

การศึกษาธรณีสัณฐานและแร่วิทยาบริเวณเขาชะงอก โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
เพื่อสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา

Geomorphological and Mineralogical Studies at Khao Cha-Ngok
in Chulachomklao Royal Military Academy for Geotourism Trail

พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล^{1*}
Colonel Assistant Professor Dr. Krittayaporn Charoenpol^{1*}
ดร.ประยัต นันทศีล²
Dr. Prayath Nantasin²
ธานี คามเขต³
Tanee Kamkhet³

^{1*} กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
นครนายก 26001 ประเทศไทย

^{1*} Department of Environmental Science, Academic Division,
Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok 26001, Thailand

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

² Department of Earth Sciences, Faculty of Science,
Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand

³ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ กรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย

³ Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Bangkok 10210, Thailand

*Corresponding Author. E-mail : krittaya_porn@hotmail.com

(Received: March 11, 2024, Revised: April 1, 2024, Accepted: April 2, 2024)

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะธรณีสัณฐาน ศึกษาแร่ดิคโคตและแร่ที่สำคัญ และเพื่อจัดทำแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่เขาชะงอก วิธีการศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาช่วยในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศ การวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างแผนที่ ร่วมกับการศึกษาธรณีวิทยาในภาคสนาม และเก็บตัวอย่างหินจำนวน 24 จุด (57 ตัวอย่าง) ตามเส้นทางท่องเที่ยวในกิจกรรมเดินป่าเชิงอนุรักษ์ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อไปตรวจสอบชนิดแร่ เนื้อหิน และการเปลี่ยนแปลงของแร่ในตัวอย่างหินด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ร่วมกับการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

ผลการศึกษาธรณีสัณฐาน พบว่า พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาชะงอก มีความสูงอยู่ในช่วง 2-285 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง มีระดับความลาดชันอยู่ในช่วง 2-218% จำแนกภูมิสัณฐานได้ 8 ประเภท พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขา ร่องลงมาได้แก่ ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาด ภูเขาสูงชัน ภูเขาสูงชันมาก ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ และภูเขาสูงชันมากที่สุด ตามลำดับ เขาชะงอกเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อนจำพวกหินตะกอนภูเขาไฟและหินไรโอไลต์ แทรกสลับกันไปมา ลักษณะเนื้อหินมีขนาดละเอียดและหยาบปะปนกัน และจากองค์ประกอบของตะกอนภูเขาไฟ

บ่งชี้ว่าเขาชะงอกเกิดจากการระเบิดที่รุนแรงของภูเขาไฟในยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิกหลายครั้ง นอกจากนี้พบสายแร่ ดิกโคต์ปรากฏให้เห็นเป็นบางจุดและพบหินตะกอนภูเขาไฟเดิมถูกแทนที่จนมีเนื้อเนียนเหมือนแร่ดิกโคต์ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ 1. น้ำแร่ร้อนที่มีความดันสูงแทรกขึ้นมาตามรอยแตกและเปลี่ยนหินตะกอนภูเขาไฟเดิมตามแนวรอยแตกนั้นซึ่งมีกลุ่มแร่ เฟลด์สปาร์จำนวนมากให้เป็นแร่ดิกโคต์ และ 2. น้ำแร่ร้อนที่อุดมไปด้วยสารละลายซิลิกาได้ซึมเข้าไปในหินตะกอนภูเขาไฟและ ตกผลึกปะปนกับแร่เดิม ทำให้หินตะกอนภูเขาไฟที่อยู่ในแนวรอยแตกมีเนื้อเนียนเหมือนดิกโคต์แต่มีความแข็งมากกว่า กระบวนการนี้เรียกว่า Silicification ส่วนหินที่ถูกแทนที่เรียกว่า หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา หลาย ร้อยล้านปีต่อมาหินตะกอนภูเขาไฟบริเวณเขาชะงอกที่เคยมีระดับความสูงมากกว่าปัจจุบันก็ค่อย ๆ ลดระดับลงจากการ ผุพังและถูกพัดพาออกไป ส่วนบริเวณยอดเขาชะงอกเป็นจุดที่มีน้ำแร่ร้อนซึมผ่านจำนวนมากนั้น มีความทนทานต่อการผุพัง มากกว่าพื้นที่โดยรอบทำให้คงเหลือเป็นผาสูงชันที่เรียกว่า “เขาชะงอก” กลุ่มหินที่พบในเส้นทางสำรวจมี 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1. กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ หินตะกอนภูเขาไฟ หินถ้ำภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟที่มีเศษหินเป็นองค์ประกอบหลัก หินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงเนื้อหินของการไหล และหินตะกอนภูเขาไฟเนื้อผลึก 2. กลุ่ม หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือถูกเปลี่ยนสภาพภายหลัง ได้แก่ แร่ดิกโคต์ หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ ซิลิกา และหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำร้อน 3. กลุ่มหินอัคนีพุ ได้แก่ หินไรโอไลต์และหินแจสเปอร์ นอกจากนี้ แร่อื่น ๆ ที่พบ ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่เซอร์ไซต์ แร่เซอร์คอน แร่ดิน แร่ฮีมาไทต์ แร่ไพไรต์ แร่อะดูลาเรีย และ แร่เอพิโดต จากผลการศึกษาสามารถสร้างเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาได้ 1 เส้นทาง ประกอบด้วย จุดศึกษาทาง ธรณีวิทยา 24 จุด มีระยะทาง 10.13 กิโลเมตร โดยจุดศึกษาที่พบแร่ดิกโคต์และมีความโดดเด่นทางธรณีวิทยา มีจำนวน 7 จุด ได้แก่ 1. บริเวณเหมืองแร่เก่าที่เป็นถ้ำพระพุทธรูป 2. บริเวณป้าย CRMA ที่ยอดเขา 3. บริเวณเหมืองแร่เก่าช่องเขาขาด 4. น้ำตกวัดเขาชะงอก 5. บริเวณทางขึ้นเขาก่อนถึงศาลกฤษีตาไฟ 6. บริเวณตรงข้ามบันไดพญานาค และ 7. บริเวณถึง เก้าอี้ประปาที่มีความสูง 62.5 m.MSL

คำสำคัญ: ธรณีสัณฐาน ทรัพยากรแร่ ดิกโคต์ การท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

Abstract: This research is aimed to study geomorphology: dickite and significant minerals to generate a geotourism map in Khao Cha-Ngok area. Geo-informatic technology is employed to help generate a digital terrain model, informational analysis, creating a map and a geology study in the field. Fifty seven rock samples were collected in 24 locations along the geotourism trail of Chulachomklao Royal Military Academy to investigate types of minerals, rocks and mineral transformation using advanced equipment such as a polarized microscope and an x-ray diffractometer (XRD).

The geomorphology study has revealed that Khao Cha-Ngok area is made up of 2 to 285 meter elevation range above mean sea level (MSL), it's in the 2 to 218% slope range. There are 8 types of landforms: the majority of the area is hilly, rolling, undulating, steep, very steep, gently undulating, level to nearly level and extremely steep. Khao Cha-Ngok was formed by felsic pyroclastic rocks and intercalated with rhyolite. The rock textures show a variety of sizes ranging from fine to coarse grained rocks. According to the features of these rock samples suggest numerous explosive eruptions during the Permian-Triassic period. In addition, dickite veins have been spotted in some areas and original pyroclastic rocks have become a part of dickite rocks which can be explained as follows: 1. High pressure hydrothermal fluid infiltrated along fractures and transformed the pyroclastic rocks abundant of feldspar to dickite. 2. Hydrothermal fluid enriched with silica solution infiltrated to pyroclastic rocks and crystallized among pre-existing minerals. As a result, pyroclastic rocks along fractures have an aphanitic texture like dickite but harder texture. It is called silicification process. These new replacement rocks called silicified pyroclastic rocks. Million years later in this area that were much higher than current elevation, gradually weathered and eroded. While the top of Khao Cha-Ngok infiltrated by hydrothermal fluid has resisted erosion and weathering more than the surrounding areas and remains a steep peak called Khao Cha-Ngok. Three groups of rocks found on the survey are: 1. Unaltered pyroclastic rocks: pyroclastic rocks, ash tuff, lithic tuff, welded tuff and crystal tuff. 2. Altered or replacement volcanic rocks: dickite, silicified pyroclastic rocks and altered pyroclastic rocks. 3. Extrusive rocks: rhyolite and jasper. Quartz, feldspar, sericite, zircon, clay minerals, hematite, pyrite, adularia and epidote were also found. As a result of the study, a route of 24 areas is 10.13 kilometer long. Seven significant geotourism areas that dickite were found: 1. Old Buddha cave previously a mine, 2. CRMA sign on top of the peak, 3. Chong Kaokad previously a mine, 4. Wat Khao Cha-Ngok Waterfall, 5. Entrance in front of Rue-si Tafai Shrine, 6. Area across from King of Nagas stairs, and 7. 62.5 m.MSL Water tank.

