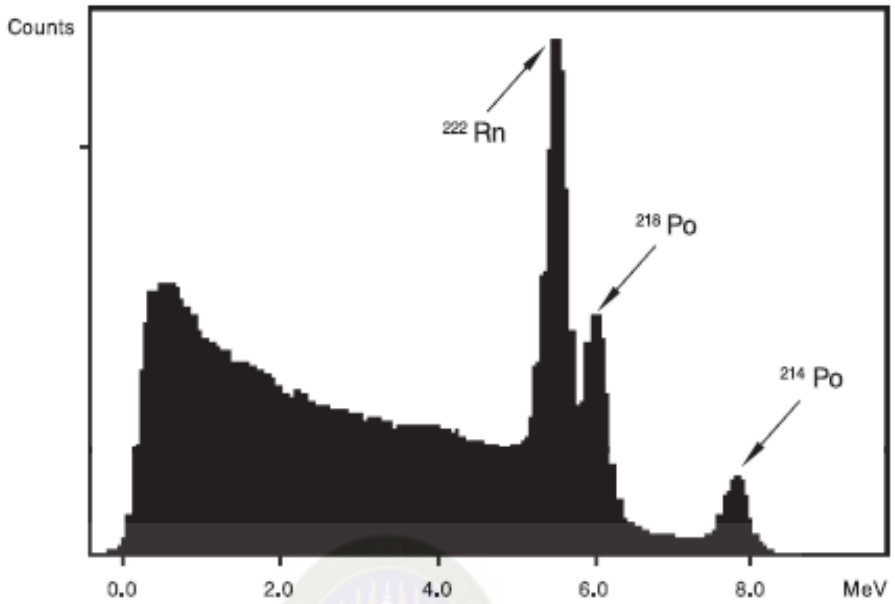
รูปที่ 2.16 แสดงอุปกรณ์ของ ATMOS 12 DPX
ที่มา (Gammadata, ม.ป.ป.)

1. สวิตช์ไฟ
2. ฟิวส์
3. ช่องเสียบไฟ
4. หน้าจอ LC
5. พอร์ตการสื่อสาร (RS232)
6. ปุ่ม Start
7. ช่องอากาศที่ไหลเข้า
8. ช่องอากาศที่ไหลออก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงการกระจายของช่วงเวลาของ ATMOS 12 DPX
ที่มา (Gammadata, ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงค่าพลังงานสเปกตรัมจาก ATMOS 12 DPX
ที่มา (Gammadata, ม.ป.ป.)

2.16 น้ำบาดาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Rajabhat Maha Sarakham University

น้ำบาดาล (groundwater) คือน้ำที่ถูกกักเก็บหรือสะสมตัวอยู่ใต้ดิน อาจสะสมตัวอยู่ตามรอยแตก รอยแยกของชั้นหิน หรืออาจสะสมตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดกรวด หรือเม็ดทรายใต้ผิวดิน

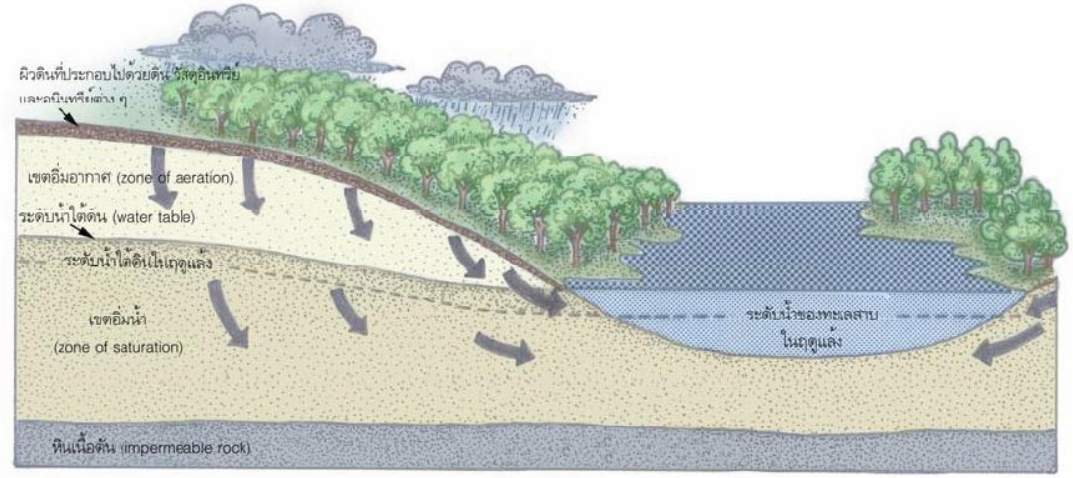
แหล่งน้ำตามธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำในบรรยากาศ (atmospheric water) น้ำผิวดิน (surface water) และน้ำใต้ดิน (subsurface water) น้ำฟ้าที่ตกลงมาสู่พื้นผิวโลกจะถูกกักเก็บเป็นน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบและมหาสมุทร ซึ่งก็คือน้ำผิวดิน น้ำผิวดินบางส่วนจะไหลซึมลงสู่ใต้ดิน ไปถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ในหิน ชั้นหิน ชั้นตะกอนหรือชั้นกรวด จนเกิดเป็นน้ำใต้ดินต่อไป แหล่งน้ำบนโลกจะเป็นน้ำเค็มในทะเลและมหาสมุทรร้อยละ 97.2 เป็นน้ำจืดร้อยละ 2.8 ซึ่งน้ำจืดจะอยู่ในรูปของธารน้ำแข็งร้อยละ 2.14 อยู่ในรูปของน้ำบาดาลร้อยละ 0.61 อยู่ในรูปของน้ำในแม่น้ำ ลำธารร้อยละ 0.009 และอยู่ในรูปของความชื้นในดินและในบรรยากาศร้อยละ 0.006 จะเห็นได้ว่าน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำจืดที่อยู่ในสถานะของเหลวที่มีปริมาณมากที่สุดบนโลก

2.16.1 การเกิดน้ำบาดาลและระดับน้ำใต้ดิน

น้ำฟ้าที่ตกลงมาสู่พื้นผิวโลกจะถูกกักเก็บเป็นน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ และมหาสมุทรน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ดังกล่าว เรียกว่า น้ำผิวดิน น้ำผิวดินบางส่วนจะไหลซึมลงสู่ใต้ดิน กลายเป็นน้ำใต้ ดิน ซึ่งแบ่งออกเป็นน้ำในดินและน้ำบาดาล กล่าวคือ น้ำผิวดินที่ไหลซึมลงสู่ใต้ดินส่วนแรกจะไหลซึมอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เรียกว่า น้ำในดิน (soil water) ในฤดูแล้งน้ำในดินอาจถูกแดดเผาให้ระเหยแห้งไปได้ น้ำที่เหลืออยู่ในดินจะไหลซึมลงต่อไปอีก สุดท้ายจะไปถูกกักเก็บไว้อยู่ตามช่องว่างระหว่างตะกอนหรือตามรอยแตกและรอยแยกที่อยู่ต่อเนื่องกันของหิน ชั้นหิน ชั้นตะกอน หรือชั้นกรวด จนกระทั่งหิน ชั้นหิน ชั้นตะกอนหรือชั้นกรวดดังกล่าวอิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีน้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างนั้น ๆ น้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในเขตอิ่มน้ำนี้เรียกว่า น้ำบาดาล (ground water) ระดับบนสุดของน้ำบาดาลจะเป็นระดับน้ำใต้ดิน (water table) ซึ่งจะเป็นพื้นผิวหรือแนวระดับน้ำใต้ผิวดินที่อยู่ระหว่างเขตอิ่มน้ำกับเขตอิ่มอากาศ (บริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้) ณ ระดับน้ำใต้ดินนี้แรงดันน้ำในชั้นหินหรือในชั้นตะกอนจะเท่ากับแรงดันของบรรยากาศ และในตำแหน่งที่ลึกลงไปจากระดับน้ำใต้ดินแรงดันของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของน้ำที่กดทับอยู่ ระดับน้ำใต้ดินนี้จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไปตามฤดูกาล โดยในฤดูแล้งระดับน้ำใต้ดินจะอยู่ลึกกว่าระดับปกติ ระดับน้ำใต้ดินส่วนใหญ่จะเอียงเทหรือวางตัวสอดคล้องไปตามลักษณะภูมิประเทศและจะไปบรรจบกับระดับน้ำในแม่น้ำหรือทะเลสาบ การแบ่งหิน ชั้นหิน ชั้นตะกอนและชั้นกรวดโดยใช้ระดับน้ำใต้ดินเป็นแนวแบ่งเขต จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน **ดังรูปที่ 2.19** ได้แก่

1. เขตอิ่มอากาศหรือบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้ (zone of aeration) คือ ส่วนบนตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ช่องว่างในดิน ในตะกอนและในหินเขตนี้บางส่วนจะมีน้ำ กักเก็บอยู่และบางส่วนจะมีอากาศแทรกอยู่ น้ำในเขตนี้จะถูกยึดอยู่ในช่องว่างด้วยแรงตึงผิวของอนุภาคดิน

2. เขตอิ่มน้ำ (zone of saturation) เป็นเขตที่อยู่ต่อจากเขตอิ่มอากาศลงไปหรืออยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินลงไป ช่องว่างในตะกอนหรือในหินเขตนี้จะมีน้ำอยู่เต็มทุกช่องว่างหรืออิ่มตัวไปด้วยน้ำ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในเขตนี้จะเป็นน้ำบาดาล



รูปที่ 2.19 ภาพตัดขวางแสดงระดับน้ำใต้ดิน เขตอิ่มอากาศ เขตอิ่มน้ำและระดับน้ำใต้ดินที่ลดลงในฤดูแล้ง

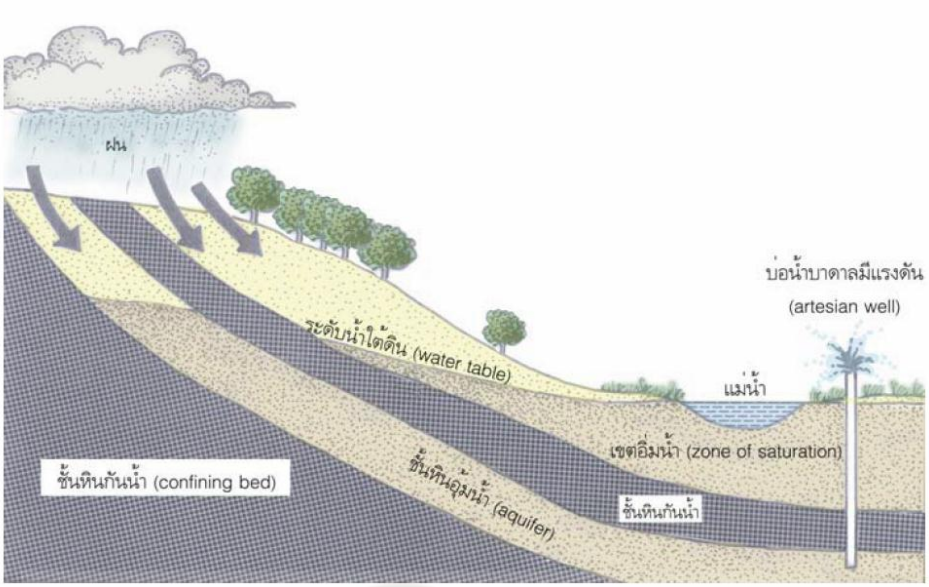
ที่มา (Anatole Dolgoff, 1996)

2.16.2 ชั้นหินอุ้มน้ำและชั้นหินกันน้ำ

ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer) เป็นชั้นหินหรือชั้นตะกอนที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้โดยง่ายและมีความพรุนสูง เนื่องจากชั้นหินหรือชั้นตะกอนดังกล่าวมีช่องว่างระหว่างตะกอนกว้างหรือมีรอยแตกและรอยแยกที่อยู่ต่อเนื่องกัน จึงทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมาก จนกลายเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน ชั้นหินนี้จะอยู่ในเขตอิ่มน้ำและวางตัวอยู่ติดกับชั้นหินกันน้ำ ตัวอย่างชั้นหินอุ้มน้ำ เช่น หินทราย ชั้นตะกอนทรายหรือชั้นกรวดที่ยังไม่แข็งตัวเป็นหิน

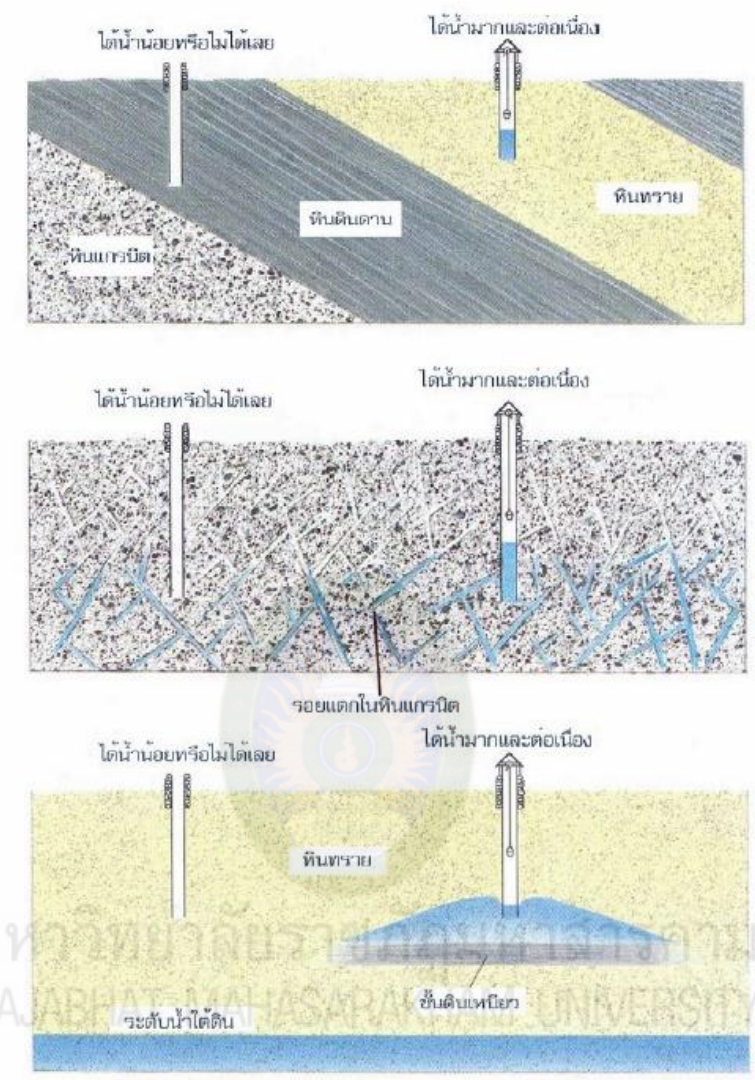
ชั้นหินกันน้ำ (confining bed) เป็นชั้นหินที่รองรับแหล่งน้ำบาดาล เป็นชั้นหินหรือชั้นตะกอนที่มีเนื้อแน่นจำพวกหินเนื้อตัน (impermeable rock) ซึ่งมีสมบัติเป็นเหมือนวัสดุกันน้ำ ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านหรือซึมผ่านได้แต่น้อยมาก เนื่องจากชั้นหินหรือชั้นตะกอนดังกล่าวไม่มีช่องว่างระหว่างตะกอนที่ต่อเนื่องกัน ชั้นหินกันน้ำส่วนใหญ่จะวางตัวอยู่ติดกับชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่ด้านบนหรือด้านล่างชั้นใดชั้นหนึ่งหรือทั้งสองชั้น ตัวอย่างชั้นหินกันน้ำ เช่น หินทรายแป้ง หินดินดาน

บริเวณหนึ่งๆ อาจมีแหล่งน้ำบาดาลหลายแหล่งหรือหลายชั้นก็ได้ โดยชั้นหินในบริเวณนั้นจะต้องวางตัวเอียงเทกับผิวดิน ซึ่งจะทำให้น้ำผิวดินสามารถไหลซึมเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำแต่ละชั้นที่วางตัวเอียงเทและถูกขนาบด้วยชั้นหินกันน้ำทั้งด้านบนและด้านล่างได้โดยตรง และจะทำให้เกิดแรงดันของน้ำขึ้นในชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกขนาบด้วยชั้นหินกันน้ำทั้งจากด้านบนและด้านล่าง ดังนั้นถ้ามีการเจาะบ่อบาดาลในบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำดังกล่าวจะเกิดบ่อน้ำบาดาลมีแรงดันขึ้น **ดังรูปที่ 2.20**



รูปที่ 2.20 แสดงชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกขนาบด้วยชั้นหินกันน้ำทั้งด้านบนและด้านล่าง
ที่มา (Anatole Dolgoff, 1996)

การเจาะบ่อน้ำบาดาลลงไปในชั้นหินกันน้ำหรือหินเนื้อตัน เช่น หินดินดาน หรือหินแกรนิตที่มีรอยแตกและรอยแยกที่ไม่ต่อเนื่องกัน หรือการเจาะบ่อบาดาลลงไปในชั้นทรายแต่ยังไม่ถึงแหล่งน้ำบาดาลที่แท้จริง จะทำให้ไม่ได้น้ำขึ้นมาขณะสูบน้ำ แต่ถ้าเราเจาะบ่อบาดาลลงไปในชั้นทรายที่เป็นแหล่งน้ำบาดาลโดยตรง จะทำให้ได้น้ำเป็นปริมาณมากและทำให้การสูบน้ำเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หรือถ้าเจาะบ่อบาดาลลงไปในหินแกรนิตที่มีรอยแตกและรอยแยกที่ต่อเนื่องกันและมีน้ำบรรจุอยู่ในรอยแตกและรอยแยกเหล่านั้นหรือเจาะบ่อบาดาลลงไปในชั้นทรายที่ยังไม่ใช่แหล่งน้ำบาดาลที่แท้จริงแต่มีชั้นหินกันน้ำหรือหินเนื้อตันจำพวกหินดินดานมารองรับ ก็จะทำให้มีน้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในแหล่งนั้นได้และสามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้พอสมควร (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) **ดังรูปที่ 2.21**



รูปที่ 2.21 การเจาะบ่อบาดาลลงไปในชั้นตะกอนแบบต่าง ๆ
ที่มา (Anatole Dolgoff, 1996)

2.17 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

คุณภาพของน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551**)** ซึ่งได้อธิบายไว้ดังนี้

1. น้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคต้องเป็นน้ำที่ได้ผ่านการวิเคราะห์คุณลักษณะจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลหรือส่วนราชการอื่น หรือองค์การของรัฐที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำหรือสถาบันอื่น ที่ได้รับการรับรองคุณภาพมาตรฐาน มอก. 1300 - 2537

(ISO / IEC Guide 25) หรือสถาบันที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลให้ความเห็นชอบตามหลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลกำหนด

2. น้ำบาดาลที่จะใช้บริโภค ต้องเป็นน้ำบาดาลที่มีคุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางเคมีไม่เกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้

3. ในท้องที่ที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลกำหนดต้องทำการวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่เป็นพิษ โดยให้มีปริมาณไม่เกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำบาดาล ที่จะใช้บริโภคได้

4. ในกรณีที่มีความจำเป็นกรมทรัพยากรน้ำบาดาล อาจสั่งให้วิเคราะห์คุณลักษณะทางแบคทีเรียก็ได้โดยต้องมีคุณลักษณะทางแบคทีเรีย ไม่เกินเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้

ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย**	**ค่ามาตรฐาน**	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	**เกณฑ์อนุโลมสูงสุด**
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ปลาตินัม-โคบอลต์	5	15
	2.ความขุ่น(Turbidity)	หน่วยความขุ่น	5	20
	3.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.0-8.5	6.5-9.2
ทางเคมี	4.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.5	1.0
	5.มังกานีส (Mn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.3	0.5
	6.ทองแดง (cu)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 1.0	1.5
	7.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 5.0	15.0
	8.ซัลเฟต (SO_4)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	9.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 250	600
	10.ฟลูออไรด์ (F)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.7	1.0
	11.ไนเตรด (NO_3)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 45	45

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพน้ำ**	**หน่วย**	**ค่ามาตรฐาน**	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	**เกณฑ์อนุโลมสูงสุด**
	12.ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 300	500
	13.ความกระด้างถาวร (Non carbonate hardness as $CaCO_3$	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	14.ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total disslved solids)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200
สารพิษ	15.สารหนู (As)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	16.ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.1
	17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	18.ปรอท (Hg)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.001
	19.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01
	20.ซิลิเนียม (Se)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01
ทางแบคทีเรีย	21.แบคทีเรียที่ตรวจพบโดยวิธี Standard plate count	โคโลนีต่อ ลบ.ซม.	ไม่เกินกว่า 500	-
	22.แบคทีเรียที่ตรวจพบโดยวิธี Most Probable Number (MPN)	เอ็ม.พี.เอ็นต่อ 100 ลบ.ซม.	น้อยกว่า 2.2	-
	23.อี.โคไล (E.coli)		ต้องไม่มีเลย	-

ที่มา (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.18 เกณฑ์มาตรฐานของเรดอนและเรเดียม

สำหรับก๊าซเรดอนในอากาศองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดไว้ที่ 148 Bq/m^3

สำหรับก๊าซเรดอนในน้ำอุปโภคองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดไว้ที่ 150 Bq/l

สำหรับก๊าซเรดอนในน้ำบริโภคองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดไว้ที่ 11 Bq/l (พชิรา รัฐโสลา และคณะ, 2554)

สำหรับเรเดียมในน้ำอุปโภค บริโภคองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ได้กำหนดไว้ที่ไม่ควรเกิน 185 mBq/l (วิษณุศาสตร์ อาจโยธา, 2556)

2.19 สมการการวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอน-222 (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกาย

สามารถคำนวณได้ โดยใช้สมการของ IAEAดังนี้

$$AED = A \times W \times a \times 10^{-8} \quad \text{..... (2.36)}$$

เมื่อ AED คือ Annual Equivalent Dose หมายถึง ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปีจากการดื่มน้ำ (Sv/y)

A คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณเรดอนในน้ำดื่ม (Bq/l)

W คือ การดื่มน้ำของคนต่อวัน จำนวน 2 l/day (ลิตรต่อวัน)

a คือ จำนวนวันที่ได้รับสารรังสี (day)

10^{-8} คือ Dose factor ที่ใช้ในการประเมินรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี (Sv/Bq)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.20 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช (2554) ได้ทำการศึกษาโรคมะเร็ง ที่เป็นสาเหตุการตายอันดับต้นๆ ของคนไทยมาเป็นเวลานาน จากสถิติพบว่า มะเร็งปอดเป็นสาเหตุการตายอันดับสอง รองจากมะเร็งตับ และเมื่อแยกตามภูมิภาคต่างๆ แล้ว พบว่า มีอุบัติการณ์ของโรคมากที่สุดในภาคเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุบัติการณ์ในเพศหญิง ถือได้ว่าอยู่ในอันดับต้นๆ ของโลก สำหรับสถิติในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีอุบัติการณ์เฉลี่ยของมะเร็งปอดรายปี ระหว่าง พ.ศ.2531 ถึง 2534 (ภายหลังจากที่ได้ปรับมาตรฐาน ตามอายุแล้ว) ในเพศชาย คือ 49.8:100,000 และเพศหญิง คือ 37.4:100,000 เมื่อ

พิจารณารายอำเภอ พบว่า อุบัติการณ์ของโรคมะเร็งพบมากที่สุดที่อำเภอสารภี และพบน้อยที่สุดที่อำเภอจอมทอง

ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มศึกษา (ผู้ป่วย) มีสัดส่วนชายต่อหญิงเป็น 1.07:1 พิสัย 36-85 ปี อายุเฉลี่ย 63.0±9.0 ปี ร้อยละ 8.3 มีประวัติของญาติเป็นมะเร็งปอด ลักษณะบ้านส่วนใหญ่ เป็นบ้านไม้มีใต้ถุน พื้นบ้านเป็นปูน ส่วนของบ้านที่ผู้ป่วยใช้เวลาส่วนใหญ่ คือ ห้องนั่งเล่น หรือห้องรับแขก โดยมีความสูงของพื้นห้อง อยู่ในช่วง 0-1 เมตร ระบบการระบายอากาศส่วนใหญ่ ร้อยละ 84.5 ทางประตูและหน้าต่าง ด้านประวัติการสูบบุหรี่ ส่วนใหญ่เคยสูบ บุหรี่ที่สูบส่วนมาก คือ บุหรี่ขี้โย โดยมีระยะเวลาการสูบเฉลี่ย 35.6±17.2 ปี ระดับเรดอนในบ้านอยู่ในช่วง 6.6-150.3 Bq/m^3 ค่าเฉลี่ย 26.41 Bq/m^3 เมื่อเทียบกับ 18.32 Bq/m^3 ของกลุ่มควบคุม อำเภอจอมทอง อำเภอสารภี จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ ระหว่างโอกาสการเกิดมะเร็งของ ผู้ป่วยมะเร็งปอด อำเภอสารภี เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมทั้งสองกลุ่ม กับปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ด้วยวิธีการทางสถิติ พบว่า ปัจจัยเสี่ยงที่ให้ผลตรงกัน คือ ปัจจัยเสี่ยงด้านระดับเรดอน และระยะเวลาของการสูบหรือ เคยสูบบุหรี่ มีความสัมพันธ์ กับการเกิดมะเร็งปอด อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะระดับเรดอน มีอิทธิพลต่อการเกิดมะเร็งปอดมากที่สุด ทั้งสองกรณี

พชิรารัฐ โสลา, ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, อนันท์ โอมณี, พิบูล อิสสระพันธุ์, และลัดดา ธรรมการัณย์ (2554) เป็นที่ทราบกันดีถึงการเจือปนด้วยก๊าซเรดอนปริมาณสูงในน้ำพุร้อนผลตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในอากาศ น้ำพุร้อนและน้ำแร่บรรจุขวดบริเวณธารน้ำพุร้อนอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรีพบว่าปริมาณก๊าซเรดอนในอากาศภายในและภายนอกอาคารมีค่าตั้งแต่ 10 ± 1 ถึง 17 ± 7 และตั้งแต่ 11 ± 4 ถึง 147 ± 17 Bq/m^3ตามลำดับ ปริมาณก๊าซเรดอนในธารน้ำร้อนที่ต้นกำเนิดมีค่าตั้งแต่ 95 ± 1.2 ถึง 154 ± 1.9 ในบ่อแช่น้ำแร่มีค่า 2 ± 0.4 ถึง 9 ± 0.3 ในน้ำแร่บรรจุขวดหลังบรรจุ 7 วันมีค่า 17 ± 0.9 และหลังบรรจุขวด 90 วันมีค่า 0.2 ± 0.036 Bq/l ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ยังได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (USEPA)สำหรับก๊าซเรดอนในอากาศ 148 Bq/m^3เกณฑ์ปลอดภัยสำหรับน้ำอุปโภค 150 และน้ำบริโภค 11 Bq/l ตามลำดับพบว่าระดับก๊าซเรดอนในอากาศต่ำหรือเทียบเท่าค่ามาตรฐานอ้างอิงของ US EPA ปริมาณเรดอนในธารน้ำพุร้อนที่ต้นกำเนิดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์อ้างอิงสำหรับน้ำบริโภคแต่เทียบเท่าเกณฑ์อ้างอิงสำหรับน้ำอุปโภคดังนั้นไม่แนะนำให้ใช้น้ำจากธารน้ำพุร้อนเพื่อบริโภคโดยตรง สำหรับน้ำแร่บรรจุขวดเมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้วปริมาณก๊าซเรดอนลดลงจนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคอย่างไรก็ตามแนะนำให้ผู้ผลิตเก็บสินค้าไว้ไม่น้อยกว่า 8 วันหลังการผลิตเพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และในงานวิจัยนี้ยังได้ ประเมินรังสีขนาดเสี่ยงสำหรับนักท่องเที่ยว ชาวบ้านที่อยู่อาศัยบริเวณน้ำพุร้อนและพนักงานในรีสอร์ต พบว่าการคำนวณค่ารังสีขนาดเสี่ยง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สำหรับนักท่องเที่ยวที่พักในรีสอร์ตเป็นเวลา 3 วัน 2 คืนได้รับ 0.026 mSv ชาวบ้านที่อยู่อาศัยบริเวณธารน้ำพุร้อน 0.388 mSv/y และพนักงานของรีสอร์ตที่พักอาศัยในรีสอร์ตได้รับ 1.74 mSv/y เกณฑ์ปลอดภัยของการได้รับรังสีขนาดเสี่ยงสำหรับบุคลทั่วไปกำหนดไว้ที่ 1 mSv/y

พวงเพชร ศรีประดู่และสมโภชน์ นันบุญ (2549) เรดอนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอด เนื่องจากเป็นสารกัมมันตรังสีที่มีในพื้นดินในสินแร่ซึ่งภายในชั้นดินย่อมมีน้ำอยู่ โครงงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล โดยใช้อุปกรณ์ชุดตรวจวัดรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR-39 แล้วเก็บตัวอย่างน้ำไว้จนครบกำหนด 40 วัน จึงนำมาทำการกัดขยายรอยทางนิวเคลียร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 6.25 N ที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลานาน 100 นาที ค่าความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR-39 ต่อพื้นที่ 100 ตารางมิลลิเมตร สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลได้

ผลจากการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในบริเวณอำเภอสหัสขันธ์ จำนวน 32 ตัวอย่าง โดยออกสำรวจเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง เพื่อทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล พบว่า บริเวณที่มีปริมาณความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดคือ บริเวณบ้านเลขที่ 31 หมู่ 6 บ้านม่วงกุญชร ต.โนนศิลา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,023.25±4.96 Bq/m^3 และตรวจพบปริมาณความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยสูงสุด ณ บ้านเลขที่ 99 หมู่ 3 บ้านโคกไม้งาม ต.โนนน้ำเกลี้ยง มีค่าเท่ากับ 2,292.99±11.11 Bq/m^3 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่ามาตรฐาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วิษณุศาสตร์ อาจโยธา (2556) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรดอนในตัวอย่างน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่นจำนวนทั้งหมด 73 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัดชนิด Ionization Chamber ATMOS 12 DPX ในการวิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะของก๊าซเรดอนที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำผลการตรวจวัด พบว่าอยู่ในช่วง 0.007 – 0.92 Bq/l เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกาสำหรับก๊าซเรดอนในน้ำดื่ม ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l จากผลการตรวจวัดในตัวอย่างน้ำทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้นแต่ก็ควรตรวจวัดและเฝ้าระวังในบริเวณที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะสูงๆ อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากก๊าซเรดอนสามารถสะสมตัวในร่างกายได้ ซึ่งได้แก่ บ้านป่าเหลื่อม ต.ดอนช้าง มีค่า 0.92 Bq/l วัดไชยศรี ต.สาวะถีและบ้านหนองเต่า ต.บ้านหว้า มีค่า 0.86 Bq/l ในงานวิจัยนี้ยังได้มีการวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายสำหรับชาวบ้านที่ใช้น้ำเพื่อการบริโภคตลอดทั้งปี มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น (ค่ามาตรฐานค่ารังสีขนาดเสี่ยงสำหรับการบริโภคน้ำตลอดทั้งปี มีค่า 0.1 mSv/y)

ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล, เจนจิรา งามเพียร, หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว และประสงค์ เกษราธิคุณ (2553) งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัม-มันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์รังสีเริ่มต้น เรเดียม-226 (^{226}Ra) ทอเรียม-232 (^{232}Th) และโปแสเซียม-40 (^{40}K) ในตัวอย่างดินจำนวน 88 ตัวอย่างที่เก็บจากทุกตำบลใน 10 อำเภอของจังหวัดตรังโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์และระบบวิเคราะห์แบบแกมมาสเปกโตรเมตรีและใช้ต้นกำเนิดมาตรฐานดินแบบปริมาตร IAEA 375-soil ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ในการเปรียบเทียบเพื่อการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ทอเรียม-232 และโปแตสเซียม- 40 มีค่าเฉลี่ยเป็น 76.48 ± 3.38 Bq/kg, 84.38 ± 4.53 Bq/kg และ 384.85 ± 23.30 Bq/kg ตามลำดับและมีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 16.35 – 889.99 Bq/kg 0.47 – 298.18 Bq/kg และ 58.23 – 1425.73 Bq/kg ตามลำดับ และได้นำผลที่คำนวณได้นี้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ข้อมูลของนักวิจัยไทยและข้อมูลของงานวิจัยทั่วโลก นอกจากนี้ยังได้สร้างแผนภาพทางรังสีของค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ทอเรียม-232 และโปแตสเซียม-40 จากข้อมูลที่ศึกษาได้ในตัวอย่างดินบริเวณจังหวัดตรังโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ArcGIS อีกด้วย

สุพรรณี พรหมเทศ, สุพจน์ คำสะอาด, ภัทรวุฒิ วัฒนศัพท์, สุรพล เวียงนนท์, กฤติกา สุวรรณรุ่งเรือง และกีรติ ภูมิผักแว่น (2553) โรคมะเร็งนับว่าเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญยิ่งของคนไทยอุบัติการณ์ในภาพรวมของประเทศยังคงสูงมะเร็งบางชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสาเหตุและปัจจัยเสี่ยงต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคมะเร็งที่พบบ่อยได้แก่ มะเร็งท่อน้าดีตับมะเร็งปากมดลูกมะเร็งเต้านมมะเร็งลำไส้ใหญ่มะเร็งปอดมะเร็งช่องปากและมะเร็งกระเพาะอาหารโดยศึกษาแบบการศึกษาระยะยาวแบบไปข้างหน้าที่จังหวัดขอนแก่นซึ่งรวบรวมข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2533- 2544 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Nested case-control study โดยดำเนินการระหว่าง มีนาคม พ.ศ. 2551 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2553 ทำการยืนยัน Case โดยการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลทะเบียนมะเร็งชุมชนจังหวัดขอนแก่นพบว่ามีจำนวนผู้ป่วยมะเร็งท่อน้าดีตับ 245 รายมะเร็งปากมดลูก 61 รายมะเร็งเต้านม 10 รายมะเร็งลำไส้ใหญ่ 22 รายมะเร็งปอด 26 รายมะเร็งช่องปาก 11 รายมะเร็งกระเพาะอาหาร 8 มะเร็งรวมทุกชนิด 297 รายมีผู้ที่เข้าข่ายเป็นกลุ่มควบคุมคือไม่ถูกวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งและยังมีชีวิตอยู่ในขณะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวน 17,449 รายเป็นชาย 5,201 รายหญิง 12,248 รายเมื่อพิจารณาความสามารถในการทำนายของสมการนี้จากพื้นที่ใต้โค้งอาร์โอซี (Area under ROC curve; AUC) พบว่าสามารถทำนายการเกิดมะเร็งท่อน้าดีได้ในระดับปานกลางคือทำนายได้ร้อยละ 68.70 % มะเร็งปากมดลูก เมื่อคำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยอื่นและการหาสมการในการทำนายโดยวิธีการถดถอยพหุลิจีสติกแบบเงื่อนไขพบว่ามี 2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูกได้แก่ดัชนีมวลกายและอายุที่มีเพศสัมพันธ์ครั้งแรกกล่าวคือดัชนีมวลกายเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่อเมตร2 จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูกสูง

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เป็น 1.09 เท่า (95% CI= 0.99 - 1.18) และเมื่อยิ่งอายุที่มีเพศสัมพันธ์ครั้งแรกต่ำลงจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูกสูงเป็น 1.05 (1/OR = 1/0.95 = 1.05) เท่า (95% CI = 0.94 - 1.15) เมื่อพิจารณาความสามารถในการทำนายของสมการนี้จากพื้นที่ใต้โค้งอาร์โอซี (Area under ROC curve; AUC) พบว่าสามารถทำนายการเกิดมะเร็งปากมดลูกได้ในระดับต่ำคือทำนายได้ร้อยละ 54.93 มะเร็งปอด จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทีละปัจจัยพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับมะเร็งปอดได้แก่เพศชาย (OR=9.89;95% CI=3.73-26.2) อายุโดยเมื่ออายุมากขึ้นยิ่งมีความเสี่ยงสูงขึ้น (p<0.001) การสูบบุหรี่ (OR=6.73; 95% CI=2.88-15.73) การดื่มสุรามีความสัมพันธ์เชิงปัจจัยเสี่ยงกับการเป็นมะเร็งปอดผู้ที่มีดัชนีมวลกาย 23.5 ขึ้นไปมีผลเชิงป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทีละปัจจัยพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้แก่เพศชาย (OR=2.35; 95% CI=1.02-5.43) อายุโดยอายุมากขึ้นยิ่งมีความเสี่ยงสูงขึ้น (p<0.05) การมีประวัติการเป็นมะเร็งในครอบครัว (OR=2.66; 95% CI=1.13-6.27) การบริโภคอาหารมีความสัมพันธ์เชิงป้องกันดัชนีมวลกาย 23.5 ขึ้นไปมีผลเชิงป้องกัน มะเร็งช่องปาก จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทีละปัจจัยพบว่าการเคี้ยวหมากเป็นปัจจัยเสี่ยงกับการเป็นมะเร็งช่องปาก (OR=8.88; 95% CI=1.48-53.2) อายุ 60 ปีขึ้นไปมีความเสี่ยงสูงขึ้นเพศชายเป็นน้อยกว่าเพศหญิง ดัชนีมวลกาย 23.5 ขึ้นไปมีผลเชิงป้องกัน มะเร็งเต้านม จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทีละปัจจัยพบว่าดัชนีมวลกายมีความสัมพันธ์เชิงปัจจัยเสี่ยงกับการเป็นมะเร็งเต้านมคือผู้มีดัชนีมวลกาย 23.5 ขึ้นไปมีความเสี่ยงมากขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (OR=1.87; 95% CI=0.36-9.67) อายุมากขึ้นมีความเสี่ยงสูงขึ้น มะเร็งกระเพาะอาหาร จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทีละปัจจัยพบว่าเพศชายมีโอกาสเป็นมะเร็งกระเพาะอาหารมากกว่าเพศหญิง (OR=1.41; 95% CI=0.34-5.91) อายุเมื่อมีอายุมากขึ้นยิ่งมีความเสี่ยงสูงขึ้น (p<0.05) ดัชนีมวลกาย 23.5 ขึ้นไปมีผลเชิงป้องกันจากการศึกษาในครั้งนี้พบปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเช่นการติดเชื้อพยาธิใบไม้ตับการประเมินภาวะโภชนาการทางกายภาพการสูบบุหรี่การดื่มสุราการบริโภคอาหารซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการควบคุมป้องกันโรคมะเร็งในคนไทยได้ ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ทีละปัจจัยและพหุลอจีสติกดังนี้ มะเร็งท่อน้ำดีตับเมื่อคำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยอื่นและการหาสมการในการทำนายโดยวิธีการถดถอยพหุลิจีสติกแบบเงื่อนไขพบว่ามี 4 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดีตับและเป็นปัจจัยสำคัญในการทำนายการเกิดมะเร็งท่อน้ำดีคือดัชนีมวลกายเพศอายุและผลการตรวจอุจจาระพบไข่พยาธิใบไม้ตับกล่าวคือดัชนีมวลกายลดลง 1 กิโลกรัมต่อเมตร2 จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดีสูงเป็น 1.05 (1/OR = 1/0.95 = 1.05) เท่า (95%CI=1.11- 1.01) และเพศชายมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งท่อน้าดีสูงเป็น 2.45 เท่าของเพศหญิง (95% CI=1.74-3.45) เมื่ออายุเพิ่มขึ้น 1 ปีจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดีสูงเป็น 1.11 เท่า (95% CI=1.08-1.11) ผู้ที่มีผลการตรวจอุจจาระพบไข่พยาธิใบไม้ตับจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดีสูงเป็น 1.64 เท่าของผู้ที่มีผลการตรวจอุจจาระไม่พบไข่พยาธิใบไม้ตับ (95% CI=1.16-2.34)

Hakan Yakut, EmreTabar, ZemineZenginerler, NiluferDemirci and FilizErtugral (2013) ในงานวิจัยนี้,อันดับแรกจะนำเสนอการวัดความเข้มข้นของเรดอนในน้ำดื่มจากบ่อน้ำ,น้ำพุธรรมชาติและน้ำดื่มบรรจุขวดในเมือง ซากาย่า ประเทศตุรกี จะวัดโดยใช้ RAD 7,

solid-state alpha detector, RAD H_2O (เรดอนในน้ำ) อุปกรณ์ที่ผลิตโดยบริษัท Durridge, Inc. ความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีที่วัดได้มีตั้งแต่ 1.98ถึง 20.80 Bql^{-1} โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 9.05 Bql^{-1} สำหรับบ่อน้ำ,จาก 0.75 ถึง 59.65 Bql^{-1} โดยมีค่าเฉลี่ยที่13.78 Bql^{-1} สำหรับน้ำพุธรรมชาติและจาก 0.75 ถึง 22.8 Bql^{-1} โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 5.41 Bql^{-1} สำหรับน้ำดื่มบรรจุขวด แม้ว่าผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงความเข้มข้นของเรดอนที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากส่วนอื่น ๆ ของตุรกี แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าที่องค์การอนามัยโลก (the World Health Organization) ได้กำหนดระดับไว้ที่ 100 Bql^{-1} สำหรับเรดอน โดยใช้การวัดกัมมันตภาพรังสีของเรดอนและยังได้คำนวณหาปริมาณของเรดอน ที่ปะปนอยู่ในร่างกายที่เป็นผลมาจากการบริโภคน้ำโดยตรง ซึ่งจะเกี่ยวข้องและขึ้นอยู่กับอายุของผู้บริโภค.ได้ผลของปริมาณเรดอน อยู่ในช่วง 2.59 ถึง 205.97 μSvy^{-1} จาก 1.55 ถึง 123.28 μSvy^{-1} และ จาก 1.31 ถึง 104.48 μSvy^{-1}สำหรับกลุ่มอายุ 1-2, 8-12 และมากกว่า 17 ปี ตามลำดับ

P. Wanabongse, W. Thorarit, N. Yimchalam and S. Bovornkitti (2011) การดำเนินการวัดเพื่อการตรวจสอบระดับมาตรฐานของก๊าซเรดอนที่พบอยู่ในแต่ละจังหวัดที่มีอัตราการเกิดโรคมะเร็งปอดสูงในสามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย จากการศึกษาผลที่ได้จากการวัดระดับก๊าซเรดอนในพื้นที่เฉลี่ยได้ 20.0, 24.4 และ 13.1 $Bq.m^{-3}$ และมีค่าเฉลี่ยของอัตราปริมาณรังสีแกมมาเป็น 145, 164 และ 54 $nSvh^{-1}$ ที่พบอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ สงขลาและขอนแก่น ตามลำดับ การวิเคราะห์ spectroscopic ของตัวอย่างดินที่ได้มาจากทั้งสามจังหวัดแสดงให้เห็นข้อมูลที่สูงที่สุดของเรเดียม 226, ทอเรียม 232 และโพแทสเซียม 40 ที่มีอยู่ในปัจจุบันพบในจังหวัดสงขลา จะมีค่าเท่ากับ 93.7, 71.9 และ 786.9 $Bq.kg^{-1}$ ตามลำดับ และข้อมูลที่มีค่าต่ำที่สุดจะพบอยู่ในจังหวัดขอนแก่น โดยมีค่าเท่ากับ 15.6, 19.0และ 46.8 $Bq.kg^{-1}$ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ของความเข้มข้นกัมมันตภาพจากการเกิดขึ้นของนิวไคล์กัมมันตรังสีธรรมชาติ ช่วยอธิบายการลดระดับของก๊าซเรดอนและรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นในจังหวัดขอนแก่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยราชนครินทร์
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม โดยมีเครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ดังนี้

3.1 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือ

1. Salinity meter ยี่ห้อ AZ INSTRUMENTS รุ่น 8371
2. Conductivity Meter ยี่ห้อ LAQUA รุ่น DS-71A-S
3. pH meter ยี่ห้อ ExStik รุ่น Waterproof ExStik II pH
4. ATMOS 12 DPX ยี่ห้อ Gammadata รุ่น RADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX
5. GPS meter ยี่ห้อ GARMIN รุ่น Oregon 650

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นอลูมิเนียมขนาด 0.8 mm
2. ขวดพลาสติกขนาด 500 ml
3. ลังพลาสติกทึบแสงขนาด 43.7×61.5×33.5 cm
4. อุปกรณ์ดูดความชื้น
5. กระบอกตวงขนาด 500 ml
6. สายยางยาว 60 cm
7. ถุงมือยาง
8. แหล่งจ่ายไฟ 12 V

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ได้แบ่งวิธีดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การตรวจวัดหาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน (Rn-222) ในน้ำบาดาล

1. ทำการศึกษาหาความรู้จากงานวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆเพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการ โดยทำการศึกษาข้อมูลธรณีวิทยาและข้อมูลน้ำบาดาลจากสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดมหาสารคามและศึกษาวิธีการวิจัย จากงานวิจัยเรื่อง การวัดเรดอนในน้ำดื่มเขตอำเมืองจังหวัดขอนแก่นด้วยเครื่องวัด ionization chamber atmos 12 dpx งานวิจัยเรื่องการตรวจวัดเรดอนในน้ำอุปโภคด้วยเครื่องวัด ionization chamber atmos 12 dpx เป็นต้น

2. ทำการศึกษาข้อมูลของพื้นที่วิจัย โดยส่งจดหมายขอข้อมูลแผนที่และข้อมูลเกี่ยวกับน้ำบาดาลของพื้นที่วิจัย แสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก จ

3. ออกสำรวจพื้นที่วิจัย และแสดงพิกัดของตัวอย่างน้ำบาดาล ซึ่งแสดงไว้ใน**รูปที่ 3.1** และ**ตารางที่ 3.1**และทำการเก็บข้อมูลสถานที่ ซึ่งแสดงไว้ใน**รูปที่ 3.2-3.5**

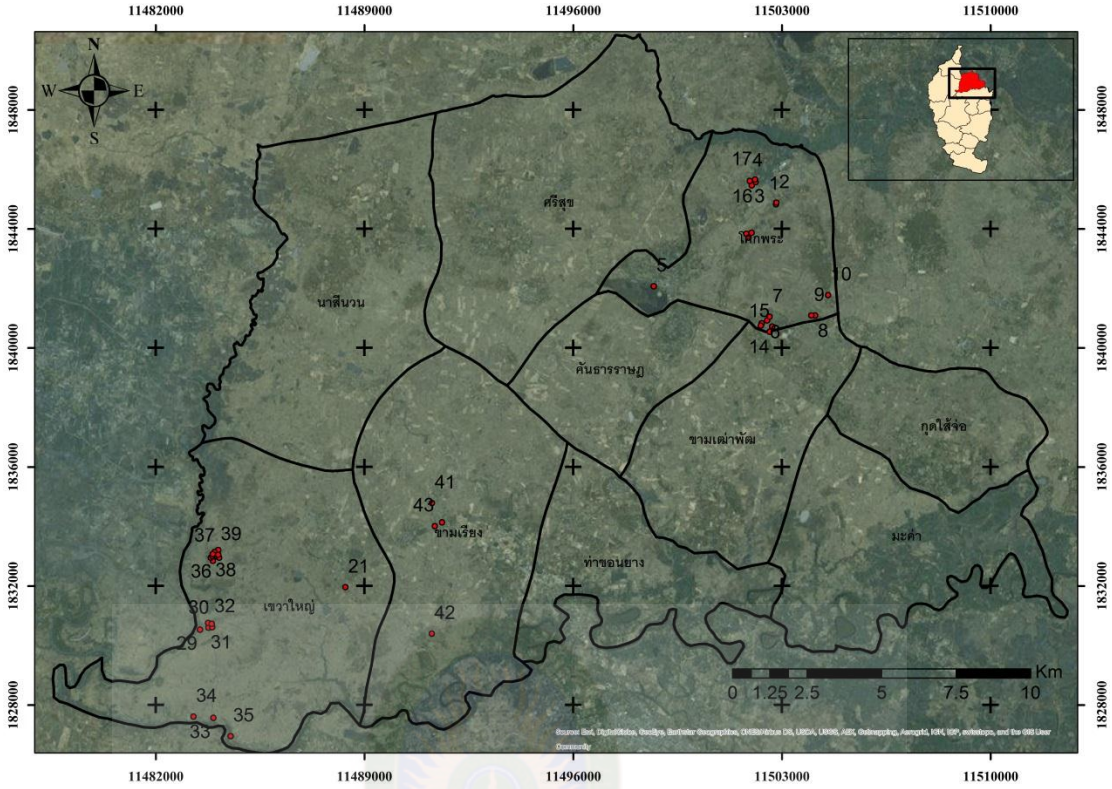
ตารางที่ 3.1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

ลำดับ	เลขที่/หมู่	บ้าน	ตำบล	ชนิด	ลองจิจูด (°E)	ละติจูด (°N)
1	ม.2	โนนแสบง	ขามเรียง	ประปาบาดาล	103.227778	16.259444
2	87/15	ขามเรียง	ขามเรียง	ประปาบาดาล	103.228611	16.252778
3	34/1	ขามเรียง	ขามเรียง	บาดาล(เจาะเอง)	103.230833	16.253889
4	2/7	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	103.163333	16.245833
5	103/20	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.163333	16.244444
6	84/20	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	103.161560	16.244050
7	88/20	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.161700	16.244680
8	9/20	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.162220	16.245240
9	39/7	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	103.163611	16.243611
10	83/7	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	103.162600	16.244140
11	14/7	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	103.163460	16.243690
12	92/7	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	103.161760	16.242710
13	105/7	คุยเพ็ก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.161111	16.243611
14	22/8	คุยเชือก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.160370	16.223350
15	48/8	คุยเชือก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.157880	16.222770
16	56/8	คุยเชือก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.161510	16.223490
17	121/8	คุยเชือก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.160278	16.224722

ตารางที่ 3.1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล (ต่อ)

ลำดับ	เลขที่/หมู่	บ้าน	ตำบล	ชนิด	ลองจิจูด (°E)	ละติจูด (°N)
18	145/8	คุยเชือก	เขวาใหญ่	บาดาล(เจาะเอง)	103.161389	16.224444
19	9/15	หนองโน	เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	103.155910	16.197570
20	26/9	บุ่งเบา	เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	103.161890	16.197230
21	ม.17	บุ่งเบา	เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	103.167090	16.191890
22	104/3	เขวาน้อย	เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	103.201700	16.235070
23	ม.12	มะกอก	ขามเรียง	ประปาบาดาล	103.227720	16.221610
24	61/6	โนนค้อ	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.323540	16.352780
25	15/6	โนนค้อ	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.324100	16.351540
26	29/5	ลุมพุก	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.331420	16.345990
27	136/15	คอกม้า	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.323140	16.336400
28	ม.11	สมศรี	โคกพระ	บาดาล(คันโยก)	103.343183	16.313852
29	131/11	สมศรี	โคกพระ	ประปาบาดาล	103.342060	16.313898
30	23/9	เหล่า	โคกพระ	ประปาบาดาล	103.328747	16.312401
31	68/13	เหล่า	โคกพระ	บาดาล(เจาะเอง)	103.330290	16.310620
32	68/13	เหล่า	โคกพระ	ประปาบาดาล	103.330290	16.310620
33	138/13	เหล่า	โคกพระ	บาดาล(เจาะเอง)	103.329520	16.309130
34	ม.10	เหล่า	โคกพระ	ประปาบาดาล	103.329510	16.313440
35	ม.10	เหล่า	โคกพระ	บาดาล(เจาะเอง)	103.329510	16.313440
36	58/13	เหล่า	โคกพระ	บาดาล(เจาะเอง)	103.326860	16.310904
37	3/13	เหล่า	โคกพระ	บาดาล(เจาะเอง)	103.327153	16.311683
38	78/5	ลุมพุก	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.331573	16.346547
39	110/15	คอกม้า	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.324067	16.337830
40	9/15	คอกม้า	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.322497	16.337546
41	16/12	หนองโก	โคกพระ	ประปาบาดาล	103.347139	16.319730
42	102/14	โนนค้อ	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.325105	16.353237
43	27/14	โนนค้อ	โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	103.325260	16.352578

เมื่อนำข้อมูลใน**ตารางที่ 3.1** มากำหนดพิกัดในโปรแกรม ArcGIS 10.1 แล้ว จะแสดงแผนที่ได้**ดังรูปที่ 3.1**



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.2 ออกพื้นที่สอบถามแหล่งน้ำบาดาล ณ บ้านเหล่าตำบลโคกพระ

รูปที่ 3.3 แหล่งประปาบาดาลบ้านเขวาน้อยตำบลเขวาใหญ่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.4 แหล่งน้ำบาดาลเจาะเอง บ้านโนนค้อ ตำบลโคกพระ

รูปที่ 3.5 สอบถามแหล่งน้ำบาบาลจากผู้นำหมู่บ้าน บ้านโนนแสบง ตำบลขามเรียง

4. ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากบ้านเรือนของประชาชนที่อาศัยอยู่ในหมู่บ้านต่างๆ ในเขตตำบลเขวาใหญ่, ตำบลโคกพระ และตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม โดยทำการซุ่มเก็บทั้งหมด 43 ตัวอย่างน้ำ โดยใช้ขวดพลาสติกขนาด 500 ml ในการเก็บตัวอย่างน้ำ **ดังรูปที่ 3.6**

รูปที่ 3.6 ภาพแสดงการเก็บน้ำตัวอย่าง

5. ก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำในกรณีเป็นน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาได้ด้วยปั๊ม ควรเปิดน้ำทิ้งไว้ก่อน 5-10 นาทีหลังจากนั้นค่อยเก็บน้ำให้เต็มขวด ส่วนในกรณีที่เป็นน้ำบาดาลที่ไม่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ จะใช้เครื่องตักน้ำโดยจะเลือกเอาน้ำในส่วนกลางจนถึงล่างของบ่อ ทั้งสองกรณีจะต้องทำการวัดตัวอย่างน้ำ โดยมีการวัดค่าดังนี้ คือ ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิ และค่าความเค็ม **ดังรูปที่ 3.7**

รูปที่ 3.7 ภาพการวัดข้อมูลพื้นฐานของน้ำตัวอย่าง

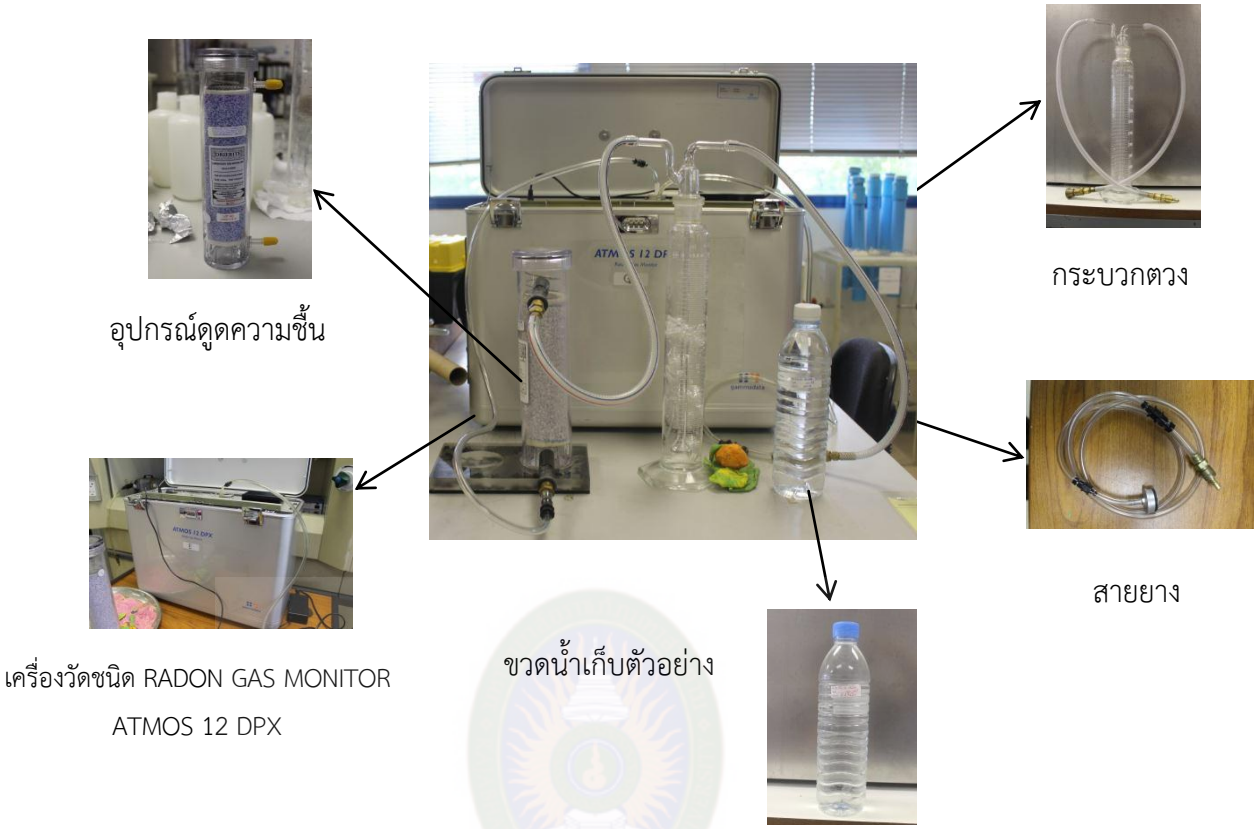
6. นำตัวอย่างน้ำที่เก็บและบันทึกค่าpH ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิ และค่าความเค็มเรียบร้อยแล้ว นำมาเก็บใส่ลังพลาสติกโดยมีแผ่นอลูมิเนียมขั้นอยู่ระหว่างขวด **ดังรูปที่ 3.8**

รูปที่ 3.8 ลังพลาสติกโดยมีแผ่นอลูมิเนียมกั้นอยู่ระหว่างขวด

7. นำตัวอย่างน้ำบาดาลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ionization Chamber โดยใช้เครื่องวัด RADON GAS ATMOS 12 DPX ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดก๊าซเรดอนของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.) โดยเร็วที่สุด เพื่อไม่ให้ก๊าซเรดอนในน้ำสูญเสียไปมากโดยผลที่ตรวจวัดจะถูกคำนวณย้อนกลับไปหาค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น ณ เวลาเก็บตัวอย่างเสมอ **ตามสมการที่ 2.8** $A = A_0 e^{-\lambda t}$

8. การตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำด้วยเทคนิค Ionization Chamber โดยใช้เครื่องวัดRADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX จะเป็นการใช้วิธีการปั๊มน้ำเพื่อให้เกิดฟองอากาศ ไล่ก๊าซเรดอนให้เข้าสู่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดชนิด RADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX (ดังแสดงในรูปที่ 3.9) ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้จะออกมาในรูปแบบของกราฟต่อเนื่อง ซึ่งผู้วิจัยจะต้องนำกราฟมาแยกหาค่าความเข้มข้นรังสี โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการตั้งค่า เพื่อแยกช่วงเวลาของการตรวจวัด คือ 1 ตัวอย่าง ใช้เวลา 30 นาที ซึ่งจะได้ค่าความเข้มข้นรังสีเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่างน้ำออกมา ในหน่วย Bq/m^3 (จะต้องทำการแปลงค่าให้เป็น Bq/l เนื่องจากตัวอย่างในการตรวจวัดเป็นของเหลว)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 3.9 วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนด้วยเครื่องวัดชนิด Ionization Chamber ATMOS 12 DPX

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

9. การหาค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลโดยการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32

10. นำค่าความเข้มข้นของเรดอน (Rn-222) ที่ได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Atmos 32 แล้ว ทำการแปลงหน่วยจาก Bq/m^3 เป็น Bq/l มาทำการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นโดยใช้สมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$

ยกตัวอย่างเช่น นำค่ากัมมันตภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ของตัวอย่างลำดับที่ 1 จากตารางที่ ก-1 คือ บ้านเลขที่ 29 หมู่ 5 บ้านลุมพุก ต.โคกพระ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.117 Bq/l เพื่อมาคำนวณหาค่ากัมมันตภาพเริ่มต้น

$$0.117 = A_0 e^{-0.181(24)}$$

$$A_0 = \frac{0.117}{0.013}$$

$$A_0 = 9.011 \text{ (Bq/l)}$$

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำบาดาลที่มีก๊าซเรดอน (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี

1. นำค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น (Rn-222) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในตอนที่ 1 มาทำการวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำบาดาลที่มีก๊าซเรดอน (Rn-222) ปะปนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี คำนวณได้จากสมการของ IAEA ดังสมการ 2.33

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าในระยะเวลา 1 ปี (365 วัน) ประชาชนได้ดื่มน้ำที่มีเรดอน 9.011 Bq/l

จาก
$$AED = A \times W \times a \times 10^{-8}$$
$$= 9.011 \times 2 \times 365 \times 10^{-8}$$
$$AED = 6.578 \times 10^{-5} Sv / y$$

2. สร้างกราฟคอนทัวร์เพื่อแสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของเรดอนและค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภค บริโภคน้ำบาดาลกับตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลโดยนำข้อมูลค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นของเรดอนและค่าความเสี่ยงเนื่องจากการอุปโภคบริโภคน้ำบาดาลไปทำกราฟคอนทัวโดยใช้โปรแกรม ArcGIS เพื่อแสดงการกระจายตัวและตำแหน่งโดยรวมของปริมาณก๊าซเรดอนในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัย และวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวิจัยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 43 ตัวอย่าง มาทดสอบเพื่อหาปริมาณก๊าซเรดอน โดยใช้เทคนิคไอโอไนเซชั่นแชมเบอร์ (Ionization Chamber) ด้วยเครื่องวัด เรดอน แก๊ส มอนิเตอร์ แอดมอส 12 ดีพีเอ็ก (RADON GAS MONITOR ATMOS 12 DPX) ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

จากการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 43 ตัวอย่าง ซึ่งในขณะนั้นได้มีการวัดค่าความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิ ค่าpH และค่าความเข้มข้นกับค่าความเสี่ยง ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งได้ผล **ดังตารางที่ 4.1**

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าทางกายภาพ ความเข้มข้น และค่าความเสี่ยง ของตัวอย่างน้ำบาดาล

