สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพัฒนาแหล่งแร่

ประเทศไทยมีศักยภาพทางแร่ทองคำสูง มีความน่าสนใจในการดำเนินงานสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ เนื่องจากมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม มีระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ และมีทรัพยากรบุคคลที่พร้อมในการสนับสนุนงานสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำ แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแร่ทองคำที่มีหลักฐานการผลิตที่ผ่านมาพบว่ามีเพียง 7.9 ตัน เท่านั้น ถ้าเทียบกับการใช้ทองคำในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ.2545 อยู่ที่ 58.9 ตัน และเมื่อเทียบกับปริมาณที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้ในประเทศจำนวน 630-650 ตัน นับว่าผลผลิตแร่ทองคำที่ผ่านมามีน้อยมาก ถ้ามีการสำรวจและพัฒนาแหล่งแร่ทองคำอย่างจริงจังและต่อเนื่องแล้วก็จะช่วยเศรษฐกิจของไทยได้ในอนาคต การดำเนินการพัฒนาแหล่งแร่จนเป็นเหมืองแร่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการวางแผนดำเนินงานตามขั้นตอนอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ขั้นตอนการสำรวจ การประเมินผล การศึกษาความเป็นไปได้ด้านชนิดของแหล่งแร่ ปริมาณแร่ คุณภาพแร่ การทำเหมืองแร่ การแต่งแร่และโลหกรรม จนถึงด้านเงินทุนและการตลาด กระบวนการดังกล่าวสามารถสรุปได้เป็นวัฏจักรการพัฒนาแหล่งแร่เพื่อการทำเหมือง (รูปที่ 2.1) เริ่มต้นจากการสำรวจหาขอบเขตของพื้นที่ศักยภาพทางแร่ ขนาดของแหล่งแร่ ถ้าเป็นไปได้ การเกิดแร่ และการกำเนิดแหล่งแร่ ในขั้นตอนนี้อาจเริ่มต้นจากศูนย์ คือ เริ่มตั้งแต่การศึกษาข้อมูลหาพื้นที่ที่มีศักยภาพทางแร่ ทำการสำรวจเบื้องต้นเพื่อจำกัดพื้นที่เป้าหมายและขอบเขตในการสำรวจขั้นรายละเอียดต่อไป ทำการพิสูจน์ทางธรณีวิทยาด้วยเทคนิควิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณแร่สำรอง คุณภาพแร่ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญเบื้องต้นในการศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนพัฒนาเป็นเหมืองแร่ต่อไป วิธีการดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆตั้งแต่เตรียมงาน การสำรวจและประเมินผล ไปจนถึงการพิจารณาและวิเคราะห์การศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์แร่

งบประมาณที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน แบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ การสำรวจแร่ การศึกษาความเป็นไปได้ และการพัฒนาแหล่งแร่ โดยงบประมาณที่ใช้จะแปรผกผันกับความเสี่ยง คือ ในขั้นตอนการสำรวจ จะใช้งบประมาณน้อย แต่มีความเสี่ยงสูง เพราะผลสำรวจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้ ดังนั้น โครงการส่วนใหญ่จะอยู่ในขั้นตอนการสำรวจหาพื้นที่เป้าหมาย จะมีเพียงไม่กี่โครงการที่ผ่านการพิจารณาหลังการศึกษาความเป็นไปได้ ถ้าผ่านแล้ว โอกาสที่จะประสบความสำเร็จจะมีมากขึ้น ความเสี่ยงจะน้อยลง อย่างไรก็ตาม การจะผ่านขั้นตอนดังกล่าวได้จะต้องใช้ทั้งความสามารถ เทคโนโลยี เงินทุน และเวลา โดยจะเห็นได้ว่าแต่ละขั้นตอนใช้เวลาอย่างน้อย 1-2 ปี ถ้านับรวมระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนถึงก่อนเปิดเหมือง ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 10 ปี นอกจากนี้ยังพบปัญหาต่างๆทางเทคนิค เช่น การขอสิทธิดำเนินการต่างๆ

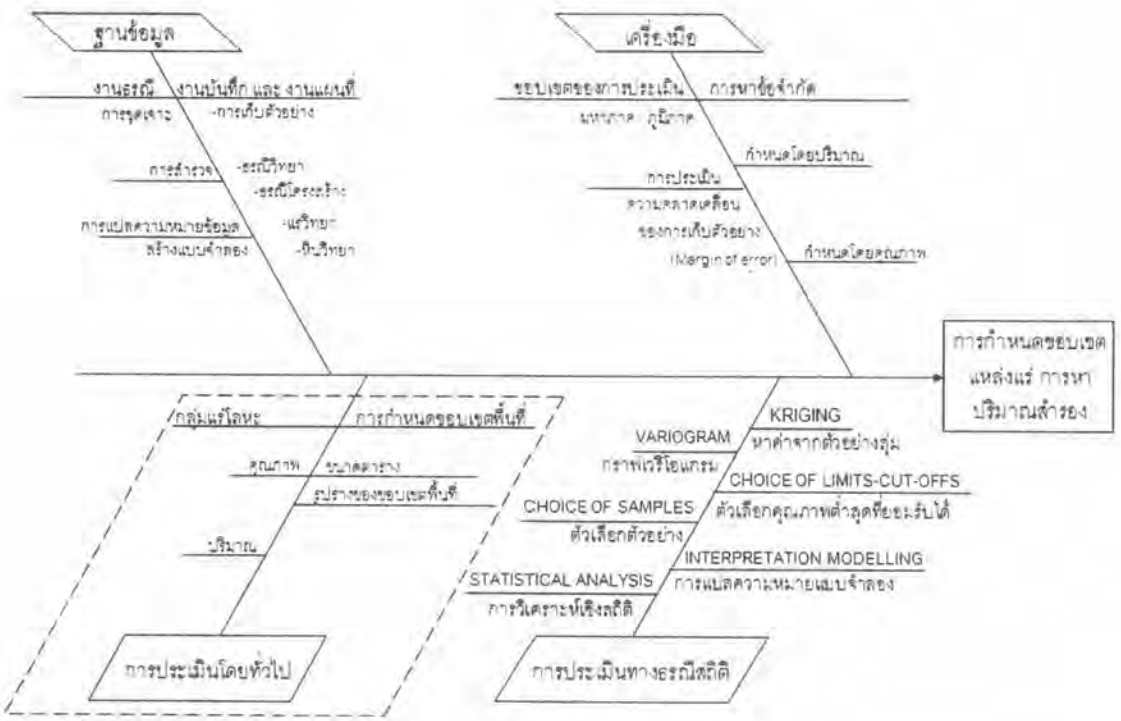
หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 วัฏจักรการพัฒนาแหล่งแร่เพื่อการทำเหมือง (Mineral resources education program of BC, 2001)

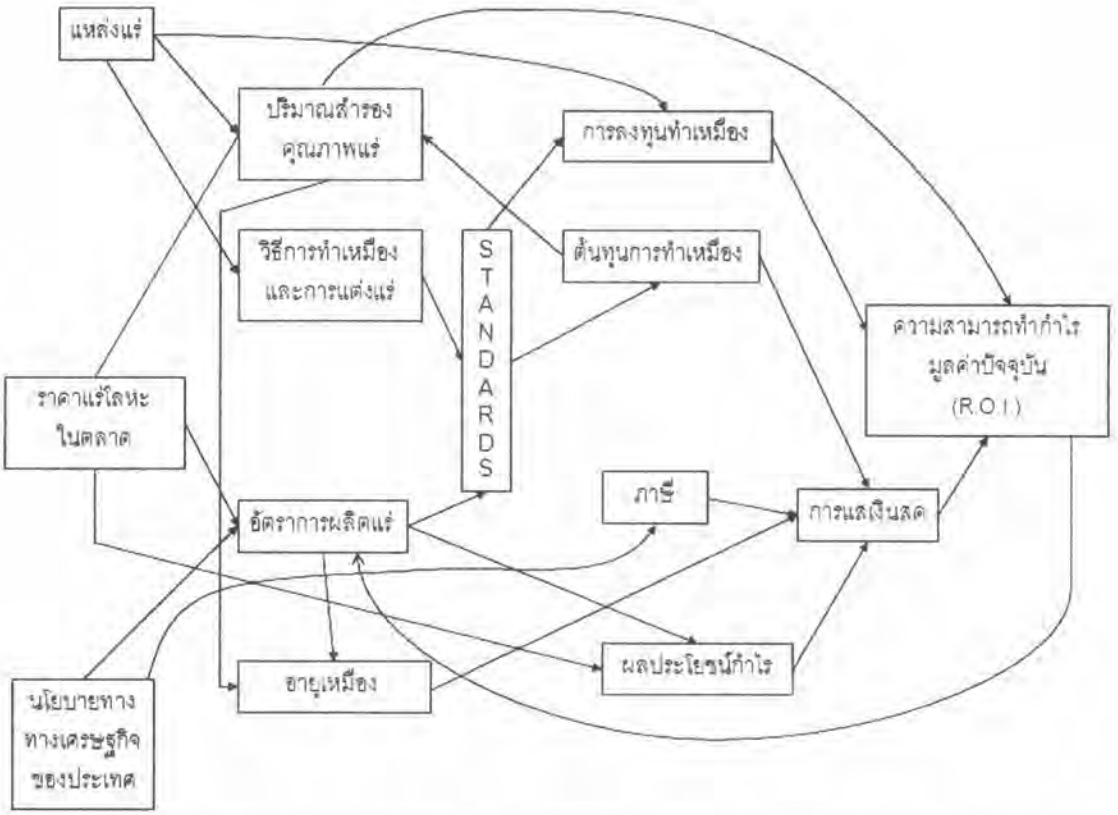
หรือ การปฏิบัติตามระเบียบข้อบังคับต่างๆ ปัญหาทางสังคม การเมือง และสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดข้อขัดแย้งการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่ ดังนั้น ผู้ประกอบการที่มีเงินทุนมากพอ ประกอบกับเทคโนโลยีและประสบการณ์ จะไม่จำเป็นต้องเริ่มจากศูนย์ อาจจะเริ่มต้นจากการประมูลแหล่งแร่ที่สำรวจพบแร่แล้ว เพื่อดำเนินการขั้นรายละเอียดในการหาพื้นที่เป้าหมายต่อไป

อย่างไรก็ดี ขั้นตอนการประเมินทั่วไป (รูปที่ 2.2) และการสำรวจยังคงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ดังนั้นการดำเนินงานและการประเมินผลการสำรวจจะต้องมีความถูกต้องและแม่นยำ โดยเฉพาะในส่วนของการเกิดแร่ ธรณีวิทยาการเกิดแหล่งแร่ ปริมาณและคุณภาพของแร่ ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจและการวางแผนดำเนินการพัฒนาแหล่งแร่ด้วยวิธีการที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีผลต่อการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์อีกด้วย การศึกษาแนวทางหรือผลการศึกษาวิจัยที่มีอยู่ และ ประสบผลสำเร็จ ก็เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการใช้เป็นแนวทางเปรียบเทียบอ้างอิง ตัวอย่างเช่น Blain (1984) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของค่าคุ้มทุนในการพัฒนาแหล่งแร่ตามลักษณะการกำเนิดแบบต่างๆ ซึ่งความสมบูรณ์และปริมาณแร่สำรองจะแตกต่างกัน ตลอดจนวิธีการทำเหมืองที่เหมาะสมก็จะแตกต่างกัน ซึ่งมีผลกระทบต่อการลงทุนและ

ผลประโยชน์ตอบแทน หรือ ความสามารถในการทำกำไร (รูปที่ 2.3) ดังนั้นการนำวิชาการและเทคโนโลยีมาใช้ในการดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆจึงมีส่วนสำคัญ และทำให้การตัดสินใจลงทุนนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในประเทศไทยก็มีรายงานการศึกษาและสำรวจแหล่งแร่ทองคำในประเทศอยู่มาก ซึ่งสามารถระบุลักษณะแหล่งแร่ทองคำเบื้องต้นในแต่ละแหล่งได้ อาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินแหล่งแร่ทองคำที่มีศักยภาพในเชิงเศรษฐกิจได้ นอกจากนี้เหมืองแร่ทองคำที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ก็เป็นแบบอย่างที่ดีในการแสดงให้เห็นถึงปัญหาอุปสรรคที่จะเกิดขึ้นในการพัฒนาแหล่งแร่ทองคำแหล่งอื่นๆที่มีลักษณะคล้ายกันต่อไปในอนาคต



รูปที่ 2.2 แผนผังก้างปลาการหาขอบเขตแหล่งแร่และปริมาณสำรอง (Cargill, 1994)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำกำไรของเหมืองแร่ (Cargill, 1994)

2.2 สินแร่ทองคำ

เนื่องจากทองคำเป็นโลหะที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ กับสารอื่น ดังนั้นเมื่อหินซึ่งประกอบด้วยแร่ประกอบทอง (Auriferous minerals) ถูกทำลาย ก็จะพบโลหะทองคำเหลืออยู่ ทองคำจะอยู่ในรูปของสารประกอบเพียงไม่กี่ชนิด และจะสะสมตัวอยู่ในบริเวณลานแร่ หรือ ถูกพัดพาไปสะสมตัวตามตะกอนทางน้ำต่างๆ ทองคำมีลักษณะเฉพาะตัวและสามารถเกิดร่วมกับแร่อื่นได้ ลักษณะส่วนใหญ่ที่พบ มีดังนี้

2.2.1 ลักษณะของสินแร่ทองคำ (Gold ores)

ทองคำส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปอิสระ (free state) และอยู่ในรูปโลหะผสมร่วมกับเงิน ซึ่งเมื่อปริมาณของเงินมากถึง 20% ก็จะเรียกโลหะผสมว่า อิเล็กตรัม (electrum) ทองคำยังอาจจะเป็นโลหะผสมร่วมกับทองแดง และในบางครั้งอาจผสมกับบิสมัท พลวง แพลทินัม พัลลาเดียม (palladium, Pd) รีเนียม (rhenium, Re) หรืออิริเดียม (iridium, Ir) นอกจากนี้ทองคำยังอาจเกิดร่วมกับเทลลูเรียม (tellurium, Te) และซีลีเนียม (selenium, Se) ทองคำอาจพบในลักษณะเป็นเม็ด (grain) ในแร่กาก (gangue) ของสายแร่หรือในหินข้างเคียง และบ่อยครั้งที่พบทองคำในลักษณะเป็นแร่มลทินขนาดเล็ก (microscopic inclusions) ในแร่จำพวกซัลไฟด์ และอาร์เซนิกซัลไฟด์ (sulph-arsenides) ของแร่เหล็ก ทองแดง เงิน และอาร์เซนิก แร่ซัลไฟด์ที่มักพบว่ามีทองคำอยู่ด้วย คือ แร่อาร์เซโนไพไรต์ ไพไรต์ พิโรต์ท์ และ เกรย์คอปเปอร์ (gray copper) และในขณะเดียวกันแร่

ซัลไฟด์และเกลือซัลไฟด์ของแร่สังกะสีและตะกั่ว มักไม่ค่อยพบว่ามีทองคำอยู่ด้วย แม้ว่าในบางแห่งจะพบว่ามีปริมาณทองคำค่อนข้างสูงในแร่กาลีนา และสฟาเลอไรต์ ก็ตาม เนื่องจากทองคำไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ จึงพบว่าเกิดร่วมในแร่ต่างๆน้อยมาก ทองคำธรรมชาติ (native gold) จนถึงแร่ที่เกิดร่วมกับเงิน เป็นกลุ่มแร่ที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ รองลงมาได้แก่ กลุ่มแร่ทองคำเทลลูไรด์ (gold tellurides) และทองคำ-เงินเทลลูไรด์ (gold-silver tellurides)

2.2.2 **โลหะที่เกิดร่วมกับทองคำ**

ทองคำมักพบเกิดร่วมกับโลหะอื่นๆ ในรูปของแร่ซัลไฟด์และเกลือซัลไฟต์ ในแหล่งแร่แบบต่างๆ โลหะเหล่านั้น ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี อาร์เซนิก พลวง และบิสมัท นอกจากนี้ยังพบเกิดร่วมกับเหล็กในรูปของซัลไฟด์คาร์บอเนต และออกไซด์ และเกิดร่วมกับธาตุอื่นๆ เช่น เกิดร่วมกับซิลิกอน ในแร่ควอรตซ์, เกิดกับโบรอน ในแร่ทัวมาลีน และแอกซีไนต์, เกิดกับแคลเซียม ในแร่แคลไซต์ แองเกอไรต์ และโดโลไมต์, เกิดกับโซเดียม และโพแทสเซียม ในแร่แอลไบต์ ออร์โทเคลส และอะดูลาเรีย และเกิดกับแมกนีเซียม ในแร่ทัลก์ คลอไรต์ และเซอร์เพนทีน

2.2.3 **ทองคำธรรมชาติ** (Native gold)

สำหรับทองคำธรรมชาติเกิดได้หลายรูปแบบในแหล่งแร่ชนิดต่างๆ ในแหล่งแร่ปฐมภูมิทองคำธรรมชาติมีขนาดแตกต่างกัน ตั้งแต่ขนาดเล็ก คือ เล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึงขนาดใหญ่เป็นหลายๆ เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ในแหล่งแร่แบบฝังประ (Disseminated gold deposits) ทองคำธรรมชาติจะมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในแหล่งลานแร่เคยพบก้อนทอง (nuggets) ขนาดใหญ่ถึง 15 ซม. หรือ ใหญ่กว่านั้น ทั้งๆที่โดยเฉลี่ยแล้ว ส่วนใหญ่จะมีขนาดระหว่าง 0.01 ถึง 10 มม. เท่านั้น

ส่วนประกอบของทองคำธรรมชาติ มีความแตกต่างกันบ้างขึ้นกับการเกิด ความบริสุทธิ์ของทองคำธรรมชาติ มีหน่วยวัดที่เรียกว่า ไฟน์เนส (Fineness) ซึ่งได้จากการคำนวณอัตราส่วนของทองคำที่มีอยู่ในโลหะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในสายแร่ มีหน่วยเป็นส่วนในพันส่วน (parts per thousand) โดยกำหนดว่า Au+Ag = 1,000 ดังนั้น ค่าไฟน์เนส จึงคำนวณได้จาก 1000.wt%Au/(wt%Au + wt%Ag)

ค่าไฟน์เนสของทองคำ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณความบริสุทธิ์ของทองคำในโลหะธรรมชาติ หรือ โลหะผสมซึ่งมีทองคำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และมักมีเงินเป็นมลทินอยู่ด้วย ในบางแห่งอาจพบว่ามีค่าไฟน์เนสมากถึง 500 ส่วนในพันส่วนก็มี นอกจากนี้ ยังมีธาตุอื่นๆปนอยู่ด้วย บ้างเป็นปริมาณน้อยมาก ได้แก่พวกโลหะพื้นฐาน เช่น ทองแดง และเหล็ก อาจจะมีปนอยู่ด้วยประมาณ 10 ส่วนในพันส่วน จึงเรียกโลหะที่มีค่าไฟน์เนสมากกว่า 800 ว่าทองคำ ค่าไฟน์เนสระหว่าง 200-800 เรียก อิเล็กตรัม และค่าไฟน์เนสน้อยกว่า 200 เรียกว่า เงิน ค่าไฟน์เนสของทองคำนี้แปรเปลี่ยนไปตามระดับความลึกของแหล่งกำเนิดหรือในทางกลับกัน อาจกล่าวได้ว่า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันขณะเกิดแร่หรือแหล่งแร่ ดังนั้น จึงอาจใช้ค่าไฟน์เนสนี้ในการบ่งชี้กลับไปถึง

อุณหภูมิของการเกิดแร่ โดยเฉพาะการเกิดแร่ของแหล่งแร่ที่เกิดในช่วงอุณหภูมิต่ำ (epithermal) ไปจนถึงอุณหภูมิสูง (Hypothermal) กล่าวคือ ยิ่งอุณหภูมิการเกิดสูง ค่าไฟน์เนสก็จะสูงตามไปด้วย

2.2.4 **ทองคำ-เงิน เทลลูไรด์** (Gold-silver tellurides)

กลุ่มแร่เทลลูไรด์ที่มีทองคำอยู่ด้วย ได้แก่ คาลาเวอไรต์ (Calaverite, $Aute_2$) เครนเนอไรต์ (Krennerite, Au_4 Ag Te_{10}) ซิลวาไนต์ (Sylvanite, Au Ag Te_4) เพตไซต์ (Petzite, Ag_3 Au Te_2) และเฮสไซต์ (Hessite, Ag_2 Te) โดยกลุ่มแร่นี้เป็นแร่ที่ไม่พบบ่อยนัก จะเกิดเฉพาะบางแห่งเท่านั้น แต่โดยทั่วไปแล้วมักพบเกิดร่วมกับทองคำธรรมชาติและแร่เทลลูไรด์ชนิดอื่นๆ โดยมักเกิดอยู่ด้วยกัน หรือ แทนที่กัน และส่วนใหญ่มักพบเป็นขนาดเล็กมาก การทำเหมืองในแร่กลุ่มนี้จึงไม่ใช่เรื่องธรรมดา ถึงแม้ว่าจะพบแร่นี้ในหลายๆแหล่งก็ตาม แต่ก็พบว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น Markham (1975) ได้สรุปสภาพธรณีวิทยาที่ให้แร่ทองคำ-เงินเทลลูไรด์ ว่ามีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบเป็นสายในหินภูเขาไฟยุคเทอร์เชียรี ส่วนอีกแบบหนึ่ง คือเกิดในหินยุคพรีแคมเบรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เรียกว่ากรีนสโตน (greenstone) หรือหินภูเขาไฟที่ถูกแปรสภาพ

2.2.5 **ทองคำเกิดร่วมกับแร่ซัลไฟด์** (Gold associated with sulfides)

ในแหล่งแร่ทองคำมักพบแร่ซัลไฟด์เกิดร่วมด้วย โดยเฉพาะแร่ไพไรต์ และอาร์เซโนไพไรต์ แร่ซัลไฟด์ที่พบว่าเกิดร่วมกับทองคำธรรมชาติ Schwartz (1944) ได้ศึกษาจากแหล่งทองคำ 115 แหล่ง พบว่าเกิดร่วมกับแร่ไพไรต์ 48 แหล่ง อาร์เซโนไพไรต์ 45 แหล่ง กาลีนา 30 แหล่ง สฟาเลอไรต์ 26 แหล่ง คาลโคไพไรต์มากกว่า 23 แหล่ง และพบว่าทองคำธรรมชาติมีความสัมพันธ์กับแร่พิโรไทต์ เททราฮีไดรต์-เทนแนนไทต์ ควอรตซ์ คาร์บอเนต คลอไรต์ และทัวร์มาลีน นอกจากนี้ในบางแห่งยังพบว่าทองคำธรรมชาติเกิดร่วมกับแร่อื่นๆ อีกหลายชนิด อย่างไรก็ตาม Sakharva (1969) พบว่าปริมาณทองคำที่พบในกลุ่มแร่ซัลไฟด์มีมากในแร่อาร์เซโนไพไรต์ และไพไรต์ และนอกจากแร่ทั้งสองนี้แล้ว แร่พิโรไทต์และคาลโคไพไรต์ก็เป็นแร่หลักที่มีทองคำเกิดร่วมอยู่ด้วย ทองคำที่พบในแร่ซัลไฟด์ มักเกิดในรูปของทองคำธรรมชาติอิสระ หรือเกิดเป็นมลทิน (inclusions) ในแร่อื่น ขนาดของเม็ดทองคำธรรมชาติที่พบจะอยู่ในขนาดเล็กมาก (microscopic) ในแร่ซัลไฟด์มักพบขนาดที่เล็กกว่า (submicroscopic) เช่นที่ Dolphin Lode, Fiji มีปริมาณทองคำในแร่ไพไรต์และอาร์เซโนไพไรต์ 765 และมากกว่า 1010 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ Stillwell and Edwards (1946) จากผลการวิเคราะห์ผลึกแร่ไพไรต์จากแหล่งแร่ทองคำ โซด้า ประเทศรัสเซีย ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 2-5 มม. พบว่ามีปริมาณทองคำตั้งแต่ 23.9 ถึง 2515 ส่วนในล้านส่วน และไม่สามารถเห็นเม็ดแร่ทองคำในแผ่นหินขัดมัน ถึงแม้จะขยายเพียงใดก็ตาม แต่เมื่อส่องจากกล้องอิเล็กทรอน พบว่ามีเม็ดทองคำขนาดเล็กมาก (Submicroscopic) เป็นมลทิน (Inclusions) อยู่

2.2.6 **ทองคำในแร่อื่นๆ**

นอกเหนือจากทองคำที่เกิดในรูปของทองคำธรรมาชาติ ทองคำ-เงิน เทลลูไรด์ และทองคำ

ที่เกิดร่วมในแร่ซัลไฟด์แล้ว ยังมีแร่ทองคำอื่นๆ อีกหลายชนิดที่ปรากฏ แต่พบน้อยหรือไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ได้แก่ คอสโตไวท์ (Kostovite, Cu Au Te_4) นาเจียไกท์ (Au (Pb, Sb, Fe)$_8$ (S, Te)$_{11}$) มัลโดไนท์ (Au_2Bi) และ ออโรสติบไนท์ ($AuSb_2$) เป็นต้น นอกจากนี้แร่ประกอบหินโดยเฉพาะในหินอัคนีแทรกซอนก็มีทองคำเกิดร่วมด้วยในปริมาณน้อยมาก

2.3 การประเมินพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่

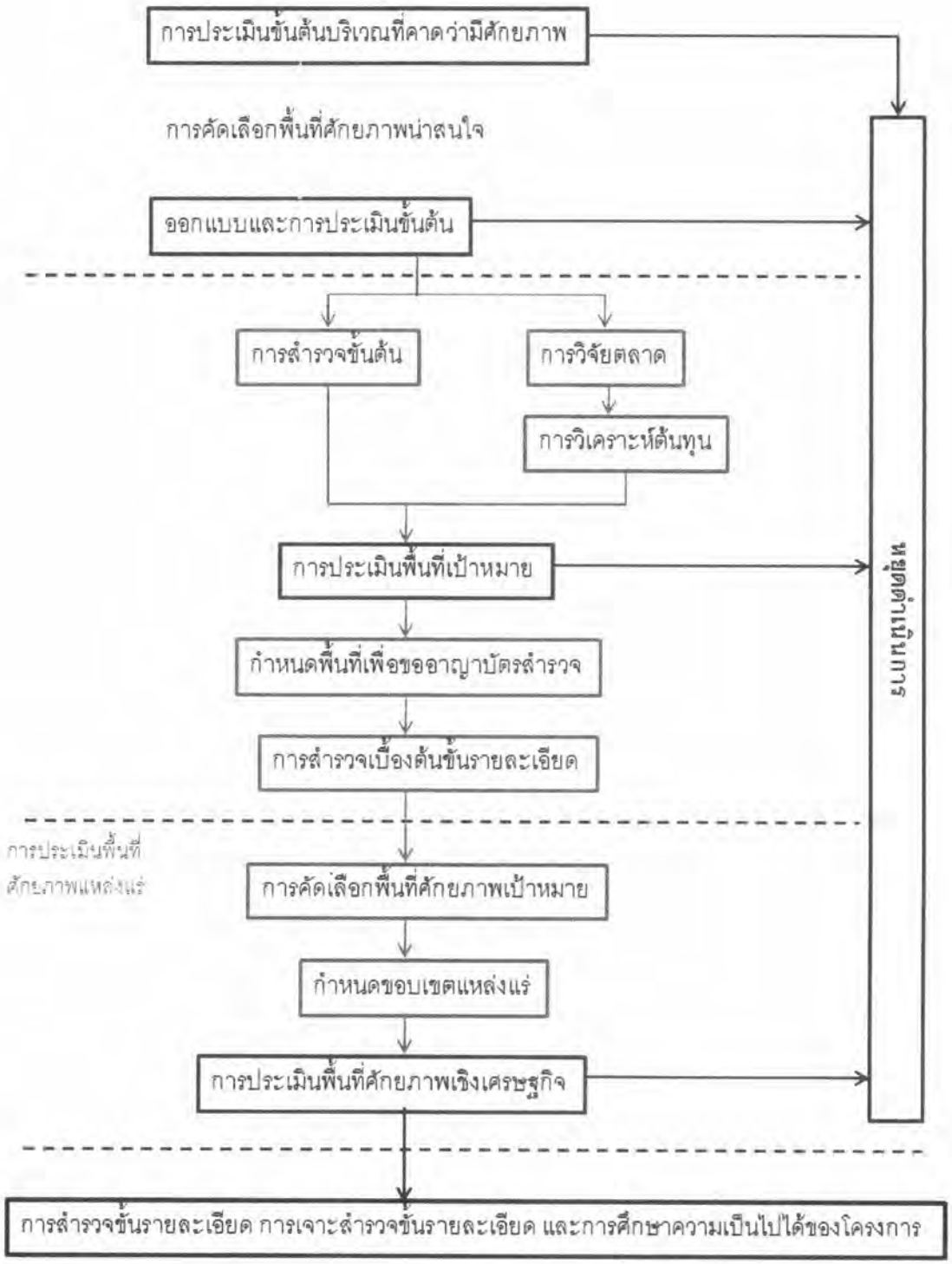
การประเมินพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่ทองคำ มีจุดประสงค์เพื่อประเมินแหล่งแร่ในเชิงเศรษฐกิจเพื่อการตัดสินใจลงทุนสำรวจขั้นรายละเอียด หรือ การดำเนินการพัฒนาในขั้นรายละเอียดต่อไป โดยเป็นส่วนหนึ่งของหลักการสำรวจแหล่งแร่ขั้นต้นพื้นฐาน ซึ่งมีโครงสร้างประกอบไปด้วย การประเมินเบื้องต้นของพื้นที่คาดว่าจะมีศักยภาพ การคัดเลือกพื้นที่เป้าหมาย การลงมือสำรวจเบื้องต้น การวิเคราะห์ด้านตลาด และต้นทุนการทำเหมือง การกำหนดพื้นที่อาชญาบัตรสำรวจแร่ และการสำรวจขั้นรายละเอียดเบื้องต้น (รูปที่ 2.4) ขั้นตอนการประเมินพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลักได้ 2 ขั้นตอน คือ

2.3.1 การประเมินเพื่อคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายและกำหนดขอบเขตแหล่งแร่

ในขั้นต้นของการประเมินพื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่ คือ การพิจารณาเลือกพื้นที่แหล่งแร่เป้าหมายที่มีศักยภาพน่าสนใจจากสภาพธรณีวิทยา และธรณีวิทยาแหล่งแร่ โดยพื้นฐานแล้วการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่เป้าหมาย และกำหนดขอบเขต มักเกิดจากการประมาณการ โดยยึดข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยาที่มีอยู่ เช่น จุดพบแร่ ลักษณะทางธรณีวิทยาที่เอื้อต่อการกำเนิดแร่ ธรณีวิทยาโครงสร้าง ธรณีวิทยาการกำเนิดแร่ และชนิดหินที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น นอกจากนี้ อาจต้องอาศัยงานศึกษาวิจัยที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาก่อน เช่น การจำแนกชนิดของการเกิดแร่นั้น หรือแบบจำลองการเกิดแหล่งแร่แบบต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และสุดท้ายทำการประเมินจากข้อมูลการสำรวจขั้นต้น เพื่อกำหนดขอบเขตแหล่งแร่ หรือ พื้นที่เป้าหมายให้ชัดเจนขึ้น ทำให้ง่ายต่อการประเมินในขั้นต่อไป

2.3.2 การประเมินพื้นที่เป้าหมายเพื่อตัดสินใจดำเนินการ

เมื่อได้พื้นที่เป้าหมาย และขอบเขตแหล่งแร่ที่มีศักยภาพทางสูงในเชิงธรณีวิทยา มีความน่าสนใจในเบื้องต้นแล้ว พื้นที่เหล่านี้จะถูกนำมาพิจารณาทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ การประเมินต้นทุนการทำเหมือง การประเมินความเสี่ยง และการประเมินผลตอบแทนภายหลังการสำรวจในแต่ละขั้น อีกนัยหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ถือว่า ขั้นตอนการสำรวจเป็นขั้นตอนที่มีความเสี่ยงสูง และอาจเป็นการลงทุนที่ศูนย์เปล่าได้หากไม่พบแหล่งแร่ที่มีความสมบูรณ์มากพอในเชิงพาณิชย์ การประเมินในเชิงการหาต้นทุนการทำเหมืองนั้น อาจใช้การเปรียบเทียบกับแบบจำลองการเกิดแร่ รายงานการสำรวจเบื้องต้น และ แหล่งแร่ที่มีการผลิตอยู่ในปัจจุบัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาต้นทุน ทั้งต้นทุนการทำเหมือง และต้นทุนการสำรวจแร่ เป็นต้น



รูปที่ 2.4 **โครงสร้างของการประเมินโครงการสำรวจแหล่งแร่ขั้นต้น** (Alexander, 1985)

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทยมีอยู่มากมายหลายด้าน การศึกษาที่เป็นที่นิยมอ้างถึงคือ การศึกษาด้านแหล่งแร่ทองคำและการแบ่งแนวการเกิดแร่ทองคำในประเทศไทย ของ สมศักดิ์ โพธิสัตย์ (2538) แนวการเกิดแร่ทองคำถูกแบ่งเป็น 5 แนว ได้แก่ 1. แนวเลย-เพชรบูรณ์-ปราจีนบุรี 2. แนวเชียงราย-แพร่-ตาก 3.แนวชลบุรี-นราธิวาส 4.แนวเชียงราย-ลำปาง-แม่ฮ่องสอน และ 5.แนวกาญจนบุรี-ประจวบคีรีขันธ์-พังงา โดยแนวที่สรุปว่ามีศักยภาพน่าสนใจที่สุดคือ แนวที่ 1 นอกจากนี้ นายสมศักดิ์ โพธิสัตย์ (2546) ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพแหล่งแร่ทองคำของประเทศไทยในอนาคต โดยได้ประเมินศักยภาพโดยการคาดคะเนปริมาณแร่ทองคำในแหล่งแร่ทองคำต่างๆ ทั้งหมด 89 แห่ง โดยแบ่งเป็นขนาด 4 ขนาด คือ ใหญ่ กลาง เล็ก และจิ๋ว ตามปริมาณโลหะทองคำ 20, 10, 4 และ2 ตามลำดับ ซึ่งสรุปว่ามีโลหะทองคำรวมกันประมาณ 628 ตัน กระจายตัวใน 20 จังหวัด คือ พิจิตร ชุมพร สุโขทัย นครสวรรค์ ประจวบคีรีขันธ์ นราธิวาส ฉะเชิงเทรา เพชรบูรณ์ พิษณุโลก แพร่ เลย อุดรธานี ชลบุรี สระแก้ว นครสวรรค์ ปราจีนบุรี หนองคาย ลพบุรี เชียงราย และยะลา ปริมาณแร่ทองคำนี้ มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลร้อยละ 90 แต่มีโอกาสที่จะพบแร่ทองคำร้อยละ 70 เพราะพบว่าเป็นแหล่งแร่แล้วแต่ยังไม่มีการสำรวจรายละเอียด ผลการคำนวณแบบคาดคะเนดังกล่าวน่าจะมีปริมาณแร่ทองคำในระดับนี้ประมาณ 400 ตัน

ทางด้านการพัฒนาแหล่งแร่ งามพิศ แย้มนิยม (2538) ได้ศึกษาและให้แนวทางการพัฒนาแหล่งแร่ทองคำในประเทศไว้ โดยได้ทำการศึกษางานวิจัยของต่างประเทศในด้านที่เกี่ยวข้อง และได้สรุปเป็นขั้นตอนการพัฒนาแหล่งแร่ และข้อเสนอแนะสำหรับการลงทุนในการพัฒนาเหมืองแร่ทองคำ ซึ่งแนวทางที่น่าสนใจคือ การหยิบยืมแนวทางหรือผลการศึกษา วิจัย ที่ประสบผลสำเร็จมาใช้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแต่จะต้องอยู่ในบรรทัดฐานของข้อมูลและการประเมินผลที่ถูกต้อง จึงจะใช้เป็นแนวทางหรือใช้ในการเปรียบเทียบอ้างอิงได้ โดยผลการศึกษาที่กล่าวถึง เป็นของ Blain (1984) ที่ได้ทำการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของค่าคุ้มทุนในการพัฒนาแหล่งแร่ที่มีการกำเนิดแบบต่างๆ ที่มีความสมบูรณ์และปริมาณแร่สำรองขนาดต่างๆ ตลอดจนวิธีการทำเหมืองที่แตกต่างกัน มีผลต่อการลงทุนและผลประโยชน์ตอบแทนที่แตกต่างกัน โดยนำเอาแบบจำลองทางการเงินของเหมืองแร่ทองคำตัวอย่างที่เป็นตัวแทนชนิดของการกำเนิดของแหล่งแร่แบบต่างๆมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแหล่งแร่ทองคำทั่วโลก

มีการศึกษาเกี่ยวกับการจำแนกชนิดแหล่งแร่ทองคำไว้มากมาย การจำแนกที่เป็นระบบและง่ายต่อการระบุชนิด ได้แก่ การจำแนกของ Robert (1997) โดยได้ทำการศึกษาและจำแนกชนิดการเกิดแหล่งแร่ทองคำไว้อย่างเป็นระบบ โดยจำแนกเป็น 16 ชนิด พิจารณาจากลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ การเกิดแร่ การเปลี่ยนแปลงของแร่ และแร่โลหะที่เกิดร่วม เป็นเกณฑ์ และยังได้

ประเมินถึงปริมาณสำรอง และคุณภาพแร่ทองคำที่ควรจะพบในแหล่งแร่ชนิดนั้นๆด้วย การศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในการศึกษาและประเมินศักยภาพแหล่งแร่ทองคำทั้งในเชิงปริมาณและในเชิงคุณภาพ สำหรับชนิดแหล่งแร่ทองคำในประเทศไทย จิติศักดิ์ เปรมมณี (2549) ได้ทำการจำแนกไว้ 4 แบบ ได้แก่ 1.แบบฝังประ (Disseminated) 2.แบบสายแร่ควอตซ์ (Epithermal quartz) 3.แบบสายแร่คอวตซ์อุณหภูมิสูง (Mesothermal quartz) และ 4.แบบสการ์น/พอไพรี (Skarn)

พื้นที่ศักยภาพแหล่งแร่ทองคำได้ถูกกำหนดขึ้น โดยอาศัยข้อมูลทางธรณีวิทยาด้านต่างๆที่เกี่ยวข้อง จุดพบแร่ทองคำ และรายงานสำรวจเบื้องต้นในพื้นที่ดังกล่าว การกำหนดขอบเขตของพื้นที่เพื่อการประเมิน มีหลักการในการวาดขอบเขต โดยอาศัยหลักการประเมินขอบเขตของ Singer (1993) โดยอาศัยข้อมูลหลัก 3 อย่าง คือ 1.ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ ขอบเขตแนวหินที่ให้กำเนิดแร่ 2.ลักษณะสินแร่, คุณภาพแร่ และปริมาณสำรองสินแร่ของจุดพบแร่จากการสำรวจเบื้องต้น 3.พื้นที่ที่มีแนวโน้มสูงว่าจะพบแร่เพิ่มเติมอีก นอกจากนี้การอาศัยแบบจำลองธรณีวิทยาแหล่งแร่ จะสามารถบอกได้ถึง ชนิดของแหล่งแร่ ลักษณะและการเกิดของสินแร่ คุณภาพและปริมาณสำรองของสินแร่ ดังนั้นแบบจำลองแหล่งแร่จึงมักนำมาใช้ในการประเมินในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการประเมินศักยภาพของแหล่งแร่ และการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เป้าหมายด้วยเช่นกัน งานศึกษาของ Cox (1986)

การตัดสินใจลงทุนพัฒนาแหล่งแร่อาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องอย่างรอบคอบ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการมักจะนำมาใช้หลังจากการสำรวจขั้นรายละเอียดหรือขั้นเจาะสำรวจพิสูจน์ปริมาณสำรองแร่แล้ว แต่บางครั้งการวิเคราะห์โครงการก็นำไปใช้ได้ตั้งแต่ขั้นเริ่มต้นโครงการ หรือ ในช่วงเริ่มต้นสำรวจแหล่งแร่ได้ เป็นการประเมินแหล่งแร่เชิงเศรษฐกิจ (economic evaluation for mineral deposits) หรือ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการสำรวจแหล่งแร่ โดยใช้หลักการเดียวกันกับการวิเคราะห์โครงการทำเหมืองแร่ เช่น การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial analysis) และการทำแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด (Discounted Cash Flow: DCF model) และการประเมินต้นทุน เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ตัดสินใจ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (sensitivity analysis) และการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis) ก็ถูกนำมาใช้เช่นกัน Miguel (1999) ได้นำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เรียกว่า Geodec (GEOeconomic DECision Analysis) ที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรมภาษาเบสิก ตัวโปรแกรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรวบรวมขั้นตอน เทคนิค วิธีการต่างๆของการวิเคราะห์โครงการดังกล่าวข้างต้น ตัวโปรแกรมจะช่วยคำนวณและประมวลผล โดยเฉพาะการวิเคราะห์กระแสเงินสด (cash flow analysis) โดยจะแสดงผลออกมาเป็นระดับความน่าตัดสินใจ(decision level) ของโครงการ จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของเทคนิคการประเมินแหล่งแร่ด้านเศรษฐกิจ โดย

ทำการประเมินตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นสำรวจ เพื่อช่วยพิจารณาตัดสินใจได้ว่า จะดำเนินการต่อหรือจะหยุด (go/no go) สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นต่อไป Alexander (1985) ได้กล่าวว่า โครงการสำรวจแหล่งแร่จะถูกประเมินว่าจะตัดสินใจดำเนินการหรือหยุด (go/stop) จะประเมินจากปัจจัยที่กำกับอยู่ คือ ต้นทุน, ความเสี่ยง, รายรับที่เป็นไปได้ และการพิสูจน์สมมุติฐานเชิงสถิติของตัวแปรต่างๆในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ การประเมินดังกล่าวจะช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในการลงทุนทำการสำรวจขั้นรายละเอียดในพื้นที่ที่ยังไม่ทราบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจแน่นอน จึงได้เลือกใช้การวิเคราะห์แบบจำลองทางการเงิน (analytical financial models) ที่ขึ้นอยู่กับธรณีวิทยาแหล่งแร่ในการศึกษา และสรุปว่าเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุด

ปัจจัยสุดท้ายในการตัดสินใจลงทุนพัฒนาแหล่งแร่ คือ การประเมินต้นทุนทางสังคมและสิ่งแวดล้อม การพัฒนาแหล่งแร่จนกลายเป็นเหมืองแร่นั้น เป็นเรื่องของการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหลัก ซึ่งการทำเหมืองแร่โดยเฉพาะเหมืองแบบเปิด (Open pit) ต้องมีการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่เดิมไปอย่างมาก หากพื้นที่เดิมเป็นพื้นที่เกษตรกรรมของชาวบ้าน หรือ พื้นที่ป่าไม้ ก็จำเป็นจะต้องมีการจ่ายค่าชดเชย หรือ ประเมินมูลค่าป่าไม้ที่จะสูญเสียไปออกมาเป็นเม็ดเงินที่ผู้ดำเนินการเหมืองแร่จำเป็นต้องจ่าย ซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำเหมืองแร่ การศึกษาและประเมินต้นทุนทางสังคมและสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและต้องใช้เวลามากในการประเมิน เพราะต้องเข้าถึงพื้นที่ชุมชนเพื่อเก็บข้อมูล ดังนั้นกระบวนการนี้ส่วนใหญ่จึงเป็นกระบวนการที่อยู่ในช่วงท้ายของการลงทุนพัฒนาแหล่งแร่ หรือ รวมอยู่ในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการทำเหมืองแร่ แต่สำหรับขั้นต้นของการสำรวจและประเมินแหล่งแร่นั้น อาจนำต้นทุนสังคมและสิ่งแวดล้อมมาพิจารณาในเชิงคุณภาพโดยเน้นที่พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และพื้นที่ป่าไม้เป็นหลัก โดยอาจจัดอันดับเป็นคุณค่าของพื้นที่จากมาก ไป น้อย ตามลำดับตามชนิดของการใช้ประโยชน์พื้นที่ โดยการศึกษาของ Richard (1998) ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการอนุรักษ์พื้นที่ที่มีความหลากหลายของระบบนิเวศต่อพื้นที่ที่จะมีการพัฒนาเป็นพื้นที่ชุมชน หรือ สิ่งปลูกสร้างต่างๆ โดยได้จัดอันดับพื้นที่ในเชิงคุณภาพเป็นระดับที่ควรอนุรักษ์จากมาก ไป น้อย และพื้นที่ลุ่มน้ำ (Slight, Moderate, Severe, Very Severe และ Water) โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ และแสดงผล โดยจัดแสดงผลในรูปแบบแผนที่แสดงพื้นที่ที่ควรอนุรักษ์ มากไปหา น้อย ตามลำดับ ซึ่งหลักการจากการศึกษานี้สามารถประยุกต์ใช้กับการประเมินต้นทุนพื้นที่ทางชุมชนและป่าไม้ ในการพัฒนาแหล่งแร่และการวางแผนการสำรวจได้เป็นอย่างดี