Keywords: Geomorphology, Mineral resources, Dickite, Geotourism, Geo-informatics technology

1. บทนำ

เขาชะง็อก จังหวัดนครนายก เคยเป็นเหมืองแร่ดิกไคต์ (Dickite) มาก่อน โดยจัดว่าเป็นเหมืองแร่ขนาดใหญ่แห่งหนึ่งของโลก ซึ่งแร่ดิกไคต์เดิมมีชื่อเรียกในทางการค้าว่า หินสบู่ [1] โดยในปี พ.ศ. 2514 เหมืองแร่ดิกไคต์เปิดทำการที่เขาชะง็อก จำนวน 2 เหมือง ได้แก่ บริษัท ไทยคำ จำกัด และเหมืองแร่ขุขเจริญ และหยุดดำเนินการปี พ.ศ. 2532 เนื่องจากหมดสัมปทาน และพื้นที่เขาชะง็อกอยู่ในเขตของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (รร.จปร.) [2] แร่ดิกไคต์ที่สำคัญของประเทศไทยมีอยู่ 2 แหล่ง แหล่งที่ 1 คือพื้นที่เขาชะง็อกและเขาแหลม ตำบลพรหมณี อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก และแหล่งที่ 2 คือ พื้นที่เขาไม้พลอง เขาพุพัง เขาสะท้อนสูง และเขาตะแบก ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี [3] แร่ดิกไคต์มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ จัดอยู่ในกลุ่มแร่ดิน (Clay mineral group) ในกลุ่มเคโอลิไนต์ (Kaolinite) แร่ดิกไคต์ มีหลายสี มีลักษณะเป็นก้อนเนื้อแน่น ละเอียด แทะสลักง่ายมีลวดลายสวยงาม [4]-[6] การใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแร่ดิกไคต์ โดยการแบ่งคุณภาพพิจารณาจากปริมาณของอะลูมินา ดังนี้ เกรด A มีอะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 32-28 ส่วนมากใช้ทำเครื่องประดับหรืองานแกะสลัก เกรด B ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก มีอะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 28-11 ซึ่งพบเป็นบริเวณกว้างกว่าเกรด A และเกรด C องค์ประกอบยังไม่เปลี่ยนแปลงไปจากหินเดิมมากนัก ใช้ผสมเพื่อทำปูนซีเมนต์ขาว [1]

ปัจจุบันเขาชะง็อกอยู่ในเขตโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเขาชะง็อกได้เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ป่าไม้ วัด อาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ พื้นที่สวนป่า และพื้นที่อื่น ๆ ตามวัตถุประสงค์ของ รร.จปร. ด้วยลักษณะภูมิประเทศของ รร.จปร. ที่มีภูเขาล้อมรอบ มีสภาพแวดล้อมสวยงามและมีจุดเด่นคือมีเขาชะง็อกที่มีรูปทรงแปลกตาและเป็นเอกลักษณ์ จึงเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัดนครนายก ดังนั้น การมีระบบ

การบริหารจัดการแหล่งอันควรรักษ์ทางธรณีวิทยาที่ดี จะทำให้สามารถเพิ่มคุณค่าให้กับแหล่งอันควรรักษ์ทางธรณีวิทยา ทั้งทางด้านการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว หรือการรักษาแหล่งอันควรรักษ์ทางธรณีวิทยาเหล่านี้ไว้ให้เป็นแหล่งเรียนรู้ต่อสังคมทั้งในปัจจุบันและอนาคต [1] การท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา จึงเป็นแนวคิดใหม่ที่เน้นการส่งเสริมลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานวิทยาในภูมิทัศน์ให้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวหลัก โดยเป็นการท่องเที่ยวที่อยู่ภายใต้การอนุรักษ์มรดกทางธรณีวิทยาและการจัดการอย่างยั่งยืน การท่องเที่ยวลักษณะนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เข้าชมหรือนักท่องเที่ยวเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับมรดกทางธรณีวิทยาและเกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธรณีวิทยา ธรณีสัณฐานวิทยา ความหลากหลายทางธรณีวิทยา และทรัพยากรธรณีในพื้นที่ กลยุทธ์หลักในการสร้างการท่องเที่ยว ได้แก่ เส้นทางศึกษาธรณีวิทยา (Geotrail) กิจกรรมทางธรณีวิทยา จุดชมวิว มัคคุเทศก์ที่มีความรู้ และศูนย์บริการนักท่องเที่ยว เป็นต้น [7], [8] การศึกษาธรณีสัณฐานและธรณีวิทยาบริเวณเขาชะง็อกจะช่วยให้เข้าใจถึงประวัติความเป็นมาในด้านธรณีวิทยาของพื้นที่ ภูมิสัณฐาน กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงทำให้ทราบว่ายังคงมีทรัพยากรแร่ที่สำคัญอะไรบ้างในปัจจุบัน และจากการที่เขาชะง็อกเป็นแหล่งท่องเที่ยวและมีเส้นทางเดินป่าเพื่อสำรวจธรรมชาติอยู่แล้วผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาธรณีสัณฐานวิทยาและสำรวจแหล่งแร่ดิกไคต์ และทรัพยากรแร่อื่น ๆ บริเวณพื้นที่เขาชะง็อก เพื่อพัฒนาให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงธรณีเพื่อการศึกษารเรียนรู้ทางธรณีวิทยา ซึ่งจะเป็นการช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งอันควรรักษ์ทางธรณีวิทยาของเขาชะง็อกต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณเขาชะง็อก

2.2 เพื่อศึกษาแร่ดิกไคต์และแร่ที่สำคัญบริเวณพื้นที่เขาชะง็อก

2.3 เพื่อจัดทำแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา บริเวณพื้นที่เขาชะงอกโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เพื่อใช้ในการศึกษาเรียนรู้และการท่องเที่ยวทางธรณีวิทยาในพื้นที่โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความหมายของธรณีสัณฐานวิทยา

ธรณีสัณฐานวิทยา หมายถึง การศึกษาสัณฐานของเปลือกโลก ตลอดจนกระบวนการที่ก่อให้เกิดลักษณะสัณฐานนั้น ๆ โดยการศึกษาทางธรณีสัณฐานวิทยา ประกอบด้วย 1. สัณฐานวิทยา คือ รูปร่าง ขนาด ลักษณะภูมิประเทศ พื้นผิว ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และความสูงของหน่วยสัณฐาน 2. วัสดุประกอบสัณฐาน คือ ส่วนที่ผุพังกลายเป็นดินและส่วนของหินแข็ง 3. กระบวนการที่กระทำต่อสัณฐาน คือ กระบวนการที่ทำให้เกิดสัณฐานนั้น ๆ จากตัวการต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ ลม และธารน้ำแข็ง เป็นต้น 4. โครงสร้างของตะกอนหรือชั้นหินที่เป็นส่วนประกอบของธรณีสัณฐาน และ 5. ระยะเวลาในการพัฒนาสัณฐานซึ่งก็คืออายุจริงของพื้นที่ [9], [10]

3.2 แร่ดิกโคต (Dickite)

แร่ดิกโคต มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ เป็นแร่ในหมู่ฟิลโลซิลิเกต หรือชีตซิลิเกต (Phyllosilicates or Sheet silicates) อยู่ในกลุ่มเคโอลิไนต์เซอร์เพนทีน (Kaolinite-serpentine group) และอยู่ในกลุ่มย่อยของเคโอลิไนต์ (Kaolinite subgroup) ดิกโคตเป็นแร่ที่มีพหุสัณฐาน (Polytype) คือมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่มีโครงสร้างผลึกต่างกับแร่เคโอลิไนต์ ดิกโคตประกอบด้วยธาตุหลัก ได้แก่ Al, Si, O และ H ดิกโคตเป็นหินแข็ง เนื้อเนียนละเอียด มีหลายสี บางทีอาจมีธาตุอื่นเจือปน เช่น เหล็ก ไทเทเนียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม เป็นต้น ทำให้แร่ดิกโคตมีสีต่างกันออกไปตามธาตุที่เจือปน ดิกโคตบริสุทธิ์จะมีสีขาว นอกจากนี้ยังพบได้หลายสี เช่น สีเทา สีเทาแกมเขียวมะกอก เทาอ่อนแกมน้ำเงิน ขาว เขียวอ่อน

เหลือง, น้ำเงินเข้ม ในบางพื้นที่พบสีแดงอมชมพู และสีเหลืองนวล มีความวาวคล้ายไขและโปร่งแสง [1], [4], [6] คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดิกโคตได้แบ่งความแข็งตามสเกลของโมห์ (Moh's scale of hardness) เท่ากับ 1.5-2 ซึ่งเล็บสามารถขีดเข้าไปในเนื้อได้ และมีความถ่วงจำเพาะ เฉลี่ยเท่ากับ 2.60 ผลึกของดิกโคตมีลักษณะเป็นแท่งหรือเป็นแผ่นซ้อนกันหรือเป็นมวลแน่น มีความแข็งต่ำ

แร่ดิกโคตเกิดจากสารละลายน้ำร้อน (Hydrothermal solution) ที่มีธาตุอะลูมินาสูง จากการแปรเปลี่ยนของแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspars) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 100-120 องศาเซลเซียส [11], [12] แร่ดิกโคตเกิดจากการที่น้ำแร่ร้อนและแก๊สซึมผ่านรอยแตกของหินเดิมที่เป็นหินไรโอไลต์และหินทัฟฟ์ (หินเถ้าภูเขาไฟ) แล้วเปลี่ยนสภาพแร่ประกอบหินเดิมให้เป็นแร่ดิกโคต หรือเกิดจากการที่น้ำแร่ไหลเข้าไปบรรจุในรอยแตกที่มีอยู่ในหิน (Fracture filling) หรือเกิดแบบน้ำแร่ร้อนที่เป็นสายแร่ (Veins) ซึ่งเปลี่ยนสภาพ (Alteration) มาจากแร่อะลูมิเนียมซิลิเกต การแพร่กระจายของแร่จึงสัมพันธ์กับแนวโครงสร้างทางธรณีวิทยา สายแร่ดิกโคตที่พบมีรูปร่างไม่แน่นอน บางส่วนแทนที่หมดและบางส่วนแทนที่ไม่หมด นอกจากนี้ยังมีแร่ไฟโรต์ผสมอยู่ประปราย และพบหินกรวดเหลี่ยมของควอตซ์ที่มีผลึกซ้อนรูปอยู่ในเซตรอยแตก [4]

