



การศึกษาระดับกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก

ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, บุญสม พรเทพเกษมสันต์, จันทนี แจ่มแสงทอง และ กรรณิการ์ แคนลาดแก้ว

กองขจัดกากกัมมันตรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

โทรศัพท์ 5795230-4 ต่อ 522 โทรสาร 5613013

บทคัดย่อ

งานศึกษาวิจัยนี้ได้เสนอผลการสำรวจปริมาณกัมมันตรังสีรวมแอลฟา, กัมมันตรังสีรวมเบตา, เรเดียม-226 และยูเรเนียม ในน้ำผิวดิน, น้ำฝนและน้ำใต้ดิน ในสภาพแวดล้อมโดยรอบศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในระหว่างปี พ.ศ. 2531 - 2538 พบว่าระดับกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยรอบศูนย์ฯ อยู่ในระดับปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดไว้ ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลสามารถใช้อ้างอิงถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการดำเนินงานของศูนย์ฯ ในอนาคต

Pre-operational Survey of a Rare-earth Research and Development Center

Kanitha Srisuksawad, Boonsom Porntepkasemsarn, Jantane Jamsangtong and Kannika Danladkaew

Waste Management Division, Office of Atomic Energy for Peace

Tel. 5795230-4 ext. 522 Fax. 5613013

Abstract

Result obtained from radiometric research carried out from 1988 - 1995 in the vicinity of a Rare-earth Research and Development Center are provided. Parameters under investigation were gross-alpha, gross-beta, ²²⁶Ra, natural uranium and tritium concentrations in surface, rain and underground water.

Radioactivity levels were found relatively low and can be characterized as a local based line. This will enable us in a later stage to monitor the change caused by the Rare-earth Research and Development Center operation.

1. บทนำ

การตรวจสอบการปนเปื้อนต่อสภาพแวดล้อม อันเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์นั้น สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ การได้ล่วงรู้ถึงระดับในธรรมชาติของสารปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ก่อนการดำเนินงานใดๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสิ่งที้อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนนั้นเป็นสิ่งที่มืออยู่แล้วในธรรมชาติ ไอโซโทปรังสีต่างๆในอนุกรมยูเรเนียมและทอเรียมล้วนเป็นไอโซโทปรังสีที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ ขณะเดียวกันการดำเนินงานบางอย่างเช่น การทำเหมือง การแปรสภาพแร่ ฯลฯ ก็อาจก่อให้เกิดการเพิ่มพูนไอโซโทปรังสีเหล่านี้มากขึ้นจนอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ การได้ล่วงรู้ถึงระดับกัมมันตภาพรังสีของไอโซโทปเหล่านี้ในธรรมชาติก่อนการดำเนินงาน ทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่อาจตรวจวิเคราะห์ได้นั้น เป็นปริมาณที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติหรือ ที่เกิดจากการดำเนินงานของมนุษย์

ผลผลิตพลอยได้ที่ได้จากการทำเหมืองแร่ดีบุก ได้แก่ แร่โคลัมไบท์ แทนทาไลท์ และโมนาไซต์ ผลผลิตพลอยได้เหล่านี้จะมีโลหะประเภทต่างๆปะปนอยู่ในปริมาณที่สูงและมีความคุ้มค่าในแง่เศรษฐกิจในการแปรสภาพเพื่อนำแร่โลหะเหล่านี้มาใช้งาน สำหรับในส่วนของแร่โมนาไซต์จะมีโลหะประเภท ทอเรียม (Thorium) ยูเรเนียม (Uranium) ซีเรียม (Cerium) และอื่นๆปะปนอยู่

ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก เป็นโครงการของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ตั้งอยู่ที่ตำบลคลองข่อยห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ศูนย์วิจัยฯ แห่งนี้มีโครงการที่จะเปิดดำเนินการ ภายในต้นปี 2540 นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ อาทิ เช่น ไตรโซเดียมฟอสเฟต ออกไซด์ของโลหะหายาก เช่น ซีเรียม แลนทานัม พรอาซีโอดีเมียม บิโอดีเมียม อิตเทรียม แรเอิร์ทคลอไรด์ผสม ทอเรียมออกไซด์และยูเรเนียมออกไซด์หรือเด็กเฮลียง

ในขบวนการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ดังกล่าว โอกาสที่ธาตุยูเรเนียม และทอเรียมที่ปะปนอยู่ในสินแร่จะถูกชะล้างและปะปนอยู่ในน้ำทิ้งของขบวนการผลิตย่อมเกิดขึ้นได้เสมอ ธาตุยูเรเนียมและธาตุทอเรียมเป็นธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวนาน เมื่อถูกระบายออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอก จะสามารถเคลื่อนย้ายไปสะสมอยู่ใน พืช สัตว์ น้ำ ตะกอน และส่วนอื่นๆของระบบ ในขั้นสุดท้ายเมื่อสามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหารก็จะสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ในที่สุด ธาตุยูเรเนียมและทอเรียมสลายตัวให้ daughter product ซึ่งส่วนมากจะเป็นไอโซโทปที่ให้รังสีแอลฟา ซึ่งเป็นอันตรายมากเมื่อเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการศึกษาคุณภาพทางรังสีของสภาพแวดล้อมของศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก ก่อนการดำเนินงาน จึงเป็นสิ่งจำเป็นต้องกระทำ โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมของศูนย์ฯ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำการเกษตร ทำนาข้าว และเป็นคลองชลประทานที่ประชาชนในบริเวณนั้นใช้เพื่ออุปโภคหรือบริโภค

การศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมก่อนการดำเนินงานของศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายากนี้มีผู้กระทำไปแล้ว คือ

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของทรัพยากรน้ำ ตะกอนดิน และคุณภาพอากาศภายในบริเวณพื้นที่โครงการก่อนการดำเนินการก่อสร้างและเปิดดำเนินการ ((1)

2.2 กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟาและกัมมันตภาพรังสีรวมเบตา

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำกระทำโดยวิธีขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา (4) โดยนำตัวอย่างน้ำปริมาตรประมาณ 250 มิลลิลิตร มาระเหยให้เกือบแห้งบนเตาไฟฟ้า ใช้กรดไนตริกเจือจางชะล้างผนังบีกเกอร์ ถ่ายลงในจานนับรังสี นำจานนับรังสีไปทำให้แห้งภายใต้หลอดไฟอินฟราเรด นำไปอิงไฟจากตะเกียงเบนเสนเพื่อเปลี่ยนเกลือไนเตรทให้เป็นเกลือออกไซด์นำไปวัดรังสีในเครื่องวัดรังสีแอลฟาและเบตาระดับต่ำ (Low background anticoincidence alpha/beta counter)

ตัวอย่างพืชและสัตว์ นำมาล้างให้สะอาด ซึ่งน้ำหนักสด บรรจุในชามกระเบื้อง (porcelain dish) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างแห้ง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จนกลายเป็นเถ้า ซึ่งน้ำหนักเถ้าตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในจานนับรังสี เคลือบให้เรียบนำไปวัดรังสีในเครื่องวัดรังสีแอลฟาและเบตาระดับต่ำ (Low background alpha/beta counter)

ตัวอย่างดินและตะกอน นำไปทำให้แห้งที่เตาอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 7 วัน หรือจนตัวอย่างแห้งสนิท บดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 2 มิลลิเมตร ซึ่งตัวอย่างดินประมาณ 1 กรัม ใส่ในจานนับรังสี เคลือบให้เรียบนำไปวัดรังสีเช่นเดียวกับตัวอย่างพืชและสัตว์

2.2 เรเดียม-226

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำกระทำโดยวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย ชนิษฐา และ สุชาติ(5) นำน้ำตัวอย่างจำนวน 2 ลิตร เติมสารละลายตัวพาแบเรียม สารละลายตัวติดตามแบเรียม-133 และสารละลายอีดีทีเอ ปรับสารละลายให้มีสภาพความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.5 ด้วยสารละลายกรดไนตริก และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ แยกเรเดียมออกจากสารละลายโดยตกตะกอนร่วมกับแบเรียมในรูปของเกลือซัลเฟต เปลี่ยนตะกอนเรเดียม-แบเรียมซัลเฟตให้อยู่ในรูปของเกลือคาร์บอเนต โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตแล้วต้มให้ร้อน ละลายตะกอนที่ได้ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น นำไปสกัดแยกด้วยสารละลาย TTA (Thenoyl trifluoroacetone) ในเบนซีน (benzene) ตกตะกอนเรเดียมร่วมกับแบเรียมซัลเฟตอีกครั้งหนึ่ง ถ่ายตะกอนลงในจานนับรังสี ทำให้แห้ง ตั้งทิ้งไว้ในโถกันความชื้น ประมาณ 4 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลระหว่าง เรเดียม-226 กับ daughter products และเพื่อให้เรเดียม-228 สลายตัวหมดไป นำไปวัดรังสีแอลฟาด้วยเครื่องวัดรังสี แอลฟาและเบตาระดับต่ำ (Low Background Alpha-beta Counter)

สำหรับตัวอย่างสิ่งแวดล้อมอื่นๆ กระทำโดยการชั่งเถ้าตัวอย่างหรือตัวอย่างดิน จำนวน 1 กรัม นำไปชะล้างด้วยการอุ่นให้ร้อนในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 6 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 100-150°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรอง นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 โดยวิธีเดียวกับตัวอย่างน้ำ

2.3 ยูเรเนียม

สำหรับตัวอย่างน้ำ ได้ใช้วิธีวิเคราะห์ขององค์การวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมแห่งอเมริกา (4) นำน้ำตัวอย่างประมาณ 2 ลิตร มาปรับสภาพให้มีความเป็น กรด-ด่าง น้อยกว่า 1 ตกตะกอนยูเรเนียมในรูปของไฮดรอกไซด์ โดยใช้เหล็กเป็นตัวพา ละลายตะกอนไฮดรอกไซด์ด้วยสารละลายกรด

ไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8 นอร์มัล นำสารละลายไปผ่านคอลัมน์ขนาด 13 มม. x 150 มม. บรรจุด้วย anion exchange resin Dowex1x4 100-200 mesh size Cl⁻ form ล้างตัวพาเหล็กออกด้วยสารละลายกรดไฮโดรไอโอดริก ความเข้มข้น 47% ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 8 นอร์มัล ด้วยอัตราส่วน 1:9 จากนั้นล้างยูเรเนียม ออกด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล นำมา ระเหยให้แห้ง ย่อยสลายสารอินทรีย์และสารตกค้างอื่นๆ ด้วยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 นอร์มัล แล้วระเหยให้แห้ง ทำซ้ำหลายๆครั้ง ถ่ายสารละลายลงในจานนับรังสี ทำให้แห้ง นำไปวัดรังสีแอลฟา ด้วยเครื่องวัดรังสีแอลฟาและเบตาระดับต่ำ (Low Background Alpha/beta Counter)

2.4 ซีเซียม -137

วิเคราะห์โดยวิธีแกมมาสเปกโตรสโคปี นำตัวอย่างเก่าหรือตัวอย่างดินน้ำหนักประมาณ 50 กรัม ใส่ลงในภาชนะพลาสติกทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 1 นิ้ว ผนึกฝาให้แน่น นำเข้าวัดปริมาณรังสีแกมมาของซีเซียม-137 ด้วยเครื่องวิเคราะห์รังสีแกมมามัลติชานแนล แบบ 8192 ช่อง ต่อกับ หัววัดรังสีเจอร์มาเนียม (High purity germanium detector) วัดรังสีเป็นเวลาประมาณ 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของหัววัดเมื่อเทียบกับหัววัดรังสีชนิด NaI เท่ากับ 20% และมีค่า FWHM 1.95 KeV ที่พลังงาน 1332KeV ของ โคบอลต์-60 การเปรียบเทียบเครื่องวัดกระทำโดยใช้สารละลายรังสีมาตรฐานแกมมารวม R0806 ของห้องปฏิบัติการฟิสิกส์แห่งชาติ (National Physical Laboratory) ประเทศอังกฤษ

2.5 สทรอนเซียม-90

ใช้วิธีวิเคราะห์โดยวิธีการแยกด้วยกรดฟุ่มมิงไนตริก (6) ใช้หลักการคือการใช้กรดฟุ่มมิงไนตริก แยกแคลเซียมจำนวนมากออกจากสารละลายตัวอย่าง สำหรับธาตุตัวอื่นๆ เช่น เรเดียม ตะกั่ว และแบเรียม ถูกแยกออกโดยการตกตะกอนร่วมกับแบเรียมโครเมต ธาตุผลผลิตจากขบวนการฟิชชันในสารละลายตัวอย่าง แยกออกโดยการตกตะกอนอิตเตรียมไฮดรอกไซด์ ปล่อยให้สทรอนเซียมบริสุทธิ์ผสมดูลย์กับอิตเตรียม เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นจึงตกตะกอนอิตเตรียมในรูปไฮดรอกไซด์ แล้วเปลี่ยนให้เป็นอิตเตรียมออกซาลेट นำเข้าวัดรังสีเบตาด้วยเครื่องวัดรังสีแอลฟาและเบตาระดับต่ำ (Low background alpha/beta counter) การตรวจค่า Recovery yield ของวิธีวิเคราะห์ กระทำโดยใช้สารติดตามสทรอนเซียม-85 เป็นตัวเปรียบเทียบ

2.6 ความกระด้างและแมกนีเซียม

ใช้วิธีการไตเตรทด้วย EDTA ตามรายละเอียดในมาตรฐานเล่ม 2 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (7)

2.7 แคลเซียม โบแตสเซียมและโซเดียม

ใช้โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี ตามรายละเอียดในรายงานวิชาการประจำปี พ.ศ. 3-6 (8)

3. ผลการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1-5 แสดงค่าเฉลี่ยตลอดปี ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง และช่วงของระดับกัมมันตภาพรังสีในน้ำผิวดิน น้ำฝน และน้ำบาดาล การหาค่าเฉลี่ยใช้วิธีการคำนวณเชิงสถิติของการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลแบบ weighted mean และ Chauvenet's criteria (9)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกัมมันตภาพรังสีที่วิเคราะห์ได้ กับมาตรฐานความปลอดภัยทั้งหมดและค่ามูลฐานระดับกัมมันตภาพรังสีของน้ำผิวดินในประเทศไทย จะสรุปได้ดังนี้

	น้ำผิวดิน บริเวณพื้นที่โครงการ	มาตรฐานความปลอดภัย(1) ในประเทศไทย(2)	ระดับมูลฐาน ของน้ำผิวดิน
กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา	0.037	0.1	0.017
กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา	0.274	1.0	0.286
เรเดียม-226	1.26×10^{-3}	0.1	9.6×10^{-4}

หน่วย : เบคเคอเรลต่อลิตร

(1) WHO, 1984 (10) และสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2525 (7)

(2) พุทธิเกียรติ สيناคม และคณะ, 2531 (11)

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำตัวอย่าง คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีการปล่อยน้ำทิ้งออกจากขบวนการบำบัดสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ตัวอย่างพืช, สัตว์น้ำ, หญ้า, ดินและตะกอน ในรัศมี 10 กิโลเมตร นำมาวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสี เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหาร ระดับความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสีต่อน้ำหนักสด แสดงไว้ในตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ที่มีผู้วิเคราะห์ไว้ดังตารางข้างล่างพบว่าอยู่ในระดับปกติ

ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย

	ช่วง (เบคเคอเรลต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)		
	กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา	สทรอนเชียม-90	ซีเซียม-137
ผักบุ้ง	0.12 -90.74	0.39 - 3.05	-
หญ้า	0.11 -148.52	-	0.04 - 2.45
ปลา	0.08 - 104.81	0.015 - 0.085	0.03 - 5.98
ดิน	0.12 - 842.59	-	0.78 - 31.36

ที่มา : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2523, 2525, 2536, 2530, และ 2534 (12)

4. บทวิจารณ์และสรุปผล

จากการสำรวจระดับกัมมันตภาพรังสีในน้ำผิวดิน น้ำฝนและน้ำบาดาล ในสภาพแวดล้อมภายในและโดยรอบศูนย์วิจัยฯ พบว่า ระดับกัมมันตภาพรังสีอยู่ในระดับธรรมชาติ สามารถใช้อ้างอิงเป็นค่าระดับมูลฐานในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระดับกัมมันตภาพรังสีในสภาพแวดล้อมเนื่องจากการดำเนินงานของศูนย์ฯต่อไป

จากรายงานการสำรวจคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยรอบศูนย์ (1) พบว่าเมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของสารที่ละลายน้ำทั้งหมด อนุมูลคลอไรด์ อนุมูลซัลเฟตและระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นสารพิษ น้ำผิวดินบริเวณภายนอกศูนย์มีคุณภาพดีพอที่จะนำมาผลิตน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคได้ โดยทำการบำบัดตามปกติ ดังนั้นการวางระบบบำบัดน้ำเสียที่ดีจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับศูนย์วิจัยแห่งนี้ เพื่อรักษาคุณภาพน้ำที่ดีไว้ให้ได้ตลอดไป

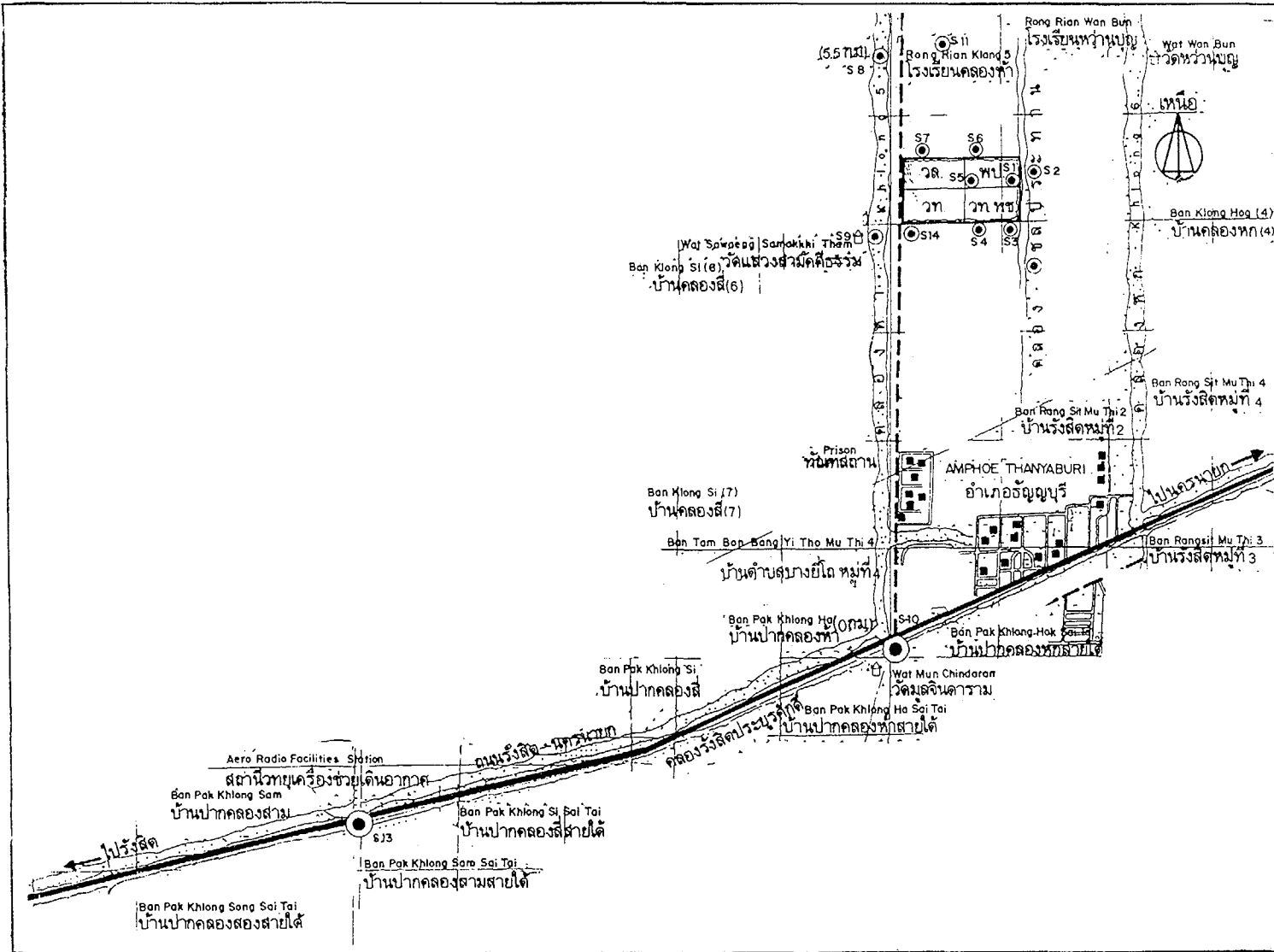
ระดับกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อมอื่นๆ (พืช, สัตว์น้ำ, หญ้า, ดิน และตะกอน) สามารถใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความเปราะบางในอนาคตได้ แต่จะต้องใช้ความรอบคอบในการวิเคราะห์ผล เนื่องจากลักษณะของการเก็บตัวอย่าง

งานที่ควรกระทำในขั้นต่อไปคือ การเฝ้าระวังระดับกัมมันตภาพรังสีของเรดอน, เรเดียม, ทอเรียมและยูเรเนียม ไอโซโทปในน้ำผิวดิน, น้ำบาดาลและน้ำฝน เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงใดๆ อันเนื่องมาจากการดำเนินการของศูนย์ฯ อนึ่งไอโซโทปรังสีในสภาพที่เป็นก๊าซของเรดอนไอโซโทปซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเรเดียม สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาในขบวนการผลิตนี้ ไอโซโทปรังสีเรดอน-222 เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 เป็นไอโซโทปรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวพอสมควร ดังนั้นการสำรวจปริมาณรังสีของเรดอน-222 ในอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงานและอากาศบริเวณโดยรอบจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้น การวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของโพโลเนียม-210 ในปัสสาวะและในอาหารในพื้นที่ ก็เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการบ่งชี้ถึงผลกระทบต่อมนุษย์อันเนื่องมาจากการดำเนินการของศูนย์ฯ

5. เอกสารอ้างอิง

1. -----2531 รายงานการสำรวจสภาพแวดล้อม ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก บริษัทเซาธ์อีสต์ เอเชียเทคโนโลยี จำกัด (SEATEC)
2. สูดใจ สิรินันโทวิทย, 2534 การหาปริมาณยูเรเนียมตามธรรมชาติในตัวอย่างดิน, หญ้า และ น้ำรอบๆ บริเวณศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันและฟิชชันแทรค, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. กรรณิการ์ แตนลาดแก้ว, จันทน์ แจ่มแสงทอง, บุญสม พรเทพเกษมสันต์ และ ชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, 2534,2535,2536 การสำรวจเบื้องต้นระดับกัมมันตภาพรังสี ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายาก. รายงานวิชาการประจำปี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

4. Krieger, H.L., and Whittaker E.L., 1980 Prescribed Procedures for Measurement of Radioactivity in Drinking Water. EPA-600/4-80-032.
5. ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ และ สุชาติ มงคลพันธุ์, 2523 การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยวิธีตกตะกอน. รายงานวิชาการประจำปี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
6. Chieco, N.A., Bogen, D.C. and Knutson, E.O., 1990 EML Procedure manual 27th edition. Environmental Measurement Laboratory, New York.
7. -----มาตรฐานน้ำบริโภค เล่มที่ 1,2 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
8. -----2526, การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม, โพแทสเซียมและสทรอนเซียม ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปคโตรเมตรี, รายงานวิชาการประจำปี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
9. Hendee, W.R., 1973. Radioactive Isotope in Biological Research, John Wiley & Sons, Inc.
10. ----- 1984 Guideline for Drinking Water Quality, World Health Organization, Geneva
11. พูเกียรติ สีนาคม, ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, บุญสม พรเทพเกษมสันต์ และ นันทนา สันตติวุฒิ, 2531, กัมมันตภาพรังสีรวมเบตา, กัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา และปริมาณเรเดียม-226 ของน้ำผิวดิน
12. ----- 2523, 2525, 2526, 2530, 2534. การศึกษาและประเมินค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม รายงานวิชาการประจำปี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ



รูปที่ 1 แสดงสถานีเก็บตัวอย่าง บริเวณศูนย์วิจัยและพัฒนาธัญญาหาร ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยตลอดปี, ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองและช่วงของระดับกัมมันตรังสีรวมแอลฟา ในน้ำผิวดิน น้ำฝนและน้ำใต้ดิน

สถานี	กัมมันตรังสีรวมแอลฟา (เบคเคอเรลต่อลิตร)								ช่วง	ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง
	ค่าเฉลี่ยตลอดปี									
	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538		
R1	NS	-0.18±.019	.026±.041	.053±.056	.151±.048	.109±.036	.039±.060	.044±.010	-0.18-.151	.038±.008
R2	NS	.025±.068	.006±.038	.104±.061	.168±.056	.112±.057	.041±.063	.024±.010	.006-.168	.031±.009
R3	NS	.029±.078	.032±.040	.065±.057	.066±.047	.065±.036	.082±.096	.030±.010	.029-.082	.035±.009
R4	.218±.234	-.010±.064	-.020±.036	.143±.057	.124±.062	.134±.042	.000±.137	.031±.010	-.010-.218	.035±.009
R5	NS	.035±.094	NS	.149±.087	.040±.035	.055±.032	.000±.066	.070±.011	.000-.149	.064±.010
R6	NS	NS	NS	.169±.083	.034±.037	.056±.034	.048±.108	.036±.010	.034-.169	.038±.009
R7	.068±.186	NS	.000±.030	.151±.074	.059±.051	.089±.042	.064±.082	.035±.010	.000-.151	.036±.009
R8	.066±.072	-.036±.044	-.021±.024	.038±.029	.090±.030	.063±.021	.027±.041	.042±.009	-.036-.090	.039±.007
R9	.030±.063	.002±.039	.035±.028	.028±.030	.083±.029	.056±.021	.009±.037	.027±.009	.002-.083	.029±.007
R10	.004±.064	.030±.043	.003±.025	.044±.029	.044±.024	.044±.029	.025±.033	.041±.009	.003-.044	.037±.007
R11(น้ำฝน)	-.025±.051	.002±.035	.001±.024	.082±.031	.018±.031	.037±.017	.031±.037	.044±.009	-.025-.082	.037±.007
R12	NS	NS	NS	.058±.043	.058±.026	.058±.043	.008±.034	.041±.009	.008-.058	.044±.008
R13	NS	NS	NS	.000±.025	.147±.082	.012±.024	.025±.039	.040±.009	.000-.147	.032±.008
R14	NS	NS	NS	.192±.102	.042±.023	.049±.022	.057±.114	.027±.009	.027-.192	.032±.008
(น้ำใต้ดิน)										-.027±.019

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยตลอดปี, ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองและช่วงของระดับกัมมันตรังสีรวมเบตาในน้ำผิวดิน, น้ำฝนและน้ำใต้ดิน

สถานี	กัมมันตรังสีรวมเบตา (เบคเคอเรลต่อลิตร)								ช่วง	ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง
	ค่าเฉลี่ยตลอดปี									
	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538		
R1	.500±.200	.080±.080	.285±.028	.436±.062	.443±.055	.440±.041	.366±.044	.437±.014	.080-.600	.409±.011
R2	.570±.200	.233±.051	.240±.028	.579±.064	1.149±.073	.826±.048	.361±.044	.417±.015	.233-1.149	.403±.012
R3	.505±.141	.188±.060	.305±.028	.674±.067	.592±.062	.630±.045	.601±.054	.586±.015	.188-.674	.542±.012
R4	.505±.141	.243±.062	.282±.031	.549±.061	.545±.064	.547±.044	.790±.064	.646±.016	.243-.790	.560±.012
R5	.454±.148	.284±.065	.270±.040	.805±.075	.528±.057	.629±.045	1.307±.077	.662±.016	.270-1.307	.597±.013
R6	.530±.141	NS	.280±.040	.824±.074	.719±.063	.763±.048	1.129±.066	.497±.015	.280-1.129	.536±.013
R7	.560±.200	NS	.408±.031	.796±.072	1.140±.076	.959±.052	.742±.057	.716±.016	.408-.346	.693±.013
R8	.327±.073	.210±.060	.085±.021	.236±.047	.131±.041	.176±.031	.155±.035	.346±.014	.085-.346	.240±.010
R9	.238±.073	.225±.048	.101±.024	.180±.046	.175±.043	.176±.039	.084±.033	.252±.012	.084-.252	.205±.009
R10	.141±.073	.253±.050	.080±.021	.218±.046	.102±.040	.152±.030	.079±.032	.291±.013	.079-.291	.204±.009
R11(น้ำฝน)	-.025±.052	.002±.035	.001±.024	.082±.020	.018±.020	.119±.029	.075±.031	.249±.013	-.025-.249	.046±.010
R12	NS	NS	NS	.304±.054	.258±.045	.276±.034	.089±.032	.303±.013	.089-.304	.297±.011
R13	NS	NS	NS	.257±.048	.167±.058	.220±.037	.089±.033	.373±.013	.089-.373	.315±.011
R14	NS	NS	NS	1.030±.082	.533±.051	.672±.043	.784±.062	.405±.014	.405-1.030	.465±.012
(น้ำใต้ดิน)										-.027±.019

ตารางที่ 3 ปริมาณเรเดียม -226 ในน้ำผิวดินและน้ำฝน

สถานี	ปริมาณเรเดียม -226 (เบคเคอเรลต่อลิตร)						ค่าเฉลี่ยตลอดการ ทดลอง
	ค่าเฉลี่ยตลอดปี					ช่วง	
	2534	2535	2536	2537	2538		
R1	1.82±.63	1.02±.53	1.22±.37	.280±.116	.251±.064	.299±.055	.251-1.82
R2	1.67±.62	.78±.25	1.15±.36	.548±.164	.420±.062	.480±.056	.420-1.67
R3	2.09±.65	1.02±.27	1.55±.38	.287±.117	.472±.066	.486±.052	.287-2.09
R4	2.43±.67	1.41±.30	2.05±.41	.418±.124	.554±.069	.601±.058	.418-2.43
R5	1.41±.61	1.07±.20	1.06±.36	.312±.118	.482±.059	.506±.050	.312-1.41
R6	1.62±.62	1.26±.21	1.10±.36	.258±.115	.781±.074	.698±.059	.258-1.62
R7	1.59±.61	1.12±.20	1.10±.36	.283±.117	.498±.077	.525±.060	.283-1.59
R8	1.22±.59	1.45±.22	.885±.351	.550±.159	1.07±.085	1.00±.069	.550-1.45
R9	1.83±.63	1.07±.20	1.69±.43	2.05±.27	.861±.078	.996±.069	.861-1.83
R10	1.70±.62	1.31±.21	.971±.308	.484±.138	.979±.082	.909±.065	.484-1.70
R11(น้ำฝน)	1.15±.59	1.26±.21	1.42±.34	.960±.221	.891±.082	.965±.070	.891-1.42
R12	1.71±.62	1.55±.23	1.52±.42	1.88±.26	.904±.081	1.67±.154	.904-1.88
R13	5.86±.86	1.79±.24	1.75±.42	2.08±.27	.843±.084	1.06±.075	.843-5.86
R14	1.22±.59	.97±.19	3.23±.50	.113±.098	.371±.067	.349±.052	.371-3.23

ตารางที่ 4 ปริมาณยูเรเนียมในน้ำผิวดินและน้ำฝน

สถานี	ปริมาณยูเรเนียม (เบคเคอเรลต่อลิตร)			
	ค่าเฉลี่ยตลอดปี		ช่วง	ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง
	2534	2536		
R1	44.54±10.69	47.03±9.41	44.5-47.0	45.94±7.06
R2	49.88±12.47	37.62±9.41	37.6-49.9	40.07±7.51
R3	40.97±12.47	71.72±11.76	41.01-71.7	57.25±8.56
R4	48.10±12.47	14.11±7.06	14.1-48.1	22.35±6.14
R5	28.50±10.69	48.21±9.41	28.5-48.2	39.61±7.06
R6	26.72±12.47	≤9.108	≤9.1-26.7	26.72±12.47
R7	46.32±12.47	36.45±9.41	36.4-46.3	40.03±7.51
R8	33.85±10.69	16.46±8.23	16.5-33.8	22.93±6.52
R9	≤11.817	≤9.108	≤11.8-<9.1	<11.817
R10	23.16±10.69	22.34±8.23	22.3-23.1	22.64±6.52
R11(น้ำฝน)	21.38±10.69	≤9.108	≤9.1-21.4	21.38±10.69
R12	19.60±10.69	17.64±8.23	17.6-19.6	18.37±6.52
R13	33.85±10.69	37.63±9.41	33.8-37.6	35.98±7.06
R14	213.8±21.28	90.54±11.76	90.54-213.8	119.4±10.29

ตารางที่ 5 ปริมาณไตรเทียมในน้ำผิวดินและน้ำฝน

สถานี	ปริมาณไตรเทียม (เบคเคอเรลต่อลิตร)	
	ค่าเฉลี่ยตลอดปี	ช่วง
	2538	
R1	20.14±.29	9.97-31.00
R2	17.61±.29	1.08-30.67
R3	19.18±.29	.58-31.85
R4	18.00±.29	1.27-27.14
R5	18.27±.29	8.15-29.17
R6	19.54±.29	4.83-30.67
R7	19.18±.29	1.07-34.43
R8	19.45±.29	5.99-31.53
R9	20.63±.30	1.15-35.18
R10	18.40±.29	.81-31.64
R11 (น้ำฝน)	20.49±.29	2.88-35.72
R12	22.87±.31	3.45-31.32
R13	17.56±.29	2.68-30.35
R14	19.26±.29	0.12-27.03

ตารางที่ 6 คุณสมบัติน้ำเค็ม-กายภาพของน้ำผิวดินและน้ำฝนโดยรอบโครงการ (2531 - 2538)

สถานี	Temperature °C	pH	Hardness ppm as CaCO ₃	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l
R1	25.3 (20-28)	5.4 (3.0-8.5)	424 (121-1214)	228 (89-367)	NA	10.9 (9.7-12.1)	156
R2	25.3 (20-28)	5.3 (2.9-8.5)	362 (141-719)	178.5 (178-179)	NA	12.1 (7-17.3)	109
R3	25.3 (20-28)	5.2 (2.9-8.5)	388 (159-747)	110 (67-153)	4.3	8.0 (5.2-10.8)	101
R4	25.3 (20-28)	5.2 (3.0-8.5)	482 (225-1305)	145.5 (144-147)	NA	9.05 (5.7-12.4)	100
R5	25.3 (20-28)	5.2 (3.0-8.4)	598 (199-1312)	220 (67-373)	NA	10.65 (7.5-13.8)	166
R6	25.3 (20-28)	5.5 (2.9-8.6)	406 (141-648)	166 (132-200)	NA	12.55 (5.7-19.4)	82
R7	25.3 (20-28)	6.3 (3.3-8.5)	475 (195-776)	118 (25-211)	NA	28.15 (4.6-51.7)	53
R8	25.3 (20-28)	7.6 (5.5-8.4)	123 (48-215)	24.5 (24-25)	14	2.0 (1.2-2.8)	20
R9	25.8 (20-28)	7.4 (5.4-8.4)	115 (49-296)	27 (27-27)	13	2.0 (1.0-3.0)	23
R10	25.8 (20-28)	7.6 (6.6-8.4)	104 (44-247)	26.5 (26-27)	14	2.35 (1.9-2.8)	21
R11(น้ำฝน)	25.8 (20-28)	7.7 (7.0-8.8)	43 (20-78)	50 (21-78)	NA	NA	NA
R12	28 (28-28)	7.8 (7.2-8.3)	91 (57-128)	NA	NA	NA	NA
R13	28 (28-28)	8.0 (7.4-8.4)	89 (58-128)	NA	NA	NA	NA
R14	28 (28-28)	7.6 (6.0-8.45)	729 (413-1007)	NA	NA	NA	NA

ตารางที่ 7 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่งพืช, สัตว์, ดินและตะกอนโดยรอบโครงการ (2531 - 2538)

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย (เบคเคอเรลต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด)						
	กัมมันตรังสีรวมแอลฟา	กัมมันตรังสีรวมเบตา	สทธรอนเทียม-90	ซีเซียม - 137	เรเดียม-226	ยูเรเนียม-238	โปแตสเซียม-40
ดิน	NA	NA	NA	≤ 0.8 (2)	NA	14.56±1.37(2)	NA
ดินตะกอน	8.45±0.40(3)	0.74±0.10(3)	NA	≤ 0.8(3)	NA	12.22±0.55(3)	NA
ปลาช่อน	8.50±0.71(1)	50.76±0.29(1)	≤0.2(1)	≤ 0.1(1)	0.55±0.05(1)	NA	NA
ปลาดุก	7.47±0.53(1)	54.56±0.54(1)	≤0.2(1)	≤ 0.1(1)	0.55±0.05(1)	NA	NA
ผักบุ้ง	5.37±0.54(1)	30.66±0.27(1)	0.41±0.11(2)	0.35±0.05(7)	0.21±0.01(7)	NA	NA
กล้วยน้ำว้า	5.57±0.79(1)	121.0±0.70(1)	≤ 0.03(1)	≤ 0.01(1)	NA	NA	4160±95(1)
กล้วยหอม	5.95±0.74(1)	114.0±100(1)	≤ 0.03(1)	≤ 0.01(1)	NA	NA	4570±100(1)
มะละกอ	6.04±0.61(1)	54.69±0.38	NA	NA	NA	NA	NA