ที่	ตำแหน่งตัวอย่าง	ความเค็ม (ppt)	การนำไฟฟ้า (µs)	อุณหภูมิ (°C)	pH	ค่าความเข้มข้น (Bq/l)	ค่าความเสี่ยง (mSv/y)
ต.โคกพระ							
1	29 หมู่ 5 บ้านลุมพุก	0.18	349	26	7.8	9.011±2.079	0.066±0.015
2	78 หมู่ 5 บ้านลุมพุก	0.27	599	26.7	7.9	6.392±1.771	0.047±0.013
3	15 หมู่ 6 บ้านโนนค้อ	0.53	1,260	26.8	7.3	10.732±1.735	0.078±0.013
4	61 หมู่ 6 บ้านโนนค้อ	0.45	977	26.8	6.9	11.552±2.310	0.084±0.017
5	114 หมู่ 8 คอกม้า	0.32	468	26.7	8.2	7.613±2.310	0.052±0.017
6	23 หมู่ 9 บ้านเหล่า	1.08	3,210	28.5	8.5	5.977±1.478	0.044±0.011
7	หมู่ 10 บ้านเหล่า	0.35	706	26.4	8.1	6.234±1.928	0.046±0.014
8	หมู่ 11 บ้านสมศรี	0.5	1,120	30.2	8.9	6.392±2.079	0.047±0.015

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าทางกายภาพ ความเข้มข้น และค่าความเสี่ยง ของตัวอย่างน้ำบาดาล (ต่อ)

ที่	ตำแหน่งตัวอย่าง	ความเค็ม (ppt)	การนำไฟฟ้า (µs)	อุณหภูมิ (°C)	pH	ค่าความเข้มข้น (Bq/l)	ค่าความเสี่ยง (mSv/y)
9	131 หมู่ 11 บ้านสมศรี	0.45	1,040	30.2	8.9	8.703±2.310	0.064±0.017
10	16 หมู่ 12 หนองโก	0.43	678	31.5	7.6	6.167±2.079	0.045±0.015
11	3 หมู่ 13 บ้านเหล่า	0.71	1,700	28.4	7.6	3.020±1.285	0.022±0.009
12	58 หมู่ 13 บ้านเหล่า	0.7	1,760	30	107	9.011±2.850	0.066±0.021
13	68 หมู่ 13 บ้านเหล่า	0.38	732	26.6	8.3	4.049±1.092	0.030±0.008
14	68 หมู่ 13 บ้านเหล่า	0.42	975	26	8	10.012±2.541	0.073±0.019
15	138 หมู่ 13 บ้านเหล่า	0.48	1,060	26.4	8.1	4.498±1.285	0.033±0.009
16	27 หมู่ 14 บ้านโนนค้อ	0.45	1,000	30	7.7	13.093±2.541	0.096±0.019
17	102 หมู่ 14 บ้านโนนค้อ	0.45	998	26.7	7.7	6.392±1.771	0.047±0.013
18	9 หมู่ 15 บ้านคอกม้า	0.28	597	29	7.6	6.619±1.735	0.048±0.013
19	110 หมู่ 15 บ้านคอกม้า	0.17	376	27.7	8.9	5.622±1.771	0.041±0.013
20	136 หมู่ 15 บ้านคอกม้า	0.05	180	26.9	8.4	4.390±1.771	0.032±0.013
ต.เขวาใหญ่							
21	104 หมู่ 3 บ้านเขวาน้อย	3.19	541	30.5	7.5	9.230±2.492	0.067±0.018
22	2 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก	1.12	2,520	27.3	6.2	7.933±2.079	0.058±0.015
23	14 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก	0.6	1,290	26	8	7.701±2.079	0.056±0.015
24	39 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก	0.53	1,900	28.1	6.5	4.621±1.771	0.034±0.013
25	83 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก	0.75	1,920	25.7	7.1	8.307±1.846	0.061±0.013

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าทางกายภาพ ความเข้มข้น และค่าความเสี่ยง ของตัวอย่างน้ำบาดาล (ต่อ)

ที่	ตำแหน่งตัวอย่าง	ความเค็ม (ppt)	การนำไฟฟ้า (µs)	อุณหภูมิ (°C)	pH	ค่าความเข้มข้น (Bq/l)	ค่าความเสี่ยง (mSv/y)
26	92 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก	0.53	1,060	26.8	6.5	4.082±1.771	0.030±0.013
27	105 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก	0.74	1,650	28.9	4.7	8.703±2.079	0.064±0.015
28	22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก	0.74	1,920	26.7	7.8	21.874±3.692	0.160±0.027
29	48 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก	4	1,220	26.7	6.3	8.241±2.310	0.060±0.017
30	56 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก	1.58	5,210	26.6	8.2	11.552±2..79	0.084±0.015
31	121 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก	0.43	765	28.4	7.6	11.321±2.310	0.083±0.017
32	145 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก	2.45	8,230	30	7.4	12.091±2.310	0.088±0.017
33	26 หมู่ 9 บ้านบุ้งเบา	1.34	2,810	27.5	7.4	11.076±3.046	0.081±0.022
34	หมู่ 15 บ้านหนองโน	1.26	3,300	33.3	7.3	1.0429±2.123	0.076±0.015
35	หมู่ 17 บ้านหินปูน	0.67	1,370	28.5	8.5	15.044±2.769	0.110±0.020
36	9 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก	0.23	436	27.1	6.5	6.161±1.771	0.045±0.013
37	84 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก	0.71	1,570	27.2	6.2	9.230±2.492	0.067±0.018
38	88 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก	0.88	1,770	26	4.2	13.863±2.541	0.101±0.019
39	103 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก	0.53	1,040	27.1	5.5	12.921±2.492	0.094±0.018

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าทางกายภาพ ความเข้มข้น และค่าความเสี่ยง ของตัวอย่างน้ำบาดาล (ต่อ)

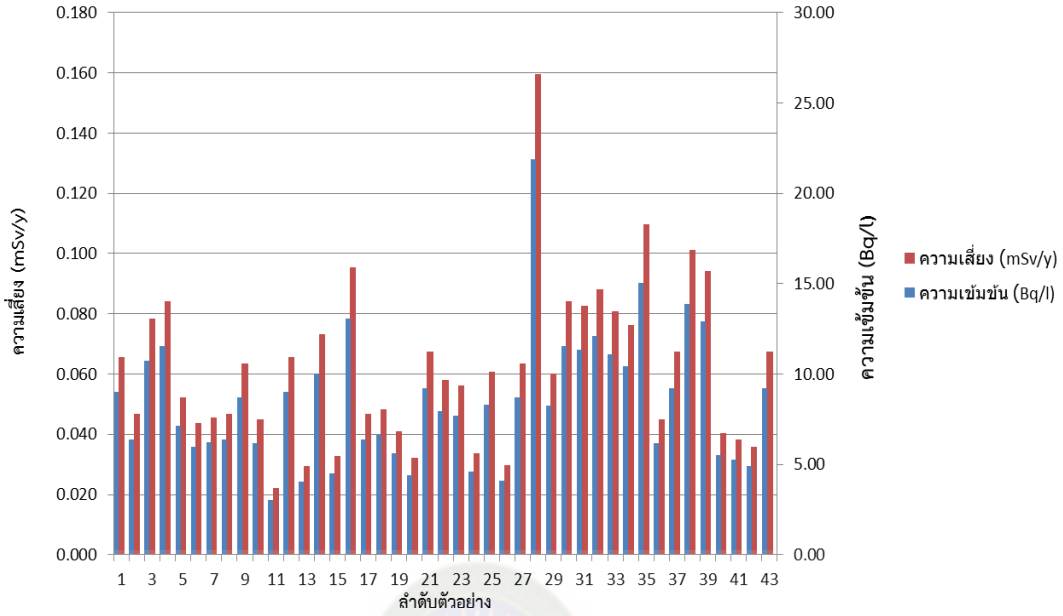
ที่	ตำแหน่งตัวอย่าง	ความเค็ม (ppt)	การนำไฟฟ้า (µs)	อุณหภูมิ (°C)	pH	ค่าความเข้มข้น (Bq/l)	ค่าความเสี่ยง (mSv/y)
ต.ขามเรียง							
40	วัดบ้านขามเรียง หมู่1	2.34	8,700	26.5	7.4	5.538±2.123	0.040±0.015
41	หมู่ 2 บ้านโนนแสบง	0.24	473	27.5	7.9	5.261±2.769	0.038±0.020
42	หมู่ 12 บ้านมะกอก	1.39	2,790	32.6	7.2	4.892±2.492	0.036±0.018
43	หมู่ 15 บ้านขามเรียง	1.84	6,570	28.1	7.1	9.230±2.492	0.067±0.018

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้น คือค่าที่ได้จากการวัดวิเคราะห์และได้คำนวณย้อนกลับเพื่อที่จะหาค่ากัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น ซึ่งวิธีการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ค่าความเสี่ยง คือค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการของ IAEA ซึ่งวิธีการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

หลังจากนั้นนำข้อมูลจาก**ตารางที่ 4.1** มาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความเสี่ยง ความเข้มข้นกับความเค็ม ความเข้มข้นกับค่าการนำไฟฟ้า ความเข้มข้นกับอุณหภูมิ และความเข้มข้นกับค่าpH แสดง**ดังรูปที่ 4.1 - 4.5** ตามลำดับ โดยใช้วิธีการหาค่าความสัมพันธ์จากทฤษฎีของ Karl Pearson ด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งจะแสดงตัวอย่างไว้ใน**ภาคผนวก ข** และแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งหมด ดัง**ตารางที่ ข-1**

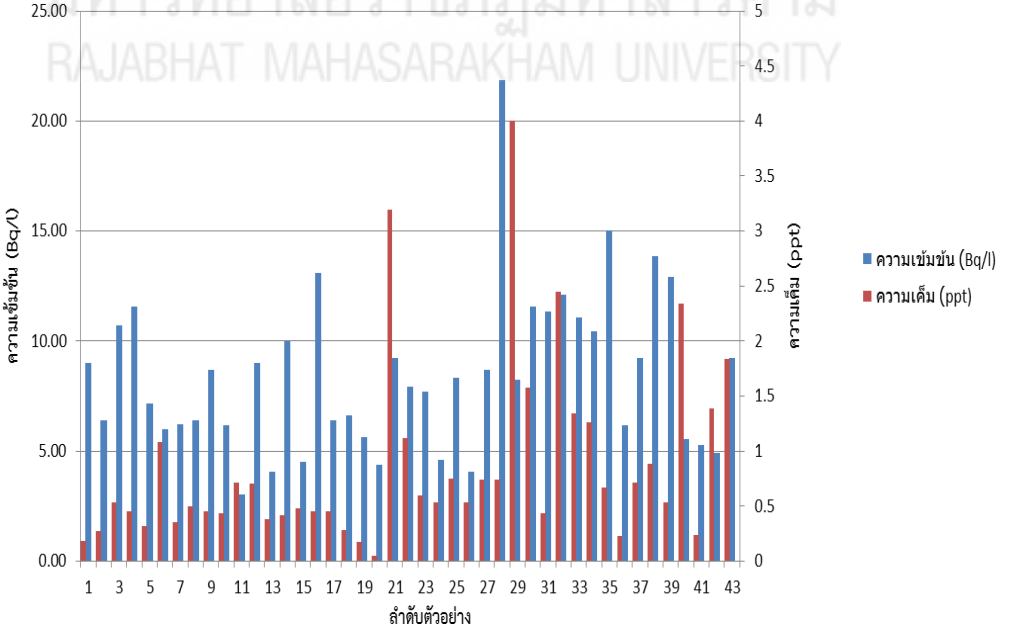
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงระหว่างค่าความเสี่ยงกับค่าความเข้มข้น

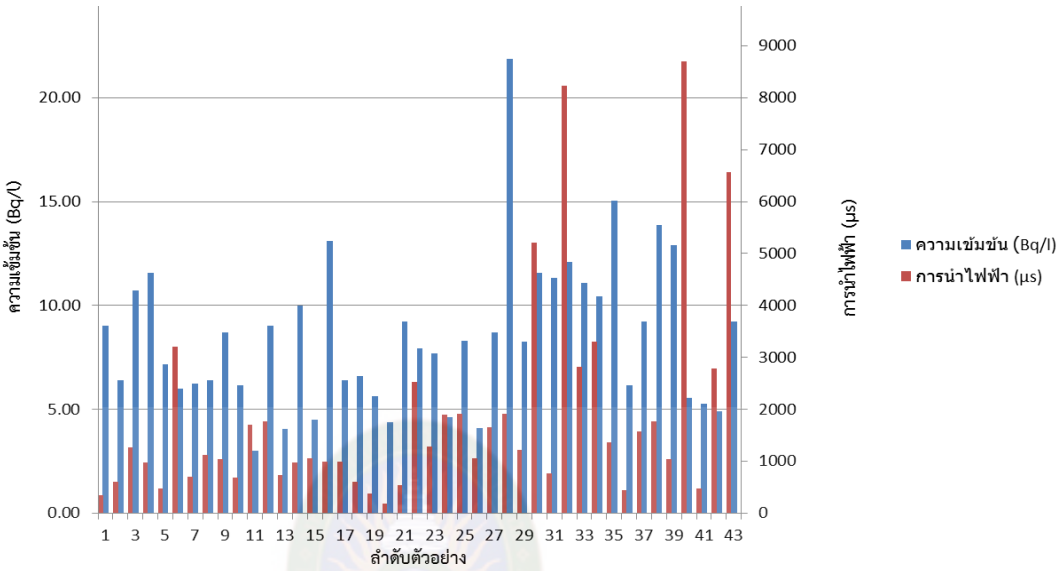
จากกราฟ**รูปที่ 4.1** เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสี่ยงกับค่าความเข้มข้น ซึ่งค่าความเข้มข้นกับค่าความเสี่ยงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 1 หรือเท่ากับ 100% แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในระดับสูงมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเค็มกับค่าความเข้มข้น

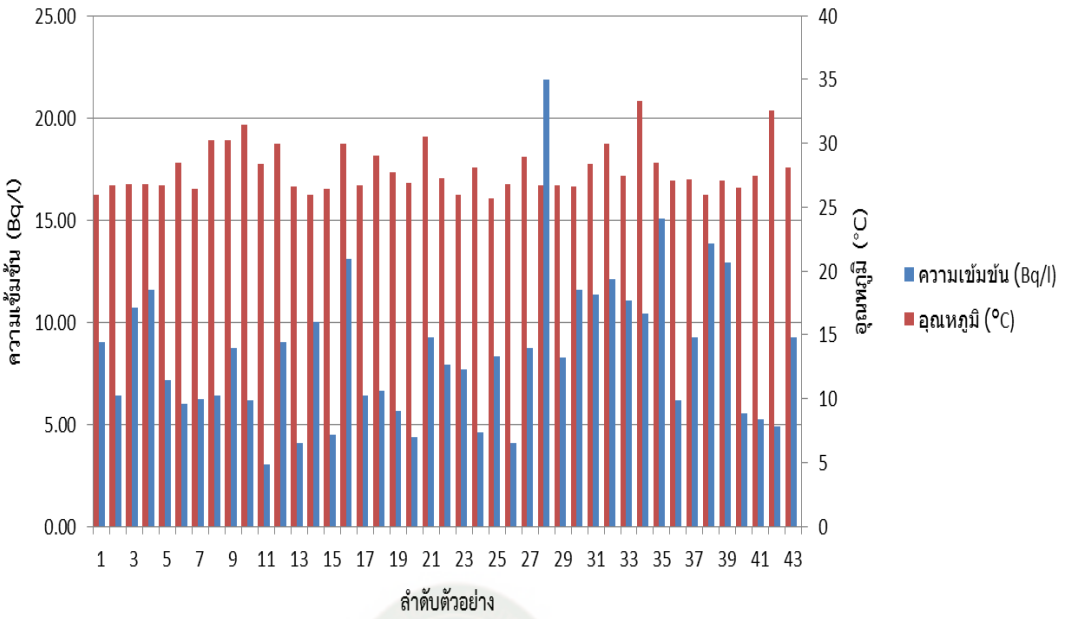
จากกราฟ **รูปที่ 4. 2** เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าความเค็ม ซึ่งค่าความเค็มกับค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.136 หรือเท่ากับ 13.6% แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในระดับน้อยมาก



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการนำไฟฟ้ากับค่าความเข้มข้น

จากกราฟ **รูปที่ 4.3** เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ากับค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.139 หรือเท่ากับ 13.9% แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในระดับน้อยมาก

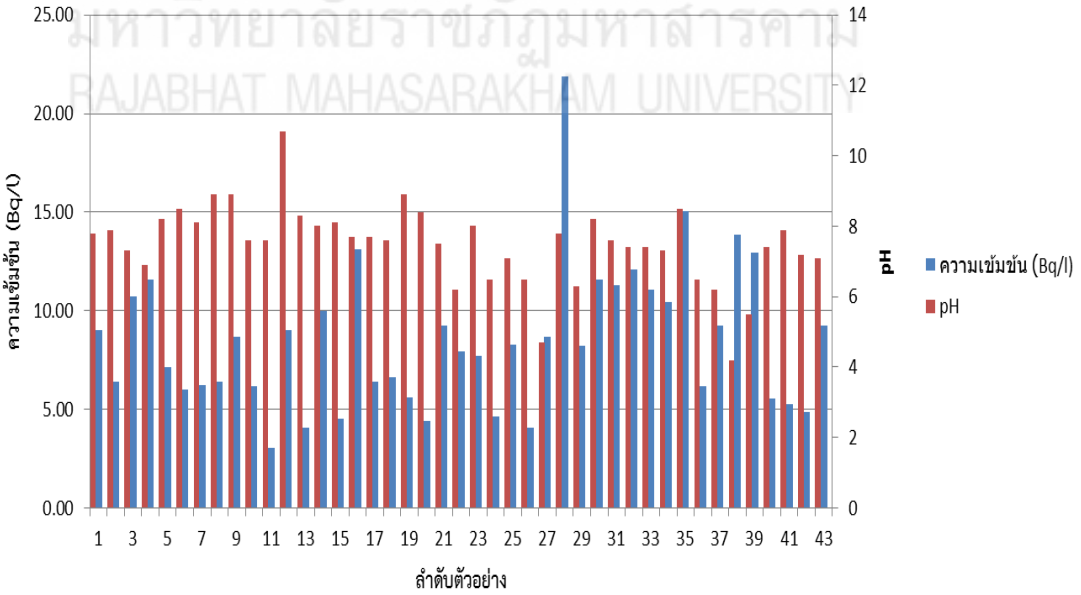
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิกับค่าความเข้มข้น

จากกราฟ **รูปที่ 4.4** เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าอุณหภูมิ ซึ่งค่าอุณหภูมิกับค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.015 หรือ -1.5% แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในระดับน้อยมาก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

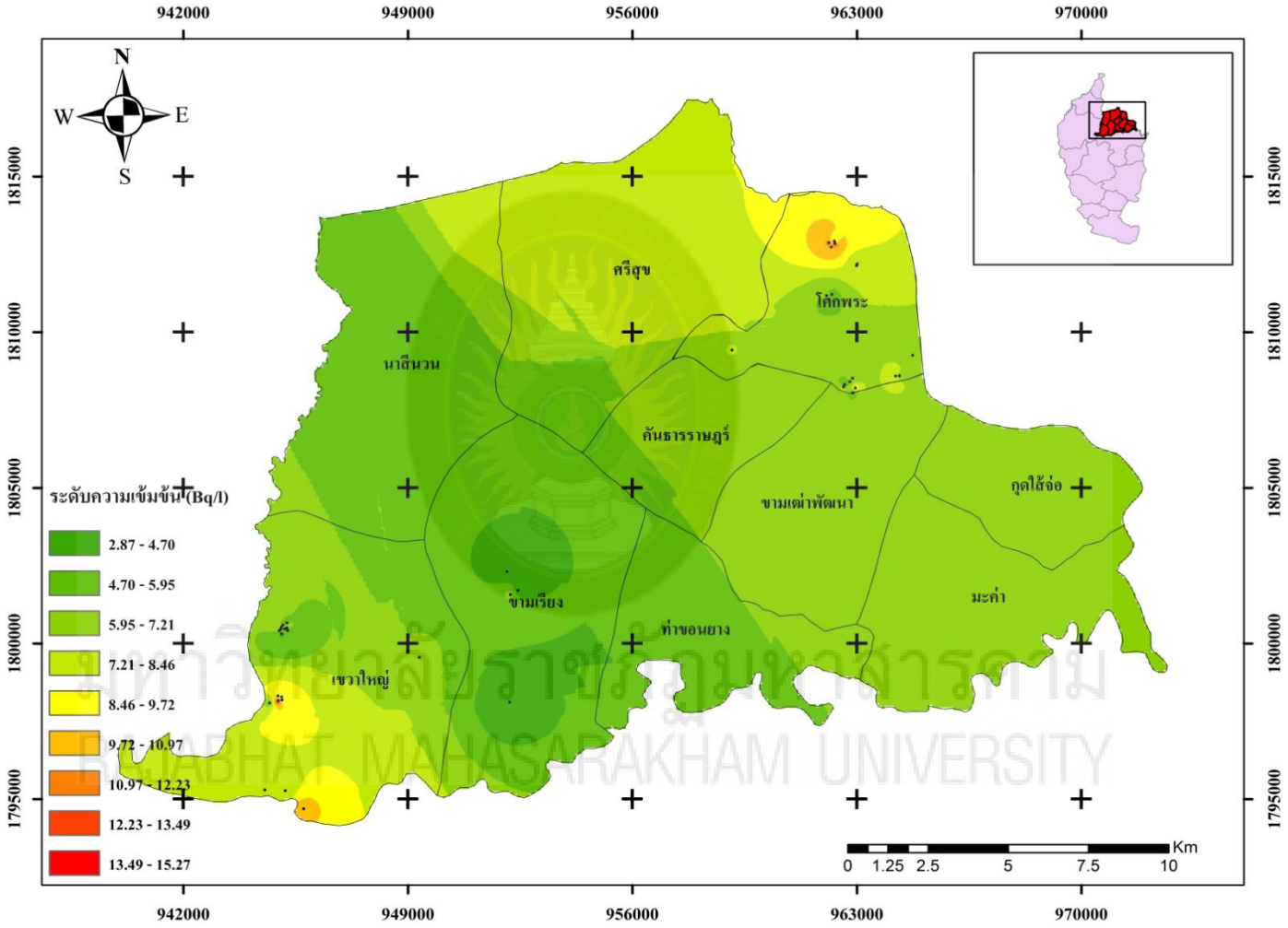


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าpHกับค่าความเข้มข้น

จากกราฟ **รูปที่ 4.5** เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่า pH ซึ่งค่า pHกับค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.158 หรือเท่ากับ -15.8% แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอยู่ในระดับน้อยมาก

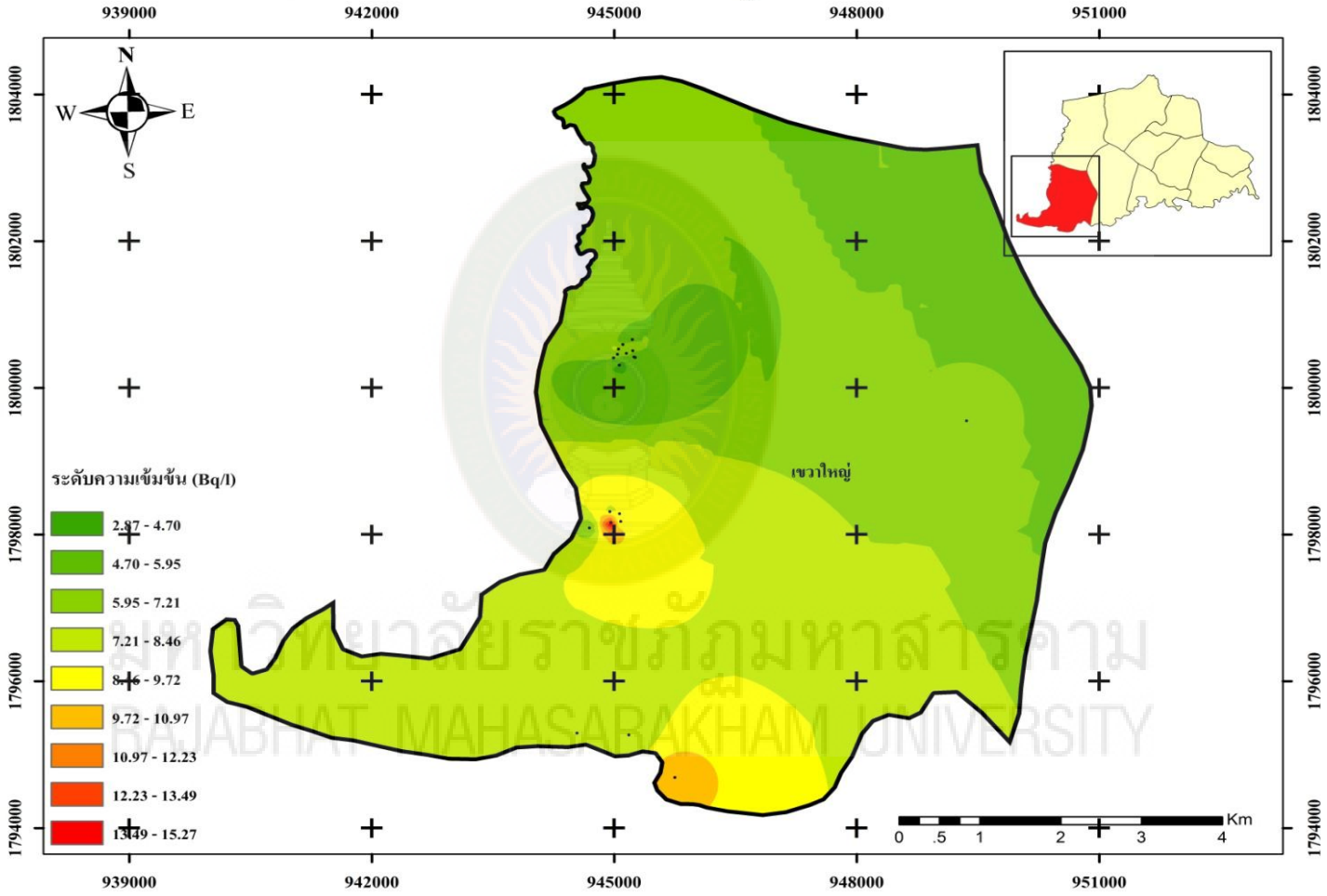
หลังจากนั้นได้นำข้อมูลค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนและค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี ของตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 43 ตัวอย่าง ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ที่ได้จากการตรวจวัดและวิเคราะห์มาใช้เขียนแผนภูมิทางรังสี (radioactive contour map) โดยใช้โปรแกรม ArcGIS ดังแสดงใน **รูปที่ 4.6 - 4.13**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



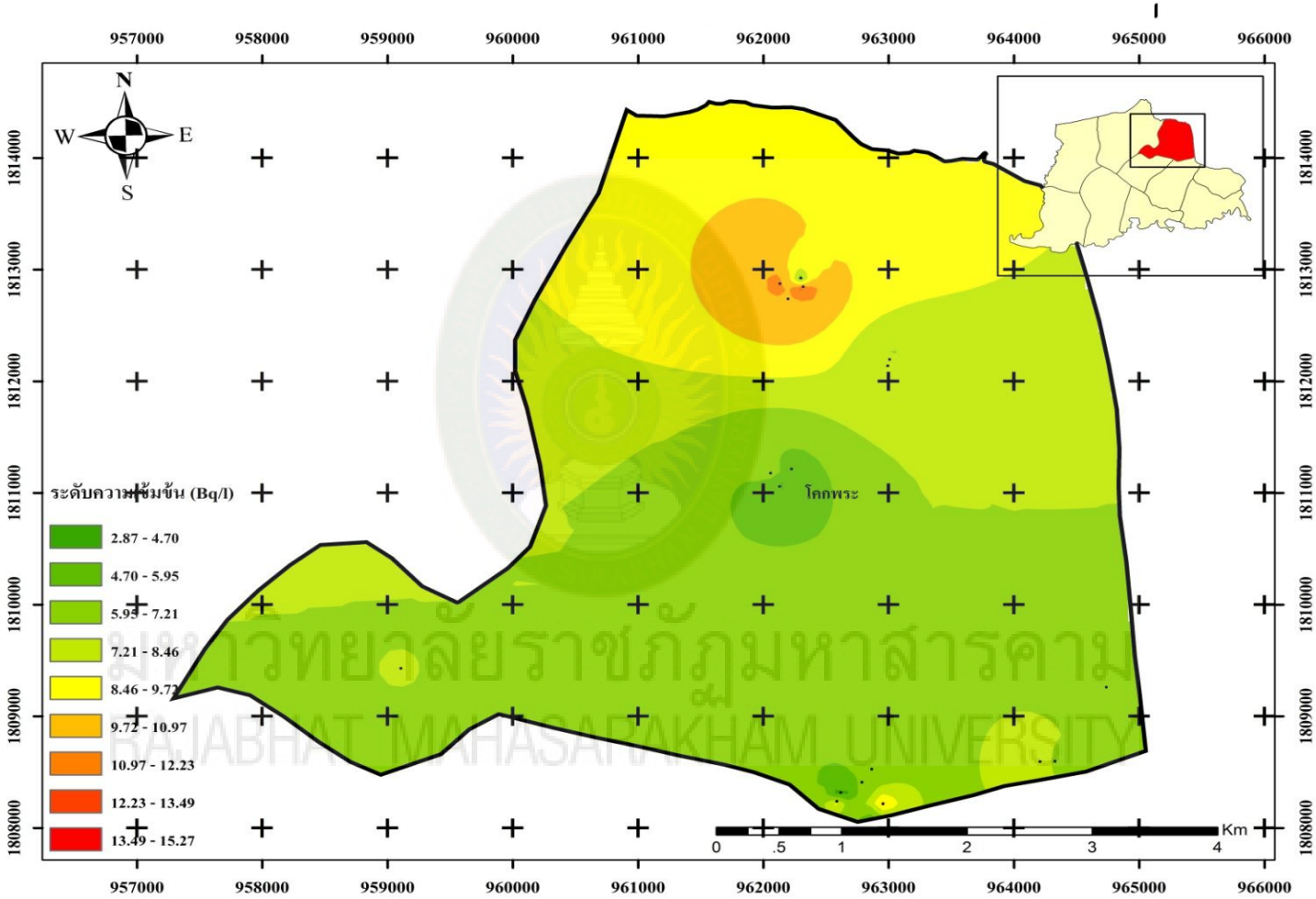
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอนในเขตอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

