การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

Indoor – Outdoor Radon Concentration Measurement in Songkhla Province Area

อภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์

Apinun Titiponpun

เลขหมู่ QD181.R6 อ46 2543 ฉ.2
Order Key 28868
Bib Key 177761
12 ก.ค. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Physics

Prince of Songkla University

2543

ชื่อวิทยานิพนธ์	การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา
ผู้เขียน	นายอภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์

คณะกรรมการที่ปรึกษา

..............................ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ)

..............................กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบ

..............................ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ)

..............................กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ)

..............................กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร จองคำ)

..............................กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชวง ภควัตชัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ บำรุงรักษ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

ผู้เขียน นายอภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2542

สำนักหอสมุด คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้รับจาก
8 ก.ค. 2543
ที่ 4 เลข..... พ.ศ.

บทคัดย่อ

เรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และจัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในอากาศของหลุมดิน ในดิน และในทราย โดยอาศัยชุดตรวจวัดรอยรังสีแอลฟา ชนิดแผ่นพลาสติก CR – 39 ทำการตรวจวัดเป็นเวลา 40 วัน จากนั้นนำมากัดขยายรอยแผงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 100 นาที ค่าความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ต่อพื้นที่ 40 ตารางมิลลิเมตร จะถูกตรวจนับด้วยกล้องจุลทรรศน์ ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน จะหาได้จากเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน 1,375 หลัง ในพื้นที่ 16 อำเภอของจังหวัดสงขลา มีค่าอยู่ในช่วง 19 – 935 Bq/m^3 มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต 268 Bq/m^3 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 141 Bq/m^3 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในบ้านเรือนของก๊าซเรดอนที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุด มีค่า 189 และ 327 Bq/m^3 ที่อำเภอคลองหอยโข่ง และอำเภอนาหม่อม ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้ในครั้งนี้มีค่าสูงกว่าระดับขีดจำกัดที่ 148 Bq/m^3 ของ USEPA ในจำนวน 16 อำเภอของจังหวัดสงขลานั้นมีเพียงอำเภอนาหม่อมเท่านั้น ที่ทุกพื้นที่มีระดับความเข้มข้นภายในบ้านเรือนมีค่าสูงกว่า 300 Bq/m^3 จึงใช้เป็นพื้นที่พิเศษที่จะทำการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนในมิติอื่นด้วย พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อมที่ตรวจวัดได้ มีค่าอยู่ในช่วง 9 – 416 Bq/m^3 และมีค่าเฉลี่ยเลขคณิต 174 Bq/m^3, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 102 Bq/m^3 จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ในอำเภอนาหม่อม พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1,364 – 312,546 Bq/m^3 และมีค่าเฉลี่ย 36,107 $\pm$ 41,568 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในกลุ่มตัวอย่างดินของอำเภอนาหม่อมที่ตรวจวัดได้ มีค่าอยู่ในช่วง 1 – 67.9 Bq/kg โดยมีค่าเฉลี่ย 8 $\pm$ 8.4 Bq/kg และการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.2 – 9.4 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.6 และ 1.3 Bq/kg ตามลำดับ

Thesis Title Indoor - Outdoor Radon Concentration Measurement in Songkhla Province Area

Author Mr. Apinun Titiponpun

Major Program Physics

Academic Year 1999

Abstract

Radon is a naturally occurring radioactive gas. Exposure to radon it may cause a lung cancer. The radon activity concentrations were measured using plastic CR – 39 detector and were exposed to radon during 40 days. The detector were etched in 6.25 N NaOH solution at 85° c for 100 minutes. The measurements of alpha tracks were counted using optical microscope. The track density in the plastic detector are carrelated to the radon concentration level in air with standard calibration curve.

Results show that indoor radon concentration for 1,375 dwellings in Songkhla Province ranged from 19 to 935 Bq/m^3 with an arithmetic mean of 268 Bq/m^3, standard deviation of 141 Bq/m^3. The minimum arithmetical mean radon concentration is 189 Bq/m^3 found at Amphoe Khlong Hoi Khong, and the maximum arithmetic radon concentration is 327 Bq/m^3 found at Amphoe Na Mom. The arithmetic mean indoor radon levels exceed EPA's 148 Bq/m^3 action level. Out of sixteen Amphoe in Songkhla province area, Amphoe Na Mom was selected as a special area to measure other parameter of radon concentration. Outdoor concentration of Amphoe Na Mom rang from 9 to 416 Bq/m^3 with an arithmetic mean of 174 Bq/m^3, standard deviation of 102 Bq/m^3. The soil gas levels resulted rang from 1,364 to 312,546 Bq/m^3 with an average concentration (AM $\pm$ SD) of 36,107 $\pm$ 41,568 Bq/m^3. Radon concentration in soil of Amphoe Na Mom rang from 1 to 67.9 Bq/kg with an average concentration (AM $\pm$ SD) of 8 $\pm$ 8.4 Bq/kg. Radon concentration in sand of Songkhla Province area rang from 0.2 to 9.4 Bq/kg with an arithmetic mean and standard deviation of 2.6 and 1.3 Bq/kg, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่านคือ รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ที่ได้ให้คำปรึกษา ช่วยแนะนำ และให้แนวคิดแก่ข้าพเจ้าเสมอมา จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ รวมทั้งสภาวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล อาจารย์คมฤทธิ์ วัฒนวาที และคุณนิดชฎา ชนม์ปรีชา เป็นพิเศษ สำหรับความช่วยเหลือในงานภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนคุณประสาน เจียนบุตร คุณวิทูร สุจริตธุรการ คุณอัฏฐชัย ถาวรสุวรรณ คุณไตรตะวัน คงแก้ว คุณเดชา ปัตรวรรณ คุณวิศิษฎ์ แก้วอ่อน ที่ช่วยงานภาคสนาม คุณเปรมิกา หนูวัน ที่ช่วยเหลือติดต่อทางประสานงานกับฝ่ายต่างๆ ฝ่ายข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติฯ มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์ และโรงเรียนมัธยมศึกษาในจังหวัดสงขลา รวมทั้งพี่ๆ น้องๆ ภาควิชาฟิสิกส์ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์นุกูล มณีรัตน์และคณะครู–อาจารย์โรงเรียนลำทับประชานุเคราะห์ ที่ส่งเสริมและให้โอกาสที่ดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่ๆ ที่เป็นแรงใจและเชื่อมั่นในตัวข้าพเจ้าตลอดมา

อภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	2
การตรวจเอกสาร	4
วัตถุประสงค์	27
2. วิธีการวิจัย	28
วัสดุ	28
อุปกรณ์	29
วิธีการดำเนินการ	30
3. ผลและการอภิปรายผล	52
4. บทวิจารณ์	111
5. สรุปและเสนอแนะ	117
บรรณานุกรม	120
ภาคผนวก	127
ประวัติผู้เขียน	182

รายการตาราง

ตาราง หน้า

1.1 มาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหน่วยงานต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา 9

1.2 สถิติโรคมะเร็งปอดของประชากรจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2535 – 2539 11

1.3 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน 13

1.4 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในบางประเทศที่มีการตรวจวัด 19

1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูเรเนียมที่ผิวดิน กับความเสี่ยงอันเนื่องจากศักย์เรดอน 23

2.1 ผลการเตรียมสารเรดอนมาตรฐาน สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน 39

2.2 ผลการเตรียมสารเรดอนมาตรฐาน สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน 41

2.3 ผลการเตรียมสารเรดอนมาตรฐาน สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและทรายก่อสร้าง 43

3.1 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอนาหม่อม 53

3.2 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอนาทวี 54

3.3 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอสิงหนคร 54

3.4 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอหาดใหญ่ 55

3.5 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอกระแสสินธุ์ 55

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.6 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอจะนะ	56
3.7 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอเมืองสงขลา	57
3.8 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอเทพา	57
3.9 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอบางกล่ำ	58
3.10 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอระโนด	58
3.11 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอสะบ้าย้อย	59
3.12 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอสะเดา	59
3.13 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอรัตภูมิ	60
3.14 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอควนเนียง	60
3.15 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอคลองหอยโข่ง	61
3.16 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ของอำเภอสทิงพระ	61
3.17 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ของแต่ละอำเภอ ในจังหวัดสงขลา	85
3.18 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละตำบล ในพื้นที่จังหวัดสงขลา	93

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.19	ค่าสถิติของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน เทียบกับระดับ 148 Bq/m^3 และ 296 Bq/m^3	96
3.20	ค่าสถิติของการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในบ้านเรือน ในจังหวัดสงขลา	97
3.21	ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม	99
3.22	ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่ม ตัวอย่างทรายก่อสร้าง ของจังหวัดสงขลา	105
3.23	ตัวอย่างผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของพื้นที่ต่างๆ ในต่างประเทศ	109
3.24	การวิเคราะห์โอกาสเป็นมะเร็งปอดของประชาชนอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน ในจังหวัดสงขลา เมื่อใช้เกณฑ์การไม่สูบบุหรี่ของ USEPA (1992)	110
ก - 1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของละลายเรเดียมมาตรฐานและ อัตราการสลายตัวเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในช่วงเวลา 40 วัน ที่ทำการตรวจวัด	131
ก - 2	ผลการเตรียมสารมาตรฐานเรดอนสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอน ภายในและภายนอกบ้านเรือน	132
ก - 3	ผลการเตรียมสารมาตรฐานเรดอนสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอน ในอากาศของหลุมดิน	133
ก - 4	ผลการเตรียมสารมาตรฐานเรดอนสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและทรายก่อสร้าง	134
ข - 1	ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม	135
ข - 2	ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม	137
ข - 3	ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม	142
ข - 4	ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา	147

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ค - 1 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเรดอน ภายในบ้านเรือน ของแต่ละอำเภอ 153
ค - 2 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเรดอน ภายในบ้านเรือน ในระดับจังหวัด 161
ค - 3 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเรดอนภายนอกเรือน ภายนอกเรือน ของอำเภอนาหม่อม 162
ค - 4 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเรดอนในอากาศ ของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม 162
ค - 5 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเรดอนที่แพร่ มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม 163
ค - 6 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเรดอนที่แพร่มาจาก กลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา 163
ง - 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอกระแสสินธุ์ 165
ง - 2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอควนเนียง 166
ง - 3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอจะนะ 166
ง - 4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอคลองหอยโข่ง 167
ง - 5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอเทพา 167
ง - 6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอนาทวี 168
ง - 7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอนาหม่อม 168
ง - 8 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอบางกล่ำ 169
ง - 9 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอเมือง 169
ง - 10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอระโนด 170
ง - 11 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอรัตภูมิ 170
ง - 12 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสทิงพระ 171

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ง - 13	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสะเดา	171
ง - 14	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสะบ้าย้อย	172
ง - 15	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสิงหนคร	172
ง - 16	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอหาดใหญ่	173
ง - 17	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจังหวัดสงขลา	174
ง - 18	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน	175
ง - 19	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม	176
ง - 20	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม	177
ง - 21	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ของจังหวัดสงขลา	178

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	เส้นทางของก๊าซเรดอนเข้าสู่ปอด	12
1.2	แผนที่คอนทัวร์แสดงความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	23
2.1	ลักษณะชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศ	31
2.2	ลักษณะการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอน	33
2.3	ลักษณะชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน	35
2.4	ลักษณะการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน	35
2.5	กราฟปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน	40
2.6	กราฟปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน	42
2.7	กราฟปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน และกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง	44
2.8	การกัดขยายรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	48
2.9	กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนพลาสติก CR – 39	48
2.10	ลักษณะรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39	49
3.1	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอนาหม่อม	62
3.2	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอนาทวี	63
3.3	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอสิงหนคร	64

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.4 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอหาดใหญ่	65
3.5 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอกระแสสินธุ์	66
3.6 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอจะนะ	67
3.7 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอเมือง	68
3.8 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอเทพา	69
3.9 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอบางกล่ำ	70
3.10 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอระโนด	71
3.11 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอสะบ้าย้อย	72
3.12 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอสะเดา	73
3.13 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอรัตภูมิ	74
3.14 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอควนเนียง	75
3.15 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอคลองหอยโข่ง	76

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.16	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอสทิงพระ	77
3.17	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของจังหวัดสงขลา	78
3.18	การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ของแต่ละอำเภอ ในพื้นที่จังหวัดสงขลา	87
3.19	การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา	93
3.20	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่ จังหวัดสงขลา	94
3.21	การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม	99
3.22	คอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม	100
3.23	การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม	101
3.24	คอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม	102
3.25	การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่ม ตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม	104
3.26	คอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่ม ตัวอย่างดิน ซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม	106
3.27	การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่ม ตัวอย่างทรายก่อสร้าง ของจังหวัดสงขลา	107

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
จ - 1 พื้นที่ของแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ใช้ในการนับรอยรังสีแอลฟา สำหรับข้อ จ.1	179
จ - 2 พื้นที่ของแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ใช้ในการนับรอยรังสีแอลฟา สำหรับข้อ จ.2	180
ฉ – 1 โครงสร้างธรณีวิทยาของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา	181

บทที่ 1

บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์นั้นได้รับรังสี ทั้งจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ และจากแหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น รังสีคอสมิกจากนอกโลก รังสีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฯลฯ แต่จากการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า ประชาชนได้รับรังสีที่มาจากก๊าซเรดอนมากที่สุด ประมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ (Air Chek, 1999) ของปริมาณรังสีทั้งหมดที่ประชาชนได้รับ ซึ่งก๊าซเรดอนนี้มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ ก๊าซเรดอนถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Friedrich Emst Dom ในปี 1900 ช่วงกลางคริสศตวรรษที่ 19 มีการศึกษาเรื่องของก๊าซเรดอนกันอย่างกว้างขวางเฉพาะในประเทศสหรัฐอเมริกา และในกลุ่มประเทศยุโรป แต่ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับก๊าซเรดอนทั่วโลก นอกจากนี้ยังมีการตื่นตัวต่อความเสี่ยงอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน กลุ่มบุคคลที่ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ ได้แก่ นักวิทยาศาสตร์ แพทย์ และนักระบาดวิทยา เนื่องจากก๊าซเรดอนเป็นสารกัมมันตรังสี แนวทางการศึกษาจึงใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์เป็นหลัก

เนื่องด้วยประเทศไทยยังมีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้อยู่น้อยมาก และในภาคใต้ของประเทศไทยเอง ยังไม่ได้มีการศึกษาค้นคว้าและตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนในพื้นที่ของจังหวัดต่างๆ อย่างจริงจังมาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าและทำการตรวจวัด หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนในพื้นที่จังหวัดสงขลา ซึ่งวิธีการและผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในพื้นที่ของจังหวัดอื่นๆ และเป็นประโยชน์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาใช้ประเมินความเสี่ยงในเบื้องต้น ตลอดจนใช้ในการวางแผนหรือหามาตรการ สำหรับใช้แก้ปัญหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนต่อไป

1.1 บทนำต้นเรื่อง

เรดอน (^{222}Rn) เป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ที่อุณหภูมิปกติ (Otton, *et al.*, 1993) สลายตัวด้วยครึ่งชีวิต 3.824 วัน (General Electric, 1977) เป็นผลิตผลมาจากการสลายตัวของธาตุเรเดียม (^{226}Ra) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม (^{238}U) ที่เป็นสารตั้งต้น การที่บ้านเรือนของประชาชนตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีปริมาณของธาตุเรเดียมและธาตุยูเรเนียมปะปนอยู่ในดิน หิน ทราย และน้ำบาดาลสูง ย่อมมีผลโดยตรงต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ของประชาชนเหล่านั้น เนื่องจากก๊าซเรดอนที่มาจากดิน หิน ทราย และน้ำบาดาลที่อยู่แวดล้อมบ้านเรือนเหล่านี้สามารถเข้าไปสะสมอยู่ภายในบ้านเรือน ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะบุคคลที่ใช้เวลาส่วนใหญ่อาศัยในบ้านเรือนเหล่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดมะเร็งปอด (US National Academy of Sciences, NAS-BEIR VI, 1998) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการที่ประชาชนอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง เป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด แม้ว่าจะยังมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนเช่นเดียวกับมลพิษสิ่งแวดล้อมตัวอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามนักวิทยา-ศาสตร์เชื่อมั่นว่าความเสี่ยงอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนนั้น สูงกว่ามลพิษทางสิ่งแวดล้อมตัวอื่นๆ ที่จัดเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งปอด จากข้อมูลดิจิตอลแสดงค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมที่ผิวดินในพื้นที่จังหวัดสงขลา ที่ได้จากการบินสำรวจค่ากัมมันตภาพรังสีของ U, Th, K (กรมทรัพยากรธรณี, 2532) พบว่าหลายพื้นที่มีระดับความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดิน สูงกว่า 4 ppm eU ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4 - 8 ppm eU จากการศึกษาปริมาณยูเรเนียมที่ปะปนอยู่ในหินชนิดต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดสงขลา พัทลุง และปัตตานี พบว่ามีค่าความเข้มข้นยูเรเนียมเฉลี่ยดังนี้ หินแกรนิตเท่ากับ 18.43 ± 4.81 ppm eU หินดินดานเท่ากับ 17.97 ± 3.53 ppm eU หินปูนเท่ากับ 3.12 ± 2.83 ppm eU และหินทรายเท่ากับ 1.28 ± 3.83 ppm eU (สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล, 2537) ดังนั้นประเมินได้ว่าจังหวัดสงขลาเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อก๊าซเรดอน แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน เช่นวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างบ้านเรือน ตลอดจนการระบายอากาศและระบบการระบายอากาศภายในบ้านเรือน เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าก๊าซเรดอนจัดเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ โดยที่ประสาทสัมผัสทั้งห้าของร่างกายมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ การที่จะทราบถึงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แท้จริง จำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน โดยอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ช่วยในการตรวจวัด ดังนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้จึงให้ความสนใจกับพื้นที่ของจังหวัดสงขลา เป็นกรณีพิเศษ

ข้อมูลทั่วไปของจังหวัดสงขลา

จังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดที่อยู่ทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย อยู่ฝั่งตะวันออกติดทะเลทางด้านอ่าวไทย มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 7,500 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตทางด้านเหนือจรดจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดพัทลุง ทางด้านใต้จรดจังหวัดยะลา, ปัตตานี และประเทศมาเลเซีย ทางด้านตะวันตกจรดจังหวัดพัทลุงและจังหวัดสตูล

จังหวัดสงขลาแบ่งพื้นที่ออกเป็น 16 อำเภอ ทั้งจังหวัดมีประชากรอยู่ประมาณ 1.2 ล้านคน ประชาชนที่อาศัยอยู่ในเขตเทศบาลมีประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนทั้งหมด โดยจะอาศัยอยู่กันหนาแน่นเป็นพิเศษในเขตตัวเมืองของอำเภอเมืองสงขลา อำเภอหาดใหญ่ และอำเภอสะเดา (National Statistic Office, 1992)

ก. ภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสงขลานั้น สามารถแบ่งออกเป็นเขตทางด้านภูมิประเทศได้เป็น 4 เขตใหญ่ๆ ดังนี้

1) เขตสันทรายและที่ราบลุ่ม ได้แก่ อำเภอกระแสสินธุ์ อำเภอสทิงพระ อำเภอระโนด อำเภอสิงหนคร อำเภอเมืองสงขลา อำเภอนาหม่อม อำเภอจะนะ อำเภอเทพา

2) เขตควนและที่ราบลุ่ม ได้แก่ บางส่วนของอำเภอหาดใหญ่ อำเภอควนเนียง อำเภอรัตภูมิ

3) เขตที่ราบลุ่มริมทะเลสาบ ได้แก่ บางส่วนของอำเภอหาดใหญ่ อำเภอควนเนียง อำเภอบางกล่ำ อำเภอเมืองสงขลา

4) เขตภูเขาและที่ราบเชิงเขา ได้แก่ อำเภอนาทวี อำเภอสะบ้าย้อย อำเภอสะเดา และบางส่วนของอำเภอหาดใหญ่

ข. ภูมิอากาศ

จังหวัดสงขลา เป็นจังหวัดที่อยู่ชายฝั่งด้านตะวันออกของแหลมไทยตอนใต้ จึงมีภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น มีฤดูกาลอยู่เพียง 2 ฤดูเท่านั้น นั้นคือฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน นอกจากนี้มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากทะเลอันดามันผ่านไปยังอ่าวไทย ซึ่งจะทำให้มีภูมิอากาศแห้งแล้ง และอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยเฉลี่ยประมาณ 26.6 องศาเซลเซียส จังหวัดสงขลาจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดในเดือนเมษายน และมีลมอ่อนเฉลี่ย 5.5 น็อต ทะเลเรียบถึงมีคลื่นเล็กน้อย ส่วนฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม มีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันออก ซึ่งมีความกดอากาศสูงพัดเข้ามา โดยนำไอน้ำเข้ามาเป็นปริมาณมากและตลอดเวลา ทำให้ฝนตกชุกในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม และค่อยๆ น้อยลงในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคมตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 123.7 มิลลิเมตรต่อเดือน ในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 23 องศาเซลเซียส (Chaimanee และ Tiyapirach, 1983)

1.2 **การตรวจเอกสาร**

1.2.1 **ลักษณะทั่วไปของเรดอน** (^{222}Rn)

เรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสี สลายตัวให้อนุภาคแอลฟากับธาตุผลิตผลที่มีครึ่งชีวิตสั้นได้แก่ โปโลเนียม-218 (^{218}Po) ครึ่งชีวิต 3 นาที ตะกั่ว-214 (^{214}Pb) ครึ่งชีวิต 26.8 นาที บิสมัท-214 (^{214}Bi) ครึ่งชีวิต 19.8 นาที (General Electric, 1977) เป็นต้น สุดท้ายของการสลายตัวจะได้ธาตุที่เสถียร คือ ตะกั่ว-206 (^{206}Pb) ทั้งนี้เรดอนมีรัศมีอะตอมเท่ากับ 1.34 อังสตรอม (Å) ซึ่งจัดเป็นก๊าซหนัก มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศประมาณ 9 เท่า แต่เนื่องจากว่าเรดอนนั้นเป็นก๊าซอะตอมเดี่ยว จึงง่ายที่จะลอดหรือผ่านเข้าไปในวัสดุทั่วๆ ไป เช่น กระดาษ เครื่องหนัง พลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ และวัสดุก่อสร้าง เช่น แผ่นกระดานยิปซัม คอนกรีตบล็อก ปูนขาว เป็นต้น นอกจากนี้ก๊าซเรดอนสามารถละลายในน้ำและในพวกสารละลายได้ดี มีจุดหลอมเหลวที่ 202 เคลวิน (K) และมีจุดเดือดที่ 211 เคลวิน เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก๊าซเรดอนจะส่องแสงวาวอย่างฟอสฟอรัส เป็นสีเหลืองเมื่ออุณหภูมิต่ำๆ และมีสีออกส้ม–แดง ณ อุณหภูมิของอากาศเหลว

1.3.2 แหล่งกำเนิดก๊าซเรดอน

ก๊าซเรดอนมาจาก ดิน หิน แร่ หรือน้ำบาดาล ที่มีเรเดียมหรือยูเรเนียมปะปนอยู่ ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติแวดล้อมรอบตัวเรา พบได้ทั่วพื้นผิวโลกในปริมาณที่แตกต่างกัน (Faure, 1986) ชนิดของหินที่มีปริมาณยูเรเนียมปะปนโดยเฉลี่ยอยู่สูงได้แก่ หินแกรนิต หินดินดาน หินปูน หินทราย (Otton, *et al.*, 1993)

Dumont และ Figley (1988) ได้รายงานเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนว่า

1) ดินที่อยู่รอบๆ ใต้ฐานบ้านเรือน มีความสำคัญมากต่อการเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอน ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วก๊าซเรดอนที่มาจากอากาศในดิน (Soil gas) เป็นสาเหตุหลักของปัญหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน

2) การใช้น้ำสามารถมีผลต่อระดับของก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน โดยเฉพาะเมื่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำมีมากกว่า 370,000 Bq/m^3 (10,000 pCi/L) ทั้งนี้พบว่าอาจจะเกิดปัญหาขึ้นภายในบ้านเรือนที่มีบ่อน้ำ ที่น้ำในบ่อนั้นมีก๊าซเรดอนปะปนอยู่สูง ซึ่งก๊าซเรดอนเหล่านั้นอาจจะหลุดรอดออกมาสู่อากาศภายในบ้านเรือน เมื่อน้ำเดือดหรือมีการนำน้ำมาใช้อาบน้ำ ตลอดจนการทำให้น้ำเกิดการกระเพื่อม แต่โดยทั่วไปความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 37,000 Bq/m^3 (1,000 pCi/L)

3) วัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน อาจเป็นตัวก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนได้ เช่น คอนกรีต อิฐ ทรายและกระเบื้อง โดยทั่วไปเป็นวัตถุที่มีเรเดียมปะปนอยู่ ซึ่งก็จะเหมือนกับที่ปะปนอยู่ในชนิดของหินหลักๆ ที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง

ธงชัย (2531) รายงานว่าโดยทั่วไปแล้วยูเรเนียมจะปะปนในหินแกรนิต ซึ่งเป็นประเภทหนึ่งของหินอัคนีซึ่งเกิดจากการตกผลึกของหินหนืด ทั้งนี้พบว่าหินตะกอนส่วนใหญ่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่และการกร่อนของหินที่มีอยู่เดิม เนื่องจากทั้งหินปูน หินดินดาน และหินทรายเป็นประเภทหนึ่งของหินตะกอน เมื่อหินอัคนีแตกสลายหรือผุกร่อนก็จะเกิดเป็นหินตะกอน ดังนั้นยูเรเนียมซึ่งมีครึ่งชีวิตที่ยาวมาก (4.4×10^9 ปี) จะปะปนอยู่ในหินแกรนิต หินดินดาน หินปูน หินทรายเหล่านั้นด้วย จากการหาปริมาณยูเรเนียมที่ปะปนอยู่ในทรายก่อสร้างในเขตเทศบาลเมืองหาดใหญ่ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.83 – 9.17 ppm eU (พรรณี, 2537)

Otton และคณะ (1993) กล่าวว่าโดยทั่วไปในหินจะมียูเรเนียมปะปนอยู่ ส่วนใหญ่จะปะปนอยู่ในปริมาณน้อยๆ ระหว่าง 1 ถึง 3 ppm eU ดินส่วนใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีเรเดียมปะปนอยู่ระหว่าง 12.21 ถึง 37 Bq/kg (0.33 ถึง 1 pCi/g) ของดิน และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศในดินมีพิสัยระหว่าง 7,400 ถึง 74,000 Bq/m^3 (200 ถึง 2,000 pCi/L) จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่สร้างด้วยหินที่มียูเรเนียมปะปนอยู่สูง (ในระดับ 10^{-5} g g^{-1}) ในเมือง Kosovo และ Metohia ประเทศยูโกสลาเวีย พบว่ามีค่า 800 Bq/m^3 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 200 – 800 Bq/m^3 (Jakupi, *et al.*, 1997)

1.2.3 ปัจจัยที่มีผลทำให้ก๊าซเรดอนเข้าสู่บ้านเรือน

มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของก๊าซเรดอนเข้าสู่บ้านเรือน ซึ่งมีผลทำให้บ้านเรือนแต่ละหลังมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนแตกต่างกันออกไป ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว Canada Mortgage and Housing Corporation and Health Canada, CMHC (1997) แม้กระทั่งบ้านเรือนที่อยู่ติดกันอาจมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมากน้อยแตกต่างกัน (US Environmental Protection Agency, USEPA, 1993b) ไม่มีใครทราบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในบ้านตนจะมีค่าเป็นเท่าใด จนกว่าจะมีการตรวจวัดเท่านั้น ปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้จะบอกว่าได้ว่า เพราะเหตุใดบ้านเรือนแต่ละหลังจึงมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่างกัน แม้ว่าอยู่ในพื้นที่เดียวกัน

1) ความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศในดิน (Soil gas)

2) สภาพซึมซาบได้ (Permeability) ของดินที่แวดล้อมบ้านเรือน

3) ความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล (Ground water) ระบบสูบและการกักเก็บน้ำก่อนเข้าสู่อาคารที่อยู่อาศัย

4) โครงสร้างและการก่อสร้างรวมทั้งวัสดุก่อสร้างของตัวบ้าน

5) ชนิด การทำงาน การบำรุงรักษาของระบบระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ

สุขสวัสดิ์ (2543) ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศในดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่ามีค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 97 ± 8 Bq/m^3 – 194,880 ± 363 Bq/m^3 และมีค่าเฉลี่ย 18,626 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล

รอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าอยู่ในช่วง 263 ± 42 – 144,212 ± 981 Bq/m^3 และมีค่าเฉลี่ย 8,060 Bq/m^3 โดยตำแหน่งที่ตรวจวัดได้ค่าสูงสุดอยู่ที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

Voukotic และคณะ (1997) ได้รายงานผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศในดิน (Soil gas) ในเมือง Podgorica และ Montenegro ว่ามีค่าตั้งแต่ 6 ถึง 86 kBq/m^3 (ที่ความลึก 70 เซนติเมตร) และมีค่ามัธยฐานเท่ากับ 34 kBq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศในดิน บริเวณตอนใต้ของหมู่บ้าน Biggin ในเมือง Derbyshire ประเทศอังกฤษนั้น มีค่าอยู่ในช่วง 3 ถึง 35 kBq/m^3 และมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 13.03 ± 7.6 kBq/m^3 (Durrani, *et al.*, 1997)

Choubey, Sharma และ Ramola (1997) ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน 6 หลัง รอบๆ จาริ (Jari) ในเมือง พารวาติ วอลล์เลย์ (Parvati Valley) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 193 ถึง 356 Bq/m^3 จากการศึกษายังพบว่าบ้านเรือนที่สร้างด้วยหินและดิน จะมีค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงคือตั้งแต่ 298 – 356 Bq/m^3 ส่วนบ้านเรือนที่สร้างด้วยอิฐนั้นจะมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำกว่าอยู่ในช่วง 193 – 287 Bq/m^3 การตรวจวัดครั้งนี้ทำกันเสร็จสิ้นในช่วงฤดูร้อน ซึ่งเป็นช่วงที่คาดว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนจะมีค่าน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดครั้งนี้สูงกว่าระดับ 200 Bq/m^3 ที่เสนอแนะโดย International Commission on Radiological Protection (ICRP, 1987)

1.2.4 เส้นทางของก๊าซเรดอนสู่บ้านเรือน

USEPA (1992) รายงานว่าก๊าซเรดอนอาจผ่านเข้าสู่บ้านเรือนได้โดยเกี่ยวข้องกับสิ่งต่อไปนี้

1) รอยแตกของพื้นบ้าน
2) ช่องว่างระหว่างรอยต่อของโครงสร้างของบ้านเรือน
3) รอยแตกในฝาผนัง
4) ช่องว่างภายในพื้นบ้าน
5) ช่องว่างรอบๆ ท่อน้ำภายในบ้านเรือน
6) โพรงภายในฝาผนัง
7) น้ำที่นำมาใช้

Otton และคณะ (1993) รายงานว่าก๊าซเรดอนที่สลายตัวจากเรเดียมที่ปะปนอยู่ในดิน หินและแร่ ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ผ่านรอยแตกในหินและช่องว่างภายในดินขึ้นสู่อากาศเหนือพื้นดิน บางส่วนจะเคลื่อนที่ผ่านรอยแตกของพื้นบ้านและฝาผนังเข้าสู่บ้านเรือน หรือทุกๆ ส่วนของบ้านที่มีรู ช่องว่างรอยแตกแยกสัมผัสกับพื้นดิน นอกจากนี้ก๊าซเรดอนอาจมาทางก็อกน้ำโดยเรดอนจะมากับน้ำบาดาล บ้านเรือนที่มีการใช้ปั๊มสูบน้ำอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการสูบน้ำจากบ่อบาดาลมาใช้เลยโดยไม่เก็บไว้ในถังพักน้ำก่อน จะทำให้เกิดการสะสมของก๊าซเรดอนในบ้านเรือนสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบ้านเรือนที่สภาพทึบการระบายอากาศไม่ดีและบ้านเรือนที่มีการใช้ระบบเครื่องปรับอากาศ ตลอดจนห้องใต้ถุนบ้านหรือห้องใต้ดิน ซึ่งสัมผัสกับพื้นดินโดยตรงจะมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงกว่าส่วนอื่นๆ ในบ้านเรือน ทั้งนี้ประมาณว่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนระดับ 370,000 Bq/m^3 ในน้ำบาดาล จะทำให้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศภายในบ้านเรือนเพิ่มขึ้น 37 Bq/m^3 จากการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลในโคโลราโด (Colorado) ประเทศสหรัฐอเมริกาของ Martin (1998) พบว่ามีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 111,000 Bq/m^3 (3,000 pCi/L)

โดยทั่วไปแล้วส่วนใหญ่ในปีหนึ่งๆ ระดับความดันอากาศภายในบ้านเรือนจะมีค่าต่ำกว่าความดันอากาศในดินที่อยู่รอบๆ บ้านเรือน ความแตกต่างระหว่างความดันอากาศภายในบ้านเรือนและความดันอากาศในดิน ทำให้ก๊าซต่างๆ รวมทั้งก๊าซเรดอนในดินเคลื่อนที่เข้าสู่บ้านเรือน (CMHC, 1997)

1.2.5 มาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศ

หน่วยงานในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศ ดังได้แสดงไว้ในตาราง 1.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามาตรฐานของหน่วยงานทั้ง EPA และ NCRP เองยังมีค่าที่ต่างกัน เช่น หน่วยงาน EPA กำหนดไว้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนไม่ควรเกิน 148 Bq/m^3 ขณะที่ NCRP ได้กำหนดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนไว้เป็นแนวทางว่าไม่ควรเกิน 296 Bq/m^3 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่ต่ำกว่า 296 Bq/m^3 เป็นระดับความเข้มข้นที่ยอมรับได้

ตาราง 1.1 มาตรฐานความเข้มข้นเรดอนในอากาศของหน่วยงานต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา

หน่วยงาน	ลักษณะ	ระดับ Bq/m^3	หมายเหตุ
Indoor radon Abatement	ในบ้านเรือน	ให้เท่ากับภายนอก (≈7.4 - 25.9)	เป้าหมายของชาติ
EPA	ในบ้านเรือน	148	ระดับปฏิบัติในปัจจุบัน
NCRP	ในบ้านเรือน	296	แนวทาง
EPA	ในโรงเรียน	148	ระดับปฏิบัติ
NIOSH	ที่ทำงาน (เหมืองแร่)	1 WLM/yr	ข้อเสนอแนะเป็นขอบเขตที่ได้รับ
OSHA	ที่ทำงาน	4 WLM/yr	ตามกฎหมาย
MSHA	เหมืองแร่	4 WLM/yr	ตามกฎหมาย

NCRP National Council for Radiation Protection

EPA Environmental Protection Agency

NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA Occupational Safety and Health Administration

MSHA Mine Safety and Health Administration

WLM Working Level Month ;หน่วยวัด (WLM = 74.0 Bq/m^3) ปกติใช้ในสภาพแวดล้อมที่ทำงาน

ที่มา : ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ (2541)

ในส่วนของประเทศไทย คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติยังไม่ได้กำหนดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศที่จะใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ ทั้งนี้มาตรฐานระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของประเทศไทย อาจมีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่ามาตรฐานของประเทศอื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยที่เป็นภูมิหลังของประเทศ ความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการลดความเสี่ยง ทั้งนี้การจะได้มาซึ่งตัวเลขมาตรฐานดังกล่าว ต้องผ่านกระบวนศึกษาอย่างละเอียดและกว้างขวาง ซึ่งจะต้องใช้เวลาและงบประมาณเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในสภาวะการณ์ปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยคงต้องใช้เกณฑ์ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ระดับ

148 – 296 Bq/m^3 ไปก่อน จนกว่าคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติจะกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศมาใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในอนาคต

1.2.6 **ความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน**

USEPA (1993a) ได้รายงานว่าก๊าซเรดอนเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Human carcinogen) และเป็นตัวก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าก๊าซเรดอนเป็นต้นเหตุอันดับที่ 2 ที่ก่อให้เกิดการตายเนื่องจากโรคมะเร็งปอดในมนุษย์ รองมาจากการสูบบุหรี่ (USEPA, 1996) จากการศึกษาวิจัยระบาดวิทยา (extensive epidemiological study) ตลอดระยะเวลากว่า 50 ปี ในกลุ่มคนงานเหมืองแร่ใต้ดินจำนวนหลายพันคน ทั้งในสหรัฐอเมริกา ยุโรป จีน ทำให้ได้ผลสรุปออกมาว่าก๊าซเรดอนเป็นสาเหตุของการเป็นโรคมะเร็งปอดในคนงานเหมืองแร่เหล่านั้น ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย USEPA (1992) ได้ประเมินการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนว่ามีประมาณ 14,000 คนต่อปี โดยมีพิสัยอยู่ระหว่าง 7,000 - 30,000 คนต่อปี (USEPA, 1993b) นอกจากนี้ที่ประเทศแคนาดาในปี 1996 มีผู้ชายประมาณ 12,400 คน และผู้หญิงประมาณ 7,600 คน เป็นโรคมะเร็งปอด (CMHC, 1997)

Paramee และคณะ (1998) รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับโรคมะเร็งในจังหวัดสงขลา ในผู้ป่วยโรคมะเร็ง 3,954 คน เป็นผู้ชาย 2,087 คน และเป็นผู้หญิง 1,867 คน ช่วงปี 1990 – 1994 พบว่าผู้ชายเป็นโรคมะเร็งปอดเป็นอันดับหนึ่ง มีสัดส่วนประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ ของโรคมะเร็งทุกชนิด และโรคมะเร็งปอดที่เกิดกับผู้หญิงจัดอยู่อันดับ 4 ซึ่งมีค่าประมาณ 5.1 เปอร์เซ็นต์ ของการเป็นโรคมะเร็งทั้งหมดในผู้หญิง จากข้อมูลสถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา (หน่วยมะเร็ง, 2535, 2536, 2537, 2537,2538, 2539) สามารถจำแนกประชากรที่เป็นโรคมะเร็งปอด ออกเป็นชายและหญิงในแต่ละอำเภอของจังหวัดสงขลา ได้ดังตาราง 1.2 จากข้อมูลของตาราง 1.2 พบว่าในช่วงปี 2535 – 2539 ที่ผ่านมาประชาชนของอำเภอ หาดใหญ่ อำเภอเมือง และอำเภอสะเดาเป็นโรคมะเร็งปอดสูงสุดเป็นอันดับ 1 ถึง 3 ของจังหวัด โดยมีตัวเลขอยู่ที่ 141 คน, 62 คน และ 55 คน ตามลำดับ ส่วนประชาชนของอำเภอกระแสสินธุ์นั้น มีสถิติผู้ป่วยเป็นโรคมะเร็งปอดน้อยที่สุด ในจังหวัดสงขลา

ตาราง 1.2 สถิติโรคมะเร็งปอดของประชากรจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2535 – 2539

อำเภอ	2535		2536		2537		2538		2539	
	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
หาดใหญ่	21	6	14	11	23	6	21	7	20	12
เมืองสงขลา	8	5	7	2	6	4	11	5	12	2
จะนะ	4	1	3	1	2	1	6	-	3	1
สะเดา	4	2	10	5	13	2	8	4	6	1
นาทวี	5	-	6	-	4	2	5	4	8	1
ระโนด	2	1	2	1	7	2	5	-	3	1
ควนเนียง	1	-	3	-	-	1	-	-	-	1
สิงหนคร	-	1	-	-	4	-	3	-	1	1
รัตภูมิ	3	-	1	2	1	-	3	3	3	-
สทิงพระ	-	1	4	1	4	1	1	1	1	-
นาหม่อม	-	-	1	-	2	-	-	-	-	2
เทพา	1	-	2	-	-	1	2	-	1	-
สะบ้าย้อย	3	-	1	-	1	-	-	-	2	-
กระแสสินธุ์	-	-	-	-	2	-	-	1	-	1
บางกล่ำ	-	1	-	-	2	1	-	1	1	-
คลองหอยโข่ง	-	-	-	2	2	1	3	1	3	-
รวม	52	18	54	25	73	22	71	26	64	23

ที่มา : หน่วยมะเร็ง (2535, 2536, 2537, 2538, 2539)

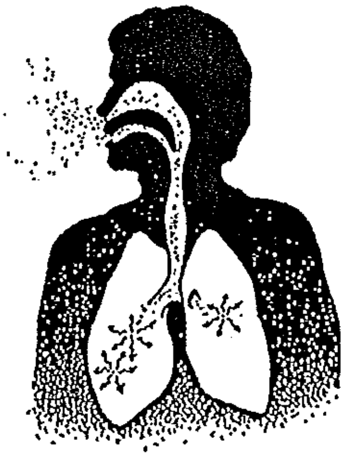
ประมาณ 2 ทศวรรษมาแล้วที่โรคมะเร็งเป็นสาเหตุอันดับ 2 ของการเสียชีวิตของประชาชนในประเทศไทย อัตราการเสียชีวิตเพิ่มขึ้นจาก 20.8 ต่อ 100,000 คนในปี 1978 เป็น 45.1 ต่อ 100,000 คน ในปี 1993 (Ministry of Public Health, 1982, 1990, 1995) ในส่วนของจังหวัดสงขลานั้น สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตของประชาชนใน 2 – 3 ปีที่ผ่านมา คือ โรคหัวใจ มะเร็ง และอุบัติเหตุ (Songkhla Provincial Governor Office, 1994)

1.2.6.1 ก๊าซเรดอนทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดได้อย่างไร

อันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากก๊าซเรดอน คือ โรคมะเร็งปอดในมนุษย์นั้น แท้จริงไม่ได้เกิดจากตัวก๊าซเรดอนเอง แต่เกิดจากอนุภาคแอลฟาที่เกิดขึ้นขณะที่ก๊าซเรดอนสลายตัว รวมทั้งอนุภาคแอลฟาที่มาจากธาตุผลิตผลที่เกิดจากการสลายตัวของก๊าซเรดอนโดยเฉพาะพวกที่มีครึ่งชีวิตสั้น เนื่องจากธาตุผลิตผลที่มีครึ่งชีวิตสั้นเหล่านี้ยังคงสลายตัวต่อไป พร้อมปล่อยปลดอนุภาคแอลฟาออกมา เมื่อมนุษย์หายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าไปในปอดส่วนใหญ่แล้วก๊าซเรดอนที่หายใจเข้าไปนั้นจะแพร่ฟุ้งกระจายออกจากร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามยังมีส่วนที่เหลือค้างอยู่โดยเฉพาะลูกหลานของก๊าซเรดอน ซึ่งเป็นผลิตผลจากการสลายตัวของก๊าซเรดอน ดังภาพประกอบ 1.1 อนุภาคแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยออกมามีขนาดเล็กแต่มีพลังงานสูงเหล่านี้ จะถูกดูดกลืนไว้โดยเนื้อเยื่อหุ้มปอดที่อยู่ใกล้ๆ ผลคือมันจะไปทำลายเซลล์เนื้อเยื่อหุ้มปอดให้เสียหายหรือตาย (CMHC, 1997) นอกจากนี้ก๊าซเรดอนและผลิตผลของมันสามารถติดอยู่โดยตรงภายในเซลล์ปอด และเซลล์เนื้อเยื่ออื่นๆ ในร่างกาย ซึ่งสามารถทำให้ DNA ของเซลล์เนื้อเยื่อเกิดความเสียหาย และถ้าหากว่าเซลล์ไม่สามารถซ่อมแซมได้ด้วยตัวเอง ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะปรากฏหรือแสดงให้เห็นในเวลาต่อมา ทั้งนี้เนื้อเยื่ออื่นๆ ของร่างกาย เช่น กระเพาะอาหารอาจเกิดผลร้ายได้ทำนองเดียวกับปอด

ภาพประกอบ 1.1 เส้นทางของก๊าซเรดอนเข้าสู่ปอด

ที่มา : BMHC (1997)



1.2.6.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน

USEPA (1992) ได้ทำการเปรียบเทียบความเสี่ยงที่จะมีโอกาสเป็นโรคมะเร็งปอดของบุคคลที่มีพฤติกรรมการสูบบุหรี่และไม่สูบบุหรี่ อันมีสาเหตุเนื่องมาจากก๊าซเรดอน ดังแสดงในตาราง 1.3 ซึ่งแสดงความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดที่มีสาเหตุจากก๊าซเรดอน สำหรับคนที่สูบบุหรี่และคนที่ไม่สูบบุหรี่

ตาราง 1.3 การเปรียบเทียบความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	โอกาสเป็นมะเร็งปอดในคน 1,000 คน ถ้าสูบบุหรี่	โอกาสเป็นมะเร็งปอดในคน 1,000 คน ถ้าไม่สูบบุหรี่
740	135	8
370	71	4
296	57	3
148	29	2
74	15	1
14.8	3	< 1

ที่มา : EPA Doc No.402-K-93-008 (1992)

เมื่ออยู่อาศัยภายในบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่างๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากคน 1,000 คน ทั้งกรณีที่สูบบุหรี่และไม่สูบบุหรี่อาศัยอยู่ในระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศเท่ากับ 370 Bq/m^3 เท่ากัน พบว่าคนที่สูบบุหรี่จะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอดถึง 71 คน หรือ 7.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากไม่สูบบุหรี่พบว่าจะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอดเพียง 4 คน หรือ 0.4 เปอร์เซ็นต์ จากตาราง 1.3 จะเห็นได้ว่าโอกาสของการเป็นโรคมะเร็งปอดของคน 1,000 คน ทั้งกรณีที่สูบบุหรี่และไม่สูบบุหรี่ จะลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนลดลง

อย่างไรก็ตามพบว่าความเสี่ยงที่แต่ละบุคคล จะมีโอกาสเป็นโรคมะเร็งปอดอันเนื่องจากก๊าซเรดอน จะมีความสัมพันธ์กับปัจจัย 3 ข้อ (USEPA, 1992) ดังนี้คือ

1) ระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศในบ้านเรือน
2) ระยะเวลาที่ได้รับก๊าซเรดอน
3) พฤติกรรมการสูบบุหรี่

1.2.6.3 แนวทางการลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องจากก๊าซเรดอน

เป็นความจริงที่ไม่มีใครสามารถทราบถึงระดับที่ปลอดภัยอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนและประชาชนโดยทั่วไปยังมีความเสี่ยงอยู่ตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นเนื่องจากก๊าซเรดอนสามารถลดลงได้ โดยการลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน มีหลายวิธีที่อาจใช้ในการลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ดังเช่น

1) ป้องกันหรือลดปริมาณก๊าซเรดอนที่จะเข้าสู่บ้านเรือน เช่น การอุดรอยแตกของพื้นบ้าน และฝาผนัง ซึ่งจะช่วยลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนลงได้

2) กำจัดหรือระบายอากาศที่มีก๊าซเรดอนและผลิตผลจากการสลายตัวของมัน ออกไปหลังจากที่เข้าสู่บ้านเรือน ซึ่งอาจจะโดยการติดตั้งระบบที่ใช้ท่อและพัดลมภายในบ้านเรือนนั้นๆ รวมทั้งเปิดหน้าต่างและเปิดพัดลมเพื่อเพิ่มอากาศที่ไหลเข้าสู่ภายในบ้านเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นล่างสุดของบ้านเรือน

3) เคลื่อนย้ายแหล่งกำเนิดของก๊าซเรดอน

สำหรับประชาชนทั่วๆ ไปนั้นสามารถใช้วิธีการง่ายๆ ได้ โดยเปิดประตูหน้าต่างของบ้านเรือน เพื่อให้ภายในบ้านเรือนนั้นมีการระบายอากาศที่ดี ซึ่งจะทำให้อากาศภายในออกสู่ข้างนอก และให้อากาศข้างนอกเข้าสู่ภายในบ้าน ทั้งนี้ในการระบายอากาศอาจใช้พัดลมตัวหนึ่งหรือหลายตัวช่วยควบคุมทิศทางการไหลของอากาศภายในบ้านเรือน

โดยทั่วไปการระบายอากาศที่ร้อนภายในบ้านเรือน จะถูกแทนที่ด้วยอากาศข้างนอก ในฤดูหนาวอากาศจากข้างนอกจะไหลเข้ามาสู่บ้านเรือนซึ่งร้อนกว่า อากาศที่ร้อนจะเคลื่อนออกไปจากบ้านเรือน ในฤดูร้อนกระบวนการเหล่านี้จะกลับกัน นั้นคืออากาศจากภายนอกบ้านเรือนจะเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในบ้านเรือนซึ่งมีอุณหภูมิที่เย็นกว่า

USEPA (1993a) เสนอแนะว่าควรมีการลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ในสำนักงาน และภายในห้องเรียน ให้มีค่าต่ำกว่า 148 Bq/m^3 อย่างไรก็ตาม USEPA (1993b) เชื่อว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนใดก็ตามก่อให้เกิดความเสี่ยงอยู่ค่าหนึ่ง ไม่มีระดับก๊าซเรดอนที่ปลอดภัยจริง แม้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ต่ำกว่า 148 Bq/m^3 ยังมีความเสี่ยงอยู่ระดับหนึ่ง และความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดเนื่องจากเรดอนสามารถลดลงได้ โดยการลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนลงเท่านั้น

ความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ระดับ 148 Bq/m^3 ดังกล่าว กำหนดขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับความสามารถในการลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน

1.2.7 การตรวจวัดก๊าซเรดอน

การตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน สามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่มีความไวในการตรวจวัดและจับอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยตรง เมื่อก๊าซเรดอนและผลิตผลของมันเกิดการสลายตัว หรือทำการตรวจวัดผลิตผลของก๊าซเรดอนแล้วปรับเทียบกลับเป็นก๊าซเรดอน โดยทั่วไปการตรวจวัดก๊าซเรดอนนั้นจะทำกันในเทอมของกัมมันตภาพหรือความแรงรังสี (Activity) ซึ่งมีหน่วยเป็นเบคเคลเรล (Becquerel, Bq)

ก. วิธีการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอน

วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนสามารถพิจารณาได้เป็น 3 วิธีการหลัก คือ

1) Integrative Sampling

เป็นการวัดแบบสะสมโดยเป็นการเฉลี่ยค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนตลอดช่วงเวลาที่กำหนด วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่มีลักษณะแบบนี้มีอยู่หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการที่เป็นที่นิยมและปฏิบัติกันโดยทั่วไปดังนี้

1. AC – Activated Charcoal Adsorption

การตรวจวัดก๊าซเรดอนโดยวิธีการนี้ เมื่อเริ่มการตรวจวัดต้องเปิดฝากระป๋องซึ่งมีผงถ่านกัมมันต์บรรจุอยู่ภายใน ตั้งทิ้งไว้ในบริเวณที่ต้องการตรวจวัด โดยทั่วไปการตรวจวัดวิธีนี้จะใช้เวลาประมาณ 2 – 7 วัน ซึ่งก๊าซเรดอนในอากาศจะถูกดูดกลืนโดยผงถ่าน (Charcoal granules) เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดก็ทำการปิดผนึกกระป๋อง และนำกลับมาทำการวิเคราะห์รังสีแกมมาที่สลายตัวจากก๊าซเรดอนที่ห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยเครื่องตรวจวัดเสปกตรัมรังสีแกมมา (Gamma - ray Spectrometer) ซึ่งอาจใช้หัววัดรังสีชนิดเปล่งแสงวับ (Scintillation detector) หรือหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (ชนิด HP - Ge) ในการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของบิสมัส (Bi – 214) ซึ่งสลายตัวมาจากก๊าซเรดอนแล้วแปลงกลับไปเป็นความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดในบริเวณนั้นๆ

2. AT – Alpha Track Detection (filtered)

สำหรับวิธีการตรวจวัดแบบนี้ หัววัดที่ใช้จะเป็นแผ่นพลาสติกพิเศษหรือแผ่นฟิล์มซึ่งมีขนาดเล็ก บรรจุอยู่ภายในภาชนะขนาดเล็ก ขณะทำการตรวจวัดอากาศ

บริเวณนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านตัวกั้นที่ครอบไว้ที่ปากภาชนะ เมื่ออนุภาคแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของก๊าซเรดอนและผลิตผลของมันวิ่งชนหัววัด จะทำให้เกิดความเสียหายเป็นรอยแฝงขึ้น การตรวจวัดโดยวิธีการนี้โดยทั่วไปใช้เวลาอยู่ในช่วงประมาณ 3 – 12 เดือน หรืออาจใช้เวลาในการตรวจวัดน้อยลง เมื่อทำการตรวจวัดบริเวณที่มีความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง เมื่อครบกำหนดเวลาที่ใช้ตรวจวัดปิดภาชนะที่ใช้ในการตรวจวัด แล้วนำกลับมาวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ โดยนำหัววัดไปกัดขยายรอยด้วยสารละลาย ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นนำไปนับความหนาแน่นรอยที่เกิดขึ้นบนหัววัดโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ ความหนาแน่นของรอยต่อพื้นที่จะถูกนำไปใช้ในการหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน

3. LS – Charcoal Liquid Scintillation

วิธีการการตรวจวัดก๊าซเรดอนนี้ อาศัยผงถ่านกัมมันต์ (Activated charcoal) ที่บรรจุอยู่ในขวดขนาดเล็ก สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่าง ขณะทำการตรวจวัดจะเปิดฝาขวดและใช้เวลาในการตรวจวัดประมาณ 2 – 7 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ ส่วนอื่นๆ เหมือนกับวิธีการการตรวจวัดแบบ AC หลังจากครบกำหนดปิดฝาขวดและเก็บกลับมาห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ การตรวจวัดโดยวิธีการนี้ใช้หัววัดรังสีชนิดเปล่งแสงวับ ในการวิเคราะห์ต้องนำผงถ่านกัมมันต์และสารเรืองแสงมาละลายในตัวทำละลาย ผลที่ได้ออกมาเป็นจำนวนนับครั้งต่อนาที (Counts/minute) ซึ่งสามารถแปลงกลับมาเป็นความเข้มข้นก๊าซเรดอนได้

2) Grab Sampling

เป็นการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอน หรือตรวจวัดผลิตผลจากการสลายตัวของก๊าซเรดอนที่เวลาชั่วขณะใดขณะหนึ่ง แต่เนื่องจากระดับความเข้มข้นเรดอนอาจแปรเปลี่ยนไปมาที่เวลาต่างๆ ด้วยปัจจัยหลายประการ วิธีการตรวจวัดแบบนี้จึงนิยมใช้ในการตรวจสอบในงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างของวิธีการตรวจวัดแบบนี้ คือ

1. GC – Grab Radon/Activated Charcoal

การตรวจวัดโดยวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้ผู้มีความชำนาญการ ในการวัดก๊าซเรดอนต้องใช้ระบบดูดอากาศหรือพัดลม เพื่อทำให้อากาศไหลผ่านผงถ่านกัมมันต์ที่บรรจุอยู่ในกระป๋อง โดยทั่วไปในการตรวจวัดก๊าซเรดอนแต่ละตัวอย่าง จะใช้ช่วงระยะเวลาประมาณ 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำกระป๋องที่บรรจุผงถ่านกัมมันต์มาใส่ไว้ใน

ภาชนะปิดแล้วนำไปวิเคราะห์ผลที่ห้องปฏิบัติการ ในการวิเคราะห์สามารถใช้หลักการเหมือนกับ AC หรือ LS ได้

2. GB – Grab Radon/Pump-Collapsible Bag

หลักการตรวจวัดก๊าซเรดอนโดยวิธีการนี้ อาศัยถุงตัวอย่างที่ทำจากวัสดุที่ก๊าซเรดอนไม่สามารถเคลื่อนผ่านได้ ในการตรวจวัดผู้ทำการตรวจวัดจะใช้เครื่องสูบอากาศ (Pump) ที่ยกได้ดูดอากาศใส่ถุง หลังจากนั้นปิดถุงแล้วนำกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ในการวิเคราะห์โดยทั่วไปแล้วจะทำการถ่ายอากาศจากถุงไปสู่เซลล์เรืองแสง (Scintillation cell) เมื่ออนุภาคแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของก๊าซเรดอนเคลื่อนที่ชนกับซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ที่เคลือบไว้ด้านในของเซลล์ ซึ่งจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความยาวคลื่นแสง โดยจะถูกตรวจนับไว้ด้วยหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube, PMT) และถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งจะช่วยคำนวณหาค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอน

3) Continuous Active Sampling

เป็นการวัดแบบซ้ำเป็นจังหวะต่อเนื่องอัตโนมัติตลอดช่วงเวลาที่กำหนด วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูง และจะใช้ต่อเมื่อการวัดแบบอื่นแสดงว่ามีปัญหา เนื่องจากพบว่ามีความเข้มข้นเรดอนสูง ตัวอย่างของวิธีการการตรวจวัดโดยแบบนี้ได้แก่

1. CR – Continuous Radon Monitoring

การตรวจวัดโดยวิธีการนี้ ประกอบด้วยเครื่องมือตรวจวัดซึ่งจะทำการบันทึกเวลาจริงที่ใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนอย่างต่อเนื่อง อากาศจะถูกสูบหรืออาจแพร่เข้าไปในห้องวัด โดยห้องวัดนี้อาจเป็นแบบเซลล์เรืองแสง (Scintillation chamber) หรือเป็นห้องวัดแบบอิออน (Ionization chamber) การวิเคราะห์จะดำเนินการโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการวิเคราะห์ จะถูกเก็บหรือบันทึกไว้ที่หน่วยความจำของเครื่อง หรือสามารถที่จะส่งผลที่ได้ไปยังเครื่องพิมพ์โดยตรง

งานวิจัยตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลาครั้งนี้ ได้ใช้วิธีการตรวจวัดก๊าซเรดอนแบบการวัดรอยรังสีแอลฟา (Alpha track detection) ชนิดแผ่นพลาสติก CR – 39 เหตุผลที่เลือกใช้วิธีการตรวจวัดแบบนี้เนื่องจากเป็นการตรวจวัดแบบสะสมโดยเป็นการเฉลี่ยค่าความเข้มข้น ต้นทุนไม่สูงมากนัก เหมาะต่อการตรวจวัดก๊าซเรดอนในพื้นที่ใหญ่ๆ และปริมาณจำนวนตัวอย่างของการตรวจวัดมาก

ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการทำการวิจัยมากด้วย หากใช้วิธีการอื่นเช่น AC หรือ LS ในการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างต้องใช้ระยะเวลานาน ส่วนวิธีการ CR ต้นทุนในการวิจัยสูง ซึ่งเหมาะสำหรับตรวจวัดในโรงงานหรือบริเวณที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงๆ

ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนครั้งนี้ได้จัดสร้างชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนขึ้นมา ซึ่งมีลักษณะและวิธีการตรวจวัดดังนี้ ชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยแผ่นพลาสติก CR – 39 ขนาด 1.25 x 1.25 ตารางเซนติเมตร บรรจุอยู่ในภาชนะขนาดเล็กในที่นี้เป็นถ้วยพลาสติก มีฟิล์มถนอมอาหารครอบปากถ้วยพลาสติก และที่ก้นถ้วยพลาสติกด้านนอกมีด้ายขาวแปะติดไว้ ซึ่งสามารถนำไปแขวนกับผนังหรือเพดานห้องได้ การตรวจวัดก๊าซเรดอนครั้งนี้ใช้ระยะเวลา 40 วัน เมื่อครบกำหนดเวลาของการตรวจวัด จะนำแผ่นพลาสติก CR- 39 กลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยการนำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ได้จากการตรวจวัดมาทำการกัดขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร (N) เป็นเวลา 100 นาที การหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ ตรวจนับความหนาแน่นรอยอนุภาคแอลฟาต่อพื้นที่บนแผ่นพลาสติก CR – 39

ข. ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน

Man และ Yeung (1998) ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนในฮ่องกง ในบริเวณที่มีความแตกต่างกันทั้งระดับความสูงจากพื้น รูปทรงของบ้านเรือน ความหนาแน่นของบ้านเรือน และลักษณะทางธรณีวิทยา พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน จะลดลงในบริเวณที่มีความหนาแน่นของบ้านเรือนน้อยๆ และระดับความสูงของการตรวจวัดเพิ่มขึ้น ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกเรือนเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่ที่มีหินแกรนิต จะสูงกว่าบริเวณที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นอย่างอื่น ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนเฉลี่ยมีค่าประมาณ 28 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนเฉลี่ย ในประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา มีค่าประมาณ 14.8 Bq/m^3 (0.4 pCi/L) (USEPA, 1999) และ 10 Bq/m^3 (CMHC, 1997) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนซึ่งมีค่าสูงๆ อาจจะเป็นตัวส่งเสริมให้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนสูงขึ้น

โดยทั่วไปแล้วระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนในพื้นที่ต่างๆ จะมีค่าหลากหลายขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในพื้นที่ต่างๆ แสดงไว้ในตาราง 1.4

ตาราง 1.4 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในบางประเทศที่มีการตรวจวัด

อันที่	พื้นที่/ประเทศ	จำนวนบ้านเรือน (หลัง)	เครื่องมือตรวจวัด	ค่าต่ำ – สูงสุด (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (Bq/m^3)	เอกสารอ้างอิง
1	เมือง Doha ของ Qatar	-	Charcoal canister	11 - 23	-	Arafa และ El-Karadawi (1997)
2	ประเทศออสเตรเลีย	-	-	-	12	Australian Radiation Laboratory. (1990)
3	นอร์เวย์	2,500	-	-	68 - 74	Birovljev และ Strand (1996)
4	ประเทศแคนนาดา	-	-	30 - 100	45	CMHC (1997)
5	Parvati Valley/อินเดีย	6	LR – 115	193 - 356	-	Choubey, Sharma และ Ramola (1997)
6	1) Allanhabad	24		-	74.7	Dwivedi และคณะ (1997)
	2) Viskspatnam	14	LR - 115	-	28.9	
	3) Shillong/อินเดีย	40		-	83.6	
7	หมู่บ้าน Umhausen/ออสเตรีย	-	-	20 – 88,000	1,180 *	Ennemoser และคณะ (1994)
8	เมืองเม็กซิโก/เม็กซิโก	200	CR - 39	-	153 ± 29.1	Espinosa และ Gammage (1997)
9	โบราณสถาน 2 แห่ง ในเมืองอเล็กซานเดรีย/อียิปต์	9, 6	LR – 115	34 – 267 22 – 1237	- -	Hafez, Kotb และ Khalil (1997)
10	ประเทศจอร์แดน	-	CR – 39	7 - 123	-	Khatibeh และคณะ (1997)
11	โรงเรียนอนุบาลในเมืองอัมมาน/จอร์แดน	74	CR – 39	40.7 – 193.5	76.8	Kullab และคณะ (1997)

ตาราง 1.4 ต่อ

12	จังหวัด parma/Italy	108	LR – 115	10 - 108	30.1 ± 19.0	Malanca (1998)
13	สถานีรถไฟใต้ดิน/เกาหลี					Milloy (1998)
	1) Kongnung	-	-	1179.19 **	-	
	2) Taenung	-	-	1086.32 **	-	
	3) Moggol	-	-	540.57 **	-	
14	เมือง Osijek/โครเอเชีย	-	LR - 115	-	71.6 ± 44	Planinc และ คณะ (1999)
15	ประเทศสหรัฐอเมริกา	-	-	-	48.1	USEPA (1999)
16	Podgorica และ Montenego	110	LR - 115	4 - 453	38.7 ± 50.8	Voukotic และคณะ
17	เมือง vicinity/ตุรกี	100	LR - 115	10 - 120	-	Yaprak (1999)
18	1) เมืองฮิโรชิมา	100	-	-	100.8	Yonehara และคณะ (1995)
	2) เมืองนางาซากิ	100	-	-	40	
19	บริเวณศูนย์รวมร้านค้าของฮ่องกง	-	-	-	29.2 ± 7.8	Yu และคณะ (1997)
20	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ/โปแลนด์	412	-	4 – 1,300	25	Zalewski และคณะ (1998)

หมายเหตุ – ไม่มีข้อมูลในเอกสาร

* เลขมัธยฐาน

** ตรวจวัดเพียงตัวอย่างเดียว

CENTRAL LIBRARY PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

ค. ระดับความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

การที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน มีค่าสูงหรือต่ำ ส่วนหนึ่งนั้นมีผลมาจากความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดของมัน การตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลาในครั้งนี้ ซึ่งมีอยู่หลายอำเภอด้วยกันที่เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ดังนั้นการทราบถึงความเข้มข้นของยูเรเนียมที่ผิวดิน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซเรดอนเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการประเมินศักย์เรดอนในแต่ละพื้นที่ของจังหวัดสงขลา จากการวิเคราะห์ข้อมูลดิจิตอลของค่ากัมมันตภาพรังสีของธาตุยูเรเนียม ที่ได้จากการบินสำรวจของกรมทรัพยากร-ธรณี (2523) แล้วปรับเทียบเป็นค่าความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินในหน่วย ppm eU จากนั้นทำการสร้างแผนที่คอนทัวร์ แสดงค่าความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยใช้เกณฑ์ที่ว่า พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อศักย์เรดอนสูงจะต้องมีปริมาณยูเรเนียมที่ผิวดิน สูงกว่า 3 ppm eU ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 1.2

จากภาพประกอบ 1.2 สามารถสรุประดับความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ว่า

พื้นที่ส่วนใหญ่ของ อำเภอเมืองพัทลุง อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง และอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา มีความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินสูงระหว่าง 8 - 12 ppm eU

พื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา พื้นที่บางส่วนของ อำเภอหาดใหญ่ อำเภอสทิงพระ และอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง มีความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินสูงระหว่าง 4 - 8 ppm eU

ทั้งนี้พื้นที่ส่วนที่มีความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินสูงกว่า 4 ppm eU นั้นคิดเป็นพื้นที่เกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของ พื้นที่ทั้งหมด

Duval (1988) ได้รายงานเกี่ยวกับการใช้ค่าความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดิน ในการประเมินศักย์เรดอนภายในบ้านของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังตาราง 1.5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินกับศักย์เรดอนภายในบ้านเรือน

ตาราง 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยูเรเนียมที่ผิวดิน กับความเสี่ยงอันเนื่องจากศักย์เรดอน

ppm eU	ความเสี่ยง	% ข้อมูลส่วนที่เกิน 148 Bq/m^3
0.0 – 0.5	ต่ำมาก	0
0.5 – 1.0	ต่ำ	< 10
1.0 – 2.0	ปานกลาง	< 20
2.0 – 3.0	ค่อนข้างสูง	< 30
> 3.0	สูง	> 30

ที่มา : Duval (1988)

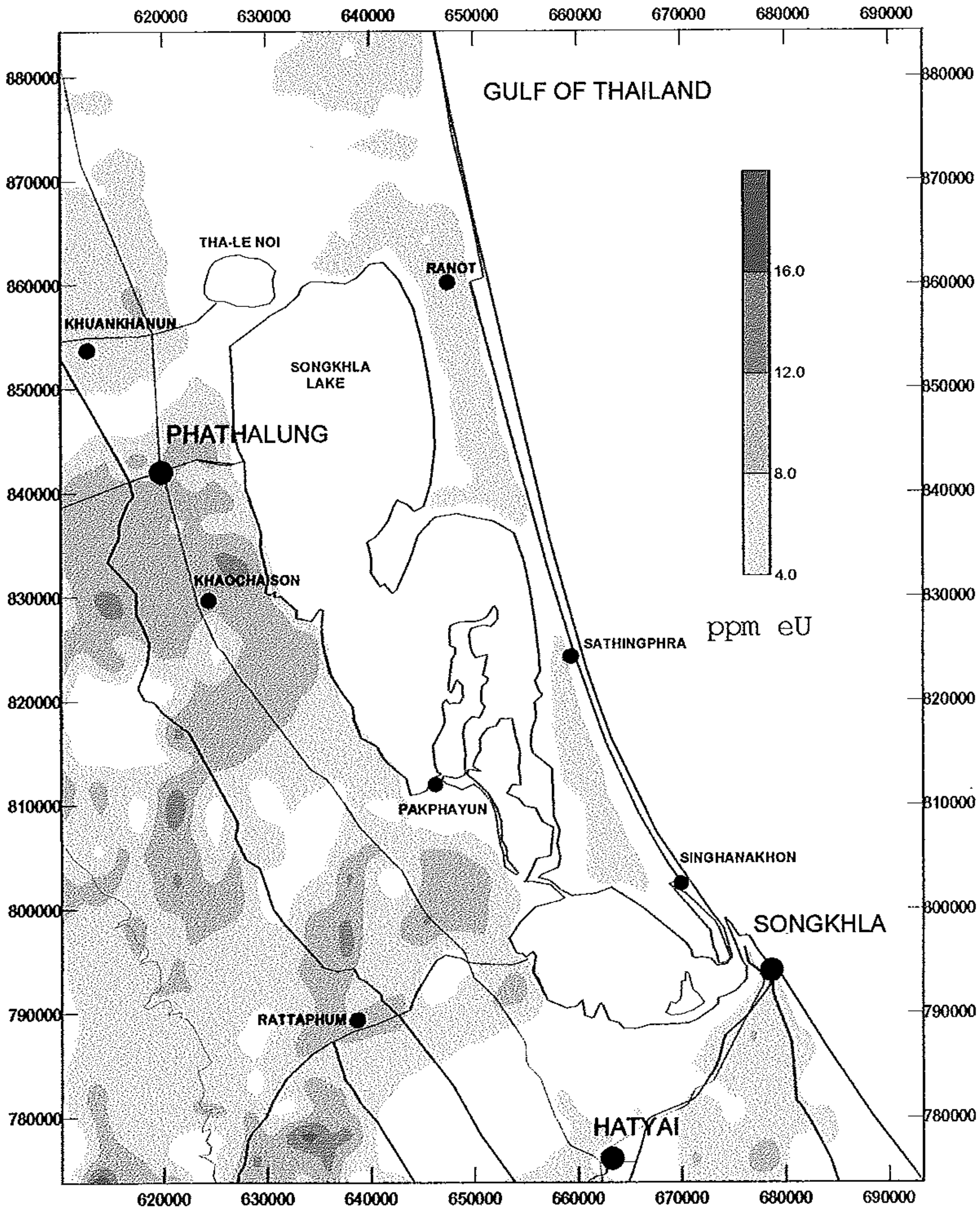
เมื่อใช้เกณฑ์ของ Duval ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินกับความเสี่ยงต่อเรดอน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา และ จังหวัดพัทลุง พบว่า

1) **พื้นที่ส่วนใหญ่ของ** อำเภอเมืองพัทลุง และอำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา **มีความเสี่ยงต่อเรดอนสูง** (8 - 12 ppm eU)

2) **พื้นที่ส่วนใหญ่ของ** อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา **พื้นที่บางส่วนของ** อำเภอหาดใหญ่ อำเภอสทิงพระ และอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง มีความเสี่ยงต่อเรดอนสูง (4 - 8 ppm eU)

สรุปได้ว่า พื้นที่ส่วนที่มีความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินสูงกว่า 4 ppm eU นั้นคิดเป็นพื้นที่เกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ดังนั้นจากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าบ้านเรือนของประชาชน ในพื้นที่รอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีศักย์เรดอนอยู่ในเกณฑ์ที่สูง แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะทราบถึงระดับความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดิน และศักย์เรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละพื้นที่ ยังไม่สามารถที่จะบอกถึงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน ในพื้นที่นั้นๆ ได้ นอกเสียจากทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่ายังมีอีกหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง และมีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

ภาพประกอบ 1.2 แผนที่คอนทัวร์แสดงความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
ที่มา : ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และ คณะ (2541)



1.2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับก๊าซเรดอน

1.2.8.1 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพตลอดเวลา เพื่อจะกลายเป็นนิวเคลียสที่เสถียร การที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีเปลี่ยนสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ และมีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปกัมมันตภาพรังสี เรียกว่าการสลายตัว ซึ่งการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีมีลักษณะเป็นแบบ exponential และไม่สามารถระบุได้ว่าอะตอมใดจะสลายตัวในเวลาถัดไป ถ้านิวเคลียสแต่ละตัวมีค่าคงที่ของการสลายตัวเท่ากับ λ ในเวลา dt โอกาสการสลายตัวของแต่ละอะตอมเท่ากับ λdt

ให้ N เป็นจำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง

N_0 เป็นจำนวนอะตอมที่มีอยู่เดิม เมื่อเริ่มต้น $t = 0$

อัตราการสลายตัว คือ

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N \qquad \text{.......... (1.1)}$$

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

$$[\ln N]_{N_0}^{N} = -\lambda [t]_0^t$$

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

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

$$\therefore \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad \text{.......... (1.2)}$$

พิจารณาจำนวนอะตอมของธาตุลูก แทนด้วย D* ซึ่งเป็นผลผลิตจากการสลายตัวของธาตุแม่ พบว่า

ที่ $t = 0$ นั้น $D^* = 0$ (คือยังไม่เกิด)

ที่ t ใดๆ จะได้ $D^* = N_0 - N$ .... (1.3)

จาก (1.2) แทนใน (1.3) จะได้ $D^* = N_0 - N_0 e^{-\lambda t}$

$$\therefore \quad D^* = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \qquad \text{.......... (1.4)}$$

ความแรงของสารกัมมันตรังสี (Activity , A) คือ

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

$$A = \lambda N \qquad \text{.......... (1.5)}$$

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

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad \text{........... (1.6)}$$

เมื่อ A เป็นกัมมันตภาพที่เวลาใดๆ หน่วยเป็น Bq

A_0 เป็นกัมมันตภาพที่เวลา t = 0

1.2.8.2 การเปลี่ยนแปลงสารโดยการสลายตัว

ในธรรมชาติสารกัมมันตรังสีแต่ละอนุกรม เริ่มสลายตัวจากนิวไคลด์แม่แล้วสลายตัวต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้นิวไคลด์ที่เสถียร (Stable nuclide) สมมุติมีอนุกรมหนึ่งเริ่มจากนิวไคลด์ที่ 1 ซึ่งมีอยู่ N ตัว สลายตัวด้วยค่าคงตัวของการสลายตัว λ_1 กลายเป็นนิวไคลด์ที่ 2 จำนวน N_2 สลายตัวด้วยค่าคงตัวของการสลายตัว λ_2 เป็นนิวไคลด์ที่ 3 เขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2$$

ที่เวลา t ใดๆ $N_1(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda t}$$

แก้สมการแล้วจะได้ค่า N_2 และ N_3 ดังนี้ เมื่อ t = 0 ; $N_2^0 = N_3^0 = 0$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 \left(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right) \qquad \text{.......... (1.7)}$$

$$N_3 = N_1^0 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) \qquad \text{.......... (1.8)}$$

1.3.8.3 สมดุลกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium)

โดยทั่วไปคำว่าสมดุลใช้ได้กับเงื่อนไขที่ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันเมื่อเทียบกับเวลาเป็นศูนย์ ถ้าใช้เงื่อนไขนี้กับสารกัมมันตรังสีก็หมายความว่า

$$\frac{dN_1}{dt}, \frac{dN_2}{dt}, \ldots\ldots, \frac{dN_n}{dt} = 0$$

นั่นคือ

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 = 0$$

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3$$

.

.

$$\lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1.9)$$

ถ้าเป็นตามเงื่อนไขนี้ สารก็ไม่ใช่สารกัมมันตรังสี เพราะ $\lambda_1 = 0$ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสถานการณ์เข้าใกล้สมดุลมาก ในธรรมชาติจะมีอนุกรมการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เช่นที่เกิดจาก ^{238}U ไปเป็น ^{214}Bi (หรือ ^{226}Ra กลายเป็น ^{222}Rn) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ ครึ่งชีวิต (Half life) ของตัวแม่มีค่ามากกว่าครึ่งชีวิตของตัวลูกมากๆ นั่นคือ $\lambda_1 << \lambda_2$ ค่า N_1 นั้นค่อนข้างคงที่ ค่า λ_1 มีค่าน้อยกว่าค่า λ อื่นๆในอนุกรม สมการ (1.9) จึงเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกว่าสมการอื่นๆ สมดุลลักษณะนี้เราเรียกว่าสมดุลถาวร (Secular equilibrium) สมดุลแบบนี้อัตราการสลายตัวของตัวลูก มีค่าเท่ากับอัตราการสลายตัวของตัวแม่ เงื่อนไขของสมดุลถาวรคือ

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \lambda_n N_n \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1.10)$$

กรณีที่นิวไคลด์แม่มีครึ่งชีวิตยาวและมีครึ่งชีวิตสั้น สมมุติว่าแยกนิวไคลด์ลูก ออกจากนิวไคลด์แม่จนเป็นสารบริสุทธิ์ จะคำนวณนิวไคลด์แม่และลูกได้ดังนี้

จาก $\lambda_1 \cong 0 ; \lambda_1 << \lambda_2 ; e^{-\lambda t} \cong 1$

$$N_1 = N_2$$

และจาก (1.7) จะได้ $N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right)$

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1^0 \left(1 - e^{-\lambda_2 t}\right) \qquad \text{..........} (1.11)$$

$$\therefore \quad \text{Activity รวม} = \lambda_1 N_1^0 + \lambda_2 N_2 \qquad \text{..........} (1.12)$$

1.3 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบชุดตรวจวัดรอยรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน โดยใช้แผ่นพลาสติก CR – 39 เป็นตัวตรวจวัด เพื่อนำไปใช้ปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 กับระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ทราบค่า
2. เพื่อทำการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนของประชาชนในพื้นที่จังหวัดสงขลา ด้วยชุดตรวจวัดรอยรังสีแอลฟา (Alpha track detector)
3. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของยูเรเนียมที่ผิวดิน บริเวณจังหวัดสงขลา จากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี กับระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายในและภายนอกบ้านเรือน ในจังหวัดสงขลา
4. ให้ความรู้เกี่ยวกับก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนแก่ประชาชน โดยการถ่ายทอดความรู้ให้แก่นักเรียนโรงเรียนมัธยมที่ร่วมโครงการ ในจังหวัดสงขลา ผ่านไปยังประชาชนทั่วไป

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การทำวิจัยเพื่อตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา โดยอาศัยเทคนิคทางฟิสิกส์นิวเคลียร์ จำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ตลอดจนวิธีดำเนินการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 วัสดุ

1. ถ้วยพลาสติก (สูง 9.5 เซนติเมตร ปากถ้วยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร)
2. ฟิล์มถนอมอาหาร (Cling Film)
3. แผ่นอลูมิเนียมบาง (ขนาด 12 นิ้ว x 200 ฟุต, 60.9 เมตร)
4. ยางวงรัดของ
5. กระดาษกาว 2 หน้า
6. ด้ายขาว สำหรับแขวนถ้วยพลาสติก
7. ถุงพลาสติก
8. น้ำกลั่น
9. สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
10. ถ่านไฟฉาย
11. สารมาตรฐาน Ra-226
12. เทปใส
13. สีสเปรย์
14. แผ่นฟิล์ม CR – 39 ขนาด 1.25 x 1.25 ตารางเซนติเมตร
15. กระปุกขนาดเล็ก

2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องอ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS)
2. ชุดสไลด์เรื่องก๊าซกัมมันตรังสีเรดอน
3. เครื่องฉายสไลด์
4. แผนที่จังหวัดสงขลา มาตรส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร
5. ปากกาเขียนกระดาษไข
6. แผ่นกระจกสไลด์สำหรับวางแผ่นพลาสติก
7. เครื่องเจาะหลุมดิน
8. ถ้วยสำหรับใส่ดินและทราย
9. เครื่องชั่งสารความละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น Mettler AE200
10. มีด
11. นาฬิกาจับเวลา
12. กล่องพลาสติกใส่แผ่นฟิล์ม CR - 39
13. กรรไกร
14. บีกเกอร์ ขนาด 1000 cm^3
15. เทอร์โมมิเตอร์
16. เครื่องต้มน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (ยี่ห้อ Grant W14)
17. ตะแกรงแขวนแผ่นฟิล์ม CR – 39
18. ขอเกี่ยวใช้แขวนแผ่นฟิล์ม CR – 39
19. ช้อนตักสาร
20. แท่งคนสาร
21. เครื่องอบสาร ยี่ห้อ Mammert Model 400 D 06060
22. กล้องจุลทรรศน์ ชนิด 2 ตา ยี่ห้อ Olympus รุ่น PM 6
23. เครื่องนับรอยแบบใช้มือกด
24. กระป๋องนมขนาด 2 ลิตร
25. ไมโครปิเปต
26. ตะกร้าพลาสติกใบใหญ่

2.3 วิธีดำเนินการ

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาในภาคสนาม

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์และศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ตอนที่ 1 การศึกษาในภาคสนาม

การตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนในครั้งนี้ แบ่งงานภาคสนามออกเป็น

2.3.1 **การตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน** แบ่งออกเป็น

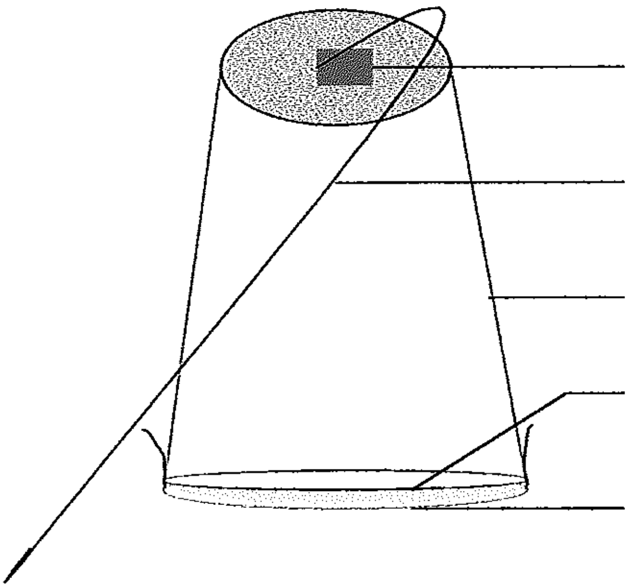
2.3.1.1 ร่วมมือกับโรงเรียนโดยผ่านทางคณะครูและนักเรียน

1 ให้ความรู้เกี่ยวกับก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนแก่นักเรียน โดยใช้เครื่องฉายสไลด์และชุดสไลด์เรื่องก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนประกอบการบรรยาย

2 สาธิตวิธีการประกอบชุดการตรวจวัดก๊าซเรดอนให้นักเรียนดู พร้อมทั้งแนะนำนักเรียนเกี่ยวกับการนำชุดตรวจวัดไปติดตั้งที่บ้านเรือนของตนเอง โดยมีขั้นตอนการประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนดังนี้

- นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ซึ่งเขียนหมายเลขไว้แล้วออกมาจากแผ่นอลูมิเนียมบาง
- นำด้ายขาวยาว 15 เซนติเมตร มาผูกกับถ้วยพลาสติก โดยใช้เทปใสติดแปะไว้ทะแยงกัน 3 รอบ เพื่อให้ด้ายขาวติดแน่นกับก้นถ้วยพลาสติก
- ลอกเอาแผ่นพลาสติกบางใสที่หุ้มแผ่นพลาสติก CR – 39 อยู่ทั้งสองด้านออก จากนั้นก็ติดกระดาษกาว 2 หน้า ที่แผ่นพลาสติก CR – 39 ด้านที่ไม่มีตัวเลข
- หย่อนแผ่นพลาสติก CR – 39 ลงไปติดไว้ที่ด้านในของก้นถ้วยพลาสติก
- นำแผ่นฟิล์มใสถนอมอาหารมาครอบปากถ้วยพลาสติกไว้
- นำยางวงรัดของมารัดที่ปากถ้วยพลาสติก จากนั้นดึงแผ่นฟิล์มใสถนอมอาหารให้ตึง

ครบตามขั้นตอนข้อ 2 ของหัวข้อ 2.3.1.1 จะได้ชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศ ดังภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 ลักษณะชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศ

3 ให้นักเรียนกรอกข้อมูลลงในใบกรอกข้อมูล

4 แนะนำวิธีการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนไปที่บ้านเรือน โดยเน้นให้นำไปติดตั้งที่ห้องพักผ่อน หรือชั้นล่างของบ้านเรือน

5 ให้นักเรียนที่ร่วมโครงการนำชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนไปติดตั้งไว้ที่บ้านตนเองเป็นเวลา 40 วัน เมื่อครบกำหนดให้รวบรวมแผ่นพลาสติก CR – 39 มาไว้ที่โรงเรียนโดยห่อไว้ด้วยแผ่นอลูมิเนียม

6 เมื่อครบเวลา 40 วัน ไปรับแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่โรงเรียนคืน

2.3.1.2 ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอน โดยการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนเอง

1) ติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนบางส่วนของพื้นที่ในจังหวัดสงขลา

1.1) วางแผนในการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละพื้นที่ตามจำนวนที่ต้องการ โดยการศึกษาจากแผนที่ในอำเภอต่างๆ ของจังหวัดสงขลา ที่ต้องการติดตั้งชุดตรวจวัดเพิ่มเติม เพื่อให้การติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

1.2) ประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเรดอน เหมือนกับข้อ 2 หัวข้อ 2.3.1.1

1.3) นำชุดตรวจวัดไปติดตั้งภายในบ้านเรือนของประชาชนโดยการพูดคุยอธิบาย และขออนุญาตในการติดตั้งชุดตรวจวัดกับเจ้าของบ้านเรือน

1.4) นำชุดตรวจวัดไปติดตั้งไว้ที่บริเวณชั้นล่างของบ้านเรือนหรือบริเวณที่ไม่มีช่องระบายอากาศ ดังภาพประกอบ 2.2 (a)

1.5) บันทึกข้อมูลตำแหน่งพิกัด (E/N) ของบ้านเรือนที่ได้ติดตั้งชุดตรวจวัด ด้วยเครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ลงในใบกรอกข้อมูล

1.6) เมื่อทำการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนหลังแรกเสร็จแล้ว ในการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนหลังอื่นๆ ทำตามขั้นตอนเหมือนกับ ข้อ 1.1) – 1.5)

1.7) เมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้ 40 วัน เก็บชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนที่ติดตั้งไว้ภายในบ้านเรือนของประชาชน กลับมายังห้องปฏิบัติการ

2.3.2 การตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

2.3.2.1 วางแผนในการติดตั้งชุดการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา โดยการศึกษาแผนที่ของอำเภอนาหม่อม งานในส่วนนี้ได้ทำการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนประชาชน ไปตามถนนสายต่างๆ ของอำเภอนาหม่อมทั้งหมด 70 จุด แต่ละจุดห่างกันประมาณ 1 กิโลเมตร

2.3.2.2 ประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเรดอน เหมือนกับข้อ 2 หัวข้อ 2.3.1.1

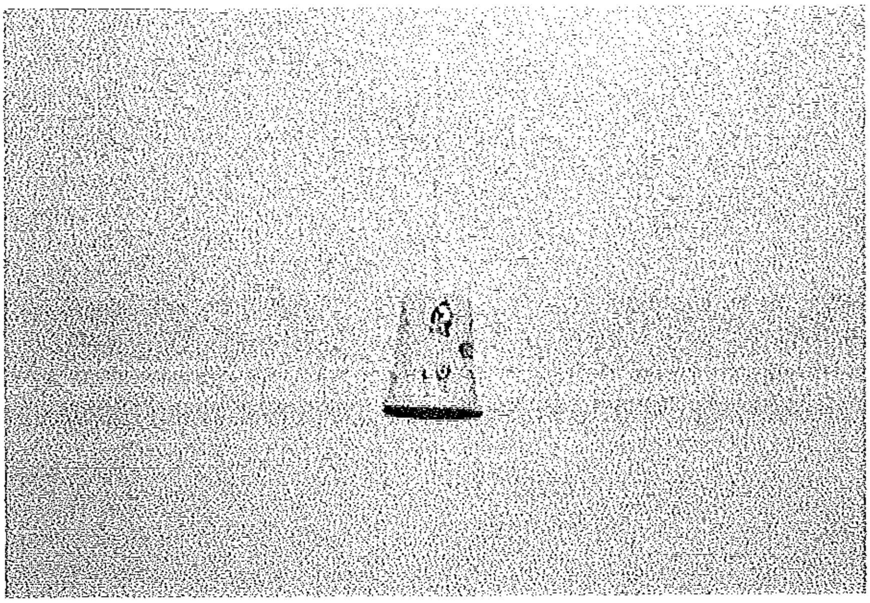
2.3.2.3 นำชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนไปติดตั้งโดยการแขวนไว้กับพุ่มไม้ ให้สูงจากพื้นดินประมาณ 1.60 เมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 (b)

2.3.2.4 บันทึกข้อมูลตำแหน่งพิกัด (E/N) ของจุดที่ตรวจวัด ด้วยเครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ และข้อมูลอื่นๆ ลงในใบกรอกข้อมูล เพื่อสะดวกในการเก็บข้อมูลคืน

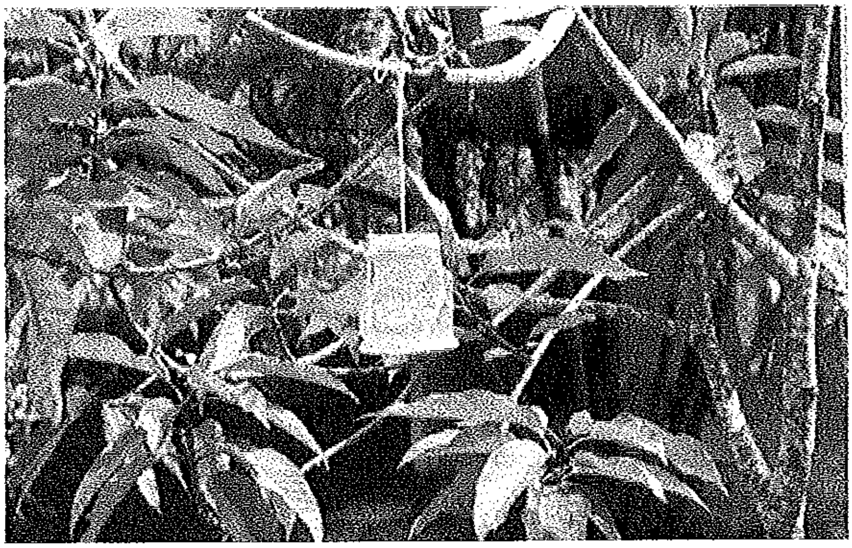
2.3.2.5 เมื่อทำการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนที่จุดแรกเสร็จแล้ว ในการติดตั้งชุดตรวจวัดที่จุดอื่นๆ ทำตามขั้นตอนเหมือนกับ ข้อ 2.3.2.1 – 2.3.2.4

2.3.2.6 เมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้ 40 วัน เก็บชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนที่ติดตั้งไว้กลับมายังห้องปฏิบัติการ

(a) ภายในบ้านเรือน



(b) ภายนอกบ้านเรือน



ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอน (a) ภายในบ้านเรือน

(b) ภายนอกบ้านเรือน

2.3.3 การตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน (Soil gas) ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

2.3.3.1 ศึกษาแผนที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

2.3.3.2 กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างประมาณ 150 ตัวอย่าง โดยคำนวณจากการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินตามเส้นทางถนนทุก 0.5 กิโลเมตร โดยครอบคลุมทั้งอำเภอนาหม่อม

2.3.3.3 ประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1 ประกอบชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนเหมือนกับข้อ 2 หัวข้อ 2.3.1.1

2 นำไม้เสียบลูกชิ้นมาวางพาดบนก้นถ้วยพลาสติก แล้วใช้ด้ายขาวพันไม้เสียบลูกชิ้นยึดให้แน่นกับก้นถ้วยพลาสติก

3 ใช้เทปใสปิดทับบนไม้เสียบลูกชิ้นที่ยึดแน่นกับถ้วยพลาสติก เพื่อให้ไม้เสียบลูกชิ้นยึดติดกับก้นถ้วยพลาสติกมากยิ่งขึ้น

ครบขั้นตอนที่ 1 – 3 จะได้ชุดตรวจวัดก๊าซเรดอน สำหรับนำไปติดตั้งในอากาศของหลุมดิน ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 2.3

2.3.3.4 ใช้เครื่องเจาะหลุมดินเจาะดินเป็นหลุมลึกประมาณ 35 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร

2.3.3.5 นำชุดตรวจวัดลงไปวางที่ปากหลุม จากนั้นหาเศษไม้แห้ง 4 – 5 อัน ความยาวประมาณ 20 เซ็นติเมตร มาวางพาดบนปากหลุม

2.3.3.6 นำถุงพลาสติกซึ่งตัดเป็นแผ่นแล้ว ขนาด 14 x 18 นิ้ว มาวางครอบปากหลุมไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 จากนั้นนำดินมากลบลงบนบริเวณปากหลุม

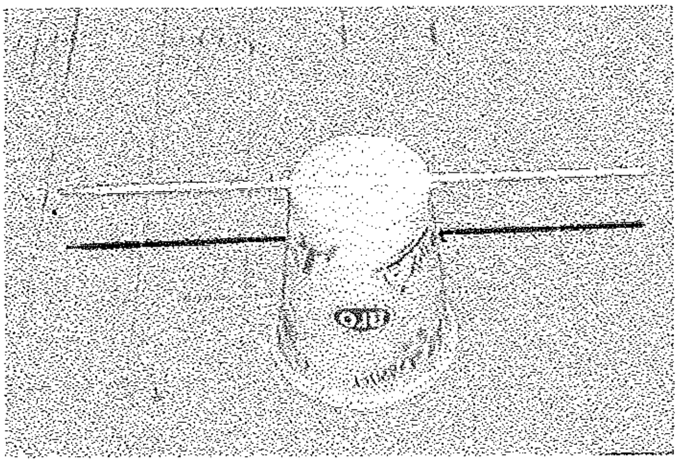
2.3.3.7 ใช้สีสเปรย์สีขาวพ่นที่โคนต้นไม้หรือบนใบไม้ ในบริเวณที่ทำการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอน

2.3.3.8 บันทึกตำแหน่งพิกัด (E/N) ของหลุมดินแต่ละจุด โดยใช้เครื่องมืออ่านพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS)

2.3.3.9 เมื่อทำการติดตั้งชุดตรวจวัดในจุดแรกเสร็จสิ้นแล้ว การติดตั้งในจุดต่อไปทำตามขั้นตอนเหมือนกับข้อ 2.3.3.4 – 2.3.3.8 จนครบทุกจุดตามที่ต้องการ

2.3.3.10 เมื่อครบ 40 วัน เก็บชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนกลับมาไว้ที่ห้องปฏิบัติการ

ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน



ภาพประกอบ 2.4 ลักษณะการติดตั้งชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน

2.3.4 การเก็บตัวอย่างดินของอำเภอนาหม่อม มาทำการตรวจวัดก๊าซเรดอน

ตัวอย่างดินที่นำมาตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน เป็นดินที่นำมาจากตำแหน่งเดียวกับที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.3.4.1 ทำการเก็บตัวอย่างดินที่บริเวณด้านล่างของก้นหลุม ในแต่ละจุดของข้อ 2.3.3.4 มาใส่ถุงพลาสติกขนาด 9 x 14 นิ้ว ที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นใช้ยางวงรัดของรัดปากถุงพลาสติกให้เรียบร้อยแล้วนำมาใส่รวมไว้ในตะกร้าพลาสติกใบใหญ่

2.3.4.2 เขียนหมายเลขบนถุงพลาสติก โดยให้หมายเลขบนถุงพลาสติกที่ใส่ดินตรงกับหมายเลขแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่เป็นส่วนประกอบของชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ณ จุดนั้น (ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการใช้ข้อมูลพิกัดเดียวกับข้อ 2.3.3.8)

2.3.4.3 เมื่อเก็บตัวอย่างดินที่จุดแรกเสร็จแล้ว ในการเก็บตัวอย่างดินที่จุดอื่นๆ โดยทำตามขั้นตอน 2.3.4.1 – 2.3.4.2

2.3.5 ทำการเก็บตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา มาทำการตรวจวัดก๊าซเรดอน

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้างบ้านเรือน ทั้งหมด 121 จุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.3.5.1 ออกไปเก็บตัวอย่างทรายก่อสร้างตามอำเภอต่างๆ ของจังหวัดสงขลาตามเส้นทางถนน

2.3.5.2 เก็บตัวอย่างทรายมาใส่ถุงขนาด 9 x 14 นิ้ว ซึ่งเขียนหมายเลขไว้แล้วใช้ยางวงรัดของรัดปากถุงพลาสติก จากนั้นนำมาใส่รวมไว้ในตะกร้าพลาสติกใบใหญ่

2.3.5.3 บันทึกข้อมูลตำแหน่งพิกัด (E/N) ของทรายแต่ละตัวอย่าง โดยใช้เครื่องบอกพิกัดดาวเทียม (GPS) พร้อมทั้งจดข้อมูลอื่นๆ ลงในใบกรอกข้อมูล

2.3.5.4 เมื่อเก็บตัวอย่างทรายที่จุดแรกเสร็จแล้ว ในการเก็บตัวอย่างที่จุดอื่นๆ ทำตามขั้นข้อ 2.3.5.2 – 2.3.5.3

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์และการศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์และการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมในภาคสนามมาทำการวิเคราะห์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 9 หัวข้อ ดังนี้

2.3.6 เตรียมแผ่นพลาสติก CR – 39 สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอน

2.3.7 เตรียมสารเรดอนมาตรฐาน จากสารละลายเรเดียมมาตรฐาน

ก. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน

ข. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน

ค. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนในกลุ่มตัวอย่างดิน

ง. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนในกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง

2.3.8 สร้างเส้นกราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยของรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 กับระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาตรฐาน

2.3.9 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร

2.3.10 การตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน

2.3.11 การตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง

2.3.12 การกัดขยายรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39

2.3.13 การตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.3.14 ทำการวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ทั้งในส่วนภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนภายในห้องปฏิบัติการ

2.3.6 เตรียมแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่จะใช้สำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอน

1) นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ขนาดใหญ่ประมาณ 10 x 20 ตารางเซนติเมตร ซึ่งห่ออยู่ในแผ่นอลูมิเนียมบางออกมา ใช้มีดตัดแผ่นพลาสติก CR – 39 ออกเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1.25 x 1.25 ตารางเซนติเมตร

2) ใช้ปากกาเขียนกระดาษไข เขียนหมายเลขลงบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่บริเวณมุมด้านล่างของแผ่น

3) นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ผ่านขั้นตอนข้อ 2) แล้ว ไปห่อไว้ด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง เพื่อรอที่จะนำไปใช้ในการประกอบชุดตรวจวัดต่อไป

2.3.7 เตรียมสารเรดอนมาตรฐาน จากสารละลายเรเดียมมาตรฐาน

ทำการเตรียมสารละลายเรเดียมมาตรฐาน เพื่อให้ได้สารเรดอนมาตรฐานที่ความแรงรังสี ตามหัวข้อดังนี้ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

ก. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน

1) ที่ระดับ 83.5 Bq/m^3

2) ที่ระดับ 215.2 Bq/m^3

3) ที่ระดับ 443.4 Bq/m^3

4) ที่ระดับ 864.5 Bq/m^3

ข. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน

1) ที่ระดับ 2,663 Bq/m^3

2) ที่ระดับ 3,893 Bq/m^3

3) ที่ระดับ 8,424 Bq/m^3

4) ที่ระดับ 16,744 Bq/m^3

ค. สำหรับใช้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน และกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง

1) ที่ระดับ 53.3 Bq/kg

2) ที่ระดับ 77.9 Bq/kg

3) ที่ระดับ 168.5 Bq/kg

4) ที่ระดับ 334.9 Bq/kg

2.3.8 สร้างเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐาน (Standard calibration curve) ระหว่างความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา กับระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาตรฐาน

2.3.8.1 หาเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐาน สำหรับใช้หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา และที่ได้จากการตรวจวัดภายนอกบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

โดยการเตรียมความแรงสารเรดอนมาตรฐานไว้ 5 ระดับ คือ 0, 83.4, 215.3, 443.4 และ 864.5 Bq/m^3 เมื่อนำผลที่ได้จากการตรวจวัด มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 กับระดับความเข้มข้นของสารเรดอนมาตรฐานที่ทราบค่า จะแสดงได้ดัง ตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ผลการเตรียมสารเรดอนมาตรฐาน สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา ใน 40 ตารางมิลลิเมตร	ค่าความคลาดเคลื่อน (รอย/40 ตารางมิลลิเมตร)
0	0	0
83.4	9	3
215.2	21	5
443.4	51	7
864.5	92	10

เมื่อนำผลจากตาราง 2.1 มาเขียนกราฟปรับเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีของก๊าซเรดอน (Bq/m^3) กับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 (รอย/40ตารางมิลลิเมตร) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ด้วยสมการ $Y = 9.27 * X$ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 2.5 โดยที่

Y คือ ความแรงรังสีของก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายใน

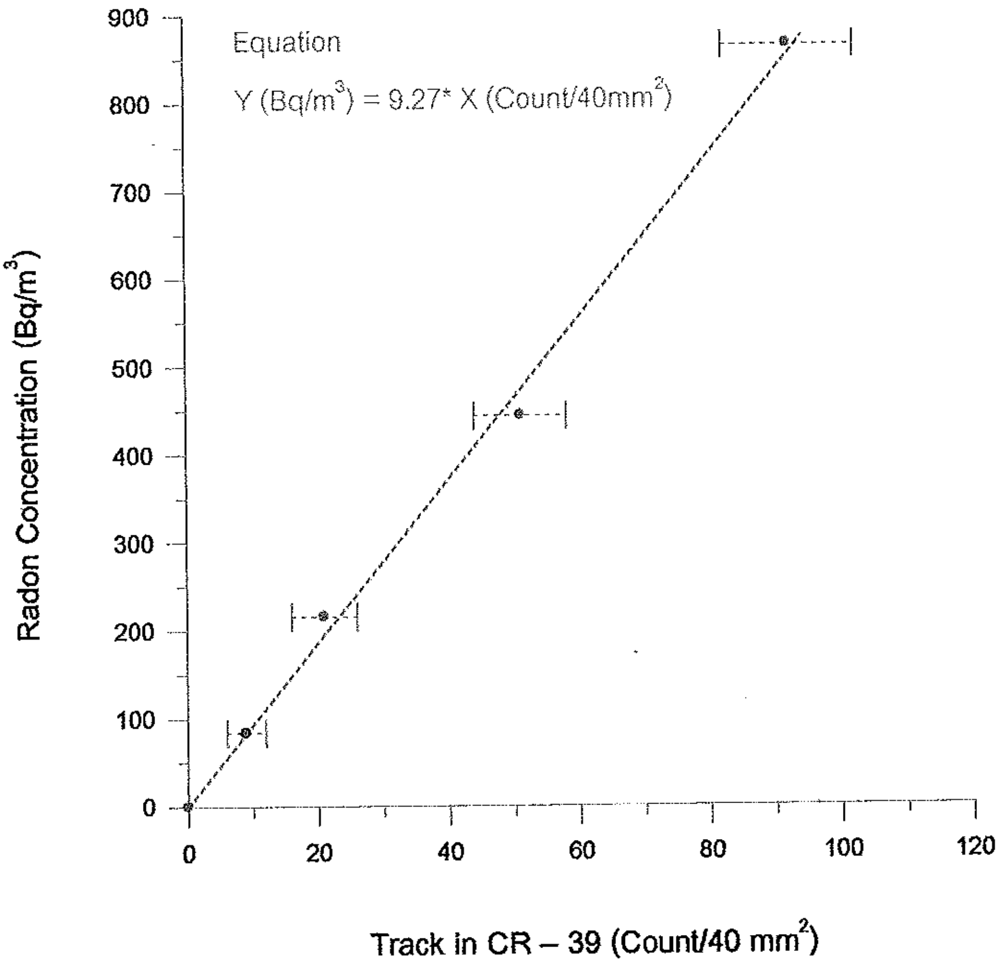
และภายนอกบ้านเรือน (Bq/m^3)

X คือ ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39

ต่อ 40 ตารางมิลลิเมตร ($Count/40\ mm^2$)

ซึ่งสมการที่ได้นี้จะใช้เป็นกราฟปรับเทียบมาตรฐาน เพื่อหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่ได้จากการตรวจวัดภายในและภายนอกบ้านเรือน

ภาพประกอบ 2.5 กราฟปรับเทียบมาตรฐานสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน



2.3.8.2 หาเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐาน สำหรับใช้หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน (Soil gas)

ในการหาเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐานของกรณีนี้ มีขั้นตอนเช่นเดียวกับ ข้อ 3.1 โดยการเตรียมความแรงสารเรดอนมาตรฐานไว้ 5 ระดับ คือ 0, 2,663, 3,893, 8,224 และ 16,744 Bq/m^3 และทำการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ ของสารเรดอนมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ผลการเตรียมสารเรดอนมาตรฐาน สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน

ระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา ใน 1 ตารางเซนติเมตร	ค่าความคลาดเคลื่อน (รอย/ตารางเซนติเมตร)
0	0	0
2663	1300	36
3893	2064	45
8424	5648	75
16744	10484	102

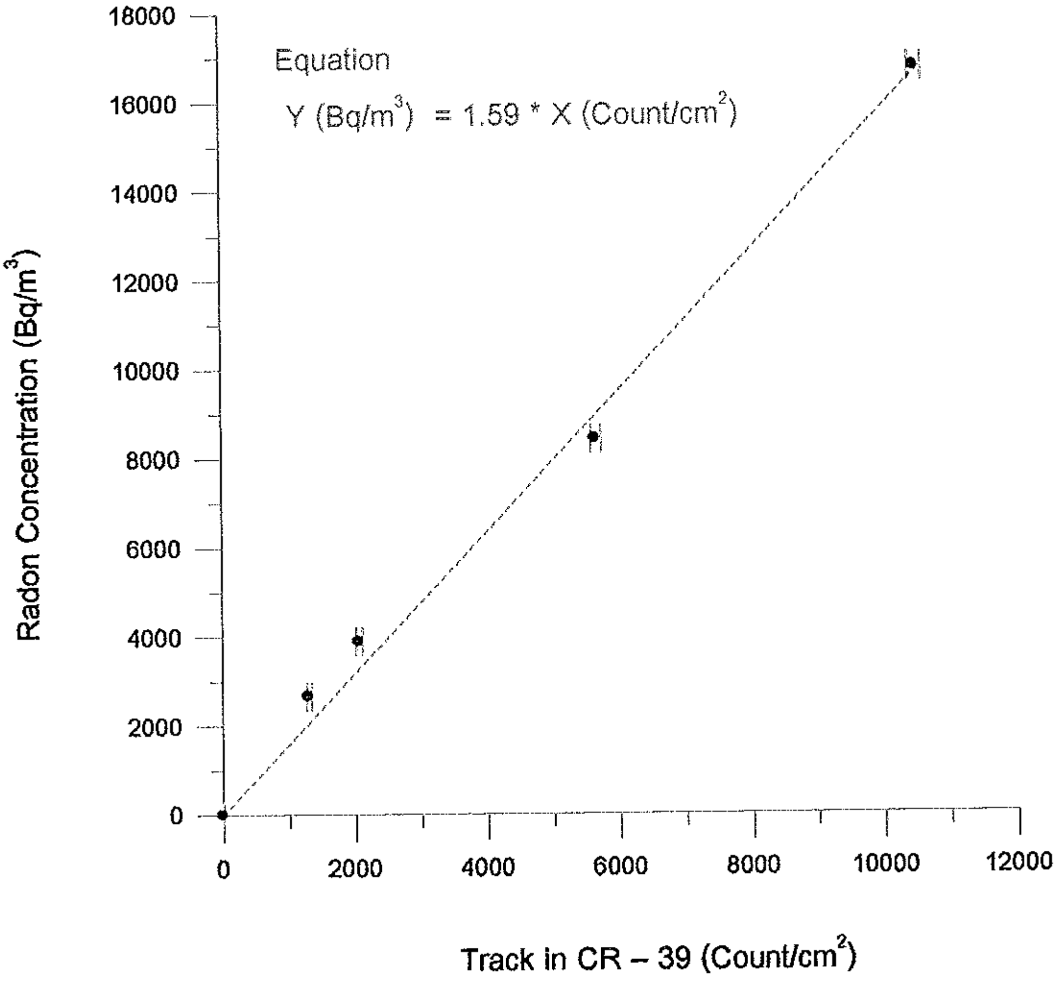
เมื่อนำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาเขียนกราฟปรับเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีของก๊าซเรดอน (Bq/m^3) กับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 (รอย/ตารางเซนติเมตร) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถแทนความสัมพันธ์ได้ด้วย สมการ $Y = 1.59 * X$ ดังแสดงไว้ใน ภาพประกอบ 2.6 โดยที่

Y คือ ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดในอากาศของหลุมดิน (Bq/m^3)

X คือ ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ต่อตารางเซนติเมตร (Count/cm^2)

สมการนี้ใช้สำหรับหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่อำเภอนาหม่อม

ภาพประกอบ 2.6 กราฟปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน



2.3.8.3 หาเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐาน สำหรับใช้หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา และกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

ในการหาเส้นกราฟปรับเทียบมาตรฐานในส่วนนี้ มีขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 3.1 โดยการเตรียมความแรงสารเรดอนมาตรฐานไว้ 5 ระดับ คือ 0, 53.3, 77.9, 168.5

และ 334.9 Bq/kg และทำการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ระดับความแรงรังสีต่างๆ ของสารมาตรฐานเรดอน ได้ผลดังแสดงใน ตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ผลการเตรียมสารเรดอนมาตรฐาน สำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและทรายก่อสร้าง

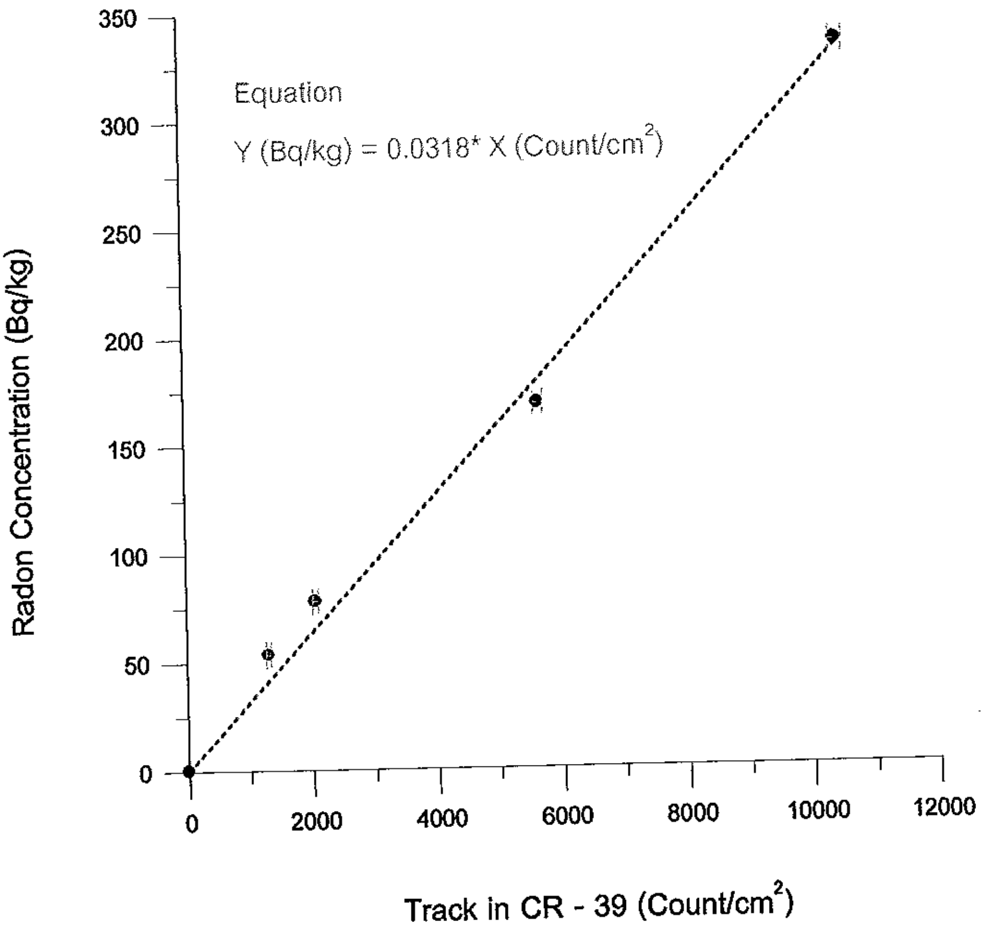
ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)	ความหนาแน่นรอยต่อ 1 ตารางเซนติเมตร	ค่าความคลาดเคลื่อน (รอย/1ตารางเซนติเมตร)
0	0	0
53.3	1300	36
77.9	2064	45
168.5	5648	75
334.9	10484	102

เมื่อนำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาเขียนกราฟปรับเทียบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีของก๊าซเรดอน (Bq/kg) กับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 (รอย/ตารางเซนติเมตร) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถแทนความสัมพันธ์ได้ด้วยสมการ $Y = 0.0318 * X$ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 2.7 โดยที่

Y คือ ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและทราย (Bq/kg)

X คือ ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ต่อตารางเซนติเมตร (Count/cm^2)

ภาพประกอบ 2.7 กราฟปรับเทียบมาตรฐาน สำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจาก กลุ่มตัวอย่างดินและกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง



2.3.9 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 2.5 โมล/ ลิตร

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสำหรับใช้ในการกัดขยายรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 250 กรัม ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง มาใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 1 ลิตร

2) ใส่น้ำกลั่นลงไปในบีกเกอร์ให้มีปริมาตร 1 ลิตร แล้วใช้แท่งคนสารละลายโซเดียมไฮโดรอกไซด์ให้ละลายในน้ำกลั่นจนหมด

ครบขั้นตอน 1) – 2) จะได้สารละลายสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร

2.3.10 การตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่นำมาตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน เป็นดินที่เก็บมาจากพื้นที่ของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา การตรวจวัดในหัวข้อนี้ มีขั้นตอนดังนี้

1 นำดินในแต่ละตัวอย่างมาใส่ถ้วย (เส้นผ่าศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร)

2 บันทึกหมายเลขถุงพลาสติกที่ใส่ดินกับหมายเลขของถ้วยที่ใช้ เพื่อป้องกันการปะปนและสลับกันของกลุ่มดินตัวอย่าง

3 นำตัวอย่างดินในแต่ละถ้วยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

4 นำกลุ่มดินตัวอย่างในข้อ 3 มาชั่งกับเครื่องชั่งสารแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละตัวอย่างชั่งมาประมาณ 100 กรัม

5 นำกลุ่มดินตัวอย่าง ในข้อ 5 มาใส่ในภาชนะปิด (กระป๋องนม ขนาด 2 ลิตร)

6 นำชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนมาติดไว้กับฝาด้านในภาชนะปิด หลังจากนั้นปิดฝาภาชนะปิดให้สนิท ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 40 วัน

7 เมื่อครบเวลากำหนด 40 วัน นำชุดตรวจวัดออกมาจากภาชนะปิด

8 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ไปเจาะรูด้วยสว่านดอกเล็กที่มุมของแผ่นพลาสติก

9 นำแผ่นพลาสติก CR - 39 ที่ผ่านขั้นตอนข้อ 1 – 8 มากัดขยายรอย

10 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ผ่านกระบวนการกัดขยายรอยแล้ว มาจัดเรียงตามลำดับหมายเลข จากนั้นนำมาวางเรียงไว้บนแผ่นกระจกสไลด์ แล้วยึดแผ่นพลาสติก CR –39 ไว้กับแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทปใส เสร็จแล้วนำมาใส่ไว้ในกล่องพลาสติกที่ใช้สำหรับใส่แผ่นกระจกสไลด์

11 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ผ่านขั้นตอนข้อ 10 มาทำการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา

2.3.11 การตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง

1 นำทรายแต่ละตัวอย่างมาใส่ถ้วยกระเบื้อง จดบันทึกหมายเลขถุงพลาสติกที่ใส่ทรายและหมายเลขถ้วยไว้ เพื่อป้องกันการปะปน

2 นำตัวอย่างทรายจากข้อ 1 ไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

3 เมื่อครบ 10 ชั่วโมง นำตัวอย่างทรายออกมาจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นนำทรายแต่ละตัวอย่างมาชั่งให้ได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัม

4 นำตัวอย่างทรายในข้อ 3 มาใส่ในภาชนะปิดสนิทปริมาตร 2 ลิตร ใช้ผ้าเทปติดชุดตรวจวัดเข้ากับฝาด้านในของภาชนะปิด จากนั้นปิดฝาภาชนะปิดให้สนิท แล้วทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนเป็นเวลา 40 วัน เมื่อครบ 40 วัน นำชุดตรวจวัดออกมาจากภาชนะปิด

5 เจาะรูแผ่นพลาสติก CR - 39 ของข้อ 4 ที่มุมแผ่นด้วยสว่านดอกเล็ก เพื่อให้สะดวกสำหรับแขวนในขั้นตอนของการกัดขยายรอย

6 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ทั้งหมดในข้อ 5 มาทำการกัดขยายรอย

7 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ทั้งหมดในข้อ 6 มาวางเรียงบนแผ่นกระจกสไลด์ แล้วยึดแผ่นพลาสติก CR – 39 ไว้กับแผ่นกระจกสไลด์ด้วยเทปใส เสร็จแล้วนำมาใส่ไว้ในกล่องพลาสติกที่ใช้สำหรับใส่แผ่นกระจกสไลด์

8 นำแผ่นแผ่นพลาสติก CR – 39 ทั้งหมด มาทำการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา

2.3.12 การกัดขยายรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39

เพื่อให้การนับรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 (Polycarbonate) ของสารมาตรฐานและที่เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการตรวจวัด

- ภายในและภายนอกบ้านเรือน
- ในอากาศของหลุมดิน
- ในกลุ่มตัวอย่างดินและทรายก่อสร้าง

มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุดนั้น เงื่อนไขที่ใช้ในการกัดขยายรอยแต่ละครั้งต้องเหมือนกันตลอด

1) เงื่อนไขการกัดขยายรอยของแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ คือ กัดขยายรอยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ใช้เวลากัดขยายรอย 100 นาที (สุขสวัสดิ์, 2543)

2) ขั้นตอนการกัดขยายรอยแผ่นพลาสติก CR – 39 มีดังนี้

1 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 6.25 โมล/ลิตร (จาก NaOH 250 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นจนได้ปริมาณ 1000 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร) นำมาใส่ในบีกเกอร์ 1000 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร จากนั้นนำบีกเกอร์ไปแช่ไว้ในเครื่องต้มน้ำ โดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องไว้ที่ 87.5 องศาเซลเซียส

2 นำเทอร์โมมิเตอร์ไปจุ่มในบีกเกอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าคงที่เท่ากับ 85 องศาเซลเซียส

3 เมื่ออุณหภูมิของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในบีกเกอร์ อยู่ที่ 85 องศาเซลเซียส นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ซึ่งแขวนไว้กับตะแกรงมาแช่ลงในบีกเกอร์ แล้วใช้เวลาในการกัดขยายรอย 100 นาที ดังแสดงในภาพประกอบ 2.8

4 เมื่อครบ 100 นาที นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่กัดขยายรอยเสร็จแล้วไปล้างน้ำสะอาด เพื่อหยุดปฏิกิริยาทางเคมี

5 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 มาตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง หลังจากนั้นใช้กระดาษทิชชู่เช็ดเบาๆ เพื่อทำความสะอาดคราบบนแผ่นพลาสติกอีกครั้งหนึ่ง

2.3.13 การตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาด้วยกล้องจุลทรรศน์

1) อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

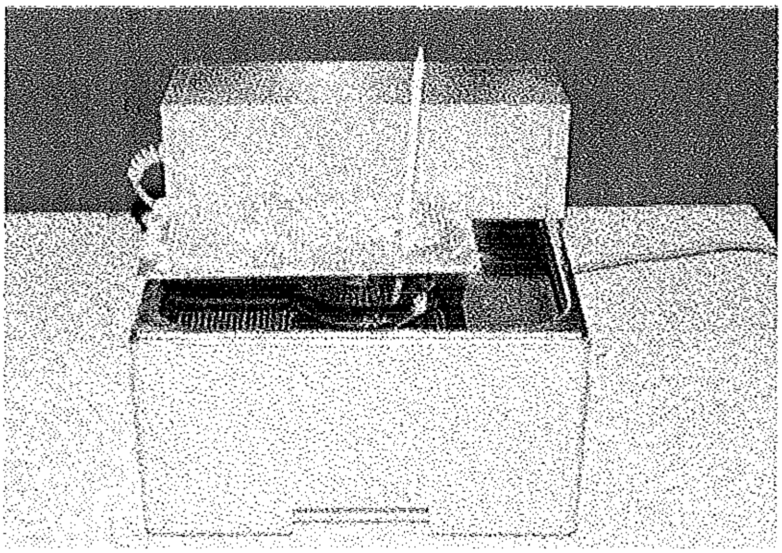
1 กล้องจุลทรรศน์ชนิด 2 ตา กำลังขยาย 10, 40, 100 เท่า ยี่ห้อ Olympus รุ่น PM 6 ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9

2 Ocular micrometer เป็นแผ่นกระจกที่มีสเกลเป็นตารางสี่เหลี่ยม ซึ่งมี 100 ช่องย่อยโดยติดไว้ที่เลนซ์ตา เพื่อเพิ่มความสะดวกในการนับ

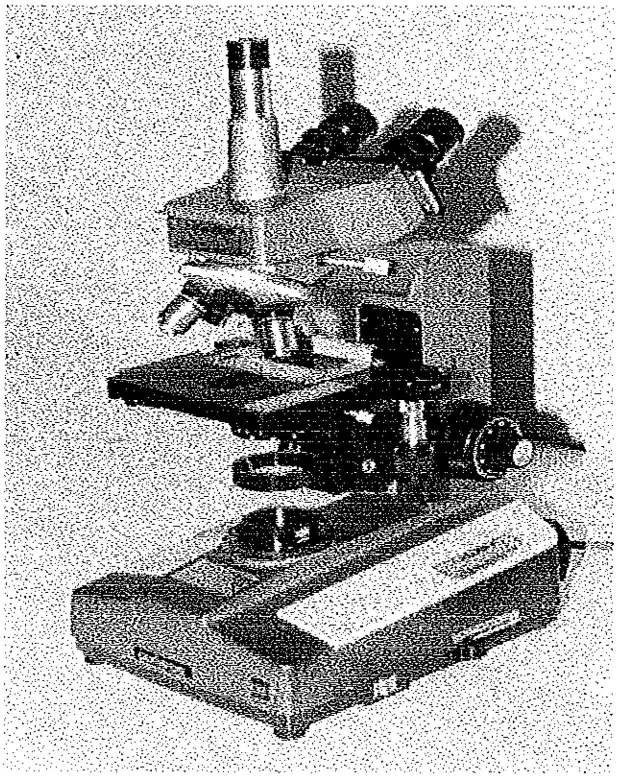
3 แผ่นกระจกสไลด์ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานทั่วไป สำหรับเป็นฐานวางแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่จะตรวจนับรอยรังสีแอลฟา

4 กล่องใส่แผ่นสไลด์ เพื่อใช้เก็บแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ติดบนกระจกสไลด์ และสะดวกในการแยกข้อมูลในแต่ละแห่งออกจากกัน

ภาพประกอบ 2.8 การกัดขยายรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR - 39 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)



ภาพประกอบ 2.9 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR - 39

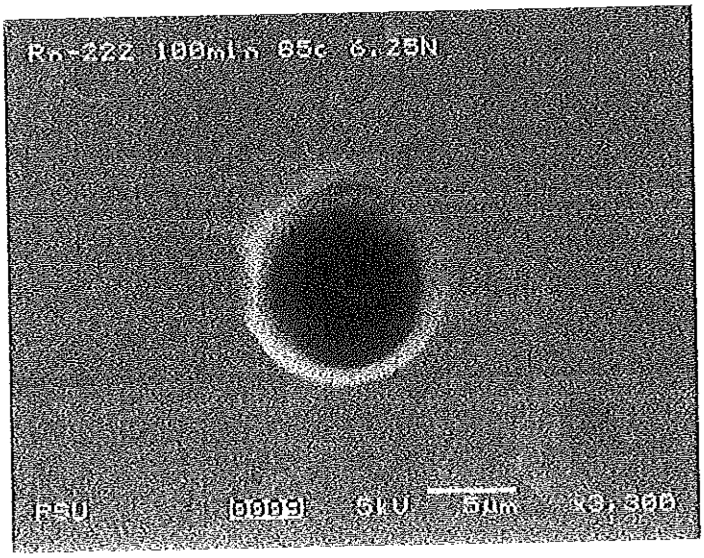


2) วิธีการตรวจนับความหนาแน่นรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์

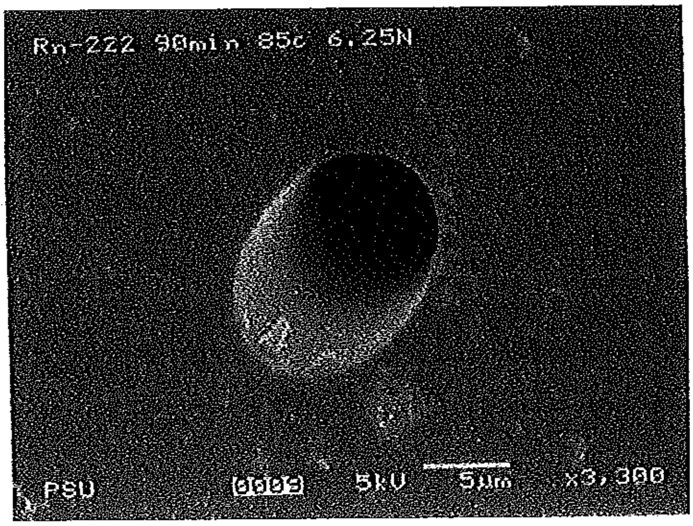
1 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ประกอบบนแผ่นสไลด์เรียบร้อยแล้ว ไปวางไว้บนฐานของกล้องจุลทรรศน์ ใช้กำลังขยายขนาด 10 เท่า ปรับโฟกัสจนเห็นรอยบริเวณผิวด้านหน้าที่เขียนตัวเลขไว้อย่างชัดเจน ทำการนับจำนวนรอยที่ปรากฏในกรอบตารางสี่เหลี่ยมทั้งหมด (100 ช่องย่อย ต่อ 1 กรอบ) และทำการนับความหนาแน่นรอยทั้งหมด 40 กรอบ (40 ตารางมิลลิเมตร) สำหรับการตรวจวัดภายในและภายนอกบ้านเรือน และทำการนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา 25 กรอบ (25 ตารางมิลลิเมตร) (ดูในภาคผนวก ฉ) สำหรับการตรวจวัดในอากาศของหลุมดิน และที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน, ทราย โดยบันทึกจำนวนรอยของแต่ละกรอบลงในกระดาษบันทึกข้อมูล

3) ตัวอย่างลักษณะรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ได้จากการตรวจวัดภายในบ้านเรือน ซึ่งจะแสดงดังภาพประกอบ 2.10 (a) และ (b) ตามลำดับ

ภาพประกอบ 2.10 ลักษณะรอยรังสีแอลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นพลาสติก CR – 39 เมื่อ
(a) รังสีแอลฟาเคลื่อนที่มาชนแผ่นพลาสติก CR – 39 แบบตรงๆ
(b) รังสีแอลฟาเคลื่อนที่มาชนแผ่นพลาสติก CR – 39 แบบเฉียง
ที่มา : สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล (2543)



(a) รังสีแอลฟาเคลื่อนที่มาชนแผ่นพลาสติก CR – 39 แบบตรงๆ



(b) รังสีแอลฟาเคลื่อนที่มาชนแผ่นพลาสติก CR – 39 แบบเฉียง

2.3.14 การวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของกลุ่มตัวอย่าง

2.3.14.1 การวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา จะใช้สมการที่ (2.1)

$$Y = 9.27 * X \quad (Bq/m^3) \qquad .... (2.1)$$

Y คือ ความแรงรังสีของก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายในและภายนอกบ้านเรือน (Bq/m^3)

X คือ ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ต่อ 40 ตารางมิลลิเมตร ($Count/40\ mm^2$)

2.3.14.2 การวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในอากาศของหลุมดิน (Soil gas) ของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา จะใช้สมการที่ (2.2)

$$Y = 1.59 * X \quad (Bq/m^3) \qquad .... (2.2)$$

Y คือ ความแรงรังสีของก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายในอากาศของหลุมดิน (Bq/m^3)

X คือ ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ใน 1 ตารางเซนติเมตร ($Count/cm^2$)

2.3.14.3 การวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน และกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง จะใช้สมการที่ (2.3)

Y = 0.0318 * X (Bq/kg) .... (2.3)

Y คือ ความแรงรังสีของก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและทรายก่อสร้าง (Bq/kg)

X คือ ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ใน 1 ตารางเซนติเมตร (Count/cm^2)

2.3.15 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean, AM) ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงความถี่ โดยหาได้จาก

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \qquad \text{........ (2.4)}$$

เมื่อ X_i เป็นค่าข้อมูลแต่ละตัว ; n เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้ทำการแจกแจงความถี่ของข้อมูล จึงหาได้จาก

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n}} \qquad \text{........ (2.5)}$$

เมื่อ X_i เป็นค่าจุดกึ่งกลางชั้น ; K เป็นจำนวนชั้น ; f_i เป็นความถี่ของชั้น

$\bar{X}$ เป็นค่าส่วนเฉลี่ยเลขคณิต ; n เป็นจำนวนความถี่ทั้งหมด

เหตุผลในการใช้ค่าสถิติเหล่านี้

1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตจะนิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับเป็นตัวแทนมาตราวัดแนวโน้วสู่ส่วนกลาง และมีค่าที่แปรเปลี่ยนไปตามตัวอย่างสุ่ม

2 การวัดการกระจายแบบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นการวัดการกระจายของข้อมูลที่ดีที่สุด และใช้กันมากที่สุดในทางสถิติ มีประโยชน์ในการที่จะอนุมานค่าบางอย่างของข้อมูลประชากรจากตัวอย่าง ทั้งนี้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการวัดส่วนเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวอย่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต

3 จากการศึกษาเอกสารการตรวจวัดก๊าซเรดอนในต่างประเทศ พบว่าในการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ส่วนใหญ่นิยมใช้ค่าสถิติทั้งสองอย่างนี้มากที่สุด

บทที่ 3

ผลและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลและอภิปรายผลการวิจัย หลังจากได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเสร็จแล้ว โดยจะนำเสนอในแต่ละหัวข้อตามลำดับต่อไปนี้

3.1 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา
- 3.1.1 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในระดับตำบล
- 3.1.2 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในระดับอำเภอ
- 3.1.3 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในระดับจังหวัด
- 3.1.4 การวิเคราะห์ผลของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายในบ้านเรือน ของจังหวัดสงขลากับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ 148 และ 296 Bq/m^3

3.2 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อมที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษาพิเศษ

3.3 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม

3.4 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่ออกมาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

3.5 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่ออกมาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

3.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนกับความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดของประชาชน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

3.1 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ของประชาชนทั้งสิ้น 1375 หลัง ครอบคลุมพื้นที่ทุกอำเภอและเกือบทุกตำบลของจังหวัดสงขลา โดยใช้ชุดตรวจวัดรอยรังสีแอลฟา (Alpha Track Detector) ชนิดแผ่นพลาสติก CR – 39

การตรวจวัดเป็นเวลา 40 วัน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ละเอียด จึงได้นำเสนอตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

3.1.1 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในระดับตำบล

ความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของแต่ละอำเภอที่ได้ จะแสดงเป็นค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ยกเว้นตำบลที่มีจำนวนตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง จะแสดงเฉพาะระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเพียงอย่างเดียว) ดังแสดงในตาราง 3.1 ถึง 3.16

เมื่อนำระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในแต่ละตำบล มาแสดงในลักษณะที่เป็นตัวเลขและใช้การระบายสีแทนความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ระดับต่างๆ ในบริเวณขอบเขตตำบลของแผนที่อำเภอและแผนที่จังหวัดสงขลา ดังภาพประกอบ 3.1 – 3.16 ซึ่งแสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในแต่ละตำบลของอำเภอต่างๆ และภาพประกอบ 3.17 ซึ่งเป็นการแสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของแต่ละตำบล ในจังหวัดสงขลา

ตาราง 3.1 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบล ของอำเภอนาหม่อม

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	คลองหรัง	18	167	742	393	144	393 ± 144
2	ทุ่งขมิ้น	25	121	556	304	102	304 ± 102
3	นาหม่อม	34	103	201	313	96	313 ± 96
4	พิจิตร	12	195	436	318	80	318 ± 80
	รวมทั้งหมด	89					

ตาราง 3.2 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอนาทวี

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	คลองกวาง	4	231	478	350	125	350 ± 125
2	คลองทราย	8	92	255	196	53	196 ± 53
3	ฉาง	8	115	367	250	74	250 ± 74
4	ทับช้าง	8	167	318	289	154	289 ± 154
5	ท่าประดู่	6	157	260	220	40	220 ± 40
6	นาทวี	27	99	659	297	151	297 ± 151
7	ประกอบ	2	255	511	383	181	383 ± 181
8	ปลักหนู	1	247	247	247	-	247
9	สะท้อน	9	148	593	261	149	261 ± 149
	รวมทั้งหมด	73					

ตาราง 3.3 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอสิงหนคร

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	ชะแล้	4	204	352	271	74	271 ± 74
2	บางเขียด	6	83	547	269	160	269 ± 160
3	ปากรอ	3	148	297	238	79	238 ± 79
4	ป่าขาด	1	213	213	213	-	213
5	รำแดง	1	334	334	334	-	334
6	วัดขนุน	1	176	176	176	-	176
	รวมทั้งหมด	16					

ตาราง 3.4 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอหาดใหญ่

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	คลองแห	3	167	325	244	79	244 ± 79
2	ควนลัง	3	237	332	295	51	295 ± 51
3	คอหงส์	17	46	625	268	140	268 ± 140
4	ฉลุง	1	272	272	272	-	272
5	ท่าข้าม	1	464	464	464	-	464
6	ทุ่งใหญ่	1	399	399	399	-	399
7	น้ำน้อย	4	56	250	139	91	139 ± 91
8	บ้านพรุ	15	93	473	282	137	282 ± 137
9	พะตง	10	130	399	255	92	255 ± 92
10	เทศบาลหาดใหญ่	90	64	909	288	177	288 ± 177
	รวมทั้งหมด	146					

ตาราง 3.5 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอกระแสสินธุ์

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	กระแสสินธุ์	17	161	406	277	82	277 ± 82
2	เกาะใหญ่	23	35	458	266	113	266 ± 113
3	เชิงแส	20	124	362	244	73	244 ± 73
4	โรง	9	95	334	224	84	224 ± 84
	รวมทั้งหมด	69					

ตาราง 3.6 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอจะนะ

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	ขุนตัดหวาย	2	297	527	412	163	412 ± 163
2	คลองเปี๊ยะ	3	213	408	280	111	280 ± 111
3	คู	11	98	401	251	84	251 ± 84
4	แค	2	172	226	199	38	199 ± 38
5	จะโหน่ง	1	668	668	668	-	668
6	ตลิ่งชัน	7	74	417	203	122	203 ± 122
7	ท่าหมอไทร	9	74	445	283	122	283 ± 122
8	นาทับ	2	156	362	259	146	259 ± 146
9	นาหว้า	9	121	417	268	97	268 ± 97
10	น้ำขาว	7	176	381	246	71	246 ± 71
11	บ้านนา	17	37	502	228	106	228 ± 106
12	ป่าชิง	10	74	435	266	136	266 ± 136
13	สะกอม	34	28	677	183	124	183 ± 124
14	สะพานไม้แก่น	11	130	491	253	103	253 ± 103
	รวมทั้งหมด	125					

ตาราง 3.7 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอเมืองสงขลา

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	เกาะแต้ว	6	74	408	199	124	199 ± 124
2	เกาะยอ	6	56	269	150	86	150 ± 86
3	เขารูปช้าง	30	74	740	329	209	329 ± 209
4	ทุ่งหวัง	4	107	261	194	79	194 ± 79
5	เทศบาลเมือง	65	28	749	296	194	296 ± 194
6	พะวง	12	93	550	292	163	292 ± 163
	รวมทั้งหมด	123					

ตาราง 3.8 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอเทพา

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	เกาะสะบ้า	7	111	362	233	105	233 ± 105
2	ท่าม่วง	8	130	538	285	118	285 ± 118
3	เทพา	13	121	380	239	67	239 ± 67
4	ปากบาง	8	46	278	202	72	202 ± 72
5	ลำไพล	11	46	454	204	115	204 ± 115
6	วังใหญ่	1	74	74	74	-	74
7	สะกอม	8	121	278	202	56	202 ± 56
	รวมทั้งหมด	56					

ตาราง 3.9 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอบางกล่ำ

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	ท่าช้าง	26	56	575	260	121	260 ± 121
2	บางกล่ำ	15	121	464	284	100	284 ± 100
3	บ้านหาร	1	19	19	19	-	19
	รวมทั้งหมด	42					

ตาราง 3.10 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอระโนด

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	คลองแดน	26	19	732	247	142	247 ± 142
2	แดนสงวน	10	83	408	232	120	232 ± 120
3	ตะเครียะ	5	204	547	315	142	315 ± 142
4	ท่าบอน	15	74	528	296	128	296 ± 128
5	บ่อตรุ	11	139	584	346	133	346 ± 133
6	บ้านขาว	2	269	473	371	137	371 ± 137
7	บ้านใหม่	2	241	519	380	138	380 ± 138
8	ปากแตระ	4	315	371	343	32	343 ± 32
9	พังยาง	3	56	399	272	188	272 ± 188
10	ระโนด	32	46	640	320	134	320 ± 134
11	ระวัง	8	232	408	283	55	283 ± 55
12	วัดสน	3	260	417	315	88	315 ± 88
	รวมทั้งหมด	121					

ตาราง 3.11 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบล ของอำเภอสะบ้าย้อย

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	คูหา	22	74	670	233	163	233 ± 163
2	บ้านโหนด	8	158	527	302	113	302 ± 113
3	บาโหย	1	274	274	274	-	274
4	เปียน	10	158	367	248	68	248 ± 68
5	สะบ้าย้อย	33	83	518	225	108	225 ± 108
	รวมทั้งหมด	74					

ตาราง 3.12 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบล ของอำเภอสะเดา

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	ทุ่งหมอ	1	265	265	265	-	265
2	ปริก	12	74	341	204	80	204 ± 80
3	ปาดังเบซาร์	10	74	34	203	104	204 ± 104
4	พังลา	12	83	241	179	55	179 ± 55
5	เทศบาลสะเดา	40	83	567	288	134	288 ± 134
6	สำนักขาม	14	93	485	275	136	275 ± 136
7	สำนักแต้ว	6	327	478	370	57	370 ± 57
	รวมทั้งหมด	95					

ตาราง 3.13 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอรัตภูมิ

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	(Bq/m^3)	(AM ± SD)
1	กำแพงเพชร	33	59	797	285	153	285 ± 153
2	เขาพระ	24	121	935	337	187	337 ± 187
3	ควนรู	18	74	482	202	105	202 ± 105
4	คูหาใต้	27	56	547	316	133	316 ± 133
5	ท่าชะมวง	23	99	834	340	187	340 ± 187
	รวมทั้งหมด	125					

ตาราง 3.14 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบลของอำเภอควนเนียง

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	(Bq/m^3)	(AM ± SD)
1	ควนโส	20	111	844	279	204	279 ± 204
2	บางเหรียง	28	83	491	259	105	259 ± 105
3	รัตภูมิ	26	158	898	306	142	306 ± 142
4	ห้วยลึก	17	130	590	241	105	241 ± 105
	รวมทั้งหมด	91					

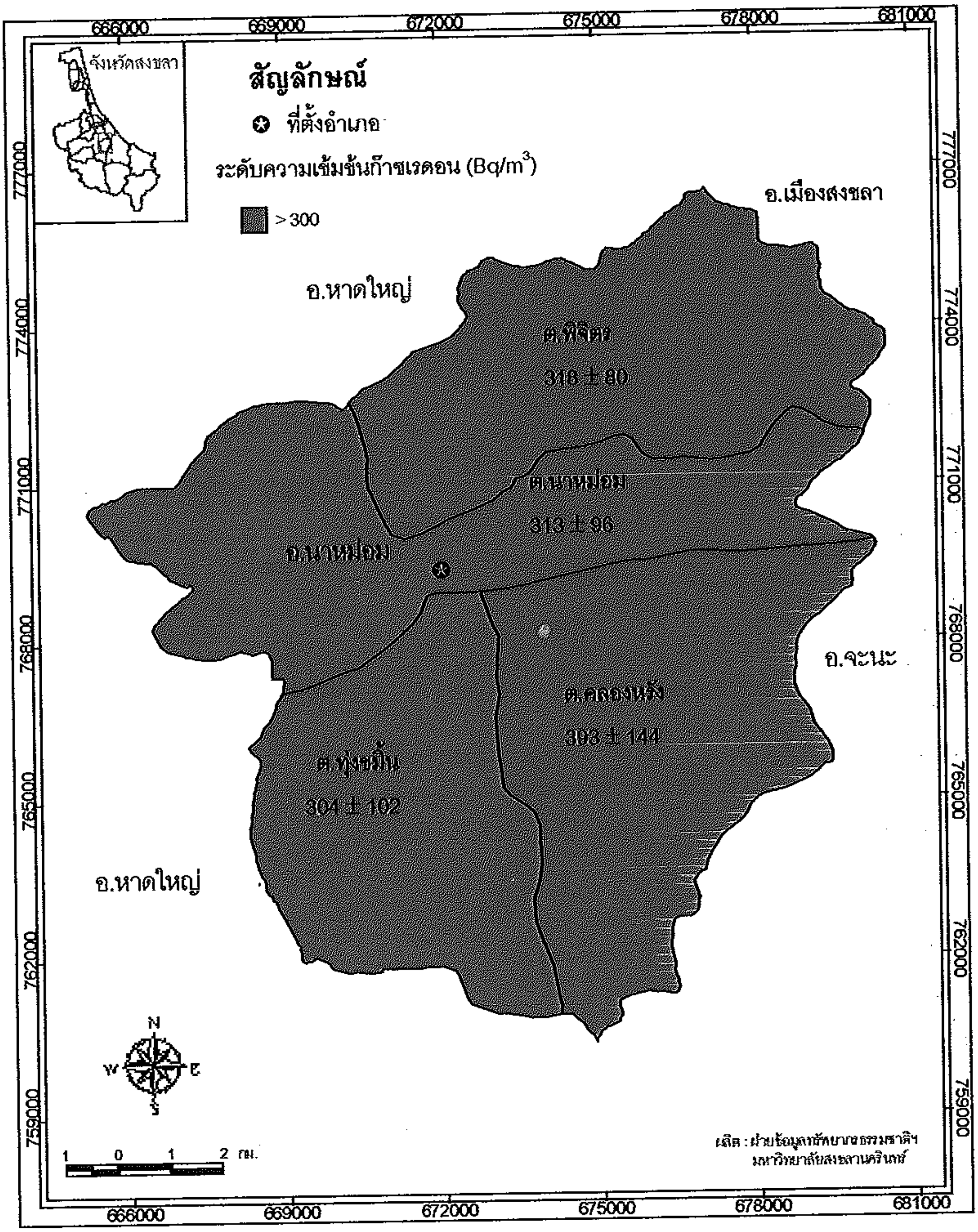
ตาราง 3.15 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบล ของอำเภอคลองหอยโข่ง

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	คลองหอยโข่ง	8	130	213	169	24	169 ± 24
2	โคกม่วง	22	111	324	182	53	182 ± 53
3	ทุ่งลาน	12	148	315	217	43	217 ± 43
	รวมทั้งหมด	42					

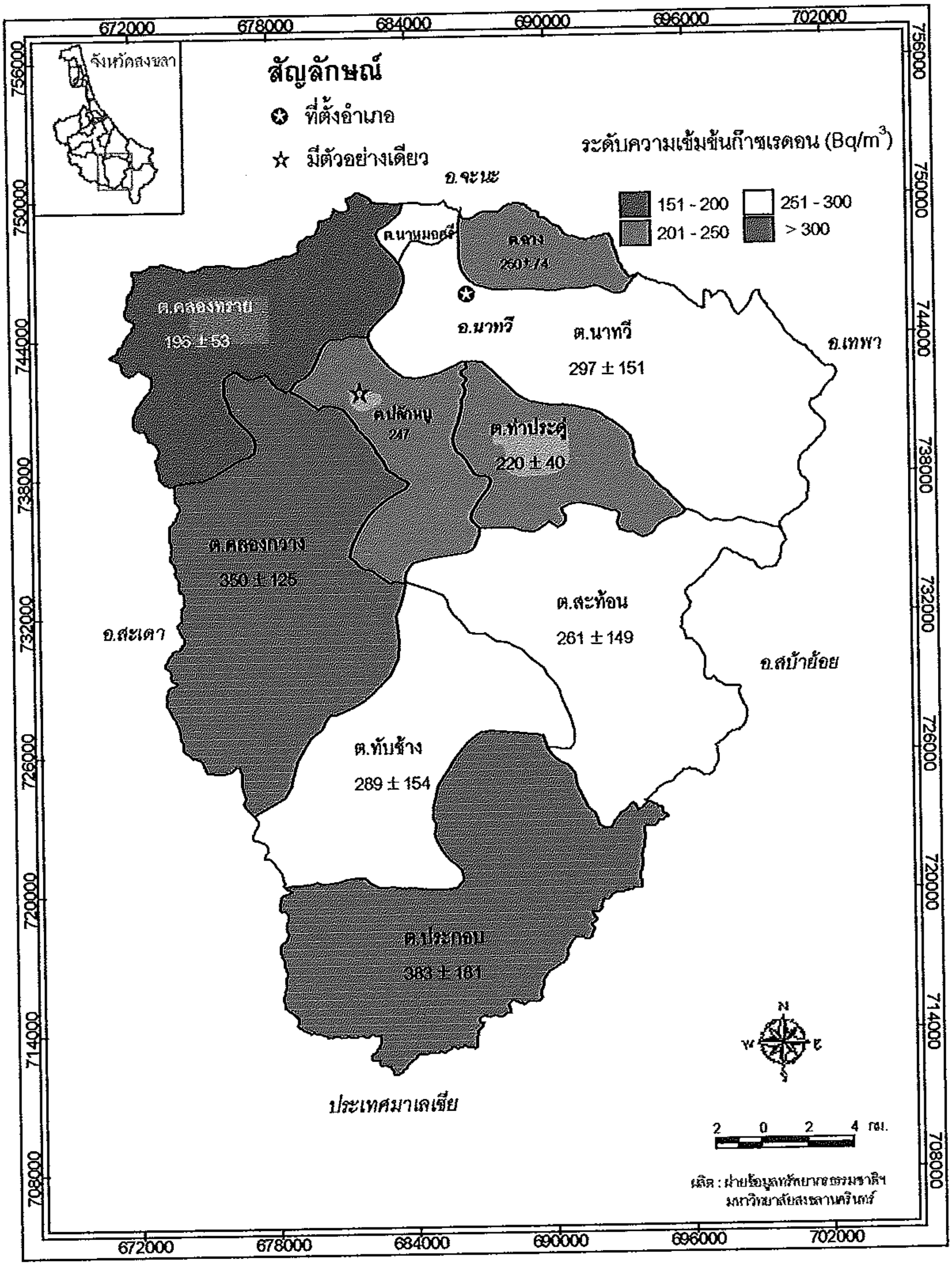
ตาราง 3.16 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบล ของอำเภอสทิงพระ

ที่	ตำบล	จำนวนบ้านเรือนที่ตรวจวัด	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย		
1	กระดังงา	4	167	250	216	38	216 ± 38
2	คลองรี	14	121	362	237	69	237 ± 69
3	คูขุด	16	83	343	220	78	220 ± 78
4	จะทิ้งพระ	13	130	278	193	51	193 ± 51
5	ชุมพล	9	139	297	207	56	207 ± 56
6	ดีหลวง	7	222	287	253	26	253 ± 26
7	ท่าหิน	3	176	362	284	97	284 ± 97
8	บ่อดาน	7	130	371	242	91	242 ± 91
9	บ่อแดง	2	139	269	204	92	204 ± 92
10	วัดจันทร์	1	93	93	93	-	93
11	สนามชัย	13	93	399	243	86	243 ± 86
	รวมทั้งหมด	89					

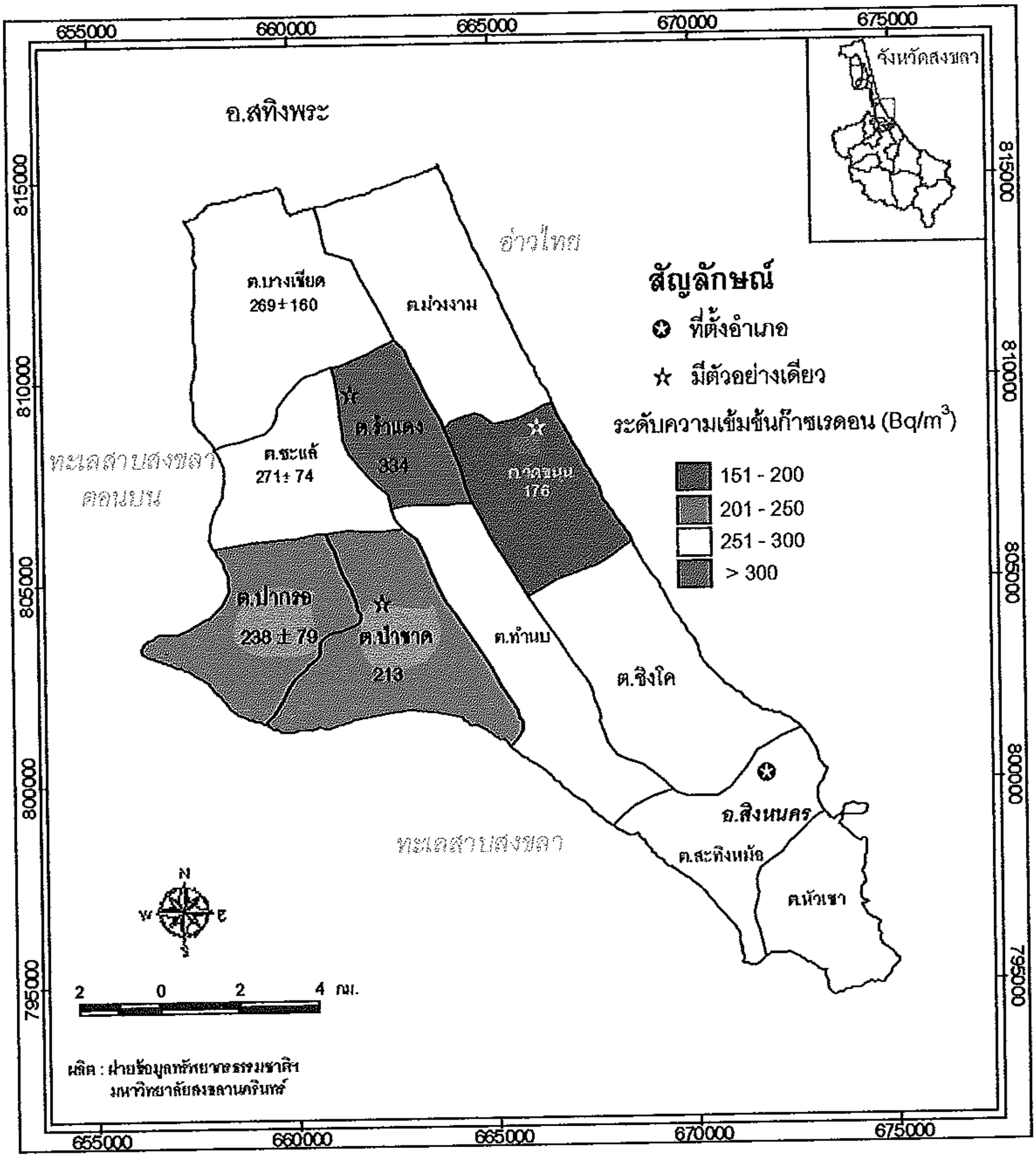
ภาพประกอบ 3.1 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอนาหม่อม



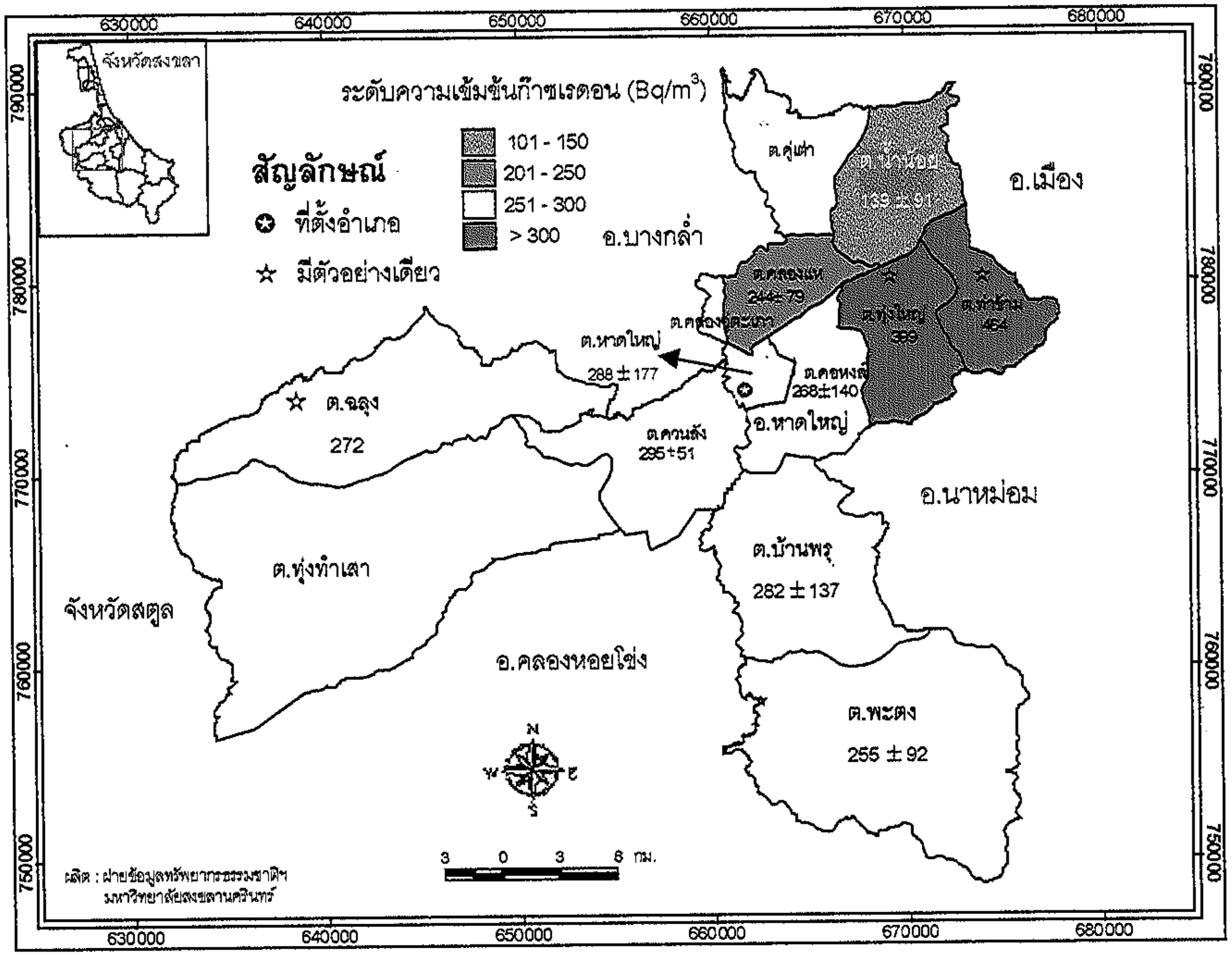
ภาพประกอบ 3.2 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอนาทวี



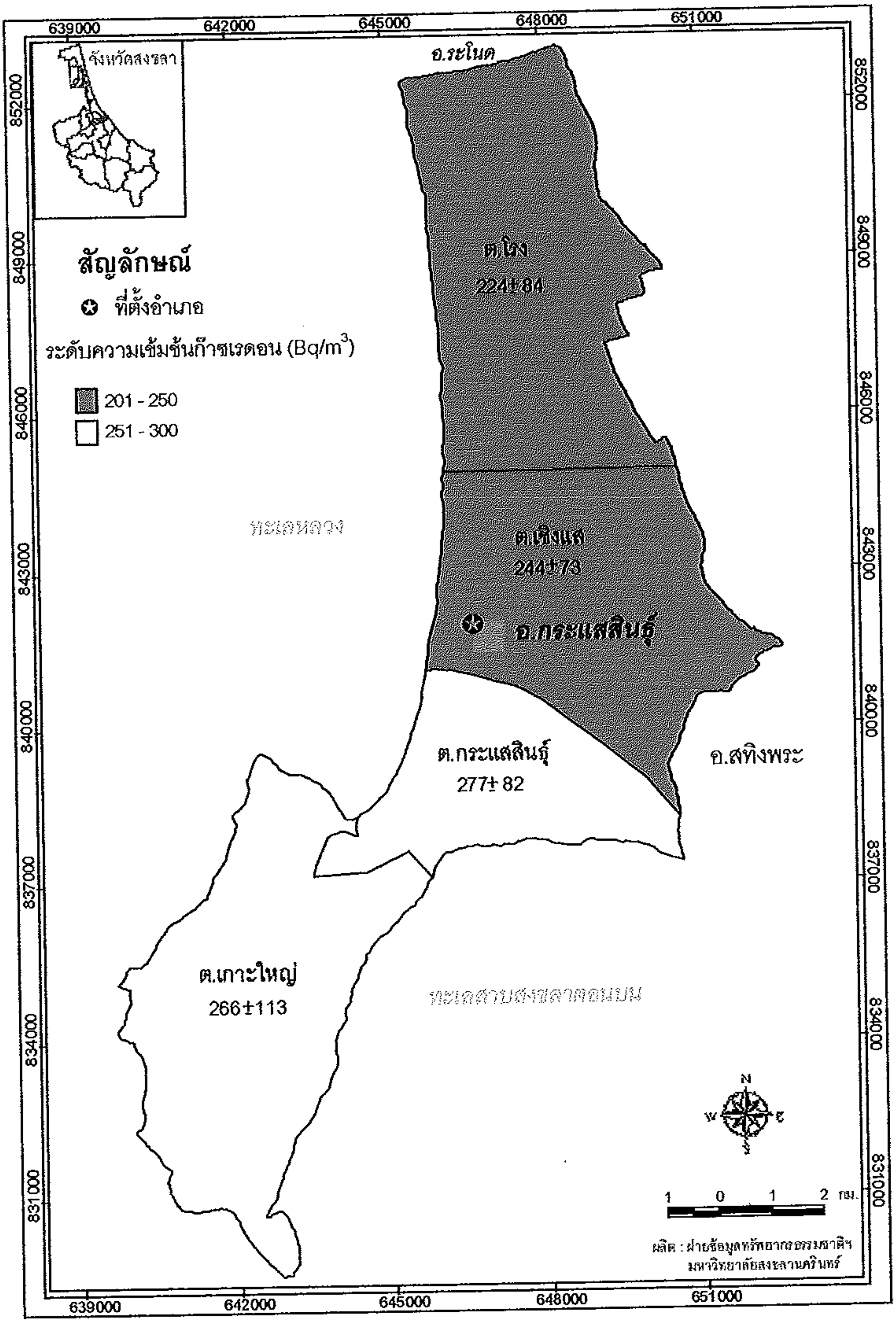
ภาพประกอบ 3.3 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอสิงหนคร



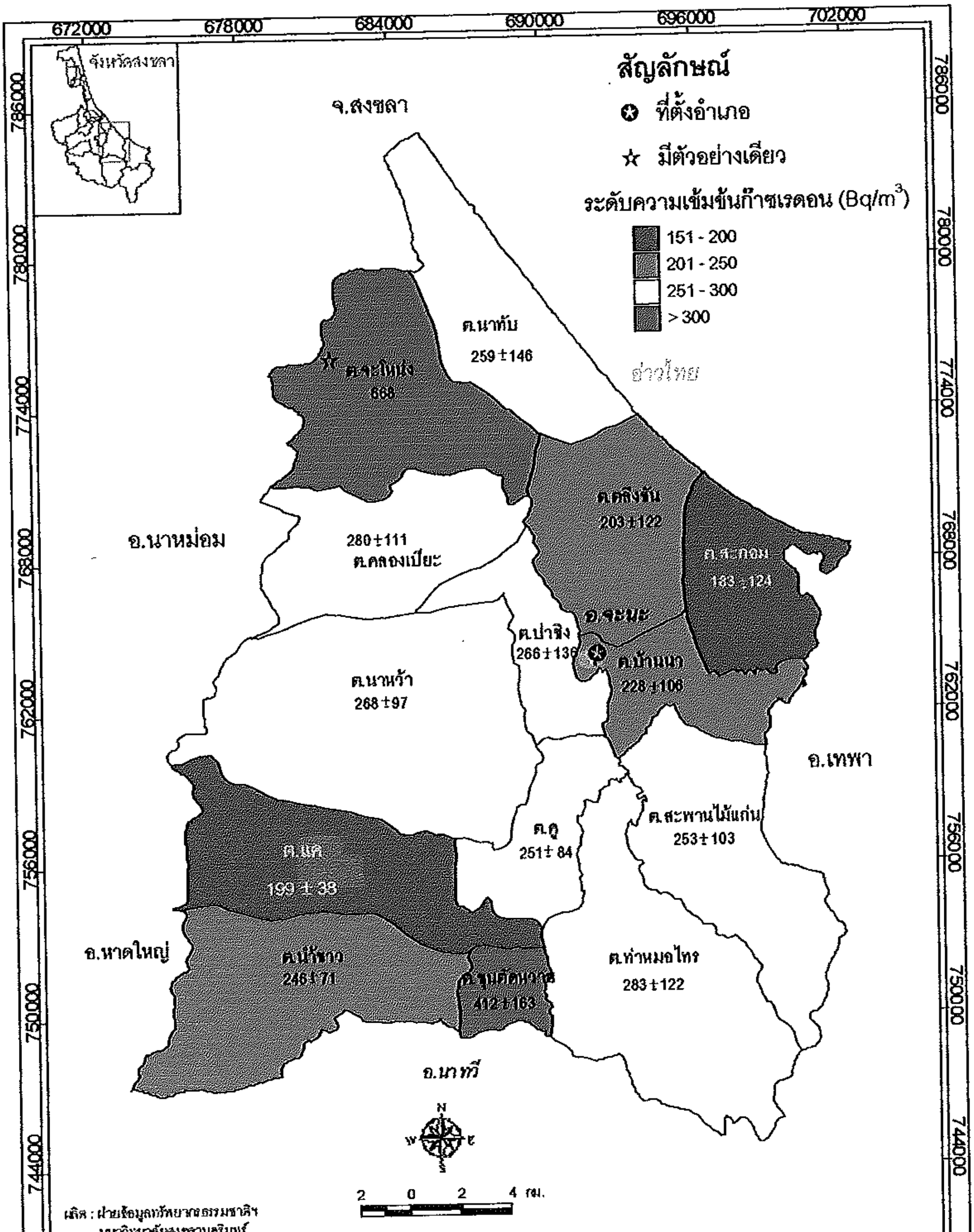
ภาพประกอบ 3.4 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอหาดใหญ่



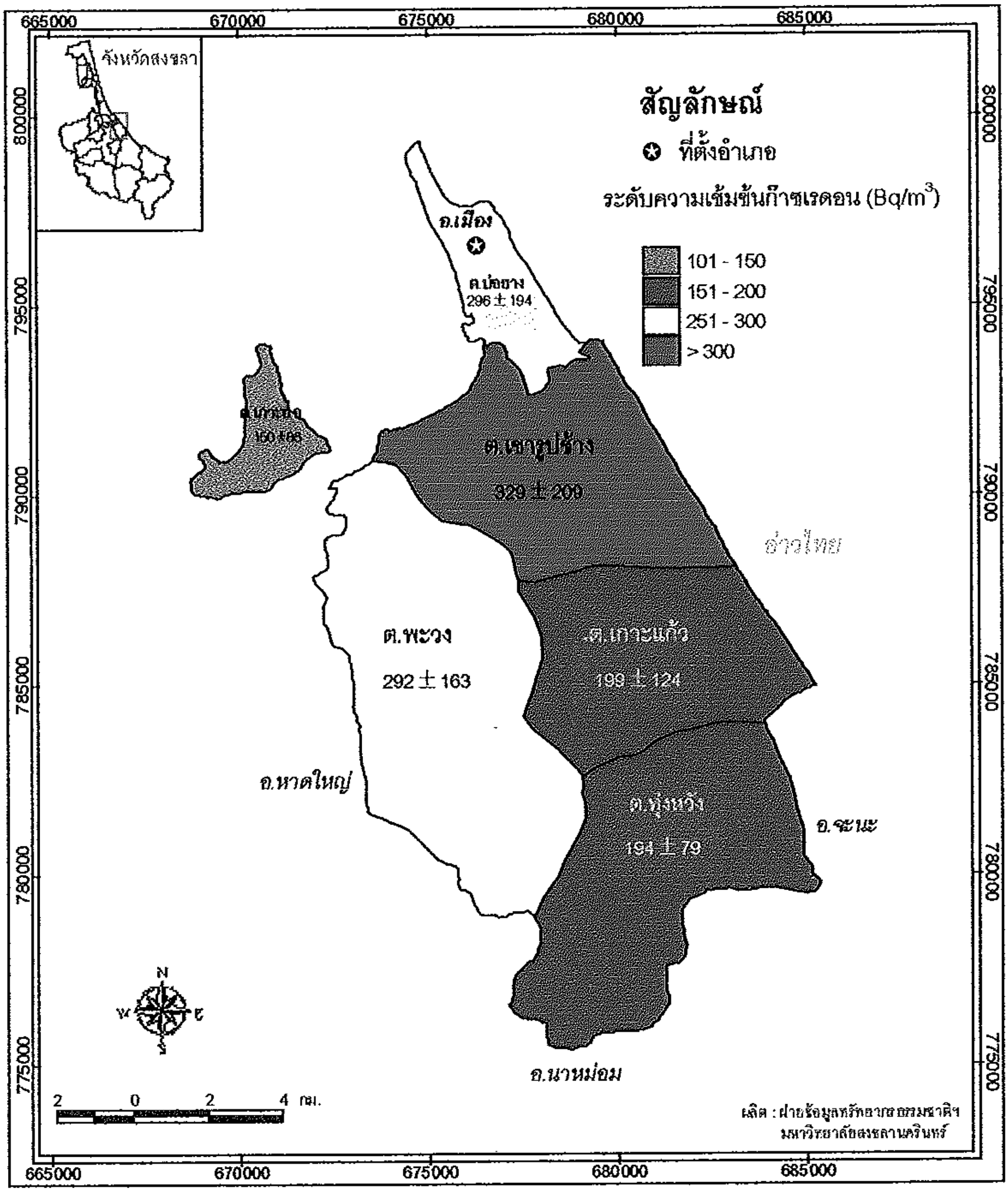
ภาพประกอบ 3.5 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล
ของอำเภอกระแสสินธุ์



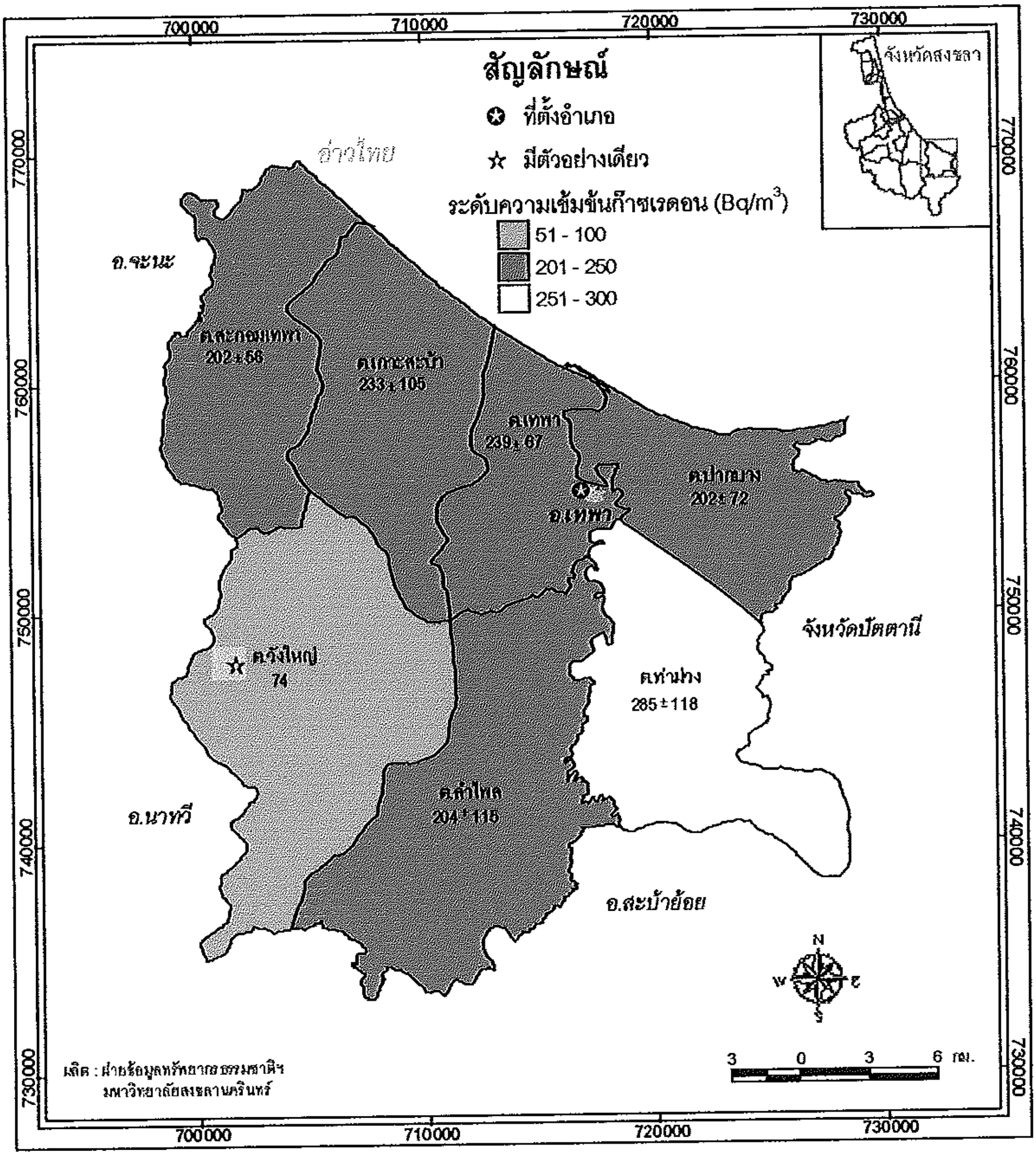
ภาพประกอบ 3.6 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอจะนะ



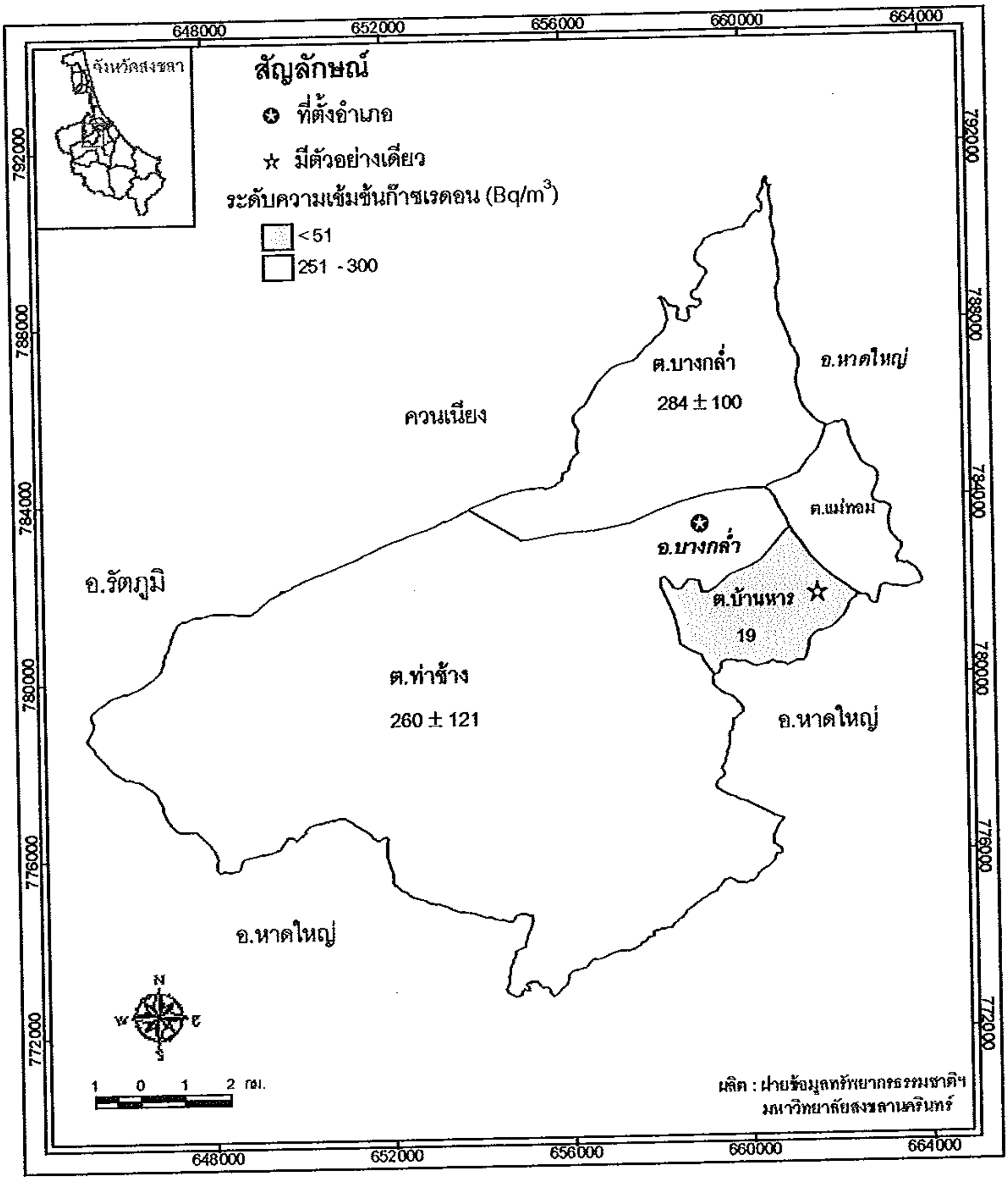
ภาพประกอบ 3.7 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอเมืองสงขลา



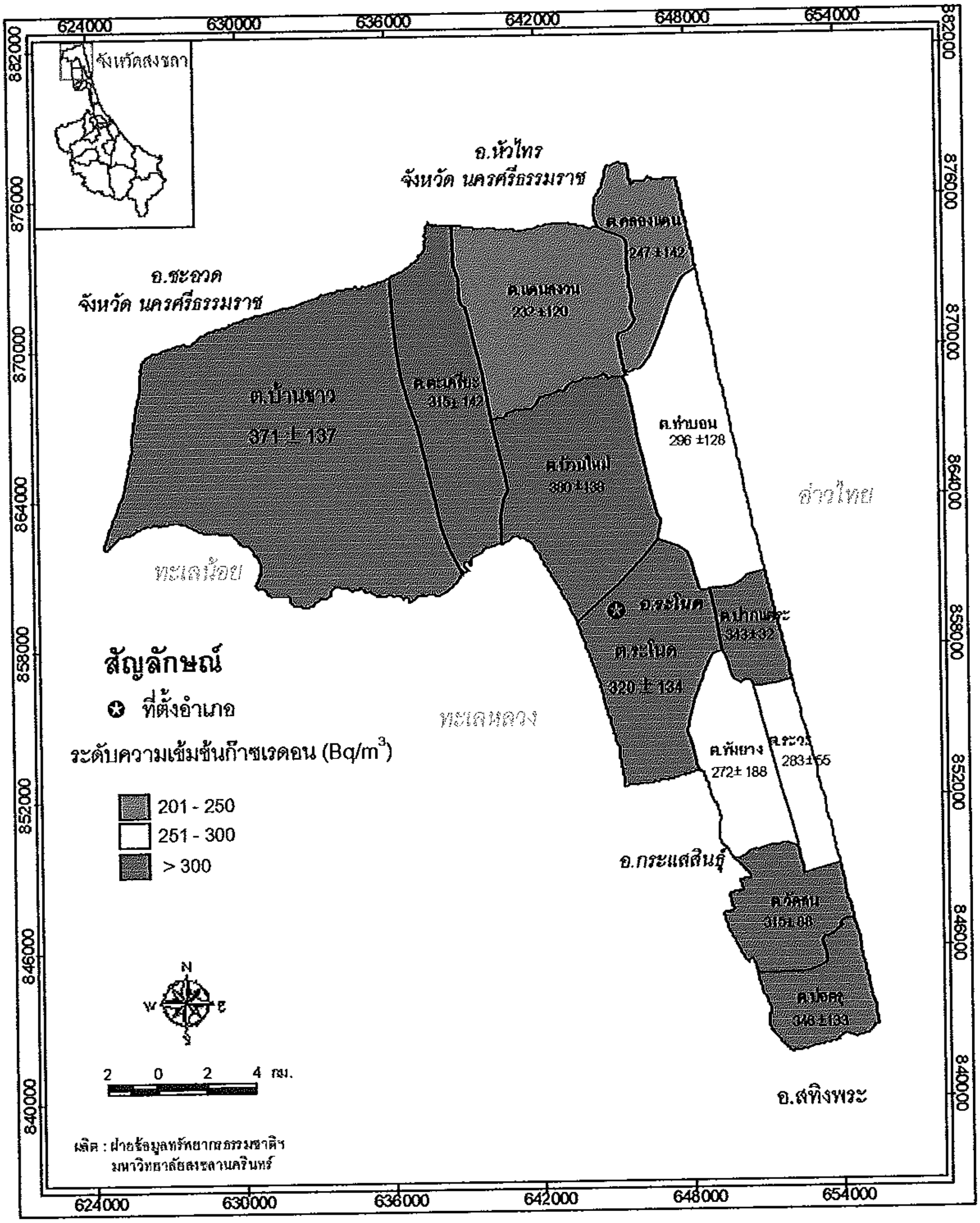
ภาพประกอบ 3.8 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอเทพา



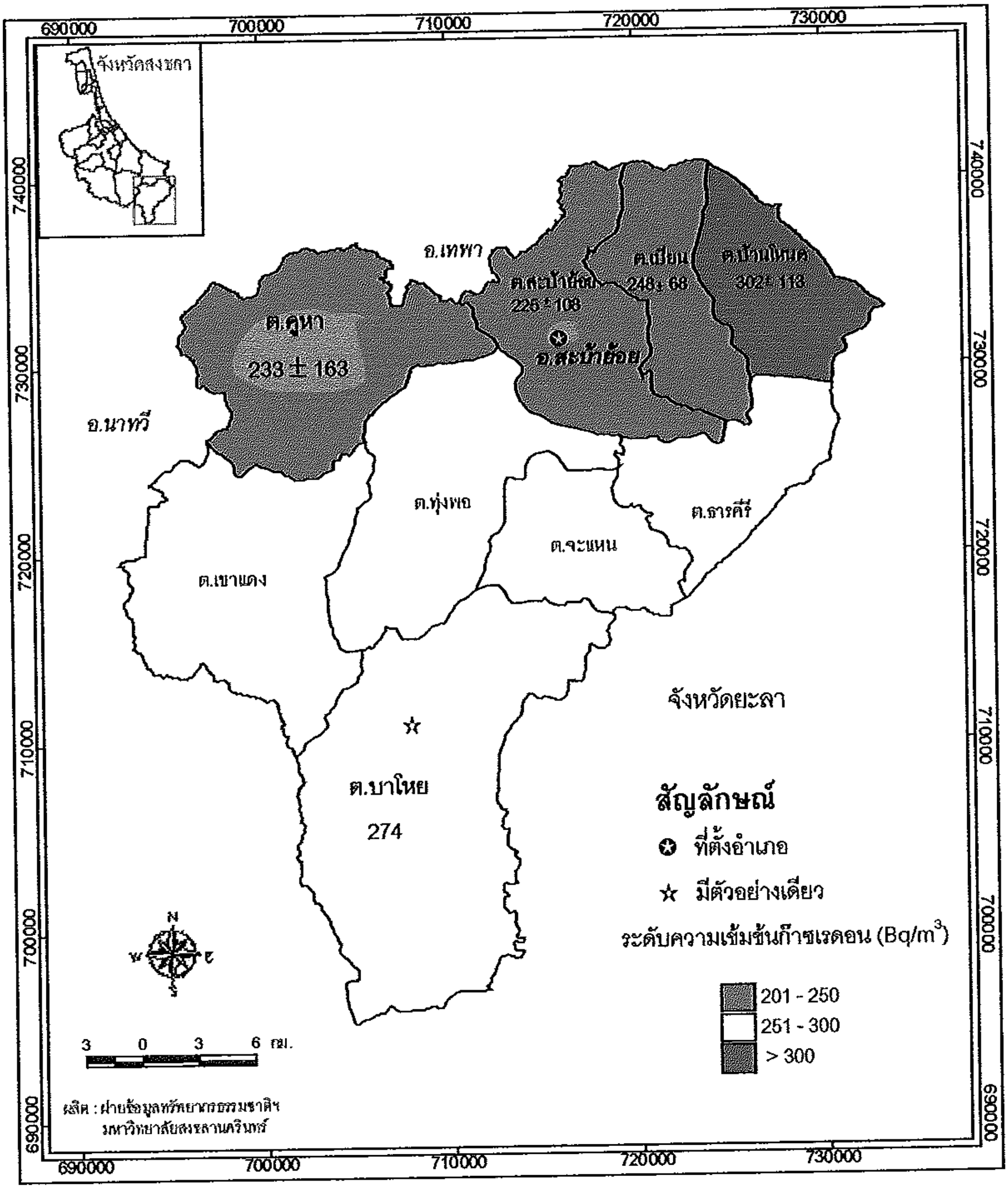
ภาพประกอบ 3.9 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล
ของอำเภอบางกล่ำ



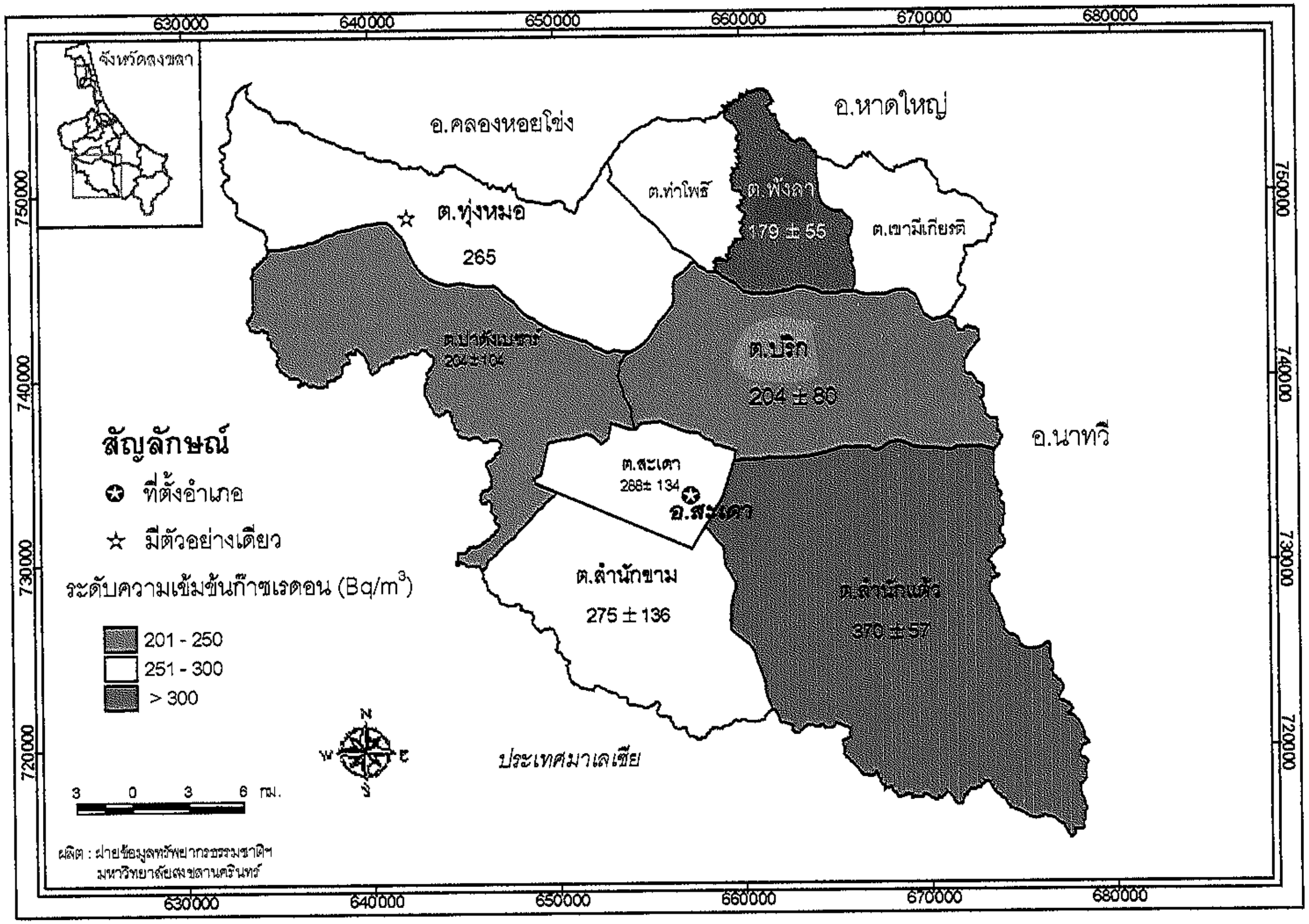
ภาพประกอบ 3.10 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอระโนด



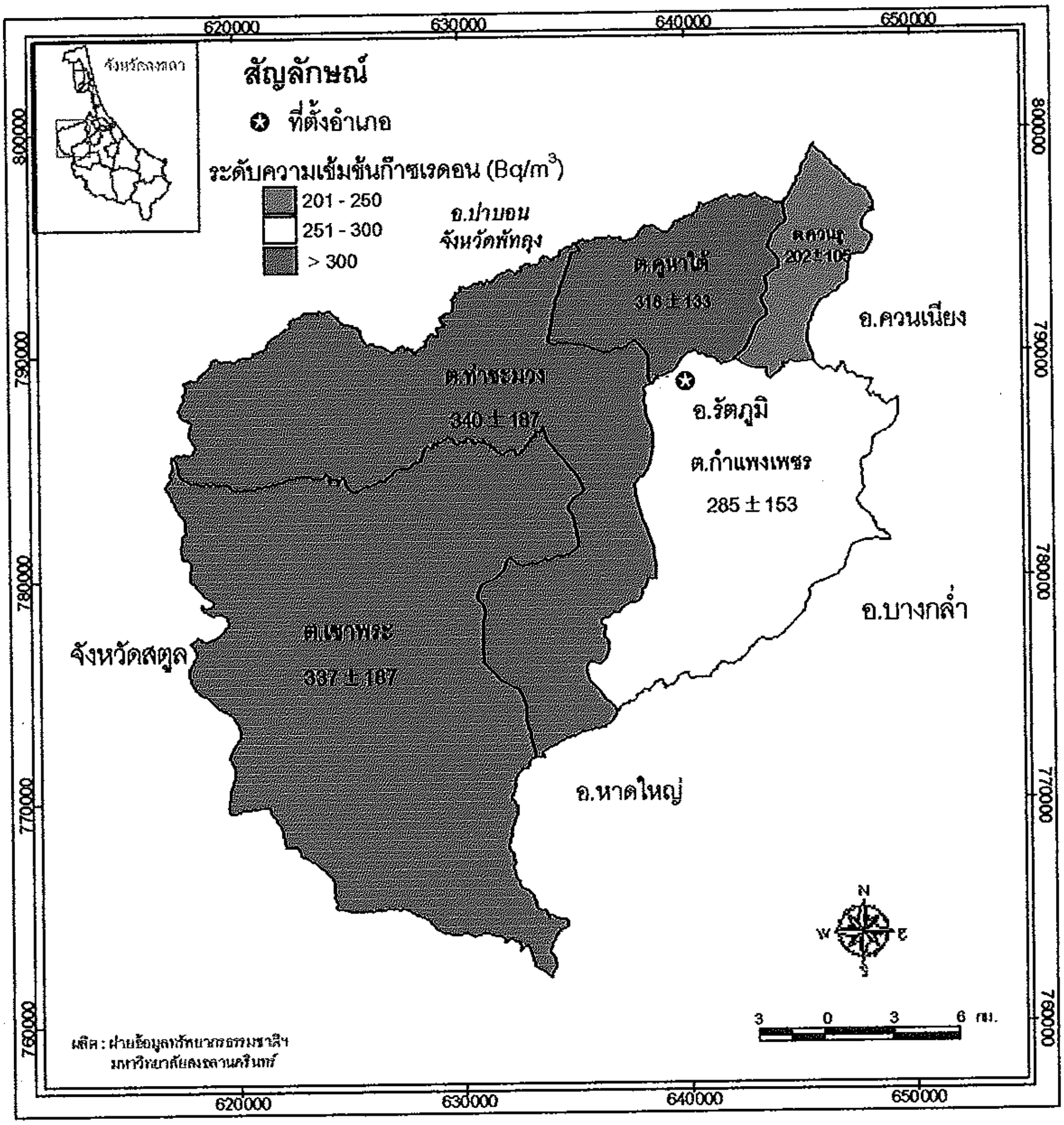
ภาพประกอบ 3.11 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอสะบ้าย้อย



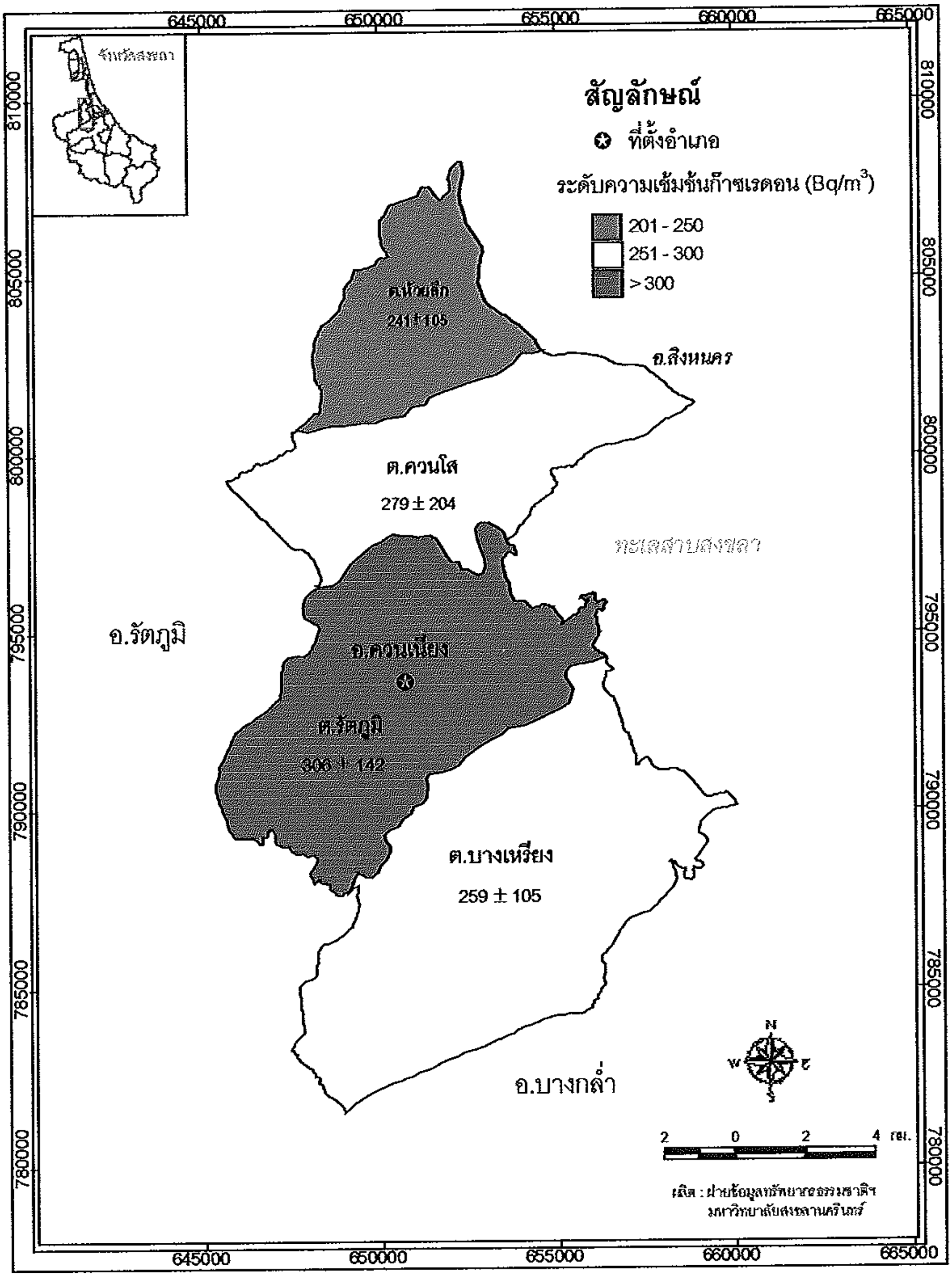
ภาพประกอบ 3.12 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอสะเดา



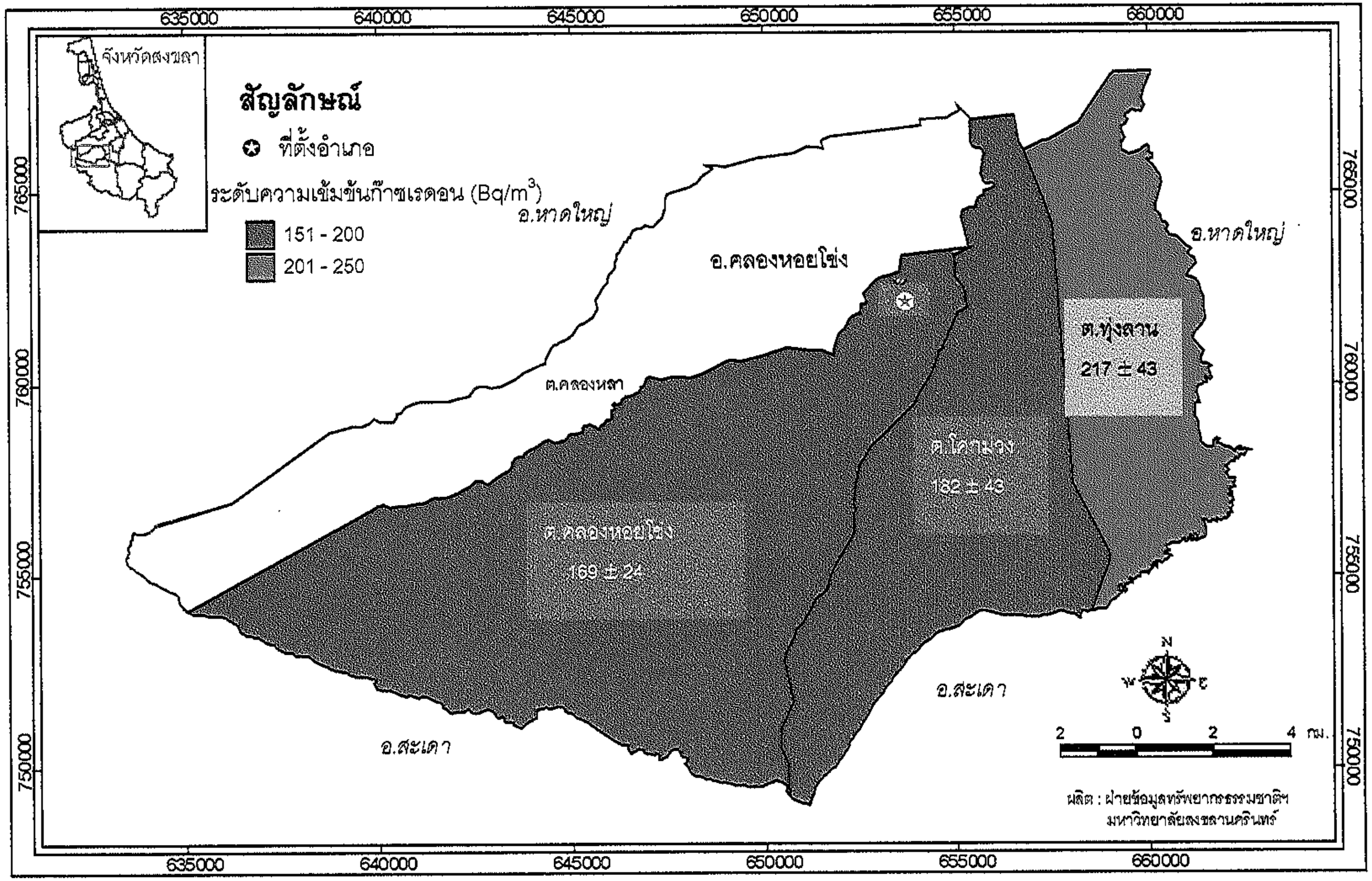
ภาพประกอบ 3.13 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอรัตภูมิ



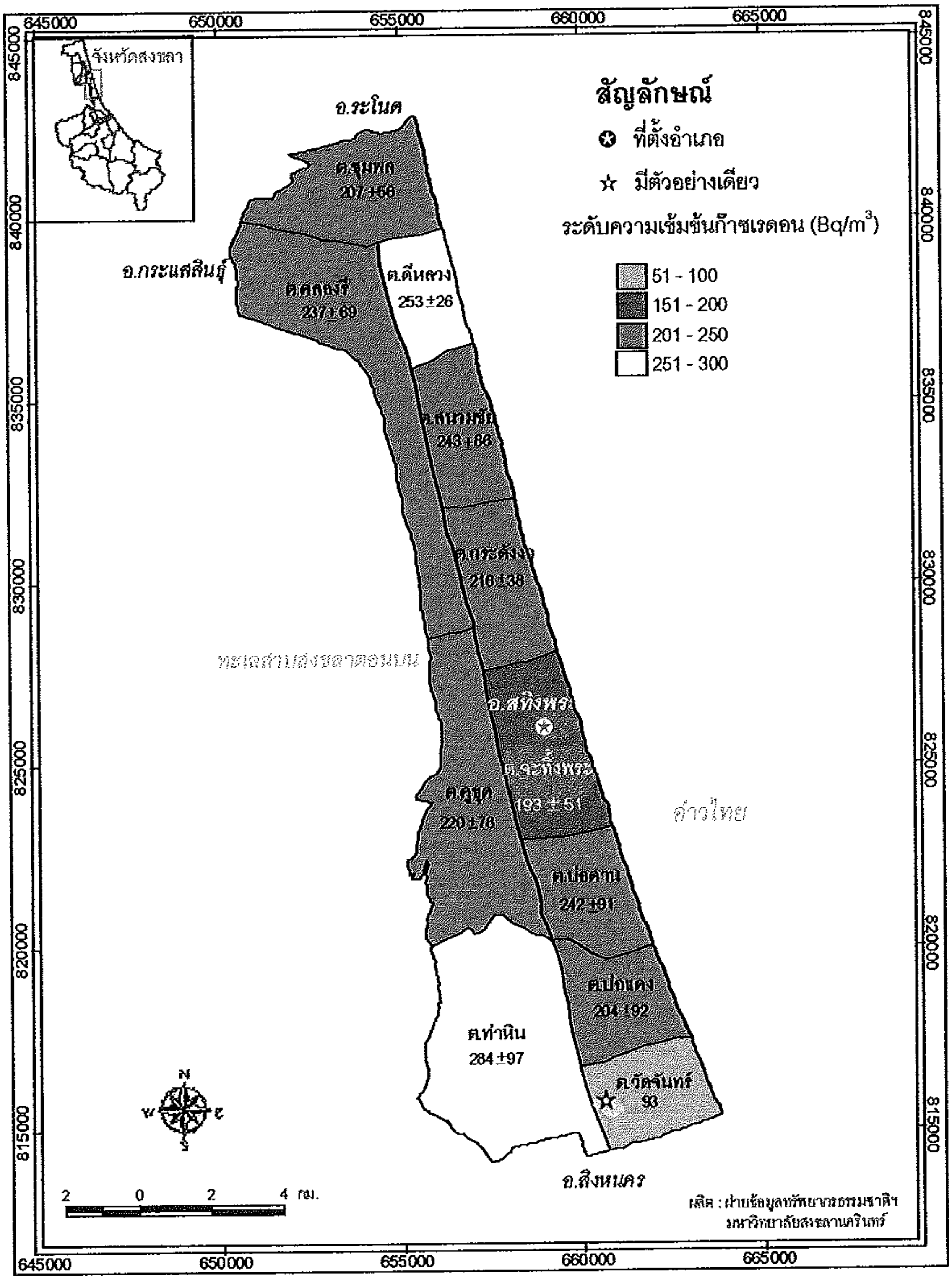
ภาพประกอบ 3.14 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอควนเนียง



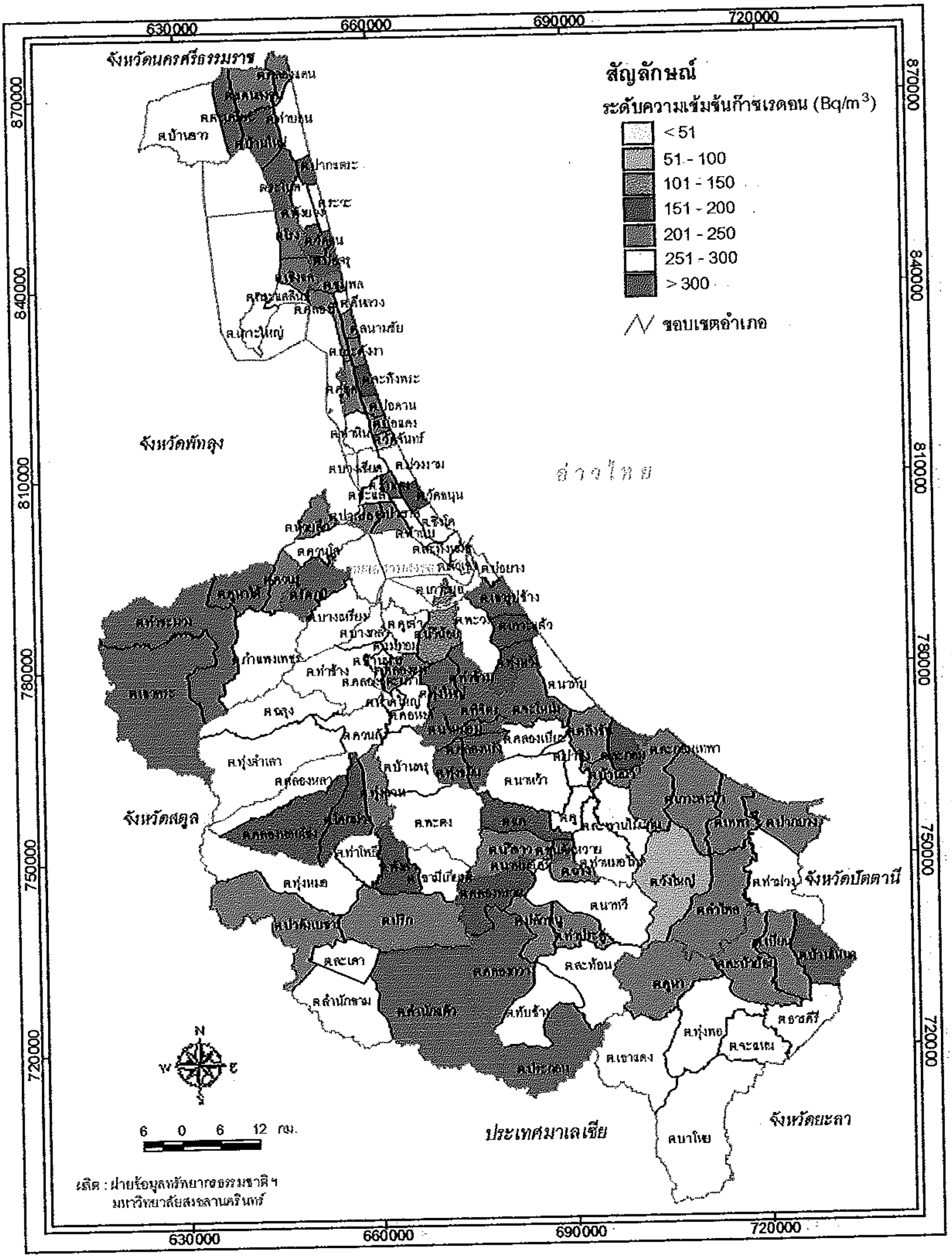
ภาพประกอบ 3.15 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของอำเภอคลองหอยโข่ง



ภาพประกอบ 3.16 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบลของอำเภอสทิงพระ



ภาพประกอบ 3.17 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละตำบล ของจังหวัดสงขลา



จากข้อมูลในตาราง 3.1 – 3.16 และภาพประกอบ 3.1 – 3.16 พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับตำบล ของแต่ละอำเภอที่ได้จากการตรวจวัดเป็นดังนี้ (ตำบลที่มีเพียงตัวอย่างเดียวไม่นำมาพิจารณาการกระจายของข้อมูล)

อำเภอนาหม่อม

ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน รวมทั้งสิ้น 89 หลัง ใน 4 ตำบล คือ ต.คลองหรัง ต.ทุ่งขมิ้น ต.นาหม่อม ต.พิจิตร ดังแสดงในตาราง 3.1 และภาพประกอบ 3.1 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.นาหม่อม มีค่า 103 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.คลองหรัง มีค่า 742 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด เป็นของ ต.ทุ่งขมิ้น และ ต.คลองหรัง ซึ่งมีค่าประมาณ 304 ± 102 Bq/m^3 และ 393 ± 144 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.1 จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.พิจิตร และ ต.คลองหรัง มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ

อำเภอนาทวี

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.นาทวี มีทั้งหมด 73 หลัง แบ่งออกเป็น 9 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.2 และภาพประกอบ 3.2 จากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.คลองทราย มีค่า 92 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.นาทวี มีค่า 659 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด เป็นของ ต.คลองทราย และ ต.ประกอบ ซึ่งมีค่า 196 ± 53 Bq/m^3 และ 383 ± 181 Bq/m^3 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่า ต.คลองทราย และ ต.ประกอบ มีการกระจายของข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนน้อยที่สุด และมากที่สุด ตามลำดับ

อำเภอสิงหนคร

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.สิงหนคร มีทั้งหมด 16 หลัง แบ่งออกเป็น 6 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.3 และภาพประกอบ 3.3 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.บางเขียด มีค่า 92 Bq/m^3 และ 659 Bq/m^3 ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดเป็นของ ต.คลองวัดขนุน และ ต.รำแดง ซึ่งมีค่า 176 Bq/m^3 และ 334 Bq/m^3 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ของ ต.ปากรอ มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด และที่ตรวจวัดได้ที่ ต.บางเขียด มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด

อำเภอหาดใหญ่

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.หาดใหญ่ มีทั้งหมด 146 หลัง แบ่งออกเป็น 9 ตำบล และ 1 เทศบาล ดังตาราง 3.4 และภาพประกอบ 3.4 จากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.คอหงส์ มีค่า 46 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่เทศบาลหาดใหญ่ มีค่า 909 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุด เป็นของ ต.น้ำน้อย และ ต.ท่าข้าม ซึ่งมีค่า 139 ± 93 Bq/m^3 และ 464 Bq/m^3 ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดใน ต.ควนลัง มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด ส่วนข้อมูลของเทศบาลหาดใหญ่ มีการกระจายมากที่สุด

อำเภอกระแสสินธุ์

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.กระแสสินธุ์ มีทั้งหมด 69 หลัง แบ่งออกเป็น 4 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.5 และภาพประกอบ 3.5 จากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.เกาะใหญ่ มีค่า 35 Bq/m^3 และ 458 Bq/m^3 ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุด เป็นของ ต.โรง และ ต.กระแสสินธุ์ ซึ่งมีค่า 224 ± 84 Bq/m^3 และ 277 ± 82 Bq/m^3 ตามลำดับ และพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.เชิงแส มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.เกาะใหญ่ มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด เมื่อเทียบกับตำบลอื่นๆ ของอำเภอ

อำเภอจะนะ

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.จะนะ มีทั้งหมด 125 หลัง แบ่งออกเป็น 14 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.6 และภาพประกอบ 3.6 จากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.สะกอม มีค่า 28 Bq/m^3 และ 677 Bq/m^3 ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้ เป็นของ ต.สะกอม และ ต.ขุนตัดหวาย ซึ่งมีค่า 183 ± 124 Bq/m^3 และ 412 ± 163 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.6 พบว่า ต.แค มีค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดห่างกันน้อยที่สุด

อำเภอเมืองสงขลา

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.เมืองสงขลา มีทั้งหมด 123 หลัง แบ่งออกเป็น 5 ตำบล และ 1 เทศบาล ดังแสดงในตาราง 3.7 และภาพประกอบ 3.7 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุด ที่ตรวจวัดได้อยู่ที่เทศบาลเมือง มีค่า 28 Bq/m^3 และ 749 Bq/m^3 ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุด เป็นของ ต.เกาะยอ และ ต.เขารูปช้าง ซึ่งมีค่า 150 ± 86 Bq/m^3 และ 329 ± 209 Bq/m^3 ตามลำดับ นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.ควนทุ่งหวัง และ ต.เขารูปช้าง ที่ได้จากการตรวจวัดมีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ

อำเภอเทพา

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.เทพา มีทั้งหมด 56 หลัง แบ่งออกเป็น 7 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.8 และภาพประกอบ 3.8 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีอยู่ 2 ตำบล คือ ต.ปากบาง และ ต.ลำไพล ซึ่งมีค่า 46 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.ท่าม่วง มีค่า 538 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด เป็นของ ต.วังใหญ่ และ ต.ท่าม่วง ซึ่งมีค่า 74 Bq/m^3 และ 285 ± 118 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.8 จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.สะกอม และ ต. ท่าม่วง มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ

อำเภอบางกล่ำ

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.บางกล่ำ มีทั้งหมด 42 หลัง แบ่งออกเป็น 3 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.9 และภาพประกอบ 3.9 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.บ้านหาร มีค่า 19 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.ท่าช้าง มีค่า 575 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด เป็นของ ต.บ้านหาร และ ต.บางกล่ำ ซึ่งมีค่า 19 Bq/m^3 และ 284 ± 100 Bq/m^3 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.บางกล่ำ มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดของ ต.ท่าช้าง มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด

อำเภอระโนด

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.ระโนด มีทั้งหมด 121 หลัง แบ่งออกเป็น 13 ตำบล ดังแสดงไว้ในตาราง 3.10 และภาพประกอบ 3.10 จากการวิเคราะห์ พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.คลองแดน มีค่า 19 Bq/m^3 และ 732 Bq/m^3 ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด เป็นของ ต.แดนสงวน และ ต.บ้านใหม่ ซึ่งมีค่า 232 ± 120 Bq/m^3 และ 380 ± 138 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.10 จะเห็นว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.ปากแตระ มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.พังยาง มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด

อำเภอสะบ้าย้อย

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.สะบ้าย้อย มีทั้งหมด 74 หลัง แบ่งออกเป็น 5 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.11 และภาพประกอบ 3.11 จากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุด ที่ตรวจวัดได้ครั้งนี้อยู่ที่อยู่ที่เดียวกัน คือ ต.คูหา ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 74 - 670 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุด เป็นของ ต.สะบ้าย้อย และ ต.บ้านโหนด ซึ่งมีค่า 225 ± 108 Bq/m^3 และ 302 ± 113 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.11 จะเห็นว่า ต.เปียน และ ต.คูหา มีการกระจายของข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนน้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ

อำเภอสะเดา

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.สะเดา มีทั้งหมด 95 หลัง แบ่งออกเป็น 6 ตำบล และ 1 เทศบาล ดังแสดงในตาราง 3.12 และภาพประกอบ 3.12 จากการวิเคราะห์ พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่เทศบาลสะเดา มีค่าอยู่ในช่วง 83 - 567 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุดเป็นของ ต.พังลา และ ต.สำนักแต้ว ซึ่งมีค่า 179 ± 55 Bq/m^3 และ 370 ± 57 Bq/m^3 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ต.สำนักขาม มีการกระจายของข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมากที่สุด และ ต.พังลา มีการกระจายของข้อมูลระดับความเข้มข้นน้อยที่สุด

อำเภอรัตภูมิ

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.รัตภูมิ มีทั้งหมด 125 หลัง แบ่งออกเป็น 5 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.13 และภาพประกอบ 3.13 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.คูหาใต้ มีค่า 56 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.เขาพระ มีค่า 935 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุด เป็นของ ต.ควนรู และ ต.ท่าชะมวง ซึ่งมีค่า 202 ± 105 Bq/m^3 และ 340 ± 187 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.13 พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ที่ ต.ควนรู มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ที่ ต.ท่าชะม่วง มีการกระจายของข้อมูลมากที่สุด

อำเภอควนเนียง

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของอำเภอรัตภูมิ มีทั้งหมด 91 หลัง แบ่งออกเป็น 4 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.14 และภาพประกอบ 3.14 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.บางเหรียง มีค่า 83 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.รัตภูมิ มีค่า 898 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุด เป็นของ ต.ห้วยลึก และ ต.รัตภูมิ ซึ่งมีค่า 241 ± 105 Bq/m^3 และ 306 ± 142 Bq/m^3 ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มีการกระจายมากที่สุดที่ ต.บางเหรียง และมีการกระจายน้อยที่สุดที่ ต.ห้วยลึก

อำเภอคลองหอยโข่ง

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.คลองหอยโข่ง มีทั้งหมด 42 หลัง แบ่งออกเป็น 3 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.15 และภาพประกอบ 3.15 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดและสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.โคกม่วง มีค่าอยู่ในช่วง 111 – 324 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุดเป็นของ ต.คลองหอยโข่ง และ ต.ทุ่งลาน ซึ่งมีค่า 169 ± 24 Bq/m^3 และ 217 ± 43 Bq/m^3 ตามลำดับ จากตาราง 3.15 พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.ทุ่งลาน มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุด ส่วน ต.โคกม่วง มีการกระจายของข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน มากที่สุด

อำเภอสทิงพระ

จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.สทิงพระ มีทั้งหมด 89 หลัง แบ่งออกเป็น 13 ตำบล ดังแสดงในตาราง 3.16 และภาพประกอบ 3.16 จากการวิเคราะห์พบว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.คูขุด มีค่า 83 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ ต.สนามชัย มีค่า 399 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยต่ำที่สุดและสูงสุด เป็นของ ต.วัดจันทร์ และ ต.ท่าหิน ซึ่งมีค่า 93 Bq/m^3 และ 284 ± 97 Bq/m^3 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ของ ต. กระดังงา และ ต.ท่าหิน มีการกระจายของข้อมูลน้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาข้อมูลในระดับตำบลของแต่ละอำเภอรวมกัน พบว่า มีอยู่ 2 ตำบล ที่ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีค่า 19 Bq/m^3 คือ ต.คลองแดน ของ อ.ระโนด และ ต.บ้านหาร ของ อ.บางกล่ำ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดตรวจวัดได้ที่ ต.เขาพระ ของ อ.รัตภูมิ มีค่า 935 Bq/m^3 นอกจากนี้ยังพบว่า ต.น้ำน้อย อ.หาดใหญ่ และ ต.ขุนตัดหวาน อ.จะนะ มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ย (AM ± SD) ต่ำสุดและสูงสุด โดยมีค่า 139 ± 91 และ 412 ± 163 Bq/m^3 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ของ ต.คลองหอยโข่ง ของ อ.คลองหอยโข่ง มีการกระจายน้อยสุด ส่วนข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของ ต.เขารูปช้าง ของ อ.เมือง มีการกระจายมากที่สุด

จากตาราง 3.1 – 3.16 และภาพประกอบ 3.17 พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละตำบล ในจังหวัดสงขลา ที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 300 Bq/m^3 จะปรากฏชัดเจนใน 4 บริเวณ ซึ่งได้แก่

บริเวณที่ 1 ประกอบด้วย ต.ตะเครียะ ต.บ้านใหม่ ต.ปากแตระ และ ต.ระโนด ของ อ.ระโนด

บริเวณที่ 2 ประกอบด้วย ต.คูหาใต้ ต.ท่าชะมวง และ ต.เขาพระ ของ อ.รัตภูมิ

บริเวณที่ 3 ประกอบด้วย ต.ท่าข้าม และ ต.ทุ่งใหญ่ ของ อ.หาดใหญ่ ต.นาหม่อม ต.พิจิตร ต.คลองหรัง และ ต.ทุ่งขมิ้น ของ อ.นาหม่อม และ ต.จะโหนง ของ อ.จะนะ

บริเวณที่ 4 ประกอบด้วย 3 ตำบลคือ ต.สำนักแต้ว ของ อ.สะเดา ต.คลองกวาง และ ต.ประกอบ ของ อ.นาทวี

3.1.2 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในระดับอำเภอ

ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน เมื่อแยกพิจารณาออกเป็นอำเภอ พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุด มีค่า 19 Bq/m^3 ตรวจวัดได้ที่ อ.บางกล่ำ และ อ.ระโนด ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดตรวจวัดได้ที่ อ.รัตภูมิ มีค่า 935 Bq/m^3 แต่ทั้งนี้อำเภอที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยภายในบ้านเรือนต่ำสุดและสูงสุด คือ อ.คลองหอยโข่ง และ อ.นาหม่อม ซึ่งมีค่า 189 ± 45 (SD) และ 327 ± 111 (SD) ตามลำดับ ส่วนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยของอำเภออื่นๆ เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ อ.เทพา มีค่า 224 ± 89 Bq/m^3, อ.สทิงพระ มีค่า 225 ± 71 Bq/m^3, อ.จะนะ มีค่า 237 ± 121 Bq/m^3, อ.สะบ้าย้อย มีค่า 240 ± 121 Bq/m^3, อ.สะเดา มีค่า 258 ± 121 Bq/m^3 อ.กระแสสินธุ์ มีค่า 257 ± 90 Bq/m^3, อ.สิงหนคร มีค่า 258 ± 98 Bq/m^3, อ.บางกล่ำ มีค่า 263 ± 112 Bq/m^3, อ.ควนเนียง มีค่า 273 ± 143 Bq/m^3, อ.นาทวี มีค่า 274 ± 128 Bq/m^3, อ.หาดใหญ่ มีค่า 280 ± 153 Bq/m^3, อ.เมืองมี ค่า 288 ± 189 Bq/m^3, อ.ระโนด มีค่า 295 ± 129 Bq/m^3 และ อ.รัตภูมิ มีค่า 300 ± 156 Bq/m^3 รายละเอียดของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละอำเภอ ในจังหวัดสงขลา แสดงดังตาราง 3.17 และสามารถแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนของแต่ละอำเภอ ได้ดังภาพประกอบ 3.18 (a) – (p)

ตาราง 3.17 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละอำเภอ ในจังหวัดสงขลา

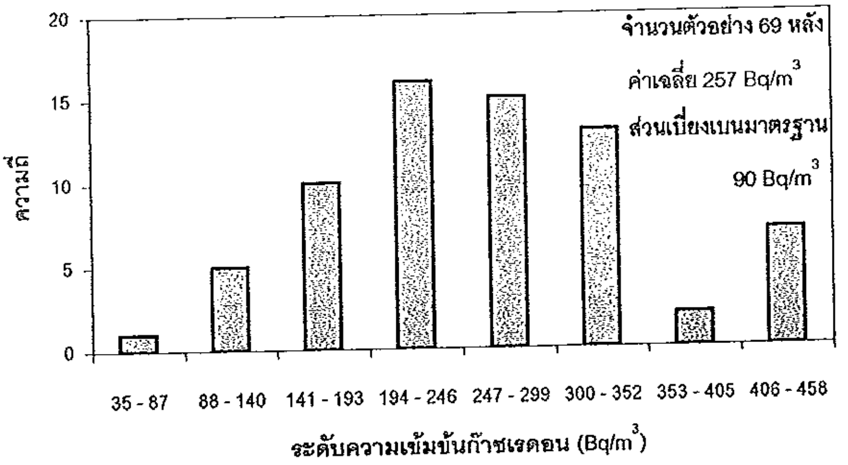
ที่	อำเภอ	จำนวนบ้านเรือนตัวอย่าง (หลัง)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) Bq/m^3	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM ± SD) (Bq/m^3)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย (AM)		
1	คลองหอยโข่ง	42	111	324	189	45	189 ± 45
2	เทพา	56	46	538	224	89	224 ± 89
3	สทิงพระ	89	83	399	225	71	225 ± 71
4	จะนะ	125	28	677	237	121	237 ± 121
5	สะบ้าย้อย	74	74	670	240	121	240 ± 121

ตาราง 3.17 (ต่อ)

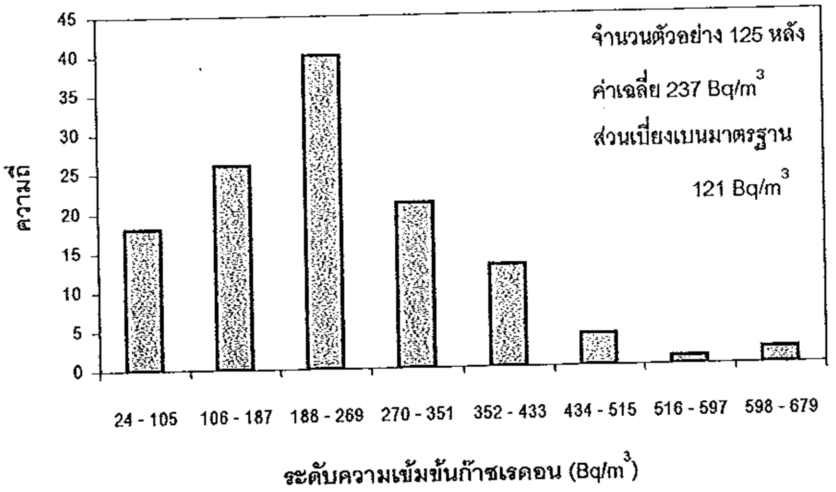
ที่	อำเภอ	จำนวนบ้านเรือนตัวอย่าง (หลัง)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) Bq/m^3	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM $\pm$ SD) (Bq/m^3)
			ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย (AM)		
6	กระแสสินธุ์	69	35	458	257	90	257 $\pm$ 90
7	สิงหนคร	16	83	547	258	98	258 $\pm$ 98
8	สะเดา	95	74	567	258	121	258 $\pm$ 121
9	บางกล่ำ	42	19	575	263	112	263 $\pm$ 112
10	ควนเนียง	91	83	898	273	143	273 $\pm$ 143
11	นาทวี	73	92	659	274	128	274 $\pm$ 128
12	หาดใหญ่	145	46	909	280	153	280 $\pm$ 153
13	เมืองสงขลา	123	28	767	288	189	288 $\pm$ 189
14	ระโนด	121	19	732	295	129	295 $\pm$ 129
15	รัตภูมิ	125	56	935	300	156	300 $\pm$ 156
16	นาหม่อม	89	102	742	327	111	327 $\pm$ 111
	ทุกอำเภอ	1375	19	935	268	141	268 $\pm$ 141

รวมจำนวนตัวอย่างที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน 1375 หลัง

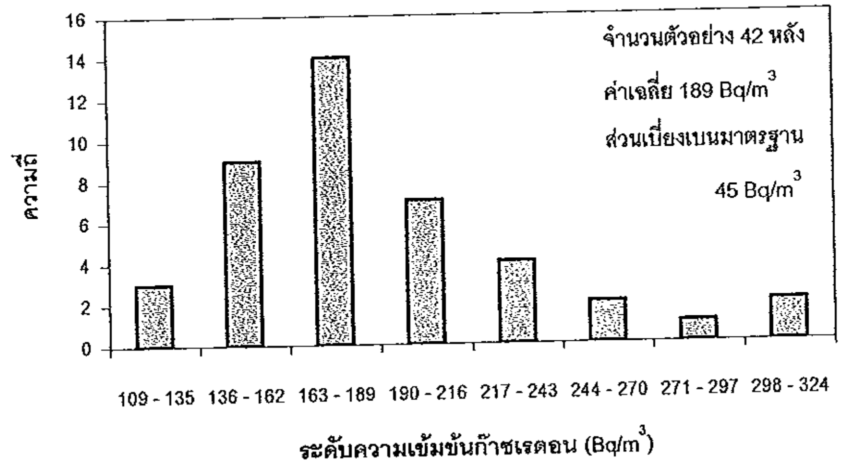
(a) อำเภอกระแสสินธุ์



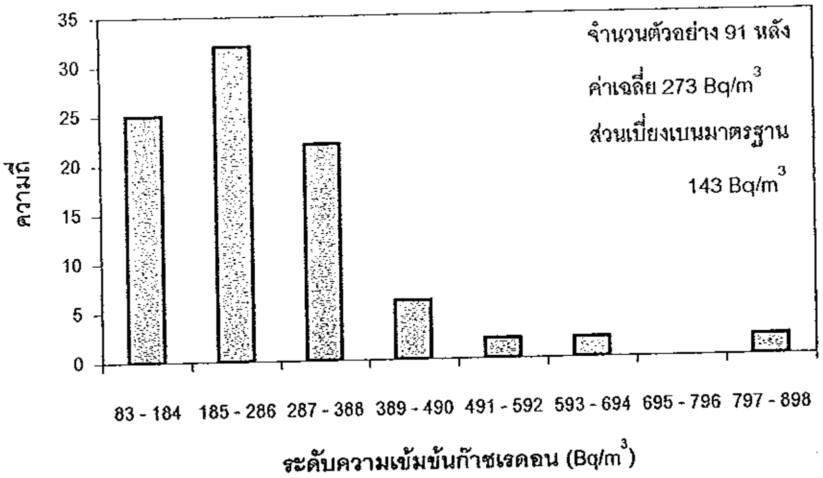
(b) อำเภอจะนะ



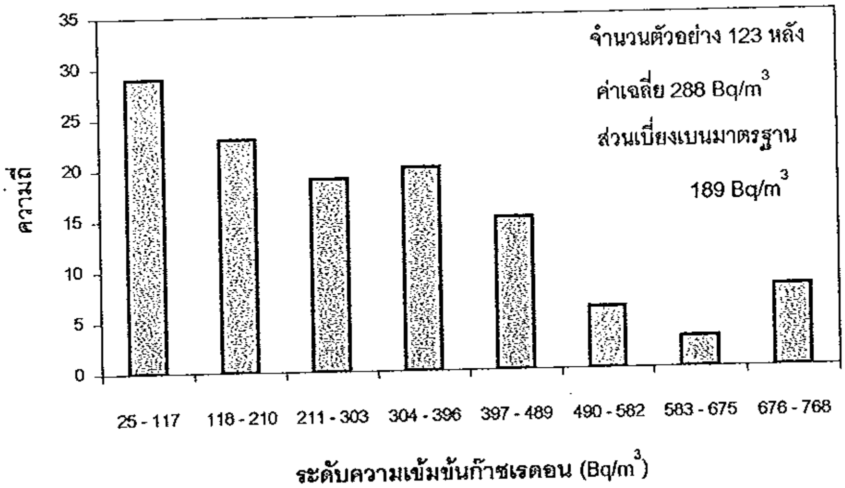
(c) อำเภอคลองหอยโข่ง



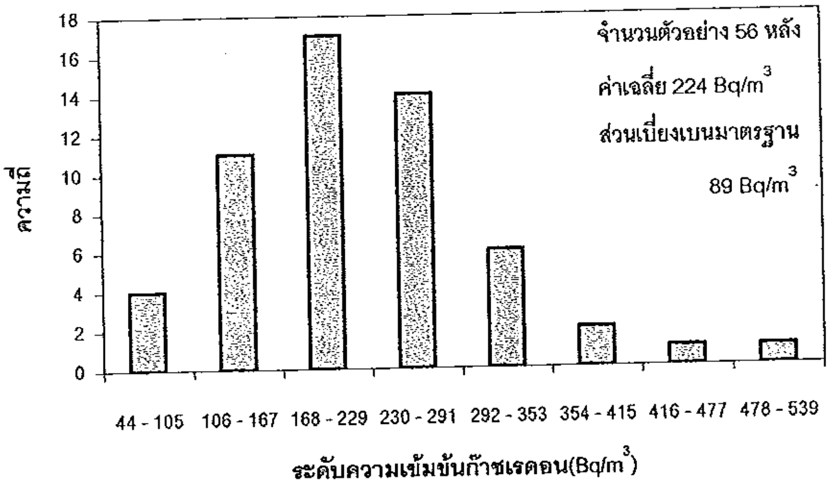
(d) อำเภอควนเนียง



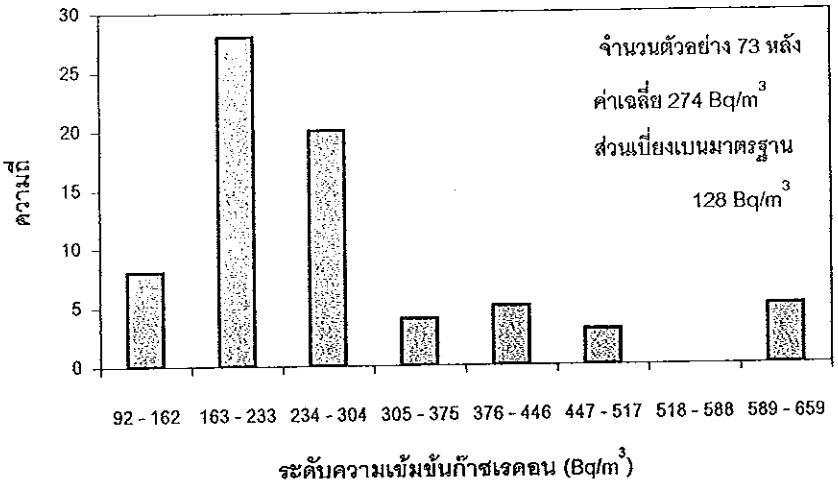
(e) อำเภอเมืองสงขลา



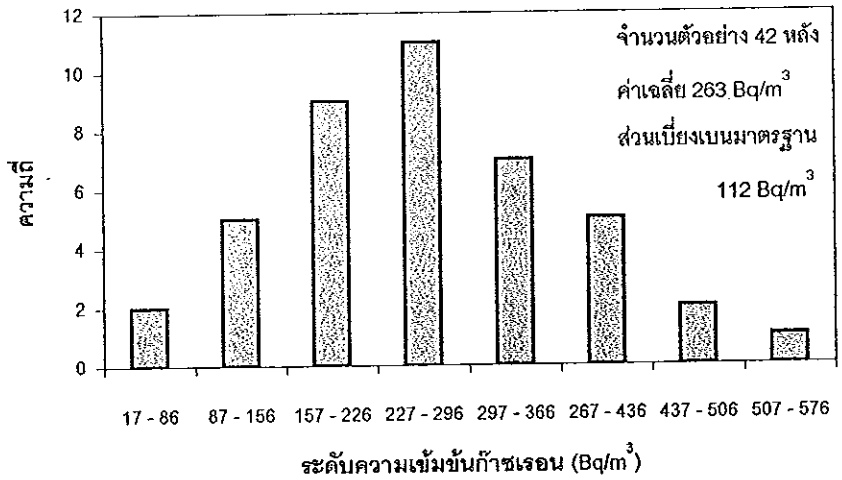
(f) อำเภอเทพา



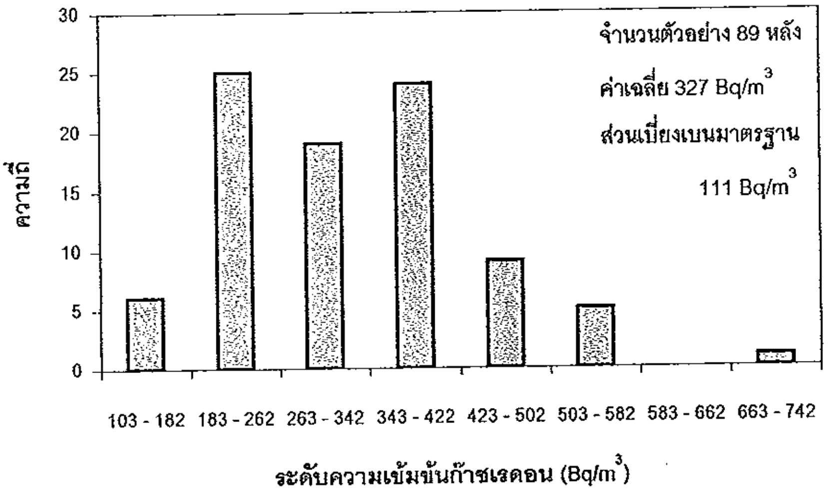
(g) อำเภอนาทวี



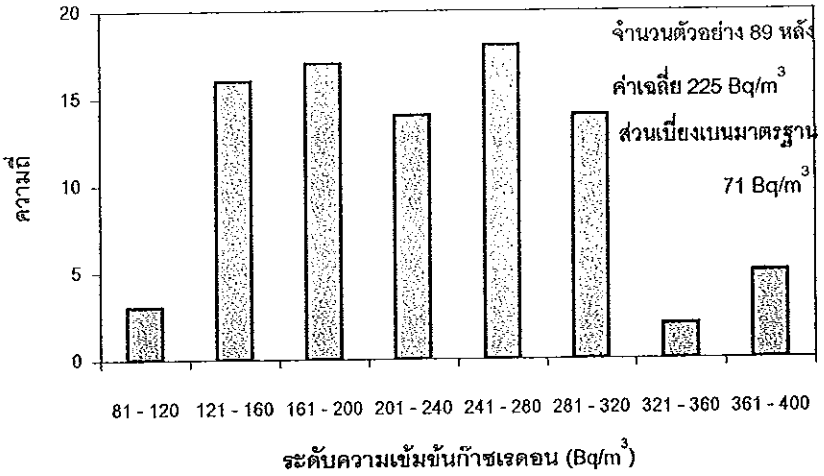
(h) อำเภอบางกล่ำ



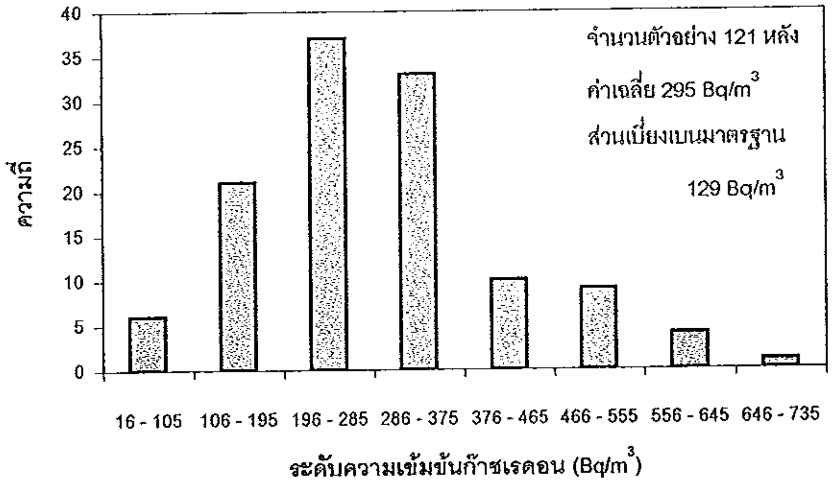
(i) อำเภอนาหม่อม



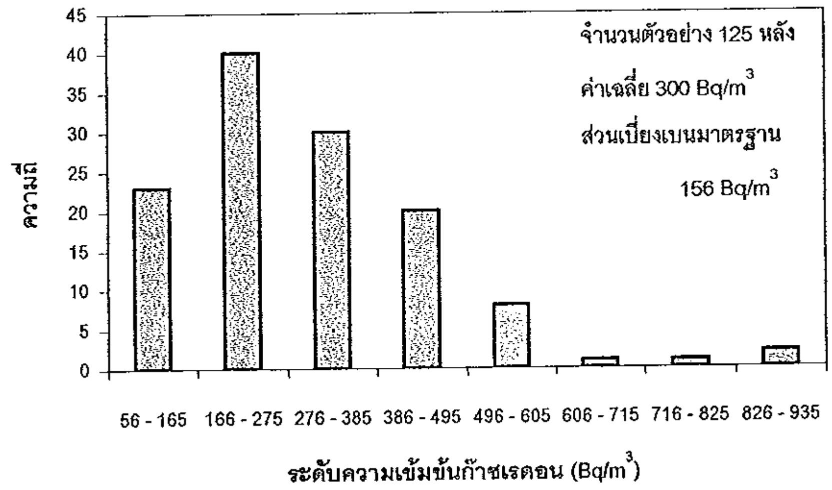
(j) อำเภอสทิงพระ



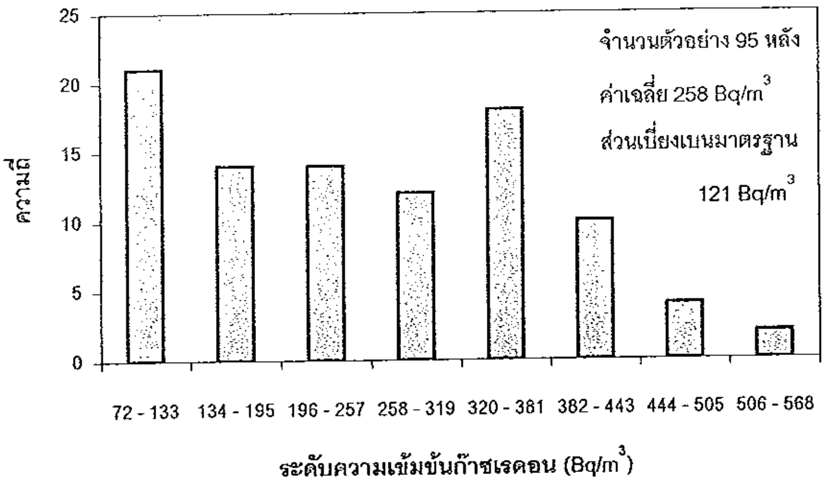
(k) อำเภอระโนด



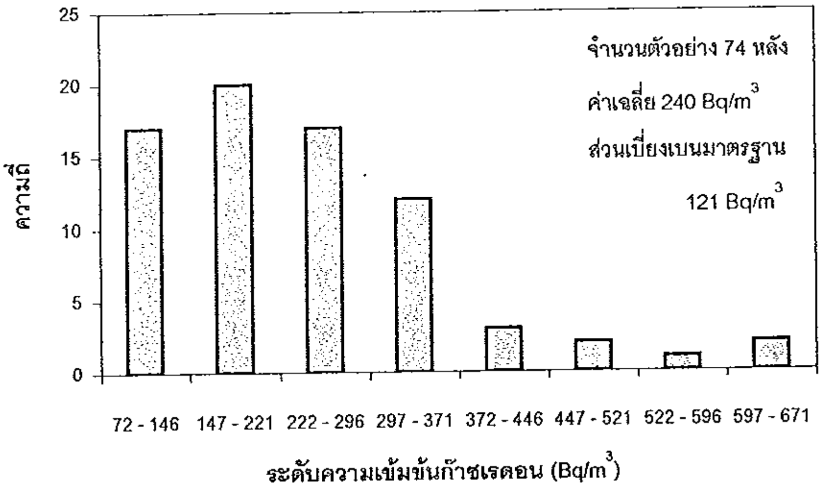
(l) อำเภอรัตภูมิ



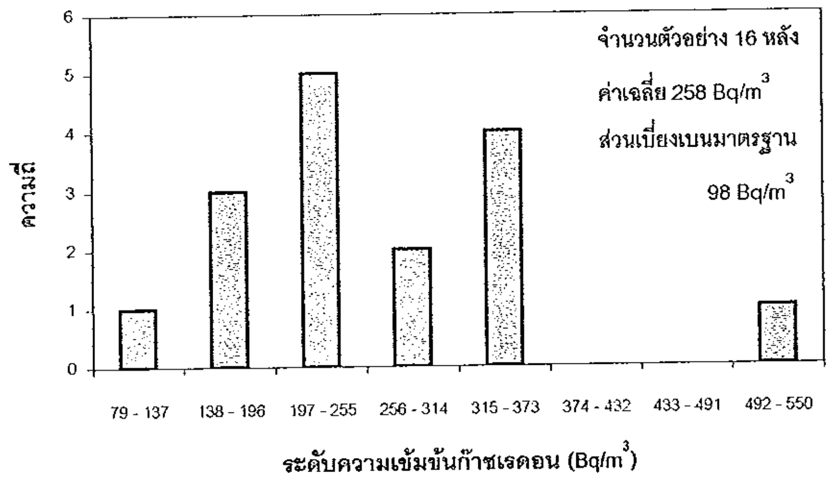
(m) อำเภอสะเดา



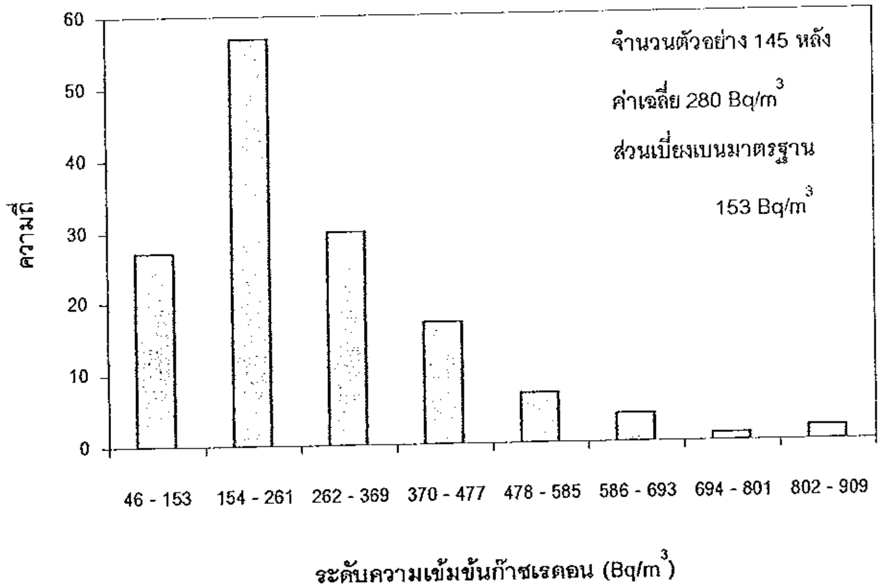
(n) อำเภอสะบ้าย้อย



(o) อำเภอสิงหนคร



(p) อำเภอหาดใหญ่



ภาพประกอบ 3.18 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละอำเภอ ในจังหวัดสงขลา (a) อำเภอกระแสสินธุ์, (b) อำเภอจะนะ, (c) อำเภอคลองหอยโข่ง (d) อำเภอควนเนียง, (e) อำเภอเมืองสงขลา, (f) อำเภอเทพา, (g) อำเภอนาทวี, (h) อำเภอบางกล่ำ, (i) อำเภอนาหม่อม, (j) อำเภอสทิงพระ, (k) อำเภอระโนด, (l) อำเภอรัตภูมิ, (m) อำเภอสะเดา, (n) อำเภอสะบ้าย้อย, (o) อำเภอสิงหนคร, (p) อำเภอหาดใหญ่

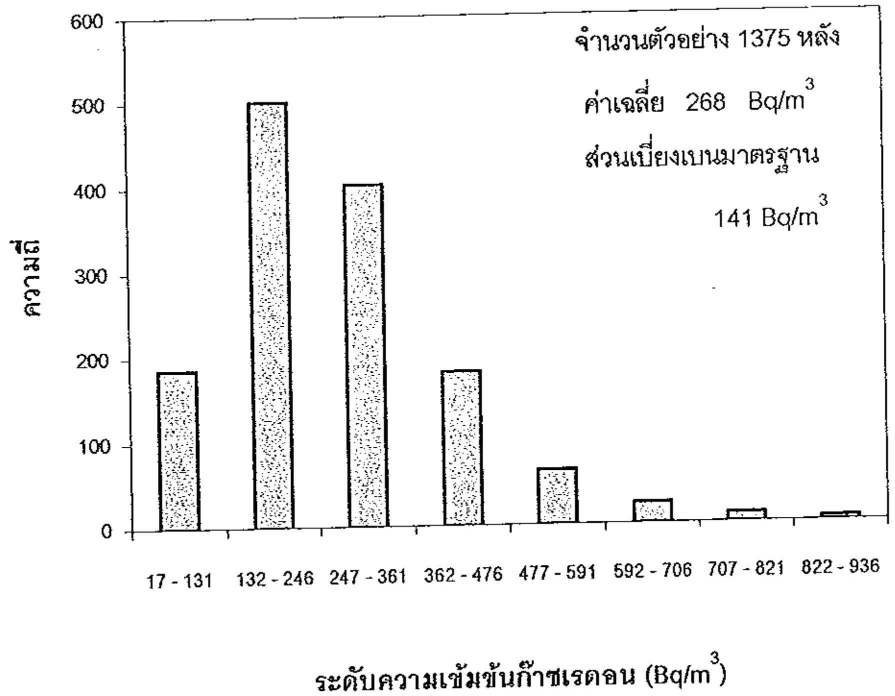
3.1.3 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในระดับจังหวัด

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน ในจังหวัดสงขลา จำนวน 1375 หลัง โดยครอบคลุมทุกอำเภอของจังหวัด ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่ได้ อยู่ในช่วง 19 - 935 Bq/m^3 ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Am) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 268 Bq/m^3 และ 141 Bq/m^3 ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนซึ่งประกอบด้วยค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะแสดงดังตาราง 3.18 และเมื่อนำระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดทั้งหมดมาแจกแจงความถี่และช่วงระดับความเข้มข้น ผลที่ได้จะแสดงดังภาพประกอบ 3.19

ตาราง 3.18 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

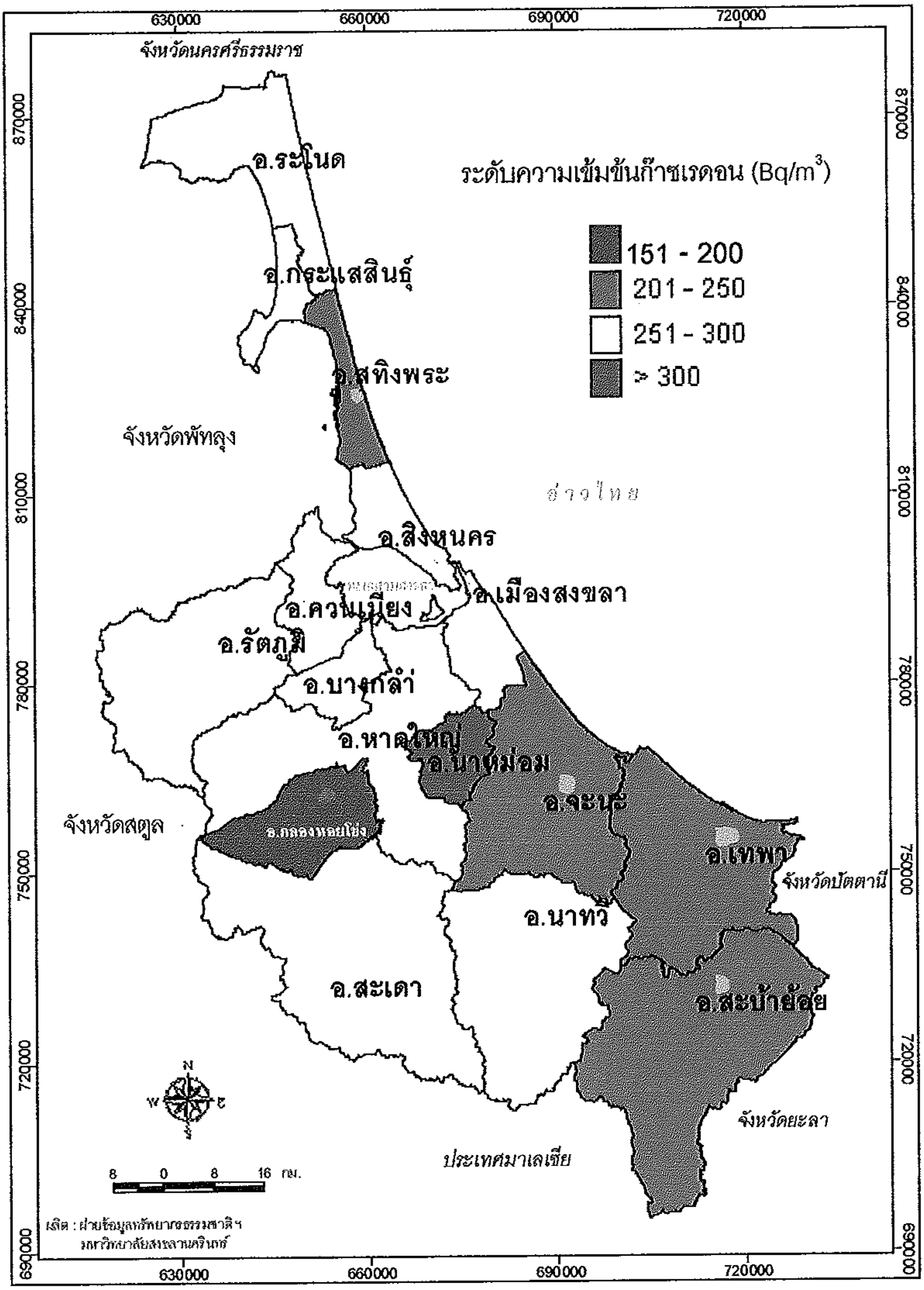
จำนวนบ้านเรือนที่ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอน (หลัง)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM $\pm$ SD) (Bq/m^3)
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย (AM)		
1375	19	935	268	141	268 $\pm$ 141

ภาพประกอบ 3.19 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา



เมื่อนำระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยของแต่ละอำเภอ ในพื้นที่จังหวัดสงขลา มาแสดงในแผนที่จังหวัดสงขลา จะได้ดังภาพประกอบ 3.20 ซึ่งพบว่า อำเภอส่วนใหญ่ของจังหวัดสงขลา จะมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 251 – 300 Bq/m^3 มากที่สุด

ภาพประกอบ 3.20 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในแต่ละอำเภอของจังหวัดสงขลา



3.1.4 การวิเคราะห์ผลของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดภายในบ้านเรือน ของจังหวัดสงขลา กับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ 148 และ 296 Bq/m^3

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ที่ได้จากการตรวจวัดทั้งหมด 1375 หลัง เมื่อนำมาวิเคราะห์ปรับเทียบกับค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ระดับ 148 Bq/m^3 (EPA) และที่ระดับ 296 Bq/m^3 (NCRP) ดังแสดงในตาราง 3.19, 3.20 พบว่าจำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.เมืองสงขลา มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำกว่า 148 Bq/m^3 มากที่สุด ซึ่งมีค่าประมาณ 35.8 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.นาหม่อม มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำกว่า 148 Bq/m^3 น้อยที่สุด มีค่าประมาณ 2.2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ อ.นาหม่อม ยังคงมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำกว่า 296 Bq/m^3 น้อยที่สุด มีค่าประมาณ 43.8 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนบ้านเรือนที่ทำการตรวจวัดของ อ.คลองหอยโข่ง มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 296 Bq/m^3 มากที่สุด มีค่าประมาณ 92.9 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 3.20 จะเห็นได้ว่า ในจังหวัดสงขลาไม่มีจำนวนบ้านเรือนของอำเภอใดที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนต่ำกว่า 148 Bq/m^{3}เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ แต่หากพิจารณาเทียบกับระดับ 296 Bq/m^3 พบว่า จำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนเกือบทุกอำเภอ มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำกว่า 296 Bq/m^3 เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นเพียง อ.นาหม่อม เท่านั้นที่มีจำนวนบ้านเรือนที่ได้ทำการตรวจวัด มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำกว่า 296 Bq/m^3 ไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 3.19 ค่าสถิติของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเทียบกับระดับ 148 และ 296 Bq/m^3

อันดับ	อำเภอ	จำนวนข้อมูล	ข้อมูลที่ ≤ 148 (Bq/m^3)	ข้อมูลที่ > 148 (Bq/m^3)	ข้อมูลที่ ≤ 296 (Bq/m^3)	ข้อมูลที่ > 296 (Bq/m^3)
1	คลองหอยโข่ง	42	7	35	39	3
2	เทพา	56	11	45	46	10
3	สทิงพระ	89	14	75	71	18
4	จะนะ	125	28	97	92	33
5	สะบ้าย้อย	74	19	55	54	20
6	กระแสสินธุ์	69	9	60	47	22
7	สิงหนคร	16	2	14	10	6
8	สะเดา	95	26	69	57	38
9	บางกล่ำ	42	7	35	27	15
10	ควนเนียง	91	8	83	58	33
11	นาทวี	73	7	66	56	17
12	หาดใหญ่	145	25	120	92	53
13	เมืองสงขลา	123	44	79	70	53
14	ระโนด	121	14	107	64	57
15	รัตภูมิ	125	19	106	69	56
16	นาหม่อม	89	2	87	39	50
	รวม	1,375	242	1,133	891	484

ตาราง 3.20 ค่าสถิติของผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

ที่	อำเภอ	จำนวนข้อมูล	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ข้อมูลที่	% ข้อมูลที่	% ข้อมูลที่	% ข้อมูลที่
			ต่ำสุด	สูงสุด	(AM) เฉลี่ย	(SD) Bq/m^3	≤ 148	> 148	≤ 296	> 296
1	คลองหอยโข่ง	42	111	324	189	45	16.7	83.3	92.9	7.1
2	เทพา	56	46	538	224	89	19.6	80.4	82.1	17.9
3	สทิงพระ	89	83	399	225	71	15.7	84.3	79.8	20.2
4	จะนะ	125	28	677	237	121	22.4	77.6	73.6	26.4
5	สะบ้าย้อย	74	74	670	240	121	25.7	74.3	73	27
6	กระแสสินธุ์	69	35	458	257	90	13	87.5	68.1	31.9
7	สิงหนคร	16	83	547	258	98	12.5	87.5	62.5	37.5
8	สะเดา	95	74	567	258	121	27.4	72.6	60	40
9	บางกล่ำ	42	19	575	263	112	16.7	83.3	64.3	35.7
10	ควนเนียง	91	83	898	273	143	8.8	91.2	63.7	36.3
11	นาทวี	73	92	659	274	128	9.6	90.4	76.7	23.3
12	หาดใหญ่	145	46	910	280	153	17.2	82.8	63.4	36.6
13	เมืองสงขลา	123	28	767	288	189	35.8	64.2	56.9	43.1
14	ระโนด	121	19	732	295	129	11.6	88.4	52.9	47.1
15	รัตภูมิ	125	56	935	300	156	15.2	84.8	55.2	44.8
16	นาหม่อม	89	102	742	327	111	2.2	97.8	43.8	56.2

3.2 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อมที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษาพิเศษ

ในการหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของพื้นที่อำเภอนาหม่อม ได้ทำการตรวจวัดรวมทั้งหมด 56 จุด ในการตรวจวัดได้ติดตั้งชุดตรวจวัดไว้ใต้พุ่มไม้ โดยให้อยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 150 – 160 เซนติเมตร ผลที่ได้จากการตรวจวัดพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน มีค่าต่ำสุดเท่ากัน 3 จุด อยู่ที่ตำแหน่งพิกัด (E/N) 666236/770701, 668965/769993 และ 672342/770909 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า 9 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัด อยู่ที่ตำแหน่งพิกัด (E/N) 672449/766715 ซึ่งมีค่า 416 Bq/m^3 ดังแสดงในตาราง ข - 1 (ภาคผนวก ข) ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน มีค่าอยู่ในช่วง 9 – 416 Bq/m^3 โดยมีค่าเฉลี่ย (AM) 174 Bq/m^3 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 102 Bq/m^3 ดังแสดงในตาราง 3.21 เมื่อทำการแจกแจงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัด แสดงดังภาพประกอบ 3.21 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน มีค่าอยู่ในช่วง 111 – 161 Bq/m^3 มากที่สุด โดยมีความถี่เท่ากับ 11 จุด และไม่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ในช่วง 315 – 365 Bq/m^3 ส่วนระดับความเข้มข้นในช่วง 366 – 416 Bq/m^3 เป็นช่วงที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูงสุด มีความถี่เท่ากับ 5 จุด

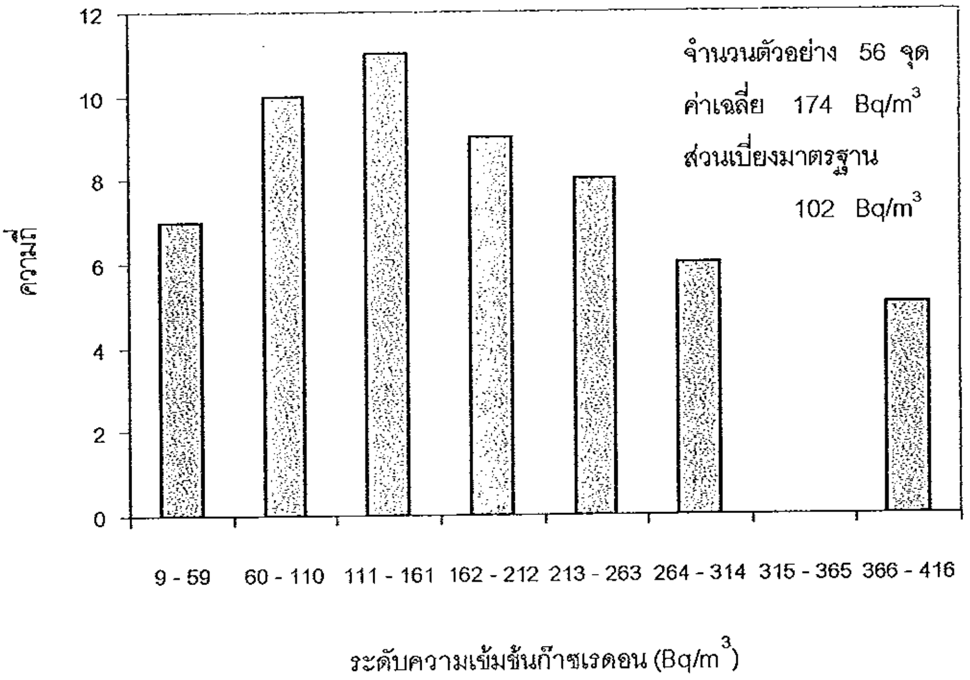
เมื่อเขียนคอนทัวร์ระหว่างตำแหน่งพิกัด (E/N) กับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนของแต่ละตำแหน่งลงในแผนที่อำเภอนาหม่อม จะได้ดังภาพประกอบ 3.22 ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่ของอำเภอนาหม่อมบริเวณที่มีเส้นคอนทัวร์ปรากฏชัดเจน ได้ 3 บริเวณ

1. บริเวณตอนกลางไปจดภาคตะวันออก รวมไปถึงบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอ ซึ่งเป็นบริเวณที่กว้างที่สุด
2. เป็นบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าบริเวณที่ 1 ลงมาเล็กน้อย โดยเฉียงเยื้องมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ คอนทัวร์ปรากฏเป็นพื้นที่เล็กๆ
3. จะอยู่บริเวณด้านล่างของแผนที่ ในบริเวณที่ 3 นี้ เป็นบริเวณรอบๆ เหมืองทุ่งโพธิ์

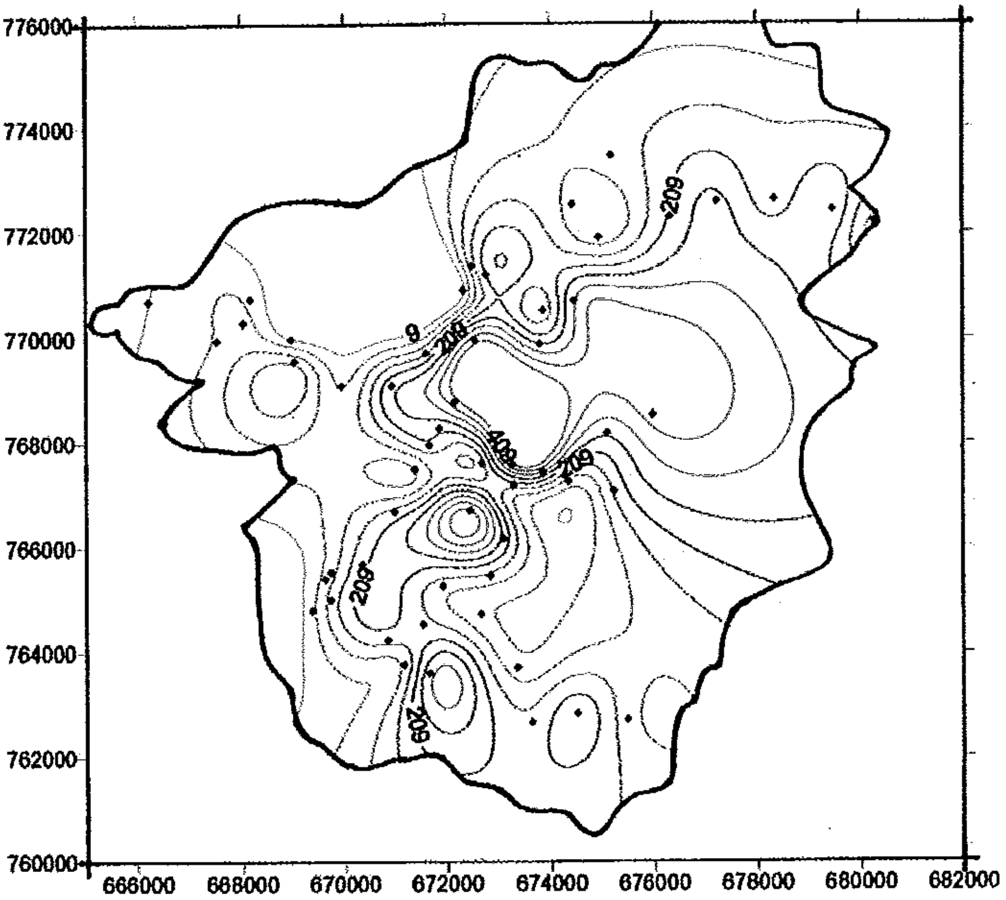
ตาราง 3.21 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม

จำนวนตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดก๊าซเรดอน (จุด)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) (Bq/m^3)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนรวม (AM $\pm$ SD) (Bq/m^3)
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย (AM)		
56	9	416	174	102	174 $\pm$ 102

ภาพประกอบ 3.21 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม



ภาพประกอบ 3.22 คอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3) ภายนอกบ้านเรือน ซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม



* การตรวจวัดนี้ใช้ระบบพิกัด UTM

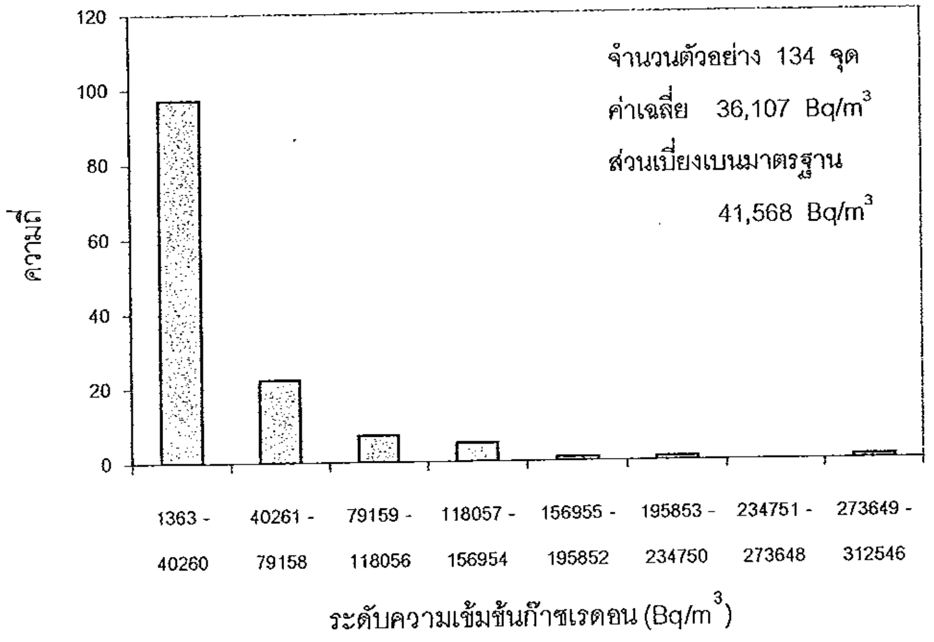
เครื่องหมาย ◆ แสดงตำแหน่งของจุดตรวจวัด

3.3 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม

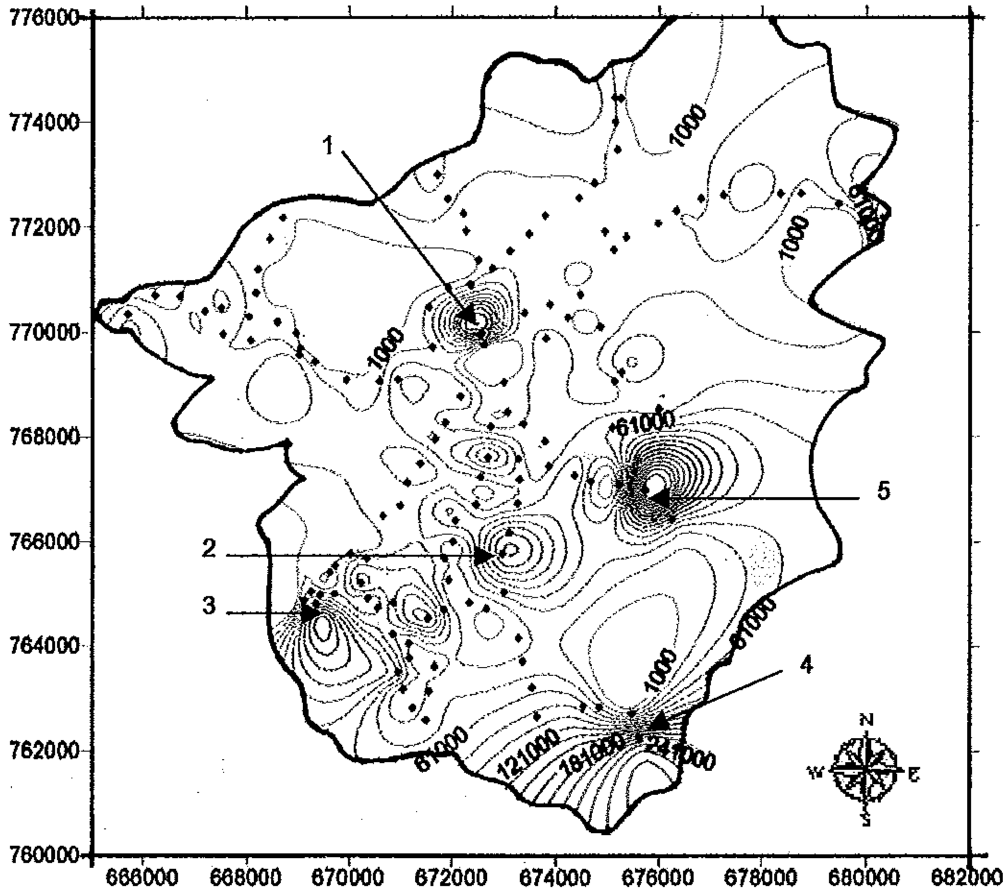
จากการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของพื้นที่อำเภอนาหม่อม โดยอาศัยชุดตรวจวัดรอยรังสีแอลฟา ชนิดแผ่นพลาสติก CR - 39 ซึ่งมีทั้งหมด 134 จุด นั้น พบว่ามีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนอยู่ในช่วงระหว่าง 1,364 – 312,546 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย (AM) มีค่า 36,107 Bq/m^3, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่า 41,568 Bq/m^3 ดังแสดงในภาพประกอบ 3.23 ซึ่งได้ทำการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน จะมีความถี่มากที่สุดในช่วง 1,363 – 40,260 Bq/m^3 เท่ากับ 97 จุด และจากผลการตรวจวัดยังพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุด และสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ (E/N) 668965/769993 และ 675728/766994 ตามลำดับ ดังแสดงใน ตาราง ข - 1 (ภาคผนวก ข)

นอกจากนี้เมื่อนำตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ (E/N) ของจุดที่ทำการตรวจวัดและระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้จากจุดนั้น มาเขียนคอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนซ้อนทับบนแผนที่อำเภอนาหม่อม จะมีลักษณะดังภาพประกอบ 3.24

ภาพประกอบ 3.23 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา



ภาพประกอบ 3.24 คอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3) ในอากาศของหลุมดิน ซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม



* การตรวจวัดนี้ใช้ระบบพิกัด UTM

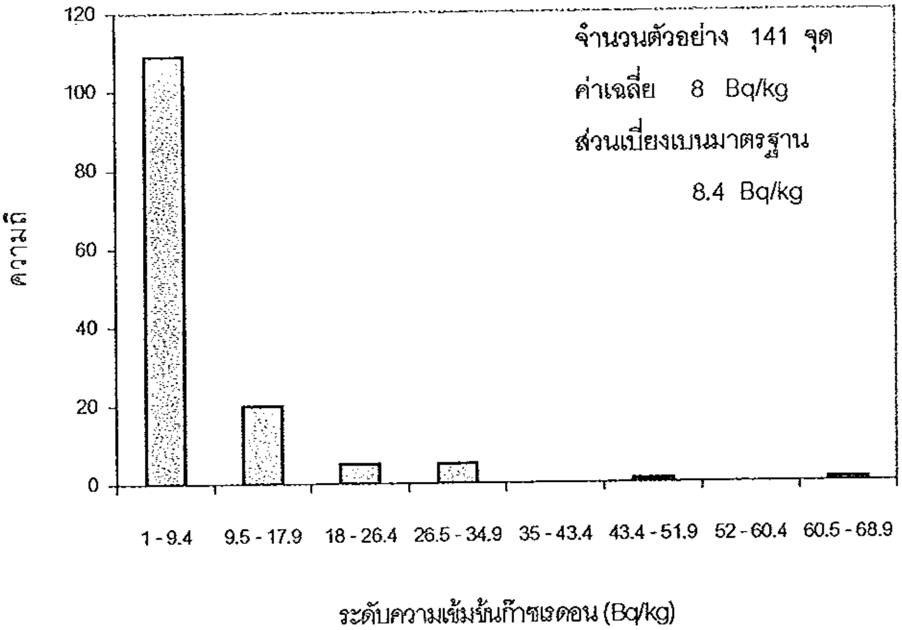
เครื่องหมาย ◆ แสดงตำแหน่งของจุดตรวจวัด

จากภาพประกอบ 3.24 พบว่าเส้นคอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนปรากฏชัดเจนอยู่ 5 จุด (ตามลูกศรชี้) โดยที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนจุดที่ 4 และจุดที่ 5 มีค่ารองสูงสุดและสูงสุด ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามที่จุดอื่นๆ คือ จุดที่ 1 – 3 ยังมีระดับความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ย 36,107 Bq/m^3 อยู่ดี

3.4 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

การตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากตัวอย่างดินในครั้งนี้ เป็นดินที่เก็บมาจากก้นหลุมที่ได้ทำการตรวจวัดในข้อ 3.3 นำมาทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีทั้งหมด 141 ตัวอย่าง ผลปรากฏว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินมีค่าระหว่าง 1 – 67.9 Bq/kg ดังแสดงในตาราง ข - 3 (ภาคผนวก ข) ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย (AM) มีค่า 8 Bq/kg และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.4 Bq/kg ดังตาราง ง - 20 (ภาคผนวก ง) และภาพประกอบ 3.25 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มดินตัวอย่างนั้น มีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วง 1 – 9.4 Bq/kg ตำแหน่งที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน มีค่าสูงสุด 67.9 Bq/kg นั้นอยู่ที่พิกัด (E/N) 676652/765940 เมื่อนำตำแหน่งพิกัด (E/N) ของตัวอย่างดินและระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน มาเขียนคอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.26 ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว ระดับความเข้มข้นส่วนใหญ่ที่ได้จากการตรวจวัดจะมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย แต่ทั้งนี้มีอยู่ 2 จุด ที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากตัวอย่างดินสูงเป็นพิเศษ โดยเส้นคอนทัวร์ปรากฏชัดเจนเป็นบริเวณกว้างทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอ และอีกบริเวณหนึ่งปรากฏเป็นพื้นที่เล็กทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอ แสดงให้เห็นว่าดินในบริเวณนี้น่าจะมีปริมาณของยูเรเนียมและเรเดียมปะปนอยู่สูง ทำให้ดินบริเวณนี้เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่สำคัญ ที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ที่ได้จากการตรวจวัดในบริเวณนี้ ของ อ.นาหม่อม นั้น มีค่าสูงมากด้วยเช่นกัน และพบว่าผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่ได้ครั้งนี้อยู่ในช่วงของผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน บริเวณรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ของสุขสวัสดิ์ (2543) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.9 ± 0.1 – 201.1 ± 1.6 Bq/kg

ภาพประกอบ 3.25 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินของอำเภอนาหม่อม



3.5 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้างในจังหวัดสงขลา

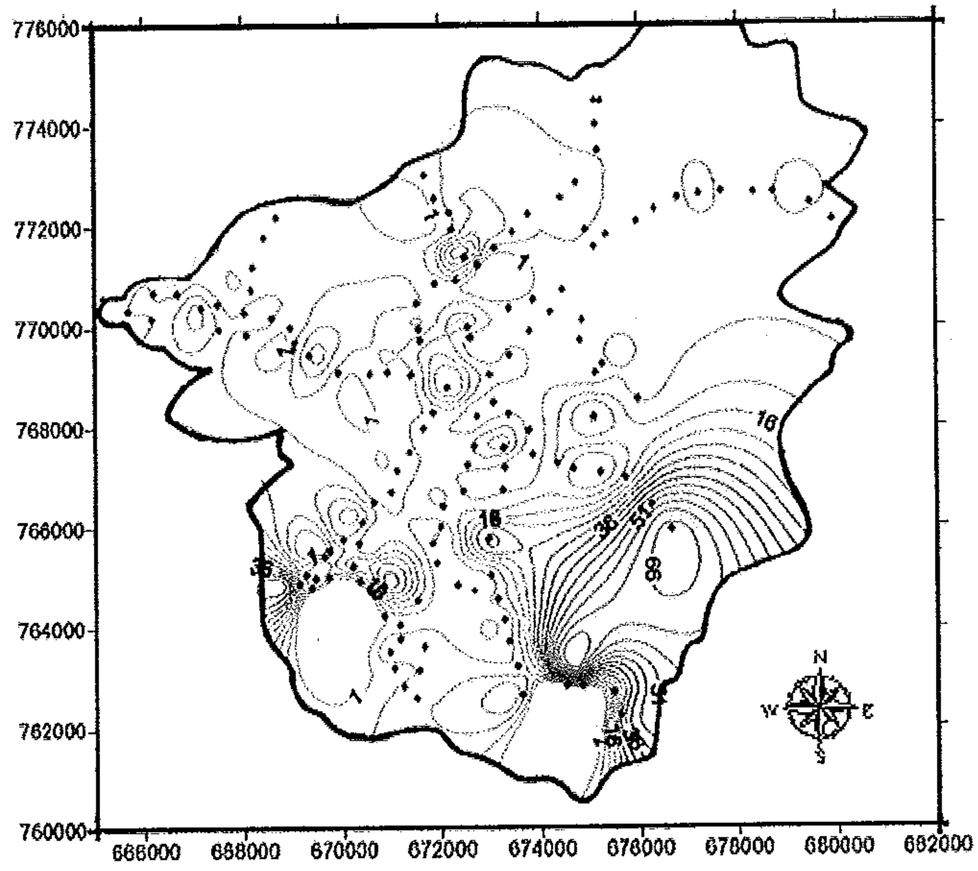
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา มาทำการตรวจวัดก๊าซเรดอนในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งสิ้น 121 ตัวอย่าง จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ว่า วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือน อาจมีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน แม้ว่าจะมีปัจจัยอื่นอีกมากมายที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ ผลจากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง แสดงดังตาราง 3.22 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนต่ำสุด 0.2 Bq/kg ที่ได้นั้นมาจากตัวอย่างทรายของ อ.หาดใหญ่ และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงสุดที่ได้นั้นมาจากตัวอย่างทรายของ อ.นาทวี ซึ่งมีค่า 9.4 Bq/kg ทั้งนี้ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย ที่ได้จากตัวอย่างทรายก่อสร้างของ อ.เมือง และ อ.นาทวี มีค่าต่ำสุดและสูงสุด ตามลำดับ และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน

เฉลี่ยที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายทั้งจังหวัด มีค่า 2.6 ± 1.3 (SD) Bq/kg ดังแสดงในตาราง ข - 4 (ภาคผนวก ข) และตาราง ง - 21 (ภาคผนวก ง) ตามลำดับ และเมื่อทำการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ดังภาพประกอบ 3.27 ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมีความถี่มากที่สุดอยู่ในช่วง 2.4 – 3.5 Bq/kg ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 51 ตัวอย่าง

ตาราง 3.22 ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้างของจังหวัดสงขลา

อันดับ	อำเภอ	จำนวนตัวอย่าง	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) (Bq/kg)
			ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย (AM)	
1	ควนเนียง	6	0.9	3	2.1	0.7
2	สิงหนคร	6	2.6	4.6	3.5	0.7
3	กระแสสินธุ์	9	1.5	4.7	2.8	1
4	หาดใหญ่	49	0.2	5.9	2.5	1.2
5	เมืองสงขลา	5	1.4	2.2	1.9	0.3
6	นาทวี	6	0.9	9.4	5.1	3
7	เทพา	8	1.3	2.7	2	0.6
8	รัตภูมิ	7	1.8	7.2	3.6	1.8
9	ระโนด	15	0.4	3.5	2.1	0.7
10	บางกล่ำ	5	2	2.4	2.3	0.3
11	คลองหอยโข่ง	5	1.6	3.7	2.5	0.8
	รวม	121	ตัวอย่าง			

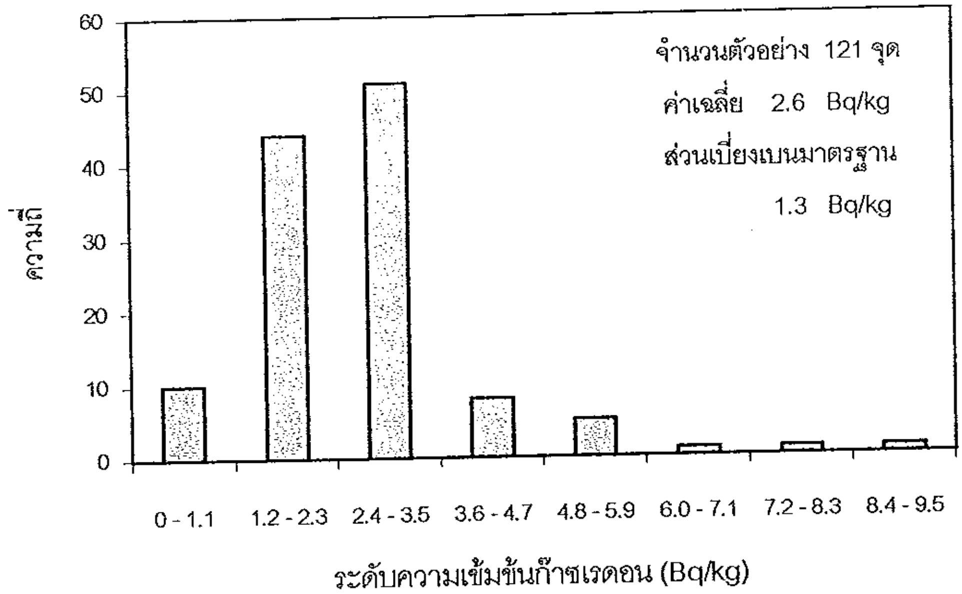
ภาพประกอบ 3.26 คอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3) ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ซ้อนทับแผนที่ของอำเภอนาหม่อม



* การตรวจวัดนี้ใช้ระบบพิกัด UTM

เครื่องหมาย ◆ แสดงตำแหน่งของจุดตรวจวัด

ภาพประกอบ 3.27 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ของจังหวัดสงขลา



3.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ย กับความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดของประชาชน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

จากการที่ก๊าซเรดอนเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งปอด ดังนั้นความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน จะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเป็นหลัก เนื่องจากในชีวิตประจำวันเราใช้เวลาส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในบ้านเรือน เมื่อพิจารณาผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ จะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลการตรวจวัดในพื้นที่อื่นๆ ของต่างประเทศ ดังแสดงในตาราง 3.23 ซึ่งข้อมูลจากตาราง 3.23 นั้น ขั้นต้นแสดงให้รู้ว่าประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ย่อมมีความเสี่ยงต่อโอกาสเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องจากก๊าซเรดอนสูง แม้ว่าจะยังมีอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ จากรายงานข้อมูลสถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา (หน่วยมะเร็ง, 2535 - 2539) ซึ่งแสดงดังตาราง 1.2 นั้น บอกเพียงจำนวนของผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดเพศชายและหญิงเท่านั้น ไม่ได้บ่งบอกถึงสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง ซึ่งหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดของประชาชน ในแต่ละอำเภอที่

มีสาเหตุมาจากก๊าซเรดอน กับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละอำเภอ โดยอาศัยเกณฑ์ในตาราง 1.3 (USEPA, 1992) ซึ่งเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน กับความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดในคน 1,000 คน ถ้าไม่สูบบุหรี่ ดังแสดงในตาราง 3.24 ซึ่งพบว่า อ.กระแสสินธุ์ มีจำนวนประชาชนที่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนน้อยที่สุด และ อ.หาดใหญ่ มีจำนวนประชาชนที่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนมากที่สุด โดยมีจำนวนประมาณ 52 คน 428 คน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนประชาชนที่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดที่คำนวณได้ในแต่ละอำเภอ เมื่อใช้เกณฑ์ของ USEPA (1992) นั้นสูงกว่าค่าสถิติผู้ป่วยโรคมะเร็งของหน่วยมะเร็ง (2535 - 2539) ที่แสดงในตาราง 1.2 มาก แสดงให้เห็นว่าจำนวนประชาชนที่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดเนื่องจากก๊าซเรดอน เมื่อใช้เกณฑ์ของ USEPA (1992) นั้นไม่สอดคล้องกับจำนวนประชาชนที่เป็นมะเร็งปอดจากข้อมูลของหน่วยมะเร็ง ดังนั้นในการประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนในจังหวัดสงขลานั้น อาจไม่สามารถใช้เกณฑ์ในตาราง 1.3 นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่กำหนดใช้เป็นแนวทางปฏิบัติที่ระดับ 148 Bq/m^3 ของ EPA หรือที่ระดับ 296 Bq/m^3 ของ NCRP (ตาราง 1.1) อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับจังหวัดสงขลา หรือในประเทศไทย ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่จะกำหนดใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ สำหรับจังหวัดสงขลาหรือในประเทศไทยในอนาคตอาจมีค่าสูงกว่าที่ระดับ 296 Bq/m^3 เพราะว่าแม้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยของจังหวัดสงขลาจะสูง แต่ความเสี่ยงต่อโอกาสการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนกลับน้อย และหากพิจารณาจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดที่แสดงในตาราง 1.2 พบว่าจะสูงเป็นเป็นพิเศษในเมืองใหญ่ๆ ของจังหวัด เช่น อ.หาดใหญ่ อ.เมือง และ อ.สะเดา ซึ่งสาเหตุของการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนในอำเภอเหล่านี้ ส่วนใหญ่จะมาจากสาเหตุของการสูบบุหรี่ ตลอดจนมลพิษทางสิ่งแวดล้อมของเมืองใหญ่เป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามก๊าซเรดอนย่อมมีส่วนเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอด ในกลุ่มคนเหล่านี้ด้วยอย่างแน่นอน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่กล่าวมาในหัวข้อนี้ เป็นการแสดงผลในลักษณะภาพกว้างๆ เท่านั้น เนื่องจากความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอนนั้นเกิดขึ้นในช่วงชีวิต ดังนั้นความเสี่ยงต่อการเป็นมะร็งปอดของประชาชนแต่ละคนจึงเกี่ยวข้องกับระยะเวลา ดังที่ National Cancer Institute (NCI, 1996) ได้รายงานว่า ความเสี่ยงที่จะมีโอกาส

เป็นมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประชาชนอาศัยอยู่ภายในบ้านเรือนที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนประมาณ 150 Bq/m^3 เป็นเวลา 30 ปี ทั้งนี้อาการจะเริ่มปรากฏชัดเจนในช่วงอายุระหว่าง 35 – 70 ปี และจากรายงานของ Hoppichler และ Lechleitner (1994) ระบุว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยของประเทศอังกฤษ ซึ่งมีค่าประมาณ 20 Bq/m^{3}นั้น มีความสัมพันธ์กับจำนวนประชากรที่เสียชีวิตเนื่องจากโรคมะเร็งปอดประมาณ 3.5 คน ต่อ 1,000 คน และจำนวนประชากรที่เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปอดอันเนื่องจากก๊าซเรดอนใน Eastern Umhausen ของประเทศออสเตเลีย ในช่วงเวลา 10 ปี มีประมาณ 24 คน ต่อ 1,000 คน นอกจากนี้ยังขาดข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น จำนวนผู้ป่วยมะเร็งปอดที่มีสาเหตุมาจากพฤติกรรมการสูบบุหรี่และก๊าซเรดอน เพียงอย่างเดียวมีจำนวนเท่าใด นอกจากนี้จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดจริงๆ ในแต่ละอำเภออาจมากกว่านี้ ตลอดจนขาดข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการสูบบุหรี่ของผู้ป่วยแต่ละคนที่เข้ามารับการรักษาฯลฯ ซึ่งการวิเคราะห์หาจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดอันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน หากว่ามีข้อมูลเหล่านี้ประกอบจะสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตาราง 3.23 ตัวอย่างผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของพื้นที่ต่างๆ ในต่างประเทศ

อันดับ	สถานที่ (จังหวัด, ประเทศ)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m^3)	เอกสารอ้างอิง
1	นอร์เวย์	68 - 74	Birovljev และ Strand (1996)
2	แคนาดา	45	CMHC (1997)
3	เมืองเม็กซิโก, เม็กซิโก	153 ± 29.1	Espinosa และ Gammage, (1997)
4	โรงเรียนอนุบาล, จอร์แดน	76.8	Kullab และคณะ (1997)
5	เมือง Schneeberg ของเยอรมันตะวันออก	290	Schuttman และ Becker (1998)
6	สหรัฐอเมริกา	48.1	USEPA (1999)
7	ฮิโรชิมา, ญี่ปุ่น	56.8	Yonehara และคณะ (1995)
8	บริเวณศูนย์ร้านค้า/ฮ่องกง	29 ± 7.8	Yu และคณะ (1997)
9	โปแลนด์	25	Zalewski และคณะ (1998)

ตาราง 3.24 การวิเคราะห์โอกาสเป็นมะเร็งปอดของประชาชน อันเนื่องมาจากก๊าซเรดอน ในจังหวัดสงขลา เมื่อใช้เกณฑ์การไม่สูบบุหรี่ของ USEPA (1992)

อำเภอ	จำนวนประชากร (คน)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย (Bq/m^3)	จำนวนประชากรที่มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดอันเนื่องจากก๊าซเรดอน (คน)	สถิติการเป็นมะเร็งปอดจากข้อมูลของหน่วยมะเร็ง (2535 – 2539)
คลองหอยโข่ง	21,953	189 ± 45	66	12
เทพา	63,006	224 ± 89	189	7
สทิงพระ	50,662	225 ± 71	152	14
จะนะ	89,821	237 ± 121	269	22
สะบ้าย้อย	54,901	240 ± 121	165	7
กระแสสินธุ์	17,330	257 ± 90	52	4
สิงหนคร	76,765	258 ± 98	230	10
สะเดา	82,805	258 ± 121	248	55
บางกล่ำ	25,447	263 ± 112	76	6
ควนเนียง	33,119	273 ± 143	99	6
นาทวี	53,664	274 ± 128	161	35
หาดใหญ่	142,754	280 ± 153	428	141
เมืองสงขลา	76,204	288 ± 189	229	62
ระโนด	74,452	295 ± 129	223	24
รัตภูมิ	64,008	300 ± 156	256	16
นาหม่อม	19,824	327 ± 111	79	5

บทที่ 4

บทวิจารณ์

ในส่วนของการวิจารณ์ได้จำแนกเป็นข้อๆ ดังนี้

1. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา
2. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
3. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน และที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม
4. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

1. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา

จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้มีช่วงกว้าง จาก 19 – 935 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยทั้งจังหวัดมีค่าประมาณ 268 Bq/m^3 โดยค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 148 Bq/m^3 กับ 296 Bq/m^3 ซึ่งเป็นแนวทางปฏิบัติของ EPA และ NRCP ตามลำดับ แต่หากเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย ที่แสดงในตาราง 3.23 พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยของจังหวัดสงขลามีค่าสูงกว่ามาก ทั้งนี้ปัจจัยเบื้องต้นที่ทำให้บ้านเรือนในจังหวัดสงขลามีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง อาจเนื่องมาจากตั้งอยู่บนบริเวณพื้นที่ที่มีปริมาณยูเรเนียมที่ผิวดินสูง ซึ่งพื้นที่ของจังหวัดสงขลาเกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณยูเรเนียมที่ผิวดินสูงกว่า 4 ppm eU ดังแสดงในภาพประกอบ 1.2 นอกจากนี้จากการตรวจวัดปริมาณยูเรเนียมที่ปะปนอยู่ในหินชนิดต่างๆ ของสุขสวัสดิ์ (2537) และปริมาณยูเรเนียมที่ปะปนอยู่ในทรายก่อสร้างของพรรณี (2537) พบว่าในหินและทรายเหล่านั้นมีปริมาณยูเรเนียมปะปนอยู่สูง เช่นหินแกรนิตมีความเข้มข้นยูเรเนียม 18.43 ± 4.81 ppm eU หินดินดานมีความเข้มข้นยูเรเนียม 17.97 ± 3.53 ppm eU ฯลฯ ส่วนในทรายก่อสร้างมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.83 – 9.17 ppm eU ทั้งนี้ Gundersen และคณะ (1992) กล่าวว่า

หินชนิดต่างๆในธรรมชาติที่มีปริมาณยูเรเนียมปะปนอยู่มากกว่า 2 ppm eU น่าจะเป็นตัวสร้างปัญหาเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่สำคัญ นอกจากนี้จากการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (สุขสวัสดิ์, 2543) นั้นพบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยมีค่า 8,060 Bq/m^3 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ที่ได้จากการตรวจวัดรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยทั่วไปมีค่าสูง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ล้วนมีส่วนโดยตรงต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนในจังหวัดสงขลาทั้งสิ้น และเมื่อพิจารณาลึกลงไปในระดับอำเภอ พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อม มีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงทางธรณีวิทยาของอำเภอนาหม่อม มีหินแกรนิตแทรกอยู่ทางด้านตะวันออกของอำเภอ โดยวางอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ที่อำเภอนาหม่อม มีค่าสูงมากที่สุด เมื่อเทียบกับอำเภออื่นๆ รอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยมีค่า 144,212 ± 981 Bq/m^3 (สุขสวัสดิ์, 2543) ตลอดจนระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ที่ได้จากการตรวจวัดในอำเภอนาหม่อมครั้งนี้โดยภาพรวมแล้วมีค่าสูง นอกจากนี้อำเภอนาหม่อมยังมีการทำเหมืองดีบุก ซึ่งกล่าวได้ว่าก๊าซเรดอนที่มาจากอากาศในดินและที่มากับน้ำบาดาลมีผลโดยตรงต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม

จากภาพประกอบ 3.19 พบว่าช่วงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่มีความถี่มากที่สุดอยู่ระหว่าง 132 – 361 Bq/m^3 ซึ่งมีจำนวน 904 หลัง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนส่วนใหญ่ของจังหวัดสงขลา มีค่าอยู่ในช่วงนี้ ทั้งนี้ผลของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในแต่ละหลังของจังหวัดสงขลาที่แตกต่างกันนั้นเกี่ยวข้องกับสภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยาในบริเวณนั้นเป็นหลัก ตลอดจนลักษณะสภาพบ้านเรือน วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง การระบายอากาศ ระบบการระบายอากาศ ซึ่งผลของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา จากการตรวจวัดครั้งนี้เป็นเพียงการแสดงค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในช่วงที่ทำการตรวจวัดเท่านั้น หากต้องการทราบถึงระดับความเข้มข้นเฉลี่ยที่แน่นอนยิ่งขึ้น อาจจะต้องทำการตรวจวัดซ้ำในพื้นที่นั้นๆ ทุกฤดูตลอดปีและทำการตรวจวัดซ้ำตลอดช่วงเวลาหลายๆ ปี แต่ทั้งนี้การตรวจวัดในลักษณะนี้อย่างน้อยต้องมีความพร้อมทั้งทางด้านเงินทุน กำลังคน

แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จังหวัดสงขลานั้น พบว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพทางธรณีวิทยาในพื้นที่นั้นๆ เป็นหลัก ซึ่งผลที่ได้จากการตรวจวัดครั้งนี้มีลักษณะสอดคล้องและเกื้อหนุนกับผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล และในอากาศของหลุมดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาของสุขสวัสดิ์ (2543) ที่กล่าวว่าบริเวณที่มีก๊าซเรดอนสูง ส่วนใหญ่วางตัวอยู่ตามแนวของตะวันตกของทะเลสาบสงขลา ซึ่งเป็นแนวเดียวกับการวางตัวของกลุ่มหินอัคนีซึ่งวางตัวตามแนวเทือกเขาบรรทัด อันประกอบไปด้วยหินไบโอไทต์แกรนิต หินทัวร์มาลีนแกรนิต หินแอไพลต์และหินเพกมาไทต์ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ อ.ศรีบรรพต ลงมาจนถึงฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของ อ.รัตภูมิ และบริเวณ อ.เมืองสงขลา อ.นาหม่อม และบางส่วนของ อ.หาดใหญ่ โดยที่บริเวณนี้มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาเป็นกลุ่มดินตะกอนใหม่ (Quaternary Deposits) และมีกลุ่มหินอัคนียุคจูแรสซิก-ไทรแอสซิก (Jurassic-Triassic) วางตัวอยู่ตามแนวเขารูปช้างเขาแก้ว รวมทั้งมีหินดินดานยุค Carboniferous โผล่เป็นหย่อมๆ ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของ อ.หาดใหญ่ อีกบริเวณหนึ่งคือ อ.ระโนด อ.บางแก้ว และรอยต่อระหว่าง อ.ปากพะยูน อ.ควนเนียง และฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของ อ.รัตภูมิ โดยพื้นที่ทั้งหมดในบริเวณนี้มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นแบบดินตะกอน จากที่ได้กล่าวไว้ตอนต้นว่า บ้านเรือนที่ปลูกสร้างอยู่บนบริเวณที่มีการสะสมตัวของหินแกรนิต หินดินดาน และหินฟอสเฟต หรืออยู่ใกล้กับแหล่งแร่บางชนิด เช่น ยูเรเนียม ดีบุก หรือตะกั่วน่าที่จะมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงผิดปกติ ทั้งนี้เพราะว่าหินและแร่ดังกล่าวโดยทั่วไปจะมีปริมาณเรเดียมปะปนอยู่สูง ซึ่งจากการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลาครั้งนี้ พบว่าอำเภอที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยสูง ได้แก่ อ.นาหม่อม อ.รัตภูมิ อ.ระโนด อ.เมือง และ อ.หาดใหญ่ ซึ่งเมื่อพิจารณาแผนที่แสดงความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาแล้ว พบว่าพื้นที่ของอำเภอเหล่านี้มีความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินสูง โดยพื้นที่เกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของอำเภอข้างต้นนี้มีค่าความเข้มข้นสูงอยู่ในช่วง 4 – 8 ppm eU และบางส่วนของ อ.นาหม่อม และ อ.รัตภูมิ จะมีความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินสูงเป็นพิเศษโดยมีค่าเกินกว่า 8 ppm eU และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน กับแผนที่แสดงความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดินรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าข้อมูลจากการตรวจวัดทั้งหมดเกินกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ มีความสอดคล้องกับแผนที่

แสดงความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดิน ดังนั้นในการประเมินระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน สามารถใช้แผนที่แสดงความเข้มข้นยูเรเนียมที่ผิวดิน เป็นแนวทางได้ในขั้นต้น

2. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนของ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

ผลจากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 9 – 416 Bq/m^3 โดยมีค่าเฉลี่ย 174 Bq/m^3 ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่อื่น เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่า 14.8 Bq/m^3 (USEPA, 1999) ประเทศแคนาดามีค่า 10 Bq/m^3 (CMHC, 1997) และที่ฮ่องกง มีค่า 28 Bq/m^3 (Man และ Yeung, 1998) นอกจากนี้ในการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อม มีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนทั้งภายในและภายนอกบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อมนั้นมีค่าสูงด้วยกันทั้งคู่ การที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อมมีค่าสูง น่าจะมาจากโครงสร้างทางธรณีวิทยาของอำเภอนาหม่อมที่มีแนวหินอัคนีแทรกอยู่ ดังภาพประกอบ ฉ – 1 (ภาคผนวก ฉ) ทำให้บริเวณนี้มีปริมาณยูเรเนียมปะปนอยู่ในหินและดินสูง นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำบาดาลของอำเภอนาหม่อมมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง ปัจจัยเหล่านี้ถือเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนโดยตรง นอกจากนี้ดินในพื้นที่ของอำเภอนาหม่อมส่วนใหญ่เป็นดินร่วนและดินร่วนปนทรายซึ่งมีสภาพซึมซาบได้สูง ทำให้ก๊าซเรดอนเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดสู่อากาศได้สะดวก ดังนั้นจึงทำให้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ตรวจวัดได้ที่อำเภอนาหม่อมมีค่าสูงมาก

เนื่องจากในการตรวจวัดมีข้อมูลบางจุดเกิดการสูญหายในขั้นตอนภาคสนาม เช่น จุดที่ทำการตรวจวัดที่เหมืองทุ่งโพธิ์ ซึ่งมีผลทำให้ผลของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน และเส้นคอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้ขาดหายไปบางส่วน

3. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน และที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม โดยภาพรวมแล้วมีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินที่ได้จากการตรวจวัดของ Voukotic (1997) และ Durrani (1997) ซึ่งมีค่า 6 – 86 kBq/m^3 และ 3 – 35 kBq/m^3 ตามลำดับ ข้อมูลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนจากการตรวจวัดที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยมีทั้งหมด 40 จุด ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด 8 จุด มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูงมากเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่พิกัด (E/N) 675605/762247 และ 675728/766994 (ภาคผนวก ข) ซึ่งมีค่า 225,414 Bq/m^3 และ 312,546 Bq/m^3 ตามลำดับ ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินในงานวิจัยนี้ ครอบคลุมผลที่ได้จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม 7 จุด (สุขสวัสดิ์, 2543) ซึ่งมีค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนอยู่ระหว่าง 2,923 ± 44 – 94,322 ± 253 Bq/m^3 และเมื่อนำข้อมูลดิบในภาคสนามมาตรวจดู พบว่าที่พิกัด (E/N) 676652/765940 ซึ่งตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน มีค่าสูงสุด 67.7 Bq/kg นั้น ข้อมูลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินเกิดการสูญหายในภาคสนาม ทำให้คาดการณ์ได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินที่จุดนี้ย่อมมีค่าสูงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน จากการตรวจวัดในอากาศของหลุมดินและที่แพร่มาจากตัวอย่างดินในตำแหน่งเดียวกัน พบว่าผลที่ได้จากการตรวจวัดทั้ง 2 ส่วนนั้น ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือตำแหน่งใดที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินมีค่าสูง ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากตัวอย่างดินตำแหน่งนั้นมีค่าสูงด้วย ซึ่งแสดงว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนนั้นมีทั้งที่อยู่บริเวณชั้นผิวดินและในระดับลึก คือมาจากชั้นหิน ชั้นน้ำบาดาล และตำแหน่งใดที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินต่ำ ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากตัวอย่างดินที่ตำแหน่งนั้นมีต่ำด้วย แสดงว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนที่ตำแหน่งนั้น ทั้งระดับชั้นผิวดินและระดับลึกมีค่าต่ำๆ แต่อาจมีบ้างที่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนจากการตรวจวัดทั้ง 2 อย่างนั้นตรงกันข้ามกัน เช่นที่พิกัด (E/N) 680345/772169 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินสูง แต่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากดินกลับต่ำ แสดงว่าแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอนนั้นอยู่ลึกลงไปจากระดับผิวดิน

เมื่อพิจารณาเส้นคอนทัวร์แสดงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินและที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินในพื้นที่ของอำเภอนาหม่อมนั้น พบว่ามีความเข้มข้นสูงอยู่บริเวณแนวตะวันออกจรดตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอ และบริเวณตอนล่างของอำเภอ ซึ่งลักษณะส่วนใหญ่ของพื้นที่บริเวณนี้จะเป็นเนินเขาขนาดเล็ก และโครงสร้างทางธรณีวิทยามีแนวหินอัคนีแทรกอยู่ ดังภาพประกอบ ฉ - 1 (ดูภาคผนวก ฉ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของยูเรเนียมและเรเดียมที่ปะปนอยู่ในชั้นหินและชั้นดินสูง นั้นคือทำให้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน และที่แพร่มาจากดินบริเวณนี้มีค่าสูง ปัจจัยเหล่านี้ย่อมมีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือนของประชาชน ในบริเวณนี้อย่างแน่นอน

4. ข้อวิจารณ์ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้างในจังหวัดสงขลา

ผลของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในพื้นที่จังหวัดสงขลาที่ได้นั้นถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูง มีค่าเฉลี่ย 2.6 Bq/kg แม้จะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากดิน ซึ่งมีค่า 8 Bq/kg แต่ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากตัวอย่างทรายบางจุดมีค่าสูงถึง 9.4 Bq/kg ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าทรายที่นำมาใช้ในการก่อสร้างบ้านเรือนเหล่านี้ ย่อมเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรดอน ซึ่งมีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่สูงขึ้นอย่างแน่นอน ดังนั้นคงจะเป็นการดีถ้าหากเราทราบถึงระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มทรายว่าค่าเท่าใด นำมาจากแหล่งใดและส่วนใหญ่ใช้กันในพื้นที่ไหน ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการประเมินระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในพื้นที่นั้นๆ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ทั้งหมด 1,375 หลัง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 19 – 935 Bq/m^3 มีค่าเฉลี่ย (AM) 268 Bq/m^{3}และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 141 Bq/m^3 ซึ่งระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนเฉลี่ยของจังหวัดสงขลาที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงกว่าระดับ 148 Bq/m^3 (USEPA) แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่าต่ำกว่าระดับ 296 Bq/m^3 ที่ NCRP กำหนดไว้เป็นแนวทางปฏิบัติ และผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมีค่าอยู่ในช่วง 9 – 416 Bq/m^3 ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนเฉลี่ยมีค่า 174 Bq/m^3 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 102 Bq/m^3

ผลจากการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน (Soil gas) ในอำเภอนาหม่อม 134 จุด พบว่ามีค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนอยู่ในช่วง 1364 – 312,546 Bq/m^3 และมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ย (AM) 36,107 Bq/m^3, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 41,568 Bq/m^3 นอกจากนี้จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม จำนวน 141 ตัวอย่าง พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 1 – 67.9 Bq/kg และมีค่าเฉลี่ย (AM) 8 Bq/kg, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.4 Bq/kg

จากการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้างในพื้นที่จังหวัดสงขลา จำนวน 121 ตัวอย่าง พบว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 – 9.4 Bq/kg โดยค่าเฉลี่ย (AM) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 2.6 Bq/kg และ 1.3 Bq/kg ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนที่ตรวจวัดได้ ในพื้นที่จังหวัดสงขลา เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศในยุโรป ตลอดจนหลายๆ ประเทศในเอเชียแล้วมีค่าสูง เหตุผลขั้นต้นที่ทำให้บ้านเรือนในจังหวัดสงขลานั้นมีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนสูง เนื่องจากบ้านเรือน

เหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีระดับความเข้มยูเรเนียมที่ผิวดินสูง นอกจากนี้บ้านเรือนของประชาชนโดยทั่วไปมักสร้างด้วยวัสดุที่มียูเรเนียม และเรเดียมปะปนอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ย่อมมีผลต่อระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนทั้งสิ้น แม้ว่าบ้านเรือนส่วนใหญ่ของประชาชนจะมีการเปิดประตูและหน้าต่างอยู่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการช่วยลดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนแล้วก็ตาม

5.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน ในพื้นที่จังหวัดสงขลาครั้งนี้ สามารถแสดงผลระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน ได้ละเอียดถึงระดับตำบล ซึ่งช่วยให้มองเห็นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนถึงแม้ว่าจะเป็นตำบลที่อยู่ในอำเภอเดียวกัน และมองเห็นภาพโดยรวมทั้งจังหวัด แต่จากที่กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชนในแต่ละหลังนั้น จะมีค่าแตกต่างกันออกไปแม้ว่าอยู่ใกล้กัน ทั้งนี้เพราะว่ามีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ ดังนั้นเพื่อให้การประเมินระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนและความเสี่ยงอันเนื่องจากก๊าซเรดอนของประชาชนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมจากขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้ ในเรื่อง

1) ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละอำเภอ ในจังหวัดสงขลา ทุกฤดูกาล ทั้งนี้เพราะว่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชนในแต่ละหลังตลอดทั้งปีนั้นมีค่าไม่เท่ากัน หากสามารถทำการตรวจวัดออกมาเป็นฤดูกาล ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนเฉลี่ยตลอดทั้งปีของแต่ละอำเภอและของจังหวัดได้ อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดลักษณะนี้ต้องมีความพร้อมในเรื่องของกำลังคนที่จะทำการวิจัย เนื่องจากต้องทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ให้เสร็จสิ้นทุกอำเภอภายในช่วงฤดูการต่างๆ ดังนั้นเพื่อให้เหมาะสมกับความพร้อมที่มีอยู่อาจเลือกศึกษาที่อำเภอใดอำเภอหนึ่งก่อน

2) เน้นศึกษาพื้นที่ที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนสูงเป็นพิเศษ เช่น ที่ อ.นาหม่อม หรือ อ.รัตภูมิ เป็นต้น โดยศึกษาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่เข้ามาส่วนทำให้ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของประชาชน ในอำเภอเหล่านี้มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา ความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศในดิน

วัสดุที่นำมาก่อสร้างบ้านเรือน โครงสร้างบ้านเรือน และการระบายอากาศ ตลอดจนการนำน้ำบาดาลมาใช้ ซึ่งการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนกับปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมด อาจต้องใช้เงินทุนสูงและระยะเวลานานมาก ดังนั้นในขั้นต้นอาจเลือกศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนกับปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง

3) ทำการประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งของประชาชน ไม่ว่าจะเป็นมะเร็งปอดและมะเร็งระบบทางเดินอาหารเนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนอยู่สูง ในพื้นที่ที่มีระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนสูง ทั้งนี้พบว่าสถิติการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนจากข้อมูลของหน่วยมะเร็งปอดนั้น อาจจะมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงอันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่นคนป่วยไม่ได้เข้ารับการรักษา อย่างไรก็ตามความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดของประชาชนอาจจะต่ำ แต่ในทางกลับกันความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในระบบทางเดินอาหารอาจสูงก็เป็นได้ ดังนั้นในการประเมินความเสี่ยงอาจจะเลือกพื้นที่ของอำเภอใดอำเภอหนึ่ง แล้วทำการเก็บข้อมูลผู้ป่วยโรคมะเร็งทั้งระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร ในพื้นที่นั้นมาประกอบกับข้อมูลของหน่วยมะเร็ง ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนและในน้ำบาดาล กับความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร อันเนื่องจากก๊าซเรดอนของประชาชนที่ได้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และคณะ. 1998. "ก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนในบ้านเรือน", Songklanakarin Journal Science and Technology. 20 (1998), 236 – 243.

ทรัพยากรธรณี, กรม. 2532. การสำรวจกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ, (แผ่นบันทึกข้อมูล) กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี.

ธงชัย พึ่งรัศมี. 2530. ธรณีวิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

หน่วยมะเร็ง. 2535. สถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา ทะเบียนมะเร็ง จังหวัดสงขลา. โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หน่วยมะเร็ง. 2536. สถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา ทะเบียนมะเร็ง จังหวัดสงขลา. โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หน่วยมะเร็ง. 2537. สถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา ทะเบียนมะเร็ง จังหวัดสงขลา. โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หน่วยมะเร็ง. 2538. สถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา ทะเบียนมะเร็ง จังหวัดสงขลา. โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หน่วยมะเร็ง. 2539. สถิติโรคมะเร็งประชากรของจังหวัดสงขลา ทะเบียนมะเร็ง จังหวัดสงขลา. โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พรรณี เสถียรศรี. 2537. การวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมในทรายก่อสร้างในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่. โครงงานฟิสิกส์.

สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล. 2543. การตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาลรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยเทคนิคการกัดรอยนิวเคลียร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต (สำเนา) สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล. 2537. การวัดปริมาณยูเรเนียม-238 ในหินชนิดต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดสงขลาพัทลุง ปัตตานี. โครงงานฟิสิกส์.

Air Chek. 1999. Radon Gas (Rn-222). http://www.radon.com.

Arata, W. and El-Karadawi, E. 1997. "Radon Concentration Determination in Some Dwelling of Doha City of Qatar", Radiation Measurements. 28 (1997), 595 – 598.

Australian Radiation Laboratory. 1990. "Radon in Homes", ARL Information Officer. http://www.health.gov.au/hfs/ar/is_radon.htm.

Birovljev, A. and Strand, T. 1996. "Radon Concentrations in New Dwellings in Norway", Norwegian Radiation Protection Authority. http://www.gr.is/nsfs/birov/je.htm.

Canada Mortgage and Housing Corporation and Health Canada. 1997. Radon : A Guide for Canadian Homeowners. Canada : CMHC office.

Chaimanee, N. and Tiyapirach, S. 1983. On the coastal Morphology of Songkhla Province Southern Thailand. First Symposium on Geomorphology and Quaternary Geology of Thailand. Bangkok, Thailand. p 81 – 95.

Choubey, Vinay M., Sharma, Kewal K. and Romola, R. C. 1997. "Geology of Radon Occurrence Around Jari in Parvati Valley, Himachal Pradesh, India", J. Environ. Radioactivity. 34 (1997), 139 – 147.

Dumont, R. S. and Figley, D. A. 1998. CBD – 247. Control of Radon in Houses. National Research Council Canada.

Durrani, S. A., *et al.*, 1997. "Estimating Soil Radon Concentration by Kriging in the Biggin Area of Derbyshire (UK)", Radiation Measurements. 28 (1997), 633 – 639.

Duval, J. S. 1998. "Indoor radon prediction using gamma – ray spectrometric data", EOS, Transections American Geophysical Union. 70 (1998), 496 - 502.

Dwivedi, K. K., *et al.*, 1997. "Indoor Radon Measurements in Some Indian Cities", Radiation Measurements. 28 (1997), 647 – 649.

Ennemoser, O., *et al.*, 1994. "High Indoor Radon Concentrations in an Alpine Region of Western Tyrol", Health Physics. 67 (1994), 151 – 154.

Espinosa, G. and Gammage, R. B. 1997. "Long – Term Radon Survey in Mexico City and other Regions of the Country", Radiation Measurements. 28 (1997), 663 – 665.

Faure, G. 1986. Principle of Isotope Geology (Second Edition). Singapore : John Wiley & Sons, Inc.

General Electric. 1977. Chart of Nuclides (Twelfth Edition). USA : General Electric Company.

Gundersen, L. C. S., *et al.*, 1992. Geology of Radon in the United States, In : Gates and Gundersen (Eds.), Geological Controls of Radon, Geol.Soc. Am. Special Paper 271, 1 – 16.

Hafez, A. F., Kotb, M. A. and Khalil, G. I. 1997. "Indoor Radon and Its Progeny Concentrations in Archaeological Places in Alexandria, Egypt", Radiation Measurements. 28 (1997), 671 – 674.

Hoppichler, F., Lechleitner. M. 1994. "Radon Exposure and Lung Cancer". The New England Journal of Medicine. 330 (1994), 1684 – 1685.

Hullab, M. K., *et al.*, 1997. "Study of Radon-222 Concentration Levels Inside Kindergartens IN Amman", Radiation Measurements. 28 (1997), 699 – 702.

International Commission on Radiological Protection. 1987. ICRP Publications 50 Lung Cancer Risk from Indoor Exposure to Radon Daughters. Pergamon Press, Oxford.

Jakupi, B., *et al.*, 1997. "Radon in Mines and Dwellings in Kosovo and Metohia", Radiation Measurements. 28 (1997), 691 – 694.

Keltoum, Oum Haken and Mohamed, Lferde. 1995. "Measurements Radon Activity in Indoor Air in Dwellings and Enclosed Work Area in Morocco", Applied Radiation and Isotopes. 46 (1995), 601 – 602.

National Cancer Institute. 1996. NCI Analysis of Home Radon Studies Finds Small Increase in Lung Cancer Risk, in Line with Predictions from Miner Studies. USA : NCI Press Office.

National Statistic Office. 1990. Population and Housing Census : Changwat Songkhla. Bangkok, Thailand : National Statistic Office, 1992

Otton, James K., Gundersen, Linda C.S. and Schumann, R. Randall. 1993. The Geology of Radon. http://sedwww.cr.usgs.gov:8080/radon/georadon.html.

Planinic, J., *et al.*, 1999. "Indoor radon dose assessment for Osijek", J. Environ. Radioactivity. 44 (1999), 97 – 106.

Songkhla Provincial Govemor Office. 1994. Songkhla Provincial Statistics (Thai).

Paramee Thongsuksai., *et al.*, 1998. "Cancer incidence in Songkhla, Southem Thailand, 1990 – 1994". Hat Yai : Radiology Department. (Unpublished)

US Environmental Protection Agency. 1999. "Radon (Rn)", Sources of Information on Indoor Air Quality, US EPA. http://www.epa.gov/iaq/radon/index.html.

US Environmental Protection Agency. 1996. A Radon Guide for Tenants. Washington, DC : Office of Air and Radiation.

US Environmental Protection Agency. 1993b. A - Physicial's Guide – Radon. Washington, DC : Office of Air and Radiation.

________. 1993a. Radon Measurement in Schools. Washington, DC : Office of Air and Radiation.

US Environmental Protection Agency. 1992. A Citizen's Guide to Radon (Secon Edition). Washington, DC : Office of Air and Radiation.

Vukotic, P., *et al.*, 1997. "Indoor Radon Concentrations in the Town of Podgorica – Montenegro", Radiation Measurements. 28 (1997), 755 – 758

Yaprak, G. 1999. "Indoor ^{222}Rn Concentrations in the Vicinity of a Turkish Coal-fired Power Plant", J. Environ. Radioactivity. 40 (1999), 131 – 135

Yonehara, Hidenori, *et al.*, 1995. "Radon Concentrations in Residential Housing in Hiroshima and Nagasaki", Health Physics. 73 (1995), 683 – 687.

Yu, K.N., *et al.*, 1997. "A Survey of Radon Properties in Underground Shopping Centers in Hong Kong", Applied Radiation and Isotopes. 48 (1997), 863 – 866.

Zalewski, M., *et al.*, 1998. "Radon Concentrations in Buildings in the North-eastern Region of Poland", J. Environ. Radioactivity. 40 (1998), 147 – 154.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ทฤษฎีและขั้นตอนที่ใช้ในการเตรียมสารมาตรฐานเรดอน

ทฤษฎีการสลายตัว

1) $A = \lambda N \; ; \; N = N_0 e^{-\lambda t}$ (ก - 1)

2) $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$ (ก - 2)

3) $A = A_0 e^{-\lambda t}$ (ก - 3)

4) $\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$ (ก - 4)

5) $N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} N_1 (e^{-\lambda_1 t_1} - e^{-\lambda_2 t_2})$ (ก - 5)

ก.1 สำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน

1 คำนวณความแรงรังสี (Activity; A) ของสารละลายเรเดียมมาตรฐานขณะที่ใช้เตรียมสารมาตรฐานเรดอน ในวันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2542

เมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2540 นั้น สารละลายเรเดียมมาตรฐาน 1 กรัม มีความแรงรังสี (A_0) 21.5377 Bq

จากสมการ $A = A_0 e^{-\lambda t}$

และ $\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$

โดยที่ A_0 คือ ความแรงรังสีของเรเดียม ณ วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2540

A คือ ความแรงรังสีของเรเดียม ณ วันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2542

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของเรเดียม

t คือ ระยะเวลาที่สลายตัว

$T_{\frac{1}{2}}$ คือ ค่าครึ่งชีวิตของธาตุเรเดียม

เมื่อ A_0 = 21.5377 Bq

t = 795 วัน

$T_{\frac{1}{2}} = 1620$ ปี

หาค่า λ จากสมการ (ก – 4) จะได้

$$\lambda = \frac{0.693}{1620 * 365}$$

$$\lambda = 1.171199 \times 10^{-6} \quad \text{วัน}$$

แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการที่ (ก – 3) ซึ่งจะได้

$$A = 21.5176191 \text{ Bq}$$

กล่าวคือ ในวันที่เตรียมสารเรดอนมาตรฐานนั้น สารละลายเรเดียมมาตรฐาน 1 กรัม จะมีความแรงรังสีเท่ากับ 21.5176191 Bq

2 ชั่งสารละลายเรเดียมมาตรฐาน

2.1 นำกระปุกขนาดเล็กมาวางบนเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง จากนั้นเซ็ทน้ำหนักกระปุกขนาดเล็กให้เท่ากับศูนย์

3 ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายเรเดียมมาตรฐานมาใส่ในกระปุกขนาดเล็ก

ในการเตรียมสารเรดอนมาตรฐานครั้งนี้ชั่งสารละลายเรเดียมมาตรฐานมา 4 กรณีคือ

3.1 0.009 กรัม

3.2 0.023 กรัม

3.3 0.0478 กรัม

3.4 0.0932 กรัม

เมื่อคำนวณความแรงรังสี (A) ของเรเดียมในแต่ละกรณีแล้วจะได้ว่า

น้ำหนักสารละลายเรเดียม 0.009 กรัม จะมีความแรงรังสี (A) เท่ากับ 0.193659 Bq

น้ำหนักสารละลายเรเดียม 0.023 กรัม จะมีความแรงรังสี (A) เท่ากับ 0.499203 Bq

น้ำหนักสารละลายเรเดียม 0.009 กรัม จะมีความแรงรังสี (A) เท่ากับ 1.028543 Bq

น้ำหนักสารละลายเรเดียม 0.009 กรัม จะมีความแรงรังสี (A) เท่ากับ 2.005444 Bq

ตัวอย่างการคำนวณ กรณี 3.1 0.009 กรัม

1 กรัม ของสารละลายเรเดียมมาตรฐาน มีความแรง (A_0) = 21.5176191 Bq

0.009 กรัม ของสารละลายเรเดียมมาตรฐาน มีความแรง (A_0)

= (21.5176191,x 0.009) = 0.193659 Bq

ที่ t = 0 ; จำนวนอะตอมของเรเดียม $\left(Na_{Ra}^{0}\right) = \left(\frac{A_0}{\lambda_{Ra}}\right)$

เมื่อ $\lambda_{Ra} = \frac{0.693}{1620*365*24*3600}$ = $1.35647 * 10^{-11}$ s^{-1}

$\therefore Na_{Ra}^{0} = \frac{0.193659}{1.35647*10^{-11}}$ = 14276625656 อะตอม

ที่ t = 0 ; จำนวนอะตอมของเรดอนที่มีอยู่ = N_{Rn} = 0

จำนวนอะตอมของเรดอนที่เกิดขึ้น = $\left(N_{Ra}^{0} - N_{Ra}\right)$ = 0

∴ จำนวนอะตอมของเรดอนที่สลายตัว = $\left(N_{Ra}^{0} - N_{Ra}\right)$ - N_{Rn} = 0

ที่เวลา 40 วัน

λ_{Ra} = $1.17199*10^{-6}$ วัน

Na_{Ra}^{0} = 14276625656 อะตอม

N_{Ra} ; $N_{Ra} = N_{Ra}^{0} e^{-\lambda_{Ra} t} = 14276625656 e^{-1.17199*10^{-6}(40)}$

N_{Ra} = 14275956387 อะตอม

หา N_{Rn} ที่เวลา 40 วัน จาก สมการ (ก - 5)

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} N_1 (e^{-\lambda_1 t_1} - e^{-\lambda_2 t_2})$$

เมื่อ t_1 คือเวลาที่เรเดียมสลายตัวไป ; 40 วัน

t_2 คือเวลาที่เรดอนสลายตัวไป

λ_1 คือค่าคงที่การสลายตัวของเรเดียม (λ_{Ra})

λ_2 คือค่าคงที่การสลายตัวของเรดอน (λ_{Rn})

N_1 คือจำนวนอะตอมของเรเดียมที่เวลาเริ่มต้น (Na_{Ra}^{0})

N_2 คือจำนวนอะตอมของเรดอนที่เวลาใดๆ

โดยที่ Na^0_{Ra} = 14276625656 อะตอม

t_1, t_2 = 40 วัน

λ_1 = $1.17199*10^{-6}$ /วัน

λ_2 = 0.693/3.824 = 0.181223849 /วัน

แทนค่าตัวแปรลงไปในสมการ ที่ (ก - 5) จะได้

$N_2 = N_{Rn} = 92259.0873$ อะตอม

นั่นคือจำนวนอะตอมของเรดอนที่มีอยู่ใน 40 วัน = 92259.0873 อะตอม

โดยจำนวนของอะตอมเรดอนที่สลายตัวไปใน 40 วัน มีค่า

$$= (Na^0_{Ra} - N_{Ra}) - N_{Rn}$$

$$= (14276625656 - 14275956387) - 92259.0873$$

= 577009.959 อะตอม

เนื่องจากทำการตรวจวัดเป็นเวลา 40 วัน ในภาชนะปิดปริมาตร 2 ลิตร

ดังนั้นอัตราการสลายตัว (A) เฉลี่ยของก๊าซเรดอน

$$= \frac{577009.959}{40*24*3600}$$

อัตราการสลายตัวเฉลี่ย = 0.1669589 Bq

และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน $= \frac{0.1669589}{0.002} = 83.5$ Bq/m^3

จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายเรเดียมมาตรฐาน และความเข้มข้นเรดอน ดังตาราง ก - 1

ตาราง ก - 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเรเดียมมาตรฐานและอัตราการสลายตัวของก๊าซเรดอนในช่วงเวลา 40 วัน ที่ทำการตรวจวัด

ความเข้มข้นสารละลายเรเดียมมาตรฐาน (Bq)	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมาตรฐาน (Bq/m^3)
0.193659	83.5
0.499203	215.2
1.028543	443.4
2.005444	864.5

4 นำกระปุกขนาดเล็กแต่ละใบ ในข้อ 3. มาใส่ไว้ในกระป๋องนมขนาด 2 ลิตร โดยใช้กระดาษกาว 2 หน้า ติดที่ก้นกระปุกขนาดเล็กกับก้นกระป๋องนมด้านในไว้

5 นำชุดตรวจวัดก๊าซเรดอนมาติดไว้ที่ฝาด้านในกระป๋องนม โดยใช้ผ้าเทปติดไว้ให้แน่น

6 ครอบฝากระป๋องนมให้ปิดสนิท ตั้งทิ้งไว้ 40 วัน

7 เมื่อครบเวลากำหนด 40 วัน นำชุดตรวจวัดออกมาจากกระป๋องนม และแกะแผ่นพลาสติก CR – 39 ออกมาจากก้นกระป๋องโค๊ก

8 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ไปเจาะรูด้วยสว่านดอกเล็กที่มุมแผ่น

9 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ไปกัดขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 6.25 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 100 นาที

10 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ผ่านกระบวนการกัดขยายรอยแล้วมาวางไว้บนแผ่นกระจกสไลด์ จากนั้นติดเทปใสยึดแผ่นพลาสติก CR – 39 ไว้กับแผ่นกระจกสไลด์

11 นำแผ่นพลาสติก CR – 39 มานับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา

12 นำความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาที่ได้ในข้อ 11 และระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในข้อ 3 ที่แสดงในตาราง ก - 2 ไปใช้ในการสร้างกราฟปรับเทียบ (Calibration Curve) โดยใช้โปรแกรมกราฟเฟอร์ (Grapher) ช่วยในการ พล็อตกราฟ

ตาราง ก - 2 ผลการเตรียมสารมาตรฐานสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนภายใน และภายนอกบ้านเรือน

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนมาตรฐาน (Bq/m^3)	ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา (Count/40 mm^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน (Count/40 mm^2)
0	0	0
83.4	9	3
215.2	21	5
443.4	51	7
864.5	92	10

ก.2 สำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในอากาศของหลุมดิน (Soil gas)

สำหรับการเตรียมสารมาตรฐานเรดอนในส่วนนี้ มีขั้นตอนเหมือนกับ ข้อ ก.1 เปลี่ยนเพียงความแรงรังสีมาตรฐานเรดอนที่ใช้มาเป็น 0, 2663, 3893, 8424 และ 16744 Bq/m^3 และเมื่อทำการนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ใน 1 ตารางเซนติเมตร ได้ผลดังแสดงใน ตาราง ก - 3 ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการพล็อตเส้นกราฟปรับเทียบ สำหรับหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศหลุมดิน

ตาราง ก - 3 ผลการเตรียมสารมาตรฐานสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา (Count/cm^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน (Count/cm^2)
0	0	0
2663	1300	36
3893	2064	45
8424	5648	75
16744	10484	102

ก.3 สำหรับการตรวจวัดก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง

การเตรียมสารมาตรฐานเรดอน เพื่อที่จะใช้หาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้างนั้น มีขั้นตอนเหมือนกับ ข้อ ก.2 เปลี่ยนเพียงความแรงรังสีมาตรฐานเรดอนที่ใช้มาเป็น 0, 53.3, 77.9, 168.5 และ 334.9 Bq/kg และเมื่อทำการนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ใน 1 ตารางเซนติเมตร ได้ผลดังแสดงในตาราง ก - 4 ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการพล็อตเส้นกราฟปรับเทียบสำหรับหาระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน

ตาราง ก - 4 ผลการเตรียมสารมาตรฐานสำหรับใช้ตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดินและทรายก่อสร้าง

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)	ความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟา (Count/cm^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน (Count/cm^2)
0	0	0
53.3	1300	36
77.9	2064	45
168.5	5648	75
334.9	10484	102

ภาคผนวก ข

ในภาคผนวกนี้จะเป็นตารางแสดงผลในหัวข้อต่อไปนี้

ข.1 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม

ข.2 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม

ข.3 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

ข.4 ผลการตรวจวัดก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

ตาราง ข - 1 ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม

อันดับ	หมายเลข	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
	พลาสติก CR - 39	E	N	Bq/m^3
1	4637	666236	770701	9
2	4672	667540	769961	65
3	4696	668045	770299	74
4	4699	668186	770745	46
5	4639	668965	769993	9
6	4713	669035	769564	148
7	4763	669370	764815	46
8	4732	669640	765421	83
9	4735	669728	765014	130
10	4750	669739	765550	93
11	4697	669954	769097	56
12	4741	670347	765691	195
13	4736	670853	764246	176
14	4702	670951	769097	241
15	4742	670992	766694	176

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR - 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน Bq/m^3
		E	N	
16	4738	671176	763776	121
17	4725	671383	767496	56
18	4756	671539	764545	176
19	4630	671610	769720	158
20	4722	671658	767960	195
21	4731	671659	763613	297
22	4752	671856	768283	222
23	4729	671921	765278	130
24	4706	672147	768773	389
25	4670	672342	770909	9
26	4726	672449	766715	416
27	4632	672495	771374	130
28	4629	672545	769971	389
29	4747	672659	764734	74
30	4757	672679	767611	139
31	4628	672775	771211	213
32	4733	672839	765482	148
33	4749	673091	766177	241
34	4730	673262	767582	408
35	4740	673284	767191	176
36	4727	673347	763720	83
37	4753	673618	762663	176
38	4718	673795	769892	260
39	4720	673850	767439	306
40	4638	673870	770525	130
41	4671	674346	767264	93
42	4709	674432	772543	93
43	4719	674462	770708	306

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR - 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
		E	N	Bq/m^3
44	4723	674507	762839	241
45	4701	674936	771914	83
46	4751	675083	768193	269
47	4631	675179	773471	130
48	4745	675223	767081	167
49	4734	675469	762721	130
50	4744	675993	768535	380
51	4705	676335	772305	213
52	4712	677241	772607	269
53	4708	678337	772642	185
54	4634	679463	772441	250
55	4633	680345	772169	93
56	4698	681422	772320	278
		ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (AM)		174

ตาราง ข - 2 ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน (Bq/m^3)
		E	N	
1	4500	665228	770598	3743
2	4506	665717	770346	56391
3	4511	666236	770701	6020
4	4540	666707	770684	20432
5	4520	667191	770400	26702
6	4484	667512	770462	45662
7	4509	667540	769961	24775

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR - 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
		E	N	Bq/m^3
8	4533	668045	770299	14320
9	4526	668092	769854	15941
10	4543	668186	770745	6013
11	4530	668223	771205	3520
12	4479	668445	771792	11381
13	4549	668599	770196	9333
14	4556	668683	772579	8984
15	4538	668698	772177	3838
16	4478	668965	769993	1364
17	4492	669035	769564	26156
18	4476	669049	769701	6827
19	4592	669134	764898	41407
20	4608	669268	765053	47303
21	4516	669346	769437	3571
22	4610	669370	764815	126198
23	4619	669450	764995	46120
24	4564	669640	765421	8519
25	4604	669728	765014	20279
26	4607	669739	765550	18613
27	4503	669954	769097	9123
28	4575	670027	765766	19312
29	4588	670231	765238	89953
30	4586	670347	765691	35225
31	4603	670362	764933	28324
32	4626	670565	764742	37521
33	4508	670594	769058	15344
34	4623	670654	766500	28369
35	4627	670852	764845	74237
36	4625	670853	764246	48823

อันดับ	หมายเลข	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
	พลาสติก CR - 39	E	N	Bq/m^3
37	4507	670951	769097	57714
38	4536	670956	763520	79516
39	4582	670992	766694	23440
40	4589	671057	763197	11680
41	4605	671132	767131	22759
42	4618	671172	764058	13054
43	4624	671176	763776	23001
44	4617	671244	762832	11947
45	4612	671383	767496	1968
46	4615	671498	762596	29399
47	4598	671539	764545	128170
48	4477	671542	770461	24597
49	4622	671550	763145	25850
50	4546	671610	769720	23790
51	4620	671658	767960	64379
52	4621	671659	763613	15312
53	4563	671704	773002	42882
54	4514	671833	764709	48021
55	4569	671836	765687	26881
56	4581	671856	768283	29628
57	4499	671899	772536	30270
58	4522	671915	770843	8901
59	4584	671921	765278	11286
60	4616	672011	766005	13442
61	4609	672055	766414	82601
62	4495	672147	768773	59514
63	4559	672202	772251	3043
64	4553	672251	771921	13671
65	4601	672334	764847	14237

อันดับ	หมายเลข	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
	พลาสติก CR - 39	E	N	Bq/m^3
66	4560	672342	770909	22066
67	4557	672449	766715	32325
68	4471	672495	771374	2064
69	4551	672535	767232	37534
70	4513	672545	769971	151231
71	4489	672608	769762	10065
72	4562	672659	764734	1689
73	4587	672679	767611	116372
74	4602	672732	768212	13067
75	4488	672775	771211	20514
76	4593	672959	765767	157998
77	4523	672986	769037	3177
78	4596	672995	765049	54044
79	4532	673069	768483	3667
80	4600	673091	766177	137913
81	4529	673107	771542	8278
82	4594	673247	766744	47563
83	4595	673262	767582	53593
84	4578	673268	764151	14491
85	4585	673284	767191	47837
86	4572	673347	763720	25221
87	4498	673362	768251	23135
88	4534	673379	770364	4805
89	4504	673460	771868	11330
90	4583	673529	763217	54216
91	4611	673618	762663	87148
92	4465	673771	772213	15363
93	4474	673775	767921	20718
94	4574	673775	767921	17131

อันดับ	หมายเลข	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
	พลาสติก CR - 39	E	N	Bq/m^3
95	4518	673795	769892	33406
96	4577	673850	767439	34551
97	4473	673870	770525	11782
98	4490	674213	770281	1523
99	4505	674346	767264	79446
100	4517	674432	772543	8471
101	4501	674462	770708	15840
102	4613	674527	762860	69893
103	4524	674669	767152	25997
104	4510	674744	772840	21990
105	4568	674841	762842	40446
106	4579	674846	770106	1784
107	4482	674936	771914	11248
108	4571	675083	768193	60818
109	4535	675106	771567	13391
110	4576	675125	769066	21869
111	4512	675131	774458	21583
112	4552	675145	773994	21220
113	4528	675179	773471	12660
114	4497	675223	767081	35308
115	4468	675242	774452	9187
116	4547	675261	769236	49045
117	4485	675353	771802	6668
118	4573	675469	762721	28343
119	4597	675605	762247	225414
120	4565	675728	766994	312546
121	4483	675973	772061	7120
122	4464	675993	768535	28941
123	4599	676249	766437	106056

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR - 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
		E	N	Bq/m^3
124	4527	676335	772305	20705
125	4493	676806	772540	15795
126	4470	677241	772607	37737
127	4494	678337	772642	34347
128	4475	678730	772650	12984
129	4496	679463	772441	15954
130	4519	679900	772091	11954
131	4567	679923	766681	75574
132	4521	680345	772169	143307
133	4472	680900	772254	11578
134	4467	681422	772320	16724
		ค่าเฉลี่ย (AM)		36107

ตาราง ข - 3 ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
		E	N	(Bq/kg)
1	36	665228	770598	1.8
2	23	665717	770346	6.0
3	38	666202	770171	5.8
4	22	666236	770701	6.2
5	14	666707	770684	5.4
6	16	667191	770400	16.6
7	21	667512	770462	6.6
8	57	667540	769961	9.2
9	13	668045	770299	7.3

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
		E	N	
10	32	668092	769854	4.9
11	26	668186	770745	2.6
12	25	668223	771205	2.7
13	7	668445	771792	2.7
14	29	668599	770196	7.4
15	1	668698	772177	3.0
16	15	668965	769993	1.6
17	30	669035	769564	4.3
18	4544	669049	769701	4.0
19	4808	669134	764898	25.2
20	4792	669268	765053	14.9
21	18	669346	769437	16.9
22	4809	669370	764815	2.6
23	4803	669450	764995	19.1
24	4770	669640	765421	2.7
25	4797	669728	765014	9.9
26	4784	669739	765550	2.6
27	40	669954	769097	3.1
28	4798	670027	765766	16.0
29	4795	670231	765238	19.7
30	4788	670347	765691	6.0
31	4767	670362	764933	3.9
32	4805	670410	766102	19.1
33	4812	670565	764742	3.6
34	46	670594	769058	3.5
35	4807	670654	766500	6.2
36	4793	670852	764845	29.7
37	4776	670853	764246	2.2
38	20	670951	769097	5.4

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด E	พิกัด N	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
39	4794	670956	763520	10.0
40	4796	670992	766694	3.5
41	4811	671057	763197	3.0
42	4789	671132	767131	2.1
43	4785	671172	764058	3.0
44	4766	671176	763776	7.8
45	4791	671244	762832	7.3
46	4780	671383	767496	4.5
47	54	671414	769033	3.9
48	4768	671498	762596	10.2
49	4782	671539	764545	10.6
50	4541	671542	770461	6.7
51	4783	671550	763145	6.6
52	8	671579	769948	1.2
53	5	671610	769720	8.1
54	4769	671658	767960	7.8
55	4771	671659	763613	8.6
56	10	671704	773002	3.1
57	4676	671836	765687	1.8
58	4772	671856	768283	7.2
59	4558	671899	772536	2.7
60	12	671915	770843	1.8
61	4707	671921	765278	2.5
62	4774	672011	766005	2.7
63	4775	672055	766414	11.8
64	47	672147	768773	26.9
65	4548	672202	772251	6.6
66	11	672251	771921	4.4
67	4778	672334	764847	1.1

อันดับ	หมายเลข	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน
	พลาสติก CR – 39	E	N	(Bq/kg)
68	27	672342	770909	5.4
69	4800	672449	766715	5.2
70	9	672495	771374	29.7
71	4765	672535	767232	7.2
72	4491	672545	769971	12.0
73	4703	672608	769762	4.3
74	4686	672659	764734	2.4
75	4799	672679	767611	11.8
76	4787	672732	768212	1.1
77	4545	672775	771211	2.6
78	4692	672959	765767	33.6
79	56	672986	769037	8.0
80	4694	672995	765049	5.4
81	4802	673069	768483	3.4
82	4810	673091	766177	15.7
83	4561	673107	771542	5.2
84	4764	673132	764560	8.2
85	48	673247	766744	5.3
86	4716	673262	767582	17.2
87	4695	673268	764151	2.6
88	4806	673284	767191	2.9
89	4690	673347	763720	4.9
90	4773	673362	768251	6.0
91	37	673379	770364	2.6
92	55	673390	769417	6.6
93	6	673460	771868	9.6
94	4685	673529	763217	7.4
95	4684	673618	762663	14.4
96	4542	673771	772213	6.2
97	4715	673775	767921	5.0

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
		E	N	
98	49	673795	769892	4.3
99	4693	673850	767439	3.1
100	4	673870	770525	2.1
101	44	674213	770281	3.9
102	4781	674346	767264	11.4
103	2	674432	772543	9.1
104	42	674462	770708	4.1
105	4691	674507	762839	5.2
106	4687	674527	762860	12.1
107	4711	674669	767152	4.5
108	4562	674744	772840	7.6
109	4682	674803	769714	2.7
110	4786	674841	762842	9.0
111	4700	674846	770106	3.2
112	4515	674936	771914	6.4
113	4683	675083	768193	21.6
114	39	675106	771567	3.9
115	4790	675125	769066	2.4
116	4537	675131	774458	4.1
117	24	675145	773994	3.4
118	3	675179	773471	5.7
119	4777	675223	767081	2.1
120	4539	675242	774452	4.0
121	4677	675261	769236	4.8
122	17	675353	771802	3.5
123	4689	675469	762721	15.6
124	4688	675605	762247	30.7
125	4804	675728	766994	12.9
126	33	675973	772061	3.8

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
		E	N	
127	4679	675993	768535	5.7
128	4678	676249	766437	51.1
129	50	676335	772305	2.4
130	4714	676652	765940	67.9
131	31	676806	772540	4.6
132	41	677241	772607	7.6
133	16	677691	772661	4.9
134	48	678337	772642	2.9
135	34	678730	772650	5.8
136	58	679463	772441	6.4
137	43	679900	772091	4.9
138	4681	679923	766681	14.3
139	52	680345	772169	4.8
140	45	680900	772254	1.0
141	53	681422	772320	2.6
		ค่าเฉลี่ย (AM)		8.0

ตาราง ข - 4 ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทราย ก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
		E	N	
1	182	675427	777922	1.9
2	186	675949	789515	1.4
3	313	675949	789515	2.2
4	927	679794	778217	2.1
5	2261	680963	780337	1.7
6	193	656146	764798	1.6
7	1852	656640	760630	2.2

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
		E	N	
8	705	657003	759313	2.4
9	578	658212	759540	3.7
10	1824	661993	757785	2.8
11	49	629085	779245	4.7
12	1093	631407	789403	2.9
13	78	633307	784723	1.8
14	481	636487	781086	2.3
15	674	636881	788047	7.2
16	2365	644049	792123	3.5
17	1509	645751	794369	2.7
18	65	640376	834156	3.5
19	64	641959	831642	4.7
20	66	642870	839060	2.2
21	62	644448	837225	1.5
22	63	644453	837518	1.9
23	61	645214	838130	3.9
24	67	646707	842218	2.7
25	68	647027	842840	2.2
26	69	647836	843908	2.9
27	1214	710396	743582	1.9
28	919	713804	744741	1.9
29	862	715976	758065	1.3
30	404	716257	756056	2.7
31	1769	716511	756784	2.7
32	823	717526	754872	1.7
33	2251	719288	746428	2.4
34	522	719950	753861	1.3
35	983	641816	869245	2.6
36	1456	643362	874563	2.4
37	1548	644846	874070	1.5

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด		ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
		E	N	
38	1796	644969	870413	1.6
39	1294	645538	873484	2.6
40	221	649333	867754	1.8
41	2090	649333	867754	2.1
42	951	649552	523202	2.4
43	94	650156	862765	2.3
44	708	650324	862891	3.5
45	2387	650552	856505	2.3
46	580	652657	848172	0.4
47	646	653545	845128	2.5
48	890	653545	845128	1.5
49	2349	654364	842014	2
50	1655	656061	784008	2
51	1327	656510	782670	2.6
52	333	658329	787246	2.1
53	1845	659192	784157	2.7
54	1239	660463	781728	2.1
55	1985	649105	795320	2
56	1051	650468	794741	2
57	997	650833	786108	2.1
58	1228	655329	749514	0.9
59	187	655831	792586	2.4
60	973	658005	801787	3
61	71	615517	803615	2.6
62	70	663715	812689	4.6
63	72	667068	801456	3.3
64	75	670870	796671	3.5
65	73	670981	797058	3.9
66	74	671367	797058	3.2
67	1256	674890	744988	2.8

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด E	พิกัด N	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
68	605	678422	737958	6.5
69	2110	678832	741096	9.4
70	361	680250	762074	5.3
71	1033	687418	740021	5.5
72	2427	687781	732613	0.9
73	2139	661833	766666	2.1
74	1600	662310	761072	3.2
75	552	662540	766055	2.4
76	1043	667456	784863	2.5
77	77	671092	783512	3.2
78	57			3
79	85			3.7
80	159			1.6
81	251			2.6
82	291			1.3
83	342			2.6
84	378			1.8
85	396			2.1
86	400			1.2
87	406			0.4
88	424			2.3
89	480			3.1
90	500			1.7
91	502			3.1
92	538			1
93	566			1.9
94	590			2.3
95	697			0.2
96	905			5.9
97	922			1.9

อันดับ	หมายเลข พลาสติก CR – 39	พิกัด E	พิกัด N	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)
98	931			2.4
99	1019			0.5
100	1047			0.6
101	1121			3.5
102	1150			4.1
103	1347			1.5
104	1387			5
105	1401			3.3
106	1467			2.7
107	1590			2.8
108	1618			2.4
109	1744			2.6
110	1783			2.4
111	1888			3.1
112	1890			0.9
113	1928			2.4
114	1929			2.4
115	2155			5.1
116	2187			0.6
117	2212			2.9
118	2231			3.5
119	2255			2.4
120	2435			3.3
121	2442			3.2
			ค่าเฉลี่ย (AM)	2.6
			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.3

หมายเหตุ ตัวอย่างทรายก่อสร้างหมายเลข 78 – 121 ไม่มีตำแหน่งพิกัด (E/N) เพราะเก็บมาจากพื้นที่เทศบาลและบริเวณใกล้เคียง ของอำเภอหาดใหญ่

ภาคผนวก ค

ในภาคผนวก ค นี้ จะแบ่งออกเป็น

ค.1 ตารางการแจงแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน

ค.1.1 ตารางการแจกแจงความถี่ในระดับอำเภอ

ค.1.2 ตารางการแจกแจงความถี่ในระดับจังหวัด

ค.2 ตารางการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม

ค.3 ตารางการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

ค.4 ตารางการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มดินตัวอย่างของพื้นที่อำเภอนาหม่อม

ค.5 ตารางการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

ค.1 ตารางการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน

ค.1.1 ตารางแจกแจงความถี่ในระดับอำเภอ

การแจกแจงความถี่ในระดับอำเภอซึ่งมีอยู่ 16 อำเภอนั้น จะแสดงแยกย่อยออกเป็นแต่ละอำเภอ ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง ค - 1 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนของแต่ละอำเภอ

อำเภอ กระแสสินธุ์	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f) (ตัวอย่าง)
	1	35 - 87	61	1
	2	88 - 140	114	5
	3	141 - 193	167	10
	4	194 - 246	220	16
	5	247 - 299	273	15
	6	300 - 352	326	13
	7	353 - 405	379	2
	8	406 - 458	432	7
				69

อำเภอ คลองหอยโข่ง	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	109 - 135	122	3
	2	136 - 162	149	9
	3	163 - 189	176	14
	4	190 - 216	203	7
	5	217 - 243	230	4
	6	244 - 270	257	2
	7	271 - 297	284	1
	8	298 - 324	311	2
				42

อำเภอ ควนเนียง	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	83 - 184	133.5	25
	2	185 - 286	235.5	32
	3	287 - 388	337.5	22
	4	389 - 490	439.5	6
	5	491 - 592	541.5	2
	6	593 - 694	643.5	2
	7	695 - 796	745.5	0
	8	797 - 898	847.5	2
				91

อำเภอ จะนะ	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	24 - 105	64.5	18
	2	106 - 187	146.5	26
	3	188 - 269	228.5	40
	4	270 - 351	310.5	21
	5	352 - 433	392.5	13
	6	434 - 515	474.5	4
	7	516 - 597	556.5	1
	8	598 - 679	638.5	2
				125

อำเภอ เทพา	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	44 - 105	74.5	4
	2	106 - 167	136.5	11
	3	168 - 229	198.5	17
	4	230 - 291	260.5	14
	5	292 - 353	322.5	6
	6	354 - 415	384.5	2
	7	416 - 477	446.5	1
	8	478 - 539	508.5	1
				56

อำเภอ นาทวี	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	92 - 162	127	8
	2	163 - 233	198	28
	3	234 - 304	269	20
	4	305 - 375	340	4
	5	376 - 446	411	5
	6	447 - 517	482	3
	7	518 - 588	553	0
	8	589 - 659	624	5
				73

อำเภอ นาหม่อม	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	103 - 182	142.5	6
	2	183 - 262	222.5	25
	3	263 - 342	302.5	19
	4	343 - 422	382.5	24
	5	423 - 502	462.5	9
	6	503 - 582	542.5	5
	7	583 - 662	622.5	0
	8	663 - 742	702.5	1
				89

อำเภอ บางกล่ำ	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	17 - 86	51.5	2
	2	87 - 156	121.5	5
	3	157 - 226	191.5	9
	4	227 - 296	261.5	11
	5	297 - 366	331.5	7
	6	267 - 436	401.5	5
	7	437 - 506	471.5	2
	8	507 - 576	541.5	1
				42

อำเภอ เมืองสงขลา	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	25 - 117	71	29
	2	118 - 210	164	23
	3	211 - 303	257	19
	4	304 - 396	350	20
	5	397 - 489	443	15
	6	490 - 582	536	6
	7	583 - 675	629	3
	8	676 - 768	722	8
				123

อำเภอ ระโนด	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	16 - 105	60.5	6
	2	106 - 195	150.5	21
	3	196 - 285	240.5	37
	4	286 - 375	330.5	33
	5	376 - 465	420.5	10
	6	466 - 555	510.5	9
	7	556 - 645	600.5	4
	8	646 - 735	690.5	1
				121

อำเภอ รัตภูมิ	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	56 - 165	110.5	23
	2	166 - 275	220.5	40
	3	276 - 385	330.5	30
	4	386 - 495	440.5	20
	5	496 - 605	550.5	8
	6	606 - 715	660.5	1
	7	716 - 825	770.5	1
	8	826 - 935	880.5	2
				125

อำเภอ สทิงพระ	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	81 - 120	100.5	3
	2	121 - 160	140.5	16
	3	161 - 200	180.5	17
	4	201 - 240	220.5	14
	5	241 - 280	260.5	18
	6	281 - 320	300.5	14
	7	321 - 360	340.5	2
	8	361 - 400	380.5	5
				89

อำเภอ สะเดา	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	72 - 133	102.5	21
	2	134 - 195	164.5	14
	3	196 - 257	226.5	14
	4	258 - 319	288.5	12
	5	320 - 381	350.5	18
	6	382 - 443	412.5	10
	7	444 - 505	474.5	4
	8	506 - 568	536.5	2
				95

อำเภอ สะบ้าย้อย	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	72 - 146	109	17
	2	147 - 221	184	20
	3	222 - 296	259	17
	4	297 - 371	334	12
	5	372 - 446	409	3
	6	447 - 521	484	2
	7	522 - 596	559	1
	8	597 - 671	634	2
				74

อำเภอ สิงหนคร	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	79 - 137	108	1
	2	138 - 196	167	3
	3	197 - 255	226	5
	4	256 - 314	285	2
	5	315 - 373	344	4
	6	374 - 432	403	0
	7	433 - 491	462	0
	8	492 - 550	521	1
				16

อำเภอ หาดใหญ่	ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
	1	46 - 153	99.5	27
	2	154 - 261	207.5	57
	3	262 - 369	315.5	30
	4	370 - 477	423.5	17
	5	478 - 585	531.5	7
	6	586 - 693	639.5	4
	7	694 - 801	747.5	1
	8	802 - 909	855.5	2
				145

ค.1.2 ตารางการแจงแจงความถี่ในระดับจังหวัด

เมื่อทำการแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ที่ได้จากการตรวจวัดภายในบ้านเรือน ของจังหวัดสงขลานั้น จะได้ดังตาราง 12

ตาราง ค - 2 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในระดับจังหวัด

ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
1	17 - 131	74	186
2	132 - 246	189	501
3	247 - 361	304	403
4	362 - 476	419	181
5	477 - 591	534	64
6	592 - 706	649	24
7	707 - 821	764	11
8	822 - 936	879	5
			1375

ตาราง ค - 3 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือนของอำเภอนาหม่อม

ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
1	9 - 59	34	7
2	60 - 110	85	10
3	111 - 161	136	11
4	162 - 212	187	9
5	213 - 263	238	8
6	264 - 314	289	6
7	315 - 365	340	0
8	366 - 416	391	5
			56

ตาราง ค - 4 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินของอำเภอนาหม่อม

ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
1	1363 - 40260	20811.5	97
2	40261 - 79158	59709.5	22
3	79159 - 118056	98607.5	7
4	118057 - 156954	137505.5	5
5	156955 - 195852	176403.5	1
6	195853 - 234750	215301.5	1
7	234751 - 273648	254199.5	0
8	273649 - 312546	293097.5	1
			134

ตาราง ค - 5 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
1	1 - 9.4	5.2	109
2	9.5 - 17.9	13.7	20
3	18 - 26.4	22.2	5
4	26.5 - 34.9	30.7	5
5	35 - 43.4	39.2	0
6	43.4 - 51.9	47.7	1
7	52 - 60.4	56.2	0
8	60.5 - 68.9	64.7	1
			141

ตาราง ค - 6 การแจกแจงความถี่ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ในจังหวัดสงขลา

ที่	ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/kg)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)
1	0 - 1.1	0.55	10
2	1.2 - 2.3	1.75	44
3	2.4 - 3.5	2.95	51
4	3.6 - 4.7	4.15	8
5	4.8 - 5.9	5.35	5
6	6.0 - 7.1	6.55	1
7	7.2 - 8.3	7.75	1
8	8.4 - 9.5	8.95	1
			121

ภาคผนวก ง

ในภาคผนวก ง นี้ จะแบ่งออกเป็น

ง.1 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือน ในระดับอำเภอ

ง.2 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับจังหวัด

ง.3 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน ของอำเภอนาหม่อม

ง.4 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ของอำเภอนาหม่อม

ง.5 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่ออกมาจากกลุ่มดินตัวอย่าง ของอำเภอนาหม่อม

ง.6 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่ออกมาจากกลุ่มทรายก่อสร้างตัวอย่าง ในจังหวัดสงขลา

ง.1 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับอำเภอ

ตาราง ง - 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอกระแสสินธุ์

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	35 – 87	1	61	-196	38416	38416
2	88 – 140	5	114	-143	20449	102245
3	141 – 193	10	167	-90	8100	81000
4	194 – 246	16	220	-37	1369	21904
5	247 – 299	15	273	16	256	3840
6	300 – 352	13	326	69	4761	61893
7	353 – 405	2	379	122	14884	29768
8	406 – 458	7	432	175	30625	214375
$\bar{x}$ (AM) = 257		69				553441
แทนในสูตร					8020.9	
					89.6	

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 90$$

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ง - 2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอควนเนียง

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	83 – 184	25	133.5	-139.5	19460.25	486506.25
2	185 – 286	32	235.5	-37.5	1406.25	45000
3	287 – 388	22	337.5	64.5	4160.25	91525.5
4	389 – 490	6	439.5	166.5	27722.25	166333.5
5	491 – 592	2	541.5	268.5	72092.25	144184.5
6	593 – 694	2	643.5	370.5	137270.25	274540.5
7	695 – 796	0	745.5	472.5	223256.25	0
8	797 – 898	2	847.5	574.5	330050.25	660100.5
$\bar{x}$ (AM) = 273		91				1868190.75
					20529.6	
	SD = 143				143.3	

ตาราง ง - 3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอจะนะ

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	24 – 105	18	64.5	-172.5	29756.25	535612.5
2	106 – 187	26	146.5	-90.5	8190.25	212946.5
3	188 – 269	40	228.5	-8.5	72.25	2890
4	270 – 351	21	310.5	73.5	5402.25	113447.25
5	352 – 433	13	392.5	155.5	24180.25	314343.25
6	434 – 515	4	474.5	237.5	56406.25	225625
7	516 – 597	1	556.5	319.5	102080.25	102080.25
8	598 – 679	2	638.5	401.5	161202.25	322404.5
$\bar{x}$ (AM) = 237		125				1829349.25
					14634.8	
	SD = 121				120.9	

ตาราง ง - 4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอคลองหอยโข่ง

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	109 – 135	3	122	-67	4489	13467
2	136 – 162	9	149	-40	1600	14400
3	163 – 189	14	176	-13	169	2366
4	190 - 216	7	203	14	196	1372
5	217 - 243	4	230	41	1681	6724
6	244 - 270	2	257	68	4624	9248
7	271 - 297	1	284	95	9025	9025
8	298 - 324	2	311	122	14884	29768
$\bar{x}$ (AM) = 189		42				86370
					2056.4	
	SD = 45				45.3	

ตาราง ง - 5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอเทพา

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	44 - 105	4	74.5	-149.5	22350.25	89401
2	106 - 167	11	136.5	-87.5	7656.25	84218.75
3	168 - 229	17	198.5	-25.5	650.25	11054.25
4	230 - 291	14	260.5	36.5	1332.25	18651.5
5	292 - 353	6	322.5	98.5	9702.25	58213.5
6	354 - 415	2	384.5	160.5	25760.25	51520.5
7	416 - 477	1	446.5	222.5	49506.25	49506.25
8	478 - 539	1	508.5	284.5	80940.25	80940.25
$\bar{x}$ (AM) = 224		56				443506
					7919.8	
	SD = 89				89	

ตาราง ง - 6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอนาทวี

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	92 - 162	8	127	-147	21609	172872
2	163 - 233	28	198	-76	5776	161728
3	234 - 304	20	269	-5	25	500
4	305 - 375	4	340	66	4356	17424
5	376 - 446	5	411	137	18769	93845
6	447 - 517	3	482	208	43264	129792
7	518 - 588	0	553	279	77841	0
8	589 - 659	5	624	350	122500	612500
$\bar{x}$ (AM) = 274		73				1188661
					16283	
	SD = 128				127.6	

ตาราง ง - 7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอนาหม่อม

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	103 - 182	6	142.5	-184.5	34040.25	204241.5
2	183 - 262	25	222.5	-104.5	10920.25	273006.25
3	263 - 342	19	302.5	-24.5	600.25	11404.75
4	343 - 422	24	382.5	55.5	3080.25	73926
5	423 - 502	9	462.5	135.5	18360.25	165242.25
6	503 - 582	5	542.5	215.5	46440.25	232201.25
7	583 - 662	0	622.5	295.5	87320.25	0
8	663 - 742	1	702.5	375.5	141000.25	141000.25
$\bar{x}$ (AM) = 327		89				1101022.25
					12371	
	SD = 111				111.2	

ตาราง ง - 8 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอบางกล่ำ

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i^*(x_i - \bar{x})^2$
1	17 - 86	2	51.5	-211.5	44732.25	89464.5
2	87 - 156	5	121.5	-141.5	20022.25	100111.25
3	157 - 226	9	191.5	-71.5	5112.25	46010.25
4	227 - 296	11	261.5	-1.5	2.25	24.75
5	297 - 366	7	331.5	68.5	4692.25	32845.75
6	267 - 436	5	401.5	138.5	19182.25	95911.25
7	437 - 506	2	471.5	208.5	43472.25	86944.5
8	507 - 576	1	541.5	278.5	77562.25	77562.25
$\bar{x}$ (AM)	= 263	42				528874.5
					12592.2	
	SD = 112				112.2	

ตาราง ง - 9 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอเมืองสงขลา

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i^*(x_i - \bar{x})^2$
1	25 - 117	29	71	-217	47089	1365581
2	118 - 210	23	164	-124	15376	353648
3	211 - 303	19	257	-31	961	18259
4	304 - 396	20	350	62	3844	76880
5	397 - 489	15	443	155	24025	360375
6	490 - 582	6	536	248	61504	369024
7	583 - 675	3	629	341	116281	348843
8	676 - 768	8	722	434	188356	1506848
$\bar{x}$ (AM)	= 288	123				4399458
					35767.9	
	SD = 189				189.1	

ตาราง ง - 10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอระโนด

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m³)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m³)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	16 - 105	6	60.5	-234.5	54990.25	329941.5
2	106 - 195	21	150.5	-144.5	20880.25	438485.25
3	196 - 285	37	240.5	-54.5	2970.25	109899.25
4	286 - 375	33	330.5	35.5	1260.25	41588.25
5	376 - 465	10	420.5	125.5	15750.25	157502.5
6	466 - 555	9	510.5	215.5	46440.25	417962.25
7	556 - 645	4	600.5	305.5	93330.25	373321
8	646 - 735	1	690.5	395.5	156420.25	156420.25
$\bar{x}$ (AM) = 295		121				2025120.25
					16736.6	
	SD = 129				129.4	

ตาราง ง - 11 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอรัตภูมิ

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m³)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m³)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	56 - 165	23	110.5	-189.5	35910.25	825935.75
2	166 - 275	40	220.5	-79.5	6320.25	252810
3	276 - 385	30	330.5	30.5	930.25	27907.5
4	386 - 495	20	440.5	140.5	19740.25	394805
5	496 - 605	8	550.5	250.5	62750.25	502002
6	606 - 715	1	660.5	360.5	129960.25	129960.25
7	716 - 825	1	770.5	470.5	221370.25	221370.25
8	826 - 935	2	880.5	580.5	336980.25	673960.5
$\bar{x}$ (AM) = 300		125				3028751.25
					24230	
	SD = 156				155.7	

ตาราง ง - 12 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสทิงพระ

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m³)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m³)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	81 - 120	3	100.5	-124.5	15500.25	46500.75
2	121 - 160	16	140.5	-84.5	7140.25	114244
3	161 - 200	17	180.5	-44.5	1980.25	33664.25
4	201 - 240	14	220.5	-4.5	20.25	283.5
5	241 - 280	18	260.5	35.5	1260.25	22684.5
6	281 - 320	14	300.5	75.5	5700.25	79803.5
7	321 - 360	2	340.5	115.5	13340.25	26680.5
8	361 - 400	5	380.5	155.5	24180.25	120901.25
$\bar{x}$ (AM)	= 225	89				444762.25
					4997.3	
	SD = 71				70.7	

ตาราง ง - 13 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสะเดา

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m³)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m³)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	72 - 133	21	102.5	-155.5	24180.25	507785.25
2	134 - 195	14	164.5	-93.5	8742.25	122391.5
3	196 - 257	14	226.5	-31.5	992.25	13891.5
4	258 - 319	12	288.5	30.5	930.25	11163
5	320 - 381	18	350.5	92.5	8556.25	154012.5
6	382 - 443	10	412.5	154.5	23870.25	238702.5
7	444 - 505	4	474.5	216.5	46872.25	187489
8	506 - 568	2	536.5	278.5	77562.25	155124.5
$\bar{x}$ (AM)	= 258	95				1390559.75
					14637.5	
	SD = 121				120.9	

ตาราง ง - 14 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสะบ้าย้อย

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	72 - 146	17	109	-131	17161	291737
2	147 - 221	20	184	-56	3136	62720
3	222 - 296	17	259	19	361	6137
4	297 - 371	12	334	94	8836	106032
5	372 - 446	3	409	169	28561	85683
6	447 - 521	2	484	244	59536	119072
7	522 - 596	1	559	319	101761	101761
8	597 - 671	2	634	394	155236	310472
$\bar{x}$ (AM) = 240		74				1083614
					14643.4	
	SD = 121				121	

ตาราง ง - 15 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอสิงหนคร

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	79 - 137	1	108	-150	22500	22500
2	138 - 196	3	167	-91	8281	24843
3	197 - 255	5	226	-32	1024	5120
4	256 - 314	2	285	27	729	1458
5	315 - 373	4	344	86	7396	29584
6	374 - 432	0	403	145	21025	0
7	433 - 491	0	462	204	41616	0
8	492 - 550	1	521	263	69169	69169
$\bar{x}$ (AM) = 258		16				152674
					9542.1	
	SD = 98				97.7	

ตาราง ง - 16 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอำเภอหาดใหญ่

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้น ก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i^*(x_i - \bar{x})^2$
1	46 - 153	27	99.5	-180.5	32580.25	879666.75
2	154 - 261	57	207.5	-72.5	5256.25	299606.25
3	262 - 369	30	315.5	35.5	1260.25	37807.5
4	370 - 477	17	423.5	143.5	20592.25	350068.25
5	478 - 585	7	531.5	251.5	63252.25	442765.75
6	586 - 693	4	639.5	359.5	129240.25	516961
7	694 - 801	1	747.5	467.5	218556.25	218556.25
8	802 - 909	2	855.5	575.5	331200.25	662400.5
$\bar{x}$ (AM) = 280		145				3407832.25
					23502.3	
	SD = 153				153.3	

ง.2 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในระดับจังหวัด

ตาราง ง - 17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจังหวัดสงขลา

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	17 - 131	186	74	-194	37636	7000296
2	132 - 246	501	189	-79	6241	3126741
3	247 - 361	403	304	36	1296	522288
4	362 - 476	181	419	151	22801	4126981
5	477 - 591	64	534	266	70756	4528384
6	592 - 706	24	649	381	145161	3483864
7	707 - 821	11	764	496	246016	2706176
8	822 - 936	5	879	611	373321	1866605
$\bar{x}$ (AM) = 268		1375				27361335
แทนในสูตร					19899.2	
					141.1	

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 141$$

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ง.3 ตารางส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนภายนอกบ้านเรือน

ตาราง ง - 18 ส่วนเบี่ยงมาตรฐานของอำเภอนาหม่อม

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i^*(x_i - \bar{x})^2$
1	9 - 59	7	34	-140	19600	137200
2	60 - 110	10	85	-89	7921	79210
3	111 - 161	11	136	-38	1444	15884
4	162 - 212	9	187	13	169	1521
5	213 – 263	8	238	64	4096	32768
6	264 - 314	6	289	115	13225	79350
7	315 - 365	0	340	166	27556	0
8	366 - 416	5	391	217	47089	235445
$\bar{x}$ (AM) = 174		56				581378

แทนในสูตร

10381.6

101.9

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 102$$

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ง - 19 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดินของอำเภอนาหม่อม

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	1363 - 40260	97	20811.5	-15295.5	233952320.3	22693375064
2	40261 - 79158	22	59709.5	23602.5	557078006.3	12255716138
3	79159 - 118056	7	98607.5	62500.5	3906312500	27344187502
4	118057 - 156954	5	137505.5	101398.5	10281655802	51408279011
5	156955 - 195852	1	176403.5	140296.5	19683107912	19683107912
6	195853 - 234750	1	215301.5	179194.5	32110668830	32110668830
7	234751 - 273648	0	254199.5	218092.5	47564338556	0
8	273649 - 312546	1	293097.5	256990.5	66044117090	66044117090
$\bar{x}$ (AM) = 36107		134				231539451548

แทนในสูตร

1727906355

41568.1

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 41568$$

SD แทนด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ง - 20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างดิน ของอำเภอนาหม่อม

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	1 - 9.4	109	5.2	-2.8	7.84	854.56
2	9.5 - 17.9	20	13.7	5.7	32.49	649.8
3	18 - 26.4	5	22.2	14.2	201.64	1008.2
4	26.5 - 34.9	5	30.7	22.7	515.29	2576.45
5	35 - 43.4	0	39.2	31.2	973.44	0
6	43.4 - 51.9	1	47.7	39.7	1576.09	1576.09
7	52 - 60.4	0	56.2	48.2	2323.24	0
8	60.5 - 68.9	1	64.7	56.7	3214.89	3214.89
$\bar{x}$ (AM) = 8		141				9879.99

แทนในสูตร　　　70

8.4

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 8.4$$

SD แทนด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตาราง ง - 21 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่แพร่มาจากกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง ของจังหวัดสงขลา

ที่	ชั้นระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน (Bq/m^3)	ความถี่ (f_i) (ตัวอย่าง)	ค่าเฉลี่ย (x_i) (Bq/m^3)	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i*(x_i - \bar{x})^2$
1	0 - 1.1	10	0.55	-2.05	4.2025	42.025
2	1.2 – 2.3	44	1.75	-0.85	0.7225	31.79
3	2.4 – 3.5	51	2.95	0.35	0.1225	6.2475
4	3.6 – 4.7	8	4.15	1.55	2.4025	19.22
5	4.8 – 5.9	5	5.35	2.75	7.5625	37.8125
6	6.0 – 7.1	1	6.55	3.95	15.6025	15.6025
7	7.2 – 8.3	1	7.75	5.15	26.5225	26.5225
8	8.4 – 9.5	1	8.95	6.35	40.3225	40.3225
$\bar{x}$ (AM) = 2.6		121				220

แทนในสูตร 1.8

1.3

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{K} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n}} = 1.3$$

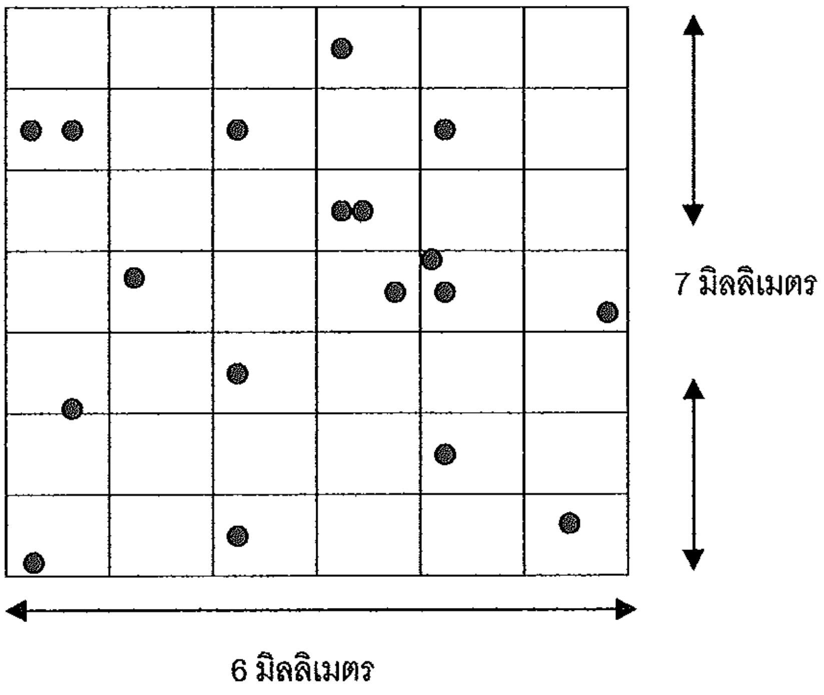
SD แทนด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาคผนวก จ

วิธีการนับรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ด้วยกล้องจุลทรรศน์

จ.1 วิธีการตรวจวัดความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซเรดอนภายในและภายนอกบ้านเรือน

ภาพประกอบ จ - 1 พื้นที่ของแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ใช้ในการนับรอย สำหรับกรณี จ.1



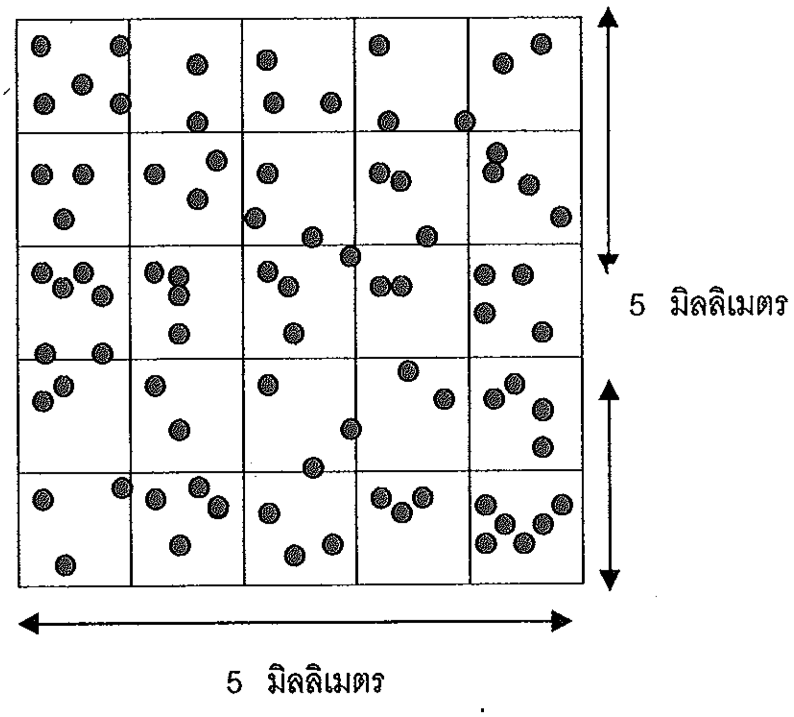
วิธีการ

ทำการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ด้วยกล้องจุลทรรศน์สองตาที่มีกรอบตาราง 1 ตารางเซนติเมตร ติดอยู่ที่บริเวณเลนส์ใกล้ตา โดยทำการนับรอยรังสี 40 กรอบ (1 กรอบ = 1 ตารางมิลลิเมตร) ดังภาพประกอบ 1 รวมพื้นที่ตรวจนับทั้งหมด 40 กรอบ (ตารางมิลลิเมตร) หรือ 0.4 ตารางเซนติเมตร ซึ่งจะได้ค่าความหนาแน่น

รอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ในหน่วย จำนวนรอย/40กรอบ ทั้งนี้ในการตรวจนับรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ควรให้ครอบคลุมพื้นที่ทุกด้าน

จ.2 วิธีการนับรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซเรดอนในอากาศของหลุมดิน ในกลุ่มตัวอย่างดิน และกลุ่มตัวอย่างทรายก่อสร้าง

ภาพประกอบ จ - 2 พื้นที่ของแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ใช้ในการนับรอย สำหรับกรณี จ.2

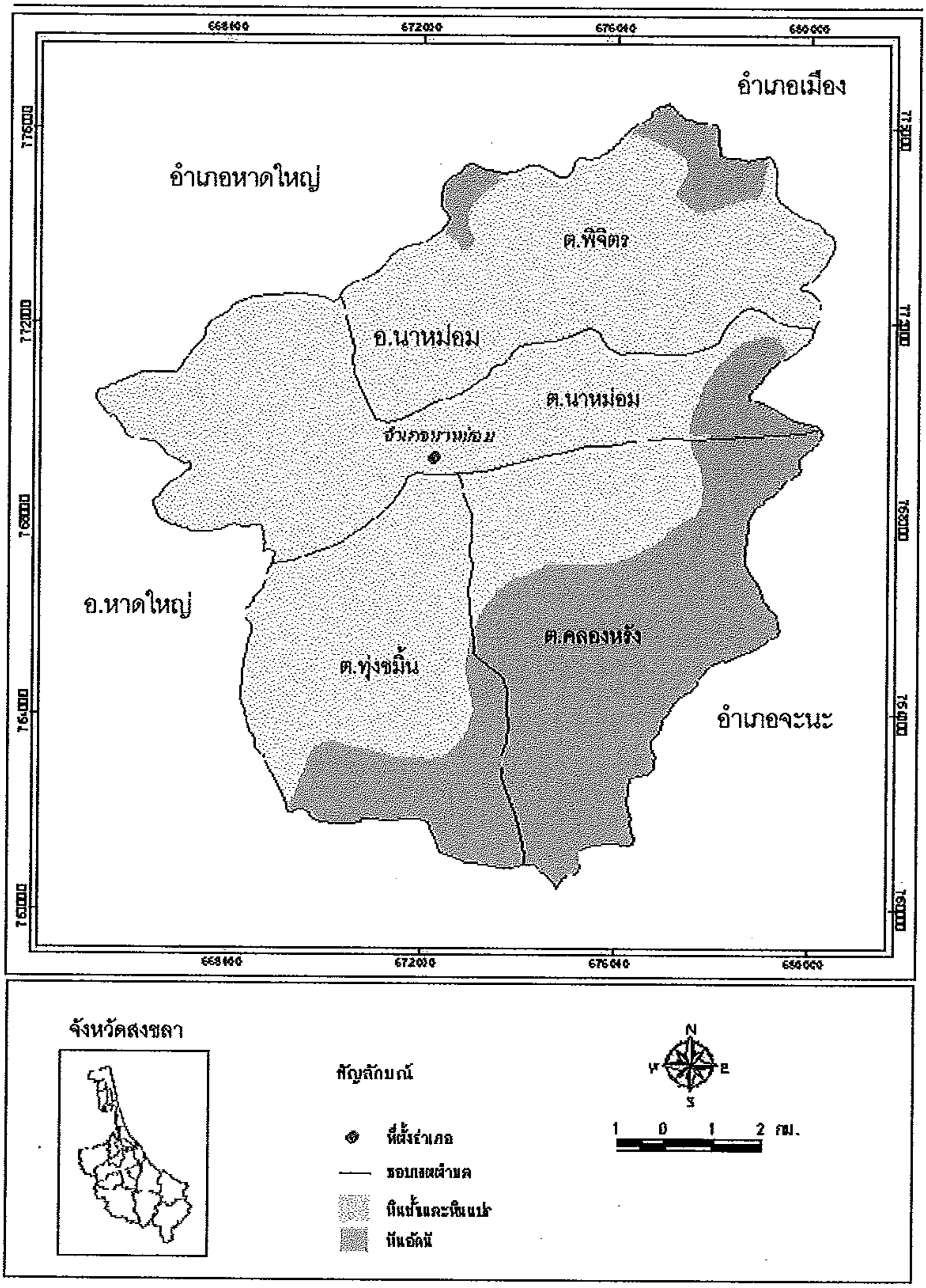


วิธีการ

ในการตรวจนับความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ในหัวข้อ จ.2 นี้ มีวิธีการเหมือนกับในข้อ 1) ต่างกันเฉพาะขนาดพื้นที่ของแผ่นพลาสติก CR – 39 ที่ใช้ในการตรวจนับรอยนั้นจะมีขนาดเล็กกว่า โดยทำการตรวจนับรอย 25 ช่อง (1 ช่อง = 1 ตารางมิลลิเมตร) รวมเป็นพื้นที่ทั้งหมด 25 ตารางมิลลิเมตร หรือ 0.25 ตารางเซนติเมตร ดังภาพประกอบ 2 จากนั้นนำจำนวนรอยทั้งหมดที่นับได้มาคูณด้วย 4 จะได้ค่าความหนาแน่นรอยรังสีแอลฟาบนแผ่นพลาสติก CR – 39 ในหน่วย จำนวนรอย/ตารางเซนติเมตร

ภาคผนวก ฉ

ภาพประกอบ ฉ – 1 โครงสร้างธรณีวิทยาของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายอภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์

วัน เดือน ปี เกิด 31 ธันวาคม 2514

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาตรบัณฑิต (ศึกษาศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2537

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

อาจารย์ 1 ระดับ 4 โรงเรียนลำทับประชานุเคราะห์ อำเภอลำทับ จังหวัดกระบี่