สุกิจ อติพันธ์ [13] กล่าวว่า แร่ดิกโคตในประเทศไทยเกิดจากการที่น้ำแร่ร้อนและแก๊สซึมผ่านรอยแตกของหินเถ้าที่เป็นหินไรโอไลต์ (Rhyolite) และหินเถ้าภูเขาไฟไรโอไลติกทัฟฟ์ (Rhyolitic tuff) แล้วเปลี่ยนสภาพแร่ประกอบหินเดิมให้เป็นแร่ดิกโคตและเคโอลิไนต์ในกระบวนการแทนที่ (Replacement) หรือเกิดจากการที่น้ำแร่ไหลเข้าไปบรรจุในรอยแตกของหิน (Fracture filling) การแพร่กระจายของแร่จึงสัมพันธ์กับชนิดหินและแนวโครงสร้างธรณีวิทยาของบริเวณนั้น ๆ

สุนทรี ปัทมสุต และคณะ [14] และธงชัย พึ่งรัตน์ [4] กล่าวว่า แร่ดิกโคตในประเทศไทย พบได้ 2 แบบตามลักษณะของการเกิด คือ 1. การเกิดแบบบรรจุ

ตามรอยแตกในหินภูเขาไฟ (Fracture-filled type) ซึ่งน้ำแร่ร้อนจะแทรกอยู่ในช่องว่างหรือตามรอยแยกของหินภูเขาไฟ แร่ที่ได้จะเป็นแร่บิริสุทธี และ 2. การเกิดแบบแทนที่ในหินภูเขาไฟหมดหรือเพียงบางส่วน (Replacement type) ซึ่งน้ำแร่ร้อนจะเข้าไปในช่องว่างแล้วทำปฏิกิริยากับหินภูเขาไฟที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้แก่แร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ โดยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ดิทโคต์บริเวณเขาชะงักที่เก็บตัวอย่างในปี พ.ศ. 2519 พบว่า เป็นแร่ดิทโคต์ที่เกิดแบบบรรจตามรอยแตกและเกิดแบบแทนที่ในหินภูเขาไฟและหินตะกอนภูเขาไฟ [4], [13]

3.3 เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics Technology)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นผิวโลก ประกอบด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องคือ การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing, RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) เพื่อสนับสนุนการรวบรวมข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การจัดการข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแสดงผลข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ (Geospatial Information) ที่นำไปวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ [15]

การรับรู้จากระยะไกล หมายถึง วิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ จากเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น รูปทรงสัญญาณของวัตถุนบนพื้นผิวโลก และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา [15], [16]

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือหรือวิธีการที่ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บ

ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ของโลกด้วยการอ้างอิงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยข้อมูลที่อ้างอิงภายในจุดพิกัดเดียวกัน เป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ข้อมูลเชิงบรรยาย มีความเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ [16]

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หมายถึง ระบบนำวิถีที่ใช้ในการหาค่าพิกัดตำแหน่งจากการรับสัญญาณคลื่นวิทยุจากดาวเทียม หลักการรังวัดด้วยวิธีนี้จะหาตำแหน่งโดยการวัดระยะทางไปยังดาวเทียม โดยมีสถานีภาคพื้นดินคอยติดตามการโคจรของดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทราบตำแหน่งดาวเทียมที่เวลาต่าง ๆ ข้อมูลการรังวัดจะถูกพยากรณ์ล่วงหน้า โดยสถานีติดตามดาวเทียมแล้วส่งข้อมูลไปบันทึกไว้ในดาวเทียมเพื่อส่งกระจายลงมาพร้อมกับคลื่นวิทยุ ซึ่งการหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดใด ๆ กระทำได้โดยการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปวาง ณ จุด ๆ นั้น ใช้หลักการคำนวณโดยสูตร ระยะทาง (S) เท่ากับ ค่าความเร็ว (v) x เวลา (t) ดังนั้น ถ้าเราทราบว่าสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมถึงเราใช้เวลาเท่าไร ก็จะทราบระยะทางระหว่างเรากับดาวเทียม [15], [16]

3.4 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาโครงสร้างผลึกและวิเคราะห์สารประกอบแร่ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยการยิงรังสีเอกซ์ไปตกกระทบตัวอย่างทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุมต่าง ๆ กัน แล้วเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิดมีโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน ทำให้มีแบบรูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แตกต่างกันด้วย การวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ทำโดยการบดตัวอย่างให้เป็นผงด้วยครกบดมือ บรรจุตัวอย่างผงในภาชนะ จัดเป็นการเรียงตัวแบบสุ่ม (Random powder) แล้วนำไปตรวจวัดแบบ Unoriented sample ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer) โดย

ใช้รังสีเอกซ์จากธาตุทองแดงเป็นแหล่งกำเนิดรังสี ($\text{CuK}\alpha$ radiation; 40k V, 30 mA) ใช้เวลาในการตรวจวัด 0.02 องศา (2θ) ต่อวินาที [17]

ข้อมูลค่าการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ที่สำคัญของแร่ดิกโคไตน์ในส่วนของพีคหลัก (Peak) ประกอบด้วย พีคหลักที่ 2-Theta (2θ), Intensity, D-spacing และดัชนีมิลเลอร์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูล XRD ที่สำคัญของแร่ดิกโคไตน์

2θ ($^{\circ}$)	Intensity (%)	D-spacing ($\text{\AA}$)	HKL (ดัชนีมิลเลอร์)
12.36	100	7.1620	002
21.55	53.70	4.1235	-112
23.46	38.61	3.7320	002
24.86	64.83	3.5810	004
38.74	43.94	2.3243	132

ที่มา: Bailey [17]

4. วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ร่วมกับการบรรยายเชิงพรรณนา มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1 กำหนดพื้นที่ศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่เขาชะงอก จากนั้นทำการวางแผนการสำรวจทางธรณีสัณฐานและทรัพยากรแร่ (ภาพที่ 1)

4.2 ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตให้กับข้อมูลภาพจากดาวเทียม Worldview-2 ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.5 โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ของกรมแผนที่ทหารเป็นข้อมูลอ้างอิง

4.3 การสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (DTM) จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) ของกรมแผนที่ทหารโดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5

4.4 วิเคราะห์ความสูงและระดับความลาดชันจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5 จำแนกภูมิสัณฐานตามระดับความลาดชันตามหลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยแบ่งเป็น 8 ชั้น ได้แก่ 0-2%, 2-5%, 5-12%, 12-20%, 20-35%, 35-50%, 50-75% และ >75% [18] จากนั้นจัดทำแผนที่ความสูงและแผนที่ภูมิสัณฐานที่แสดงความลาดชัน

4.5 สำรวจลักษณะธรณีสัณฐานในภาคสนามถ่ายภาพ และจดบันทึก

4.6 วิเคราะห์ข้อมูลธรณีสัณฐานจากค่าความลาดชัน ค่าความสูงภูมิประเทศ แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (DTM) และข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ร่วมกับข้อมูลหัตถ์ภูมิจากเอกสารและงานวิจัยทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง

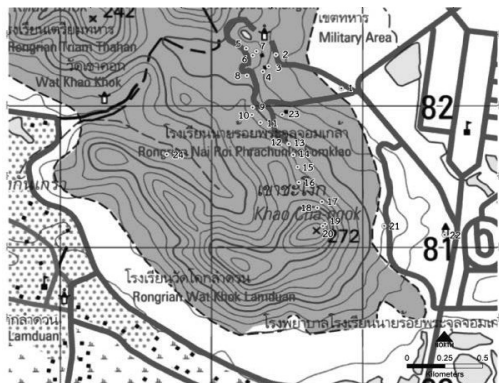
4.7 ศึกษาและเก็บตัวอย่างหินและแร่บริเวณเขาชะงอกตามเส้นทางเดินป่าเพื่อสำรวจธรรมชาติและบริเวณใกล้เคียงที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวและสถานที่สำคัญ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2567 รวมทั้งสิ้น 24 จุดศึกษา มีจำนวนตัวอย่างหิน 57 ตัวอย่าง โดยในการเลือกจุดเก็บตัวอย่างใช้การพิจารณาชุดหินและหน่วยของหินทางธรณีวิทยาจากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีร่วมกับการพิจารณาแนวการเปลี่ยนแปลงของชนิดหินในแต่ละบริเวณ และลักษณะภูมิสัณฐาน ใช้เครื่อง GPS ในการระบุพิกัดตำแหน่งของหินและแร่ ถ่ายภาพ และจดบันทึก ตรวจสอบหินและแร่ทางกายภาพในภาคสนามด้วยตาเปล่าและแว่นขยาย โดยตรวจสอบความแข็ง สี ขนาดเม็ดแร่ ความวาว แนวแตกเรียบ ความเป็นแม่เหล็ก และค่าความเป็นเบส ทั้งนี้เพื่อให้ได้ชื่อหินหรือแร่ในเบื้องต้น

4.8 นำตัวอย่างหินที่เก็บจากจุดศึกษาในภาคสนามไปทำการวิเคราะห์แผ่นหินบาง (Thin section) และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (Polarized Microscope) เพื่อตรวจสอบชนิดแร่ประกอบหิน รูปแบบของเนื้อหิน และการเปลี่ยนแปลงด้วยอิทธิพลของน้ำแร่ร้อน

4.9 นำตัวอย่างหินที่พบแร่ดิกโคไตน์จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ ไปทำการวิเคราะห์การ

เลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึก และวิเคราะห์สารประกอบแร่แต่ละชนิด

4.10 จัดทำแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาที่แสดงตำแหน่งทรัพยากรแร่โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาชะโงก

5. ผลการศึกษา

5.1 ธรณีสัณฐานของเขาชะโงก

เขาชะโงกเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อนจำพวกหินตะกอนภูเขาไฟและหินไรโอไลต์แทรกสลับกันไปมา ตามธรรมชาติของภูเขาไฟที่มักจะเกิดการปะทุขึ้นครั้งไม่ถ้วนตลอดช่วงอายุขัยของภูเขาไฟ เขาชะโงกอยู่ในแนวภูเขาไฟเลยเพชรบูรณ์ ซึ่งจากรายงานวิจัยต่าง ๆ ระบุว่าแนวภูเขาไฟที่มีการปะทุมาตั้งแต่ 205-290 ล้านปีก่อน เกิดจากการชนกันของแผ่นทวีปในช่วงรอยต่อระหว่างยูเรเชีย-เมียน-ไทโรแอตติก โดยแผ่นธรณีมหาสมุทรที่อยู่ตรงกลางเคลื่อนตัวมุดลงไปใต้แผ่นธรณีฉานไทยและแผ่นอินโดจีน ทำให้แผ่นธรณีทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหากัน เกิดภูเขาไฟปะทุรุนแรงตลอดแนวการมุดตัวเป็นระยะเวลายาวนาน และเกิดการปะทุของหินภูเขาไฟนับครั้งไม่ถ้วน และหินอัคนีบางส่วนที่แทรกขึ้นมาแต่ไม่สามารถไหลพื้นผิวดินจนกลายเป็นหินอัคนีบาดาลนั้นก็มียาวนาน ซึ่งเชื่อว่าเขาชะโงกก็น่าจะเกิดในช่วงเวลาดังกล่าวเช่นกัน อย่างไรก็ตาม

ก็ดี หากพิจารณาเฉพาะพื้นที่เขาชะโงกและบริเวณโดยรอบของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าแล้ว ภูเขาหินในพื้นที่นี้บ่งบอกว่าเกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟที่รุนแรง เนื่องจากหินส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนภูเขาไฟ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า การชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินโดจีนและฉานไทยเกิดยาวนาน จึงเกิดการปะทุของภูเขาไฟในบริเวณนี้ครั้งแล้วครั้งเล่า ทำให้ได้หินตะกอนภูเขาไฟที่มีขนาดตะกอนละเอียดบ้างหยาบบ้างปะปนกันไป

จากการสำรวจในภาคสนาม พบว่า มีสายแร่ดึกไคต์ปรากฏให้เห็นบางจุดและมีบางจุดที่หินตะกอนภูเขาไฟเดิมถูกแทนที่ด้วยแร่ควอตซ์ขนาดละเอียดมาก ๆ (Cryptocrystalline quartz) จนมีเนื้อเนียนเหมือนดึกไคต์แต่มีความแข็งสูงกว่ามากซึ่งเรียกกระบวนการถูกแทนที่ด้วยแร่ควอตซ์ขนาดเล็กนี้ว่า Silicification ส่วนหินที่ถูกแทนที่นี้ เรียกว่า หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา (Silicified pyroclastic rock) และการปรากฏของสายแร่ดึกไคต์และโซนที่เกิด Silicification นี้บ่งบอกว่ามีน้ำแร่ร้อน (Hydrothermal fluid) แทรกตัดเข้าไปในรอยแตกของหินตะกอนภูเขาไฟที่เกิดขึ้นก่อน โดยปกติแล้วน้ำแร่ร้อนเหล่านี้ มีทั้งส่วนที่มาพร้อมกับหินอัคนีบาดาลและบางส่วนเป็นน้ำใต้ดินที่เคยซึมผ่านรอยแตกลงไปเจอหินอัคนีบาดาลซึ่งมีอุณหภูมิสูงจนทำให้กลายเป็นน้ำร้อนที่มีแรงดันในตัวสูง อีกทั้งมีความสามารถในการละลายธาตุต่าง ๆ จากข้างล่างแล้วแทรกตัวขึ้นมาตามรอยแตก ระหว่างที่แทรกขึ้นมาตามรอยแตกเหล่านั้น น้ำแร่ร้อนก็สามารถซึมผ่านเข้าไปยังหินข้างเคียงแล้วเปลี่ยนจากหินแก้วภูเขาไฟเดิมที่มีกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นจำนวนมากให้เป็นแร่ดึกไคต์ซึ่งเป็นสมาชิกของกลุ่มแร่ดินที่มีหลายแร่ ส่วนน้ำแร่ร้อนที่มาจากแร่ควอตซ์ขนาดละเอียดมาก ๆ ที่อุดมไปด้วยสารละลายซิลิกา (SiO_2) นั้น จะซึมเข้าไปในหินตะกอนภูเขาไฟ และซิลิกาเหล่านั้นตกผลึกปะปนกับแร่เดิมทำให้หินตะกอนภูเขาไฟที่เคยมีอยู่นั้นมีความแกร่งมากกว่าเดิม

เมื่อผ่านระยะเวลายาวนานหลายร้อยล้านปี หินตะกอนภูเขาไฟบริเวณเขาชะงอกที่เคยมีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่าปัจจุบันก็ค่อย ๆ เกิดการผุ เนื่องจากสัมผัสกับอากาศและน้ำ การผุของหินทำให้เกิดการพังทลายได้ง่ายและถูกพัดพาออกไป ส่วนยอดเขาชะงอกเป็นจุดที่มีน้ำแร่ร้อนซึมผ่านขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ทำให้แข็งแกร่งกว่าพื้นที่โดยรอบจึงทนทานต่อการผุพังและการกัดกร่อนมากกว่าส่วนที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำแร่ร้อน จึงทำให้คงเหลือไว้เป็นภูเขาสูงชันยอดดั่งที่เรียกว่า “เขาชะงอก” ในปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์ความสูงภูมิประเทศ (Elevation) และความลาดชัน (Slope) จากแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DTM) โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5 พบว่า พื้นที่ศึกษามีพื้นที่ทั้งหมด 5,350 ไร่ คิดเป็น 8.56 ตารางกิโลเมตร จากการวิเคราะห์ความสูงภูมิประเทศพบว่า พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง น้อยกว่า 100 เมตร มีพื้นที่ 4,162 ไร่ (6.65 ตร.กม.) รองลงมามีความสูง 100-200 เมตร มีพื้นที่ 1,046.75 ไร่ (1.69 ตร.กม.) และพื้นที่ภูเขาสูง 200-300 เมตร มีพื้นที่ 141.25 ไร่ (0.22 ตร.กม.) ตามลำดับ (ภาพที่ 2) โดยยอดเขาชะงอกมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 285 เมตร

จากการวิเคราะห์ระดับความลาดชัน สามารถจำแนกลักษณะภูมิฐาน (Land form) ได้ 8 ประเภท (ภาพที่ 3) ได้แก่

1. ภูเขาสูงชันมากที่สุด มีความลาดชัน มากกว่า 75% มีพื้นที่ 127.50 ไร่ (0.20 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 2.34
2. ภูเขาสูงชันมาก มีความลาดชัน 50-75% มีพื้นที่ 623.18 ไร่ (0.99 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 11.56
3. ภูเขาสูงชัน มีความลาดชัน 35-50% มีพื้นที่ 788.62 ไร่ (1.26 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 14.71
4. เนินเขา มีความลาดชัน 20-35% มีพื้นที่ 1,285.09 ไร่ (2.08 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 24.32
5. ลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชัน 12-20% มีพื้นที่

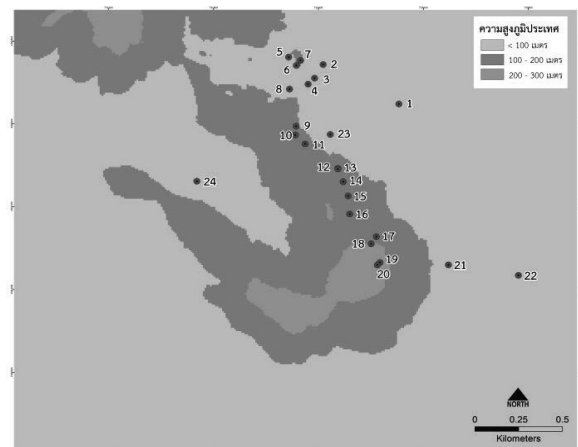
904 ไร่ (1.44 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 16.82

6. ลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 5-12% มีพื้นที่ 878.36 ไร่ (1.40 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 16.35

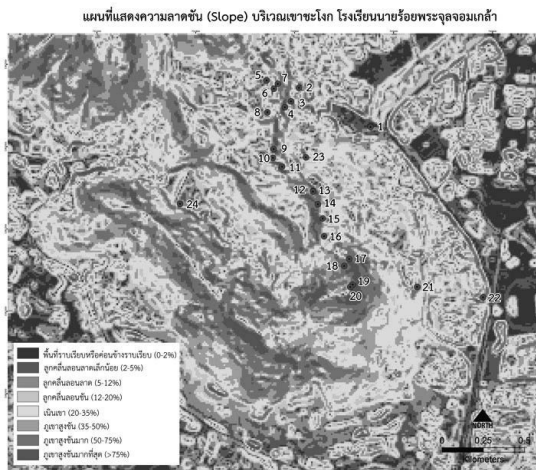
7. ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 2-5% มีพื้นที่ 412.50 ไร่ (0.66 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 7.71

8. พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-2% มีพื้นที่ 330.75 ไร่ (0.53 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 6.19

พื้นที่เขาชะงอกมีระดับความลาดชันอยู่ในช่วง 2-218% โดยพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีลักษณะภูมิฐานเป็นเนินเขา รองลงมา ได้แก่ ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาด ภูเขาสูงชัน ภูเขาสูงชันมาก ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ และภูเขาสูงชันมากที่สุดตามลำดับ



ภาพที่ 2 แผนที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล



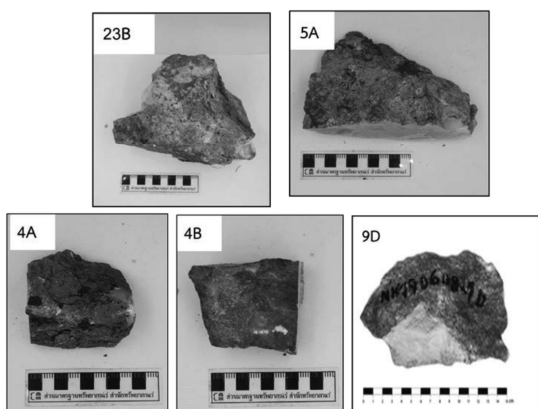
ภาพที่ 3 แผนที่ภูมิสัณฐานและความลาดชัน

5.2 แร่คิกโคและทรัพยากรแร่ที่พบบริเวณเขาชะงอก

จากผลการวิเคราะห์หินและแร่บริเวณพื้นที่เขาชะงอก จำนวน 24 จุด 57 ตัวอย่าง สามารถแบ่งกลุ่มของหินได้ 3 กลุ่ม มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Unaltered pyroclastic rock)

(1) หินตะกอนภูเขาไฟ (Pyroclastic rock) พบจำนวน 1 จุดศึกษา (1 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณถ้ำเก็บน้ำประปา 2 ถึง (62.5 m.MSL) โดยลักษณะเนื้อหินประกอบด้วยตะกอนหลายขนาดที่พุ่งออกมาจากการระเบิดของภูเขาไฟ โดยส่วนใหญ่ตะกอนจะมีชิ้นส่วนขนาดใหญ่และมีเศษหินขนาดเล็กปะปนกัน (ตัวอย่าง 23B ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 หินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

(2) หินเถ้าภูเขาไฟ (Ash tuff) พบจำนวน 7 จุดศึกษา (9 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณทางขึ้นพระพุทธรูปท่าก่อนถึงศาลกฤษีตาไฟ บริเวณฝาย บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (4), (5) และ (7) ศาลเจ้าพ่อขุนด่าน และอ่างเก็บน้ำวัดเขาชอก โดยเป็นหินที่ประกอบด้วยตะกอนขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ (ขนาดเล็กกว่า 2 มม.) มีเศษหินขนาดใหญ่กว่าปะปนอยู่เล็กน้อย (ตัวอย่าง 5A ภาพที่ 4)

(3) หินตะกอนภูเขาไฟที่มีเศษหินเป็นองค์ประกอบหลัก (Lithic tuff) พบจำนวน 4 จุดศึกษา (5 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอก บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (4) และ (6) และภูเขาหลังเรือนรับรอง โดยเป็นหินตะกอนภูเขาไฟที่ประกอบด้วยชิ้นของเศษหินเป็นหลัก พบแร่เชไรไซต์ (แร่ดินและไมก้าขนาดเล็ก) และผลึกแร่ปะปนอยู่ด้วย (ตัวอย่าง 4A ภาพที่ 4)

(4) หินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงเนื้อหินของการไหล (Welded tuff) พบจำนวน 2 จุดศึกษา (3 ตัวอย่าง) บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอกและอ่างเก็บน้ำวัดเขาชอก โดยเป็นหินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงแถบของแก้วภูเขาไฟและริ้วผลึกแก้วภูเขาไฟ (Volcanic Glass) (ตัวอย่าง 4B ภาพที่ 4)

(5) หินตะกอนภูเขาไฟเนื้อผลึก (Crystal tuff) พบ 1 จุดศึกษา (1 ตัวอย่าง) บริเวณภูเขาตรงข้ามบันไดพญานาค โดยเป็นหินตะกอนภูเขาไฟที่จำแนกออกเป็นหินคริสตัลทัพฟ์ (Crystal tuff) มีลักษณะเนื้อหยาบประกอบด้วยผลึกแร่และเศษหินหลากหลายขนาดปะปนอยู่กับตะกอนขนาดละเอียด (ตัวอย่าง 9D ภาพที่ 4)

5.2.2 กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือถูกเปลี่ยนด้วยน้ำแร่ร้อน (Altered pyroclastic rock)

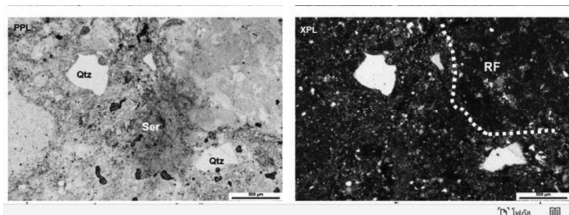
(1) หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา (Silicified pyroclastic rock) พบจำนวน 4 จุดศึกษา (6 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณสวนผลไม้ภาคใต้ตามพระราชดำริ บริเวณทางขึ้นวัดเขาชะงอก (หลังโรงครัว) บริเวณภูเขาตรงข้ามบันไดพญานาค และบริเวณป่า CRMA

เช่น ตัวอย่างหิน 9A ที่จุดศึกษาที่ 9 เดิมเป็นหินตะกอนภูเขาไฟ (Pyroclastic rock) ลักษณะของ

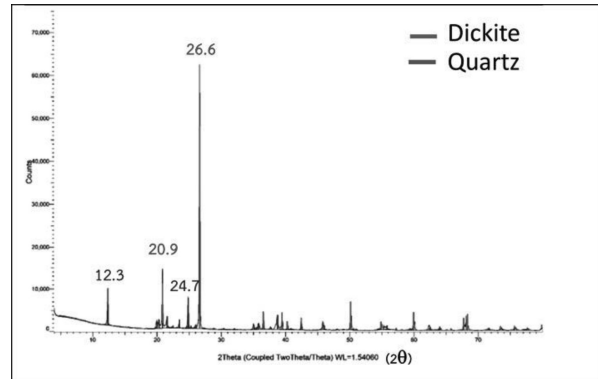
ความมีเหลี่ยมมุมมากของเศษหินและชิ้นแร่ บ่งบอกว่าเศษตะกอนเหล่านี้ทับถมอยู่กับที่และยังไม่เคยถูกพัดพาไปสะสมที่อื่นโดยน้ำหรือถูกพัดพาไปไม่ห่างจากจุดเดิม อย่างไรก็ตามพบว่ามีพื้นที่ส่วนใหญ่ของตัวอย่างนี้ถูกแทนที่ด้วยแร่ควอตซ์ขนาดเล็ก (Cryptocrystalline quartz) ซึ่งเป็นแร่ที่แทรกมาทีหลังในรูปของน้ำแร่ร้อน ทำให้หินมีเนื้อเนียนเหมือนดึกโคไตต์แต่มีความแข็งสูงกว่ามาก เรียกกระบวนการนี้ว่า Silicification พบแร่ไฟไรต์เกิดรวมอยู่ประปรายด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า XRD พบพิกของแร่ดึกโคไตต์เป็นส่วนน้อยที่ 2θ เท่ากับ 12.36° และ 24.74° และพบพิกแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ที่ 2θ เท่ากับ 20.9° และ 26.6° [13], [17] บ่งชี้ให้เห็นว่า หินตะกอนภูเขาไฟดั้งเดิมถูกแทนที่ด้วยสารละลายน้ำแร่ร้อนที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (ภาพที่ 5-7)



ภาพที่ 5 ตัวอย่าง 9A



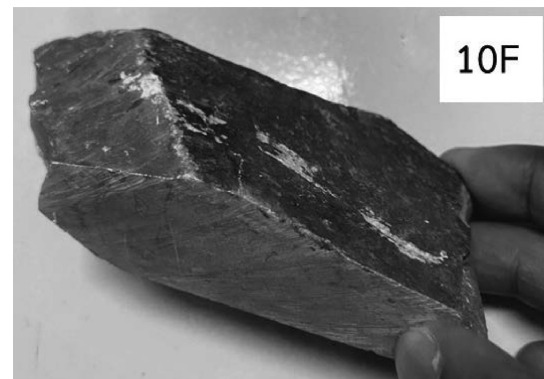
ภาพที่ 6 ตัวอย่าง 9A จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์



