TN9600037

การวิเคราะห์ปริมาณเรดอน-222 ในน้ำด้วยเครื่องวัดรังสีแบบเรืองแสงระดับต่ำมาก

ดุษฎี ทันตวิวัฒนานนท์ สมบุญ จิรชาญชัย พิสิฏฐ์ สุนทราภัย พีระศักดิ์ สุนทรนนท์ และพูลสุข พงษ์พัฒน์
กองสุขภาพ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โทรศัพท์ 562-0089 โทรสาร 561-3013

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณเรดอนในน้ำด้วยเครื่องวัดรังสีแบบเรืองแสง 1220 Quantulus โดยการวัดแยกรังสีแอลฟาและเบตาด้วย pulse-shape analyser ร่วมกับ integral counting method เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก แม่นยำและรวดเร็ว เหมาะในการสำรวจภาคสนามและปริมาณตัวอย่างจำนวนมาก สามารถวิเคราะห์ปริมาณเรดอนได้ต่ำมากๆถึง 0.011 Bq liter^{-1} โดยการสกัดเรดอนจากน้ำด้วยโทลูอีน ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเรดอนในน้ำบาดาล น้ำประปา น้ำผิวดินและน้ำในเขื่อน พบว่าปริมาณเรดอนในน้ำบาดาลส่วนมากอยู่ในช่วง 3 ถึง 11 Bq liter^{-1} น้ำผิวดินและน้ำประปามีปริมาณเรดอนต่ำมากๆ สำหรับน้ำในเขื่อนมีปริมาณเรดอนสูงถึง 65 Bq liter^{-1}

Determination of Rn-222 in Water Using Ultra-Low Level Liquid Scintillation Counter

Dusadee Thuntawewadthananon, Sombuun Jerachanchai, Pisit Suntarapai, Pheerasak Soonthornnondha and Poonsuk Pongpat
Health Physics Division, Office of Atomic Energy for Peace (OAEP) Tel. 562-0089 Fax. 561-3013

ABSTRACT

The technical advantages of the 1220 Quantulus liquid scintillation spectrometer allowed us to measure radon-222 in water by using alpha/beta pulse-shape analyser(PSA) and the integral counting method are easy, convenient and rapid to analyse precisely. It is suitable for the field work and large samples size. The lower detection level of radon is 0.011 Bq liter^{-1}. Radon is extracted from water in a toluene-base liquid scintillator. The radon analyses were done with ground water, tap water, surface water and reservoir water. Most of radon content in ground water were found to be in the range of 3 to 11 Bq liter^{-1}. Very low radon activities found in surface water and tap water. The high level of radon activities found in reservoir water, up to 65 Bq liter^{-1}.

1. บทนำ

เรดอน-222 เป็นกาซที่มีในธรรมชาติ เกิดจากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม ดังแสดงในรูปที่ 1. [1] จะพบแก๊สเรดอนทั่วไปในดิน หิน น้ำ อากาศรอบๆตัวเรา ภายในอาคารบ้านเรือน ที่พักอาศัย น้ำใช้ภายในบ้านเป็นต้น เรดอนเป็นกาซเฉื่อยที่มีน้ำหนักมากที่สุด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เรดอนสามารถละลายได้ในน้ำ ไขมันและของเหลวในร่างกาย(body fluid) [2] เรดอนสลายตัวด้วยครึ่งชีวิต 3.8 วัน ให้รังสีแอลฟาพลังงาน 5.48 MeV รังสีแกมมาพลังงาน 0.51 MeV และลูกหลานที่ได้จากการสลายตัวของเรดอนคือ พอโลเนียม (Po-218, Po-214) ตะกั่ว (Pb-214) และบิทมัส (Bi-214) เรดอนมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายด้วยระบบหายใจและระบบทางเดินอาหาร จะเป็นอันตรายต่อปอดและอวัยวะต่างๆ ลูกหลานของเรดอนเมื่อสลายตัวให้รังสีแอลฟาซึ่งมีผลไปทำลายเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกาย เป็นเหตุก่อให้เกิดเซลล์มะเร็งขึ้น [1] ดังนั้นเรดอนจึงเป็นกาซที่มีความสำคัญในการก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์เป็นอันมาก

ปัจจุบันในหลายประเทศได้ทำการสำรวจปริมาณเรดอน ในบ้านพักอาศัย ในน้ำใช้ภายในบ้าน เช่น ออสเตรีย สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ สวีเดน อังกฤษ เป็นต้น ผลจากการสำรวจพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณเรดอนภายในที่พักอาศัยมีค่าระหว่าง 20 - 50 Bq/m^3 [3] ในช่วงระยะเวลาที่ติดตามข้อมูลมานานกว่า 70 ปี ได้มีการประเมินผลพบว่ามีผู้ตายด้วยมะเร็งปอดที่มีสาเหตุจากการหายใจเอาแก๊สเรดอนที่ถูกปลดปล่อยออกจากระบบการประปาของสหรัฐอเมริกามีจำนวน 2,000 - 40,000 ราย [4] จากการสำรวจปริมาณเรดอนในน้ำตามแหล่งต่างๆนั้น ข้อมูลที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทางเช่น การควบคุมป้องกันอันตรายจากรังสีและการประเมินผลการได้รับรังสีของประชาชน การพยากรณ์เกี่ยวกับการเกิดแผ่นดินไหว การสำรวจทางธรณีวิทยา [5] การตรวจสอบรอยร้าวของเขื่อน [6] เป็นต้น การวิเคราะห์ปริมาณเรดอนในน้ำมีวิธีการหลากหลาย แต่วิธีที่จะกล่าวถึงนี้เป็นการสกัดเรดอนด้วยสารทำละลายอินทรีย์ [7,8,9,10,11,12] และเป็นวิธีที่ ง่าย สะดวกรวดเร็ว เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจในภาคสนาม และจำนวนตัวอย่างมากๆได้ดี ถึงแม้ปริมาณเรดอนต่ำๆก็สามารถวิเคราะห์ได้ โดยอาศัยคุณสมบัติของเรดอนที่ละลายได้ดีใน โทลูอีน (Toluene) หรือสารทำละลายอินทรีย์อื่นๆ และมีประสิทธิภาพในการนับวัดรังสีแอลฟาสูงมากถือเป็น 100 เปอร์เซ็น [7,8,9,12,13]

