

รายงานการวิจัย

การสำรวจแหล่งแร่ยูเรเนียมบริเวณดอยแปปอมัก
บ้านดอยเต่า อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่

Uranium Exploration in the Vicinity of Doi Pae Po Mak,
Ban Doi Tao, Amphoe Doi Tao, Changwat Chiang Mai

โดย

กิตติชัย

วัฒนานิก

พงษ์พอ

อาสนจินดา

ประโยชน์

อุณจะนำ

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

เสนอต่อ

All rights reserved

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เมษายน 2534

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ทุนศึกษาวิจัยครั้งนี้ ตลอดจน
จนให้ยืมเครื่องมือ Urtec UG-140 แกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และ
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์การ
วิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ใช้
เครื่อง X-ray diffractometer และขอขอบคุณนายใจ สุ่มคำ ผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 4 ตำบลดอย
เต่า อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเข้าพื้นที่
ศึกษาตลอดระยะเวลาการสำรวจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทคัดย่อ

การสำรวจยูเรเนียมในชั้นรายละเอียดได้ถูกกำหนดขึ้นสองบริเวณ หลังจากได้สำรวจเบื้องต้นในพื้นที่เหล่านี้ไปแล้ว เมื่อปี พ.ศ. 2531 พื้นที่ทั้งสองอยู่ใกล้กับยอดดอยแปบอมก อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ สภาพธรณีวิทยาในพื้นที่ประกอบด้วยหินมีสโคไวต์-ไบโอไทต์ แกรนิตชนิดเนื้อผลึกสองขนาดยุคไทรแอสซิก ลักษณะโครงสร้างที่สำคัญคือรอยเลื่อนและรอยแตก ซึ่งมีทิศทางโดยทั่วไปในแนว NE-SW และ EW โดยมีมุมเทเกือตังฉาก รอยเลื่อนและรอยแตกเหล่านี้ส่วนใหญ่มีควออร์ตซ์เข้าไปตกผลึกแทรกอยู่ การนำผลการวัดรังสีแกมมา (โดยสเปกโตรมิเตอร์) และผลการวัดเรดอน (โดยฟิล์มที่ไวต่อรังสีอัลฟาและโดยเครื่องมือวัดเรดอน) ในพื้นที่ทั้งสองมาพิจารณาร่วมกัน พบว่ามีบริเวณเล็ก ๆ ที่น่าสนใจอยู่สองบริเวณ บริเวณแรกครอบคลุมสถานี M208 และสถานี L206 ในขณะที่บริเวณที่สองอยู่ที่สถานี J306 การชดเชงที่สถานี M208 ทำให้พบเรยูเรเนียม ซึ่งต่อมาทราบว่าคือเทอร์เบอร์ไนต์ และเมตาเทอร์เบอร์ไนต์ แร่เหล่านี้แทรกเข้าไปในรอยแตกของสายควออร์ตซ์เล็ก ๆ และประกระจายในผนังหินแกรนิตที่เปลี่ยนสภาพ อย่างไรก็ตามปริมาณทั้งหมดของมวลสินแร่ยูเรเนียมมีเพียงเล็กน้อย โดยมีขนาดเพียงประมาณ 1.5 ลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นเฉลี่ยของยูเรเนียมเป็น -1.15 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นสูงสุดเกิดในบริเวณความลึก 10-30 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นที่คาดกันว่าแร่เหล่านี้เกิดจากกระบวนการน้ำร้อนเนื่องจากค่าเรดอนที่วัดได้ที่สถานี M208 และบริเวณใกล้เคียงในเวลาต่อมา ยังคงแสดงแนวทิศทางที่สอดคล้องกับสายควออร์ตซ์ที่มีเรยูเรเนียมแทรกอยู่แม้ว่าสายควออร์ตซ์นั้นจะถูกชุดออกไปจากร่องเกือบหมดแล้วก็ตาม ยิ่งกว่านั้นการวัดเรดอนที่สถานี L206 ซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงยังแสดงค่าผิดปกติที่ชัดเจนแม้ว่าจะไม่มีค่าผิดปกติจากการวัดรังสีแกมมา จากหลักฐานดังกล่าวข้างต้นอาจหมายถึงว่าพื้นที่บริเวณสถานี M208 และ L206 ยังเป็นบริเวณที่น่าสนใจที่น่าจะศึกษาเพิ่มเติม โดยเฉพาะในระดับลึก (10-20 เมตรหรือมากกว่า) ซึ่งจะได้ทำได้โดยการเจาะ สำหรับสถานี J306 อาจเป็นได้ในสองลักษณะ หากเรยูเรเนียมฝังอยู่ในระดับตื้น (ประมาณ 1 เมตรจากผิวดิน) มวลสินแร่คงมีขนาดเล็ก หรือมีความเข้มข้นต่ำ ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจแต่อย่างใดอย่างไรก็ตามหากแร่ดังกล่าวฝังในระดับลึก (10-20 เมตรหรือมากกว่า) มวลสินแร่อาจใหญ่ขึ้นหรือมีความเข้มข้นสูงขึ้น การตรวจสอบให้แน่ชัดในเรื่องนี้อาจทำได้โดยการเจาะ

Abstract

Detailed uranium exploration in two areas close to Doi Pae Po Mak, Amphoe Doi Tao, Changwat Chiang Mai are carried out following an initial survey carried out earlier in 1988. These two areas are underlain by the Triassic muscovite-biotite granite porphyry. Major structural features in these areas are faults and fractures which trend generally in NE-SW and EW directions and dip nearly vertical. Most faults and fractures are filled with quartz. A combination of gamma-ray measurements (using a spectrometer) and radon measurements (using alpha-sensitive films as well as a radon meter) in these two areas shows two smaller areas of interest. The first one is around station M208 and station L206 while the other locates at station J306. Trenching at station M208 reveals uranium minerals which are identified as torbernite and metatorbernite. These minerals fill in cracks of a small quartz vein as well as disseminate in its altered granitic wall rock. However the overall amount of uranium ore body is small, having the size of only about 1.5 m^2 the average concentration of uranium is 1.15 percents. The maximum concentration occurs in between 10-30 cm below ground level. It is expected that these minerals derive from hydrothermal process. Since radon values measured at and around station M208 at later stage still show some trends relevant to the mineralized quartz vein eventhough most of the vein has been removed from the trench. In addition radon measurement at

station L206, which is nearby, also shows anomalous radon value eventhough there is no anomaly from gamma ray measurement. These evidents may suggest that the area around station M208 and L206 is still interesting and needs further study, especially at depth (10-20 meters or more) which can be done by drilling. For station J306 there may be two possibilities. If uranium minerals exist at shallow depth (about 1 meter) the ore body must be small or low grade, having no economic value. However if these minerals are burried at greater depth (10-20 meters or more) the ore body may be bigger or higher grade. Again this may be ascertained by drilling.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

สารบัญ

	หน้า
คำขอบคุณ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
รายการตารางประกอบ	ช
รายการภาพประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 ตำแหน่ง ที่ตั้ง และสภาพภูมิประเทศของพื้นที่สำรวจ	7
บทที่ 2 ธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจ	
2.1 ลักษณะหิน	11
2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	
2.2.1 รอยเลื่อน	16
2.2.2 รอยแตก	17
2.2.3 รอยแยก	17
2.3 สายควอร์ตซ์	22
บทที่ 3 การวัดรังสีแกมมา	
3.1 หลักการพื้นฐาน	24
3.2 อุปกรณ์และการเก็บข้อมูล	26
3.3 ผลการวัดรังสีแกมมาและการแปลความหมาย	29

บทที่ 4	การวัดเรดอนใต้ผิวดิน	
4.1	หลักการพื้นฐาน	42
4.2	วิธีการวัดเรดอนใต้ผิวดิน	44
4.3	การวัดเรดอนโดยอาศัยฟิล์มไวต่อรังสีอัลฟา	
4.3.1	อุปกรณ์การติดตั้งและการเก็บข้อมูล	45
4.3.2	การกักขยายรอยและการนับรอยอนุภาค อัลฟาในแผ่นเซลลูโลสในเตา	47
4.3.3	ผลการนับรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นเซลลูโลส ในเตาและการแปลความหมาย	48
4.4	การวัดเรดอนโดยอาศัยหัววัดรังสีอัลฟาแบบชอตกีแบเรียร์	
4.4.1	อุปกรณ์และการเก็บข้อมูล	54
4.4.2	ผลการวัดเรดอนและการแปลความหมาย	55
บทที่ 5	กระบวนการเกิดแร่ยูเรเนียมและศักยภาพของแหล่งแร่	
5.1	กระบวนการเกิดแร่ยูเรเนียม	59
5.2	วิทยาแร่	
5.2.1	ผลทาง scanning electron microscope (SEM)	61
5.2.2	ผลทาง X-ray diffraction (XRD)	64
5.3	ศักยภาพของแหล่งแร่	67
บทที่ 6	สรุปผลการสำรวจแร่ยูเรเนียม	
6.1	สรุปผลด้านธรณีวิทยา	69
6.2	สรุปผลการวัดรังสีแกมมาและการวัดเรดอน	70
6.3	สรุปผลด้านกระบวนการเกิดแร่และศักยภาพแหล่งแร่	71

เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวกที่ 1 ผลการวัดรังสีแกมมาโดยสเปกโตรมิเตอร์ ณ สถานีสำรวจในบริเวณแรก (ติดกับยอดดอยแปเป้อมัก) ในวันที่ 5-6 มกราคม 2534	77
ภาคผนวกที่ 2 ผลการวัดรังสีแกมมาโดยสเปกโตรมิเตอร์ ณ สถานีสำรวจ ในบริเวณที่สอง (ห่างจากยอดดอยแปเป้อมักมาทางตะวันตก ประมาณ 1 กิโลเมตร) ในวันที่ 19-20 มกราคม 2534	92
ภาคผนวกที่ 3 จำนวนความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นฟิล์มเซลลูโลส ไนเตรทที่ติดไว้ ณ สถานีสำรวจในบริเวณแรก (ติดกับยอด ดอยแปเป้อมัก) ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2533 ถึง วันที่ 10 มีนาคม 2533	103
ภาคผนวกที่ 4 จำนวนความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นฟิล์มเซลลูโลส ไนเตรทที่ติดไว้ ณ สถานีสำรวจในบริเวณที่สอง (ห่างจาก ยอดดอยแปเป้อมักมาทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร) ระหว่างวันที่ 12-26 พฤษภาคม 2533	107
คณะผู้วิจัย	110

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าแบริมาตรและเทรสโวลต์ของรังสีแกมมาจาก TC, K, U และ Th ในบริเวณแรกติดกับยอดดอยแปเป้อมัก	29
3.2	ค่าแบริมาตรและเทรสโวลต์ของรังสีแกมมาจาก TC, K, U และ Th ในบริเวณที่สองห่างจากยอดดอยแปเป้อมักมาทางตะวันตกราว 1 กิโลเมตร	30
5.1	ข้อมูลทาง X-ray diffraction ของเมตาเทอร์เบอร์ไนต์	66
5.2	ข้อมูลทาง X-ray diffraction ของเทอร์เบอร์ไนต์	67

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	เส้นทางเข้าสู่พื้นที่สำรวจบริเวณบ้านดอยเต่า หมู่ที่ 4 หรือ บ้านฉิมพลี อ.ดอยเต่า จ.เชียงใหม่	3
1.2	แผนที่คอนทัวร์แสดงบริเวณที่มีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟา สูงผิดปกติ 9 บริเวณ ซึ่ง 2 บริเวณ ครอบคลุมสถานี P18 และ สถานี B20 (ตามที่ตีกรอบ) ถูกเลือกเพื่อศึกษาชั้นรายละเอียด ในการสำรวจครั้งนี้	4
1.3	สภาพของพื้นที่ที่พบสายควอรตซ์ซึ่งมีแร่เทอร์เบอรีนแทรกตาม รอยแตกและฉาบตามผิว (ก) และลักษณะของสายควอรตซ์ ดังกล่าวโผล่ให้เห็นบนผิวดิน (ข)	5
1.4	ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจและบริเวณ ใกล้เคียง (ช่วงห่างของเส้นระดับชั้นความสูงเท่ากับ 20 เมตร)	8
1.5	สภาพภูมิประเทศของพื้นที่สำรวจแสดงเหมืองลึงค์กิ้ง (1) และ ยอดดอยแปปอมัก (2) ถ่ายจากสันเขื่อนอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ตูป	9
2.1	ลักษณะธรณีวิทยาในพื้นที่ดอยแปปอมัก และพื้นที่ข้างเคียง (จากคณิต ประสิทธิ์การกุล, 2524)	12
2.2	ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณแรกติดกับ ยอดดอยแปปอมัก ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ 400x500 ตารางเมตรรอบสถานี P18 ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (พื้นที่ทั้งหมดเป็นหินแกรนิต)	13

- 2.3 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณที่สอง
ซึ่งอยู่ห่างจากยอดดอยแปปอมักไปทางตะวันตกประมาณ 1
กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 300x350 ตารางเมตร รอบสถานี B20
ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (พื้นที่ทั้งหมดเป็นหินแกรนิต) 14
- 2.4 แสดงลักษณะเนื้อหินแบบผลึกสองขนาดของหินมีสโคไรต์-ไบโอไทต์
แกรนิตบริเวณดอยแปปอมัก แร่ที่มีลักษณะแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือ
โพแทส-เฟลด์สปาร์ (KS) แร่สีดำเม็ดเล็ก ๆ คือไบโอไทต์
มาตราส่วนแท่งสีขาวเท่ากับ 1 เซนติเมตร 15
- 2.5 สเตริโอแกรมของโพลจำนวน 152 โพลของระนาบรอยแยก
ในพื้นที่ 1 (รูปซ้าย) และคอนทัวร์สเตริโอแกรม (รูปขวา)
ณ 0.7-3.3, 3.3-5.9, 5.9-8.6, 8.6-11.2 และ
11.2-13.8 เปอร์เซ็นต์ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ 18
- 2.6 สเตริโอแกรมของโพลจำนวน 109 โพลของระนาบรอยแยก
ในพื้นที่ 2 (รูปซ้าย) และคอนทัวร์สเตริโอแกรม (รูปขวา)
ณ 0.9-2.9, 2.9-4.1, 4.1-6.1, 6.1-8.1 และ
8.1-11.0 เปอร์เซ็นต์ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ 19
- 2.7 สเตริโอแกรมของโพลจำนวน 170 โพล ของระนาบรอยแยก
ในพื้นที่ 3 (รูปซ้าย) และคอนทัวร์สเตริโอแกรม (รูปขวา)
ณ 0.6-3.1, 3.1-5.5, 5.5-7.1, 7.1-10.5 และ
10.5-12.9 เปอร์เซ็นต์ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ 20
- 2.8 สเตริโอแกรมของโพลจำนวน 431 โพลของระนาบรอยแยก
ในพื้นที่ 1, 2 และ 3 (รูปซ้าย) และคอนทัวร์สเตริโอแกรม
(รูปขวา) ณ 0.2-2.5, 2.5-4.8, 4.8-7.1, 7.1-9.3
และ 9.3-11.6 เปอร์เซ็นต์ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ 21

2.9	สายควอร์ตซ์แตกหักให้ควอร์ตซ์ (QTZ) รูปเลนส์และมีแร่ยูเรเนียม สีเขียว (เมตาเทอร์เบอร์ไนต์และเทอร์เบอร์ไนต์) ตามลูกศรชี้ เข้ามาเกิดแทรกตามช่องว่างระหว่างควอร์ตซ์เลนส์	23
3.1	Urtec UG-140 แกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์	27
3.2	แสดงการวัดรังสีแกมมาโดยแกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์ ณ สถานีสำรวจต่าง ๆ	27
3.3-3.6	คอนทัวร์รังสีแกมมาของ TC, K, U และ Th ในหน่วย CPS ในบริเวณเรกติดกับสถานีทวนสัญญาณบนยอดดอยแปปอมัก	33-36
3.7-3.10	คอนทัวร์รังสีแกมมาของ TC, K, U และ Th ในหน่วย CPS บริเวณที่สองห่างจากยอดดอยแปปอมักไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร	37-40
3.11 (ก และ ข)	แสดงหินแกรนิตที่โผล่เหนือผิวดิน เช่น ที่ปรากฏในบริเวณ สถานี E209 สถานี F215 และสถานีอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง	41
4.1	แสดงรูปแบบการติดตั้งแผ่นเซลล์โซลาร์ในตรอก ณ สถานีสำรวจต่าง ๆ	46
4.2	คอนทัวร์ความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในหน่วย $t/cm^2.d$ ในบริเวณเรกติดกับสถานีทวนสัญญาณบนยอดดอยแปปอมัก	50
4.3	คอนทัวร์ความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในหน่วย $t/cm^2.d$ ในบริเวณที่สอง ห่างจากยอดดอยแปปอมักไปทางตะวันตก ประมาณ 1 กิโลเมตร	51
4.4	ผลการชุดร่องแสดงสายควอร์ตซ์ที่มีแร่เทอร์เบอร์ไนต์แทรกอยู่ ตามรอยแตกและฉาบตามผิวของควอร์ตซ์ (ก) และการวัด กัมมันตภาพรังสีในร่องหลังจากนำมวลลิ้นแร่ออกไปแล้ว (ข)	52
4.5	แผนภาพการเชื่อมโยงของวงจรภายในเครื่องวัดก๊าซเรดอน	56

รูปที่		หน้า
4.6	แสดงการวัดอนุภาคอัลฟาจากเรดอนโดยอาศัยเครื่องมือที่ใช้ หัววัดแบบซอตทีแบเรียร์	57
4.7	แผนที่คอนทัวร์รังสีอัลฟาจากเรดอนในบริเวณสถานี M208 ภายหลัง ที่ชุดเอามวลสินแร่ออกไปแล้วในหน่วยจำนวนเท่าของค่าแบคกราวด์	58
5.1	รูปตัดขวางแสดงสมมุติฐานของสายควออตซ์แตกหักที่มีแร่ยูเรเนียม เกิดแทรก	60
5.2	(ก) รูปถ่าย SEM ของเมตาเทอร์เบอร์ไนต์ (MTN) ที่มีลักษณะ เป็นแผ่นแบนราบซ้อนกัน (ข) รูปขยายของเมตาเทอร์เบอร์ไนต์ จากรูป (ก) แสดงรายละเอียดเพิ่มขึ้น	62
5.3	Spectra ของธาตุต่าง ๆ ที่พบในแร่ยูเรเนียมสีเขียวยวิเคราะห์ โดย energy dispersive X-ray spectrometer	63
5.4	รูปถ่าย SEM ของ smoky quartz (QZ)	64
5.5	Spectra ของธาตุต่าง ๆ ที่พบในควออตซ์ชนิด smoky quartz วิเคราะห์โดย energy dispersive X-ray spectrometer	65

บทที่ 1

บทนำ

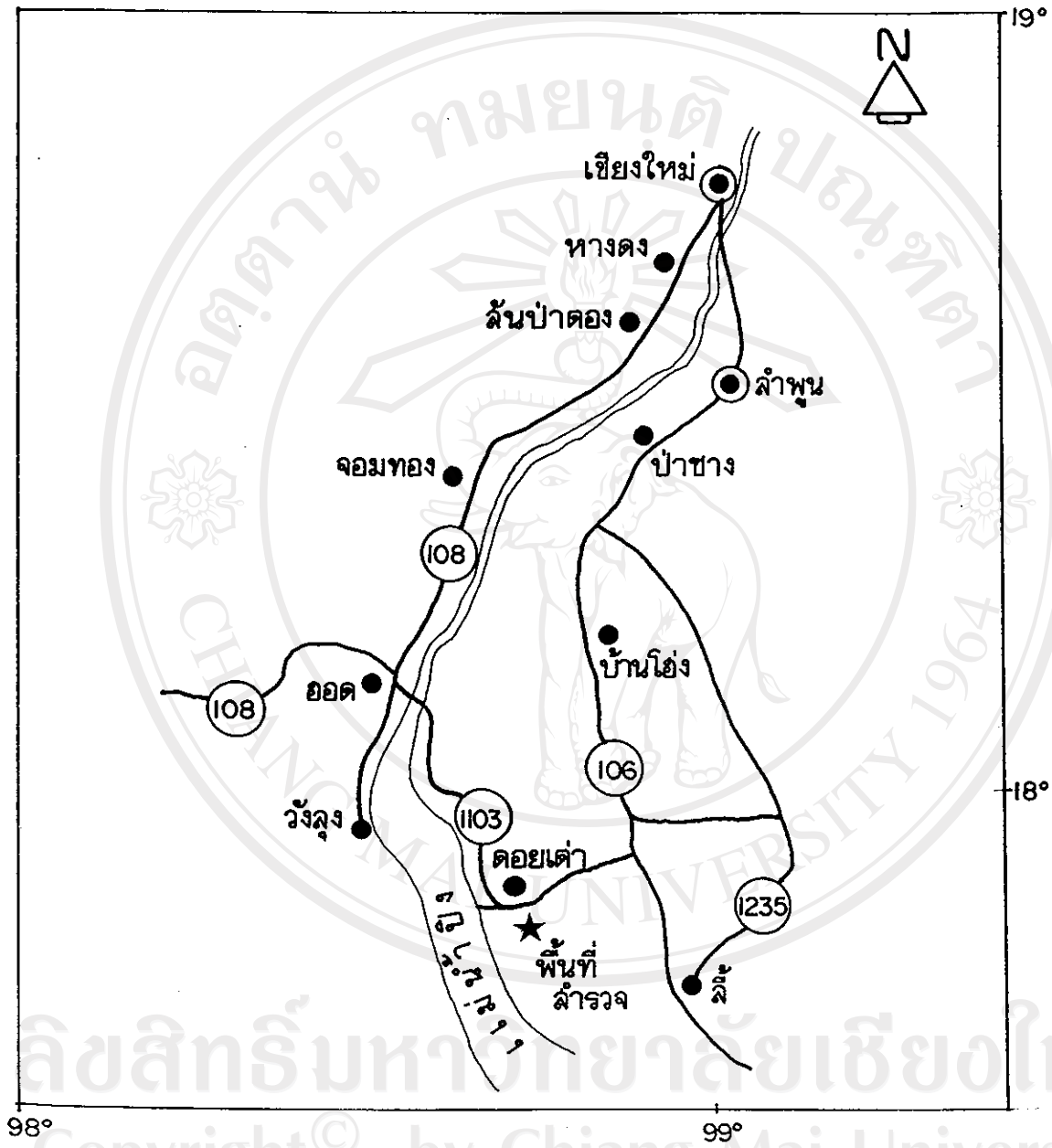
1.1 ความเป็นมา

ยูเรเนียมนับเป็นแหล่งเชื้อเพลิงตามธรรมชาติที่มีความสำคัญยิ่ง แม้ว่าปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้ใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชนิดนี้ ดังเช่น ในหลาย ๆ ประเทศ แต่การสำรวจเพื่อเสาะหาแหล่งแร่ยูเรเนียมภายในประเทศ ก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นเดียวกับการแสวงหาแหล่งพลังงานอื่น ๆ การสำรวจแหล่งแร่ยูเรเนียมในประเทศไทย ได้เริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 เมื่อกรมทรัพยากรธรณีได้สำรวจพบแร่ยูเรเนียมเกิดร่วมกับแร่ทองแดงในหินทรายเป็นครั้งแรก ณ บริเวณหุบเขาประตูตีหมา ในอำเภอเวียง อำเภอเวียง จังหวัดขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2518 กรมทรัพยากรธรณีได้เริ่มสำรวจหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแร่ยูเรเนียมโดยเฉพาะเป็นครั้งแรก ต่อมาได้ทำการสำรวจขั้นรายละเอียด ณ บริเวณอำเภอเวียง โดยวิธีการทางธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ เรดิโอเมตริก จนถึงขั้นเจาะสำรวจเพื่อหาปริมาณสำรองของสินแร่ยูเรเนียม รวมทั้งสิ้น 201 หลุม ซึ่งพบแร่ที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน อย่างไรก็ตามแหล่งแร่ยูเรเนียมดังกล่าวมีขนาดและปริมาณน้อยยังไม่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ นอกจากบริเวณอำเภอเวียงแล้ว ยังมีการสำรวจแร่ยูเรเนียมในชั้นหินทรายชุดโคราช ซึ่งแผ่กระจายอย่างกว้างขวางในภาคอีสาน มีการสำรวจในบริเวณเหมืองพลูอไรต์บางแห่งในภาคเหนือ เป็นต้น (Inthuputi, 1971; Inthuputi and Suwanasing, 1978; Potisat and Gunnaleka, 1982; วรรณชัย สายสุข, 2529)

สำหรับการสำรวจแร่ยูเรเนียมในบริเวณเหมืองพลูอไรต์นั้น บริเวณที่น่าสนใจที่สุดคือบริเวณเหมืองลิงคั้ง ซึ่งเป็นเหมืองร้าง อยู่ใกล้กับบ้านดอยเต่า หมู่ที่ 4 หรือเรียกอีกชื่อว่าบ้านฉิมพลี อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.4) Potisat and Gunnaleka (1982) ได้ทำการสำรวจบริเวณนี้โดยการทำแผนที่สายควอร์ตซ์ และควอร์ตซ์พลูอไรต์

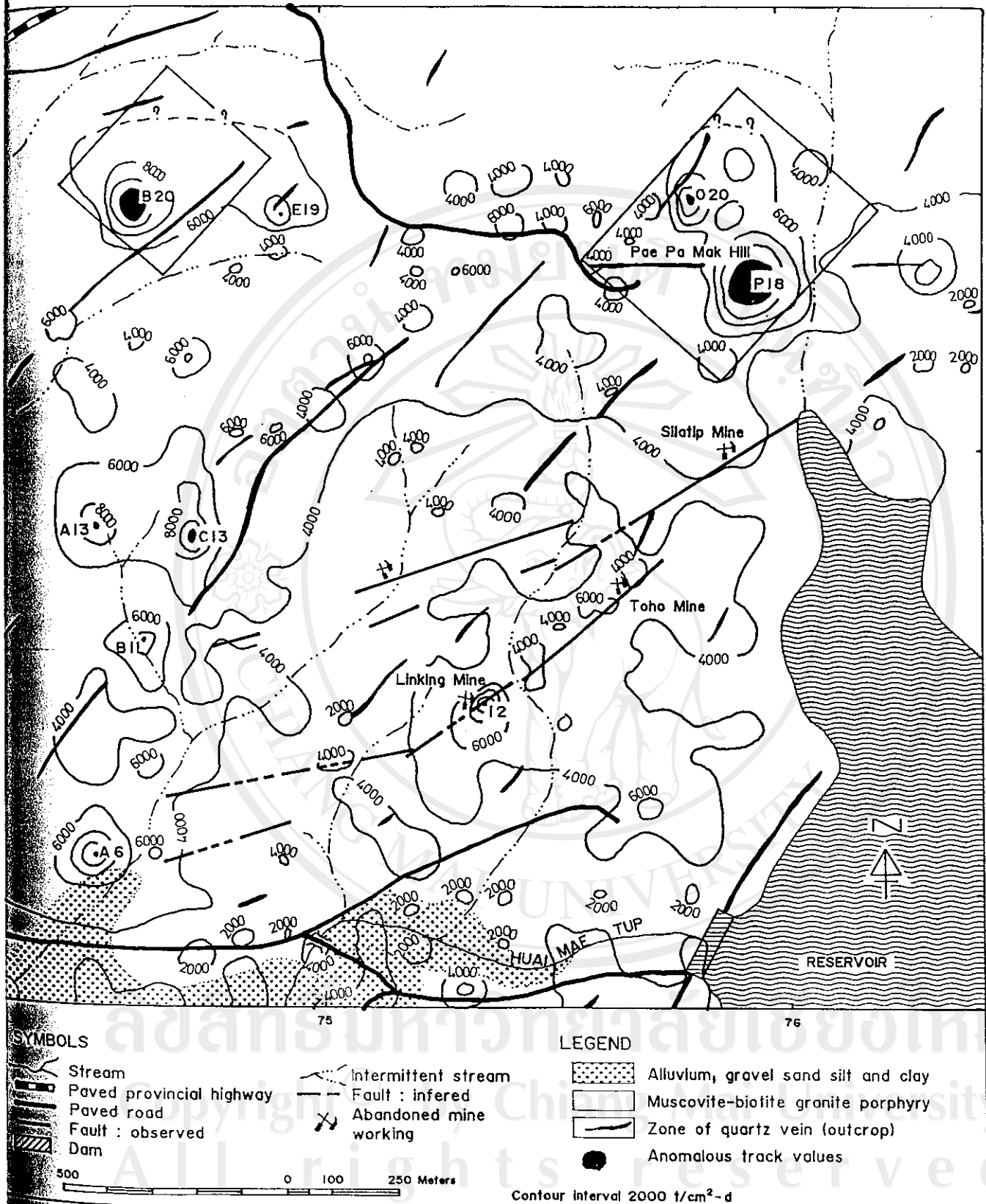
ครอบคลุมพื้นที่ราวหนึ่งตารางกิโลเมตร สำรวจเรดิโอเมตริกโดยการวัดรังสีแกมมาที่ทุก ๆ ระยะ 20 เมตร ซึ่งพบค่ารังสีสูงสุดในบริเวณสายฟลูออไรต์ที่มีสีม่วงแก่เกือบดำ และมีโพไรต์ปนอยู่สูง แต่ห่างจากบริเวณสายแร่นี้ออกไปเพียงเล็กน้อย ค่ารังสีที่วัดได้จะลดลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นได้ทำการเจาะสำรวจรวมทั้งสิ้น 7 หลุม ผลจากการหยั่งธรณีรังสีแกมมา (gamma ray logging) ในหลุมเจาะเหล่านี้พบค่าผิดปกติขนาดสูงปานกลาง ในบริเวณแคบ ๆ ซึ่งสอดคล้องกับบริเวณรอยแตกรอยเลื่อนในสายฟลูออไรต์สีม่วงแก่ การหาค่าปริมาณยูเรเนียมในบางตัวอย่างจากสายฟลูออไรต์ดังกล่าว พบว่ามีค่าสูงสุด 2587 ppm จากผลการสำรวจครั้งนั้นได้มีข้อสรุปว่าค่าผิดปกติรังสีแกมมาที่พบมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะแสดงถึงแหล่งแร่ยูเรเนียมที่มีคุณค่าในทางเศรษฐกิจ จึงได้หยุดการสำรวจ

เนื่องจากการสำรวจในบริเวณเหมืองลึงค์กิ้งดังกล่าวข้างต้น ครอบคลุมพื้นที่เพียงประมาณหนึ่งตารางกิโลเมตร ดังนั้นในปี พ.ศ. 2531 กิตติชัย วัฒนนิกร และคณะ จึงได้ทำการสำรวจในบริเวณนี้อีกครั้งหนึ่ง โดยขยายขอบเขตการสำรวจให้ครอบคลุมพื้นที่ราว 4 ตารางกิโลเมตร และเพิ่มการวัดก๊าซเรดอนใต้ผิวดินเข้ามาในกระบวนการสำรวจด้วย โดยให้ระยะห่างระหว่างสถานีตรวจวัดก๊าซเรดอน ห่างกัน 50 เมตร ในบริเวณใจกลางพื้นที่สำรวจคือบริเวณเหมืองลึงค์กิ้งและบริเวณใกล้เคียง แต่ให้ระยะห่างระหว่างสถานีเป็น 100 เมตร ในบริเวณรอบนอกของพื้นที่สำรวจ รวมสถานีตรวจวัดก๊าซเรดอนทั้งสิ้น 431 สถานี จากการสำรวจพบค่าสูงผิดปกติของความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาจากก๊าซเรดอนใน 9 บริเวณ (รูปที่ 1.2) โดย 3 บริเวณมีค่าสูงผิดปกติมาก คือประมาณ 5-13 เท่าของค่าแบคกราวด์ (background) ซึ่งได้แก่ตำแหน่งสถานี B20 สถานี i2 และสถานี P18 เมื่อทำการตรวจสอบบริเวณที่มีค่าผิดปกติสูงที่สุดที่สถานี P18 ซึ่งอยู่ห่างจากยอดดอยแปปอมักไปทางตะวันออกประมาณ 200 เมตร หรือห่างจากเหมืองลึงค์กิ้งมาทางตะวันออกเฉียงเหนือราวหนึ่งกิโลเมตร พบสายควอร์ตซ์เล็ก ๆ หนาประมาณ 10 เซนติเมตร โผล่พ้นผิวดินให้เห็นยาวประมาณ 1-2 เมตร วางตัวในแนวประมาณ NE-SW (รูปที่ 1.3) ในสายควอร์ตซ์พบแร่กัมมันตรังสีซึ่งต่อมาพบว่าเป็นแร่ยูเรเนียมชนิดทอร์เบอไรต์ (torbernite) มีสมการเคมีอยู่ในรูปของ $[\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}]$ แร่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นคราบและจุดประสีเขียวอมเหลือง ฉาบตามผิวและรอยแตกของควอร์ตซ์ เมื่อนำตัว



