TH3400024

พ ป ส
OAEP – 1 – 146

กัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพมหานครและเขตใกล้เคียง

บุญสม พรเทพเกษมสันต์ ฟูเกียรติ สินาคม
และ ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์

พฤษภาคม 2531

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน

ISBN 974-7399-73-3

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche

พปส-1-146
OAEP

กัมมันตภาพรังสีในบ่อน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและเขตใกล้เคียง

Radioactivity of Artesian wells in Bangkok Metropolitan and nearby areas

บุญสม พรเทพเกษมสันต์

ชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์

ฟูเกียรติ สินาคม

กองกำจัดกากกัมมันตรังสี

Boonsom Pornthepkasemsan

Kanitha Srisuksawad

Fookiat Sinakhom

Waste Disposal Division

มกราคม 2531
January 1988

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
Office of Atomic Energy for Peace
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการพลังงาน
Ministry of Science, Technology and Energy

"The report was prepared as an account of work sponsored by the Office of Atomic Energy for Peace (OAEP). Neither the OAEP, nor any of their employees, or any of their contractors, subcontractors, or their employees, make any warrenty, expressed or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privatety owned rights.

เอกสารฉบับนี้ จัดทำขึ้นโดยสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) สำนักงานฯ ไม่ประกันความรับผิดชอบทางกฎหมายในเรื่องความแน่นอน ความสมบูรณ์ หรือประโยชน์ของข้อมูล เครื่องมือ ผลิตผล หรือกระบวนการใดๆ ที่เปิดเผยในเอกสารนี้"

ISBN-974-7399-73-3

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์คุณลักษณะของกัมมันตภาพรังสี ในน้ำเนื่องการบริโภค กระทำโดยวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และปริมาณเรเดียม-226 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในน้ำบาดาล สรุปได้ดังนี้ น้ำบาดาลชั้นน้ำระประแดง (ความลึก 100-150 เมตร) มีค่ากัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา เท่ากับ 0.023±0.004 กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา เท่ากับ 0.170±0.009 และปริมาณเรเดียม-226 เท่ากับ 0.012±0.0012 เบคเคอเรลต่อลิตร น้ำบาดาลชั้นน้ำนครหลวง (ความลึก 151-200 เมตร) มีค่ากัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา เท่ากับ 0.024±0.002 กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา เท่ากับ 0.196±0.003 และปริมาณเรเดียม-226 เท่ากับ 0.016±0.0003 เบคเคอเรลต่อลิตร น้ำบาดาลชั้นน้ำนนทบุรี (ความลึก 201-250 เมตร) มีค่ากัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา เท่ากับ 0.024±0.001 กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา เท่ากับ 0.156±0.003 และปริมาณเรเดียม-226 เท่ากับ 0.014±0.002 เบคเคอเรลต่อลิตร และจากการคำนวณค่าสถิติ คือ weighted mean ของพารามิเตอร์ทั้งสามในชั้นน้ำทั้งสามชั้น จึงสรุปเป็นค่าปกติของกัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล เขตกรุงเทพฯ และเขตใกล้เคียงได้ดังนี้ กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา เท่ากับ 0.024±0.001 เบคเคอเรลต่อลิตร กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา เท่ากับ 0.176±0.002 เบคเคอเรลต่อลิตร และปริมาณเรเดียม-226 เท่ากับ 0.015±0.0002 เบคเคอเรลต่อลิตร ถือว่าเป็นระดับที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภค ในแง่ของกัมมันตภาพรังสี ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดไว้โดย องค์การนิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ของประเทศสหรัฐอเมริกามีดังนี้ กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา เท่ากับ 0.6 เบคเคอเรลต่อลิตร กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา เท่ากับ 2 เบคเคอเรลต่อลิตร และปริมาณเรเดียม-226 เท่ากับ 0.1 เบคเคอเรลต่อลิตร

ตัวอย่างน้ำมาตรฐานเพื่อการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ตลอดโครงการได้รับความร่วมมือจัดส่งโดยองค์การนิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นจำนวน 12 ตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำบาดาลที่วิเคราะห์ตลอดโครงการ ได้รับความร่วมมือจัดเก็บโดย การประปานครหลวง ในระหว่างเดือนมีนาคม 2526 ถึงเดือนมิถุนายน 2528 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 166 ตัวอย่าง จากบ่อบาดาล 64 บ่อ ที่ความลึก 100-300 เมตร

ABSTRACT

Studies concerning the radioactivity quality of artesian water are performed by analysing gross alpha, gross beta, and radium-226 in the water samples.

Results of three aquifers monitored namely : Phra Pradang (depth 100-150 meters), Nakhon Luang (depth 151-200 meters) and Nonthaburi (depth 201-250 meters) were found to be : gross alpha ; 0.023±0.004, 0.024±0.002 and 0.024±0.001 becquerel per litre respectively;gross beta; 0.170±0.009, 0.196±0.003 and 0.156±0.003 becquerel per litre respectively and radium-226; 0.012±0.0012, 0.016±0.0003 and 0.014±0.0002 becquerel per litre respectively. The weighted mean of the radioactivity level in the three aquifers were proposed as the baseline level in the artesian well water in Thailand. The baseline level are 0.024±0.001,0.176±0.002 and 0.015±0.0002 for gross alpha, gross beta, and radium-226 respectively. In conclusion, at this present level, the Bangkok area artesian well water is considered radiologically safe for drinking within the US. Environmental Protection Agency drinking water standards. (US.EPA)

Twelve reference water solutions from US.EPA were analyzed for analytical quality assurance.

The total number of 166 water samples from 64 artesian well at a depth of 100 and 300 meters were collected by the Bangkok Metropolitan Water works between December 1983 to June 1985.

1. ศานา

1.1 จุดมุ่งหมายของการวิจัย

น้ำบาดาล นับได้ว่ามีบทบาทต่อชีวิตความเป็นอยู่ของชาวกรุงเทพฯ เป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เนื่องมาจากการขยายเมือง และการเพิ่มจำนวนประชากรเป็นไปในอัตราที่รวดเร็วเกินกว่าความสามารถในการเพิ่มกำลังการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำผิวดิน และเนื่องจากกรุงเทพฯ มีแหล่งน้ำบาดาลที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการเจาะบ่อบาดาล เพื่อผลิตเป็นน้ำประปา จึงแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำของชาวกรุงเทพฯได้ น้ำบาดาลที่นำขึ้นมาเพื่อการบริโภคนั้น จะต้องเป็นน้ำที่สะอาดเหมาะสำหรับการบริโภคดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำบาดาลโดยหน่วยราชการที่มีหน้าที่ในการจัดหาน้ำ คือ การประปานครหลวง

กัมมันตภาพรังสี เป็นสิ่งเจือปนชนิดหนึ่งที่มีกำหนดไว้ในมาตรฐานของน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก และเนื่องจากการศึกษากัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาลนี้ ยังไม่มีสถาบันใดกระทำมาก่อน ประกอบกับความจำเป็นของการใช้น้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯ จึงสมควรทำการศึกษาคุณภาพทางกัมมันตรังสีควบคู่กันไป งานวิจัยจึงได้ริเริ่มขึ้น เพื่อศึกษาถึงระดับของกัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล ที่ประชากรกรุงเทพฯใช้บริโภค โดยมีจุดประสงค์ที่จะหาปริมาณของกัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล เพื่อให้ทราบข้อมูลปัจจุบันของกัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพฯ และเขตใกล้เคียง เป็นการป้องกันมิให้ประชาชนได้รับปริมาณรังสีอันเนื่องมาจากรังสีที่ปนเปื้อนในน้ำเกินกว่ามาตรฐานสากลยอมรับ และเพื่อการควบคุมมาตรฐานทางกัมมันตภาพรังสีของน้ำบาดาล อีกทั้งเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินระดับปกติของกัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาลเพื่อประโยชน์ต่อการอ้างอิงในอนาคต

1.2 กำเนิดของน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯ

น้ำบาดาล คือ น้ำส่วนที่อยู่ใต้ผิวดินและถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างของชั้นหิน ซึ่งเป็นระดับที่อิ่มตัวด้วยน้ำ น้ำที่เก็บอยู่ในระดับอิ่มตัวด้วยน้ำนี้ เรียกว่า น้ำบาดาล น้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพฯและเขตใกล้เคียง เกิดจากน้ำในบริเวณรอบนอกของที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้ทั้งด้านตะวันตกตะวันออกและด้านเหนือ ไหลซึมไปตามแนวนอนของชั้นดิน และชั้นหินที่อยู่ใต้ดินเข้าไปยังแหล่งเก็บ ซึ่งเป็นกรวดทราย ก่อนที่จะไหลลงสู่อ่าวไทย น้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล จะมีชั้นน้ำแบ่งออกเป็น 8 ชั้น[1] ด้วยกัน ได้แก่

ชั้นน้ำกรุงเทพฯ	ลึกประมาณ	50	เมตร
ชั้นน้ำพระประแดง	"	100	เมตร
ชั้นน้ำนครหลวง	"	150	เมตร
ชั้นน้ำนนทบุรี	"	200	เมตร
ชั้นน้ำสามโคก	"	300	เมตร

ชั้นน้ำนครไทย	สักประมาณ	350	เมตร
ชั้นน้ำธนบุรี	"	450	เมตร
ชั้นน้ำปากน้ำ	"	550	เมตร

ชั้นน้ำแต่ละชั้นจะมีดินเหนียวซึ่งมีเนื้อแน่นหนาคั่นอยู่ ชั้นน้ำกรุงเทพฯปกติจะไม่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นชั้นน้ำที่ตื้นมีการไหลซึมของน้ำเค็ม ทำให้มีรสกร่อย ชั้นที่นิยมใช้มาก ได้แก่ ชั้นน้ำพระประแดง นครหลวง และนนทบุรี ส่วนชั้นน้ำที่ลึกลงไปไม่นิยมใช้ เนื่องจากจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงมาก

1.3 กัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล

กำเนิดของกัมมันตภาพรังสีบนโลกนี้ อาจจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ กัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ และกัมมันตภาพรังสีสังเคราะห์

กัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ ประกอบด้วยอนุกรมของธาตุกัมมันตรังสีอยู่ 3 อนุกรม ได้แก่ อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม และอนุกรมแอ็กทิเนียม อนุกรมดังกล่าวมีธาตุยูเรเนียม-238, ทอเรียม-232 และยูเรเนียม-235 เป็นตัวตั้งต้นตามลำดับ ซึ่งจะสลายตัวให้รังสีแอลฟา รังสีเบตา และรังสีแกมมา กลายเป็นธาตุกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ อีกหลายชนิด และสิ้นสุดอนุกรมด้วยธาตุตะกั่วเสถียรเหมือนกันทั้งหมด นอกจากอนุกรมดังกล่าวแล้ว ยังมีสารกัมมันตรังสีอื่นๆ อีกได้แก่ โปแทสเซียม-40 รูบิเดียม-37 รวมทั้งสารกัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิก แผนผังของกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่เองในธรรมชาติ แสดงไว้โดยละเอียดใน Fig.1.1-1.3 และ Table 1.1-1.2

กัมมันตภาพรังสีสังเคราะห์ ได้แก่ สารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นครอบคลุมพื้นผิวโลกเป็นบริเวณกว้างขวาง เป็นผลจากการทดลองระเบิดปรมาณูในชั้นบรรยากาศ อุบัติเหตุจากการใช้พลังงานปรมาณูในทางสันติ รวมถึงสารกัมมันตรังสีจากการเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และสถานประกอบการเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ วัสดุนิวเคลียร์ เป็นต้น กัมมตภาพรังสีดังกล่าวนี้ ได้แสดงไว้ใน Table 1.3[2]

กัมมันตภาพรังสีที่พบในน้ำบาดาลนั้นมักเป็นกัมมันตภาพรังสีชนิดที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาในแง่ของความเป็นพิษต่อร่างกายแล้ว จะพบว่า เรเดียม-226 เป็นสารกัมมันตรังสีที่นับว่ามีอันตรายต่อร่างกายสูงชนิดหนึ่ง ซึ่งมักจะมีปนอยู่ในน้ำบาดาลมากกว่าน้ำผิวดิน

เรเดียม-226 ที่พบในน้ำบาดาลนั้น เกิดจากการที่น้ำสามารถละลายสารประกอบของยูเรเนียมที่พบอยู่ทั่วไป ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน คือ ยูเรนิล ได้ดีมาก ส่วนปริมาณที่พบมากหรือน้อยอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยาของชั้นดิน และหินอันเป็นแหล่งกำเนิดของชั้นน้ำบาดาล ดังได้แสดงปริมาณเรเดียม-226 ในชั้นน้ำบาดาลที่กำเนิดจากชั้นหิน ดิน ทราย ชนิดต่างๆ กัน ณ บริเวณชายฝั่งทะเลแอตแลนติก และบริเวณจังหวัดนิวทมอนด์ ไว้ใน Table 1.4[3]

1.4 ผลของกัมมันตภาพรังสีต่อร่างกาย

อาจแบ่งผลที่เกิดจากกัมมันตภาพรังสีออกกว้างๆ เป็น 2 แบบ

1.4.4 ผลฉับพลัน Non-stochastic effects

มีอาการเกิดขึ้นรวดเร็วภายหลังที่ได้รับปริมาณรังสีสูงๆในช่วงเวลาสั้น จะมีอาการป่วยบ่งได้ชัดเจน ทั้งในคนและสัตว์ภายในระยะเวลา 1 ชม. ถึง 60 วัน อาการที่เกิดขึ้นจะลดลงหรือไม่นับเลย ถ้าร่างกายได้รับปริมาณรังสีจำนวนนี้ทีละเล็กละน้อยติดต่อกันเป็นเวลายาวนาน ลักษณะอาการนี้พบได้ในผู้ที่ได้รับการบำบัดรักษาโดยการฉายแสงรังสีเอกซ์หรือรังสีจากแร่เรเดียม ผู้ประสบภัยจากกระเบิดนิวเคลียร์ที่เมืองฮิโรชิมาและนางาซากิ และผู้ประสบอุบัติเหตุทางรังสีที่มีการกระจายของสารรังสีในปริมาณสูง อาการเจ็บป่วยจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับปริมาณรังสี มากกว่า ค่า threshold dose ตัวอย่างเช่น ถ้าร่างกายได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 6 เกรย์ ผู้รับรังสีทั้งหมดจะเสียชีวิต แต่ถ้าได้รับปริมาณรังสี 4.5±0.5 เกรย์ ประมาณร้อยละ 50 ของผู้โดนรังสีจะเสียชีวิต โดยที่อาการป่วยมักเกิดเนื่องจากเซลล์ของไขกระดูก (bone marrow) ถูกทำลาย และจะเสียชีวิตภายใน 30-60 วัน ส่วนปริมาณรังสีที่ใกล้เคียงหรือมากกว่า13 เกรย์ จะเกิดอาการเจ็บป่วย เนื่องจากระบบย่อยอาหาร gastro-intestinal syndrome และเสียชีวิตภายใน 6-17 วันต่อมา และอาการป่วยในระบบประสาทส่วนกลางจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับรังสีใกล้เคียง 50 เกรย์ และเสียชีวิตภายใน 2 วัน ช่วงของปริมาณรังสี 1-5 เกรย์ นั้นจะไม่ทำให้เสียชีวิต แต่จะมีอาการป่วยแบบฉับพลันภายใน 2-5 ชม. อันได้แก่ มีอาการช็อค ตามด้วยอาการคลื่นเหียนอาเจียน เบื่ออาหาร ท้องร่วง อ่อนเพลีย ไม่มีแรง ระยะสองจะมีอาการภายใน 1-2 สัปดาห์ โดยมีอาการป่วยต่างๆ เนื่องจากการทำงานของอวัยวะล้มเหลว อาจมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ของเลือด เนื้อหนังเหี่ยวลง มีเลือดออกเป็นเนื้อที่กว้าง ติดเชื้อง่าย และผมร่วง อาการจะดีขึ้นทีละน้อยถ้าป้องกันอาการจากโรคติดเชื้อได้

1.4.2 ผลเรื้อรัง Stochastic effects

เป็นผลที่เกิดจากร่างกายได้รับปริมารรังสีต่ำในช่วงระยะเวลานาน และอาการป่วยจะเกิดขึ้นประมาณ 10-40 ปีหลังจากนั้น อาการป่วยนี้จะไม่แตกต่างจากอาการที่เกิดจากสาเหตุอื่นๆ โอกาสของการเกิดอาการป่วยเหล่านี้ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่ได้รับ และไม่สามารถคาดการณ์ได้ ผลที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะ คือ อาการทางร่างกาย จะเกิดขึ้นกับผู้ที่โดนรังสีเอง และอาการทางกรรมพันธุ์ ซึ่งจะเกิดขึ้นแก่รุ่นลูก หรือรุ่นหลาน อาการทางร่างกาย ได้แก่ โรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ รวมทั้งมะเร็งในเม็ดเลือด (Leukemia) ส่วนอาการทางกรรมพันธุ์นั้นจะมีผลที่เกิดขึ้นได้กับอวัยวะเกือบทั้งหมด อาทิ

ผิวหนัง	-	ผิวเผือก ลักษณะผิวคล้ายเกล็ดปลา
กระดูก	-	แตระ
หัวใจ	-	blue babies
สมอง	-	ปัญญาอ่อน ศีรษะเล็ก
เลือด	-	เลือดไหลไม่หยุด
หู	-	หูหนวก
ตา	-	ต้อ สายตาสั้น บอดสี
นิ้วมือ นิ้วเท้า	-	มีจำนวนเพิ่มจากปกติ
อวัยวะสืบพันธุ์ (ชาย)	-	hermaphrodite

1.5 ผลของเรเดียมต่อร่างกาย

กัมมันตภาพรังสีที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำดื่ม จะเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ ทางปาก และทางจมูก (จากการสูดหายใจเอาก๊าซเรดอนเข้าไป) ผลดังกล่าวเป็นผลที่เกิดภายในร่างกาย

