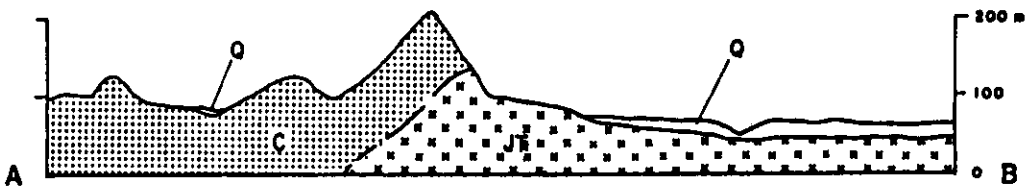
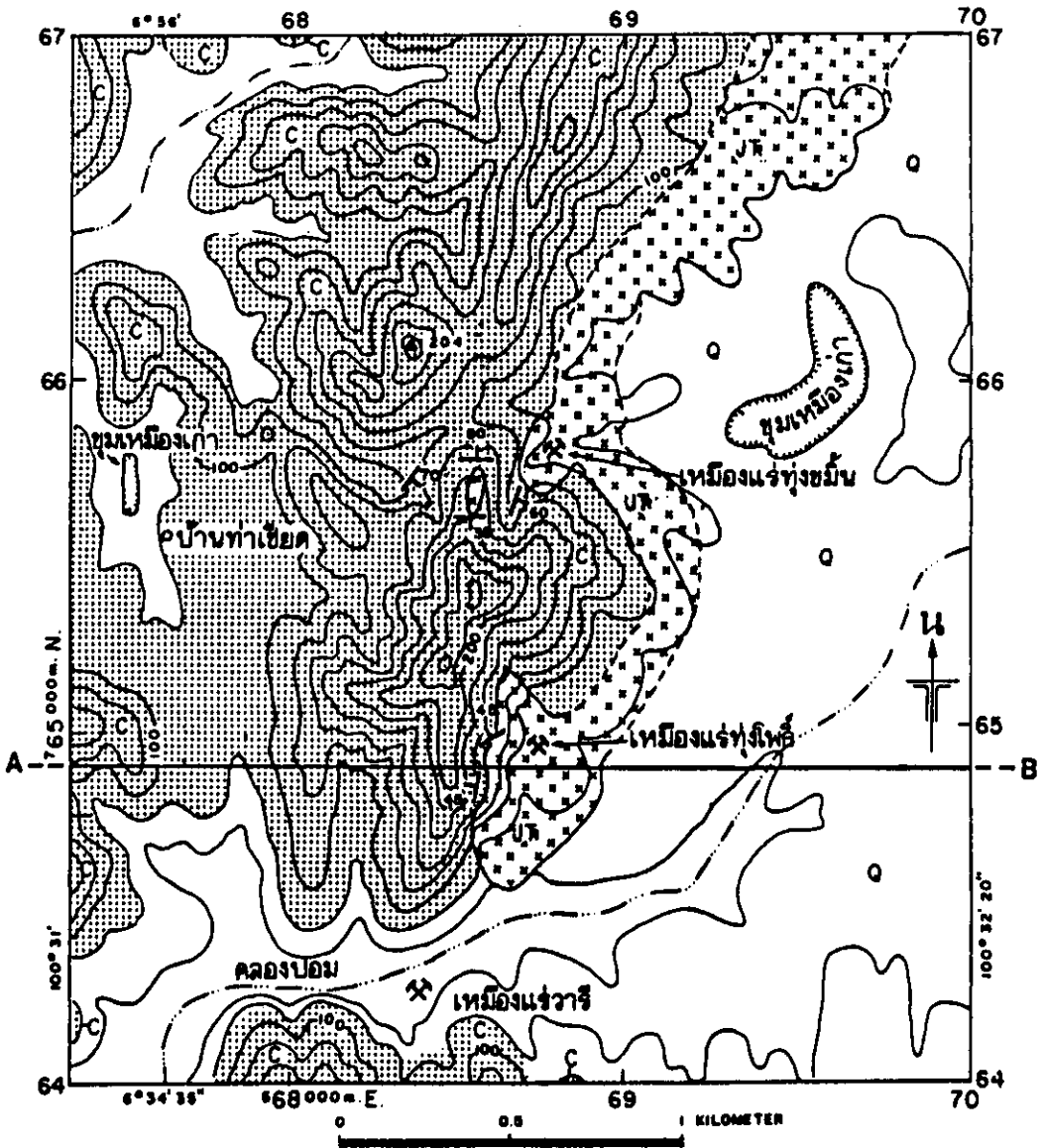


3. ธรณีวิทยาแหล่งแร่

เนื่องจากเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งชัน อยู่ในบริเวณเขาลูกเตียวกัน ล้ำภาพทางธรณีวิทยา แหล่งแร่อยู่ภายใต้อิทธิพลของ granitic stock ลูกเตียวกัน ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาไปพร้อมกัน (รูปที่ 3-1)

3.1 ดินท้องถิ่น

ดินท้องถิ่นในบริเวณนี้ เป็นดินตะกอนที่สะสมตัวในต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส ได้แก่ ดินทราย ดินทรายแป้ง และดินดินดานเรียงสลับกัน โดยมีความหนาของชั้นดินทรายและดินทรายแป้ง หนา 0.5-30 ซม. ดินดินดานหนา 5 ซม. ถึง 1 เมตร บางบริเวณที่ใกล้รอยสัมผัสกับดินแกรนิต ดินก็จะถูกแปรสภาพไปเป็นดินแปร เช่น ดินควอร์ตไซต์ ดินเมตาซิลต์สโตน และดินออร์นเฟลล์ ดินท้องถิ่น ทางด้านตะวันตกของเขา ได้รับอิทธิพลจากดินแกรนิตน้อยกว่าทางด้านตะวันออก



CONTOUR INTERVAL 20 METERS
DATUM IS MEAN SEA LEVEL

- Q Quaternary deposits : sands, silts, clays, gravels, and talus.
- J Late Triassic to Early Jurassic : granite.
- C Carboniferous : sandstone, siltstone, mudstone, and their metamorphic equivalent.

รูปที่ 3-1 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น

3.1.1 ลักษณะของหินท้องถิ่น

สีของหินบอกตาม " Rock-Color Chart " (prepared by committee of the National Research Council in 1948) เป็นสีที่บอกจากผิวสดของหิน

หินทราย : fine to medium-grained; round to subround; poorly sorted; white N 9 to very light gray N 8

หินทรายแป้ง : white N 9

หินดินดาน : medium light gray N 6

หินควอartzไซต์ : very fine-grained to coarse-grained; olive gray 5 Y 4/1, brownish gray 5 YR 4/1, very light gray N 8, pinkish gray 5 YR 8/1, dark gray N 4

หินฮอร์นเฟลส์ : medium dark gray N 4

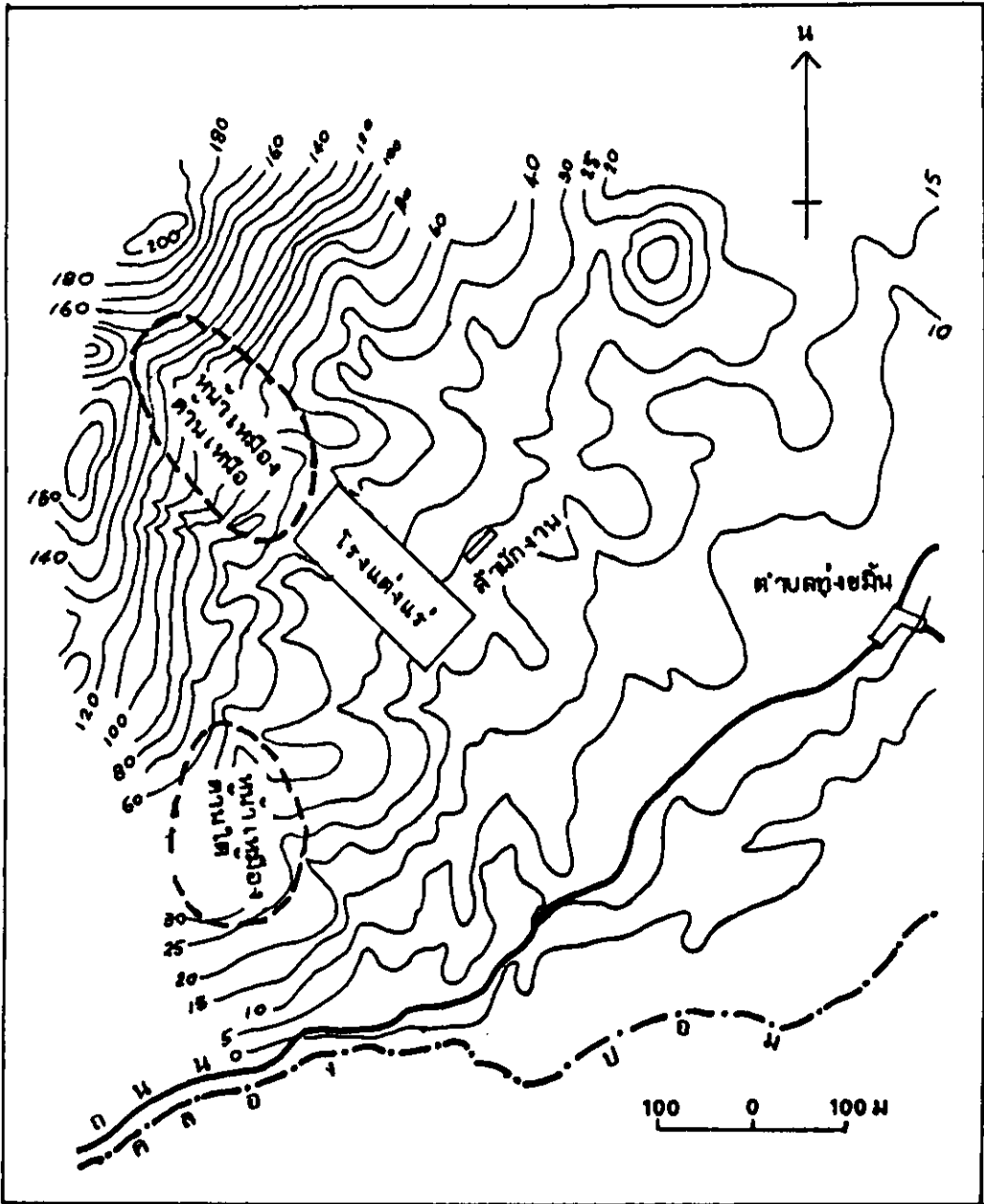
3.2 หินอัคนีแทรกซอน

หินอัคนีแทรกซอนในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น มีหินไบโอไทต์แกรนิต หินลิวโคแกรนิต (leucogranite) หินแอสเทรต์ และสายแร่ควอartz หินกลุ่มนี้มีอายุประมาณปลายยุคโครแอตถึงต้นยุคยูแรลลิก

3.2.1 หินแกรนิต

หินแกรนิตในบริเวณนี้มีเนื้อหินเม็ดเล็กถึงหยาบ ไม่พบพวกเนื้อดอก หินแกรนิตเนื้อดอกที่พบใกล้ที่สุด อยู่ห่างจากเหมืองทุ่งขมิ้นไปทางเหนือประมาณหนึ่งกิโลเมตร และจากเหมืองทุ่งโพธิ์ไปทางใต้ประมาณหนึ่งกิโลเมตร คือใกล้กับเหมืองบ้านนา (กริต 695,671) และที่กริต(692,632)

หินแกรนิตที่เผยให้เห็นในบริเวณหน้าเหมือง (รูปที่ 3.2.1-1) พบพวกเนื้อหยาบตามต้นเขา สูงขึ้นไปเม็ดจะเล็กลงเป็นพวกหินลิวโคแกรนิต หน้าเหมืองทุ่งโพธิ์ด้านใต้ที่ระดับความสูง 60-80 เมตร (ดูเส้นความสูงจากรูปที่ 3-1) เป็นหินลิวโคแกรนิต ที่บริเวณอุโมงค์สำรวจ (กริต 687,648) หินลิวโคแกรนิตใหม่ที่ระดับความสูง 80 เมตร ถึง 125 เมตร ต่ำกว่าระดับ 80 เมตร เป็นหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อกลาง-หยาบ หน้าเหมืองด้านเหนือตรงต้นเขาซึ่งเป็นที่ตั้งศาลพระภูมิ (กริต 687,651) ความสูงประมาณ 110 เมตร เป็นหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อหยาบ ขึ้นไปตามลาดเขาแนวตะวันตกเฉียงเหนือที่ระดับความสูง 118 ถึง 140 เมตร เป็นหินลิวโคแกรนิตเนื้อเล็ก-กลาง



รูปที่ 3.2.1-1 -แผนที่แสดงบริเวณหน้าเหมืองของเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์
(ระดับมูลฐานคือริมฝั่งคลองปอม)

บริเวณทางเหนือของศาลพระภูมิมีหินท้องที่ปกคลุมลงมาถึงความสูง 110 เมตร หน้าเหมืองด้านเหนือสุดของเหมืองทุ่งโพธิ์ (กริด 687,652) หินลิวโคแกรนิตโผล่ตั้งแต่ระดับความสูง 120-150 เมตร หน้าเหมืองทุ่งชัน ที่เหมืองล่าง (กริด 687,657) หินไบโอโทต์แกรนิต เนื้อกลาง-หยาบ โผล่ถึงระดับความสูง 110 เมตร ที่เหมืองบนตามแนวสันเขาที่ขึ้นไปทางเหนือระดับความสูง 160 เมตร (กริด 685,656) มีหินลิวโคแกรนิต เนื้อเล็ก-กลางโผล่ บางแห่งพบเป็นพัง(dike) แทรกตามรอยแตกในหินควอร์ตไซต์

แร่ดีบุกพบฝังประอยู่ในหินลิวโคแกรนิตที่เปลี่ยนแปลงสภาพมาก ความมากน้อยของแร่จะผันแปรไปกับการเปลี่ยนแปลงสภาพ เป็นที่น่าสังเกตว่าหินลิวโคแกรนิตที่เหมืองทุ่งชันมีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปน้อยกว่าที่เหมืองทุ่งโพธิ์ แร่ไบโอโทต์ที่เปลี่ยนแปลงสภาพไปยังมีสีเข้มกว่าทางเหมืองทุ่งโพธิ์

3.2.1.1 การศึกษาหินแกรนิตภายใต้กล้องจุลทรรศน์

หินแกรนิตในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งชัน จำนวนกันได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ หินไบโอโทต์แกรนิตเนื้อกลาง-หยาบ (medium-to coarse-grained biotite granite) และหินลิวโคแกรนิตเนื้อเล็ก-กลาง (fine-to medium-grained leucogranite) ซึ่งแตกต่างกันที่สีเนื้อหินและปริมาณของแร่ไบโอโทต์

1) Medium-to coarsed-grained biotite granite

In thin section the texture is hypidiomorphic granular. Felsic minerals comprise potash feldspar, albite and quartz. The potash feldspars are orthoclase and perthite. Albite shows twinning and the composition is in the range An 5.5 to An 7. Most of the feldspars are intensely altered to clay minerals and they are difficult to distinguish from each others. Quartz is anhedral, enclosing plagioclase and biotite fragments. Biotite forms irregular laths with pleochroism from moderate brown to dark brown. Radioactive inclusions of zircon in biotite shows pleochroic halos. Tourmaline with pleochroism from brown to olive, 4 x 0.5 mm. in size, replaced plagioclase. Topaz is highly fractured, being partly replaced by sericite. Muscovite is a late mineral occurring as scattered irregular plates.

ตารางที่ 3.2.1.1-1

Modal analyses of medium-grained biotite granite (volume %)

Sample No. (Grid reference)	Q	Pl	Kf	Alt.f	Bi	Tou	Tp	Mu	S	Total counts
TP-1 (687,651)	33.72	18.07	19.63	20.12	2.82	-	1.46	-	4.18	1029
TP-4 (687,647)	31.20	21.74	15.26	25.49	0.68	0.94	2.81	1.19	0.69	1173
H-18 (687,657)	37.26	17.99	9.76	28.30	2.18	0.24	1.69	1.13	1.45	1240

N.B. Q = quartz, Pl = plagioclase, Kf = potash feldspar,
Alt.f = altered feldspar, Bi = biotite, Tou = tourmaline,
Tp = topaz, Mu = muscovite, S = sericite.

2) Fine-to medium-grained leucogranite

In thin section the texture is hypidiomorphic granular. Felsic minerals are quartz, potash feldspar and albite. Quartz is anhedral, enclosing plagioclase and potash feldspar fragments. Potash feldspars are orthoclase and perthite which are partly altered to clay minerals. The orthoclase is the predominant feldspar. Plagioclase, in the range of albite, An 7 to An 9.5, altered to sericite. Both feldspars are intensely altered to clay and sericite. Biotite shows very pale brown pleochroism. Accessories include topaz, apatite, epidote and muscovite. Cassiterite occurs as disseminated grains in some sections; it is reddish brown and shows zoning.

ตารางที่ 3.2.1.1-2

Modal analyses of fine-grained leucogranite (volume %)

Sample No. (Grid reference)	Q	Kf	Pl	Alt.f	Bi	Tp	Mu	Ap	Ep	Total counts
TP-2 (686,650)	30.43	44.29	14.42	4.04	1.98	4.12	0.56	0.16	-	1262
TP-3 (687,652)	28.35	36.62	26.58	2.97	-	4.27	0.84	-	0.37	1076

N.B. Q = quartz, Kf = potash feldspar, Pl = plagioclase,
Alt.f = altered feldspar, Bi = biotite, Tp = topaz,
Mu = muscovite, Ap = apatite, Ep = epidote

3.2.2 หินแอพลิต์

หินแอพลิต์พบบ้างในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น ที่หน้าเหมืองบ้านเหมือของทุ่งโพธิ์ (กริด 686,652) ระดับความสูงประมาณ 142 เมตร ลายหินแอพลิต์ที่เปลี่ยนสภาพมา 2⁺ ชม ตัดหินแกรนิตเนือกลาง ที่ระดับความสูง 145 เมตร เหมืองทุ่งขมิ้น (กริด 685,657) ลายทัวร์มาลีนแอพลิต์ที่เปลี่ยนสภาพเป็นหินขาวตัดหินควอร์ตไซต์ ลายหินนี้มีแนว น. 160° กว้างประมาณ 3-5 เมตร ที่เหมืองบ้านนาลายหินแอพลิต์ตัดลายแร่ควอร์ตไซต์ แสดงว่าเกิดขึ้นที่หลังลายแร่ควอร์ตไซต์

3.2.2.1 การศึกษาหินแอพลิต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

It is leucocratic, fine-grained saccharoidal rock consisting mainly of quartz and potash feldspar. The feldspars are orthoclase and microcline, together with smaller amounts of albite (An 9). Tourmaline occurs as slender prismatic, 0.25 to 1.5 mm. in size under microscope it shows pleochroism olive to brown. Other accessories include topaz and muscovite.

ตารางที่ 3.2.2.1-1

Modal analyses of aplite (volume %)

Sample No. (Grid reference)	B 49/2 (707, 627)
Quartz	40.56
Potash feldspar	47.24
Plagioclase	2.62
Tourmaline	7.05
Topaz	1.90
Muscovite	0.63
Total counts	1,107

3.2.3 สายแร่ควอร์ตซ์ (ดูหัวข้อ 3.4.2 ประกอบ)

สายแร่ควอร์ตซ์ในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งชัน ตัดหินแกรนิตและหินท้องถิ่น จากการสำรวจพบว่า ที่เหมืองทุ่งโพธิ์มีสายแร่ควอร์ตซ์น้อยกว่าที่เหมืองทุ่งชัน ควอร์ตซ์ในบริเวณนี้มีสีขาวขุ่น ไม่มีสีและสีเทาดำ ทั้งมีขึ้นกับจุดรอยของการกำเนิดและแร่อื่นที่เกิดร่วมอยู่ด้วย แร่ดีบุกเกิดในสายแร่ควอร์ตซ์ขนาดเล็ก หนา 0.2 มม. ถึง 3 ซม. ในสายที่หนากว่านี้มักไม่มีแร่ดีบุก แต่ก็เคยพบแร่ดีบุกในสายแร่ควอร์ตซ์ซึ่งหนาถึง 15 ซม. ยาวประมาณ 4 เมตร ที่บริเวณหน้าเหมืองด้านใต้ห่างจากปากอุโมงค์ไปทางตะวันออกประมาณ 40 เมตร เป็นแร่ดีบุกล้วน หนาถึง 10 ซม. ตัวอย่างแร่ดังกล่าวมีให้ชมที่สำนักงานเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์ (สมบูรณ์กุล, การติดต่อส่วนตัว) และทราบว่าหลังจากพบสายแร่ควอร์ตซ์ที่มีแร่ดีบุกแล้ว ไม่เคยพบสายที่ใหญ่ขนาดนี้อีกเลย นอกจากแร่ดีบุกในสายควอร์ตซ์แล้ว ตอนเริ่มทำเหมืองใหม่ๆ เคยพบแร่วุลดแฟรมในสายควอร์ตซ์ สายควอร์ตซ์บางแห่งมีแร่ไพไรต์ อาร์เซนโนไพไรต์ คาลโคไพไรต์ ทังสเตนอยู่ด้วย ที่เหมืองทุ่งชันมีสายควอร์ตซ์ที่มีแร่เฟลด์สปาร์ ความหนาของสาย 30-50 ซม.

3.3 สินแร่

สินแร่บางชนิดในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งชัน สามารถถูกจำหน่ายโดยคนขายแร่ได้ด้วยตาเปล่าหรือวันขยาย บางชนิดมีขนาดเล็กมากต้องอาศัยเครื่องมือประเภทอื่นช่วยในการตรวจวิเคราะห์ พวกที่จำหน่ายได้มี ดังนี้

แร่ดีบุก : ที่ฝังประในหินแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์ โดยเฉพาะแร่ที่พบเป็นกระเปาะ (pocket or lens) ขนาดของเม็ดแร่ 0.5-4.0 มม. เฉลี่ยประมาณ 1-2 มม. ที่เกาะกันเป็นกลุ่มของผลึกขนาดถึง 1 ซม. สีของแร่คล้ายสีเปลือกมังคุด และสีน้ำตาลดำ ที่เป็นผลึกจะแสดงริ้วรอยขนาน (striation) ส่วนแร่ดีบุกจากเหมืองทุ่งชันมีหลายสี ที่พบในสายควอร์ตซ์มีสีน้ำตาล น้ำตาลดำ แร่จากบริเวณลานแร่ มีสีน้ำตาล น้ำตาลดำ น้ำตาลอ่อน ไปถึงน้ำตาลอมขาว เหลืองอมน้ำตาล และเหลือง แร่ดีบุกบางก้อนมีหลายสีอยู่ในก้อนเดียวกัน แร่จากลานแร่มีขนาด 0.5 มม. ถึง ขนาด 1 x 1.5 ซม. พวกเม็ดหยาบยังมีหน้าผลึกเหลืออยู่

- วูลแฟรม : พบในล่ายควออร์ตซ์ ขนาด 0.5×5 ซม. ปัจจุบันไม่เคยพบอีก
มีแต่เม็ดเล็กที่เกิดร่วมกับแร่ดีบุก ซึ่งต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์จึงจะ
ตรวจดูได้
- ไพไรต์ : แร่เหล็กกำมะถันพบประปรายในหินแกรนิต และล่ายควออร์ตซ์ ขนาด
เม็ดละเอียดถึง 2 มม. เป็นผลึก 4 เหลี่ยมลูกบาศก์
- อาร์เซโนไพไรต์ : แร่เหล็ก-สารหนู-กำมะถัน พบประปรายในหินแกรนิต และล่ายควออร์ตซ์
น้อยกว่าไพไรต์
- ทอร์เบอร์ไนต์ : แร่ทองแดง-ยูเรเนียม-ฟอสเฟต สีเขียวอมรกต เป็นเกล็ดขนาด $1.5-1.0$
มม. แทรกตามรอยแตกของหินแกรนิต ล่ายควออร์ตซ์และหิน
ควออร์ตไซต์ พบมากในหินแกรนิตผุ
- มาลาไคต์ : แร่ทองแดงคาร์บอเนต สีเขียว พบเป็นคราบ ทั่วๆตามรอยแตกใน
หินแกรนิตและล่ายควออร์ตซ์
- ฟลูออไรต์ : แร่แคลเซียมฟลูออไรต์ สีม่วง พบในล่ายควออร์ตซ์ หน้า 5 มม. ตัด
หินลิวโคแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์ และพบฝังประปรายในหินแกรนิตเนื้อหยาบ
ที่เหมืองทุ่งชัน
- โสมอนต์ : แร่เหล็กไฮดรอกไซด์ สีน้ำตาลดำ พบเป็นคราบในหิน
- แมงกานีสออกไซด์ : สีดำพบตามรอยแตกในหินแกรนิต และหินทองที่
- แร่อื่นๆ : หั้วรมาสิน ควออร์ตซ์ เฟลด์สปาร์

หินแร่บางชนิดมีขนาดเล็กมาก ต้องศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ megascopic
หรือบางโอกาสอาจใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Isodynamic) ช่วยแยกแร่ที่มี
คุณสมบัติต่างกันออกจากกันก่อน แล้วจึงนำไปตรวจชนิดของแร่โดยวิธี X-ray diffraction
ขั้นตอนนี้ตรวจวิเคราะห์โดย คุณจินตนา พูลเกษ และ คุณสุนทร บัณฑิต กอธรณีวิทยา
กรมทรัพยากรธรณี

3.3.1 ตัวอย่างหัวแร่

ผลการตรวจตัวอย่างหัวแร่ที่จะส่งขาย จากเหมืองทุ่งโพธิ์ 2 ตัวอย่าง มีแร่ดังต่อไปนี้
แร่ดีบุก เหล็กออกไซด์ ลัทรูเวอไรต์ โคสโมไบต์-แทนทาลิต เอพิโดต เซอร์คอน
โมนาไซต์ ฮีโนไมท์ รูทิล การ์เนต แมกนีไทต์ ฮิลเมไนต์ และโทแพซ

3.3.2 ตัวอย่างหัวแร่จากโตะสีนที่ผ่านตะแกรงขนาด-0.150+0.125 มม.

มีแร่ดังต่อไปนี้ แร่ดีบุก โทแพซ ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ เหล็กออกไซด์ ไมกา หั้วรมาสิน โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ สกรูเวไรต์ การ์เนต สปีเนล รูไทล์ และเซอร์คอน

3.3.3 ตัวอย่างหัวแร่จากโตะสีนที่ผ่านตะแกรงขนาด-0.106 มม.

มีแร่ดังต่อไปนี้ แร่ดีบุก โทแพซ เหล็กออกไซด์ ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมกา โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ สกรูเวไรต์ อิลเมนิต์ รูไทล์ หั้วรมาสิน วุลแฟรมิต์ และแมงกานีสออกไซด์

ตารางที่ 3.3-1 แสดงชนิดของแร่ในสินแร่

ชนิด	สูตรเคมี
Cassiterite	SnO_2
Ilmenite	$Fe TiO_3$
Columbite-Tantalite	$(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$
Struverite	$Fe_{x/3}(Ta, Nb)_{2-x/3}Ti_{1-x}O_2$
Monazite	$(La, Ce, Th) PO_4$
Xenotime	YPO_4
Zircon	$Zr SiO_4$
Magnetite	$FeO \cdot Fe_2O_3$
Wolframite	$(Fe, Mn) WO_4$
Rutile	TiO_2
Torbernite	$Cu (UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8-12 H_2O$
Pyrite	$Fe S_2$
Arsenopyrite	$Fe As S$
Malachite	$Cu_2CO_3(OH)_2$
Fluorite	CaF_2
Limonite	$FeO(OH) \cdot nH_2O$

Accessory minerals = Quartz, feldspar, mica, topaz, tourmaline, garnet, epidote

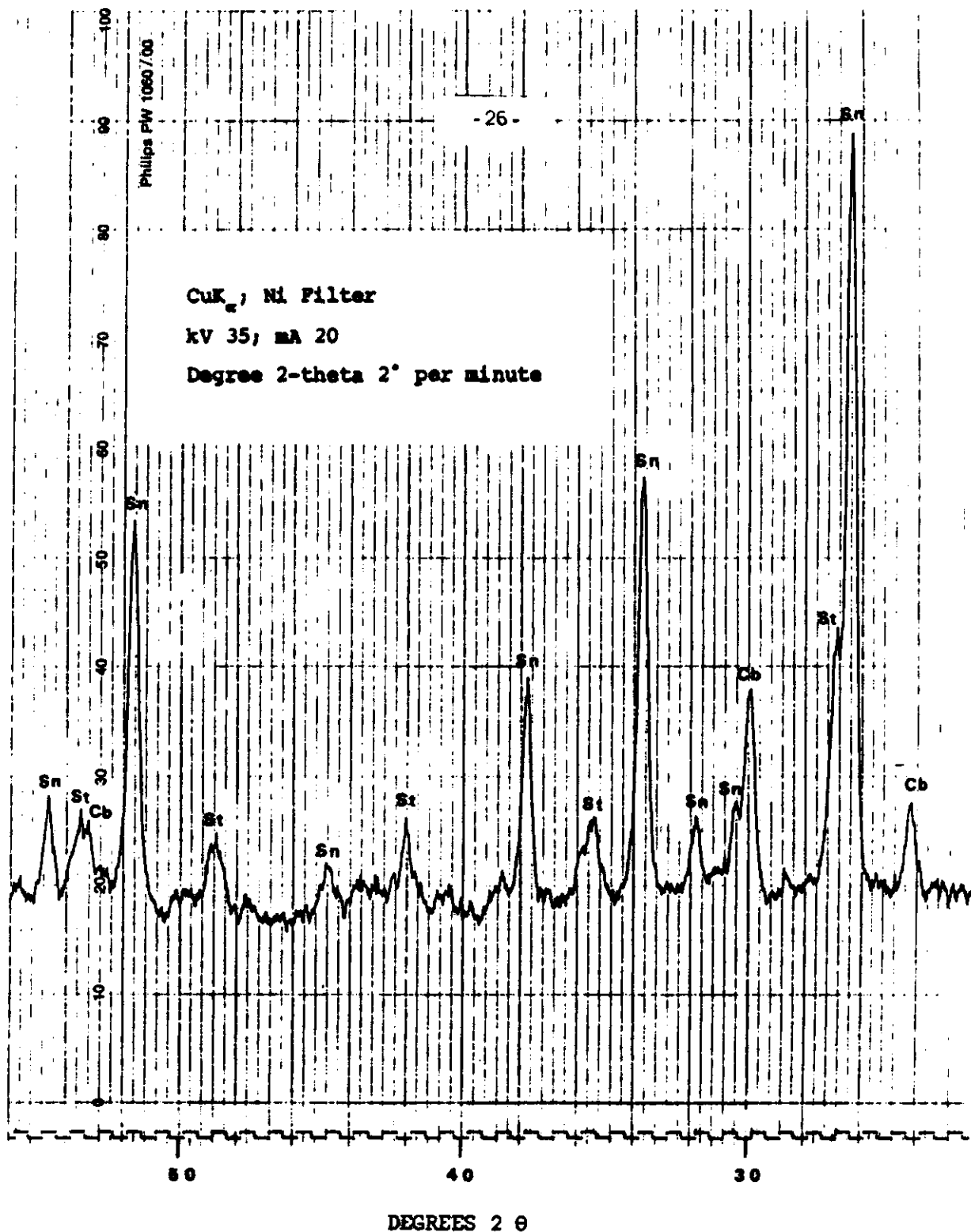
3.3.4 การตรวจวิเคราะห์แร่โดยวิธี X-ray diffraction

ในการศึกษาชนิดของแร่ในดินแร่โดยวิธี X-ray diffraction หากแร่ที่มีปริมาณน้อยปนอยู่กับแร่อื่นๆ อาจทำให้ peak ของแร่ที่มีน้อยถูกบดบังไปได้ จึงจำเป็นต้องแยกเอาแร่ที่อื่นออกเสียก่อน ในการตรวจแร่โคสโมไบต์-แทนทาลิต และสัทรูเวอไรต์ของเหมืองทุ่งโพธิ์คุณสุนทร ปัทมสูต (กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี) ได้ทดลองตรวจตัวอย่างหัวแร่จากเหมืองทุ่งโพธิ์โดยไม่แยกแร่ที่อื่นออกก่อน ผลที่ได้ ไม่ปรากฏ peaks ของแร่โคสโมไบต์-แทนทาลิต และแร่สัทรูเวอไรต์ มี peaks ของแร่โทแพซ และแร่ดีบุก จึงได้นำหัวแร่มาทำการแยกด้วยเครื่องแม่เหล็กไฟฟ้า แยกเอาเฉพาะแร่ส่วนที่ติดแม่เหล็ก 0.3 Å มาตรวจ มี peaks ของแร่ทั้งสองชนิดนี้ปรากฏขึ้น แต่ไม่เด่น เมื่อเอาแร่ส่วนที่ติดแม่เหล็ก 0.35 Å มาตรวจ peaks ของแร่โคสโมไบต์-แทนทาลิต และสัทรูเวอไรต์ เด่นออกมาพร้อมกับแร่ดีบุก ดังรูปที่ 3.3.4-1, 3.3.4-2, 3.3.4-3, 3.3.4-4

3.4 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

ลักษณะโครงสร้างของชั้นหินในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น ส่วนใหญ่เป็นผลจากการดันตัวในแนวเหนือ-ใต้ของ granitic pluton ในปลายยุคโทรแอลลิกถึงต้นยุคยูแรลลิก (Ishihara et al., 1980) ทำให้บริเวณนี้เป็นบริเวณของหย่อมหินอัคนี แนวของชั้นหินอยู่ในแนวเดียวกับแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอน-แปร คือ เหนือ-ใต้ และค่อนข้างทางตะวันออก-เฉียงเหนือ ส่วนความเอียงเทของชั้นหินนั้นไม่แน่นอน โดยเฉพาะทางเหมืองทุ่งขมิ้น ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพของแต่ละบริเวณกับหินแกรนิตที่ดันขึ้นมา

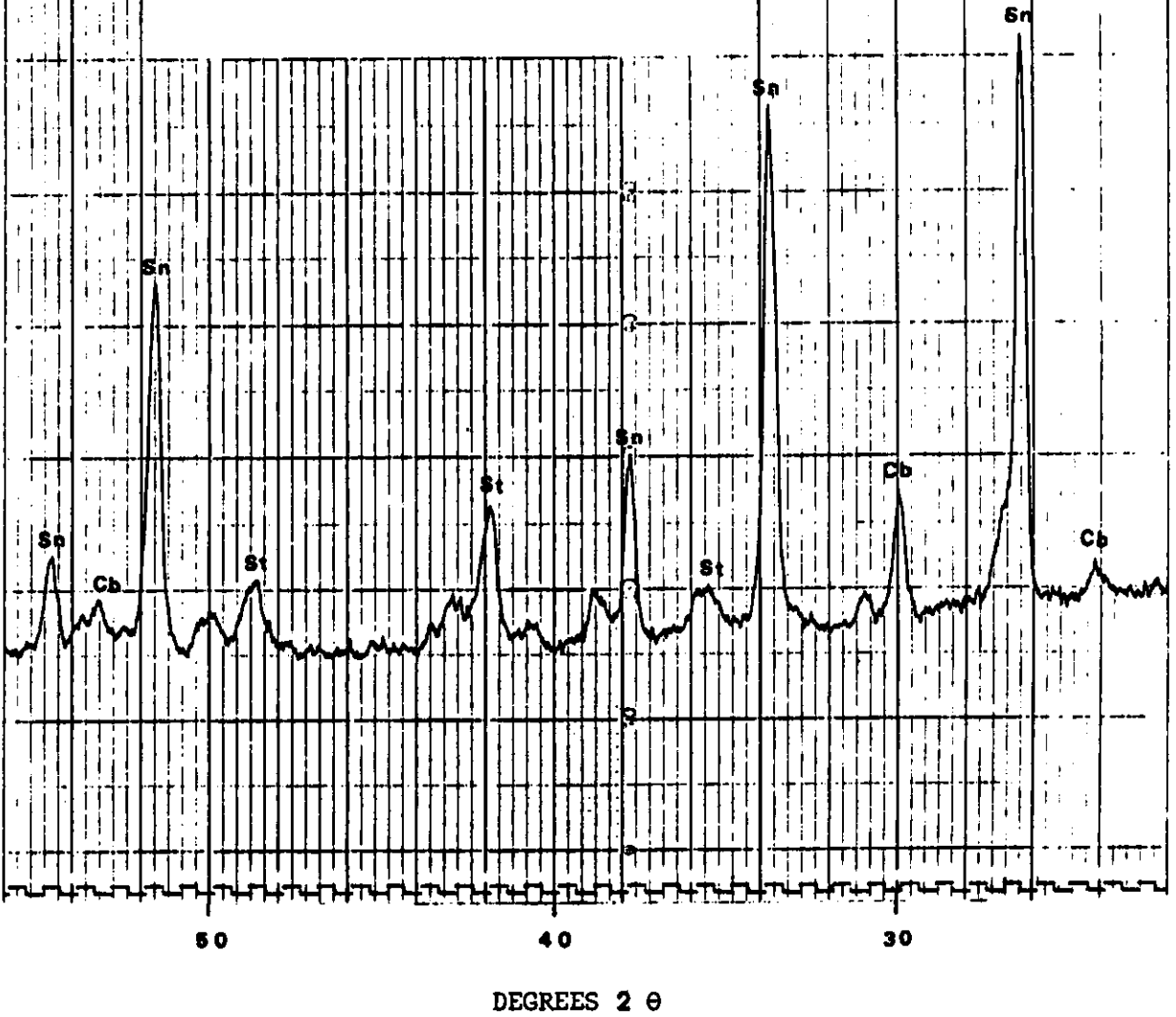
ผู้วิจัยได้วัดแนวและความเอียงของรอยแยกในหินตะกอน-แปร และหินแกรนิตและลำยควออร์ตซ์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของลำยควออร์ตซ์ ที่นำแร่ดีบุกกับรอยแยกในหิน โดยทำการวัดตลอดแนวของหน้าเหมืองตามจุดที่มีหินโผล่และเข้าถึงได้ ที่เหมืองทุ่งโพธิ์ตั้งแต่หน้าเหมืองด้านใต้จนถึงหน้าเหมืองด้านเหนือ ส่วนทางเหมืองทุ่งขมิ้นวัดที่หน้าเหมืองล่างในหุบ บริเวณหน้าเหมืองด้านตะวันตกและบนเขา ค่าที่วัดได้นำมาลงแผนขั้ว (pole plot) และลากเส้นขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่บน Schmidt equal-area net



รูปที่ 3.3.4-1 -X-ray powder diffractogram ของหินแร่ตะกั่ว ตัวอย่างที่ 1 จากเหมืองแร่
ป่าโพธิ์ (ผู้วิเคราะห์ : สุนทร บำรุงผล กรมทรัพยากรธรณี)

Sn : cassiterite; Cb : columbite-tantalite; St : struverite

CuK_α; Ni Filter
kV 35; mA 20
Degree 2-theta 2° per minute

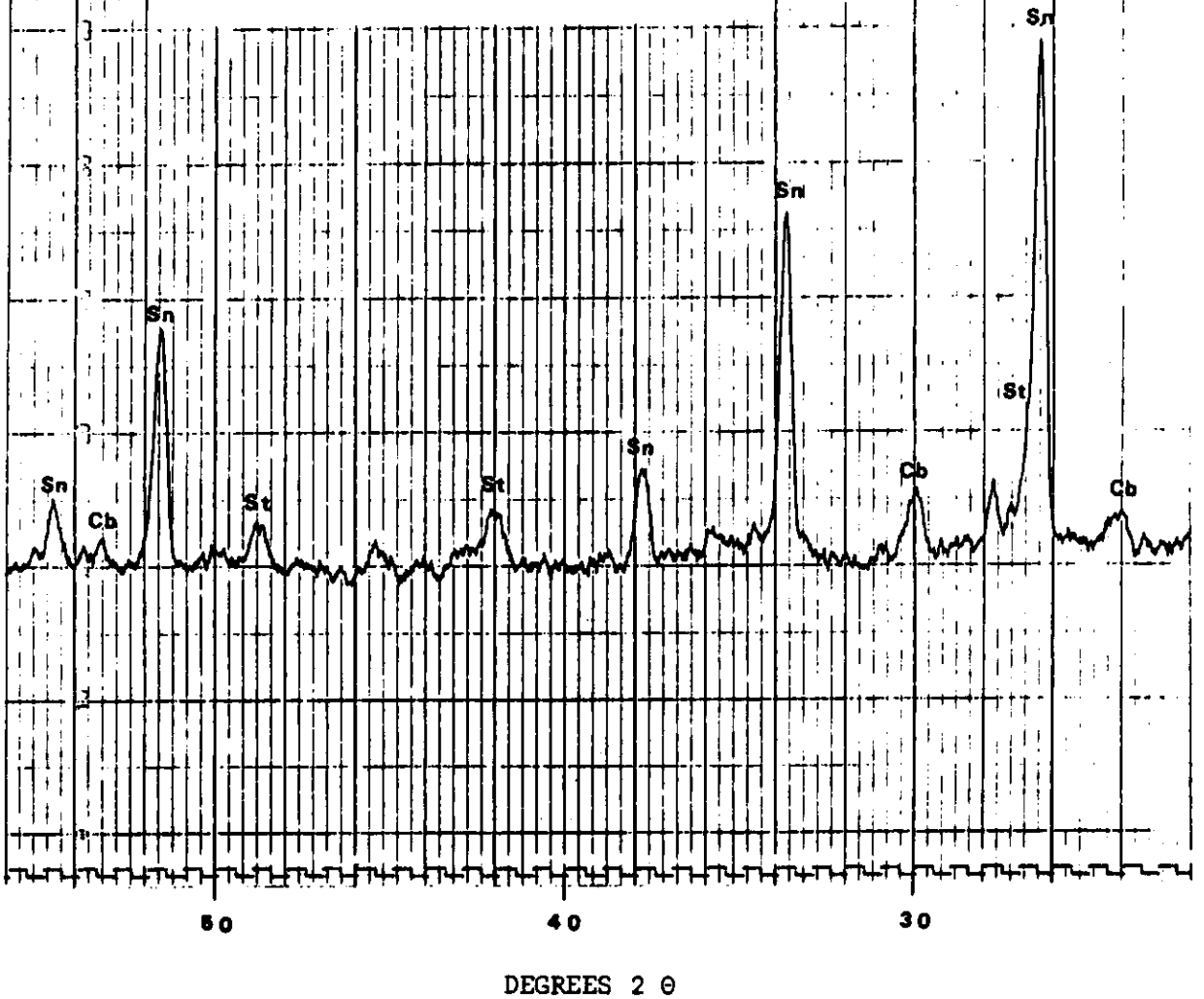


รูปที่ 3.3.4-2 -X-ray powder diffractogram ของหัวแร่ตึบ ตัวอย่างที่ 2 จากเหมือง
แร่ทุ่งโพธิ์ (ผู้วิเคราะห์ : คุณทศ บัณฑิต กรมทรัพยากรธรณี)
Sn : cassiterite; Cb : columbite-tantalite; St : struverite

CuK_α; Ni Filter

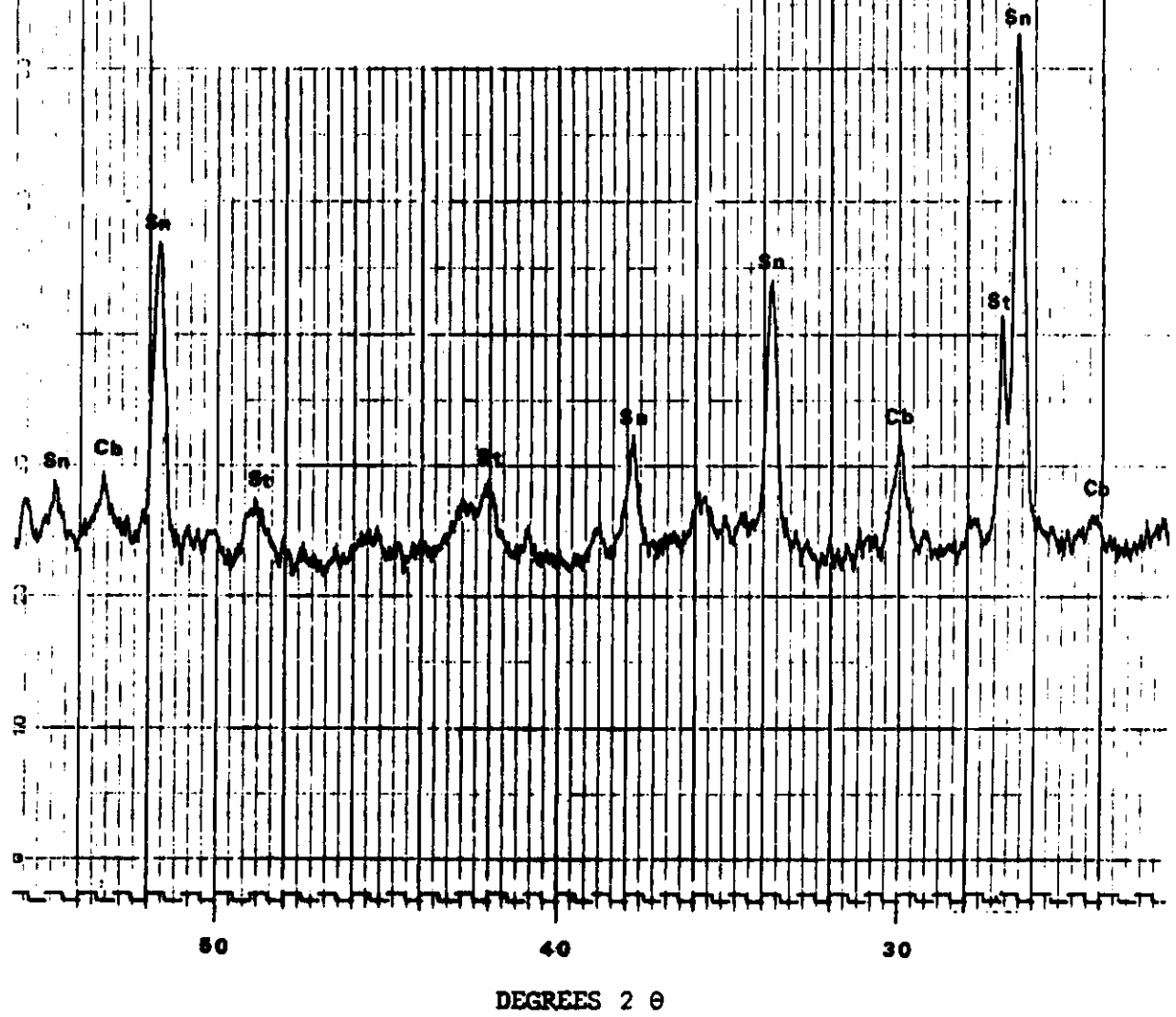
kV 35; mA 20

Degree 2-theta 2° per minute



รูปที่ 3.3.4-3 -X-ray powder diffractogram ของฟ้านแร่ ขนาด $-0.150+0.125$ มม.
จากโต๊ะหิน เพลองแร่ทุ่งโพธิ์ (ผู้วิเคราะห์ : สุนทร บัณฑิต กรมทรัพยากรธรณี)
Sn : cassiterite; Cb : columbite-tantalite; St : struverite

CuK_α; Ni Filter
kV 35; mA 20
Degree 2-theta 2° per minute



รูปที่ 3.3.4-4 -X-ray powder diffractogram ของหินร่อนขนาด -0.106 มม.จากโต๊ะหิน
 เพลิงแม่เหล็ก (ยูนิเวอร์ซิตี : อู่ท่าเรือ กรมทรัพยากรธรณี)
 Sn : cassiterite; Cb : columbite-tantalite; St : struverite

3.4.1 รอยแยก

รูปที่ 3.4.1-1 แสดงชื่อของรอยแยกในหินตะกอน-แปร และหินแกรนิต รอยแยกแนวเด่นมีดังนี้

ในหินตะกอน-แปร

บริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์ น. $68^{\circ} - 71^{\circ}$ เท $67^{\circ} - 70^{\circ}$

บริเวณเหมืองทุ่งขมิ้น น. $275^{\circ} - 282^{\circ}$ เท $30^{\circ} - 43^{\circ}$

ในหินแกรนิต

บริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น น. $76^{\circ} - 87^{\circ}$ เท $77^{\circ} - 88^{\circ}$

3.4.2 ลายแร่ควอร์ตซ์

รูปที่ 3.4.2-1 แสดงชื่อของลายควอร์ตซ์ในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น ลายควอร์ตซ์แนวเด่นมีดังนี้

บริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์ น. $245^{\circ} - 270^{\circ}$ เท $30^{\circ} - 45^{\circ}$

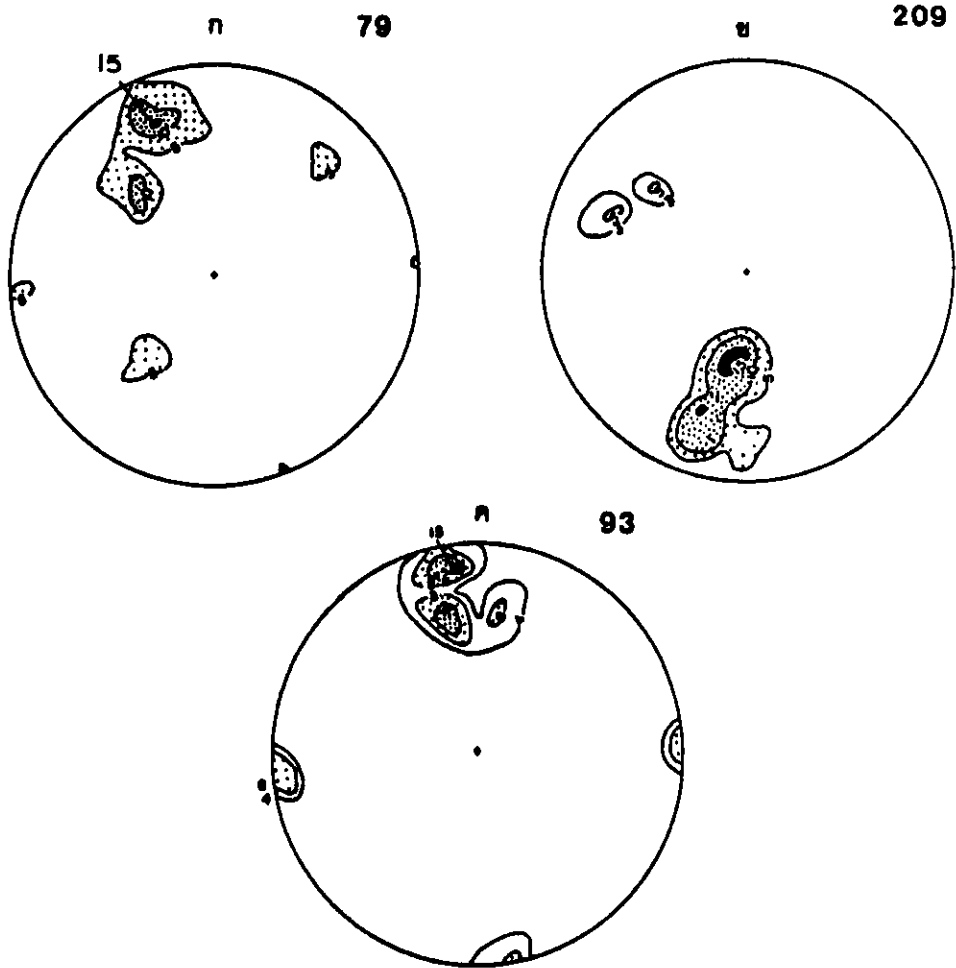
บริเวณเหมืองทุ่งขมิ้น น. $275^{\circ} - 295^{\circ}$ เท $40^{\circ} - 55^{\circ}$

บริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น น. $280^{\circ} - 290^{\circ}$ เท $45^{\circ} - 50^{\circ}$

ลายควอร์ตซ์ ที่มีแร่ดีบุกอยู่ในแนว น. $230^{\circ} - 310^{\circ}$ พบมากในลายขนาดเล็ก

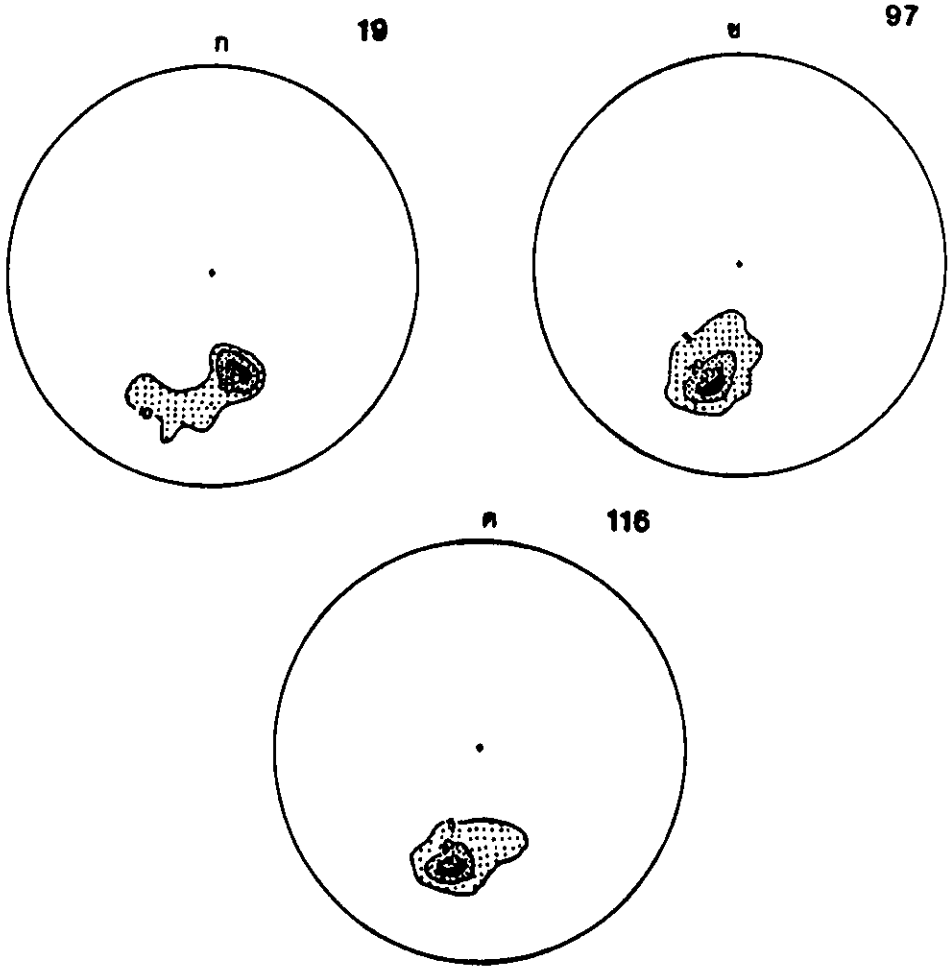
โดยทั่วไปลายควอร์ตซ์ทางเหมืองทุ่งโพธิ์ ทน 0.2-4.0 ซม. แนว น. $245^{\circ} - 305^{\circ}$ เท $30^{\circ} - 65^{\circ}$ ลายหนาที่สุด 5 เมตร สดหินแกรนิต แนว น. 270° เท 65° ลายควอร์ตซ์ทางเหมืองทุ่งขมิ้นพบมากตั้งแต่ระดับความสูง 110 เมตร ขึ้นไป ที่สดหินควอร์ตไซต์ ส่วนมากหนา 0.2-1.0 ซม. 1.0-2.5 ซม. พบน้อย แนว น. $230^{\circ} - 310^{\circ}$ เท $20^{\circ} - 80^{\circ}$ ที่สดหินแกรนิต หนา 0.5-17 ซม. แนว น. $245^{\circ} - 280^{\circ}$ เท $40^{\circ} - 75^{\circ}$ (พบมาก) แนวอื่นมีตั้งแต่ น. $30^{\circ} - 105^{\circ}$

จากรูปทั้ง 2 สรุปได้ว่า รอยแยกในหินตะกอน-แปรที่เหมืองทุ่งโพธิ์ และส่วนหนึ่งของเหมืองทุ่งขมิ้น รวมทั้งรอยแยกในหินแกรนิตของทั้ง 2 บริเวณไม่มีความสัมพันธ์กับแร่ดีบุก เป็นรอยแยกที่เกิดขึ้นหลังจากน้ำแร่ไหลเข้ามาแล้ว สดเป็น post-mineralized fractures ส่วนรอยแยกในหินตะกอน-แปร ที่เหมืองทุ่งขมิ้นส่วนใหญ่จะสัมพันธ์กับแร่ดีบุก เป็นรอยแยกที่เกิดขึ้นก่อนที่น้ำแร่จะไหลเข้ามาประจุ สดเป็น pre-mineralized fractures ในบริเวณของหย่อมหินอัคนีขณะที่หินแกรนิตกำลังเป็นตัว



รูปที่ 3.4.1-1 -Schmidt net แสดงขั้ว (poles) ของรอยแยก (joints)ใน

- ก. ดินตะกอน-แปร ช่วงโพธิ์ จำนวน 79 ขั้ว เส้นชั้นที่ 5, 10,15 เเปอร์เซ็นต์
- ข. ดินตะกอน-แปร ช่วงชนัน จำนวน 209 ขั้ว เส้นชั้นที่ 3,5,10,15 เเปอร์เซ็นต์
- ค. ดินแกรนิต ช่วงโพธิ์-ช่วงชนัน จำนวน 93 ขั้ว เส้นชั้นที่ 4,8,12,15 เเปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.4.2-1 -Schmidt net แสดงขั้ว (poles) ของสายควอर्टซ์

- ก. คู่ขั้วโพธิ์ จำนวน 19 ขั้ว เส้นชั้นที่ 10, 20, 30 เปรอ์เซนต์
- ข. คู่ขั้วผืน จำนวน 97 ขั้ว เส้นชั้นที่ 3, 20, 40 เปรอ์เซนต์
- ค. คู่ขั้วโพธิ์-คู่ขั้วผืน 116 ขั้วเส้นชั้นที่ 5, 20, 40 เปรอ์เซนต์

3.5 รอยสัมผัส

3.5.1 รอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอน

พบตามแนวยาว (เหนือ-ใต้) ของควนป่ายาง โดยทั่วไปหินตะกอนจะแปรสภาพ (metamorphose) ไปเป็นหินแปร ในแต่ละบริเวณการแปรสภาพนี้จะมากน้อยต่างกัน บางแห่งอาจจะกว้าง บางแห่งอาจจะแคบ หินตรงบริเวณสัมผัสอาจมีลักษณะยุ่งเหยิง เช่น บางจุดที่หินดินดานกับหินแกรนิต เหมือนหนึ่งไม่มีการแปรสภาพเกิดขึ้น บางจุดก็มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration) ทำให้เห็นเป็นโซนสีต่างๆ เช่น บริเวณหน้าเหมืองด้านเหนือของทุ่งโพธิ์ กริต (687, 652) ตรง mineralized leucogranite สัมผัสกับหินดินดาน แบ่งออกได้เป็น 5 โซน ดังนี้

- 1) โซนในสุด เป็น kaolinized leucogranite, greenish white 5G 9/1
- 2) โซนสีเหลือง ติดกับโซนแรกเป็นพวกหินดินดานหยาบ มีแร่ดินอยู่มาก สี dark yellowish orange 10 YR 6/6
- 3) โซนสีน้ำตาล ติดกับโซน 2 เป็นดินร่วน มีเศษควอร์ตซ์และเศษหินทรายแป้ง สี moderate reddish brown 10 R 6/4
- 4) โซนสีแดงด้านใน ติดกับโซน 3 เป็นดินร่วน มีเศษหินทรายแป้ง และแร่ดิน สี moderate reddish brown 10 R 4/6
- 5) โซนสีแดงด้านนอก ติดกับโซน 4 เป็นดินที่มีแร่ดินมาก สี moderate reddish brown 10 R 5/6

โซน 2 ถึงโซน 5 มีความหนาไม่แน่นอน ประมาณ 2-3 ซม. ถึง 2-3 เมตร ผู้วิจัยไม่สามารถวัดได้ละเอียด เนื่องจากปัญหาการรบกวนของหน้าเหมืองที่เกิดขึ้นอยู่เนืองๆ

จากผลวิเคราะห์ทาง X-ray diffraction ของตัวอย่างจากโซนทั้ง 5 โดย

Dr. N. Fujii และ Mr. K. Tsukimura (Geological Survey of Japan)

ส่งตารางที่ 3.5.1-1

ตารางที่ 3.5.1-1 แสดงชนิดและปริมาณแร่ในโซนใกล้รอยสัมผัส

Zone	Sericite	Kaolinite	Quartz	K-feldspar	Others
1	20	15	20	10-15	40 (Vermiculite)
2	40	20	30	5-10	
3	25	20	30	5	
4	25	20	35	0	
5	25	20	30	0	

(ตัวเลขแสดงค่าปริมาณเปรียบเทียบโดยประมาณไว้อย่างหยาบๆว่า มีแร่ชนิดใดมากกว่ากันในตัวอย่างเดียวกัน ไม่ใช่เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่าง)

จากผลวิเคราะห์แสดงว่าโซน 1 ซึ่งเป็นหินลิวโคแกรนิตมีแร่ เวอร์มิคิวไลต์อยู่ค่อนข้างมาก แร่นี้อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ไบโอไทต์ที่มีอยู่ในหินแกรนิต แร่โปแตชเฟลด์สปาร์มีในโซน 1, 2 และ 3 และไม่มีในโซน 4, 5 แร่ดินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ พบในโซนทั้ง 5 ได้แก่แร่เซริไซต์ และเคโอลินิต์ เชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพของแร่เหล่านี้เป็น late-and post-magmatic alteration zoning (Ishihara, การคิดต่อส่วนตัว) (ดูผลวิเคราะห์เคมีของตัวอย่างจากโซนทั้ง 5 ในหัวข้อ 3.7.2 ตารางที่ 3.7.2-2, 3.7.2-3)

3.5.2 รอยสัมผัสระหว่างหินไบโอไทต์แกรนิตกับหินลิวโคแกรนิต

หินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อหยาบ-กลาง เป็นหินที่เกิดขึ้นจากการเป็นตัวของ granitic magma ส่วนหินลิวโคแกรนิตเนื้อเล็ก-กลาง เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินไบโอไทต์แกรนิตเดิม ภายใต้กระบวนการของก๊าซและสารละลายร้อน ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงนี้จะเห็นได้ชัดเจนที่เหมืองทุ่งขมิ้น โดยที่หินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อหยาบค่อยๆเปลี่ยนไปเป็นหินลิวโคแกรนิตเนื้อเล็ก-กลาง

3.6 การเปลี่ยนแปลงสภาพ

นอกจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration) ในบริเวณรอยสัมผัสในหัวข้อ 3.5 แล้ว การเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น จะเห็นได้ในหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อกลาง-หยาบ และหินลิวโคแกรนิตเนื้อเล็ก-กลาง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้แก่ albitization,

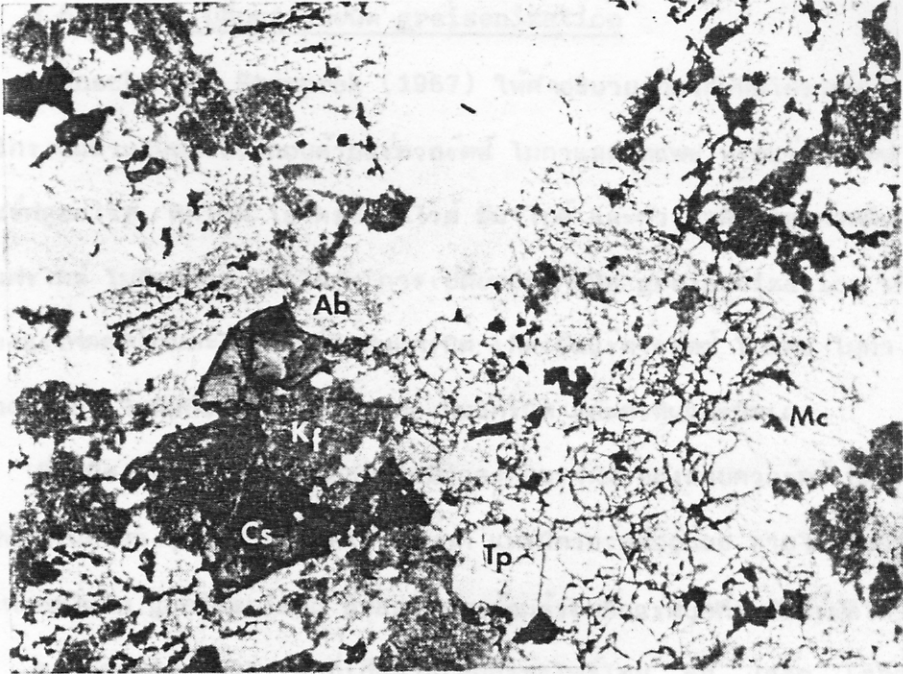
greisenization, tourmalinization, sericitization และ kaolinization การเปลี่ยนแปลงสภาพนี้ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการ pneumatolytic อันเนื่องมาจากก๊าซ ไอน้ำ และธาตุที่เป็นไอ ซึ่งได้แก่ ฟลูออรีน คลอรีน และโบรอน ที่มีอยู่ในหินชนิด ถูกปล่อยออกมาในช่วง ปลายของการเป็นตัวของ granitic magma ทำให้หินไบโอไทต์แกรนิตส่วนบนๆในบริเวณของหย่อม ดินอีคนีเปลี่ยนแปลงสภาพไป ช่วงการเปลี่ยนแปลงสภาพนี้ทำให้เกิดการสละของแร่ดีบุก และพวกแร่โคสมิเปียม-แททาสัม ตามบริเวณของหย่อมดินอีคนี การเปลี่ยนแปลงสภาพในช่วงนี้ได้แก่ albitization, greisenization, tourmalinization และ sericitization ส่วนการเปลี่ยนแปลงสภาพอีกช่วงหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นล่ากว่าคือ เกิดในช่วง post-greisen ได้แก่ kaolinization

3.6.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพชนิด albitization

Albitization คือการเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นแร่แอลไบต์ จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าแร่แอลไบต์มีลักษณะค่อนข้างลัด คือมีการเปลี่ยนแปลงสภาพน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแร่เฟลด์สปาร์ตัวอื่นในหิน แสดงว่ามีการแทนที่โดยการละลายธาตุแคลเซียมและสละธาตุโซเดียมจากแร่เฟลด์สปาร์ และ/หรือแร่แอลคาไลเฟลด์สปาร์ที่เป็น perthite หินแกรนิตทั้ง 2 ชนิด จากบริเวณนี้มีแร่เฟลด์สปาร์เป็นชนิดแอลไบต์ เชื่อว่าแร่แอลไบต์พวกหนึ่งคงเกิดในช่วงการเป็นตัวของหินชนิด (magmatic stage) และอีกพวกหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพในช่วงของกระบวนการ pneumatolytic

จากการศึกษา albitized leucogranite ที่เก็บจากเหมืองทุ่งโพธิ์ โดย Mr. Jaap Langenberg และคุณสังัด ชัยะศิลป์ บริษัทไทยเชลล์ จำกัด วิเคราะห์จากห้องวิจัยของบริษัทอิลลิติน จำกัด ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีดังนี้ (รูปที่ 3.6.1-1)

" The rock is a fine-to medium-grained (0.5-4.0 mm) albitized granite. Secondary albite (50 %) forms stubby subhedra which are intergrown with relic kaolinized alkali feldspar (20 %) (Figure 3.6.1-1) Quartz (25 %) forms scattered interlocking 0.5-3.0 mm sized grains. The balance of the sample is made up of topaz (2 %), muscovite (1 %) and cassiterite (0.5 %). Cassiterite occurs as disseminated grains which measure between 0.05 and 0.30 mm. Topaz and muscovite are present as scattered grains and grain clusters. One grain of wolframite was found locked to a grain of cassiterite. The rock fabric is essentially undeformed with only weakly undulose quartz. Quartz contains rare, very small, fluid inclusions."



1 ซม. = 0.38 มม.

รูปที่ 3.6.1-1 แสดงการเปลี่ยนสภาพชนิด albitization
Cassiterite (Cs), topaz (Tp) and muscovite (Mc) are
tied to a mass of secondary albitite (Ab) and kaolinized
relics of primary alkali feldspar (Kf)

(อนุญาตให้ตีพิมพ์ได้จากบริษัทไทยเชลล์ จำกัด โดย Jaap Langenberg)



1 ซม. = 0.38 มม.

รูปที่ 3.6.2-1 แสดงการเกิดแร่ดีบุกและแร่โคไวต์ภายใต้การเปลี่ยนสภาพชนิด
greisenization
Cluster of fine-grained cassiterite (Cs) with inter-
grown muscovite (Mc)

(อนุญาตให้ตีพิมพ์ได้จากบริษัทไทยเชลล์ จำกัด โดย Jaap Langenberg)

3.6.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพชนิด greisenization

Janecka และ Stemprok (1967) ให้คำอธิบายเกี่ยวกับหินกรเซิน (greisen) ไว้ว่า หินกรเซินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแร่ควอartz ไมกาและโทนพซ หรือแร่ควอartz และไมกา พร้อมด้วยแร่ฟลูออไรต์ ดิกโคต ไฮโดรมัสโคไวต์ ซีมาไทต์ และทังสเตน และพวกสินแร่ ๓๖ ชนิด ๖๖ ชนิด โมลิบดีไนต์ และสังกะสี การเปลี่ยนแปลงสภาพชนิด greisenization เกิดจากการละลายตัวของแร่เฟลด์สปาร์และไบโอไทต์ในหินแกรนิต เกิดเป็นแร่ควอartz โทนพซ ไมกา และสินแร่ (ore minerals) ในหินที่ปกคลุมอยู่ส่วนบนของหินแกรนิต และตัวหินแกรนิตเอง

ที่เหมืองทุ่งโพธิ์การแปรสภาพชนิดนี้มักจะพบตรงผนังของลำควอartz ที่ตัดหินแกรนิต และในตัวหินแกรนิต บางจุดพบว่ามีแร่รัสโคไวต์มาก และมีควอartz อยู่บ้าง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าแร่โทนพซในหิน greisenized granite พร้อมด้วยผลึกแร่ต่างๆที่จับกับแร่รัสโคไวต์

จากการศึกษาหินกรเซินที่เก็บจากเหมืองทุ่งโพธิ์โดย Mr. Jaap Langenberg และคณะ ๒๖๖ บริษัทไทยเซลล์ จำกัด วิเคราะห์จากห้องวิจัยของบริษัทผลิตภัณฑ์ จำกัด ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีดังนี้ (รูปที่ 3.6.2-1)

" The rock is essentially a quartz (34 %)-muscovite (60 %) greisen. The balance of the sample is made up of cassiterite (5 %) and topaz (1 %). The muscovite forms millimetre-size massive aggregates of finer grained, notably fibrous, flakes. Interlocking 1-4 mm sized quartz grains form patches in between the muscovite aggregates. The grain size of the cassiterite is generally 0.05-0.25 mm. Individual grains frequently group together as larger (1-3 mm) sieve-textured clusters which contain intergrown muscovite (Figure 3.6.2-1). The cassiterite is rather evenly disseminated through the sample with most grains being tied to muscovite. Topaz occurs as relic grains and grain clusters within some muscovite aggregates. The rock fabric is essentially undeformed with only weakly undulose extinction of quartz grains. There are very few fluid inclusions in the quartz. "

3.6.3 การเปลี่ยนสภาพชนิด tourmalinization

Tourmalinization คือการเปลี่ยนสภาพที่ทำให้เกิดแร่ทัวร์มาลีน ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนสภาพของแร่เฟลด์สปาร์และไบโอไทต์บวกกับสารที่เป็นไอ โบรอน และฟลูออรีน แร่ทัวร์มาลีนอาจเกิดจากการเปลี่ยนสภาพในช่วงของน้ำร้อน (hydrothermal) ก็ได้ แร่ทัวร์มาลีนพบในดินแกรนิตทั้ง 2 ชนิด และในดินแอพลิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น

3.6.4 การเปลี่ยนสภาพชนิด sericitization

Sericitization คือการเปลี่ยนสภาพที่ทำให้เกิดแร่เซริไซต์และควอร์ตซ์ ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโปแตชเฟลด์สปาร์และแคลซิโอเคลส การเปลี่ยนสภาพชนิดนี้พบรวมอยู่ในบริเวณที่เกิด greisenization ดินแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น เกิด sericitization ทำให้หินมีสีขาวอมเขียว โดยเฉพาะตามรอยแตกของหิน หินควอร์ตซ์-เซริไซต์มีลักษณะ cryptocrystalline, waxy luster, และมีสี grayish yellowish green 5 GY 7/2, moderate yellowish green 5 GY 6/2 และ pale greenish yellow 10 Y 8/2

Dr. N. Fujii และ Mr. K. Tsukimura, Geological Survey of Japan ได้ทำการตรวจวิเคราะห์หินควอร์ตซ์-เซริไซต์ โดยวิธี X-ray diffraction ดังนี้

ตารางที่ 3.6.4-1 แสดงชนิดและปริมาณสัมพัทธ์ของแร่ในหินควอร์ตซ์-เซริไซต์

ตัวอย่าง	Sericite	Kaolinite	Quartz	Feldspar
5 GY 6/2	50	0	30	5
10 Y 8/2	25	0	20	10

(ตัวเลขแสดงค่าปริมาณเปรียบเทียบโดยประมาณไว้อย่างหยาบๆว่ามีแร่ชนิดใดมากกว่ากัน ในตัวอย่างเดียวกันไม่ใช่เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่าง)

จากการศึกษาหินโกรเซนที่เก็บจากเหมืองทุ่งโพธิ์ โดย Mr. Jaap Langenberg และคุณสังัด ปิยะศิลป์ บริษัทไทยเฮลล์ จำกัด วิเคราะห์จากห้องวิจัยของบริษัทโปลิตัน จำกัด ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีดังนี้

" The rock is a quartz (57 %)-sericite (40 %) rock (greisen). The very fine grained sericite forms aggregates which clearly are pseudomorphic after original grains of feldspar. Several per cent of relic feldspar is still retained within the sericite aggregates. The balance of the sample is made up of cassiterite (1-2 %) and muscovite (1 %). Quartz forms a matrix of interlocking 0.5-2.0 mm sized grains which are moderately undulose and locally sheared. Cassiterite grains measure between 0.05 and 0.20 mm and frequently group together as larger sieve-textured clusters as in sample 1. The cassiterite occurs as disseminated grains through the sample and is preferentially tied to the patches of sericite/relic feldspar. The coarser muscovite is typically intergrown with cassiterite clusters. Fluid inclusions in quartz are rare, very small and arranged along diffuse trails."

3.6.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพชนิด argillization

Argillization คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นแร่ดิน (clay minerals) โดยที่แร่เฟลด์สปาร์บางส่วนในหินแกรนิตถูกไอน้ำแล้วเปลี่ยนมาเป็นแร่ดิน จากการตรวจวิเคราะห์หินแกรนิตจากเหมืองทุ่งโพธิ์ด้วยวิธี X-ray diffraction โดย Dr.N.Fujii และ Mr.K.Tsukimura, Geological Survey of Japan พบว่ามีแร่ดินชนิดเคโอลิไนต์ เซริไซต์ และ เวอร์มิคิวไลต์ ในหินลิวโคแกรนิตที่มีสีชาวมเขียวจากบริเวณที่มีแร่ดีบุกมาก และตรวจพบแร่ดินชนิด ฮาลลอยไซต์ และ เซริไซต์ บ้างในหินลิวโคแกรนิตสีเขียวจากบริเวณที่ให้แร่ดีบุกน้อย การเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นเคโอลิไนต์พบเป็นหย่อมๆ ในบริเวณรอยสัมผัสของหินลิวโคแกรนิตกับหินท้องที่ ซึ่งมีลายนวอไรต์ชัดเจนที่สังเกตเห็นในส่วนนี้คือ หินลิวโคแกรนิตที่มีเคโอลิไนต์จะเหนียว ส่วนหินลิวโคแกรนิตที่มีฮาลลอยไซต์จะค่อนข้างร่วน สำหรับแร่เวอร์มิคิวไลต์นั้นเข้าใจว่าเปลี่ยนแปลงมาจากแร่ไบโอไทต์ การเปลี่ยนแปลงสภาพชนิด argillization ที่เหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น เกิดขึ้นภายหลังการเกิด greisenization (post-greisenization)

ตารางที่ 3.6.5-1 แสดงชนิดและปริมาณสัมพัทธ์ของแร่ในหินลิวโคแกรนิต

ตัวอย่าง	Sericite	Kaolinite	Halloysite	Vermiculite	Quartz	Feldspar
Kaolinized leucogranite	20	15	-	40	20	10-15
Leucogranite	2	-	5	-	40	10

(ตัวเลขแสดงค่าปริมาณเปรียบเทียบโดยประมาณไว้อย่างหยาบๆว่ามีชนิดใดมากกว่ากันในตัวอย่างเดียวกัน ไม่ใช่เปรียบเทียบระหว่างตัวอย่าง)

3.6.6 การศึกษา Fluid Inclusions

จากการศึกษา Fluid Inclusions ของหินแกรนิตที่เปลี่ยนสภาพจากเหมืองทุ่งโพธิ์ของห้องวิจัยบริษัทโกลด์มิน จำกัด ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งได้ให้ความเห็นไว้ว่า

" The presence of only very few, small liquid type fluid inclusions in the quartz suggests that the hydrothermal mineralisation and alteration occurred at not too high a temperature (e.g. below about 350°C) in a non-boiling aqueous system. However, there is very little one can add with confidence concerning the nature of the mineralisation in the absence of geological background data for the samples."

กล่าวโดยสรุป การเปลี่ยนสภาพที่เกิดขึ้นในหินแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์ อันเป็นผลจากกระบวนการ pneumatolytic ทำให้แร่เฟลด์สปาร์ในหินแกรนิตถูกเปลี่ยนไป เกิดเป็นแร่แอลบาต์ มัลโคไวต์ โทแพซ และ เซรซิไซด์ เป็นต้น ส่วนแร่ไบโอไทต์ในหินแกรนิตก็ถูกเปลี่ยนสภาพไป มีส่วนทำให้เกิดแร่ทัวร์มาลีนและเวอร์มิคิวไลต์ การเปลี่ยนสภาพของหินแกรนิตในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น เกิดไปทั่วบริเวณที่มีหินแกรนิตโดยเฉพาะหินลิวโคแกรนิต และการเปลี่ยนสภาพนี้ทำให้เกิดแร่ดีบุกฝังประอยู่ในหินลิวโคแกรนิตด้วย

3.7 ธรณีเคมี

การศึกษาทางธรณีเคมีกระทำโดยการเก็บตัวอย่างหินแกรนิต หินโกรเซ่น และดินตรงรอยสัมผัสในบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น มาวิเคราะห์หาปริมาณออกไซด์ของธาตุ (major oxides) ดีบุก หังส์เตน และ Trace elements บางธาตุ เพื่อเป็นข้อมูลที่จะศึกษาและเปรียบเทียบถึงธรรมชาติของหินแกรนิตในบริเวณนี้กับหินแกรนิตในบริเวณอื่น (ดูตารางที่ 3.7-1) และเพื่อทราบถึงปริมาณของธาตุบางตัว ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแร่ชนิดอื่นที่เกิดร่วมอยู่ด้วย อันอาจจะ เป็นแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในอนาคตก็ได้ และเพื่อเป็นประโยชน์ในการสำรวจหาแหล่งแร่ดีบุกในท้องถิ่น

3.7.1 ผลวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของธาตุในหินแกรนิตและหินโกรเซ่น

เนื่องจากผู้วิจัยมีปัญหาทางด้านวิเคราะห์เคมีบางประการ จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาแสดงไว้ แต่ก็ได้นำผลวิเคราะห์ของหินแกรนิต 2 ตัวอย่าง และหินโกรเซ่นหนึ่งตัวอย่าง จากเหมืองทุ่งโพธิ์ ซึ่งรายงานโดย Pitakpaivan, K. (1969) ลงมาไว้ดังตารางที่ 3.7.1-1

ตารางที่ 3.7-1 แสดงปริมาณของธาตุในหินแกรนิตทั่วไป

(คัดจาก Rock Geochemistry in Mineral Exploration,
Govett, G.J.S., 1983 p. 392-393)

Major and minor elements	(wt. %)	average	range
Al	8.15	7.7	
Ca	1.39	1.58	
Fe	1.85	2.7	
Mg	0.46	0.56	0.17 - 3.97
Mn	0.03	0.06	0.016-0.059
P	0.06	0.07	0.005-0.157
K	3.74	3.34	3.28-4.26
Si	32.30	32.3	
Na	3.02	2.77	2.29-2.58
Ti	0.30	0.23	0.08-0.58
<u>Trace elements (ppm)</u>			
As	0.25	1.5	1.0 - 4.8
Ba	1870	830	
Bi	0.043	0.01	0.15- 2.0
Cu	11.7	20	8-34
Pb	31.2	20	14.9 -56.1
Mo	0.36	1.0	0.6 - 3.3
Rb	168	200	170-910
Ag	0.049	0.05	
Sr	479	300	55-252
Ta	0.91	3.5	2.1 - 2.5
Th	24.2	18	9.7 - 5.6
Sn	1.5	3.0	<1.0 - 8.8
W	0.1	1.5	1.4 - 3.7
U	2.0	3.5	2.2 - 7.6
V	35.4	40	<5-70
Zn	85	60	23-89

ตารางที่ 3.7.1-1 แสดงผลวิเคราะห์ห้ปริมาณออกไซด์ของธาตุเป็นเปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างดิน
จากเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์

(คัดจาก Pitakpaivan, K. 196๙)

ตัวอย่าง	36 E	38 E	39 E
SiO ₂	75.48	70.62	64.๖1
Al ₂ O ₃	14.29	14.21	14.94
Fe ₂ O ₃	0.56	2.02	0.16
FeO	1.45	1.31	1.24
MgO	0.07	0.70	0.7๖
CaO	0.56	0.50	1.01
Na ₂ O	3.68	4.56	0.97
K ₂ O	2.62	5.37	1.18
H ₂ O ⁻	0.21	0.14	0.58
H ₂ O ⁺	0.58	0.17	2.๖8
TiO ₂	0.11	0.09	0.05
P ₂ O ₅	0.11	0.07	0.10
MnO	0.03	0.08	0.05
C	0.01	0.01	0.01
CO ₂	0.04	0.04	0.05
SO ₃	0.07	0.10	0.11
SnO ₂	0.18	0.18	10.55
รวม	100.06 %	100.15 %	99.76 %

- 36 E : leuco-sodaclase granodiorite (fine-to medium-grained, aplitic texture) = ดินลิวโคแกรนิตในรายงานฉบับนี้
 38 E : sodaclase adamellite (medium-grained) = ดินโซโดไทต์แกรนิตในรายงานฉบับนี้
 39 E : granite-greisen

จากผลวิเคราะห์หินลิวโคแกรนิต ค่า SiO_2 มากถึง 75.48 % ส่วนในหินไบโอ-โทดแกรนิต $SiO_2 = 70.62$ % ค่า $SnO_2 = 0.18$ % เท่ากัน หากจะเปรียบเทียบกับ tin granites ในประเทศอื่นๆ ซึ่งเคยมีรายงานไว้ค่า SiO_2 มากกว่า 72 % และมีค่าถึง 77 % (Edwards and Gaskin, 1949 ; Hesp, 1971 ; Flinter et al., 1972) ส่วนค่า SnO_2 ในหินโกรเซินเท่ากับ 10.55 % แสดงว่าในหินโกรเซินมีการสะสมแร่ดีบุก

3.7.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในหินแกรนิต หินโกรเซิน และดิน

1) เป็นผลวิเคราะห์จากการเก็บตัวอย่างโดยนักสำรวจชาวออสเตรเลีย วิเคราะห์โดย Central Mineralogical Services (ผู้วิจัยได้รับอนุญาตจากคุณฉัตร สัมบูรณ์กุล ให้ตีพิมพ์ได้) วิเคราะห์ปริมาณของธาตุ Sn, W, Cu, Pb, Zn, Ag, Bi, Mo, As และ U ในหินแกรนิต 5 ตัวอย่าง ดินบริเวณรอยสัมผัส 1 ตัวอย่าง หินโกรเซิน 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างจากโซนที่มีแร่ดีบุกใกล้รอยสัมผัส 1 ตัวอย่าง รวม 8 ตัวอย่าง วิเคราะห์โดยวิธี X-ray fluorescence และ Atomic absorption spectrometry (ดูตารางที่ 3.7.2-1)

ตารางที่ 3.7.2-1 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในตัวอย่างหินแกรนิต หินโกรเซิน และดินใกล้รอยสัมผัส จากเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งชัน (ค่าบอกเป็น ppm เว้นแต่มีการระบุไว้)

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8	วิธีวิเคราะห์
Sn	2.42 %	2.95 %	535	260	210	145	16.7 %	24.3 %	XRF
W	160	80	20	30	20	100	240	0.25 %	XRF
Cu	50	35	35	50	10	20	10	0.20 %	AAS
Pb	20	10	10	5	5	15	10	10	AAS
Zn	20	15	10	25	20	30	5	15	AAS
Ag	1	<1	<1	<1	<1	2	1	3	AAS
Bi	120	30	10	10	10	10	5	170	AAS
Mo	10	5	10	5	5	10	5	10	AAS
As	200	10	4	18	1	135	3	0.47 %	AAS
U	12	4	8	144	8	20	<4	12	XRF

ตัวอย่าง 1-5 จากเหมืองทุ่งโพธิ์ 7-8 จากเหมืองทุ่งชัน

- (1) Weathered material, yellowish brown, contact zone
- (2) Visibly rich tin zone near contact
- (3) Decomposed granite, approximately 6 meters below contact
- (4) Granite : medium-grained, approximately 10 meters below contact, visible torbernite
- (5) Granite : whitish, 10-15 meters below contact
- (6) Granite : coarse-grained, fresh
- (7) Granite : coarse-grained, fresh, visible tin
- (8) Greisen : coarse-grained, visible tin

XRF = X-ray fluorescence, AAS = atomic absorption spectrometry

จากผลวิเคราะห์ ค่า Sn มากในบริเวณใกล้รอยสัมผัส 2.42-2.95 % โดยเฉพาะดินแกรนิตที่มีค่า Sn มากใกล้กับรอยสัมผัส (535 ppm) และค่าลดลงในดินแกรนิตที่ห่างจากรอยสัมผัส (260, 210 และ 145 ppm) ดินโกรเซ่นมีค่า Sn 24.3 % และ W 0.25 % แต่คงถึงมีการสะสมแร่ดีบุกและทังสเตนในดินโกรเซ่น ค่า Cu ในดินอยู่ซึ่งเป็นดินท้องที่ตรงรอยสัมผัสและในดินโกรเซ่น มีค่ามากกว่าในดินแกรนิต ยกเว้นตัวอย่าง (4) ซึ่งมีแร่ทอร์เบอร์ไนต์อยู่ด้วย แสดงว่าทองแดงอาจถูกพามาจากชั้นดินตะกอนที่วางตัวอยู่บนดินแกรนิต แล้วถูกชะลงสู่เบื้องล่าง ร่วมกับธาตุ U ในดินแกรนิตเกิดเป็นแร่ทอร์เบอร์ไนต์ ซึ่งพบตามรอยแตกของดินตะกอน-แปร และในดินแกรนิต ค่า Pb และ Zn น้อยกว่าปริมาณในดินแกรนิตทั่วไป ค่า Ag ในดินโกรเซ่นและดินแกรนิตมากกว่าในดินแกรนิตทั่วไป ค่า Bi, Mo และ As ในดินแกรนิตที่เหมืองขุ้งโพธิ์มากกว่าค่าเฉลี่ยในดินแกรนิตทั่วไป

2) ผลวิเคราะห์ปริมาณของธาตุ Na, K, Al, Ti, Mn, Fe, Sn, W, Ta, Th, U, V, Rb, Sr, Zr, Ba, Ce, Sm, Eu และ Dy ในตัวอย่างดินแกรนิต 4 ตัวอย่าง และดินใกล้รอยสัมผัส 4 ตัวอย่าง จากเหมืองขุ้งโพธิ์ วิเคราะห์จากกองสถิติ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ยกเว้นธาตุ Sn วิเคราะห์โดย ศูนย์วิจัย สังกัดกองเคมีการธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี (ดูตารางที่ 3.7.2-2 และ 3.7.2-3)

ตารางที่ 3.7.2-2 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆในตัวอย่างหินแกรนิตและหินกัลเลอไรต์จากเหมืองทุ่งโพธิ์

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8	วิธีการ	
Al	13.65	11.65	17.86	13.56	24.10	26.92	16.89	13.83	%	NAA
Na	4.56	3.50	0.17	0.07	0.51	0.47	0.22	0.22		NAA
K	5.64	8.29	4.27	5.27	3.37	3.82	1.01	5.37		NAA
Ti	0.01	0.04	0.02	0.09	0.20	0.29	0.71	0.24		NAA
Mn	0.048	0.030	0.004	0.005	0.009	0.030	0.029	0.026		NAA
Fe	0.71	0.73	0.40	0.70	3.29	3.68	5.00	6.16		XRF
Sn	25	25	150	833	<10	<10	50	450	ppm	COL
V	9.20	0.61	1.77	-	36.48	44.21	31.82	75.41		NAA
Rb	3383	1584	2012	2051	658	357	185	157		XRF
Sr	-	-	-	-	37	36	27	27		XRF
Zr	90	11	8	-	95	87	149	156		XRF
Ba	43	59	70	127	861	902	429	387		XRF
Ce	76	40	-	-	127	163	82	95		XRF
Sm	3.94	3.29	5.32	1.50	-	-	4.95	-		NAA
Eu	1.12	0.22	0.12	0.24	0.98	1.34	1.07	0.94		NAA
Dy	3.39	0.90	1.73	1.24	1.86	2.41	4.38	1.55		NAA

1. leucogranite, partial altered, visible torbernite
2. biotite granite : medium-grained, partial altered
3. leucogranite, highly altered
4. kaolinized leucogranite, highly altered
5. yellow zone, weathered materials
6. brown zone, weathered materials
7. inner red zone, weathered materials
8. outer red zone, weathered materials

NAA = Neutron activation analysis

XRF = X-ray fluorescence

COL = colorimetry

ตารางที่ 3.7.2-3 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณ (ppm) ของธาตุ W, Ta, Th, U ในตัวอย่าง
หินแกรนิต และหินใกล้รอยสัมผัสจากเหมืองทุ่งโพธิ์ (วิเคราะห์โดยวิธี NAA)

ตัวอย่าง	W	Ta	Th	U
1	104.28±1.40	120.02±11.66	26.19±2.10	85.88±3.12
2	72.26±4.02	43.59±1.54	10.52±0.99	11.67±0.66
3	76.99±6.81	88.32±4.98	3.16±0.44	2.08±0.02
4	18.88±1.67	68.08±1.67	3.94±0.36	4.74±0.73
5	39.18±7.72	3.10±0.26	18.89±0.80	7.19±0.16
6	55.98±4.93	4.31±0.17	24.10±0.45	3.91±0.56
7	47.26±7.36	3.27±0.91	13.98±0.60	3.16±0.15
8	62.63±1.25	3.44±1.23	11.77±1.21	4.08±0.13

1. leucogranite, partial altered, visible torbernite
2. biotite granite : medium-grained, partial altered
3. leucogranite, highly altered
4. kaolinized leucogranite, highly altered
5. yellow zone, weathered materials
6. brown zone, weathered materials
7. inner red zone, weathered materials
8. outer red zone, weathered materials

ค่า Sn ใน kaolinized leucogranite มากถึง 833 ppm ส่วนในหินลิวโคแกรนิตที่เปลี่ยนแปลงสภาพน้อยกว่า และหินไบโอโทดแกรนิตมีค่าเพียง 25 ppm ในหินแกรนิตทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 3 ppm

ค่า Rb ในหินแกรนิตทั่วไปมีค่าระหว่าง 170-910 ppm ค่าเฉลี่ย 200 ppm ในหินไบโอโทดแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์มีค่า 1584 ppm และในหินลิวโคแกรนิต 2012-3383 ppm จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันมาก ใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการสำรวจได้

ค่า Sr ตรวจไม่พบในหินแกรนิตทั้ง 4 ตัวอย่างและมีค่าน้อยใน weathered materials โกล์รอยสัมผัส ค่าในหินแกรนิตทั่วไปเฉลี่ย 300 ppm

ค่า Ba ในหินแกรนิตทั้ง 4 ตัวอย่าง ค่าใน kaolinized leucogranite มากที่สุด 127 ppm ค่าเฉลี่ยในหินแกรนิตทั่วไปเท่ากับ 830 ppm

ค่า W ใน kaolinized leucogranite เท่ากับ 18.88 ppm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในหินลิวโคแกรนิต (76.99 และ 104.28 ppm) ในหินไบโอโทดแกรนิต (72.26 ppm) และใน weathered materials ทั้ง 4 โหล สำหรับค่า W ดี Tischendorf (1977) ได้สรุปไว้ว่า ใน specialized granite มีค่า W 7 ± 3 ppm

ค่า Ta ในหินแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์ (43.59-120.02 ppm) มากกว่าค่าเฉลี่ยในหินแกรนิตทั่วไป (3.5 ppm)

ค่า U มากในหินที่มีแร่ทอร์เบอไรต์ (85.88 ppm) ค่าเฉลี่ยในหินแกรนิตทั่วไปเท่ากับ 3.5 ppm

ค่า K/Rb 16.67-52.34 จากหินแกรนิตที่เหมืองทุ่งโพธิ์ โดยที่หินไบโอโทดแกรนิตเนื้องกลางมีค่าสูงกว่าในหินลิวโคแกรนิต สำหรับค่า K/Rb ดี Tischendorf (1977) ได้สรุปว่าค่าจะน้อยกว่า 100 ใน Specialized granite (tin granite) และจะมากกว่า 100 ใน Normal granite

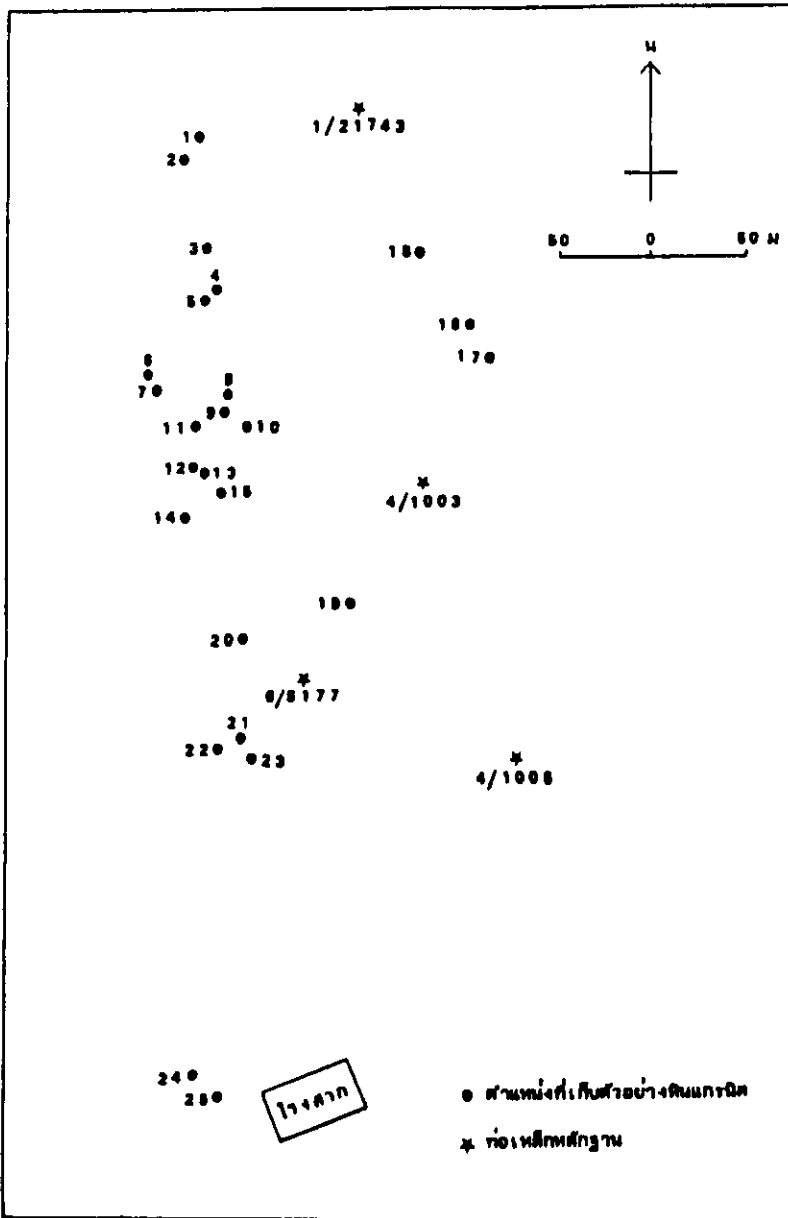
ค่า Ba/Rb 0.0127-0.0619 ใน kaolinized leucogranite ค่ามากกว่าในหินลิวโคแกรนิตที่มีแร่ดีบุกน้อยกว่า

3.7.3 การสำรวจกรณีเคมีโดยวิธีเก็บตัวอย่างดินแกรนิต

ได้ทำการสำรวจกรณีเคมีในบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์ โดยวิธีเก็บตัวอย่างดินแกรนิต จากบริเวณหน้าเหมืองค้ำหน้าเหนือไปถึงค้ำน้ำใต้ เป็นระยะทางประมาณ 550 เมตร รวม 25 จุด (รูป 3.7.3-1) เก็บตัวอย่างดินแกรนิต (ผุมาก) บริเวณรอยสัมผัสกับดินทองที่ โดยวิธีเขาระ่อง (channel sampling) 5 x 5 x 50 ซม. ตามแนวตั้งฉากกับรอยสัมผัสทุกระยะ 50 ซม.รวม เป็นหนึ่งตัวอย่าง สำหรับบริเวณที่ดินแกรนิตผุเล็กน้อย ห่างจากแนวสัมผัสก็เก็บตัวอย่างโดยวิธีเขาระ่องเช่นเดียวกัน บางตัวอย่างที่ไม่สามารถเก็บโดยวิธีเขาระ่องก็ใช้วิธี Grab sampling แทน จำนวนตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด 88 ตัวอย่าง ปริมาณที่เก็บประมาณ 1.5-4 กก.ต่อตัวอย่าง นอกจากนี้ ยังเก็บตัวอย่างดินแกรนิต (ดินก้อน นูน้อย) จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมดทำการวิเคราะห์หาปริมาณของ Sn และ WO_3 โดยวิธี Wet Analyses จากห้องปฏิบัติการของ SGS Far East Limited กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3.7.3-1 แสดงผลวิเคราะห์ปริมาณ Sn และ WO_3 เป็นเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่างดินแกรนิต(ผุมาก) จากเหมืองทุ่งโพธิ์

ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย Sn %	ค่าเฉลี่ย WO_3 %	หมายเหตุ : ถ้าไม่ระบุเป็นการเก็บตัวอย่างโดยวิธีเขาระ่อง
TP 1	3	0.62	0.018	มีสายคาร์บอนหนา 1 ซม.; เก็บตรง contact
TP 2	10	0.34	0.020	grab sampling 2 ตัวอย่างมีสายคาร์บอนหนา 30 ซม.; เก็บตรง contact
TP 3	1	0.03	0.006	grab sampling
TP 4	1	0.02	0.006	grab sampling
TP 5	6	0.87	0.016	
TP 6	1	0.04	0.070	เก็บตรง contact
TP 7	3	0.03	0.083	มีสายคาร์บอนหนา 5,12,2 ซม.
TP 8	6	0.04	0.011	
TP 9	4	0.03	0.043	มีสายคาร์บอนหนา 2 มม.
TP 10	3	0.05	0.020	
TP 11	3	0.05	0.030	มีสายคาร์บอนหนา 2.5 ซม. เก็บตรง contact
TP 12	3	0.07	0.010	มีสายคาร์บอน
TP 13	3	0.04	0.013	
TP 14	1	0.01	0.006	เก็บตรง contact
TP 15	2	0.04	0.006	
TP 16	1	0.09	0.030	grab sampling(ในแนวราบ) มีสายคาร์บอนหนา 1 ซม.
TP 17	1	0.03	0.006	grab sampling(ในแนวตั้ง) มีสายคาร์บอนหนา 5 ซม.
TP 18	1	0.02	0.020	grab sampling
TP 19	3	0.03	0.012	
TP 20	10	0.05	0.013	
TP 21	3	0.04	0.019	เก็บตรง contact
TP 22	5	0.03	0.012	เก็บตรง contact, grab sampling 2 ตัวอย่าง
TP 23	4	0.02	0.022	grab sampling 1 ตัวอย่าง
TP 24	8	0.03	0.011	grab sampling 1 ตัวอย่าง
TP 25	2	0.04	0.013	
รวม	88			



รูปที่ 3.7.3-1 -แผนที่แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินแกรนิตบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินแกรนิต (หินก้อน, ฝอย) มีดังนี้

- (1) หินลิวโคแกรนิตห่างจาก TP 5 ประมาณ 50 เมตร ในแนว น. 185°
ค่า Sn 0.05 %, WO_3 0.06 %
- (2) หินไบโอโทดแกรนิตเนื้อหยาบที่ห่างจาก TP 10 ซึ่งเป็นหินลิวโคแกรนิต
เนื้อเล็กประมาณ 5 เมตร ในแนว น. 110° ค่า Sn 0.01 %
 WO_3 0.01 %
- (3) หินลิวโคแกรนิตที่ปากอุโมงค์ห่างจาก TP 23 ประมาณ 20 เมตร อยู่ใน
แนว น. 185° จาก TP 23 ค่า Sn 0.02 %, WO_3 0.02 %

จากผลวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ของ Sn ในหินลิวโคแกรนิตตามจุดต่างๆ
มีค่า 0.01-0.87 % ที่ความลึกจากผิว 0.5-5.0 เมตร ค่าที่พบมากที่สุดคือ 0.03 % (7 จุด)
รองลงมาคือ 0.04 % (6 จุด) ในหินไบโอโทดแกรนิตเนื้อหยาบมีค่า Sn น้อยที่สุดคือ 0.01 %
และค่า Sn จะมากขึ้นในหินลิวโคแกรนิต 0.01-0.05 % ค่าที่สูงกว่านี้โดยมากจะมีสายควอร์ตซ์
ซึ่งมีแร่ดีบุกอยู่ด้วยชัดเจนมา จากผลวิเคราะห์บางจุดที่มีสายควอร์ตซ์ตัด ค่าก็ไม่สูงนัก แสดงว่า
สายควอร์ตซ์บางส่วนก็ไม่ได้มีแร่ดีบุกขึ้นมาด้วย นอกจากนี้ตัวอย่างที่เก็บจากบริเวณรอยสัมผัสบาง
แห่งค่า Sn ก็ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับบริเวณที่ห่างออกมา อาจแสดงให้เห็นว่าค่า Sn กระจายอยู่ใน
หินลิวโคแกรนิตค่อนข้างจะสม่ำเสมอ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.04 % จากจำนวน 69 ตัวอย่าง
ที่มีค่า Sn 0.01-0.09 %

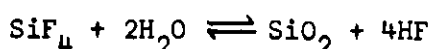
ส่วนค่า WO_3 ตั้งแต่ 0.006-0.083 % (หรือ P = 47.5-658 ppm)

3.8 กำเนิดของแหล่งแร่ดีบุกเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งยี่มื่น

จากการที่พบแร่ดีบุกฝังประในหินลิวโคแกรนิตบริเวณใกล้รอยสัมผัสกับหินท้องที่ซึ่งได้แก่
หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินแปร ที่เกิดจากการแปรสภาพของหินดังกล่าว เทือกควน-
ปายางเป็นหย่อมหินอัคนี (cupola) ของ granitic stock ที่เหลืออยู่ หินที่ประมาณหนึ่งตาราง-
กิโลเมตร แร่ดีบุกพบมากในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินแกรนิต การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นจาก
กระบวนการของก๊าซ (pneumatolytic process) นอกจากนี้ยังพบแร่ดีบุกที่ขึ้นมากับสายควอร์ตซ์
แทรกตามรอยแตกในหินลิวโคแกรนิตและในหินท้องที่ โดยเฉพาะหินท้องที่ที่อยู่ในบริเวณหย่อมหินอัคนี
แร่ดีบุกที่พบในสายควอร์ตซ์คาดว่ามีการเกิดจากกระบวนการน้ำร้อน (hydrothermal process)

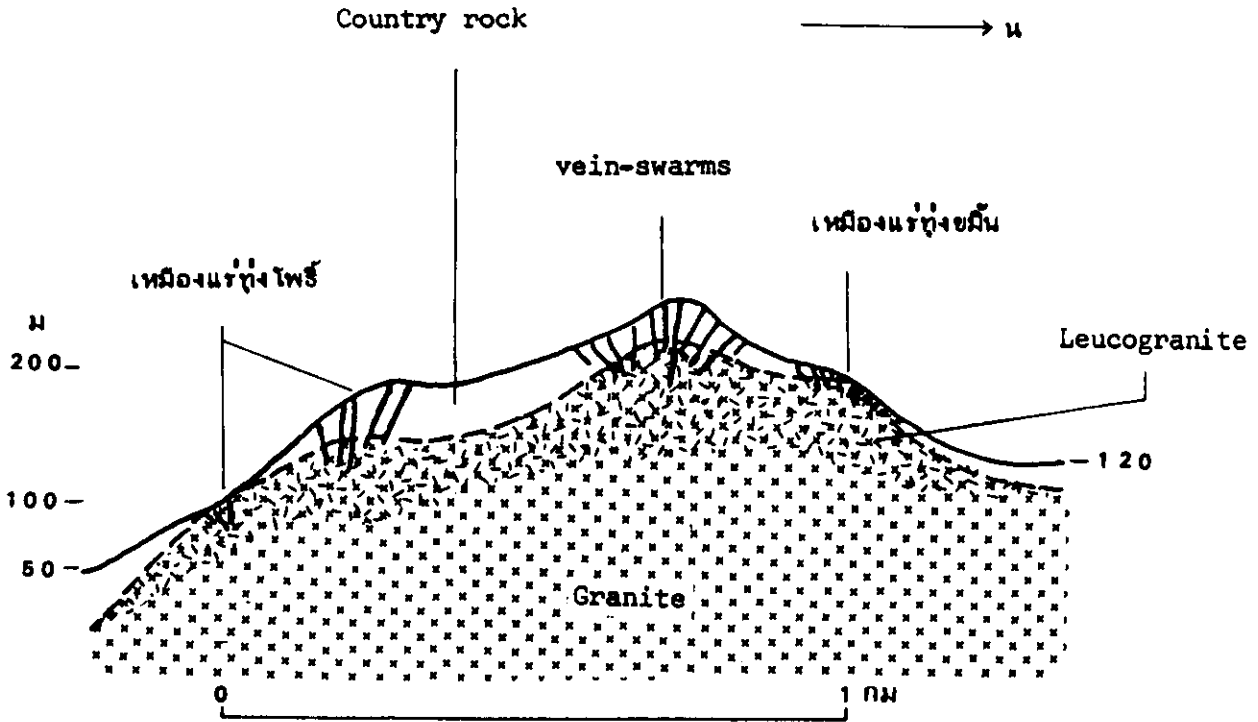
จากลุ่มมิตฐานของ Emmons (1933) ซึ่งได้อธิบายถึงกำเนิดของสินแร่ว่า ของเหลวที่เหลือจากการเป็นตัวของดินแกรนิต (residual liquids) จะสะสมอยู่ในบริเวณหย่อมหินอัคนี ซึ่งเป็นส่วนบนสุด (roof zones) ของดินแกรนิต ขณะที่ของไหลหรือความดันจากไอเพิ่มขึ้น ส่วนบนสุดนี้ก็จะแตก หากรอยแตกเกิดขึ้นในช่วงต้นของการเป็นตัวและโดยที่ของเหลวที่เหลือ ยังคงมีส่วนประกอบของดินแกรนิตอยู่ ก็จะเกิดเป็นสายหินเพกมาไทต์ หากในช่วงปลายของการเป็นตัว ของเหลวที่เหลือไม่มีส่วนประกอบของดินแกรนิต และถ้ารอยแตกเกิดขึ้นในช่วงนี้ ก็จะเกิดแหล่งแร่แบบน้ำร้อน (hydrothermal) ถ้าส่วนบนสุดของแกรนิตไม่แตกระหว่างการเป็นตัวของดินแกรนิต แร่ตึกจะเกิดเป็น pipes ภายในตัวดินแกรนิตหรือจะเป็นเม็ดเล็กๆ ฝังประปรายทั่วตัวดินแกรนิต

ผู้วิจัยจะไม่ขอก้าวในเรื่องที่มาของตึก ว่ามีต้นตอมาจากที่ใด ท่านที่สนใจสามารถจะศึกษาได้จากผลงานของ Stemprok (1977) ผู้วิจัยจะเริ่มจากของไหลในช่วงของก๊าซซึ่งเป็นช่วงที่ตัดจากเพกมาไทต์ และก่อนช่วงของน้ำร้อน ถ้าของไหลที่เหลือจากการเป็นตัวของดินแกรนิตมีไอของสารฮาโลเจนน้อย ก็จะไม่มีส่วนของไอเกิดขึ้น แต่ถ้ามีไอของสารฮาโลเจนมาก ไอเหล่านี้ก็จะทำปฏิกิริยาเคมีกับแร่เฟลด์สปาร์ ที่เกิดขึ้นก่อนในการเป็นตัวของดินแกรนิต ส่วนประกอบที่สำคัญของไอเหล่านี้ได้แก่ น้ำ ฟลูออไรต์ และ คลอไรต์ ของ Si และโลหะอื่น เช่น Nb-Ta ซึ่งจะรวมกันอยู่ในสภาวะที่เรียกว่า supercritical fluid state ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการของ Daubree (1849) ดังนี้



Hesp and Rigby (1972) ได้รายงานไว้ในสภาพแวดล้อมที่แห้ง Cl จะเป็นตัวพา Sn ได้ดีกว่า F แต่ในสารละลายที่เป็นน้ำ (aqueous solution) F จะเป็นตัวพา Cl ได้ดีกว่า

ในช่วงแรก ไอของก๊าซต่างๆในของไหลที่เหลือจากการเป็นตัวของดินแกรนิตจะถูกปลดปล่อยออกมา ก๊าซเหล่านี้จะแทรกขึ้นไปในบริเวณหย่อมหินอัคนีที่รอยแตก พร้อมกับการตกผลึกของแร่ตึกฝังประปรายในดินลิวโคแกรนิต หรืออาจรวมเป็นกระเปาะในบริเวณที่ดินแกรนิตมีรอยแตกน้อยหรือไม่มีลักษณะที่ดินแกรนิตเนื้อหยาบค่อยๆ เปลี่ยนเป็นดินลิวโคแกรนิตเนื้อละเอียดกว่า พบที่บริเวณตอนล่างของหน้าเหมืองด้านเหนือของเหมืองทุ่งโพธิ์ และที่บริเวณอุบแนวเหนือ-ใต้ทางเหมืองทุ่งขมิ้น ขึ้นตอนของการเกิดแร่ตึกในดินลิวโคแกรนิตนี้บางท่านเชื่อว่า ตึกอาจเกิดในแร่โบโอไทต์อยู่แล้ว ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนสภาพ ไอของ Na_2F และ Cl จากระดับลึกจะล่องลอยเอา Sn ออกมา และ



รูปที่ 3.8-1 -ภาพตัดขวางแนวเหนือ-ใต้ บริเวณเหมืองทุ่งขมิ้นถึงเหมืองทุ่งโพธิ์ แสดงลักษณะของห่อมหินอัคนีและขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงสภาพ

- Leucogranite : บริเวณหินลิวโคแกรนิตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพชนิด greisenization, sericitization, albitization และ kaolinization
- Granite : หินโบโธไต์แกรนิตเนื้อกลาง-หยาบ หรือเนื้อดอก
- Vein-swarms : กลุ่มของลำยควอร์ตซ์ที่ผ่านแร่ต่างๆ
- Country rock : หินตะกอนและหินแปรซึ่งเป็นหินท้องถิ่น

เกิดเป็นแร่ดีบุก (Barsukov, 1967; Tischendorf et al, 1971; Hesp and Rigby, 1974 b).

รูปที่ 3.8-1 ภาพตัดขวางแนวเหนือ-ใต้ แสดงลักษณะของหย่อมดินฮัคนี และขอบเขตการเปลี่ยนแปลงภาพบริเวณเหมืองทุ่งขมิ้นถึงเหมืองทุ่งโพธิ์ จะเห็นว่าเหมืองทุ่งขมิ้นเป็นด้านทางเหนือของหย่อมดินฮัคนีซึ่งเป็นยอดสูงที่สุดของเทือกทวนปายาง และเหมืองทุ่งโพธิ์เป็นด้านทางใต้ของหย่อมดินฮัคนี หน้าเหมืองด้านใต้ของเหมืองทุ่งโพธิ์เป็นส่วนที่ต่ำสุดของหย่อมดินฮัคนี ดินลิวโคแกรนิต ที่เหมืองทุ่งขมิ้นอยู่ในระดับสูงกว่าทางเหมืองทุ่งโพธิ์ บริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์มีล่ายควอร์ตซ์น้อยกว่าทางเหมืองทุ่งขมิ้น โดยเฉพาะล่ายควอร์ตซ์ในหินทองที่ที่เป็นเช่นนี้ เป็นเพราะเหมืองทุ่งขมิ้นเป็นบริเวณที่ใกล้ยอดของหย่อมดินฮัคนีกว่าทางเหมืองทุ่งโพธิ์

จากลุ่มมณีฐานของการกำเนิดแร่ดีบุก จากกระบวนการของก๊าซและข้อมูลทางธรณีวิทยาในบริเวณนี้ ผู้วิจัยคาดว่าน่าจะมีการสะสมของแร่ดีบุกตรงบริเวณยอดมากกว่าบริเวณที่ทำเหมืองอยู่ในปัจจุบันของเหมืองทุ่งโพธิ์และเหมืองทุ่งขมิ้น

3.9 ธรณีวิทยาประวัติบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น

จากการศึกษาลักษณะธรณีวิทยาในบริเวณเหมืองทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น พอดีสรุปขั้นตอนของการเกิดได้ดังนี้

- 1) เริ่มแรกเป็นการสะสมตัวและเกิดเป็นหินตะกอนในยุคคาร์บอนีเฟอรัส และไทรแอสสิก
- 2) การดันตัวของ granitic magma ในบริเวณแหลมไทย-มาเลเซีย เริ่มตั้งแต่ปลายมหายุคพาสิโอไซอิกไปจนถึงปลายมหายุคมีโซไซอิก (Hosking, 1970) การดันตัวเกิดขึ้นมากที่สุดในตอนปลายยุคไทรแอสสิก เป็นช่วงที่เกิดหินแกรนิต เนื้อหยาบและเนื้อดอกในบริเวณนี้และใกล้เคียง การดันตัวนี้อาจต่อเนื่องไปถึงต้นยุคยูแรลลิก (Ishihara et al., 1980)
- 3) จากการดันตัวของหินแกรนิต ทำให้หินตะกอนยุคคาร์บอนีเฟอรัส และไทรแอสสิก บางบริเวณที่สัมผัสกับหินแกรนิตแปรสภาพไปเป็นหินแปร และเกิดแนวแตกในหินตะกอน-แปร ที่ปกคลุมอยู่ข้างบนรวมทั้งตอนบนของหินแกรนิต
- 4) การปลดปล่อยของไหลที่เหลือจากการเย็นตัวของหินหนืด ทำให้เกิดการแปรสภาพโดยการแทนที่ (metasomatic) ในหินแกรนิตเนื้อหยาบ กลายเป็นดินลิวโคแกรนิตที่มีเนื้อเล็กกว่าในบริเวณหย่อมดินฮัคนี และเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพชนิดต่างๆพร้อมกับเกิดแร่ดีบุกฝังประในดินลิวโคแกรนิต

รวมทั้งแร่พวกโคลัมเบีย-แทนทาลัม และ วุลแฟรม

- 5) ล่ายควอร์ตซ์พร้อมแร่ดีบุก วุลแฟรม แทรกตามรอยแตกของหินแกรนิต และ
หินท้องถิ่น
- 6) การยกตัวของบริเวณและติดตามด้วยการผุพังกัดกร่อนของหิน ทำให้มีการละลาย
ตัวของตะกอนยุคควาเทอร์นารี รวมทั้งแร่ดีบุกตามที่ราบเชิงเขา เกิดเป็นแหล่งดีบุกแบบลานแร่