รูปที่ 1.1 เส้นทางเข้าสู่พื้นที่สำรวจบริเวณบ้านดอยเต่า หมู่ที่ 4 หรือบ้านนิมพลี

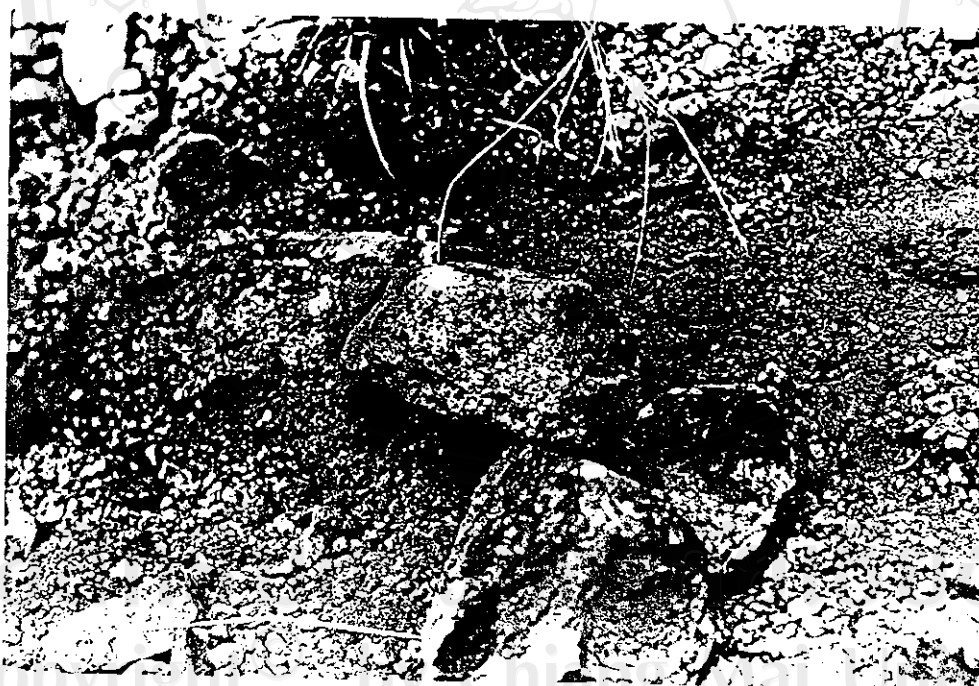
อ. ดอยเต่า จ. เชียงใหม่



รูปที่ 1.2 แผนที่คอนทัวร์แสดงบริเวณที่มีความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาสูงผิดปกติ 9 บริเวณ ซึ่ง 2 บริเวณ ครอบคลุมสถานี P18 และสถานี B20 (ตามที่ตีกรอบ) ถูกเลือกเพื่อศึกษาชั้นรายละเอียดในการสำรวจครั้งนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.3 สภาพของพื้นที่ที่พบสายควอร์ตซ์ซึ่งมีแร่ทอร์เบอร์ไนต์แทรกตามรอยแตก และ
ฉาบตามผิว (ก) และลักษณะของสายควอร์ตซ์ดังกล่าวโผล่ให้เห็นบนผิวดิน (ข)

อย่างที่มีแร่ปนอยู่ไปวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมอย่างหยาบ ๆ โดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรเมตรี (gamma ray spectrometry) พบปริมาณยูเรเนียมเป็น 1, 1.2 และ 14.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ คาดว่าแร่ทอร์เบอร์ไนต์บริเวณนี้เกิดจากการตกผลึกโดยสารละลายอุณหภูมิต่ำที่มีไอออนของ U^{+6} และ Cu^{+2} เจือปนอยู่ ดังนั้นชนิดของแหล่งแร่อาจเป็นแหล่งแร่ไฮดรอลิกอุณหภูมิต่ำ (low temperature hydrothermal deposits) หรือแหล่งแร่แบบแทรกซึม (infiltration deposits) โดยที่ธาตุยูเรเนียมและทองแดงในสารละลายน้ำแร่อาจได้มาจากการชะล้าง (leaching) ของปริมาณธาตุยูเรเนียมและทองแดงที่มีอยู่เป็นส่วนน้อยในเนื้อหินแกรนิตบริเวณนั้น อย่างไรก็ตามแร่ยูเรเนียมพบในปริมาณที่พบนี้อาจเกิดจากการสลายตัวของแร่ยูเรเนียมปฐมภูมิที่อาจมีอยู่ในสายควอร์ตซ์บริเวณนี้ก็ได้

สำหรับบริเวณที่มีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคลึบจากก๊าซเรดอนสูงผิดปกติมากอีกสองแห่งอยู่ที่เหมืองลี้กั้ง ที่สถานี 12 และในเทือกเขาห่างจากยอดดอยแปดหมากมาทางตะวันตกประมาณหนึ่งกิโลเมตรที่สถานี B20 ที่สถานี 12 บริเวณเหมืองลี้กั้งนั้น Potisat and Gunnaleka (1982) ได้พบแร่ยูเรเนียมในสายพลูออไรต์สีม่วงแกดงได้กล่าวไปแล้ว แต่ที่สถานี B20 นั้น จากการตรวจสอบในเบื้องต้นของกิตติชัย วัฒนนิกร และคณะ ไม่ปรากฏว่าพบแร่ยูเรเนียมในบริเวณนั้นแต่อย่างใด (Wattananikorn et al., 1990)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการวางตำแหน่งสถานีตรวจวัดก๊าซเรดอนในการศึกษาของกิตติชัย และคณะในปี พ.ศ. 2531 นั้น วางไว้ห่างกันโดยเฉพาะในบริเวณรอบนอกของพื้นที่ศึกษาโดยวางไว้ห่างกันถึง 100 เมตร ทั้งนี้เพราะเป็นการสำรวจเบื้องต้นโดยต้องการให้ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง ดังนั้นผลการสำรวจครั้งนั้นจึงยากที่จะใช้กำหนดสายแร่ ตลอดจนขอบเขตและทิศทางการวางตัวได้อย่างครบถ้วนละเอียดชัดเจน จึงจำเป็นต้องสำรวจชั้นรายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อติดตาม กำหนด ตลอดจนศึกษาและตรวจสอบศักยภาพของสายแร่ในบริเวณดังกล่าวในเชิงของแหล่งแร่ยูเรเนียมต่อไป

จากการสำรวจเบื้องต้นในปี 2531 พบว่าบริเวณที่น่าสนใจและควรจะได้มีการสำรวจชั้นรายละเอียดเพิ่มเติมมีสองบริเวณคือที่สถานี P18 และที่สถานี B20 ดังนั้นในการสำรวจชั้นรายละเอียดครั้งนี้จึงกำหนดพื้นที่ศึกษาเป็น 400x500 ตารางเมตร และ 300x350 ตารางเมตร

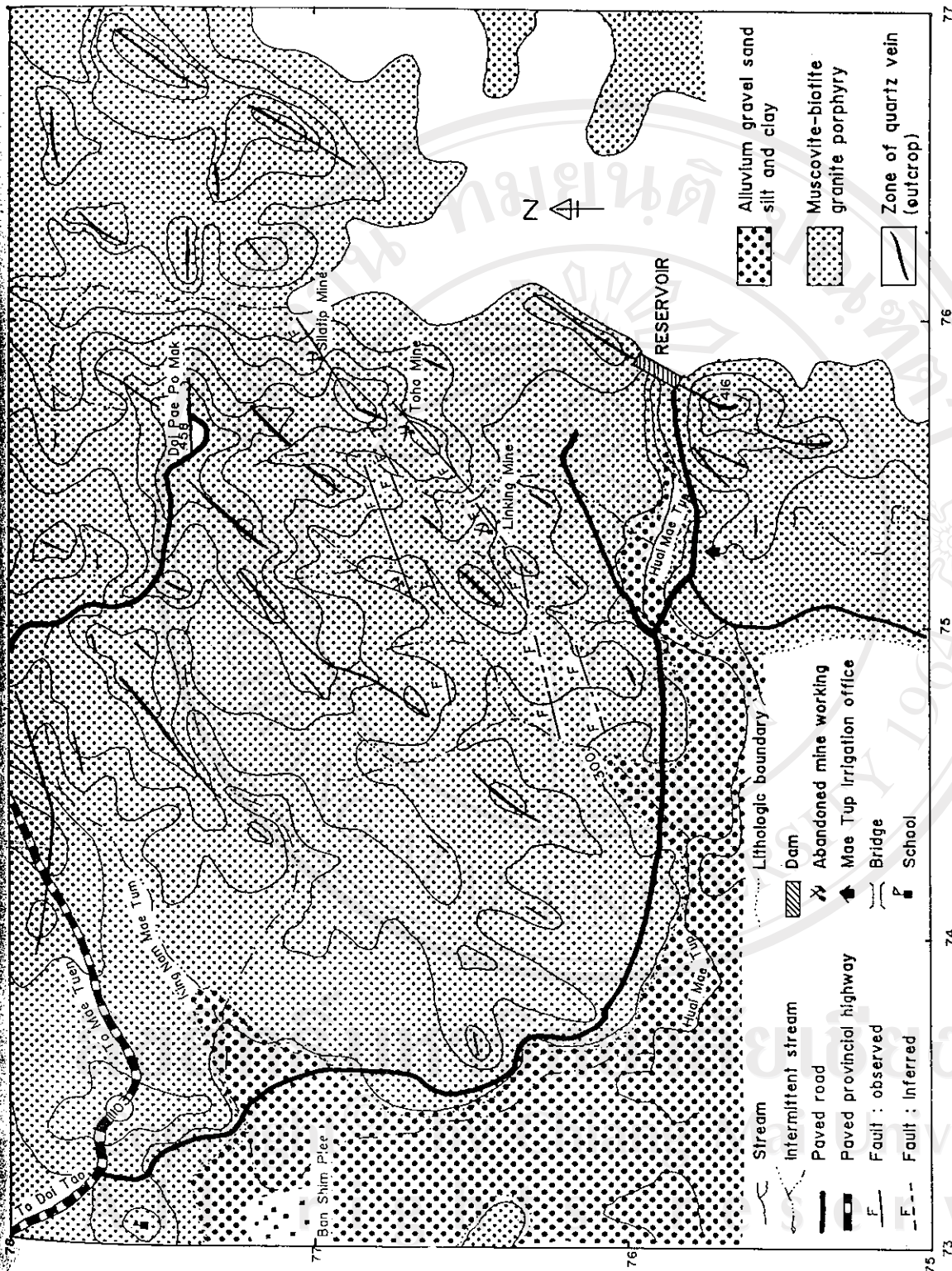
ครอบคลุมสถานี P18 และ B20 ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 ส่วนที่สถานี 12 นั้น แม้ว่ามีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาสูงผิดปกติ แต่เนื่องจากการได้มีการสำรวจชั้นรายละเอียดไปแล้ว โดย Potisat and Gunnaleka (1982) ประกอบกับระยะระหว่างสถานีตรวจวัดก๊าซเรดอนในการสำรวจเมื่อปี พ.ศ. 2531 ก็กำหนดไว้เพียง 50 เมตรในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการสำรวจชั้นรายละเอียดในบริเวณสถานี 12 หรือบริเวณเหมืองลี้ดคิงส์ซ้ำอีก

1.2 ตำแหน่ง ที่ตั้ง และสภาพภูมิประเทศของพื้นที่สำรวจ

พื้นที่สำรวจอยู่ในบริเวณดอยแปปอมัก และบริเวณใกล้เคียงในเขตบ้านดอยเต่า หมู่ที่ 4 หรือบ้านนิมพลี อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ขนาดมาตราส่วน 1:50,000 ระวังอำเภอลี่ หมายเลข 4744 I และระวังบ้านวังหลวง หมายเลข 4744 IV พิกัดของยอดดอยแปปอมัก ซึ่งเป็นที่ตั้งของสถานีทวนสัญญาณขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย อยู่ที่เส้นรุ้ง $18^{\circ} 53' 05''$ N และเส้นแวง $98^{\circ} 46' 12''$ E (grid 774755) พื้นที่สำรวจบริเวณแรกครอบคลุมพื้นที่ 400×500 ตารางเมตร ทางด้านตะวันออกของยอดดอยแปปอมัก สำหรับพื้นที่สำรวจบริเวณที่สอง ครอบคลุมพื้นที่ 300×350 ตารางเมตร ห่างจากยอดดอยแปปอมักมาทางตะวันตกราว 1 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1.2

เส้นทางเข้าสู่พื้นที่สำรวจ สามารถเดินทางจากจังหวัดเชียงใหม่ ไปทางทิศใต้โดยทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 108 (เชียงใหม่-แม่สะเรียง) แยกเข้าสู่ทางหลวงจังหวัดหมายเลข 1103 (ฮอด-ดอยเต่า-แม่ต๋น) บริเวณอำเภอฮอด ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ถนนเส้นนี้จะผ่านเข้าสู่อำเภอดอยเต่า หลังจากนั้นจะผ่านบ้านดอยเต่าหมู่ที่ 4 หรือบ้านนิมพลี เลี้ยวจากทางแยกเข้าบ้านนิมพลีไปประมาณ 2 กิโลเมตร บนทางหลวงหมายเลข 1103 จะมีทางแยกด้านขวามือขึ้นสู่สถานีทวนสัญญาณขององค์การโทรศัพท์ ซึ่งตั้งอยู่บนยอดดอยแปปอมัก

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของบริเวณนี้ เป็นลักษณะเนินเขาไม่สูงมากนัก (รูปที่ 1.4 และ 1.5) ลักษณะสันเขาส่วนใหญ่จะอยู่ในแนว NE-SW มียอดสูงสุดอยู่ที่ดอยแปปอมัก มีระดับความสูง 458 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีป่าไม้เตี้ย ๆ เป็นป่าโปร่งผลัดใบ มีไม้พุ่มชั้นปะปน



รูปที่ 1.4 ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจและบริเวณใกล้เคียง (ช่วงห่างของเส้นระดับขึ้นความสูงเท่ากับ 20 เมตร)



รูปที่ 1.5 สภาพภูมิประเทศของพื้นที่สำรวจแสดงแนวเมืองลิงคั้ง (1) และยอดดอยแม่แปมก (2) ถ่ายจาก
สันเขื่อนอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ตูป

ซึ่งเป็นป่าแบบเขตเมืองร้อนสะวันนา (savanna) มีทางน้ำที่สำคัญไหลผ่านคือห้วยแม่ตูปทางตอนใต้ของพื้นที่สำรวจ ปัจจุบันได้มีการสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยแม่ตูปของกรมชลประทาน สำหรับพื้นที่สำรวจทั้งสองบริเวณคือด้านตะวันออกของยอดดอยแปเปอมีกลุ่มสถานี P18 และด้านตะวันตกของยอดดอยดังกล่าวกลุ่มสถานี B20 เป็นพื้นที่ลาดชัน มีความชันประมาณ 1:4 แม้จะมีลำห้วยไหลผ่านพื้นที่สำรวจทั้งสองแต่จะมีน้ำในลำห้วยเฉพาะช่วงที่ฝนตกชุกเท่านั้น

ลักษณะภูมิอากาศในบริเวณนี้ มีฝนตกและฝนแล้งช่วงละประมาณ 6 เดือน ในฤดูหนาวมีอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยจะอยู่ในราวเดือนมกราคมและสูงสุดในเดือนเมษายน ในฤดูฝนได้รับมรสุมซึ่งพัดมาจากทางตอนใต้ นำเอาความชุ่มชื้นมาตกเป็นฝน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายน

บทที่ 2

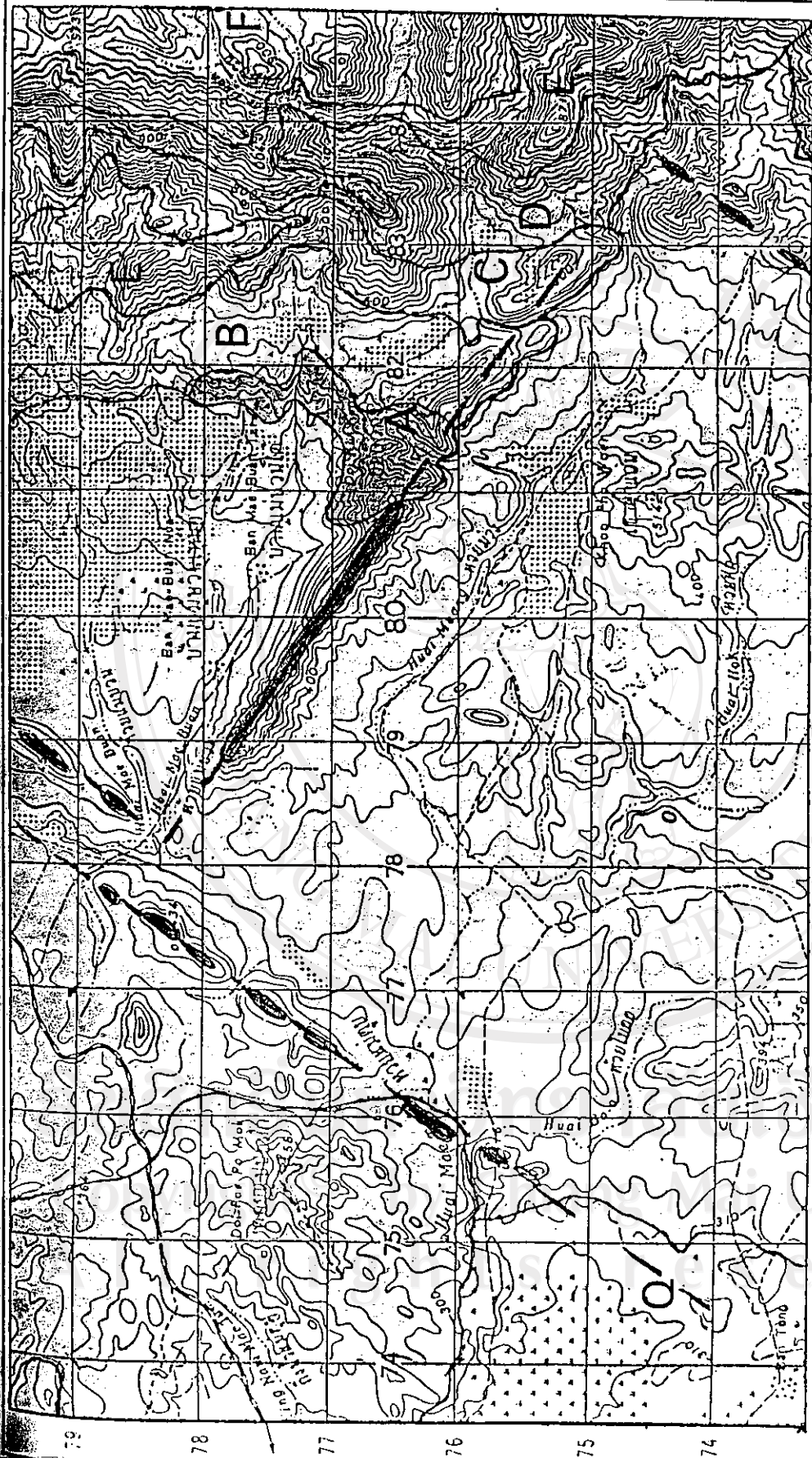
ธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจ

สภาพธรณีวิทยาโดยทั่วไปของพื้นที่สำรวจบริเวณดอยแปปอมัก และบริเวณใกล้เคียงได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.4 และรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นผลจากการศึกษาของ Von Braun et al., 1976; คณิต ประสิทธิการกุล และคณะ, 2524; Potisat and Gunnaleka, 1982; กิตติชัย วัฒนานิก และคณะ, 2531.

หินส่วนใหญ่ในพื้นที่สำรวจเป็นหินมีสโคไวต์-ไบโอไทต์แกรนิต ที่มีขนาดปานกลางถึงหยาบ รอยเลื่อน (fault) รอยแยก (joint) และรอยแตก (fracture) ที่เกิดขึ้นภายหลังทำให้เกิดช่องว่างในหินแกรนิตเป็นช่องทางของน้ำร้อน นำเอาซิลิกามาตกผลึกเป็นสายควอร์ตซ์ที่พบทั่วไปในพื้นที่สำรวจ

2.1 ลักษณะหิน

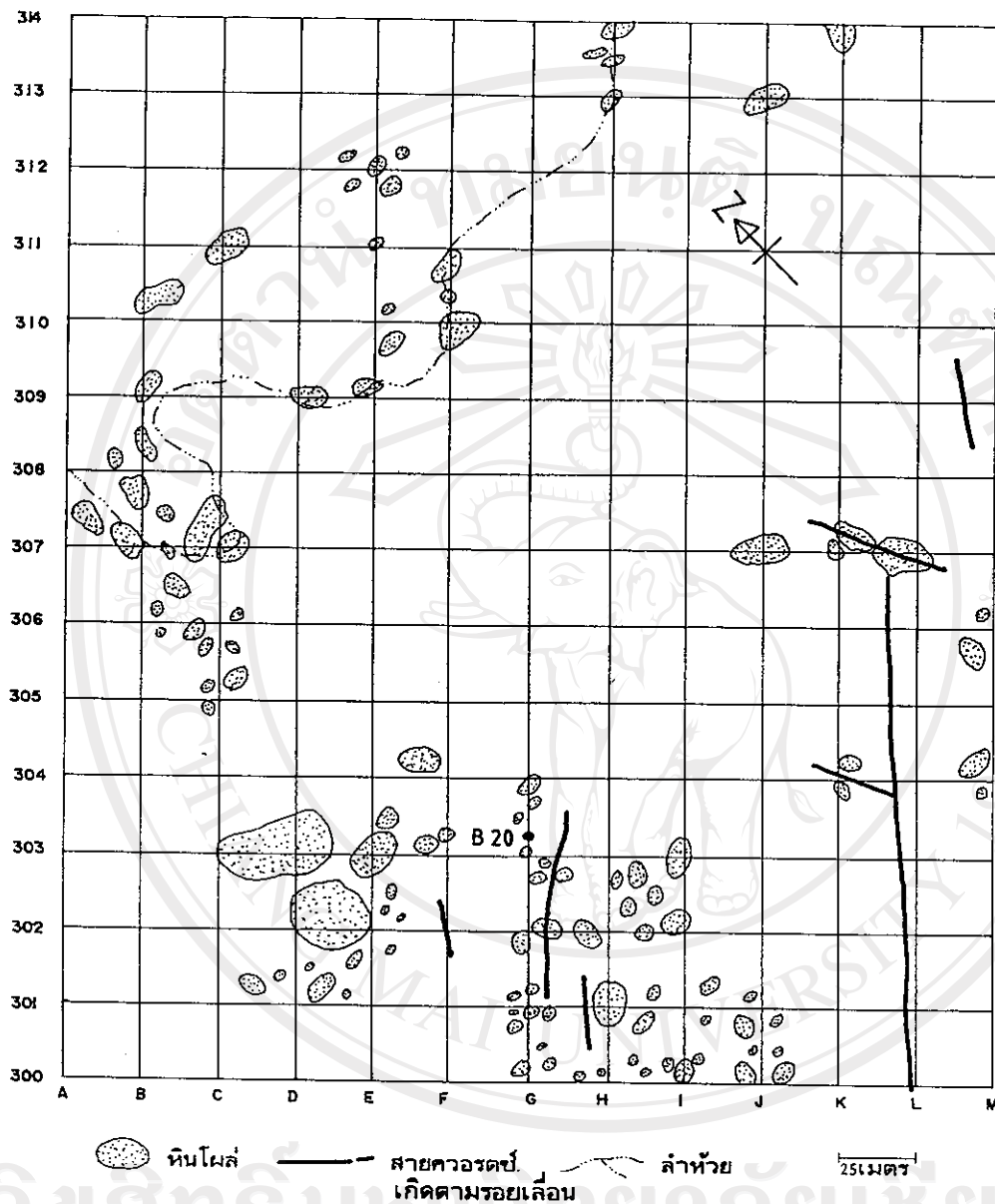
หินแกรนิตในพื้นที่สำรวจมีอายุ 236 ± 14 ล้านปี (Von Braun et al., 1976) จัดอยู่ในช่วงยุคไทรแอสซิก (Triassic Period) หินแกรนิตที่โผล่ (รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3) ส่วนใหญ่จะผุมาก สีผิวของหินโผล่เป็นสีน้ำตาลเหลือง แต่ถ้าสดจะมีสีเทาถึงขาวอมเทา หินแกรนิตจัดเป็นชนิดมีสโคไวต์-ไบโอไทต์แกรนิตที่แสดงลักษณะเนื้อหิน (texture) แบบผลึกสองขนาด (รูปที่ 2.4) มีขนาดโดยทั่วไปปานกลางถึงหยาบ (medium-to coarse-grained) โดยมีโพแทส-เฟลด์สปาร์ (K-Feldspar) เป็นแร่ดอก (phenocryst) ลักษณะแท่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดโดยเฉลี่ย 1×1.5 เซนติเมตร ส่วนแร่ที่ล้อมรอบขนาดเล็กกว่า (groundmass) ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.3-0.5 เซนติเมตร ประกอบด้วย ควอร์ตซ์ (quartz) มีสโคไวต์ (muscovite) ไบโอไทต์ (biotite) และแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (plagioclase feldspar)



รูปที่ 2.1 ลักษณะธรณีวิทยาในพื้นที่ตอนแปดมกและพื้นที่ข้างเคียง จาก คณิต ประสิทธิ์การกุล, 2524

รอยเลื่อน; / สายคาวตอง;
 Triassic: Biotite-muscovite granite, [] Triassic: Biotite granite, [] Cambrian: Quartzite, [B] Ordovician: Laminated limestone, [C] Ordovician: Crystalline limestone, [D] Ordovician: Calc-silicate rocks, [E] Sil.-Dev.: Siliceous shale, [F] Sil.-Dev.: Shale, [Q] Quaternary: Alluvium

รูปที่ 2.2 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณแรกติดกับยอดดอยแปเปอม่ก ไ
ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ 400x500 ตารางเมตรรอบสถานี P18
ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (พื้นที่ทั้งหมดเป็นหินแกรนิต)



รูปที่ 2.3 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณที่สองซึ่งอยู่ห่างจากยอดดอย
แบบมวกไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 300x350 ตารางเมตร
รอบสถานี B20 ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (พื้นที่ทั้งหมดเป็นหินแกรนิต)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะเนื้อหินแบบผลึกสองขนาดของหินมัสโคไวต์-ไบโอไทต์
แกรนิต บริเวณดอยแปดหมาก แร่ที่มีลักษณะแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือ
โพแทส-เฟลด์สปาร์ (KS) แร่สีดำเม็ดเล็ก ๆ คือไบโอไทต์
มาตราส่วนแท่งสีขาวเท่ากับ 1 เซนติเมตร

เนื้อหินบางบริเวณพบว่าการเรียงตัวของแร่ดอกโพแทส-เฟลด์สปาร์ จากการศึกษาด้านวิทยา
บรรณ (petrography) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซิงทำให้ทราบว่าหินแกรนิตดังกล่าว
ประกอบด้วยแร่หลักได้แก่ ควอร์ตซ์ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โพแทส-เฟลด์สปาร์
(ชนิด microcline และ microcline perthite) ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (ชนิด oligoclase) ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และแร่
รองที่มีปริมาตรน้อยได้แก่ มัสโคไวต์ ไบโอไทต์ และเซอร์คอน (zircon) นอกจากนี้ยังพบว่าใน

ตัวอย่างหินแกรนิตบางตัวอย่างมีลักษณะของการเปลี่ยนสภาพ (alteration) และการเปลี่ยนลักษณะ (deformation) การเปลี่ยนสภาพสังเกตจากแร่บางชนิดเปลี่ยนเป็นแร่ชนิดหนึ่งเมื่อมีอุณหภูมิลดลงหรือต่ำกว่า เช่น แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ เปลี่ยนสภาพให้แร่ไมกาสีขาวขนาดเล็ก (white mica หรือ sericite) และไบโอไทต์เปลี่ยนสภาพให้คลอไรต์ (chlorite) ในลักษณะบางส่วนของผลึกหรือทั้งผลึก นอกจากนี้ยังพบว่าโพแทสเซิลด์สปาร์มีการเปลี่ยนสภาพเป็นแร่ดิน (clay minerals) สำหรับการเปลี่ยนลักษณะสังเกตจากความเปราะ (brittle) ของแพลจิโอเคลส หรือจากลักษณะของ brittle deformation จากการโค้งตัว (bending) ของผลึกมัสโคไวต์ และจากการมิดแบบไม่สม่ำเสมอ (undulatory extinction) ของควออตซ์ที่ปรากฏให้เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์

2.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่สำรวจและพื้นที่ข้างเคียงที่พบเด่นชัดได้แก่ รอยเลื่อน (fault) และโครงสร้างขนาดเล็กลงมาได้แก่รอยแตก (fracture) และรอยแยก (joint) ซึ่งเกิดทั่วไปทั้งในหินแกรนิตและสายควออตซ์

2.2.1 รอยเลื่อน รอยเลื่อนหลัก (major fault) ในบริเวณพื้นที่สำรวจและพื้นที่ข้างเคียง มีทิศทางการวางตัวสองแนวคือประมาณ N30E 70-80SE และ N50W มุมเทเกือบตั้งฉาก (รูปที่ 2.1) รอยเลื่อนหลักดังกล่าวแสดงให้เห็นชัดเจนจากลักษณะของการวางตัวเป็นแนวตรงของเส้นคอนทัวร์ของแผนที่ และแนวดังกล่าวเป็นแนวของสายควออตซ์ที่แทรกมาภายหลัง รอยเลื่อนหลักทั้งสองทิศทางจัดให้เป็นแบบรอยเลื่อนตามแนวระดับ (strike-slip fault) (กิตติชัย วัฒนานิก และคณะ, 2531) จากการเกิดรอยเลื่อนหลักก็มีการเกิดรอยเลื่อนรอง (minor fault หรือ associated fault) เกิดพร้อม ๆ กัน รอยเลื่อนรองนี้พบว่าเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่สำรวจดอยแปดหมากโดยมีแนวการวางตัวหลายทิศทาง เช่นประมาณ NE-SW, NW-SE และ EW (รูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3)

2.2.2 รอยแตก รอยแตกในบริเวณพื้นที่สำรวจสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นผลมาจากรอยเลื่อนตามแนวระดับ ทำให้ได้รอยแตกแบบที่เรียกว่ารอยแตกหินเนต (pinnate fractures) รอยแตกมีทิศทางการวางตัวประมาณ NE-SW มีมุมเทประมาณ 80-90 SE

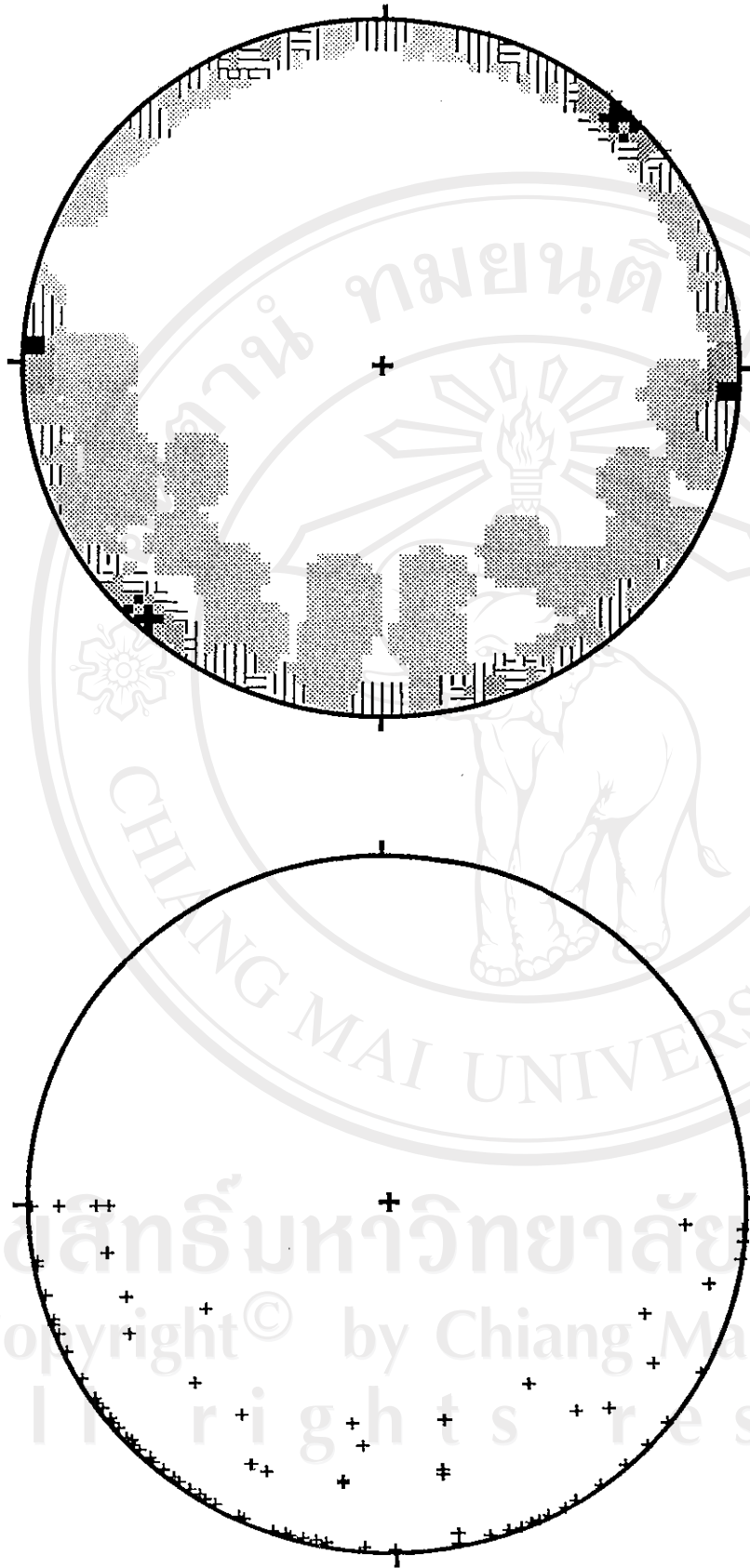
2.2.3 รอยแยก รอยแยกพบทั่วไปในบริเวณพื้นที่สำรวจทั้งในหินแกรนิตและสายควอร์ตซ์ มีทิศทางการวางตัวของกลุ่มระนาบรอยแยก (joint plane sets) ต่าง ๆ กัน แต่มีมุมเทส่วนใหญ่เกือบตั้งฉากจนถึงตั้งฉาก จากการวัดค่าระนาบรอยแยกในสนามสามบริเวณคือในพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณแรกรอบสถานี P18 (พื้นที่ 1) พื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณที่สองรอบสถานี B20 (พื้นที่ 2) และในพื้นที่ติดกับพื้นที่สำรวจบริเวณที่สองมาทางตะวันออกเฉียงขึ้นไปทางเหนือ (พื้นที่ 3) แล้วนำมาพล็อตลงบน stereonet แบบ schmidt Equal Area Projection ในลักษณะของโพล (poles) ของระนาบรอยแยกในแต่ละพื้นที่ และนำค่าที่ได้พล็อตเป็นคอนทัวร์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2.5 รูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 ตามลำดับ) เมื่อคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดโดยนำค่าระนาบรอยแยกทั้งสามพื้นที่มารวมกันแล้วพล็อตโพลและคอนทัวร์ (รูปที่ 2.8) ทำให้ทราบแนวระนาบรอยแยกหลักของบริเวณโดยรอบอ่างเก็บน้ำและบริเวณใกล้เคียง