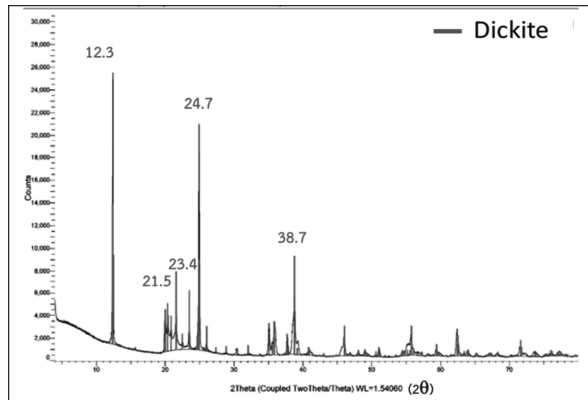
ภาพที่ 7 ค่า XRD ตัวอย่าง 9A

(2) แร่ดึกโคไตต์ พบจำนวน 7 จุดศึกษา (16 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอก บริเวณทางขึ้นพระพุทธรูปท่าก่อนถึงศาลฤๅษีตาไฟ บริเวณภูเขาดรงข้ามบันไดพญานาค บริเวณเหมืองแร่ดึกโคไตต์เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป บริเวณเหมืองแร่ดึกโคไตต์เก่า (ช่องเขาขาด) บริเวณถ้ำเก็บน้ำประปา 2 ถัง (62.5 m.MSL) และบริเวณป่า CRMA

ตัวอย่างหินกลุ่มนี้ เช่น แร่ดึกโคไตต์ตัวอย่าง 10F จุดศึกษาที่ 10 บริเวณเหมืองแร่ดึกโคไตต์เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป โดยจากผลการวิเคราะห์ค่า XRD แสดงผลการสะท้อนรังสีเอกซ์ของแร่ดึกโคไตต์เป็นหลักที่ 2θ เท่ากับ 12.36° , 21.55° , 23.46° , 24.74° และ 38.74° [17] จัดเป็นแร่ดึกโคไตต์เกรดสูงที่หินเดิมถูกเปลี่ยนแปลงจนสมบูรณ์โดยน้ำแร่ร้อน (ภาพที่ 8 และ 9)

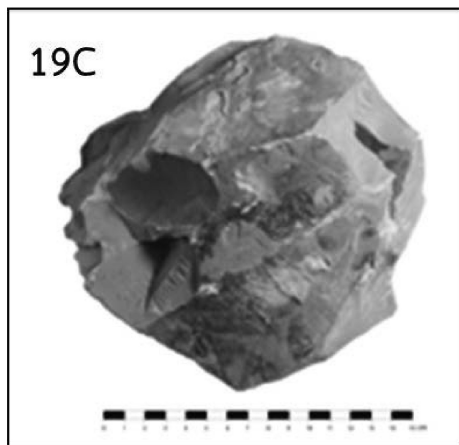


ภาพที่ 8 ตัวอย่าง 10F แร่ดึกโคไตต์

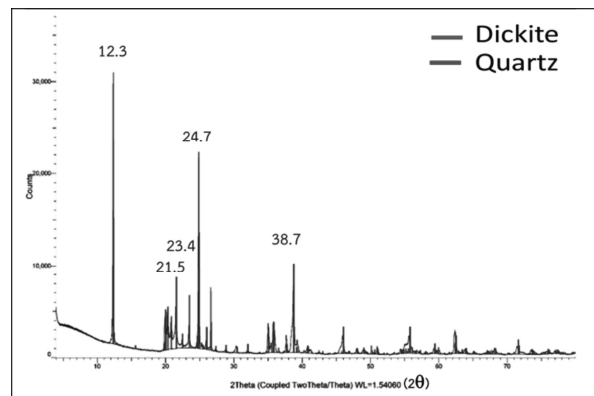


ภาพที่ 9 ค่า XRD ของตัวอย่าง 10F

ตัวอย่างแร่ดิคไคต์ 19C จุดศึกษาที่ 19 บริเวณ ป้าย CRMA ตัวอย่างนี้เป็นแร่ดิคไคต์เกรดสูงที่หินเดิมถูกเปลี่ยนแปลงโดยน้ำแร่ร้อน โดยจากผลการวิเคราะห์ค่า XRD แสดงพิกของแร่ดิคไคต์เป็นส่วนใหญ่ที่ 2θ เท่ากับ 12.36° , 21.55° , 23.46° , 24.74° และ 38.74° [17] และมีปริมาณควอตซ์ปนด้วยเล็กน้อย (ภาพที่ 10 และ 11)



ภาพที่ 10 ตัวอย่าง 19C แร่ดิคไคต์

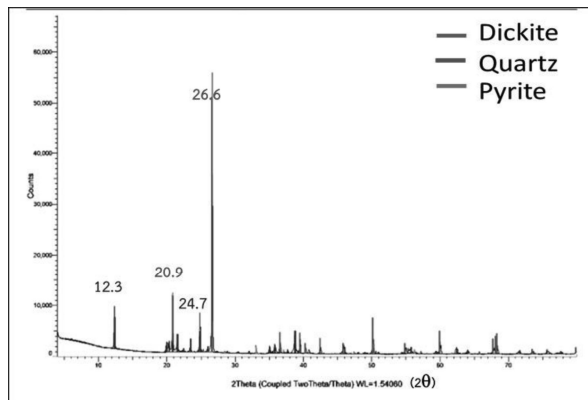


ภาพที่ 11 ค่า XRD ของตัวอย่าง 19C

(3) หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำแร่ร้อน (Altered pyroclastic rock) พบจำนวน 8 จุดศึกษา (12 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณทางเข้าศาลกฤษีตาไฟ บริเวณศาลกฤษีตาไฟ บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่า (ช่องเขาขาด) บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (1) และ (3), ยอดเขาชะงอก และศาลเจ้าพ่อขุนด่าน ตัวอย่างหินกลุ่มนี้ เดิมเป็นหินตะกอนภูเขาไฟแต่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำแร่ร้อน (ภาพที่ 12) โดยผลการวิเคราะห์ค่า XRD ของตัวอย่าง 11A แสดงพิกการสะท้อนรังสีเอกซ์ของแร่ดิคไคต์บางส่วนที่ 2θ เท่ากับ 12.36° และ 24.74° และพบพิกควอตซ์ที่ 2θ เท่ากับ 20.9° และ 26.6° [13], [17] และพบแร่ไฟต์ร้อมด้วยเล็กน้อย (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 ตัวอย่าง 11A

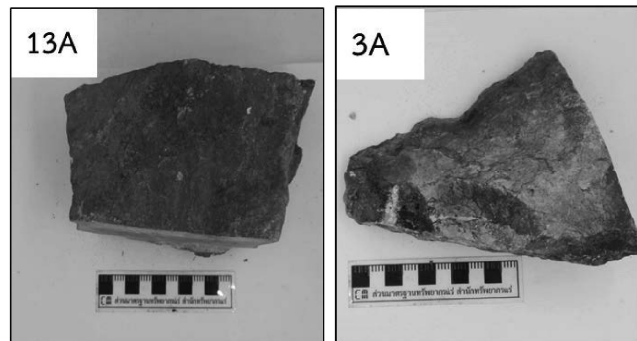


ภาพที่ 13 ค่า XRD ของตัวอย่าง 11A

5.2.3 กลุ่มหินอัคนีพุ (Extrusive rock)

(1) หินไรโอไลต์ พบจำนวน 3 จุดศึกษา (3 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณหินหลังภาพเขียนพระพุทธราย วัดเขาชะงอก ศาลเจ้าพ่อขุนด่าน และอ่างเก็บน้ำวัดเขาคอก โดยหินไรโอไลต์ที่พบมีลักษณะเนื้อหินละเอียด มีสีจาง เกิดจากลาวาที่มีความหนืดมากขึ้นมาสู่ผิวโลกและเย็นตัวบนผิวโลกอย่างรวดเร็ว พบผลึกแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์จำนวนมาก มีผลึกที่สมบูรณ์ (ตัวอย่าง 3A ภาพที่ 14)

(2) หินแจสเปอร์ (Jasper) พบจำนวน 1 จุดศึกษา (1 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (2) โดยหินแจสเปอร์ที่พบเป็นกลุ่มของหินเถ้าภูเขาไฟขนาดเล็ก (Volcanic ash) ที่ถูกทำให้แกร่งด้วยสารละลายน้ำร้อนที่อุดมไปด้วยซิลิกาและธาตุเหล็ก ทำให้หินตัวนี้แกร่งแตกคม และมีสีแดง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะสังเกตเห็นจุดสีดำของแร่ฮีมาไทต์ขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 13A ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 หินอัคนีพุ

5.3 เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณเขาชะงอก

ผลจากการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศและการบันทึกพิกัดตำแหน่งเราสามารถแสดงแผนที่ท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาในรูปแบบ 3 มิติ ประกอบด้วยจุดศึกษา จำนวน 24 จุด มีระยะทาง 10.13 กิโลเมตร แสดงในภาพที่ 15 โดยชื่อหินและแร่และจำนวนที่พบในแต่ละจุดศึกษาแสดงในตารางที่ 2 ในส่วนของลำดับจุดศึกษา ชื่อจุดศึกษา พิกัด และจำนวนหินและแร่ที่พบ มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 จุดศึกษาที่ 1 สวนผลไม้ภาคใต้ตามพระราชดำริของ พล.อ.หญิง สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี พิกัด UTM 732860, 1582119 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.2 จุดศึกษาที่ 2 บริเวณทางขึ้นวัดเขาชะงอก (หลังโรงครัว) พิกัด UTM 732427, 1582357 พบ 2 ตัวอย่าง

5.3.3 จุดศึกษาที่ 3 บริเวณหินหลังภาพเขียนพระพุทธราย วัดเขาชะงอก พิกัด UTM 732378, 1582275 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.4 จุดศึกษาที่ 4 บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอก
พิกัด UTM 732341, 1582239 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.5 จุดศึกษาที่ 5 บริเวณทางขึ้นพระพุทธรูป
ก่อนถึงศาลกฤษีตาไฟ พิกัด UTM 732230, 1582402 พบ
2 ตัวอย่าง

5.3.6 จุดศึกษาที่ 6 บริเวณทางเข้าศาลกฤษี
ตาไฟ พิกัด UTM 732274, 1582352 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.7 จุดศึกษาที่ 7 บริเวณศาลกฤษีตาไฟ
พิกัด UTM 732298, 1582382 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.8 จุดศึกษาที่ 8 บริเวณฝายพิกัด UTM
732235, 1582209 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.9 จุดศึกษาที่ 9 บริเวณภูเขาดงขามบันได
พญานาค พิกัด UTM 732270, 1581979 พบ 4 ตัวอย่าง

5.3.10 จุดศึกษาที่ 10 บริเวณเหมืองแร่ดิกโคด์
เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป พิกัด UTM 732268, 1581932
พบ 7 ตัวอย่าง

5.3.11 จุดศึกษาที่ 11 บริเวณเหมืองแร่ดิกโคด์
เก่า (ช่องเขาขาด) พิกัด UTM 732324, 1581878 พบ
3 ตัวอย่าง

5.3.12 จุดศึกษาที่ 12 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก
(1) พิกัด UTM 732511, 1581730 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.13 จุดศึกษาที่ 13 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก
(2) พิกัด UTM 732511, 1581727 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.14 จุดศึกษาที่ 14 บริเวณทางขึ้นเขา
ชะงอก (3) พิกัด UTM 732541, 1581650 พบ 2 ตัวอย่าง

5.3.15 จุดศึกษาที่ 15 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก
(4) พิกัด UTM 732570 1581564 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.16 จุดศึกษาที่ 16 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก
(5) พิกัด UTM 732579, 1581455 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.17 จุดศึกษาที่ 17 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก
(6) พิกัด UTM 732701, 1581275 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.18 จุดศึกษาที่ 18 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก
(7) พิกัด UTM 732731, 1581318 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.19 จุดศึกษาที่ 19 บริเวณป่า CRMA ที่
ยอดเขา พิกัด UTM 732752, 1581162 พบ 4 ตัวอย่าง

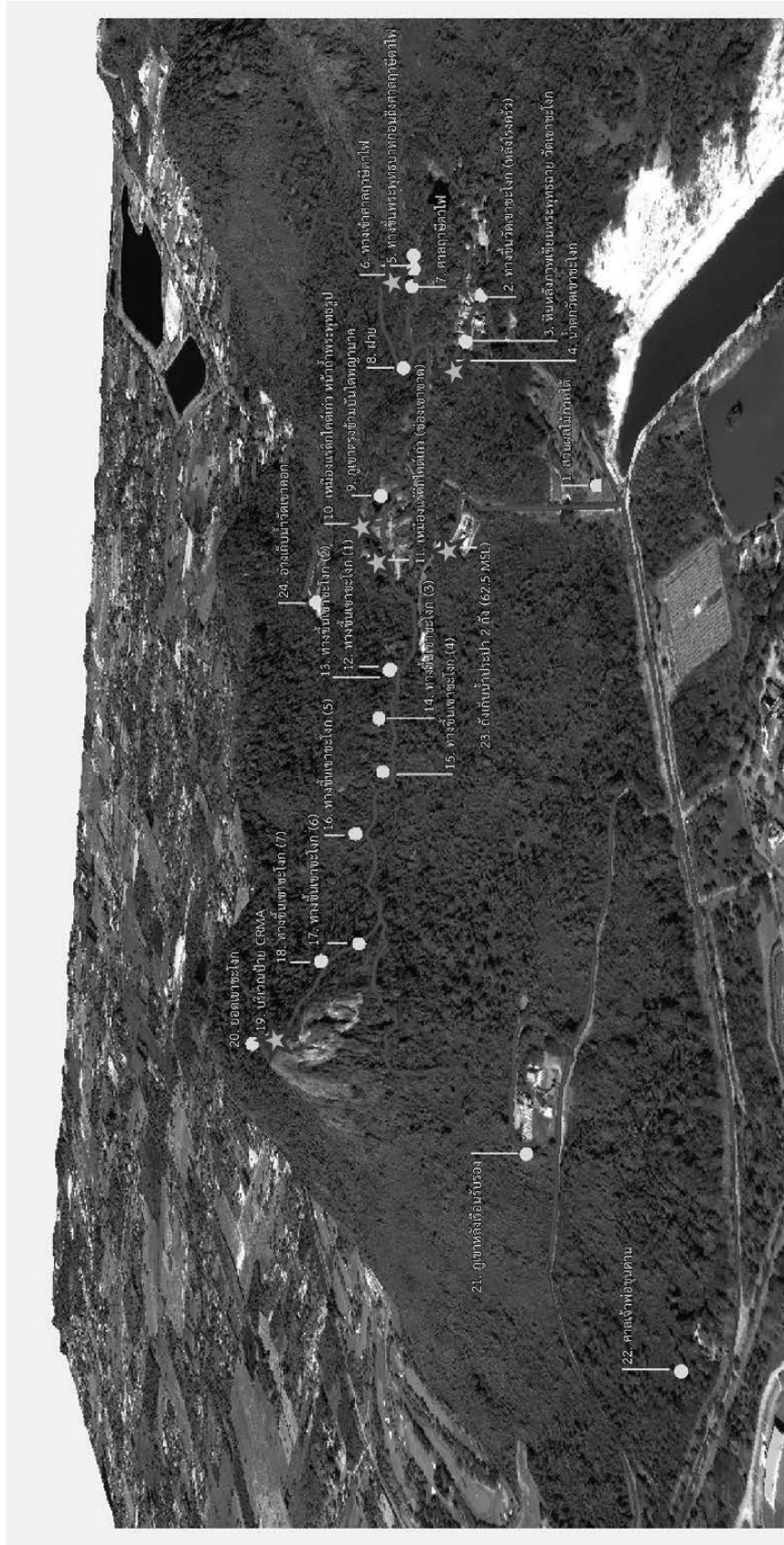
5.3.20 จุดศึกษาที่ 20 ยอดเขาชะงอก พิกัด
UTM 732737, 1581147 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.21 จุดศึกษาที่ 21 ภูเขาหลังเรือนรับรอง
พิกัด UTM 733143, 1581148 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.22 จุดศึกษาที่ 22 ศาลเจ้าพ่อขุนด่าน พิกัด
UTM 733543, 1581085 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.23 จุดศึกษาที่ 23 ถังเก็บน้ำประปา 2 ถัง
(62.5 m.MSL.) พิกัด UTM 732468, 1581935 พบ
2 ตัวอย่าง

5.3.24 จุดศึกษาที่ 24 อ่างเก็บน้ำวัดเขาคอก
พิกัด UTM 731705, 1581653 พบ 6 ตัวอย่าง



สัญลักษณ์: ★ จุดที่พบแร่ดีบุกได้ ○ จุดศึกษาที่พบแร่อื่นๆ — เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา

ภาพที่ 15 เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาริเวณเขาชะงอก

ตารางที่ 2 หินและแร่ที่พบในเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณเขาชะงอก

จุดศึกษา ที่	จำนวนหินและแร่ที่พบบริเวณเขาชะงอก									
	1. หินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง					2. หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือเปลี่ยนแปลงสภาพ				
	Pyroclastic rocks	Ash tuff	Lithic tuff	Welded tuff	Crystal tuff	Dickite	Silicified pyroclastic rocks	Altered pyroclastic rocks	Rhyolite	Jasper
1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
4	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-
5	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	1	2	1	-	-	-
10	-	-	-	-	-	6	-	1	-	-
11	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
14	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
15	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-
16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
18	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
21	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
22	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-
23	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
24	-	3	-	2	-	-	-	-	1	-

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาบริเวณเขาชะงอก มีดังนี้ เขาชะงอกมีความสูงอยู่ในช่วง 2-285 เมตร มีระดับความลาดชันอยู่ในช่วง 2-218% จำแนกภูมิสัณฐานได้ 8 ประเภท พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขา รองลงมา ได้แก่ ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาดภูเขาสูงชันภูเขาสูงชันมาก ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ และภูเขาสูงชันมากที่สุด ตามลำดับ เขาชะงอกเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อนจำพวกหินตะกอนภูเขาไฟและหินไรโอไลต์แทรกสลับกันไปมา ลักษณะเนื้อหินมีขนาดละเอียดและหยาบปะปนกัน พบสายแร่ดิกโคต์ปรากฏให้เห็นเป็นบางจุดและพบหินตะกอนภูเขาไฟเดิมถูกแทนที่จนมีเนื้อเนียนเหมือนแร่ดิกโคต์ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ 1) น้ำแร่ร้อนที่มีความดันสูงแทรกขึ้นมาตามรอยแตกและเปลี่ยนหินตะกอนภูเขาไฟเดิมตามแนวรอยแตกนั้นซึ่งมีกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์จำนวนมากให้เป็นแร่ดิกโคต์ และ 2) น้ำแร่ร้อนที่มีสารละลายซิลิกาได้ซึมเข้าไปในหินตะกอนภูเขาไฟและตกผลึกปะปนกับแร่เดิม ทำให้หินตะกอนภูเขาไฟที่อยู่ในแนวรอยแตกมีเนื้อเนียนเหมือนดิกโคต์แต่มีความแข็งมากกว่า กระบวนการนี้เรียกว่า Silicification ส่วนหินที่ถูกแทนที่นี้เรียกว่า หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา เมื่อเวลาผ่านไปหลายร้อยล้านปี หินตะกอนภูเขาไฟบริเวณเขาชะงอกก็เกิดการผุพังและถูกพัดพาออกไป ความสูงจึงค่อย ๆ ลดระดับลง ส่วนบริเวณยอดเขาชะงอกในจุดที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำแร่ร้อนซึมผ่านนั้น มีความทนทานต่อการผุพังมากกว่าพื้นที่โดยรอบที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำแร่ร้อน ทำให้คงเหลือเป็นภูเขาที่มีลักษณะสูงตั้งแปลกตา ที่เรียกว่า “เขาชะงอก”