คุณสมบัติทางเคมีของสารรังสี และกลไกทางชีวเคมีของร่างกาย จะเป็นตัวควบคุมให้สารรังสีไปสะสมอยู่ที่อวัยวะหนึ่งๆในร่างกาย เรเดียม-226 เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมอยู่ที่กระดูกเป็นส่วนใหญ่ การขับถ่ายของสารรังสีออกจากร่างกายในกรณีที่สารรังสีนั้นๆ สะสมอยู่ที่กระดูกจะใช้ระยะเวลานานกว่าสารรังสีที่สะสมในอวัยวะอื่นๆของร่างกาย ด้วยเหตุนี้อวัยวะต่างๆของร่างกายจะได้รับรังสีในปริมาณต่างๆกัน เรเดียม-226 ที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม ถ้าร่างกายได้รับเป็นจำนวน 10 นิโคคูรีต่อวันจะคำนวณเป็นปริมาณรังสีที่กระดูกได้รับเท่ากับ 150 มิลลิเร็มต่อปี[4] แต่มีข้อดีที่กระดูกมีความไวต่อรังสีน้อยกว่าอวัยวะอื่น ดังนั้น จึงสามารถยอมให้รังสีได้มากกว่าร่างกายทั้งหมดถึงสามสิบเท่า ที่ประเทศสหรัฐอเมริกาการรับปริมาณรังสีดังกล่าวจะทำให้มีการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งของกระดูกจำนวน 1 คนต่อนอเมืองหนึ่งล้านคนต่อปี ซึ่งเป็นอัตราเสี่ยงที่น้อยกว่าการเสี่ยงที่เกิดจากร่างกายได้รับปริมาณรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติบนพื้นผิวโลก 20 เท่า[5]

1.6 มาตรฐานน้ำดื่มและหลักเกณฑ์การวิเคราะห์

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานทางรังสีในน้ำดื่มไว้อย่างละเอียด ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

US. Environmental Protection Agency for Drinking Water Standards

Radionuclides	Max.Contaminant level (pCi/1) (x.037 Bq/l)
H-3	20,000
General alpha emitting radionuclides exclusive of Uranium	15
Ra-226 + Ra-228	5
Sr-90	8
General beta artificial radionuclides	*

Note : * Limit for these material are such that the annual internal dose equivalent to the critical organ involved does not exceed 4 millirem per year (.04 mSv/y)

องค์การอนามัยโลก และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเทศไทย กำหนดเป็นหลักกว้างๆ ดังนี้

กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา = 1 เบคเคอเรลต่อลิตร

กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา = 0.1 เบคเคอเรลต่อลิตร

แม้ว่ากัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และกัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟานั้น จะเกิดจากสตรอนเชียม-90 และเรเดียม-226 ทั้งหมด

หลักเกณฑ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีในน้ำเพื่อการควบคุมมาตรฐานน้ำดื่ม ได้กำหนดไว้โดยองค์การนิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนี้

<u>การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ</u>

ดังได้กล่าวแล้วว่า สารรังสีประเภทนี้จะสลายตัวให้รังสีแอลฟาเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น จึงกำหนดใช้ ค่าของกัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา เป็นเกณฑ์ตัดสินขั้นตอนและรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นวิเคราะห์หาปริมาณของกัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟาในน้ำ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 5 นิโคคูรีต่อลิตร ถือว่าเป็นน้ำคุณภาพดี ปลอดภัยจากอันตรายของรังสี ถ้ามีค่ามากกว่า 5 นิโคคูรีต่อลิตร ให้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ซึ่งกำหนดไม่ให้เกิน 3 นิโคคูรีต่อลิตร แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 3 นิโคคูรีต่อลิตร ให้วิเคราะห์เรเดียม-228 และถ้าผลรวมของเรเดียม-226 และเรเดียม-228 เกิน 5 นิโคคูรีต่อลิตร น้ำนั้นจะไม่ได้มาตรฐานขององค์การนิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา

การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีสังเคราะห์

กัมมันตภาพรังสีประเภทนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะสลายตัวให้รังสีเบตาและรังสีแกมมา ดังกล่าวแล้วว่าผลของรังสีที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม ผลภายในร่างกายจะมีความสำคัญที่สุด ดังนั้น รังสีแกมมาซึ่งมีคุณสมบัติทะลุทะลวงในตัวกลางได้ดีจึงจะไม่นำมาพิจารณาดังนี้จึงกำหนดให้ค่าของกัมมันตภาพรังสีรวมเบตาเป็นเกณฑ์กำหนดขั้นตอนของการวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นวิเคราะห์หาปริมาณของกัมมันตภาพรังสีรวมเบตา ถ้ามีค่าน้อยกว่า 30 พิโคคูรีต่อลิตร ถือว่าน้ำปลอดภัยต่อการดื่ม ถ้ามีค่ามากกว่า 30 พิโคคูรีต่อลิตร ต้องวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตริเทียม และสตรอนเชียม-90 โดยที่ผลบวกของตริเทียมและสตรอนเชียม-90 จะต้องมีผลให้ร่างกายได้รับปริมาณรังสีไม่เกิน 4 มิลลิเร็มต่อปี จึงถือว่าน้ำนั้นได้มาตรฐานต่อการบริโภค ปริมาณความเข้มข้นของสารรังสีสังเคราะห์ และมีผลทำให้ร่างกายได้รับปริมาณรังสีเท่ากับ 4 มิลลิเร็มต่อปี แสดงไว้ใน Table 1.4[4]

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำสำหรับโครงการวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากกองควบคุมคุณภาพน้ำ การประปานครหลวง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคุณภาพน้ำบริโภคของการประปาฯ โดยเก็บตัวอย่างน้ำใส่ถังน้ำ ทำด้วยโพลีเอทธีลีนขนาดความจุ 1 แกลลอน และจัดเก็บเป็นประจำเดือน เดือนละครั้ง ตัวอย่างในโครงการนี้เป็นตัวอย่างที่จัดเก็บระหว่างเดือนธันวาคม 2526 ถึงเดือนสิงหาคม 2528 ตัวอย่างน้ำบาดาลจะครอบคลุมพื้นที่ของกรุงเทพฯ และเขตใกล้เคียง

2.2 วิธีดำเนินการวิเคราะห์

2.2.1 กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟาและกัมมันตภาพรังสีรวมเบตา

2.2.1.1 ตวงน้ำ 1 ลิตร และถ่ายใส่บีกเกอร์ นำไประเหยบนเตาไฟฟ้าจนเกือบแห้ง ใช้กรดไนตริกเจือจางชะล้างผนังบีกเกอร์ และถ่ายของเหลวลงในจานนับรังสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ที่ทราบน้ำหนักแล้ว เติมสารละลายอลูไซด์ 1-2 หยด วางจานนับรังสีไว้ใต้หลอดไฟอินฟราเรด ระเหยน้ำจนแห้งสนิท นำไปชั่ง และหาน้ำหนักของ residues เพื่อคำนวณหาความหนาของ residue ในหน่วยของมิลลิกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร นำจานนับรังสีเข้าเครื่องวัดรังสีแอลฟาและเบตาระดับต่ำ (Low Background Anticoincidence α/β counter) หัววัดรังสีเป็นแบบ gas flow proportional detector ใช้เวลาในการวัด 100 นาที

2.2.1.2 ทำ Blank เช่นเดียวกับกรรมวิธีข้างต้น โดยใช้น้ำกลั่น 1 ลิตร แทนตัวอย่างน้ำ

2.2.1.3 การทา self Absorption curve

เนื่องจากรังสีแอลฟาและรังสีเบตามีความสามารถทะลุทะลวงตัวอย่างได้น้อย ดังนั้น จำเป็นต้องแก้ไขค่าของจำนวนรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ด้วยความหนาของตัวอย่าง มีวิธีทำดังนี้

เตรียมชุดของจานนับรังสีที่มีความหนาของตะกอนต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1-10 มิลลิกรัม ต่อตารางเซ็นติเมตร โดยใช้สารแคลเซียมซัลเฟตแทนความหนาของตะกอน โดยเตรียม 2 ชุด เติมสารละลายมาตรฐาน* ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนลงในจานนับรังสีในปริมาตรเท่าๆ กัน ทำให้สารกระจายอย่างสม่ำเสมอในจานนับรังสี นำไปทำให้แห้งใต้หลอดไฟอินฟราเรด และนำเข้าวัดรังสีด้วยเครื่องมือวัดรังสีเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1

*สารละลายมาตรฐาน สำหรับแก้ไขค่า self absorption ของรังสีแอลฟา ใช้สารละลายนลูโตเนียม-239 และสารละลายมาตรฐานที่ใช้แก้ไข ค่า self absorption เนื่องจากรังสีเบตา ใช้สารละลายซีเซียม-137

2.2.2 ปริมาณเรเดียม-226

การวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ใช้กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้น โดย อนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ รายละเอียดของกรรมวิธี แสดงไว้ใน พปส.2-1[6]

2.3 การควบคุมคุณภาพ

ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพการวิเคราะห์ข้อมูลของโครงการวิจัยนี้ โดยวิธี internal control และ external control องค์การที่ให้ความร่วมมือในการทำ external quality control คือ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา ตัวอย่างที่จัดส่งมาเพื่อการวิเคราะห์ในโครงการนี้ มีจำนวน 12 ตัวอย่าง

2.4 การคำนวณผลการวิเคราะห์

2.4.1 กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และกัมมันตภาพรังสีแอลฟา คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Gross } \alpha/\beta \text{ (Bq/l)} = \frac{A-B}{60 \times C \times D \times E}$$

เมื่อ A = อัตรานับรังสีของตัวอย่างต่อนาที

B = อัตราการนับของแบลงค์ต่อนาที

C = ประสิทธิภาพของการวัดรังสีเบตา/รังสีแอลฟาที่ความหนา = 0

D = self absorption factor อ่านจากกราฟ

E = ปริมาตรในหน่วยลิตร

60 = ค่าคงตัวเพื่อเปลี่ยนหน่วยเป็นเบคเคอเรล (Bq)

2.4.2 self absorption factor

คำนวณ self absorption factor โดยเปรียบเทียบอัตราการนับรังสีของจานนับรังสีแต่ละอันกับอัตราการนับรังสีของจานนับรังสีที่ความหนาเป็นศูนย์ แล้วจึงเขียนกราฟระหว่าง self absorption factor และความหนาของตะกอน (หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร)

2.4.3 ปริมาณเรเดียม-226

การคำนวณหาความเข้มข้นของเรเดียม-226 ได้แสดงไว้โดยละเอียดใน พปส.-2-1[6]

2.4.4 ระดับปกติของกัมมันตภาพรังสี

ใช้วิธีการคำนวณในเชิงสถิติของการหาค่าผลเฉลี่ยของข้อมูล แบบ weightmean และ Chauvenet's criterion[7]

3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาล จำนวน 166 ตัวอย่าง จากบ่อบาดาล 64 บ่อ แสดงไว้โดยละเอียดใน Table 3.1

ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาลแต่ละอำเภอในเขตกรุงเทพฯ แสดงไว้ใน Table 3.2

ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบาดาลในชั้นน้ำพระประแดง ชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำนนทบุรี แสดงไว้ใน Table 3.3

ผลการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ ในตัวอย่างมาตรฐาน จำนวน 12 ตัวอย่าง จัดส่งโดยองค์การนิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงไว้ใน Table 3.4

ความสัมพันธ์ของค่า self absorption factor ในแต่ละหน่วย ความหนาของตะกอนของตัวอย่าง แสดงไว้ใน Table 3.5

4. การอภิปรายผลงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระดับของกัมมันตภาพรังสีในน้ำบาดาล ซึ่งการประปานครหลวงได้สูบขึ้นมาเพื่อผลิตเป็นน้ำประปาบริการแก่ประชาชนในเขตกรุงเทพฯ และเขตใกล้เคียง น้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้จะอยู่ในชั้นน้ำพระประแดง มีความลึก 100-150 เมตร ชั้นน้ำนครหลวง ความลึก 150-200 เมตร และชั้นน้ำนนทบุรี ความลึก 200-250 เมตร การศึกษากระทำโดย การวิเคราะห์ข้อมูลของกัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา และปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำทุกตัวอย่าง เป็นจำนวนทั้งสิ้น 166 ตัวอย่าง จากบ่อบาดาล 64 บ่อ เป็นบ่อบาดาลในเขตบางกะปิ เขตบางเขน เขตบางกอกน้อย เขตดุสิต เขตห้วยขวาง เขตคลองเตย เขตพญาไท เขตพระโขนง จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ การรายผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดในที่นี้ ได้รายงานตัวเลขที่ทำจริง ซึ่งอาจมีค่าเป็นศูนย์ หรือค่าที่มีเครื่องหมายเป็นลบ ซึ่งหมายความว่าตัวอย่างนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าของแบคกราวน์ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดมีค่าถูกต้องมากที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปมักจะรายงานข้อมูลเหล่านั้นด้วยค่า Limit of detection ของเครื่องมือ

ค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีในแต่ละเขต แสดงไว้ใน Table 2.2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ทั้งสามมีค่าต่ำ คือต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี 1976 มาก และเมื่อคำนวณเชิงสถิติหาผลเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีของทุกเขต ได้ค่าดังนี้

กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา	เท่ากับ	0.022±0.001	เบคเคอเรลต่อลิตร
กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา	เท่ากับ	0.068±0.002	เบคเคอเรลต่อลิตร
ปริมาณเรเดียม-226	เท่ากับ	0.014±0.0002	เบคเคอเรลต่อลิตร

เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสี โดยแยกน้ำบาดาลออกเป็นชั้นน้ำต่างๆ ตามหลักการแยกชั้นน้ำของชั้นน้ำบาดาล บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนใต้ น้ำบาดาลที่ทำการวิเคราะห์จะแบ่งได้เป็น 3 ชั้นน้ำบาดาล คือ ชั้นน้ำพระประแดง ชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำนนทบุรี ดังกล่าวข้างต้น ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีที่น่าสนใจในแต่ละชั้นน้ำ มีดังนี้

ชั้นน้ำพระประแดง	กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา =	0.023±0.004	เบคเคอเรลต่อลิตร
	กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา =	0.170±0.009	เบคเคอเรลต่อลิตร
	ปริมาณเรเดียม-226 =	0.012±0.0012	เบคเคอเรลต่อลิตร
ชั้นน้ำนครหลวง	กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา =	0.024±0.002	เบคเคอเรลต่อลิตร
	กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา =	0.196±0.003	เบคเคอเรลต่อลิตร
	ปริมาณเรเดียม-226 =	0.016±0.0003	เบคเคอเรลต่อลิตร

ชั้นน้านนทบุรี	กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา	= 0.024±0.001	เบคเคอเรลต่อลิตร
	กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา	= 0.156±0.003	เบคเคอเรลต่อลิตร
	ปริมาณเรเดียม-226	= 0.014±0.0002	เบคเคอเรลต่อลิตร

เมื่อใช้ค่าทางสถิติ (t's test) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีของชั้นน้ำทั้งสามชั้น รวมทั้งค่าเฉลี่ยจากทุกเขต ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยของกัมมตภาพรังสีจากทุกแหล่ง มีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงอาจสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีของแหล่งน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯได้ เนราะว่าค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ต่ำมาก คือต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำดื่มของประเทศสหรัฐอเมริกามาก ดังนั้นจึงถือได้ว่า ค่านี้ คือระดับปกติของกัมมันตภาพรังสีในแหล่งน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯ ซึ่งมี ดังนี้

กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา	= 0.022±0.001	เบคเคอเรลต่อลิตร
กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา	= 0.168±0.002	เบคเคอเรลต่อลิตร
ปริมาณเรเดียม-226	= 0.014±0.0002	เบคเคอเรลต่อลิตร

Table 1.1 The Cosmogenic Radionuclides[2]

Nuclide	Rate of Atmospheric Production of Atoms ($cm^{-2}s^{-1}$)	Half-life	Radiation	Energy (MeV)	Intensity
^{3}H	0.25	12.35 y	β^-	0.0185(0.00568)	100
^{7}Be	8.1×10^{-2}	53.3 d	e_A	0.000054	88
			γ	0.47739	10.3
^{10}Be	4.5×10^{-2}	2.7×10^{6}	β^-	0.555	100
^{14}C	2.5	5730 y	β^-	0.1561(0.0493)	100
^{22}Na	8.6×10^{-3}	2.60 y	e_A	0.00082	8.5
			β^+	0.5459(0.2156)	90.49
			γ_1	0.5110	181.08
			γ_2	1.27454	99.95
^{26}Al	1.4×10^{-4}	7.4×10^{5}y	β^+	1.16	84.6
			γ_1	0.5110	169.2
			γ_2	1.12967	2.5
			γ_3	1.80865	99.76
^{32}Si	1.6×10^{-4}	280 y	β	0.21	100
^{32}P	8.1×10^{-4}	14.29 d	β^-	1.7089(0.6950)	100
^{33}P	6.8×10^{-4}	24.8 d	β^-	0.248	100
^{35}S	1.4×10^{-3}	88.0 d	β^-	0.1673(0.04879)	100
^{36}Cl	1.1×10^{-3}	3.01×10^{5}y	e_{A1}	0.00016	3.2
			e_{A2}	0.0021	1.5
			β^-	0.7089(0.2514)	98.1
^{37}Ar	8.3×10^{-4}	35.0 d	γ	0.815(max.)	100
^{38}Cl	1.6×10^{-3}	56.2 min	β_1	1.91	85
			β_2	2.18	8
			β_3	3.45	7
			γ_1	0.25026	44
			γ_2	0.98579	2
			γ_3	1.09097	2
			γ_4	1.2672	50
			γ_5	1.51731	35
^{39}Ar	4.0×10^{-3}	269 y	β^-	0.565	100

Table 1.2 Other Primordial Radionuclides[a]

Nuclide	Abundance: Elemental (percent)	Abundance: Lithosphere ($\mu g\ g^{-1}$)	Half-life	Radiation	Energy (MeV)	Intensity (percent)
^{40}K	0.0118	3	1.8×10^{9} y	e_{A1}	0.00024	~16
				e_{AE}	0.00296	7.0
				β^-	1.314(0.562)	89.3
				X	0.00300	1.1
				γ	1.4608	10.7
^{87}Rb	27.85	75	4.7×10^{10} y	β^-	0.274	100

Table 1.3 Widely distribute manmade radionuclides[2]

Nuclide	Origin	Half-life	Radiation	Energy (MeV)	Intensity (percent)
^{3}H	NE, NF	12.33 y	β^-	0.0185(0.00568)	100
^{14}C	NE, FF	5730 y	β^-	0.1561(0.0493)	100
^{54}Mn	NE	312.5 d	e_{A_1}	0.00057	149
			e_{A_2}	0.00478	65.6
			X_K	0.00547	23.6
			γ	0.83483	99.976
^{55}Fe	NE	2.7 y	e_{A_1}	0.00063	146.6
			e_{A_2}	0.00519	63.0
			X_K	0.00595	25.7
^{60}Co	NE, NF	5.26 y	β_1	0.31788(0.0959)	99.92
			γ_1	1.17321	99.92
			γ_2	1.33248	100
^{65}Zn	NE, NF	243.8 d	e_{A_1}	0.00093	134
			e_{A_2}	0.00703	51.6
			β^+	0.331(0.1433)	1.41
			X_K	0.00813	35.2
			γ_1	0.5110	2.82
			γ_2	1.11552	50.75
^{85}Kr	NE, NF	10.73 y	β_1	0.173(0.0475)	0.43
			β_2	0.687(0.2514)	99.57
			γ	0.51399	0.43
^{90}Sr-^{90}Y	NE, NF	28.5y (Sr)	β_1	0.546(0.1963)	100
		64.0 h (Y)	β_2	2.274(0.936)	99.98
^{95}Zr	NE	63.98 d	e_A	0.00215	1.4
			e_B	0.2164	1.1
			β_1	0.3656(0.109)	54.6
			β_2	0.3981(0.120)	44.4
			γ_1	0.72418	44.4
			γ_2	0.75672	54.6
^{95}Nb	NE	35.15 d	β^-	0.1597(0.0434)	99.92
			γ	0.76579	99.92

Table 1.3 continued

Nuclide	Origin	Half-life	Radiation	Energy (MeV)	Intensity (percent)
^{106}Ru-^{106}Rh	NE, NF	369 d (Ru)	β_1	0.0394(0.0101)	100
		30.4 s (Rh)	β_2	1.98(0.786)	1.72
			β_3	2.41(0.986)	10.5
			β_4	3.03(1.280)	8.4
			β_5	3.54(1.525)	78.8
			γ_1	0.5118	20.5
			γ_2	0.6218	9.76
			γ_3	1.0501	1.45
^{125}Sb-^{125}Te	NE	2.77 y (Sb)	e_{A1}	0.00319	84
		58. d (Te)	e_{A2}	0.02272	11.1
			ce_1	0.00365	72
			ce_2	0.03052	9.1
			ce_3	0.03445	1.66
			ce_4	0.07746	12.1
			ce_5	0.10433	9.1
			ce_6	0.10826	2.5
			β_1	0.094(0.0246)	13.3
			β_2	0.124(0.0329)	6.0

Remarks : NE = Nuclear Explosions

NF = Nuclear Facilities

Table 1.4 Ra^{226} distribution in ground water by aquifer type for the Atlantic Coastal Plain and Piedmont provinces

Aquifer Type	Number of Values	Ra-226	
		Geometric Mean (pCi/l)	Range (pCi/l)
Igneous rocks (acidic)	42	1.80	0.0-15.9
Metamorphic Rocks	75	0.37	0.0-7.4
Sand	143	1.36	0.0-25.9
Arkose	92	2.19	0.0-23.0
Quartzose	50	0.55	0.0-25.9
Limestone	16	0.12	0.0-0.3

Table 1.5 Annual Average Concentration of some manmade radionuclides Yielding 4 Millirem per Year for a Two liter Daily Intake[6]

Radionuclides	Critical Organ	Concentration (pCi/l)
H-3	Total body	20,000
C-14	Fat	2,000
Sr-90	Bone Marrow	8
Cs-134	Total body	80
Cs-137	Total body	200

Table 3.1 **Results of Gross Alpha Activities, Gross Beta Activities and Ra-226 in Artesian Water in Bangkok and Nearly Areas**

(Unit in Becquerel per liter)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
BANGKAPI:					
Electricity Std.2	11 Jun 84	258	0.023±0.008	0.14±0.02	0.013±0.002
Ramkhumhaeng Rd.	10 Jun 85	258	0.010±0.016	0.13±0.02	0.017±0.003
Hua Mak Police Sta.	6 Feb 84	190	0.035±0.028	0.08±0.04	0.018±0.002
Ramkhumhaeng Rd.					
Lad Praw 120 Rd.	19 Mar 84	157	0.078±0.018	0.24±0.04	0.031±0.004
	9 Jul 84	157	0.087±0.023	0.98±0.04	0.025±0.003
	12 Mar 85	157	0.068±0.026	0.19±0.02	0.015±0.005
Soi Ketnuti 1	9 Jan 84	200	0.017±0.013	0.17±0.02	0.019±0.002
Lad Praw 64 Rd.	19 Mar 84	200	0.016±0.012	0.12±0.03	0.019±0.002
	2 Jul 84	200	0.664±0.052	19.99±0.19	0.005±0.002
Soi Ketnuti 2	9 Jan 84	234	0.002±0.006	0.11±0.02	0.015±0.001
Lad Praw 64 Rd.	19 Mar 84	234	0.026±0.012	0.11±0.03	0.013±0.002
	2 Jul 84	234	0.171±0.028	3.93±0.09	0.015±0.004
	12 Mar 85	234	0.009±0.016	0.12±0.09	0.010±0.002
Soi rom Yeng	27 Feb 84	169	0.045±0.014	0.30±0.04	0.059±0.004
Pattanakarn Rd.	10 Jun 85	169	0.058±0.024	0.30±0.03	0.012±0.002
Soi U-Thit 1	6 Feb 84	225	0.013±0.022	0.04±0.02	0.005±0.001
Lad Praw 123 Rd.	19 Mar 84	225	0.017±0.012	0.12±0.02	0.003±0.002
	9 Jul 84	225	0.023±0.016	0.11±0.02	0.012±0.002
	10 Jun 85	225	0.017±0.018	0.08±0.02	0.010±0.002
Soi Wat Nuanchan	9 Jun 84	249	0.003±0.004	0.09±0.04	0.008±0.002
Sukhapiban 1 Rd.					

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
Sukhapiban 1 Rd.	9 Jan 84	150	0.037±0.015	0.13±0.02	0.009±0.001
	19 Mar 84	150	0.011±0.010	0.15±0.03	0.008±0.002
	11 Jun 84	150	0.019±0.008	0.13±0.02	0.010±0.002
W. Ban Tuey Sukhapiban 1 Rd.	9 Jan 84	194	.029±0.030	0.14±0.04	0.021±0.004
W. Lad Praw	9 Jan 84	171	0.014±0.013	0.15±0.02	0.022±0.002
Lad Praw 41 Rd.	19 Mar 84	171	0.032±0.014	0.18±0.03	0.021±0.002
	12 Mar 85	171	0.074±0.027	0.15±0.02	0.010±0.002
BANGKHEN					
Ban Pak Rodfire	6 Feb 84	209	0.013±0.022	0.07±0.03	0.026±0.004
Vibhavadi-Rungsit Rd.	9 Jul 84	203	-0.002±0.001	0.12±0.02	0.008±0.001
Lad Praw 1 Rd.	12 Mar 85	233	0.032±0.021	0.09±0.02	0.009±0.001
Ngamwongwan Rd.	30 Jan 84	201	0.035±0.028	0.24±0.05	0.042±0.004
	28 May 84	201	0.046±0.014	0.28±0.04	0.074±0.006
	9 Jul 84	200	0.010±0.014	0.12±0.02	0.009±0.002
Prachaniwes 1 prachachuen Rd.	30 Jan 84	201	0.013±0.022	0.10±0.02	0.013±0.002
	28 May 84	201	0.024±0.010	0.15±0.03	0.014±0.002
Soi Chalermsook Phaholyothin Rd.	6 Feb 84	238	0.019±0.024	0.13±0.04	0.028±0.004
	5 Mar 84	238	0.007±0.012	0.03±0.06	0.030±0.004
	9 Jul 84	238	0.042±0.019	0.20±0.02	0.022±0.002
Soi Prem Rue Tai 2 Ram Indra Km 3 Rd.	21 Jan 85	190	0.080±0.040	0.05±0.02	-