รอยแยกในพื้นที่ 1 สามารถแยกได้เป็นสองกลุ่มหลัก (รูปที่ 2.5) กลุ่ม 1 เป็นกลุ่มที่เด่นที่สุดมีแนววางตัว N42E 83SE กลุ่ม 2 มีแนววางตัว N87W 85S

รอยแยกในพื้นที่ 2 สามารถแยกได้เป็นหกกลุ่ม (รูปที่ 2.6) กลุ่ม 1 เป็นกลุ่มที่เด่นที่สุดมีแนววางตัว N37E 85SE กลุ่ม 2 มีแนววางตัว N50W 85SW กลุ่ม 3 มีแนววางตัว N11E 85SE กลุ่ม 4 มีแนววางตัว EW83S กลุ่ม 5 มีแนววางตัว N19W 85W กลุ่ม 6 มีแนววางตัว N5W 86W

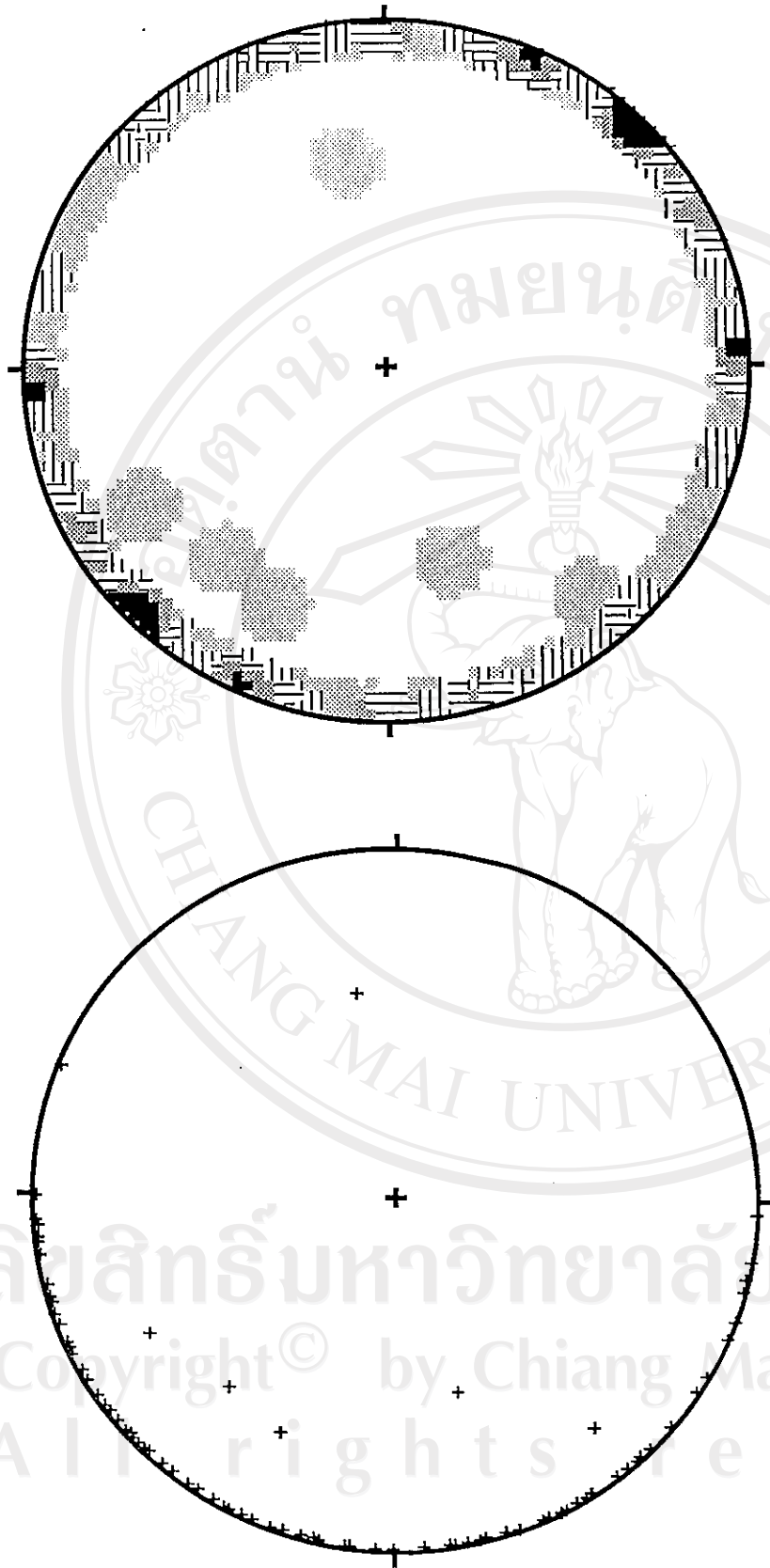
รอยแยกในพื้นที่ 3 สามารถแยกได้เป็นสามกลุ่ม (รูปที่ 2.7) กลุ่ม 1 เป็นกลุ่มที่เด่นที่สุดมีแนววางตัว N45E 83SE กลุ่ม 2 มีแนววางตัว N24E 86SE และกลุ่ม 3 มีแนววางตัว N86E 85S

เมื่อนำข้อมูลของระนาบรอยแยกทั้งสามพื้นที่มาพล็อตรวมกัน เพื่อให้ทราบถึงภาพรวมของพื้นที่ทั้งหมด ทำให้ทราบว่ารอยแยกหลักแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่คือ กลุ่ม 1 มีแนววางตัว N45E 84SE และกลุ่ม 2 มีแนววางตัว EW83S (รูปที่ 2.8)



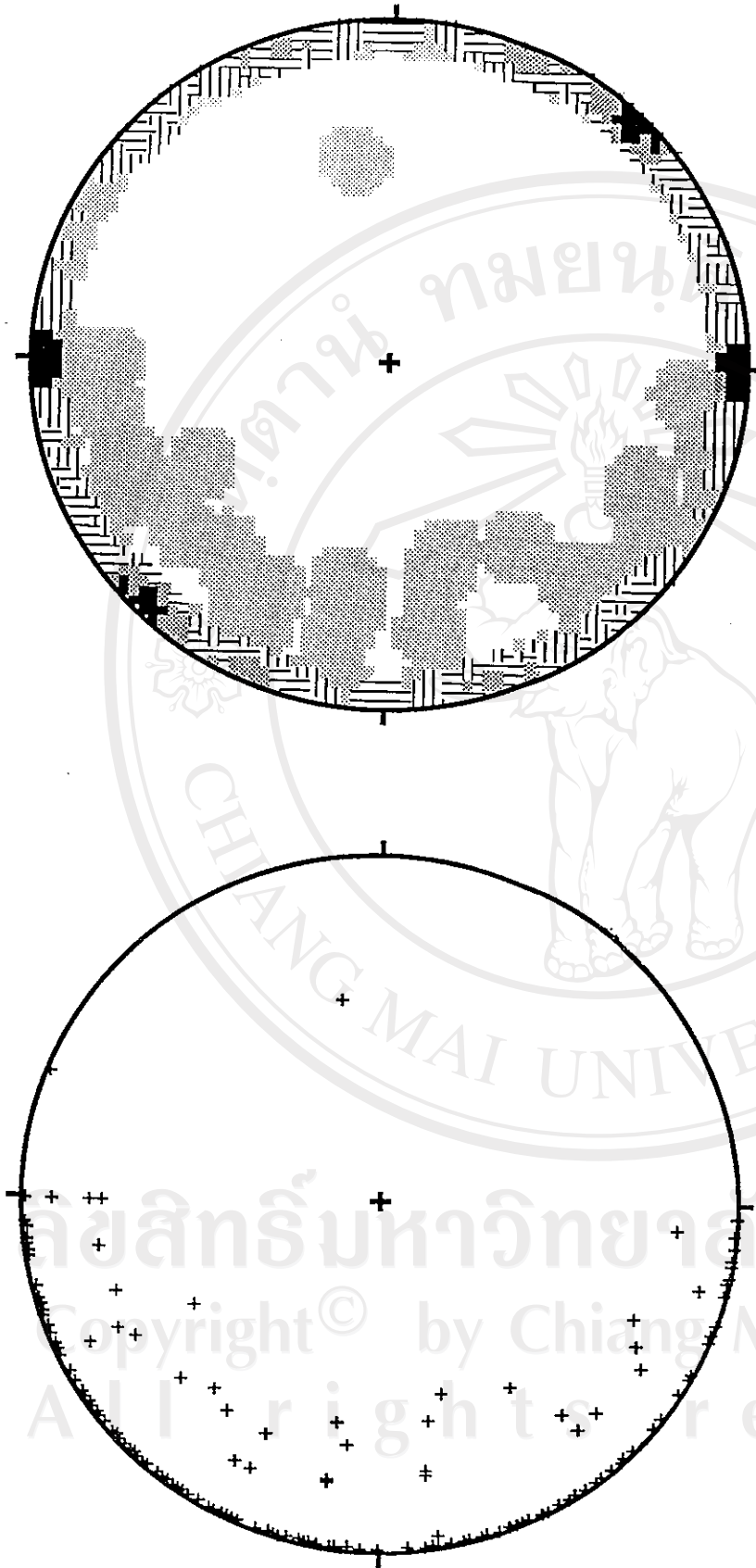
รูปที่ 2.5 สถานีดับเพลิงจำนวน 152 ไฟของระนาบรอยแยก ในพื้นที่ 1 รูปซ้าย และคอนทัวร์สถานีดับเพลิงรวม รูปขวา

ณ



รูปที่ 2.7 สเตอร์ไอแอมของโพลงจำนวน 170 โพลงของระนาบรอยแยกในพื้นที่ 3 รูปซ้าย และคอนทัวร์สเตอร์ไอแอม รูปขวา

ณ



รูปที่ 2.8 สตรีโอแกรมของโพลจำนวน 431 โพลของระนาบรอยแยกในพื้นที่ 1,2 และ 3 (รูปซ้าย) และคอนทัวร์สตรีโอแกรม
 รูปขวา) ณ 0.2-2.5, 2.5-4.8, 4.8-7.1, 7.1-9.3 และ 9.3-11.6, เพอร์เซปต์ ต่อ 1
 เพอร์เซปต์ของพื้นที่

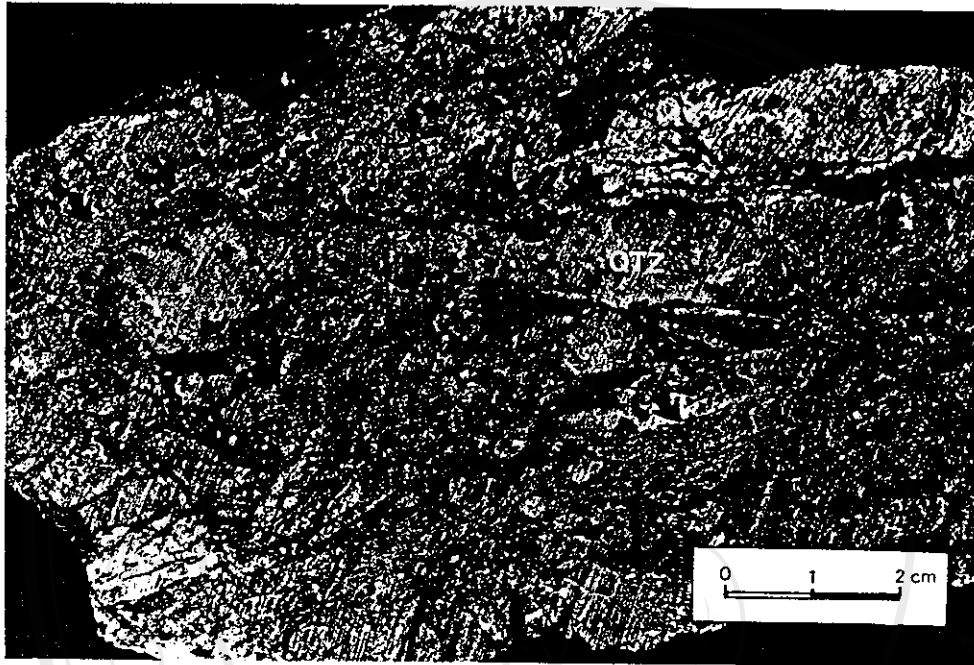
2.3 สายควอร์ตซ์

สายควอร์ตซ์ที่พบในพื้นที่สำรวจส่วนใหญ่ เป็นแบบสีขาวแบบนํ้านม (milky quartz) เนื้อแน่นขนาดละเอียด และส่วนน้อยที่มีเนื้อหินแสดงลักษณะแตกเปราะและเปลี่ยนลักษณะ (brecciated and deformed quartz vein) มีสีขาวใสมากกว่าแบบแรก

สายควอร์ตซ์ที่พบเกิดกระจายทั่วไป มีขนาดกว้างตั้งแต่ไม่น้อยกว่า 1 เซนติเมตรถึงมากกว่า 5 เมตร และยาวตั้งแต่มากกว่า 50 เมตร ถึงหลายร้อยเมตร บางแนวยาวเกินกว่า 1 กิโลเมตร (รูปที่ 2.1) มีทิศทางการวางตัวตามทิศทางของรอยเลื่อนและรอยแตก

ในพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณแรกรอบสถานี P18 พบว่าการวางตัวของสายควอร์ตซ์อยู่ในแนว EW (รูปที่ 2.2) มีความยาวประมาณ 200 เมตร กว้างประมาณ 0.5 เมตร และสายควอร์ตซ์ขนาดเล็กมีความยาวประมาณ 50 เมตร กว้างประมาณ 0.3 เมตร วางตัวในทิศทางเกือบ NW สายควอร์ตซ์เหล่านี้ส่วนใหญ่เนื้อแน่นละเอียด แต่ที่สถานี P18 พบว่ามีสายควอร์ตซ์ที่มีลักษณะแตกเปราะและเปลี่ยนลักษณะซึ่งพบว่ามีแร่ยูเรเนียมสีเขียวแทรกตามช่องว่างของสายควอร์ตซ์ที่แตกหัก (รูปที่ 2.9) สายควอร์ตซ์นี้มีทิศทางการวางตัว N37E 80-90SE สันนิษฐานว่าสายควอร์ตซ์ดังกล่าว แทรกขึ้นมาตามรอยแตกหินเนต

ในพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดบริเวณที่สองรอบสถานี B20 (รูปที่ 2.3) พบว่าสายควอร์ตซ์ส่วนใหญ่เป็นแบบสีขาวแบบนํ้านม เนื้อแน่นละเอียด วางตัวในแนว N40E-N60E (บริเวณใกล้สถานี B20) มีสายควอร์ตซ์ส่วนน้อยวางตัวในทิศทางเกือบเหนือใต้ สายควอร์ตซ์ส่วนใหญ่มีความกว้างประมาณ 10-30 เซนติเมตร และมีความยาวตั้งแต่ 15 เมตรถึงมากกว่า 175 เมตร



รูปที่ 2.9 สายควอร์ตซ์แตกหักให้ควอร์ตซ์ (QTZ) รูปเลนส์ และมีแร่ยูเรเนียมสีเขียว (เมตาเทอร์เบอร์ไนต์ และเทอร์เบอร์ไนต์) ตามลูกศรชี้ เข้ามาเกิดแทรกตามช่องว่างระหว่างควอร์ตซ์เลนส์

บทที่ 3

การวัดรังสีแกมมา

3.1 หลักการพื้นฐาน

โดยปกติปริมาณเล็กน้อยของธาตุกัมมันตรังสีมีอยู่เสมอ ในดิน ในหิน ในน้ำ และในอากาศ ธาตุเหล่านี้จะแผ่รังสีออกมาไม่ว่าจะเป็นรังสีอัลฟา รังสีเบต้า หรือรังสีแกมมา รวมเป็นกัมมันตภาพรังสีของสภาพแวดล้อมหรือค่าแบคกราวด์ของรังสี ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เป็นส่วนประกอบหลักของสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปมาจากธาตุที่สำคัญ 3 ชนิดได้แก่ โพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ดังนั้นรังสีในบริเวณใด ๆ จึงมีต้นกำเนิดมาจากธาตุ 3 ชนิดนี้เสมอ ในจำนวนรังสีทั้งสามชนิดที่แผ่ออกมาโดยธาตุกัมมันตรังสีใด ๆ รังสีแกมมาจะเป็นชนิดที่มีอำนาจทะลุผ่านสูงที่สุดคือสามารถเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปได้ระยะสองสามร้อยฟุตในอากาศสำหรับรังสีแกมมาพลังงาน 3 Mev ในขณะที่รังสีอัลฟาและเบต้าพลังงานเดียวกันจะเดินทางได้เพียงไม่กี่ เซนติเมตรเช่นเดียวกันในขณะที่รังสีอัลฟาและเบต้าก็อาจจะไม่สามารถเดินทางในดินหรือดินได้เลย รังสีแกมมาจะสามารถเดินทางในตัวกลางเช่นนี้ได้ แต่ก็ไม่เกินหนึ่งหรือสองฟุต (Telford et al., 1976) ดังนั้นในการสำรวจเพื่อหาแหล่งแร่กัมมันตรังสีจึงมักใช้การวัดรังสีแกมมาเป็นตัวชี้เข้าถึงบริเวณที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามถ้าหากในการสำรวจรู้เพียงว่าบริเวณใดมีรังสีแกมมาสูงกว่าค่าแบคกราวด์มาก การแปลความหมายก็ยังไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากว่ารังสีแกมมาที่สูงผิดปกตินั้นอาจเป็นผลมาจากธาตุโพแทสเซียม และ/หรือ ยูเรเนียม และ/หรือทอเรียมก็ได้ ในทางตรงกันข้ามหากสามารถทราบได้ว่ารังสีแกมมาที่สูงผิดปกตินั้นมีต้นกำเนิดมาจากธาตุใดการแปลความหมายจะทำได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งโดยทฤษฎีแล้วสามารถที่จะกระทำได้ ทั้งนี้โดยอาศัยหลักการดังนี้

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมในธรรมชาติจะให้รังสีแกมมาออกมาด้วยพลังงานต่าง ๆ กันมากมาย ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของไอโซโทปต้นกำเนิดในอนุกรมกัมมันตรังสีของธาตุแต่ละชนิด เมื่อนำเอาอัตราจำนวนนับ (count rate) ของรังสีแกมมา มาเขียนกราฟกับค่าพลังงานของรังสี จะได้สเปกตรัมที่แสดง characteristic peaks ต่าง ๆ อันเป็นตัวกำหนดชนิดของธาตุ สเปกตรัมนี้เรียกว่าแกมมาเรย์สเปกตรัม เมื่อเป็นเช่นนั้น อัตราจำนวนนับของรังสีแกมมาในช่วงพลังงานซึ่งเป็น characteristic peak ของธาตุกัมมันตรังสีใด ๆ จะเป็นสื่อให้ทราบถึงความเข้มข้นของธาตุนั้น

ในการวัดรังสีแกมมาเพื่อเป็นสื่อให้ทราบถึงธาตุกัมมันตรังสี ในบริเวณใด ๆ จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลาย ๆ ประการที่เกี่ยวข้องอันอาจมีผลต่อการแปลความหมาย ปัจจัยประการแรกคือเวลาที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมา เนื่องจากการแผ่กัมมันตภาพรังสีเป็นกระบวนการแบบสุ่ม (random process) ดังนั้นความถูกต้องของอัตราจำนวนนับ (count rate) รังสีแกมมาที่วัดได้สำหรับอัตราการแผ่กัมมันตภาพรังสีหนึ่ง ๆ จึงขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการวัด ยิ่งเวลาสั้นเท่าไรความน่าจะเป็นที่อัตราที่วัดได้คืออัตราจริงจะลดลง อย่างไรก็ตามในการสำรวจภาคสนามนี้มีข้อจำกัดในเรื่องเวลาที่ใช้เพื่อครอบคลุมพื้นที่หนึ่ง ๆ ผู้สำรวจจึงมักจะต้องประนีประนอมระหว่างความถูกต้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยปกติช่วงเวลาเก็บข้อมูล 10 วินาทีต่อการวัดแต่ละครั้งจะเป็นช่วงเวลานั้นที่สุดที่ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดี (Geometric, 1977) ปัจจัยประการที่สองที่ควรคำนึงถึงในการสำรวจรังสีแกมมาคือระยะสูงของหัววัดรังสีจากผิวดิน เพราะว่ายิ่งระดับของหัววัดอยู่สูงจากผิวดินเท่าไรรังสีที่เข้าสู่หัววัดก็จะมาจากพื้นดินในบริเวณกว้างขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะลดอิทธิพลของแหล่งกำเนิดรังสีเล็ก ๆ น้อย ๆ ใกล้ผิวดินลงไป หัววัดรังสีที่อยู่ในระดับเอวจะรับการแผ่รังสีจากพื้นที่วงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-20 เมตร รอบตำแหน่งหัววัด (McDermott, 1977)

นอกจากนั้นในการสำรวจรังสีแกมมาควรได้คำนึงถึงชนิดของหิน ความหนาของหน้าดิน และลักษณะภูมิประเทศในบริเวณสำรวจด้วย ทั้งนี้เพราะหินบางชนิดมีส่วนประกอบของเฟลด์สปาร์ และไมกาจึงมีปริมาณโพแทสเซียมสูง อันทำให้มีระดับกัมมันตภาพรังสีสูงตามไปด้วย และเพราะเหตุว่ารังสีแกมมาถูกดูดกลืนโดยหินหรือดินหนาเพียงหนึ่งหรือสองฟุตดังกล่าวไปแล้ว ดังนั้นหาก

บริเวณใดมีดินหรือหินทับถมอยู่หนาเกินกว่านี้จะไม่มีข้อมูลรังสีแกมมาจากแหล่งแร่กัมมันตรังสีที่ฝังอยู่ในระดับลึกดังกล่าวขึ้นมาถึงผิวดินได้เลย ไม่ว่าแหล่งแร่จะให้รังสีแกมมาออกมามากเท่าไรก็ตาม นอกเสียจากว่าดินที่ทับถมเกิดจากการผุพังสลายตัวของแหล่งแร่ดังกล่าว สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างรังสีแกมมาที่วัดได้กับลักษณะภูมิประเทศก็มีมากเช่นกัน ถ้าหากทำการวัดรังสีแกมมาในบริเวณใกล้หน้าผาจะทำให้ระดับกัมมันตภาพรังสีเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของแหล่งกำเนิดรังสีเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ในทางตรงกันข้ามระดับกัมมันตภาพรังสีจะลดลงเมื่อทำการวัดในบริเวณข้างหุบเหว บริเวณที่มีหน้าดินหนา บริเวณตะกอนลำนํ้า ทั้งนี้ยกเว้นกรณีที่มีหน้าดินหรือตะกอนลำนํ้าเป็นชนิดที่มีธาตุกัมมันตรังสีปนอยู่มาก

นอกจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นแล้ว ควรจะได้ระมัดระวังที่จะไม่นำเอาแหล่งกัมมันตรังสี เช่น test source หรือนาฬิกาหน้าปัดเรืองแสง (radium dial watch) ติดตัวไปด้วยขณะทำการตรวจวัดรังสีแกมมา เพราะจะรบกวนค่ารังสีที่แท้จริงของบริเวณสำรวจ

3.2 อุปกรณ์และการเก็บข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมา คือ Urtec UG-140 แกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์ (รูปที่ 3.1) เครื่องมือชนิดนี้สามารถวัดรังสีแกมมารวม (total count) ที่มีพลังงานตั้งแต่ 0.050 Mev หรือ ตั้งแต่ 0.50 Mev ขึ้นไป แล้วแต่จะเลือก นอกจากนั้นสามารถวัดรังสีแกมมาในช่วงพลังงาน 1.38-1.54 Mev (characteristic peak 1.46 Mev จาก K^{40}) ซึ่งถือเป็นรังสีจากธาตุโพแทสเซียม สามารถวัดรังสีในช่วงพลังงาน 1.65-1.86 Mev (characteristic peak 1.76 Mev จาก Bi^{214}) ซึ่งถือเป็นรังสีจากธาตุยูเรเนียม และสามารถวัดรังสีในช่วงพลังงาน 2.46-2.77 Mev (characteristic peak 2.62 Mev จาก Pb^{208}) ซึ่งถือเป็นรังสีจากธาตุทอเรียม อย่างไรก็ตาม เครื่องมือชนิดนี้ยังสามารถวัดรังสีแกมมาในสองช่วงพลังงานรวมกันในกรณีที่รังสีมาจากธาตุยูเรเนียมคือวัดรังสีแกมมาในช่วงพลังงาน 1.65-1.86 Mev รวมกับรังสีแกมมาในช่วงพลังงาน 1.05-1.19 Mev หัววัดรังสีของเครื่องมือชนิดนี้เป็นชนิด NaI ขนาด 148 ลูกบาศก์เซนติเมตร ช่วงเวลาวัดรังสีสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 1, 10, 100 และ 1000 วินาที



รูปที่ 3.1 Urtec UG-140 แกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์



รูปที่ 3.2 แสดงการวัดรังสีแกมมาโดยแกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์ณ สถานที่สำรวจต่าง ๆ

การสำรวจรังสีแกมมาในครั้งนี้ได้กำหนดสถานีตรวจวัดรังสีไว้สองบริเวณด้วยเหตุผลที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 บริเวณแรกอยู่ติดกับยอดตอยแปปอมักไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ 400x500 ตารางเมตร บริเวณที่สองอยู่ห่างจากยอดตอยแปปอมักมาทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 300x350 ตารางเมตร (รูปที่ 1.2) ในบริเวณแรกมีสถานีวัดรังสีแกมมาทั้งสิ้น 289 สถานี สถานีเหล่านี้ถูกกำหนดให้อยู่ในแถว ซึ่งมีทิศทางตามแนว NW-SE รวมทั้งสิ้น 17 แถว โดยแต่ละแถวยาว 400 เมตร และวางห่างกัน 25 เมตร สถานีวัดรังสีแกมมาในแต่ละแถวห่างกัน 25 เมตร แนว NW-SE นี้จะตั้งฉากโดยประมาณกับแนวสายคอออร์ตซ์ส่วนใหญ่รวมถึงแนวสายคอออร์ตซ์เล็ก ๆ ที่พบเทอร์เบอร์ไนต์ตรงบริเวณสถานี P18 ที่กล่าวถึงในบทที่ 1 การกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละสถานีนั้นใช้ระบบตัวอักษรบนตัวเลข โดยตัวอักษรแต่ละตัวแสดงถึงสถานีวัดรังสีแกมมาในแต่ละแถว สำหรับตัวเลขสามหลักแต่ละตัวคือแถวแต่ละแถว ตำแหน่งสถานี P18 จากการสำรวจเบื้องต้นในปี พ.ศ. 2531 ที่กล่าวถึงในบทที่ 1 นั้นในการสำรวจรังสีแกมมาครั้งนี้คือตำแหน่งสถานี M208 (รูปที่ 3.3-3.6)

สำหรับบริเวณที่สองมีสถานีวัดรังสีแกมมา 195 สถานี โดยมีทิศทาง ระยะห่างระหว่างแถว และระยะห่างระหว่างสถานีในแต่ละแถว เช่นเดียวกับบริเวณแรก ในบริเวณนี้ได้กำหนดแนวสำรวจไว้ทั้งสิ้น 15 แถว แต่ละแถวยาว 300 เมตร สำหรับตำแหน่งของสถานี B20 ที่กล่าวถึงในบทที่ 1 นั้น จะอยู่ห่างจากสถานี G303 ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือราว 5 เมตร (รูปที่ 3.7-3.10)

ในการวัดรังสีแกมมาที่แต่ละสถานีจะวัดรังสีรวม (total count) ตั้งแต่พลังงาน 0.50 Mev ขึ้นไป ซึ่งต่อไปนี้จะเขียนแทนด้วย TC นอกจากนั้นจะวัดรังสีแกมมาที่มาจากโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) โดยในการวัดรังสีไม่ว่าจะเป็น TC, K, U หรือ Th จะทำการวัดอย่างละสองครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยการวัดแต่ละครั้งจะใช้ช่วงเวลา 10 วินาที สำหรับระดับความสูงของหัววัดขณะทำการวัดรังสีแกมมาจะอยู่ในระดับเอวดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 การสำรวจรังสีแกมมาโดยสเปกโตรมิเตอร์ครั้งนี้ได้กระทำเมื่อวันที่ 5-6 มกราคม 2534 สำหรับในบริเวณแรก และเมื่อวันที่ 19-20 มกราคม 2534 สำหรับบริเวณที่สอง

3.3 ผลการวัดรังสีแกมมา และการแปลความหมาย

ผลการวัดรังสีแกมมาทั้งสองบริเวณได้แสดงไว้ในภาคผนวกที่ 1 และภาคผนวกที่ 2 และถูกนำมาเขียนเป็นเส้นคอนทัวร์ดังปรากฏในรูปที่ 3.3-3.10 ตารางที่ 3.1 และ 3.2 แสดงค่าแบคกราวด์ (background) และเทรชโฮลด์ (threshold) ของรังสีจาก TC, K, U และ Th ของทั้งสองบริเวณ ทั้งนี้การกำหนดค่าแบคกราวด์ และเทรชโฮลด์อาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่าแบคกราวด์คือค่า 50 เปอร์เซ็นต์โวลต์ ขณะที่เทรชโฮลด์คือค่าสูงสุด 2.5 เปอร์เซ็นต์โวลต์ (Reedman, 1979) ค่าที่สูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ถือเป็นค่าผิดปกติ (anomalous)

ตารางที่ 3.1 ค่าแบคกราวด์และเทรชโฮลด์ของรังสีแกมมาจาก TC, K, U และ Th ในบริเวณแรกติดกับยอดดอยแปเป้อมัก

	รังสีรวม (TC)	รังสีจากโพแทสเซียม (K)	รังสีจากยูเรเนียม (U)	รังสีจากทอเรียม (Th)
แบคกราวด์	85 CPS	6.6 CPS	2.3 CPS	1.4 CPS
เทรชโฮลด์	125 CPS	10.2 CPS	4.0 CPS	2.7 CPS

ตารางที่ 3.2 ค่าแบคกราวด์และเทรสโฮลด์ของรังสีแกมมาจาก TC, K, U และ Th
ในบริเวณที่สองห่างจากยอดตอยแบบมักมาจากตะวันตกราว 1 กิโลเมตร

	รังสีรวม (TC)	รังสีจากโพแทสเซียม (K)	รังสีจากยูเรเนียม (U)	รังสีจากทอเรียม (Th)
แบคกราวด์	75 CPS	5.8 CPS	2.0 CPS	0.9 CPS
เทรสโฮลด์	105 CPS	8.5 CPS	3.3 CPS	1.6 CPS

ในการพิจารณาว่าบริเวณใดมีค่ารังสีสูงผิดปกติหรือไม่นั้นจะเริ่มต้นพิจารณาจากค่ารังสี TC เพราะถือว่ารังสี TC น่าจะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเนื่องจากมีจำนวนนับต่อวินาที (CPS) สูง ดังนั้นความแตกต่างของอัตราจำนวนนับต่อวินาทีหรือ CPS ที่อ่านได้จากเครื่องมือกับค่า CPS จริงจึงน่าจะน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ CPS ที่อ่านได้จาก K, U และ Th ด้วยเหตุผลที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.1 จากการพิจารณารูปที่ 3.3 จะเห็นว่าค่า TC สูงผิดปกติในพื้นที่สำรวจบริเวณแรกจะอยู่ที่สถานี M208, E209 และ F215 โดยมีค่าเป็น 358 CPS, 126 CPS และ 128 CPS ตามลำดับ เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณารูปที่ 3.7 ค่า TC สูงผิดปกติในพื้นที่สำรวจบริเวณที่สองจะอยู่ที่สถานี J300 และ B20 โดยมีค่าเป็น 105 CPS และ 124 CPS ตามลำดับ

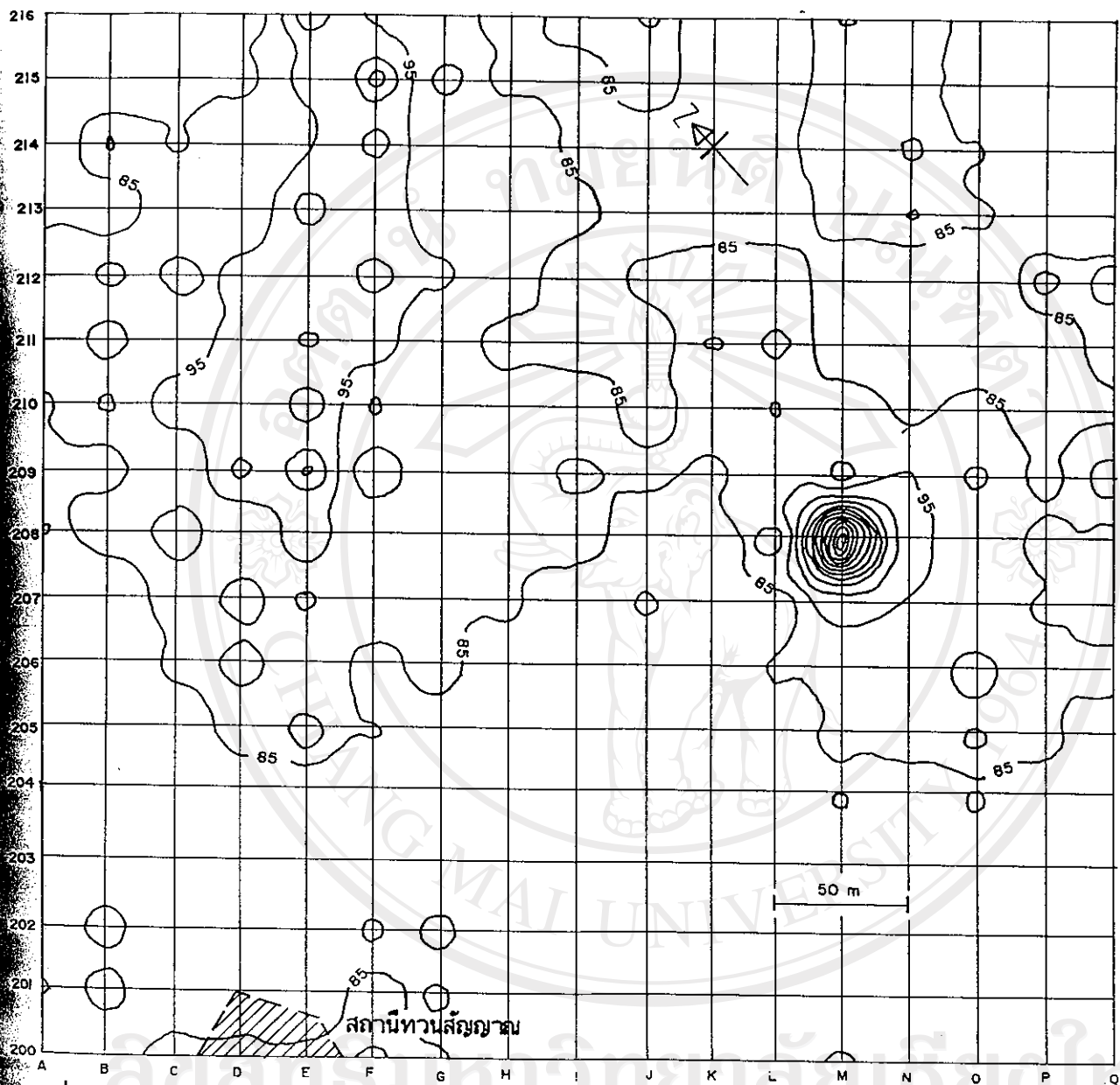
หากพิจารณาในพื้นที่สำรวจบริเวณแรก พบว่ามีเพียงสถานี M208 เท่านั้นที่ให้ค่าสูงผิดปกติอย่างเด่นชัด คือ มีค่า TC ประมาณ 4 เท่าของค่าแบคกราวด์ ส่วนที่สถานี E209 และ F215 นั้นมีค่าสูงผิดปกติเพียงเล็กน้อยคือประมาณ 1.5 เท่าของค่าแบคกราวด์ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า

K, U และ Th ของสถานี E209 และ F215 ก็ปรากฏว่าทุกค่าสูงกว่าค่าแบคกราวด์มาก คือ $K = 8.9$ CPS, $U = 3.4$ CPS และ $Th = 2.3$ CPS สำหรับสถานี E209 และ $K = 9.5$ CPS, $U = 3.0$ CPS และ $Th = 2.4$ CPS สำหรับสถานี F215 นั้นย่อมแสดงอย่างแน่ชัดว่าค่าสูงผิดปกตินี้เกิดจากหินแกรนิตที่โผล่ (outcrop) ขึ้นมาเหนือผิวดินอย่างมากภายในบริเวณดังกล่าว (รูปที่ 2.2 และรูปที่ 3.11) หากใช้ค่าสูงผิดปกติอันเกิดจากหินแร่ยูเรเนียมแต่อย่างใดไม่ ทั้งนี้ อาจยืนยันได้จากการเปรียบเทียบระหว่างแผนที่แสดงหินโผล่ในรูปที่ 2.2 กับคอนทัวร์รังสีแกมมาของ TC, K, U และ Th ในรูปที่ 3.3-3.6 ซึ่งค่าคอนทัวร์ที่สูงกว่าค่าแบคกราวด์จะสอดคล้องอย่างดีกับบริเวณหินโผล่ สำหรับที่สถานี M208 นั้นขณะที่ทำการวัดรังสีแกมมาหน้าดินที่ปกคลุมสายควอร์ตซ์ในบริเวณนั้นได้ถูกขุดขึ้นมาแล้ว ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงอาจสูงกว่าการวัดในกรณีที่มีหน้าดินปกคลุมอยู่ อย่างไรก็ตามหากดูจากค่ารังสีของ K, U และ Th ที่สถานี M208 ก็พบว่า U มีค่าสูงมากถึง 6.4 เท่าของค่าแบคกราวด์ ขณะที่ K มีค่าเป็น 3.1 เท่าของค่าแบคกราวด์ โดยที่ Th มีค่าใกล้เคียงกับค่าแบคกราวด์ นั่นก็เป็นสิ่งยืนยันชัดเจนว่าบริเวณนี้มีหินแร่ยูเรเนียมอยู่แน่นอน

ในขั้นที่สำรวจบริเวณที่สองพบว่าที่สถานี B20 รังสี TC มีค่าสูงผิดปกติไปบ้างคือมีค่าประมาณ 1.6 เท่า ของค่าแบคกราวด์ในขณะที่สถานี J300 มีค่า TC เท่ากับค่าเทรสโฮลด์พอดีคือประมาณ 1.4 เท่าของค่าแบคกราวด์ อย่างไรก็ตามสถานี J300 นี้แทรกอยู่ระหว่างก้อนหินแกรนิตขนาดใหญ่ทั้งสองด้าน ดังนั้นจึงคาดการณ์ได้ว่ารังสีที่มาจาก K, U และ Th อันเป็นส่วนประกอบในหินแกรนิต น่าจะมีค่าสูงทุกตัว ณ สถานีนี้ อันทำให้ค่า TC สูงตามไปด้วย ซึ่งหากพิจารณาค่ารังสีจาก K, U และ Th ก็เป็นจริงดังคาดคือมีค่า $K = 7.6$ CPS, $U = 3.2$ CPS และ $Th = 1.3$ CPS ซึ่งสูงกว่าค่าแบคกราวด์มาก ดังนั้นค่า TC = 105 CPS ที่ตำแหน่งนี้จึงไม่น่าจะบ่งชี้ถึงแหล่งแร่ยูเรเนียมแต่อย่างใดและหากเปรียบเทียบแผนที่แสดงหินโผล่ (รูปที่ 2.3) กับแผนที่คอนทัวร์รังสีแกมมาของ TC, K, U และ Th (รูปที่ 3.7-3.10) ก็จะเห็นว่าค่าคอนทัวร์ที่สูงกว่าค่าแบคกราวด์สอดคล้องกับบริเวณหินโผล่ สำหรับสถานี B20 นั้น ดูเหมือนว่าค่า TC ที่สูงผิดปกติเป็นผลมาจากธาตุยูเรเนียมในบริเวณนั้นเป็นส่วนใหญ่โดยมีรังสีจากโพแทสเซียมเป็นส่วนเสริม ทั้งนี้โดยสังเกตจากค่ารังสี U และ K เทียบกับค่าแบคกราวด์ ($U = 5.2$ CPS, $K = 8.9$ CPS ในเมื่อแบคกราวด์ของ U และ K คือ 2.0 CPS และ 5.8 CPS ตามลำดับ) ในบริเวณนี้ ไม่ปรากฏความผิดปกติใด ๆ ในธาตุทอเรียม คือมีค่ารังสี Th ใกล้เคียงกับค่าแบคกราวด์

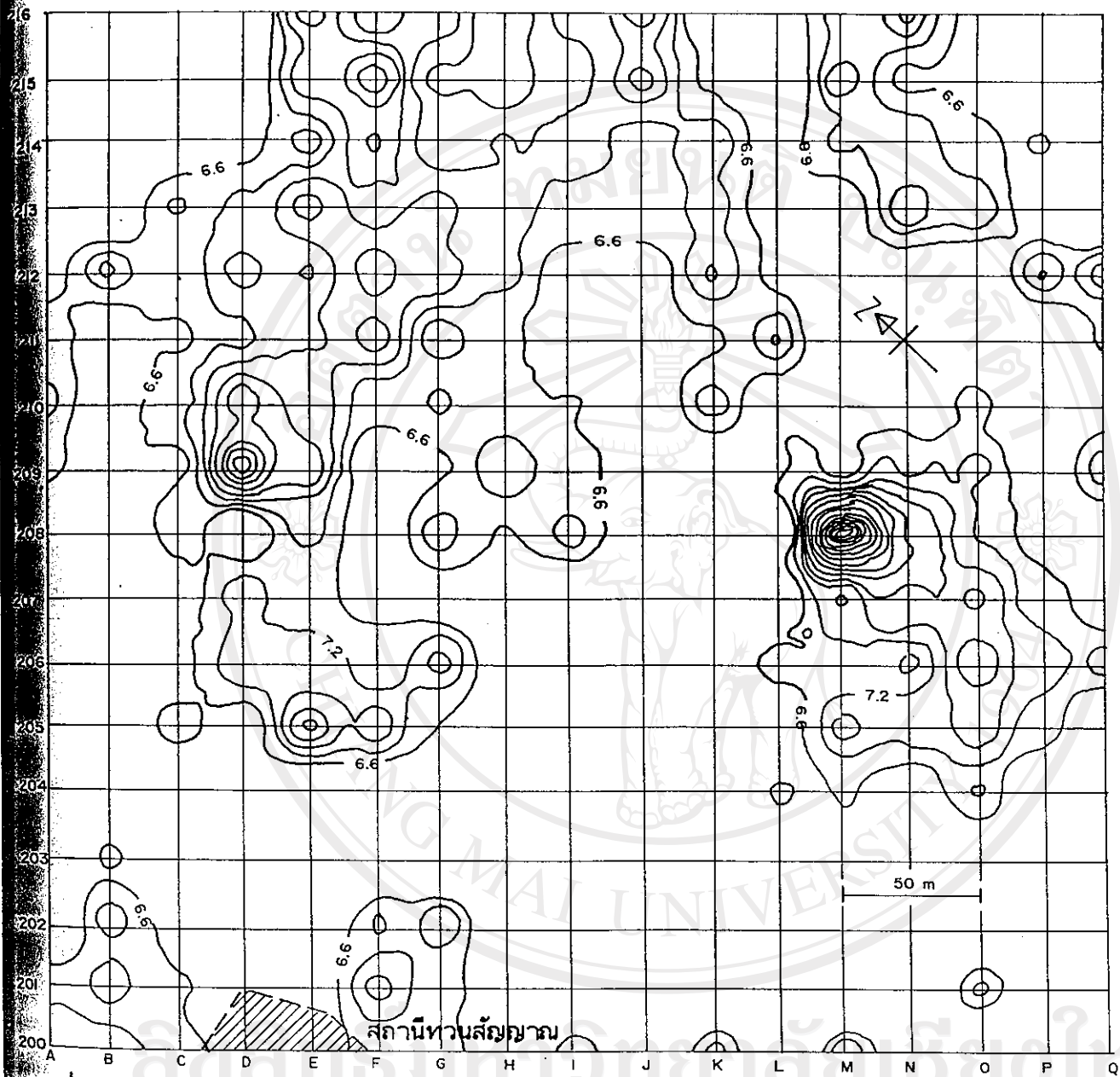
สำหรับสถานีที่มีค่าผิดปกติเล็กน้อยของ K หรือ U หรือ Th โดยไม่แสดงค่าผิดปกติของ TC นั้น คาดว่าเกิดจากการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบของธาตุเหล่านี้ในหินหรือหน้าดินในบริเวณสถานีสำรวจหรืออาจเป็นเพราะค่ารังสีที่นับได้แต่ละครั้งที่สถานีเดียวกัน โดยเกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์ให้ค่าแตกต่างกันมากในช่วงเวลาของการวัดที่กำหนดไว้ 10 วินาที โดยเฉพาะกรณีที่มีค่า CPS ต่ำมาก เช่น กรณีค่า Th ทั้งนี้ยังเป็นผลเนื่องมาจากการกระบวนการแผ่รังสีตามธรรมชาติเป็นแบบสุ่ม ค่าผิดปกติเล็กน้อยเหล่านี้ไม่น่าจะบ่งชี้ถึงแหล่งแร่แต่อย่างใด

โดยสรุปแล้วมีเพียงสถานี M208 เท่านั้น ที่ผลการสำรวจรังสีเกมมาโดยสเปกโตรมิเตอร์ได้บ่งชี้ชัดเจนว่ามีสินแร่ยูเรเนียมอยู่ในบริเวณดังกล่าว สำหรับสถานี B20 นั้นค่ารังสีเกมมาจาก U ก็มีจำนวนสูงพอที่จะเป็นเหตุผลให้ติดตามศึกษาบริเวณนี้ ร่วมกับข้อมูลด้านอื่น ๆ ต่อไป เป็นที่น่าสังเกตว่าสถานีที่แสดงค่ารังสีจาก U สูงทั้งสองสถานีนี้อาจจะแสดงค่ารังสีจาก K สูงตามไปด้วย ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามพื้นที่บริเวณสถานี B20 เป็นบริเวณที่ชาวบ้านได้ขุดทำเป็นหลุมเผาถ่านดังนั้นการอธิบายค่ารังสีที่ได้ควรจะต้องเอาปัจจัยนี้มาพิจารณาไปด้วย



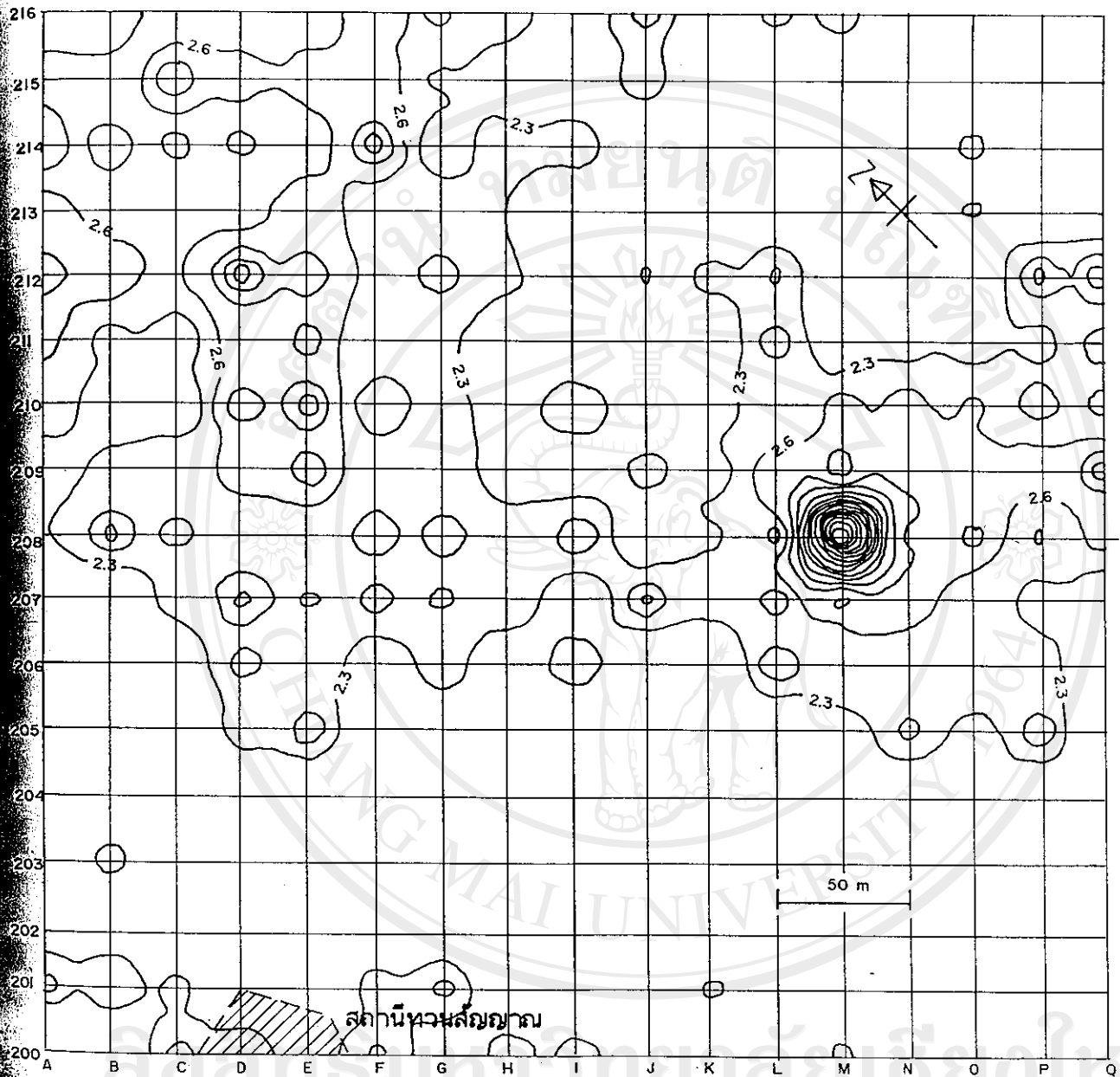
รูปที่ 3.3 คอนทัวร์รังสีแกมมาของ TC ในหน่วย CPS ในบริเวณแรกติดกับสถานีทวนสัญญาณ

บนยอดดอยแปปอมัก



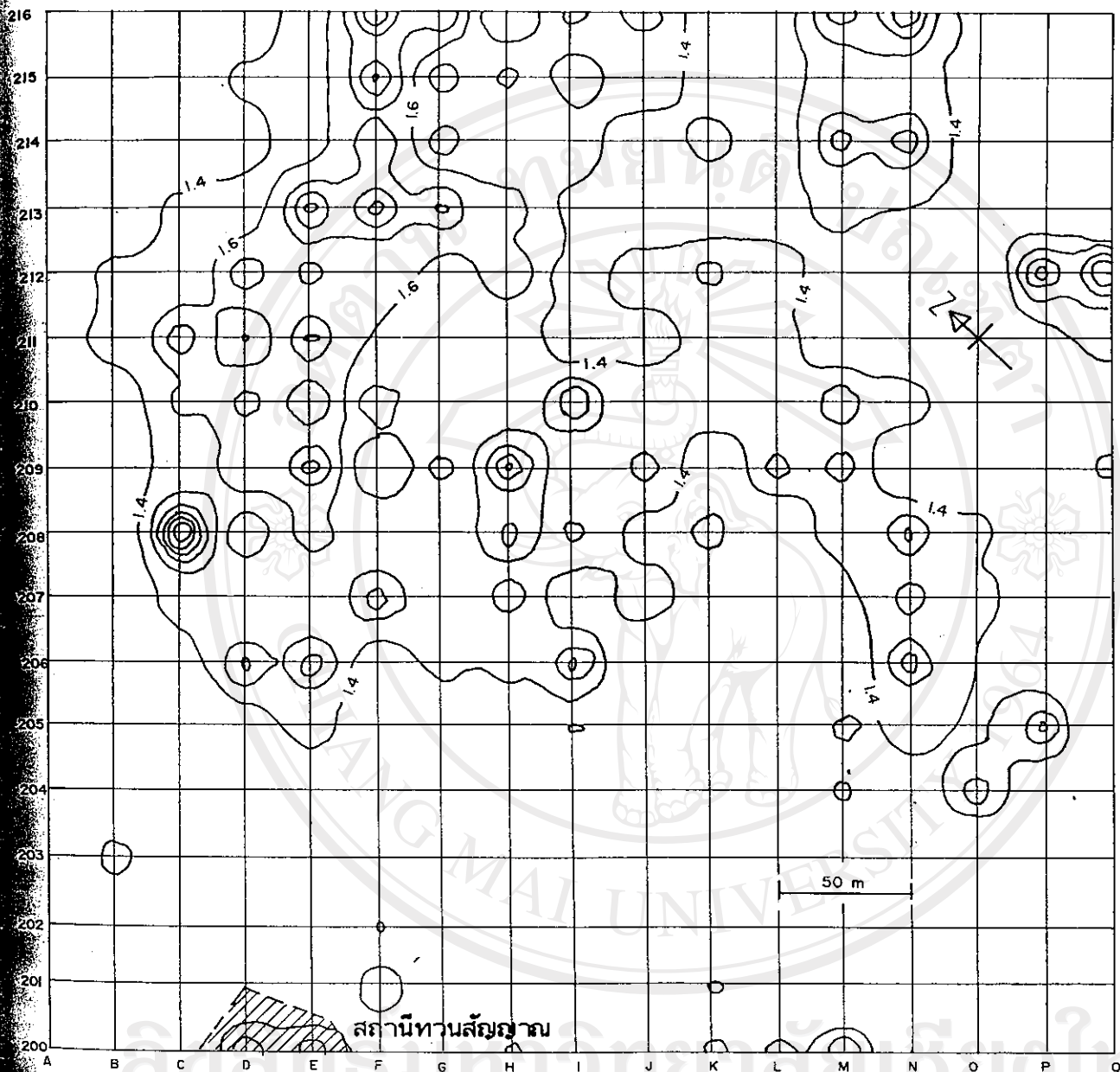
รูปที่ 3.4 คอนทัวร์ริงสีแกมมาของ K ในหน่วย CPS ในบริเวณแรกติดกับสถานีทวนสัญญาณ

บนยอดดอยแปปอมัก

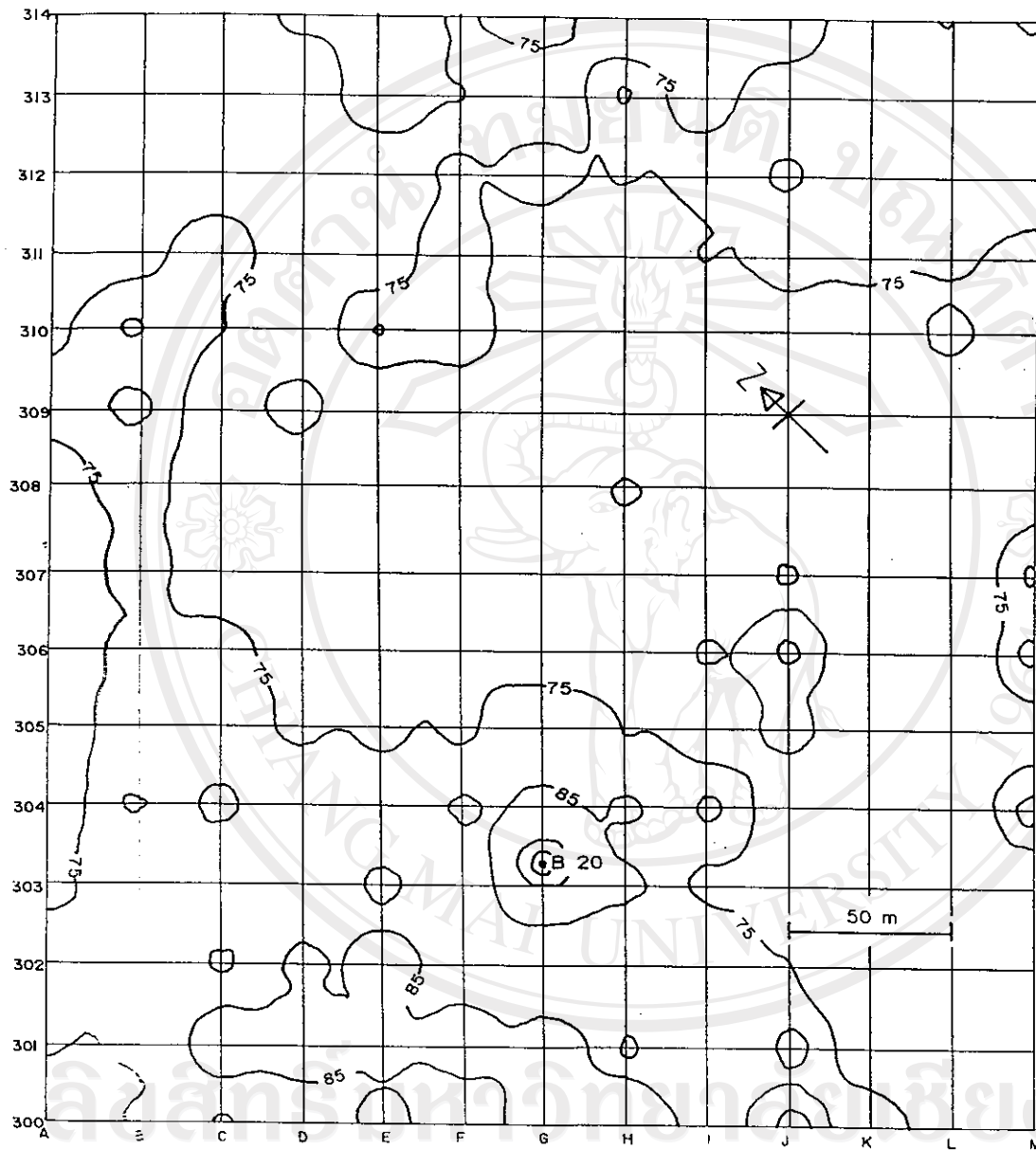


รูปที่ 3.5 คอนทัวร์รังสีแกมมาของ B ในหน่วย CPS ในบริเวณแรกติดกับสถานีทวนสัญญาณ

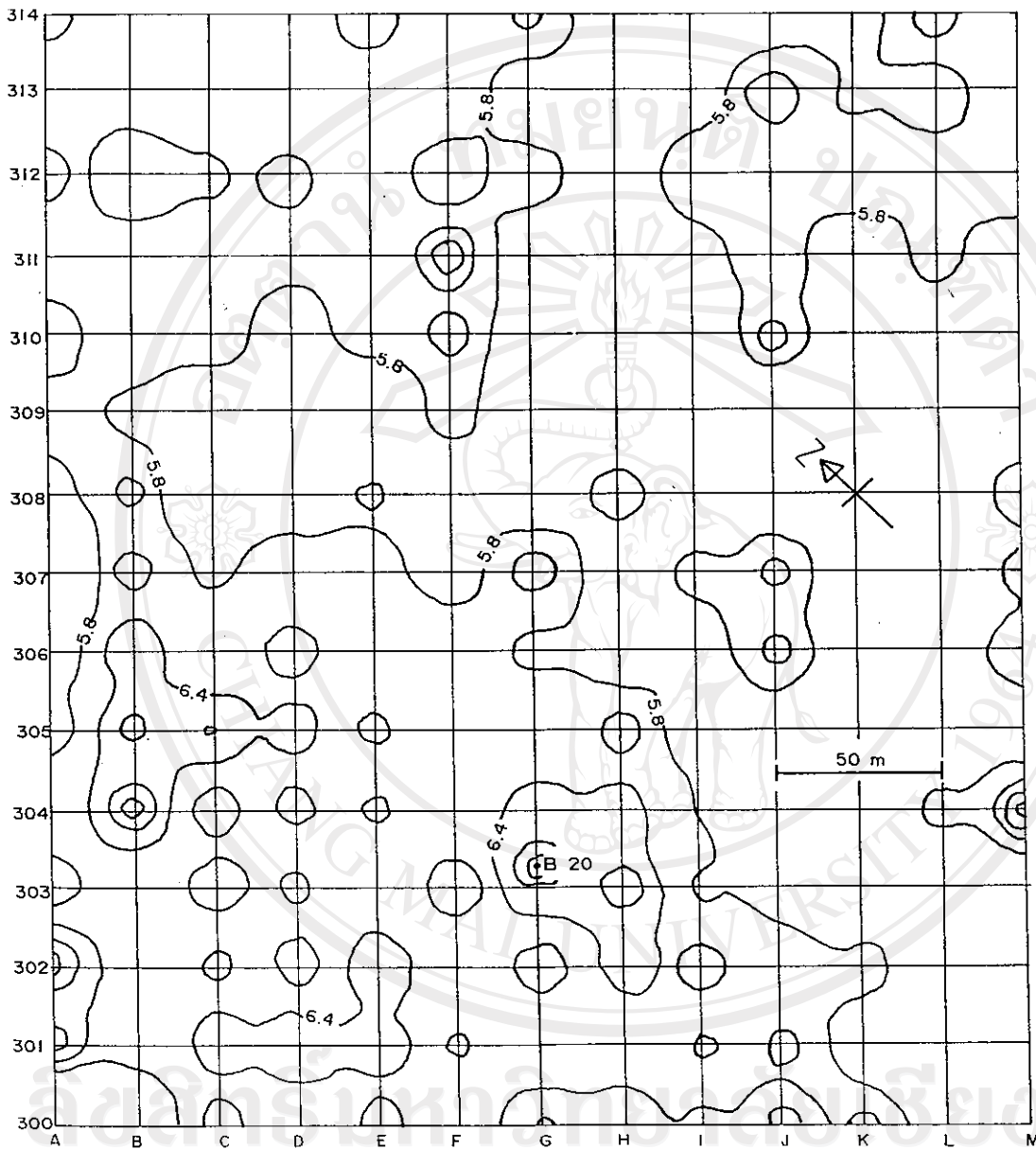
บนยอดดอยแปปอแม็ก



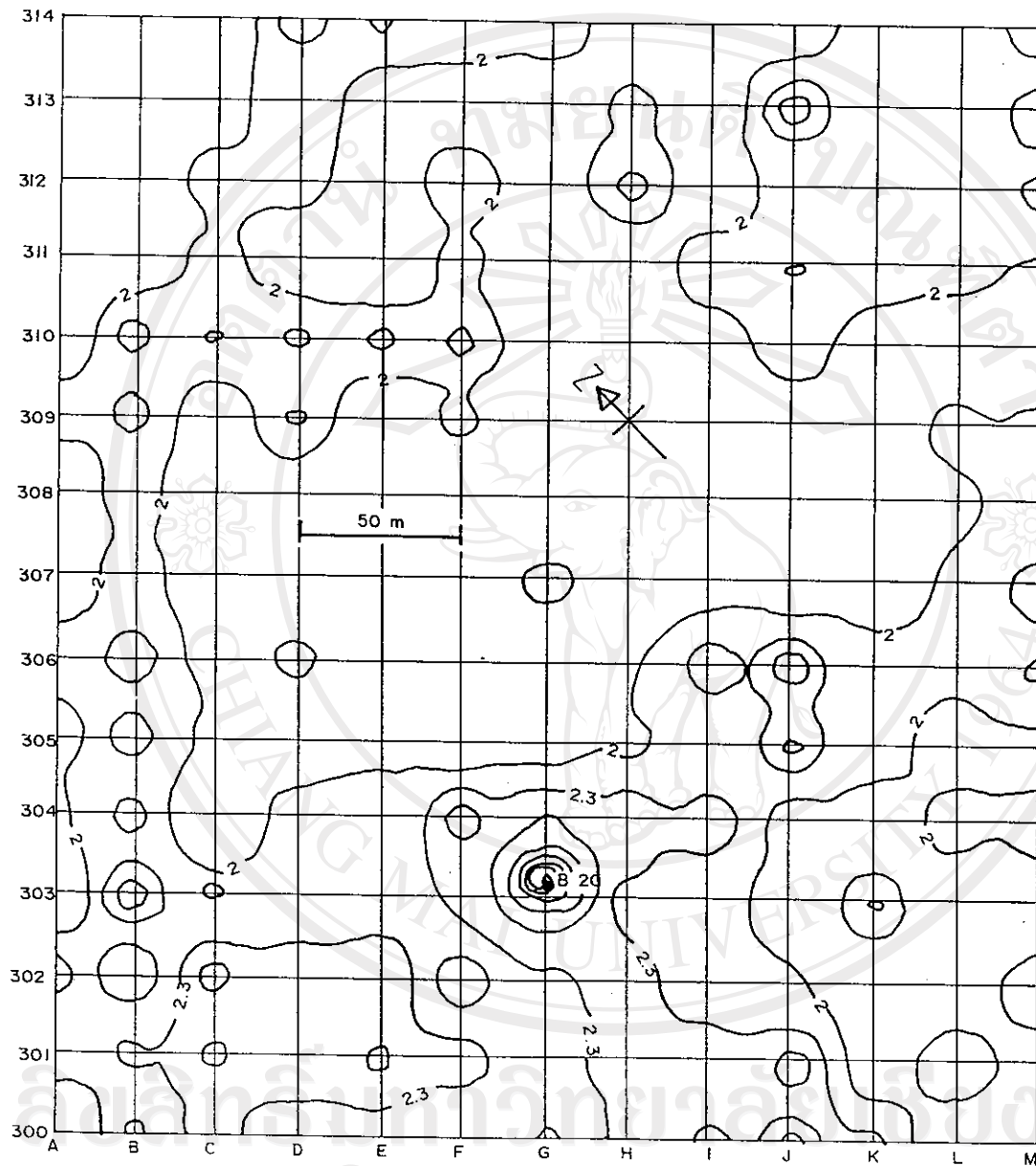
รูปที่ 3.6 คอนทัวร์รังสีเกมมาของ Th ในหน่วย CPS ในบริเวณแรกติดกับสถานีสัญญาณ
บนยอดดอยแปปอวก



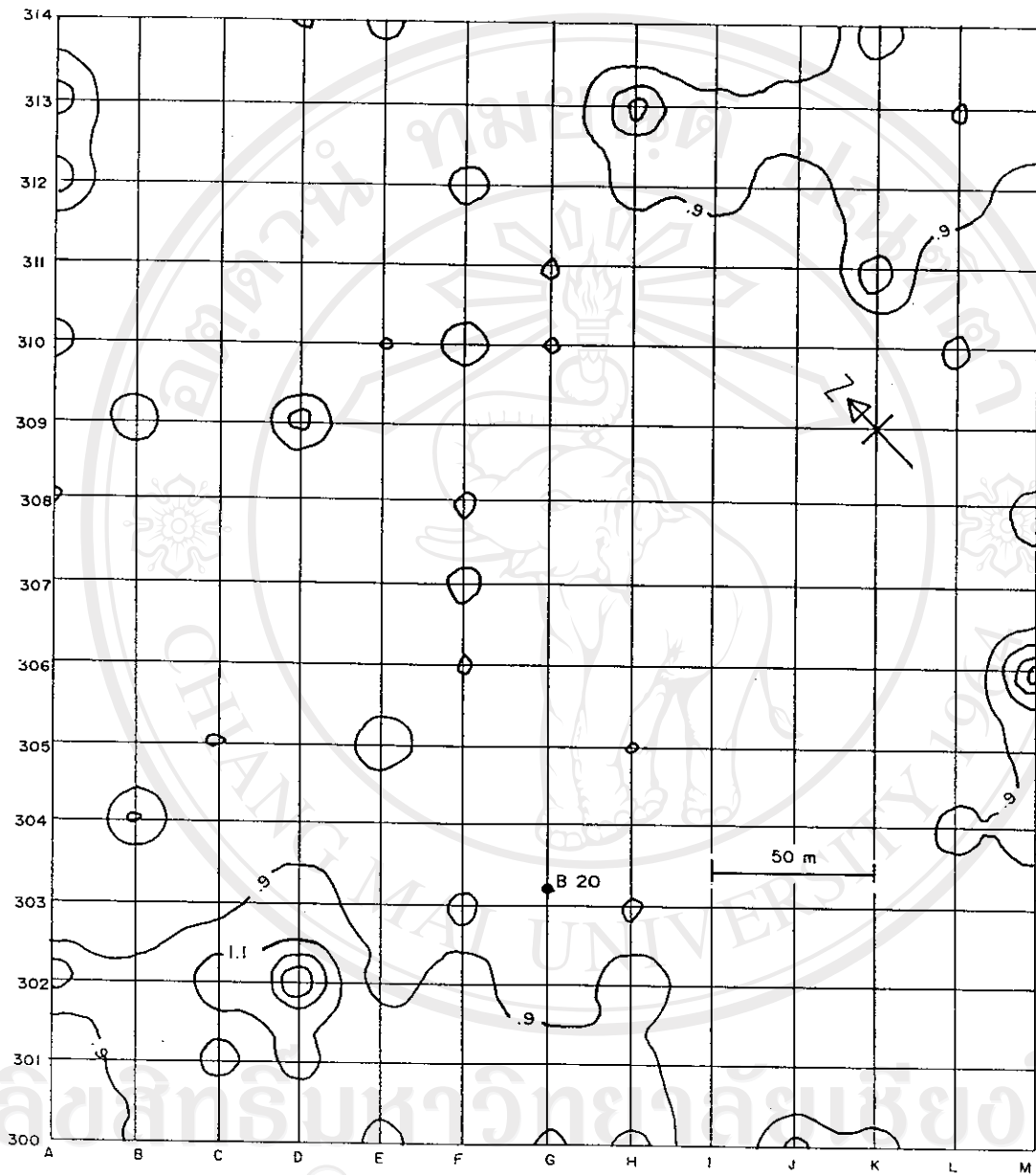
รูปที่ 3.7 คอนทัวร์รังสีแกมมาของ TC ในหน่วย CPS บริเวณที่สองห่างจากยอดดอยแปปอมัก
ไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร



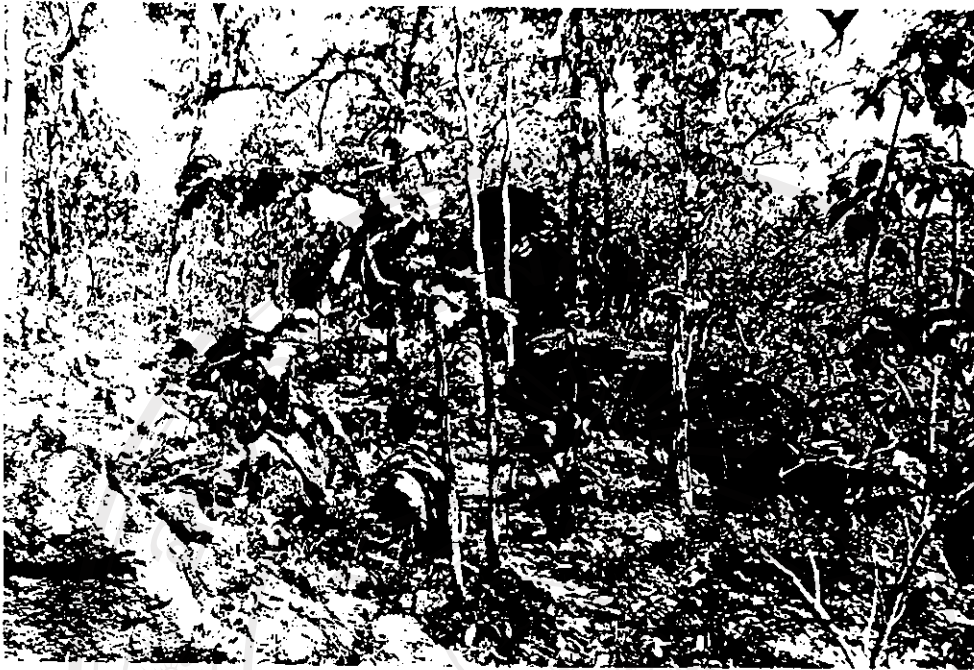
รูปที่ 3.8 คอนทัวร์รังสีแกมมาของ K ในหน่วย CPS บริเวณที่สองห่างจากยอดดอยแปดหมาก
ไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร



รูปที่ 3.9 คอนทัวร์รังสีแกมมาของ U ในหน่วย CPS บริเวณที่สองห่างจากยอดดอยแปเปอแม็ก
ไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร



รูปที่ 3.10 คอนทัวร์รังสีแกมมาของ Th ในหน่วย CPS บริเวณที่สองห่างจากยอดดอยแปเปอแม็ก
ไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 (ก และ ข) แสดงหินแกรนิตที่โผล่เหนือผิวดิน เช่น ที่ปรากฏในบริเวณสถานี E209
สถานี F215 และสถานีอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง

การวัดเรดอนใต้ผิวดิน

4.1 หลักการพื้นฐาน

ธาตุเรดอน (${}^{222}\text{Rn}$) กำเนิดจากธาตุเรเดียม (${}^{226}\text{Ra}$) ซึ่งอยู่ในอนุกรมการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม (${}^{238}\text{U}$) ธาตุเรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสีมีครึ่งชีวิต 3.8 วัน ในเมื่อเป็นก๊าซและมีอายุยาวเพียงพอจึงสามารถเดินทางจากธาตุเรเดียมต้นกำเนิดไปเป็นระยะทางไกล ๆ เมื่อเรดอนไปถึงบริเวณใดก็จะแผ่รังสีอัลฟาซึ่งมีพลังงานประมาณ 5.5 Mev ออกมา ดังนั้นการสำรวจเรดอนใต้ผิวดิน หรือพูดอีกนัยหนึ่งว่าการสำรวจรังสีอัลฟาจากเรดอน จะทำให้ได้ข้อมูลแหล่งแร่ยูเรเนียมในระดับลึก ซึ่งปกติไม่ปรากฏให้ทราบจากการสำรวจเรดิโอเมตริกโดยการวัดรังสีแกมมา ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไปรังสีแกมมาที่วัดได้บนผิวดินจะมาจากต้นกำเนิดที่ฝังอยู่ในระดับลึกไม่เกินประมาณ 30-60 เซนติเมตร หากลึกเกินกว่านั้นรังสีแกมมาจะถูกบดบังไม่สามารถขึ้นมาถึงหัววัดรังสีได้ ผิดกับเรดอนซึ่งอาจเดินทางจากแหล่งกำเนิดขึ้นมาเป็นระยะถึง 10 เมตร หากบริเวณนั้นเป็นดินแห้ง (Bailey and Childers, 1977) นอกจากนี้ยังมีรายงานที่ว่าแหล่งแร่ยูเรเนียมที่อยู่ลึกถึง 100 เมตร สามารถให้ค่าสูงผิดปกติของเรดอนบนผิวดินได้ (Gingrich and Lovett, 1972) อย่างไรก็ตามการค้นพบแหล่งแร่ยูเรเนียมในระดับลึกเช่นนี้โดยการวัดเรดอนใต้ผิวดินก็มีอยู่เพียงบางกรณีเท่านั้น ยังมีอีกหลายกรณีที่แหล่งแร่ยูเรเนียมเกรดสูงไม่สามารถตรวจพบได้โดยวิธีการดังกล่าว แม้ว่าจะอยู่ตื้นกว่า 100 เมตรก็ตาม (Bailey and Childers, 1977)

การเดินทางของเรดอนใต้ดินเป็นไปได้สองลักษณะคือ การแพร่กระจาย (diffusion) และการไหลตามของไหล (fluid flow) (Tanner, 1964, 1980; Malmqvist, et al., 1989) การแพร่กระจายขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญเช่น ความพรุน และความชื้นในดิน โดยปกติแล้วระยะ

การแพร่กระจายของเรดอนจากต้นกำเนิดที่อยู่ในทรายแห้ง จะอยู่ในราว 1 เมตร ในขณะที่การแพร่กระจายจะสั้นเพียงไม่กี่เซนติเมตรในดินเหนียวชุ่มน้ำ สำหรับการเคลื่อนที่ของเรดอนอีกลักษณะอาศัยการพาโดยของไหลอื่นได้แก่อากาศและน้ำใต้ดิน ซึ่งระยะการเดินทางของเรดอนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการไหลของของไหลดังกล่าว สาเหตุสำคัญที่ก๊าซใต้ดินไหลขึ้นมาสู่ผิวดินอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่ระดับลึกต่าง ๆ กันเหนือระดับน้ำใต้ดิน (Magro-Campero and Fleischer, 1977) ซึ่งจะทำให้ก๊าซเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า และมีความกดดันน้อยกว่า สำหรับส่วนที่อยู่ลึกกว่าระดับน้ำใต้ดินนั้น คาดว่าเรดอนเคลื่อนที่โดยการพาของฟองก๊าซที่ไหลขึ้นสู่เบื้องบน (Somogyi and Lenart, 1986)

ในการวัดเรดอนมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ เรดอนในดินนอกจากจะขึ้นกับความชื้นชั้นของธาตุเรเดียมในบริเวณนั้นแล้วยังขึ้นกับอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นในดิน อย่างไรก็ตามปัจจัยอันเนื่องมาจากอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการวัดเรดอนเพื่อการสำรวจแหล่งแร่ Stranden et al. (1984) พบว่าดินที่มาจากหินดินดานและความชื้น 13 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการปลดปล่อยเรดอนเพิ่มขึ้น 24 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 22 °C ไปเป็น 50 °C ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศ Stranden et al. (1979) รายงานว่าการลดลงของความดันบรรยากาศ 1 มิลลิเมตรของปรอทใน 1 วัน จะทำให้ความชื้นชั้นของเรดอนในห้องที่ปิดมิดชิดเพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ในทางตรงกันข้ามการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินจะมีผลต่อความชื้นชั้นของเรดอนได้ผิวดินเป็นอย่างมาก Luetzel-schwab et al. (1989) รายงานว่าการปลดปล่อยเรดอนจากตัวอย่างดินที่มาจากหินแกรนิต หินทราย หินปูน และหินดินดานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณน้ำในตัวอย่างเพิ่มจากศูนย์ถึง 4-6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความชื้นในดินสูงขึ้นกว่านี้การปลดปล่อยเรดอนดูเหมือนจะมีอัตราค่อนข้างคงที่โดยมีค่าอยู่ในราว 4-15 เท่าของตัวอย่างที่แห้ง ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของตัวอย่าง แต่เมื่อปริมาณน้ำในตัวอย่างมีมากจนทำให้เป็นโคลนการปลดปล่อยเรดอนจะลดลงมาก

ด้วยเหตุว่าความชื้นมีผลมากต่ออัตราการปลดปล่อยเรดอนในดิน ดังนั้นในกรณีที่ดินชุ่มน้ำด้วยน้ำและโดยเฉพาะในกรณีที่น้ำกำลังซึมผ่านจากผิวดินลงไปได้ดิน เรดอนใต้ผิวดินจะมีความชื้นต่ำแม้จะมีแหล่งแร่ยูเรเนียมฝังอยู่ไม่ลึกนักในบริเวณนั้นก็ตาม ผิดกับในกรณีที่ความชื้นในดินมี

พอเหมาะ และพื้นดินในบริเวณนั้นกำลังคายความชื้นให้แก่บรรยากาศ ซึ่งในกรณีเช่นนี้ความชื้นชั้นของเรดอนใต้ผิวดินจะเป็นตัวชี้หน้าที่ดีถึงแหล่งแร่ที่อยู่ในระดับลึก ดังนั้นการสำรวจเรดอนจึงควรทำในฤดูกาลที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นั้น ๆ

4.2 วิธีการวัดเรดอนใต้ผิวดิน

วิธีวัดเรดอนใต้ผิวดินอาจจำแนกได้เป็นสองวิธี วิธีแรกอาศัยฟิล์มที่ไวต่อรังสีอัลฟา เช่น ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท (cellulose nitrate film) หรือฟิล์มโพลีคาร์บอเนต (polycarbonate film) เป็นตัววัดรังสี จำนวนรอยที่เกิดในแผ่นฟิล์มเนื่องจากรังสีอัลฟาจะสัมพันธ์กับปริมาณเรดอนในบริเวณดังกล่าว ส่วนวิธีที่สองใช้หัววัดรังสีอัลฟา เช่น หัววัดซิลเวอร์แอคทิเวตเซดซัลไฟด์ (silver-activated zinc sulphide detector) หรือหัววัดแบบชอตกี แบเรียร์ (Schottky barrier junction detector) เพื่อวัดรังสีอัลฟาซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณเรดอน

ในวิธีแรกรังสีหรืออนุภาคอัลฟาที่ตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์ม จะก่อให้เกิดรอยอันเนื่องมาจากโครงสร้างของฟิล์มถูกทำลายตามแนวทางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน แต่รอยนี้มีขนาดเล็กมากไม่สามารถเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการขยายรอยดังกล่าวด้วยสารละลายเคมีบางชนิด แล้วจึงนับรอยเหล่านั้นภายใต้กล้องจุลทรรศน์หรือโดยเครื่องนับรอยอัตโนมัติ ความหนาแน่นของรอยต่อหน่วยพื้นที่จะแสดงถึงปริมาณรังสีอัลฟาในบริเวณดังกล่าว สำหรับวิธีสองนั้น รังสีอัลฟาแต่ละตัวที่เข้าสู่หัววัดจะก่อให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณและวงจรนับสัญญาณตามลำดับ ดังนั้นเครื่องมือชนิดนี้จึงให้ค่าที่อ่านได้เป็นจำนวนนับต่อหน่วยเวลา

ในการสำรวจครั้งนี้ ได้ใช้วิธีแรกเป็นหลักในการวัดเรดอนใต้ผิวดินทั้งนี้เนื่องจากว่ามีอุปกรณ์ในการสำรวจพร้อม นอกจากนั้นการวัดเรดอนโดยวิธีแรกจำเป็นต้องทิ้งแผ่นฟิล์มไว้ใต้ผิวดินเป็นเวลานานประมาณสองอาทิตย์ ซึ่งทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยครอบคลุมระยะเวลาานพอจนเชื่อว่าค่าเหล่านั้นจะไม่ถูกรบกวนมากนักจากการเปลี่ยนแปลงของความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และลม สำหรับวิธีที่สองได้ใช้ในการตรวจสอบชั้นรายละเอียดในพื้นที่แคบ ๆ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ยืมมาจากหน่วยงานอื่น ไม่สะดวกที่จะนำมาใช้เป็นระยะเวลานาน ๆ ได้

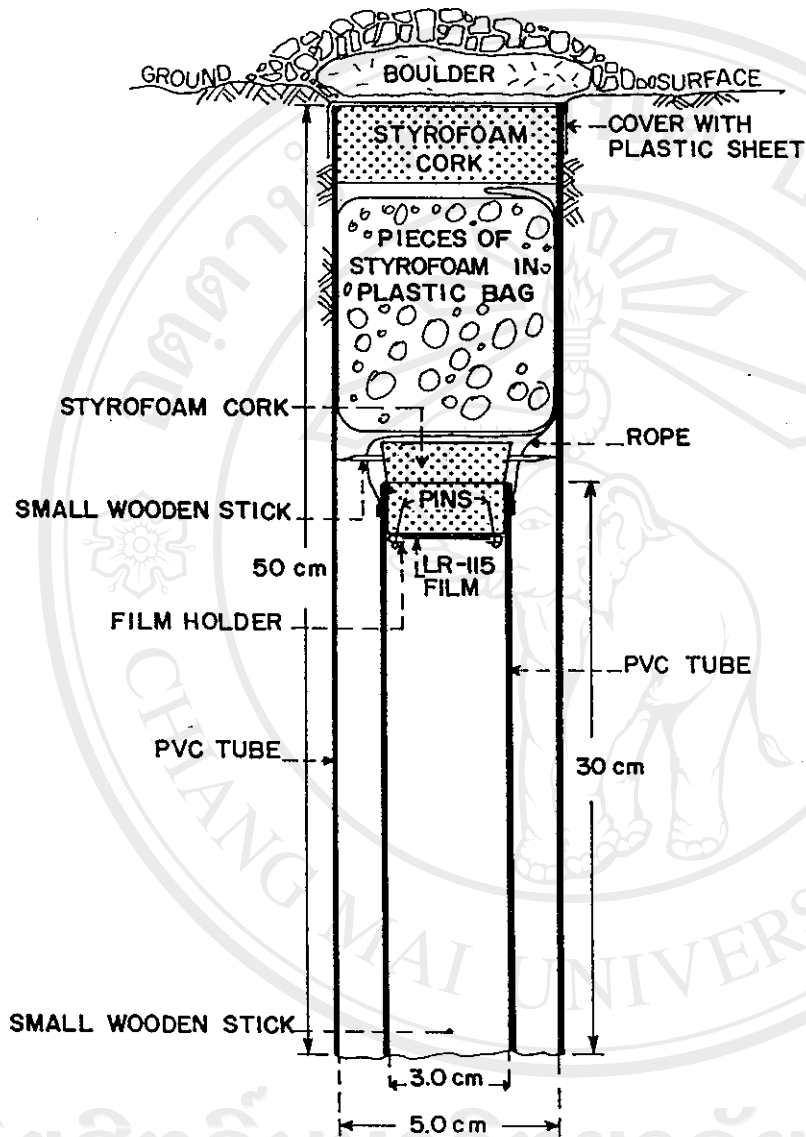
4.3 การวัดเรดอนโดยอาศัยฟิล์มไวต่อรังสีอัลฟา

4.3.1 อุปกรณ์การติดตั้งและการเก็บข้อมูล

อุปกรณ์บันทึกรอยอนุภาคอัลฟาจากเรดอนคือแผ่นฟิล์มเซลลูโลส (cellulose nitrate, Kodak LR-115 type 2) ขนาด 1.5x1.5 เซนติเมตร แผ่นฟิล์มนี้จะติดไว้ใต้ฝาจุกโหมของทรงกระบอกขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ซึ่งทำด้วยท่อพีวีซี การติดแผ่นฟิล์มบนฝากระทำได้โดยสอดแผ่นฟิล์มในกระดาดพับเจาะรู แล้วใช้เข็มหมุดเสียบยึดกระดาดนี้ติดกับฝาจุก กระดาดดังกล่าวยังใช้สำหรับบันทึกหมายเลขฟิล์มไปพร้อมกันด้วย จากนั้นนำทรงกระบอกนี้ไปใส่ในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.6 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ที่ฝังอยู่ในดิน ณ สถานที่สำรวจต่าง ๆ แล้วอุดช่องว่างด้านบนของท่อพีวีซี ขนาดใหญ่นี้ด้วยโหมและปิดฝาด้านบนให้มิดชิดแล้วกลบด้วยดินอีกครั้ง รูปแบบการติดตั้งแผ่นฟิล์มเซลลูโลสในเตรทได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1

การติดตั้งแผ่นฟิล์มในลักษณะนี้ก็เพื่อลดอิทธิพลของโรดอน (^{220}Rn) ซึ่งเป็นก๊าซเช่นเดียวกับเรดอน แต่มีต้นกำเนิดจากทอเรียม (^{232}Th) โรดอนมีครึ่งชีวิต 54.5 วินาที โดยสลายตัวให้อนุภาคอัลฟาที่มีพลังงานประมาณ 6.3 Mev Somogyi et al. (1983) พบว่าฟิล์มที่ติดในทรงกระบอกที่สูงจากพื้น 30 เซนติเมตรจะสามารถวัดสัญญาณจากเรดอนได้อย่างง่ายดาย แม้จะอยู่ในบริเวณที่มีโรดอนมากกว่าถึง 100 เท่า นอกจากนั้นการติดตั้งแผ่นฟิล์มในลักษณะเช่นนี้ยังช่วยลดอิทธิพลของการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผิวแผ่นฟิล์ม ลดอิทธิพลของการหมุนเวียนอากาศในท่อ และช่วยทำให้ระดับลึกที่ฝังแผ่นฟิล์มคงที่ ระดับลึกที่คงที่เป็นสิ่งจำเป็นเพราะเหตุว่าความเข้มข้นของเรดอนจะขึ้นกับความลึกจากผิวดินมาก (Kristiansson and Malmqvist, 1984)

การตรวจวัดเรดอนใต้ผิวดินในครั้งนี้ ได้ทำในสองบริเวณที่กำหนดเป็นพื้นที่สำรวจชั้นรายละเอียดดังที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 บริเวณแรกอยู่ติดกับยอดดอยแปปอมักไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ 400x500 ตารางเมตร บริเวณที่สองอยู่ห่างจากยอดดอยแปปอมักมาทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 300x350 ตารางเมตร (รูปที่ 1.2) ในบริเวณแรกมีสถานีวัดเรดอนทั้งสิ้น 151 สถานี สถานีเหล่านี้ถูกกำหนดให้อยู่ในแถวซึ่งมี



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการติดตั้งแผ่นเซลล์โลสในเตรท ณ สถานีสำรวจต่าง ๆ

ทิศทางตามแนว NW-SE รวมทั้งสิ้น 11 แถว โดยแต่ละแถวยาว 400 เมตร และวางห่างกัน 50 เมตร สถานีตรวจวัดเรดอนในแต่ละแถววางห่างกัน 25 เมตร การกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละสถานีนั้นใช้ระบบตัวอักษรแปดตัวเลข เช่นเดียวกับที่ใช้ในบทที่ 3 โดยตัวอักษรแต่ละตัวแสดงถึงสถานีวัดเรดอนในแต่ละแถว สำหรับตัวเลขสามหลักแต่ละตัวคือแถวแต่ละแถว ตำแหน่งสถานี P18 จากการสำรวจเบื้องต้นในปี พ.ศ. 2531 ที่กล่าวถึงในบทที่ 1 นั้น ในการสำรวจรายละเอียดครั้งนี้ คือตำแหน่งสถานี M208 (รูปที่ 4.2)

สำหรับบริเวณที่สองมีสถานีวัดเรดอน 106 สถานี โดยมีทิศทาง ระยะห่างระหว่างแถวและระยะห่างระหว่างสถานีในแต่ละแถวเช่นเดียวกับบริเวณแรกแต่ครอบคลุมพื้นที่แคบกว่าคือมีทั้งสิ้น 8 แถว แต่ละแถวยาว 300 เมตร อย่างไรก็ตามได้มีการกำหนดสถานีวัดเรดอนเสริมในระหว่างสถานีหลักเหล่านั้นอีกหลายสถานี โดยเฉพาะในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งสถานี B20 ที่พบค่าผิดปกติของความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาจากการสำรวจเบื้องต้นเมื่อ พ.ศ. 2531 ที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 สำหรับตำแหน่งของสถานี B20 นั้น ในการสำรวจรายละเอียดครั้งนี้จะอยู่ห่างจากสถานี G302 ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือราว 30 เมตร (รูปที่ 4.3)

ระยะเวลาที่แผ่นฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทติดไว้ในท่อแต่ละสถานีนั้น ได้กำหนดไว้ประมาณสองอาทิตย์ ในบริเวณแรกติดกับยอดคอยแปเปอมักได้นำแผ่นฟิล์มไปติดไว้ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2533 ถึงวันที่ 10 มีนาคม 2533 ส่วนบริเวณที่สองทางด้านตะวันตกของยอดคอยแปเปอมักได้นำฟิล์มไปติดไว้ระหว่างวันที่ 12-26 พฤษภาคม 2533

4.3.2 การกัดขยายรอยและการนับรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นเซลลูโลสไนเตรท

การกัดขยายรอยอนุภาคเริ่มจากนำแผ่นฟิล์ม LR-115 ที่เก็บมาจากสถานีต่าง ๆ เข้าในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2.5 N ที่บรรจุไว้ในบีกเกอร์โดยแขวนฟิล์มไว้ข้างบีกเกอร์โดยรอบ ทั้งนี้บีกเกอร์จะอยู่ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermomix 1442 D) ที่ 60 °C และสารละลายจะถูกกวนโดยใบพัดติดมอเตอร์ที่ความเร็ว 20 รอบ/นาที เพื่อให้อุณหภูมิในสารละลายสม่ำเสมอทุกตำแหน่ง ฟิล์มจะถูกแช่ในสารละลาย NaOH ตามเงื่อนไขข้างต้นเป็นเวลา 90 นาที โดยปิดฝาบีกเกอร์ไว้ตลอดเวลาเพื่อมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความ

เข้มข้นของสารละลายจากการระเหยของน้ำ หลังจากนั้นจึงนำแผ่นฟิล์มไปแช่ในน้ำกลั่นประมาณ 5 นาที เพื่อหยุดปฏิกิริยาแล้วนำไปล้างน้ำก๊อกที่ไหลริน ๆ อีกประมาณ 30 นาที เพื่อล้างสารเคมี จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปผึ่งให้แห้งเพื่อนับรอยต่อไป

การนับรอยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ (Leitz Model 307-143.004) กำลังขยาย 100 เท่า โดยที่เลนส์ใกล้ตาของกล้องมีสเกลแบ่งเป็นตารางเพื่อสะดวกต่อการนับรอยและการคำนวณ พื้นที่นับรอยในแต่ละแผ่นใช้วิธีสุ่มนับ ทั้งนี้ถ้าหากว่าจำนวนรอยที่นับได้ครั้งแรกเกิน 200 รอยขึ้นไป จะสุ่มนับเพียงสองตำแหน่งของแผ่นฟิล์ม แต่ถ้าหากจำนวนรอยที่นับได้ครั้งแรกต่ำกว่า 200 รอย จะสุ่มนับสี่ตำแหน่งของแผ่นฟิล์ม โดยการนับในแต่ละตำแหน่งจะนับรอยที่ปรากฏให้เห็นในตารางเท่านั้น จากนั้นจึงนำค่าของแต่ละตำแหน่งมาเฉลี่ย แล้วแปลงเป็นจำนวนรอยต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน ($t/cm^2 \cdot d$)

4.3.3 ผลการนับรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นเซลลูโลสไนเตรทและการแปลความหมาย

ผลการนับรอยอนุภาคอัลฟาในฟิล์มแต่ละแผ่นของแต่ละสถานี ปรากฏในภาคผนวกที่ 3 และภาคผนวกที่ 4 และถูกนำมาเขียนเป็นเส้นคอนทัวร์ดังปรากฏในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Reedman (1979) ที่ว่าแบคกราวด์ (background) ของค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในแต่ละบริเวณ คือค่า 50 เปอร์เซนต์ไทล์ และเทรชโฮลด์ (threshold) คือค่าสูงสุด 2.5 เปอร์เซนต์ไทล์ พบว่าในบริเวณแรก (รูปที่ 4.2) มีค่าแบคกราวด์เป็น $2,800 t/cm^2 \cdot d$ และมีค่าเทรชโฮลด์เป็น $7,000 t/cm^2 \cdot d$ สำหรับบริเวณที่สอง (รูปที่ 4.3) มีค่าแบคกราวด์เป็น $6,100 t/cm^2 \cdot d$ ขณะที่ค่าเทรชโฮลด์เป็น $19,000 t/cm^2 \cdot d$ สาเหตุที่ค่าแบคกราวด์และเทรชโฮลด์ในสองบริเวณต่างกันมากเพราะเหตุว่าการวัดเรดอนได้กระทำในช่วงเวลาที่ต่างกัน ซึ่งมีสภาพอากาศโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนต่างกัน ทำให้ความชื้นใต้ผิวดินต่างกันมากในสองบริเวณดังกล่าว (Wattananikorn et al., 1991) ค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาที่สูงกว่าค่าเทรชโฮลด์จะถือเป็นค่าสูงผิดปกติ (anomalous) และสถานที่ที่มีค่าผิดปกติเหล่านั้นควรได้รับความสนใจ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าสูงผิดปกติจะปรากฏใน 5 สถานี คือ A212, E204, G212, L206 และ M208 อย่างไรก็ตามมีเพียงสถานี M208 และ L206 เท่านั้นที่มีค่าสูงผิดปกติมาก คือ $59,727 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ และ $13,602 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ ตามลำดับ ส่วนสถานีอื่น ๆ ได้แก่ A212, E204 และ G212 มีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาสูงกว่าเทรสโฮลด์เพียงเล็กน้อยคือ $7,357 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$, $8,009 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ และ $8,137 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ ตามลำดับ

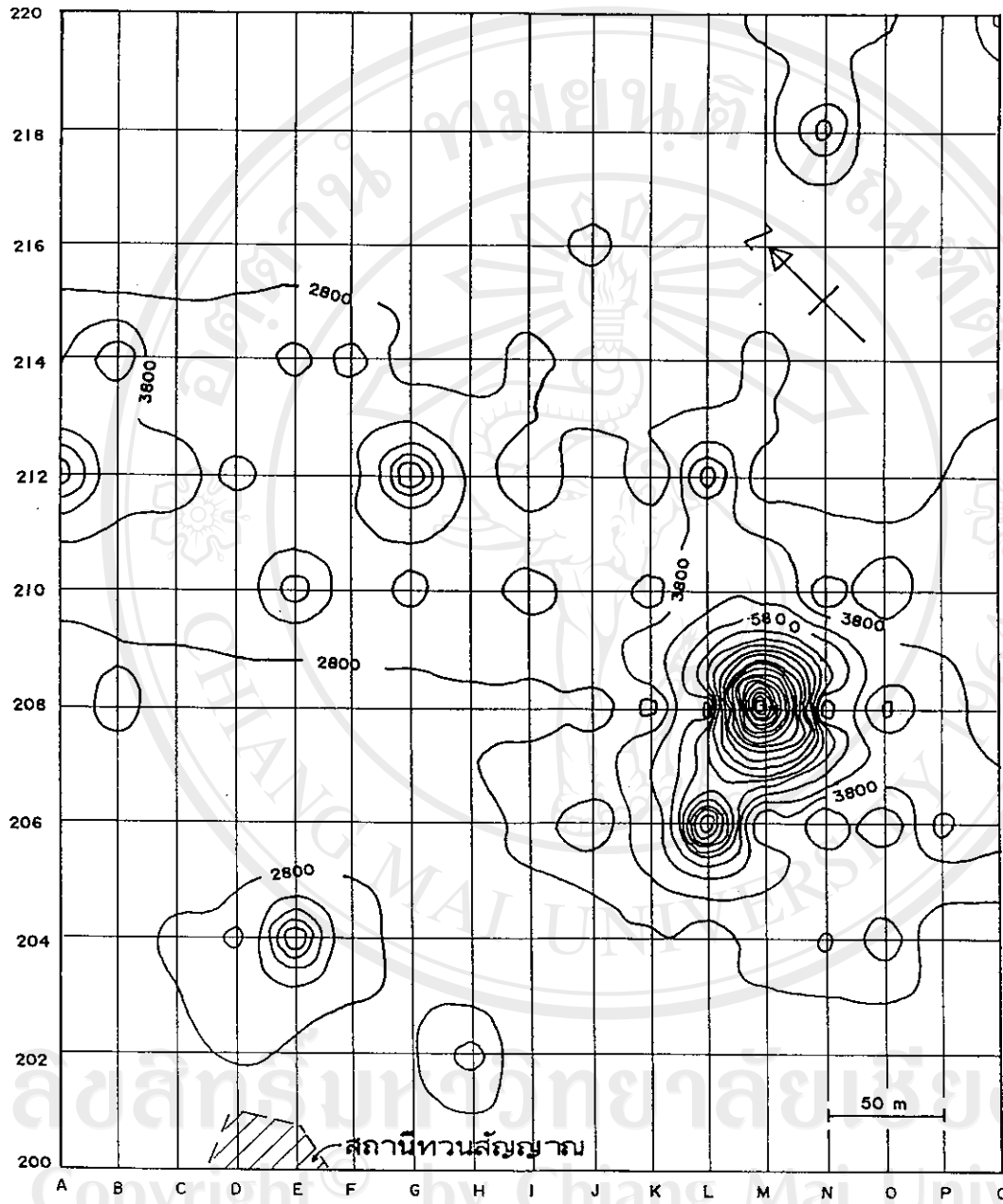
สำหรับรูปที่ 4.3 พบว่าค่าสูงผิดปกติปรากฏใน 3 สถานีคือ B20, J305 และ J306 โดยมีเพียงสถานี J306 เท่านั้น ที่มีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาสูงผิดปกติมากคือ $31,585 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ ส่วนสถานี B20 และ J305 นั้น มีค่าสูงกว่าค่าเทรสโฮลด์เพียงเล็กน้อยคือ $20,319 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ และ $20,749 \text{ t/cm}^2 \cdot \text{d}$ ตามลำดับ

ที่สถานี M208 (หรือสถานี P18 จากการสำรวจเมื่อ พ.ศ. 2531) เป็นบริเวณที่น่าสนใจมาก เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาสูงกว่าแบคกราวด์ถึงประมาณ 21 เท่า ประกอบกับการวัดรังสีแกมมาให้ค่าสูงมาก ดังนั้นจึงได้ทำการชุดร่องเพื่อติดตามสายควอร์ตซ์ในบริเวณดังกล่าว ซึ่งสายควอร์ตซ์นี้ถูกค้นพบจากการสำรวจเมื่อ พ.ศ. 2531 และในสายควอร์ตซ์ประกอบด้วยแร่ยูเรเนียมทิตินิอุมโบรไมด์ ฉาบตามผิวและรอยแตกของควอร์ตซ์ดังได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 ผลจากการชุดร่อง (รูปที่ 4.4) ปรากฏว่าสายควอร์ตซ์นี้ค่อนข้าง ทุบลงทั้งในแนวนอนและแนวตั้งหลังจากชุดไปได้ยาวประมาณ 5 เมตรลึกประมาณ 1 เมตร และมวลสินแร่กัมมันตรังสีก็ดูเหมือนจะน้อยลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับลึกประมาณ 1 เมตรจากผิวดิน ทั้งนี้สังเกตได้จากการวัดกัมมันตรังสีโดยเครื่องนับรังสีไกเกอร์ในร่องที่ชุดขึ้นหลังจากที่นำเอามวลที่ชุดได้ออกไปจากร่องนั้นแล้ว อย่างไรก็ตามเนื่องจากรังสีที่วัดได้โดยเครื่องนับไกเกอร์จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับธาตุกัมมันตรังสีที่ฝังอยู่ไม่ลึกนัก ดังนั้นเพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้นเกี่ยวกับแร่กัมมันตรังสีในระดับลึกจึงได้ทำการวัดเรดอนใต้ผิวดินชั้นรายละเอียดในบริเวณนี้อีกครั้ง โดยให้ระยะห่างระหว่างสถานีเหลือเพียง 3 เมตร และใช้เครื่องมือที่มีหัววัดรังสีอัลฟาแบบชอตทกีแบเรียร์ (Schottky barrier junction detector) ผลการตรวจวัดรังสีอัลฟาจากเรดอนนี้จะได้นำไปกล่าวในหัวข้อที่ 4.4

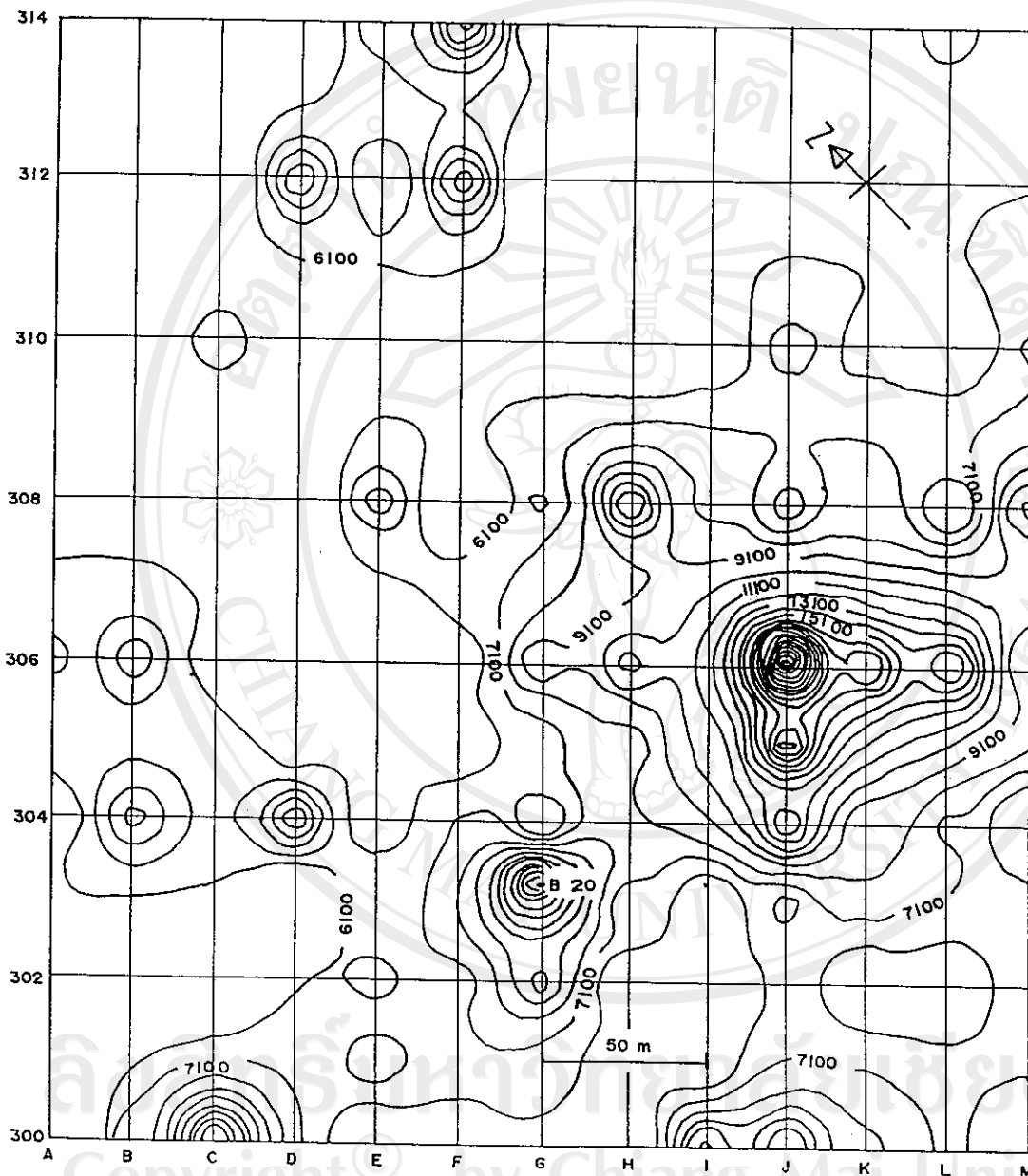
๓๖

553.4482

เลขทะเบียน _____ เลขหมู่ ๐๓๔๔ ๐
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 4.2 คอนทัวร์ความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในหน่วย $t/cm^2.d$ ในบริเวณเรกติดกับ
สถานีทวนสัญญาณบนยอดดอยแปเป้อมัก



รูปที่ 4.3 คอนทัวร์ความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในหน่วย $t/cm^2.d$ ในบริเวณที่สอง
ห่างจากยอดตอขี้เถ้าไปทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 ผลการขุดร่องแสดงสายควอร์ตซ์ที่มีแร่เทอร์เบอไรต์แทรกอยู่ตามรอยแตกและฉาบตามผิวของควอร์ตซ์ (ก) และการวัดกัมมันตภาพรังสีในร่องหลังจากนำมวลสินแร่ออกไปแล้ว (ข)

มวลสินแร่ยูเรเนียมที่ขุดขึ้นมาได้ ถูกนำไปหาปริมาณธาตุยูเรเนียมในเวลาต่อมาโดยทำการเตรียมตัวอย่างจากมวลสินแร่จำนวน 4 ตัวอย่าง แล้วจึงนำตัวอย่างเหล่านั้นไปหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุยูเรเนียมโดยวิธีแกมมาเรย์สเปกโตรเมตรีดังนี้ : หาแกมมาเรย์สเปกตรัม (gamma ray spectrum) ของแต่ละตัวอย่างในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบ Thin Window Hyperpure Germanium ต่อเข้ากับเครื่อง MCA Canberra series 35 plus จากนั้นเปรียบเทียบพื้นที่ใต้ characteristic peak ที่พลังงาน 63 Kev ของสเปกตรัมนี้กับ peak ที่พลังงานเดียวกันของสเปกตรัมจากสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นของยูเรเนียม แล้วคำนวณหาปริมาณยูเรเนียมในตัวอย่างเหล่านั้น การใช้ characteristic peak ที่พลังงาน 63 Kev คาดว่าจะสามารถตัดปัญหาที่เกิดจากการไม่สมดุล (equilibrium) ของอนุกรมยูเรเนียมลงไปได้ (พิเศษ ดูกาลง, 2534) ผลการตรวจสอบปริมาณยูเรเนียมในตัวอย่างทั้ง 4 ปรากฏผลดังนี้คือ 1.10%, 1.23%, 1.01% และ 1.27% โดยมีค่าเฉลี่ยยูเรเนียมเป็น 1.15%

สำหรับสถานี L206 และ J306 นั้นไม่ได้ทำการขุดร่องเพื่อตรวจสอบและเสาะหาสายแร่ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่าค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาเทียบกับค่าแบคกราวด์ที่ตำแหน่งเหล่านี้แม้จะสูงแต่ก็ต่ำกว่าที่สถานี M208 มาก ที่สถานี L206 และ J306 มีค่าความหนาแน่นรอยเพียงประมาณ 5 เท่าของค่าแบคกราวด์ติดกับที่สถานี M208 ที่มีค่าสูงถึง 21 เท่าของค่าแบคกราวด์ ประกอบกับที่สถานี L206 และ J306 แม้ว่าจะมีค่ายูเรเนียมจากการสำรวจแกมมาเรย์สเปกโตรเมตรีสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ดังปรากฏในบทที่ 3 แต่ก็ไม่ถึงกับแสดงค่าผิดปกติเหมือนที่สถานี M208 ดังนั้นแสดงว่าแร่ยูเรเนียมที่ก่อให้เกิดค่าผิดปกติของความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟา คงฝังอยู่ใต้ผิวดินซึ่งถ้าหากฝังอยู่ในระดับตื้นคือลึกไม่เกิน 1 เมตร ก็แสดงว่าปริมาณยูเรเนียมคงมีไม่มากนัก ทั้งนี้โดยเปรียบเทียบกับค่าผิดปกติและปริมาณยูเรเนียมของตัวอย่างมวลสินแร่ที่ได้ ณ สถานี M208

สำหรับสถานีอื่น ๆ ที่มีค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาสูงกว่าค่าเทรสโฮลด์เพียงเล็กน้อยนั้น ปรากฏว่ามีเพียงสถานี B20 เท่านั้น ที่มีค่ายูเรเนียมจากการสำรวจแกมมาเรย์สเปกโตรเมตรีสูงผิดปกติดังที่ปรากฏในบทที่ 3 สถานีที่เหลือไม่ปรากฏว่ามีค่าผิดปกติของยูเรเนียม

จากการสำรวจแกมมาเรย์สเปกโตรเมตรีแต่อย่างใด ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าน่าจะมีธาตุยูเรเนียมอยู่ใกล้ผิวดินมากในบริเวณสถานี B20 แต่คงมีความเข้มข้นหรือปริมาณไม่มากนักเมื่อเทียบกับที่สถานี M208 ส่วนที่สถานี A212, E204, G212 และ J305 นั้นคาดว่าค่าผิดปกติเพียงเล็กน้อยของความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟา อาจเกิดขึ้นเนื่องจากหินแกรนิตโผล่ขึ้นมาใกล้ผิวดินมากตรงบริเวณฝั่งท่อติดฟิล์ม หรือบางสถานีเช่น A212 อยู่ในบริเวณเหมืองฟลูออไรด์เก่า ซึ่งอาจมีธาตุยูเรเนียมปะปนอยู่ในเศษหินเศษดินจากเหมืองเก่าอยู่บ้าง อย่างไรก็ตามหากค่าผิดปกติเหล่านี้เกิดจากยูเรเนียมความเข้มข้นสูงในระดับที่การตรวจสอบโดยการชั่งตวงเช่นที่ทำ ณ สถานี M208 ก็ไม่สามารถจะให้ข้อมูลได้นอกจากเสียจากจะใช้การเจาะรูสำรวจซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษาครั้งนี้

4.4 การวัดเรดอนโดยอาศัยหัววัดรังสีอัลฟาแบบชอตกกีแบบเรียล

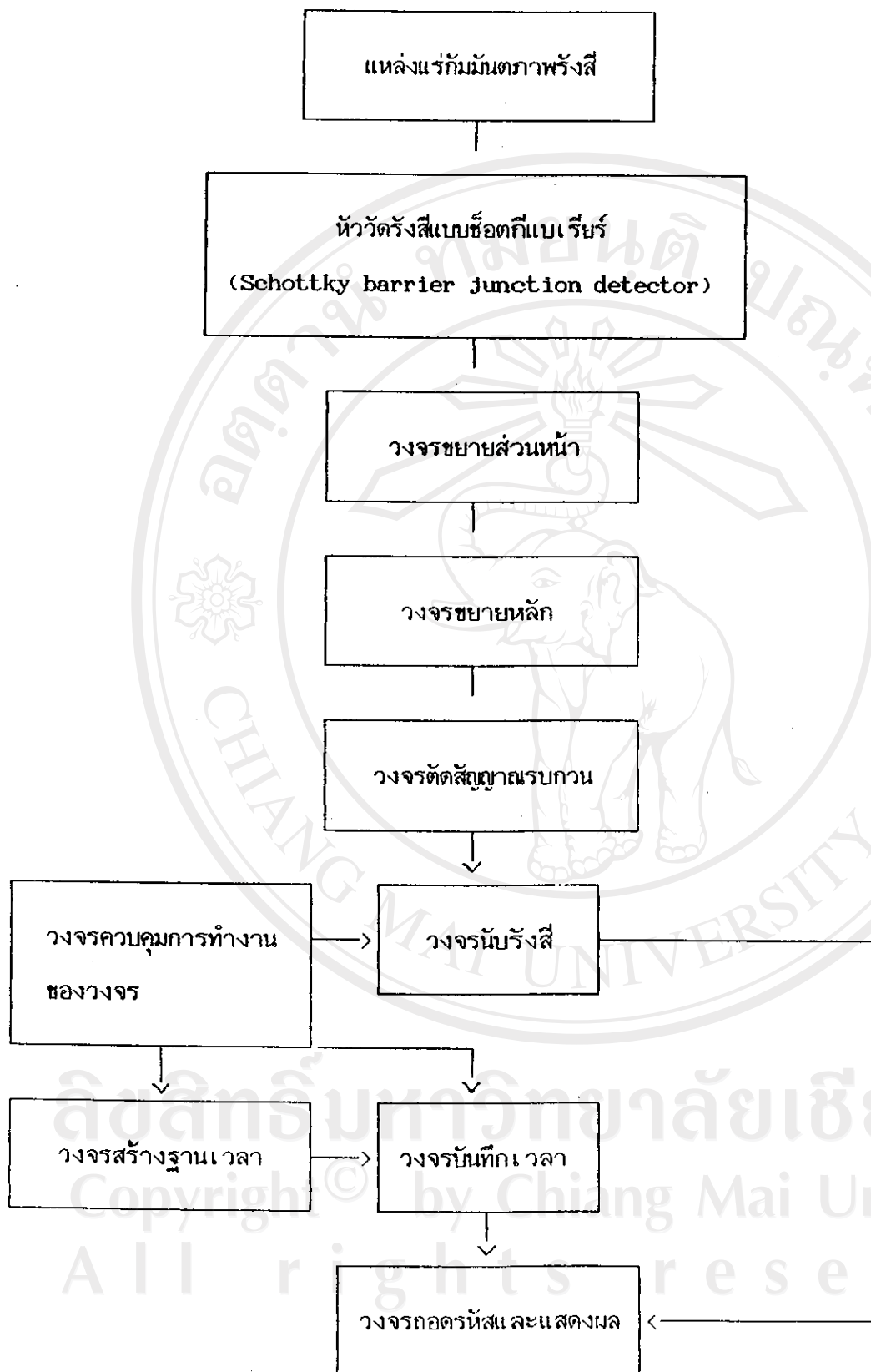
4.4.1 อุปกรณ์และการเก็บข้อมูล

เครื่องวัดเรดอนชนิดนี้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อเรดอนให้อนุภาคอัลฟาออกมา อนุภาคนี้จะตกกระทบหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่าหัววัดแบบชอตกกีแบบเรียล (Schottky barrier junction detector) พลังงานของอนุภาคอัลฟาจะถูกดูดกลืนภายในสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นคู่อิเล็กตรอนและโฮลขึ้น ดังนั้นวงจรที่ต่อเข้ากับหัววัดจะรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และเปลี่ยนเป็นพัลส์ของแรงดันไฟฟ้าซึ่งถูกขยายและแต่งรูปสัญญาณให้เหมาะสมสำหรับการนับจำนวนอนุภาคในระบบเชิงเลข การใช้งานของเครื่องวัดเรดอนชนิดนี้จึงเป็นการนับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นจากอนุภาคอัลฟา พร้อมกับบันทึกช่วงเวลาของการนับ การใช้เครื่องมือชนิดนี้กระทำโดยชุดหลุมลึกประมาณครึ่ง เมตรทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการวัดค่าเรดอน จากนั้นจึงนำเอาหัววัดหย่อนลงในหลุมเหล่านั้นและเปิดสวิตช์เพื่อให้เครื่องมือเริ่มนับจำนวนรังสีอัลฟาดังแสดงในรูปที่ 4.6 การนับจำนวนอนุภาคอัลฟาจะกำหนดให้นับในช่วงเวลา 10 นาทีสองครั้งติดต่อกัน โดยค่าที่นำมาใช้จะเป็นค่าที่นับได้ในช่วง 10 นาทีหลัง

การสำรวจโดยเครื่องมือนี้ทำเมื่อวันที่ 19-20 มกราคม 2534 เฉพาะในบริเวณสถานี M208 ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบปริมาณเรดอนใต้ผิวดินหลังจากการชุดร่อนในบริเวณนี้ซึ่งยาวประมาณ 5 เมตร กว้าง 0.5-1.5 เมตร และลึกประมาณ 1 เมตร และได้นำเอามวลสินแร่ออกไปจากร่องนั้นแล้ว การวัดเรดอนครั้งนี้ได้กำหนดไว้ 3 แถว โดยแถวแรกตัดผ่านสถานี M208 ในแนวประมาณ NW-SE โดยมีสถานี M208 อยู่กึ่งกลางของแถว และในแถวนี้กำหนดสถานีวัดเรดอนไว้ 9 สถานี แต่ละสถานีห่างกัน 3 เมตร อีก 2 แถวได้วางไว้ห่างจากแถวแรกออกไปทั้งสองด้านด้านละ 5 เมตร และกำหนดระยะห่างระหว่างสถานีวัดเรดอนในแต่ละแถวเช่นเดียวกับแถวแรก

4.4.2 ผลการวัดเรดอนและการแปลความหมาย

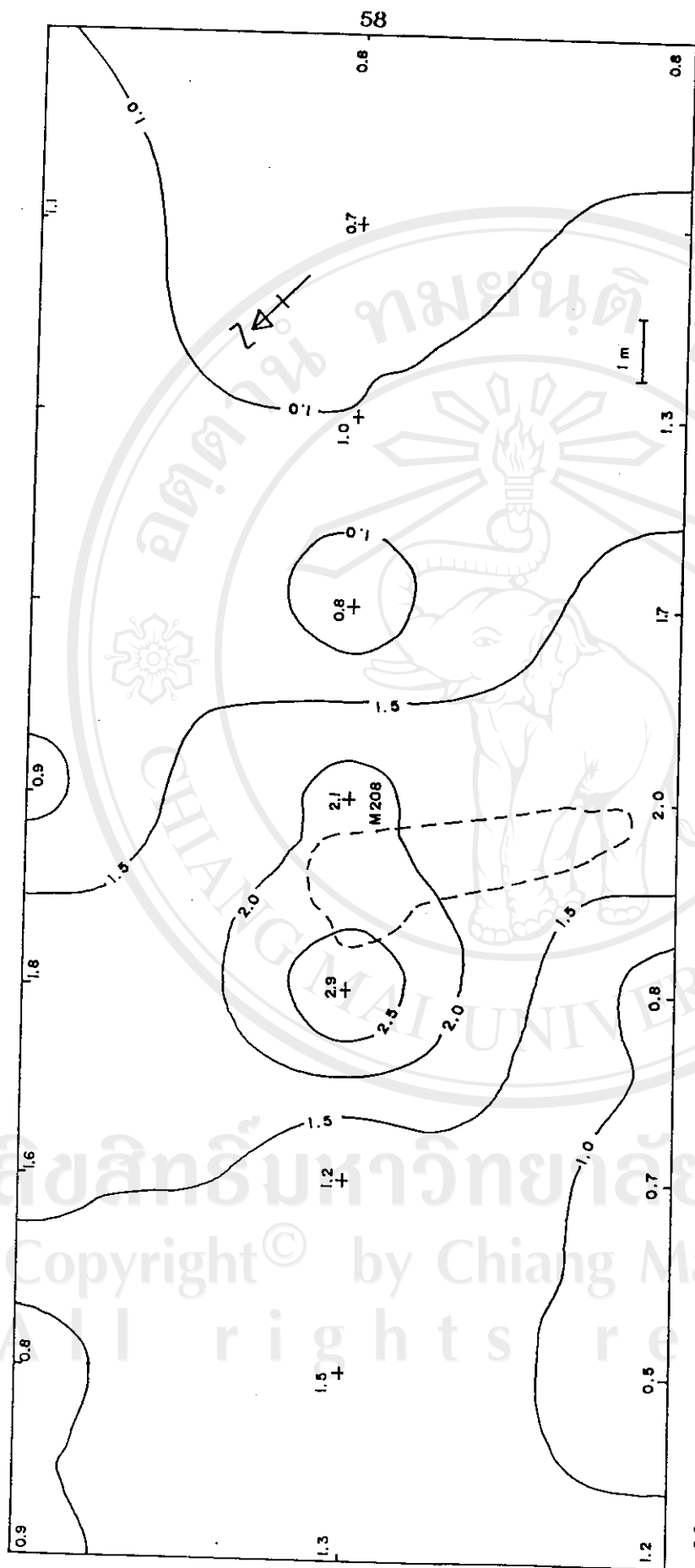
ผลการนับจำนวนอัลฟาจากเรดอนภายในช่วงเวลา 10 นาที ในแต่ละหลุมของสถานีต่าง ๆ ได้ถูกนำไปเป็นตัวตั้งแล้วหารด้วยจำนวนอัลฟาในช่วงเวลา 10 นาที ที่อ่านได้ ณ สถานี K208 ซึ่งถือเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าแบคกราวด์ ดังนั้นค่าที่ได้แต่ละสถานีจึงเป็นจำนวนเท่าของค่าแบคกราวด์ซึ่งได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนเป็นเส้นคอนทัวร์ดังปรากฏในรูปที่ 4.7 จากรูปจะเห็นว่าค่ารังสีอัลฟาจากเรดอนไม่สูงมากนัก แม้จะมีแนวชัดเจนซึ่งแสดงว่า ประการแรกอาจมีแร่ยูเรเนียมหลงเหลืออยู่ในบริเวณระหว่างสถานี M208 และสถานีถัดไปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือที่มีปริมาณรังสีอัลฟาสูงเป็น 2-3 เท่าของค่าแบคกราวด์ แร่ยูเรเนียมในบริเวณนี้อาจเป็นส่วนที่หลงเหลืออยู่ภายหลังการชุดร่อนและนำเอามวลสินแร่ในร่องนั้นออกไปแล้ว แนวคิดเช่นนี้สอดคล้องกับการวัดรังสีโดยเครื่องนับไกเกอร์ซึ่งพบปริมาณรังสีในร่องดังกล่าวลดลงมาก เมื่อเทียบกับก่อนที่จะนำเอามวลสินแร่ออกไป แม้ว่าปริมาณรังสียังคงสูงกว่าแบคกราวด์อยู่พอสมควร ประการที่สองค่ารังสีอัลฟาที่สูงเล็กน้อย (1.5 เท่าของค่าแบคกราวด์) ที่เป็นแนวชัดเจนนั้น อาจแสดงถึงร่องรอยของแร่ยูเรเนียมตามแนวดังกล่าวซึ่งหากเป็นแร่ยูเรเนียมในระดับต้น (1-2 เมตรจากผิวดิน) ก็คงเป็นแร่ที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจแต่หากเป็นแร่ยูเรเนียมที่เกิดในระดับลึกและให้ก๊าซเรดอนขึ้นมาตามแนวรอยแตกรอยแยกที่สายควอร์ตซ์แทรกขึ้นมา ก็อาจเป็นแร่ที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นสูงได้ การตรวจสอบสายแร่ในระดับลึกตั้งแต่ 2 เมตรขึ้นไปควรจะทำโดยการเจาะรูสำรวจมากกว่าการชุดร่อน อย่างไรก็ตามการเจาะไม่สามารถกระทำได้ในการศึกษาครั้งนี้ภายใต้ข้อจำกัดในด้านวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการสำรวจ



รูปที่ 4.5 แผนภาพการเชื่อมโยงของวงจรภายในเครื่องวัดก๊าซเรดอน



รูปที่ 4.6 แสดงการวัดอนุภาคอัลฟาจากเรดอน โดยอาศัยเครื่องมือที่ใช้หัววัดแบบซอตทีแบเรียร์



2.9 + สถานีวัดอัลฟาและค่าที่วัดได้ (ปริมาณรังสีอัลฟา)
 จำนวนเท่าค่าแบบกราวด์

รูปที่ 4.7 แผนที่คอนทัวร์รังสีอัลฟาจากเรดอมในบริเวณสถานี M208 ภายหลังที่ชุดเอามวลสิ้นเร่ออกไปแล้ว
 ในหน่วยจำนวนเท่าของค่าแบบกราวด์

บทที่ 5

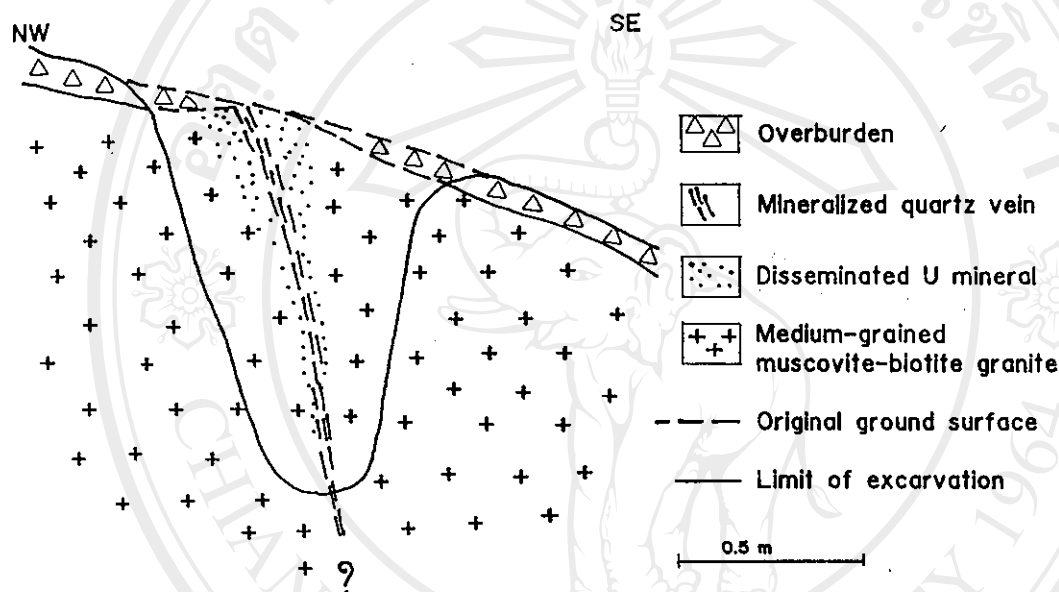
กระบวนการเกิดแร่ยูเรเนียม และ ศักยภาพของแหล่งแร่

5.1 กระบวนการเกิดแร่ยูเรเนียม

จากการศึกษาทางด้านวิทยาแร่ทำให้ทราบว่าแร่ยูเรเนียมที่พบบริเวณสถานี M208 (หรือ P18 เดิม) เป็นแบบทุติยภูมิ มีสีเขียวเกิดในโซนแตกหัก (crush and breccia zone) ของสายควอร์ตซ์เดิมซึ่งตัดเข้าไปในหินแกรนิต แร่ยูเรเนียมทุติยภูมินี้คือ เมตาทอร์เบอร์ไนต์ (metatorbernite, $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) และทอเบอร์ไนต์ (torbernite, $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$) แร่ทั้งสองชนิดมีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายกัน แตกต่างกันตรงปริมาณน้ำซึ่งปริมาณน้ำในเมตาทอร์เบอร์ไนต์มีน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาโซนสายควอร์ตซ์แตกหักที่พบว่ามีแร่ยูเรเนียมเกิดขึ้นมีขนาดกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร มีทิศทางการวางตัวโดยมีแนวระดับ (strike) N37E มีมุมเท (dip) 80-90 SE บริเวณส่วนกลางของโซนสายควอร์ตซ์มีลักษณะของควอร์ตซ์ที่แตกหักและแปรรูป (รูปที่ 2.9) ในลักษณะเป็นเลนส์หรือลิ้มหรือทรงรี ในส่วนที่เป็นเม็ดขนาดเล็กรอบ ๆ ควอร์ตซ์จะมีแร่ยูเรเนียมสีเขียวเป็นเกล็ดเป็นกลุ่มเกิดเข้ามาแทรก นอกจากนั้นยังพบว่าแร่ยูเรเนียมเกิดเป็นกลุ่มและประกระจาย (disseminated) ในผนังหินมีสโคไวต์-ไบโอไทต์แกรนิตเนื้อหยาบปานกลางและเปลี่ยนสภาพ (altered medium-grained muscovite-biotite granite)

จากการขุดร่องสำรวจหาขอบเขตของสายควอร์ตซ์แตกหักที่มีแร่ยูเรเนียมแทรกอยู่ ซึ่งได้ขุดทั้งแนวราบและแนวตั้งจากจุดที่สายควอร์ตซ์แตกหักโผล่พ้นดินในบริเวณสถานี M208 (รูปที่ 4.4) พบว่าโซนที่มีแร่ยูเรเนียมมีขนาดยาวประมาณ 4.5 เมตร กว้างประมาณ 0.5 เมตร และลึกประมาณ 1 เมตร บริเวณที่มีแร่ยูเรเนียมอุดมมากเกิดในระดับลึกประมาณ 10-30 เซนติเมตร

จากผิวดินที่ระดับลึกกว่านี้สายควอร์ตซ์มีขนาดเล็กลง และบางแห่งก็ตีหายไปพร้อม ๆ กับปริมาณของแร่ยูเรเนียมก็ลดน้อยลงไปด้วย สมมุติฐานของการเกิดแร่ยูเรเนียมได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 รูปตัดขวางแสดงสมมุติฐานของสายควอร์ตซ์แตกหักที่มีแร่ยูเรเนียมเกิดแทรก

จากลักษณะการเกิดแร่ยูเรเนียมเมตาเทอร์เบอร์ไนต์ และเทอร์เบอร์ไนต์ ซึ่งเป็นแร่ยูเรเนียมแบบทุติยภูมิ และมีการเกิดแบบแทรกตามช่องว่างของการแตกหักของสายควอร์ตซ์นั้น พอที่จะอธิบายการเกิดได้ว่าจะเกิดจากการชะล้างเอาธาตุ U, Cu และ PO_4^{3-} จากหินแกรนิตหรือธาตุ U จากแร่ยูเรเนียมปฐมภูมิในระดับลึกมาสะสมตัวกัน และก่อตัวเป็นเทอร์เบอร์ไนต์ในโซนแตกหักของสายควอร์ตซ์โดยน้ำร้อน (hydrothermal solution) ซึ่งมีแหล่งจากเบื้องล่างนอกจากนี้แล้วน้ำร้อนนี้ยังมีผลต่อผนังหินแกรนิตข้างเคียงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration) ซึ่งธาตุยูเรเนียมที่มากับน้ำร้อนจะเกิดสะสมตัวบ้างในผนังหินดังกล่าว

5.2 วิทยาแร่

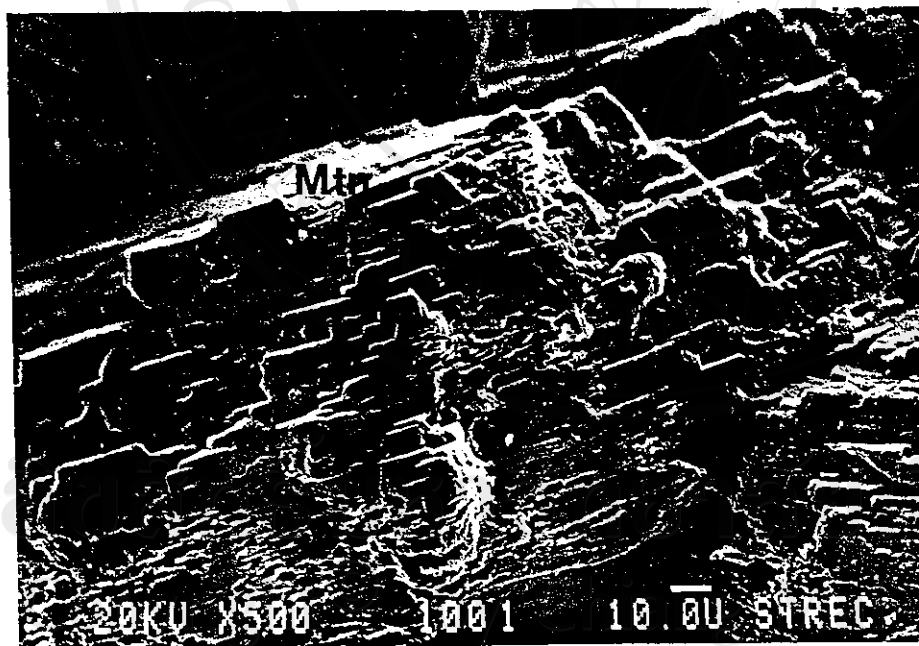
การศึกษาวิทยาแร่ของแร่ยูเรเนียม ก็เพื่อที่จะทราบถึงชนิดของแร่ยูเรเนียมที่เกิดตามรอยแตกหรือช่องว่างระหว่างเม็ดควอร์ตซ์ของสายควอร์ตซ์แตกหัก แร่ยูเรเนียมที่พบมีสีเขียวสด (รูปที่ 2.9) มองด้วยตาเปล่าเห็นเป็นเกล็ดรวมตัวกันเป็นกลุ่ม และแบบกระจายตามช่องว่างของสายควอร์ตซ์แตกหัก และในผนังหินแกรนิต (granitic wall rock) การศึกษาเพื่อที่จะทราบชนิดของแร่ยูเรเนียมสีเขียว อาศัยวิธีการทาง scanning electron microscopy (SEM) และ powder X-ray diffraction (XRD)

5.2.1 ผลทาง scanning electron microscopy (SEM)

ผลของการศึกษาลักษณะของ morphology โดยอาศัย SEM เห็นว่า ลักษณะแร่สีเขียวมีลักษณะแบน (tabular) ซ้อนกัน (รูปที่ 5.2(ก) และ (ข)) จากการวิเคราะห์โดย energy dispersive X-ray spectrometer ทำให้ทราบถึง spectra ต่าง ๆ ที่ประกอบด้วย U, P, Si, Cu และส่วนน้อยของ Fe (รูปที่ 5.3) นอกจากตัวอย่างแร่สีเขียวแล้ว ยังพบว่ามีความถี่ที่ก่อตัวเป็นผลึกขนาดเล็ก ๆ (รูปที่ 5.4) เกิดร่วมกับแร่สีเขียว ควอร์ตซ์นี้มีสีเข้มเกือบดำซึ่งเป็นชนิดหนึ่งของควอร์ตซ์เรียกว่า smoky quartz จากการวิเคราะห์ทาง energy dispersive X-ray spectrometer ทำให้ทราบว่า U ปนในควอร์ตซ์ด้วย (รูปที่ 5.5)

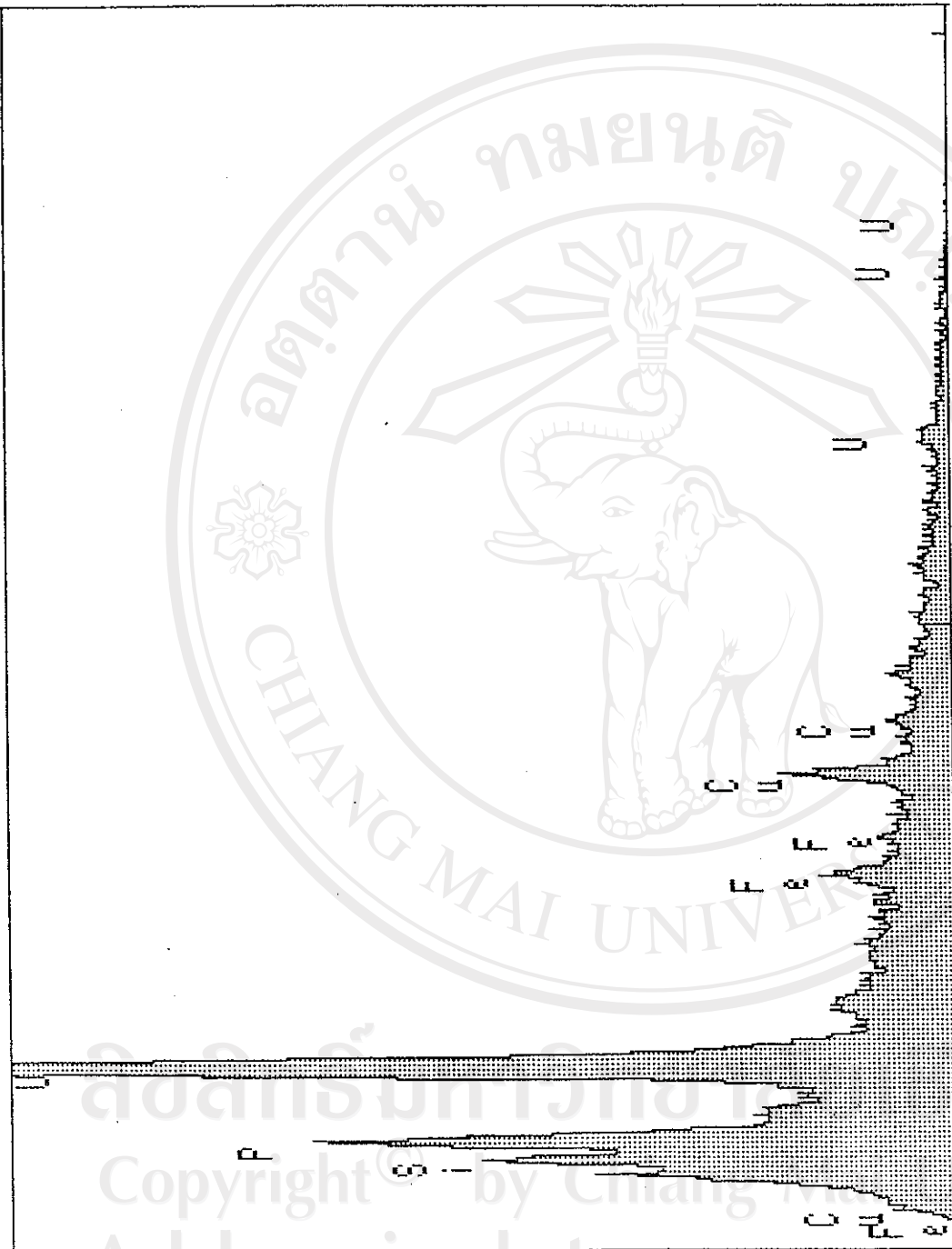


(ก)



(ข)

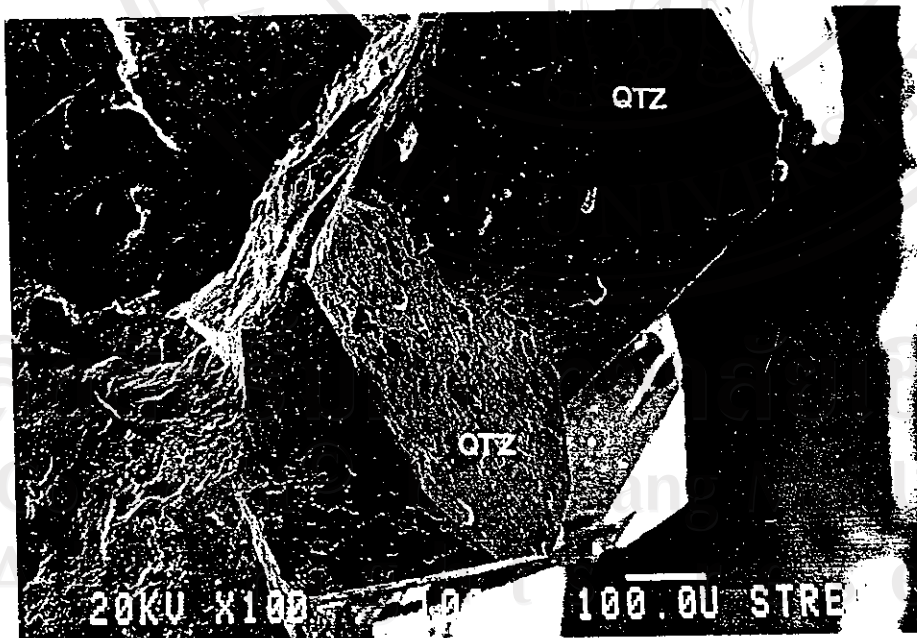
- รูปที่ 5.2 (ก) รูปถ่าย SEM ของเมตาบอร์เบรไนต์ (MTN) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนราบซ้อนกัน
 (ข) รูปขยายของเมตาบอร์เบรไนต์จากรูป (ก) แสดงรายละเอียดเพิ่มขึ้น



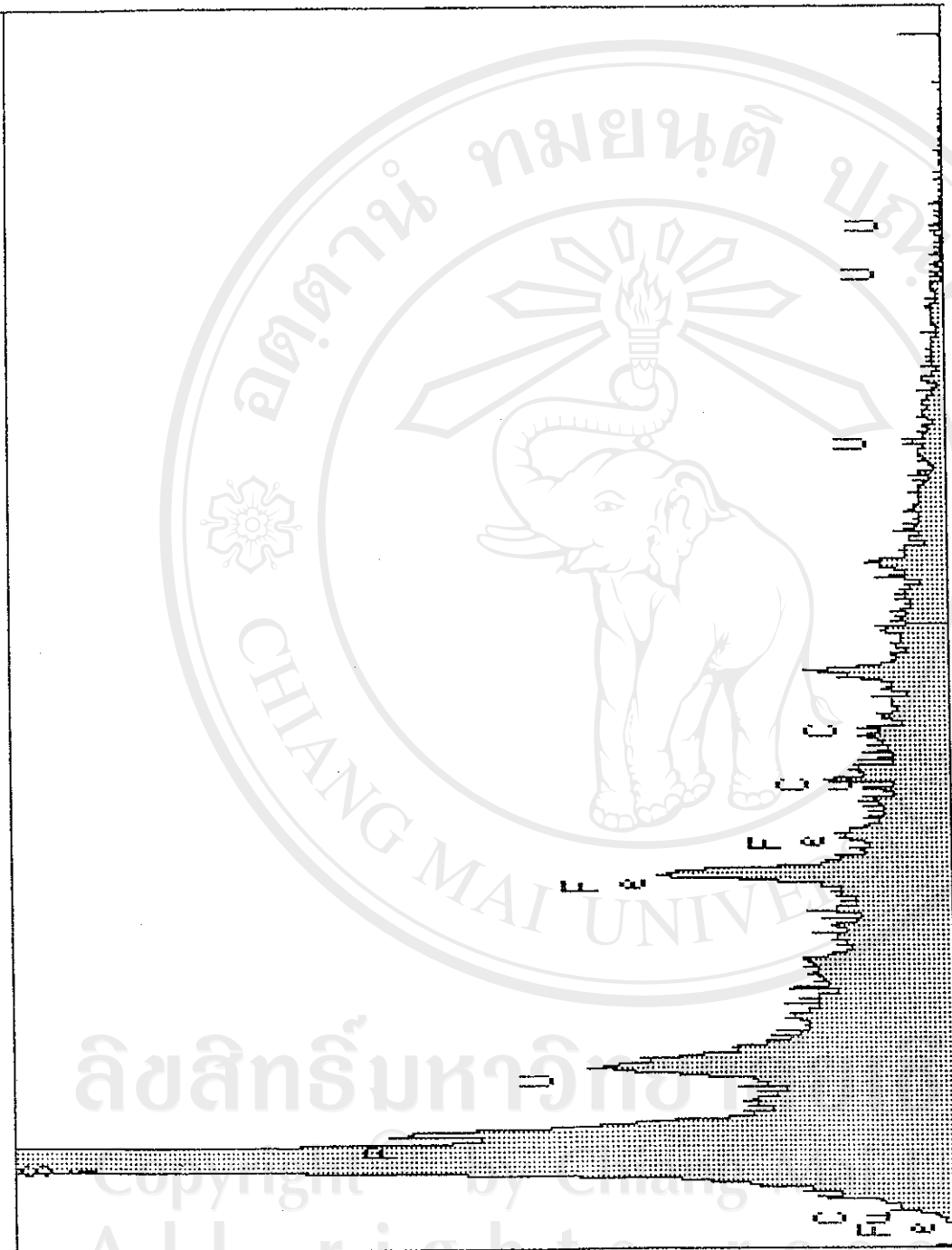
รูปที่ 5.3 Spectra ของธาตุต่าง ๆ ที่พบในแร่ยูเรเนียมสีเซีย วิเคราะห์โดย energy dispersive X-ray spectrometer

5.2.2 ผลทาง X-ray diffraction (XRD)

ผลของการศึกษาโดยอาศัยวิธี powder X-ray diffraction โดยการนำเอาตัวอย่างมาคัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์สามมิติ และนำไปวิเคราะห์ เพื่อได้รูปแบบของผง ผลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยวิธี energy dispersive X-ray spectrometer ทำให้ทราบว่าแร่สีเขียวที่เกิดตามช่องว่างของควอร์ตซ์แตกหักนั้น ประกอบด้วยส่วนใหญ่ของเมตาเทอร์เบอร์ไนต์ และส่วนน้อยของเทอร์เบอร์ไนต์ ผลของการศึกษาทาง XRD ของแร่ยูเรเนียมชนิดเมตาเทอร์เบอร์ไนต์และเทอร์เบอร์ไนต์ แสดงข้อมูลในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 รูปถ่าย SEM ของ smoky quartz (Qz)



รูปที่ 5.5 Spectra ของธาตุต่าง ๆ ที่พบในควอตซ์ชนิด smoky quartz วิเคราะห์โดย energy dispersive X-ray spectrometer

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลทาง X-ray diffraction ของเมตาเทอร์เบอร์ไนต์

hkl	$2\theta_{obs}$	d_{obs}	I_{obs}
002	10.182	8.6807	93.99
102	16.286	5.4382	25.75
200	25.522	3.4873	22.84
104	24.177	3.6782	50.78
202	27.563	3.2335	17.66
212	30.488	2.9296	10.96
115	31.209	2.8636	6.77
106	33.591	2.6658	11.82
214	35.483	2.5279	10.86
222	37.949	2.3691	7.14
310	40.994	2.1999	10.62
008	41.720	2.1632	13.83
108	43.501	2.0787	7.37
304	44.266	2.0445	10.87
118	45.768	1.9809	12.85
322	48.266	1.8840	4.52
208	49.555	1.8380	5.92
324	51.782	1.7641	8.28
0010 ?	52.642	1.7373	5.00
402	53.683	1.7060	3.89
412	55.360	1.6582	4.83
1110	56.237	1.6344	7.13
414	58.635	1.5732	7.39

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลทาง X-ray diffraction ของเทอร์เบอร์ไนต์

hkl	$2\theta_{obs}$	d_{obs}	I_{obs}
101	13.242	6.6807	30.07
004	17.004	5.2102	27.39
110, 103	17.932	4.9427	26.60
105, 114	24.831	3.5828	32.32
211	28.677	3.1105	6.45
-	32.692	2.7370	8.16
-	37.140	2.4188	5.76
-	47.352	1.9183	6.38
-	48.888	1.8615	4.65

5.3 ศักยภาพของแหล่งแร่

จากการสุ่มตรวจสอบสำรวจในบริเวณสายควอร์ตซ์แตกหักที่มีเมตาเทอร์เบอร์ไนต์ และเทอร์เบอร์ไนต์ที่สถานี M208 พบว่า มวลสินแร่ยูเรเนียมมีปริมาณทั้งสิ้นเพียง 1.5 ลูกบาศก์เมตร โดยมีเกรดเฉลี่ย 1.15 เปอร์เซ็นต์ยูเรเนียม และการค้นหาสายแร่เพิ่มเติมโดยการสุ่มตรวจสอบและตรวจวัดปริมาณก๊าซเรดอนรอบ ๆ บริเวณโซนสินแร่ (รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.7) ก็ไม่พบค่าผิดปกติที่ชัดเจนเพียงพอที่จะบ่งชี้ว่ามีการขยายขอบเขตของมวลสินแร่ ที่มีเกรดขนาดนี้ไปทางด้านข้างเคียงในระดับต้น

เนื่องจากมวลสินแร่ที่พบในพื้นที่สำรวจมีขนาดเล็กมาก จึงไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็น แหล่งแร่ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าสินแร่ที่สำรวจมีปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่โอกาสที่จะพบสายแร่ ยูเรเนียมในลักษณะนี้ในรัศมีหลาย ๆ กิโลเมตรรอบบริเวณดอยแปบอมักก็ยังมีอยู่ โดยเฉพาะ บริเวณที่รองรับด้วยหินแกรนิตชุดเดียวกันนี้ และควรใช้สายควอร์ตซ์ขนาดเล็กที่มักเกิดแทรกทั่วไปเป็นตัวชี้นำ ตัวอย่างสายแร่ที่ดอยแปบอมักแสดงให้เห็นว่าสายควอร์ตซ์ที่มีแร่ยูเรเนียมเกิดรวม มี ขนาดกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร และมีเนื้อแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะแตกหัก วางตัวในแนว NE-SW

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 6

สรุปผลการสำรวจแร่ยูเรเนียม

6.1 สรุปผลด้านธรณีวิทยา

การศึกษาลักษณะทั่วไปทางธรณีวิทยา ทำให้ทราบว่าพื้นที่สำรวจบริเวณดอยแปปอมักประกอบด้วยหินมีสโคลไต์-ไบโอไทต์แกรนิต มีขนาดปานกลางถึงหยาบ มีลักษณะโครงสร้างที่สำคัญคือรอยเลื่อนแบบตามแนวระดับ (strike-slip fault) โดยมีทิศทางหลักอยู่ 2 แนว คือ ประมาณ NE-SW (N30E70-80SE) และ NW-SE (N50W) โดยมีมุมเทเกือบตั้งฉาก ซึ่งมีผลทำให้เกิดรอยแตก (fractures) และรอยแยก (joints) ซึ่งอาจจะเกิดพร้อม ๆ หรือเกิดหลังรอยเลื่อน รอยเลื่อนและรอยแตกแบบพินเนตที่เกิดในหินมีสโคลไต์-ไบโอไทต์แกรนิต ทำให้เกิดช่องว่างในหิน ซึ่งเป็นช่องทางของการนำน้ำร้อนที่มีธาตุซิลิกาปน (silica-bearing hydrothermal fluids) ก่อตัวเป็นสายควอร์ตซ์ในปัจจุบัน

รอยเลื่อนในพื้นที่สำรวจน่าจะเกิดขึ้นอย่างน้อยสองครั้ง รอยเลื่อนครั้งแรกมีผลทำให้เกิดรอยแยกรอยแตก และเกิดสายควอร์ตซ์เข้ามาแทรก รอยเลื่อนครั้งที่สองมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนลักษณะ (deformation) ของสายควอร์ตซ์ ดังเช่น สายควอร์ตซ์แตกหักที่มีแร่ยูเรเนียมเข้าไปเกิด (รูปที่ 2.9) ซึ่งพบที่สถานี M208 (หรือสถานี P18) จากผลของการพล็อตสเตริโอแกรมของระนาบรอยแยกในพื้นที่สำรวจแสดงให้เห็นภาพรวมทั้งหมดในรูปที่ 2.8 โดยมีแนววางตัวในทิศทาง N45E และมีมุมเท 84SE และอีกแนวหนึ่งคือ EW83S ซึ่งสะท้อนถึงความสัมพันธ์ที่มีกับแนวรอยเลื่อนใหญ่ของพื้นที่ (NE-SW; N30E70-80SE) แนวแยกทิศทาง EW ก็สอดคล้องกับแนวรอยเลื่อนรอง เช่นที่พบในพื้นที่สำรวจติดกับยอดดอยแปปอมักคลุมสถานี P18 (รูปที่ 2.2)

6.2 สรุปผลการวัดรังสีแกมมาและการวัดเรดอน

ผลการวัดรังสีแกมมาโดยเกมมาเรย์สเปกโตรมิเตอร์ แสดงบริเวณที่น่าสนใจเพียงสองบริเวณคือที่สถานี M208 หรือสถานี P18 เดิม (รูปที่ 3.3 และรูป 3.5) และสถานี B20 (รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.9) ที่สถานี M208 มีค่ารังสีสูงมากซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ว่าแร่ยูเรเนียมในบริเวณนี้โผล่ขึ้นมาถึงผิวดิน ส่วนที่สถานี B20 มีค่ารังสีต่ำกว่ามาก และจากการตรวจสอบที่ผิวดินก็ไม่พบแร่ยูเรเนียมแต่อย่างใด ดังนั้นที่สถานี B20 นี้ธาตุยูเรเนียมที่เป็นต้นกำเนิดค่าผิดปกติรังสีแกมมา น่าจะซ่อนอยู่ใต้ผิวดินในระดับตื้น คือลึกไม่เกิน 0.3-0.5 เมตร

สำหรับการวัดเรดอนให้ข้อมูลที่น่าสนใจอยู่หลายบริเวณ โดยเฉพาะที่สถานี M208 มีความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาจากเรดอนสูงมาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการวัดรังสีแกมมาที่สถานีนี้ ก็ยืนยันได้ชัดเจนว่ามีสินแร่ยูเรเนียมในบริเวณนั้นแน่นอน ซึ่งต่อมาก็ได้ขุดร่องสำรวจหาขอบเขตของสายแร่ และพบว่าแร่ยูเรเนียมเป็นชนิดที่มีสีเขียว แทรกอยู่ในสายควอร์ตซ์แตกหัก ซึ่งกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร และกระจายในผนังหินแกรนิตติดกับสายควอร์ตซ์ มวลสินแร่ที่พบยาวประมาณ 4.5 เมตร กว้างประมาณ 0.5 เมตร ลึกประมาณ 1 เมตร (รูปที่ 5.1) สินแร่ที่มียูเรเนียมติดมากจะอยู่ในระดับลึก 10-30 เซนติเมตรจากผิวดิน

ที่สถานี B20 ค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาจากเรดอนสูงกว่าค่าเทรสโฮลด์เพียงเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อพิจารณาพร้อมกับข้อมูลรังสีแกมมาที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ก็น่าจะสรุปได้ว่าธาตุยูเรเนียมในบริเวณนี้คงมีเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสถานี M208 และคงไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจแต่อย่างใด

สำหรับอีกสองสถานีที่ให้ค่าความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาจากเรดอนสูง ได้แก่ สถานี L206 และสถานี J306 (รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3) แต่ทั้งสองสถานีนี้ไม่ได้ให้ค่าสูงผิดปกติของรังสีแกมมาแต่อย่างใด ดังนั้นน่าจะหมายถึงว่าธาตุยูเรเนียมซึ่งเป็นต้นกำเนิดค่าผิดปกติของเรดอน คงจะฝังอยู่ใต้ดินที่ระดับลึกกว่า 0.3-0.5 เมตร ซึ่งเป็นความลึกที่เพียงพอที่จะปิดกั้นรังสีแกมมาจากแร่ดังกล่าวไม่ให้ขึ้นมาสู่หัววัดรังสีได้ และถ้าหากแร่ยูเรเนียมฝังอยู่ในระดับลึกประมาณ 1 เมตร ก็คงเป็นแร่ที่มีเกรดต่ำมาก เมื่อเทียบกับสถานี M208 ทั้งนี้เพราะเหตุว่าค่าผิดปกติจาก

เรดอนที่สถานี M208 (ซึ่งมีต้นกำเนิดจากแร่ยูเรเนียมระดับลึกตั้งแต่ 0.5-1 เมตร) มีค่าสูงกว่าที่สถานี L206 และสถานี J306 มาก อย่างไรก็ตามค่าผิดปกติของเรดอนขนาดนี้อาจเป็นผลมาจากแร่ยูเรเนียมต้นกำเนิดที่ฝังอยู่ในระดับลึก (10-20 เมตรหรือมากกว่า) ได้ การตรวจสอบข้อมูลในระดับลึกเช่นนี้จำเป็นต้องจะสำรวจซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษาครั้งนี้

6.3 สรุปผลด้านกระบวนการเกิดแร่และศักยภาพแหล่งแร่

จากการศึกษาทางวิทยาแร่ พบว่า แร่ยูเรเนียมสี่ชนิดที่เกิดในสายควอร์ตซ์แตกหักที่สถานี M208 เป็นแร่ยูเรเนียมทุติยภูมิ เรียกว่าเมตาเทอร์โบไรต์ และเทอร์โบไรต์ แร่ดังกล่าวน่าจะเกิดจากการชะล้างเอาธาตุ U, Cu, และ PO_4^{3-} จากหินแกรนิต หรือธาตุ U จากแร่ยูเรเนียมปฐมภูมิในระดับลึกโดยน้ำร้อน แล้วมาสะสมตัวกันและก่อตัวเป็นเทอร์โบไรต์ในโซนแตกหักของสายควอร์ตซ์ แต่ต่อมาเทอร์โบไรต์ส่วนใหญ่กลายไปเป็นเมตาเทอร์โบไรต์เนื่องจากการสูญเสียน้ำออกไป

นอกจากแร่เมตาเทอร์โบไรต์ที่เกิดในสายควอร์ตซ์แตกหักแล้ว ยังพบว่าแร่ชนิดนี้เกิดประกระจายในผนังหินแกรนิตที่ติดกับสายควอร์ตซ์ด้วย ซึ่งแสดงถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพโดยน้ำร้อนที่นำพาเอายูเรเนียมเข้าไปเกิดในหินแกรนิต จากลักษณะทางวิทยาแร่พอที่จะสรุปได้ว่า แร่ยูเรเนียมในพื้นที่สำรวจเกิดจากกระบวนการน้ำร้อน (hydrothermal process) และไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระบวนการหินหนืด (magmatism)

เนื่องจากมวลสินแร่ยูเรเนียมที่พบในพื้นที่สำรวจบริเวณสถานี M208 (หรือสถานี P18 เดิม) มีขนาดเล็กมากจึงไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็นแหล่งแร่ คือมีบริเวณทั้งสิ้นเพียง 1.5 ลูกบาศก์เมตร โดยมีเกรดเฉลี่ย 1.15 เปอร์เซ็นต์ยูเรเนียม อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าสินแร่มีปริมาณน้อยและถูกขุดขึ้นมาเกือบหมดระหว่างการขุดร่องสำรวจ แต่การสำรวจเรดอนภายหลังการขุดสินแร่ออกไปแล้ว ยังคงให้ค่ารังสีจากเรดอนที่น่าสนใจ แม้ว่าค่ารังสีเหล่านี้จะสูงกว่าค่าแบคกราวนด์ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะเหตุว่าค่ารังสีจากเรดอนแสดงแนวทิศทางที่ใกล้เคียงกับแนวสายควอร์ตซ์ที่เกิดแร่บริเวณสถานี M208 (รูปที่ 4.7) ซึ่งเป็นไปได้ว่าค่ารังสีจากเรดอนที่แสดงแนวชัดเจนนั้น

หมายถึงร่องรอยของแร่ยูเรเนียมตามแนวดังกล่าว ซึ่งหากเป็นแร่ยูเรเนียมระดับต้น (1-2 เมตร จากผิวดิน) ก็คงเป็นแร่ที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ แต่หากเป็นแร่ยูเรเนียมที่เกิดในระดับลึก 10-20 เมตร หรือมากกว่า และให้ก๊าซเรดอนขึ้นมาตามแนวรอยแตกรอยแยกที่สายควอร์ตซ์แทรกขึ้นมา ก็อาจเป็นแร่ที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นสูงได้ ประกอบกับสถานี L206 ซึ่งอยู่ไม่ห่างจากสถานี M208 มากนัก (รูปที่ 4.2) ก็แสดงค่าสูงผิดปกติของความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาจากเรดอน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าบริเวณสถานี M208 และบริเวณใกล้เคียงยังเป็นบริเวณที่น่าสนใจที่จะตรวจสอบในระดับลึก (10-20 เมตร หรือมากกว่า) เพื่อยืนยันให้แน่ชัดว่ามีสินแร่ยูเรเนียมอยู่มากน้อยเพียงใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย วัฒนานิก, พงษ์พอ อาสนจินดา และอรอนงค์ ศรีสันติสุข, 2531, การหาความเข้มข้นของก๊าซเรดอนใต้ผิวดิน และในอากาศบริเวณเหมืองลึงค์กู่ เมืองโตโฮ บ้านดอยเต่า อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้แผ่นเซลล์โลสไนเตรท, รายงานการวิจัย, สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 68 หน้า.
- คณิต ประสิทธิการกุล, บัณฑิต ชัยศิลป์ และสมชาย ทรัพย์สูงเนิน, 2524, รายงานการสำรวจธรณีวิทยา บริเวณบ้านแม่บวน ตำบลโป่งทุ่ง อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่, รายงานไม่ตีพิมพ์, ภาควิชาธรณีวิทยา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 65 หน้า.
- พิเศษ ตู่กลาง, 2534, การวิเคราะห์ยูเรเนียมแบบสัมบูรณ์โดยวิธีแกมมาสเปกโตรสโกปี, การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 95 หน้า.
- วรรณชัย สายสุข, 2529, สภาพธรณีเคมีและความสัมพันธ์ระหว่างยูเรเนียมกับแหล่งแร่ฟลูออไรต์บริเวณดอยช้าง อำเภอแม่จอน จังหวัดเชียงใหม่, วิทยานิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 143 หน้า.
- Bailey, R.V. and Childers, M.O., 1977, Applied mineral exploration with special reference to uranium, Westview press, Boulder, Colorado, 542 p.
- Geometrics, 1977, Survey guidelines for using a portable gamma ray spectrometer in uranium exploration, Geometrics technical report, No 13, 11 p.
- Gringrich, J.E., Lovett, D.B., 1972, A track etch technique for uranium exploration, Trans. Amer. Nucl. Soc., 15, 118.

- Inthuputi, B., 1971, Preliminary report on Phratu Teema Copper-radioactive deposits, Phu Wieng district, Khon Kaen province, northeastern Thailand, Unpublish file report, Economic Geology Div., DMR.
- Inthuputi, B. and Suwanasing, A., 1978, Sandstone type uranium deposits, Khorat Plateau, Northeastern Thailand, Jour. Geol. Soc. Thailand, Vol 3, No 1, E2, 1-16.
- Kristiansson, K. and Malmqvist, L., 1984, The depth-dependence of the concentration of ^{222}Rn in soil gas near the surface and its implication for exploration, Geoexploration, Vol.22, 17-41.
- Luetzelschwab J.W., Helweick K.L and Hurst K.A., 1989, Radon concentrations in five Pennsylvania soils, Health Phys. Vol 56, 181-188.
- Malmqvist, L., Isaksson, M. and Kristiansson, K., 1989, Radon migration through soil and bedrock, Geoexploration, Vol 26, 135-144.
- McDermott, M.M., 1977, Field surveys using a portable gamma ray scintillometer, in Geometric technical report, No 12, 1979, 12 p.
- Mogro-Campero, A. and Fleischer, R.L., 1977, Subterrestrial fluid convection : A hypothesis for long-distance migration of radon within the earth. Earth Planet. Sci. Lett., 34 : 321-325.
- Potissat S. and Gunnaleka S., 1982, Uraniferous fluorite veins at Linking mine, Doi Tao, Chiang Mai., J. Geol. Soc. Thailand, Vol 5, 78-82.

- Reedman J.H., 1979, Techniques in Mineral Exploration, Applied Science Publishers, London, 533 p.
- Somogyi, G., Varga, Zs. and Paripas, B., 1983, Measurement of radon, radon daughters and thoron concentrations by multi-detector devices, The Nucleus, Vol. 20, 51-55.
- Somogyi, G. and Lenart, L., 1986, Time-integrated radon measurements in spring and well waters by track technique, Nucl. Tracks Radiat. Meas., Vol 12, 731-734.
- Stranden E., Berteig L. and Ugletveit F., 1979, A study on radon in dwellings, Health Phys. Vol 36, 413-421.
- Stranden E., Kolstad A.K. and Bjorn L., 1984, Radon exhalation : Moisture and temperature dependence, Health Phys. Vol 47, 480-484.
- Tanner, A.B., 1964, Radon migration in the ground : A review. In : J. A.S. Adams and W.M. Lowder (Editor), The Natural Radiation Environment, Univ. of Chicago Press, Chicago, 161-190.
- Tanner, A.B., 1980, Radon Migration in the ground : A supplementary review. In : T.F. Gesell and W.M. Lowder (Editors), Natural Radiation Environment, III Symp. Proc., Houston, Tex., April 1978, Vol 1, 5-56.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., 1976, Applied Geophysics, Cambridge University press, Cambridge, 860 p.

- Von Braun, E., Besang, C., Eberle, W., Harre, W., Kreuzer, H., Lenz, H., Muller, P. and Wendt, I., 1976, Radiometric age determinations of granites in northern Thailand, *Geologisches Jahrbuch*, B.21, 171-204.
- Wattananikorn, K., Asnachinda, P. and Lamphunphong, S., 1990, Uranium exploration in the vicinity of abandoned fluorite mines, in northern Thailand, using cellulose nitrate films, *Nucl. Geophys.* Vol.4, No 2, 253-285.
- Wattananikorn, K., Ounchanum, P. and Vukjunt, B., 1991, Influential factors on background and threshold alpha track densities in soil-gas radon surveys, *Journal of Thai Geosciences*, Vol. 1, 65-71.

ภาคผนวกที่ 1

ผลการวัดรังสีแกมมาโดยสเปกโตรมิเตอร์

๓ สถานีสำรวจในบริเวณแรก (ติดกับยอดตอมเบป้อมัก) ในวันที่ 5-6 มกราคม 2534

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
A-200	72.0	5.3	1.8	1.5
B-200	82.1	6.3	1.8	1.2
C-200	97.5	7.0	2.9	1.0
D-200	95.7	6.1	2.6	1.9
E-200	91.3	5.9	2.3	1.8
F-200	104.4	7.0	2.8	1.4
G-200	87.4	6.8	2.1	1.2
H-200	86.3	5.5	2.6	1.5
I-200	86.9	7.2	2.6	1.3
J-200	68.6	5.3	2.1	1.0
K-200	78.6	7.5	1.6	1.5
L-200	67.3	5.2	1.7	1.5
M-200	98.7	7.8	2.6	2.0
N-200	71.5	6.5	1.3	0.9
O-200	50.2	4.8	1.3	0.6
P-200	55.6	4.7	1.4	0.6
Q-200	54.9	4.9	1.6	0.5

Station	IC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
Q-201	68.5	6.8	1.9	1.2
P-201	64.8	6.3	1.1	1.0
O-201	79.3	7.4	1.8	1.2
N-201	66.1	4.9	1.8	1.2
M-201	57.9	4.1	1.4	0.9
L-201	67.8	4.8	1.3	1.1
K-201	81.5	5.8	2.6	1.5
J-201	73.1	5.6	1.9	1.1
I-201	50.6	4.3	1.5	0.8
H-201	78.7	5.9	2.1	1.0
G-201	87.7	6.8	2.9	1.3
F-201	92.7	8.1	2.5	1.7
E-201	78.4	6.0	1.9	1.0
D-201	75.1	5.7	1.9	1.3
C-201	74.5	6.7	2.4	1.3
B-201	93.3	7.6	2.7	1.3
A-201	90.2	7.0	2.9	1.4
Q-202	70.2	6.3	1.6	0.7
P-202	54.0	5.1	1.2	0.6
O-202	65.4	5.5	1.4	0.8

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
N-202	58.3	4.5	1.6	1.4
M-202	65.7	5.2	1.7	1.0
L-202	52.4	5.2	0.8	1.1
K-202	69.4	5.7	1.7	1.2
J-202	60.2	5.0	1.3	0.8
I-202	70.6	6.1	1.4	1.1
H-202	69.4	5.1	1.3	1.1
G-202	94.5	7.8	2.2	0.9
F-202	89.3	7.3	2.3	1.5
E-202	77.2	6.5	2.2	1.0
D-202	49.3	3.8	1.3	0.3
C-202	85.7	6.6	2.2	1.4
B-202	93.8	7.6	2.3	1.4
A-202	66.6	4.3	2.2	1.1
A-203	85.8	6.1	1.9	1.0
B-203	76.6	6.7	2.5	1.6
C-203	70.0	5.1	1.7	1.1
D-203	72.0	6.5	2.2	1.1
E-203	44.5	2.7	1.1	0.4
F-203	72.7	5.4	2.0	1.0

Station	IC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
G-203	68.5	5.4	2.0	1.4
H-203	55.7	3.9	1.4	0.6
I-203	58.8	4.4	1.5	1.2
J-203	65.0	5.7	1.6	1.5
K-203	59.9	4.4	1.7	0.7
L-203	80.9	5.8	1.7	0.9
M-203	64.2	5.2	1.6	1.1
N-203	65.6	5.9	1.3	1.2
O-203	65.5	5.7	1.3	1.1
P-203	60.9	4.8	2.1	0.9
Q-203	66.0	5.2	1.4	0.5
A-204	86.9	6.7	2.0	1.4
B-204	77.7	6.2	2.0	1.3
C-204	66.9	5.4	2.4	0.9
D-204	78.1	5.8	2.0	1.4
E-204	74.7	5.6	1.8	1.2
F-204	66.0	5.4	1.7	1.0
G-204	68.9	5.4	1.6	0.8
H-204	69.8	5.3	1.7	1.5
I-204	51.9	3.7	1.4	0.7

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
J-204	53.4	4.4	0.9	0.5
K-204	53.9	4.8	0.8	0.7
L-204	77.9	6.8	2.0	1.4
M-204	89.3	6.7	2.4	1.5
N-204	67.0	5.4	1.7	1.3
O-204	88.7	7.3	2.4	1.9
P-204	78.4	5.5	2.2	1.4
Q-204	41.6	2.6	0.9	0.8
Q-205	65.2	4.9	1.6	0.7
P-205	93.0	6.9	3.1	2.0
O-205	101.9	8.4	2.2	1.4
N-205	95.0	7.4	2.9	1.6
M-205	93.4	8.2	2.2	1.5
L-205	70.6	5.6	1.7	0.8
K-205	67.0	4.2	1.7	1.0
J-205	43.5	2.7	0.9	0.5
I-205	79.8	5.6	1.9	1.5
H-205	65.0	5.6	1.8	1.0
G-205	75.1	6.6	1.7	1.1
F-205	86.9	8.2	1.4	1.2

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Ih (CPS)
E-205	109.7	9.2	3.1	1.6
D-205	93.0	5.9	2.6	1.3
C-205	71.2	7.1	1.4	0.6
B-205	66.5	4.8	1.4	1.1
A-205	64.6	5.1	1.8	0.7
Q-206	93.0	7.5	2.1	1.0
P-206	89.5	7.5	2.4	1.4
O-206	111.7	9.0	2.6	1.4
N-206	87.4	6.4	2.5	2.1
M-206	89.0	6.8	2.6	1.2
L-206	87.4	7.1	3.1	0.9
K-206	68.5	5.6	1.8	1.0
J-206	67.2	6.0	1.5	0.7
I-206	79.8	6.3	2.8	2.1
H-206	72.3	5.9	2.0	1.5
G-206	96.9	8.1	2.7	1.5
F-206	79.0	6.8	1.9	1.1
E-206	94.6	7.5	2.7	2.1
D-206	109.6	7.7	2.9	2.0
C-206	89.2	6.6	1.9	1.4

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
B-206	54.2	3.8	1.2	0.9
A-206	49.1	4.0	1.4	0.4
A-207	75.2	5.1	2.1	0.9
B-207	53.5	4.3	1.4	0.7
C-207	94.5	6.5	2.5	1.6
D-207	105.7	7.6	3.2	1.5
E-207	98.8	6.8	2.7	1.5
F-207	90.0	6.0	2.9	2.1
G-207	89.2	6.2	2.8	1.6
H-207	88.5	5.7	2.6	1.8
I-207	71.8	5.5	1.9	1.0
J-207	88.9	6.0	3.2	1.7
K-207	78.1	5.5	2.4	1.4
L-207	68.8	5.0	2.0	0.5
M-207	97.8	7.1	2.4	1.4
N-207	93.8	8.3	2.7	1.8
O-207	93.1	8.6	2.3	1.6
P-207	82.9	6.8	2.1	1.0
Q-207	77.6	5.5	1.8	1.4

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
A-208	85.8	5.7	2.3	1.2
B-208	90.4	5.6	3.2	0.9
C-208	110.9	7.0	2.8	3.1
D-208	81.3	5.1	2.4	1.0
E-208	106.9	7.4	2.6	1.8
F-208	83.2	5.7	1.9	1.4
G-208	94.6	7.7	3.1	1.6
H-208	89.7	6.6	2.3	2.0
I-208	96.1	7.6	3.2	1.7
J-208	72.8	6.0	1.6	1.3
K-208	76.5	4.5	2.2	1.5
L-208	73.9	4.7	1.9	0.8
M-208	357.6	20.5	14.7	1.7
N-208	92.9	8.9	2.7	2.0
O-208	94.2	7.2	3.1	1.6
P-208	79.9	6.1	2.2	0.8
Q-208	81.1	5.9	2.8	1.3
Q-209	108.6	7.7	3.6	1.5
P-209	80.6	5.5	3.0	0.7
O-209	100.4	7.4	3.0	1.1

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
N-209	96.0	7.0	2.8	0.9
M-209	72.6	5.6	2.2	1.8
L-209	91.1	6.5	2.9	1.8
K-209	81.6	5.4	2.0	0.9
J-209	86.8	5.8	2.4	1.8
I-209	82.6	7.1	1.8	1.4
H-209	91.5	7.8	2.0	2.5
G-209	88.0	6.5	2.5	1.3
F-209	70.1	5.0	2.4	0.9
E-209	125.9	8.9	3.4	2.3
D-209	114.1	11.3	2.9	1.8
C-209	88.2	6.3	2.5	1.5
B-209	79.2	6.0	2.3	0.9
A-209	81.2	7.0	1.9	0.6
Q-210	84.0	6.2	2.2	1.4
P-210	74.1	5.4	2.1	0.7
O-210	89.6	7.0	2.7	0.8
N-210	80.8	5.6	2.9	1.7
M-210	93.5	6.0	2.8	2.0
L-210	83.0	6.0	2.3	1.4

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
K-210	92.2	7.7	2.1	1.7
J-210	75.9	5.5	1.9	1.4
I-210	97.6	6.7	2.8	2.2
H-210	88.7	6.9	2.1	1.4
G-210	94.5	7.3	2.4	1.5
F-210	80.6	6.7	1.7	1.2
E-210	119.4	8.2	3.7	2.2
D-210	107.5	9.4	3.4	2.0
C-210	107.0	7.0	1.5	1.7
B-210	83.1	5.7	1.9	1.0
A-210	83.8	7.6	2.5	1.4
A-211	91.6	6.9	2.8	1.3
B-211	77.5	5.9	2.1	1.5
C-211	96.1	6.4	1.7	2.1
D-211	97.5	7.0	2.9	1.3
E-211	111.6	7.7	3.2	2.2
F-211	103.0	8.8	2.3	1.6
G-211	83.9	6.0	2.3	1.6
H-211	76.0	6.8	1.7	1.5
I-211	76.5	5.5	1.5	0.9

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
J-211	75.1	5.5	1.7	1.2
K-211	100.5	6.5	1.9	1.4
L-211	104.7	7.9	3.0	1.5
M-211	66.1	5.3	1.5	0.9
N-211	65.4	4.9	2.1	1.1
O-211	75.1	5.0	2.1	0.9
P-211	68.2	5.3	2.2	1.4
Q-211	90.7	6.7	2.2	1.5
A-212	89.6	6.5	3.4	1.0
B-212	100.6	8.0	3.0	1.5
C-212	100.4	6.6	2.6	1.5
D-212	99.4	8.1	4.1	2.1
E-212	103.5	7.1	3.4	1.9
F-212	120.3	8.9	2.6	1.7
G-212	98.8	8.2	3.0	1.5
H-212	90.6	7.5	2.4	1.9
I-212	72.4	6.1	1.7	1.2
J-212	87.3	6.1	2.4	1.6
K-212	95.5	7.9	2.5	1.8
L-212	97.3	6.5	2.8	1.6

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
M-212	68.9	5.5	1.7	1.2
N-212	73.9	6.2	2.0	1.1
O-212	65.0	4.4	1.6	0.9
P-212	105.1	7.9	3.2	2.3
Q-212	111.7	8.3	3.3	2.5
Q-213	40.7	3.0	1.8	0.5
P-213	74.0	6.2	1.9	1.2
O-213	88.1	7.9	2.4	1.4
N-213	99.5	8.5	2.2	1.4
M-213	90.7	5.9	1.8	1.5
L-213	74.8	6.0	2.0	1.2
K-213	75.3	7.5	1.2	1.1
J-213	75.3	6.9	1.5	0.8
I-213	86.5	7.2	2.1	1.3
H-213	95.1	7.3	2.3	1.8
G-213	96.3	8.0	2.3	2.2
F-213	99.5	7.5	2.3	2.5
E-213	119.0	8.7	3.0	2.5
D-213	88.5	7.3	2.3	1.5
C-213	89.6	7.3	2.4	1.5

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
B-213	70.2	5.0	2.6	1.0
A-213	83.3	5.3	2.8	1.0
Q-214	46.6	3.6	1.2	0.3
P-214	74.4	6.9	1.4	1.3
O-214	86.6	6.9	2.5	1.2
N-214	101.2	7.7	2.0	2.1
M-214	94.7	7.3	2.0	2.0
L-214	83.7	6.1	2.1	1.2
K-214	82.8	7.8	1.8	1.5
J-214	72.0	6.7	1.7	1.2
I-214	83.1	7.7	2.6	1.5
H-214	94.4	7.3	2.5	1.4
G-214	82.7	6.7	1.8	1.2
F-214	115.6	8.5	3.7	2.1
E-214	95.2	6.3	2.4	1.5
D-214	83.5	6.3	2.1	1.0
C-214	83.4	5.9	2.1	0.9
B-214	99.6	6.2	2.9	0.7
A-214	68.3	4.8	1.8	0.8

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
A-215	76.5	5.3	2.3	1.0
B-215	71.3	4.3	2.3	1.2
C-215	79.4	5.3	3.4	0.9
D-215	80.2	5.5	2.8	1.5
E-215	100.8	8.3	2.8	1.5
F-215	127.6	9.5	3.0	2.4
G-215	79.2	6.3	2.2	1.2
H-215	82.3	6.0	1.9	1.7
I-215	77.2	6.7	1.8	1.2
J-215	96.5	8.7	2.6	1.6
K-215	70.9	6.5	1.7	1.3
L-215	77.3	4.8	2.3	1.0
M-215	96.6	8.3	1.9	1.6
N-215	96.6	6.3	2.3	1.6
O-215	69.7	6.2	1.6	1.2
P-215	54.5	3.7	1.5	1.1
Q-215	55.5	4.4	1.6	0.9
A-216	80.5	5.5	2.2	0.9
B-216	65.6	5.7	1.7	0.8
C-216	72.3	5.3	2.5	0.8

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
D-216	71.4	4.9	2.5	0.9
E-216	118.5	8.8	2.4	1.5
F-216	94.6	6.6	3.0	2.6
G-216	85.2	7.7	2.7	2.1
H-216	77.7	5.7	2.5	0.9
I-216	87.6	7.4	2.0	1.7
J-216	101.1	8.8	2.9	1.8
K-216	67.3	5.2	1.7	1.2
L-216	72.3	5.8	2.4	1.2
M-216	99.0	7.5	2.5	2.0
N-216	97.3	8.6	2.1	2.4
O-216	83.2	6.5	1.6	1.3
P-216	59.6	4.0	1.5	1.2
Q-216	54.5	4.1	1.4	1.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

ภาคผนวกที่ 2

ผลการวัดรังสีแกมมาโดยสเปกโตรมิเตอร์

ณ สถานีสำรวจในบริเวณที่สอง (ห่างจากยอดดอยแม่ป๋ามักมาทางตะวันตก

ประมาณ 1 กิโลเมตร) ในวันที่ 19-20 มกราคม 2534

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
A300	68.1	4.8	2.1	0.9
B300	80.9	4.6	2.4	1.0
C300	86.7	6.8	2.4	1.0
D300	84.1	5.9	2.1	0.9
E300	88.0	6.6	2.3	1.3
F300	81.0	6.0	2.1	0.9
G300	94.8	7.2	1.9	1.2
H300	95.9	7.0	2.4	1.3
I300	84.8	6.6	2.8	0.7
J300	105.0	7.6	3.2	1.3
K300	82.9	6.7	2.5	1.1
L300	68.1	5.5	1.3	0.8
M300	53.2	3.9	1.0	0.5

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
M301	62.5	5.1	1.9	0.4
L301	68.8	4.8	2.4	0.6
K301	59.9	4.9	1.6	0.4
J301	91.0	6.7	2.9	0.8
I301	77.7	5.6	2.6	0.8
H301	86.0	6.4	2.6	1.0
G301	89.8	6.0	2.2	1.1
F301	91.3	6.5	2.5	1.0
E301	87.6	6.7	2.8	1.0
D301	95.5	7.3	2.7	1.2
C301	96.4	6.9	2.8	1.2
B301	80.2	6.0	2.4	1.1
A301	87.3	7.7	2.4	0.7
A302	86.7	8.1	2.6	1.3
B302	77.4	6.3	1.5	1.0
C302	87.1	6.6	2.9	1.3
D302	87.7	5.3	2.6	1.9
E302	91.8	7.3	2.7	0.8
F302	85.2	6.0	1.5	1.0
G302	77.1	5.1	2.3	0.7

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
H302	85.8	6.9	2.4	1.1
I302	80.9	6.9	2.2	0.8
J302	75.3	6.3	2.0	0.9
K302	50.1	6.6	1.1	0.6
L302	51.5	3.5	1.8	0.6
M302	57.8	4.1	2.3	0.4
M303	71.1	5.2	1.9	0.8
L303	46.1	3.4	0.8	0.4
K303	69.1	4.5	2.5	0.9
J303	63.4	5.6	1.2	0.4
I303	70.2	5.6	2.3	0.9
H303	88.8	8.0	2.1	1.0
G303	91.2	6.4	2.7	0.9
F303	76.6	4.9	2.3	1.0
E303	88.8	6.3	2.3	0.7
D303	79.1	5.6	2.1	1.1
C303	78.4	5.3	2.0	0.9
B303	84.4	6.0	3.0	0.5
A303	67.6	5.2	1.0	0.6

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
A304	63.8	6.1	2.0	0.5
B304	89.0	8.3	2.5	1.2
C304	70.9	5.1	1.1	0.6
D304	87.1	6.8	2.2	0.9
E304	79.3	5.6	2.3	0.8
F304	88.6	6.0	3.0	0.8
G304	93.1	6.9	2.7	0.6
H304	88.9	6.9	2.7	0.6
I304	91.2	5.8	2.7	0.7
J304	66.3	4.9	1.7	0.6
K304	63.5	3.5	1.5	0.9
L304	73.6	6.4	2.3	1.1
M304	92.9	8.2	2.1	1.2
M305	74.0	5.3	1.9	1.0
L305	56.8	4.7	1.7	0.9
K305	62.2	4.2	2.2	0.8
J305	79.3	5.4	2.8	0.7
I305	65.6	4.9	2.0	0.8
H305	74.2	7.0	1.9	1.0
G305	79.7	6.0	1.6	0.9

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
F305	72.4	6.5	1.4	0.7
E305	71.5	6.7	1.8	1.2
D305	72.0	6.7	1.6	0.6
C305	85.6	7.3	2.0	1.0
B305	83.6	7.5	2.6	0.9
A305	58.2	5.3	1.7	0.5
A306	74.7	4.9	2.3	0.7
B306	76.5	7.2	2.8	0.6
C306	78.9	6.2	1.9	0.7
D306	68.2	7.0	2.2	0.6
E306	70.0	5.9	1.4	0.8
F306	71.8	6.5	1.5	1.0
G306	70.7	5.6	1.3	0.8
H306	69.2	4.9	2.0	0.8
I306	76.2	5.7	2.7	0.5
J306	92.2	7.0	3.1	0.8
K306	66.8	5.1	2.0	0.6
L306	57.7	5.4	2.0	0.8
M306	90.9	6.6	2.4	1.7

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
M307	89.0	6.1	2.7	0.8
L307	52.9	3.3	2.0	0.5
K307	61.3	5.1	1.8	0.5
J307	77.3	7.0	1.6	1.0
I307	61.2	6.1	2.0	0.5
H307	64.4	4.9	1.6	0.4
G307	75.1	7.4	2.3	0.7
F307	66.9	5.2	1.8	1.1
E307	67.9	5.9	1.8	0.7
D307	73.8	6.3	1.2	0.7
C307	68.1	5.6	1.5	0.8
B307	85.0	7.0	2.4	0.6
A307	36.4	2.4	1.2	0.2
A308	65.8	5.8	1.1	1.0
B308	84.7	6.9	2.3	0.8
C308	63.3	4.0	1.6	0.4
D308	65.6	5.2	2.1	0.6
E308	67.3	5.9	1.1	0.3
F308	62.4	5.3	1.6	1.0
G308	59.4	4.9	1.4	0.4

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
H308	78.8	6.3	1.9	0.7
I308	68.4	4.8	1.6	0.5
J308	53.3	5.4	1.8	0.5
K308	53.1	5.0	1.8	0.3
L308	73.7	4.8	2.0	0.6
M308	75.4	6.5	2.2	1.2
M309	69.9	5.3	2.1	0.6
L309	69.0	5.9	2.2	0.6
K309	65.8	4.2	1.7	0.8
J309	61.7	4.2	1.8	0.6
I309	73.6	5.9	1.6	0.7
H309	63.1	4.8	1.1	0.6
G309	60.2	5.0	1.2	0.6
F309	66.5	6.3	2.2	0.7
E309	63.8	3.7	1.6	0.6
D309	82.3	5.7	2.5	1.3
C309	69.0	4.6	1.7	0.6
B309	94.4	5.8	2.6	1.1
A309	79.0	6.0	2.3	0.8

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
A310	73.2	5.3	1.6	1.0
B310	89.4	6.5	2.6	0.7
C310	75.4	6.4	2.4	0.9
D310	63.2	5.5	2.5	0.5
E310	89.2	6.2	2.5	1.0
F310	88.5	7.2	2.6	1.1
G310	69.4	4.9	1.9	1.0
H310	61.0	5.2	1.5	0.9
I310	61.6	4.6	1.9	1.0
J310	70.3	7.1	2.4	0.6
K310	66.3	4.7	1.8	0.6
L310	78.1	5.7	1.5	1.0
M310	73.7	4.7	1.6	0.6
M311	73.8	5.4	2.0	0.7
L311	75.6	6.1	2.1	0.8
K311	78.8	4.7	2.2	1.4
J311	84.0	6.4	2.4	0.5
I311	75.7	5.8	2.4	0.6
H311	66.8	5.2	1.6	0.4
G311	58.7	4.9	1.4	1.0

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
F311	86.1	8.0	2.2	0.9
E311	68.1	5.8	1.3	0.8
D311	70.0	5.8	1.8	0.7
C311	85.6	6.2	2.1	0.6
B311	73.7	6.2	1.8	0.7
A311	57.7	6.2	1.2	0.6
A312	74.5	7.2	1.2	1.3
B312	56.4	4.6	1.4	0.7
C312	69.3	5.7	2.3	0.4
D312	67.1	5.6	2.2	0.8
E312	74.1	6.0	1.9	0.5
F312	75.8	5.2	2.3	1.1
G312	82.8	6.4	1.9	0.7
H312	75.6	4.3	2.6	1.1
I312	78.6	6.6	1.4	1.1
J312	91.9	6.4	2.2	0.9
K312	74.9	6.5	2.3	1.1
L312	82.9	6.5	2.4	1.0
M312	77.3	6.3	2.4	0.8

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
M313	80.8	6.3	2.6	1.1
L313	74.5	5.3	2.3	1.2
K313	84.5	5.7	2.2	1.1
J313	87.7	7.4	3.0	1.2
I313	70.8	5.5	1.7	1.0
H313	89.6	5.8	2.1	1.5
G313	59.1	5.1	1.5	0.9
F313	75.3	6.4	1.8	0.5
E313	81.9	6.4	1.8	0.7
D313	65.2	6.4	2.4	0.6
C313	74.8	6.3	1.9	0.7
B313	62.1	6.2	1.4	0.9
A313	73.0	6.0	2.0	1.3
A314	69.3	5.6	1.9	0.9
B314	72.4	6.1	1.3	0.4
C314	66.6	6.0	1.5	0.5
D314	77.2	6.0	2.7	1.0
E314	84.7	7.2	2.4	1.0
F314	74.7	6.1	2.3	0.6
G314	83.5	6.8	2.3	0.9

Station	TC (CPS)	K (CPS)	U (CPS)	Th (CPS)
H314	65.2	4.9	1.8	0.7
I314	53.3	3.8	1.5	0.6
J314	58.7	5.4	1.7	0.5
K314	86.4	5.4	2.1	1.3
L314	87.0	6.9	2.0	1.0
M314	74.1	6.1	1.9	1.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

ภาคผนวกที่ 3

จำนวนความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท
ที่ติดไว้ ณ สถานีสำรวจในบริเวณแรก (ติดกับยอดดอยเปปอแม็ก)
ระหว่างวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2533 ถึงวันที่ 10 มีนาคม 2533

สถานี	t/cm ² .d	สถานี	t/cm ² .d
A 200	-	H 202	4252
B 200	-	I 202	1698
C 200	-	J 202	1782
D 200	-	K 202	1410
E 200	-	L 202	1610
F 200	2762	M 202	1594
G 200	1869	N 202	1984
H 200	-	O 202	2038
I 200	2895	P 202	2365
J 200	1965	Q 202	1963
K 200	2780	A 204	-
L 200	2627	B 204	2031
M 200	2078	C 204	3080
N 200	1880	D 204	2696
O 200	1245	E 204	8009
P 200	1394	F 204	3120
Q 200	2101	G 204	2232
A 202	-	H 204	1964
B 202	-	I 204	1492
C 202	-	J 204	1633
D 202	-	K 204	2651
E 202	-	L 204	1993
F 202	1334	M 204	2751
G 202	-	N 204	2696
		O 204	4567

สถานี	t/cm ² .d
P 204	1200
Q 204	1780
A 206	925
B 206	950
C 206	1002
D 206	1152
E 206	1720
F 206	1688
G 206	1701
H 206	2506
I 206	2782
J 206	1811
K 206	4057
L 206	13602
M 206	2408
N 206	1342
O 206	1765
P 206	5181
Q 206	3999
A 208	841
B 208	3612
C 208	1788
D 208	2230
E 208	1716
F 208	1937

สถานี	t/cm ² .d
G 208	1929
H 208	2403
I 208	1988
J 208	1912
K 208	2323
L 208	4213
M 208	59727
N 208	3747
O 208	2397
P 208	4028
Q 208	3099
A 210	-
B 210	-
C 210	-
D 210	3552
E 210	5480
F 210	3703
G 210	4058
H 210	3764
I 210	4248
J 210	-
K 210	1974
L 210	4563
M 210	4504
N 210	1966

สถานี	t/cm ² .d
P 204	1200
Q 204	1780
A 206	925
B 206	950
C 206	1002
D 206	1152
E 206	1720
F 206	1688
G 206	1701
H 206	2506
I 206	2782
J 206	1811
K 206	4057
L 206	13602
M 206	2408
N 206	1342
O 206	1765
P 206	5181
Q 206	3999
A 208	841
B 208	3612
C 208	1788
D 208	2230
E 208	1716
F 208	1937

สถานี	t/cm ² .d
G 208	1929
H 208	2403
I 208	1988
J 208	1912
K 208	2323
L 208	4213
M 208	59727
N 208	3747
O 208	2397
P 208	4028
Q 208	3099
A 210	-
B 210	-
C 210	-
D 210	3552
E 210	5480
F 210	3703
G 210	4058
H 210	3764
I 210	4248
J 210	-
K 210	1974
L 210	4563
M 210	4504
N 210	1966

สถานี	t/cm ² .d
O 210	1189
P 210	3047
Q 210	-
A 212	7357
B 212	-
C 212	4831
D 212	2377
E 212	2996
F 212	3673
G 212	8137
H 212	-
I 212	1635
J 212	3379
K 212	1647
L 212	6540
M 212	1933
N 212	1517
O 212	1628
P 212	-
Q 212	-
A 214	-
B 214	5641
C 214	2874
D 214	-
E 214	4152

สถานี	t/cm ² .d
F 214	4164
G 214	2254
H 214	2052
I 214	3236
J 214	1106
K 214	976
L 214	1766
M 214	3532
N 214	1075
O 214	1841
P 214	-
Q 214	2714
A 216	3258
B 216	1432
C 216	2165
D 216	2426
E 216	-
F 216	1549
G 216	-
H 216	2157
I 216	-
J 216	3199
K 216	1974
L 216	1536
M 216	-

สถานี	t/cm ² .d	สถานี	t/cm ² .d
N 216	2431	E 220	902
O 216	-	F 220	910
P 216	1014	G 220	1029
Q 216	1671	H 220	-
A 218	-	I 220	1427
B 218	-	J 220	1189
C 218	1131	K 220	1805
D 218	1716	L 220	1826
E 218	2233	M 220	3293
F 218	2721	N 220	3258
G 218	2169	O 220	3048
H 218	1597	P 220	879
I 218	1311	Q 220	4114
J 218	1461		
K 218	1572		
L 218	1129		
M 218	-		
N 218	5193		
O 218	1600		
P 218	1410		
Q 218	-		
A 220	-		
B 220	2821		
C 220	966		
D 220	866		

ภาคผนวกที่ 4

จำนวนความหนาแน่นรอยอนุภาคอัลฟาในแผ่นฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท
ที่ติดไว้ ณ สถานีสำรวจในบริเวณที่สอง (ห่างจากยอดดอยแปเปอแม็ก
มาทางตะวันตกประมาณ 1 กิโลเมตร) ระหว่างวันที่ 12-26
พฤษภาคม 2533

สถานี	t/cm ² .d	สถานี	t/cm ² .d
A 300	3265	A 302	-
B 300	8078	B 302	2372
C 300	15816	C 302	3558
D 300	-	D 302	-
E 300	3873	E 302	5527
F 300	4784	F 302	6058
G 300	5873	G 302	10892
H 300	3493	H 302	3036
I 300	11879	I 302	2760
J 300	12639	J 302	-
K 300	8249	K 302	3964
L 300	-	L 302	4098
M 300	3391	M 302	6916
A 301	-	A 303	-
B 301	-	B 303	-
C 301	-	C 303	-
D 301	-	D 303	2431
E 301	7886	E 303	6717
F 301	-	F 303	-
G 301	-	G 303	12957
H 301	3915	H 303	6230
I 301	4655	I 303	2766
J 301	-	J 303	5551
K 301	-	K 303	-
L 301	-	L 303	-

สถานี	t/cm ² .d
A 304	5164
B 304	9644
C 304	-
D 304	11474
E 304	4283
F 304	7163
G 304	3230
H 304	-
I 304	-
J 304	14454
K 304	8044
L 304	6788
M 304	2511
A 305	-
B 305	-
C 305	-
D 305	5030
E 305	4070
F 305	3557
G 305	6273
H 305	7363
I 305	10335
J 305	20749
K 305	-
L 305	-

สถานี	t/cm ² .d
A 306	5899
B 306	8937
C 306	5511
D 306	3611
E 306	3701
F 306	4890
G 306	10402
H 306	11798
I 306	-
J 306	31585
K 306	18928
L 306	16760
M 306	7847
A 308	-
B 308	5776
C 308	5650
D 308	2730
E 308	8939
F 308	3345
G 308	5841
H 308	13724
I 308	7905
J 308	5172
K 308	7072
L 308	4046

สถานี	$t/cm^2 \cdot d$
M 308	11672
A 310	3514
B 310	2790
C 310	6909
D 310	4835
E 310	-
F 310	4875
G 310	5198
H 310	3287
I 310	3682
J 310	7756
K 310	5350
L 310	3816
M 310	7239
A 312	1749
B 312	3467
C 312	3735
D 312	10367
E 312	4411
F 312	11081
G 312	1362
H 312	-
I 312	-
J 312	5574
K 312	4960

สถานี	$t/cm^2 \cdot d$
L 312	6112
M 312	-
A 314	1938
B 314	875
C 314	4224
D 314	3634
E 314	7979
F 314	13025
G 314	4029
H 314	4053
I 314	3139
J 314	5521
K 314	5489
L 314	6847
M 314	1007
B 20	20319

คณะผู้วิจัย

กิตติชัย วัฒนานิก

ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์

คุณวุฒิ วท.บ. เกียรตินิยม (ฟิสิกส์)

M.Sc. (Engineering and Mining
Geophysics)

Ph.D. (Applied Geophysics)

พงษ์พอ อาสนจินดา

ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ภาควิชาธรณีวิทยา

คุณวุฒิ วท.บ. (ธรณีวิทยา)

M.Sc. (Mining Geology)

ประโยชน์ อุณจะนำ

ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาธรณีวิทยา

คุณวุฒิ วท.บ. (ธรณีวิทยา)

วท.ม. (ธรณีวิทยา)

Ph.D. (Mineralogy and Petrology)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved