



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อม
บนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน
(เล่มที่ 8: ด้านธรณีวิทยา)

โดย รศ. ดร. รัชมี ชูทรงเดช และคณะ

ธันวาคม 2559

คณะผู้วิจัย

โครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อม บนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|--|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.รัศมี ชูทรงเดช | ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี
มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.นาฏสุดา ภูมิจันทร์ | คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.เสวีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรี
นครินทรวิโรฒ |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ. ดร.กนกนาถ จินตกานนท์นักวิจัยอิสระ | |
| 5. นัชมณ ภูมิพัฒน์พงศ์ คณาสุริยาฉาย | นักวิจัยอิสระ |

สนับสนุนโดย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

สำหรับผู้บริหาร

รหัสโครงการ:	RDG55H0006
ชื่อโครงการ:	โครงการวิจัยเรื่อง การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมในอำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน
หัวหน้าโครงการ:	รองศาสตราจารย์ ดร. รัศมี ชูทรงเดช คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร
อีเมล:	rasmi@su.ac.th
ระยะเวลาโครงการ:	วันที่ 1 กันยายน 2555-31 สิงหาคม 2558 (รวมระยะเวลา 3 ปี) ขอปรับระยะเวลาครั้งที่ 1 เป็น 1 มกราคม 2556-31 ธันวาคม 2558 ขอปรับระยะเวลาครั้งที่ 2 เป็น 1 มกราคม 2556-30 เมษายน 2559

โครงการวิจัยเรื่องการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ในอำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นโครงการบูรณาการศาสตร์ด้านโบราณคดี มานุษยวิทยากายภาพ วงปีไม้และสิ่งแวดล้อม และธรณีวิทยา วัตถุประสงค์ของโครงการ: 1) เพื่อศึกษาสิ่งแวดล้อมโบราณบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะฝ้า 2) เพื่อศึกษาลักษณะและความสัมพันธ์ของประชากรในอดีต 3) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมกับวัฒนธรรมบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะฝ้าในอดีต โดยเฉพาะการปรับตัวทางวัฒนธรรม 4) เพื่อสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านสำหรับงานโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทยด้านโบราณคดี มานุษยวิทยากายภาพและวงปีไม้ ซึ่งยังเป็นบุคลากรที่ขาดแคลนอย่างยิ่งของประเทศไทยในปัจจุบัน

การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือการขุดค้นที่แหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก สรรวจแหล่งโบราณคดีและแหล่งศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง และวิเคราะห์ข้อมูลด้านต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ

ผลการวิจัย คือ 1) สิ่งแวดล้อมโบราณ ผลการวิเคราะห์หลักฐานของฟันสัตว์ เปลือกหอยกาบแม่น้ำและตะกอนร่วนจากแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด แสดงให้เห็นถึงพลวัตของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศช่วงระหว่าง 35,000-10,000 ปีมาแล้ว สมัยไพลสโตซีนตอนปลายมีอากาศร้อนชื้นถึงร้อนชื้นสลับกับหนาวเย็น แห้งแล้ง ในสมัยโฮโลซีนตอนต้นอากาศอบอุ่นและชื้นชื้น ส่วนสมัยโฮโลซีนตอนปลายภูมิอากาศมีความแปรปรวน

อย่างต่อเนื่อง อากาศมีแนวโน้มแห้งแล้งขึ้นเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมเพื่อการดำรงชีพและการตั้งถิ่นฐาน

2) **ลักษณะและความสัมพันธ์ของประชากร** ผลการศึกษาด้านมานุษยวิทยากายภาพและฟันคน ทำให้ทราบว่าลักษณะของคนในสมัยไพลสโตซีนตอนปลายกับโฮโลซีนตอนต้น และโฮโลซีนตอนปลายมีลักษณะที่แตกต่างกัน กล่าวคือคนในสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย จากแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด และสมัยโฮโลซีนตอนต้น จากแหล่งโบราณคดีเพิงผาบ้านไร่ มีลักษณะของหัวกะโหลก ใบหน้า และฟันคล้ายกับกับคนในกลุ่มออสโตรเมลานีเซียน ส่วนลักษณะของประชากรสมัยโฮโลซีนตอนปลายในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ มีลักษณะคล้ายกับคนมองโกลอยด์ และฟันพบว่ามีความจัดอยู่ในกลุ่มประชากรเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

3) **การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูง** ลักษณะวัฒนธรรมและสังคมสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย-โฮโลซีนตอนต้น มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือ อยู่เป็นกลุ่มขนาดเล็ก สังคมมีความเท่าเทียมกัน เคลื่อนย้ายบ่อยๆ ตามแหล่งทรัพยากร ใช้พื้นที่เพิงผาถ้ำลอดแหล่งน้ำ และที่โล่งบนยอดเขาเป็นที่อยู่อาศัยชั่วคราว ทำเครื่องมือเครื่องใช้ที่เป็นของที่ใช้ในชีวิตประจำวันประเภทเครื่องมือหินกะเทาะทำจากหินกรวดแม่น้ำ เทคนิคการกะเทาะทางตรง ลำตัวขนาดใหญ่-กลาง-เล็กเป็นอาหาร มีความเชื่อเกี่ยวกับความตายโดยการฝังศพไว้ในพื้นที่อยู่อาศัย ร่วมกับของใช้ประเภทเครื่องมือหินกะเทาะและอาหารเช่น