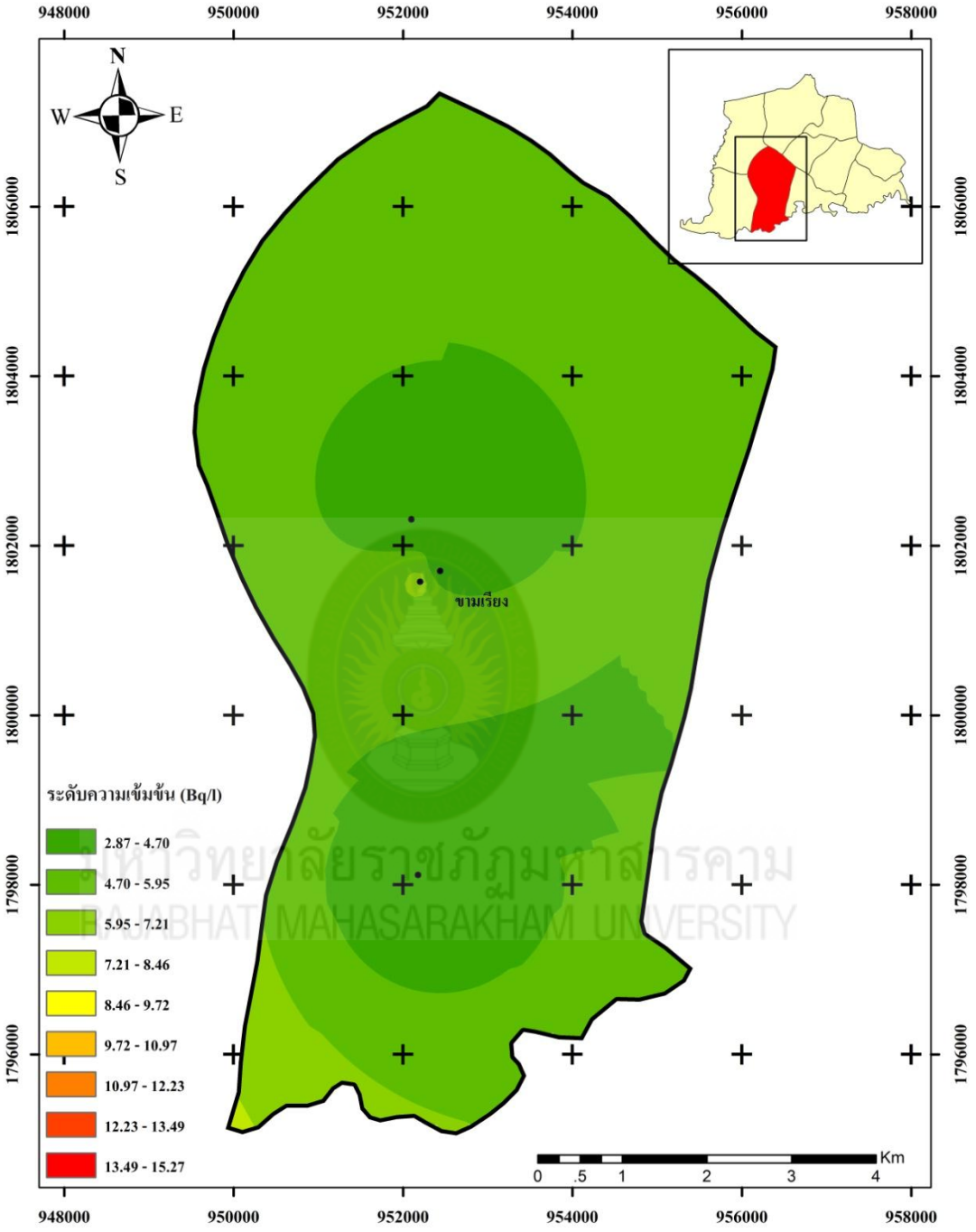


รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตตำบลเขวาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

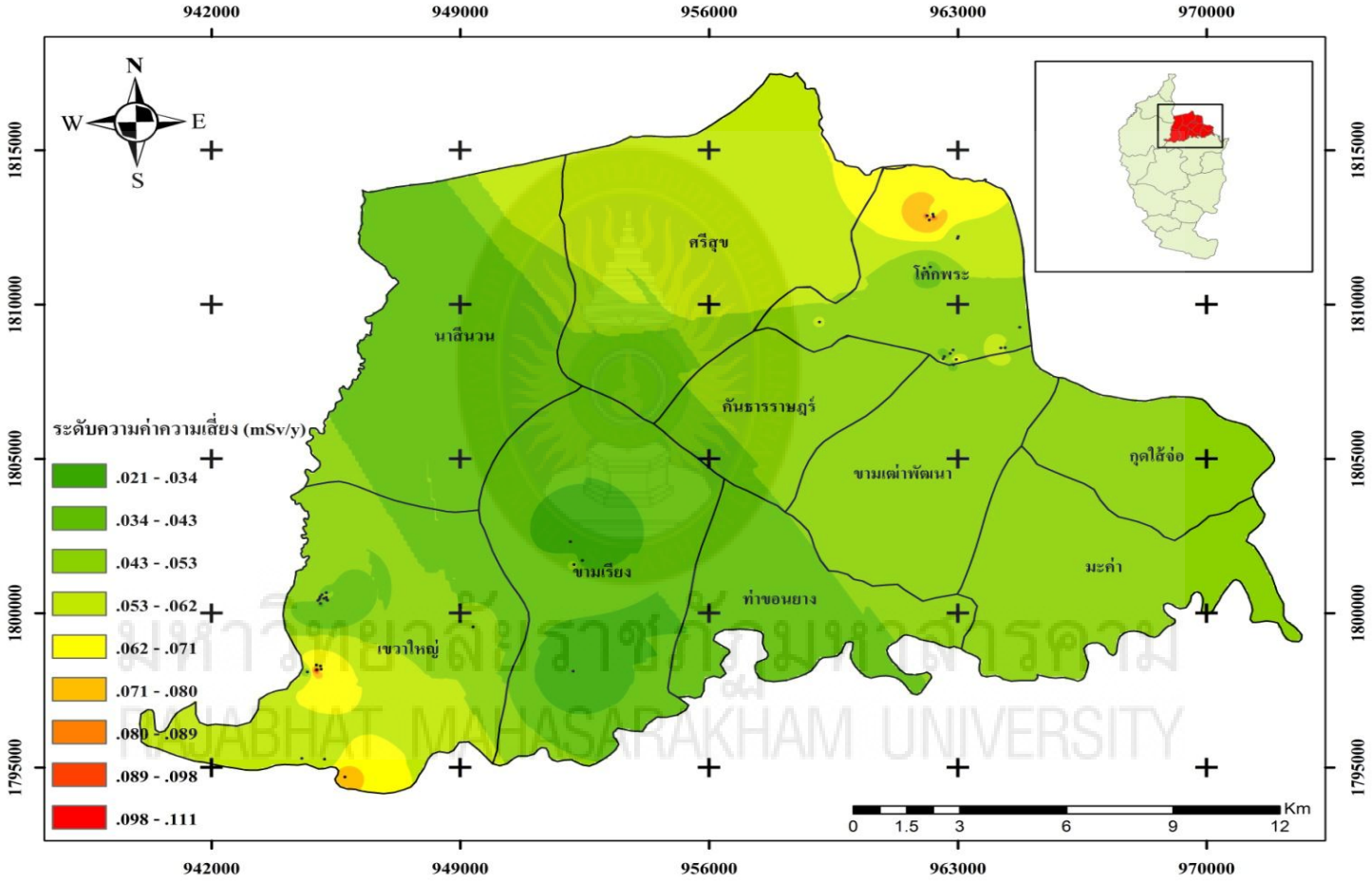
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

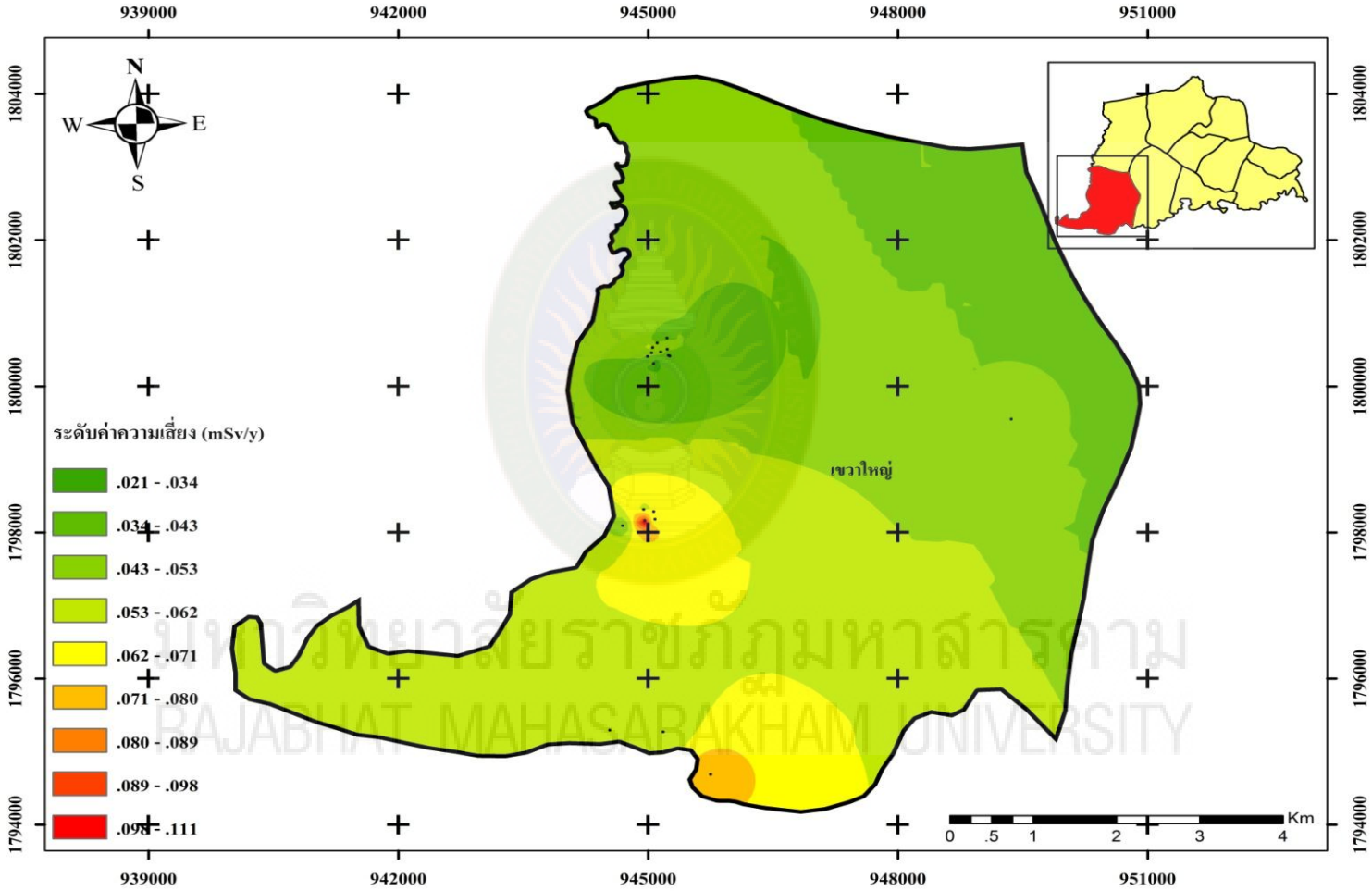


รูปที่ 4.9 แผนที่แสดงความเข้มข้นของเรดอน ในเขตตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม



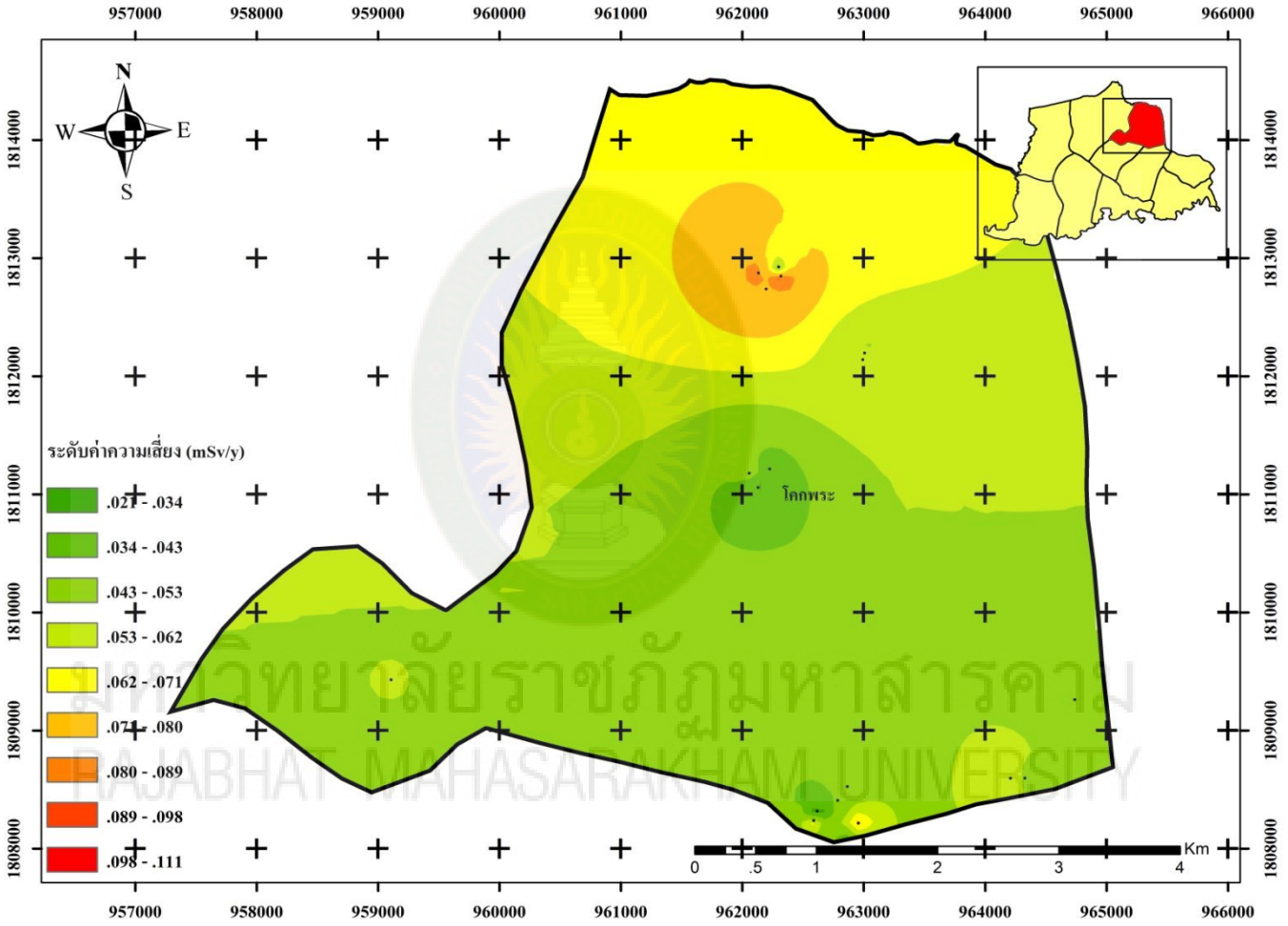
รูปที่ 4.10 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปนในเขตอำเภอเมืองกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



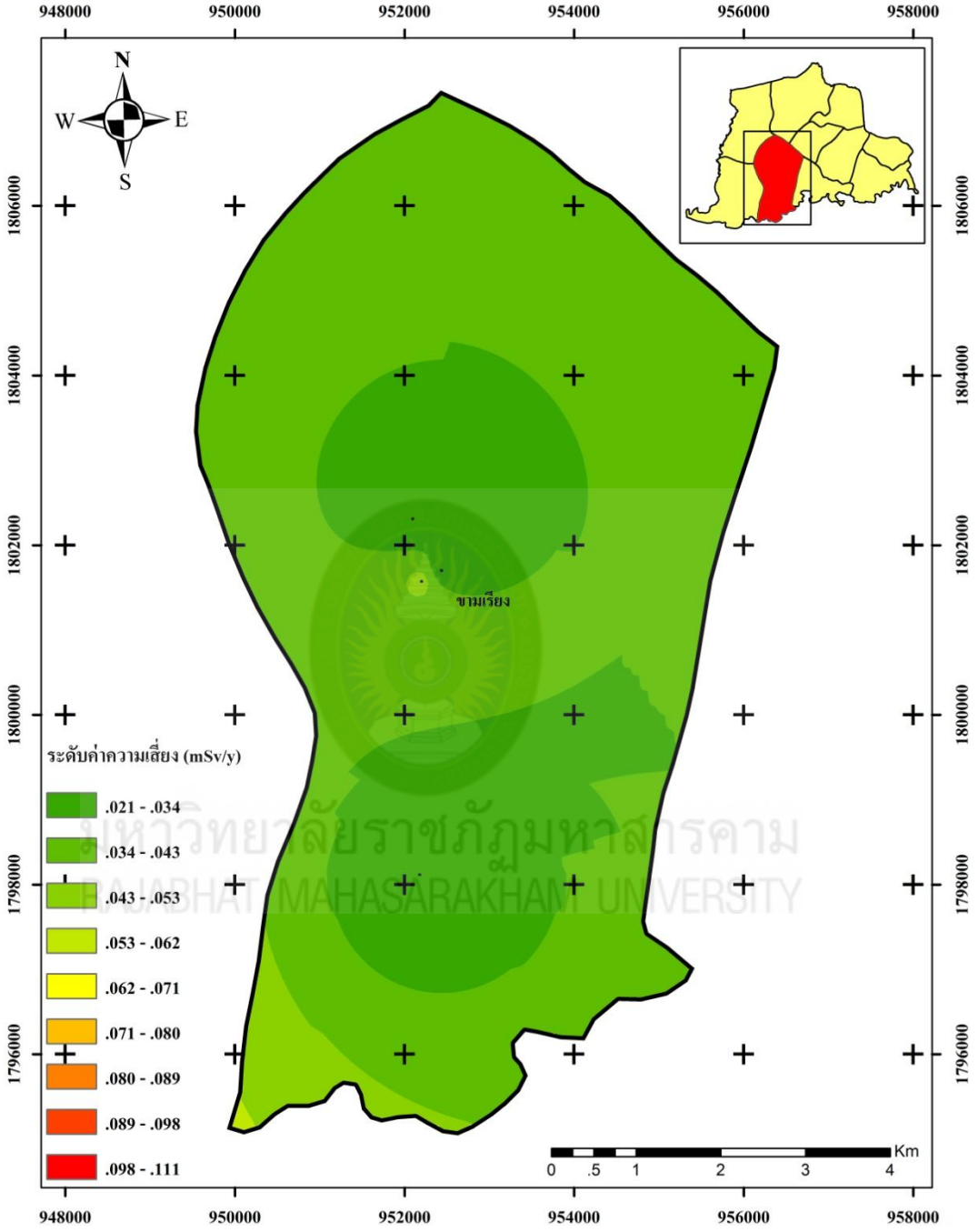
รูปที่ 4.11 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตตำบลเขวาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.12 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.13 แผนที่แสดงค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปน ในเขตตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ผล และข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์น้ำบาดาลเพื่อหาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอน และค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายว่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ในเขตพื้นที่ ตำบลขามเรียง ตำบลเขวาใหญ่ และตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม สรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ได้ พบว่าค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นของเรดอน จะเห็นว่ามีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 3.02 – 21.87 Bq/l โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.87 Bq/l อยู่ที่บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ตำบลเขวาใหญ่ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.02 Bq/l อยู่ที่บ้านเลขที่ 3 หมู่ 13 บ้านเหล่า ตำบลโคกพระ เมื่อนำค่าที่ได้เทียบกับค่ามาตรฐาน สำหรับเรดอนในน้ำอุปโภค ควรมีค่าไม่เกิน 150 Bq/l ซึ่งผลการตรวจวัดในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับเรดอนในน้ำบริโภค ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l ซึ่งผลการตรวจวัดจะพบว่ามีค่าที่เกินมาตรฐาน ได้แก่บ้านเลขที่ 61 หมู่ 6 บ้านโนนค้อ ต.โคกพระ มีค่า 11.55 Bq/l บ้านเลขที่ 27 หมู่ 14 บ้านโนนค้อ ต.โคกพระ มีค่า 13.09 Bq/l บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่ มีค่า 21.87 Bq/l บ้านเลขที่ 56 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 11.55 Bq/l บ้านเลขที่ 121 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 11.32 Bq/l บ้านเลขที่ 145 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 12 Bq/l บ้านเลขที่ 26 หมู่ 9 บ้านบุ้งเบา ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 11.08 Bq/l หมู่ 17 บ้านหินปูน ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 15.04 Bq/l บ้านเลขที่ 88 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 13.86 Bq/l และบ้านเลขที่ 103 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ตำบลเขวาใหญ่ มีค่า 12.92 Bq/l

เมื่อพิจารณาค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี พบว่ามีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 0.022 – 0.16 mSv/y ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.062 mSv/y มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.16 mSv/y อยู่ที่บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ตำบลเขวาใหญ่ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.02 mSv/y อยู่ที่บ้านเลขที่ 3 หมู่ 13 บ้านเหล่า ตำบลโคกพระ เมื่อนำค่าความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีก๊าซเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปีไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งผลที่ได้ ก็คือมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเกือบทั้งสิ้นเนื่องจากยังมีพื้นที่ที่มีค่าเกินมาตรฐานอยู่ที่บ้านเลขที่ 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.16 mSv/y หมู่ 17 บ้านหินปูน ต.เขวาใหญ่ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.11 mSv/y และบ้านเลขที่ 88 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.101 mSv/y (ค่ามาตรฐานค่ารังสีขนาดเสี่ยงสำหรับน้ำใช้ตลอดทั้งปี ควรมีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

5.2 วิจารณ์ผล

1. ในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจนไปถึงการตรวจวัด ใช้เวลาประมาณ 23 – 25 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่นาน อาจจะทำให้ผลข้อมูลที่ได้นั้นเกิดความคลาดเคลื่อนได้

2. เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลไม่ครอบคลุมพื้นที่วิจัยทั้งหมดเนื่องจากบางพื้นที่ไม่สามารถที่จะเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลได้เพราะในพื้นที่นั้นไม่มีการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค จึงเป็นอุปสรรคในการเก็บตัวอย่างในบริเวณนั้น เป็นผลให้กราฟคอนทัวร์ไม่สมบูรณ์เต็ม 100%

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยครั้งต่อไปควรจะทำการสำรวจหาปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล ในดินและในอากาศ พื้นที่บริเวณเดียวกัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล เพราะก๊าซเรดอนมีแหล่งกำเนิดอยู่ในชั้นดิน ชั้นหินใต้ผิวดิน และสามารถฟุ้งกระจายขึ้นสู่ชั้นอากาศได้โดยลอดผ่านรอยแตกของชั้นดิน จึงทำให้ก๊าซเรดอนมีอยู่ทั่วทั้งในดิน น้ำ และอากาศ

2. ในงานวิจัยครั้งต่อไปควรจะทำการสำรวจหาปริมาณก๊าซเรดอนและเรเดียมในน้ำบาดาล ในพื้นที่บริเวณเดียวกัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล เพราะก๊าซเรดอนเป็นนิวไคลด์ลูกของเรเดียม จึงทำให้ปริมาณของก๊าซเรดอนและเรเดียมมีความสัมพันธ์กัน

3. ในงานวิจัยครั้งต่อไปควรมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลกระจาย ครอบคลุม พื้นที่วิจัย เพื่อให้การกระจายตัวของก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ที่ทำการวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น

4. ควรจัดหาเครื่องวัดก๊าซเรดอนแบบพกพา เพื่อที่จะสามารถทำการวัดก๊าซเรดอนในพื้นที่ที่ทำการสำรวจได้ในเวลาที่ทำการสำรวจโดยตรง เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และได้ค่าที่แม่นยำ

5. ควรออกสำรวจพื้นที่ที่จะทำการวิจัยก่อน เพื่อเป็นการประหยัดเวลา

6. เนื่องจากก๊าซเรดอนจะส่งผลกระทบต่อร่างกายจึงมีวิธีการป้องกันก๊าซเรดอนที่ปะปนในน้ำบาดาลได้โดยการกรองน้ำก่อนใช้ ผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ หรือใช้ไส้กรองที่ทำมาจากเส้นใยอะคริลิคเคลือบด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ด่างทับทิม) ก็จะสามารถสกัดกั้นธาตุเรเดียม 226 (ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีแม่ที่สลายตัวให้สารกัมมันตรังสีลูก หรือเรดอนออกมานั้นเอง) ซึ่งเป็นการจำกัดเรดอนตั้งแต่ต้นทาง ไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำได้หรืออาจจะใช้เครื่องกรองที่มีไส้กรองเป็นคาร์บอนกัมมันต์ชนิดอัดแท่งเพื่อใช้กรองเรดอนโดยตรง ป้องกันอันตรายที่เกิดจากการใช้น้ำในการบริโภคที่มี Ra-226 ปนเปื้อนได้

7. สำหรับจุดที่มีปริมาณเรดอนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับน้ำดื่มคือ มีค่าอยู่ที่ 21.87 Bq/l ถ้าจะนำน้ำบาดาลนี้มาบริโภค เพื่อให้มีความปลอดภัย ควรเก็บน้ำบาดาลนี้ไว้อย่างน้อย 4 วัน ซึ่งจะทำให้ปริมาณเรดอนละลายเหลือน้อยกว่า 11 Bq/l พอดี

8. ควรตรวจวัดและเฝ้าระวังในบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพรังสีสูงๆ อย่างสม่ำเสมอและไม่ควรนำมาบริโภค เนื่องจากก๊าซเรดอนสามารถสะสมตัวในร่างกายได้

บรรณานุกรม

ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2557). **เรดอน**. Available HTTP: http://web.ku.ac.th [2557, กรกฎาคม 15].

ชาตรี ศรีระพงษ์. (ม.ป.ป). **การศึกษาเรื่องปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับของโรงพยาบาลดารารัศมี.** เชียงใหม่: โรงพยาบาลราดารัศมี.

ทรัพยากรธรณี, กรม. แผนที่สำรวจน้ำบาดาล กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม **แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดมหาสารคาม** (พ.ศ.2531).

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. (2551**). กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ**. ราชกิจจานุเบกษา, 125 (ตอนพิเศษ 85 ง), 15-18.

เทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), สถาบัน. (ม.ป.ป). **สารกัมมันตรังสี.** Available HTTP: www.fisheries.go.th [2558, มีนาคม 14].

ธัชพงศ์ศรีสุวรรณ. (2549). **งานวิจัยเรื่องเรดอน: มหันตภัยเงียบในอาคาร.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ. (2545). **วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. (2557), สมาคม. **ยูเรเนียม**. Available HTTP: http://www.nst.or.th [2557, สิงหาคม 10].

นิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. (2557), สมาคม. **ทอเรียม**. Available HTTP: http://www.nst.or.th [2557, สิงหาคม 10].

ปรียา อนุพงศ์องอาจ. (ม.ป.ป). **การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี.** Available HTTP: http://www.rmutphysics.com [2558, มีนาคม 14].

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. (2544). **งานวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเรดอนในที่อยู่อาศัยและมะเร็งปอด.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พชิรารัฐ โสลา, ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, อนันท์ โอมณี, พิบูล อิสสระพันธุ์, และลัดดา ธรรมการัณย์. (2554). **งานวิจัยเรื่องเรดอนในอากาศน้ำพุร้อนและน้ำแร่บรรจุขวดบริเวณธารน้ำพุร้อน อำเภอสวนผึ้งจังหวัดราชบุรี.** นครนายก: สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พวงเพชร ศรีประดู่และสมโภชน์ นันบุญ. (2549). **งานวิจัยเรื่องการตรวจวัดแก๊สเรดอนในน้ำบาดาลบริเวณอำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยวิธีการกัดรอยทางนิวเคลียร์.** มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

วิษณุศาสตร์ อาจโยธา. (2550). **การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอนตามแนวรอยเลื่อนมีพลัง: กรณีศึกษารอยเลื่อนคลองมะลุ่ย.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิษณุศาสตร์ อาจโยธา. (2556**). งานวิจัยเรื่องการตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเครื่องวัดชนิด Ionization chamber Atmos 12 dpx.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.

วิษณุศาสตร์ อาจโยธา. (2556). **งานวิจัยเรื่องการตรวจวัดธาตุเรเดียม 226 ในแม่น้ำพอง เขตจังหวัดขอนแก่น โดยใช้แมงกานีสไฟเบอร์ และเทคนิคแกมมาสเปคโตรเมตรี.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.

ศุภวุฒิ เบ็ญจกุล, เจนจิรา งามเพียร, หทัยชนก อุทัยขวัญแก้ว และประสงค์ เกษราธิคุณ. (2553). **งานวิจัยเรื่องค่ากัมมันตภาพจำเพาะและแผนภาพทางรังสีของเรเดียม-226 (^{226}Ra) ทอเรียม-232 (^{232}Th)และโพแตสเซียม-40 (^{40}K) ในตัวอย่างดินจังหวัด**, ประเทศไทย. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ

ศูนย์ข้อมูลประเทศไทย-Thailand Information Center**.** (2555). **ข้อมูลประชากรในอำเภอกันทรวิชัย**. Available HTTP: http://mahasarakham.kapook.com [2557, กรกฎาคม15].

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2557). **น้ำบาดาล.** Available HTTP: http://www.secondsci.ipst.ac.th [2558, มีนาคม 14].

สารานุกรมเสรี. (2557). **เรดอน**. Available HTTP: http://th.wikipedia.org [2557, สิงหาคม 11].

สุปรียา กิจบำรุง**.** (2557). **มะเร็งจากก๊าซเรดอน.** Available HTTP: http://mrvop.wordpress.com [2557, สิงหาคม 11].

สุพรรณี พรหมเทศ, สุพจน์ คำสะอาด, ภัทรวุฒิ วัฒนศัพท์, สุรพล เวียงนนท์, กฤติกา สุวรรณรุ่งเรือง และกีรติ ภูมิผักแว่น. (2553). **งานวิจัยเรื่องปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในคนไทยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุรศักดิ์ พงศ์พันธ์สุข. (2555). **เรเดียม.** Available HTTP: www.tint.or.th [2558, มีนาคม14].

โสรัชต์ เจริญวงค์. (2530). **ฟิสิกส์รังสี.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

Anatole Dolgoff. (1996). **Physical geology**. Toronto: D.C. Heath and Company.

Gammadata.(2007). **ATMOS 12.** [user's guide]. Sweden:Author.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Hakan Yakut, EmreTabar, ZemineZenginerler, NiluferDemirci and FilizErtugral. (2013). **Measurement of ^{222}Rn concentration in drinking water in Sakarya, Turkey.** Sakarya, Turkey: Sakarya University.

P. Sola, K. Srisuksawad, S. Loaharojaphand, A. O-Manee, V. Permnamtip, P. Issarapan & L. Thummagarun. **Radon concentration in air, hot scring water, and bottled mineral water in one hot scring area in Thailand.** J Radioanal. NuciChem. (2013) VOL 297:183187 DOI 10.1007/s 10967-012-2359-9

P. Wanabongse, W. Thorarit, N. Yimchalam and S. Bovornkitti. (2011). **Radon, gamma- ray exposure and natural radionuclides**. NakonNayok: Thailand Institute of Nuclear Technology.

Water Net Professional Solutions. (2553). **น้ำมีความสำคัญต่อร่างกาย.** Available HTTP: http://www.waternetple.com [2558, มีนาคม 14].