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุอุปกรณ์

2.1.1 Toluene มีความบริสุทธิ์เป็น scintillation grade

2.1.2 PPO 2,5- Diphenyloxazole มีความบริสุทธิ์เป็น scintillation grade

2.1.3 POPOP 1,4-bis-2-(5-Phenyloxazolyl)-Benzene มีความบริสุทธิ์เป็น scintillation grade

2.1.4 Glass vial ขนาด 20 มล. เป็นขวดแก้วชนิดที่มีโปตัสเซียมต่ำของบริษัท Packard ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.5 Separating funnel ขนาด 1 ลิตร

2.1.6 ขวดสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 1 ลิตร

2.1.7 เครื่องชั่ง

2.1.8 Pipett ขนาด 25 มล.

2.1.9 เทอร์โมมิเตอร์

2.1.10 ชุดอุปกรณ์กาลักน้ำ (Siphon)

2.1.11 เครื่องวัดรังสีแบบเรืองแสง (Liquid Scintillation Counter) รุ่น 1220 Quantulus Liquid Scintillation Counter ของบริษัท LKB Wallac Oy ประเทศฟินแลนด์

2.2 วิธีการ

2.2.1 การเตรียมสารสกัด Liquid Scintillator (LS)

ชั่ง PPO 4 กรัม และ POPOP 0.2 กรัม ละลายในโทลูอีน (Toluene) 1 ลิตร สารละลายที่ได้ คือ Liquid Scintillator หรือเรียกสั้นๆว่า สารละลาย LS เก็บไว้ในขวดทึบแสง

2.2.2 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวิเคราะห์ ต้องเก็บโดยกรรมวิธีที่จะสูญเสียกาซเรดอนที่ละลายอยู่ในน้ำน้อยที่สุด จะต้องบรรจุน้ำใส่ขวดให้เต็มโดยไม่ให้มีฟองอากาศและปิดฝาให้แน่น ถ้าเป็นน้ำบาดาลหรือน้ำประปาต้องเปิดน้ำทิ้งก่อนเก็บ จดบันทึกวันเวลาและอุณหภูมิขณะที่เก็บตัวอย่าง ในกรณีที่ตัวอย่างไม่ได้ทำการวิเคราะห์ทันที ควรเก็บตัวอย่างไว้ในตู้ที่มีอุณหภูมิคงที่

2.2.3 การสกัดเรดอนจากน้ำ

ดวงสารละลาย LS ด้วย pipett 25 มล. ใส่ใน separating funnel ชั่งน้ำหนัก LS จดบันทึกไว้ ชั่งตัวอย่างน้ำ 500 กรัม ใส่ใน separating funnel โดยวิธีการกลักน้ำซึ่งเป็นการรบกวนน้ำที่จะเกิดการสูญเสียเรดอนที่ละลายอยู่ในน้ำน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) จดบันทึกน้ำหนักน้ำไว้ ปิด separating funnel ด้วย stopcock แล้วเขย่าประมาณ 1 นาที เพื่อให้เรดอนอยู่ในสภาวะสมดุลระหว่าง LS น้ำ และ อากาศ [7,8,10,11,12] ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นระหว่างน้ำกับ LS ถ่ายเทชั้น LS ใส่ในขวด Glass vial โดยวิธีการแทนที่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 (b) ชั่งน้ำหนัก LS ที่อยู่ในขวด Glass vial จดบันทึกน้ำหนักไว้ปิดฝาขวดให้แน่นสนิท บันทึกเวลา นำขวด LS vial ไปตั้งไว้ในเครื่องวัดรังสีแบบเรืองแสง LSC **1220 Quantulus** 4 ชั่วโมง เพื่อให้เรดอนอยู่ใน equilibuim กับลูกหลานของเรดอน จึงเริ่มทำการนับรังสี ขั้นตอนการสกัดเรดอนได้แสดงไว้ในรูปที่ 3

2.2.4 การจัดเตรียม LSC **1220 Quantulus**

1220 Quantulus LSC เป็นเครื่องวัดรังสีแบบเรืองแสงชนิดต่ำมากๆ (Ultra Low Level) ซึ่งสามารถวัดแยกรังสีแอลฟาและเบตาได้โดยใช้เทคนิค Pulse Shape Analyser มี Multichannel Analyser (MCA) เป็นส่วนประกอบในการรับและแปลงสัญญาณและแสดงผลในรูปแบบ Spectrum ควบคุมการทำงานทั้งระบบด้วยโปรแกมคอมพิวเตอร์ มีระบบการลด background ให้ต่ำมาก ดังแสดงในรูปที่ 4 (a), (b), (c) **1220 Quantulus** มี program การวัดอยู่ 3 program modes ดังนี้

program mode 1 - CPM / DPM Program mode

program mode 2 - Spectrum Plot Program mode

program mode 6 - Quasi Simultaneous (QS) Program mode

QS program mode เป็นโปรแกมหลักในการวัดรังสีของเครื่อง **1220 Quantulus** ที่สามารถเลือกการตั้งค่าต่างๆตามที่ต้องการได้ ในการวัดรังสีเรดอนนี้วัดใน QS program mode โดยตั้งค่า PSA level เป็น 90 เวลาในการนับวัดเป็น 50 นาที การตั้งค่าอื่นๆในการนับวัดเช่น ช่วงของหน้าต่าง การบันทึก spectrum การตั้งค่า MCA การพิมพ์ผลดูรายละเอียดในภาคผนวก 1.

3. ผลการศึกษาวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ผลการนับวัดรังสี

การวิเคราะห์ผลของการนับวัดรังสีโดยใช้ integral counting method หมายถึงการคำนวณอัตราการนับวัดรังสีสุทธิ (net count rate) จากอัตราการนับวัดรังสีสุทธิของความกว้างหน้าต่างเป็น 3 ช่วงดังนี้ ช่วงหน้าต่าง จาก 20 - 900 ช่อง 40 - 900 ช่อง และ 60 - 900 ช่อง การคำนวณอัตราการนับวัดรังสีสุทธิได้ ดังสมการ

$$\mathbf{Net} = (8 N_A + 2 N_B - 4N_C) / 6 \quad \text{.....(1)}$$

Net = net count rate CPM

N_A = net count rate in window A (20 - 900) CPM

N_B = net count rate in window B (40 - 900) CPM

N_C = net count rate in window B (40 - 900) CPM

ผลการนับวัดรังสีที่บันทึกไว้ในแผ่นบันทึกข้อมูลสามารถนำมาวิเคราะห์การนับวัดรังสีในรูปแบบของ sprectrum ได้ดังแสดงในรูปที่ 5, 6 ได้คำนวณปริมาณความเข้มข้นของเรดอนในน้ำโดยใช้ PSA ตามสมการในภาคผนวก 2 ได้ค่าปริมาณความเข้มข้นของเรดอนในน้ำเป็น Bq / l ได้แสดงในตารางที่ 1, 2

3.2 การหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดรังสี

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดรังสี (Low Limit of Detection : LLD) ได้จากการนับวัด background count rate ของ LS ใน Glass vial ในความเชื่อมั่น 95 % คำนวณได้จากสมการ

$$LLD = \{4.66\ R/(t_B+t_S)]^{1/2}\}*\{1000/60*f*Er*De*Vw\} \quad Bq/l$$

R = background count rate (CPM)

t_B = background measuring time (min)

t_S = sample measuring time (min)

f = fractional counting efficiency

Er = extraction rate

De = decay correct

Vw = water volume (ml)

ในการนับวัดรังสีด้วยเครื่อง 1220 Quantulus โดยใช้เทคนิค PSA ในขวดแก้วได้ค่า background count rate เป็น 0.243 cpm เวลาในการนับวัด 50 นาที ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ 500 มิลลิลิตร (อุณหภูมิของน้ำ 30 องศาเซลเซียส ปริมาตรอากาศ 475 มิลลิลิตร และปริมาตรของ LS ใน vial 20 มิลลิลิตร) ค่า LLD คำนวณได้ตามสมการ เป็น 0.011 Bq liter^{-1}

4. บทวิจารณ์และสรุปผล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเรดอนในน้ำจาก สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (OAEP) ศูนย์ฉายรังสีอาหารและผลิตผลทางการเกษตร (TIC) ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก (REC) กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี น้ำในเขื่อนลำปลายมาศและเขื่อนกระเสียว ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 นั้นเป็นการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค PSA และ Integral Counting Method การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเรดอนในน้ำมีหลายวิธีการ แต่วิธีการสกัดเรดอนด้วยโทลูอีนเป็นวิธีการที่สะดวก แม่นยำ รวดเร็ว เหมาะสำหรับการสำรวจในภาคสนามและปริมาณตัวอย่างมากๆ สามารถวิเคราะห์ปริมาณเรดอนต่ำมากๆได้ถึง 0.011 Bq liter^{-1} ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเรดอนในน้ำบาดาล น้ำประปา น้ำผิวดินในระดับความลึกไม่เกิน 0.50 เมตร น้ำในเขื่อน จากผลในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นเรดอนในน้ำประปา น้ำผิวดินมีค่าต่ำมากๆ นั่นคือเรดอนถูกรบกวนและมีสภาพเป็นกาซ ปริมาณความเข้มข้นเรดอนในน้ำบาดาลมีค่าค่อนข้างจะเปลี่ยนแปลงมาก พบว่าปริมาณเรดอนอยู่ระหว่าง 3 Bq liter^{-1} ถึง 11 Bq liter^{-1} มี 19 ตัวอย่างในจำนวน 29 ตัวอย่าง ส่วนอีก 10 ตัวอย่างมีค่าต่ำกว่า 3 Bq liter^{-1} ถึง ค่า LLD ปริมาณเรดอนในน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลงตามแหล่งน้ำที่ไหลผ่าน ซึ่งจากเหตุผลนี้สามารถนำไปใช้ในงานอุทกวิทยาในการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน เป็นต้น ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 เป็นการสำรวจปริมาณเรดอนในน้ำของเขื่อนลำปลายมาศและเขื่อนกระเสียว จังหวัดนครราชสีมา ตัวอย่างน้ำที่เก็บในระดับผิวน้ำมีปริมาณเรดอนต่ำ ตัวอย่างน้ำที่เก็บในระดับที่ลึกหรือใกล้พื้นดินมีปริมาณเรดอนสูงถึงค่า 65 Bq liter^{-1}

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเรดอนในน้ำ แม้จะมีค่าไม่เกินค่าระดับที่จะต้องเข้าไปดำเนินการของปริมาณเรดอนในน้ำ (Action Level) ที่กำหนดโดย The State of Maine ร่วมกับ Environmental Protection Agency (EPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าเท่ากับ 20,000 pCi $liter^{-1}$ (740 Bq $liter^{-1}$)[14,15] ถึงแม้ว่าปริมาณเรดอนในน้ำ จะมีค่าต่ำกว่า Action Level มากๆสามารถนำน้ำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการดำเนินการใดๆ ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพก็ตาม แต่อย่างไรเพื่อความปลอดภัยมากขึ้นหรือลดอัตราความเสี่ยงให้น้อยลง ปริมาณเรดอนในน้ำควรจะกำหนดให้ลดลงเป็น 10,000 pCi $liter^{-1}$ (370 Bq $liter^{-1}$)[14] ในปัจจุบันประเทศไทยได้นำน้ำบาดาลมาใช้ในบ้านพักอาศัย น่าจะมีการสำรวจปริมาณเรดอนในน้ำบาดาลเพื่อประเมินอัตราความเสี่ยงในการก่อเกิดมะเร็งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Dr. Masayasu NOGUCHI และ Mr. Tamaru ABURAI : Japan Atomic Energy Research Institute , Tokyo . ที่ให้คำแนะนำปรึกษาและช่วยเหลือทางวิธีการและเทคนิค

ขอขอบคุณ คุณพัฒน์ธร โทไวยะ และ Dr. Mitsuo SAYAMA กรมชลประทาน นายช่างสมคิด บัวเพ็ง กรมทรัพยากรธรณี และ คุณธรรมนูญ ชอบธรรม สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้ให้การสนับสนุนตัวอย่างทำให้การวิจัยดำเนินไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

1. Kessler, Michael J. 1988 ; "Analysis of Radon in Air and Water." in The 2nd International Seminar for Liquid Scintillation Analysis. (The 1st Low Level Counting Seminar with Liquid Scintillation Analyzer Proceeding). 8-9 Junse, 1988. Tokyo:Packard K.K. pp. 43-67.

2. Schonhofer, F. 1989 ; " Determination of Radon in Water with 1220 Quantulus." Sepember 1989. Turku : Wallac Oy.

3. Dijk, W. V. and Jong, P. de , 1991 ; " Determining the ^{222}Rn Exhalation Rate of Building Materials Using Liquid Scintillation Counting." Health Phys. 61 : 501-509.

4. Zikovsky, L. and Roireave, N. 1990 ; " Determination of Radon in Water by Argon Purging and Alpha Counting with a Proportional Counter. " Appl. Radiat. Isot. Part A (Int. J. Radiat. Appl. Instrum.) 41 : 679-681.

5. Prichard, H. M. and Gesell, T. F. 1977 ; " Rapid Measurements of ^{222} Rn Concentration in Water with A Commercial Liquid Scintillation Counter." Health Phys. 33 : 577-581.

6. Komae, T. 1990 ; " Groundwater Research Methods Using Radioactivity." Farming Japan. 24-2 : 44-51.

7. Noguchi, M. 1964 ; " New Method of Radon Activity Measurement with Liquid Scintillation." Radioisotopes. 13 : 362-367.

8. Murakami, Y. and Horiuchi, K. 1979 ; " Simultaneous Determination Method of Radon - 222 and Radon - 220 by a Toluene Extraction-Liquid Scintillation." J. Radioanal. Chem. 52 : 275-283.

9. Homma, Y. and Murakami, Y. 1977 ; " Study on The Applicability of The Integral Counting Method for The Determination of ^{226} Ra in Various Sample Forms Using a Liquid Scintillation Counter. " J. Radioanal. Chem. 36 : 173-184.

10. Horiuchi, K. and Murakami, Y. 1981 ; " A New Procedure for the Determination of Radium in Water by Extraction of Radon and Application of Integral Counting with a Liquid Scintillation Counter. " Int. J. Appl. Rad. Isot. 32 : 291-294.

11. Horiuchi, K., Ishil, T. and Kobayashi, M. 1993 ; " Liquid Scintillation Counting Measurements of Radon from Seepage Groundwater in Lake Biwa, Japan. " in International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry 1992. 14-18 September, 1992. Vienna : The Austrian Society for Liquid Scintilltion Spectrometry. pp. 383-390.

12. Amano, H. 1990 ; " Measurement of Low Level ^{226} Ra and ^{222} Rn in Water and ^{222}Rn in Air by Liquid Scintillation Counting Techniques - Its Practical Applicability." in The 4th International Seminar for Liquid Scintillation Analysis (The 2nd Low Level Counting Seminar Using Liquid Scintillation Analyzer Proceeding). 5-6 June, 1990. Tokyo : Packard Japan K.K. pp. 185-209

13. Salonen, L. 1993 ; " Measurement of Low Levels of ^{222} Rn in Water with Different Commercial Liquid Scintillation Counting and Pulse-Shape Analysis." in

International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry 1992. 14-18 September, 1992. Vienna : The Austrian Society for Liquid Scintilltion Spectrometry. pp. 361-372.

14. Cross, F.T. , Harley, N.H. and Hofmann, W. 1985 ; " Health Effects and Risks from ^{222}Rn in Drinking Water." Health Phys. 48 : 649-670.

15. Packard Instrument Co. 1988 ; PICO-RAD Radon Analysis Software : Operation Manual. Publication No. 169-4017. Downers Grove, IL : Packard.

Table 1 Radon Concentration in Water

Location		Number of samples	Rn Activity (Bq / l)
OAEP	Ground Water	24	0.185 ± 0.018 - 10.853 ± 0.085
	Storage Tank	12	0.085 ± 0.009 - 5.429 ± 0.073
	Tap Water - 1	21	0.084 ± 0.008 - 0.228 ± 0.016
	Tap Water - 2	7	0.117 ± 0.009 - 0.233 ± 0.018
TIC	Ground Water	1	5.957 ± 0.077
	Storage Tank	1	5.046 ± 0.076
	Surface Water	1	0.202 ± 0.019
REC	Ground Water	1	3.945 ± 0.068
Dept. of Mineral Resources	Ground water		
	PD 17	1	4.196 ± 0.042
	NB 27	1	6.825 ± 0.057
	NL 34	1	6.649 ± 0.055

หมายเหตุ OAEP : Office of Atomic Energy for Peace

TIC : Thai Irradiation Center

REC : Rare Earth Research and Development Center

Table 2 Radon Concentration Surveyed at Lam-Prai-Mat and Kasieo Dam (1992)

Location		Rn Activity (Bq/l)	Location		Rn Activity (Bq/l)
Lam-Prai-Mat Dam	LM-01	11.332 ± 0.087	Kasieo Dam	KS-5	64.798 ± 0.208
	LM-02	28.565 ± 0.138		KS-6	14.407 ± 0.098
	LM-04	25.980 ± 0.131		KS-7	33.002 ± 0.149
	LM-05	37.710 ± 0.158		KS-8	26.590 ± 0.134
	LM-06	0.251 ± 0.014		KS-9	9.267 ± 0.080
Kasieo Dam	KS-1	24.235 ± 0.126		KS-10	14.398 ± 0.099
	KS-2	2.025 ± 0.037		KS-11	55 561 ± 0.196
	KS-3	13.883 ± 0.096		KS-12	0.190 ± 0.011
	KS-4	0.263 ± 0.014		KS-13	0.079 ± 0.007

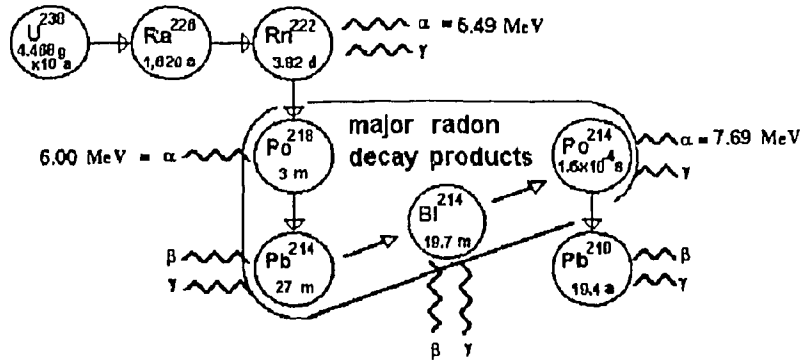


Fig. 1 Uranium - Radium Series

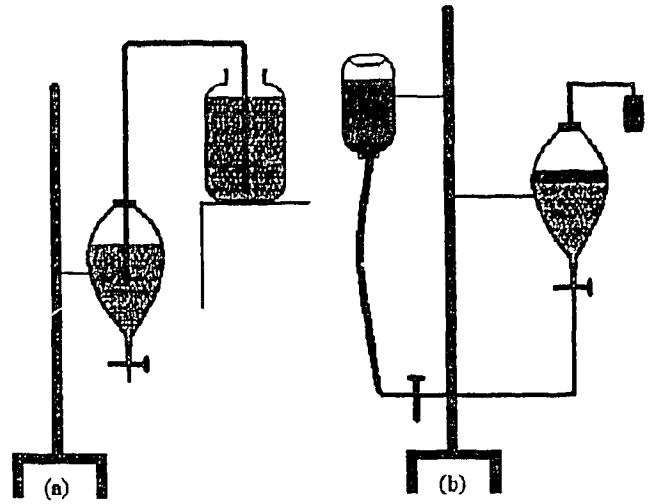


Fig. 2 Transferring devised without loss of Rn.

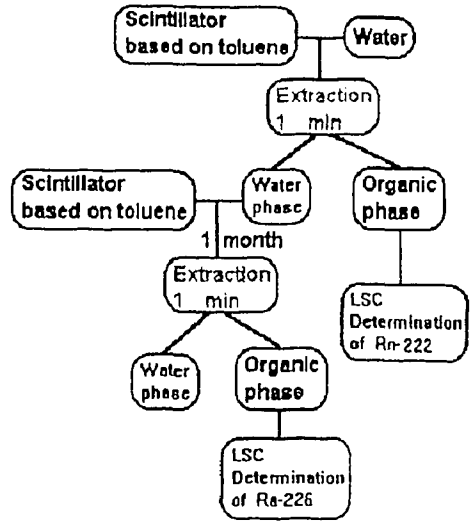
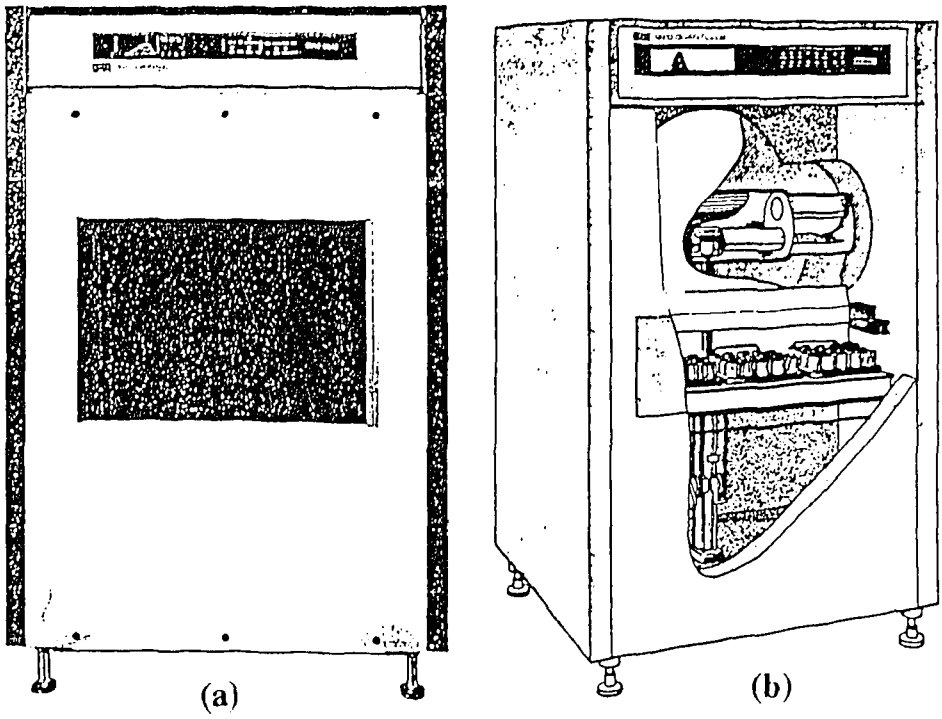
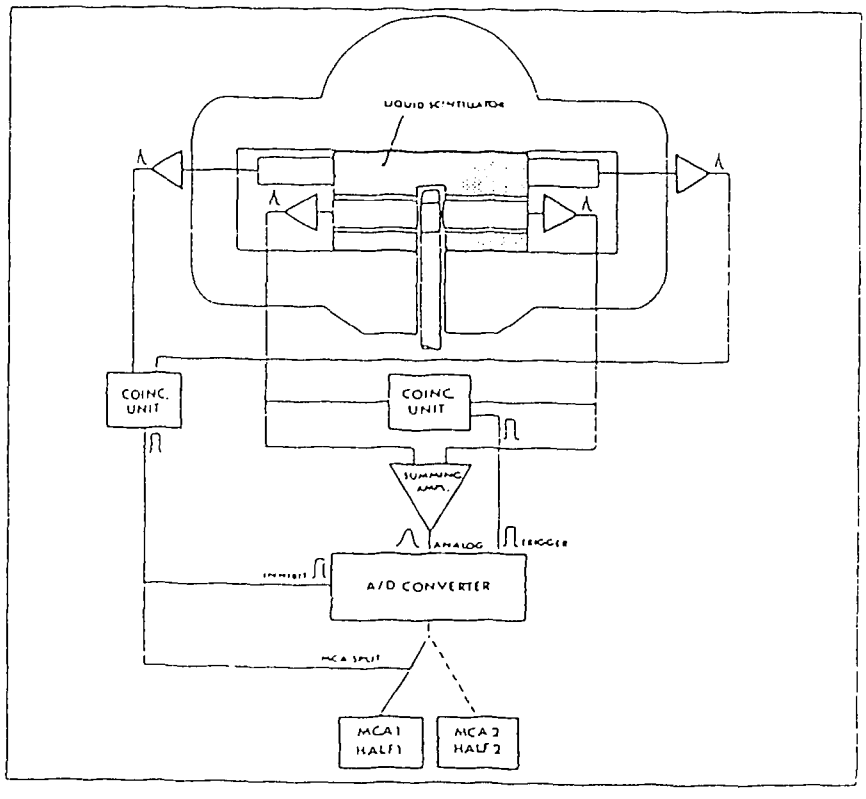


Fig. 3 Analytical Procedure of Rn-222 and Ra-226 in Water



(a) (b)



(c)

Fig. 4 1220 Quantulus - Low Level LSC System

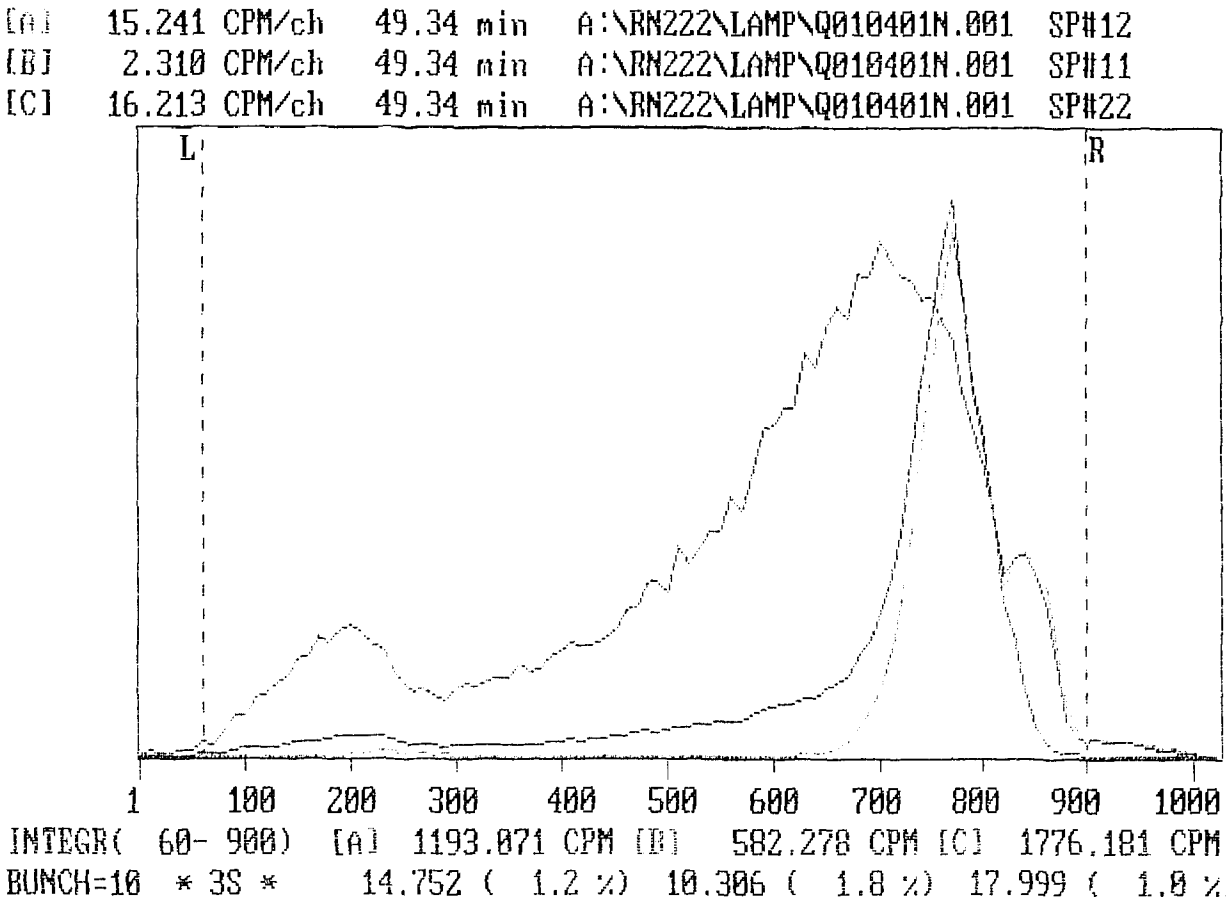


Fig. 5 Spectra of Rn-222 and Progeny in Water by Extraction in Glass Vial , PSA 90.

[A] Alpha-spectrum

[B] Beta-spectrum

[C] Sprectrum without PSA (sum spectrum)

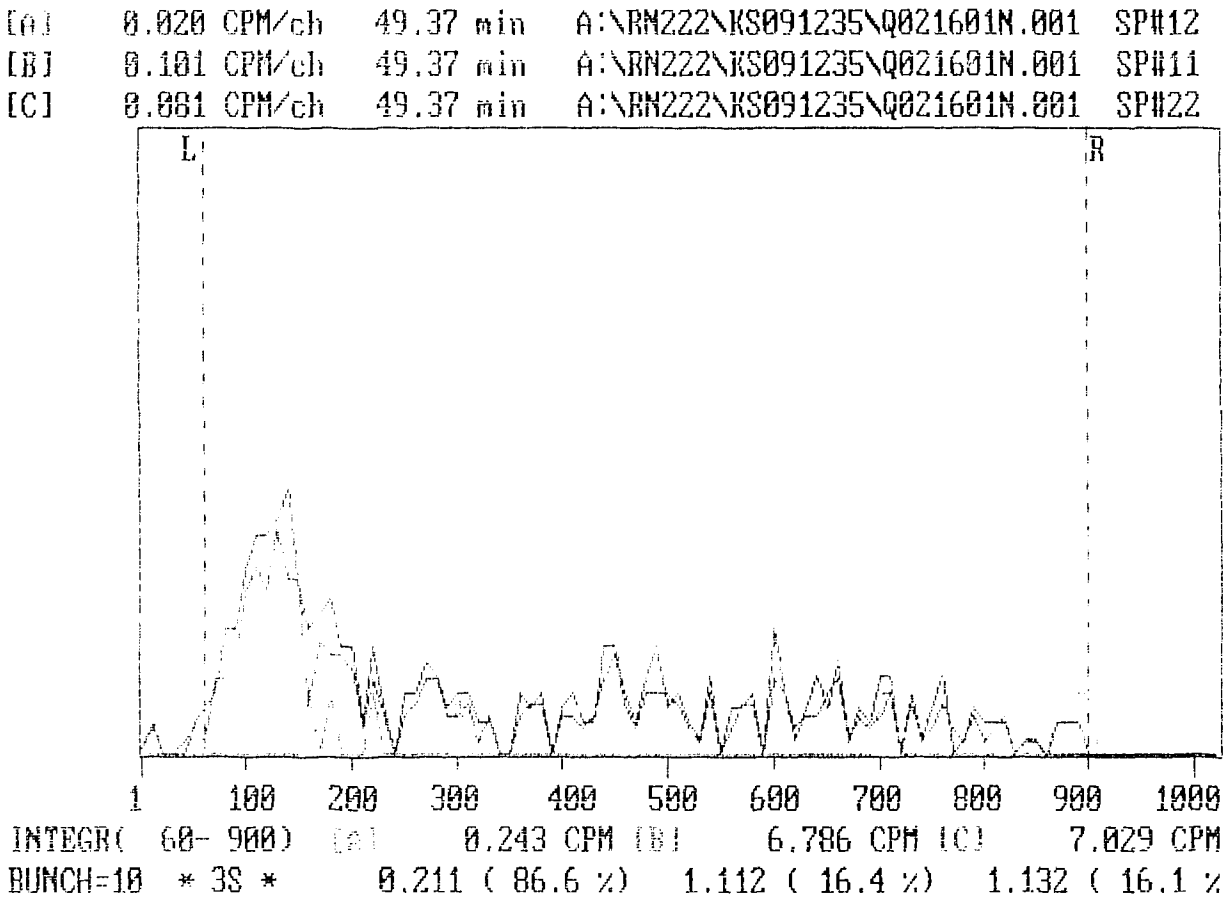


Fig. 6 Background Spectra of Liquid Scintillator in Glass Vial, PSA 90.

[A] Alpha-spectrum

[B] Beta-spectrum

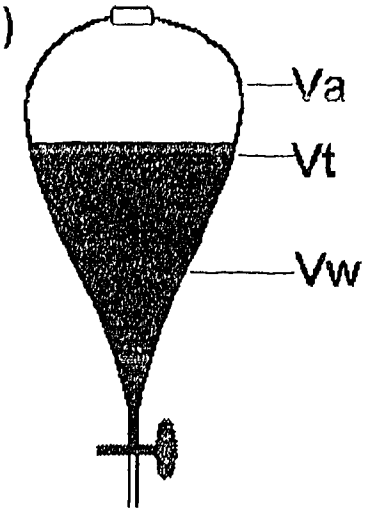
[C] Sprectrum without PSA (sum spectrum)

ภาคผนวก 1

```
                                        WED  16 MAR 1994  11:20
*** DIRECTORY PATH :A:RN222\LAMP ***
    PARAMETER GROUP:   5
    ID: RN222
00A PROGRAM MODE              6 ->
ORDER  POS  ID                    CTIME COUNTS CUCNTS MCW  REP  STD STMS  STIME
   1  1-41  LAMP19MAR94            50:00 NO LIM NO LIM   1    1    N
   2    42  BG                    50:00 NO LIM NO LIM   1    1    N
  NUMBER OF CYCLES          1
  COINCIDENCE BIAS (L/H)    L
MCA INPUT  TRIGG. INHIBIT                       MEMORY SPLIT
 1  LRSUM  L*R    G+EG                         PSA
 2  LRSUM  DCOS   G+EG                         L*R
    PSA LEVEL                  90
WINDOW     CHANNELS     MCA  HALF
  1         20-  900      1     2
  2         40-  900      1     2
  3         60-  900      1     2
  4         20-  900      1     1
  5         40-  900      1     1
  6         60-  900      1     1
  7          1- 1024      2     1
  8          1- 1024      2     2
Selected printout for terminal 1 (A)
          1.    2. 3.
        DATE  TIME  <
  4.  5.  6.          7.        8.        9.      10.     11.     12.    13.14.
 CYC POS REP        CTIME    DTIME1    DTIME2   CUCNTS     SQP    SQP%  STIME  <
              15.       16.       17.       18.       19.       20.     21.22.
               ID      CPM1   COUNTS1    CPM1%      CPM2   COUNTS2   CPM2%  <
              23.       24.       25.       26.       27.       28.     29.30.
                        CPM3   COUNTS3    CPM3%      CPM4   COUNTS4   CPM4%  <
              31.       32.       33.       34.       35.       36.     37.38.
                        CPM5   COUNTS5    CPM5%      CPM6   COUNTS6   CPM6%  <
              39.       40.       41.       42.       43.       44.     45.
                        CPM7   COUNTS7    CPM7%      CPM8   COUNTS8   CPM8%
```

ภาคผนวก 2

Calculation (by weight)



Vw : Water volume
Vt : Toluene volume
Vv : Toluene in vial
Va : Volume of air
T : Tempt. of water
De : Decay correct
Er : Extraction rate
Dw,Dt : The solubility coefficients of Rn In aqueous ,toluene.

$$Dw = \frac{9.12}{17.0 + T}$$

$$Er = \frac{Dt \cdot Vv}{(Dw.Vw + Dt.Vt + Va)}$$

$$Dt = 0.8 + 18.2 \exp(-T/46.5)$$

$$De = \exp\{-0.0075589\ t\ (h.)\}$$

$$C_{Rn} = \frac{\text{Net count} * 1{,}000}{3 * 60 * Er * De * Vw} \quad Bq/l$$

Action level is 20,000 pCi/l (740 Bq/l)
The action - guidelines set by the State of Maine.