บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เรเดียม-226 เป็นเรดิโอไอโซโทปตัวหนึ่งซึ่งพบในธรรมชาติอยู่ในอนุกรมของยูเรเนียม-238 มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) 1600 ปี สลายตัวให้อนุภาคอัลฟาเป็นเรดอน-222 ลักแผนผังการสลายตัวแสดงไว้ในรูปที่ 1 (1)

เรเดียม-226 จัดเป็นไอโซโทปที่สำคัญที่สุดและเกิดขึ้นในธรรมชาติในปริมาณสูงที่สุดคือร้อยละ 100 (1) เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซโทปทั้งหมดของเรเดียม เพราะนอกจากจะมีครึ่งชีวิตยาวมากแล้วยังอยู่ในอนุกรมของยูเรเนียม-238 ซึ่งเป็นไอโซโทปของยูเรเนียมที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็นปริมาณสูงด้วย

เรเดียม-226 พบในสินแร่ยูเรเนียมในปริมาณสูง แร่พิทเชลนด์ (pitchblende) 1 ตัน จะมีเรเดียม-226 ประมาณ 400 มิลลิกรัม นอกจากนั้นเรเดียม-226 ยังปรากฏเป็นธาตุจำนวนน้อย (Trace element) ในสารต่าง ๆ ในธรรมชาติแทบทุกชนิด ดังตัวอย่างที่ยกมาแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณเรเดียม-226 ที่พบในตัวอย่างบางชนิดตามธรรมชาติ

ชนิดของสารตัวอย่าง	หน่วย	ปริมาณเรเดียม-226	เอกสารอ้างอิง
น้ำแมนน้ำ			
Chalk River, Ontario	พิโคกูรีต่อลิตร	< 0.1 - 6.2	(2)

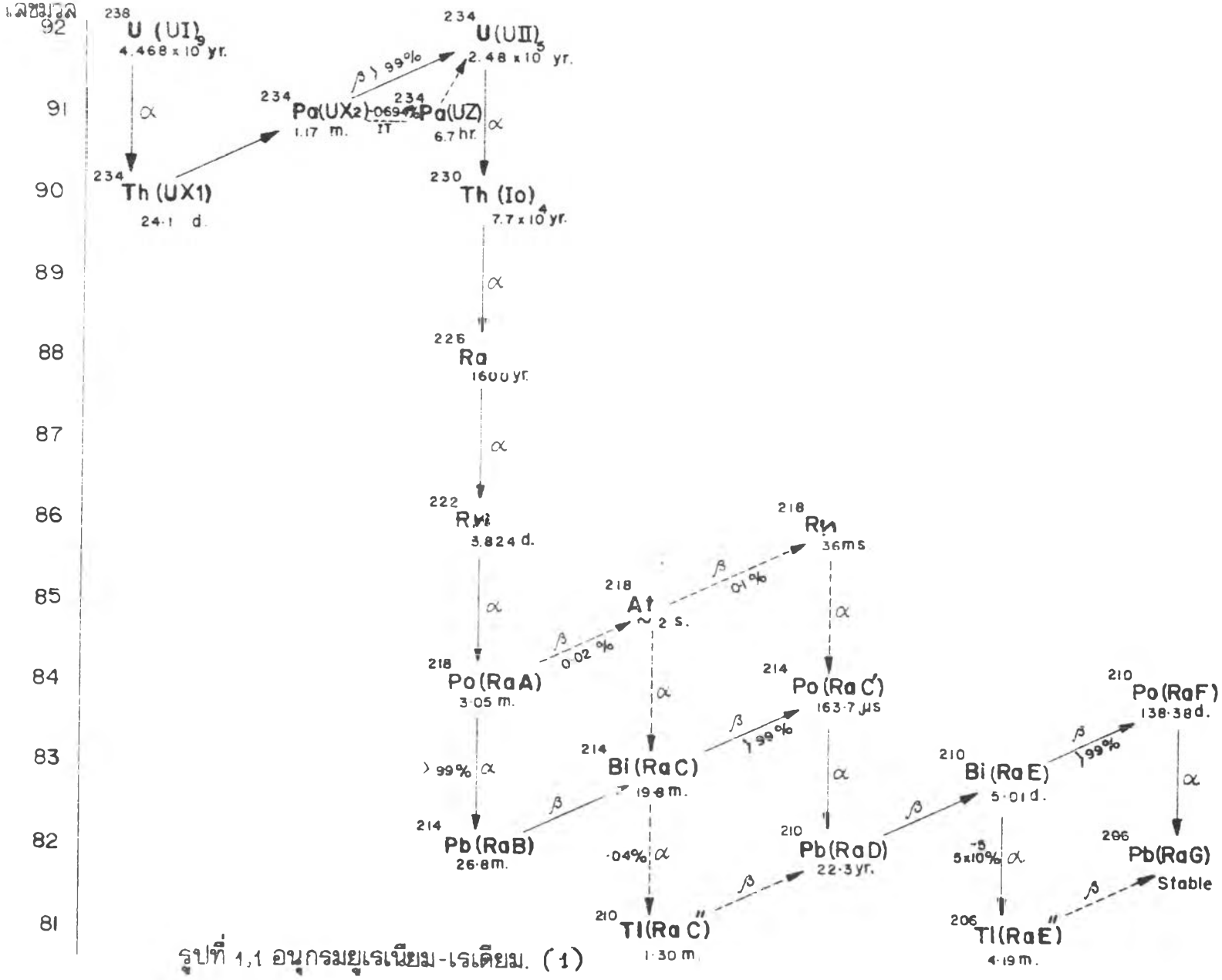
ตารางที่ 1 (ต่อ) ปริมาณเรเดียม-226 ที่พบในตัวอย่างบางชนิดตามธรรมชาติ

ชนิดของสารตัวอย่าง	หน่วย	ปริมาณเรเดียม-226	เอกสารอ้างอิง
Little Miami River	พิโคกูรี/ลิตร	0.08	(3)
Great Miami River	"	0.11	(3)
Mill Creek	"	0.04	(3)
น้ำประปา			
นิวยอร์คซิตี้	"	0.011	(4)
ซานฟรานซิสโก	"	0.015	(4)
น้ำดื่ม			
โตเกียว	"	0.05 - 0.07	(5)
ฮิโรชิมา	"	0.048	(5)
มาตรฐานของ WHO	"	3	(6)
น้ำในมหาสมุทร			
ชั้นบน, มหาสมุทร-แอตแลนติกและแปซิฟิก	"	0.039	(7)
ชั้นล่าง, มหาสมุทร-แอตแลนติก	"	0.156	(7)
มหาสมุทร-แปซิฟิก	"	0.078	(7)

ตารางที่ 1 (ต่อ) ปริมาณเรเดียม-226 ที่พบในตัวอย่างบางชนิดตามธรรมชาติ

ชนิดของสารตัวอย่าง	หน่วย	ปริมาณเรเดียม-226	เอกสารอ้างอิง
<u>แพลงค์ตอน</u>			
Chalk River, Ontario	พิโคคูรีต่อกรัม-น้ำหนักแห้ง	0.1 - 11.1	(2)
<u>ดิน</u>			
อิตาลี	พิโคคูรีต่อกรัม	0.72	(8)
<u>ถ่านหิน</u>			
โปแลนด์	"	0.001 - 1.3	(9)
ยุโรปและเอเชีย	"	0.3	(10)

เรเดียม-226 ถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยอาศัยกัมมันตภาพรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 และ daughter product บางตัว เช่นในทางการแพทย์โดยอาศัยรังสีแกมมาในการยับยั้งการเจริญของเนื้องอก (malignancies) โดยใช้ daughter product บางตัวของเรเดียม-226 คือ บิสมัท-214, ตะกั่ว-214, และแทลเลียม-210 ในทางอุตสาหกรรมเช่นใช้ในงานเรดิโอกราฟฟี (Radiography) เพื่อหาตำหนิในเหล็กหล่อ (Casting) และเพื่อหาความหนาของคะตาลิสต์ เบดส์ (catalyst beds) เป็นต้น ใช้ในการหาแหล่งแร่ยูเรเนียมและน้ำมัน นอกจากนั้นการหาปริมาณของเรดอน-222 ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 ในดิน ยังเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาแหล่งแร่ยูเรเนียมอีกด้วย (11, 12) สำหรับการใช้ประโยชน์โดยอาศัยอนุภาคอัลฟา ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของ



รูปที่ 1,1 อนุกรมยูเรเนียม-เรเดียม. (1)

เรเดียม-226 นั้น มีการใช้เรเดียม-226 เป็นแหล่งกำเนิดของ ionizing radiation ในเครื่องมือกำจัดประจุไฟฟ้าสถิต (static charge eliminators), ใช้ผสมกับ ฟลูออเรสเซนต์ สังกะสีซัลไฟด์ (fluorescent zinc sulfide) เพื่อใช้เป็นสีสะท้อนแสง (luminous paint) ใช้ผสมกับธาตุเบา เช่น เบริลเลียม (beryllium) เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอนจากปฏิกริยานิวเคลียร์ (α , n) เป็นต้น

เรเดียม-226 จัดเป็นไอโซโทปที่มีอันตรายต่อมนุษย์อย่างสูง เมื่อเข้าสู่ภายในร่างกาย เนื่องจากการสลายตัวให้อนุภาคอัลฟาซึ่งมีค่า ionization สูง นอกจากนั้นเรเดียม-226 ยังมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนธาตุแคลเซียม และสามารถเข้าไปแทนที่แคลเซียมในกระดูกได้ (13) และเมื่อไปสะสมอยู่ที่กระดูก อัตราการขับถ่ายจากร่างกายจะช้ามาก (14) อีกอย่างหนึ่งคือ ค่าครึ่งชีวิตของเรเดียม-226 ยาวมาก ดังนั้นตลอดชีวิตของมนุษย์การลดลงของกัมมันตภาพรังสีอันเนื่องมาจากการสลายตัวของเรเดียม-226 จะมีค่าน้อยมาก (15)

เรเดียม-226 สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางปาก ทางจมูก และทางผิวหนัง สำหรับทางปาก จัดว่ามีอันตรายน้อยที่สุด เนื่องจากการดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตเป็นไปได้น้อย และอัตราการขับถ่ายจะเร็วมาก กล่าวคือภายหลังจากที่ได้รับเรเดียม-226 เพียง 5 วัน ร่างกายจะขับถ่ายออกและเหลืออยู่เพียงร้อยละ 1-9 ของปริมาณที่ได้รับทั้งหมด (14, 16) การเข้าสู่ร่างกายของเรเดียม-226 โดยทางจมูกนั้นเกิดจากการหายใจเอาฝุ่นที่มีเรเดียมปะปนอยู่เข้าไป (17) ในกรณีนี้เนื้อเยื่อของปอดจะได้รับอันตรายจากการแผ่รังสีของอนุภาคต่าง ๆ ของเรเดียม-226 บางส่วนของเรเดียมจะไปสะสมอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ สำหรับการเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังนั้นอาจเป็นการฉีดเข้าเส้นโลหิตเพื่อการรักษาโรคบางอย่างในสมัยก่อน (15) การดูดซึมผ่านผิวหนังหรือทางบาดแผล กรณีนี้เรเดียมจะเข้าสู่กระแสโลหิตโดยตรง ดังนั้นจะทำอันตรายต่อร่างกายได้มากที่สุด เรเดียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่กระดูกเป็นส่วนใหญ่ มีเป็นจำนวนน้อยที่สะสมในระบบทางเดินอาหาร กล้ามเนื้อ ผิวหนัง

และไต การขับถ่ายจะออกมาทางอุจจาระและปัสสาวะภายใน 10 วัน หลังจากที่ร่างกายได้รับ โดยขับถ่ายออกทางอุจจาระมากกว่าทางปัสสาวะ (18-20) อย่างไรก็ตามเมื่อเรเดียมเข้าสู่ร่างกาย ในระยะแรกร่างกายจะขับถ่ายออกอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ ลดลงในเวลาต่อมา (18, 20, 21) จากการศึกษาคนไข้ซึ่งมีประวัติได้รับเรเดียมเป็นระยะเวลานาน ๆ จะพบจุดเล็ก ๆ ที่มีเรเดียมในปริมาณสูงกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอในบริเวณ cancellous ของกระดูก (21, 22) ในโลหิตพบว่ามีการสะสมเรเดียม-226 ได้น้อยมากและจะกระจายไปเท่า ๆ กันระหว่างเม็ดเลือดแดงและพลาสมา (14, 23)

จากการทดลองกับสัตว์ เช่นหนู พบว่า ฟันมีการสะสมเรเดียมมากที่สุด รองลงมาคือ ขากรรไกร, กระโหลกศีรษะ, กระดูกสันหลัง และกระดูกเชิงกราน ในจำพวกเนื้อเยื่อไตและม้ามรับเรเดียมได้มากที่สุด กับได้รับช้าที่สุด, ปอด สมอง และตับอ่อนรับได้ในอัตราปานกลาง (14)

Aub และคณะ (18), Looney (21, 24) และ Martland (25, 26) รายงานการศึกษาเรื่องอันตรายของเรเดียมอย่างละเอียด โดยสรุปไว้ว่าอวัยวะที่เรเดียมทำอันตรายสูงสุดได้แก่กระดูก เนื่องจากการแตกตัวให้อนุภากอัลฟา, อนุภากเบตา และรังสีแกมมาจาก daughter product โอกาสของการเกิดมะเร็งที่กระดูกและที่อื่น ๆ จึงเพิ่มมากขึ้น (26) สำหรับอาการของโรคที่แสดงออกสืบเนื่องมาจากการได้รับเรเดียมเป็นระยะเวลานาน ๆ เริ่มด้วย ฟันหลุด เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของฟัน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการลดความแข็งของฟัน ทำให้สีของฟันกลายเป็นสีชมพู (pinkish) (21) หลังจากนั้นอาจมีการทำลายของเซลล์กระดูก (osteomyelitis)

อาการผิดปกติของกระดูกจะเริ่มด้วยการหลวมของข้อต่อ แล้วลุกลามเข้าไปถึงส่วนในของกระดูกซึ่งจะมองเห็นเป็นจุดลาย ๆ ในกระดูก (18) สำหรับคนไข้สูงอายุและมีประวัติได้รับเรเดียมในปริมาณสูงเป็นระยะเวลานาน ๆ จะพบว่ากระดูกส่วนที่รองรับน้ำหนักตัวหรือกระดูกที่โครงทำงานผิดปกติ

Brum (15) พบว่าหญิงสาวจำนวนมากในโรงงานทำหน้าปัดนาฬิกาเป็นโรคเกี่ยวกับกระดูกขากรรไกรซึ่งมีอาการของโรคแตกต่างจากโรคซึ่งเกิดจากการติดเชื้อธรรมดาของกระดูก ซึ่งต่อมาพบว่าสาเหตุเกิดจากสีที่ใช้เขียนหน้าปัดนาฬิกา ซึ่งเป็นสารประกอบซิงค์ซัลไฟด์ (Zinc sulfide) มีเรเดียมเป็นองค์ประกอบ (27)

จากการศึกษาคนไข้ซึ่งมีประวัติได้รับเรเดียม และกับสัตว์ทดลอง พบว่าเรเดียม-226 ทำให้โอกาสที่จะเป็นมะเร็งที่อวัยวะต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเร็งที่กระดูกมีมากขึ้น (18, 28-31) สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซทส์ (Massachusetts Institute of Technology . MIT) ได้ทำการศึกษาทดลองกับหนู (32, 33) พบว่าถ้าหนูได้รับเรเดียม-226 ในปริมาณสูงขึ้นจะมีอายุสั้นลง และถ้าได้รับเรเดียม-226 ในปริมาณที่ต่ำลงมาจะเกิดมะเร็งที่กระดูกเพิ่มขึ้น แต่การเกิดมะเร็งในเม็ดโลหิต (leukemia) จะลดลง นอกจากนั้นยังพบว่า เรเดียม-226 ทำให้การจับตัวของเซลล์ในไขกระดูกลดลง (34) แต่ไม่พบว่าเรเดียมทำลายอวัยวะที่สร้างเม็ดเลือด (blood forming organ) (18)

เรเดียม-226 สามารถทำอันตรายต่อดวงตา (35, 36) Taylor และคณะ (35) พบว่าถ้าดวงตามีการสะสมของเรเดียม-226 ในปริมาณสูงจะทำให้การสร้างเม็ดสีลดลง และยังพบการผิดปกติบางอย่างของต่อมไทรอยด์ ซึ่งอาจเนื่องมาจากมีเรเดียม-226 และ/หรือ ทอเรียม-228 อยู่มากในต่อมไทรอยด์นั้นได้ (37)

ในกรณีที่เรเดียมไม่ได้เข้าสู่ร่างกาย อันตรายที่จะได้รับจากเรเดียมโดยทางตรง (direct effect) ไม่มี แต่การเกิดวันตรายโดยทางอ้อม (indirect effect) ขึ้นได้ต่อร่างกาย เนื่องจากการแผ่รังสีแกมมาของนิวไคลด์ลูกบางตัว

คณะกรรมาธิการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (The International Commission on Radiological Protection) (38) และคณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (The National Committee on Radiation Protection) (39) กำหนดปริมาณสูงสุดของ

เรเดียม-226 ที่ยอมให้มีอยู่ในร่างกายได้โดยไม่เกิดอันตรายเท่ากับ 0.1 ไมโครคูรี และปริมาณสูงสุดในอากาศที่ยอมให้มีได้เท่ากับ 10^{-11} ไมโครคูรี ต่อ ลบ.ซม. กระทรวงสาธารณสุขของสหรัฐอเมริกา (The United States Public Health Service (40) และองค์การอนามัยโลก (World Health Organization , WHO) กำหนดปริมาณเรเดียม-226 ไว้ในมาตรฐานน้ำดื่มว่าไม่ควรมีมากเกิน 3 พิโคคูรีต่อลิตร

เนื่องเรเดียม-226 ปรากฏอยู่ในสารตัวอย่างต่าง ๆ ตามธรรมชาติในปริมาณน้อย ระเบียบวิธีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์จึงต้องมีความไว (sensitivity) และความแม่นยำ (accuracy) สูงพอที่จะตรวจวัดได้ กรรมวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์เรเดียม-226 มีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีทางเรดิโอเคมี (radiochemical technique) และวิธีวิเคราะห์โดยใช้เฉพาะเครื่องมือนับรังสี (instrumental technique) สำหรับวิธีทางเรดิโอเคมีประกอบด้วยการแยกเรเดียม-226 ออกจากเรดิโอไอโซโทปอื่น ๆ ซึ่งให้อนุภาคอัลฟา โดยให้มีความบริสุทธิ์สูง เทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป คือ วิธีตกตะกอนรวม (co-precipitation method) แล้วทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange technique) หรือเทคนิคการสกัด (solvent extraction technique) สำหรับวิธีอื่น ๆ เช่น chromatography (41) และ electrochromatography (42, 43) electrical (44-50) และ electrochemical methods (51, 52) เป็นวิธีที่ไม่แพร่หลายและไม่ค่อยนิยมใช้ในการวิเคราะห์เรเดียม-226

เนื่องจากเรเดียม-226 มีในธรรมชาติเป็นจำนวนน้อย ดังนั้นเทคนิคการตกตะกอนรวมโดยใช้ตัวพา (carrier) จึงเป็นขั้นตอนแรกที่จำเป็นในการแยกเรเดียม-226 ซึ่งส่วนมากนิยมตกตะกอนในรูปของเกลือซัลเฟต เนื่องจากเกลือซัลเฟตของธาตุเกือบทุกธาตุละลายน้ำ ดังนั้นการตกตะกอนเรเดียมด้วยตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) หรือแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) จึงเป็นประโยชน์มากในการแยกเรเดียมออกจากอนุภาคของโลหะตัวอื่น ๆ ที่มีปริมาณค่อนข้างมากในตัวอย่าง อย่างไร

ก็ตามการแยกเรเดียมออกจากสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ ซึ่งเกลือซัลเฟตสามารถละลายน้ำได้เช่นกัน และมีอยู่น้อยในตัวอย่าง จะได้ผลไม่สมบูรณ์ (53) และแบเรียมซัลเฟตนั้นเป็นตัวพาที่ดีสำหรับทอเรียมปริมาณน้อยด้วย (54) เพื่อลดการรวมกวนการตกตะกอนร่วมเมื่อใช้แบเรียมซัลเฟตควรเติมสารประกอบของเอทธิลีนไดอะมีนเตตระอะซีติก-แอซิด (ethylenediaminetetraacetic acid EDTA) เพื่อให้ทำปฏิกริยากับอนุมูลของโลหะที่รบกวนเช่นน้ำให้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน และการเติม EDTA นี้จะไม่มีผลต่อการตกตะกอนของเรเดียมด้วยแบเรียมซัลเฟตที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 3-5 (54-58)

แบเรียมซัลเฟตเป็นตัวพาที่ดีมากสำหรับเรเดียม แม้กระทั่งเมื่อเติมลงในสารละลายในรูปของของแข็ง เช่นพบว่าเรเดียมในสารละลายที่เป็นกรดอย่างอ่อนสามารถดูดซับบนแบเรียมซัลเฟตซึ่งผสมกับเจลลาติน (gelatin) แล้วทาบนแผ่นแก้ว (59)

เรเดียมสามารถตกตะกอนร่วมได้ด้วยสตรอนเชียมซัลเฟต ($SrSO_4$) เช่นเดียวกับแบเรียมซัลเฟตแต่ไม่ดีเท่า (60) ตะกั่วซัลเฟตสามารถตกตะกอนร่วมกับเรเดียมได้ดีพอสมควร (61) แต่แคลเซียมซัลเฟตตกตะกอนร่วมได้ไม่ดี เกลือซัลเฟตของธาตุอื่น ๆ ที่สามารถตกตะกอนร่วมกับเรเดียมได้ดีโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) รูบิเดียมซัลเฟต (Rb_2SO_4) และแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$)