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

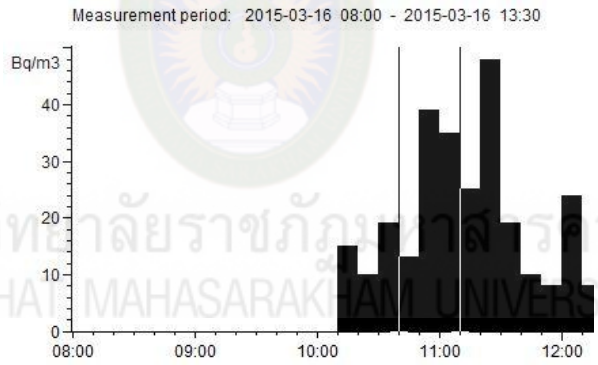
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ผลการวิจัย

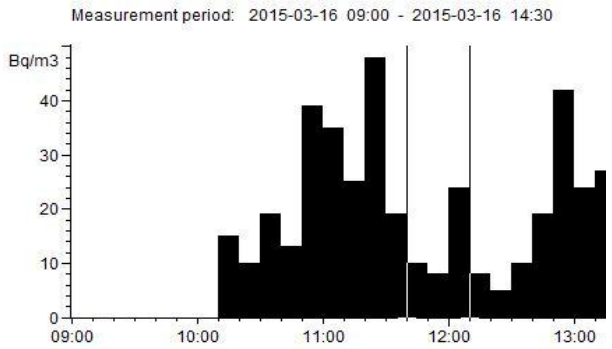
จากการนำตัวอย่างน้ำบาดาลในเขตพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Ionization chamber โดยเครื่อง Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX จะได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. กราฟแสดงผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 43 ตัวอย่าง ในเขตอำเภอกันทรวิชัย จากเครื่อง Radon Gas Monitor ATMOS 12 DPX ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปกราฟที่นำออกจากเครื่องได้แสดงได้ดัง**รูปที่ ก-1** ถึง **รูปที่ ก-4**

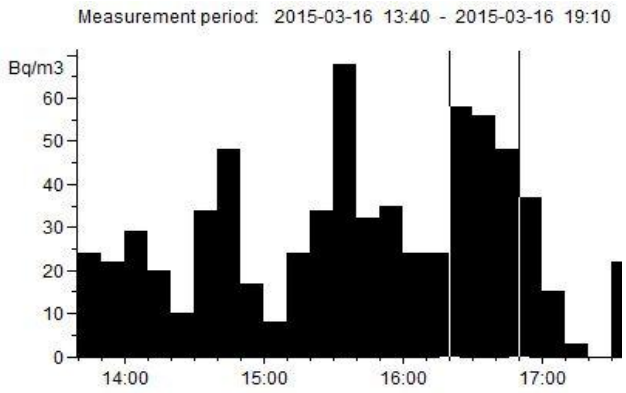


รูปที่ ก-1 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอนบ้านเหล่า หมู่ 10 ต.โคกพระ

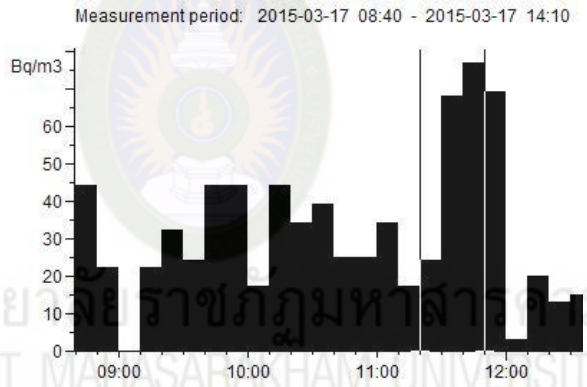


รูปที่ ก-2 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอนบ้านเลขที่ 3 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ ก-3 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอน 92 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ก-4 กราฟแสดงความเข้มข้นของเรดอน 22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่

2. ตารางแสดงผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลจากกราฟข้างต้นด้วยโปรแกรม Atmos 32 จะได้ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในหน่วย Bq/m^3 แสดงได้ดังใน **ตารางที่ ก-1**

ตารางที่ ก-1 ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวัด

ลำดับ	ตำแหน่งตัวอย่าง	ชนิด	ค่าความเข้มข้น (Bq/m^3)	ค่าความเข้มข้น (Bq/l)
1	29 หมู่ 5 บ้านลุมพุก ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	35±8	0.117±0.027
2	78 หมู่ 5 บ้านลุมพุก ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	25±7	0.083±0.023
3	15 หมู่ 6 บ้านโนนค้อ ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	50±8	0.167±0.027
4	61 หมู่ 6 บ้านโนนค้อ ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	45±9	0.15±0.03
5	114 หมู่ 8 คอกม้า ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	28±9	0.093±0.03
6	23 หมู่ 9 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	28±7	0.093±0.023
7	หมู่ 10 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	29±9	0.097±0.03
8	หมู่ 11 บ้านสมศรี ต.โคกพระ	ประปาคันโยก	25±8	0.083±0.027
9	131 หมู่ 11 บ้านสมศรี ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	34±9	0.113±0.03
10	16 หมู่ 12 หนองโก ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	24±8	0.08±0.027
11	3 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	บาดาลเจาะเอง	14±6	0.047±0.02
12	58 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	บาดาลเจาะเอง	35±11	0.117±0.037
13	68 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	บาดาลเจาะเอง	19±5	0.063±0.017
14	68 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	39±10	0.13±0.033
15	138 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	บาดาลเจาะเอง	21±6	0.07±0.02
16	27 หมู่ 14 บ้านโนนค้อ ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	51±10	0.17±0.033
17	102 หมู่ 14 บ้านโนนค้อ ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	25±7	0.083±0.023
18	9 หมู่ 15 บ้านคอกม้า ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	31±8	0.103±0.027
19	110 หมู่ 15 บ้านคอกม้า ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	22±7	0.073±0.023
20	136 หมู่ 15 บ้านคอกม้า ต.โคกพระ	บ่อน้ำตื้น	17±7	0.057±0.023
21	104 หมู่ 3 บ้านเขวาน้อย ต.เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	30±8	0.1±0.027
22	2 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	31±8	0.103±0.027
23	14 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	30±8	0.1±0.027
24	39 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	18±7	0.06±0.023
25	83 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	27±6	0.09±0.02
26	92 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	16±7	0.053±0.023
27	105 หมู่ 7 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	34±8	0.113±0.027
28	22 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	71±12	0.237±0.04
29	48 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	32±9	0.107±0.03
30	56 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	45±8	0.15±0.027
31	121 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	44±9	0.147±0.03
32	145 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	47±9	0.157±0.03
33	26 หมู่ 9 บ้านบุ้งเบา ต.เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	36±10	0.12±0.033

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ก-1 ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวัด (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งตัวอย่าง	ชนิด	ค่าความเข้มข้น (Bq/m^3)	ค่าความเข้มข้น (Bq/l)
34	หมู่ 15 บ้านหนองโน ต.เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	34±7	0.113±0.023
35	หมู่ 17 บ้านหินปูน ต.เขวาใหญ่	ประปาบาดาล	49±9	0.163±0.03
36	9 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	24±7	0.08±0.023
37	84 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บ่อน้ำตื้น	30±8	0.1±0.027
38	88 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	54±10	0.18±0.033
39	103 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	42±8	0.14±0.027
40	วัดบ้านขามเรียงหมู่1 ต.ขามเรียง	บาดาลเจาะเอง	18±7	0.06±0.023
41	หมู่ 2 บ้านโนนแสบง ต.ขามเรียง	ประปาบาดาล	17±9	0.057±0.03
42	หมู่ 12 บ้านมะกอก ต.ขามเรียง	ประปาบาดาล	16±8	0.053±0.027
43	หมู่ 15 บ้านขามเรียง ต.ขามเรียง	ประปาบาดาล	30±8	0.1±0.027

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข
แสดงวิธีการคำนวณในงานวิจัย

จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้นำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น ค่ารังสีขนาดเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี และวิธีการหาค่าความสัมพันธ์จากทฤษฎีของ Karl Pearson ดังนี้

1. การคำนวณความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 หาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในปริมาณ 1 ลิตร

จาก การเทียบบัญญัติไตรยางศ์

ถ้า 0.3 ลิตร = ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวัด (Bq/m^3)

แล้ว 1 ลิตร = ค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในปริมาณ 1 ลิตร (Bq/m^3)

ขั้นที่ 2 การแปลงหน่วยของความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจาก Bq/m^3เป็น Bq/l

นำค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในปริมาณ 1 ลิตร (Bq/m^3) หารด้วย 1,000

ขั้นที่ 3 การคำนวณความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จาก $$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น (t = 0)

A คือ กัมมันตภาพที่เวลา t ใดๆ

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว

t คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

1.1 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น

ค่ากัมมันตภาพเริ่มต้นของตัวอย่างลำดับที่ 1 จากตารางที่ 4.1 คือ บ้านเลขที่ 29 หมู่ 5 บ้านลุมพุก ต.โคกพระ มีค่าเท่ากับ 9.011 Bq/l

ขั้นที่ 1 หาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในปริมาณ 1 ลิตร

ถ้า 0.3 ลิตร = 35±8 (Bq/m^3)
แล้ว 1 ลิตร = 116.67±26.67 (Bq/m^3)

ขั้นที่ 2 การแปลงหน่วยของความเข้มข้นของก๊าซเรดอนจาก Bq/m^3เป็น Bq/l

$$\frac{116.67 \pm 26.67}{1,000}(Bq/m^3) = 0.117 \pm 0.027(Bq/l)$$

ขั้นที่ 3 การคำนวณความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น

จาก $$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

เมื่อ A_0 คือ กัมมันตภาพที่เวลาเริ่มต้น (t = 0)
A คือ กัมมันตภาพที่เวลา t ใดๆ
λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว
t คือ ระยะเวลาของการสลายตัว

$$0.117 = A_0 e^{-0.181(24)}$$

$$A_0 = \frac{0.117}{0.013}$$

$$A_0 = 9.011 \text{ (Bq/l)}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ดังนั้น ความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นของก๊าซเรดอน คือ 9.011 Bq/l

2. การคำนวณค่ารังสีขนาดเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี

สามารถคำนวณได้ โดยใช้สมการของ IAEA ดังนี้

$$AED = A \times W \times a \times 10^{-8}$$

เมื่อ AED คือ Annual Equivalent Doseหมายถึง ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปีจากการดื่มน้ำ (Sv/y)

A คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณเรดอนในน้ำดื่ม (Bq/l)
W คือ การดื่มน้ำของคนต่อวัน จำนวน 2 l/day (ลิตรต่อวัน)
a คือ จำนวนวันที่ได้รับสารรังสี (day)
10^{-8} คือ Dose factor ที่ใช้ในการประเมินรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี (Sv/Bq)

2.1 ตัวอย่างการคำนวณค่ารังสีขนาดเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายตลอดทั้งปี

ค่าความเสี่ยงของตัวอย่างลำดับที่ 1 จากตารางที่ 4.1 คือ บ้านเลขที่ 29 หมู่ 5 บ้านลุมพุก ต.โคกพระ มีค่าเท่ากับ 0.066 mSv/y

ถ้าในระยะเวลา 1 ปี (365 วัน) ประชาชนได้ดื่มน้ำที่มีเรดอน 9.011 Bq/l

จาก
$$AED = A \times W \times a \times 10^{-8}$$
$$= 9.011 \times 2 \times 365 \times 10^{-8}$$
$$= 6.578 \times 10^{-5} Sv / y$$
$$AED = 0.066 mSv / y$$

ดังนั้น จะทำให้เกิดค่ารังสีขนาดเสี่ยง เท่ากับ 0.066 mSv/y ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในน้ำดื่ม ต้องมีค่ารังสีขนาดเสี่ยง ไม่ควรเกิน 0.1 mSv/y และค่าปริมาณรังสีนั้นต้องไม่เกินระดับปลอดภัย ซึ่งกำหนดต่อปีไว้ที่ 1 mSv จะนำไปใช้เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อบ่งชี้ถึงความปลอดภัยในการดื่มน้ำของประชาชนในเขตอำเภอกันทรวิชัย

3. วิธีการหาค่าความสัมพันธ์จากทฤษฎีของ Karl Pearson โดยโปรแกรม SPSS

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ค่าความสัมพันธ์ของค่าความเค็มมีความสัมพันธ์ทางบวก กับ ค่าความเข้มข้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.136

1. ป้อนข้อมูลลงใน SPSS Data Editor จะปรากฏข้อมูลดังนี้

ค่าความเค็ม

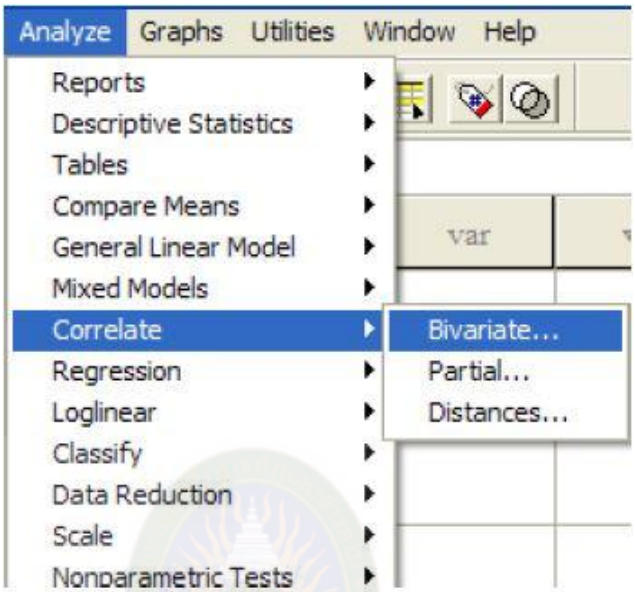
	X	Y
1	0.18	9.01
2	0.27	6.39
3	0.53	10.73
4	0.45	11.55
5	0.32	7.16
6	1.08	5.98
7	0.35	6.23
8	0.50	6.39
9	0.45	8.70
10	0.43	6.16
11	0.71	3.02
12	0.70	9.01
13	0.38	4.05
14	0.42	10.01
15	0.48	4.50

ค่าความเข้มข้น

รูปที่ ข-1 ชุดข้อมูลความเค็มกับค่าความเข้มข้น

2. เลือกคำสั่ง

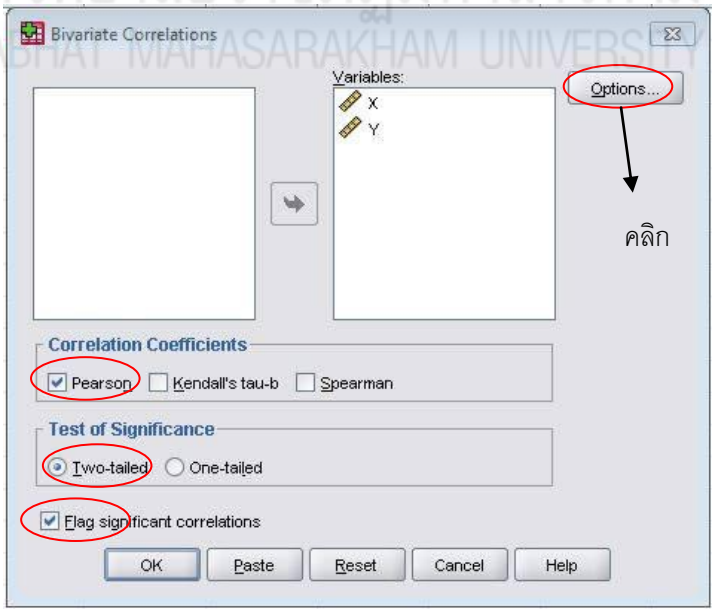
Analyze ⟶ Correlate ⟶ Bivariate....



รูปที่ ข-2 แสดงภาพเลือกคำสั่ง

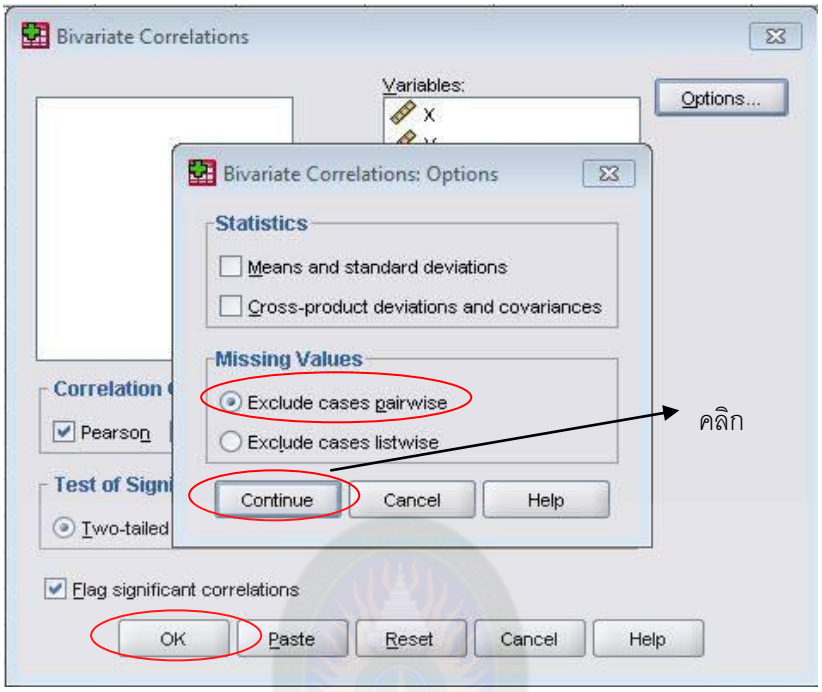
3. เมื่อเลือกคำสั่งจะปรากฏหน้าต่าง**ดังรูปที่ ข-3**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ ข-3 แสดงหน้าต่าง Bivariate

4. เมื่อเลือก Options จะปรากฏหน้าต่าง **ดังรูปที่ ข-4**



รูปที่ ข-4 แสดงหน้าต่าง Bivariate Correlations Options

5. เลือกปุ่ม Continue ตามรูปที่ ข-4 แล้วคลิกปุ่ม OK จะปรากฏผล**ดังรูปที่ ข-5**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Correlations

		X	Y
X	Pearson Correlation	1	.136
	Sig. (2-tailed)		.383
	N	43	43
Y	Pearson Correlation	.136	1
	Sig. (2-tailed)	.383	
	N	43	43

รูปที่ ข-5 แสดงผล Correlations

ตารางที่ ข-1 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

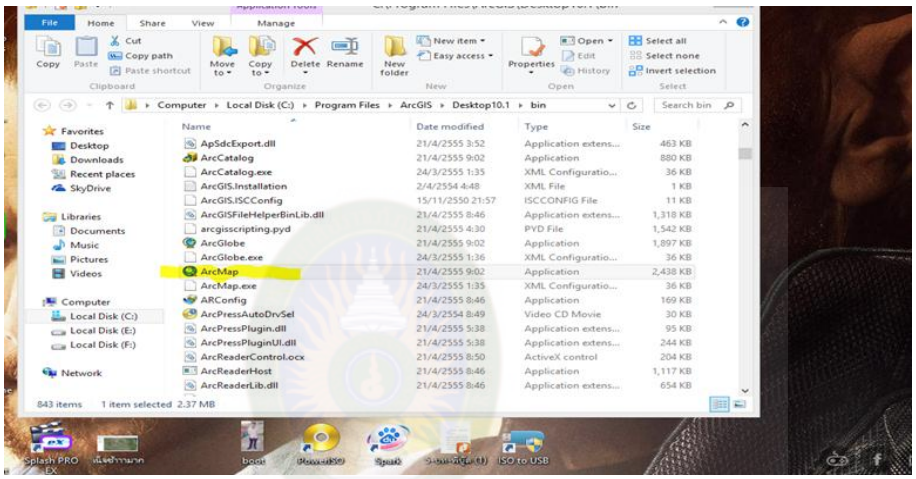
ความสัมพันธ์ระหว่าง		**ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์**
ค่าความเข้มข้น	ค่าความเสี่ยง	1
ค่าความเข้มข้น	ความเค็ม	0.136
ค่าความเข้มข้น	การนำไฟฟ้า	0.139
ค่าความเข้มข้น	อุณหภูมิ	-0.015
ค่าความเข้มข้น	pH	-0.158

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

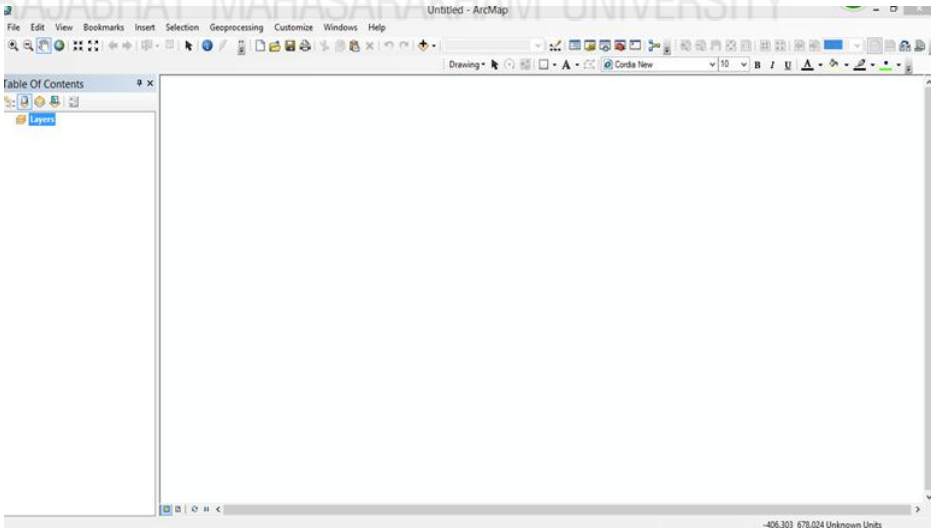
การสร้าง radioactive contour map โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.1

การสร้างแผนที่คอนทัวร์โดยใช้โปรแกรม Arc GIS 10.1 จะมีวิธีการในการสร้างแผนที่ตามขั้นตอนที่แสดง **ดังรูปที่ ค-1 – ค-35**



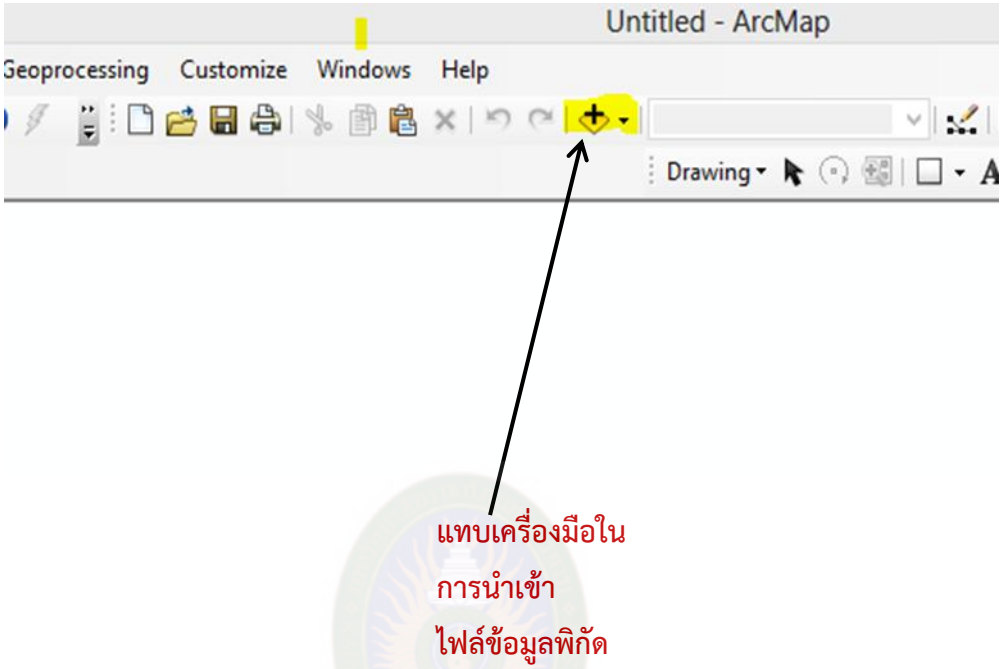
รูปที่ ค-1 แสดงการเปิดโปรแกรม ArcGIS 10.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



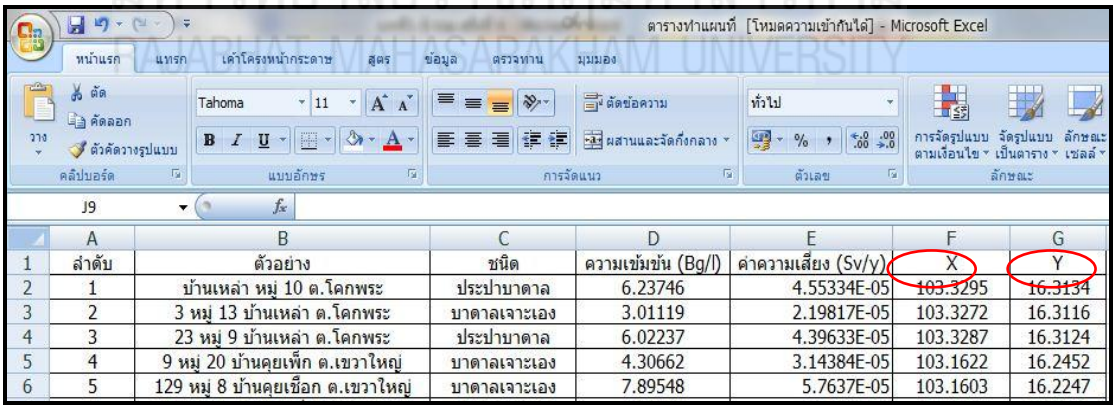
รูปที่ ค-2 แสดงตัวโปรแกรม ArcGIS 10.1หลังจากการเปิดโปรแกรม ArcGIS 10.1ขึ้นมา

ดับเบิ้ลคลิกที่จุดสีดัง**รูปที่ ค-3** เหลืองเพื่อนำเข้าข้อมูลแล้วทำเลือกตำแหน่งที่เก็บข้อมูลตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์



รูปที่ ค-3 ภาพแสดงเครื่องมือการนำเข้าข้อมูล

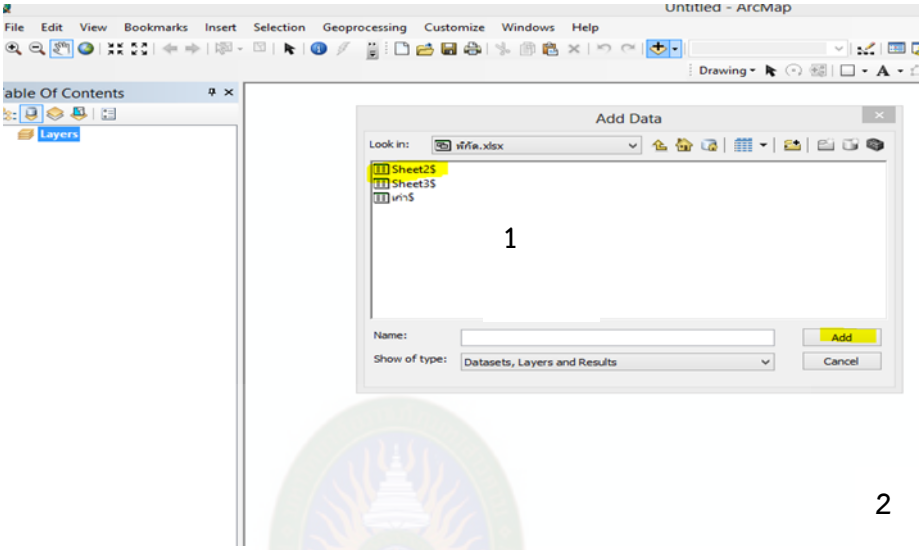
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



	A	B	C	D	E	F	G
1	ลำดับ	ตัวอย่าง	ชนิด	ความเข้มข้น (Bg/l)	ค่าความเสี่ยง (Sv/y)	X	Y
2	1	บ้านเหล่า หมู่ 10 ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	6.23746	4.55334E-05	103.3295	16.3134
3	2	3 หมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	บาดาลเจาะเอง	3.01119	2.19817E-05	103.3272	16.3116
4	3	23 หมู่ 9 บ้านเหล่า ต.โคกพระ	ประปาบาดาล	6.02237	4.39633E-05	103.3287	16.3124
5	4	9 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	4.30662	3.14384E-05	103.1622	16.2452
6	5	129 หมู่ 8 บ้านคุยเชือก ต.เขวาใหญ่	บาดาลเจาะเอง	7.89548	5.7637E-05	103.1603	16.2247

รูปที่ ค-4 แสดงตัวอย่างไฟล์ข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์, ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงเนื่องจากการ บริโภคน้ำที่มีRn-222ปะปนที่ทำขึ้นด้วยโปรแกรม Excel

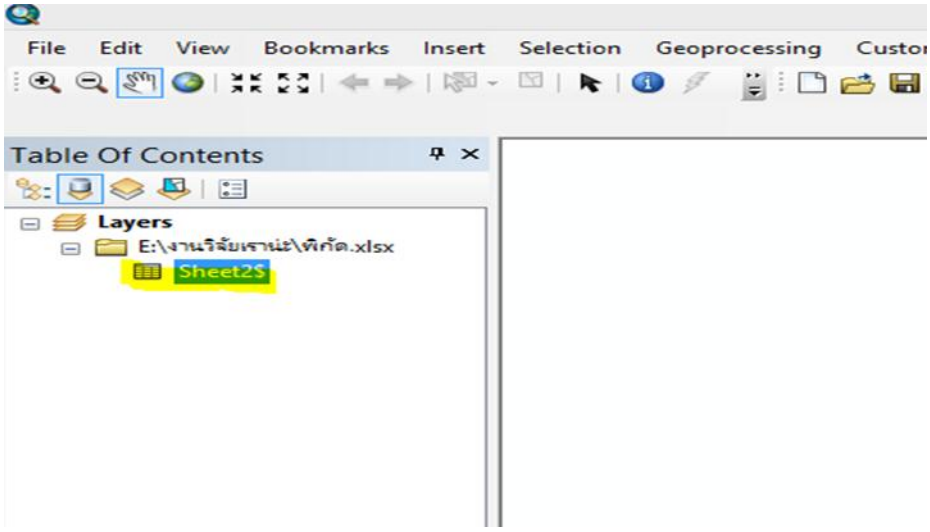
หลังจากนำเขาไฟล์ข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์, ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีRn-222ปะปนที่ทำขึ้นด้วยโปรแกรม Excel ให้ทำเลือก Sheet ที่เราบันทึกไว้แล้วตามลำดับหมายเลข



รูปที่ ค-5 แสดงขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์, ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีRn-222ปะปน

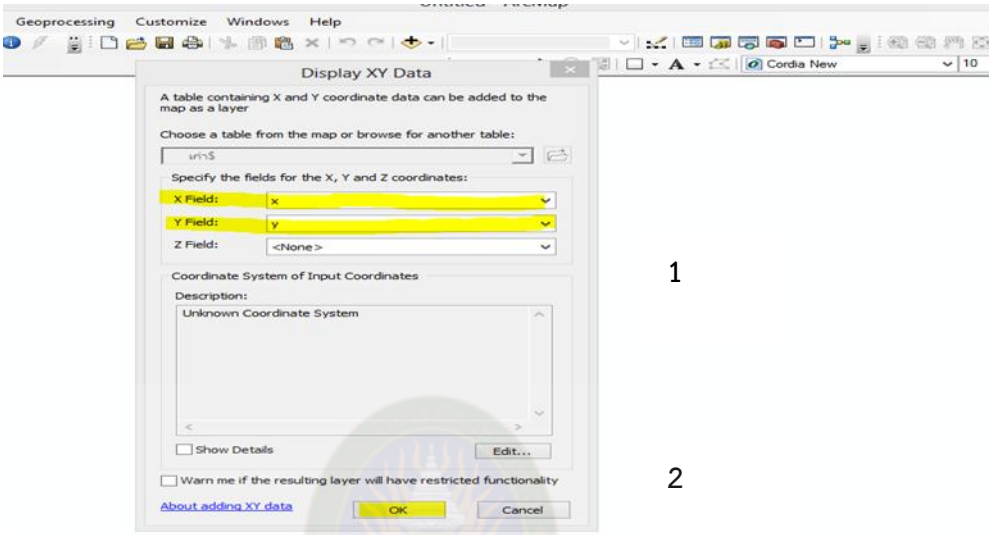
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

คลิกขวาที่จุดสีเหลือง**ดังรูปที่ ค-6** แล้วเลือกคลิกซ้ายที่ Display XY Data



รูปที่ ค-6 แสดงตัวข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์, ความเข้มข้นของ Rn-222 และความเสี่ยงที่นำเข้ามาแล้ว

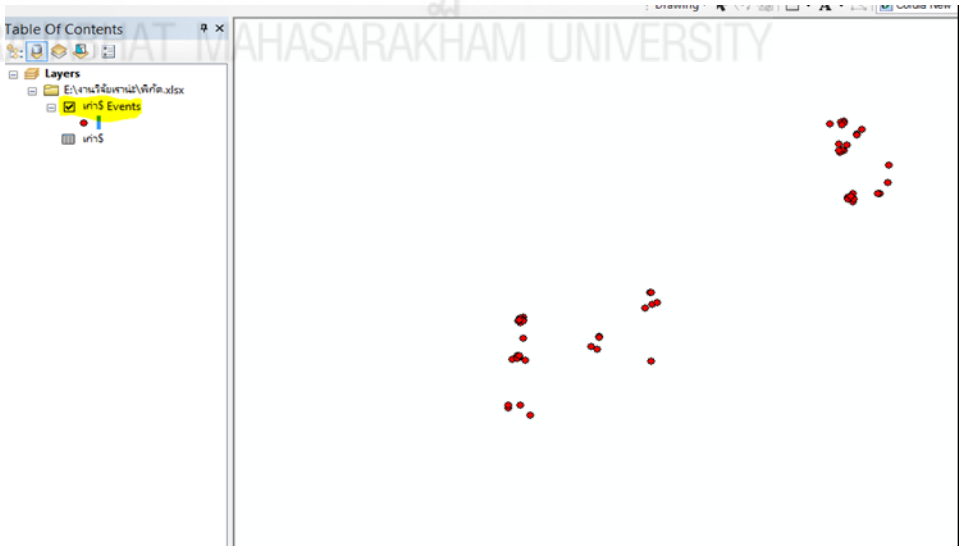
หลังจากการเปิด Display XY Data ให้ทำการเลือกแทบเครื่องมือ X Field เป็น X และแทบเครื่องมือ Y Field เป็น Y ตามที่กำหนดในไฟล์ข้อมูลโปรแกรมExcelที่กำหนดไว้**ดังรูปที่ ค-3** จากนำทำการคลิกซ้ายที่ OK **ดังรูปที่ ค-6**



รูปที่ ค-7 แสดงขั้นตอนกางลงพิกัดทางภูมิศาสตร์ในแทบเครื่องมือ Display XY Data

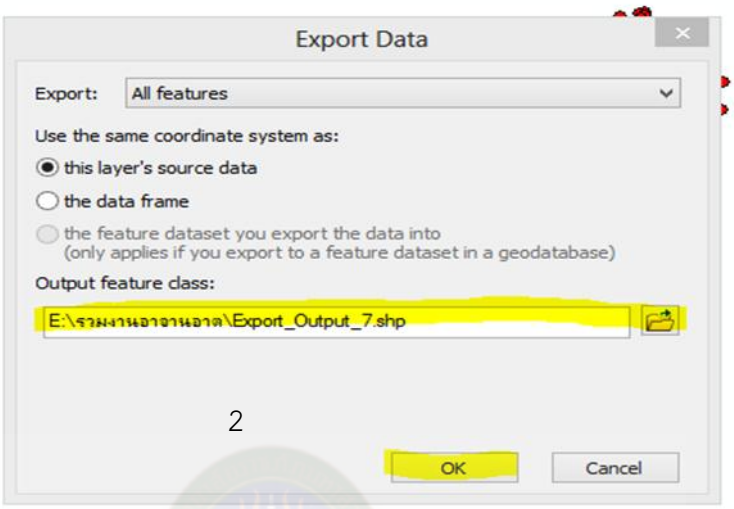
คลิกขวาที่จุดสีเหลือง**ดังรูปที่ ค-8** แล้วเลือก Data แล้วทำการคลิกซ้าย Export Data

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



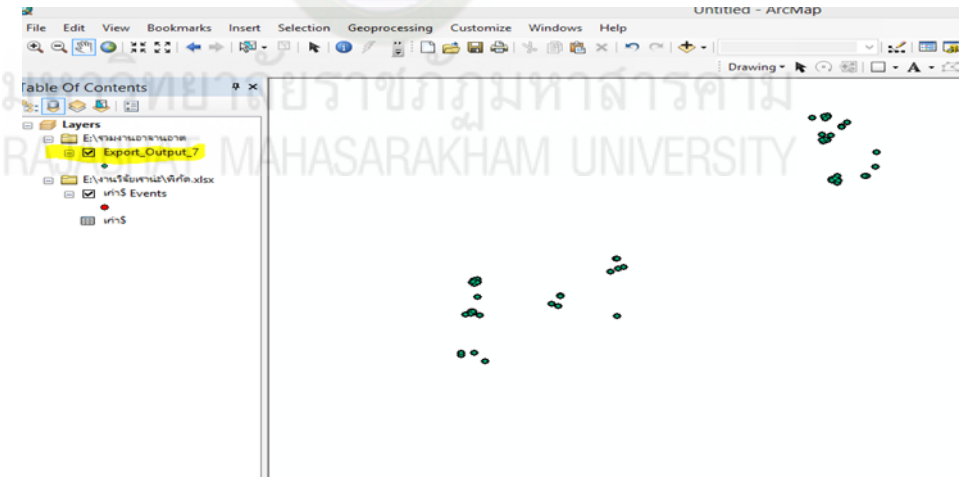
รูปที่ ค-8 แสดงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์

เลือกที่จัดเก็บข้อมูลที่เป็นนามสกุล .shp ซึ่งเป็นตามหมายเลข 1 แล้วทำการคลิกซ้ายที่ OK ตามลำดับ



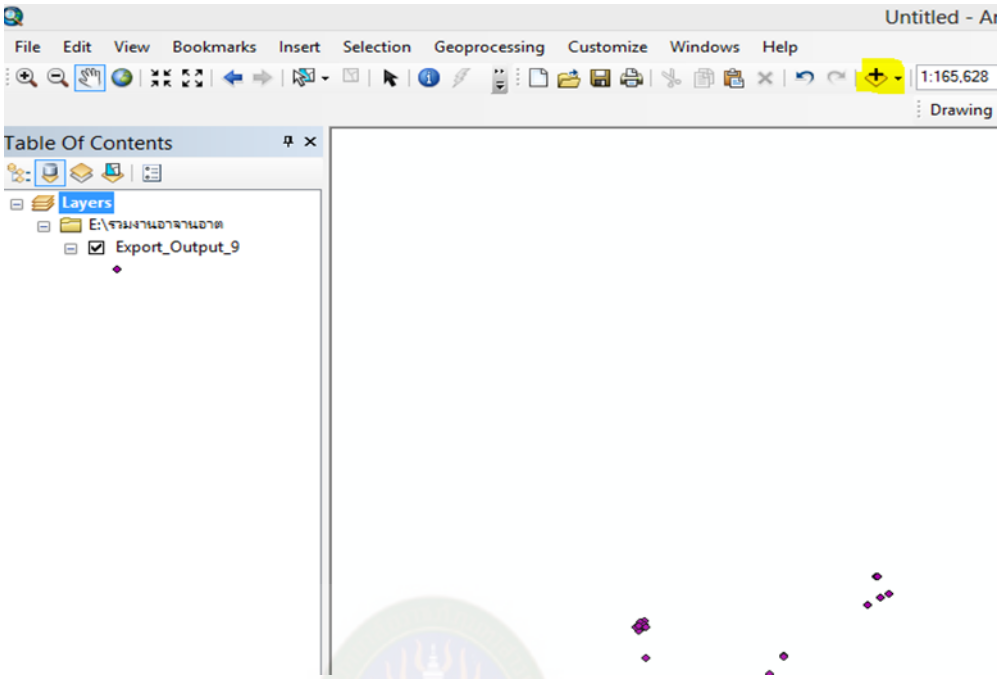
รูปที่ ค-9 แสดงเมนู Export Data

เราจะได้ไฟล์ข้อมูลที่เป็นนามสกุล.shp ดังจุดสีเหลืองในรูป

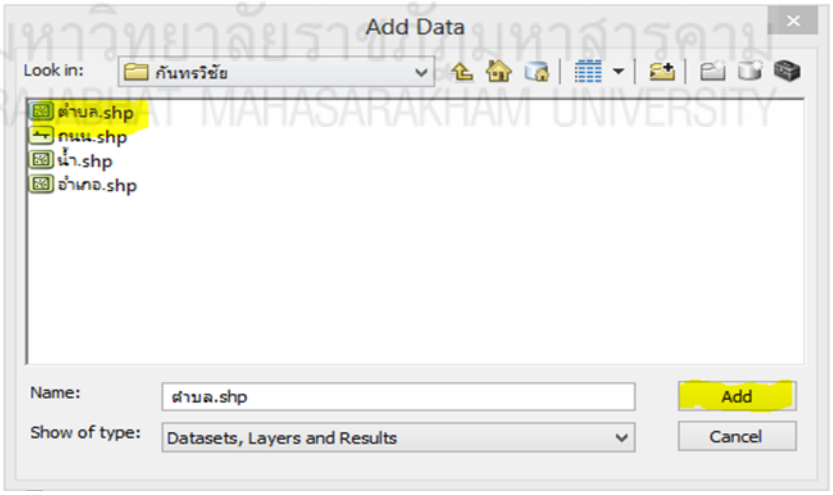


รูปที่ ค-10 แสดงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์หลังจากทำการ Export Data ข้อมูลแล้ว

หลังจากนี้ผู้วิจัยจะทำการนำข้อมูลไฟล์ Shape file ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมตำแหน่งและพื้นที่ที่ทำการวิจัยโดยผู้วิจัยได้เลือก Shape file ของตำบลกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม โดยการคลิกซ้ายที่แทบเครื่องมือสีเหลือง**ดังรูปที่ ค-11**แล้วทำการเลือกที่เก็บ Shape file ของตำบลกันทรวิชัยโดยข้อมูล Shape file แสดง**ดังรูปที่ ค-11**

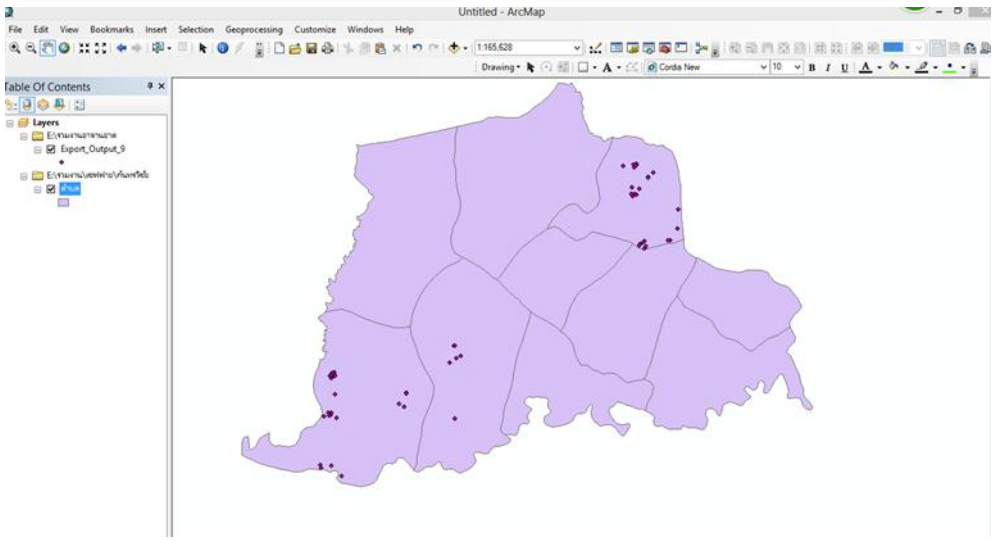


รูปที่ ค-11 แสดงจุดการนำเข้าข้อมูล Shape file



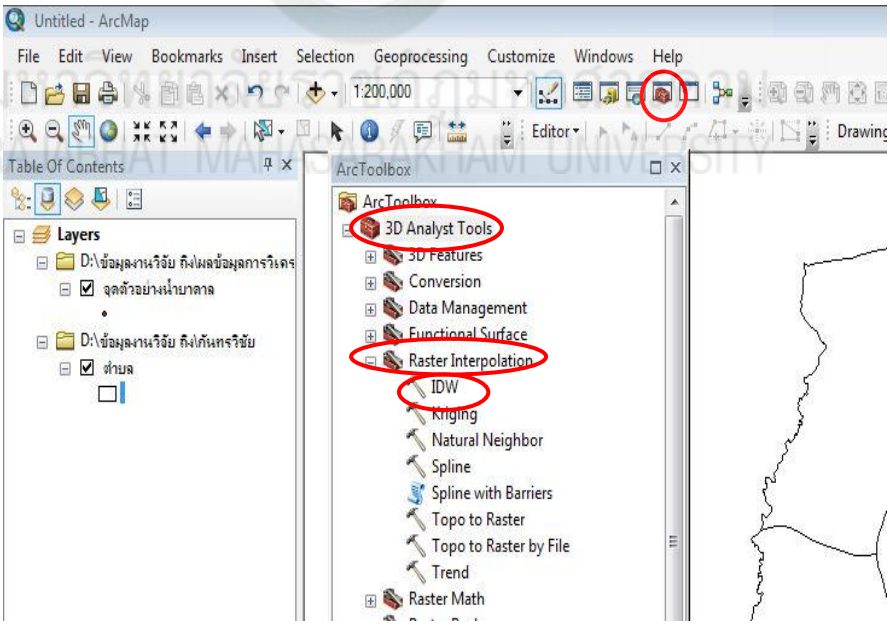
รูปที่ ค-12 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูล Shape file อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



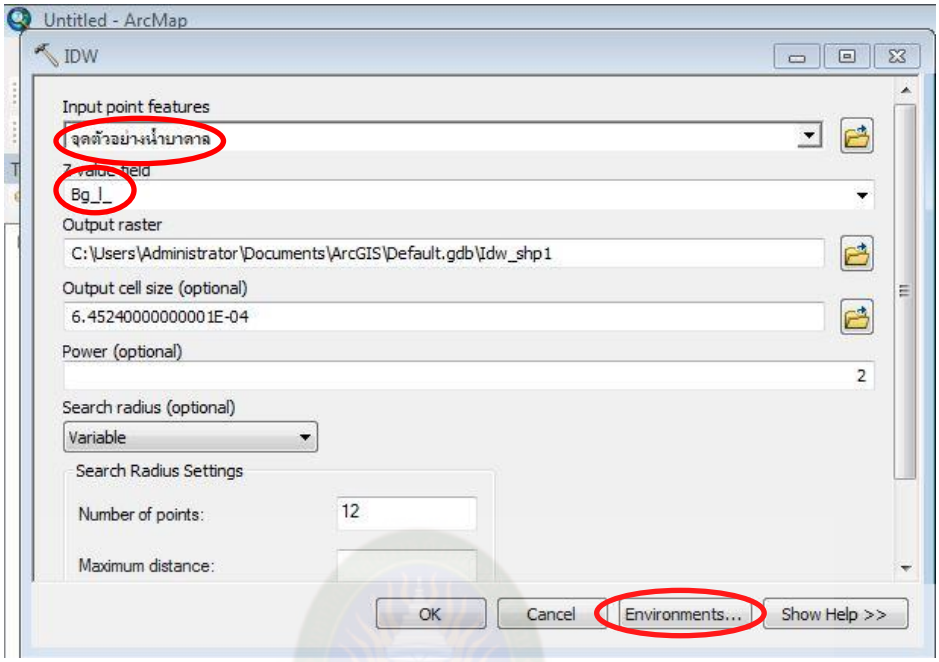
รูปที่ ค-13 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบนพื้นที่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคามในโปแกรม ArcGIS

เลือกเครื่องมือ ArcToolbox แล้วเลือก เครื่องมือต่างๆ **ดังรูปที่ ค-14**



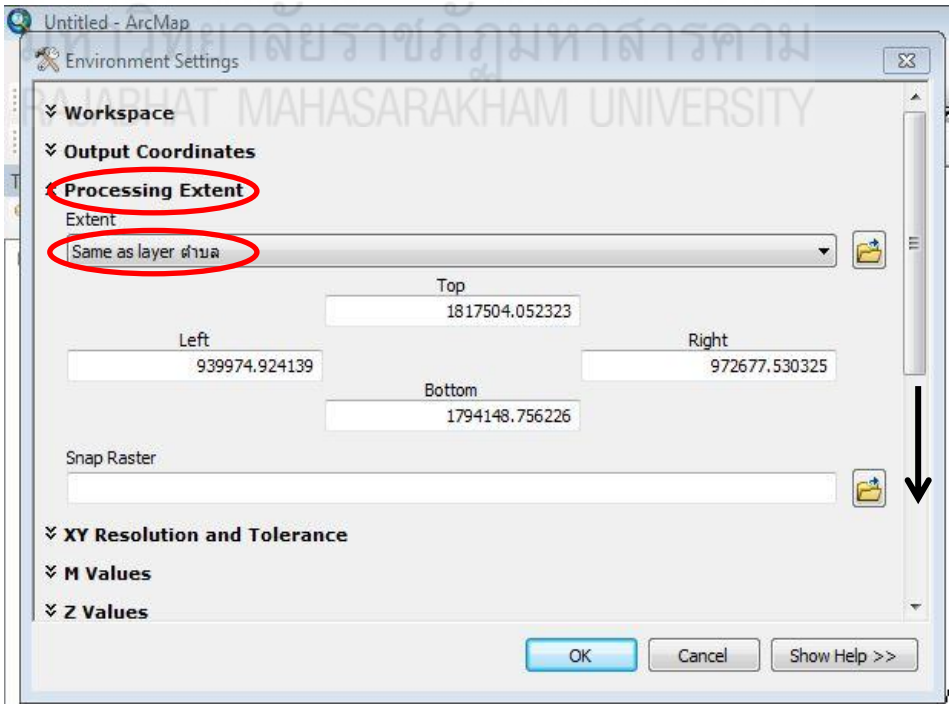
รูปที่ ค-14 แสดงเครื่องมือในการ IDW

เลือกดัง**รูปที่ ค-15** แล้วคลิก Environments



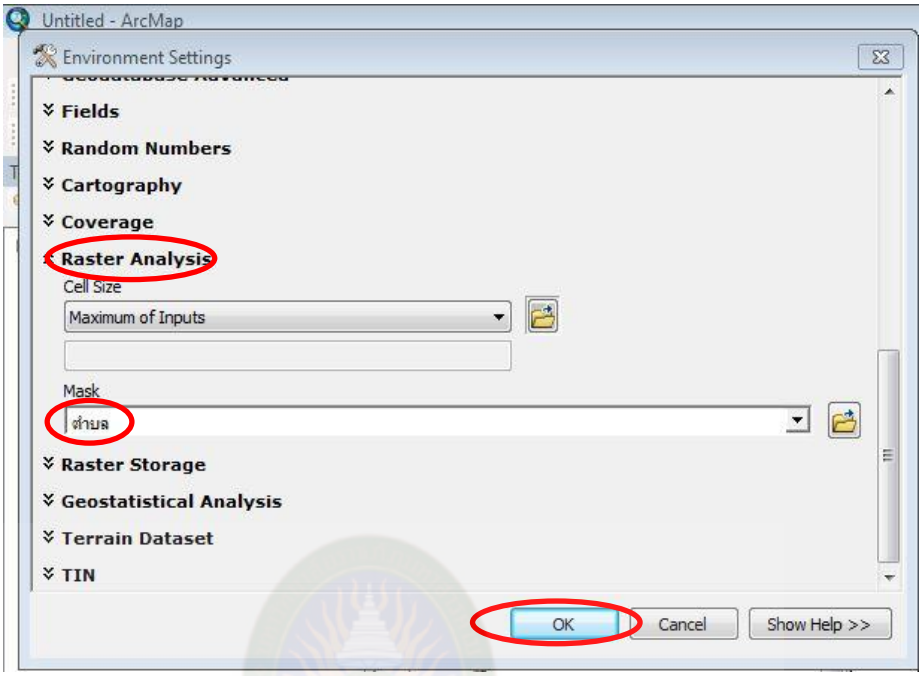
รูปที่ ค-15 แสดงวิธีการ IDW

คลิกที่ Processing Extent แล้วเลือก**ดังรูปที่ ค-16**



รูปที่ ค-16 แสดงวิธีการ IDW

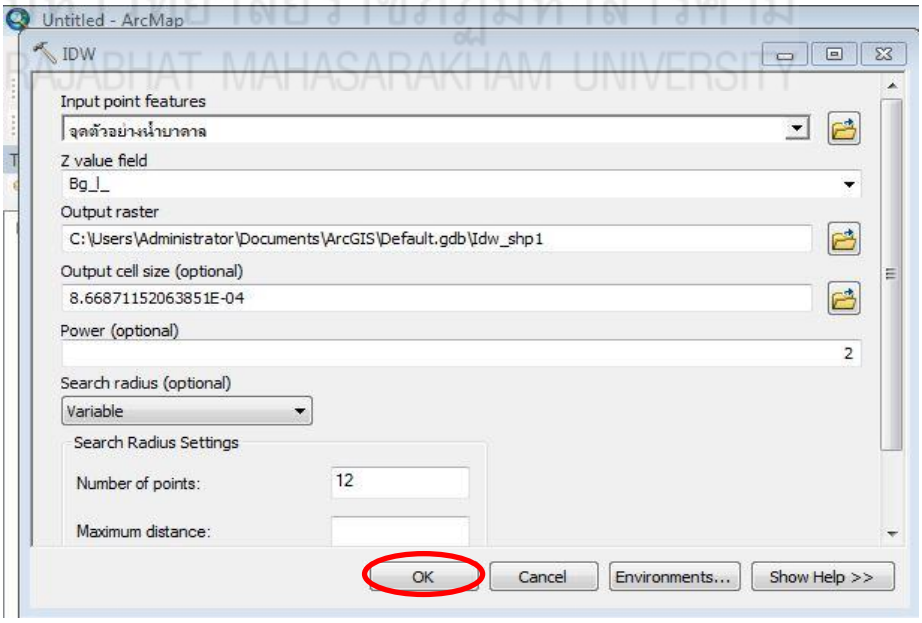
คลิกที่ Raster Analysis แล้วเลือก**ดังรูปที่ ค-17** แล้วคลิก OK



รูปที่ ค-17 แสดงวิธีการ IDW

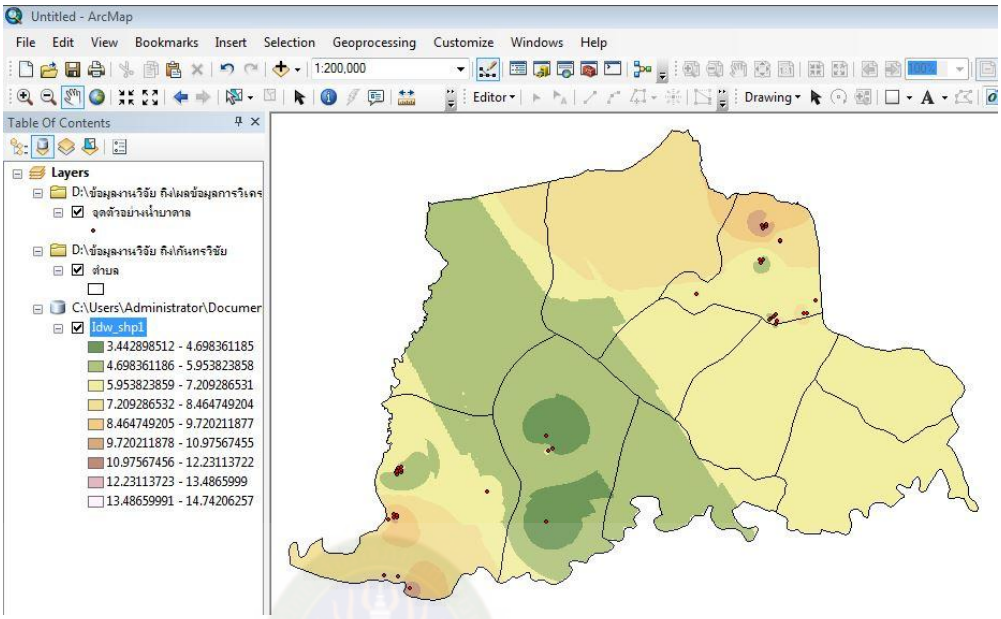
คลิก OK เพื่อทำการ IDW

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



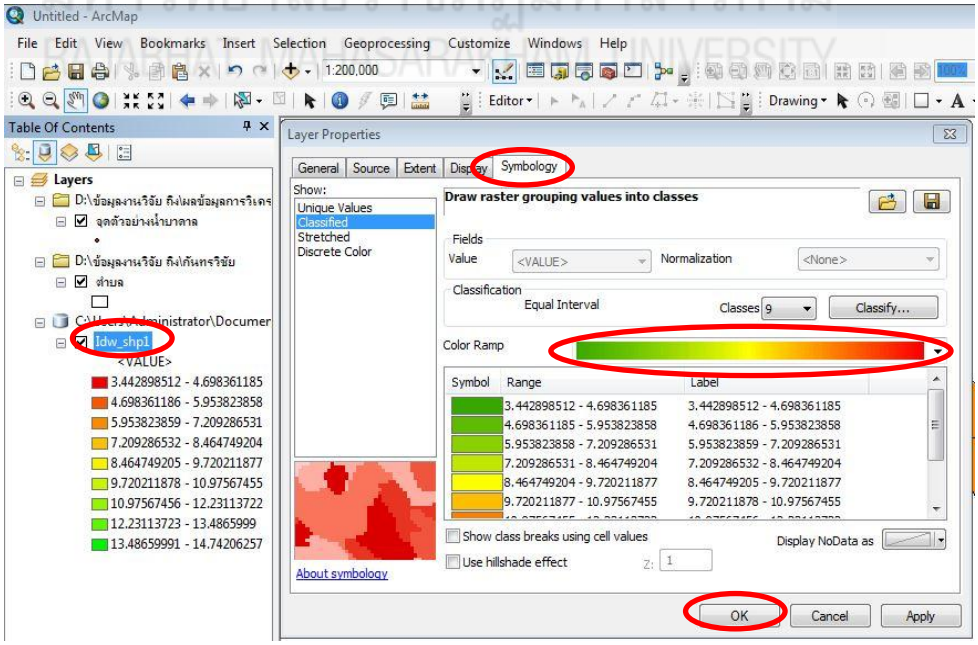
รูปที่ ค-18 แสดงวิธีการ IDW

เมื่อทำการ IDW เสร็จ ก็จะได้**ดังรูปที่ ค-19**



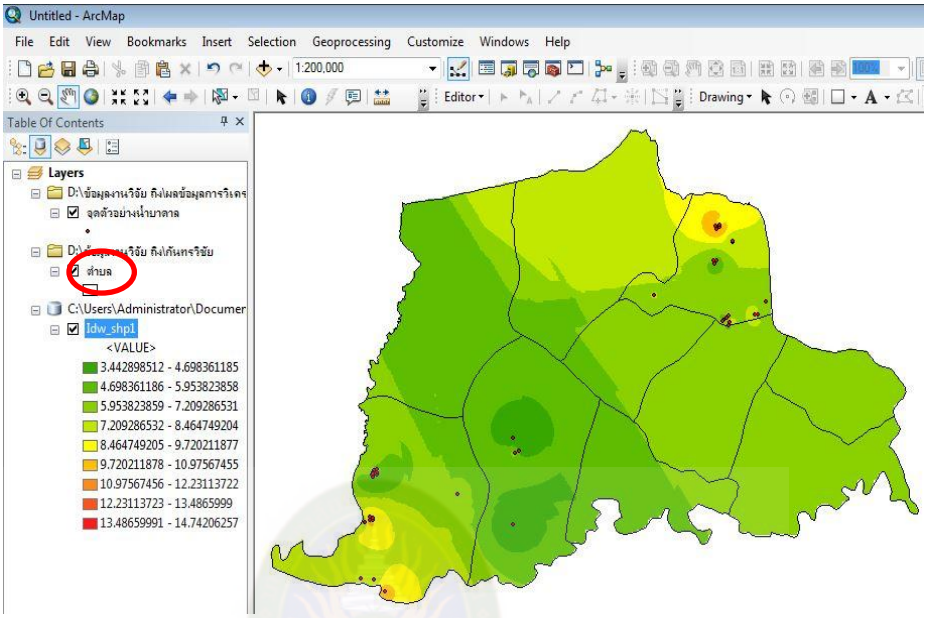
รูปที่ ค-19 แสดงภาพเมื่อ IDW เสร็จ

ดับเบิ้ลคลิกที่ Idw_shp1 **ดังรูปที่ ค-20** แล้วเลือกแท็ป Symbology เลือกสีตามที่ต้องการ แล้วคลิก OK



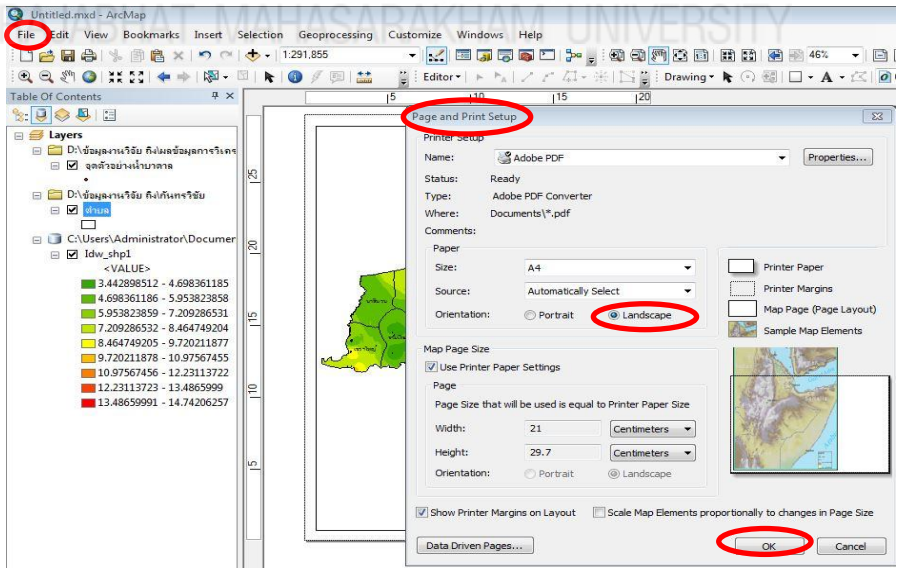
รูปที่ ค-20 แสดงการเปลี่ยนสีแผนที่

จะได้แผนที่ **ดังรูปที่ ค-21** จากนั้นคลิกขวา “ตำบล” แล้วเลือก Label Features เพื่อแสดงชื่อของแต่ละตำบล คลิก Layout View จะแสดงอยู่มุมล่างขวาของหน้าจอ เพื่อจัดทำเป็นแผนที่



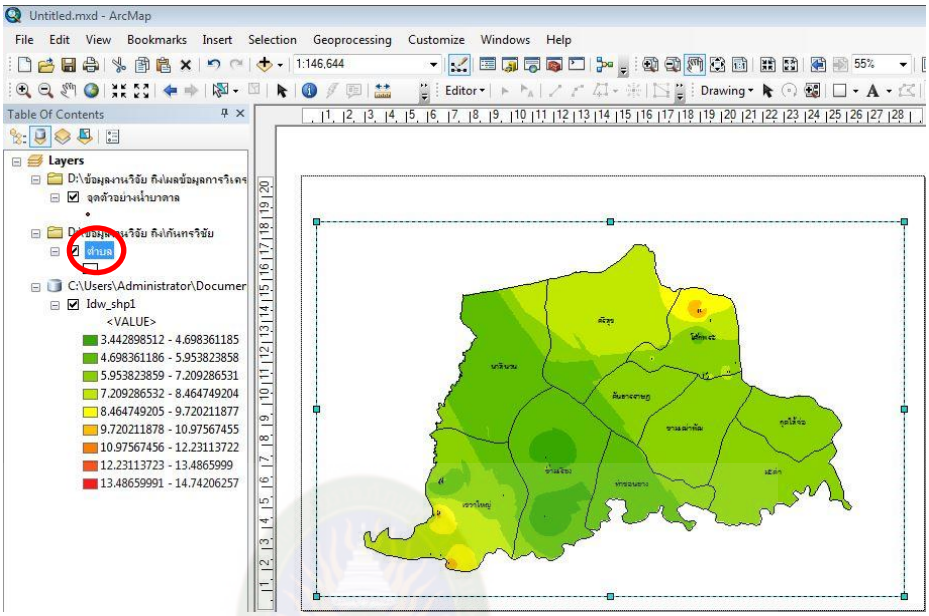
รูปที่ ค-21 แสดงแผนที่ที่เปลี่ยนสีเสร็จแล้ว

จะได้**ดังรูปที่ ค-22** จากนั้นคลิกแท็ป File แล้วเลือก Page and Print Setup เพื่อทำให้หน้ากระดาษเป็นแนวนอน คลิกเลือก Landscape **ดังรูปที่ ค-22** แล้วคลิก OK



รูปที่ ค-22 แสดงการเปลี่ยนแนวหน้ากระดาษ

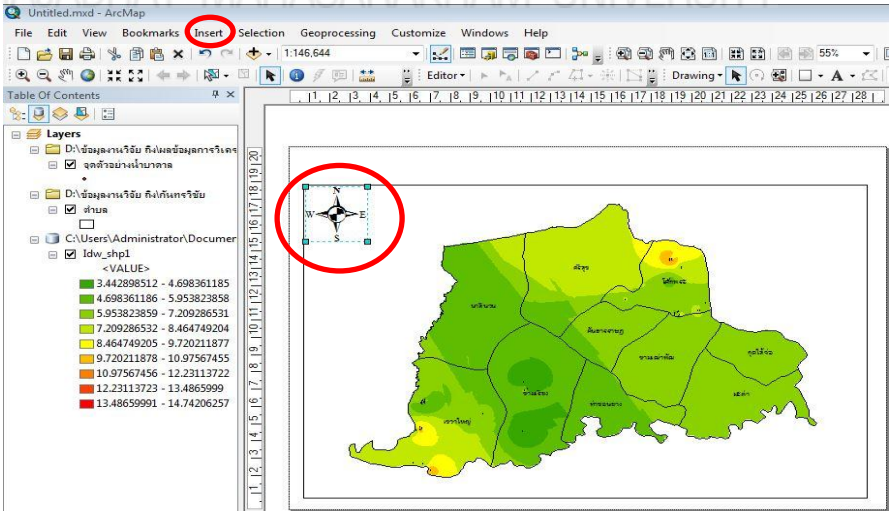
จะได้**ดังรูปที่ ค-23** แล้วคลิกขวา”ตำบล”แล้วเลือก Zoom To Layer เพื่อปรับขนาดขอบเขตให้พอดีกับหน้ากระดาษ



รูปที่ ค-23 แสดงแผนที่ในแนวนอน

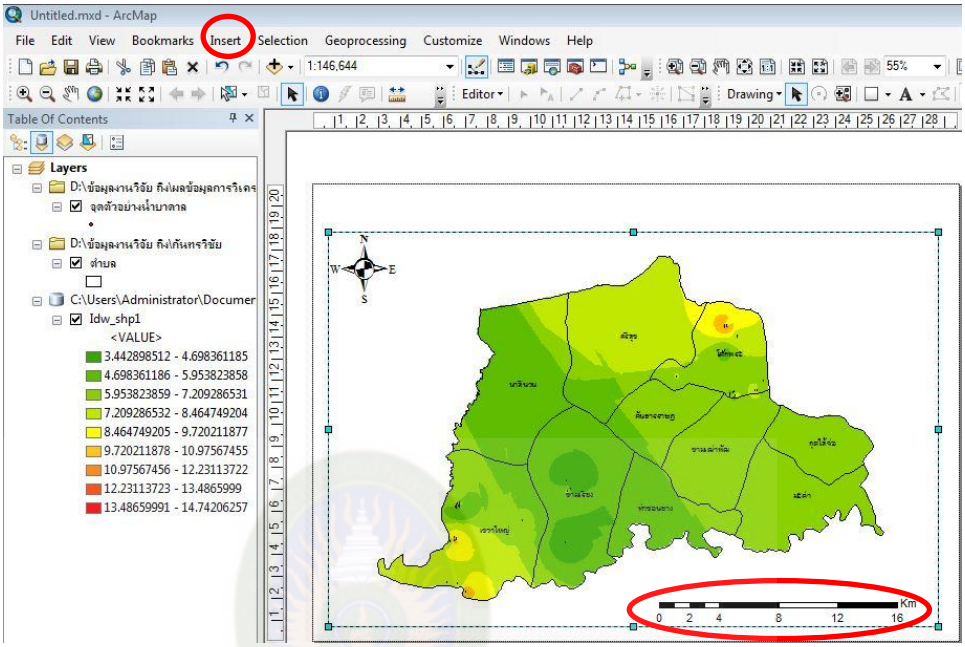
คลิกแท็ป Insert แล้วเลือก North Arrow เพื่อเพิ่มเครื่องหมายบอกทิศให้กับแผนที่ แล้วคลิก OK **ดังรูปที่ ค-24**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ ค-24 แสดงเครื่องหมายบอกทิศให้กับแผนที่

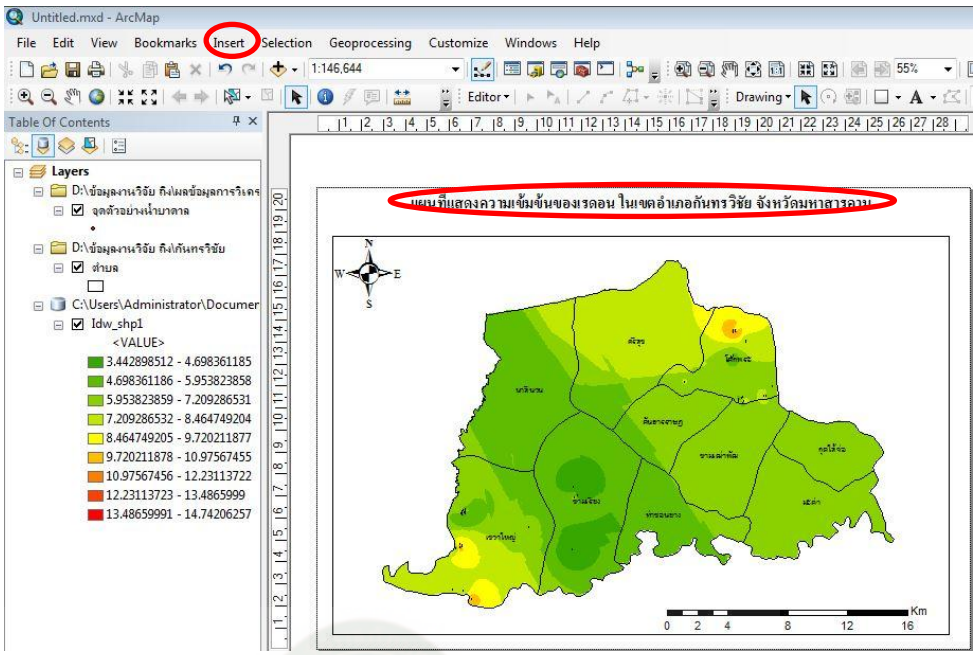
คลิกแท็ป Insert แล้วเลือก Scaale Bar เพื่อใส่มาตราส่วนสำหรับแผนที่ แล้วคลิก OK **ดังรูปที่ ค-25**



รูปที่ ค-25 แสดงมาตราส่วนสำหรับแผนที่

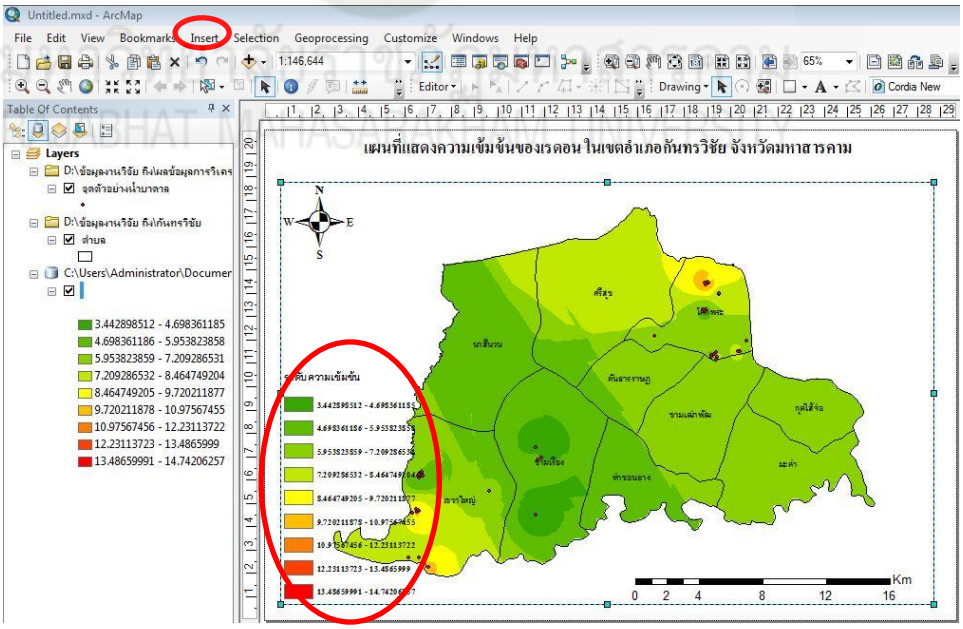
คลิกแท็ป Insert แล้วเลือก Text แล้วพิมพ์ชื่อแผนที่ที่ต้องการ และเลือกขนาดตามความเหมาะสม แล้วคลิก OK **ดังรูปที่ ค-26**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY



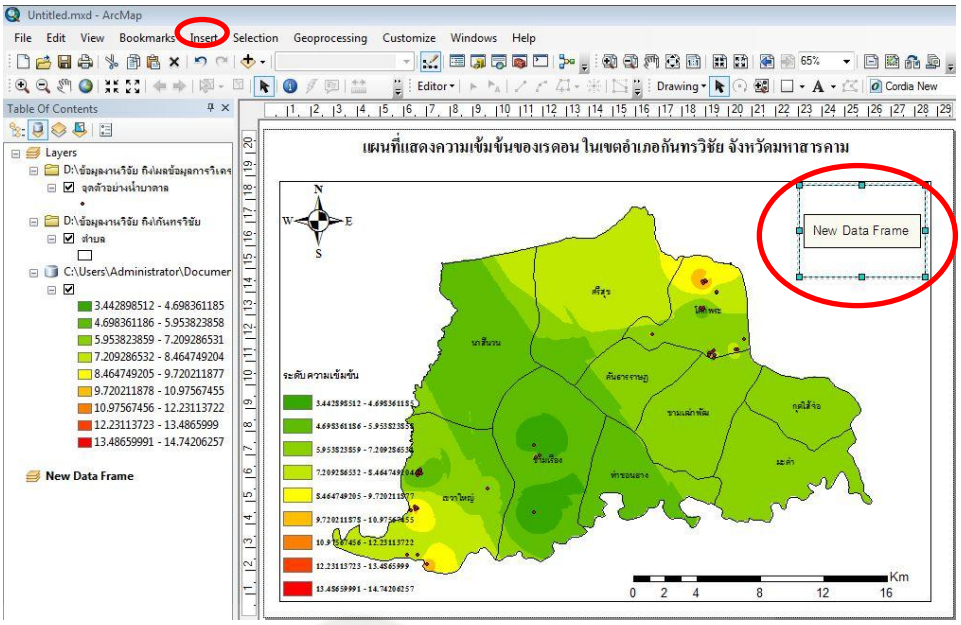
รูปที่ ค-26 แสดงชื่อแผนที่

คลิกแท็ป Insert แล้วเลือก Legend เพื่อใส่ค่าระดับความเข้มข้น **ดังรูปที่ ค-27**



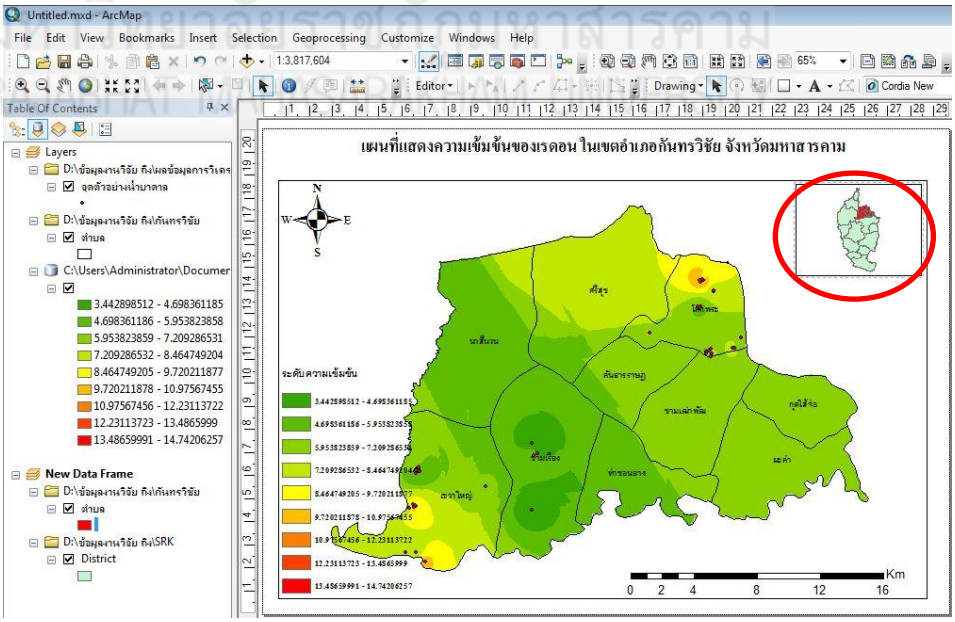
รูปที่ ค-27 แสดงระดับความเข้มข้น

คลิกแท็ป Insert แล้วเลือก Data Frame เพื่อใส่แผนที่เพื่อบ่งบอกว่าอำเภอกันทรวิชัยอยู่บริเวณไหนของจังหวัดมหาสารคาม และจะแสดงไว้มุมบนซ้ายของแผนที่ **ดังรูปที่ ค-28**



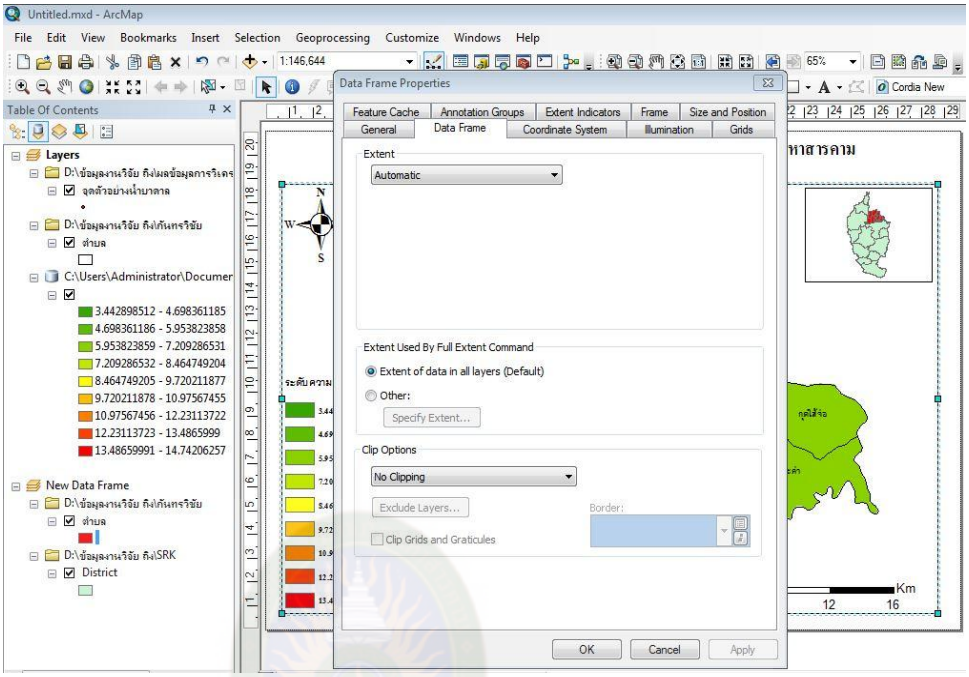
รูปที่ ค-28 แสดงวิธีการใส่แผนที่มุมบนซ้ายของแผนที่

เลือกแท็ป Catalog ที่อยู่บริเวณมุมซ้ายของหน้าจอ แล้วเลือก Shape file ของจังหวัดมหาสารคาม แล้วจากนั้นเลือก Shape file ของอำเภอกันทรวิชัย จะได้**ดังรูปที่ ค-29**



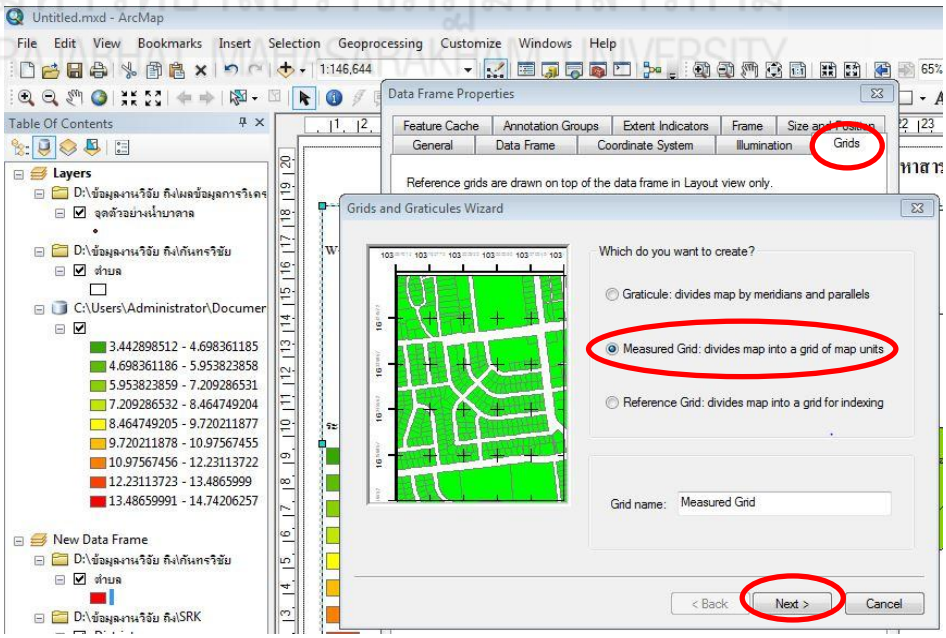
รูปที่ ค-29 แสดงแผนที่มุมบนซ้ายของแผนที่

คลิกขวาที่แผนที่แล้วเลือก Properties จะได้ตาม**รูปที่ ค-30**



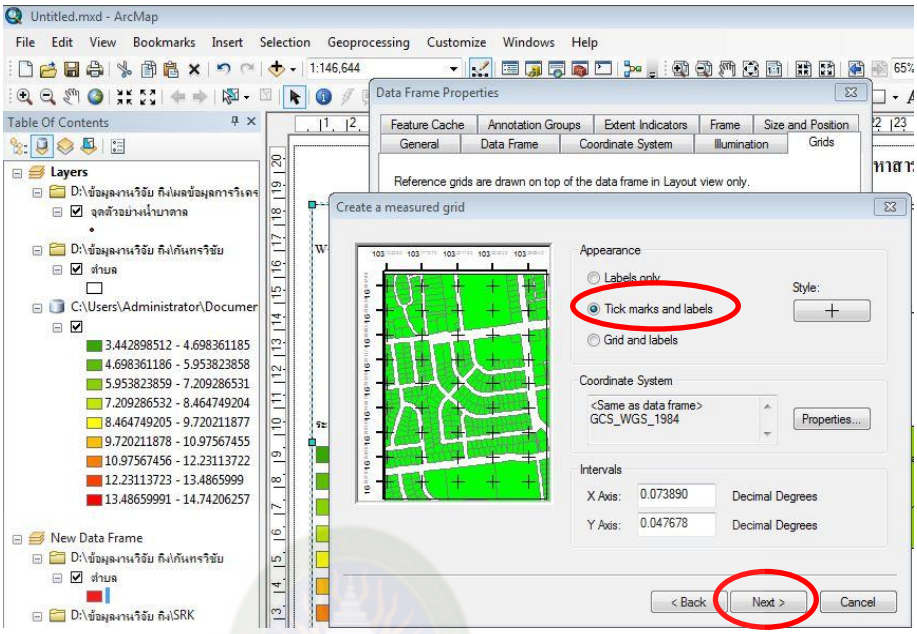
รูปที่ ค-30 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids

เลือกแท็ป Grids แล้วเลือก New Grids แล้วเลือก**ดังรูปที่ ค-31** แล้วคลิก Next



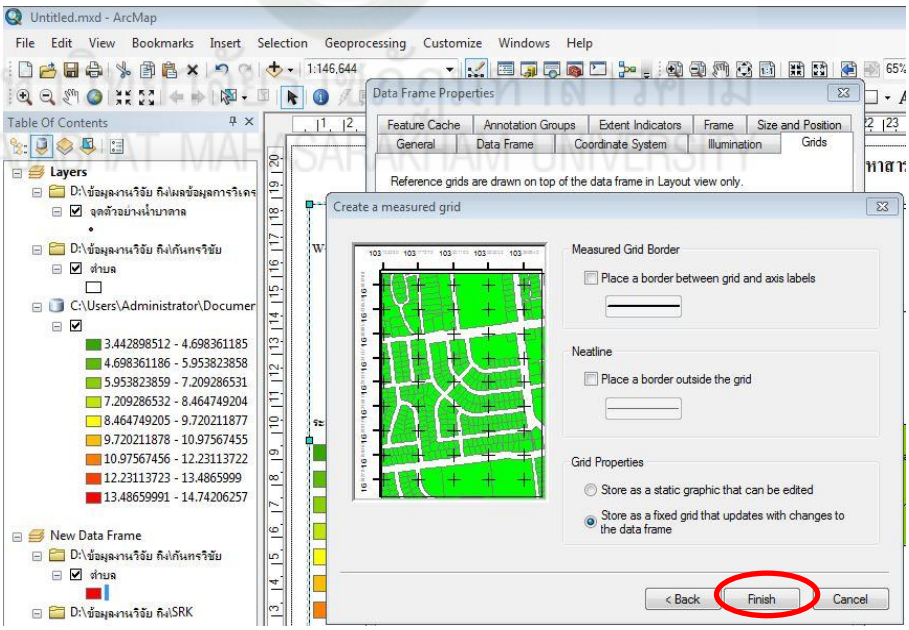
รูปที่ ค-31 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids

เลือกตาม**รูปที่ ค-32** แล้วคลิก Next ไปเรื่อยๆ



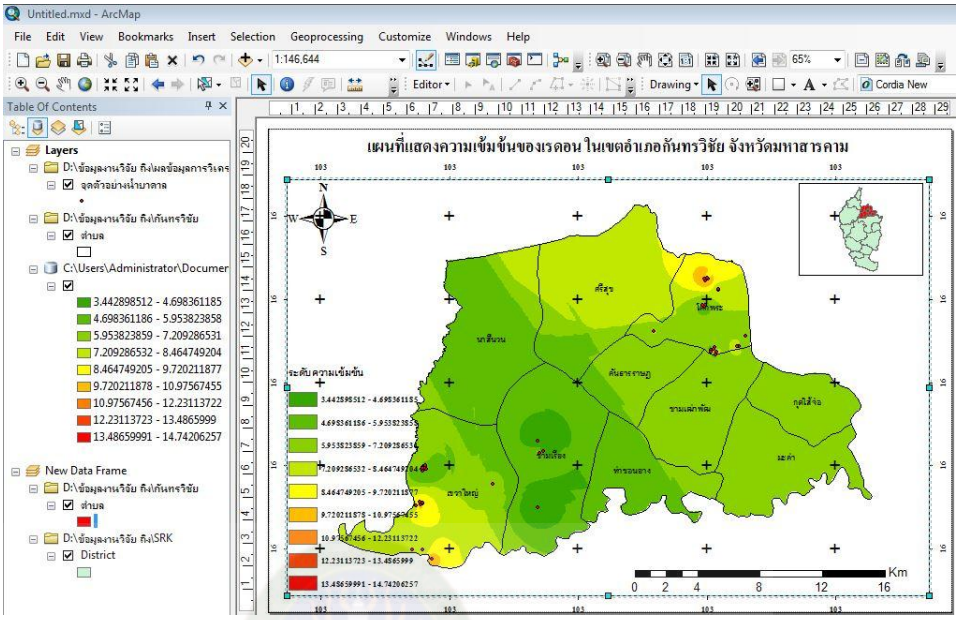
รูปที่ ค-32 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids

คลิก Finish **ดังรูปที่ ค-33** แล้วคลิก OK



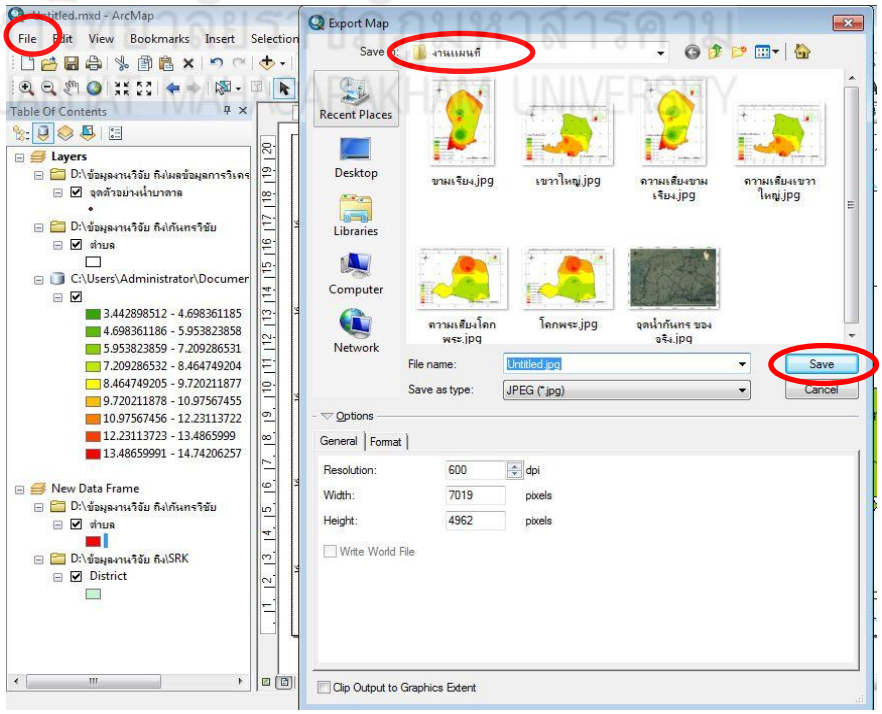
รูปที่ ค-33 แสดงวิธีการเพิ่ม Grids

จะได้**ดังรูปที่ ค-34**



รูปที่ ค-34 แสดงแผนที่ที่สร้างด้วยโปรแกรม Arcgis

คลิกแท็ป File แล้วเลือก Export Map เพื่อจะนำแผนที่ออก แล้วเลือกที่ที่จะเก็บไฟล์ไว้ แล้วคลิก save **ดังรูปที่ ค-35**

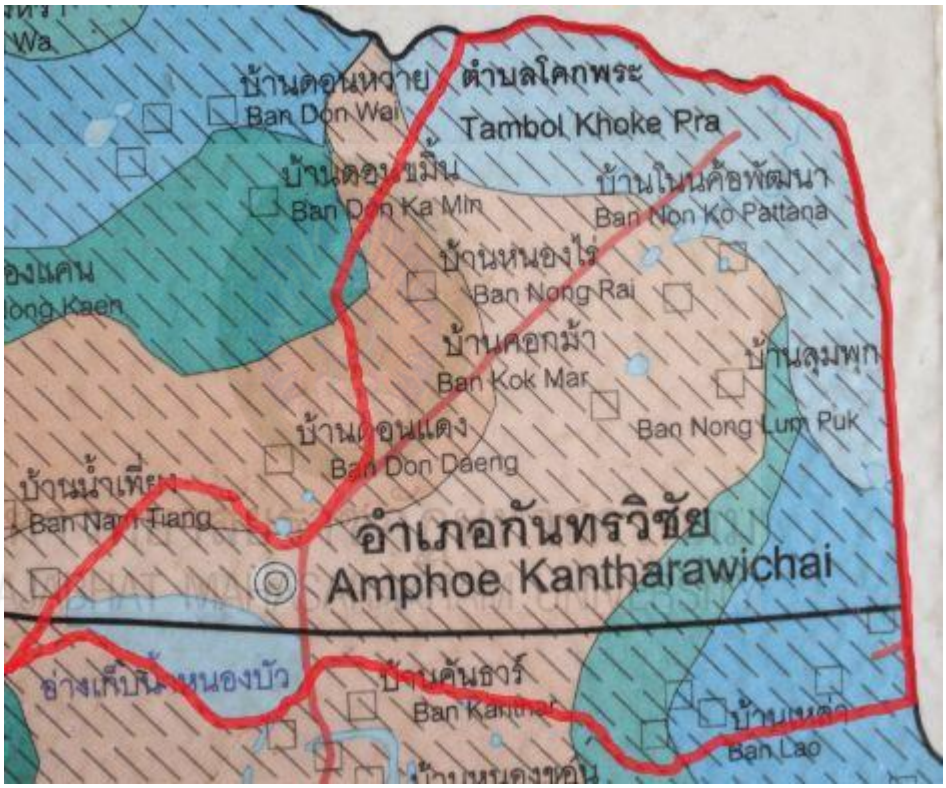


รูปที่ ค-35 แสดงการนำออกของแผนที่

ภาคผนวก ง

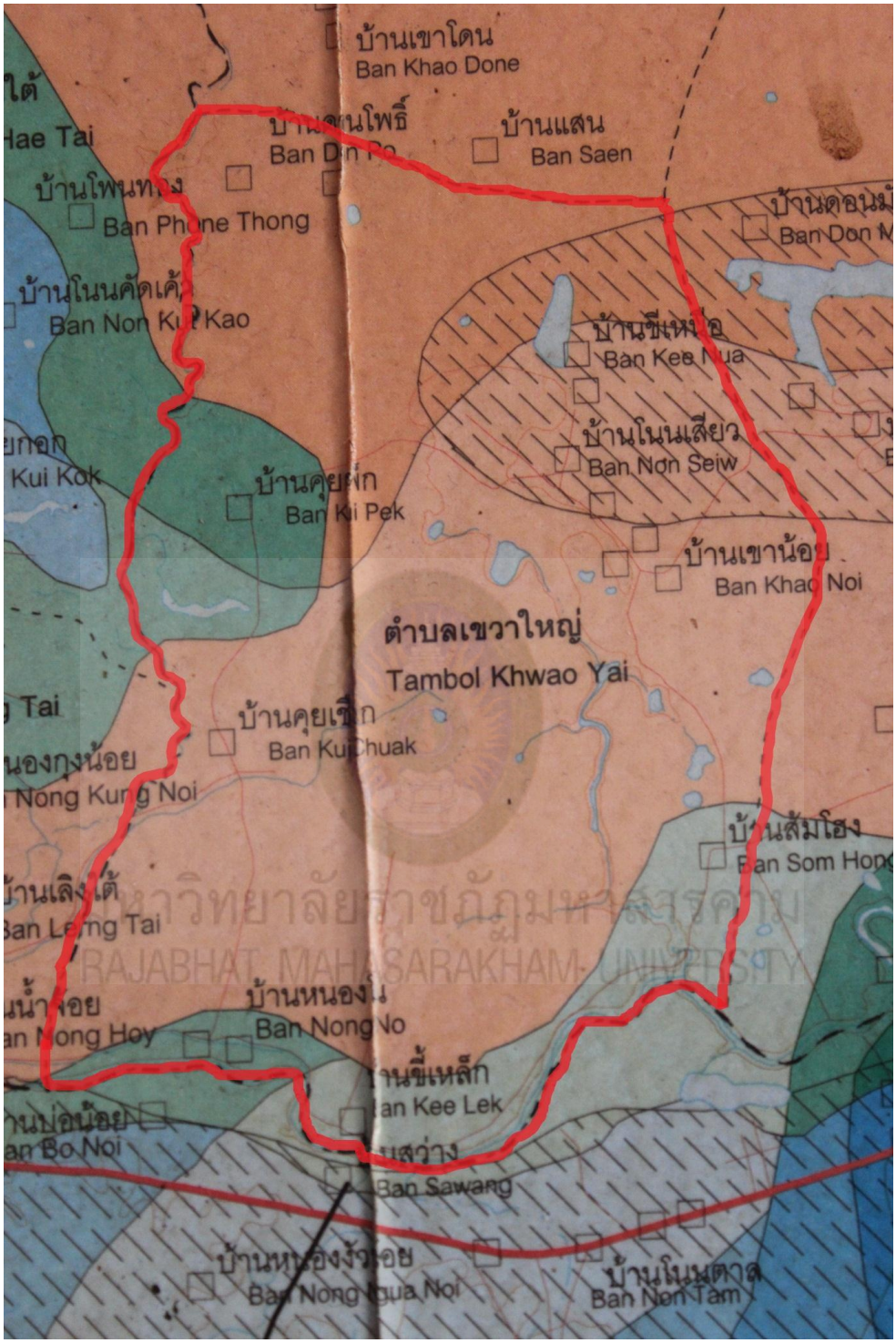
แผนภาพทางธรณีวิทยา

ในบทนี้จะแสดงถึงแผนภาพธรณีและชนิดของชั้นหินต่างๆที่มีน้ำบาดาลสะสมอยู่ในเขตพื้นที่ ตำบลโคกพระ ตำบลเขวาใหญ่ และตำบลขามเรียง แสดง**ได้ดังรูปที่ ง-1 ถึงรูปที่ ง-4**



รูปที่ ง-1 แผนที่ทางธรณีวิทยาของตำบลโคกพระ

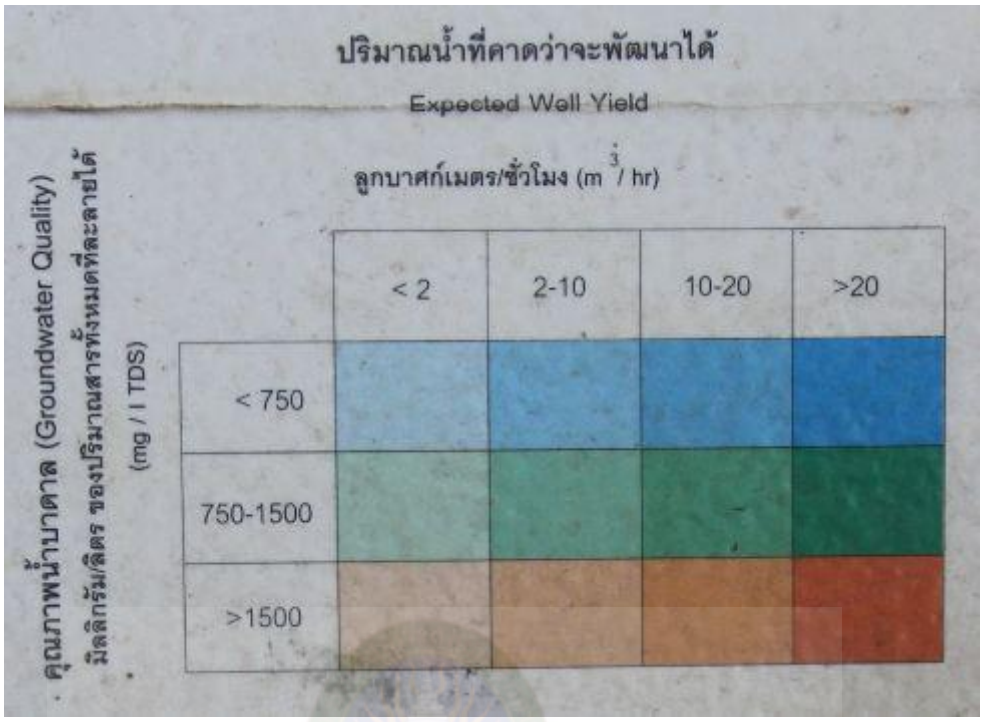
ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)



รูปที่ ง-2 แผนภาพทางธรณีวิทยาของตำบลเขวาใหญ่

ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

รูปที่ ง-3 แผนภาพทางธรณีวิทยาของตำบลขามเรียง
ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)



รูปที่ ง-4 ดัชนีแสดงถึงน้ำบาดาลที่หาได้
ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

ขนิดของหินที่กักเก็บน้ำบาดาล ความลึกโดยเฉลี่ย และระดับน้ำโดยเฉลี่ยสำหรับเจาะบ่อบาดาลของอำเภอกันทรวิชัย ซึ่งแสดง**ดังตารางที่ ง-1**

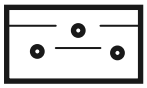
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ง-1 ชินของหิน ความลึก และระดับน้ำปกติสำหรับเจาะบ่อบาดาล

พื้นที่	**ชนิดของหินที่กักเก็บน้ำบาดาล**	**ความลึกโดยเฉลี่ย (m)**	**ระดับน้ำปกติโดยเฉลี่ย(m)**
อำเภอกันทรวิชัย	1. กรวด ทราย	10-20	2-3
	2. หินดินดาน หินโคลน	20-30	2-6

ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

ตารางที่ ง-2 คำอธิบายประกอบแผนภาพทางธรณี

ชนิดหิน	แหล่งที่พบน้ำบาดาล
 ตะกอนน้ำพา : กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว	น้ำบาดาลอยู่ในช่องว่างของชั้นหินร่วนพวกกรวด ทรายที่สะสมในที่ราบลุ่มน้ำหลาก หรือทางน้ำเก่าของแม่น้ำชี และทางน้ำอื่นๆ ความลึกของชั้นน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 10-30 เมตร
 ตะพักลุ่มน้ำ : กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว	น้ำบาดาลอยู่ในช่องว่างของชั้นหินร่วนพวกกรวด ทรายที่สะสมในที่ราบตะพักลุ่มน้ำ ของแม่น้ำชีและทางน้ำอื่นๆ ความลึกของชั้นน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 10-30 เมตร
 หินโคลน หินดินดาน หินทราย และหินทรายแป้งมีเกลือหินอยู่ในช่วงล่าง หมวดหินภูทอกและมหาสารคาม	น้ำบาดาลอยู่ในรอยต่อระหว่างชั้นหิน รอยแยกและรอยแตก ความลึกของชั้นน้ำบาดาลเฉลี่ย 20-40 เมตร แต่บางพื้นที่ อาจลึกถึง 80-100 เมตร
 แนวเส้นตรง	เส้นเหล่านี้ แสดงถึงบริเวณที่บริเวณน้ำบาดาลมีโอกาสให้น้ำในปริมาณสูง

ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2531)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

ภาพประกอบการวิจัย

เป็นรูปที่แสดงถึงขั้นตอนดำเนินการต่างๆ ในการทำวิจัย โดยจะมีการหาข้อมูลต่างๆการเลือกชนิดน้ำบาดาล การเก็บตัวอย่างน้ำ รวมไปถึงการนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสี แสดงได้**ดังรูปที่ จ-1 ถึงรูปที่ จ-10**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ จ –1 รูปการออกพื้นที่สอบถามแหล่งน้ำบาดาลที่วัดบ้านขามเรียง หมู่ที่ 1

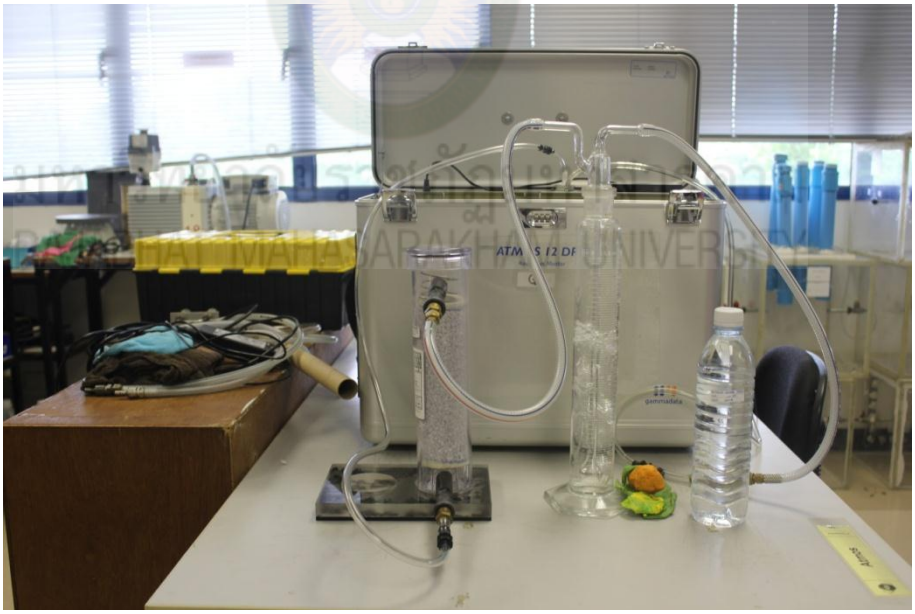
รูปที่ จ–2 รูปบ่อน้ำบาดาลเจาะเองที่ 88 หมู่ 20 บ้านคุยเพ็ก ต.เขวาใหญ่

รูปที่ จ–3 รูปแสดงบ่อน้ำตื้น ที่ 9 หมู่ 15 บ้านคอกม้า ต.โคกพระ

รูปที่ จ–4 รูปแสดงบ่อประปาน้ำบาดาล ที่ หมู่ 9 บ้านเหล่า ต.โคกพระ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

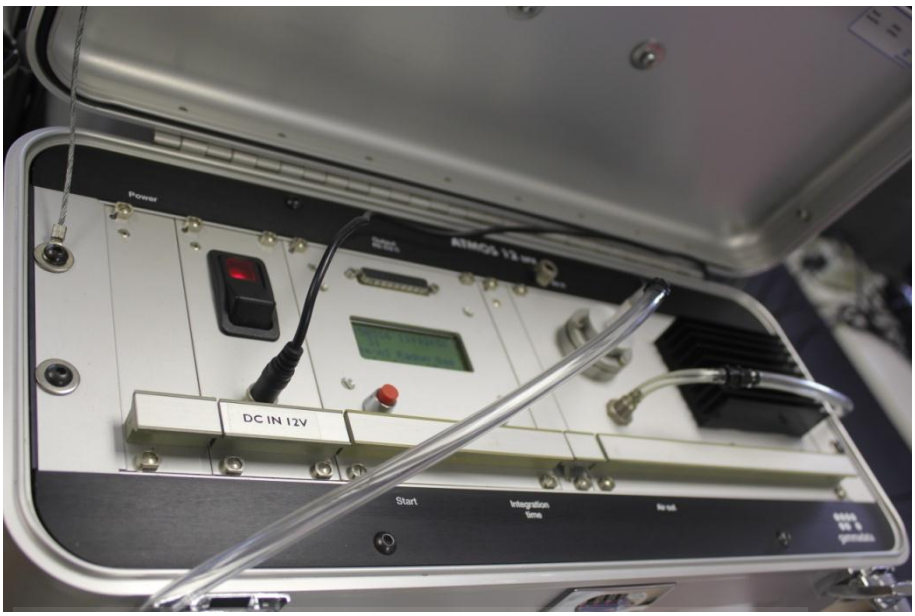
รูปที่ จ–5 รูปแสดงการออกพื้นที่สอบถามแหล่งน้ำบาดาลหมู่ 13 บ้านเหล่า ต.โคกพระ



รูปที่ จ–6 รูปแสดงเครื่อง Atmos 12 DPX ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

รูปที่ จ–7 รูปแสดงการอ่านค่าจากเครื่อง Atmos 12 DPX ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

รูปที่ จ–8 รูปแสดงการบันทึกค่าจากเครื่อง Atmos 12 DPX ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ



รูปที่ จ–9 รูปแสดงหน้าปัดและการต่อสายของเครื่อง Atmos 12 DPX ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ

รูปที่ จ–10 รูปนักวิจัยผู้ดูแลเครื่อง Atmos 12 DPX คุณพชิรารัฐ โสลา

ภาคผนวก ฉ
หนังสือขอความอนุเคราะห์

เนื่องจากการออกสำรวจพื้นที่ การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลทุกครั้งจะต้องมีการแจ้งให้หน่วยงานที่รับผิดชอบในเขตพื้นที่นั้นๆได้รับรู้ก่อนและได้รับอนุญาตจากหน่วยงานนั้นๆก่อนที่จะลงไปสำรวจพื้นที่และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ไปยังหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

สำเนา

ที่ ศธ ๐๕๔๐.๐๖/๕๔๑๙

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม
๔๔๐๐๐

๑๔ ตุลาคม ๒๕๕๗

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์
เรียน นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลขามเรียง

ด้วยนายกฤษณะ สุขเสนา นายปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ นายอดิศักดิ์ แฝงฤทธิ์หลง และนายกำพล ผ่านสะอาด นักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้จัดทำโครงการวิจัย เรื่อง "การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน - ๒๒๒ ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่น แชมเบอร์" และเรื่อง "การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรเดียม - ๒๒๖ ในน้ำบาดาล โดยใช้แมงกานีสไฟเบอร์ และเทคนิคแกมมาสเปคโตรเมตรี" โดยมี อาจารย์ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์ และอาจารย์วิษณุศาสตร์ อาจโยธา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย เพื่อให้การจัดทำโครงการวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์หน่วยงานของท่านดังนี้

๑) ขอเข้าสำรวจน้ำบาดาลในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เป็นจำนวน ๒๐ - ๓๐ ตัวอย่าง
๒) ขอข้อมูลที่ตั้งของน้ำบาดาลในเขตพื้นที่

เพื่อเป็นข้อมูลในการทำโครงการวิจัยและตรวจสอบมาตรฐานความปลอดภัยในน้ำบาดาลที่ประชาชนใช้อุปโภคและบริโภค

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุเคราะห์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีเช่นเคย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญะโพธิ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
หลักสูตรฟิสิกส์
โทรศัพท์ ๐-๔๓๗๒-๒๑๑๘-๙ ต่อ ๑๓๐
โทรสาร ๐-๔๓๗๔-๒๖๒๐
ผู้ประสานงาน นายกฤษณะ สุขเสนา โทร ๐๘ - ๐๗๔๑ - ๓๘๐๙

รับ พมพ์/ทา...
ตรวจ
14 ต.ค. 2557

สำเนา

ที่ ศธ ๐๕๔๐.๐๖/๕๕๑๒

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม
๔๔๐๐๐

๑๗ ตุลาคม ๒๕๕๗

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์
เรียน นายกองค์การบริหารส่วนตำบลเขวาใหญ่

ด้วยนายกฤษณะ สุขเสนา นายปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ นายอดิศักดิ์ แฝงฤทธิ์หลง และนายกำพล ผ่านสะอาด นักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้จัดทำโครงการวิจัย เรื่อง "การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน - ๒๒๒ ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่น แชมเบอร์" และเรื่อง "การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรเดียม - ๒๒๖ ในน้ำบาดาล โดยใช้แมงกานีสไฟเบอร์ และเทคนิคแกมมาสเปคโตรเมตรี" โดยมี อาจารย์ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์ และอาจารย์วิษณุศาสตร์ อาจโยธา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย เพื่อให้การจัดทำโครงการวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์หน่วยงานของท่านดังนี้

๑) ขอเข้าสำรวจน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ตำบลเขวาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เป็นจำนวน ๒๐ - ๓๐ ตัวอย่าง
๒) ขอข้อมูลที่ตั้งของน้ำบาดาลในเขตพื้นที่

เพื่อเป็นข้อมูลในการทำโครงการวิจัยและตรวจสอบมาตรฐานความปลอดภัยในน้ำบาดาลที่ประชาชนใช้อุปโภคและบริโภค

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุเคราะห์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีเช่นเคย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญะโพธิ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
หลักสูตรฟิสิกส์
โทรศัพท์ ๐-๔๓๗๒-๒๑๑๘-๙ ต่อ ๑๓๐
โทรสาร ๐-๔๓๗๔-๒๖๒๐
ผู้ประสานงาน นายกฤษณะ สุขเสนา โทร ๐๘ - ๐๗๔๑ - ๓๘๐๙

รับ พิมพ์/ทาน
ตรวจ
17 ต.ค. 2557

สำเนา

ที่ ศธ ๐๕๔๐.๐๖/๕๔๑๖

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม
๔๔๐๐๐

๑๔ ตุลาคม ๒๕๕๗

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์
เรียน นายกเทศมนตรีเทศบาลตำบลโคกพระ

ด้วยนายกฤษณะ สุขเสนา นายปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ นายอดิศักดิ์ แฝงฤทธิ์หลง และนายกำพล ผ่านสะอาด นักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้จัดทำโครงการวิจัย เรื่อง “การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน - ๒๒๒ ในน้ำบาดาล ด้วยเทคนิคไอโอไนเซชั่น แชมเบอร์” และเรื่อง “การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซเรเดียม - ๒๒๖ ในน้ำบาดาล โดยใช้แมงกานีสไฟเบอร์ และเทคนิคแกมมาสเปคโตรเมตรี” โดยมี อาจารย์ปฐม์พงศ์ พันธ์พิบูลย์ และอาจารย์วิษณุศาสตร์ อาจโยธา เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย เพื่อให้การจัดทำโครงการวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์หน่วยงานของท่านดังนี้

๑) ขอเข้าสำรวจน้ำบาดาลในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลโคกพระ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เป็นจำนวน ๒๐ - ๓๐ ตัวอย่าง
๒) ขอข้อมูลที่ตั้งของน้ำบาดาลในเขตพื้นที่

เพื่อเป็นข้อมูลในการทำโครงการวิจัยและตรวจสอบมาตรฐานความปลอดภัยในน้ำบาดาลที่ประชาชนใช้อุปโภคและบริโภค

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุเคราะห์ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีเช่นเคย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญะโพธิ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
หลักสูตรฟิสิกส์
โทรศัพท์ ๐-๔๓๗๒-๒๑๑๘-๙ ต่อ ๑๓๐
โทรสาร ๐-๔๓๗๔-๒๖๒๐
ผู้ประสานงาน นายกฤษณะ สุขเสนา โทร ๐๘ - ๐๗๔๑ - ๓๘๐๙

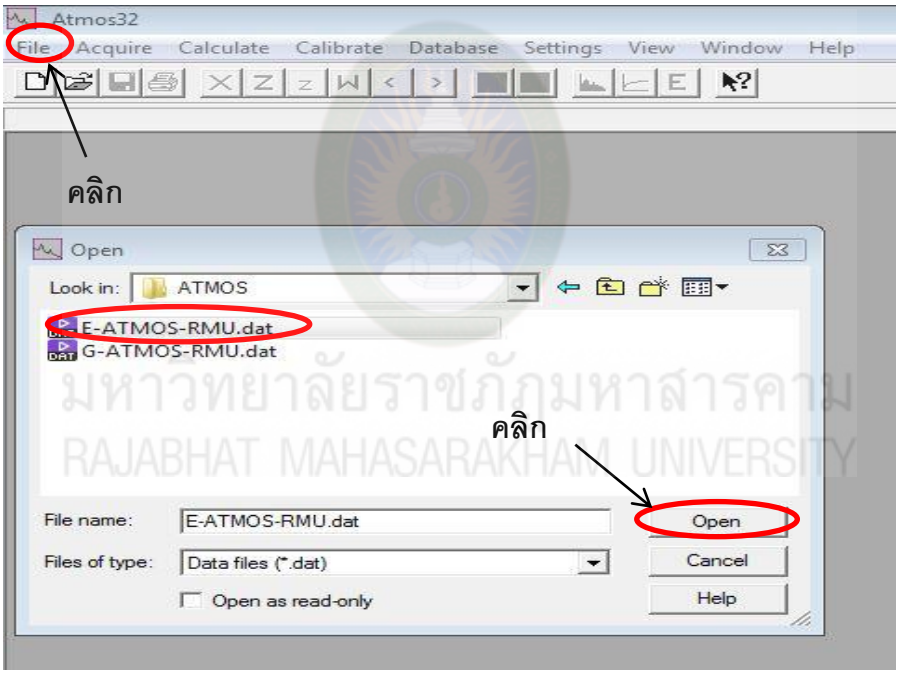
.....ราง./พมพ์/ทาน
.....ตรวจ
14 ต.ค. 2557

ภาคผนวก ช

การอ่านค่าความเข้มข้นจากโปรแกรม Atmos 32

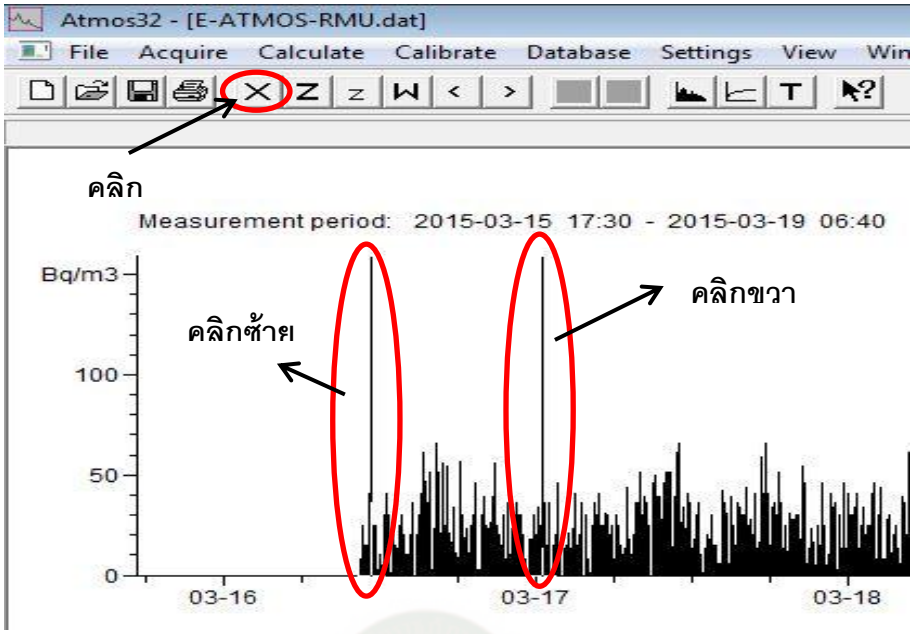
การหาค่าความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลโดยการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization chamber โดยโปรแกรม Atmos 32 ทำได้ดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Atmos 32
2. คลิกแท็บ File แล้วเลือก Open
3. เลือกไฟล์ที่ต้องการเปิด แล้วคลิก Open **ดังรูปที่ ช-1**



รูปที่ ช-1 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32

4. เลือกช่วงเวลาที่ต้องการขยาย โดยคลิกซ้ายและคลิกขวา **ดังรูปที่ ช-2**
5. แล้วคลิกริบบอน Expand หรือเครื่องหมาย X **ดังรูปที่ ช-2**

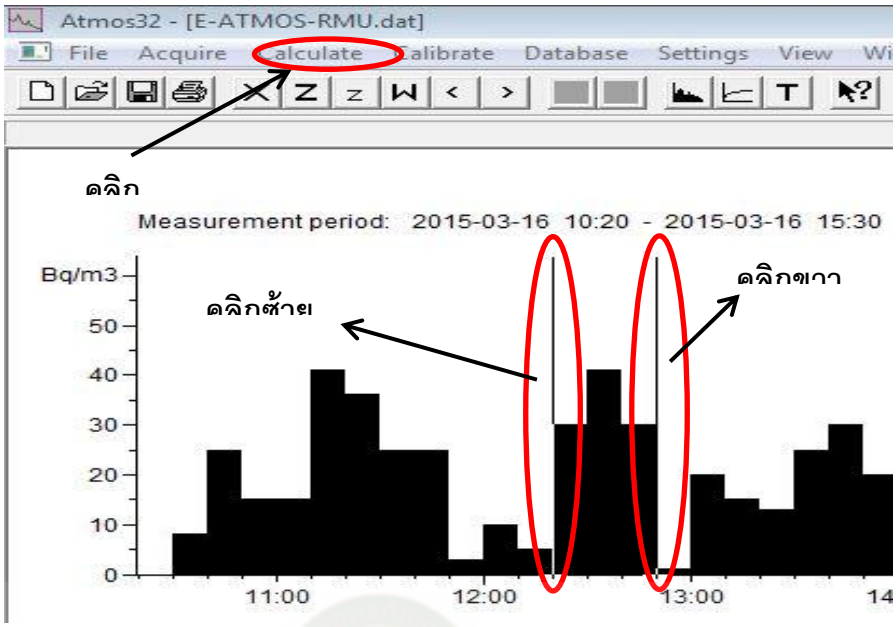


รูปที่ ช-2 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32

6. เลือกช่วงตามที่ได้ทำการวัดความเข้มข้นของเรดอนไว้โดยคลิกซ้ายและคลิกขวา **ดังรูปที่ ช-3**

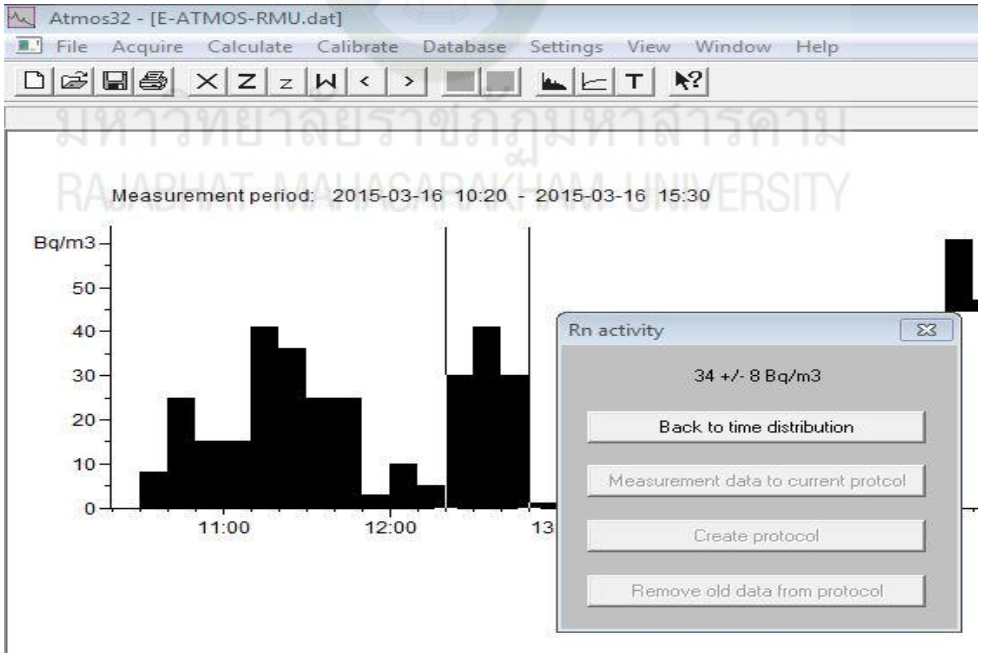
7. คลิกแท็บ Calaulate **ดังรูปที่ ช-3** แล้วเลือก Rn activity

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ ช-3 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32

8. จะได้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรดอน ในหน่วย Bq/m^3 **ดังรูปที่ ช-4**



รูปที่ ช-4 แสดงขั้นตอนการอ่านค่าจากเทคนิค Ionization Chamber โดยโปรแกรม Atmos 32

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายปราชญพงศ์ ธรรมประเสริฐ

วันเดือนปี เกิด 27 มิถุนายน 2533

ภูมิลำเนา 13 หมู่ 4 บ้านแมต ตำบล สะอาดสมบูรณ์
อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด

การศึกษา พ.ศ. 2547 มัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2557 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏ
มหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

ชื่อ นายกฤษณะ สุขเสนา

วันเดือนปี เกิด 23 ธันวาคม 2535

ภูมิลำเนา 06 หมู่ 4 บ้านสีถาน ตำบล ดงลิง
อำเภอกมลาไสย จังหวัด กาฬสินธุ์

การศึกษา พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์
พ.ศ. 2553 จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์
พ.ศ. 2557 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏ
มหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY