

กัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำจากแหล่งน้ำพุร้อน และบ่อน้ำตื้นละแวกใกล้เคียงของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

Specific Activity of Ra-226 in Water From Hot Springs and Nearby Shallow Wells in Suratthani Province

ชัยนะ เจาะสะอี (Saina Jeasai)* ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ (Dr.Tripob Bhongsuwan)**

ดร.ธวัช ชิตตระการ (Dr.Thawat Chittrakarn)**

บทคัดย่อ

ศึกษากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อน้ำตื้นในละแวกใกล้เคียง จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน 86 ตัวอย่าง และน้ำบ่อน้ำตื้น 25 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำพุร้อน 10 แหล่ง 8 อำเภอ โดยใช้เทคนิคการจับเรเดียมด้วยสารดูดจับเรเดียมในน้ำที่พัฒนาขึ้นและวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ ชนิดหัววัด HPGe ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน และน้ำบ่อน้ำตื้นอยู่ในช่วง 102–5,022 (ค่าเฉลี่ย $1,855 \pm 185$) mBq/L และ ND-158 (ค่าเฉลี่ย 57 ± 36) mBq/L ตามลำดับ พบว่ามีตัวอย่างน้ำพุร้อนจำนวน 80 ตัวอย่าง ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 สูงกว่า 185 mBq/L ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

ABSTRACT

This work aims to study specific activity of Radium-226 in water samples from hot springs and nearby shallow wells in Suratthani Province. Totally, 86 samples from hot springs and 25 samples from shallow wells water samples from 10 sites, 8 districts were collected and examined. Radium in water sample was absorbed by an absorbing media and the specific activity of Radium-226 was analyzed using a low background HPGe Gamma ray spectrometer. Results show that the specific activity of Ra-226 in the hot spring and nearby shallow well water samples are ranged from 102–5,022 (mean $1,855 \pm 185$) mBq/L and ND-158 (mean 57 ± 36) mBq/L, respectively. Apparently, 80 samples of hot spring have the Ra-226 content exceeding 185 mBq/L, which is the maximum contaminant level proposed by US EPA.

คำสำคัญ : เรเดียม-226 น้ำพุร้อน น้ำบ่อน้ำตื้น แกมมาสเปกโตรเมทรี

Key Words : Radium-226, Hot spring water, shallow well water, Gamma-ray spectrometry

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทนำ

กัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมมีอยู่ทั่วไปรอบๆ ตัวเรา ส่วนใหญ่มนุษย์ได้รับและสัมผัสกัมมันตภาพรังสีที่มาจากทั้งภายนอกและภายในร่างกาย การได้รับสัมผัสรังสีจากภายนอก (External Exposure) มาจากแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติทั้งในดินและหิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกและรังสีคอสมิกจากนอกโลกที่แผ่เข้ามายังชั้นบรรยากาศของโลก การได้รับสัมผัสรังสีจากภายใน (Internal Exposure) มาจากนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีในอาหาร ในน้ำที่บริโภค และในอากาศที่เราสูดหายใจเข้าไป ดังนั้น กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติจะพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน หิน พืช น้ำ และอากาศ (Malanca, 1996)

แหล่งน้ำพุร้อนและแหล่งน้ำแร่ธรรมชาติเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีน้ำร้อนไหลขึ้นมาจากใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินต่าง ๆ แต่ละชั้นจะมีแร่ธาตุปะปนอยู่หลายชนิดทั้งที่มีประโยชน์และโทษต่อร่างกาย ทั้งนี้ประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่ทราบถึงธรรมชาติแท้จริงของน้ำพุร้อนธรรมชาติ เช่น การปนเปื้อนด้วยเชื้อก่อโรคในธรรมชาติ การปนเปื้อนแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 และสารกัมมันตรังสีเรเดียม-226 ที่ละลายอยู่ในน้ำพุร้อน หากระบบน้ำใต้ดินในบริเวณนี้สามารถเชื่อมต่อถึงกันอาจจะทำให้มีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อตื้น (จเร, 2548) ก็เป็นไปได้

เนื่องจากมีรายงานว่าแหล่งน้ำพุร้อนบางแห่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณสารกัมมันตรังสีปนเปื้อนอยู่มาก ข้อมูลจากการตรวจวัดแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทย ได้รายงานว่าแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดชุมพร มีค่าความเข้มข้นสูงถึง 7,219.7 Bq/L และ 4,514.5 Bq/L ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ U.S.EPA กำหนดไว้ คือ 150 Bq/L และยังมีค่าสูงที่สุดจากการวัดระดับเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติจากแหล่งอื่นๆ ในประเทศไทย (ไพฑูรย์และสมชัย, 2547) และจากรายงานการตรวจวัดปริมาณ

เรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนในภาคใต้ ของประเทศไทยพบว่าแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงตามไปด้วย (จิตติรัตน์และมารีนา, 2548) ทั้งนี้หากมีการนำพาสารกัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ การดื่มกิน จะเกิดการดูดซึมและสะสมภายในร่างกายคล้ายคลึงกับแคลเซียมเนื่องจากเป็นธาตุในหมู่เดียวกัน สามารถนำไปสะสมอยู่ที่กระดูก การขับถ่ายออกจากร่างกายเป็นไปในอัตราต่ำ หากร่างกายได้รับการสะสมเป็นระยะเวลาหลายปีอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่เพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง

เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่อยู่ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 (U-238 series) ซึ่งมียูเรเนียม-238 เป็นนิวไคลด์ตั้งต้น มีครึ่งชีวิต 4.51×10^9 ปี สลายตัวแบบต่อเนื่องมาเป็นเรเดียม-226 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 1,600 ปี สลายตัวต่อไปเป็นแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 3.82 วัน สลายตัวต่อไปจนเกิดผลผลิตสุดท้ายเป็นตะกั่ว-206 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร (Marovic, 1996) ในธรรมชาติสามารถพบเรเดียมได้ทั่วไปในหิน ดิน น้ำ ใต้ดิน รวมทั้งแหล่งน้ำพุร้อนต่างๆ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่เรเดียมมีการกระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย โดยผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติ (Krishnasawami, 1982)

พื้นที่ทำการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ตั้งอยู่บนฝั่งตะวันออกของภาคใต้ พิกัด UTM 445000E-620000E และ 900000N-1090000N แสดงดังภาพที่ 1 ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษาวิจัย ประกอบด้วยชั้นหินที่มีอายุตั้งแต่หินยุคเพอร์เมียนจนถึงตะกอนยุคควาเทอร์นารี ซึ่งเกิดขึ้นจากการแทรกตัวของหินหลอมเหลวขึ้นมาที่ผิวโลก ปรากฏเป็นหินแกรนิต 3 แนวหินที่มีความโดดเด่น คือ หินปูนประเภทแคลเซียมสูงและหินปูนประเภทโดโลไมต์ นอกจากนี้ในบริเวณใกล้เคียงของพื้นที่ศึกษามีรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยพาดผ่าน เป็นไปได้ว่ารอยเลื่อนดังกล่าว อาจเป็นต้นกำเนิดความร้อนของแหล่งน้ำพุร้อน ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจาก

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในหินแกรนิตเหล่านั้น (Chaturongkawanich, 2001)

วิธีการวิจัย

1. การเก็บ และเตรียมตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น

เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นในบริเวณใกล้เคียงแหล่งน้ำพุร้อน เพื่อตรวจวัดการกระจายของเรเดียม-226 โดยเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมดจำนวน 111 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ดังภาพที่ 1 ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะเก็บน้ำจำนวน 20-30 ลิตร บรรจุขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาดด้วยน้ำ ROs ปิดฝาให้สนิท พร้อมบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Garmin etrex, USA) แสดงดังตารางที่ 1 วัดค่าอุณหภูมิของน้ำพุร้อน (T) วัดค่ามวลสารรวมที่ละลายในน้ำ (TDS) และค่าความเป็นกรดเบส (pH) ในตัวอย่างน้ำของแต่ละพื้นที่

นำตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น ปริมาตร 20 ลิตร ไหลผ่านอุปกรณ์จับเรเดียมในน้ำซึ่งภายในจะบรรจุสารดูดจับเรเดียม (absorbent) ที่พัฒนาและทดสอบในห้องปฏิบัติการ สุภัทร(2547) ได้ทำการทดลองพบว่าสารดูดจับเรเดียมที่ใช้มีประสิทธิภาพในการจับเรเดียม 85-100% สำหรับน้ำปนเปื้อนเรเดียมที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ และมีประสิทธิภาพจับเรเดียมเฉลี่ย 92% เมื่อใช้กับน้ำบ่อตามธรรมชาติ โดยควบคุมอัตราไหลผ่านประมาณ 1 ลิตร/นาที จากนั้นนำสารดูดจับที่จับเรเดียมไว้แล้ว บรรจุลงในกระปุกพลาสติก ปิดผนึกกระปุกตัวอย่างให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ 30 วัน เพื่อให้เข้าสู่สมดุลกัมมันตรังสีระหว่าง U/Th และลูกหลาน ก่อนนำไปวัดรังสีแกมมาของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาจากประสิทธิภาพของสารจับเรเดียมที่ใช้ ผลการวิเคราะห์เรเดียมในน้ำที่แสดงในงานนี้ จะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงอยู่ที่ 0-15 เปอร์เซ็นต์

2. การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

สเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น จะถูกวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

รังสีแกมมา (Gamma-Ray Spectrometer) ชนิดหัววัด HPGe (High purity Germanium; Canberra, Model GC1319 USA) ซึ่งอยู่ภายในลำตะกั่วกำบังรังสี (Canberra, Model 747, USA) หัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA 8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA) หัววัดรังสีแกมมามีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13.9% และมีกำลังแยก 1.75 keV ที่พลังงานรังสีแกมมา 1332 keV ของโคบอลต์-60 และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพัตตันเท่ากับ 44.8:1

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของตะกั่ว-214 ที่พลังงาน 295.2 keV และ 315.9 keV และจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV ใช้เวลาวัดรังสีตัวอย่างน้ำ 10,800 วินาที เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาด้วยสารละลายมาตรฐาน Eu-152 จากนั้นนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ใช้ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น โดยสามารถคำนวณจากสมการ (1) และสมการ (2) ดังนี้

$$Activity(Bq) = \frac{Net Area}{LiveTime(sec) \times Efficiency \times Yield} \quad (1)$$

$$Specific Activity \\ Ra - 226 (Bq / L) = \frac{Activity(Bq)}{Volume(L)} \quad (2)$$

3. การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี

การประเมินการบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 10 แห่ง 8 อำเภอ ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO, 2002) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน หรือ 730 ลิตร ต่อปี เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28 $\mu\text{Sv/Bq}$ เป็นปัจจัยสำหรับ

การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose, AAED) นอกจากนี้ UNSCEAR (2000) ยังได้กำหนดปริมาณรังสีที่ได้รับจากเรเดียม-226 ต่ออายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรเกิน 8 μSv ต่อปี สามารถคำนวณค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี จากสมการ (3) ดังนี้

$$AAED(\mu\text{Sv/y}) = 0.28(\mu\text{Sv/Bq}) \times 730(L/y) \times Ra - 226(\text{Bq/L}) \quad (3)$$

สรุปและอภิปรายผล

การกระจายของกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นละแวกใกล้เคียง และการประเมินปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นทั้งหมด 111 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมดจำนวน 4 รอบ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2551 ถึง เดือนมีนาคม 2552 แสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 โดยปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 102-5,022 (ค่าเฉลี่ย $1,855 \pm 185$) mBq/L และ ND-158 (ค่าเฉลี่ย 57 ± 36) mBq/L (ND; NOT DETECTABLE คือไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากมีเรเดียม-226 ปริมาณต่ำกว่าระดับรังสีภูมิหลัง) และเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนเรเดียม-226 สูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Contaminant Level; MCL) ของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (US EPA, 1976) ได้กำหนดค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำบริโภคไม่ควรเกิน 185 mBq/L เมื่อเรียงลำดับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อน ในแต่ละรอบที่ได้เก็บจากตัวอย่างน้ำที่มีค่าจากมากไปน้อย ได้แก่ รอบที่ 2 ($2,153 \pm 172$ mBq/L), รอบที่ 1 ($2,066 \pm 193$ mBq/L), รอบที่ 3 ($1,863 \pm 185$ mBq/L) และรอบที่ 4 ($1,531 \pm 187$ mBq/L) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำจากบ่อน้ำพุร้อนทุกแห่ง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน MCL 185 mBq/L ยกเว้น 5 ตัวอย่างจากแหล่งน้ำพุร้อนบ้านบ่อน้ำร้อน (SR4) ใน อ.กาญจนดิษฐ์ 3 ตัวอย่าง (112, 133 และ 141 mBq/L) และแหล่งน้ำพุร้อนบ้านวังหิน (SR5) อ.นาสาร 3 ตัวอย่าง (102, 132 และ 158 mBq/L) ที่มีค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL 185 mBq/L เนื่องจากว่าน้ำพุร้อนเป็นน้ำระดับลึกและบริเวณที่ศึกษาอยู่ในโซนของรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยและหินแกรนิตในพื้นที่เป็นหินชนิดที่มีปริมาณยูเรเนียมสูง ซึ่งเชื่อว่าเป็นแหล่งกำเนิดของเรเดียม-226 ในพื้นที่ เพราะน้ำพุร้อนได้ไหลผ่านชั้นใต้ดินรวมทั้งในบริเวณรอยเลื่อน จึงนำพาเรเดียม-226 ละลายมากับน้ำได้มาก ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่เรเดียม-226 อาจมาปะปนอยู่ในน้ำพุร้อนในปริมาณสูง และเมื่อเรียงลำดับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้น ในแต่ละรอบที่เก็บจากตัวอย่างน้ำที่มีเรเดียม-226 จากปริมาณมากไปน้อย ได้แก่ รอบที่ 3 (97 ± 62 mBq/L), รอบที่ 1 (62 ± 39 mBq/L), รอบที่ 4 (50 ± 27 mBq/L) และรอบที่ 2 (46 ± 23 mBq/L) แสดงดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นในบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนทุกแห่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL 185 mBq/L แสดงว่าตัวอย่างน้ำบ่อต้นในบริเวณที่ทำการศึกษาดังกล่าวมีความปลอดภัยที่จะใช้บริโภคในครัวเรือน เนื่องจากได้รับปริมาณของเรเดียม-226 ที่ปะปนอยู่ในน้ำมีปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อพิจารณาจากค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นสรุปได้ว่า น้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นไม่มีความเชื่อมโยงกัน เนื่องจากมาจากคนละแหล่งกำเนิดกัน น้ำพุร้อนมีกำเนิดจากน้ำใต้ดินในระดับลึก ส่วนน้ำบ่อต้นมาจากแหล่งกำเนิดของน้ำบนผิวดินในระดับตื้น อีกทั้งน้ำบ่อต้นยังได้รับน้ำจากน้ำฝน จึงทำให้น้ำบ่อต้นมีการปนเปื้อนเรเดียม-226 น้อย น้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นจึงมีปริมาณเรเดียม-226 ที่แตกต่างกันมาก ภาพที่ 2 แสดงกราฟการแจกแจงค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น