กรดไนตริกเข้มข้นสามารถนำมาใช้เป็นสารตกตะกอนเพื่อแยกแคลเซียม (บางส่วน), แมกเนเซียม, เรเดียม, สตรอนเชียม และตะกั่วออกจากธาตุอื่น ๆ ซึ่งอยู่ปะปนกันได้ (62-66) แต่เนื่องจากเรเดียมไนเตรท ($Ra(NO_3)_2$) จะละลายน้ำได้ดีกว่าแบเรียมไนเตรท ($Ba(NO_3)_2$) ดังนั้นกรดที่ใช้ต้องมีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 70

โพแทสเซียมโรไดโซเนต (potassium rhodizonate) สามารถตกตะกอนร่วมกับเรเดียมได้เช่นกัน (67) แต่เนื่องจากอนุมูลของโลหะหลายตัว

รวมทั้งโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธจะตกตะกอนด้วย ทำให้แยกเรเดียมได้ไม่บริสุทธิ์ แต่สารนี้มีประโยชน์ในขั้นตอนของการทำเข้มข้น (concentration step) และใช้ในการแยกเรเดียมปริมาณน้อยออกจากอนุภูลลบอื่น ๆ เช่นซัลเฟตอันอาจจะรบกวนในขบวนการทางเคมีในขั้นตอนต่อไป

โพแทสเซียมโครเมต (Potassium chromate) และซิลเวอร์โครเมต (Silver chromate) สามารถตกตะกอนร่วมกับเรเดียมได้ดีในสารละลายที่มีอนุภูลโครเมตมากเกินพอ แต่ตกตะกอนร่วมได้ไม่ดีในสารละลายที่มีโลหะโพแทสเซียมและโลหะเงินมากเกินพอ

Russel และคณะ (68) รวมทั้ง Hamser และคณะ (69) รายงานไว้ว่าอาจตกตะกอนเรเดียมโดยใช้แบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) จากสารละลาย 6 : 1 ของไฮโดรคลอริกและอีเทอร์ที่เย็น

สำหรับขั้นตอนของการทำให้บริสุทธิ์พบว่าสามารถแยกเรเดียมปริมาณน้อยออกจากแบเรียมและโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธได้โดยอาศัยเทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออน (70, 71) Diamond (72) รายงานถึงผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่มีต่อสัมประสิทธิ์ของการกระจาย (distribution coefficient) ของโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธในเรซินชนิด Dowex-50 มีรายงานหลายฉบับกล่าวถึงการทดลองแยกเรเดียมออกจาก daughter product แบเรียม, สตรอนเชียม และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (62), (70-84) และโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (85-87) อย่างไรก็ตามพบว่าถ้ามีเรเดียมในปริมาณสูง ความแรงจากรังสีจะทำลายแรงยึดเหนี่ยวของเรซินซึ่งเป็นพวก sulfonated polystyrene กับ divinyl benzene เช่น Dowex-50 หรือ Amberite IR-120 ทำให้เกิดสารประกอบของเรเดียมกับซัลเฟอร์ซึ่งไม่ละลายและไม่สามารถแยกออกจากเม็ดเรซินได้ (75)

สารประกอบของเรเดียมละลายได้น้อยในตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้น

สามารถแยกเรเดียมออกจากอนุมูลที่มีวาเลนซี +3 หรือมากกว่า หรืออนุมูลที่มีวาเลนซี +2 ของโลหะทรานสิชันและสารกัมมันตรังสีตัวอื่น ๆ ด้วย (88-91) สารสกัด (extracting agent) ที่นิยมใช้กันมีสารละลายของทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซีโตน (Thenoyltrifluoroacetone - TTA) ไบเบนซีนใช้แยกเรเดียมออกจาก daughter product และสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ ที่เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 รวมทั้ง แอกทิเนียม, ทอเรียม, พอโลเนียม, ตะกั่วและบิสมัท (55, 92, 93) เรเดียมจะไม่ถูกสกัดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 (93) ขณะที่พวกสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นในธรรมชาติทุกตัวตั้งแต่ทอเรียมถึงยูเรเนียมถูกสกัดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 (89) นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตของสารอินทรีย์, โมโนและไดเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก เช่น ไดบิวทิล ฟอสฟอริก แอซิด (dibutyl phosphoric acid) ไดและโมโน (บู-เอทธิลเฮกซิล) ฟอสฟอริก แอซิด (di และ mono (2-ethylhexyl) phosphoric acid) ไตรบิวทิล ฟอสเฟต (tributyl phosphate) ฯลฯ สามารถสกัดยูเรเนียม, โพรแทกทิเนียม, ทอเรียม, แอกทิเนียม, แอสทาทีน, พอโลเนียม และบิสมัท จากสารละลายที่เป็นกรด

พวกอะมีนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและละลายได้ในน้ำอาจนำมาใช้แยกเรเดียมออกจากตะกั่ว, บิสมัท, พอโลเนียม, ทอเรียม, โพรแทกทิเนียม, ยูเรเนียม และเหล็กได้ (90)

เอทธิลอีเทอร์ (ethyl ether) และอีเทอร์ตัวอื่น ๆ สามารถสกัดแยกยูเรเนียมและทอเรียมออกจากสารตัวอย่างซึ่งละลายอยู่ในสารละลายของกรดไนตริกเจือจางซึ่งมีเกลือไนเตรตละลายอยู่ในปริมาณสูง แต่พบว่าการสกัดกลับของเรเดียมมีข้อยุ่งยากในการปฏิบัติทั้งนี้เนื่องจากเกลือไนเตรตที่มีอยู่ในสารละลาย

Hassinsky (94) แยกทอเรียมและแอกทิเนียมออกจากเรเดียมในรูปของเกลือไนเตรต โดยใช้อัลกอฮอล์บริสุทธิ์ (absolute alcohol) เป็นสารสกัด

เรเดียมและแฟรนเซียมสามารถแยกจากกันได้โดยใช้ ไนโตรเบนซีน (nitrobenzene) สกัดกับเกลือเตตระฟีนิลบอเรต (tetraphenylborate) ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9 (95)

Sabaoun (96) ทำให้เรเดียมบริสุทธิ์ด้วยการสกัดด้วยไดไธโซน (dithizone) Moore และ Cook (97) สามารถแยกเรเดียม-226 ออกจากน้ำโดยผ่านไปบนเส้นใยอะครีลิก (acrylic fibre) ซึ่งอิ่มตัวด้วยเกลือแมงกานีสออกไซด์

ปริมาณเรเดียม-226 อาจวิเคราะห์ได้ในทางอ้อม โดยอาศัยการหาปริมาณของ daughter product ของเรเดียม-226 ในจำนวนวิธีทั้งหมด emanation method จัดว่าเป็นวิธีที่มีความแน่นอนและมีความไวสูงที่สุดสำหรับการหาปริมาณเรเดียม-226 ในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม ความเหมาะสมของวิธีนี้เนื่องจากเรดอน-222 ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 (รูปที่ 1) เป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง การแยกกระทำได้ง่าย วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความไวสูงสำหรับไอโซโทปของเรเดียมที่สลายตัวให้อนุภาคอัลฟาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเรเดียม-226 เนื่องจากค่าครึ่งชีวิตของเรดอน-222 ไม่สั้นเกินไปจนลำบากต่อการแยกด้วยวิธีทางเคมี และไม่ยาวเกินไปจนยากต่อการพิสูจน์ (identify) โดยอาศัยค่าครึ่งชีวิต วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีเรเดียมในปริมาณน้อยและตัวอย่างที่มีสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ ที่อาจจะรบกวนเรเดียมและ daughter product ของเรเดียม

หลักการคือไล่เรดอน-222 ออกจากตัวอย่างให้หมด แล้วปล่อยให้เรดอน-222 เกิดขึ้นในตัวอย่างที่ปิดสนิทชั่วระยะเวลาหนึ่ง แล้วนับความแรงรังสีของเรดอน-222 เครื่องมือในการนับความแรงรังสีของเรดอน-222 อาจจะเป็น electrometer (98, 99) pulse ion chamber (98, 100-107) alpha proportional counter (99, 108) หรือ zinc sulfide scintillation counter (109-114)

ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะมีความไวสูง ปริมาณต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้มีค่าถึง 0.002 พิโคคูรี แต่ข้อจำกัดคือเป็นวิธีการที่ต้องใช้ de-emanation system ซึ่งยาก เช่น Lucas cell (115) นอกจากนั้นเครื่องมือในการนับความแรงรังสีว่าเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีลักษณะเฉพาะและราคาแพง Conlon และคณะ (116) เสนอแนะระบบที่ง่ายกว่า แต่ความไวระดับปริมาณต่ำและค่าแยกราวน์สูง เช่นเดียวกับ Collinson และ Hagne (117)

ในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการนับความแรงรังสีของเรดอน-222 โดย liquid scintillation counting (118-121) โดยอาศัยคุณสมบัติของเรดอนซึ่งสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้

สำหรับการหาปริมาณเรเดียม-226 โดยวิธีทาง instrumental นั้น กระทำโดยวัดความแรงรังสีแกมมา แต่วิธีนี้มีความไวไม่สูงพอสำหรับการวิเคราะห์เรเดียมปริมาณน้อย เรเดียมมักถูกแยกโดยกรรมวิธีทางเคมีก่อน ในปัจจุบันสามารถตรวจสอบปริมาณของเรเดียม-226 ได้โดย γ-ray spectrometry แต่ยังมีปัญหา เนื่องจากความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในสารตัวอย่างในธรรมชาติมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องการตัวอย่างเป็นปริมาณมาก ตัววัดต้องบรรจุในถ้ำตะกั่วเพื่อลดแยกราวน์ และถ้าจะวัดความแรงรังสีแกมมาโดยไม่มีการแยกทางเคมีก่อนจะเกิดการรบกวน เนื่องจากมีไอโซโทปในอนุกรมของเรเดียม ซึ่งปล่อยรังสีแกมมาได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามมีผู้นำวิธีนี้มาวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 เช่นกัน ส่วนใหญ่นำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม อาทิเช่น การวิเคราะห์เรเดียม-228 เรเดียม-226 และทอเรียม-228 ในการเตรียมเรเดียม-228 (122) การวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในแร่ยูเรเนียมและกากแร่ (123) และการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในสินแร่ยูเรเนียมและทอเรียม (124) Magumi และ Mamuro (125) และ Yastsobor (126) ได้ทำการหาปริมาณเรเดียม-226 ในดินโดยวิธีนี้เช่นกัน

นอกเหนือจากวิธีที่กล่าวมานี้ ยังมีวิธี emission spectrometry (127) photographic emulsions (128-130) และ colorimetric

method (151, 152)

ในประเทศไทยการสำรวจวิเคราะห์ปริมาณของเรเดียม-226 ในสารตัวอย่างต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อชีวิตมนุษย์ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร สาเหตุอันหนึ่งอาจเนื่องมาจากขาดวิธีวิเคราะห์ซึ่งมีความไวที่สูงเพียงพอจะนำมาใช้วิเคราะห์เรเดียม-226 ที่มีปริมาณน้อยได้ ประกอบกับวิธีที่สมควรจะนำมาใช้ คือ emanation method จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงและยากในการจัดหา จึงมีความคิดที่จะพัฒนาวิธีวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ โดยอาศัยเทคนิคการตกตะกอนร่วมและเทคนิคการสกัดแยกเรเดียม-226 ออกจากสารตัวอย่างให้บริสุทธิ์ก่อน แล้วจึงนามาวัดปริมาณรังสีต่อไป

1.2 <u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

1.2.1 เพื่อศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์เรเดียม-226 โดยกรรมวิธีแยกทางเคมีโอเคมี

1.2.2 วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาแล้วนี้จะนำมาทดสอบความน่าเชื่อถือได้ของวิธีวิเคราะห์ (reliability test) โดยวิเคราะห์จากสารมาตรฐานซึ่งเตรียมขึ้น

1.2.3 เพื่อนำเทคนิคที่พัฒนาแล้วนี้ มาใช้วิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ เป็นต้น

1.3 <u>ขอบเขตของการวิจัย</u>

จะศึกษาพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์นี้ ตามขั้นการทดลองดังนี้ คือ

1.3.1 การใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) แยกเรเดียมออกจากสารตัวอย่างในรูปของสารประกอบซัลเฟต โดยให้มีความบริสุทธิ์สูงและมีเคมิคัลยีลด์ใกล้เคียงร้อยละ 100

1.3.2 การหาเรเดียม-226 โดยบริสุทธิ์ โดยขจัดสารแทรกซ้อน (interfering substance) โดยใช้ EDTA เป็นตัวสกัด

1.3.3 การตกตะกอนกลับเป็นซัลเฟต

1.3.4 การวัดปริมาณรังสี

1.3.5 การทดสอบความน่าเชื่อถือได้ของวิธีวิเคราะห์กับสารมาตรฐานซึ่งเตรียมขึ้น

000207