



รายงานประจำปีงบประมาณ 2547

โครงการวิจัยร่วมภาครัฐกับเอกชน

การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ
ในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้และกากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง
แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และ กากจากการบำบัดน้ำประปา

Determination of Natural Radionuclides Contained in Products,
By-products and Waste Produced by Fuel Mineral, Industrial Mineral, Heavy
Mineral Industries and Tap Water Treatment Facility

โครงการต่อเนื่อง ระยะที่ 2

เสนอต่อ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วยปฏิบัติการวิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยีประยุกต์

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมษายน 2548

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานประจำปี ของ โครงการ “การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และกากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และกากจากการบำบัดน้ำประปา” สำหรับปีงบประมาณ 2547 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ (NORM) ที่มีอยู่ใน ผลิตภัณฑ์ /ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากที่ได้จากกระบวนการในอุตสาหกรรมอย่างเป็นระบบและเป็นรูปธรรม ทั้งนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมในแง่ของความปลอดภัย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการออกข้อกำหนดด้านความปลอดภัย จากรังสี

การศึกษาในช่วงระยะเวลา 1 ปีที่ผ่านมา มีผลการศึกษาดังนี้

1. การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในเครื่องมือ และกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมของบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) ในพื้นที่เป้าหมายที่ แหล่งผลิตน้ำมันบนบก

การวัดรังสีและการเก็บตัวอย่างทั้งหมดจากพื้นที่เดียวกัน ได้ทำซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อดูความแปรปรวนเนื่องจากฤดูกาลและกิจกรรม การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากผิวดินแบบเดินสำรวจและการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา โดยตรงจากอุปกรณ์/เครื่องจักร พบว่าในทุกพื้นที่การผลิตที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดได้นอกพื้นที่การผลิตของแต่ละพื้นที่ และค่าที่วัดได้ในแต่ละพื้นที่การผลิตยังคงต่ำกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีที่ทางคณะสำรวจกำหนดไว้ให้เป็น Action Level คือ 50 $\mu\text{R}/\text{Hr}$ นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวิเคราะห์นิวไคลด์ที่ปลดปล่อยรังสีแกมมาในบางจุดที่เหมาะสม โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงที่มีความสามารถในการแยกพลังงานดีเยี่ยม ซึ่งก็พบว่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ตรวจวัดได้มีค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาต่ำกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาที่วัดได้นอกพื้นที่การผลิตมาก จึงอาจกล่าวได้ว่าบริเวณผิวดิน และอุปกรณ์ / เครื่องจักร ของแต่ละพื้นที่การผลิตนั้นมิได้อยู่ในเกณฑ์ที่มีการสะสมของ NORM

สำหรับปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพของ NORM ในตัวอย่างดิน, น้ำ และกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในเกือบทุกตัวอย่างมีปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพของ NORM อยู่ในช่วงเดียวกับปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพตามธรรมชาติที่พบอยู่ในดินทั่วไป ยกเว้น produced water ซึ่งเป็นน้ำจากกระบวนการผลิตนั้นมีปริมาณเรเดียม-226 สูงกว่าเกณฑ์ 5 pCi/L แต่ produced water ดังกล่าวไม่ได้ถูกปล่อยทิ้งออกสู่สาธารณะ แต่อัดกลับลงไปไหลลงน้ำในแท่งที่เลิกใช้แล้ว จึงไม่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม

2. การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในกากจากการผลิตน้ำประปา

สำหรับการหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ในกากจากการผลิตน้ำประปານี้ ยังดำเนินการไม่เสร็จสิ้น โดยจะมีการเก็บตัวอย่างหลายตัวอย่างจากสำนักงานประปาในภูมิภาคแล้วทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลการวิเคราะห์จะรวบรวมไว้ในรายงานครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามได้ทำการเก็บและเตรียมตัวอย่างกากตะกอนบางตัวอย่างไว้แล้ว โดยจะได้ทำการวิเคราะห์เมื่อเกิดการสมดุลทางกัมมันตรังสี

3. การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติจากอุตสาหกรรมแร่หนัก

การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติจากอุตสาหกรรมแร่หนักในปีงบประมาณ 2547 มีภาคเอกชนสนใจที่จะเข้าร่วมโครงการ 2 บริษัท คือ บริษัทผลิตแร่เซอร์คอน และบริษัทผลิตแร่แทนทาลัม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เรเดียม-226 และเรเดียม-228 ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่า ตัวอย่างวัตถุพิบของอุตสาหกรรมผลิตแร่เซอร์คอนมีปริมาณเรเดียม-228 (227.71 ± 7.16 pCi/g) สูงกว่า เรเดียม-226 (67.08 ± 2.56 pCi/g) มาก และผลการวิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์พบว่าเรเดียม-228 ในแหล่งแร่วัตถุพิบถูกสกัดไปอยู่ใน Monazite และ Leucoxene มากกว่าเรเดียม-226 ซึ่งถูกสกัดไปสะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ Rutile, Zircon และ Tailing

สำหรับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนของบริษัทผลิตแร่แทนทาลัม พบว่า ในตัวอย่างตะกอนนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-228 และเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 2380.32-9093.85 pCi/g และ 5262.49-188897.29 pCi/g ตามลำดับ

ABSTRACT

This report is the annual report of the project on "Determination of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Products, By-Products and Wastes from Petroleum, Mineral and Heavy Mineral Industry and Waste from Waterworks Authority". The objective for the year 2004 is to systematically and objectively study NORM in products, by-products and wastes from industrial processes for the benefits of industrial sector in safety and product quality aspects. In addition, the baseline data will be useful to the competence authority in issuing a code of practice for radiation safety control.

The studies during the past year are as follows:

1. Determination of NORM in equipment and waste from petroleum industry targeting at the inland oil fields of the PTT Exploration and Production PCL.

All measurements were conducted 3 times in the same areas in order to take into account seasonal and activity variations. The average gamma-ray dose rate obtained from walk-over ground surveys and directly from the equipment/machines in all production areas were found to be less than the dose rate in the surrounding areas and below the Action Level (50 $\mu\text{Sv/hr}$). In addition, gamma-ray emitting radionuclides were analyzed using a high resolution portable HPGe detector at appropriate spots in the areas. It was found that the gamma-ray dose rates from all detectable radionuclides in all production areas were much less than those obtained in the surrounding areas. It can be concluded that the ground, the equipment and the machines in all production areas are not contaminated by NORM at significant or elevated level.

The laboratory analysis results of NORM in soil, water and waste samples from the petroleum production areas were found to be in the natural background levels except the produced water which contained ^{226}Ra above the allowable level 5 pCi/L. However, the produced water was never released to the environment but it was pumped back into the ground at an abandoned oil field to avoid environmental contamination.

2. Determination of NORM in waste from Waterworks Authority

Determination of NORM in waste from Waterworks Authority has not been completed. Several samples from the Provincial Waterworks Authority will be collected and analyzed. The results will be included in the next report. However, some sediment samples have already been collected and prepared. The analysis will be soon conducted when the radioactive equilibrium is attained.

3. Determination of NORM in waste from heavy mineral industry

For the year 2004, there were 2 companies interested in joining the Project i.e. zircon ore and tantalum ore production companies. ^{226}Ra and ^{228}Ra were analyzed using gamma-ray spectrometry and it was found that ^{228}Ra (227.71 ± 7.16 pCi/g) was much higher than ^{226}Ra (67.08 ± 2.56 pCi/g) for the raw materials from zircon ore production. The results were also indicated that ^{228}Ra from the raw materials was extracted to be in Monazite and Leucoxene more than ^{226}Ra which was accumulated in Rutile, Zircon and Tailing products.

For the samples from the tantalum ore company, ^{228}Ra and ^{226}Ra were found to be in the range of 2380.32 – 9093.85 pCi/g and 5262.49 – 188897.29 pCi/g respectively.

คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็น รายงานประจำปี สำหรับโครงการวิจัยร่วมภาครัฐกับเอกชนสำหรับงบประมาณ 2547 ซึ่งเป็นโครงการต่อเนื่องระยะที่ 2 เรื่อง "การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และ กากจากการบำบัดน้ำประปา" ซึ่งได้รับงบประมาณหมวดอุดหนุนจากภาครัฐ จำนวน 2,113,000.- บาท คณะวิจัยได้ทำสัญญารับทุนวิจัยกับมหาวิทยาลัยเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2547 เนื้อหาของรายงานฉบับนี้ประกอบด้วยบทต่าง ๆ รวม 5 บท ดังนี้

- บทที่ 1 บทนำ ความเป็นมาของโครงการ วัตถุประสงค์ ขอบข่ายของการศึกษา แผนการดำเนินงาน และ ประโยชน์ที่ได้รับ
- บทที่ 2 เป็นรายงานสรุปผลการดำเนินงานระยะที่ 2 ของโครงการย่อยที่ 1 เรื่อง การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในเครื่องมือและกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งมีบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) ได้เข้าร่วมโครงการ โดยมีระยะเวลาดำเนินโครงการ 2 ปี (ม.ค.2546 - ม.ค.2548) โดยในการนี้ บริษัท ปตท. สผ. จำกัด(มหาชน) ได้สนับสนุนงบประมาณวิจัยกับโครงการเป็นจำนวน 250,000.- บาท/ปี และให้ความอนุเคราะห์อื่นๆ (in-kind cost) คิดเป็นมูลค่าประมาณ 350,000.- บาท/ปี
- บทที่ 3 เป็นรายงานสรุปผลเกี่ยวกับการดำเนินการหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในกากจากการผลิตน้ำประปา (โครงการย่อยที่ 2)
- บทที่ 4 เป็นรายงานสรุปผลเกี่ยวกับการดำเนินการหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในอุตสาหกรรมแร่หนัก (โครงการย่อยที่ 3)
- บทที่ 5 ประกอบด้วย สรุปรายงานประจำปี คำชี้แจงเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรค

ภาคผนวก ประกอบด้วย

- ภาคผนวก ก การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ANALYSIS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN NORM AND ENVIRONMENTAL MATERIALS
- ภาคผนวก ข NORM ในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ
- ภาคผนวก ค การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีของ TLD และ ความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน
- ภาคผนวก ง ความรู้ทางรังสี และเกณฑ์กำหนดความปลอดภัย
- ภาคผนวก จ สำนักงานประปา เขตจำหน่ายน้ำ แหล่งน้ำดิบ กำลังผลิต

คณะผู้วิจัย

¹ ชื่อโครงการวิจัยได้แก้ไขจากเดิมที่ใช้ในปีงบประมาณ 2546 ทั้งนี้เพื่อให้มีความชัดเจน ชื่อเดิม "การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากที่ได้จากอุตสาหกรรมเคมี (Study of Natural Radionuclides Contained in Products, By-products and Waste Produced by Chemical Industry)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
คำนำ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญรูป.....	ix
บทที่	
1 บทนำ.....	1-1
1.1 ชื่อโครงการวิจัย.....	1-1
1.2 รายชื่อคณะผู้วิจัย.....	1-1
1.3 หน่วยงานที่รับผิดชอบ.....	1-2
1.4 งบประมาณ.....	1-2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินการของโครงการ.....	1-2
1.6 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1-2
1.7 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1-4
1.8 ระเบียบวิธีวิจัย.....	1-4
1.9 ขอบข่ายการศึกษา.....	1-4
1.10 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	1-5
1.11 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	1-6
2 การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในเครื่องมือ และกากจากอุตสาหกรรม ปิโตรเลียม (โครงการย่อยที่ 1 ระยะที่ 2).....	2-1
2.1 พื้นที่เป้าหมายการวิจัย.....	2-1
2.1.1 พื้นที่เป้าหมายที่ 1.....	2-1
2.1.1.1 พื้นที่ UT1-7.....	2-1
2.1.1.2 พื้นที่ UT1-3.....	2-1
2.1.1.3 พื้นที่ SKJ1-1.....	2-1
2.1.1.4 พื้นที่ KS1-1.....	2-1
2.1.2 พื้นที่เป้าหมายที่ 2.....	2-1
2.1.3 พื้นที่เป้าหมายที่ 3.....	2-1
2.2 การสำรวจภาคสนามของพื้นที่เป้าหมายที่ 1.....	2-2
2.2.1 การสำรวจรังสีในพื้นที่ในการผลิต.....	2-2
2.2.2 การเก็บตัวอย่าง.....	2-2

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3 ผลการตรวจวัดรังสีในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 อย่างละเอียด.....	2-8
2.3.1 ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากผิวดินแบบเดินสำรวจ.....	2-8
2.3.2 ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีแบบ ณ พื้นที่ (in situ).....	2-15
2.3.2.1 ผลการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี ณ พื้นที่ ในพื้นที่การผลิต.....	2-17
2.3.2.2 ผลการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี ณ พื้นที่ นอกพื้นที่การผลิต.....	2-17
2.3.3 ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากอุปกรณ์/เครื่องจักรในกระบวนการผลิต และกองท่อที่ใช้งานแล้วของพื้นที่เป้าหมายที่ 1.....	2-18
2.4 การเก็บตัวอย่าง.....	2-22
2.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรังสีในตัวอย่าง.....	2-22
2.6 การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากสิ่งแวดล้อม.....	2-30
2.6.1 ติดตั้งอุปกรณ์ TLD.....	2-30
2.6.2 ผลการวิเคราะห์การวัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อมด้วย TLD.....	2-30
2.6.3 ติดตั้งอุปกรณ์ Track-Etch Film.....	2-33
3 กัมมันตรังสีตามธรรมชาติในกากจากการผลิตน้ำประปา.....	3-1
3.1 ที่มาของการวิจัย.....	3-1
3.2 วิธีการผลิตน้ำประปา.....	3-2
3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	3-4
3.4 การเก็บตัวอย่างกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปา ตัวอย่างน้ำและเทคนิคการวิเคราะห์.....	3-4
3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำดิบและน้ำประปา.....	3-4
3.4.2 ตัวอย่างน้ำดิบและน้ำประปา.....	3-5
4 ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติจากอุตสาหกรรมแร่หนัก.....	4-1
4.1 อุตสาหกรรมผลิตแร่เซอร์คอน.....	4-1
4.2 อุตสาหกรรมผลิตแร่แทนทาลัม.....	4-2
5 สรุปรายงานประจำปี.....	5-1
5.1 รายนามภาครัฐและเอกชนที่เข้าร่วมโครงการ ปีงบประมาณ 2546-2547.....	5-1
5.2 กิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย.....	5-2
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	5-2
5.4 แผนการดำเนินงานต่อไป.....	5-2
เอกสารอ้างอิง.....	A-1

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ.....	ก-1
ภาคผนวก ข NORM ในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ.....	ข-1
ภาคผนวก ค การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีของ TLD และ ความเข้มข้นเรดอน จากสารเรเดียมมาตรฐานNORM ในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ.....	ค-1
ภาคผนวก ง ความรู้ทางรังสี และเกณฑ์กำหนดความปลอดภัย.....	ง-1
ภาคผนวก จ รายนามสำนักงานประปา เขตจำหน่ายน้ำ แหล่งน้ำดิบ กำลังผลิต.....	จ-1
ภาคผนวก ฉ บันทึกข้อความจากหน่วยงานที่ทางโครงการขอความร่วมมือ.....	ฉ-1

สารบัญญัตินี้

ตารางที่	หน้า
1.1 ความเข้มข้นรังสีของ NORM ในผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยได้และกากที่พบ ในอุตสาหกรรม ต่าง ๆ.....	1-5
1.2 เปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว.....	1-8
2.1 ข้อมูลสำคัญจากการสำรวจเบื้องต้นของพื้นที่เป้าหมายที่ 1.....	2-3
2.2 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1.....	2-4
2.3 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 2.....	2-6
2.4 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 3.....	2-7
2.5 ปริมาณรังสีสูงสุด ปริมาณรังสีเฉลี่ย ตำแหน่ง และปริมาณรังสีเฉลี่ย ในและนอก ของแต่ละพื้นที่การผลิต.....	2-9
2.6 ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ในการสำรวจภาคสนามของพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-16
2.7 อัตราปริมาณรังสีสูงสุดที่ตรวจพบตามอุปกรณ์ต่าง ๆ ของแต่ละพื้นที่.....	2-22
2.8 ความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ในตัวอย่างดินนอกและ ในพื้นที่เป้าหมายที่ 1.....	2-23
2.9 Radium Concentration in Oil-field brines in Kansas, Oklahoma, Arkansas, Louisiana, Russia and Germany.....	2-28
2.10 Concentration of Naturally Occurring Radionuclides in Groundwater and Surface water.....	2-29
3.1 ตัวอย่างน้ำดิบ น้ำประปา กากตะกอน แหล่งน้ำดิบ และเทคนิคการวิเคราะห์.....	3-6
4.1 ความเข้มข้นรังสีของเรเดียม-226 และเรเดียม-228, ค่าอัตราปริมาณรังสีที่ระยะสัมผัส และ 1 เมตร ในตัวอย่างของบริษัทที่ 1.....	4-2
4.2 ความเข้มข้นของ TENORM ที่พบในอุตสาหกรรมแร่หนัก.....	4-2
4.3 ความเข้มข้นรังสีของเรเดียม-226 และเรเดียม-228, ค่าอัตราปริมาณรังสีที่ระยะสัมผัส และ 1 เมตร ในตัวอย่างของบริษัทที่ 2.....	4-3
5.1 รายงานภาครัฐและเอกชนที่เข้าร่วมโครงการระหว่างปีงบประมาณ 2546-2547.....	5-1
ข-1 Activity concentration (Bq/g) of ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{210}Pb in Solid samples Taken from Equipment during Shut Down.....	ข-4
ข-2 Activity concentration (Bq/g) of ^{226}Ra , ^{228}Ra in Produced Water and Amount of Water per Day of Samples Taken During Operation of North Sea Oil Field.....	ข-4
ข-3 Radon concentrations in natural gas (NG) and natural gas liquids (NGL) in in various countries.....	ข-5

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

ข-4	Summary of Existing Oil and Gas Producing States NORM Regulations and Guidelines.....	ข-6
ข-5	จำนวนตัวอย่างดินและน้ำที่เก็บจากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 อย่างละเอียด.....	ข-10
ข-6	ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจพื้นที่การผลิต UT1-7 ครั้งที่ 1, 2 และ 3.....	ข-11
ข-7	ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจพื้นที่การผลิต UT1-3 ครั้งที่ 1, 2 และ 3.....	ข-12
ข-8	ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจพื้นที่การผลิต SKJ1-1 ครั้งที่ 1, 2 และ 3.....	ข-13
ข-9	ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจพื้นที่การผลิต KS1-1 ครั้งที่ 1, 2 และ 3.....	ข-14
ข-10	ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ UT1-3.....	ข-15
ข-11	ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ UT1-7.....	ข-16
ข-12	ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ SKJ1-1.....	ข-17
ข-13	ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ KS1-1.....	ข-18
ค-1	ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการอาบ TLD กับค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ยที่วัดได้จาก TLD	ค-2
ค-2	ผลการปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่ปลดปล่อย (Fading) ในแต่ละช่วงระยะเวลาที่ทำการวัด.....	ค-3
ค-3	ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน.....	ค-7
ง-1	หน่วยวัดทางรังสี.....	ง-1
ง-2	Dose Limits สำหรับบุคคลที่ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสี และประชาชนทั่วไป	ง-3
ง-3	Guideline to control Radon concentration in working place and school.....	ง-3
ง-4	เกณฑ์กำหนดการปนเปื้อนของรังสีในน้ำดื่ม.....	ง-4
ง-5	Concentrations of Naturally Occurring Radionuclides in Soil, Rocks, Sediments, Groundwater and Surface Water.....	ง-5
ง-6	ความเข้มข้นจำเพาะของ NORM ที่พบในวัสดุต่าง ๆ.....	ง-6
ง-7	ความเข้มข้นของ TENORM ที่พบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ.....	ง-7
จ-1	รายนามสำนักงานประปา และแหล่งน้ำดิบ	จ-1
จ-2	ปริมาณความเข้มข้นรังสีของ ²²⁶ Ra ในแหล่งน้ำต่าง ๆ ในประเทศไทย.....	จ-7

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่	
2.1 อัตราปริมาณรังสีแกมมาสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย และ background จากการวัดด้วยการเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ของพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-8
2.2 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ UT1-7.....	2-11
2.3 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ UT1-3.....	2-12
2.4 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ SKJ1-1.....	2-13
2.5 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ KSI-1.....	2-14
2.6 อัตราปริมาณรังสีแกมมาจากการวัด ณ พื้นที่ (In Situ) ในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 และนอกพื้นที่เป้าหมายทั้ง 3 ครั้ง.....	2-15
2.7 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ well head จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-18
2.8 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูง ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Oil storage tank จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-19
2.9 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูง ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Produced Water จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-19
2.10 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูง ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Tank และ Dehydration จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-20
2.11 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูง ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Heater จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-20
2.12 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูง ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Manifold จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง.....	2-21
2.13 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งน้ำของพื้นที่ UT1-7.....	2-24
2.14 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งน้ำของพื้นที่ UT1-3.....	2-25
2.15 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งน้ำของพื้นที่ SKJ1-1.....	2-26
2.16 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งน้ำของพื้นที่ KSI-1.....	2-27
2.17 ระดับปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมจากการตรวจวัดด้วย TLD ในช่วง 12 เดือนในแต่ละพื้นที่การผลิต.....	2-31
2.18 ปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมจากการตรวจวัดด้วย TLD ในแต่ละตำแหน่งในแต่ละพื้นที่การผลิต.....	2-32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.19 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละพื้นที่การผลิต.....	2-34
2.20 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในแต่ละตำแหน่งของแต่ละพื้นที่การผลิต.....	2-35
3.1 ขั้นตอนการผลิตและบำบัดน้ำประปานครสวรรค์.....	3-3
3.2 ขั้นตอนการผลิตและบำบัดน้ำประปาของสำนักงานประปาอุตรธานีและหนองคาย.....	3-3
3.3 อุปกรณ์วัดก๊าซเรดอนในน้ำ.....	3-5
ข-1 U-238 และ Th-238 decay series.....	ข-2
ข-2 Oil and gas equipment.....	ข-3
ข-3 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมาย UT1-7, UT1-3 และ SKJ1-1.....	ข-7
ข-4 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมาย KS1-1.....	ข-8
ข-5 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมาย Songkhla Logistics Base.....	ข-8
ข-6 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมายที่ 1 (PTTEP1) และพื้นที่เป้าหมายที่ 3 (Bongkot oil Field).....	ข-9
ค-1 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการอาบ TLD กับค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ยที่วัดได้จาก TLD.....	ค-2
ค-2 กราฟแสดงผลการปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่ปลดปล่อย (fading) ในแต่ละช่วงระยะเวลา เวลาที่ทำการวัด.....	ค-4
ค-3 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการจัดวางอุปกรณ์.....	ค-5
ค-4 (ก) แสดงลักษณะของบีม และต้นกำเนิดก๊าซเรดอน ที่ใช้ในการทดลอง..... (ข) แสดงลักษณะของ ATMOS 12 DPX ionization chamber detector ที่ใช้ในการทดลอง.....	ค-5
ค-5 แผนภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์ สำหรับการวัดค่า Background.....	ค-5
ค-6 แผนภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจาก สารเรเดียมมาตรฐาน.....	ค-6
ค-7 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน.....	ค-7

บทที่ 1
รายงานประจำปี
โครงการวิจัยวิจัยร่วมภาครัฐกับเอกชน
งบประมาณประจำปี 2547 โครงการต่อเนื่องระยะที่ 2

1.1 ชื่อโครงการวิจัย

การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และ กากจากการบำบัดน้ำประปา¹
 Determination of Natural Radionuclides Contained in Products, By-products and Waste Produced by Fuel Mineral, Industrial Mineral, Heavy Mineral Industries and Tap Water Treatment Facilities

1.2 รายชื่อคณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย	หน่วยงานที่สังกัด	โทรศัพท์	โทรสาร	E-mail
หัวหน้าโครงการ : รศ.ดร. สุพิชชา จันทร์โยธา	ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	02-2186-777	02-2186-780	supitcha.c@chula.ac.th
รองหัวหน้าโครงการ : รศ.นเรศร์ จันทร์ขาว	ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	02-2186-779	02-2186-780	nares@chula.com
ที่ปรึกษาโครงการ : นางพรศรี ครอบบัวบาน	กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน	02-202-3694	02-202-3637	pornsi@dmf.go.th
ผู้วิจัย : 1. นางสาวชุติมา กรานรอด 2. นางสาวรวิวรรณ กฤษณานุกัตร์ 3. นางสาวชมพูนุช หาญนนทวิวัฒน์ 4. นางสาวอรวรรณ ตระกานาถ	ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	02-218-6784	02-218-6780	norm_lab@yahoo.com
ผู้ช่วยวิจัย : 1. นางสาวนันทนิช จิตต์ธรรม 2. นางสาวภาวินี วิสัยแสง 3. นางสาวทิพย์ลดา พิทยศาสตร์วัตกุล 4. นางสาวศิริธร บุราณุรักษ์ 5. นายพงษ์ยุทธ ศรีพลอย	ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	02-218-6784	02-218-6780	norm_lab@yahoo.com

¹ ชื่อโครงการวิจัยได้แก้ไขจากเดิมที่ใช้ในปีงบประมาณ 2546 ทั้งนี้เพื่อให้มีความชัดเจน
 ชื่อเดิม “การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากที่ได้จากอุตสาหกรรมเคมี (Study of Natural Radionuclides Contained in Products, By-products and Waste Produced by Chemical Industry)”

1.3 หน่วยงานที่รับผิดชอบ

หน่วยงานที่รับผิดชอบหลัก: หน่วยปฏิบัติการวิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยีประยุกต์ในงานอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการนี้มีความร่วมมือกับ

- สำนักงาน ปริมาณเพื่อสันติ
- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน
- กองรังสีและเครื่องมือทางการแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
- อุตสาหกรรมปิโตรเลียม : บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน)
- บริษัทเกี่ยวกับอุตสาหกรรมแร่หนัก
- การประสานภูมิภาค
- การประสานครหลวง

1.4 งบประมาณ

ได้รับอนุมัติจัดสรรงบประมาณประจำปี 2547 ดังนี้

งบลงทุน(ครุภัณฑ์)	400,000	บาท
งบดำเนินการ	1,713,000	บาท
รวม	<u>2,113,000</u>	บาท

1.5 ระยะเวลาการดำเนินการของโครงการ

ระยะเวลาดำเนินการ 3 ปีงบประมาณ เริ่มจากปีงบประมาณ 2546 ถึง ปีงบประมาณ 2548 โดยปีงบประมาณ 2546 ได้ทำสัญญารับทุนกับมหาวิทยาลัยเมื่อ 23 มกราคม 2546 และ สำหรับปีงบประมาณ 2547 ได้ทำสัญญารับทุนวิจัยกับมหาวิทยาลัยเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2547

เนื่องจากงบประมาณแผ่นดินที่ได้รับอยู่ในหมวดทุนอุดหนุนการวิจัย ดังนั้น ในแต่ละปีงบประมาณที่ได้รับสามารถดำเนินงานวิจัยต่อเนื่องได้ 2 ปี โดยต้องทำการขอเงินเหลือมปีงบประมาณไว้

1.6 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

โครงการ "การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และ กากจากการบำบัดน้ำประปา มีที่มาของปัญหา ดังนี้

ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ (Naturally Occurring Radioactive Materials, NORM) เป็นสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดโลกและปะปนอยู่ในส่วนประกอบของเปลือกโลกในปริมาณน้อยแต่ในระดับที่สามารถตรวจวัดได้ มี NORM มากกว่า 60 ชนิด ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ NORM ที่สำคัญ คือ ธาตุยูเรเนียมและทอเรียมซึ่งสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีเป็นอนุกรมต่อเนื่องประมาณธาตุละ 10 กว่าชนิด ดังนั้น ในสิ่งแวดล้อมจึงมี NORM ปะปนอยู่ทั่วไปไม่ว่าจะเป็น ดิน น้ำ อากาศ พืช สัตว์ ในอาคารบ้านเรือนที่ก่อสร้างจากวัสดุธรรมชาติ และ แม้แต่ในตัวมนุษย์เอง การดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์จึงได้รับรังสีจากธรรมชาติใน

ระดับหนึ่งจัดเป็นระดับรังสีพื้นฐาน (background radiation) ซึ่งปริมาณรังสีที่ได้รับนี้จะไม่มีผลทางรังสีต่อร่างกายของมนุษย์ โดยรังสีที่มนุษย์จะได้รับมากที่สุดมาจากก๊าซเรดอน-222 (^{222}Rn) ซึ่งเป็นธาตุหนึ่ง (อันดับที่ 7) ในอนุกรมการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม-238

ในสินแร่ (Ore) หรือ วัตถุดิบบางชนิด (raw material) บางชนิดที่ถูกสกัดจากเปลือกโลกมาใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมี NORM ปนอยู่ในปริมาณที่สูงทั้งนี้เพราะ NORM บางตัวมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกับหรือคล้ายกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบนั้น ๆ สินแร่เหล่านี้ ได้แก่

- แร่หินอุตสาหกรรม เช่น แร่ยิปซัม, แร่ฟอสเฟตที่ใช้ในการทำปุ๋ยและอาหารสัตว์ และ แร่โปแตส เป็นต้น
- แร่หนัก เช่น เซอร์โคเนียม ดีบุก ทองแดง เหล็ก เป็นต้น
- แร่เชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ลิกไนต์ ปิโตรเลียม (น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ) เป็นต้น
- กากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาดิบ

NORM ที่มีอยู่ในวัตถุดิบปกติทั่วไปและที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมเหล่านี้เมื่อก่อนนี้จะไม่ถูกควบคุมไว้ในข้อกำหนดด้านความปลอดภัยจากการใช้งานของวัสดุที่มีอันตรายทั้งในระดับชาติ และ นานาชาติ (ยกเว้นเหมืองยูเรเนียม) แต่จากการที่ อุตสาหกรรมเหล่านี้ต้องใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากยังผลให้ใน ผลิตภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ โดยเฉพาะในกากที่ได้จากกระบวนการผลิตที่วัสดุมีค่าได้ถูกสกัดออกไปมีความเข้มข้นของ NORM สูงขึ้นจากระดับเดิมที่มีอยู่ในวัตถุดิบเริ่มแรก NORM ที่ถูกทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเนื่องด้วย เทคนิคหรือกระบวนการใด ๆ ทางอุตสาหกรรม หรือจากกิจกรรมของมนุษย์ จะถูกเรียกว่า Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material หรือ TENORM ซึ่ง TENORM เหล่านี้ อาจมีความเข้มข้นสูงในระดับที่เสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนได้ ⁽¹⁾ ถ้าไม่มีการควบคุมหรือจัดตั้งอย่างถูกวิธี

มีรายงานการวิจัยในหลายประเทศเกี่ยวกับปัญหาการจัดการกากที่มี TENORM ปน เนื่องจากที่ผ่านมา กากเหล่านี้ได้ถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศ น้ำ หรือ กองทิ้งในที่กลางแจ้ง โดยไม่มีการควบคุม ดังนั้นในช่วงระยะ 10 ปีที่ผ่านมา หน่วยงานในหลายประเทศทั่วโลกทั้งภาครัฐที่มีความรับผิดชอบในการออกกฎระเบียบและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องกับ NORM/TENORM ได้ให้ความสนใจ และ ได้ร่วมทุนกันทำการศึกษาเกี่ยวกับ NORM และ TENORM⁽²⁻⁵⁾ ในขณะเดียวกัน ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) และ International Commission on Radiological Protection, ICRP ซึ่งมีหน้าที่ออกข้อกำหนดควบคุมและป้องกันอันตรายทางรังสีอยู่ในระหว่างการพิจารณาจัดทำเกณฑ์การควบคุมและป้องกันอันตรายทางรังสีใหม่โดยให้ครอบคลุมถึง NORM และ TENORM ที่อาจทำให้ประชาชนได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 1 mSv/ปี ตารางที่ 1.1 แสดงระดับความเข้มข้นของธาตุเรเดียมที่พบในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้และกากจากอุตสาหกรรมต่างๆ

เนื่องจากในประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับ NORM ที่มีอยู่ใน ผลิตภัณฑ์ /ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากที่ได้จากกระบวนการในอุตสาหกรรมข้างต้นอย่างเป็นระบบและเป็นรูปธรรม ดังนั้น ในปีงบประมาณ 2546 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีปัจจัยพื้นฐานและบุคลากรที่พร้อมในการตรวจวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม จึงได้เสนอโครงการวิจัยภายใต้โครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน โดยได้ครอบคลุมอุตสาหกรรม 4 แห่ง ที่มีการใช้วัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับ NORM ในประเทศ ซึ่งแก่ เชื้อเพลิงธรรมชาติ แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และ กากจากการบำบัดน้ำประปา ทั้งนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ ต่อภาคอุตสาหกรรม ในแง่ของความปลอดภัย และ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะ

ผลิตภัณฑ์ส่งออกบางชนิด ประเทศผู้นำเข้าได้กำหนดค่าจำกัดของความแรงรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติไว้ และสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการออกข้อกำหนดด้านความปลอดภัยจากรังสี โดยมีระยะเวลาของโครงการ 3 ปี (2546-2548) ดังนี้

1. แร่เชื้อเพลิง : ลิกไนต์ น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ (โครงการ ระยะที่ 1-2: 2546-2547)
2. กากที่ได้จากการบำบัดน้ำประปาดิบ (โครงการ ระยะที่ 2-3 : 2548)
3. แร่หนัก : ดีบุก และ เซอร์คอน (โครงการ ระยะที่ 2-3 : 2547-2548)
4. แร่หินอุตสาหกรรม : ฟอสเฟต ยิปซัม (โครงการ ระยะที่ 2-3: 2547-2548)

หมายเหตุ สำหรับการวิจัยเกี่ยวกับแร่เชื้อเพลิง (ลิกไนต์) ทางกรมไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ทำบันทึกข้อความ (ดังแสดงในภาคผนวก ข) แจ้งมาว่าระหว่างนี้ยังไม่พร้อมที่จะให้ความร่วมมือ

1.7 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษา ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นรังสี (Activity concentration) ของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่ปนเปื้อนใน ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และ กากจากแหล่งอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมในโครงการ
2. สนับสนุนแผนการจัดการด้านความปลอดภัย ชีวอนามัยของผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมของบริษัทที่เข้าร่วมโครงการ
3. เสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการให้กับหน่วยการศึกษารวมทั้งส่งเสริมให้มีความร่วมมือและสนับสนุนงานทางวิชาการระหว่างภาครัฐและเอกชน

1.8 ระเบียบวิธีวิจัย

เนื่องจากมีอุตสาหกรรมที่จะทำการศึกษา ทั้งหมด 4 กลุ่มด้วยกัน ดังนั้น ระเบียบวิธีวิจัยจึง แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. ติดต่อประสานงานกับภาคอุตสาหกรรม
2. จัดทำเอกสารคู่มือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. ตรวจสอบพื้นที่เบื้องต้น (Preliminary site survey)
4. วางแผนการวิเคราะห์และเก็บตัวอย่าง (Complete sampling and analysis plan)
5. ตรวจวัดรังสีและเก็บตัวอย่างในพื้นที่ (Detailed radiation site survey and collect samples)
6. เตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง (Sample preparation and analysis)
7. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปและเขียนรายงาน (Prepare final report)

1.9 ขอบข่ายการศึกษา

การวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นรังสีจำเพาะของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่ปนเปื้อนในตัวอย่างของ ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้และกากจากอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการเท่านั้น

ตารางที่ 1.1 ความเข้มข้นรังสีของ NORM ในผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยและกากที่พบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ⁽¹⁾

Product & Byproduct :	Radium Radiation Level [pCi/g]		
	low	average	High
Soils of the united States	0.2	NA	4.2
Geothermal Energy Waste Scales	10	132	254
Petroleum (oil and gas)			
Produced Water	0.1 pCi/L	NA	9,000 pCi/L
Pipe/Tank Scale	<0.25	<200	>100,000
Water Treatment			
Treatment Sludge	1.3 pCi/L	11 pCi/L	11,686 pCi/L
Treatment Plant Filters	NA	40,000	NA
Aluminum			
Ore (Bauxite)	4.4	NA	7.4
Product		0.23	
Production Wastes	NA	3.9-5.6	NA
Coal and Coal Ash			
Bottom Ash	1.6	3.5-4.6	7.7
Fly Ash	2	5.8	9.7
Copper Waste Rock	0.7	12	82.6
Gold and Silver and Rare Earths (Monazite, Xenotime, Bastnasite)	5.7	NA	3224
Titanium Ores		8.0	24.5
Rutile		19.7	NA
Ilmenite	NA	5.7	
Wastes	3.9	12	45
Zircon		68	
Wastes	87		1300
Fertilizers (Phosphate & Potassium) Phosphate			
Ore (Florida)	7	17.3-39.5	6.2-53.5
Phosphogypsum	7.3	11.7-24.5	36.7
Phosphate Fertilizer	0.5	5.7	21
Uranium			
Uranium Mining Overburden			Low hundreds
Uranium In-Situ Leachate	3	30	3000
Evaporation Pond			
Solids	300		

NA = Data Not available

1.10 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ออกข้อกำหนดจะได้ข้อมูลจำเป็นที่สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการจัดทำเกณฑ์ในการควบคุมและป้องกันอันตรายทางรังสีจาก NORM อย่างสมเหตุสมผลโดยผู้ปฏิบัติสามารถปฏิบัติได้บนพื้นฐานของมาตรฐานอุตสาหกรรมตามความเป็นจริงและไม่ก่อภาระให้กับภาคอุตสาหกรรมโดยไม่จำเป็น
2. เป็นโครงการนำร่องสำหรับ ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยจากรังสี
3. ส่งเสริมให้มีความร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชนและเสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการให้กับหน่วยการศึกษา
4. บางส่วนของงานวิจัยอาจปรับเปลี่ยนเป็นการดำเนินการในเชิงพาณิชย์ได้
5. เป็นศูนย์กลางของงานวิจัยทางการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ซึ่งไม่เคยดำเนินการมาก่อนเลยในประเทศ และเป็นโครงการที่จะทำให้เกิดงานวิจัยและ

การศึกษาในระดับสูงสามารถเป็นที่รองรับงานวิจัยของ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจน นิสิต นักศึกษา ทุกระดับ

6. ภาคเอกชนที่เข้าร่วมโครงการจะได้รับประโยชน์จากผลของงานวิจัย ดังนี้
- สนับสนุนแผนการจัดการด้านความปลอดภัย ชีวอนามัย ของผู้ปฏิบัติงานและ สิ่งแวดล้อมของบริษัทที่เข้าร่วมโครงการให้ทัดเทียมกับนานาชาติ
 - เสนอแนวทางบำบัดกรณีที่เกิดบริเวณที่มีการปนเปื้อน NORM สูงกว่าระดับ background ของพื้นที่ข้างเคียงมาก
 - พัฒนาให้ผลิตภัณฑ์บางอย่างอาจทำการปรับปรุงจนถึงขั้นสามารถส่งออกจำหน่าย ยังประเทศที่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับ NORM ได้
 - สร้างความมั่นใจให้กับประชาชนและนานาชาติในเรื่องการจัดการกากกัมมันตรังสีที่อาจ มีอันตรายและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน สิ่งมีชีวิตอื่นๆ และ สิ่งแวดล้อม ในประเทศได้อย่างปลอดภัย

1.11 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยตามที่เสนอไว้ในโครงการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว (ต.ค. 2545 – มี.ค. 2548) แสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว (ระยะเวลาโครงการ 3 ปี)

กิจกรรม	ระยะปฏิบัติการ (เดือนที่)													
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36		
1.ติดต่อประสานงานกับภาคอุตสาหกรรม	←--→			←--→	→		←--→	→						
2.จัดทำเอกสารคู่มือ	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→		
3. ศึกษา คุณสมบัติของวัสดุดิบที่ใช้ในแต่ละกลุ่มงานโดยเข้าสำรวจพื้นที่เบื้องต้น	←--→			←--→	←--→			←--→						
4. วางแผนการวิเคราะห์และจัดเก็บ ตัวอย่างของแต่ละกลุ่มงาน	←--→	←--→		←--→			←--→	←--→	←--→					
5. ทำการวัดปริมาณรังสีและเก็บตัวอย่าง ในภาคสนาม		←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→		
6. วิเคราะห์ตัวอย่าง		←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→		
7. วิเคราะห์ข้อมูล และจัดทำรายงาน		←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→	←--→		
				△ P		△ P		△ P		△ P		△ P		△ F

หมายเหตุ ←--→ กิจกรรมที่วางแผนไว้ △ P = รายงานความก้าวหน้า
 ←--→ กิจกรรมที่ได้ดำเนินการไปแล้ว △ F = รายงานฉบับสุดท้าย

1.12 เกณฑ์มาตรฐานหรือเกณฑ์กำหนดที่ใช้ในงานวิจัย

เกณฑ์มาตรฐานหรือกำหนดความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีหรือปนเปื้อนในวัสดุต่าง ๆ ของหน่วยงานต่างๆ มีดังนี้

ตารางที่ 1.3 เกณฑ์กำหนดนำสำหรับควบคุมความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในพื้นที่ทำงานและในโรงเรียน⁽⁸⁾

หน่วยงานที่ออกเกณฑ์กำหนด	Radon concentration in (Bq/m ³) working place	Radon concentration in (Bq/m ³) school
(1994)EPA and DHHS		150
Other nations	300-20	100-20
(1996)IAEA	1000	1000
(1993)ICRP	1500-500	1500-500

ตารางที่ 1.4 เกณฑ์กำหนดความเข้มข้นของเรเดียม-226 และ เรเดียม-226 ในน้ำดื่มโดยหน่วยงาน US Environmental Protection Agency (US EPA)⁽¹⁵⁾

Contaminant	MCL (year promulgated)	Source	Health Effect
Combined radium-226/-228	5 pCi/L (1976)	Naturally occurs in some drinking water sources.	Some people who drink water containing radium -226 or -228 in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.
(Adjusted) Gross Alpha	15 pCi/L (not including radon or uranium) (1976)	Naturally occurs in some drinking water sources.	Some people who drink water containing alpha emitters in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.
Beta Particle and Photon Radioactivity	4 mrem/year (look-up table) (1976)	May occur due to contamination from facilities using or producing radioactive materials.	Some people who drink water containing beta and photon emitters in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.
Uranium	30 µg/L (2000)	Naturally occurs in some drinking water sources.	Exposure to uranium in drinking water may result in toxic effects to the kidney. Some people who drink water containing alpha emitters in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.

ตารางที่ 1.5 เกณฑ์กำหนดความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีที่มาจากธรรมชาติโดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ(International Atomic Energy Agency, IAEA)^[16]

Radionuclides	Activity Concentration , Bq/g (pCi/g)
⁴⁰ K	10 (270.27)
All other radionuclides of natural origin	1 (27.027)

สำหรับการศึกษานี้ ผลวิเคราะห์ที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่า Action Level ที่กำหนดไว้ ดังนี้

NORMs	Action Level	หน่วยงานเกณฑ์กำหนดที่ใช้
Soil, sludge, scale (²²⁶ Ra + ²²⁸ Ra)	5 pCi/g (0.185 Bq/g)	AP, "Management and Disposal Alternative for Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) Waste in Oil Production and Gas Plant Equipment", November, 2002.
Drinking Water (²²⁶ Ra + ²²⁸ Ra)	5 pCi/L (0.185 Bq/L)	US. EPA
Radon gas	2-4 pCi/L (74- 148 Bq/m ³)	US. EPA
Gamma exposure	50 μ R/hr (1 mSv/yr)	CRCPD : Part N, "Regulation and Licensing of Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM).

1. CRCPD = Conference of Radiation Control Program Directors

2. API = American Petroleum Institute

บทที่ 2
การหาปริมาณธาตุกำมะถันตรังสีตามธรรมชาติในเครื่องมือ
และกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม
(โครงการย่อยที่ 1 ระยะที่ 2)

การหาปริมาณธาตุกำมะถันตรังสีตามธรรมชาติในเครื่องมือและกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเป็นโครงการย่อยที่ 1 มีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษา ตรวจสอบอัตราปริมาณรังสีและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นรังสี (Activity concentration) ของ NORM ในเครื่องมือ กากของเสีย ดินและน้ำของบริเวณพื้นที่การผลิตปิโตรเลียม และ เพื่อยกระดับมาตรฐานด้านความปลอดภัย ชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมให้กับบริษัทที่เข้าร่วมในโครงการวิจัย ซึ่งมีในปีงบประมาณ 2546-2547 มี บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ได้เข้าร่วมและให้การสนับสนุนงบประมาณแก่โครงการ มีระยะเวลาการดำเนินงาน 2 ปี โดยมีการเข้าสำรวจอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2546 ความเป็นมาของการศึกษาได้กล่าวไว้ในภาคผนวก ข

2.1 พื้นที่เป้าหมายการวิจัย

พื้นที่เป้าหมายสำหรับการวิจัยของบริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) แบ่งเป็น 3 พื้นที่ ดังนี้

2.1.1 พื้นที่เป้าหมายที่ 1 (PTTPEP1) แหล่งผลิตน้ำมันบนบก (Onshore) ประกอบด้วย 4 แหล่ง ดังนี้

2.1.1.1 แหล่งผลิตน้ำมันอุทอง 1-7 (UT1-7) ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ฯ ประมาณ 80 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข-3

2.1.1.2 แหล่งผลิตน้ำมันอุทอง 1-3 (UT1-3) ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ฯ ประมาณ 80 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข-3

2.1.1.3 แหล่งผลิตน้ำมันสังฆจาย 1-1 (SKJ 1-1) ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ฯ ประมาณ 80 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข-3

2.1.1.4 แหล่งผลิตน้ำมันกำแพงแสน 1-1 (KS 1-1) ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ฯ ประมาณ 70 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข-4

2.1.2 พื้นที่เป้าหมายที่ 2 หน่วยส่งบำรุงกำลังสงขลา (Songkhla Logistic Base) ตั้งอยู่ ตำบลหัวกา อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข-5

2.1.3 พื้นที่เป้าหมายที่ 3 แท่นผลิตก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง (Offshore) อยู่ในอ่าวไทย และห่างจากจังหวัดสงขลา ประมาณ 230 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในภาคผนวก ข รูปที่ ข-6

การวิจัยเรื่องการหาปริมาณธาตุกำมะถันตรังสีตามธรรมชาติในเครื่องมือและกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม สำหรับ บริษัท ปตท. สผ. จำกัด(มหาชน) มีกิจกรรมในการวิจัยแสดงในตารางที่ 2.1-2.2 โดยในปีงบประมาณ 2547 ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณรังสีและธาตุกำมะถันตรังสีที่สนใจในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ส่วนพื้นที่เป้าหมายที่ 2 และ 3 ยังทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างไม่แล้วเสร็จเนื่องจากมีข้อจำกัดในการเข้าสำรวจในแต่ละครั้ง

ดังนั้น บทนี้จึงเป็นรายงานผลการวัดและวิเคราะห์ อัตราปริมาณรังสี และความเข้มข้นรังสีของธาตุกำมะถันตรังสีของพื้นที่เป้าหมายที่ 1 เท่านั้น

2.2 การสำรวจภาคสนามของพื้นที่เป้าหมายที่ 1

คณะวิจัยได้เข้าสำรวจรังสีภาคสนามในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้งหมด 4 ครั้ง เป็นการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น 1 ครั้ง เพื่อทำการวางแผนการเข้าสำรวจอย่างละเอียด ซึ่งได้เข้าสำรวจอย่างละเอียด 3 ครั้ง ในช่วงระยะเวลา 1 ปีครึ่ง โดยแต่ละช่วงเวลาเข้าสำรวจมีฤดูกาลต่างกัน ข้อมูลสำคัญที่ได้จากการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น แสดงในตารางที่ 2.1 กิจกรรมต่าง ๆ และระยะเวลาการเข้าสำรวจของพื้นที่เป้าหมายที่ 1, 2, และ 3 แสดงไว้ในตารางที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

2.2.1 การสำรวจรังสีในพื้นที่การผลิต ประกอบด้วยกิจกรรม ดังนี้

- ทำการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากผิวดินแบบเดินสำรวจด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) ตามเส้นตาราง(กริด) ที่สร้างขึ้นในพื้นที่การผลิตเพื่อได้ภาพรวมและตำแหน่งของปริมาณรังสีแกมมารวมในพื้นที่การผลิต
- ทำการวัดอัตราปริมาณรังสี แบบ ณ พื้นที่ (in situ) ด้วยหัววัดรังสีชนิด HPGe ในบริเวณที่พบว่ามีปริมาณรังสีสูงจากการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมารวมแบบเดินสำรวจเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุและอัตราปริมาณรังสี (dose rate) ที่จุดนั้น ๆ
- ทำการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากอุปกรณ์เครื่องจักรในกระบวนการผลิตและกองท่อที่ใช้งานแล้ว
- ทำการติดตั้งอุปกรณ์การวัดรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน (Track-Etch Film) และ อุปกรณ์การวัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อม (TLD)

2.2.2 การเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างที่ทำการเก็บมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ NORM ที่สนใจ ได้แก่

- ตัวอย่างน้ำจากกระบวนการผลิตหรือที่เรียกว่า produced water, ตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในและ/หรือนอกพื้นที่การผลิตเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเรเดียม-226
- ตัวอย่างก๊าซธรรมชาติเพื่อหาวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซเรดอน-222
- ตัวอย่างดินในพื้นที่การผลิตที่ทำการตรวจวัดแบบ *In Situ*, ในและ/หรือนอกพื้นที่เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุเรเดียม-226, เรเดียม-228, โพแทสเซียม-40

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลสำคัญจากการสำรวจเบื้องต้นของพื้นที่เป้าหมายที่ 1

	พื้นที่เป้าหมายที่ 1			
	UT1-7	UT1-3	SKJ1-1	KS1-1
ขนาดพื้นที่ : ไร่	16	8	8	8
ประวัติพื้นที่เดิม	นาข้าว		นาข้าว	ไร่อ้อย
อายุการใช้งาน : ปี	13 ปี	13 ปี	2	13
กำลังผลิต : บาร์เรล/วัน	400	50	300	30
จำนวนหลุมน้ำมัน	7	3	1	1
water injection well	1	-	-	1
ความเข้มข้นรังสีจำเพาะ สูงสุดของ ²²⁶ Ra ในตัวอย่าง ดิน ^{**} pCi /g (Bq/ kg)	0.96 ± 0.11 (35.52 ± 0.07) ดินบริเวณรางระบายน้ำ พื้นที่ดักเก็บน้ำและน้ำมัน	*	*	1.49 ± 0.06 (55.13 ± 2.22) ดินบริเวณหลังถังเก็บ น้ำมัน (T101)
ความเข้มข้นรังสีจำเพาะของ ²²⁶ Ra ในตัวอย่างน้ำ ^{***} pCi/l (Bq/l)	18.11 ± 2.70 (0.67 ± 0.10) น้ำ produced water จาก TKW-701	NA	NA	11.35 ± 2.16 (0.42 ± 0.08) น้ำ produced water จาก TKW-101 17.57 ± 3.51 (0.65 ± 0.13) น้ำจากบ่อน้ำหน้าพื้นที่ เป้าหมาย
อัตราปริมาณรังสีรวมสูงสุด (µR/h)	11.70 รอบ well head และข้อ ต่อ	5.01 กองท่อใช้ แล้ว	8.36 ข้อต่อ	25.08 หลัง oil storage tank 102

หมายเหตุ ทุกพื้นที่เป้าหมายที่การถมทับหน้าดินเดิมด้วยหินคลุกบดอัดประมาณ 30 เซนติเมตร

* ไม่ได้ทำการวัด, NA ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมามีปริมาณน้อยเกินไป

** ตัวอย่างดิน วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*** ตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ที่กลุ่มเฝ้าตรวจกัมมันตภาพรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ตารางที่ 2.2 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1

กิจกรรม	สำรวจพื้นที่เบื้องต้น	สำรวจพื้นที่อย่างละเอียด		
		การสำรวจครั้งที่ 1	การสำรวจครั้งที่ 2	การสำรวจครั้งที่ 3
<p>1. ระยะเวลาปฏิบัติงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> • วัน เดือน ปี ที่เข้าสำรวจ • ระยะเวลาการเข้าปฏิบัติงานสำรวจพื้นที่อย่างละเอียด 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 มกราคม 2546 • 1 วัน 	<ul style="list-style-type: none"> • สิงหาคม 46 – กันยายน 46 • UT1-7 ปฏิบัติงาน 2 วัน • UT1-3 ปฏิบัติงาน 2 วัน • SKJ1-1 ปฏิบัติงาน 1 วัน • KSI-1 ปฏิบัติงาน 1 วัน 	<ul style="list-style-type: none"> • ธันวาคม 46 – มกราคม 47 • UT1-7 ปฏิบัติงาน 1 วัน • UT1-3 ปฏิบัติงาน 1 วัน • SKJ1-1 ปฏิบัติงาน 1 วัน • KSI-1 ปฏิบัติงาน 1 วัน 	<ul style="list-style-type: none"> • เมษายน 47-พฤษภาคม 47 • UT1-7 ปฏิบัติงาน 1 วัน • UT1-3 ปฏิบัติงาน 1 วัน • SKJ1-1 ปฏิบัติงาน 1 วัน • KSI-1 ปฏิบัติงาน 1 วัน
<p>1. การสำรวจรังสีในพื้นที่ (Radiation site survey)</p> <ul style="list-style-type: none"> • การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต • การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากฉนวนแบบเดินสำรวจ • การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแบบ ณ ที่ (in situ) ด้วยหัววัดรังสีชนิด HPGe 	<ul style="list-style-type: none"> • สุ่มวัดปริมาณรังสีตามอุปกรณ์การผลิตด้วยหัววัด Nai (Ti) • สุ่มวัดปริมาณรังสีตามอุปกรณ์การผลิตด้วยหัววัด Nai (Ti) • ไม่ได้ทำการวัด 	<ul style="list-style-type: none"> • ตรวจวัดรังสีตามอุปกรณ์กระบวนการผลิตด้วยหัววัด Nai (Ti) • ตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยหัววัดรังสีชนิด Nai (Ti) ตามเส้นทางที่สร้างไว้ในพื้นที่การผลิต • ทำการตรวจวัดในบริเวณที่มีปริมาณรังสีแกมมาสูงที่สุดได้จาก การตรวจวัดแบบเดินสำรวจ 	<ul style="list-style-type: none"> • วิธีการเหมือนกับการสำรวจครั้งที่ 1 • วิธีการเหมือนกับการสำรวจครั้งที่ 1 • เลือกตรวจวัดเฉพาะบางตำแหน่งเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ 	<ul style="list-style-type: none"> • วิธีการเหมือนกับการสำรวจครั้งที่ 1 • วิธีการเหมือนกับการสำรวจครั้งที่ 1 • เลือกตรวจวัดเฉพาะบางตำแหน่งเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2.2 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 (ต่อ)

กิจกรรม	สำรวจพื้นที่เบื้องต้น	สำรวจพื้นที่อย่างละเอียด		
		การสำรวจครั้งที่ 1	การสำรวจครั้งที่ 2	การสำรวจครั้งที่ 3
<ul style="list-style-type: none"> ติดตั้งอุปกรณ์การวัดรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน (Track-Etch Film) และอุปกรณ์การวัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อม (TLD) 	<p>2. ไม่ได้ติดตั้ง</p>	<ul style="list-style-type: none"> ติดตั้งอุปกรณ์ TLD ตามตำแหน่งที่มีการตรวจวัดว่ามีปริมาณรังสีสูงจากการเดินสำรวจ ได้แก่ <ul style="list-style-type: none"> - KS 1-1 รวม 5 จุด, UT 1-1 รวม 7จุด, UT 1-3 รวม 5 จุด, SKJ1-1 รวม 6จุด - Etch Film ในอาคารต่าง ๆ ได้แก่ <ul style="list-style-type: none"> - UT1-7: office, guard house, heater treator - UT 1-3 : Guard house, โถงเก็บอุปกรณ์ , ห้องแถว U-3, U-3 (ห้องบน), U-1 - SKJ 1-1: Office, Guard house, Heater treator, Generator - KS 1-1: office, Guard house 	<ul style="list-style-type: none"> เก็บอุปกรณ์ที่ติดตั้งทั้งหมดในอาคารสำรวจครั้งที่ 2 มาวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ ติดตั้งอุปกรณ์ชุดใหม่ที่ตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียง 	<ul style="list-style-type: none"> เก็บอุปกรณ์ที่ติดตั้งทั้งหมดในอาคารสำรวจครั้งที่ 2 มาวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ ติดตั้งอุปกรณ์ชุดใหม่ที่ตำแหน่งเดิมหรือใกล้เคียง
<p>3. การเก็บตัวอย่าง(sample collections)</p> <ul style="list-style-type: none"> ตัวอย่างน้ำ และ produced water ตัวอย่างดิน ตัวอย่างก๊าซ 	<ul style="list-style-type: none"> สุ่มเก็บตัวอย่างบางพื้นที่ สุ่มเก็บตัวอย่างบางพื้นที่ ไม่ได้เก็บ 	<ul style="list-style-type: none"> เก็บตัวอย่าง produced water ในพื้นที่การผลิตมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การผลิตที่ทำการตรวจวัดแบบ in situ เก็บตัวอย่างดินนอกพื้นที่การผลิตเพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ เก็บตัวอย่างก๊าซจาก SKJ 1-1 โดยใช้น้ำมันมะกอกเป็น ตัวกลางในการดูดซับก๊าซเรดอน 	<ul style="list-style-type: none"> เก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่งเดียวกับภาคสำรวจครั้งที่ 1 เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การผลิตที่ทำการตรวจวัดแบบ in situ เก็บตัวอย่างดินนอกพื้นที่การผลิตที่เดียวกับอาคารสำรวจครั้งที่ 2 เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ เก็บตัวอย่างก๊าซจาก SKJ 1-1 โดยใช้น้ำมันมันดีเป็นตัวกลางในการดูดซับก๊าซเรดอน 	<ul style="list-style-type: none"> เก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่งเดียวกับภาคสำรวจครั้งที่ 1 เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การผลิตที่ทำการตรวจวัดแบบ in situ เก็บตัวอย่างดินนอกพื้นที่การผลิตที่เดียวกับอาคารสำรวจครั้งที่ 2 เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ เก็บตัวอย่างก๊าซจาก SKJ 1-1 โดยใช้น้ำมันมันดีเป็นตัวกลางในการดูดซับก๊าซเรดอน

ตารางที่ 2.3 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 2

กิจกรรมพื้นที่เป้าหมายที่ 2	สำรวจเบื้องต้น	การสำรวจอย่างละเอียด
1. จำนวนการสำรวจและระยะเวลาปฏิบัติงาน <ul style="list-style-type: none"> ● วัน เดือน ปี การเข้าสำรวจ ● ระยะเวลาการดำเนินการปฏิบัติงาน 	28 พ.ค.46 1 วัน	ทำการสำรวจ 1 ครั้ง <ul style="list-style-type: none"> ● 9-11 มีนาคม 2547 ● 3 วัน
2. การสำรวจรังสีในพื้นที่ (radiation site survey) <ul style="list-style-type: none"> ● ตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาในอุปกรณ์ และ ท่อ ที่ใช้งานแล้ว ● ตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมาบนดินผิวภาชนะบรรจุกากของเสีย (sludge และ condensate) ● การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากผิวดินแบบเดินสำรวจ ● ติดตั้งอุปกรณ์การวัดรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน (Track-Etch Film) และ อุปกรณ์การวัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อม (TLD) 	<ul style="list-style-type: none"> ● สุ่มตรวจวัด ● สุ่มตรวจวัด ● สุ่มตรวจวัด ● สุ่มติดตั้งบางพื้นที่ 	<ul style="list-style-type: none"> ● เดินทางวัดรังสีแกมมาตามอุปกรณ์และท่อที่ใช้งานแล้วด้วยหัววัด Nai(Tl) ● ตรวจวัดรังสีแกมมาที่มีคอนเทนเนอร์ของถังบรรจุ sludge และ condensate ทุกถัง ด้วยหัววัด Nai(Tl) ● เดินทางวัดตามกริดที่สร้างไว้โดยรอบและภายในบริเวณ inspection shed area ด้วย หัววัด Nai (Tl) ● เก็บอุปกรณ์ Track-Etch film ที่ติดตั้งทั้งหมดในการสำรวจเบื้องต้นบริเวณระหัดระหัดในห้องปฏิบัติการ ● ติดตั้งอุปกรณ์ Track-Etch film ชุดใหม่ 8 ตำแหน่ง ดังต่อไปนี้ ออฟฟิศสำนักงาน 1 จุด, บริเวณ Warehouse 2 จุด, ออฟฟิศและห้องซ่อมบำรุงใน Drilling Workshop 2 จุด, ออฟฟิศใน Maintenance Workshop 2 จุด, ออฟฟิศของ Core Room 1 จุด ● ติดตั้ง TLD 3 จุด ที่ตำแหน่งต่อไปนี้ บริเวณด้านหน้าออฟฟิศกลาง 1 จุด, บริเวณด้านหน้า Waste Storage Area 1 จุด, บริเวณรอบนอก Inspection shed 1 จุด
3. การเก็บตัวอย่าง (sample collections) <ul style="list-style-type: none"> ● ตัวอย่าง sludge ● ตัวอย่างดินและตัวอย่างน้ำ 	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่ได้ทำ ● สุ่มเก็บ 	<ul style="list-style-type: none"> ● เก็บตัวอย่าง sludge จากถังที่ตรวจวัดพบมีค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาสูง ● เก็บตัวอย่างดินและน้ำในและนอกพื้นที่เป้าหมาย

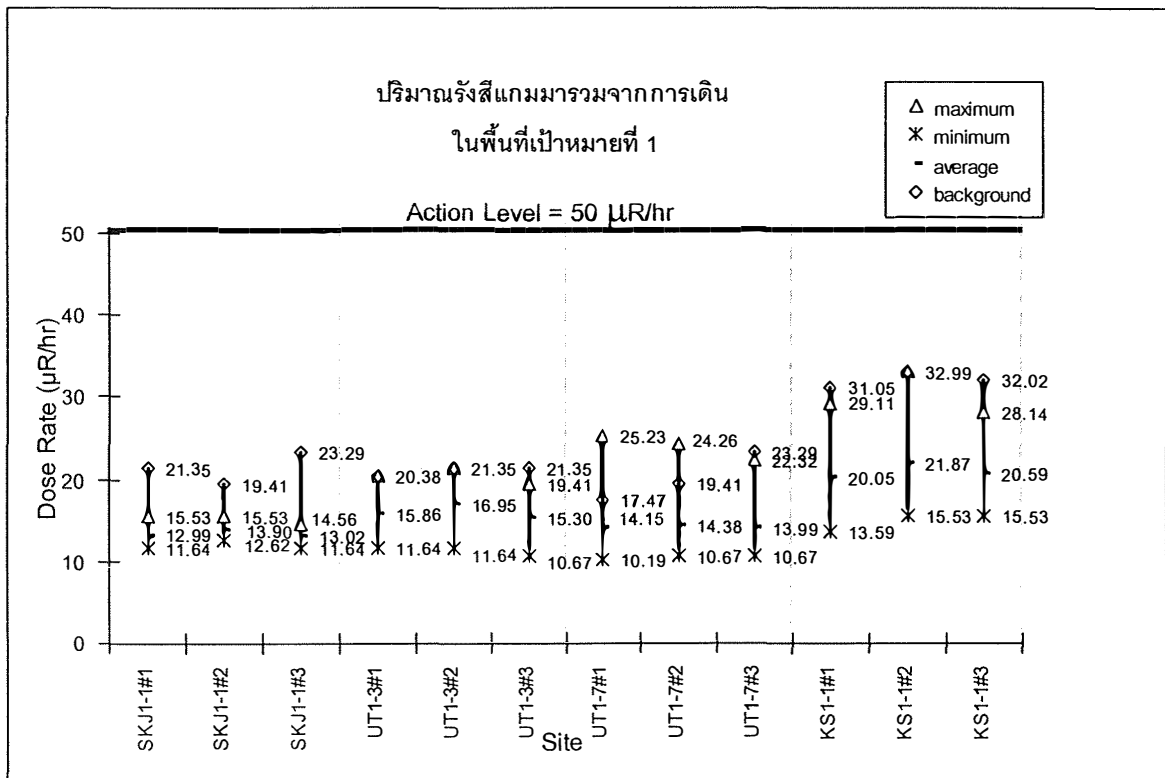
ตารางที่ 2.4 สรุปกิจกรรมการเข้าสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 3

กิจกรรม	สำรวจเบื้องต้น	การสำรวจอย่างละเอียด
1. จำนวนการสำรวจและระยะเวลาปฏิบัติงาน <ul style="list-style-type: none"> ● ช่วงเวลาการเข้าสำรวจ ● ระยะเวลาการดำเนินการปฏิบัติงาน 	ไม่ได้ทำการเข้าสำรวจ	<ul style="list-style-type: none"> ● 10-12 มีนาคม 2547 ● 2 วัน
2. การสำรวจรังสีในพื้นที่ (radiation site survey) <ul style="list-style-type: none"> ● การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ● ติดตั้งอุปกรณ์การวัดรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน (Track-Etch Film) และ อุปกรณ์การวัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อม (TLD) 	ไม่ได้ทำการเข้าสำรวจ	<ul style="list-style-type: none"> ● เดินทางวัดรังสีแกมมาจากอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตด้วยหัววัด NaI (TI) ● ติดตั้งอุปกรณ์ Track-Etch Film ดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> - ภายใน PP Office 1 จุด - ภายใน PP Laboratory 1 จุด - ภายใน QP Dining room 1 จุด - ภายใน QP Recreation room 1 จุด - ภายใน QP Smoking area 1 จุด ● ติดตั้งอุปกรณ์ TLD จำนวน 3 ตำแหน่งประกอบไปด้วย <ul style="list-style-type: none"> - บริเวณ WP-1 1 จุด - บริเวณ PP 1 จุด - บริเวณ QP 1 จุด
3. การเก็บตัวอย่าง (sample collections) <ul style="list-style-type: none"> ● ตัวอย่าง produced water ● ตัวอย่าง sludge ● ตัวอย่างก๊าซธรรมชาติ 	ไม่ได้ทำการเข้าสำรวจ	<ul style="list-style-type: none"> ● เก็บตัวอย่าง produced water ในพื้นที่การผลิต 3 จุด ภาชนะเก็บในห้องปฏิบัติการเดือนละครั้ง ● เก็บตัวอย่าง sludge จากกระบวนการผลิตเมื่อมีการ shutdown หรือ pigging ● เก็บตัวอย่างก๊าซธรรมชาติทั้งหมด 4 จุดคือ D3110 1st stage separator, D9110 1st stage separator, D9130 1st stage separator และ export gas 9k

2.3 ผลการตรวจวัดรังสีในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 อย่างละเอียด

2.3.1. ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากผิวดินแบบเดินสำรวจ

การวัดปริมาณรังสีแกมมาจากผิวดินแบบเดินสำรวจด้วยเครื่องสำรวจรังสีชนิดหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ทัลเลียม (NaI(Tl)) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว พร้อมตัวจับหัววัด ตามจุดตัดของเส้นตารางที่ตั้งฉากกันสร้างขึ้นในแต่ละพื้นที่การผลิตซึ่งถูกกำหนดไว้เมื่อครั้งทำการสำรวจอย่างละเอียดครั้งที่ 1 (โดยแต่ละเส้นตารางจะห่างกัน 10 เมตรในแต่ละแนว) ซึ่งในแต่ละครั้งจุดที่ทำการวัดเก็บค่าจะเป็นจุดเดียวกัน โดยการวัดในแต่ละจุดจะให้หัววัดอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 5 ซม. และใช้เวลาวัด 10 วินาทีในแต่ละจุด ซึ่งผลของอัตราปริมาณรังสีแกมมาสูงสุด, ต่ำสุด, เฉลี่ย และ Background จากการวัดด้วยการเดินสำรวจในแต่ละพื้นที่ของพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง แสดงในรูปที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.1 อัตราปริมาณรังสีแกมมาสูงสุด ต่ำสุด เฉลี่ย และ Background จากการการเดินสำรวจวัดในแต่ละพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง

ตารางที่ 2.5 ปริมาณรังสีสูงสุด ปริมาณรังสีเฉลี่ย ตำแหน่ง และ ปริมาณรังสีเฉลี่ย ในและนอกของแต่ละพื้นที่การผลิต

พื้นที่การผลิต (จำนวนกริด ในพื้นที่)	ปริมาณรังสีสูงสุด, $\mu\text{R/hr}$ (ค่าเฉลี่ย)			ตำแหน่ง			ปริมาณรังสีเฉลี่ยนอกพื้นที่ ($\mu\text{R/hr}$)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
UT 1-7 (86 จุด)	25.23 (14.15 \pm 2.65)	24.26 ¹ (14.36 \pm 2.68)	22.32 ² (13.99 \pm 2.30)	K12	K12	K-12	17.47	19.41	23.29
UT 1-3 (67 จุด)	20.38 (15.86 \pm 2.27)	21.35 ³ (16.95 \pm 2.53)	19.41 ⁴ (15.30 \pm 2.36)	E6	A1,B10, E6, E7	A1,B10	20.38	21.35	21.35
SKJ 1-1(39 จุด)	15.53 (12.99 \pm 0.96)	15.53 (13.90 \pm 0.70)	14.56 ⁵ (13.02 \pm 0.77)	H5	H5, I1	A3, C4, H1	21.35	19.41	23.29
KS 1-1(144 จุด)	29.11 (20.05 \pm 4.15)	32.99 (21.87 \pm 4.47)	28.14 ⁶ (20.59 \pm 4.04)	E1	F1	E1, NO7.5, NO8.5, O8	31.05	32.99	32.02

หมายเหตุ : 1. ทำการวัด 84จุดจากทั้งหมด 86 จุดเนื่องจากจุด A9 และ E12 มีการปรับปรุงพื้นที่ทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้

2. ทำการวัด 82จุดจากทั้งหมด 86 จุดเนื่องจากจุด A9, J9, J11 และ J12 มีการปรับปรุงพื้นที่ทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้

3. ทำการวัด 66 จุดจากทั้งหมด 67 จุด เนื่องจากจุด A6 มีการปรับปรุงพื้นที่จึงไม่สามารถทำการวัดได้

4. ทำการวัด 65 จุดจากทั้งหมด 67 จุด เนื่องจากจุด A6 และ E1 มีการปรับปรุงพื้นที่จึงไม่สามารถทำการวัดได้

5. ทำการวัด 38 จุดจากทั้งหมด 39 จุด เนื่องจากจุด H4 มีการปรับปรุงพื้นที่จึงไม่สามารถทำการวัดได้

6. ทำการวัด 139จุดจากทั้งหมด 144 จุดเนื่องจากจุด B4-B7 มีการปรับปรุงพื้นที่จึงไม่สามารถทำการวัดได้

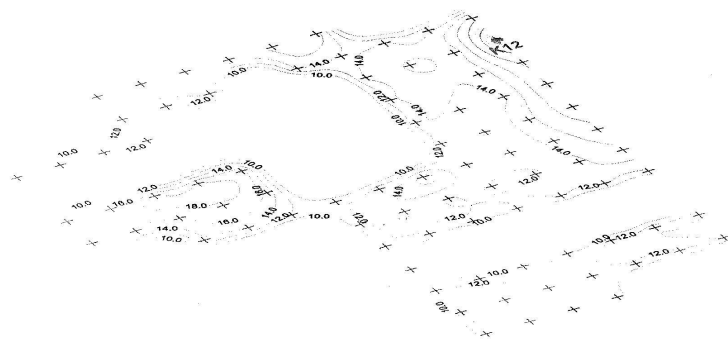
ผลจากการวัดอัตราปริมาณรังสีในแต่ละพื้นที่การผลิต พบว่า ค่าอัตราปริมาณรังสีเฉลี่ยของทุกพื้นที่การผลิต มีค่าต่ำกว่าค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดได้นอกพื้นที่การผลิต (Background) ของแต่ละพื้นที่ และพบว่า พื้นที่ KS 1-1 เป็นพื้นที่ที่มีอัตราปริมาณรังสีโดยเฉลี่ยสูงที่สุดจากการวัดทั้ง 3 ครั้ง

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณรังสีแกมมารวมสูงสุด ในแต่ละพื้นที่ พบว่า

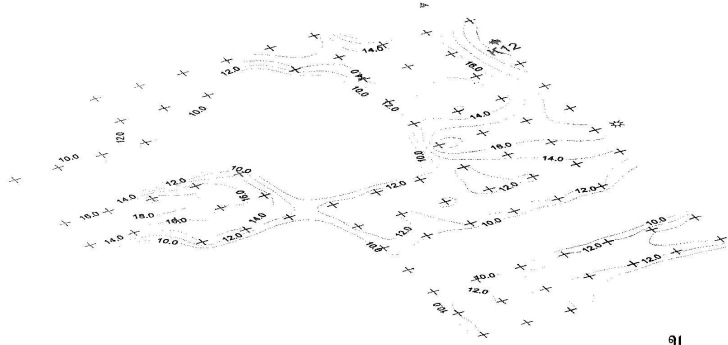
- พื้นที่ UT 1-7 มีค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่วัดได้ทั้ง 3 ครั้งที่ตำแหน่ง K 12 ซึ่งเป็นบริเวณร่องระบายน้ำอยู่ทางด้านทิศตะวันตกจึงมีการสะสมของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติสูงกว่าบริเวณอื่นได้
- พื้นที่ UT1-3 มีค่าปริมาณรังสีสูงสุด ที่ตำแหน่ง E6, E7 ซึ่งเป็นบริเวณติดกับ well head และที่ตำแหน่ง A1 และ B10 ซึ่งเป็นบริเวณติดรั้วด้านทิศตะวันตกและติดรั้วด้านทิศเหนือใกล้ประตูทางเข้าตามลำดับ
- พื้นที่ SKJ1-1 พบว่ามีค่าปริมาณรังสีสูงสุด ที่ตำแหน่ง H5 ซึ่งอยู่หน้า heater treater, ตำแหน่ง H1, I1 ซึ่งอยู่ด้านหลังของอาคารเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และ ที่ตำแหน่ง A3, C4 ซึ่งเป็นบริเวณติดรั้วด้านทิศตะวันตกและบริเวณด้านหน้าใกล้ประตูทางเข้าตามลำดับ
- พื้นที่ KS 1-1 พบว่า มีค่าปริมาณรังสีสูงสุด ที่ตำแหน่ง F1, E1 บริเวณติดรั้วทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และตำแหน่ง NO7.5, NO8.5 ,O8 ซึ่งเป็นบริเวณหลังแท็งก์เก็บน้ำมันดิบ และ ถังเก็บ produced water

การกระจายตัวของอัตราปริมาณรังสีเป็นเส้นระดับ (Contour) จากการวัดในแต่ละจุดในแต่ละพื้นที่การผลิต และแต่ละครั้งแสดงไว้ในรูป 2.2-2.5

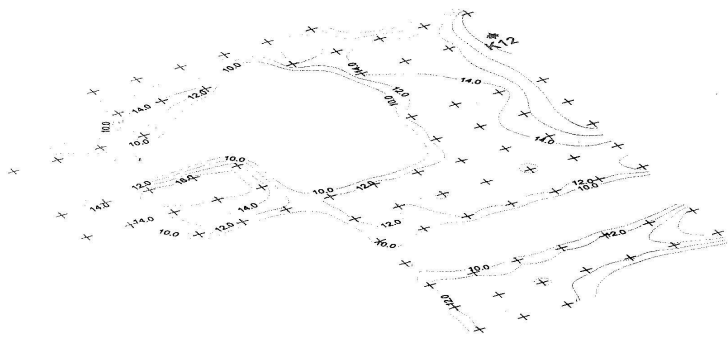
แต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่วัดได้ในแต่ละพื้นที่การผลิตยังคงต่ำกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีที่ทางคณะสำรวจกำหนดไว้ ให้เป็น Action Level คือ $50 \mu\text{R/hr}$ โดยอ้างอิงค่ามาตรฐานจาก International Commission on Radiological Protection (ICRP) ซึ่งกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานที่ไม่เกี่ยวกับรังสี และประชาชนทั่วไปไม่ควรรับรังสีเกิน 1 mSv/yr ซึ่งเทียบเท่ากับ $50 \mu\text{R/hr}$ หรือ $0.50 \mu\text{Sv/hr}$ สำหรับรังสีแกมมารวม



ก

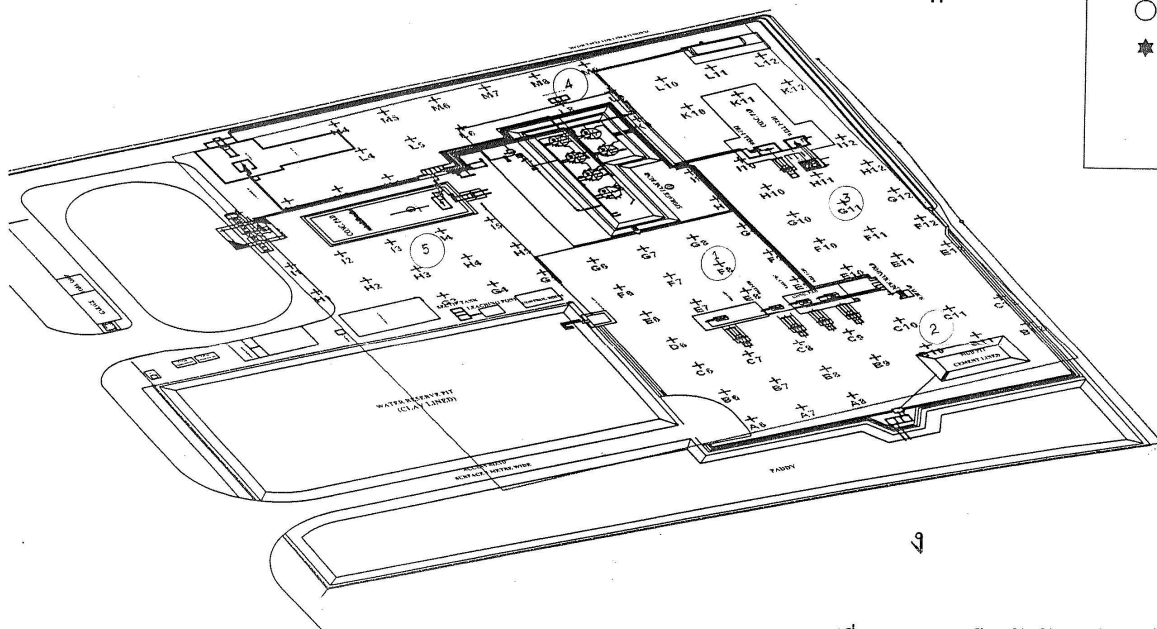
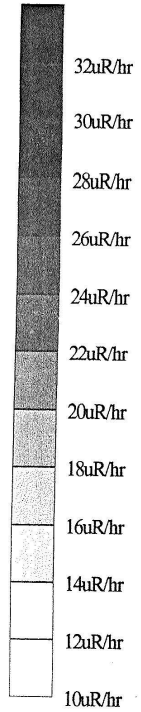


ข



ค

Color Scale



ง

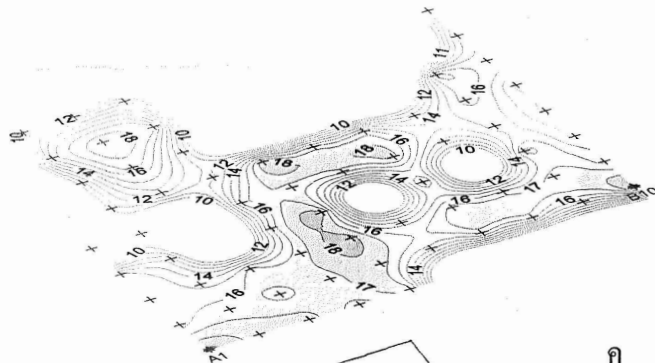
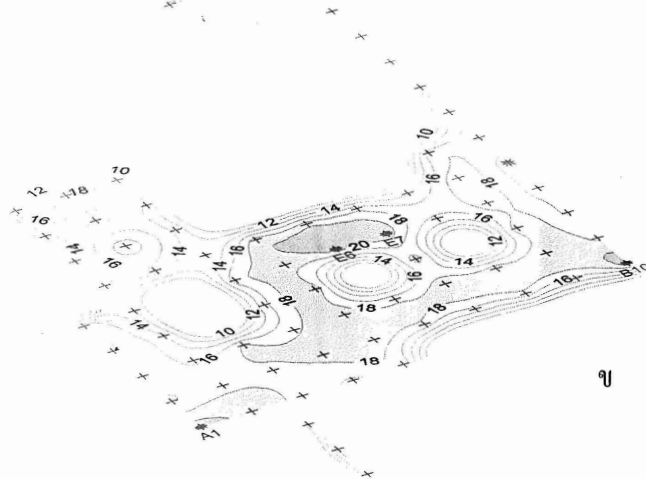
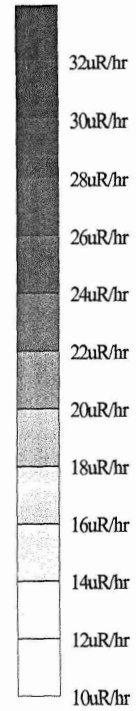
หมายเหตุ

- + กริด
- ตำแหน่งในการตรวจวัดรังสีแบบ In-Situ
- ★ อัตราปริมาณรังสีสูงสุดในพื้นที่การผลิต
- ▲ อัตราปริมาณรังสีนอกพื้นที่การผลิต
- ✱ 19.41uR/hr
- ✱ 24.26uR/hr

รูปที่ 2.2 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ UT1-7

- รูป ก การสำรวจครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 20-21 สิงหาคม 2546
- รูป ข การสำรวจครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2546
- รูป ค การสำรวจครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2547
- รูป ง Layout แสดงจุดตรวจวัดในพื้นที่การผลิต

Color Scale

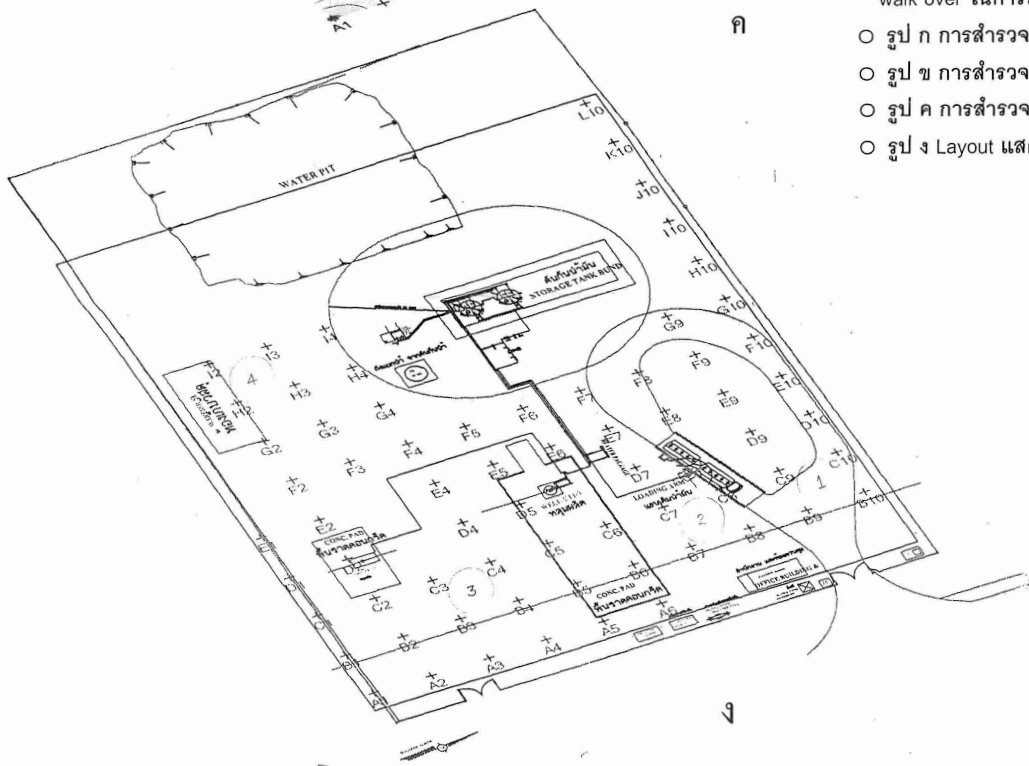


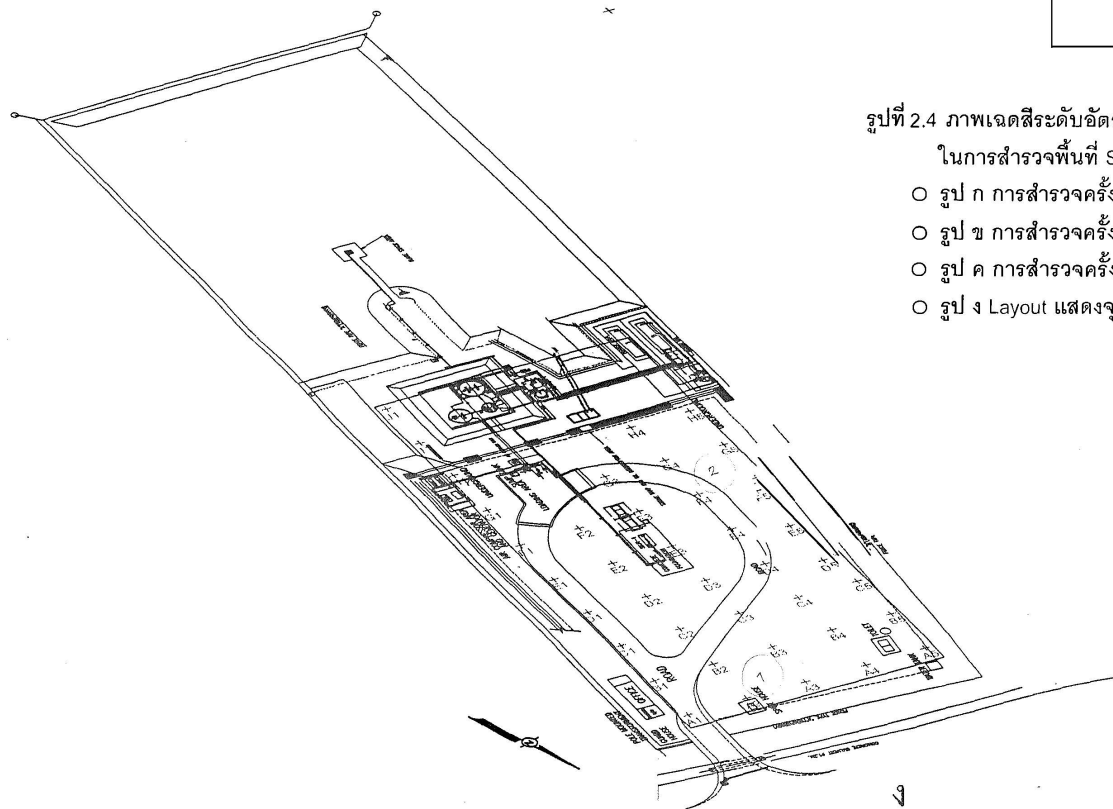
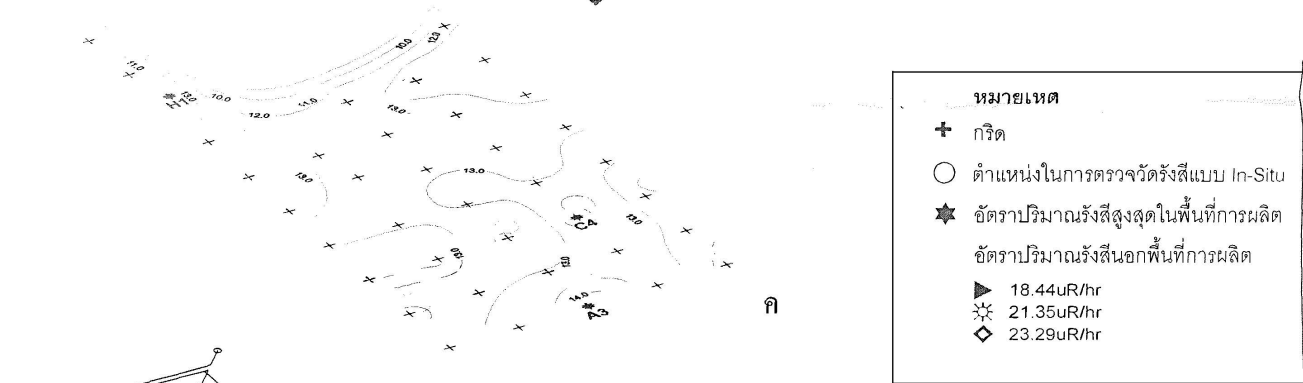
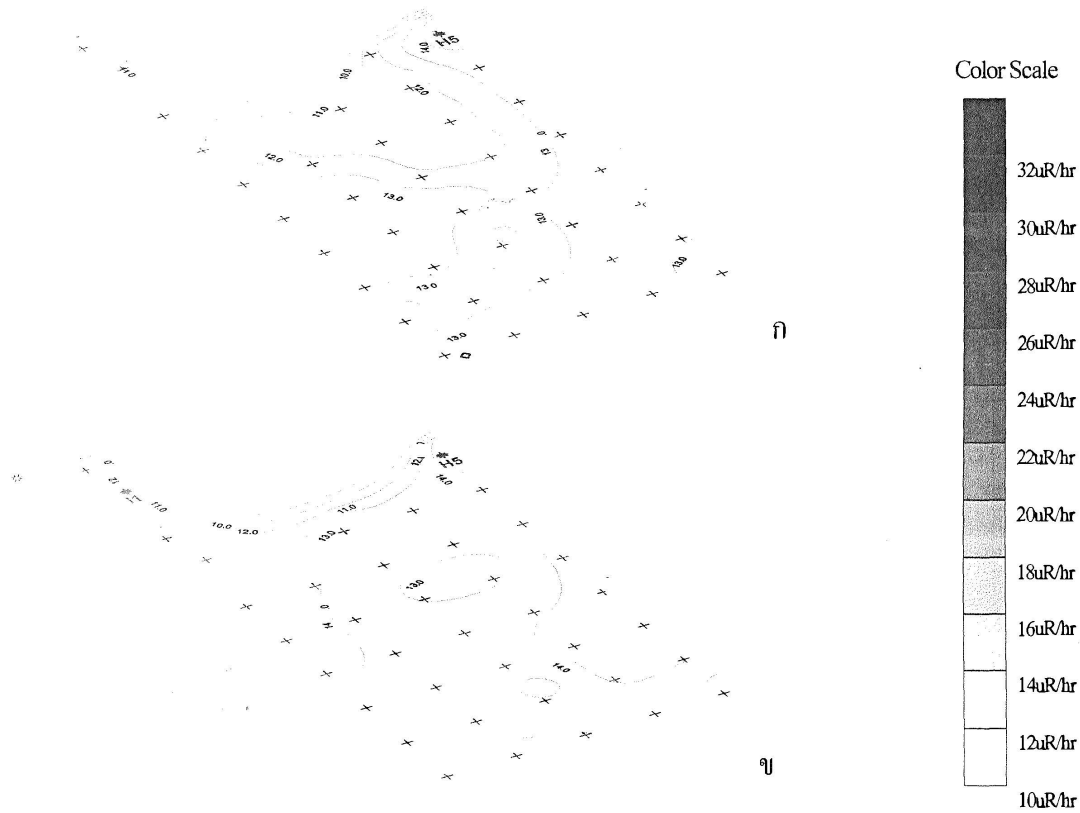
หมายเหตุ

- + กริด
- ตำแหน่งในการตรวจวัดรังสีแบบ In-Situ
- * อัตราปริมาณรังสีสูงสุดในพื้นที่การผลิต
- ✱ อัตราปริมาณรังสีนอกพื้นที่การผลิต (19.41µR/hr)

รูปที่ 2.3 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการ วัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ UT1-3

- รูป ก การสำรวจครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 3-4 กันยายน 2546
- รูป ข การสำรวจครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2546
- รูป ค การสำรวจครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2547
- รูป ง Layout แสดงจุดตรวจวัดในพื้นที่การผลิต

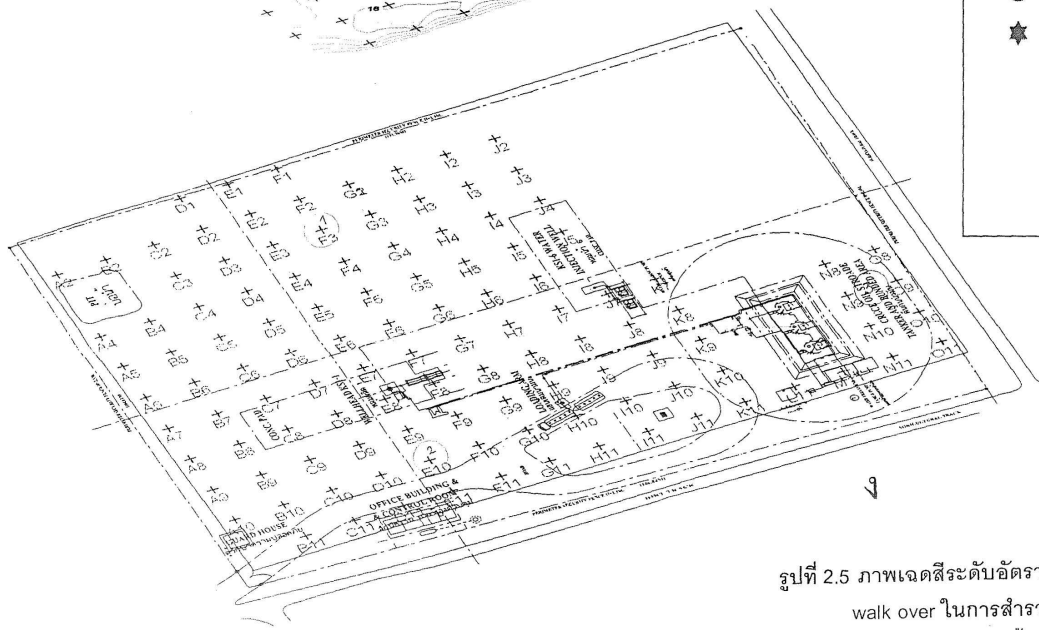
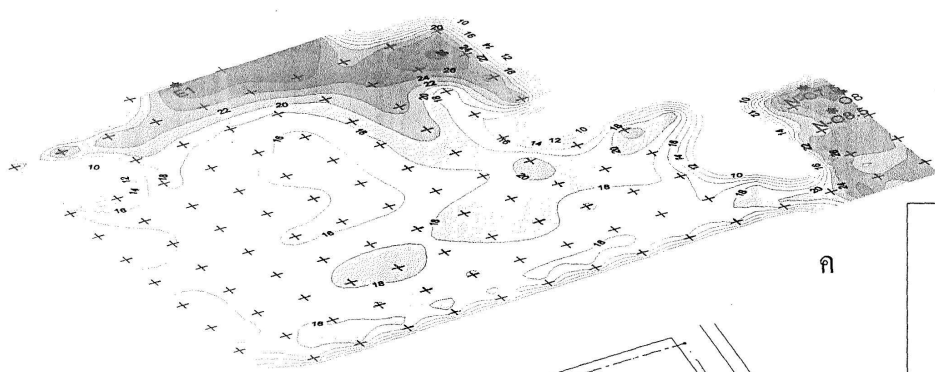
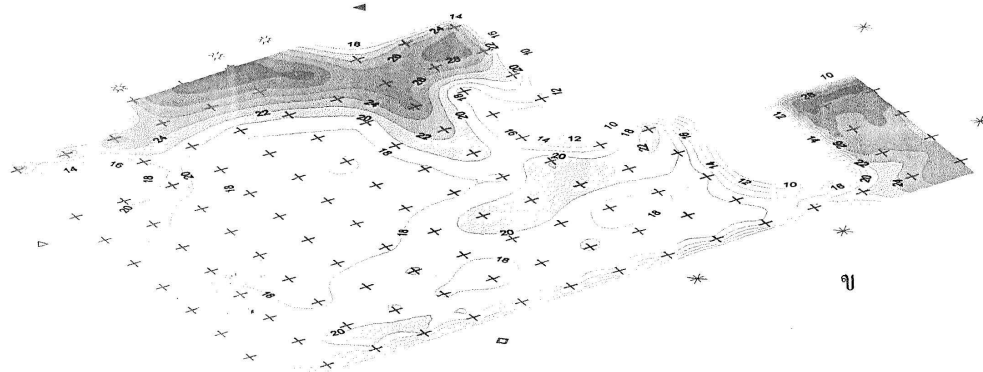
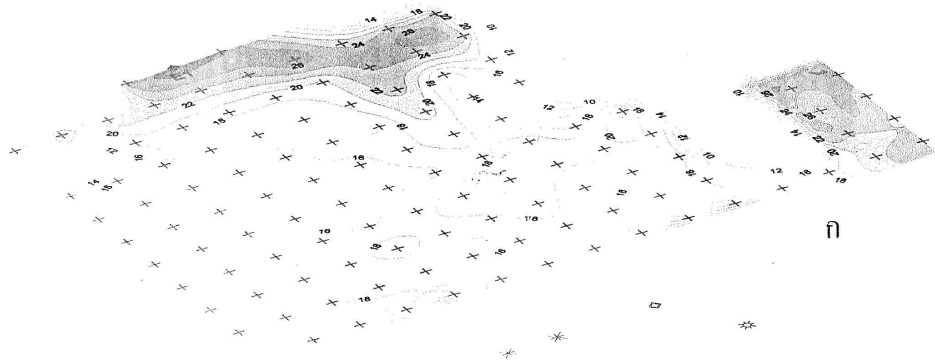
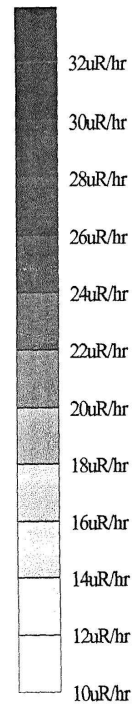




รูปที่ 2.4 ภาพแสดงระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ SKJ 1-1

- รูป ก การสำรวจครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 18-19 กันยายน 2546
- รูป ข การสำรวจครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2546
- รูป ค การสำรวจครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2547
- รูป ง Layout แสดงจุดตรวจวัดในพื้นที่การผลิต

Color Scale



หมายเหตุ	
+	กริด
○	ตำแหน่งในการตรวจวัดรังสีแบบ In-Situ
★	อัตราปริมาณรังสีสูงสุดในพื้นที่การผลิต
	อัตราปริมาณรังสีนอกพื้นที่การผลิต
△	25.00uR/hr
☆	29.11uR/hr
▽	30.02uR/hr
✱	31.05uR/hr
◇	32.99uR/hr

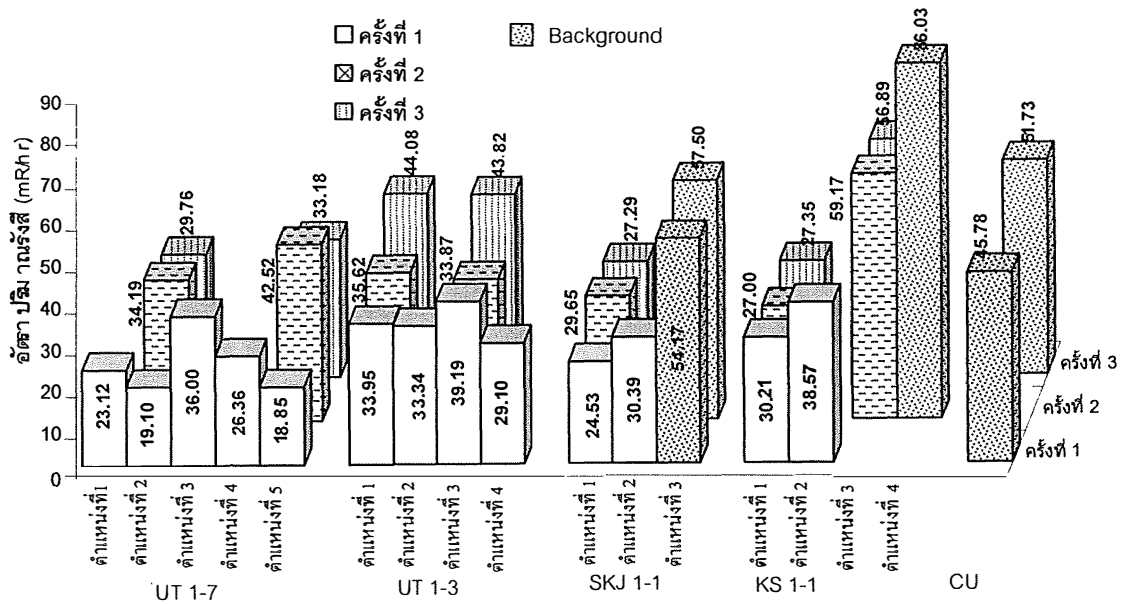
รูปที่ 2.5 ภาพเจดสีระดับอัตราปริมาณรังสีจากการวัดแบบ walk over ในการสำรวจพื้นที่ KS 1-1

- รูป ก การสำรวจครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 8-9 ตุลาคม 2546
- รูป ข การสำรวจครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 28 มกราคม 2547
- รูป ค การสำรวจครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2547
- รูป ง Layout แสดงจุดตรวจวัดในพื้นที่การผลิต

2.3.2 ผลการวัดอัตราปริมาณรังสี แบบ ณ พื้นที่ (in situ)

ระบบวัดรังสีแกมมาภาคสนามแบบ ณ พื้นที่ ประกอบด้วย หัววัดรังสีแบบ High purity Germanium (HPGe) และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (Multichannel Analyzer; MCA) ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดในบริเวณที่พบว่ามีความแรงรังสีสูงจากการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมารวมแบบเดินสำรวจ ยกเว้นบางตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าตรวจวัดได้เนื่องจากถูกรบกวนด้วยกิจกรรมอื่น และเป็นพื้นที่โล่งที่มีพื้นที่น้อยกว่า 100 ตารางเมตร ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการวัดปริมาณรังสีแบบ ณ พื้นที่

ตำแหน่งตรวจวัดจากการสำรวจครั้งที่ 1, 2 และ 3 ระบุในแปลนแผนที่ของแต่ละพื้นที่เป้าหมายซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 - 2.5 ผลการวิเคราะห์อัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ แสดงไว้ในตารางที่ 2.6 และรูปที่ 2.6 โดยทุก ๆ ตำแหน่งของการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณพื้นที่ 100 ตารางเมตร กลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลสรุปของการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ มีดังนี้



รูปที่ 2.6 อัตราปริมาณรังสีแกมมาจากการวัด ณ พื้นที่ (In Situ) ในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 และนอกพื้นที่เป้าหมายทั้ง 3 ครั้ง

ตารางที่ 26 ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ในการสำรวจภาคสนามของพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง

พื้นที่เป้าหมาย	ตำแหน่งในการตรวจวัด	ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาในดิน ณ พื้นที่ ($\mu\text{R/hr}$)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
UT 1-7	ตำแหน่งที่ 1 (F 8)	23.12 \pm 0.95	-	-
	ตำแหน่งที่ 2 (กึ่งกลางระหว่าง กริด B10, B11, C11, C10)	19.10 \pm 1.02	34.19 \pm 1.31	29.76 \pm 1.66
	ตำแหน่งที่ 3 (G11)	36.00 \pm 1.16	-	-
	ตำแหน่งที่ 4 (กึ่งกลางระหว่าง กริด L8, L9, M8 และ M9)	26.36 \pm 1.13	-	-
	ตำแหน่งที่ 5 (กึ่งกลางระหว่าง กริด H3, H4, I4 และ I3)	18.85 \pm 1.42	42.52 \pm 1.55	33.18 \pm 1.95
UT 1-3	ตำแหน่งที่ 1 (กึ่งกลางระหว่าง กริด B9, B10, C11 และ	33.95 \pm 1.29	35.62 \pm 1.30	44.08 \pm 2.09
	ตำแหน่งที่ 2 (กึ่งกลางระหว่าง กริด B7, B8, C8 และ C7)	33.34 \pm 1.22	-	-
	ตำแหน่งที่ 3 (กึ่งกลางระหว่าง กริด B3, B4, C4 และ C3)	39.19 \pm 1.24	33.87 \pm 1.05	43.82 \pm 2.01
	ตำแหน่งที่ 4 (กึ่งกลางระหว่าง กริด G3, G4, H4 และ H3)	29.10 \pm 1.07	-	-
SKJ 1-1	ตำแหน่งที่ 1 (กึ่งกลางระหว่าง กริด A2, A3, B3 และ B2)	24.53 \pm 0.91	29.65 \pm 0.94	27.29 \pm 1.33
	ตำแหน่งที่ 2 (กึ่งกลางระหว่าง กริด F4, F5, G5 และ G4)	30.39 \pm 1.13	-	-
	ตำแหน่งที่ 3* (นาข้าวนอกพื้นที่การผลิต)	54.17 \pm 1.33	57.50 \pm 1.36	NA
KS 1-1	ตำแหน่งที่ 1 (F3)	30.21 \pm 1.11	27.00 \pm 1.19	27.35 \pm 1.16
	ตำแหน่งที่ 2 (E10)	38.57 \pm 1.22	-	-
	ตำแหน่งที่ 3 (N-O9)	NA	59.17 \pm 1.52	56.89 \pm 1.16
	ตำแหน่งที่ 4* (ไร่อ้อยนอกพื้นที่ผลิต)	NA	86.03 \pm 2.03	NA

CU	บริเวณสนามฟุตบอล คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	45.78 \pm 1.42	NA	51.73 \pm 2.01
----	--	------------------	----	------------------

หมายเหตุ : * ค่าอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้ ณ บริเวณนอกพื้นที่เป้าหมาย

NA = ไม่ได้ทำการตรวจวัด เนื่องจากมีอุปสรรค เช่น หัววัดมีปัญหา พื้นที่อยู่ในระหว่างกำลังปรับปรุง หรือ พื้นที่มีการเพาะปลูก

2.3.2.1 ผลการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี ณ พื้นที่ ในพื้นที่การผลิต

การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ จากพื้นที่การผลิต UT1-7, UT1-3, SKJ1-1 และ KS1-1 ของการสำรวจภาคสนาม 3 ครั้ง พบว่า ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละครั้งของการตรวจวัดของแต่ละพื้นที่เป้าหมายนั้นมีค่าแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้มีผลมาจากปัจจัยต่อไปนี้

1. **ผลของความชื้น** การสำรวจภาคสนามครั้งที่ 1 ซึ่งอยู่ช่วงฤดูฝน พบว่า ค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ที่ตรวจวัดได้จาก พื้นที่เป้าหมาย UT1-7 และ UT1-3 มีค่าต่ำกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ที่ตรวจวัดได้จากการสำรวจภาคสนามครั้งที่ 2 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาว และ ครั้งที่ 3 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อน ทั้งนี้ เนื่องมาจากขณะที่ทำการสำรวจครั้งที่ 1 สำหรับพื้นที่ UT1-7 และ UT1-3 นั้นมีฝนตกชุกกว่าพื้นที่อื่น จึงทำให้พื้นที่ที่ทำการตรวจวัดอุ้มน้ำและความหนาแน่นของดินในพื้นที่ค่อนข้างสูง ทำให้รังสีแกมมาที่ผ่านเข้าหัววัดรังสีถูกลดทอนลง ในขณะที่การสำรวจพื้นที่ครั้งที่ 2 และ 3 พื้นที่มีลักษณะค่อนข้างแห้ง รังสีแกมมาที่ผ่านเข้าหัววัดรังสีมิได้ถูกลดทอนลง ดังนั้น ค่าอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้โดยรวมจึงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดครั้งที่ 1 ยกเว้น พื้นที่ SKJ1-1 และ KS1-1 มีฝนตกก่อนที่เข้าทำการสำรวจพื้นที่ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 เป็นเวลา 1 วัน
2. **ผลจากการรบกวนหน้าดินในพื้นที่** จากการสำรวจภาคสนามครั้งที่ 2 และ 3 พบว่า บางตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดมีการปรับปรุงพื้นที่การผลิตจึงทำให้พื้นดินบริเวณถูกรบกวนซึ่งให้มีผลต่อค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาที่วัดได้ เช่น การสำรวจพื้นที่ภาคสนามครั้งที่ 3 ในพื้นที่การผลิต UT1-7 ค่าที่วัดได้ที่ตำแหน่งที่ 2 มีค่าลดลงจากการสำรวจในครั้งที่ 2 ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นดินบริเวณที่ทำการตรวจวัดนั้นถูกรบกวนหน้าดินเดิมจากปรับปรุงผิวดินในบริเวณนั้นโดยนำหินมาปูบนหน้าดินเดิมใหม่ก่อนที่คณะวิจัยจะเข้าทำการสำรวจภาคสนาม

2.3.2.2 ผลการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสี ณ พื้นที่ นอกพื้นที่การผลิต

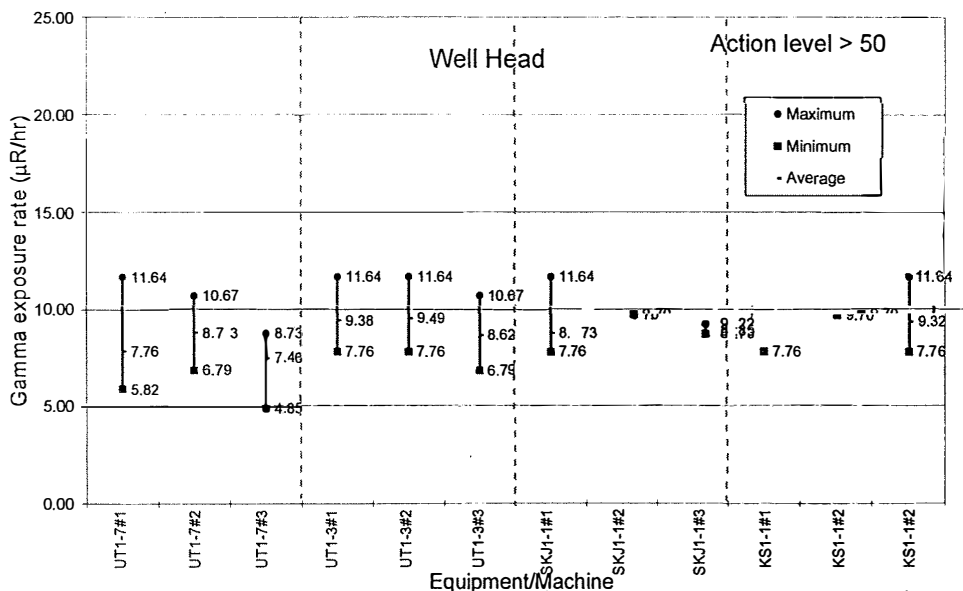
คณะวิจัยได้ทำการตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ นอกพื้นที่การผลิต 3 จุด ดังนี้

1. บริเวณนาข้าวซึ่งอยู่นอกพื้นที่การผลิต SKJ1-1 ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ห่างจากรั้วด้านข้างของพื้นที่เป้าหมาย 20 เมตร และ ห่างจากถนนหน้าพื้นที่เป้าหมาย 70 เมตร ซึ่งค่านี้ถูกใช้เป็นค่า background สำหรับเปรียบเทียบค่าอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้ในพื้นที่การผลิต UT1-7, UT1-3 และ SKJ1-1 เนื่องจากว่า พื้นที่การผลิตทั้งสามอยู่ไม่ไกลกัน โดย UT1-7 และ UT1-3 อยู่ห่างกันประมาณ 1 กิโลเมตร ส่วนพื้นที่ SKJ1-1 อยู่ห่างจาก UT1-7 และ UT1-3 ประมาณ 3 กิโลเมตร ได้ทำการสำรวจ 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 3 ไม่ได้ทำการวัด เนื่องจากมีการปลูกข้าวในระหว่างเข้าทำการสำรวจแต่คณะวิจัยได้ทำการเก็บดินบริเวณเดิมมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลการวิเคราะห์ของการสำรวจครั้งที่ 1 และ 2 พบว่า มีค่าอัตราปริมาณรังสีเท่ากับ $54.17 \pm 1.33 \mu\text{R/hr}$ และ $57.50 \pm 1.36 \mu\text{R/hr}$ ตามลำดับ
2. พื้นที่ไร่อ้อยบริเวณนอกพื้นที่การผลิต KS1-1 (ซึ่งอยู่ใน จ.นครปฐม) อยู่ด้านข้างห่างจากรั้วพื้นที่เป้าหมาย 20 เมตร ทางทิศเหนือ และ 30 เมตร จากถนนหน้าพื้นที่เป้าหมาย ค่าที่วัดได้ใช้เป็นค่า Background สำหรับพื้นที่เป้าหมายนี้ พื้นที่การผลิตนี้ห่างจากพื้นที่การผลิต UT1-7, UT1-3 และ SKJ1-1 ประมาณ 50 กิโลเมตร ในการสำรวจสามารถทำการวัดได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้นเนื่องจากพื้นที่มีการปลูกอ้อยตลอดฤดูกาล โดยวัดได้ $51.73 \pm 2.01 \mu\text{R/hr}$
3. บริเวณสนามฟุตบอล คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการวัด 2 ครั้ง พบว่ามีค่าเท่ากับ 45.78 ± 1.42 และ $51.73 \pm 2.01 \mu\text{R/hr}$ ตามลำดับ

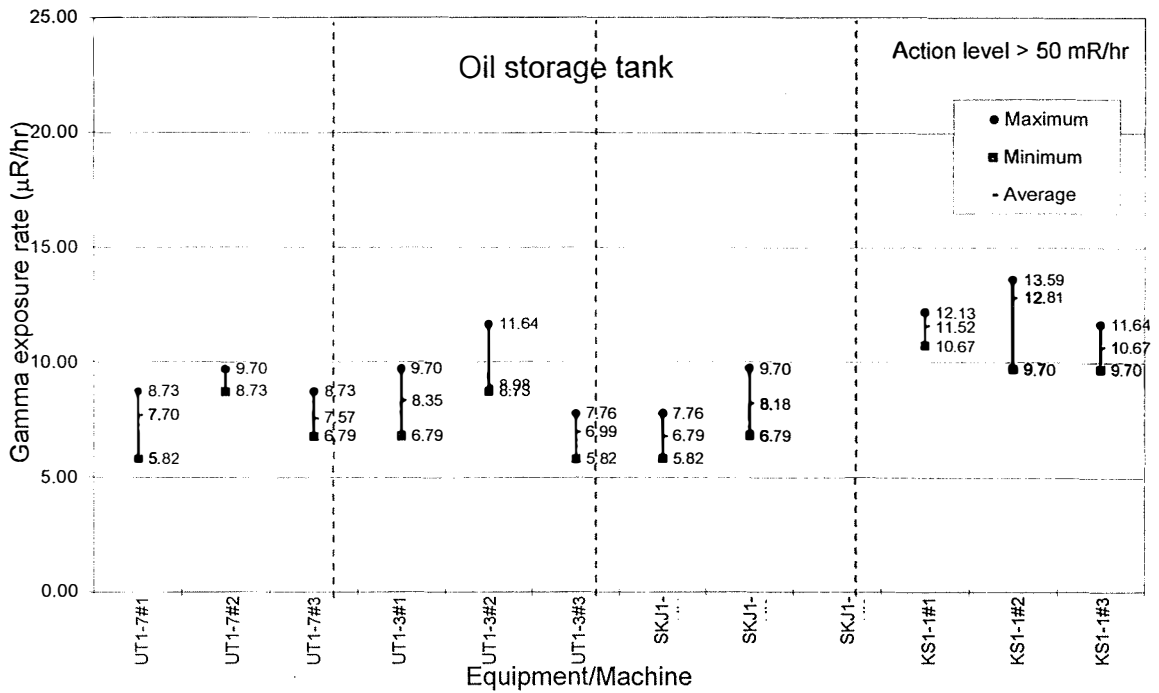
ในกรณีที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดปริมาณรังสีนอกพื้นที่การผลิตได้ อันเนื่องมาจากมีการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกหรือปรับปรุงพื้นที่ คณะวิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแสดงผลไว้ในหัวข้อที่ 2.4.1 (ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน) อย่างไรก็ตาม ผลจากการตรวจวัดค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ จากการสำรวจทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ค่าอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้นอกพื้นที่การผลิต มีค่าสูงกว่าค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาที่วัดได้ในพื้นที่การผลิตทุกพื้นที่

2.3.3 ผลการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาจากอุปกรณ์/เครื่องจักรในกระบวนการผลิตและกองท่อที่ใช้ในงานแล้วของพื้นที่เป้าหมายที่ 1

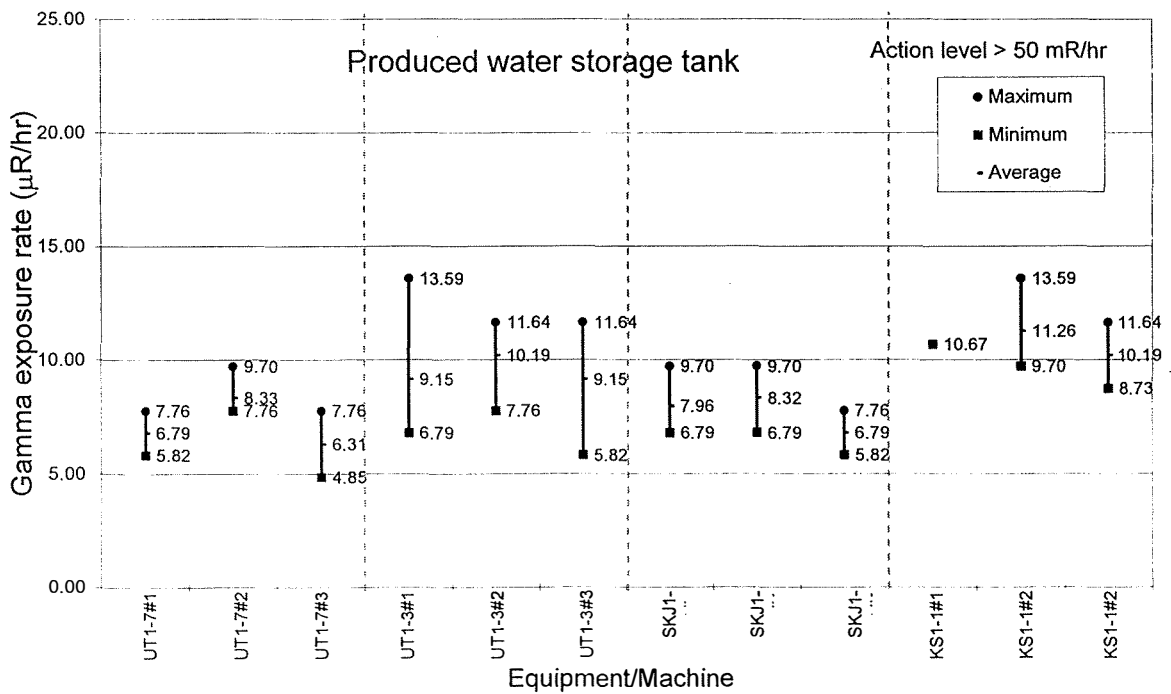
ผลการวัดช่วงอัตราปริมาณรังสีสูง ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดของอุปกรณ์/เครื่องจักรชนิดเดียวกันรวมทั้งอุปกรณ์และกองท่อที่ใช้แล้วของแต่ละพื้นที่ผลิตของพื้นที่เป้าหมายที่ 1 แสดงไว้ในรูปที่ 2.7-2.12 โดยค่า Equipment background เป็นค่าวัดอัตราปริมาณรังสีที่ระยะห่างจากอุปกรณ์/เครื่องจักรประมาณ 1 เมตร



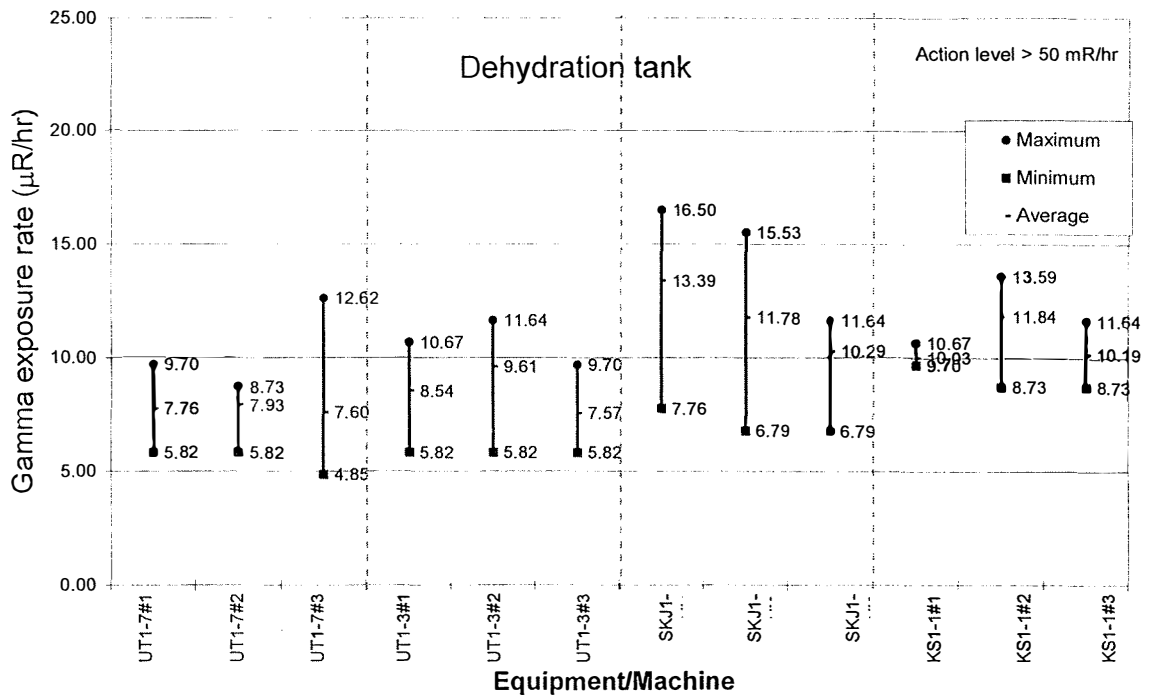
รูปที่ 2.7 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Well head จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง



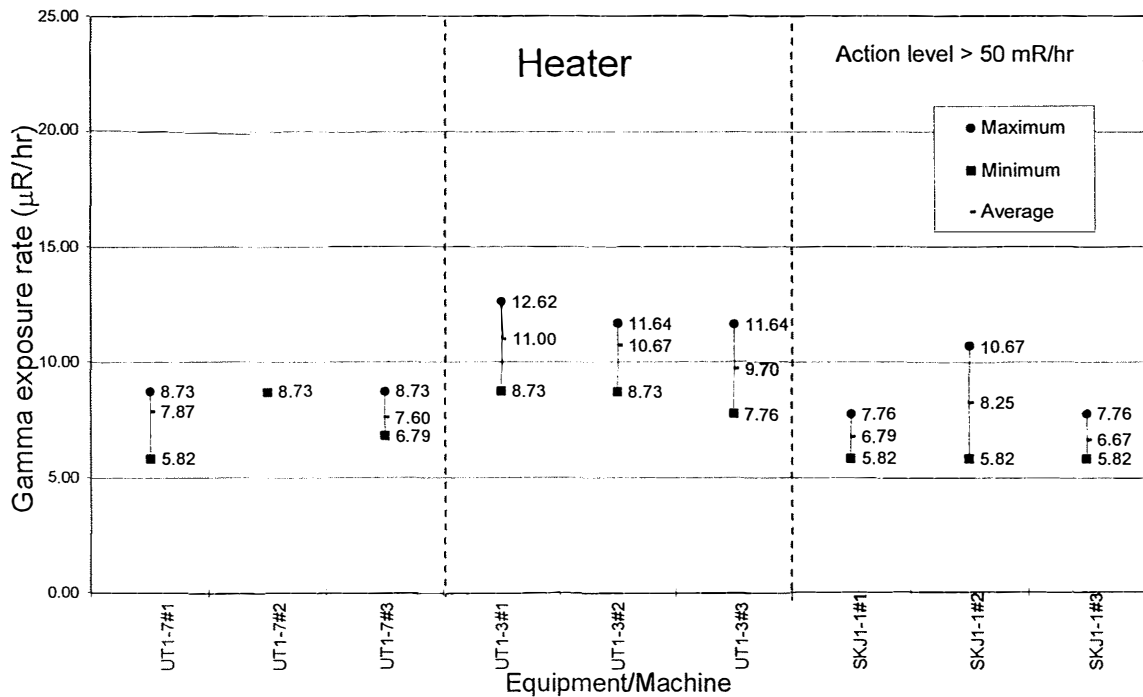
รูปที่ 2.8 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Oil storage tank จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง



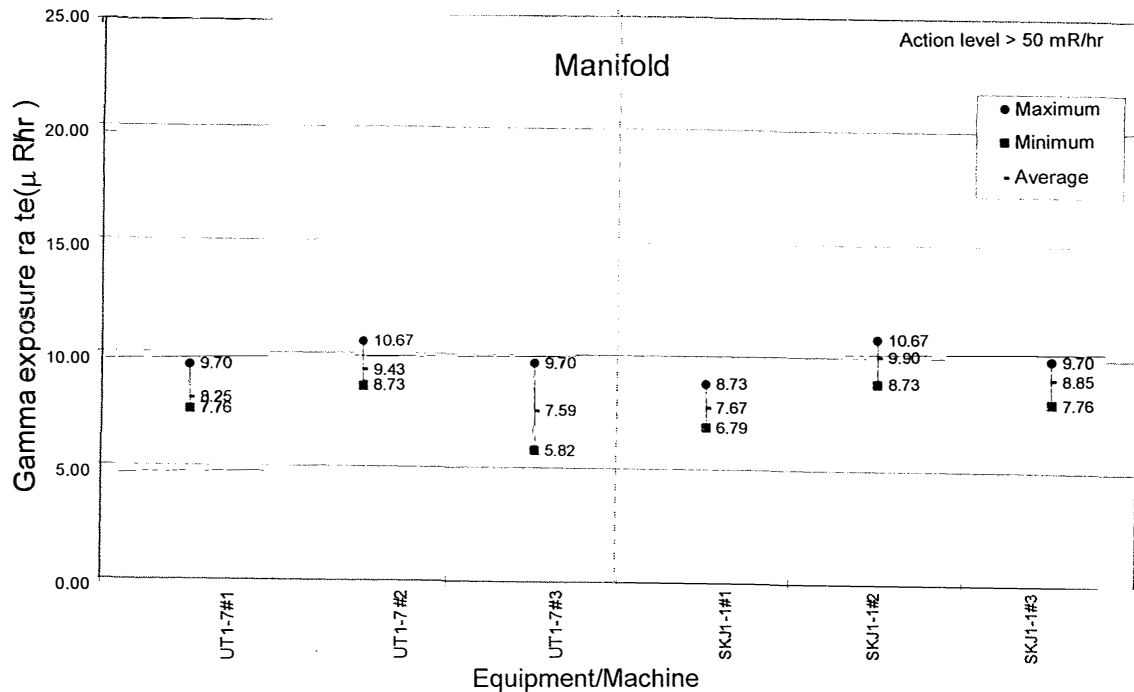
รูปที่ 2.9 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Produced Water Storage Tank จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 2.10 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Tank และ Dehydration Tank จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 2.11 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Heater จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 2.12 ช่วงอัตราปริมาณรังสีสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ของ Manifold จากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง

จากผลการวัดช่วงอัตราปริมาณรังสีของอุปกรณ์/เครื่องจักรแต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่การผลิตทั้ง 3 ครั้งมีดังนี้

Well head: ทุกพื้นที่การผลิตมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.64 µR/hr และมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 4.85-7.76 µR/hr

Oil storage tank: ค่าอัตราปริมาณรังสีสูงสุดวัดได้ที่ พบที่ พื้นที่การผลิต KS1-1 ทั้ง 3 ครั้ง (11.64-13.53 µR/hr) และ พื้นที่ UT 1-3 ครั้งที่ 2 ได้ 11.64 µR/hr ส่วนพื้นที่อื่นมีค่าสูงสุดที่วัดได้อยู่ในช่วงเดียวกัน (5.82-9.70 µR/hr)

Produced water storage tank: พื้นที่การผลิต UT1-3 และพื้นที่การผลิต KS1-1 มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดียวกัน (11.64-13.59 µR/hr) และ พื้นที่ UT 1-7 และพื้นที่ SKJ มีค่าใกล้เคียงกัน (5.82-9.80µR/hr)

Dehydration tank: พื้นที่การผลิต SKJ1-1 วัดค่าได้สูงกว่าพื้นที่อื่น (15.53-16.50 µR/hr)

Heater: พื้นที่การผลิต UT1-3 ค่าที่วัดได้สูงสุด (11.64- 12.62 µR/hr) ส่วนพื้นที่การผลิต UT1-7 และ SKJ1-1 มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน

Manifold: พื้นที่การผลิต UT1-1 และ SKJ1-1 ค่าสูงสุดที่วัดได้อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 9.67-10.67 µR/hr

อุปกรณ์/เครื่องจักรที่ตรวจวัดพบอัตราปริมาณรังสีสูงสุดของแต่ละพื้นที่การผลิต สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.7 อัตราปริมาณรังสีสูงสุดที่ตรวจพบตามอุปกรณ์ต่าง ๆ ของแต่ละพื้นที่

Site	อุปกรณ์/เครื่องจักร	ค่าอัตราปริมาณรังสีสูงสุด($\mu\text{R/hr}$)
UT 1-7	Dehydration tank (TK706)	12.62
UT 1-3	All equipments (Produced water storage tank)	~11.64 (13.6 first survey)
SKJ 1-1	Dehydration tank (TK102)	11.64
KS 1-1	All equipment/machine except injection well area	11.64
Action Level		50

2.4 การเก็บตัวอย่าง

ในการเข้าสำรวจพื้นที่แต่ละครั้ง ได้ทำการเก็บตัวอย่าง ต่อไปนี้

1. ตัวอย่างดิน ในบริเวณที่ทำการวัดแบบ *In Situ* ทั้งในและนอกพื้นที่ รวม 64 ตัวอย่าง
2. ตัวอย่างน้ำ ในและนอกพื้นที่ รวม 17 ตัวอย่าง
3. ตัวอย่าง produced water รวม 9 ตัวอย่าง
4. ตัวอย่างก๊าซธรรมชาติ จำนวน 2 ครั้ง จากพื้นที่ SKJ 1-1 ด้วยเทคนิคการดูดซับในตัวกลางที่ต่างกัน

โดยชนิดและจำนวนตัวอย่างที่เก็บและผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข

2.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรังสีในตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน

ข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ในตัวอย่างดินจำนวน 61 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ครั้งที่ 1, ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี แสดงไว้ในภาคผนวก ข (ตารางที่ ข-6 ถึง ข-9) โดยมีผลสรุปรวมแสดงในตารางที่ 2.8

ตัวอย่างดินในพื้นที่การผลิต UT1-7, UT1-3, SKJ1-1 และ KS1-1 พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นรังสีโดยเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K มีค่าน้อยกว่าปริมาณความเข้มข้นรังสีเฉลี่ยในตัวอย่างดินนอกพื้นที่การผลิตทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจาก ผิวดินในพื้นที่ผลิตทุกพื้นที่ถูกปูด้วยหินเป็นส่วนใหญ่

ส่วนดินนอกพื้นที่การผลิตซึ่งเป็นดินในพื้นที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทราย พบว่า ตัวอย่างดินที่เก็บมาส่วนใหญ่มีปริมาณเรเดียม-228 สูงกว่าเรเดียม-226 เล็กน้อย แสดงว่ามีองค์ประกอบของธาตุทอเรียมมากกว่าธาตุยูเรเนียม โดยเฉพาะพื้นที่การผลิต KS1-1 นั้น พบว่า ดินในและนอกพื้นที่การผลิตมีปริมาณความเข้มข้นรังสีเฉลี่ยของ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K สูงกว่าพื้นที่ผลิตอื่น และ บริเวณนอกพื้นที่มีการทำป่อทราย ซึ่งให้เหตุผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เพราะดินทรายส่วนใหญ่จะมีธาตุทอเรียมเป็นองค์ประกอบ และยังพบว่า บางตัวอย่างดินมีค่าความเข้มข้นรังสีรวมของเรเดียมทั้งสองไอโซโทปสูงกว่า 5 pCi/g ซึ่งเป็นค่า Action Level เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างดินที่เก็บมาจากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 ทั้งภายในและภายนอกพื้นที่การผลิตกับตัวอย่างดิน

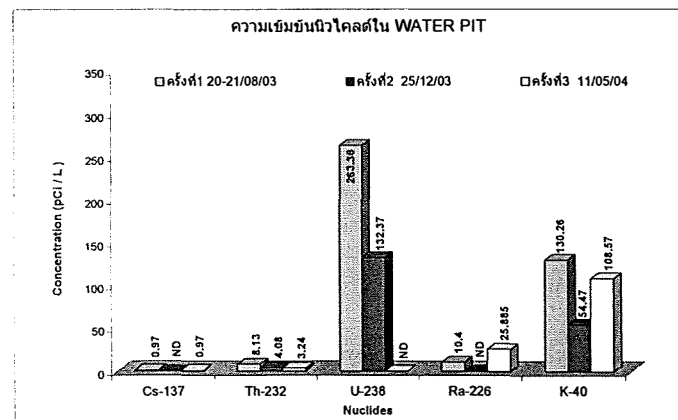
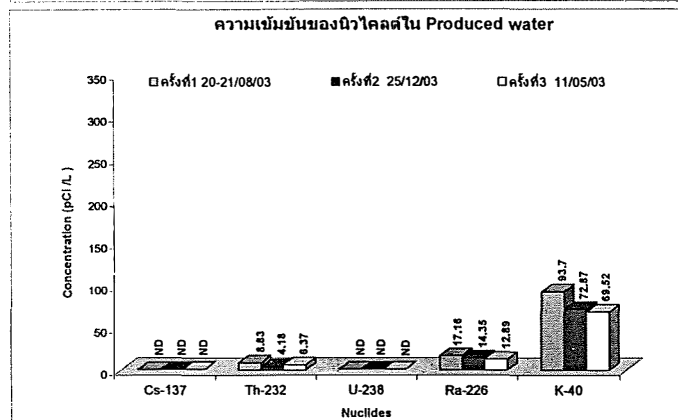
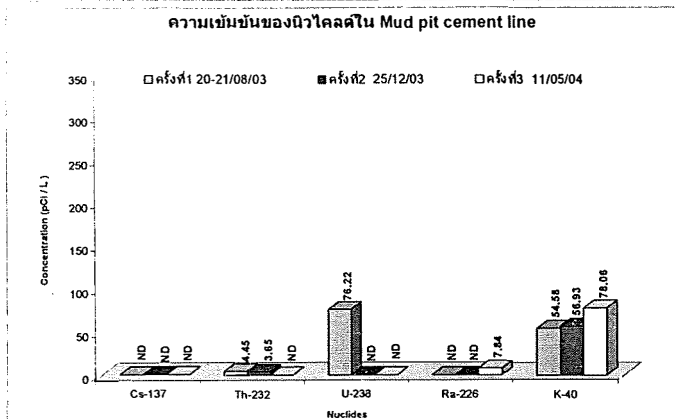
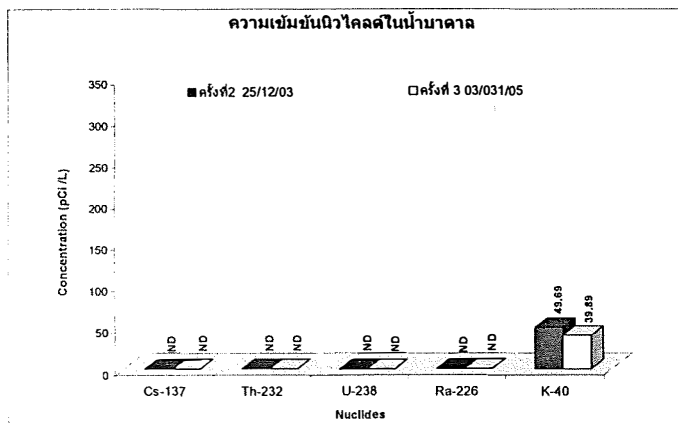
เนื่องจากรอบพื้นที่การผลิตของทุกพื้นที่ทำการเกษตรกรรม โดยพื้นที่ UT1-7, UT1-3 และ SKJ 1-1 ทำนา โดยรอบพื้นที่ ส่วน KS 1-1 เป็นไร่อ้อย ดังนั้น จึงตรวจพบธาตุ K-40 ซึ่งมาจากปุ๋ยที่ใส่ให้กับข้าวและอ้อยในตัวอย่างดิน นอกพื้นที่การผลิตในปริมาณที่สูงกว่าตัวอย่างดินในพื้นที่การผลิตมา นั้นใน

ตารางที่ 2.8 ความเข้มข้นรังสีของ ^{226}Ra , ^{228}Ra และ ^{40}K ในตัวอย่างดินนอกและในพื้นที่เป้าหมายที่ 1

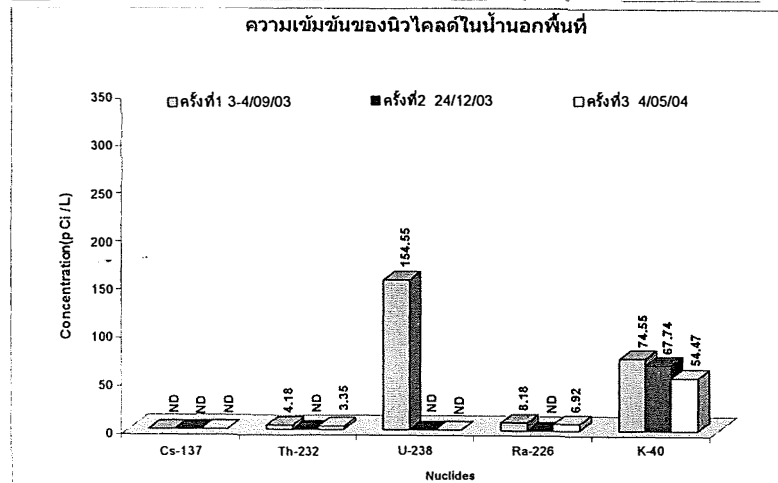
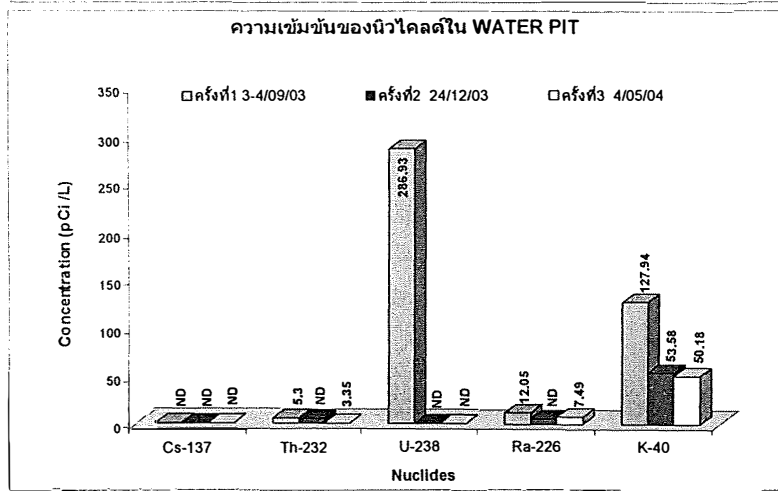
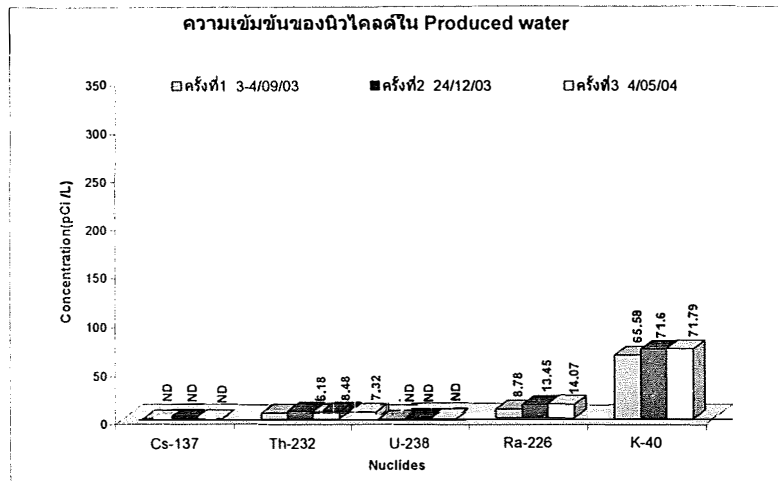
Site	ความเข้มข้นรังสี pCi/ g					
	^{226}Ra		^{228}Ra		^{40}K	
	นอกพื้นที่	ในพื้นที่	นอกพื้นที่	ในพื้นที่	นอกพื้นที่	ในพื้นที่
KS1-1	1.52-2.88	0.44-1.55	0.26-3.23	0.67-1.95	36.87-43.25	18.33-36.86
UT1-7, UT1-3, SKJ1-1	0.78-2.53	0.39-2.57	0.84-2.86	0.63-1.76	13.35-33.25	9.46-28.72
ดินทั่วไป(เอกสารอ้างอิงที่ 2)	0.07 - 5.41		0.14 - 5.0		0 - 864.96	

ตัวอย่างน้ำ

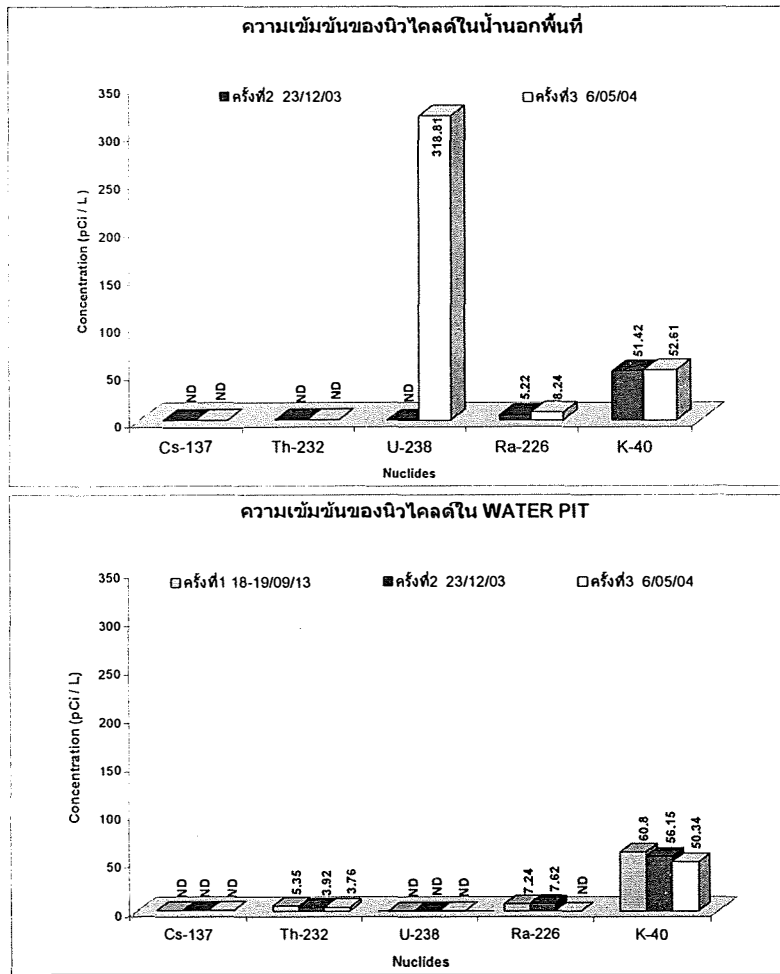
ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณความเข้มข้นรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra ซึ่งเป็นธาตุที่อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์และธาตุอื่นๆ ที่สนใจในตัวอย่างน้ำ แสดงไว้ในรูปที่ 2-13 ถึง 2-16 โดยสามารถสรุปสาระสำคัญได้ ดังนี้



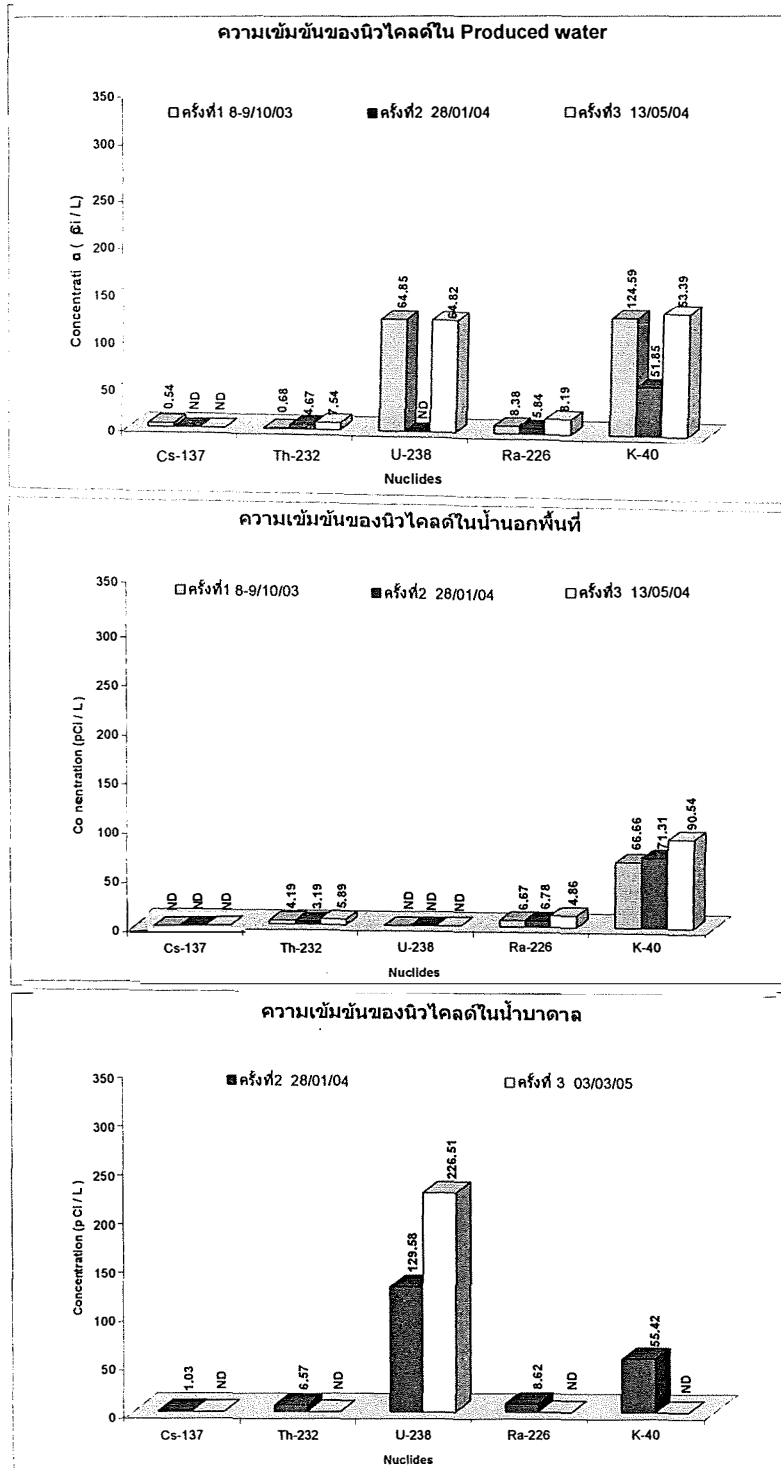
รูปที่ 2.13 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งน้ำของพื้นที่ UT1-7



รูปที่ 2.14 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ UT1-3



รูปที่ 2.15 ความเข้มข้นของรังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ SKJ 1-1



รูปที่ 2.16 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งนำของพื้นที่ KS 1-1

ตัวอย่าง produced water

ผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra ในตัวอย่าง produced water ในแต่ละพื้นที่ที่มีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยในพื้นที่การผลิต UT 1-7 มีค่าอยู่ในช่วง 12.89-17.16 pCi/L (0.477-0.635 Bq/L) โดยการเก็บครั้งที่ 1 ให้ค่าสูงสุด ส่วน UT1-3 มีค่าอยู่ในช่วง 8.78-14.08 pCi/L (0.33-0.52 Bq/L) โดยการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ให้ค่าสูงสุด ส่วน KS 1-1 มีค่าปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra อยู่ในช่วง 5.84-16.37 pCi/L (0.22-0.61 Bq/L) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดที่พบกับข้อมูลอ้างอิงในตารางที่ 2.9 พบว่า มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดที่พบในบ่อน้ำมันในต่างประเทศมาก

ตารางที่ 2.9 Radium Concentration in Oil-field brines in Kansas, Oklahoma, Arkansas, Louisiana, Russia and Germany ^[3-6]

Area	Ra concentration range, pCi/L	Nuclide	No. of wells
Russia & Germany	0.05-1430	Total radium	Not given
Oklahoma	10-1620	^{226}Ra	10
Texas panhandle	3-1560	^{226}Ra	75
Gulf Coast Oil	1.3-967	$^{226}\text{Ra} + ^{228}\text{Ra}$	10
Gulf Coast Oil	0.05-2801	$^{226}\text{Ra} + ^{228}\text{Ra}$	18

นอกจากนี้ พื้นที่ UT 1-7 และ UT1-3 ยังพบธาตุ ทอเรียม-232 อยู่ในช่วง 3.19-8.84 pCi/L (0.12-0.33 Bq/L) ในตัวอย่าง Produced water และมีการตรวจพบ ธาตุยูเรเนียม 238 ในบางตัวอย่างของพื้นที่ KS 1-1 อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra และ ธาตุอื่นที่พบในตัวอย่าง Produced water กับความเข้มข้นกัมมันตภาพของธาตุต่างๆในน้ำใต้ดิน (ดูตารางที่ 2.10 ประกอบ) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน

ตัวอย่างน้ำผิวดิน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นกัมมันตภาพของ NORM ในตัวอย่างน้ำผิวดินที่เก็บจากในและนอกพื้นที่การผลิต พบว่า ตัวอย่างน้ำที่เก็บจาก Water Reserve Pit ของพื้นที่ UT1-7, UT 1-3 และ SKJ1-1 ที่มีค่าความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra สูงกว่า Action level (5 pCi/L) โดยมีค่าสูงสุด 25.89 pCi/L (0.96 Bq/L), 12.05 pCi/L (0.45 Bq/L) และ 7.62 pCi/L (0.28 Bq/L) ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra ในน้ำผิวดิน ($<1.0 \times 10^{-3} - 3.0$ Bq/L) จากแหล่งต่างๆ ของโลกดังแสดงในตารางที่ 2.10 แต่น้ำตัวอย่างจากทั้งสามที่ไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภค เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra สูงเกินเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานน้ำดื่ม สำหรับประเทศไทยมีการกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม แบ่งตามชนิดของนิวไคลด์รังสี ดังนี้ รังสีแอลฟา <0.1 Bq/L (2.7027pCi/L) รังสีบีต้า <1 Bq/L (27.027pCi/L) เนื่องด้วยเรเดียมสลายตัวให้อนุภาค

แอลฟา ดังนั้น น้ำที่นำมาบริโภคควรมีปริมาณเรเดียมน้อยกว่า 0.1 Bq/L และ US EPA กำหนด ว่าในน้ำดื่มไม่ควรมีความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra เกิน 5 pCi/L (0.185 Bq/L)

ตัวอย่างน้ำบาดาล

ได้ทำการเก็บน้ำบาดาลจากพื้นที่การผลิต UT1-7 และจากพื้นที่ KS 1-1 (ซึ่งเป็นน้ำบาดาลที่ขนส่งมาจาก UT 1-7) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 8.62 pCi/L (0.32 Bq/L) ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra ในน้ำใต้ดิน แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภค เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นกัมมันตภาพของ ^{226}Ra สูงเกินเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานน้ำดื่ม

ตารางที่ 2.10 Concentrations of Naturally Occurring Radionuclides in Groundwater and Surface Water. ^[2]

Nuclide	Concentration(Bq/L)	
	Groundwater	Surface water
^{238}U	2.0×10^{-7} -185	$< 1.0 \times 10^{-3}$ -5.6
^{234}U	NA	4.5×10^{-3} -2.7
^{232}Th	NA	0.5×10^{-2}
^{230}Th	NA	2.6×10^{-3} -5.0
^{228}Th	NA	3.5×10^{-3} - 1.9×10^{-2}
^{228}Ra	1.5×10^{-2} -0.21	5×10^{-4}
^{226}Ra	7.4×10^{-5} -56	$< 1.0 \times 10^{-3}$ -3.0
^{210}Pb	$< 4.9 \times 10^{-4}$ -51	1.7×10^{-3} -0.25
^{210}Po	0- 4.8×10^{-2}	5.6×10^{-4} - 2.6×10^{-3}
^{40}K	1.3×10^{-2} -0.16	0-0.85

การวัดก๊าซเรดอนในตัวอย่างก๊าซธรรมชาติ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรดอน-222 ในตัวอย่างก๊าซธรรมชาติ ที่เก็บจากพื้นที่เป้าหมาย SKJ1-1 เมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ.2547 ด้วยเทคนิคการผ่านผ่านกัมมันต์ โดยใช้ flow rate ประมาณ 0.5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำผ่านกัมมันต์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่าปริมาณเรดอน-222 ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 4.02 ± 0.26 pCi/l

2.6 การตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาจากสิ่งแวดล้อม

ในการสำรวจภาคสนามครั้งที่ 1 ได้ทำการติดตั้งติดตั้งอุปกรณ์การวัดรังสีแอลฟาจากก๊าซเรดอน (Track-Etch Film) และ อุปกรณ์การวัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อม โดยใช้ Thermo-Luminescence Dosimeter (TLD) ชนิด $\text{CaF}_2: \text{Dy}$ โดยจะทำการติดตั้งไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือนก่อนเก็บมาวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ โดยตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองระบอบอยู่ในแผนผังของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย รายละเอียดของการที่ติดตั้งมีดังนี้

2.6.1 ติดตั้งอุปกรณ์ TLD

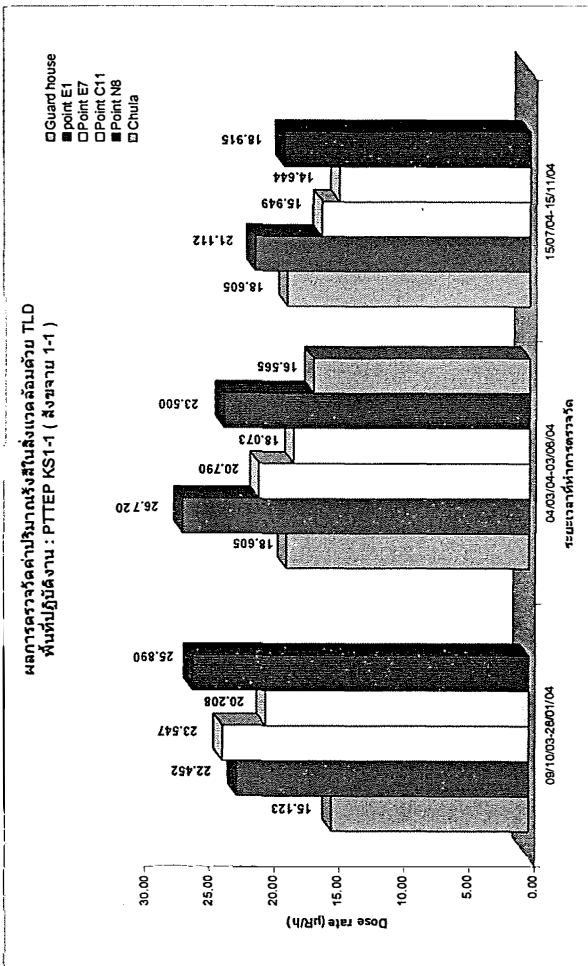
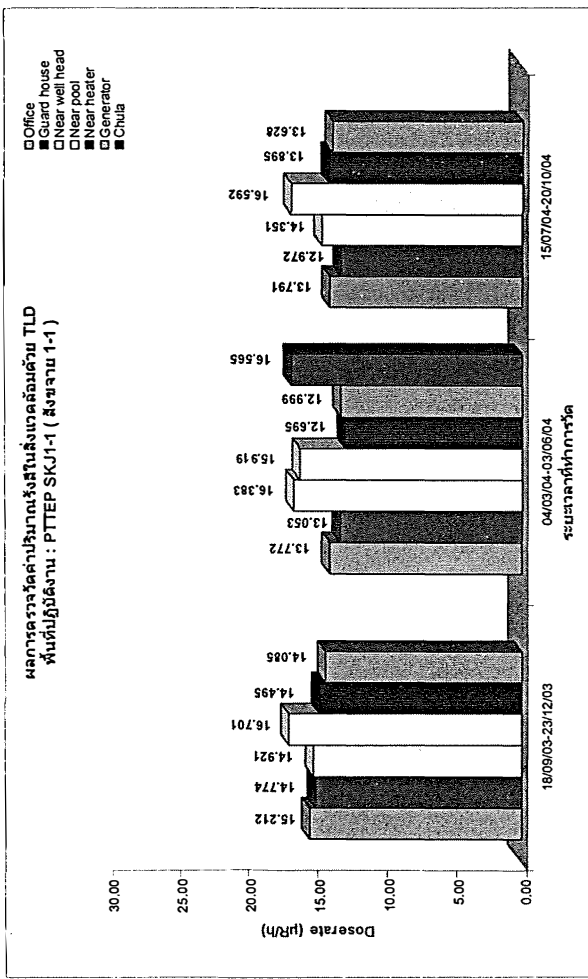
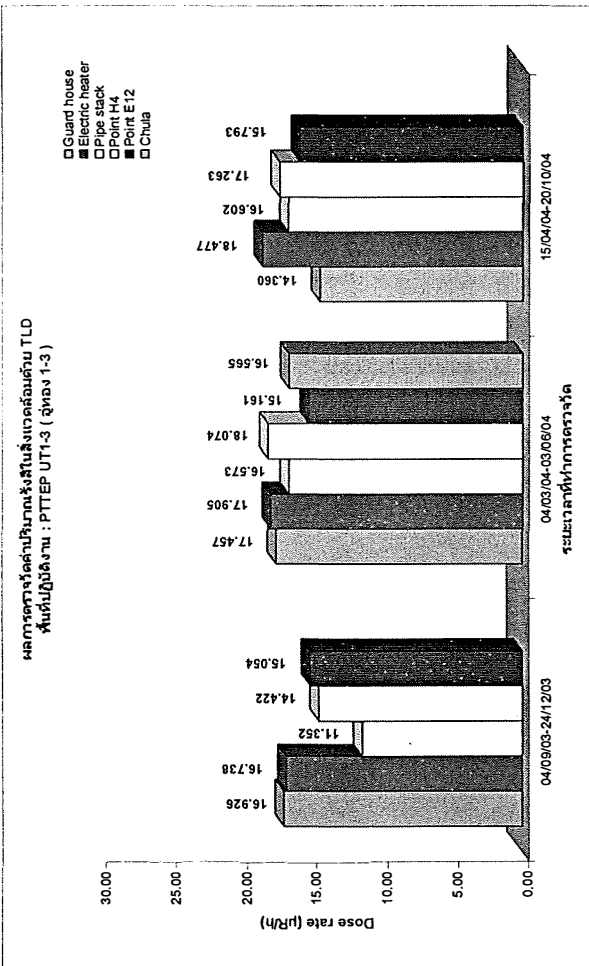
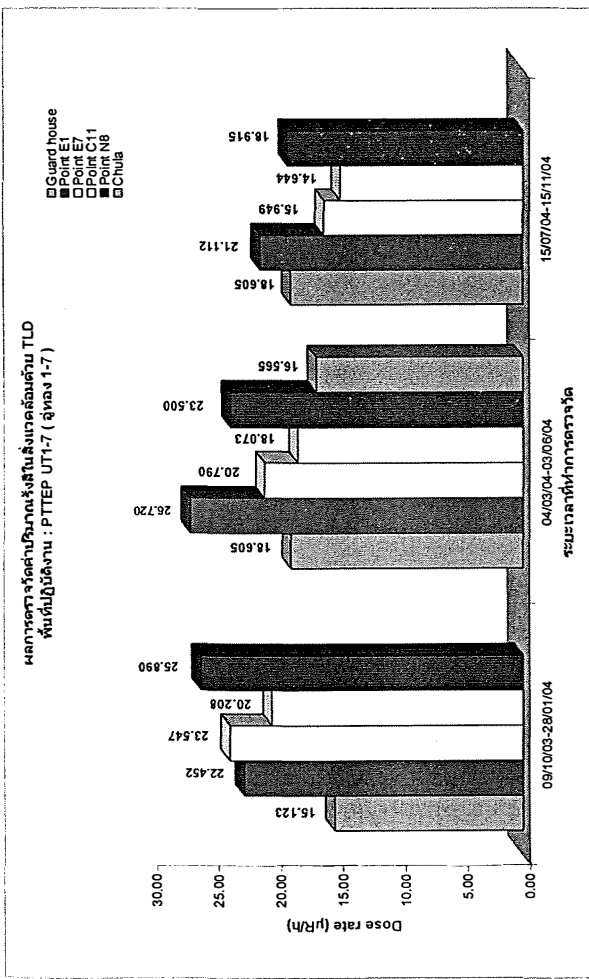
ได้ทำการติดตั้ง TLD ติดไว้ภายนอกอาคาร และบริเวณการผลิตบริเวณที่ผลของการวัดรังสีแกมมาแบบเดินสำรวจให้ค่าสูง และ/หรือ บริเวณที่มีการทำกิจกรรมอยู่เป็นประจำ ดังนี้

1. UT 1-1 รวม 7 จุด Office, Guard house, Heater, Grid B11, Grid G12, Grid E7, Grid I2
2. UT 1-3 รวม 5 จุด ได้แก่ Guard house, Electric heater, Pipe stack, Grid H4 และ Point E12
3. SKJ1-1 รวม 6 จุด ได้แก่ Office, Guard house, Near well head, Near pool, Near heater, Generator
4. KS 1-1 รวม 5 จุด ได้แก่ Guard house, Grid E1, Grid E7, Grid C11, Grid NO8.5

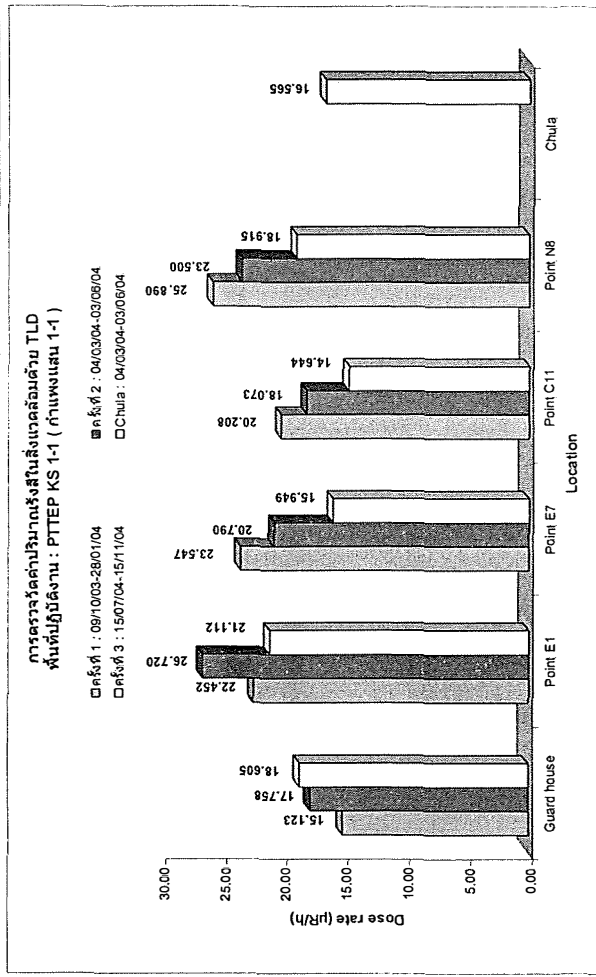
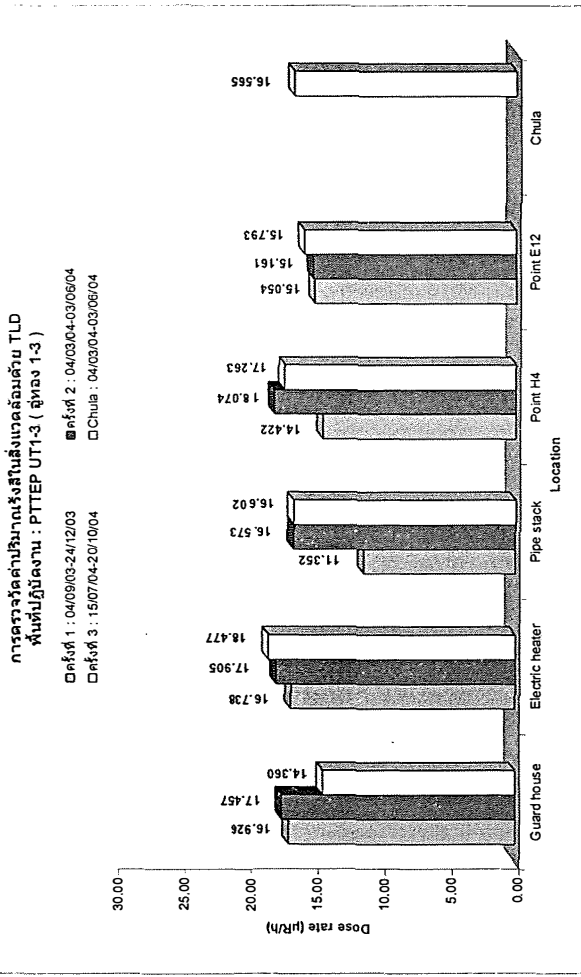
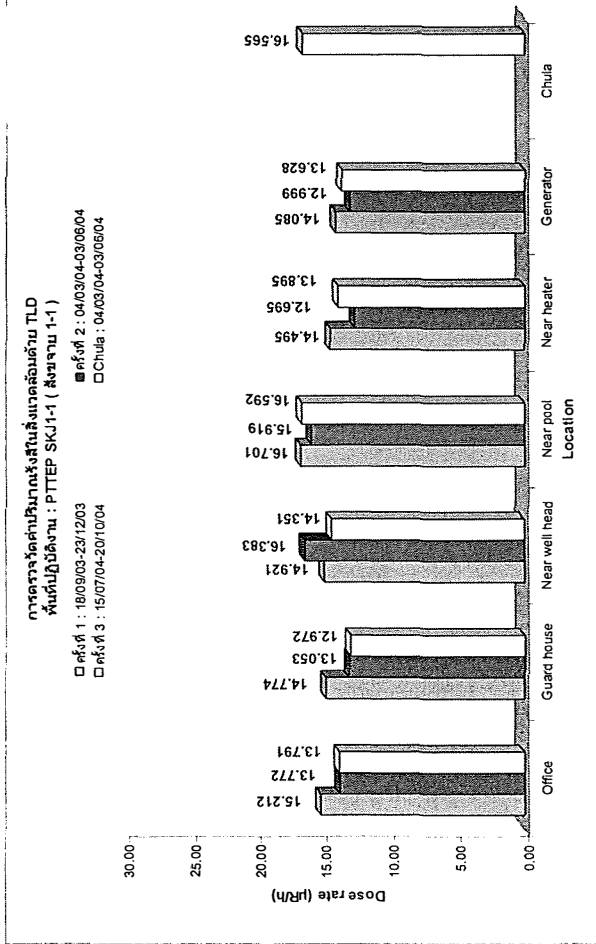
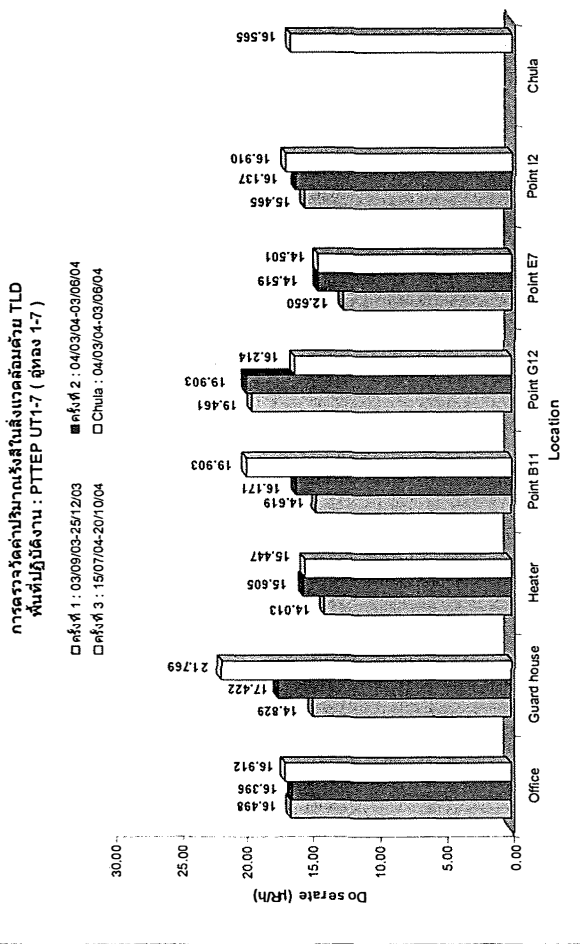
2.6.2 ผลการวิเคราะห์วัดรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อมด้วย TLD

ผลการวิเคราะห์หลังทำการปรับแก้ค่า Fading แล้วแสดงไว้ในรูปที่ 2.17-2.18 พบว่า พื้นที่การผลิต KS 1-1 มีอัตราปริมาณรังสีในพื้นที่สูงสุดเมื่อเทียบกับพื้นที่การผลิตอื่น โดยมีค่าสูงบริเวณ Grid E1 ซึ่งเป็นจุดที่ติดกับรั้วทางด้านทิศเหนือ และ Grid NO8.5 ซึ่งอยู่บริเวณหลังแท่นที่ตั้งถังน้ำมันดิบและถังเก็บ produced water ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการตรวจวัดแบบเดินสำรวจ และพบว่า อัตราปริมาณรังสีสูงอยู่ในช่วงเดือน กันยายน ถึง มกราคม และต่ำสุดอยู่ระหว่างเดือน มีนาคม ถึง พฤษภาคม ส่วนพื้นที่ UT1-3 และ SKJ 1-1 มีอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้ใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่า พื้นที่ SKJ1-1 เล็กน้อย และพบว่าทั้ง 3 พื้นที่นี้มีอัตราปริมาณรังสีระหว่างเดือน กันยายน ถึง มกราคม มีค่าสูงกว่า อัตราปริมาณรังสีระหว่างเดือน มีนาคม ถึง พฤษภาคม เล็กน้อย ค่า Background ซึ่งใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับนั้นอ่านจาก TLD ที่ติดตั้งไว้ที่สนามหน้าตึกภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ซึ่งพบว่า มีค่าอัตราปริมาณรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าในพื้นที่ผลิตทั้ง 4 พื้นที่

- หมายเหตุ - พื้นที่ SKJ 1-1 เป็นพื้นที่การผลิตที่ใหม่มีอายุการใช้งาน 2 ปี
- ขั้นตอนการปรับเทียบค่า Fading ของ TLD แสดงไว้ใน ภาคผนวก ค
 - กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้อนุเคราะห์ให้ยืม TLD จำนวน 100 เม็ด ในการวิจัยนี้



รูปที่ 2.17 ระดับปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมจากการตรวจวัดด้วย TLD ในช่วง 12 เดือน ในแต่ละพื้นที่การผลิต



รูปที่ 2.18 ปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมจากการตรวจวัดด้วย TLD ในแต่ละตำแหน่งของแต่ละพื้นที่การผลิต

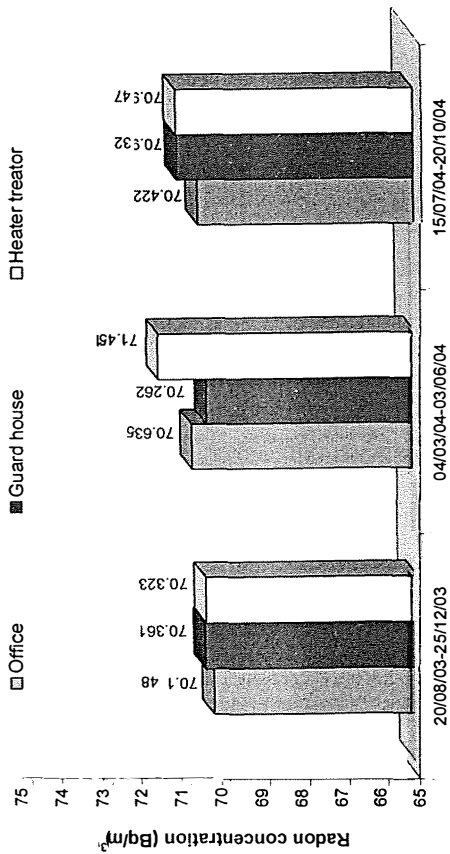
2.6.3 ติดตั้งอุปกรณ์ Track-Etch Film

Track-Etch Film ได้ถูกติดตั้งไว้ในอาคารบริเวณที่มีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานของอยู่เป็นประจำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซเรดอนในบริเวณนั้น ๆ โดยทำการติดตั้ง ณ จุดต่าง ๆ ดังนี้

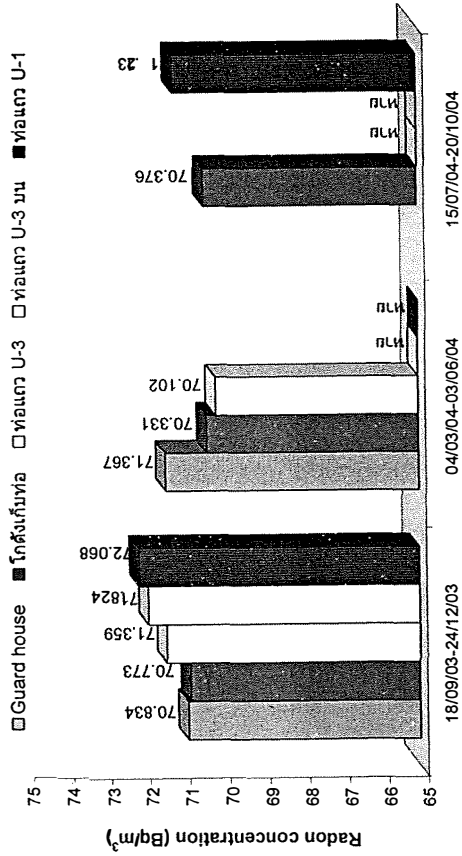
- UT1-7: จำนวน 3 จุด office, guard house, heater treator
- UT 1-3: จำนวน 6 จุด Guard house, โถงเก็บ อุปกรณ์, ท่อแถว U-3, U-3 (ท่อนบน), U-1
- SKJ 1-1: Office, Guard house, Heater treator, Generator
- KS 1-1: office, Guard house

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณรังสีเรดอนต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ (Bq/m^3) ในบริเวณอาคารด้วยชุดอุปกรณ์ Track-Etch Film หลังการทำการปรับเทียบกับค่ามาตรฐานที่ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมาตรฐานระดับต่าง ๆ แล้ว (รายละเอียดของการปรับแก้ค่าแสดงไว้ในภาคผนวก ค) แสดงไว้ในรูปที่ 2.19-2.20 พบว่า ในแต่ละพื้นที่การผลิตมีระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใกล้เคียงกันทุกช่วงฤดู คือ อยู่ในช่วง $70-72 Bq/m^3$ และพบว่า พื้นที่ UT1-3 บริเวณที่เก็บกองท่อใช้แล้วและท่อใหม่ มีปริมาณสูงกว่าตำแหน่งอื่นเล็กน้อยในพื้นที่เดียวกัน อย่างไรก็ตามค่าที่วัดได้ต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดโดย US.EPA ของความเข้มข้นก๊าซเรดอนสำหรับที่อยู่อาศัย ซึ่งกำหนดค่าไว้ว่าไม่ควรเกิน $148 Bq/m^3$

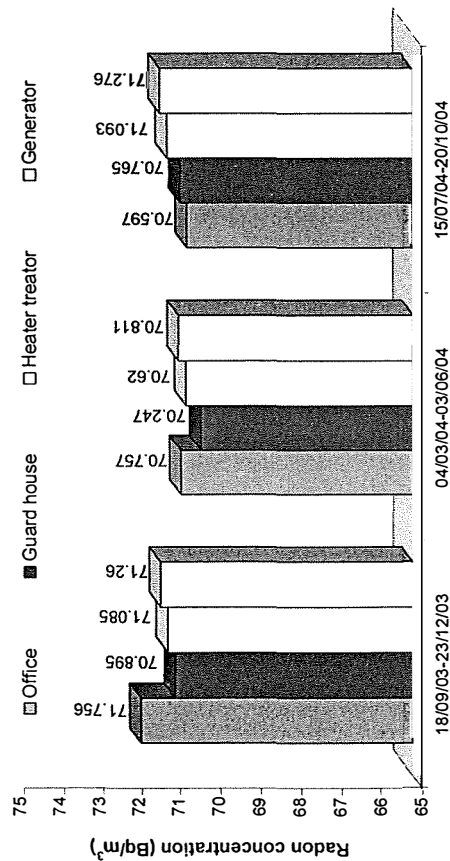
ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP UT1-7 (ลู่ทอง 1-7)



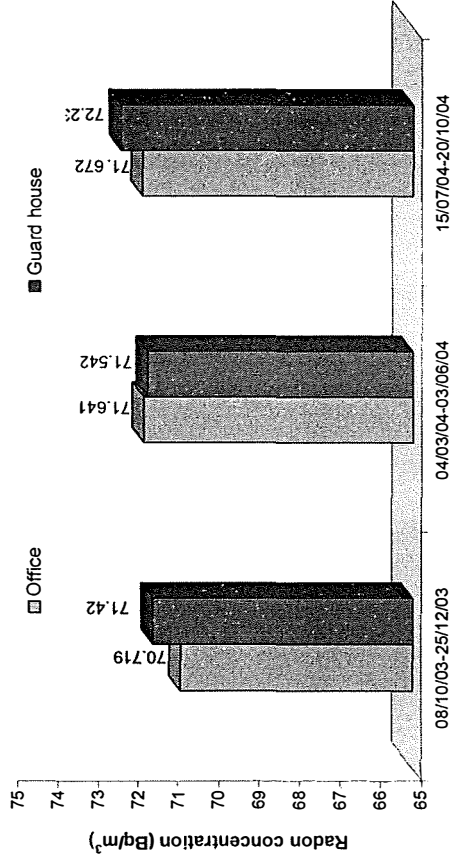
ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP UT1-3(ลู่ทอง 1-3)



ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP SKJ1-1(สังขาย 1-1)

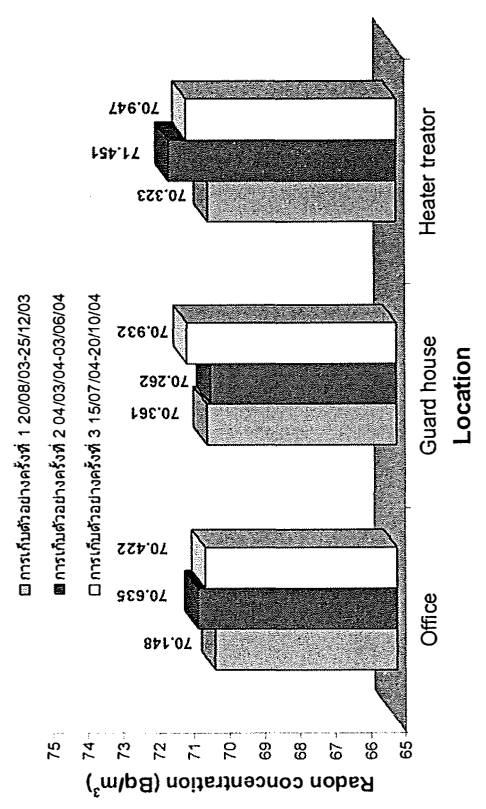


ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP KS1-1(กำแพงแสน 1-1)

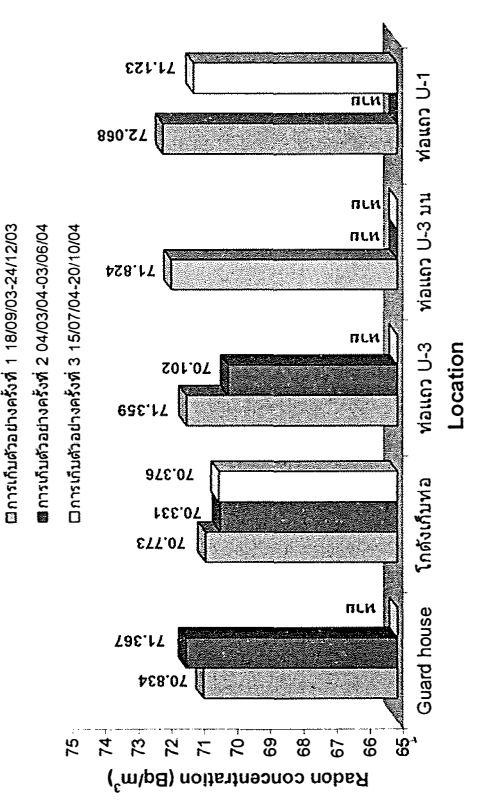


รูปที่ 2.19 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละพื้นที่การผลิต

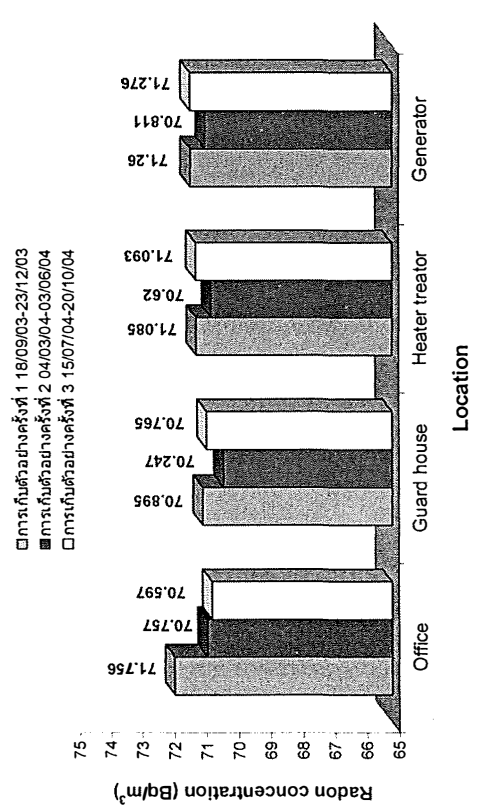
**ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP UT1-7 (อุโมงค์ 1-7)**



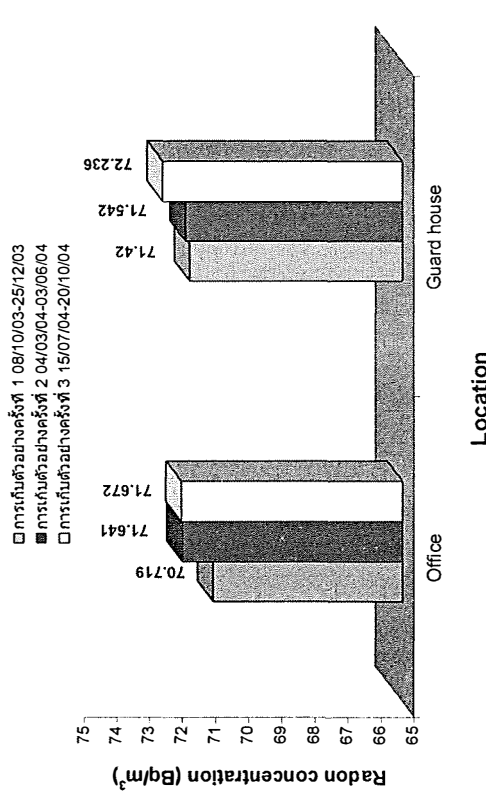
**ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP UT1-3 (อุโมงค์ 1-3)**



**ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP SKJ1-1 (สังกาย 1-1)**



**ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นเรดอน
พื้นที่ปฏิบัติงาน : PTTEP KS1-1 (กำแพงแสน 1-1)**



รูปที่ 2.20 ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน ในแต่ละตำแหน่งของแต่ละพื้นที่การผลิต

บทที่ 3

ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในกากจากการผลิตน้ำประปา (โครงการย่อยที่ 2)

3.1 ที่มาของการวิจัย

เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำประปาต้องใช้น้ำธรรมชาติปริมาณมหาศาล และ ในการบำบัดน้ำดิบเพื่อให้เป็นน้ำสะอาดหรือน้ำประปานั้น มีกระบวนการบำบัดเพื่อกำจัดธาตุและสารประกอบบางตัวที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคออกไป ซึ่งในกระบวนการบำบัดอาจมีขั้นตอนต่าง ๆ และทำได้หลายวิธี แต่ในกระบวนการบำบัดน้ำประปาโดยทั่วไปนั้นไม่ได้มีความประสงค์ที่จะกำจัดธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติออกไปด้วย ดังนั้นในน้ำประปาจึงอาจมีธาตุกัมมันตรังสีบางตัว ปะปนอยู่ในน้ำและอาจมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อผ่านเข้าสู่ร่างกายและสะสมอยู่ในปริมาณสูง ธาตุกัมมันตรังสีตัวที่สำคัญ คือ ธาตุเรเดียมซึ่งเป็นธาตุกลุ่มเดียวกับแคลเซียมจึงสามารถเข้าแทนที่แคลเซียมในกระดูกได้และมีอัตราการถ่ายออกจากร่างกายช้ามากและเนื่องจากเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคแอลฟาซึ่งมีการแตกตัวเป็นไอออนจำเพาะสูงทำให้อาจมีผลต่อเนื้อเยื่อกระดูกได้ ดังนั้นหากบุคคลใดดื่มน้ำหรือรับประทานอาหารที่มีปริมาณเรเดียมปะปนอยู่สูง ก็จะทำให้เกิดการสะสมของเรเดียมในกระดูก และมีโอกาสที่จะเป็นมะเร็งในกระดูกสูงกว่าบุคคลที่บริโภคอาหารและน้ำที่มีเรเดียมปะปนอยู่น้อยกว่า ซึ่งปัจจุบันทางภาครัฐได้รณรงค์ให้น้ำประปาเป็นน้ำที่สามารถดื่มบริโภคได้ ดังนั้น การทราบปริมาณของเรเดียมในแหล่งน้ำและในน้ำที่นำมาใช้บริโภคจะเป็นประโยชน์ทางด้านสุขภาพ ความปลอดภัยและชีวอนามัยต่อประชาชนทั่วไป

International Commission on Radiological Protection (ICRP) กำหนดให้ปริมาณสูงสุดของเรเดียม -226 ในร่างกายโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายไว้ เท่ากับ $0.1 \mu\text{Ci}$ [6], United States Environmental Protection Agency (US.EPA) กำหนดให้มีระดับการปนเปื้อนสูงสุด (Maximum Contamination Level, MCL) ของธาตุเรเดียม -226 และเรเดียม -228 รวมไม่ควรเกิน 5 pCi/L (0.185 Bq/L) [7] เพราะการดื่มน้ำที่มีเรเดียมปนเปื้อนในน้ำดื่มเกินค่า MCL เป็นเวลานานหลายปีอาจมีโอกาเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งสูงขึ้น ($0.7\text{-}3.0$ ต่อคนต่อประชากร $1,000,000$ คน หรือ ระหว่าง $0.5\text{-}2.0 \times 10^{-4}$ ตลอดช่วงอายุ 70 ปี) สำหรับประเทศไทยมีการกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม [8] แบ่งตามชนิดของนิวไคลด์รังสี ดังนี้ รังสีแอลฟา $<0.1 \text{ Bq/L}$ (2.7027 pCi/L) รังสีบีต้า $<1 \text{ Bq/L}$ (27.027 pCi/L) เนื่องด้วยเรเดียมสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา ดังนั้น น้ำที่นำมาบริโภคควรมีปริมาณเรเดียมน้อยกว่า 0.1 Bq/L

ในกระบวนการบำบัดน้ำประปาโดยทั่วไปไม่ได้มีความประสงค์ที่จะกำจัดธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่ธาตุเรเดียมซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกับแคลเซียมและแบเรียมจึงอาจร่วมตกตะกอน (co-precipitate) ลงมากับกากตะกอนได้ในขั้นตอนการตกตะกอน ดังนั้น จึงอาจ พบปริมาณเรเดียมในกากตะกอนสูงเกินจากปริมาณที่มีในธรรมชาติได้ ซึ่งปกติ กากตะกอนเหล่านี้จะต้องบำบัดทิ้งออกสู่สาธารณะอยู่เป็นประจำ จึงอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ตะกอนเหล่านั้นถูกนำไปกำจัดทิ้งได้ ดังนั้น การทราบปริมาณของเรเดียมในกากตะกอนที่ถูกปล่อยทิ้งจะเป็นประโยชน์ต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานและประชาชนในบริเวณใกล้เคียง ดังนั้น การวิจัยนี้ จึง

มุ่งเน้นศึกษาหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่ปะปนอยู่ในกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำประปาโดยได้ทำการเลือกเก็บตัวอย่างกากตะกอนที่มาจากแหล่งผลิตที่มีต้นน้ำดิบต่างกันเป็นเกณฑ์

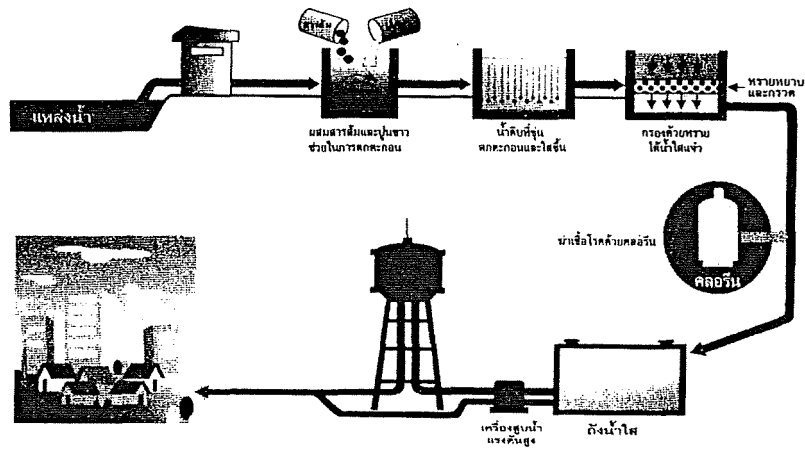
3.2 วิธีการผลิตน้ำประปา

"น้ำประปา" เป็นน้ำที่ผ่านขบวนการต่าง ๆ มากมายกว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดัง ขบวนการผลิตต่อไปนี้

1. การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำประปาได้และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง
2. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบเข้ามาแล้วจะผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและ ปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้การตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้นและสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะปนมากับน้ำ
3. การตกตะกอน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้วทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อให้น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้การจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และจะนำน้ำเหล่านี้ให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถัง และถูกดูดทิ้ง น้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป
4. การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ
5. การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้ คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า "น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป น้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค
6. การสูบน้ำจ่าย น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของประชาชนผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไป ตามท่อส่ง ดังนั้นการสูบน้ำจ่ายจึงมีความจำเป็น ด้านการส่งจากห้องสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ห่างไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำเพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง

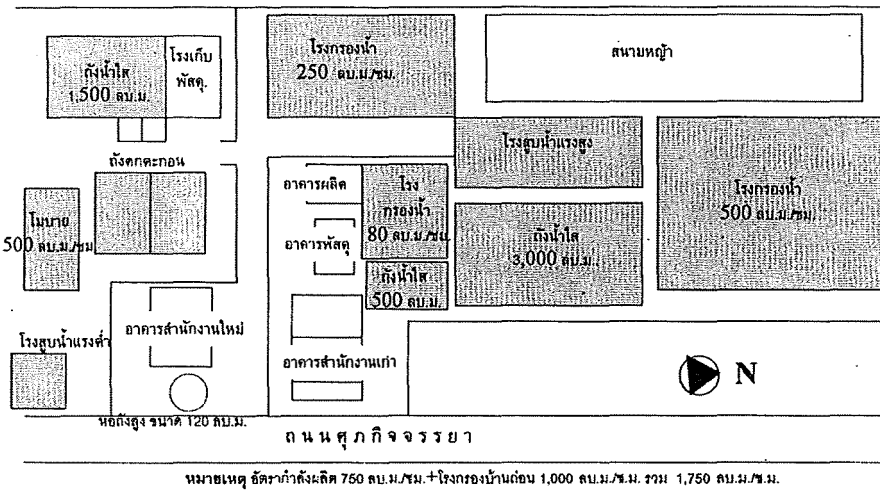
ผังขั้นตอนการผลิตและบำบัดน้ำประปาโดยทั่วไปที่ใช้งานในประเทศ แสดงในรูปที่ 3.1 - 3.2

ขั้นตอนการผลิตน้ำประปา



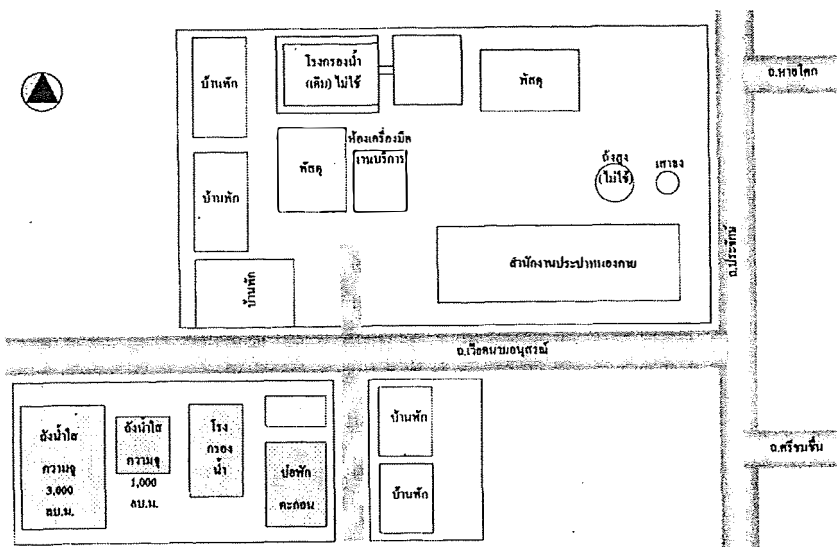
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตและบำบัดน้ำประปานครสวรรค์

ผังสังเขป สำนักงานประปาอุดรธานี



หมายเหตุ อีกรวมถังผลิต 750 ลบ.ม./ชม. + โรงกรองบ้านถ่อน 1,000 ลบ.ม./ชม. รวม 1,750 ลบ.ม./ชม.

ผังสังเขป สำนักงานประปาหนองคาย



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตและบำบัดน้ำประปาของสำนักงานประปาอุดรธานีและหนองคาย

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ในการวิจัยหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในกากตะกอนจากการบำบัดน้ำประปามีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1. ติดต่อประสานงานกับผู้ว่าการประปานครหลวงและประปาส่วนภูมิภาค เพื่อขอความอนุเคราะห์ข้อมูล และการเก็บตัวอย่างน้ำประปาและกากตะกอนจากสำนักงานการประปานครหลวงและการประปา ภูมิภาคเขตต่าง ๆ ซึ่งได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดี โดย รายนามสำนักงานประปาเขตนครหลวง และ รายนามสำนักงานประปาส่วนภูมิภาค แสดงไว้ในภาคผนวก จ
2. คัดเลือกสำนักงานประปาจากรายนามที่ได้รับมาเฉพาะสำนักงานประปาที่มีโรงผลิตน้ำประปาเท่านั้น เช่น สำนักงานประปาเขตนครหลวง มีเพียง 2 สำนักงานเขตที่มีโรงผลิตน้ำประปา คือ สำนักงานประปา บางเขนและสำนักงานประปามหาสวัสดิ์ ที่ผลิตน้ำประปาแจกจ่ายให้กับหน่วยบริการอื่นๆ ซึ่งไม่ใช่ หน่วยผลิตน้ำแต่มีหน้าที่จ่ายน้ำไปยังผู้บริโภค ในการคัดเลือกได้อาศัยข้อมูลของจำนวนหน่วยประปา, แหล่งน้ำดิบ, แผนที่ลำน้ำดิบ และจุดสูบน้ำดิบของสำนักงานประปาในสังกัดสำนักงานประปาเขตต่าง ๆ โดยให้ความสำคัญกับแหล่งและจุดสูบน้ำดิบเป็นหลัก
3. การเก็บกากตะกอนและตัวอย่างน้ำ ทางคณะวิจัยได้ติดต่อให้ทางสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคเขต ต่าง ๆ ช่วยจัดส่งกากตะกอนมาให้ทางไปรษณีย์ โดยทางคณะผู้วิจัยเป็นผู้ชำระค่าขนส่ง ในการเก็บกาก ตะกอนและตัวอย่างน้ำไม่ต้องมีการรักษาคุณภาพน้ำแต่อย่างใด เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อการวัด กัมมันตภาพรังสีจากตัวอย่าง
4. เลือกเทคนิคการวิเคราะห์ ดังนี้
 - ตัวอย่างกากตะกอนใช้เทคนิคแกมมาเปกโตรเมตรีเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ เรเดียม-226, เรเดียม-228 และ โพแทสเซียม-40
 - ตัวอย่างน้ำใช้เทคนิคแกมมาเปกโตรเมตรี และ แอลฟาสเปกโตรเมตรี
 - ปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำประปาใช้เครื่องวัดชื่อ RAD-7 ร่วมกับอุปกรณ์เสริมคือ RAD-AQUA หรือ RAD-H2O

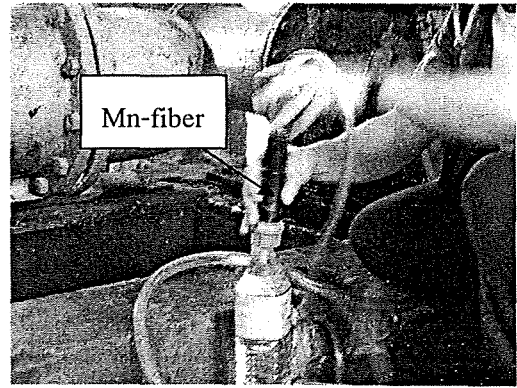
3.4 การเก็บตัวอย่างกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปา ตัวอย่างน้ำและ เทคนิคการวิเคราะห์

3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำดิบและน้ำประปา

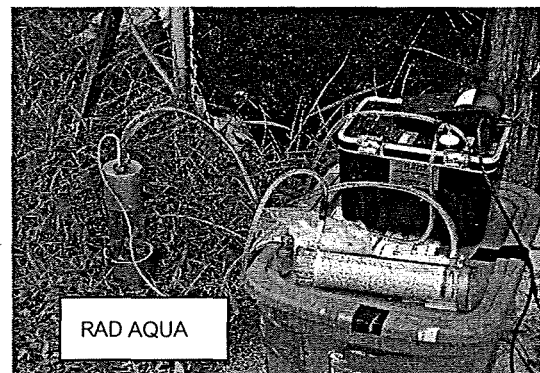
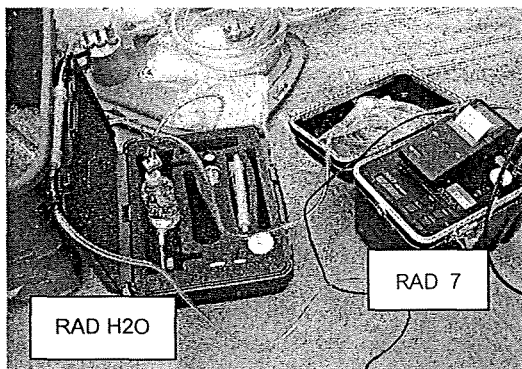
ตัวอย่างน้ำดิบและน้ำประปา จะทำการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการปล่อยน้ำปริมาตรอย่างน้อย 20 ลิตร ผ่านตัวกลาง คือ เส้นใยอะคริลิกที่เคลือบแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese coated- acrylic fiber, Mn-fiber) ซึ่งเตรียมขึ้นที่ภาควิชา ฯ เพื่อใช้ดูดซับธาตุเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 จากนั้นนำมาเผาและผนึกเก็บไว้เป็นเวลา ประมาณ 3-4 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดสมดุลทางรังสีระหว่าง เรเดียมและนิวไคลด์ลูก คือ บิสมัท-214 (^{214}Bi) จากนั้นนำมา วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมทั้งสองไอโซโทปด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยวิธีวัดทางอ้อม เนื่องจากพลังงานรังสี แกมมา 186 keV ที่ปลดปล่อยออกมาในระหว่างการสลายของเรเดียม-226 มีความเข้มรังสี (radiation intensity) เพียง 4% อาจทำให้ผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้น จึงทำการวัดพลังงานรังสีแกมมาของ บิสมัท-214 ที่ 609 keV (ซึ่งมีความเข้มรังสี 47%) แทน ส่วนเรเดียม-228 จะทำการวัดที่ พลังงานแกมมา 911 keV (ซึ่งมีความเข้มรังสี 30%) ของแอกติเนียม-228 (^{228}Ac) แทน

กรณีที่ไม่สามารถนำตัวอย่างไปวัดหรือไม่สามารถวัดในทาง
เดินทางจะให้ทางสำนักงานนั้นจัดส่งน้ำตัวอย่างมายังภาควิชา
ตัวอย่างละ 2 ลิตร และใช้เทคนิคการ ตกตะกอนทางเคมีและทำ
การวิเคราะห์ธาตุเรเดียมโดยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี

นอกจากนี้อาจทำการการวิเคราะห์หาปริมาณ
ก๊าซเรดอนในน้ำดิบและน้ำประปา ณ พื้นที่ (In-Situ) ด้วยเครื่องมือ
วัด RAD-AQUA และ/ หรือ RAD-H2O แล้วแต่กรณี ดังนี้



1. การวัดแบบต่อเนื่อง (continuous measurement) โดย
ทำการวัดปริมาณก๊าซเรดอนในตัวอย่างน้ำอย่างน้อย 3
ชั่วโมงด้วย RAD7 โดยต่อร่วมกับอุปกรณ์ที่มีชื่อว่า RAD-AQUA วิธีการวัดนี้จะให้ความถูกต้องสูงกว่าวิธีที่
สอง เนื่องจากใช้เวลาในวัดนานกว่า
2. การวัดแบบ Grab โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างปริมาณ 250 มล. ใส่ขวดและทำการวัดโดยอุปกรณ์ร่วมของ
RAD 7 ที่มีชื่อว่า RAD-H2O โดยใช้เวลาในการวัด ประมาณ 30 นาที วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องทำการวัด ณ
พื้นที่ อาจทำการวัดหลังจากเก็บตัวอย่างมาแล้วไม่เกิน 5 ชั่วโมง ดังนั้น จึงต้องทำการบันทึก วัน เวลาที่ทำ
การเก็บตัวอย่างไว้เพื่อทำการคำนวณกลับไปยังเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเนื่องจากสารรังสีสลายตัวอย่าง
ตลอดเวลาก่อนที่จะทำการวัด



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดก๊าซเรดอนในน้ำ

3.4.2 การเก็บตัวอย่างกากตะกอน

ตัวอย่างกากตะกอนจะถูกเก็บจากร่องถ่ายตะกอนหรือช้อนเก็บจากบ่อพักตะกอนแล้วแต่กรณีว่า
สถานีประปา นั้น ๆ มีที่พักตะกอนหรือไม่ หรือปล่อยทิ้งออกสู่น้ำสาธารณะ การเก็บตะกอนจากบ่อพักตะกอนมีความ
ยุ่งยากมากเนื่องจากตะกอนเป็นตะกอนเบาทำให้ช้อนเก็บได้ลำบากและมีน้ำปนมาในปริมาณมาก ซึ่งเมื่อทำให้
แห้งแล้วอาจได้ปริมาณตัวอย่างตะกอนน้อยเกินไป นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากในการขนส่งเพราะภาชนะที่ใส่อาจ
รั่วหรือแตกในระหว่างการขนส่งทางไปรษณีย์

เนื่องจากสำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคมีสำนักงานประปาจำนวนมาก ทางคณะวิจัยจึงติดต่อให้ทาง
สำนักงานการประปาเขตต่าง ๆ ช่วยจัดส่งกากตะกอนมาให้ทางไปรษณีย์ โดยเฉพาะสำนักงานประปาที่อยู่ห่างไกลและ
ไม่สามารถจัดส่งตัวอย่างมาให้ได้ คณะวิจัย

จะได้เข้าทำการเก็บตัวอย่างเอง ซึ่งจำนวนตัวอย่างภาค
ตะกอนจากแหล่งน้ำดิบต่าง ๆ ที่ส่งมาและคณะวิจัยได้เดินทางไป
เก็บเองในช่วงงบประมาณ 2547 แสดงในตารางที่ 3.1

ขณะนี้ตัวอย่างที่ได้รับกำลังอยู่ในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง
, รอความสมดุลทางรังสี และทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งคณะผู้วิจัย
จะนำผลการวิเคราะห์เสนอในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1
ของปีงบประมาณ 2548



ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำดิบ น้ำประปา ภาคตะกอน แหล่งน้ำดิบ และเทคนิคการวิเคราะห์

เขต จำหน่ายน้ำ	จำนวน ตัวอย่าง ภาค ตะกอน	จำนวนตัวอย่างน้ำที่ วิเคราะห์ปริมาณเรเดียม ที่ดูดซับบน Mn-fiber		แหล่งน้ำดิบ	เทคนิคที่ใช้วัดก๊าซเรดอน
		น้ำดิบ	น้ำประปา		
ประปานครหลวง					
1. บางเขน	1	1	1	แม่น้ำเจ้าพระยา	- ทำการวัดปริมาณก๊าซเรดอนใน น้ำประปาด้วย RAD AQUA
ประปาภูมิภาค					
1. ภูเก็ต	2	1	1	อ่างเก็บน้ำเขื่อน บางวาด	- ทำการวัดปริมาณก๊าซเรดอนใน น้ำประปาด้วย RAD-AQUA และ RAD- H2O - ทำการวัดปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำดิบ ด้วย RAD-H2O
2. มอดินแดง จ. ขอนแก่น	4	2	2	ห้วยกุดกว้างและ คลองชลประทาน หนองหวายฝั่งขวา	
3. เชียงใหม่	2	-	-	คลองชลประทาน แม่แตง	
4. แม่ฮ่องสอน	1	-	-	อ่างเก็บน้ำห้วย แม่ฮ่องสอน	

บทที่ 4

ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติจากอุตสาหกรรมแร่หนัก (โครงการย่อยที่ 3)

อุตสาหกรรมแร่หนัก

ในระหว่างปีงบประมาณ 2547 หัวหน้าโครงการได้เข้าร่วมประชุม FNCA Discussion / Survey Meeting on NORM/TENORM (THAILAND) ในวันที่ 23-27 สิงหาคม 2547 ซึ่งมีผู้สนใจทั้งภาครัฐและเอกชนที่ก่อให้เกิด NORM และ TENORM เข้าร่วมประชุมเป็นจำนวนมาก หัวหน้าโครงการได้นำเสนอผลงานของโครงการวิจัยนี้ เรื่อง CU NORM, Radionuclide Analysis Project แก่ที่ประชุม ซึ่งการนำเสนอผลงานในครั้งนั้นได้นำเสนอวัตถุประสงค์ของโครงการและมีการนำเสนอผลงานการศึกษาการหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติของอุตสาหกรรมปิโตรเลียม คือ บริษัท ปตท. ผส. จำกัด(มหาชน) นอกจากนี้ ยังได้ชักชวนให้ภาคเอกชนให้เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ผลจากการประชุมครั้งนั้น มีภาคเอกชนสนใจที่จะเข้าร่วมโครงการ 4 ราย โดยไม่ประสงค์ที่จะออกนาม 2 ราย โดยบริษัทที่ 1 เป็นบริษัทที่ผลิตแร่เซอร์คอน บริษัทที่ 2 เป็นบริษัทที่ผลิตแร่แทนทาลัม บริษัทที่ 3 คือบริษัท ไทยแลนด์สเมตติ้งแอนดรีไฟนิง จำกัด เป็นบริษัท ถลุงแร่และฟอกแร่ดีบุก และบริษัทที่ 4 คือ บริษัท ปตท. สยาม จำกัด (ชื่อเดิมบริษัท ไทยเซลล์เอ็กซ์พลอเรชัน แอนด์ โปรดักชัน จำกัด) เป็นบริษัทผลิตและสำรวจน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โดยรายที่ 3 และ 4 จะเข้าร่วมโครงการในปีงบประมาณ 2548 ในรายงานฉบับนี้จะเป็นรายงานผลการวิเคราะห์บางส่วนของบริษัทที่ไม่ประสงค์ออกนาม

4.1 อุตสาหกรรมผลิตแร่เซอร์คอน

บริษัทได้มอบตัวอย่างวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ และหางแร่ ให้แก่โครงการจำนวนรวมทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง ได้แก่ แร่วัตถุดิบ(ตัวอย่างที่ 1) ซึ่งเป็นแร่นำเข้าจากต่างประเทศ มาทำการสกัดแยกได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 อย่าง คือ Rutile, Leucoxene, Monazite และ Zircon (ตัวอย่างที่ 2-4) และมีกากจากการผลิตเรียกว่า หางแร่ (ตัวอย่างที่ 4) ซึ่งจะถูกนำกลับเข้ากระบวนการแยกสกัดอีกวนไปเช่นนี้เรื่อยๆ

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีเรเดียมแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าแร่วัตถุดิบ (Raw material) ที่นำมาแยกนั้นมีปริมาณเรเดียม-228 สูงกว่า เรเดียม-226 มาก และจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์พบว่า เรเดียม-228 ในแหล่งแร่วัตถุดิบถูกสกัดไปอยู่ใน Monazite และ Leucoxene มากกว่าเรเดียม-226 ซึ่งถูกสกัดไปสะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ Rutile, Zircon และ Tailing ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในเอกสารอ้างอิงที่ 7 หรือแสดงในตารางที่ 4.2 ขณะนี้กำลังรอผลการวิเคราะห์ธาตุยูเรเนียม และทอเรียมด้วยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นรังสีของเรเดียม- 226 และเรเดียม -228 , ค่าอัตราปริมาณรังสีที่ระยะสัมผัส และ 1 เมตร ในตัวอย่างของบริษัทที่ 2

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นรังสีจำเพาะ pCi/g (Bq/g)		Dose Rate (µR/hr)	
	Ra-226	Ra-228	ที่ระยะสัมผัส	ที่ระยะ 1 เมตร
1. Raw Material	67.08±2.56 (2.48±0.09)	227.71±7.16 (10.28±0.27)	61.7	6.6
2. Rutile	23.57±0.36 (0.87±0.01)	10.51±0.40 (0.39±0.02)	8.7	6.7
3. Leucoxene	27.09±0.41 (1.00±0.02)	59.85±1.30 (2.22±0.05)	7.9	6.6
4. Monazite	771.65±32.04 (28.55±1.19)	7033.13±164.27 (260.23±6.08)	678.7	7.4
5. Zircon	103.35±1.87 (3.82±0.07)	52.09±2.28 (1.93±0.08)	7.2	6.7
6. Tailing	3.03±0.11 (0.12±0.01)	6.25±0.25 (0.24±0.01)	6.8	6.2

* โดยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของ TENORM ที่พบในอุตสาหกรรมแร่หนัก^[8]

Industrial Activity	TENORM Form	Concentration
Metal mining and processing	Slag, leachate, scale, and tailings from: ➤ Rare earth metals, Special-application metals (zirconium, hafnium, titanium, and tin) ➤ Large-volume metal-processing industries (copper, iron, and so on)	Monazite sands: ²²⁶ Ra at 0.06 – 6.7 kBq/kg, ²²⁸ Ra at 0.3 - 33 kBq/kg. ²³⁸ U at 3.6 kBq/kg. , ²³² Th at 0.52 Bq/kg. Zircon sands: ²³⁸ U at 125 kBq/kg., ²³² Th at 43 kBq/kg.

4.2 อุตสาหกรรมผลิตแร่แทนทาลัม

บริษัทเสนอที่จะทำการตรวจวัดปริมาณรังสีภายในโรงงานเองเนื่องจากบริษัทมีอุปกรณ์การวัดรังสีอยู่แล้ว และได้ทำการตรวจวัดรังสีตามอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามวิธีที่คณะผู้วิจัยได้นำเสนอในการประชุม ผลการตรวจวัดอุปกรณ์การผลิตในโรงงานตามวิธีการที่ผู้วิจัยให้คำปรึกษา ทางบริษัทแจ้งว่า ได้ตรวจวัดพบอัตราปริมาณรังสีสูงมากกว่า 100 mSv/hr ที่อุปกรณ์ตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นอัตราปริมาณรังสีที่สูงมาก จึงมีการกั้นเป็นเขตหวงห้าม และทางบริษัทได้ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอน และตะกอนที่ติดอยู่ในอุปกรณ์ดังกล่าว จำนวน 3 ตัวอย่าง ส่งมาให้ผู้วิจัยวิเคราะห์ปริมาณรังสีในตัวอย่างดังกล่าว ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม -226 และเรเดียม-228 แสดงในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่ามีปริมาณความเข้มข้นของไอโซโทปทั้งสองสูงมาก ในเบื้องต้นสันนิษฐานว่า วัตถุดิบ (บริษัทไม่ได้ส่งตัวอย่างวัตถุดิบมา

วิเคราะห์) ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตมีปริมาณเรเดียมจากอนุกรมยูเรเนียมและทอเรียมปะปนอยู่อาจอยู่ในระดับธรรมชาติหรืออาจสูงกว่ามาก และเนื่องจากในกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารเคมีและมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างรวมทั้งความดัน ทำให้เรเดียมตกตะกอนแยกออกมาจากวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เกาะติดสะสมอยู่กับอุปกรณ์การผลิตดังกล่าวตลอดระยะเวลาการผลิต นั้นแสดงว่าปริมาณเรเดียมถูกทำให้เพิ่มขึ้น (enhanced) เนื่องจากกระบวนการผลิต ซึ่งในการนี้ ผู้วิจัยจะให้ข้อเสนอแนะแก่ทางบริษัทในการจัดการด้านความปลอดภัยทางรังสี ณ ขณะปฏิบัติงานและในขณะที่ทำการบำรุงรักษาอุปกรณ์ดังกล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นรังสีของเรเดียม- 226 และ เรเดียม -228, ค่าอัตราปริมาณรังสีที่ระยะสัมผัส และ 1 เมตร ในตัวอย่างของบริษัทที่ 2

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นรังสีจำเพาะ pCi/g (Bq/g)		Dose Rate (μ R/hr)	
	Ra-226	Ra-228	ที่ระยะสัมผัส	ที่ระยะ 1 เมตร
1. Raf8	188897.29 \pm 1711.27 (6990 \pm 64)	9093.85 \pm 367.32 (337 \pm 14)	255.8	5.9
2. Scale				
No.1 _b1 (Black)	5262.49 \pm 107.27 (195 \pm 4)	<0.000001	17.1	5.6
No.2 _b1 (white)	14700.06 \pm 204.15 (544 \pm 8)	(<0.02)	118.6	6.8
3. Ba1	49213.44 \pm 453.13 (1820 \pm 17)	2380.32 \pm 166.05 (89 \pm 7)	20.8	6.8

* โดยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

บทที่ 5

สรุปรายงานประจำปี

5.1 รายงานภาครัฐและเอกชนที่เข้าร่วมโครงการ ปีงบประมาณ 2546-2547

รายงานภาครัฐและเอกชนที่เข้าร่วมโครงการระหว่างปีงบประมาณ 2546-2547 แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 โดยการหาปริมาณกัมมันตรังสี

ตารางที่ 5.1 รายงานภาครัฐและเอกชนที่เข้าร่วมโครงการระหว่างปีงบประมาณ 2546-2547

ภาครัฐ	ภาคเอกชน
<ul style="list-style-type: none"> ○ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ <ul style="list-style-type: none"> - อนุเคราะห์การวัดปริมาณรังสีแกมมาในตัวอย่างน้ำ - อนุเคราะห์การวัดปริมาณรังสีแอลฟาในตัวอย่างดิน - อนุเคราะห์การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรดอนมาตรฐาน ○ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ <ul style="list-style-type: none"> - กระทรวงสาธารณสุข - อนุเคราะห์ TLD จำนวน 100 เม็ด - อนุเคราะห์การเปรียบเทียบ TLD ○ กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ <ul style="list-style-type: none"> - กระทรวงพลังงาน - เป็นที่ปรึกษา-ประสานงานกับอุตสาหกรรมปิโตรเลียม 	<ul style="list-style-type: none"> ○ บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน) <ul style="list-style-type: none"> - เข้าร่วมอย่างเป็นทางการเมื่อ 18 ธันวาคม 2545 - ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 2 ปี (ม.ค.2546- ,ม.ค. 2548) - มีพื้นที่เป้าหมายในการเข้าสำรวจ 3 พื้นที่ ดังนี้ <ol style="list-style-type: none"> 1. พื้นที่เป้าหมายที่ 1 PTTEP 1 จ. สุพรรณบุรี ประกอบด้วย 4 พื้นที่ย่อย 2. พื้นที่เป้าหมายที่ 2 Songkhla Logistic Base 3. พื้นที่เป้าหมายที่ 3 แหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติบงกช <p>หมายเหตุ</p> <ul style="list-style-type: none"> - ผลการสำรวจในพื้นที่เป้าหมายที่ 1 PTTEP 1 จ. สุพรรณบุรี เสร็จเรียบร้อยแล้ว - สำหรับพื้นที่เป้าหมาย 2 และ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมยังไม่แล้วเสร็จ เนื่องจากต้องติดตั้ง TLD ชุดใหม่แทนชุดเดิมที่เสียหายเนื่องจากถูกรังสีเอกซ์ที่สนามบินในระหว่างส่งกลับมาวิเคราะห์
<ul style="list-style-type: none"> ○ การประสานครหลวง ○ การประสานภูมิภาค <ul style="list-style-type: none"> - อนุเคราะห์การเข้าเก็บและจัดส่งตัวอย่าง (รายงานสำนักประปาแสดงในภาคผนวก ข) <p>หมายเหตุ</p> <ul style="list-style-type: none"> - กำลังทยอยเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปา 	<ul style="list-style-type: none"> ○ อุตสาหกรรมแร่หนัก ไม่ประสงค์จะออกนาม 2 บริษัท <p>หมายเหตุ</p> <ul style="list-style-type: none"> - ผลการวิเคราะห์เรเดียมด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรีในตัวอย่างแร่หนักเสร็จเรียบร้อยแล้ว - กำลังรอผลการวิเคราะห์เรเดียมด้วยเทคนิคแอลฟาสเปกโตรเมตรี - กำลังอยู่ในระหว่างจัดทำข้อเสนอแนะการจัดการกากให้กับบริษัท

5.2 กิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

ในระหว่างปีงบประมาณ 2547 มีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการ 2 กิจกรรม ดังนี้

5.2.1 การเข้าร่วมประชุม FNCA Discussion / Survey Meeting on NORM/TENORM (THAILAND) ในวันที่ 23-27 สิงหาคม 2547 ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งมีผู้สนใจทั้งภาครัฐและเอกชนที่ก่อให้เกิด NORM และ TENORM เข้าร่วมประชุมเป็นจำนวนมาก หัวหน้าโครงการได้นำเสนอผลงานของโครงการวิจัยนี้ เรื่อง CU NORM, Radionuclide Analysis Project แก่ที่ประชุม และ ผลจากการประชุมครั้งนั้น มีภาคเอกชนสนใจที่จะเข้าร่วมโครงการนี้ 4 ราย

5.2.2 การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ANALYSIS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN NORM AND ENVIRONMENTAL MATERIALS ระหว่างวันที่ 4-15 ตุลาคม 2547 โดยมีภาคศึกษานิเวศศาสตร์เทคโนโลยีเป็นเจ้าภาพหลักและสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเป็นเจ้าภาพร่วม โดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ได้ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายแก่ผู้เชี่ยวชาญ คือ Prof. Dr. William C. Burnett, Director of Environmental Radioactivity Measurement Facility, Department of Oceanography, Florida State University Tallahassee, FL 32306 U.S.A. เป็นการจัดการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับหน่วยงานของรัฐและภาคเอกชนที่เข้าร่วมโครงการวิจัยและสนใจที่จะเข้าร่วมให้ทราบเกี่ยวกับทฤษฎีและเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีปริมาณน้อยตามธรรมชาติ ดังมีรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก.

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 ผลการวิเคราะห์สำหรับพื้นที่เป้าหมาย 2 และ 3 ของบริษัท ปตท.สผ. จำกัด(มหาชน)ต้องล่าช้า เนื่องจากต้องทำการติดตั้ง TLD ชุดใหม่แทนชุดเดิมที่เสียหายเนื่องมาจากถูกรังสีเอ็กซ์ที่สนามบินในระหว่างส่งกลับมาวิเคราะห์โดยพนักงานของบริษัท

5.3.2 จำนวนสำนักประปาในสวนภูมิภาคมีเป็นจำนวนมากจึงต้องคัดเลือกเก็บตัวอย่างกากตะกอนโดยพิจารณาจากแหล่งน้ำดิบที่ต่างกันเป็นหลัก และมีปัญหาเล็กน้อยในการประสานงานระหว่างสำนักงานเขตและหน่วยบริการ

5.4 แผนการดำเนินงานต่อไป

ในปีงบประมาณ 2548 (มี.ค.2548-ก.ย.2549) มีงานที่จะต้องดำเนินการ ดังนี้

5.4.1 ประเมินอัตราปริมาณรังสีจากอุปกรณ์ TLD และ Track-Etch Film จากพื้นที่เป้าหมายที่ 2 และ 3 ของบริษัท ปตท.สผ. จำกัด(มหาชน) ให้แล้วเสร็จ คาดว่าจะแล้วเสร็จประมาณ ต.ค.48

5.4.2 เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างกากตะกอนที่ได้จากการผลิตน้ำประปา

5.3.3 ทำการตรวจวัดปริมาณรังสีและวิเคราะห์ความเข้มข้นของ NORM ในวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ และกาก ของบริษัทไทยแลนด์สเมลดิงแอนดรีไฟนิง จำกัด

5.3.4 ทำการตรวจวัดปริมาณรังสีและวิเคราะห์ความเข้มข้นของ NORM ในเครื่องมือ และกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมของบริษัท ปตท.สยาม จำกัด

เอกสารอ้างอิง

1. United States Environmental Protection Agency. "Evaluation of EPA's for Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TNORM), Report to Congress", EPA 402-R-00-01, June, 2000.
2. John R., Cooper and et al., "Radioactivity Releases in the Environment Impact and Assessment", John Wiley & Sons, LTD., New York. 2003.
3. Alekseev, F.A., "Radiochemical and Isotopic Studies of Ground Water of Petroleum-gas Reservoirs of the USSR", Nedra, Moscow, 1975.
4. Gott, G.B., and Hill, J.W., "Radioactivity in some Oil Field of Southeast Kansa" USGS Bulletin, 988E, 69-112, 1953.
5. Pierce, A.P., Gott, G.B., and Mytton, J.W., "Uranium and Helium in the Panhandle Gas Fields and Adacent Areas" USGS Prof. Paper 454-G, 1964.
6. Kraemer, T.F., and Reid, D.F., "The Occurrence and Behavior of radium in Saline Formation water of the U.S. Gulf Coast region", Isotope Geosciences 2, 153-174, Elsevier Publishers, 1984.
7. Philip Egidi, Oak Ridge National Laboratory "Introduction to Naturally Occurring Radioactive Material", 42nd Annual Meeting of the Health Physics Society, 1997.
8. International Atomic Energy Agency. *An Overview of International Status and Trends in Radioactive waste Management*, Radioactive Waste Management Status and Trends, No.1 IAEA/WMDB/ST/1. Austria, September. 2001
9. US National Academy of Sciences, "Evaluation of Guidelines for Exposures to Technological Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials", National Academy Press, Washington D.C., 1999.
10. Canadian NORM Working Group of the Federal Provincial Territorial, Radiation Protection Committee, "Canadian Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)", 2000.
11. Proceeding of NORM II. 2nd International Symposium, 10-13 Nov., Krefeld, Germany, 1998.
12. Lysebo I., Birovljev A., and Strand T., "NORM in Oil Production – occupational doses and environmental aspects" Proceedings of the 11th Congress of the Nordic Radiation Protection Society, Reykjavik, August 26-30, 1996, In: http://www.gr.is/nsfs_eng.html, Access: 16 Oct. 2002.
13. M.S. Hamlat, H. kadi, S. Djeflal, and H. Brahimi, "Radon Concentrations in Algerian Oil and Gas industry". Applied Radiation and Isotopes 58, 125-130, 2003

14. Deborah L. Blunt, David S. Gooden and Karen P. Smith. "*Issues Related to setting Exemption Levels for Oil and Gas NORM*". The Six Annual International Petroleum Environmental Conference, Houston, Texas, Nov. 16-18,1999.
15. United State Environmental Protection Agency, Radionuclides in Drinking Water. [Online].Available from <http://www.epa.gov/safewater/standard/pp/radnuclides.html>, 2004.
16. IAEA Safety Standards Series, "*Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*". Safety Guild NO.RS-g-1.7, 2004
17. ชนิษฐา กมลรัตน์, การพัฒนาวิธีทางเคมีวิเคราะห์ สำหรับเรเดียม-226 โดยวิธีตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523
18. ICRP publication 60, "*1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*". 1991.

ภาคผนวก ก

การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

เรื่อง

ANALYSIS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN NORM AND ENVIRONMENTAL MATERIALS

ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

วันที่ 4 -15 ตุลาคม 2547

หลักการและเหตุผล

ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ (Naturally Occurring Radioactive Material : NORM) เป็นธาตุปริมาณน้อยที่เจือปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ NORM เช่น แร่เชื้อเพลิง(ถ่านหิน, น้ำมัน, ก๊าซธรรมชาติ) แร่หินอุตสาหกรรม(ฟอสเฟต, โปแตช) และ แร่หนัก(ดีบุก เซอร์คอน) ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล่านี้ต้องใช้ในปริมาณสูงมากจึงอาจมีการสะสมหรือเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ NORM ใน เครื่องมือ ผลิตภัณฑ์และกากจากกระบวนการผลิตในระดับที่อาจมีผลทางรังสีต่อความปลอดภัยและชีวอนามัยของผู้ปฏิบัติงานหรือประชาชนตลอดจนต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น การเรียนรู้เทคนิคการวัดและวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาธาตุปริมาณความเข้มข้นน้อย ๆ ของ NORM จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ปฏิบัติงานวิเคราะห์ทางด้านรังสี

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ จึงได้ร่วมกันเป็นเจ้าภาพจัดการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ เกี่ยวกับการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ในวัสดุตามธรรมชาติ ให้นักวิชาการในประเทศ โดยได้เชิญผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่มีความชำนาญทางการวิเคราะห์มาร่วมในการจัดฝึกอบรมครั้งนี้

วัตถุประสงค์

เพื่อจัดการฝึกอบรมและเพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีและเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ด้วยวิธี Alpha Spectrometry และ Gamma Spectrometry ให้แก่ผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานทางรังสี

ระยะเวลาและสถานที่ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

ระยะเวลาในการฝึกอบรมทั้งสิ้น 10 วัน ประกอบด้วยภาคทฤษฎีและปฏิบัติ เริ่มตั้งแต่วันที่ 4 - 8 ตุลาคม 2547 ซึ่งจัดฝึกอบรมที่ โครงการจัดการกากกัมมันตรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และ วันที่ 11 -15 ตุลาคม 2547 จัดฝึกอบรมที่ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยากร

Prof. Dr. William C. Burnett.

Environmental Radioactivity Measurement Facility, Department of Oceanography,

Florida State University Tallahassee, FL 32306 U.S.A.

ผู้จัดการประชุม

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยได้รับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายของผู้เชี่ยวชาญจาก International Atomic Energy Agency (IAEA)

คุณสมบัติผู้เข้าร่วมฝึกอบรม

นักวิชาการ และ นักปฏิบัติการวิเคราะห์ทางรังสี ประกอบด้วย

- จำนวนผู้เข้าร่วมฝึกอบรมภาคทฤษฎี 20-25 คน (ช่วงเช้า 09.00 -12.00 น.)
- จำนวนผู้เข้าร่วมฝึกปฏิบัติการ 6 คน (ช่วงบ่าย 13.00 – 16.00น.)

ค่าใช้จ่าย

ผู้สมัครสามารถเข้าฝึกอบรมได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ทั้งสิ้น

สถานที่ติดต่อ

โปรดส่งใบสมัคร หรือ แจ้งความประสงค์ที่จะ เข้าร่วมการฝึกอบรมภายในวันที่ 27 กันยายน 2547 ได้ที่

รศ.ดร.สุพิชชา จันทโรยธา

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ : 02-218-6781 โทรสาร : 02-218-6780 E-mail : supitcha.c@eng.chula.ac.th



ใบสมัครเข้าร่วมการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ
ANALYSIS OF NATURAL RADIONUCLIDES
IN NORM AND ENVIRONMENTAL MATERIALS
วันที่ 4-15 ตุลาคม 2547

ชื่อ-สกุล (นาย / นาง/ นางสาว)

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่ง

ลักษณะงานที่รับผิดชอบ.....

สถานที่ทำงาน.....

.....

โทรศัพท์ โทรสาร.....

E-mail.....

มีความประสงค์เข้าร่วมฝึกอบรม (สามารถเลือกได้มากกว่า 1 อย่าง)

- | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ภาคทฤษฎีอย่างเดียว (9.00-12.00น.) | <input type="checkbox"/> 4-8 ตุลาคม | <input type="checkbox"/> 11-15 ตุลาคม |
| สังเกตการณ์ <input type="checkbox"/> ฝึกปฏิบัติงาน | | |
| <input type="checkbox"/> ภาคปฏิบัติ (13.00-16.00น.) | <input type="checkbox"/> 4-8 ตุลาคม | <input type="checkbox"/> 11-15 ตุลาคม |

หมายเหตุ เนื่องจากเครื่องมือและอุปกรณ์ของภาคปฏิบัติมีจำนวนจำกัด และผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้สอนด้วยตนเอง ดังนั้น จำนวนผู้เข้าร่วมในภาคปฏิบัติจึงจำกัดไว้ที่ 6 คน กรณีที่มีผู้สมัครฝึกอบรมในภาคปฏิบัติมีมากกว่า 6 คน ทางภาควิชาฯ จะพิจารณาเลือกผู้เข้าฝึกอบรมภาคปฏิบัติโดยพิจารณาจากลักษณะงานและประโยชน์ที่จะนำไปใช้โดยตรงเป็นหลัก และในการนี้ ภาควิชาฯ ได้จัดกล่องโทรศัพท์วงจรปิดไว้เพื่อให้ผู้สมัครที่ไม่ได้เข้าร่วมในภาคปฏิบัติสามารถสังเกตการณ์ได้จากจอโทรศัพท์ในระหว่างที่มีการอบรมในภาคปฏิบัติ

Agenda

ANALYSIS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN NORM AND ENVIRONMENTAL MATERIALS

First Week 4-8 October 2004

Room 300, Radioactive Waste Management Division, Office of Atom for Peace

Date	Morning Session Classroom		Lunch	Afternoon Session Laboratory Exercises	
	9.00-10.15	10.35-12.00		13.00-14.15	14.35-16.00
October 4	Sources and Distribution of Environmental Radioactivity	An Introduction to <u>Alpha Spectrometry</u>		- Energy calibration of alpha spectrometer.	- Preparation and analysis of water sample for uranium and thorium isotopes.
October 5	Radionuclides in NORM and TENORM: phosphate, oil & gas, and other industrial sources.	Sample preparation basics for alpha spectrometry.		- Efficiency/geometry calibrations of an alpha spectrometer - Calculation of theoretical counting geometries.	- Preparation of counting sources by microprecipitation.
October 6	Advanced theory and sample preparation topics for alpha spectrometry.	Equipment, detectors, and basic principles of alpha spectrometry.		- Determination of radium isotopes in water via alpha spectrometry.	- Determination of radium isotopes in water via alpha spectrometry (continue).
October 7	Preparation of sources for alpha spectrometry.	Counting statistics, minimum detectable activities (MDA)		- Measurement of ²¹⁰ Po by alpha spectrometry	- Complete lab work in alpha spectrometry, calculate results
October 8	<p><u>Special Laboratory Session:</u> Field sampling to collect water samples for on site analysis of ²²²Rn (via RAD-7) – the sampling can be the most important step for analysis of trace gases. We will also process a large volume water sample through “Mn-fiber” for analysis next week of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra via gamma spectrometry. We will also collect soil samples for ²²⁶Ra and ²²⁸Ra analysis via gamma spectrometry.</p>				

NOTE : Please bring a calculator to class and those participating in the laboratory should wear appropriate clothing.

Second Week 11-15 October 2004

Room 303, 3rd floor

Nuclear Technology Department, Chulalongkorn University

Date	Morning Session Classroom		Afternoon Session Laboratory Exercises	
	9.00-10.15	10.35-12.00	13.00-14.15	14.35-16.00
October 11	Theory and basic principles of use of <u>RAD-7 radon monitor</u> for Rn in air measurements.	Ra isotopes in natural waters via concentration in the field onto Mn fibers and measurement via <u>gamma spectrometry</u>	- Rn in air measurements over time - Rn in groundwater measurements using "RAD-H ₂ O" attachment	- Applications of RAD-7 for Rn in water (grab samples and "continuous" measurements)
October 12	Preconcentration of radium isotopes from water in the laboratory using "MnO ₂ Resin."	RAD-7 applications for measuring Ra isotopes (²²⁴ Ra and ²²⁶ Ra) in water	- Calibration of germanium detector for solids: 100-cc Al can	- Measurement of ²¹⁰ Pb, ²²⁶ Ra, and ²²⁸ Ra in scales, soils, other solid materials via gamma spectrometry
October 13	²²⁶ Ra and ²²⁸ Ra in water by BaSO ₄ precipitation and measurement by gamma spectrometry.	Preparation of Mn fibers from raw acrylic fiber.	- Measurement of ²²⁶ Ra and ²²⁸ Rn by gamma spectrometry.	- Measurement of ²²⁶ Ra and ²²⁸ Rn by gamma spectrometry (continue).
October 14	Measurement of radon flux from soil	Measurement of radon flux from soil	- Continuous Rn in water measurements	- Complete all other pending exercises
October 15	Calculation of results from all lab experiments, clear up any remaining questions, class evaluation			

NOTE : Please bring a calculator to class and those participating in the laboratory should wear appropriate clothing.

ภาคผนวก ข

NORM ในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ

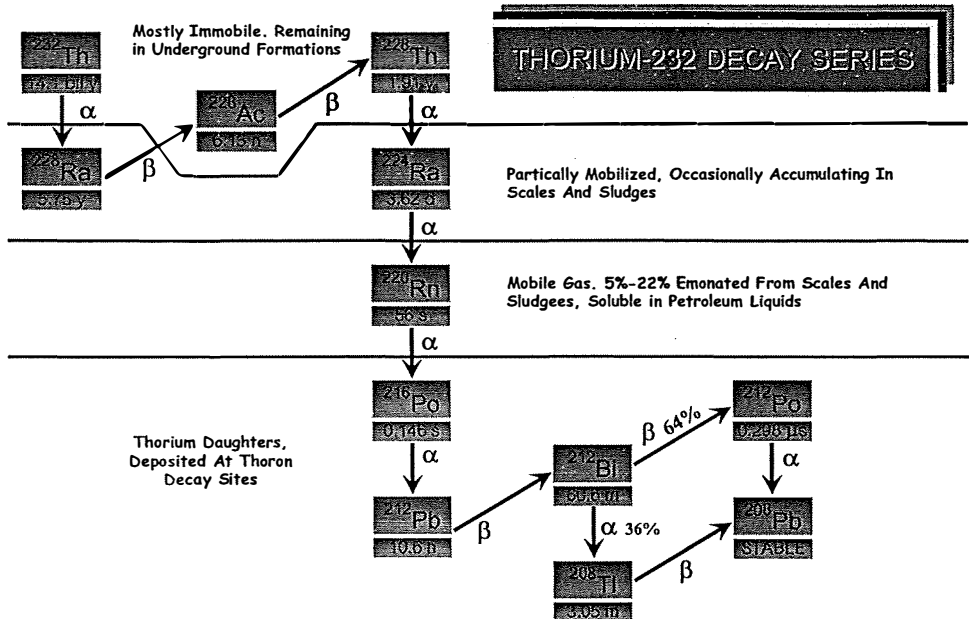
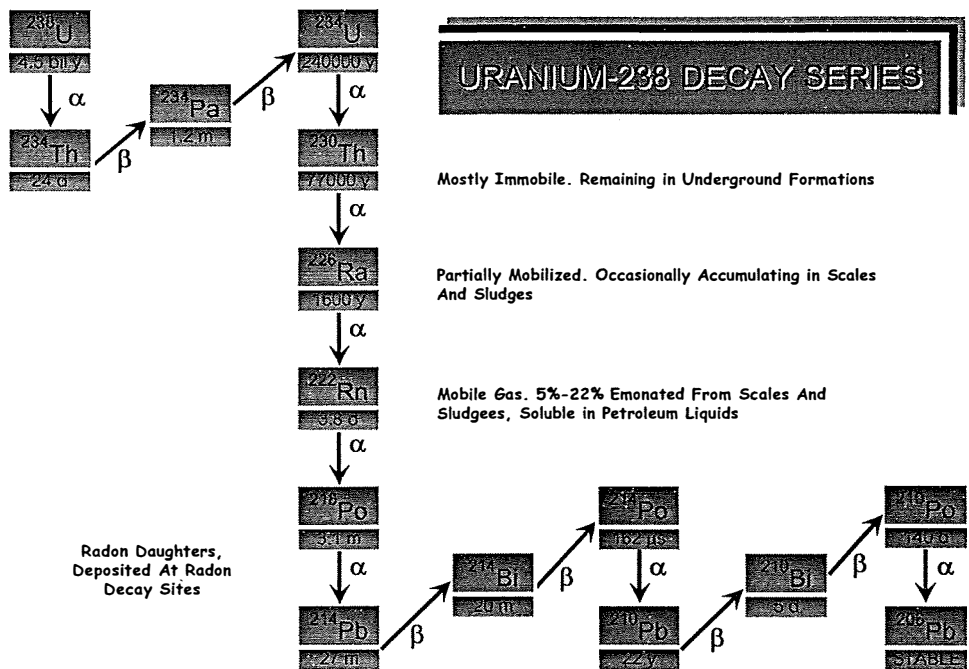
1. ที่มาของงานวิจัย^[7-11]

น้ำใต้ดินปกติจะมี NORM บางตัวละลายอยู่ในปริมาณน้อย แต่ถ้าน้ำใต้ดินมีสภาพเป็นน้ำเค็มหรือมีสารละลายคลอไรด์ (chloride) ปนอยู่ ดังเช่นน้ำในบริเวณแหล่งน้ำมัน ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะเรเดียมจะถูกชะละลายออกมาจากดินที่อยู่ในบริเวณนั้นได้มากขึ้น ดังนั้น น้ำบริเวณแหล่งน้ำมันบางแห่งจึงอาจพบธาตุเรเดียมละลายอยู่ในปริมาณที่สูงได้

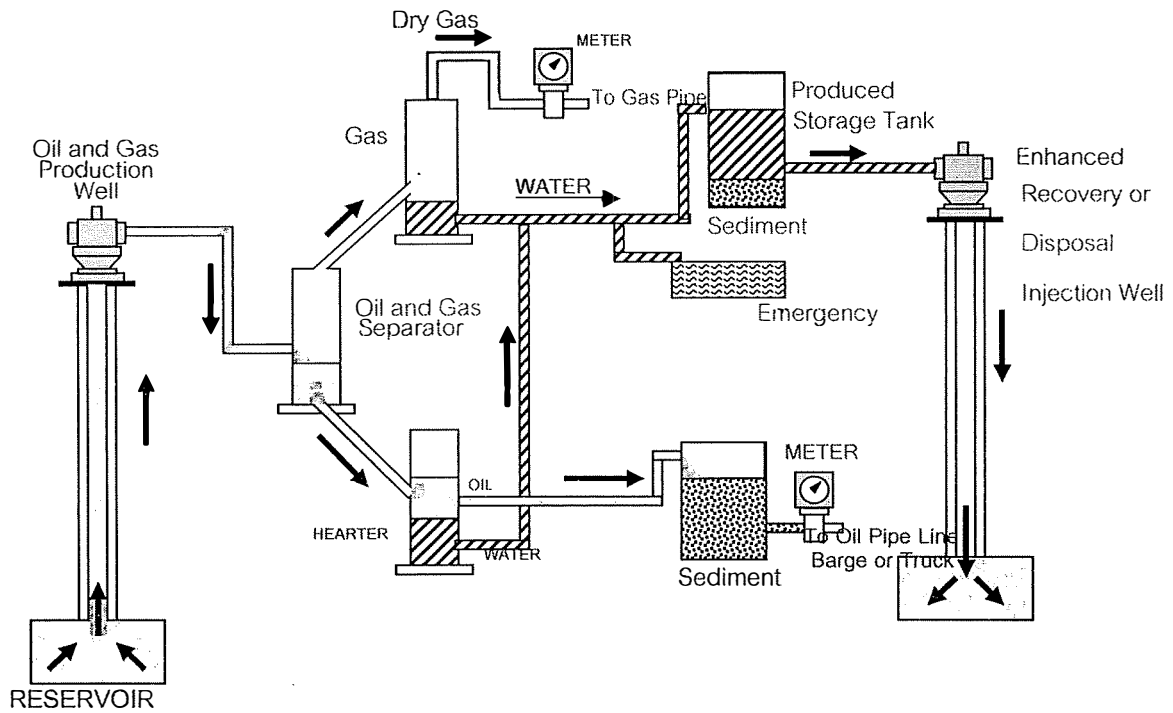
ในกระบวนการผลิตปิโตรเลียมเมื่อน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ(รวมทั้งน้ำ)ถูกสูบขึ้นมาจากใต้ดินจะส่งผลให้ความดันในบ่อน้ำมัน-ก๊าซธรรมชาติลดลง น้ำที่อยู่บริเวณรอบ ๆ บ่อน้ำมันจึงซึมเข้าสู่บ่อ ขณะเดียวกันจะชะพาเอา NORM ซึ่งอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม (ดูรูป ข-1 ประกอบ)และธาตุโปแตสเซียม-40 ในดินหรือหินที่อยู่รอบบริเวณนั้นมาด้วย ขณะที่น้ำมัน, ก๊าซธรรมชาติ และ น้ำถูกสูบขึ้นมาสู่ผิวโลกอุณหภูมิและความดันเปลี่ยนไปส่งผลให้ NORM ในน้ำโดยเฉพาะธาตุเรเดียม(ธาตุกลุ่มที่ 2 ในตารางธาตุ)ซึ่งละลายน้ำได้ตกตะกอนร่วม(co-precipitate) กับแบเรียม และ/หรือ แคลเซียม (Ca) ในรูปของสารประกอบซัลเฟต หรือ คาร์บอเนต เป็นคราบของแข็งหรือตะกรัน (hard scale) เกาะติดตามผิวด้านในของท่อส่งน้ำมัน และ ปลอกในของวัสดุ หรือ ตกตะกอนร่วมกับ silicate และ carbonate ในรูปของ sludge ตามอุปกรณ์แยก(separators), heater / treaters, ถังเก็บน้ำ (storage tank) หรือตามอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่น้ำ หรือที่เรียกว่า produced water ไหลผ่าน (ดูรูป ข-2 ประกอบ) โดยปริมาณความเข้มข้นของเรเดียมในน้ำและคราบที่เกาะในท่อนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเรเดียมที่มีอยู่ในแหล่งน้ำมันและโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณนั้น

นอกจากนี้ NORM อีกตัว ที่มักพบใน แหล่งก๊าซธรรมชาติ คือ ธาตุกัมมันตรังสีเรดอน (Radon gas, Rn) ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซเฉื่อย ละลายได้ในสารอินทรีย์ ดังนั้น ในการผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาติจึงมีก๊าซเรดอนปะปนขึ้นมาด้วยเสมอ ก๊าซเรดอนมีค่าครึ่งชีวิตสั้น (3.825 วัน) จะสลายตัวกลายเป็นผงอนุภาค ^{210}Pb และ ^{210}Po เกาะเป็นคราบติดตามผิวภายในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์แยกก๊าซ ท่อส่งก๊าซและ เรือ/รถขนส่งก๊าซ เป็นต้น จึงสรุปได้ว่า NORM ที่พบในเครื่องมือและกากจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมอาจอยู่ในรูปของ

1. Sludge และ Scale ตาม ท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ ธาตุที่อาจพบ คือ ^{226}Ra และ ก๊าซ ^{222}Rn
2. คราบบางๆ (Film) ของ ^{210}Pb และ ^{210}Po ที่เกาะติดภายในผิวของท่อและอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในการผลิตและขนส่งก๊าซธรรมชาติ
3. น้ำในกระบวนการผลิต (Produced water) โดยเฉพาะแหล่งผลิตที่มีอายุการดำเนินการมานาน
4. ดินปนเปื้อน NORM ในบริเวณที่มีการกำจัดของเสีย หรือทำความสะอาดท่อ หรือ บริเวณที่ปล่อยทิ้งของ produced water



รูปที่ ๑-1 U-238 และ Th-232 decay series



รูปที่ ๑-๒ Oil and gas equipment ^[7]

ข้อมูลความเข้มข้นรังสีของ NORM ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

ตารางที่ ๑-๑ Activity concentration (Bq/g) of ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, and ²¹⁰Pb in Solid Samples Taken from Equipment during Shut Down. ^[12]

Sample type	No. of sample	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²¹⁰ Pb (no. of measurement)
Hard LSA scale	15	4.0-32.3	2.6-33.5	0.1-0.3 (5)
Porous LSA Scale	13	0.3-24.2	0.3-18.8	0.1-0.2(3)
Sand	26	0.1-21.9	0.1-12.7	0.0-0.5(8)
Sludge	15	0.1-4.7	0.1-4.6	0.30.7(4)

LSA = low specific activity

ตารางที่ ๑-๒ Activity Concentration (Bq/g) of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in Produced Water, and Amount of Water per Day of Samples Taken During Operation of North Sea Oil Field. ^[12]

Platform no.	Sample place	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	Amount, m ³ /day
1	Flotation cell	n.d.	0.3-0.6	n.m
1	Degassing tank	n.d	0.5-0.7	n.m.
2	Flotation cell	3.5	1.5-4.2	229-3,020
2	Degassing tank	0.7-7.6	0.5-1.4	15,661-17,545
3	Flotation cell	1.9-2.5	1.7-2.1	2,078-2,168
3	Degassing tank	2.2	2.4-2.7	n.m
11	valve	3.0-5.6	0.8-1.1	n.m.

n.d. = not detected
n.m = not measured

ตารางที่ ๓-3 Radon concentrations in natural gas (NG) and natural gas liquids (NGL) in various countries. [adapted from 13]

Sample description	Country/location	Reported range ^{222}Rn (Bq/m ³)	Reference
NG	Africa		
	Algeria	40-1200	Hamlat et al. (2003)
	Nigeria	37-111	UNSCEAR (1977)
	Europe		
	UK	39-360 40-3,400	Holland (1998) Dixon (2001)
	Netherlands	5-200,000 40-1,600	Jonkers et al. Dixon (2001)
	Elsewhere	0-5,000	SIMP (1993)
	Germany	37-370	UNSCEAR (1977)
	North Sea	40-360	Dixon (2001)
	Borneo	74-148 37-111	UNSCEAR (1977) UNSCEAR (1977)
	Canada		
	Alberta	370-7,585 370-7,600	UNSCEAR (1977) Dixon (2001)
British Columbia	14,430-19,980	UNSCEAR (1977)	
Ontario	248-29,600 150-3,400	UNSCEAR (1977) Dixon (2001)	
USA			
Colorado, N. Mexico	37-5,920	UNSCEAR (1977)	
Texas, Kansas, Oklahoma	37-52,650	UNSCEAR (1977)	
Texas, Kansas	190-54,000	Dixon (2001)	
Texas, Panhandle	370-1,924	UNSCEAR (1977)	
Colorado	407-1,665	UNSCEAR (1977)	
Colorado	410-1,670	Dixon (2001)	
Colorado	37-3,700	UNSCEAR (1977)	
California	40-4,000	Dixon (2001)	
Asia			
China Beijing	49-88	RCA report (2001)	
NGL			
C2	Algeria	300-2,650	Hamat et al. (2003)
	UK	522	Holland (1998)
C3	Netherlands	300-18,000	Jonkers et al (1997)
	Algeria	1,085-5,800	Hamat et al. (2003)
	UK	940	Holland (1998)
	Netherlands	150,000-380,000	Jonkers et al (1997)

1) Exemption Levels / Release Criteria

Arkansas

Equipment Property	$\leq 50 \mu\text{R/h}$ including background at any accessible point and surface contamination below the following limits (dpm / 100cm^2): ○ For U-nat., U-235, U-238, and associated products (including Po-210) except Ra-226, Th-230, Ac-227, and Pa-231: average of 5,000; maximum of 15,000; and removable of 1,000 ○ For Ra-226, Ra-228, Th-230, Th-228, Pa-231, and Ac-227: average of 100; maximum of 300; and removable of 20 ○ For beta-gamma emitters: average of 5,000; maximum of 15,000; removable of 1,000
Soil Material	$< 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 and or Ra-228, and $< 150 \text{ pCi/g}$ of any other NORM radionuclide
Unrestricted Transfer of Land	$\leq 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 above background averaged over the first 15 cm of soil below surface, averaged over 100 m^2 , and $\leq 15 \text{ pCi/g}$ averaged over subsequent 15 cm soil intervals

Louisiana

Equipment Property	$\leq 50 \mu\text{R/h}$ at any accessible point
Soil Material	$\leq 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 above background, and $\leq 150 \text{ pCi/g}$ of any other NORM radionuclide
Unrestricted Transfer of Land	$\leq 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 above background averaged over the first 15 cm of soil below surface, averaged over 100 m^2 , and $< 15 \text{ pCi/g}$ averaged over subsequent 15 cm soil intervals; or $\leq 30 \text{ pCi/g}$ of Ra-226 or Ra-228 averaged over 15 cm depth increments, provided the total effective dose to individual members of the public does not exceed 100 mrem/yr

Michigan (Guidelines)

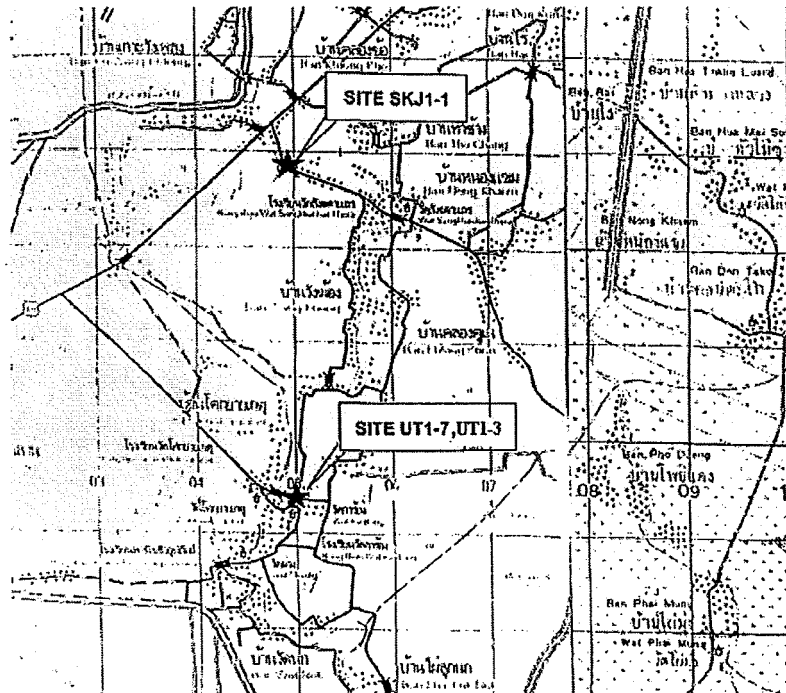
Equipment Property	$\leq 10 \mu\text{R/h}$ above background; and surface contamination below the following limits (dpm/ 100 cm^2): ○ For alpha radiation : average of 100; maximum of 300; and removable of 20 ○ For beta-gamma radiation : average of 5,000; maximum of 15,000; removable of 1,000
Soil Material	$\leq 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 above background
Unrestricted Transfer of Land	$\leq 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 above background averaged over the top 15 cm soil layer, averaged over 100 m^2 , and $\leq 15 \text{ pCi/g}$ averaged over succeeding 15 cm. thick soil layers

(continued)

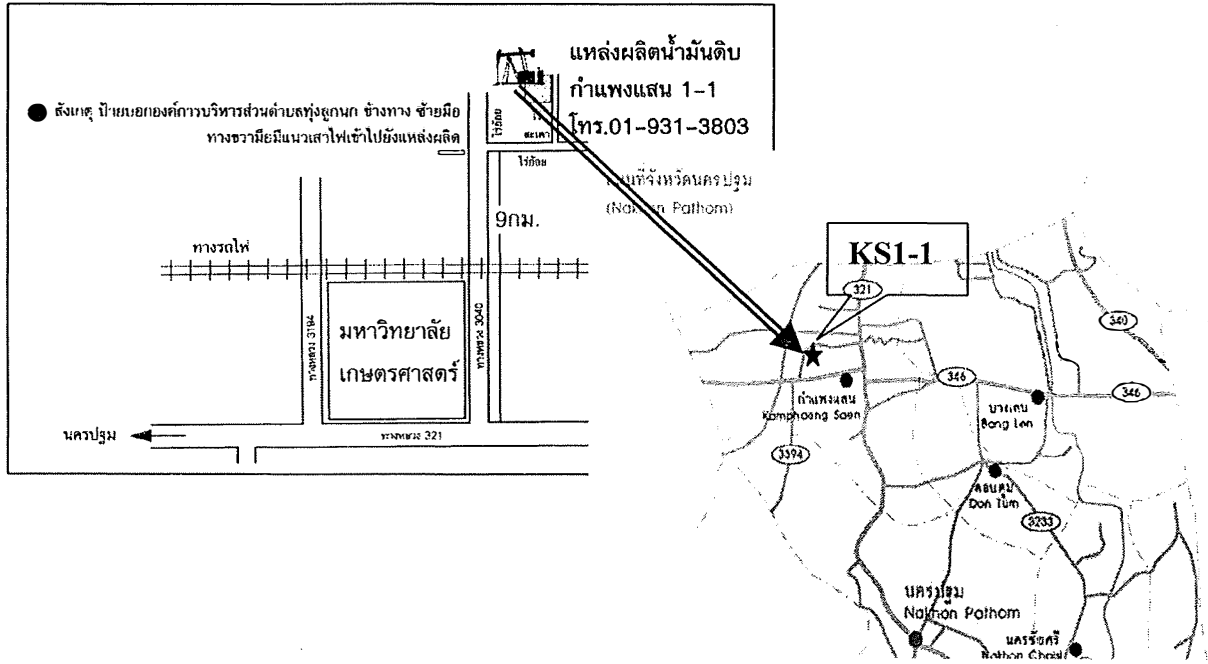
2) Exemption Levels / Release Criteria	
New Mexico	
Equipment Property	$\leq 50 \mu\text{R/h}$ including background; and removable surface contamination must be $< 1,000 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$
Soil Material	$\leq 30 \text{ pCi/g}$ Ra-226 above background, and $\leq 150 \text{ pCi/g}$ of any other NORM radionuclide above background
Unrestricted Transfer of Land	$\leq 30 \text{ pCi/g}$ Ra-226 above background in soil in 15 cm layers, averaged over 100 m^2
Mississippi	
Equipment Property	$\leq 25 \mu\text{R/h}$ above background at any accessible point; and surface contamination below the following limits ($\text{dpm}/100 \text{ cm}^2$): <ul style="list-style-type: none"> ○ For U-nat., U-235, U-238, and associated products (including Po-210) except Ra-226, Th-230, Ac-227, and Pa-231: average of 5,000; maximum of 15,000; and removable of 1,000 ○ For Ra-226, Ra-228, Th-230, Th-228, Pa-231, and Ac-227: average of 100; maximum of 300; and removable of 20 ○ For Beta-gamma emitters: average of 5,000; maximum of 15,000; removable of 1,000
Soil Material	$< 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 above background, or $< 30 \text{ pCi/g}$, averaged over any 100 m^2 , provided the radon emanation rate is $\leq 20 \text{ pCi/m}^2/\text{s}$; and $\leq 150 \text{ pCi/g}$ of any other NORM radionuclide
Unrestricted Transfer of Land	$\leq 30 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 averaged over a maximum depth of 15 cm of soil below the surface, averaged over 100 m^2 , provided the radon emanation rate is $< 20 \text{ pCi/m}^2/\text{s}$; or If the radon emanation rate is $\geq 20 \text{ pCi/m}^2/\text{s}$, $\leq 5 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 averaged over the first 15 cm or soil below the surface and $\leq 15 \text{ pCi/g}$ averaged over subsequent 15 cm soil intervals, averaged over 100 m^2
Texas	
Equipment Property	$\leq 50 \mu\text{R/h}$ including background at any accessible point and surface contamination below the following limits ($\text{dpm}/100 \text{ cm}^2$): average of 5,000, maximum of 15,000, and removable of 1,000
Soil Material	$\leq 30 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228, and $\leq 150 \text{ pCi/g}$ of any other NORM radionuclide
Unrestricted Transfer of Land	$\leq 30 \text{ pCi/g}$ Ra-226 or Ra-228 average over the first 15 cm of soil, averaged over 100 m^2

2 พื้นที่เป้าหมายการวิจัยของบริษัท ปตท. สผ. จำกัด(มหาชน)

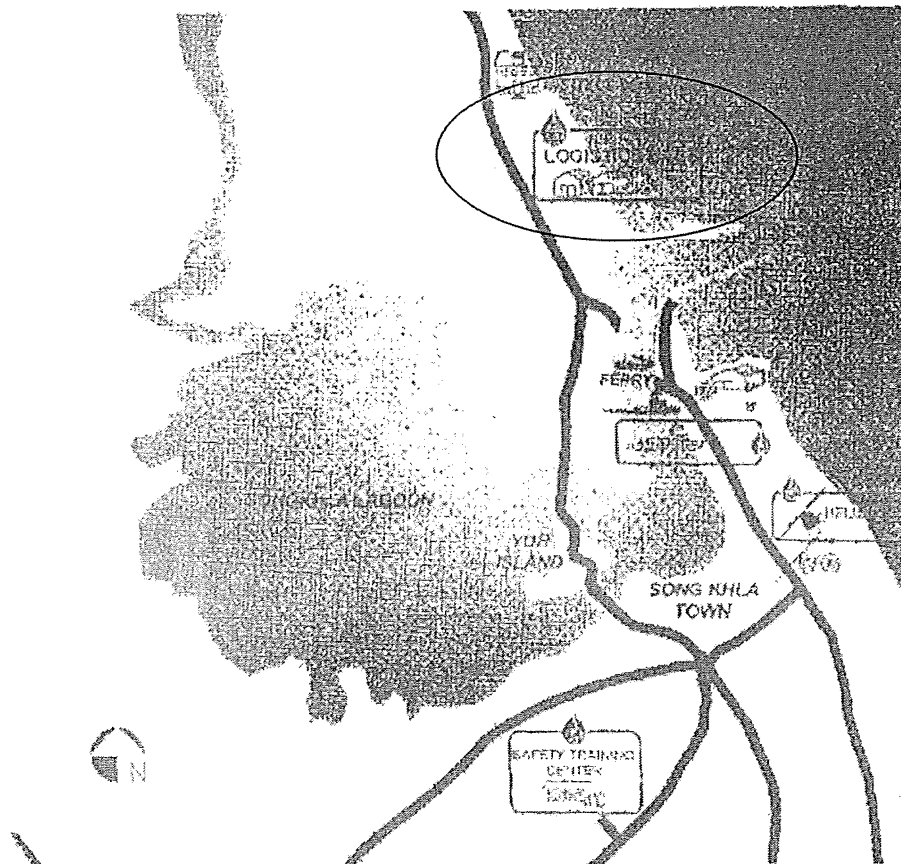
1. พื้นที่เป้าหมายที่ 1 (PTTPEP1) แหล่งผลิตน้ำมันบนบก (Onshore) ประกอบด้วย 4 แหล่ง ดังนี้
 - 1.1 แหล่งผลิตน้ำมันอุทอง 1-7 (UT1-7) ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี อยู่ห่างจากกรุงเทพ ฯ ประมาณ 80 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในรูปที่ ข-3
 - 1.2 แหล่งผลิตน้ำมันอุทอง 1-3 (UT1-3) ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี อยู่ห่างจากกรุงเทพ ฯ ประมาณ 80 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในรูปที่ ข-3
 - 1.3 แหล่งผลิตน้ำมันสังขจาย 1-1 (SKJ 1-1) ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี อยู่ห่างจาก กรุงเทพ ฯ ประมาณ 80 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในรูปที่ ข-3
 - 1.4 แหล่งผลิตน้ำมันกำแพงแสน 1-1 (KS 1-1) ต.ทุ่งลูกนก อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม อยู่ห่าง จากกรุงเทพ ฯ ประมาณ 70 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในรูปที่ ข-4
2. พื้นที่เป้าหมายที่ 2 หน่วยส่งบำรุงกำลัง จังหวัดสงขลา (Songkhla Logistic Base) ตำแหน่งที่ตั้งของ พื้นที่แสดงในรูปที่ ข-5
3. พื้นที่เป้าหมายที่ 3 แท่นผลิตก๊าซธรรมชาตินอกชายฝั่ง (Offshore) อยู่ในอ่าวไทย และห่างจากจังหวัด สงขลา ประมาณ 230 กิโลเมตร ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่แสดงในรูปที่ ข-6



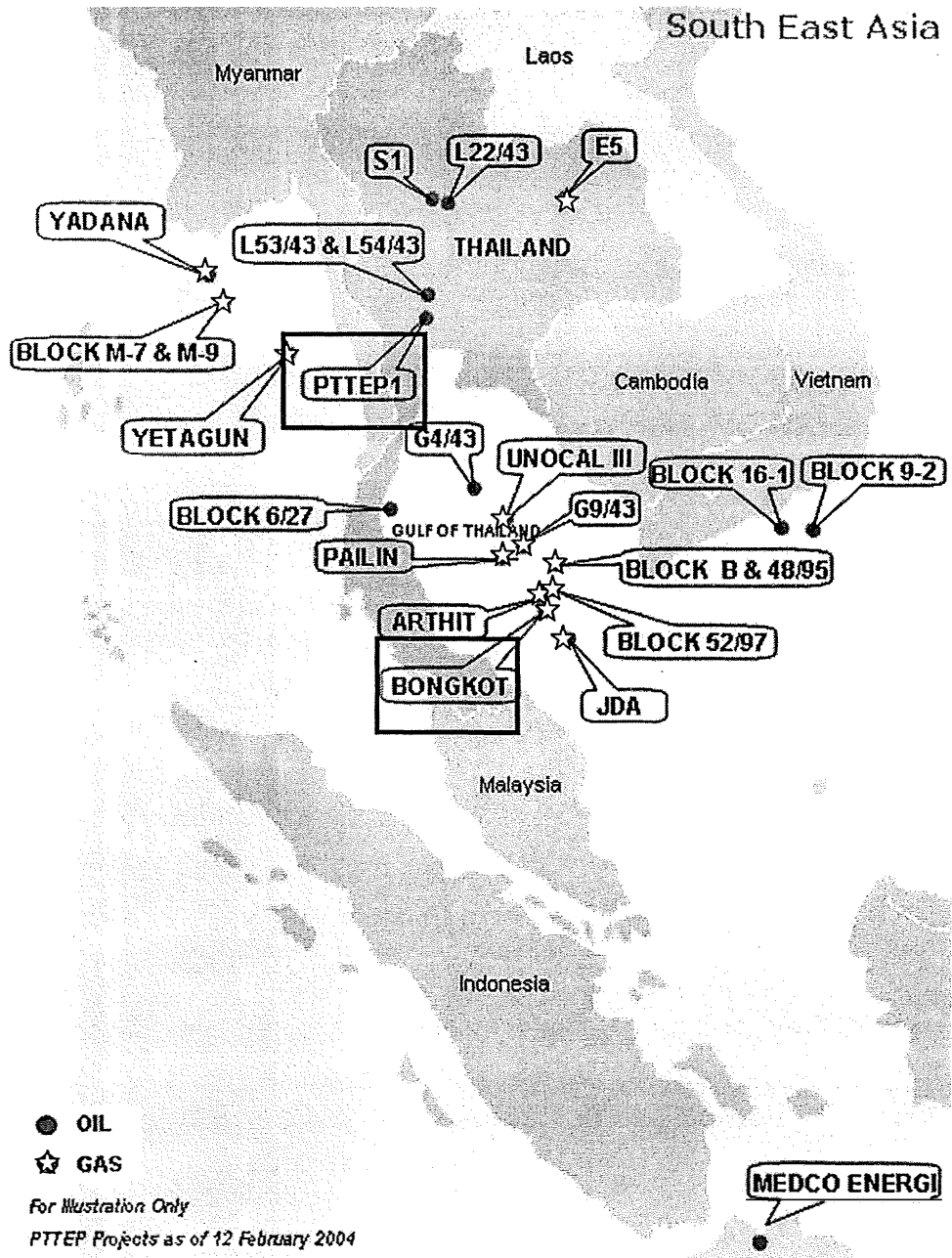
รูปที่ ข-3 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมาย UT1-7, UT1-3 และ SKJ1-1



รูปที่ ข-4 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมาย KS1-1



รูปที่ ข-5 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมาย Songkhla Logistics Base



รูปที่ ข-6 แผนที่ตั้งพื้นที่เป้าหมายที่ 1 (PTTEP 1) และ พื้นที่เป้าหมายที่ 3 (Bongkot Oil Field)

ตารางที่ ๗-5 จำนวนตัวอย่างดินและน้ำที่เก็บจากการสำรวจพื้นที่เป้าหมายที่ 1 อย่างละเอียด

พื้นที่เป้าหมาย	การสำรวจครั้งที่ 1 (ส.ค. - ก.ย. ๒๕๖๒)				การสำรวจครั้งที่ 2 (ธ.ค. - ม.ค. ๒๕๖๓)				การสำรวจครั้งที่ 3 (เม.ษ - พ.ค. ๒๕๖๓)					
	จำนวนตัวอย่างดิน		จำนวนตัวอย่างน้ำ		จำนวนตัวอย่างดิน		จำนวนตัวอย่างน้ำ		จำนวนตัวอย่างดิน		จำนวนตัวอย่างน้ำ			
	ในพื้นที่ การผลิต	นอกพื้นที่ การผลิต	ในพื้นที่ การผลิต	นอกพื้นที่ การผลิต	ในพื้นที่ การผลิต	นอกพื้นที่ การผลิต	ในพื้นที่ การผลิต	นอกพื้นที่ การผลิต	ในพื้นที่ การผลิต	นอกพื้นที่ การผลิต	ในพื้นที่ การผลิต	นอกพื้นที่ การผลิต		
U-Tong1-7	5	4	1	2	2	-	4	1	3	2	4	1	2	-
U-Tong1-3	5*	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Sang-Kajal1-1	2	2**	-	1	1	3**	-	-	1	1	2	-	1	1
Kampangsan1-1	3*	4	1	-	2	3	3	1	-	2	2	1	-	1
รวม	15	12	3	4	7	11	3	5	3	7	9	3	4	3

หมายเหตุ * เก็บดินบริเวณที่ทำการเดินสำรวจและพบว่ามีความเสี่ยงสูงแต่ไม่สามารถตรวจวัดโดยใช้ In-Situ ได้

** รวมกับตัวอย่างดินที่เก็บจากการทำ In-Situ

ตารางที่ ๒-6 ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจจุดพื้นที่การผลิต UT1-7 ครั้งที่ 1, 2 และ 3

ลำดับที่	ตำแหน่งที่เก็บ	ความเข้มข้นรังสี (pCi / g)											
		ครั้งที่ 1 (ส.ค. - ก.ย. ๒๕๖๓)				ครั้งที่ 2 (ส.ค. - ม.ค. ๒๕๖๓)				ครั้งที่ 3 (เม.ษ - พ.ค. ๒๕๖๓)			
		Ra-226	Ra-228	K-40	รวม	Ra-226	Ra-228	K-40	รวม	Ra-226	Ra-228	K-40	รวม
นอกพื้นที่การผลิต													
1	บริเวณคั่นหน้าห่างจากพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศเหนือ (~25 เมตร)	1.55±0.05	2.12±0.05	28.81±0.71	0.57±0.22	0.84±0.03	21.13±0.52	1.03±0.03	1.39±0.02	30.69±0.76			
2	บริเวณคั่นหน้าห่างจากพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศตะวันออก (~25 เมตร)	1.88±0.04	2.35±0.07	27.73±0.70	1.59±0.05	2.23±0.05	33.25±0.81	0.78±0.29	1.10±0.04	23.50±0.60			
3	บริเวณคั่นหน้าห่างจากพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศตะวันตก (~1 กิโลเมตร)	2.28±0.07	2.16±0.06	26.23±0.06	2.53±0.09	2.86±0.06	31.52±0.80	1.34±0.05	1.90±0.05	24.78±0.64			
4	บริเวณแนวรั้วระหว่างพื้นที่เป้าหมาย UT1-3 และ UT1-7	1.50±0.05	1.72±0.06	25.98±0.67	1.27±0.03	1.86±0.05	31.15±0.77	0.79±0.02	1.02±0.02	15.74±0.38			
ในพื้นที่การผลิต													
5	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 1	0.39±0.03	0.63±0.05	9.46±0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 2	0.46±0.03	0.74±0.07	10.03±0.34	2.57±0.23	0.84±0.03	21.13±0.52	0.54±0.02	0.92±0.03	19.85±0.50			
7	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 3	1.12±0.04	1.13±0.04	24.03±0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 4	0.82±0.04	1.06±0.07	10.57±0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 5	1.16±0.03	1.06±0.07	10.06±0.38	0.96±0.04	1.09±0.03	27.27±0.68	0.88±0.03	1.11±0.30	22.32±0.55			

ตารางที่ ๗-7 ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจจุดพื้นที่การผลิต UT1-3 ครั้งที่ 1, 2 และ 3

ลำดับที่	ตำแหน่งที่เก็บ	ความเข้มข้นรังสี (pCi / g)											
		ครั้งที่ 1 (ธ.ค. - ก.ย. ฤดูแล้ง)			ครั้งที่ 2 (ธ.ค. - ม.ค. ฤดูหนาว)			ครั้งที่ 3 (เมษ - พ.ค. ฤดูร้อน)					
		Ra-226	Ra-228	K-40	Ra-226	Ra-228	K-40	Ra-226	Ra-228	K-40			
นอกพื้นที่การผลิต													
1	บริเวณห่างจากพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศใต้ (~25 เมตร)	1.25±0.04	2.31±0.04	31.48±0.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	บริเวณตรงข้ามพื้นที่เป้าหมายจากพื้นที่เป้าหมาย (~12 เมตร)	1.77±0.07	2.04±0.12	13.35±0.49	1.48±0.05	1.93±0.03	23.88±0.59	1.44±0.04	2.10±0.03	28.73±0.70			
ในพื้นที่การผลิต													
3	ดินบริเวณกิริต A0	1.01±0.03	1.76±0.03	33.76±0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 1	1.30±0.04	0.73±0.01	25.51±0.62	1.64±0.05	1.56±0.05	29.16±0.70	0.45±0.01	0.57±0.01	14.50±0.36			
5	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 2	1.36±0.04	1.41±0.02	21.44±0.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 3	0.98±0.03	0.83±0.03	19.01±0.49	1.64±0.05	1.56±0.05	29.16±0.70	0.93±0.03	1.16±0.02	22.84±0.55			
7	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 4	0.98±0.03	1.45±0.02	28.72±0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข-8 ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจพื้นที่การผลิต SKJ-1-1 ครั้งที่ 1, 2 และ 3

ลำดับที่	ตำแหน่งที่เก็บ	ความเข้มข้นรังสี (pCi / g)									
		ครั้งที่ 1 (ส.ค. - ก.ย. ฤดูแล้ง)			ครั้งที่ 2 (ธ.ค. - ม.ค. ฤดูหนาว)			ครั้งที่ 3 (เม.ษ - พ.ค. ฤดูร้อน)			
		Ra-226	Ra-228	K-40	Ra-226	Ra-228	K-40	Ra-226	Ra-228	K-40	
นอกพื้นที่การผลิต											
1	บริเวณห่างจากพื้นที่เป้าหมาย ทางด้านทิศตะวันออก (~20 เมตร)	1.92±0.04	2.67±0.07	28.66±1.04	2.06±0.06	2.34±0.04	26.82±0.64	1.05±0.03	1.37±0.02	26.65±0.65	
2	บริเวณด้านหน้าพื้นที่เป้าหมายห่าง จากพื้นที่เป้าหมาย (~12 เมตร)	-	-	-	2.09±0.06	2.42±0.04	28.90±0.70	-	-	-	
3	ที่บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสี แกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 3*	2.44±0.08	2.20±0.03	26.27±0.75	2.24±0.07	2.68±0.04	27.08±0.65	1.47±0.04	1.82±0.03	27.13±0.66	
ในพื้นที่การผลิต											
4	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสี แกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 1	0.62±0.02	0.97±0.03	22.36±0.56	0.55±0.16	0.88±0.01	22.63±0.54	0.53±0.15	0.73±0.01	20.67±0.49	
5	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสี แกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 2	0.45±0.02	0.89±0.03	20.58±0.76	-	-	-	-	-	-	

หมายเหตุ: * หมายถึง ดินนอกพื้นที่การผลิต ซึ่งอยู่ด้านข้างห่างจากรั้วพื้นที่เป้าหมาย 20 เมตรทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และ 70 เมตร จากถนนหน้าพื้นที่เป้าหมาย

ตารางที่ ข-9 ปริมาณความเข้มข้นรังสีในดินจากการสำรวจพื้นที่การผลิต KS1-1 ครั้งที่ 1, 2 และ 3

ลำดับที่	ตำแหน่งที่เก็บ	ความเข้มข้นรังสี (pCi / g)											
		ครั้งที่ 1 (ส.ค. - ก.ย. ๒๕๖๓)					ครั้งที่ 2 (ธ.ค. - ม.ค. ๒๕๖๓)					ครั้งที่ 3	
		Ra-226	Ra-228	K-40	Ra-226	K-40	Ra-226	Ra-228	K-40	Ra-226	Ra-228	K-40	
นอกพื้นที่การผลิต													
1	บริเวณหลุมบ่อทรายห่างจากพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศตะวันออก (~1 กม.) ที่ความลึก 0-15 ซม.	1.52±0.05	2.22±0.04	43.68±1.11	1.66±0.05	41.46±1.13	2.37±0.04	41.46±1.13	1.74±0.05	2.34±0.04	40.35±1.02		
2	บริเวณหลุมบ่อทรายห่างจากพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศตะวันออก (~1 กม.) ที่ความลึก 15-30 ซม.	1.41±0.05	1.97±0.03	40.39±0.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	บริเวณบ่อน้ำหน้าพื้นที่เป้าหมายทางด้านทิศตะวันออก (~50 เมตร)	1.46±0.04	2.19±0.05	41.78±0.98	1.12±0.04	24.03±0.60	1.30±0.04	24.03±0.60	-	-	-	-	-
4	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 4*	2.29±0.07	3.23±0.05	36.87±0.93	2.08±0.06	43.25±1.07	0.26±0.01	43.25±1.07	1.74±0.05	2.34±0.04	40.35±1.02		
ในพื้นที่การผลิต													
5	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 1	0.76±0.02	0.95±0.01	22.67±0.55	0.54±0.02	20.83±0.50	0.67±0.01	20.83±0.50	0.44±0.01	0.68±0.01	18.33±0.44		
6	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 2	1.00±0.03	1.25±0.02	27.53±0.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	บริเวณการวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมา ณ พื้นที่ ตำแหน่งที่ 3	1.55±0.02	1.95±0.02	36.86±0.46	0.60±0.02	34.69±0.86	1.65±0.02	34.69±0.86	0.70±0.02	0.89±0.01	24.06±0.60		

หมายเหตุ: * หมายถึง ดินบริเวณไร่ถ้อยนอกพื้นที่ผลิต ซึ่งอยู่ด้านข้างทางจากรั้วพื้นที่เป้าหมาย 20 เมตรทางทิศเหนือ และ 30 เมตรจากถนนหน้าพื้นที่เป้าหมาย

ND = Not Detectable

ตารางที่ ข-10 ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ UT1-3

ความเข้มข้นรังสี pCi/l (Bq/l)	ลักษณะตัวอย่าง														
	Produced water TKW 303						Water pit								
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
Cs-137	ND	ND	ND	0.648±0.270 (0.024±0.010)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Th-232	6.184±0.946 (0.229±0.035)	8.484±1.889 (0.314±0.044)	7.322±1.054 (0.271±0.039)	5.296±1.324 (0.196 ±0.049)	4.918±0.811 (0.182±0.030)	ND	4.188±1.00 (0.155±0.037)	ND	ND	4.188±1.00 (0.155±0.037)	ND	ND	3.350±0.919 (0.124±0.034)	ND	ND
U-238	ND	ND	ND	286.925±60.2 (10.619±2.23)	ND	ND	286.925±60.2 (10.619±2.23)	ND	ND	ND	ND	ND	154.554±43.3 (5.720±1.603)	ND	ND
Ra-226	8.782±1.675 (0.325±0.062)	13.456±2.459 (0.498±0.091)	14.077±2.243 (0.521±0.083)	12.051±2.513 (0.446 ±0.093)	5.647±1.621 (0.209±0.060)	7.485±2.162 (0.277±0.080)	8.187±2.054 (0.303±0.076)	ND	ND	7.485±2.162 (0.277±0.080)	ND	ND	6.917±1.783 (0.256±0.066)	ND	ND
K-40	65.578±4.485 (2.427 ±0.166)	71.603±4.674 (2.650±0.173)	71.792±4.783 (2.657±0.177)	127.940±6.24 (4.735±0.231)	53.581±4.296 (1.983±0.159)	50.176±5.053 (1.857±0.187)	74.548±4.891 (2.759±0.181)	67.739±4.539 (2.507±0.168)	54.472±4.972 (2.016±0.184)	74.548±4.891 (2.759±0.181)	67.739±4.539 (2.507±0.168)	54.472±4.972 (2.016±0.184)	54.472±4.972 (2.016±0.184)	54.472±4.972 (2.016±0.184)	54.472±4.972 (2.016±0.184)

หมายเหตุ : ND = Not Detectable

ตารางที่ ข-11 ปริมาณความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างน้ำของพื้นที่ UT-1-7

Radionuclide	ความเข้มข้นรังสี pCi/L (Bq/L)								
	produce water TKW 101			Mud pit cement line			Water reserve pit		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Cs-137	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.973±0.324 (0.036 ±0.012)	ND	0.973±0.351 (0.036±0.013)
Th-232	8.836±1.243 (0.327±0.046)	4.188±1.054 (0.155±0.039)	6.377±1.162 (0.236±0.043)	4.458±0.892 (0.165 ±0.033)	3.648±0.946 (0.135 ±0.035)	ND	8.133±1.378 (0.301 ±0.051)	4.080±0.946 (0.151±0.035)	3.242±1.432 (0.120 ±0.053)
U-238	ND	ND	ND	76.223±31.91 (2.821 ±1.181)	ND	ND	263.364±63.7 (9.747 ±2.360)	132.37±37.64 (4.899±1.393)	ND
Ra-226	17.158±2.269 (0.635±0.084)	14.348±2.324 (0.531±0.086)	12.889±2.080 (0.477±0.077)	ND	ND	7.836±2.054 (0.290±0.076)	10.403±2.512 (0.385 ±0.093)	ND	25.885±3.134 (0.958 ±0.116)
K-40	93.705±5.593 (3.468±0.207)	72.873±5.620 (2.697±0.208)	69.522±5.080 (2.573±0.188)	54.580±4.350 (2.020 ±0.161)	56.931±4.566 (2.107 ±0.169)	78.060±4.810 (2.889 ±0.178)	130.26±6.403 (4.821 ±0.237)	54.472±4.972 (2.016±0.184)	108.57±6.376 (4.018 ±0.236)

น้ำบาดาล

ครั้งที่	ความเข้มข้นรังสี pCi/l (Bq/l)								
	Cs-137	Th-232	U-238	Ra-226	K-40				
2*	ND	ND	ND	ND	49.690±4.161 (1.839 ± 0.154)				
3**	ND	ND	ND	ND	39.89±13.28 (1.48 ± 0.49)				

หมายเหตุ : ND = Not Detectable

* = น้ำบาดาลที่ใช้ในพื้นที่เป้าหมาย ** = น้ำใต้ดินจากหลุมเจาะในพื้นที่เป้าหมาย

ตารางที่ ๑-12 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่งน้ำของพื้นที่ SKJ 1-1

Radionuclide	ความเข้มข้นรังสี pCi/L (Bq/L)									
	Water pit			น้ำออกพื้นที่			น้ำออกพื้นที่			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
Cs-137	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	ND
Th-232	5.350±0.973 (0.198±0.036)	3.918±0.838 (0.145±0.031)	3.756±0.864 (0.139 ±0.032)	-	ND	-	-	ND	ND	ND
U-238	ND	ND	ND	-	ND	-	-	ND	318.809±63.875 (11.799 ± 2.364)	8.244±2.324 (0.305 ± 0.086)
Ra-226	7.241±1.756 (0.268 ± 0.065)	7.620±1.891 (0.282±0.070)	ND	-	ND	-	-	5.215±1.702 (0.193±0.063)	51.419±4.188 (1.903±0.155)	52.608 ± 4.837 (1.947 ± 0.179)
K-40	60.795±4.701 (2.25 ± 0.174)	56.148±4.809 (2.078±0.178)	50.338±4.485 (1.863 ±0.166)	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข-13 ความเข้มข้นของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่่างนำของพื้นที่ KS 1-1

Radionuclide	ความเข้มข้นรังสี pCi/L (Bq/L)									
	Produced water TKW 101			น้ำบาดาล*			น้ำนอกพื้นที่			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
Cs-137	4.188±0.946 (0.155 ±0.035)	ND	ND	-	1.027±0.243 (0.038 ±0.009)	ND	ND	ND	ND	ND
Th-232	0.676±1.243 (0.025 ±0.046)	4.674±1.054 (0.173±0.039)	7.538±1.486 (0.279 ±0.055)	-	6.566±0.973 (0.243 ±0.036)	ND	4.188±0.946 (0.155 ±0.035)	3.188±0.919 (0.118±0.034)	5.890±1.135 (0.218 ±0.042)	ND
U-238	118.51±59.795 (4.386 ±2.213)	ND	118.509±63.0 (4.386 ±2.333)	-	129.58±38.74 (4.796 ±1.434)	226.51±123.6 (8.38 ±4.57)	ND	ND	ND	ND
Ra-226	8.376±2.918 (0.310 ±0.108)	5.836±1.675 (0.216±0.062)	16.374±5.377 (0.606 ±0.119)	-	8.619±1.729 (0.319 ±0.064)	ND	6.673±1.783 (0.247 ±0.066)	6.782±1.999 (0.251±0.074)	11.94±0.946 (0.442 ±0.035)	ND
K-40	124.589±6.566 (4.611 ±0.243)	51.851±4.323 (1.919±0.160)	129.97±6.727 (4.810 ±0.249)	-	55.418±4.161 (2.051 ±0.154)	ND	66.658±4.566 (2.467 ±0.169)	71.305±4.864 (2.639±0.180)	90.544±5.944 (3.351 ±0.220)	ND

หมายเหตุ : ND = Not Detectable

* = เป็นค่าที่ใช้ใน office ของพื้นที่เป้าหมาย

ภาคผนวก ค

การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีของ TLD และ ความเข้มข้น เรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน

1. การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีของ TLD แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.1 การเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีจากการวัดด้วย Thermo luminescent Dose (TLD)

ขั้นตอน

1. ทำการเรียงเม็ด TLD ตามหมายเลขลงในภาตพลาสติก
2. นำ TLD ทั้งหมดไปทำการอบรังสีแกมมาจาก Cs-137 ที่พลังงาน 0.662 MeV โดยกำหนดปริมาณรังสี (Dose) ที่ใช้ในการอบ TLD คือ 5, 10, 20 และ 50 mR ตามลำดับ
3. ซึ่งสามารถกำหนดปริมาณรังสีที่เม็ด TLD จะได้รับ จากเวลาที่ใช้ในการอบ TLD โดยการคำนวณค่าความ
แรงรังสีของ Cs-137 ที่ใช้

จาก 4 Nov.1999 – 30 Jul. 2004 คิดเป็น 1730 วัน

$$t_{1/2}(Cs - 137) = 30.17 \times 365.25 = 11019.5925 \text{ Day}$$

$$A_0 = 4.7237 \times 10^{-4} \text{ R/s}$$

ดังนั้น

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{0.693 \times 1730}{11019.5925}\right)}$$

$$A = 0.8969 A_0$$

$$A = 0.4237 \text{ mR/s}$$

Dose 0.4237 mR ใช้เวลาในการอบ 1 sec

ดังนั้น Dose 5 mR ใช้เวลาในการอบ 11.8001 sec

Dose 10 mR ใช้เวลาในการอบ 23.4016 sec

Dose 20 mR ใช้เวลาในการอบ 47.2032 sec

Dose 50 mR ใช้เวลาในการอบ 118.0080 sec

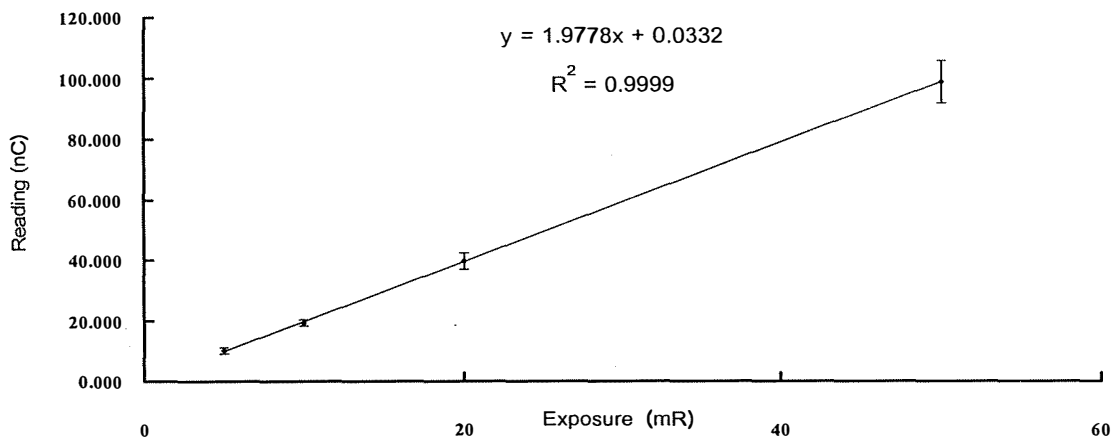
4. จากข้อ 3 TLD ที่ผ่านการอบรังสีแกมมาจาก Cs-137 แล้ว อะตอมในผลึกจะถูกกระตุ้นทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลขึ้นใน thermoluminescent crystal และจะถูก trap ไว้ด้วย lattice imperfections ในผลึก เพื่อให้คงอยู่ในสถานะกระตุ้นได้เป็นเวลานาน จากนั้นจะนำมาอ่านค่าด้วยเครื่องอ่าน TLD ซึ่งจะอาศัยหลักการให้ความร้อนแก่ผลึก TLD เพื่อให้อิเล็กตรอนและโฮลหลุดออกจาก traps กลับสู่สภาวะปกติ ซึ่งปริมาณความเข้มแสงทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากผลึกเป็นปฏิภาคกับจำนวน trapped (หรือ excite electron) ซึ่งก็เป็นปฏิภาคกับพลังงานรังสีที่เม็ด TLD ได้ดูดกลืนไว้นั่นเอง
5. ข้อมูลจากในข้อ 4 ถูกนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการอบ TLD ด้วย Cs-137 กับค่าปริมาณรังสีที่วัดได้จาก TLD ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่เม็ด TLD ได้ดูดกลืนไว้

6. จากข้อ 5 จะได้สมการ $Y = 1.9778 X + 0.0332$ เพื่อนำไปใช้ในการปรับเทียบหาค่าปริมาณรังสีที่ได้จากการตรวจวัดในสิ่งแวดล้อมต่อไป

ตารางที่ ค-1 ผลการปรับเทียบระหว่างค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการอาบ TLD กับค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ยที่วัดได้จาก TLD

ค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการอาบ TLD (mR)	ค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ยที่วัดได้จาก TLD (nC)
5	10.156 ± 1.000
10	19.390 ± 1.023
20	39.799 ± 2.694
50	98.899 ± 6.944

TLD 200 calibration (Cs -137)



รูปที่ ค-1 กราฟแสดงผลการปรับเทียบระหว่างค่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการอาบ TLD กับค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ยที่วัดได้จาก TLD

1.2 การปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่ปลดปล่อย (Fading) ในแต่ละช่วงระยะเวลาที่ทำการวัด
ขั้นตอน

1. ทำการเรียงเม็ด TLD ตามหมายเลขลงในภาตพลาสติก
2. นำ TLD ทั้งหมดไปทำการอาบรังสีแกมมาจาก Cs-137 ที่พลังงาน 0.662 MeV โดยกำหนดปริมาณรังสี (Dose) ที่จะใช้ในการอาบ TLD คือ 100 mR
3. ทำการคำนวณเวลาที่จะใช้ในการอาบ TLD เพื่อให้ได้ Dose ตามที่ได้กำหนดไว้ โดยคำนวณความแรงรังสีของ Cs-137 ที่ใช้

จาก 4 Nov. 1999 – 19 Oct. 2004 เป็นเวลา 1811 วัน

$$t_{1/2} (\text{Cs-137}) = 30.17 \times 365.25 = 11019.5925 \text{ Day}$$

$$A_0 = 4.7237 \times 10^{-4} \text{ R/s}$$

ดังนั้น

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = A_0 e^{-\left(\frac{0.693 \times 1811}{11019.5925}\right)}$$

$$A = 0.8923 A_0$$

$$A = 0.4215 \text{ mR/s}$$

Dose 0.4215 mR ใช้เวลาในการอาบ 1 sec

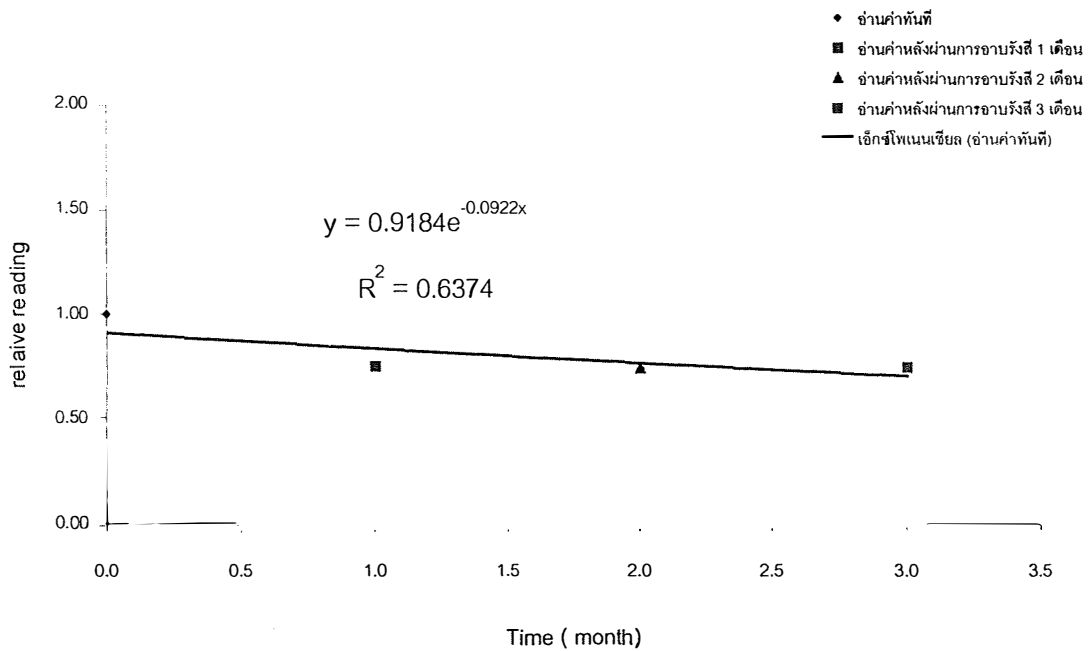
ดังนั้น Dose 100 mR ใช้เวลาในการอาบ 237.2340 sec

- จากข้อ 3 เมื่อครบกำหนดเวลา นำ TLD ที่ผ่านการอาบรังสีแล้ว แบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน ส่วนที่ 1 นำมาอ่านค่าทันที อีกสามส่วนที่เหลือจะเก็บไว้อ่านค่าหลังจากทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ
- จากข้อ 4 ค่าที่ได้นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณรังสีที่วัดได้ กับช่วงระยะเวลาที่ทำการวัด
- จากข้อ 5 จะได้สมการ $Y = 0.9184e^{-0.0922X}$ เพื่อนำไปใช้ในการปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่ปลดปล่อย (fading) ในแต่ละช่วงระยะเวลาที่ทำการติดตั้ง TLD เพื่อทำการวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมต่อไป

ตารางที่ ค-2 ผลการปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่ปลดปล่อย (Fading) ในแต่ละช่วงระยะเวลาที่ทำการวัด

เวลาที่ทำการอ่านค่า	ค่าปริมาณรังสีที่อ่านได้ในแต่ละช่วงระยะเวลา (fading)			
	ค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ย (nC)	SD	% SD	relative reading
ทันทีหลังการอาบรังสี	324	8.4	2.6	1
หลังการอาบรังสี 1 เดือน	242.7	7.1	2.9	0.75
หลังการอาบรังสี 2 เดือน	239.7	4.3	1.8	0.74
หลังการอาบรังสี 3 เดือน	239.3	3.3	1.4	0.74

TLD 200 Fading



รูปที่ ค-2 กราฟแสดงผลการปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่ลดลง (fading) ในแต่ละช่วงระยะเวลา ที่ทำการวัด

2. การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน ขั้นตอน

Source : Pylon electrics development company,ltd.

Model RN-2000A Passive source

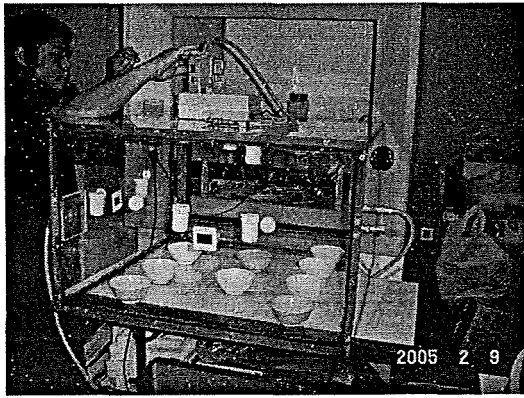
Serial No.156 Isotope ; Ra-226

Total source activity : 20.79 kBq

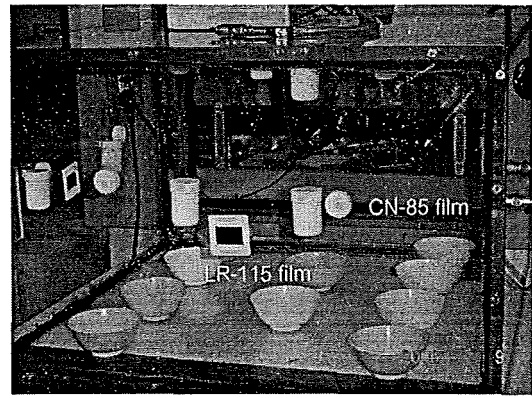
Dispend activity : -

Date of calibrate : Jan 26,1993

1. Chamber ที่ใช้ทำจากอะคริลิก ขนาด กว้าง 667 เซนติเมตร, ยาว 667 เซนติเมตร, สูง 417 เซนติเมตร ความจุภายใน 18,551.87 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. ทำการติดฟิล์ม CN-85 และจัดวางอุปกรณ์ที่จะใช้ในการเปรียบเทียบภายใน chamber (ดังรูปที่ ค-3 และ ค-4)

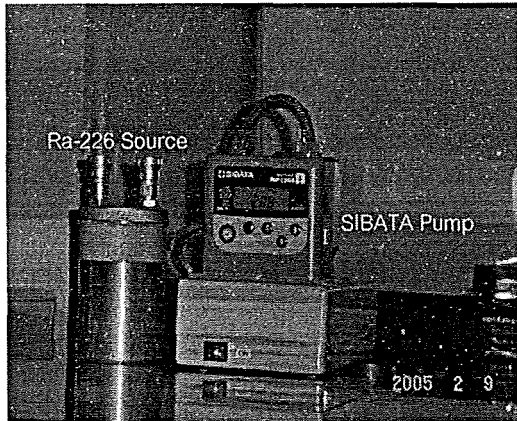


(ก)

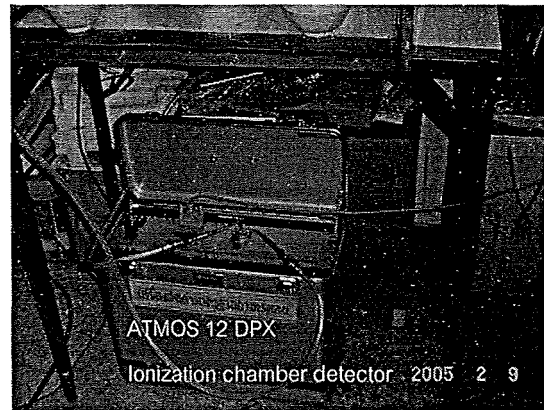


(ข)

รูปที่ ค-3 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการจัดวางอุปกรณ์



(ก)



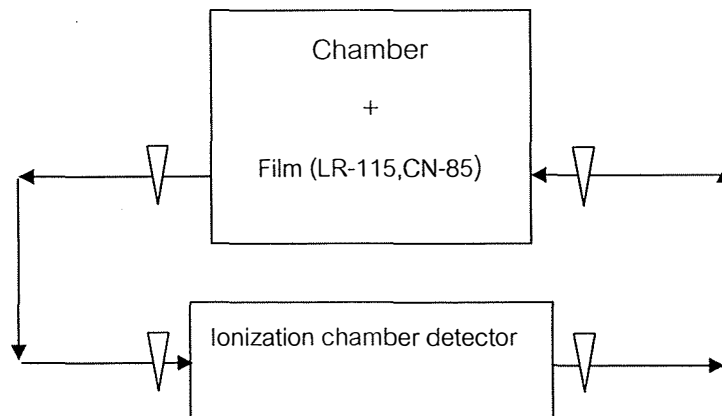
(ข)

รูปที่ ค-4 (ก) แสดงลักษณะของปั๊ม และต้นกำเนิดก๊าซเรดอน ที่ใช้ในการทดลอง

(ข) แสดงลักษณะของ ATMOS 12 DPX ionization chamber detector ที่ใช้ในการทดลอง

3. ต่อท่อสายยางออกจาก chamber เข้าสู่เครื่องวัดค่ามาตรฐานก๊าซเรดอน ATMOS 12 DPX ซึ่งเป็น ionization chamber detector หลังจากทำการอุ่นเครื่องแล้วเป็นเวลา 30 นาที และทำการต่อท่อสายยางจาก detector กลับเข้าสู่ chamber (ดังรูปที่ ค-5)

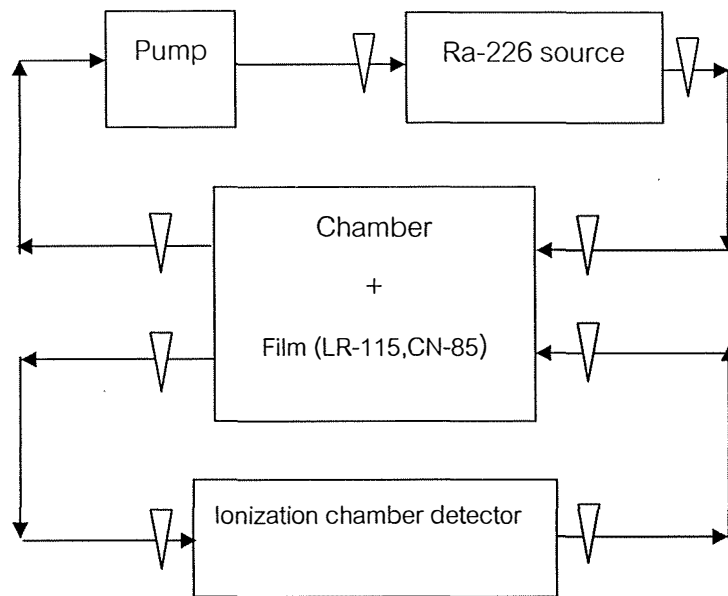
4.




หมายเหตุ ▽ หมายถึง วาล์วไหลด้านเดียว

รูปที่ ค-5 แผนภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์ สำหรับการวัดค่า Background

5. ทำการวัดค่า Background
6. ต่อท่อสายยางออกจาก chamber เข้าสู่ปั๊ม ต่อท่อสายยางจากปั๊ม เข้าสู่ต้นกำเนิดก๊าซเรดอน และต่อท่อสายยางจากต้นกำเนิดก๊าซเรดอนกลับเข้าสู่ chamber (ดังรูปที่ ค-6)



หมายเหตุ  หมายถึง วาล์วไหลด้านเดียว

รูปที่ ค-6 แผนภาพแสดงการจัดวางอุปกรณ์ สำหรับการปรับเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน

7. จากนั้นทำการกำหนดเวลาที่ใช้ในการสูบลำก๊าซเรดอน เข้าสู่ chamber เป็น 3 ช่วงเวลา สำหรับค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอน 3 ระดับด้วยกัน คือ

ระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอน	เวลา (นาที)
ระดับต่ำ ($12,360 \pm 84 \text{ Bq/m}^3$)	5
ระดับปานกลาง ($16,565 \pm 109 \text{ Bq/m}^3$)	10
ระดับสูง ($60,087 \pm 400 \text{ Bq/m}^3$)	30

8. หลังจากครบกำหนดเวลาของระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในแต่ละครั้งจึงทำการถอดท่อสายยางที่ต่อเข้ากับต้นกำเนิดก๊าซเรดอนออก ทำการปิดปั๊ม จากนั้นทำการจดบันทึกค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอน ทุก 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำเช่นนี้จนกระทั่งครบทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น
9. นำฟิล์ม CN-85 ที่ผ่านการอบด้วยเรดอนแล้ว ไปทำการล้างก๊อชขยายรอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 10% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

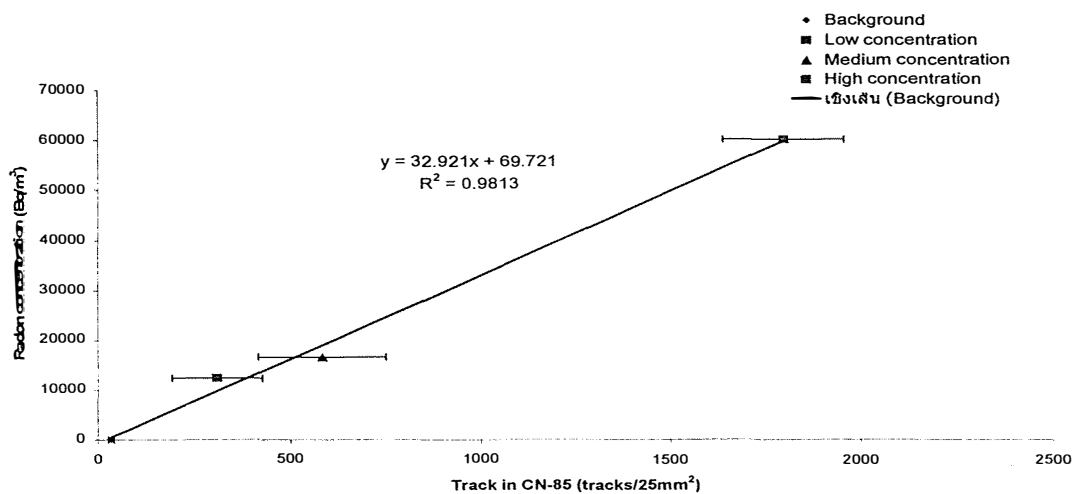
10. เมื่อครบกำหนดเวลาที่ใช้ในการล้างก๊าดขยายรอย फिल्म CN-85 จะถูกนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อชะล้างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ตกค้างบนผิวฟิล์มออก และเป่าฟิล์มให้แห้ง
11. ทำการนับจำนวนรอยเรดอนบนฟิล์มด้วยกล้อง Olympus รุ่น BH2 กำลังขยาย 400 เท่า พื้นที่ในการนับ 25 ตารางมิลลิเมตร จนกระทั่งครบทั้ง 3 ระดับความเข้มข้น
12. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนรอยที่นับได้บนแผ่นฟิล์มกับระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนที่ใช้ในการอบฟิล์ม เพื่อนำสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้ในการปรับเทียบหาค่าระดับความเข้มข้นก๊าซเรดอนในธรรมชาติ เมื่อใช้การตรวจวัดด้วยแผ่นฟิล์ม CN-85

ตารางที่ ค-3 ผลการปรับเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน

Radon concentration (Bq/m ³)	Number of tracks in CN-85 (tracks/25mm ²)										ค่าเฉลี่ย (tracks/25mm ²)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Background	35	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.5 ± 3.536
Low concentration (12,360)	370	235	325	380	235	245	260	370	320	340	308 ± 58.935	
Medium concentration (16,565)	660	590	470	445	570	560	635	540	685	680	583.5 ± 83.568	
High concentration (60,087)	1875	1920	1760	1840	1720	1885	1785	1730	1795	1680	1799 ± 79.155	

หมายเหตุ จำนวนฟิล์ม CN-85 ที่ใช้ในการปรับเทียบมีจำนวน 10 แผ่น ในแต่ละค่าความเข้มข้น

Rn calibration curve of CN-85



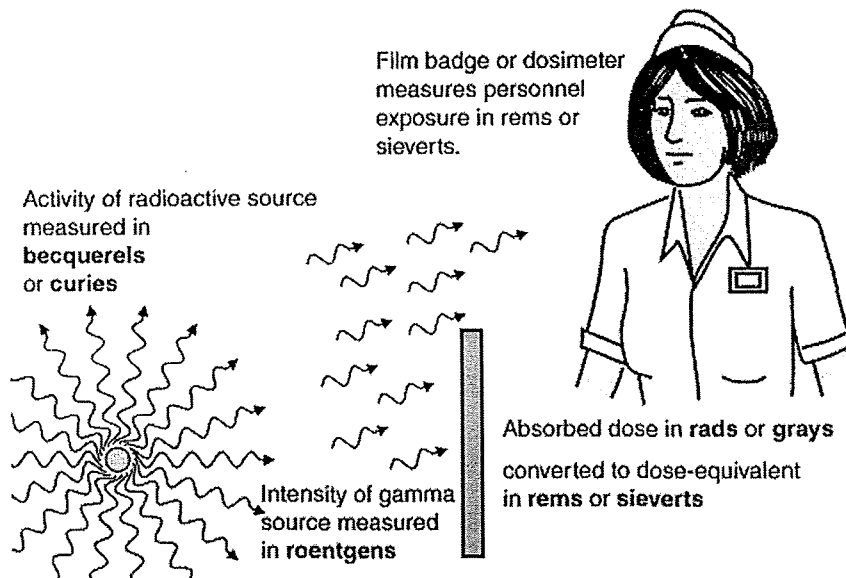
รูปที่ ค-7 ผลการปรับเทียบค่าความเข้มข้นเรดอนจากสารเรเดียมมาตรฐาน

ภาคผนวก ง
ความรู้ทางรังสี และเกณฑ์กำหนดความปลอดภัย

1. Radiation Unit

ตารางที่ ง-1 หน่วยวัดทางรังสี

	Activity of Source	Intensity	Absorbed Dose	Biological Effective Dose
Old unit	Curie (Ci)	Roentgen(R)	Rad	Rem
SI unit	Becquerel (Bq)	Roentgen(R)	Gray	Sievert (Sv)



2. มาตรฐานความปลอดภัยทางรังสี

Activity of radioactive source is measured in Bq or Ci

- 1 becquerel = amount of material which will produce 1 nuclear decay per second.
- 1 curie = amount of material that will produce 3.7×10^{10} nuclear decays per second.
- 1 curie = 3.7×10^{10} becquerels
- 1 pCi = 0.037 Bq

Intensity

The roentgen (R) is a measure of radiation intensity of x-rays or gamma rays.

- 1 roentgen means the radiation intensity required to produce and ionization charge of 0.000258 coulombs per kilogram of air.

The absorbed radiation dose is measured in terms of the energy actually deposited in the tissue.

- The 1 rad is 0.01 joule of deposited energy per kilogram of tissue.
- The gray is 1 joule of deposited energy per kilogram of tissue

To assess the risk of radiation, the absorbed dose is multiplied by the relative biological effectiveness of the radiation (*quality factor*) to get the biological dose equivalent in rems or sieverts.

- Quality factor of alpha ray = 20, beta ray = 1, gamma ray = 1

1. ปริมาณรังสีสูงสุดที่ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรับได้ใน 1 ปี คือ 50 มิลลisievert (50,000 ไมโครซีเวิร์ต) โดยที่เมื่อเฉลี่ย 5 ปีติดต่อกันต้องไม่เกิน 20 มิลลisievert (20,000 ไมโครซีเวิร์ต) ต่อปี อย่างไรก็ตามก็ ตามข้อกำหนดที่สำคัญก็คือ ให้ผู้ปฏิบัติงานป้องกัน และระมัดระวังให้ได้รับรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. สำหรับประชาชนทั่วไปกำหนดให้รับรังสีได้ไม่เกิน 1 มิลลisievert (1,000 ไมโครซีเวิร์ต) ต่อปี

ระดับปริมาณรังสีที่เริ่มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกายมนุษย์ มีค่าสูงกว่า 250 มิลลisievert (250,000 ไมโครซีเวิร์ต) โดยเป็นการได้รับรังสีแบบเฉียบพลันในครั้งเดียว ดังนั้น ถ้าเราได้รับปริมาณรังสีในครั้งเดียวสูงไม่เกิน 250 มิลลisievert (250,000 ไมโครซีเวิร์ต) ก็จะไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรืออันตรายใด ๆ เลย แต่ถ้าได้รับปริมาณรังสีในช่วง 250 – 500 มิลลisievert (250,000 – 500,000 ไมโครซีเวิร์ต) สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบโลหิต แต่จะกลับคืนสู่ปกติได้โดยไม่มีผลเสียในระยะยาวใด ๆ จะเห็นได้ว่ามาตรฐานการควบคุมความปลอดภัยทางรังสีที่กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีรับรังสีได้นั้น มีปริมาณน้อยกว่าระดับที่อาจเป็นอันตรายได้หลายเท่า

2.1 Exposure limits and health risk⁽⁸⁾

The upper limit for radiation dose to the public is an important consideration in regulating NORM. The National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) and the International Conference on Radiation Protection (ICRP) recommend an upper limit on exposure to members of the public from man-made source of 1 mSv (100 mrem) per year which is equal to exposure limit of 50 microR/hr for gamma radiation.

In April 1999, the Conference of Radiation Control Program Directors (CRCPD) re-leased their final report, Part N, "Regulation and Licensing of Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM). Exemption levels for any combination of Ra-226 and Ra-228 are set at 5 pCi/g, on the basis of experience with hazards associated with uranium mill tailings.

The CRCPD Part N report states in Section N.5 that operations, use, or transfer of TENORM should be conducted in a manner such that a member of the public will not receive in excess of an annual total effective dose of 1 mSv/yr from all licensed sources, including TENORM.

ตารางที่ ง-2 Dose limits สำหรับบุคคลที่ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสี และ ประชาชนทั่วไป^[18]

	Nuclear occupational dose	Public dose
Whole body dose	Below 20 mSv/yr, average over 5 years (i.e. 100 mSv / 5 yrs) with no more than 50 mSv in any single year	Below 1 mSv/yr
Eye lens	Below 150 mSv / yr	Below 15 mSv/yr
Skin and extremity	Below 500 mSv/yr	Below 50 mSv/yr

2.2 Radiation concentration:

2.2.1 Radon indoor :

Most of the public's exposure to natural radiation comes from radon which can accumulate in homes, schools, and office buildings. EPA estimates that the national average indoor radon level in homes is about 1.3 pCi/l of air. Levels greater than 2,000 pCi/l of air have been measured in some homes. EPA recommends reducing levels of radon in homes where radon concentrations exceed the EPA radon action level of 4 pCi/L.

ตารางที่ ง-3 Guideline to control Radon concentration in working place and school^[9]

Organization	Radon concentration in working place (Bq/m ³)	Radon concentration in school (Bq/m ³)
EPA and DHHS (1994)		150
Other nations	20-300	20-100
IAEA (1996)	1000	1000
ICRP (1993)	500-1500	500-1500

2.2.1 Drinking water

Final Standards: The regulated radioactive drinking water contaminants are shown in following Table:

ตารางที่ ๓-4 เกณฑ์กำหนดการปนเปื้อนของสารรังสีในน้ำดื่ม^[15]

Contaminant	MCL (year promulgated)	Source	Health Effect
Combined radium-226/-228	5 pCi/L (1976)	Naturally occurs in some drinking water sources.	Some people who drink water containing radium -226 or -228 in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.
(Adjusted) Gross Alpha	15 pCi/L (not including radon or uranium) (1976)	Naturally occurs in some drinking water sources.	Some people who drink water containing alpha emitters in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.
Beta Particle and Photon Radioactivity	4 mrem/year (look-up table) (1976)	May occur due to contamination from facilities using or producing radioactive materials.	Some people who drink water containing beta and photon emitters in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.
Uranium	30 µg/L (2000)	Naturally occurs in some drinking water sources.	Exposure to uranium in drinking water may result in toxic effects to the kidney. Some people who drink water containing alpha emitters in excess of the MCL over many years may have an increased risk of getting cancer.

EPA : source : <http://www.epa.gov/>

2.2.4 Standard of soil cleanup^[14]

- 5 pCi/g Ra if radon emanation rate from the surface exceeds 20 pCi/m²/s
- 30 pCi/g Ra averaged over any 100 m² if radon emanation rate from the surface does not exceed 20 pCi/m²/s
- 150 pCi/g of any NORM radionuclide

This standard was based on the standard for radon established by the National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (contained in 40 CFR 192 and 40 CFR 61), a set of standards promulgated pursuant to the Clean Air Act and its amendments.

3. สุขภาพ ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม

ผู้ปฏิบัติงาน และประชาชนทั่วไปที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงอาจได้รับรังสีจาก NORM ที่ได้จากระบวนการผลิต ดังนี้

- รับประทานน้ำ และ อาหารที่เปราะเปื้อน NORM ทำให้มีเรเดียมสะสมไว้ในกระดูก
- การรับรังสีแกมมาภายนอกร่างกาย และ รังสีบีต้าที่ผิวหนังจากอุปกรณ์ที่เปราะเปื้อน NORM ซึ่งอาจเป็นปัญหาต่อสุขภาพในระยะยาวสำหรับเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงาน
- การหายใจเอาก๊าซเรดอน (Rn) และฝุ่นโพโลเนียม (Po) เข้าไปในระหว่างการ ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจมีผลต่อระบบหายใจได้

ดังนั้น คนงานที่ทำความสะอาดอุปกรณ์ของโรงงานจะเป็นผู้ที่มีความเสี่ยงสูงสุดที่จะได้รับรังสีจาก NORM โดยได้รับจากรังสีแกมมาภายนอกร่างกาย การหายใจเอาฝุ่นเข้าไป และ การสัมผัสกับ slag โดยตรง จะทำให้ผิวหนังได้รับรังสีบีต้าโดยตรง

4. ความเข้มข้นรังสีจำเพาะของสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่พบในวัสดุต่าง ๆ

ความเข้มข้นรังสีจำเพาะของสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่พบอยู่ในวัสดุต่างๆ แสดงในตารางที่ ง-5

ตารางที่ ง-5 Concentrations of Naturally Occurring Radionuclides in Soil, Rocks, Sediments, Groundwater and Surface Water.^[2]

Nuclide	Concentration (Bq kg ⁻¹ , dry weight)			Concentration(Bq/l)	
	Soils	Rocks	Sediments	Groundwater	Surface water
²³⁸ U	2 ^b -9.8 x 10 ³ ^c	0.5-4.2 x 10 ⁶ ^{c, d}	2-1 x 10 ⁴	2.0 x 10 ⁻⁷ -185	< 1.0 x 10 ⁻³ -5.6
²³⁴ U	55-9.7 x 10 ³ ^c	2.9-3.5 x 10 ³ ^c	18	NA	4.5 x 10 ⁻³ - 2.7
²³² Th	1-180	2-280	1-130	NA	0.5 x 10 ⁻²
²³⁰ Th	17-160 ^c	< 11-26 ^c	35	NA	2.6 x 10 ⁻³ - 5.0
²²⁸ Th	3.7-7.4	NA	NA	NA	3.5 x 10 ⁻³ - 1.9 x 10 ⁻²
²²⁸ Ra	5-185	NA	NA	1.5 x 10 ⁻² - 0.21	5 x 10 ⁻⁴
²²⁶ Ra	2.6-200	30-1.7 x 10 ³	3-1.3 x 10 ⁴ ^e	7.4 x 10 ⁻⁵ - 56	< 1.0 x 10 ⁻³ - 3.0
²¹⁰ Pb	8.5-230	NA	20-700	< 4.9 x 10 ⁻⁴ - 51	1.7 x 10 ⁻³ - 0.25
²¹⁰ Po	10-51	NA	NA	0 - 4.8 x 10 ⁻²	5.6 x 10 ⁻⁴ - 2.6 x 10 ⁻³
⁴⁰ K	0-32 x 10 ³	4-40	19-1.6 x 10 ³	1.3 x 10 ⁻² - 0.16	0 - 0.85

^a From Bradley (1993).

^b As collected

^c From an area of know enhanced natural radioactivity.

^d Bulk uraniferous vein material.

^e May include mine waste.

NA = Not available

1 Bq = 27.027 pCi

5. อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ NORM

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ NORM / TENORM มี ดังนี้

1. Geothermal energy production
2. Oil and gas
3. Use and Treatment of water
4. Metal mining
5. Coal and Coal ash
6. Phosphate, Fertilizers
7. Uranium mining

ตารางที่ ง-6 ความเข้มข้นจำเพาะของ NORM ที่พบในวัสดุต่าง ๆ^[8]

Material	Radionuclide Concentrations (Bq/Kg)
Scale in pipes and other equipment for handling oil/gas and formation waters	Background – 15,000,000 (average 1,000 to hundreds of thousand)
Sludge in natural gas supply equipment	Background – 40,000
Sludge from ponds of produced water	10,000 – 40,000
Uranium mining overburden	100 – 20,000 (only Radium reported) (average of – 5,000 total radionuclide concentration)
Coal fired power plant ashes	200 – 25,000 (typically closer to lower value)
Drinking Water Treatment Waste	sludges-600 (only Ra-226 reported) resins-1,300,000 (only Ra-226 reported)
Phosphate fertilizer (biomass energy)	5,000-25,000
Other mineral processing waste (including aluminum, rare earths. etc.)	Background – 400,000 (generally 100 – 5,000)

ตารางที่ ง-7 ความเข้มข้นของ TENORM ที่พบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ^[8]

Industrial Activity	TENORM Form	Concentration
Uranium mining	Overburden	Average ²²⁶ Ra 0.92 Bq/g (25pCi/g)
Phosphate-fertilizer and elemental - Phosphorus production	Ferrophosphorus, Phosphogypsum, Scale, slag	Fertilizer: Feed material with ²³⁸ U at 1.5 kBq/kg, Scales ²²⁶ Ra and /or ²²⁸ Ra at 100 Bq/kg. Phosphoric acid: ²²⁶ Ra at 1 kBq/kg. in gypsum; ²²⁶ Ra at 100 kBq/kg. in precipitate
Coal combustion	Fly ash, Bottom ash	Uranium and thorium at 0.2 - 10 kBq/kg.
Oil and natural – gas production and processing	Scale, Sludge, Contaminated water and production and Processing equipment	²²⁶ Ra typically at 1-100 kBq/kg; Highest reported: ²²⁶ Ra at 4 x 10 ³ kBq /kg
Metal mining and processing	Slag, leachate, scale, and tailings from: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rare earth metals, Special-application metals (zirconium, hafnium, titanium, and tin) ➤ Large-volume metal-processing industries (copper, iron, and so on) 	Monazite sands: ²²⁶ Ra at 0.06 – 6.7 kBq/kg., ²²⁸ Ra at 0.3 - 33 kBq/kg. ²³⁸ U at 3.6 kBq/kg. , ²³² Th at 0.52 Bq/kg. Zircon sands: ²³⁸ U at 125 kBq/kg., ²³² Th at 43 kBq/kg.
Geothermal energy production	Scale, Brine – pond deposits	Average ²²⁶ Ra 4.9 Bq/g (132pCi/g)
Others: Pulp and paper production Metal casting	Scale Zircon sand ceramic shells Contaminated soils	Thoriated lamps and rods; ²³² Th at 500 kBq/kg. Ashes of gas mantles: ²³² Th at 150 q/kg.

ภาคผนวก จ

รายนามสำนักงานประปา เขตจำหน่ายน้ำ แหล่งน้ำดิบ

ตารางที่ จ-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
สำนักงานประปาเขต 1 ชลบุรี		
1	ชลบุรี	อ่างเก็บน้ำบางพระ, อ่างเก็บน้ำหนองค้อ
2	บ้านบึง หนองไผ่แก้ว หนองใหญ่	ลำห้วยสาริกา สระพักน้ำดิบหนองอิฐ สระพักน้ำดิบอ่างแก้ว
3	พนัสนิคม ท่าโพธิ์ บ่อทอง เกาะจันทร์	ลำห้วยสาริกา สระเก็บน้ำดิบสาธารณะ อ.บ่อทอง คลองหลวง
4	พิทยาล มาบประชัน บางละมุง ห้วยซากนอก หนองกลางดง	อ่างเก็บน้ำมาบประชัน อ่างเก็บน้ำหนองค้อ อ่างเก็บน้ำห้วยซากนอก อ่างเก็บน้ำหนองกลางดง
5	ฉะเชิงเทรา สวนสน เทพราช	คลองนครเนื่องเขต คลองประเวศบุรีรมย์
6	บางคล้า บางน้ำเปรี้ยว	คลองวัดแจ้ง แม่น้ำบางปะกง
7	พนมสารคาม เกาะขนุน	คลองท่าลาด
8	บางปะกง	คลองพระองค์เจ้าไชยานุชิต
9	ระยอง บ้านค่าย บึงสำนักใหญ่	คลองชลประทานบ้านค่าย สระเก็บน้ำดิบบึงสำนักใหญ่
10	ปากน้ำ-ประแสร์ เขาดิน เขาระโอก	คลองโพล์ อ่างเก็บน้ำเขาระโอก

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
11	จันทบุรี ปากแซง น้ำพลิว-แหลมสิงห์ สอยดาว	แม่น้ำจันทบุรี คลองอ่างหงษ์ ฝายสอยดาว
12	ขลุง	คลองตรอกนอง
13	ตราด	คลองฉนรงค์
14	คลองใหญ่	อ่างเก็บน้ำเขาวง
15	แหลมฉบัง	อ่างเก็บน้ำหนองค้อ อ.ศรีราชา
16	บ้านฉาง	อ่างเก็บน้ำดอกกราย
17	ศรีราชา	รับน้ำจากสำนักงานประปา ชลบุรี
18	ปราจีนบุรี	แม่น้ำปราจีนบุรี
19	กบินทร์บุรี	คลองพระปรัง
20	สระแก้ว สระแก้ว-สระขวัญ วังน้ำเย็น	คลองพระสะทึง คลองอีจ้อย
21	วัฒนานคร คลองหาด	ห้วยพระปรัง อ่างเก็บน้ำกรมชลประทาน
22	อรัญประเทศ	อ่างเก็บน้ำบ้านด่าน
สำนักงานประปาเขต 2 สระบุรี		
1	สระบุรี หนองแค พระพุทธบาท บ้านหมอ มวกเหล็ก	คลองชลประทานระพีพัฒน์
2	ลพบุรี	คลองชลประทานอนุศาสน นันท์
3	สิงห์บุรี	บ่อบาดาล, แม่น้ำเจ้าพระยา
4	พระนครศรีอยุธยา	แม่น้ำป่าสัก, แม่น้ำเจ้าพระยา
5	นครนายก	อ่างเก็บน้ำห้วยปรือ

ตารางที่ ๑-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ (ต่อ)

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
6	นครราชสีมา ปากช่อง	ลำบริบูรณ์, แม่น้ำมูล ลำตะคอง
7	อ่างทอง	แม่น้ำเจ้าพระยา
สำนักงานประปาเขต 3 ราชบุรี		
1	ราชบุรี บ้านโป่ง ดำเนินสะดวก สวนผึ้ง ปากท่อ	แม่น้ำแม่กลอง, บ่อบาดาล บ่อบาดาล อ่างเก็บน้ำชลประทานบ้านขี้ ป่าหวาย แม่น้ำแม่กลอง, บ่อบาดาล
2	สมุทรสงคราม	บ่อบาดาล
3	สมุทรสาคร อ้อมน้อย สามพราน	บ่อบาดาล บ่อบาดาล บ่อบาดาล
4	สุพรรณบุรี ศรีประจันต์ เดิมบางนางบวช ด่านช้าง สามชุก อู่ทอง	แม่น้ำท่าจีน, บ่อบาดาล แม่น้ำท่าจีน, บ่อบาดาล แม่น้ำท่าจีน อ่างเก็บน้ำห้วยกระเสี้ยว แม่น้ำท่าจีน สระพิกน้ำดิบหนองผักกูด
5	กาญจนบุรี เลาขวัญ ท่ามะกา	แม่น้ำแควใหญ่ สระเก็บน้ำดิบของชลประทาน บ่อบาดาล
6	เพชรบุรี	แม่น้ำเพชรบุรี
7	ประจวบคีรีขันธ์ ปราณบุรี กุยบุรี บางสะพาน	อ่างเก็บน้ำคลองบึง แม่น้ำปราณบุรี ลำน้ำกุยบุรี คลองบางสะพาน
สำนักงานประปาเขต 4 สุราษฎร์ธานี		
1	สุราษฎร์ธานี	คลองพุมดวง
2	กาญจนดิษฐ์	รับน้ำจาก ป.สุราษฎร์ธานี
3	เกาะสมุย	น้ำตกหินลาด, พรุหน้าเหมือง

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
	เกาะพะงัน	คลองเหมืองชัย
4	บ้านนาสาร เวียงสระ	คลองฉวาง แม่น้ำตาปี
5	บ้านตาขุน คีรีรัฐนิคม เชียรวหลาน	คลองพุมดวง อ่างเก็บน้ำ 1 อ่างเก็บน้ำ 2, เขื่อนรัชชประภา
6	ไชยา ท่าฉาง ท่าชนะ	รับน้ำจาก ป.สุราษฎร์ธานี บ่อบาดาล คลองท่ากระจาย
7	ชุมพร ท่าแซะ ปะทิว มาบอำมฤต	คลองท่าตะเภา คลองท่าแซะ อ่างเก็บน้ำวัดนาย ฝ่ายห้วยแกร
8	หลังสวน สวี ปากตะโก ละแม	แม่น้ำหลังสวน คลองวิสัยใต้ สระเก็บน้ำ คลองละแม
9	ระนอง	คลองหาดส้มแป้น, คลองบาง วัน, ชุมเหมืองฮกหลวง
10	พังงา ทับปุด	น้ำตกปากโดน, ชุมเหมืองคลอง มะรุ่ย,
11	ตะกั่วป่า	น้ำตกบางอี, ชุมเหมืองโคกเคียน
12	ท้ายเหมือง	ชุมเหมือง
13	ภูเก็ต	อ่างเก็บน้ำบางวาด, ชุมเหมือง สรรพ-สามิต
14	กระบี่ หนองทะเล เหนือคลอง เขาพนม คลองท่อม	คลองกระบี่ใหญ่ อ่างเก็บน้ำหนองทะเล คลองปกาสัย คลองแห่งห้วยเนียง อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำเขียว
15	อ่าวลึก ปลายพระยา	คลองอ่าวลึกเหนือ คลองบางหลน

ตารางที่ ๑-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ (ต่อ)

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
16	ทุ่งสง	คลองท่าแพ
17	ชะอวด	คลองชะอวด
	ป่าพะยอม	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำใส
18	ปากพนัง	แม่น้ำปากพนัง
	เชียรใหญ่	คลองชลประทาน
19	จันดี	คลองจันดี
	ท่ายาง	คลองสังข์
20	ขนอม	คลองบางคู
	ลิซล	บ่อบาดาล
21	นครศรีธรรมราช	คลองเสาชัง
	ร่อนพิบูลย์-เขาชุมทอง	น้ำตกแม่ศรีบุรี
	กลาย-สระแก้ว	น้ำตกสุนันทา
	ท่าศาลา	บ่อบาดาล
สำนักงานประปาเขต 5 สงขลา		
1	สงขลา	รับน้ำจาก ป.หาดใหญ่
2	หาดใหญ่	คลองอู่ตะเภา
3	สะเดา	คลองน้ำลาด
	พงลา	คลองอู่ตะเภา
4	นาทวี	คลองนาทวี
	จะนะ	คลองจะนะ
5	ระโนด	บ่อบาดาล
6	พัทลุง	คลองนาท่อม
	พนาตุง-ทะเลน้อย	ทะเลน้อย
7	เขาชัยสน	คลองอ้ายโต
8	ตรัง	แม่น้ำตรัง
	สิเกา-ปากเมง	คลองละ
9	ห้วยยอด	แม่น้ำตรัง, อ่างเก็บน้ำท่าจิว
	นาง	แม่น้ำตรัง
	ลำภูรา-คลองเต็ง	คลองลำภูรา
	คลองปาง	คลองปาง
10	ย่านตาขาว	คลองลำพิกุล

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
	ปะเหลียน	คลองลิพัง
	แหลมสอม-บางด้วน	คลองปะเหลียน
11	สตูล	คลองชลประทานดุสน
	วังประจัน	บึงวังประจัน
12	ละงู	คลองละงู
	ทุ่งหว้า	คลองหนุ่ยาระ
13	ยะหา	คลองตาชี
	รามัน	แม่น้ำสายบุรี
	บันนังสตา	แม่น้ำปัตตานี
14	เบตง	คลองเบตง
15	สายบุรี	แม่น้ำสายบุรี
16	นราธิวาส	คลองยะกัง
	ตันหยงมัส	คลองตันหยงมัส
17	รือเสาะ	แม่น้ำสายบุรี
	ศรีสาคร	แม่น้ำสายบุรี
18	สุโงโก-ลก	แม่น้ำโก-ลก
	สุคีริน	แม่น้ำสายบุรี
	ตากใบ	คลองชลประทานมูโน๊ะ
สำนักงานประปาเขต 6 ขอนแก่น		
1	ขอนแก่น	ลำน้ำพอง
2	บ้านไผ่	อ่างเก็บน้ำแก่งละว้า
	บ้านดั้น	ลำน้ำชี
3	ชุมแพ	ลำน้ำเชิญ
	บคอนสาร	ลำน้ำเชิญ
	สีชมพู	ลำน้ำพอง
4	น้ำพอง	ลำน้ำพอง
	อุบลรัตน์	เขื่อนอุบลรัตน์
	บ้านดง	ลำน้ำพอง
5	ชนบท	ลำน้ำชี
	มัญจาคีรี	บึงกุดเค้า
	แวงใหญ่	รับน้ำจาก ป.ชนบท

ตารางที่ ๑-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ (ต่อ)

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
	โคกโพธิ์ไชย	อ่างเก็บน้ำกุดนาแซง
6	กระนวน หนองกุงศรี คำใหญ่	อ่างเก็บน้ำหนองใหญ่ อ่างเก็บน้ำหนองไม้ตาย อ่างเก็บน้ำหนองใหญ่
7	หนองเรือ ดอนโมง บ้านฝาง ภูเวียง หนองแก	ลำน้ำเชิญ ลำน้ำเชิญ บึงสว่าง อ่างเก็บน้ำโสภณมปูน ป้อบาดาล
8	เมืองพล โรงกรองน้ำสำนักงาน โรงกรอง บ.ทุ่งน้อย หนองสองห้อง	อ่างเก็บน้ำละเลิงหวาย ลำน้ำชี อ่างเก็บน้ำหนองสองห้อง
9	กาฬสินธุ์ ยางตลาด กมลาไสย	ห้วยสีทัน สระหนองหมาจอก ลำน้ำปาว
10	ภูจินารายณ์ เขาวง	อ่างเก็บน้ำห้วยจุมจัง อ่างเก็บน้ำสายนาเวียง
11	สมเด็จพระ สหัสขันธ์ นามน	อ่างเก็บน้ำห้วยสะทต เขื่อนลำปาว ลำห้วยโปร่งไผ่
12	มหาสารคาม บรบือ กันทรวิชัย โกสุมพิสัย	ลำน้ำชี อ่างเก็บน้ำห้วยเชียงคำ อ่างเก็บหนองบัว ลำน้ำชี
13	พยัคฆภูมิพิสัย วาปีปทุม	บึงสระบัว บึงจอกขวาง
14	ชัยภูมิ นิเวศรัตน์ บ้านค่าย บ้านเล่า บ้านเขว้า	ลำปะทาว ลำปะทาว ลำน้ำชี ลำปะทาว ลำน้ำชี

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
	หนองนาแซง บ้านช่อระกา บ้านโนนแดง	ลำชีลอง ลำห้วยช่อระกา อ่างเก็บน้ำป่าซ่าน
15	แก้งคร้อ คอนสวรรค์ นาหนองทุ่ม	ลำห้วยอีต่าน ลำน้ำกล้า อ่างโปร่งข้างน้อย
16	จัตุรัส บ้านโนนจาน หนองบัวโคก บ้านเพชร บ้านเหน็จนรงค์ หนองบัวระเหว หนองบัวบาน ดัมปอຍ เทพสถิต	ลำน้ำชี ลำน้ำชี อ่างเก็บน้ำหนองบัวโคก อ่างเก็บน้ำบ้านเพชร บึงบ้านชวน บึงระเหว ลำน้ำชี ลำน้ำชี อ่างเก็บน้ำวังคก
17	หนองบัวแดง	ลำห้วยลาด
18	ภูเขียว บ้านแท่น บ้านเป่า	อ่างเก็บน้ำหนองผักปัง สระพักน้ำดิบวัดป่าวิเชียร ลำน้ำพรม
19	ร้อยเอ็ด	แม่น้ำชี
20	สุวรรณภูมิ เกษตรวิสัย พรมไพร ปทุมรัตน์	ลำห้วยเสียวใหญ่ ลำห้วยเสียวใหญ่ แม่น้ำชี อ่างเก็บน้ำห้วยจานใต้
21	โพนทอง เสลภูมิ ร่องคำ	บึงโพนทอง ลำน้ำชี ลำน้ำปาว
สำนักงานประปาเขต 7 อุดรธานี		
1	อุดรธานี	หนองประจักษ์
2	เลย	อ่างเก็บน้ำห้วยหนองหมาน ตอนบน
3	วังสะพุง	แม่น้ำเลย

ตารางที่ ๑-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ (ต่อ)

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยงาน บริการ	แหล่งน้ำดิบ
4	หนองคาย	แม่น้ำโขง
5	สกลนคร	หนองหาร, ห้วยแดง
สำนักงานประปาเขต 8 อุบลราชธานี		
1	อุบลราชธานี	ลำมูลน้อย
2	พิบูลมังสาหาร บุญศรี โขงเจียม ช่องเม็ก	แม่น้ำมูล ลำโดมน้อย แม่น้ำโขง เขื่อนสิรินธร
3	อำนาจเจริญ บ้านอำนาจ ตระการพืชผล น้ำปลีก ป่าดัว พนา	อ่างเก็บน้ำพุทธอุทยาน ลำเซบก อ่างเก็บน้ำห้วยเซ้ บ่อบาดาล, รับน้ำจากป่าดัว ลำเซบาย หนองน้ำท่ามันปลา
4	เดชอุดม น้ำยืน นาจะหลวย นาเยีย	ลำโดมใหญ่ ลำห้วยบอน อ่างเก็บน้ำห้วยโลก ลำโดมใหญ่
5	เขมรรัฐ ชานุมาน ปทุมราชวงศา	แม่น้ำโขง แม่น้ำโขง อ่างเก็บน้ำห้วยหินกอง
6	ศรีสะเกษ กันทรารมย์ อุทุมพรพิสัย ห้วยทับทัน ทุ่งชัย	แม่น้ำมูล, ห้วยสำราญ แม่น้ำมูล อ่างเก็บน้ำบ้านกำแพง ห้วยทับทัน ห้วยสำราญ
7	กันทรลักษ์ ขุนหาญ ภูสิงห์ ซุขันธ์	ลำห้วยชะยุง อ่างเก็บน้ำหนองสิ ห้วยตึกชู ห้วยเหนือ, รับน้ำจากภูสิงห์
8	สุรินทร์	อ่างเก็บน้ำห้วยเสนง

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
	บัวเชด กาบเชิง ลำดวน จอมพระ สังขะ	อ่างเก็บน้ำห้วยท่าหนบ อ่างเก็บน้ำห้วยตาเกาว์ ห้วยกำโพก ห้วยสวาย, สระน้ำหนองคู หนองขวาว, หนองตาเสก
9	ศีขรภูมิ	อ่างเก็บน้ำห้วยลำพอก
10	รัตนบุรี-สนม ท่าตูม	อ่างเก็บน้ำห้วยแก้ว แม่น้ำมูล, หนองสิม
11	บุรีรัมย์ กระสัง คูเมือง	อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก อ่างเก็บน้ำห้วยสวาย อ่างเก็บน้ำห้วยคูขาด
12	ลำปลายมาศ	ห้วยลำมาศ
13	นางรอง หนองกี่	ห้วยลำมาศ อ่างเก็บน้ำทุ่งกระเด็น
14	ยโสธร หนองคู	ลำน้ำชี บ่อบาดาล
15	เลิงนกทา กุดชุม	ลำเซบาย ห้วยลำโพรง
16	มหาชนะชัย	ลำน้ำชี
17	ละหานทราย โนนดินแดง ปะคำ บ้านกรวด	อ่างเก็บน้ำหนองละหานทราย อ่างเก็บน้ำคลองมะนาว ห้วยลำมาศ อ่างเก็บน้ำบึงสระบัว
18	สตึก พุทไธสง	แม่น้ำมูล อ่างเก็บน้ำบึงสระบัว
19	มุกดาหาร หว้านใหญ่ ดอนตาล ดงหลวง คำชะอี นิคมคำสร้อย	แม่น้ำโขง แม่น้ำโขง แม่น้ำโขง อ่างเก็บน้ำห้วยชะโนด อ่างเก็บน้ำห้วยมุก อ่างเก็บน้ำห้วยชีเหล็ก

ตารางที่ ๑-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ (ต่อ)

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
สำนักงานประปาเขต 9 เชียงใหม่		
1	เชียงใหม่	คลองชลประทานแม่แตง, แม่น้ำปิง
2	ฮอด	แม่น้ำแม่แจ่ม
3	สันกำแพง	บ่อบาดาล
4	แม่แตง เชียงใหม่ เมืองแกฯ	แม่น้ำปิง แม่น้ำปิง คลองชลประทาน
5	แมริม	น้ำตกแม่สา, คลองชลประทาน
6	ฝาง แม่ฮาด ไชยปราการ	ลำน้ำแม่มาว ลำห้วยแม่ฮาด อ่างเก็บน้ำควายตก
7	จอมทอง แม่แจ่ม	แม่น้ำปิง แม่น้ำแม่แจ่ม
8	น่าน กลางเวียง น่าน้อย	แม่น้ำน่าน แม่น้ำน่าน อ่างเก็บน้ำชลประทานแหง
9	ท่าวังผา บัว เชียงใหม่กลาง	แม่น้ำน่าน ลำห้วยคว้าง แม่น้ำน่าน
10	พะเยา ดอนไชย	กว๊านพะเยา แม่น้ำาง
11	จุน ปง เชียงคำ	แม่น้ำจุน แม่น้ำจิม แม่น้ำแม่ลาว
12	แม่ฮ่องสอน ปางมะผ้า	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ฮ่องสอน ลำน้ำปาง
13	แม่สะเรียง แม่ลาน้อย	แม่น้ำยวม แม่น้ำยวม
14	ลำพูน ทาสบเส้า ป่าซาง	บ่อบาดาล อ.ทาสบเส้า บ่อบาดาล

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยบริการ	แหล่งน้ำดิบ
15	บ้านโฮ้ง	แม่น้ำลี้
16	ลำปาง แจ้ห่ม แม่เกาะ เมืองปาน	คลองชลประทาน แม่น้ำวัง อ่างเก็บน้ำห้วยคิงตอนบน แม่น้ำปาน
17	เกาะคา	แม่น้ำวัง
18	เถิน สบปราบ แม่พริก	แม่น้ำวัง แม่น้ำวัง แม่น้ำวัง
19	แพร่	บ่อบาดาล
20	เด่นชัย สูงเม่น	แม่น้ำยม บ่อบาดาล
21	ร้องกวาง สอง	ห้วยแม่คำมี แม่น้ำยม
22	เชียงใหม่	แม่น้ำกก
23	พาน แม่ใจ	คลองชลประทานแม่ลาว อ่างเก็บน้ำหนองเล็งทราย
24	เทิง พญาเม็งราย	แม่น้ำลาว แม่น้ำตีก
25	เวียงเชียงของ	แม่น้ำแม่โขง
26	แม่สาย แม่จัน เชียงแสน ห้วยไคร้	แม่น้ำแม่สาย แม่น้ำแม่จัน บ่อบาดาล อ่างเก็บน้ำ
27	แม่ชะจาน วังเหนือ	ลำน้ำแม่เจดีย์ แม่น้ำวัง
สำนักงานประปาเขต 10 นครสวรรค์		
1	นครสวรรค์	แม่น้ำปิง, แม่น้ำเจ้าพระยา
2	ท่าตะโก	สระพักน้ำดิบ
3	ลาดยาว	สระพักน้ำดิบบึงหล่ม
4	พยุหะคีรี	แม่น้ำเจ้าพระยา
5	อุทัยธานี	บ่อบาดาล

ตารางที่ ๑-1 รายนามสำนักงานประปา และ แหล่งน้ำดิบ (ต่อ)

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยงานบริการ	แหล่งน้ำดิบ
6	ชัยนาท	แม่น้ำเจ้าพระยา, แม่น้ำท่าจีน
7	กำแพงเพชร	แม่น้ำปิง, บ่อบาดาล
8	ชาณุวรลักษบุรี	แม่น้ำปิง
9	พิจิตร	แม่น้ำน่าน
10	บางมูลนาก	แม่น้ำน่าน, บ่อบาดาล
11	ตะพานหิน	แม่น้ำน่าน
12	เพชรบูรณ์	อ่างเก็บน้ำห้วยป่าแดง
13	หล่มสัก	อ่างเก็บน้ำห้วยขอนแก่น
14	ชนแดน	สระพักน้ำดิบห้วยหินฝน
15	หนองไผ่	แม่น้ำป่าสัก
16	วิเชียรบุรี	สระพักน้ำดิบ, แม่น้ำป่าสัก

ลำดับที่	สำนักงานประปา/ หน่วยงานบริการ	แหล่งน้ำดิบ
17	พิษณุโลก	บ่อบาดาล
18	นครไทย	แม่น้ำแควน้อย
19	ตาก	แม่น้ำปิง
20	แม่สอด	แม่น้ำเมย
21	สุโขทัย	แม่น้ำยม
22	ศรีสำโรง	บ่อบาดาล
23	สวรรคโลก	แม่น้ำยม
24	ทุ่งเสลี่ยม	ห้วยแม่มีอก
25	ศรีสัชชนาลัย	แม่น้ำยม
26	อุตรดิตถ์	แม่น้ำน่าน

ตารางที่ ๑-2 ปริมาณความเข้มข้นรังสีของ Ra-226 ในแหล่งน้ำต่างๆในประเทศไทย^[17]

แหล่งน้ำ/จังหวัด	ปริมาณ Ra-226 (pCi/L)
แม่น้ำเจ้าพระยา จ.กรุงเทพมหานคร	
- สะพานพุทธยอดฟ้า	0.32
- สะพานกรุงเทพ	0.15
แม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	0.23
อ.สามพราน จ.นครปฐม	0.67
อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี	0.23
อ.หันคา จ.ชัยนาท	0.18
แม่น้ำน่าน จ.นครสวรรค์	0.13
แม่น้ำป่าสัก จ.อยุธยา	0.10
อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี	0.21
อ.เสาไห้ จ.สระบุรี	0.17
อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์	0.30
อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม	0.58

หมายเหตุ วิเคราะห์โดยเรดิโอเคมี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ภาคผนวก จ

บันทึกข้อความจากหน่วยงานที่ทางโครงการขอความร่วมมือ

ที่ กฟผ. 33200-MF02/023



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สำนักงานมหาวิทยาลัย
ว.ด.ป./ร. /ค. /ร.เวลา /ค. /ร.
ที่ 3/57

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เชียงใหม่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
52220

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี
วันที่ 20 เม.ย. 47 เวลา 15.00 น.
รับที่ 399

8 เมษายน 2547

หน่วยสารบรรณ
วันที่ 19 เม.ย. 47 เวลา 10.00 น.
รับที่ 1202

เรื่อง การอนุเคราะห์ในการดำเนินการสำรวจ เก็บตัวอย่างและสนับสนุนทุนในโครงการวิจัยร่วม
ภาคีรัฐกับเอกชน ฝ่ายวิจัย

เรียน อธิการบดี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์
รับวันที่ 20 เม.ย. 2547 เวลา 9.15 น.
เลขที่ 8442509

อ้างถึง หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ ศธ 0512/7481 ลงวันที่ 29 ธันวาคม 2546

ตามที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอเข้าดำเนินการสำรวจ และจัดเก็บตัวอย่างในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ รวมทั้งขอทุนสนับสนุนงานวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม ตามโครงการวิจัยเรื่อง "การศึกษาปริมาณธาตุกำมะถันในดินตามธรรมชาติบริเวณรอบโรงไฟฟ้าลิกไนต์ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม" จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) นั้น

กฟผ. ใคร่ขอกฎที่ไม่อาจให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนโครงการวิจัยดังกล่าวได้ในโอกาสต่อไปหาก กฟผ. พร้อมให้การสนับสนุนจะได้แจ้งให้ทางมหาวิทยาลัยทราบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

เสนอ ดร. วิจิตร (ดร.วิจิตร) วัชร
 เพื่อทราบ
 เพื่อพิจารณา
20 เม.ย. 47
ว.ค. 1
อ.ว. 126 64

(Signature)

(นายแพทย์ พงศ์พิโรตม)

ผู้ช่วยผู้อำนวยการปฏิบัติการเพื่อเพลิงแข็ง

ทำการแทน ผู้อำนวยการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เชียงใหม่
โทร. 0-5425-4000
โทรสาร 0-5425-4185

เรียน รองอธิการบดีฝ่ายวิจัย
- อ.วิจิตร วัชร
- แจ้งให้ท่านที่ทำการวิจัยทราบ

วันที่ 19 เม.ย. 47
(Signature)

20 เม.ย. 47

(Signature)
21 เม.ย. 47



สพว.
รับที่ 3491
28 S.A. 2547
16-30 น.

การประสานงานภูมิภาค
บันทึกเสนอหนังสือภายนอก

3058

<p>กองสุรการ รับวันที่ 28 ธันวาคม 2547</p> <p>เรียน ผู้อำนวยการสำนักผู้ว่ากร</p> <p><i>[Signature]</i> (นางคารวรุ้ง ปิติบุญญา) ผู้อำนวยการกองสุรการ</p>	<p>จากหน่วยงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p> <p>ที่วค.นท 253/2547 ลงวันที่ 22 ธ.ค. 2547</p> <p>เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บตัวอย่างน้ำประปาและ กากตะกอนสำนักงานประปาเขตต่าง ๆ</p>
<p>เรียน ...พวท.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> เพื่อโปรดทราบ <input type="radio"/> เพื่อโปรดอนุมัติ <input type="radio"/> เพื่อโปรดอนุญาต <input type="radio"/> เพื่อโปรดพิจารณา <input checked="" type="radio"/> เพื่อโปรดสั่งการ <input type="radio"/> เพื่อโปรดให้ความเห็นชอบ <input checked="" type="radio"/> ดูหาสถานที่ผลิตน้ำดื่ม <p>ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำลังดำเนินการสำรวจพื้นที่บริเวณท่าอากาศยาน ที่มีแหล่งน้ำดื่มสะอาดและเหมาะสมที่จะตั้ง ถังเก็บน้ำประปา รวมทั้งภาคเอกชนที่ได้ออก กระบวนการผลิต ณ สำนักงานประปาต่าง ๆ ในพื้นที่ ตามต้นฉบับส่ง รวท. 1, 2, 3, 4 และ 5 จึงขอ ความอนุเคราะห์ขอให้นำไปทำหนังสือ ชี้แจงตามส.ตท. ให้แก่สำนักงาน</p>	<p>(ตล) บันทึกสั่งการ</p> <p>เห็นสมควร รวท. 1, 2, 3, 4 และ 5</p> <p><i>[Signature]</i> 30/12/47</p> <p>(นางสาวอรพิน อธิวัฒน์) ผู้อำนวยการสำนักผู้ว่ากร</p> <p>170 น สอ. 1, 2, 3 และ 5</p> <p>เพื่อโปรดพิจารณา</p> <p><i>[Signature]</i> 30/12/47</p> <p>(นายประเสริฐ เชื้อพานิช) ผู้ว่าการ</p>