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
Soi Sungkha Watana 2	9 Jan 84	233	0.049±0.018	0.15±0.02	0.030±0.002
Lad Praw 23 Rd.	19 Mar 84	233	0.029±0.012	0.015±0.03	0.032±0.004
	20 Apr 84	233	0.009±0.012	0.15±0.04	0.013±0.002
Soi Sank Thong	5 Mar 84	211	0.015±0.014	0.18±0.06	0.017±0.002
Phaholyothin Rd.	9 Jul 84	211	0.003±0.012	0.17±0.02	0.009±0.002
Soi Supapong	9 Jan 84	203	0.020±0.014	0.14±0.02	0.017±0.001
Lad Praw 23 Rd.	19 Mar 84	203	0.024±0.012	0.13±0.03	0.017±0.002
	23 Apr 84	203	0.014±0.012	0.11±0.04	0.030±0.004
	2 Jul 84	203	0.004±0.010	0.17±0.02	0.002±0.002
	12 Mar 85	203	0.023±0.019	0.12±0.02	0.015±0.002
BANGKOK-NOI					
W.Bangyikhan	19 Dec 83	209	0.039±0.018	0.24±0.04	0.081±0.006
Charansanitwong Rd.	9 Apr 84	209	0.041±0.007	0.26±0.02	0.012±0.001
	21 May 84	209	0.053±0.014	0.24±0.04	0.011±0.002
	20 Aug 84	209	0.051±0.016	0.30±0.03	0.021±0.003
W.Chanthraram	20 Feb 84	170	0.149±0.022	0.63±0.05	0.366±0.012
Charansanitwong Rd.	21 May 84	170	0.161±0.022	0.57±0.05	0.292±0.012
	20 Aug 84	170	0.104±0.021	0.57±0.03	0.018±0.003
W.Pakininatr	19 Dec 83	235	0.087±0.011	0.20±0.02	0.167±0.004
Rajivithi Rd.	20 Feb 84	235	0.066±0.016	0.40±0.04	0.094±0.006
	9 Apr 84	235	0.044±0.014	0.35±0.04	0.009±0.002
	21 May 84	235	0.070±0.016	0.37±0.04	0.055±0.006
	20 Aug 84	235	0.050±0.016	0.30±0.03	0.030±0.004

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-228
W.Sanukkisoonthavas	19 Dec 83	155	0.014±0.014	0.16±0.02	0.026±0.002
Charansanitwong Rd.	20 Feb 84	155	0.019±0.012	0.25±0.04	0.021±0.004
	9 Apr 84	155	0.046±0.014	0.26±0.03	0.025±0.004
	21 May 84	155	0.014±0.008	0.17±0.03	0.022±0.004
	20 Aug 84	142	0.032±0.013	0.20±0.02	0.018±0.003
W.Tephakorn	19 Dec 83	169	0.059±0.020	0.22±0.04	0.074±0.006
Charansanitwong Rd.	9 Apr 84	169	0.033±0.012	0.19±0.03	0.065±0.006
	21 May 84	169	0.052±0.012	0.24±0.04	0.003±0.002
	20 Aug 84	169	0.054±0.016	0.29±0.03	0.022±0.003
DUSIT					
Poon Cement	30 Jan 84	228	0.016±0.023	0.14±0.04	-
Prachachuen Rd.					
Ware House 3	30 Jan 84	226	0.000±0.003	0.13±0.04	0.015±0.002
Prachachuen Rd.	28 May 84	226	0.029±0.010	0.19±0.03	0.017±0.004
W.Choeng Wai	13 Feb 84	210	0.048±0.028	0.23±0.06	0.063±0.006
Bkk-Nonthaburi	9 Apr 84	210	0.055±0.014	0.30±0.04	0.024±0.010
W.Liab Raj Bum Rung	30 Jan 84	173	0.063±0.034	0.27±0.05	0.099±0.006
Bkk-Nonthaburi	9 Apr 84	203	0.051±0.014	0.21±0.03	0.012±0.002
	21 May 84	203	0.061±0.016	0.38±0.04	0.006±0.002
	20 May 84	203	0.051±0.014	0.26±0.04	0.113±0.008
W.Maschantikaram	19 Dec 83	192	0.039±0.018	0.20±0.02	0.020±0.002
Wongsavang Rd.	16 Jan 84	192	0.070±0.018	0.21±0.03	-
	9 Apr 84	192	0.035±0.012	0.23±0.03	0.004±0.001
	21 May 84	192	0.048±0.014	0.27±0.02	0.036±0.004
	21 May 84	192	0.058±0.014	0.31±0.04	0.061±0.006

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
W.Thong Suttharam	9 Apr 84	173	0.049±0.014	0.25±0.03	0.154±0.008
Bkk-Nonthaburi Rd.	21 May 84	173	0.087±0.016	0.45±0.05	0.061±0.006
	28 May 84	173	0.067±0.014	0.35±0.04	0.119±0.008
	20 Aug 84	173	0.091±0.020	0.41±0.03	0.026±0.004
HUAY KUANG					
Din Daeng Fertilizer	26 Dec 83	243	0.040±0.034	0.21±0.05	0.012±0.002
Din Daeng Rd.	5 Mar 84	243	0.002±0.006	0.68±0.07	0.026±0.004
	23 Apr 84	243	0.023±0.014	0.13±0.04	0.017±0.002
	2 Jul 84	243	0.013±0.012	0.17±0.02	0.016±0.004
	17 Sep 84	243	0.007±0.012	0.13±0.02	0.012±0.002
Din Daeng Flat	26 Dec 83	247	0.034±0.030	0.21±0.04	0.044±0.004
Din Daeng Rd.	5 Mar 84	247	0.030±0.016	0.27±0.06	0.049±0.004
	23 Apr 84	247	0.024±0.014	0.15±0.04	0.052±0.006
	2 Jul 84	247	0.054±0.018	0.29±0.03	0.023±0.004
	17 Sep 84	247	0.005±0.012	0.18±0.03	0.015±0.002
Huay Kuang Flat	26 Dec 83	194	0.002±0.006	0.07±0.04	0.010±0.002
Din Daeng Rd.	5 Mar 84	194	0.008±0.012	0.09±0.06	0.009±0.002
	23 Apr 84	194	0.013±0.012	0.10±0.04	0.009±0.002
	2 Jul 84	194	0.007±0.010	0.11±0.02	0.006±0.002
Pracharaj-ooppathum	26 Dec 83	228	0.020±0.028	0.08±0.04	0.012±0.002
School	23 Apr 84	228	0.018±0.014	0.08±0.03	0.009±0.002
Ratchadapisek Rd.	17 Sep 84	228	0.015±0.014	0.05±0.02	0.012±0.002
Prachasonghroa Rd.	26 Dec 83	198	-0.002±0.006	0.08±0.04	0.005±0.002
	5 Mar 84	198	0.016±0.014	0.42±0.07	0.037±0.005
	23 Apr 84	198	0.027±0.018	0.09±0.04	0.004±0.002
	2 Jul 84	198	0.010±0.012	0.13±0.02	0.022±0.004

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
W.Kunnatee Suttharam	26 Dec 83	180	0.002±0.006	0.07±0.04	0.008±0.002
	5 Mar 84	180	0.030±0.016	0.13±0.06	0.047±0.004
	23 Apr 84	180	0.018±0.014	0.10±0.04	0.013±0.002
	2 Jul 84	180	0.027±0.014	0.18±0.02	0.012±0.002
	17 Sep 84	180	-0.006±0.010	0.07±0.02	0.012±0.002
KLONG TUEY					
Himathongkhum	26 Dec 83	190	0.017±0.013	0.18±0.02	0.029±0.002
PHAYATHAI					
Soi Soonvijai	16 Jan 84	254	0.013±0.012	0.09±0.02	0.008±0.002
New Pechburi Rd.	2 Apr 84	258	0.016±0.010	0.08±0.02	-
	11 Jan 84	258	0.021±0.008	0.10±0.02	0.014±0.002
	21 Jan 85	258	-0.021±0.020	0.07±0.03	-
PHRAKHANONG					
Jaad San Yasoob	16 Jan 84	186	0.021±0.012	0.08±0.02	0.007±0.002
Sukhumvit 103	12 Mar 84	186	0.016±0.010	0.11±0.03	0.011±0.002
	30 Jul 84	186	0.013±0.014	0.18±0.02	0.014±0.004
	17 Sep 84	186	0.021±0.015	0.07±0.02	0.015±0.002
	10 Jun 85	186	0.025±0.019	0.11±0.02	0.019±0.003
Klong Tucy Flat	26 Dec 83	243	0.026±0.014	0.27±0.03	0.032±0.002
Artnarong Rd.	30 Jul 84	243	0.004±0.012	0.024±0.03	0.002±0.004
	12 Mar 85	243	0.023±0.019	0.24±0.03	0.018±0.002
Anamai On Nuch	16 Jan 84	201	0.030±0.010	0.16±0.02	0.005±0.001
Sukhumvit 77	2 Apr 84	201	0.012±0.010	0.07±0.03	-
Rung Rueng School	12 Mar 84	190	0.012±0.010	0.12±0.03	0.012±0.002
Sanphavoot Rd.					

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
Soi Cha-Lieng 1 Sukhumvit Rd.	16 Jan 84	210	0.022±0.012	0.09±0.02	0.004±0.001
Suannanthawan School	26 Dec 83	158	0.037±0.015	0.29±0.03	0.045±0.002
Sukhumvit 54	2 Apr 84	158	0.032±0.012	0.15±0.03	-
	30 Jul 84	158	0.014±0.014	0.28±0.01	0.019±0.004
	17 Sep 84	158	0.004±0.012	0.21±0.03	0.001±0.002
Sukhumvit 23	16 Jan 84	213	0.033±0.014	0.13±0.02	0.086±0.006
Sukhumvit 42	26 Dec 83	204	0.051±0.017	0.39±0.03	0.007±0.003
Sukhumvit 64/1	12 Mar 84	203	0.029±0.012	0.12±0.03	0.014±0.002
	30 Jul 84	203	0.014±0.014	0.23±0.03	0.029±0.004
	17 Sep 84	203	0.015±0.014	0.07±0.02	0.012±0.002
Sukhumvit 101	16 Jan 84	225	0.106±0.011	0.30±0.03	0.046±0.004
	2 Apr 84	225	0.038±0.014	0.09±0.02	-
	30 Jul 84	225	0.102±0.024	0.36±0.03	0.010±0.002
	17 Sep 84	225	0.023±0.015	0.21±0.03	0.016±0.003
Sukhumvit 101/1	16 Jan 84	210	0.028±0.014	0.10±0.02	0.012±0.002
	30 Jul 84	210	0.032±0.016	0.18±0.02	0.023±0.004
	17 Sep 84	210	0.012±0.013	0.08±0.02	0.013±0.002
Sukhumvit 103	14 Jan 84	210	0.062±0.029	0.08±0.02	0.013±0.002
	10 Jan 85	180	0.032±0.020	0.12±0.02	0.010±0.002
Sukhumvit 107	12 Mar 84	190	0.002±0.006	0.08±0.06	0.046±0.004
W.Bang Na Nai Sukhumvit Rd.	12 Mar 84	190	0.024±0.012	0.15±0.03	0.005±0.002

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
W.Yao					
Sukhumvit 77	16 Jan 84	165	0.026±0.014	0.09±0.02	0.007±0.002
W.Mahabutr	16 Jan 84	157	0.313±0.036	0.89±0.04	0.187±0.006
Sukhumvit Rd.					
OTHER PROVINCES					
NONTHABURI					
Kwan Market	13 Feb 84	219	0.042±0.028	0.27±0.06	0.053±0.006
Sanambinnam Rd.					
Water Supply	30 Jan 84	250	0.013±0.022	0.31±0.04	0.015±0.002
Sannambinnum Rd.	28 May 84	250	0.026±0.010	0.20±0.02	0.011±0.002
Sanambinnum Rd.	13 Feb 84	232	0.048±0.028	0.21±0.06	0.030±0.004
Soi Thep Panom	30 Jan 84	210	0.041±0.030	0.23±0.05	0.044±0.004
Tiwanon Rd,	28 May 84	210	0.057±0.014	0.29±0.04	0.037±0.004
W.Ban Prek Nue	13 Feb 84	191	0.030±0.024	0.27±0.06	0.066±0.006
Rae Wa-Di Rd.					
W.Bang Prek Tai	13 Feb 84	197	0.039±0.028	0.35±0.07	0.052±0.006
Rae WA-Di Rd.					
W.Phlub-Phla	13 Feb 84	201	0.030±0.024	0.25±0.06	0.087±0.006
PiboosongKhlam Rd.					

Table 3.1 (Continued)

LOCATION	DATE.	Dep.	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
SAMUTPRAKARN					
Kirk College	12 Mar 84	142	0.036±0.012	0.22±0.03	0.050±0.004
	14 Jan 85	142	0.006±0.018	0.20±0.02	0.017±0.002
W.Dan Samrong Sukhumvit Rd.	12 Mar 84	187	0.011±0.012	0.62±0.07	0.020±0.002
W.Nai-Songviharn	12 Mar 84	128	0.025±0.012	0.19±0.03	0.012±0.020

Note : W. = Wat (Temple)

Table 3.2 Average of Gross Alpha Activities, Gross Beta Activities and Radium-226 at different provinces in Bangkok.
(Unit in Becquerel per liter)

LOCATION	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
Bangkapi	0.016±0.002	0.149±0.005	0.012±0.0004
Bangkhen	0.019±0.003	0.133±0.005	0.014±0.0004
Bangkok-Noi	0.047±0.003	0.277±0.007	0.017±0.0006
Dusit	0.053±0.004	0.256±0.008	0.017±0.0006
Huay-Kuang	0.010±0.002	0.133±0.006	0.013±0.0004
Klong Tuey	0.017±0.013	0.180±0.020	0.029±0.0022
Phayathai	0.018±0.008	0.087±0.011	0.011±0.0010
Phrakhanong	0.023±0.002	0.169±0.004	0.014±0.0004
Nonthaburi	0.035±0.006	0.220±0.014	0.026±0.0009
Samutprakarn	0.022±0.006	0.220±0.014	0.022±0.0010
All Location	0.022±0.001	0.166±0.002	0.014±0.0002

Table 3.3 **Results of Gross Alpha Activities, Gross Beta Activities and Radium-226 in Three Aquifers and Proposed Baseline Level.** (Unit in Becqueral per Liter)

LOCATION	ALPHA ACT.	BETA ACT.	RADIUM-226
Phra pradaeng (100-150 meters)	0.023±0.004	0.170±0.009	0.012±0.0012
Nakhon Luang (151-200 meters)	0.024±0.002	0.196±0.003	0.016±0.0003
Nonthaburi (201-250 meters)	0.024±0.001	0.156±0.003	0.014±0.0002
Proposed Baseline Level	0.024±0.001	0.176±0.002	0.015±0.0002

Table 3.4 **Quality Control Performances**

Analysis	Sample Received	True value	This lab value	Unit
Gross Alpha	Oct 1984	5±5	6±1	pCi/l
	Mar 1985	6±5	5±1	pCi/l
	Oct 1985	8±5	9±1	pCi/l
	Feb 1986	3±5	4±1	pCi/l
Gross Beta	Mar 1985	15±5	14±1	pCi/l
	Jan 1985	11±5	10±3	pCi/l
	Aug 1985	8±5	7±1	pCi/l
	Sep 1985	8±5	9±1	pCi/l
	Feb 1986	7±5	6±0	pCi/l
Ra-226	Dec 1984	8.8±1.3	7.9±0.3	pCi/l
	Oct 1985	7.1±1.1	8.2±0	pCi/l
	Apr 1986	2.9±0.4	2.4±0.3	pCi/l

Table 3.5 Alpha and Beta Self Absorption factor vs Sample Thickness

Sample Thickness (mg/cm^2)	Alpha Absorption Factor	Beta Absorption Factor
0	1.00	1.0
1	.67	.99
2	.62	.98
3	.58	.94
4	.35	.92
5	.34	.90
6	.33	.88
7	.31	.86
8	.24	.84
10	.22	.81

เอกสารอ้างอิง

1. กรมทรัพยากรธรณี (2525), น้ำบาดาลในกรุงเทพฯ
2. National Council on Radiation Protection and Measurements, (1977) Environmental Measurement Radioactivity (1976) NCRP Report No.50
3. Hess, C.T. et.al.(1985). The Occurrence of Radioactivity in Public Water Supplies in the United States. Health Physics. 48(5),pp.553-586
4. National Interim Primary Drinking Water Regulations, EPA-570/9-76-003
5. National Safety Council and W.D. Rove (1977). An Anatomy risk John Wiley & Sons.
6. ฟูเกียรติ สินาคม และคณะ (2525) รายงานความก้าวหน้าของโครงการการวิจัย กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา ปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำจืดจากแหล่งน้ำต่างๆ ของประเทศ (พปส-2-1)
7. Hendee, William R, Radioactive Isotope in Biological Research ISBN-0-741-37043-6

****

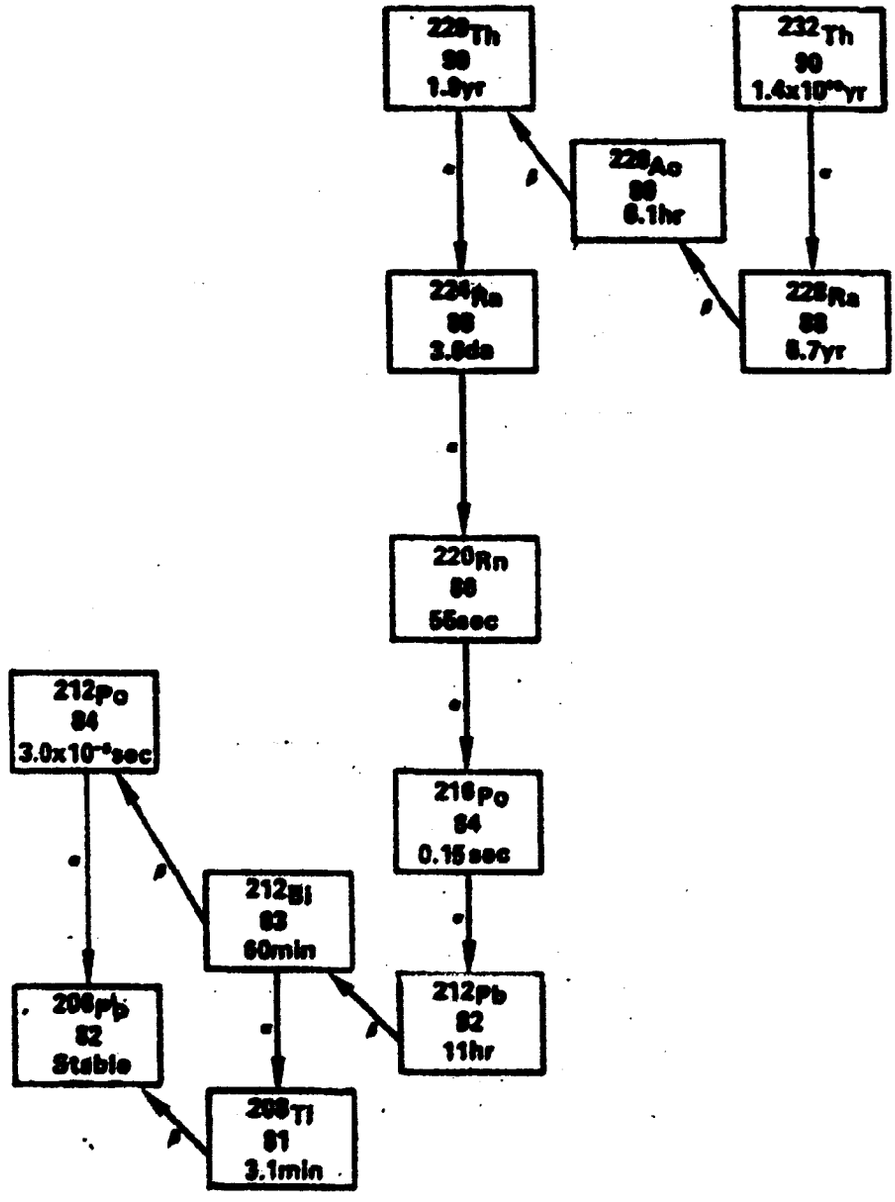

Fig 1.1 The Natural Radioactivity of the Thorium

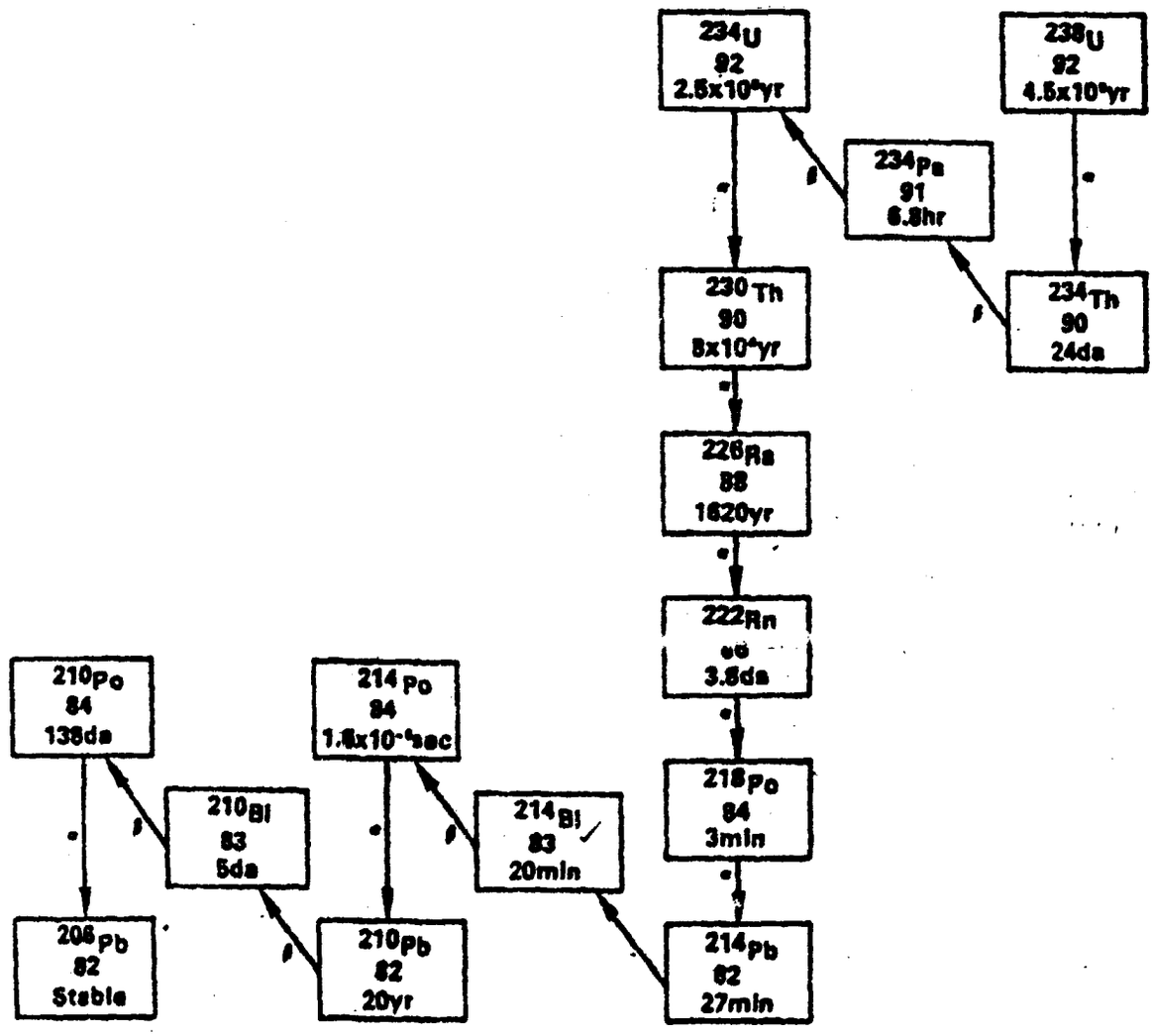

Fig 1.2 The Natural Radioactivity of the Uranium Series

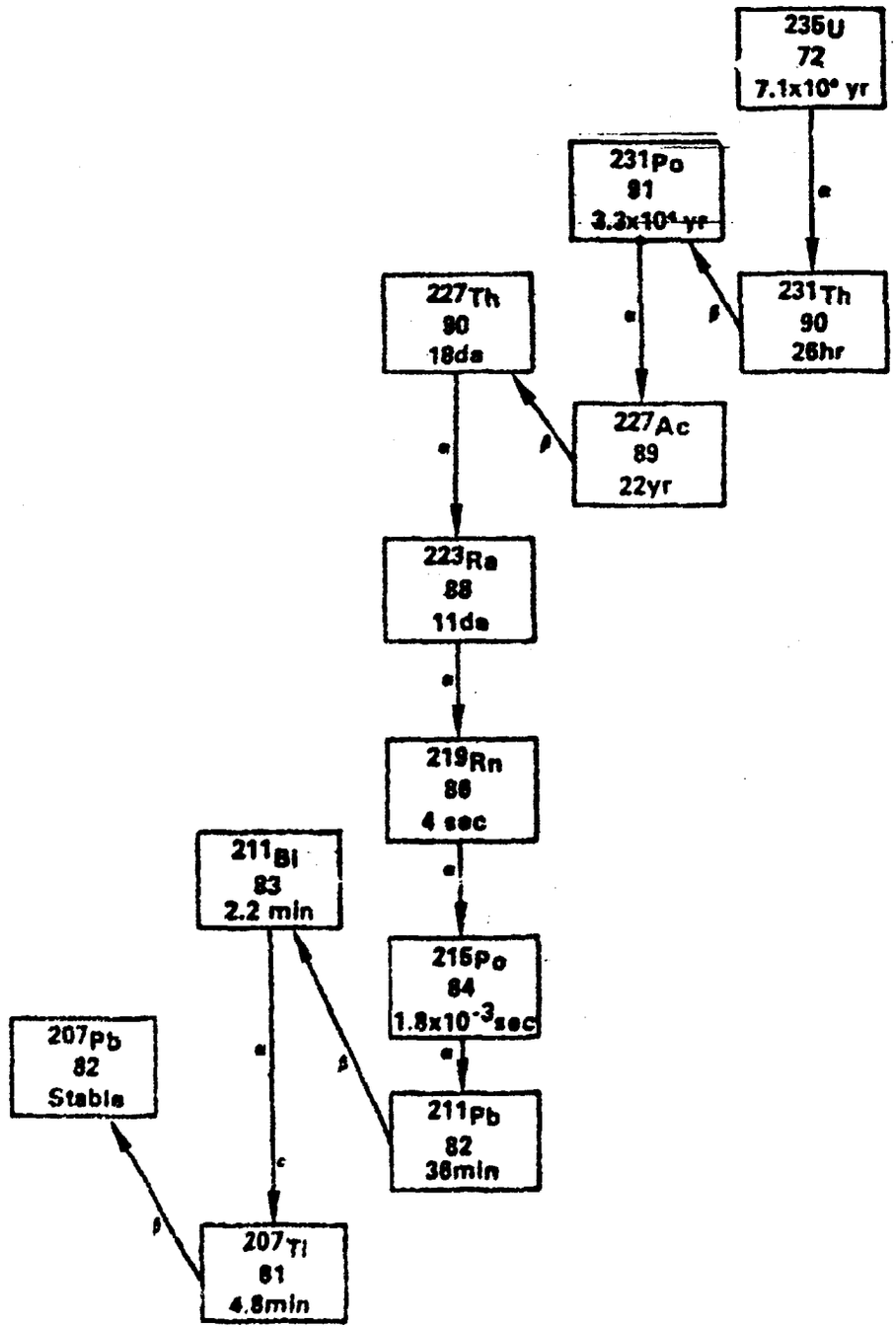

Fig 1.3 The Natural Radioactivity of the Actinium Series