เมื่อประเมินปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปีจากการบริโภคน้ำของประชาชนในพื้นที่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 10 แห่ง 8 อำเภอ ของ จ.สุราษฎร์ธานี ผลการวิจัยพบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมดทุกตัวอย่างมีค่าปริมาณรังสีสูงกว่า $8 \mu\text{Sv}$ ต่อปี และตัวอย่างน้ำบ่อต้นมี 12 ตัวอย่างจากทั้งหมด 34 ตัวอย่างที่มีปริมาณรังสีต่ำกว่า $8 \mu\text{Sv}$ ต่อปี ได้แก่ น้ำบ่อต้นบริเวณ SR4, SR5, SR6, และ SR7 มีปริมาณรังสีจากเรเดียม-226 ที่ได้รับมีค่า SR4 (ND, 6 และ $8 \mu\text{Sv}$ ต่อปี), SR5 (ND, 1, 2, และ $8 \mu\text{Sv}$ ต่อปี), SR6 (4, 4 μSv ต่อปี) และ SR7 (5 และ $8 \mu\text{Sv}$ ต่อปี) ซึ่งทำให้ประชาชนที่บริโภคน้ำดังกล่าวไม่มีความเสี่ยงที่จะได้รับปริมาณรังสีจากเรเดียม-226 สูงกว่าเกณฑ์ปกติ ยกเว้นน้ำจากแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 10 แห่งโดยตรง ภาพที่ 3 แสดงกราฟการแจกแจงปริมาณรังสีที่ได้รับจากเรเดียม-226 จากการบริโภคน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ (T) ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ของตัวอย่างน้ำพุร้อน (ตารางที่ 4) พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำพุร้อน (T) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ($R^2 = 0.035$) คาดว่าเป็นเพราะอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดความร้อนไม่เท่ากัน และแหล่งกำเนิดความร้อนไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดเรเดียม-226 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 มีค่า $R^2 = 0.10$ แสดงความสัมพันธ์กันน้อย ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำพุร้อนมีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างมาก ส่วนหนึ่งเนื่องจากการแทรกดันของน้ำทะเลลึกเข้ามา เพราะแหล่งน้ำพุร้อนในจังหวัดสุราษฎร์ธานีบางแห่งเป็นน้ำเค็ม เช่น น้ำพุร้อนที่ อ.ไชยา และ อ.ท่าฉาง โดยแหล่งน้ำพุร้อนทั้ง 4 แห่ง คือ SR1, SR2, SR3 และ SR10 มีค่า TDS สูง 4100-9765 ppm ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม 2551 (ตารางที่ 4) และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความ

เป็นกรดเบส (pH) กับค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ($R^2 = 0.0003$) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ในตัวอย่างน้ำพุร้อนส่วนใหญ่มีค่าเป็นเบส เนื่องจากน้ำพุร้อนมาจากน้ำบาดาลระดับลึก มีการปนเปื้อนกับน้ำผิวดินในสัดส่วนที่ไม่มาก จึงทำให้ยังคงมีสภาพเป็นเบส (ต่าง $\text{pH} > 7$) มากกว่าที่จะเป็นกรด ($\text{pH} < 7$)

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นพบว่า ค่ามวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนบ้านเขานางฮี (SR2) อ.ไชยา พบว่ามีค่า TDS สูง เนื่องจากอยู่ติดกับทะเลอ่าวไทยและมีการปนเปื้อนของน้ำทะเล จึงทำให้น้ำบ่อต้นมีปริมาณสารละลายสูงมากตามไปด้วย รวมทั้งพิจารณาค่าความเป็นกรดเบส (pH) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-8.8 เมื่อสังเกตข้อมูลในตารางที่เก็บตัวอย่าง พบว่าข้อมูลที่ได้จากการเก็บรอบที่ 4 มีความเป็นกรดมากที่สุด ทั้งในตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น เนื่องจากว่าในการเก็บตัวอย่างในรอบที่ 4 เดือนมีนาคม 2552 มีฝนตกหนาแน่น ปริมาณฝนมีค่าเท่ากับ 85.62 มิลลิเมตร จึงทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรดมากกว่าเดือนอื่น ๆ ที่ไปเก็บตัวอย่างโดยปกติ ตัวอย่างน้ำบ่อต้น ส่วนใหญ่จะมีค่าเป็นกรด เพราะเป็นน้ำระดับต้นมีการผสมปนกับปริมาณน้ำฝนที่สภาพกรดเป็นประจำ

ดังนั้น เมื่อพิจารณาค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นในละแวกใกล้เคียงในจังหวัดสุราษฎร์ธานี สรุปได้ว่า ค่ากัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อน มีปริมาณ Ra-226 ค่อนข้างสูงโดยสูงกว่าค่ามาตรฐาน MCL (185 mBq/L) และน้ำบ่อต้นในละแวกใกล้เคียงบ่อน้ำพุร้อนจะมีค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน MCL (185 mBq/L) และเมื่อประเมินปริมาณรังสี Ra-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี ต่ออายุ-น้ำหนัก พบว่า ตัวอย่างน้ำพุร้อนทั้งหมดและตัวอย่างน้ำบ่อต้น 13 ตัวอย่าง หากบริโภคในอัตรา 2 ลิตรต่อวัน ร่างกายจะได้รับปริมาณรังสีเกิน $8 \mu\text{Sv}$ ต่อปี แสดง

ให้เห็นว่า น้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้นบางพื้นที่ในบริเวณที่ทำการศึกษามีความเหมาะสมในการใช้บริโภค เนื่องจากอาจได้รับปริมาณเรเดียม-226 สะสมในร่างกาย

ทั้งนี้ ค่าความเสี่ยงที่ได้จากกัมมันตภาพรังสีถือเป็นปัจจัยหนึ่งเท่านั้นที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคที่เกี่ยวข้อง เพราะยังมีอีกหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ ไม่ว่าจะเป็นการดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ การบริโภคอาหารปนเปื้อน รวมทั้งเพศและอายุ ก็มีสวนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเช่นกัน ผู้วิจัยถือว่าบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนที่วัดค่ากัมมันตภาพรังสีได้สูงเป็นแค่บริเวณที่มีโอกาสเสี่ยงทางรังสีเท่านั้น เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหา แก่ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณแหล่งน้ำพุร้อนให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำพุร้อน ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดเป็นบริเวณกว้าง เพื่อตรวจหาบริเวณที่เป็นบริเวณเสี่ยงทางรังสี ดังนั้นในการดำเนินงานวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการเจาะจงพื้นที่เก็บตัวอย่างให้มีบริเวณแคบลงและครอบคลุมบริเวณจุดที่มีความเสี่ยงทางรังสีมากขึ้นสำหรับพื้นที่ที่มีค่ากัมมันตรังสีค่อนข้างสูง ควรแจ้งให้เจ้าหน้าที่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ทราบ เพื่อหาแนวทางแก้ไขและป้องกันทางด้านรังสีแก่ประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณสำนักงานปรมานูเพื่อสันติที่สนับสนุนทุนจากโครงการสนับสนุนทุนวิจัยด้านความปลอดภัยจากการใช้พลังงานปรมานู ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุญาตให้ใช้เครื่องมือและสถานที่ที่จำเป็นในการทำวิจัย

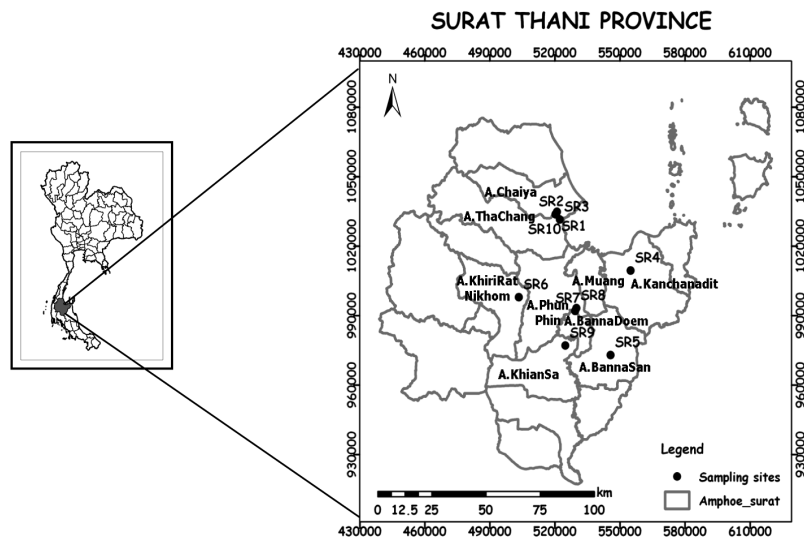
เอกสารอ้างอิง

- จเรวุฒิสาสตร์, ธวัช ชิตตระการ, ดรุณี ผ่องสุวรรณ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ. 2548. กัมมันตภาพจำเพาะความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นและความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์เกิดมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหาร ใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา. วารสารสงขลานครินทร์ 28(1): 201-215.
- ฐิติรัตน์ เจริญตา, มารีน่า ตาเดอีน และไตรภพ ผ่องสุวรรณ. 2005. กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนของภาคใต้ประเทศไทย. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. 18-20 October 2005.
- ไพฑูรย์วรรณพงษ์, สมชัย บวรกิตติ. 2547. แก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทย. วารสารวิชาการสาธารณสุข 13(4): 689-695.
- สุภัทร ภัทรกิจโสภณ. 2547. ประสิทธิภาพการจับเรเดียมของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดแคตไอออน. โครงการฟิสิกส์สาขาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Chaturongkawanich, S. 2001. Geothermal resources of Changwat Surat Thani. Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand. pp. 48-50.
- Krishnasawami, S., Graustein, W.C., Turekian, K.K., and Dowd, J.F. 1982. Radium, Thorium, and radioactive lead isotopes in ground water: application to the in-situ determination of absorption rate constant and retardation factors. Water Resour. Res 18: 1663-1675.
- Malanca, A., Gaidolfi, L., Pessina, V. and Dallara, G. 1996. Distribution of ²²⁶Ra, ²³²Th, and ⁴⁰K in soil of Rio do Norte (Brazil). J. Environmental Radioactivity. 30 (1996): 55-67.

Marovic, G., Sencar, J., Franic, Z., and Lokobaner, N. 1996. Radium-226 in thermal and Mineral Springs of Croatia and Associated Health Risk. J. Environmental Radioactivity. 33: 55-67.

UNSCEAR. 2000. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, with Annexes. United Nations, New York.

WHO (World Health Organization) 2002. Guidelines for drinking water quality. 3d ed. Radiological aspects.

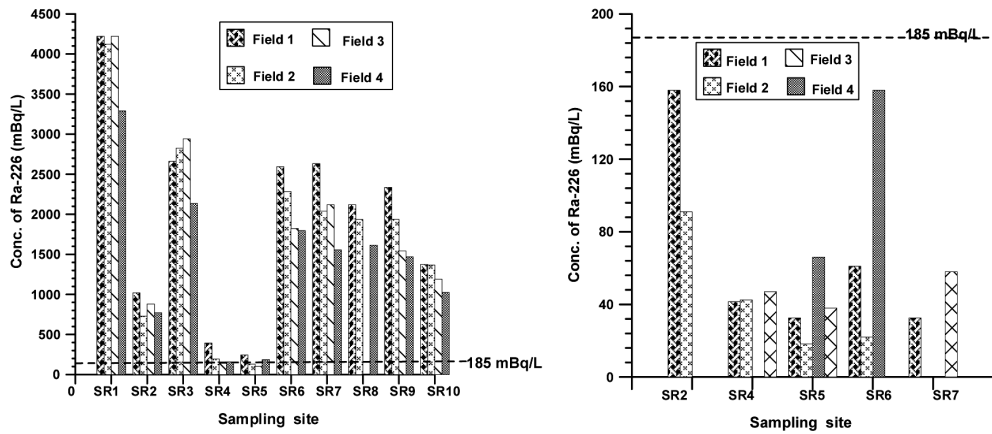


ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำพุร้อนและน้ำบ่อน้ำร้อนใน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

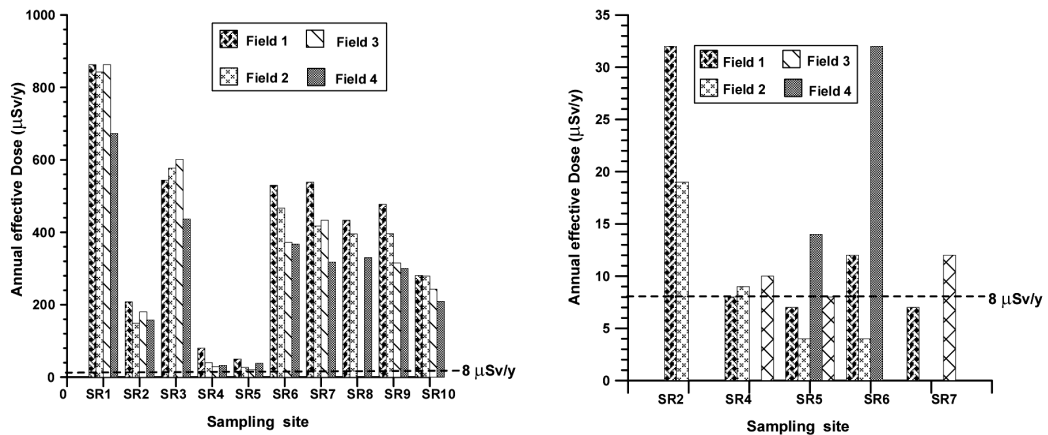
ตารางที่ 1 พื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนที่ทำการศึกษทั้งหมด 10 แห่ง ใน 8 อำเภอ ของ จ.สุราษฎร์ธานี

รหัส	พิกัดภูมิศาสตร์		แหล่งน้ำพุร้อน	หมู่บ้าน	อำเภอ
	E (m)	N (m)			
SR1	521107	1034879	บ้านน้ำพุร้อน	น้ำพุร้อน หมู่ที่ 2	ไชยา
SR2	520385	1033727	เขานางอี	เขาน้ำร้อนใน	ไชยา
SR3	522397	1031520	วัดธารน้ำร้อน	วัดธารน้ำร้อน หมู่ 1	ท่าฉาง
SR4	554983	1009474	บ้านบ่อน้ำร้อน	บ่อน้ำร้อน หมู่ที่ 5	กาญจนดิษฐ์
SR5	545795	972976	บ้านวังหิน	วังหิน หมู่ที่ 5	นาสาร
SR6	503511	997939	บ้านเขาน้อย	เขาน้อย หมู่ที่ 5	คีรีรัฐนิคม
SR7	529419	992045	รัตนโกสัย	ท่าสะท้อน หมู่ 6	พุนพิน
SR8	530010	993253	บ้านเขาพลู	เขาพลู หมู่ 5	บ้านนาเดิม
SR9	524923	977092	บ้านเขาตอก	เขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองทุ่งทอง	เคียนซา
SR10	520556	1033894	สวนโมกขนิมานาชาติ	บ้านละเมียด	ไชยา

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี



ภาพที่ 2 กราฟการแจกแจงค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น จ.สุราษฎร์ธานี



ภาพที่ 3 กราฟการแจกแจงปริมาณรังสีที่ได้รับต่อปีจากเรเดียม-226 จากการบริโภคน้ำพุร้อนและน้ำบ่อต้น จ.สุราษฎร์ธานี

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิภาพที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำพุร้อน จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำพุร้อน (No. of sample)	Field 1; มกราคม 2551 (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)			Field 2; มิถุนายน 2551 (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)			Field 3; กันยายน 2551 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)			Field 4; มีนาคม 2552 (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)		
	S.A. of Ra-226(mBq/L)		Mean AAED*	S.A. of Ra-226(mBq/L)		Mean AAED*	S.A. of Ra-226(mBq/L)		Mean AAED*	S.A. of Ra-226(mBq/L)		Mean AAED*
	Range	Mean±SD		Range	Mean±SD		Range	Mean±SD		Range	Mean±SD	
SR1(11)	4,125-4,317	4,221±258	863	3,187-5,022	4,123±276	843	4,063-4,397	4,221±333	863	2,968-3,603	3,290±380	673
SR2(5)	1019	1,019±86	208	729	729±169	149	882	882±95	180	724-818	771±139	158
SR3(10)	2,553-2,770	2,662±208	544	2,519-3,131	2,825±240	578	2,454-3,337	2,941±155	601	1,911-2,352	2,134±308	436
SR4(7)	356-429	393±87	80	195	195±83	40	141	141±60	29	112-232	159±51	32
SR5(6)	190-301	245±54	50	132	132±61	27	102	102±61	21	158-214	186±21	38
SR6(7)	2,496-2,690	2,593±296	530	2,283	2,283±197	467	1,758-1,886	1,822±257	372	1,736-1,858	1,797±112	367
SR7(7)	2,503-2,762	2,633±223	538	2,041	2,041±174	417	2,119	2,119±287	433	1,494-1,587	1,555±148	318
SR8(5)	1,987-2,252	2,120±90	433	1,935	1,935±98	396	-	-	-	1,503-1,727	1,615±141	330
SR9(22)	2,186-2,446	2,336±263	477	1,657-2,233	1,938±127	396	1,243-1,753	1,544±176	316	1,378-1,844	1,562±176	319
SR10(8)	1,044-1,704	1,374±175	281	1,366	1,366±145	279	1,190	1,190±103	243	967-1,100	1,025±183	210

* Annual dose estimated using the factors in WHO (2002)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยกัมมันตภาพจำเพาะเรเดียม-226 และค่าปริมาณรังสีประสิทธิภาพที่ร่างกายได้รับต่อปีในน้ำป้อน จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำ ร่อน (No. of sample)	Field 1; January 2551 (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)			Field 2; June 2551 (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)			Field 3; September, 2551 (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)			Field 4; March, 2552 (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)		
	S.A. of Ra-226 (mBq/L)		Mean AAED*	S.A. of Ra-226 (mBq/L)		Mean AAED*	S.A. of Ra-226 (mBq/L)		Mean AAED*	S.A. of Ra-226 (mBq/L)		Mean AAED*
	Range	Mean±SD		Range	Mean±SD		Range	Mean±SD		Range	Mean±SD	
SR2(5)	158	158±92	32	91	91±64	19	0	0	0	-	-	-
SR4(7)	29-54	42±34	8	37-48	43±47(<LLD)	9	58-74	66±54	14	47	47±9	10
SR5(6)	0-65	33±25	7	0-60	18±8	4	158	158±78	32	38	38±27	8
SR6(7)	20-102	61±44	12	22	22±3	4						
SR7(7)	24-41	33±8	7	-	-	-	-	-	-	57-59	58±42	12

* Annual dose estimated using the factors in WHO (2002)

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิ น้ำ มวลสารรวมละลายในน้ำ (TDS) และความเข้มข้นของน้ำฟุ้ง จ.สุราษฎร์ธานี

แหล่งน้ำ ฟุ้ง	Field 1 (มกราคม 2551) (ปริมาณน้ำฝน 78.30 มิลลิเมตร)			Field 2 (มิถุนายน 2551) (ปริมาณน้ำฝน 75.82 มิลลิเมตร)			Field 3 (กันยายน 2551) (ปริมาณน้ำฝน 81.18 มิลลิเมตร)			Field 4 (มีนาคม 2552) (ปริมาณน้ำฝน 85.62 มิลลิเมตร)		
	T (°C)	TDS(ppm)	pH	T (°C)	TDS(ppm)	pH	T (°C)	TDS(ppm)	pH	T (°C)	TDS(ppm)	pH
SR1	56	5035	7.9	40	4747	8.2	40	4615	7.7	42	6238	6.8
SR2	39	8410	8.2	39	8140	7.9	38	8220	7.4	40	2825	7.2
SR3	42	4100	8.8	45	4315	7.8	42	4010	7.8	48	5420	7.3
SR4	39	430	8.5	40	440	7.5	41	460	7.5	40	427	7.8
SR5	42	275	8.2	41	270	7.7	41	280	7.6	42	265	8.0
SR6	47	765	7.9	51	730	7.3	42	695	7.3	54	790	7.7
SR7	51	1555	7.7	59	1590	7.5	53	1603	7.8	54	1607	7.3
SR8	50	1545	7.5	44	1550	8.0	-	-	-	57	1590	6.8
SR9	55	1203	7.4	54	1245	7.4	50	1260	7.3	54	1320	7.5
SR10	41	9765	8.2	43	9920	8.1	39	9970	7.4	43	2570	7.2