6.2 แร่ที่พบบริเวณเขาชะงอก มีจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ 1. กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ หินตะกอนภูเขาไฟ หินถ้ำภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟที่มีเศษหินเป็นองค์ประกอบหลัก หินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงเนื้อหินของการไหล และหินตะกอนภูเขาไฟเนื้อผลึก 2. กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือถูกเปลี่ยนสภาพ

ภายหลัง ได้แก่ แร่ดิกโคต์ หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา และหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำร้อน และ 3. กลุ่มหินอัคนีพุ ได้แก่ หินไรโอไลต์และหินแจสเปอร์

ในส่วน ของแร่ดิกโคต์ที่บริเวณเขาชะงอก พบบริเวณ 7 จุดศึกษา จำนวน 16 ตัวอย่าง ได้แก่ 1. บริเวณเหมืองแร่เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป 2. บริเวณป่า CRMA ที่ยอดเขา 3. บริเวณตรงข้ามบันไดพญานาค 4. น้ำตกวัดเขาชะงอก 5. บริเวณเหมืองแร่เก่าช่องเขาขาด 6. บริเวณทางขึ้นเขาก่อนถึงศาลาภูเขาไฟ และ 7. บริเวณถ้ำเก็บน้ำประปาที่ความสูง 62.5 m.MSL โดยพื้นที่ที่พบแร่ดิกโคต์เกรดสูงคือ บริเวณเหมืองแร่เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป และบริเวณป่า CRMA ที่ยอดเขา

ตัวอย่างแร่ดิกโคต์ที่พบบริเวณเขาชะงอก เป็นแร่ดิกโคต์ที่มีการเกิดแบบแทนที่ในหินตะกอนภูเขาไฟและหินถ้ำภูเขาไฟ ซึ่งสอดคล้องกับธงชัย พึ่งรัศมี [4] สุกิจ อติพันธ์ [13] และสุนทร ปัทมสุต และคณะ [14] ซึ่งโดยทั้งนี้จากผลการศึกษายังไม่พบแร่ดิกโคต์บริสุทธิ์ที่เกิดแบบบรรจตามรอยแตกในหินภูเขาไฟ ซึ่งอาจเป็นเพราะในการทำเหมืองในช่วงปี พ.ศ. 2514-2532 ได้มีการตัดหน้าหินที่มีสายแร่ดิกโคต์บริสุทธิ์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าออกไปใช้ประโยชน์จำนวนมาก เนื่องจากมีราคาสูง แต่ทั้งนี้คณะผู้วิจัยคาดว่าจะยังคงมีแร่ดิกโคต์บริสุทธิ์เหลืออยู่ในบริเวณยอดเขาบริเวณป่า CRMA และบริเวณเหมืองแร่เก่าที่เป็นถ้ำพระพุทธรูป ในการศึกษาต่อไปควรมีการวิเคราะห์แร่ดิกโคต์ด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence: XRF) ซึ่งสามารถบ่งชี้ชนิดและปริมาณของธาตุ จากองค์ประกอบทางเคมีได้ ทำให้ทราบถึงความบริสุทธิ์ของแร่ดิกโคต์ในแต่ละตัวอย่างจากปริมาณของอะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการแบ่งเกรดของแร่ดิกโคต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

นอกจากนี้ แร่อื่น ๆ ที่พบ ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่เซอร์ไซต์ แร่เซอร์คอน แร่ดิน แร่ฮีมาไทต์

แร่ไฟไรต์ แร่อะตุลาเรีย และแร่เอพิโดต

6.3 เส้นทางการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณเขาชะงอก มีจำนวน 1 เส้นทาง 24 จุดศึกษา มีระยะทาง 10.13 กิโลเมตร ซึ่งเส้นทางนี้เป็นเส้นทางท่องเที่ยวที่อยู่ในกิจกรรมการเดินป่าเชิงอนุรักษ์ของ รร.จปร. อยู่แล้ว สำหรับข้อเสนอแนะสำหรับ รร.จปร. เพื่อการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา ได้แก่ 1. บรรจุกิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาลงในโปรแกรมการท่องเที่ยวของ รร.จปร. 2. ติดป้ายความรู้ทางธรณีวิทยาและแร่ที่สำคัญบริเวณจุดศึกษา 24 จุด โดยมี QR code ให้สแกนรายละเอียดเพิ่มเติม 3. ประชาสัมพันธ์กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาให้นักท่องเที่ยวทราบผ่าน website ของสำนักงานการท่องเที่ยว รร.จปร. หรือแผ่นพับ และ 4. จัดวิทยากรบรรยายความรู้ทางธรณีวิทยาในกรณีที่นักท่องเที่ยวมาเป็นคณะใหญ่

7. บรรณานุกรม

- (1) กรมทรัพยากรธรณี, การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนครนายก. กรุงเทพฯ: สำนักธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, (2557).
- (2) ธงชัย พิงค์มย์, "ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดิกโคตและเคโอลิไนต์ในหินภูเขาไฟโอไลติกที่จังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครนายก", ใน รายงานวิชาการ เล่มที่ 1/2555 ชุดแร่วิทยา (Mineralogy series), สงขลา: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2555).
- (3) อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. "จำแนกแร่ดิกโคตและแร่ไฟโรไฟลโลต์ตามหลักวิชาการป้องกันความสับสนในการทำเหมือง." กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. <https://www.dpim.go.th/>. (สืบค้นเมื่อ 30 ธ.ค. 2558).
- (4) จุมพล คินตัก, "ทรัพยากรมีค่า: แหล่งทรัพยากรแร่และหินอุตสาหกรรม." ใน ทรัพยากรในดินสระบุรี, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี, หน้า 23-29, (2531).
- (5) C.O. Choo, and Soo J.K., "Dickite and other kaolin polymorphs from an Al-rich clay deposit formed in volcanic tuff, southeastern Korea." Clays and Clay Minerals, vol. 52, no.6, pp. 749-59, (2004).
- (6) S. Saminpanya, D. Dhamakrongart, and N. Susawee, "Dickite: a gem material for carving from Thailand." The Journal of Gemmology, vol. 31, no. 5-8, pp. 211-225, (2009).
- (7) R. Dowling and D. Newsome, Handbook of Geotourism. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, (2018).
- (8) R. Ólafsdóttir, "Geotourism." Geosciences, vol. 9, no. 1, pp. 48-58, (2019).
- (9) อภิสิทธิ์ เอี่ยมหนอง, ธรณีสัณฐานวิทยา, กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช, (2530).
- (10) M. Panizza, Environmental Geomorphology, Amsterdam: Elsevier, (1996).
- (11) O.M. McLaughlin, R.S. Haszeldine, A.E. Fallick, and G. Rogers, "The case of the missing clay, aluminium loss and secondary porosity, South Brae oil-field, North Sea." Clay Minerals, vol. 29, pp. 651-663, (1994).
- (12) R.J. Schroeder. and J.B. Hayes, "Dickite and kaolinite in Pennsylvanian limestone of south-eastern Kansas." Clays and Clay Minerals, vol. 16, pp. 41-49, (1968).
- (13) สุกิจ อติพันธ์, "การตรวจแร่ดิกโคต จ.สระบุรีและนครนายกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)." ใน รายงานวิชาการ เล่มที่ 1/2555 ชุดแร่วิทยา (Mineralogy series), สงขลา: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2555).
- (14) สุนทร บัณฑุส, ธงชัย พิงค์มย์, เจษฎา จิระเจษฎา และจุมพล คินตัก. "หินสบูที่เขาชะงอกจังหวัดนครนายก." ข่าวสารการธรณี, ปีที่ 34, ฉบับที่ 7, หน้า 21-29, (2532).
- (15) สุเพชร จิระจกุล, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการใช้โปรแกรม ARCGIS DESKTOP เวอร์ชัน 9.1, กรุงเทพฯ: เอส อาร์ พรินติ้งแมสโปรดักส์, (2549).
- (16) สุระ พัฒนเกียรติ, ระบบภูมิสารสนเทศในทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ยูนิเคิตโปรดักชั่น, (2546).
- (17) S.W. Bailey, "Polymorphism of the kaolin minerals", American Mineralogist, vol. 48, 1196-209, (1963).
- (18) กรมพัฒนาที่ดิน, คู่มือการเขียนหน่วยแผนที่ดิน, กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, (2547).