การศึกษาระดับยูเรเนียมในน้ำบาดาลด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry ในพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง

Study of Uranium levels in Groundwater Determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry in Map Ta Phut, Rayong Province

มนัสชนก สุคนธจร[1] พชิรารัฐ โสลา[2] ศศิกานต์ นุชแดง[2] ฤทธิรอน สำราญ[2] กนกกานต์ ฐิติภรณ์พันธ์[1]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ตำบลขุนทะเล อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

อีเมล์ tansukontajorn@gmail.com, kmaswiwat@hotmail.com

[2]สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ตำบลทรายมูล อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

อีเมล์ ph_solar@hotmail.com, n_sasikarn@hotmail.co.th, samegolcame@gmail.com

บทคัดย่อ

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง มีการปลดปล่อยของเสียออกมาสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งอาจทำให้มีการปนเปื้อนของธาตุที่มีสมบัติเป็นธาตุกัมมันตรังสีได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระดับของยูเรเนียมด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ในตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่มาบตาพุด โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวจำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของยูเรเนียม ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นยูเรเนียมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.43 - 32.18 µg/l โดยมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ระดับ32.18 µg/lและ 0.43 µg/l ตามลำดับและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ8.32± 1.26µg/l เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำดื่ม (30 µg/l) ซึ่งรับรองโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา พบว่าค่าที่ได้เพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้น (ร้อยละ 20) ที่มีค่าสูงกว่าระดับมาตรฐานเพียงเล็กน้อย (32.18 และ 31.20 µg/l) จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค และมีค่าความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีของประชาชนในพื้นที่อยู่ในระดับต่ำ

คำสำคัญ: ยูเรเนียม ICP-MS ธาตุกัมมันตรังสี น้ำบาดาล นิคมอุตสาหกรรม

Abstract

Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong Province where released the waste into the environment that may cause contamination of radioactive elements. This study aimed to measure the levels of uranium determined by technique Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) in groundwater samples in Map Ta Phut.The 10 samples of groundwater were collected for uranium concentration measurements from this area. The results found that uranium concentrations were in the range of 0.43 to 32.18 µg/l. The maximum and minimum values were found at the level of 32.18µg/land 0.43 µg/l, respectively.The mean of measurements was found at8.32 ± 1.26µg/l.To compare the levels of uranium with the standard of contamination of uranium in drinking water (30 µg/l)recommended by the US EPA, the results found that only two samples (20%) of measurements were slightly higher (32.18 µg/l and 31.20 µg/l) than standard value. These results could be concluded that groundwater samples in this area were in the safe level for consumption and low risk of radiation exposure.

Keywords: Uranium, ICP-MS, radioactive elements, groundwater, industrial estate

บทนำ

ยูเรเนียมเป็นธาตุที่มีสมบัติเป็นธาตุกัมมันตภาพรังสี ซึ่งถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ซึ่งหากได้รับการกำจัดที่ผิดวิธีจะทำให้อาจมีการปนเปื้อนของธาตุที่มีสมบัติเป็นธาตุกัมมันตรังสีอยู่ในของเสียที่ถูกปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งการได้รับเอายูเรเนียมเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่สูงยังทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็งเพิ่มมากขึ้น [1] ซึ่งค่าขีดจำกัดการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำดื่มมีค่าอยู่ที่ 30 µg/l ซึ่งรับรองโดยหน่วยงานมาตรฐานสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (The United States Environmental Protection Agency: US EPA) [2] การตรวจวัดความเข้มข้นยูเรเนียมด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ โดยการวิเคราะห์มวลของไอออนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของพลาสมา ซึ่งการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านยืนยันได้ว่าเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ เช่น ในปี 2013 Tucker และ Workman ได้ตรวจวัดค่ายูเรเนียมในน้ำในรัฐแอริโซนาของสหรัฐอเมริกา ด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าวิธี ICP-MS สามารถตรวจวัดค่ายูเรเนียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจวัดน้ำดื่ม โดยวิธีการนี้ต้องมีการควบคุมห้องที่ใช้สำหรับทำการตรวจวัดให้เหมาะสม อีกทั้งวิธีการนี้ ยังมีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่าวิธีแอลฟาสเปคโตรสโกปีเล็กน้อย จากการตรวจวัดตัวอย่างทั้ง 22 ชุด มีค่า RPD เฉลี่ยประมาณ 31 % ระหว่างสองวิธีนี้ ซึ่งเป็นค่าที่ดีสำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธี [3] ต่อมาในปี 2015 มีการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการเทคนิคที่ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ สามารถทำการวิเคราะห์ยูเรเนียมในน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4] ทั้งนี้ยังพบว่าเทคนิคนี้ยังมีความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูล และนอกจากการวิเคราะห์น้ำแล้วนั้นยังสามารถวิเคราะห์ตะกอนดินรวมถึงตะกอนของแร่ธาตุต่างๆ โดยการทำการแปรสภาพให้เป็นสารละลายก่อนทำการวิเคราะห์ [5] นอกจากนี้มีนักวิจัยอีกหลายกลุ่มที่ให้ความสนใจในการศึกษายูเรเนียมในน้ำบาดาล เช่นในปี ค.ศ. 2016 ได้ประเมินแหล่งที่มาของความเข้มข้นยูเรเนียม ที่เพิ่มสูงขึ้นในน้ำใต้ดินของประเทศอินเดีย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมที่เพิ่มสูงขึ้นส่วนใหญ่มาจากสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาซึ่งส่วนใหญ่เป็นชั้นหินแกรนิต ซึ่งค่าความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดครั้งนี้เฉลี่ยอยู่ที่ 11.78 µg/l ค่าความเข้มข้นยูเรเนียมสูงสุดอยู่ที่ 68.28 µg/l และค่าความเข้มข้นยูเรเนียมต่ำสุดอยู่ที่ 0.4 µg/l [6] อีกทั้งยังมีการศึกษาปัจจัยการควบคุมความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำใต้ดิน ในพื้นที่ของเมืองมาไร รัฐทมิฬนาฑู ประเทศอินเดีย ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่ายูเรเนียมสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าสูงถึง 113 µg/l ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากพื้นที่ศึกษามีลักษณะทางธรณีวิทยาส่วนใหญ่เป็นชั้นหินแกรนิต อีกทั้งประมาณ ร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดทั้งหมด มีค่าเกินขีดจำกัดที่ปลอดภัยสำหรับน้ำดื่ม (30 µg/l) [7] ต่อมาในปี ค.ศ. 2017 ได้มีการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำบาดาล ในพื้นที่ SW-Punjab ของประเทศอินเดีย เพื่อตรวจวัดระดับความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับบริโภค และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-579 µg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.5 µg/l ในการตรวจวัดครั้งนี้ มีตัวอย่างจำนวน 338 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด (498 ตัวอย่าง) ที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียมสูงกว่าระดับมาตรฐานความปลอดภัย (30 µg/l) ในขณะที่ตัวอย่างจำนวน 216 ตัวอย่าง มีค่าสูงกว่า 60 µg/l [8]

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาความเข้มข้นยูเรเนียมในพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง เนื่องจากเป็นพื้นที่ ที่อยู่ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรม และถูกประกาศให้เป็นเขตควบคุมมลพิษ เนื่องจากมีการตรวจพบสารเคมีที่เป็นอันตรายในอากาศ เช่นเดียวกับการตรวจพบการปนเปื้อนสารอันตรายและโลหะหนักในน้ำใต้ดินและบ่อน้ำตื้นหลายแห่ง อีกทั้งพื้นยังมีอัตราการเกิดโรคมะเร็งเกือบทุกชนิดของประชากรในพื้นที่สูงกว่าประชากรในพื้นที่อื่นๆ ในประเทศไทย [9] ทั้งนี้พื้นที่ศึกษานอกจากจะเป็นบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมแล้วนั้นยังเป็นพื้นที่ชายฝั่งติดทะเลอีกด้วย ทั้งนี้ทำให้บริเวณพื้นที่ศึกษามีความเสี่ยงที่น้ำบาดาลจะได้รับ

ผลกระทบจากทั้งเขตนิคมอุตสาหกรรมที่อาจจะปลดปล่อยน้ำเสียออกมาอย่างไม่ถูกวิธีทำให้มีการปนเปื้อนของธาตุกัมมันตรังสี อีกทั้งน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ชายฝั่งที่ติดทะเล ยังมีความเสี่ยงที่จะมีค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีสูงกว่าปกติอีกด้วย เนื่องจากบริเวณชายฝั่งทะเลมีแร่ธาตุการสะสมของชั้นหินต่าง ๆ ซึ่งอาจปลดปล่อยธาตุกัมมันตรังสีออกมาโดยการชะล้างของน้ำบาดาลใต้ผิวดิน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่ออันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการได้รับรังสีจากการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำอุปโภคและบริโภคในพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าว ด้วยเทคนิค ICP-MS เพื่อทำให้มีฐานข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงจากยูเรเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา และนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวางแผนรับมือและแก้ไขปัญหาต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

สำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำบาดาลที่ทำการเก็บมาจาก 10 จุด โดยครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษา หลังจากเก็บตัวอย่างมาแล้วจะนำมาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อเอาสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำออก และทำการระเหยโดยใช้ความร้อน เติมกรดไนตริก และทำการไตเตรทจนได้ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างตามที่ต้องการ แล้วทำการบรรจุลงในขวดบรรจุสารเพื่อนำเข้าไปวัดด้วยเครื่องตรวจวัดICP-MS รุ่น G8403A 7900 ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 เครื่อง ICP-MS รุ่น G8403A 7900

2. ขั้นตอนการตรวจวัดความเข้มข้นยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำบาดาล

นำสารละลายตัวอย่าง (น้ำบาดาล) ที่เตรียมไว้ใส่ในถาดบรรจุตัวอย่างพร้อมด้วยสารละลายที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบตัวอย่าง (blank) และสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ แล้วทำการเปิดระบบวัด โดยขั้นตอนแรกระบบวัดจะนำสารละลายทั้งหมดเข้าสู่ระบบโดยการพาของแก๊สอาร์กอน หลังจากนั้นระบบจะคัดเลือกสารละลายตัวอย่างเพียงเล็กน้อยเพื่อส่งต่อเข้าระบบวัดโดยการพ่นเป็นไอน้ำและกำจัดส่วนที่เหลือทิ้ง เมื่อสารละลายที่ได้รับการคัดเลือกถูกแก๊สอาร์กอนพามาจนถึงขดลวดเหนี่ยวนำ สารละลายจะถูกกระตุ้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการชนกันของแก๊สอาร์กอนและแตกตัวเป็นไอออนเกิดเป็นพลาสมาพลังงานสูง และส่งต่อตัวอย่างเข้าไปในพลาสมาโดยการพ่นเป็นฝอยละเอียดเข้าไปในละอองฝอยของแก๊สอาร์กอน ก่อนจะถูกนำผ่านหลอดควอทซ์ ซึ่งสารละลายตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนเป็นอะตอมและแตกตัวเป็นไอออนไปพร้อมๆ กันก่อนส่งตัวอย่างเข้าสู่ระบบวิเคราะห์มวลต่อไป ซึ่งระบบวิเคราะห์มวลจะทำหน้าที่แยกไอออนที่มีอัตราส่วนมวลต่อประจุ

ออกจากไอออนที่มีหลายมวลต่อประจุ แล้วส่งต่อไอออนที่ถูกแยกออกมาไปยังเครื่องตรวจวัด โดยเครื่องตรวจวัดจะวิเคราะห์ผลข้อมูลจากสเปกตรัมเรียกว่า แมสสเปกตรัม (Mass Spectrum) ซึ่งสเปกตรัมจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอออนบวกกับอัตราส่วนมวลต่อประจุ (m/e) หรือไอโซโทปแต่ละไอโซโทปของธาตุต่อไป ซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่าเทคนิค ICP-MS หรือ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry หรือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ โดยการวิเคราะห์มวลของไอออนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของพลาสมานั่นเอง

* เนื่องจากปัจจุบันเครื่อง ICP-MS สามารถวิเคราะห์ผลข้อมูลออกมาเป็นตัวเลขได้เลย ผู้วิจัยจึงไม่ต้องทำการแปลผลข้อมูลจากแมสสเปกตรัมด้วยตัวเอง และการตรวจวัดตัวอย่างเป็นการเป็นการส่งตัวอย่างเพื่อให้หน่วยงานมาตรฐานทำการตรวจวัดให้ ผลการตรวจวัดที่ได้รับจากหน่วยงานจึงมีเพียงข้อมูลที่เป็นตัวเลขสุทธิ

ผลและการอภิปรายผล

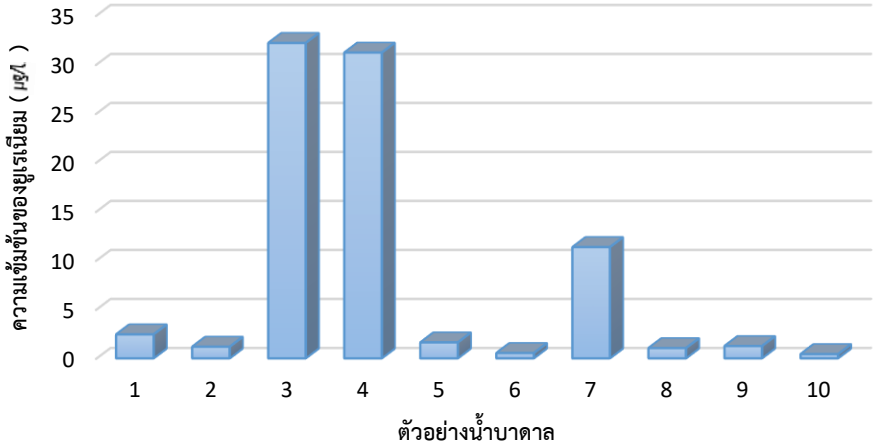
จากการตรวจวัดความเข้มข้นของยูเรเนียมด้วยเทคนิค ICP-MS ในตัวอย่างน้ำบาดาล ในพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง จำนวน 10 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของยูเรเนียมและทอเรียมที่ได้จากการวัดตัวอย่างน้ำทั้ง 10 ตัวอย่าง

	ผลที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิค ICP-OES		
ตัวอย่างที่	**ความเข้มข้นของยูเรเนียม (U-238) ที่ได้จากเครื่องตรวจวัด (µg/l)**	**ความเข้มข้นของยูเรเนียม (U-238) สุทธิจริง (ปริมาตรตัวอย่าง 10 ml) ที่ได้จากการคำนวณ (µg/l)**	**ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่ได้จากเครื่อง (% RSD)**
1	48.84 ± 0.88	2.44 ± 0.88	0.88
2	23.54 ± 0.61	1.18 ± 0.61	0.61
3	643.57 ± 0.81	32.18 ± 0.81	0.81
4	624.05 ± 0.74	31.20 ± 0.74	0.74
5	32.48 ± 0.55	1.62 ± 0.55	0.55
6	10.85 ± 1.71	0.54 ± 1.71	1.71
7	227.01 ± 3.40	11.35 ± 3.40	3.40
8	20.88 ± 0.86	1.04 ± 0.86	0.86
9	24.94 ± 1.58	1.25 ± 1.58	1.58
10	8.55 ± 1.45	0.43 ± 1.45	1.45

* พื้นที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 10 จุด ครอบคลุมบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริเวณโดยรอบ

เมื่อนำตารางที่ 1 มาเขียนเป็นแผนภูมิสามารถแสดงให้เห็นถึงการกระจายของข้อมูลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของยูเรเนียมในตัวอย่างน้ำบาดาล ในพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของยูเรเนียมที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ระหว่าง 0.43 -32.18 µg/l โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.18 µg/l และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.43µg/l ค่าเฉลี่ยในภาพรวมพบว่าอยู่ที่ระดับ8.32± 1.26µg/เซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัดการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำดื่มที่รับรองโดย US EPA ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.03 mµg/l หรือเท่ากับ 30 µg/l [2] จากผลการวิจัยพบว่ามีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้น จากตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 20 ซึ่งมีค่าสูงกว่าระดับมาตรฐานการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย นั่นคืออยู่ที่ระดับ 32.18 µg/l และ 31.20 µg/l

สรุปผล

จากการศึกษาค่าของยูเรเนียมด้วยเทคนิค ICP-MS ในตัวอย่างน้ำบาดาล ในพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงในการได้รับรังสีจากการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำบาดาลต่อประชาชนในบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง พบว่าความเข้มข้นของยูเรเนียมในน้ำบาดาลมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.18 µg/l และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.43 µg/l ค่าเฉลี่ยในภาพรวมพบว่าอยู่ที่ระดับ 8.32± 1.26 µg/l และเมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของยูเรเนียมในน้ำดื่ม (30 µg/l) พบว่าค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมจากตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของการปนเปื้อนของยูเรเนียมในธรรมชาติเพียง 2 ตัวอย่าง (ร้อยละ 20) เท่านั้นที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานของการปนเปื้อนของยูเรเนียมในธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเกิดจากบริเวณที่เก็บน้ำตัวอย่างทั้งสองตัวอย่างนี้ อยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลทำให้อาจมีการสะสมของแร่ธาตุและชั้นหินต่างๆ ซึ่งอาจปลดปล่อยธาตุกัมมันตรังสีออกมาโดยการชะล้างของน้ำบาดาลใต้ผิวดิน จากผลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าน้ำบาดาลในบริเวณพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคและมีค่าความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีของประชาชนในพื้นที่อยู่ในระดับที่ต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) จังหวัดนครนายก ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือวิจัยในการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบคุณอาจารย์และนักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาฟิสิกส์ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนข้อแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ธิดารัตน์ แสงฮวด, (2561, 3 กันยายน), ธาตุกัมมันตรังสี, [ออนไลน์]. จาก : https://www.slideshare.net/kruannchem/ch.03.nuclear.chemistry-14469905.

[2] นิตยา ศุภฤทธิ์, (2561, 3 กันยายน), มารู้จัก“ยูเรเนียม”กันเถอะ, [ออนไลน์].จาก: http://www.oap.go.th/images/documents/resouices/articles/nucleae/uranium.2.pdf.

[3] B. Tucker and S. Workman, “Evaluation of Uranium Measurements in water by methods-13571”, *Environmental Division*, vol. 1, pp.1-11, 2013.

[4] L. Copia, “New methodologies for Uranium, Radium and Tritium ground water analysis”, Ph.D.Thesis in Physics, Rume Tre University, Italy, 2015.

[5] T. Sakai, “Agilent 7900 ICP-MS simplifies drinking water analysis”, *Agilent Technologies*, 5991-4257EN, pp. 1-9, 2014.

[6] V.S. Adithya, S. Chidambaran, K. Tirumalesh, C. Thivya, R. Thilagavathai and M.V. Prasanna, “Assessment of sources for higher uranium concentration in ground waters of the Central Yamilnadu, India”, *IOP Publishing*, vol. 121, pp. 1-13, 2016.

[7] C. Thivya, S. Chidambaram, T. Keesari, M.V. Prasanna, R. Thilagavathi, V.S. Adithya and C. Singaraja, “Lithological and hydrochemical controls on distribution and speciation of uranium in groundwaters of hard-rock granitic aquifers of Madurai District, Tamil Nadu (India)”, *Environmental Geochemistryand Health*, vol. 38, no. 2, pp. 497-509, 2016.

[8] B.S. Bajwa, S. Kumar, S. Singh, S.K. Sahoo and R.M. Tripathi, “Uranium and other heavy toxic elements distribution in the drinking water samples of SW-Punjab, India”, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 10, pp. 13-19, 2017.

[9] เอกพล บรรลือ, (2561, 3 กันยายน), บทสรุป 10 ปี คดีมาบตาพุด เขตควบคุมมลพิษกับต้นทุนราคาสูงลิ่วที่สังคมต้องจ่ายกันเอง, [ออนไลน์]. จาก : https://today.line.me/th/pc/article.