ส่วนวัฒนธรรมสมัยโฮโลซีนตอนปลายมีความแตกต่างจากวัฒนธรรมสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย-โฮโลซีนตอนต้น ดังนี้ การปรับตัวกับสิ่งแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันคือสภาพภูมิอากาศแตกต่างกัน แม้ว่าจะอยู่ในบริเวณเดียวกัน กลุ่มสังคมขนาดใหญ่ขึ้น มีการเพิ่มประชากรมากขึ้น พิจารณาจากการพบจำนวนชิ้นส่วนโครงกระดูกและแหล่งโบราณคดี จัดอยู่ในระดับชนเผ่า ที่มีผู้อาวุโสเป็นผู้นำทางสังคม มีการแบ่งหน้าที่การทำงานและช่างเฉพาะทางภายในสังคม การตั้งถิ่นฐานอาจจะอยู่ในที่ราบเป็นหมู่บ้าน และใช้ถ้ำหรือเพิงผาเป็นสุสานของครอบครัว/ชุมชน การดำรงชีพยังคงมีการล่าสัตว์ป่าอยู่ และภูมิปัญญาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติโดยเฉพาะไม้ พบว่าจุดเด่นของวัฒนธรรมนี้มีการใช้ไม้และต้นไม้จากป่าไม้มากขึ้นในชีวิตประจำวันและพิธีกรรม เช่น การเลือกใช้ไม้สักสำหรับทำโลงไม้ ใช้ยางรักสำหรับเคลือบโลงและภาชนะต่างๆ การใช้พืชป่านกยูง ไม้ไผ่สำหรับการทำเครื่องจักสาน มีการตกแต่งเครื่องประดับบนร่างกาย เช่น ลูกปัดแก้ว เส้นลวดที่ใช้พันตกแต่งร่างกาย ความเชื่อเรื่องความตายที่เป็นลักษณะเด่นของวัฒนธรรมคือการทำโลงไม้ การวางโลงไม้และการเลือกทำเลที่ตั้งการปลงศพภายในถ้ำบนพื้นที่สูงในเทือกเขาหินปูน ภายในชุมชนวัฒนธรรมโลงไม้เองก็มีความหลากหลายของรูปแบบหัวโลง แสดงถึงความซับซ้อนภายในสังคม นอกจากนี้ยังมีหลักฐานแสดงถึงการติดต่อแลกเปลี่ยนกับชุมชนภายนอกเช่นหอยเบี้ย เครื่องมือเหล็ก ลูกปัดแก้ว อาจกล่าวได้ว่าลักษณะวัฒนธรรมโลงไม้มีความแตกต่างจากวัฒนธรรมสมัยหินกะเทาะอย่างชัดเจน

4) **การสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่** โครงการวิจัยได้สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ในระดับอุดมศึกษาทั้งหมด 13 รายการ **ระดับปริญญาเอก** ด้านโบราณคดี จำนวน 1 เล่ม จากมหาวิทยาลัย University Rovira I Virgili ประเทศสเปน สิ่งแวดล้อม 1 เล่ม จาก Faculty of Earth Science, China University of Geosciences (Wuhan) ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และสัตววิทยาโบราณ 1 เล่ม จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปริญญาโท** ด้านสิ่งแวดล้อม 1 เล่ม จากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ**ปริญญาตรี** ด้านโบราณคดี 4 เล่ม จากคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ธรณีวิทยา 4 เล่ม จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และสิ่งแวดล้อม 1 เล่ม จากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

และ 5) กิจกรรม การเผยแพร่และใช้ประโยชน์สาธารณะ การเผยแพร่ความรู้และการใช้ประโยชน์งานวิจัยต่อสาธารณะของโครงการฯ เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมและสนับสนุนการทำงานวิจัยมีทั้งสิ้น 144 รายการ แบ่งเป็นประเภท 1) เวทีชาวบ้าน 3 รายการ 2) กิจกรรมค่ายเยาวชนและชุมชน 4 รายการ 3) การเยี่ยมชมพื้นที่วิจัย 13 รายการ 4) การบรรยายความรู้ 5 รายการ 5) การร่วมประชุมและเสนอบทความทางวิชาการ 23 รายการ 6) การตีพิมพ์บทความทางวิชาการ 16 รายการ 7) การฝึกงานภาคสนาม 11 รายการ 8) นักวิชาการและผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ ที่ให้ความร่วมมือทางวิชาการ 18 รายการ 9) การประชุมวิชาการ 2 รายการ 10) สารนิพนธ์/วิทยานิพนธ์ 13 รายการ 11) การสนับสนุนข้อมูลและหลักฐานทางโบราณคดีเพื่อการจัดแสดงนิทรรศการทางวิชาการ จำนวน 4 รายการ 12) สื่อสาธารณะ จำนวน 27 รายการ และ 13) ต้นฉบับหนังสือ 5 รายการ

Executive Summary

Project Code:	RDG55H0006
Project title:	The Interaction between Prehistoric Populations and Environments in Highland Pang Mapha, Mae Hong Son province
Principal investigation:	Associate Professor Rasmi Shoocongdej Department of Archaeology, Faculty of Archaeology, Silpakorn University
Email:	rasmi@su.ac.th
Project duration:	1 September 2012-31 August 2015 (3 years) First extension: 1 January 2013-1 December 2015 Second extension: 1 January 2013-30 April 2016

This research investigates the presence of prehistoric humans in Pang Mapha district in Mae Hong Son province, Thailand. This project integrates archaeology, Physical anthropology, Dendrochronology, and geology. The objectives of this project are: 1) to study the palaeoenvironment in the highlands of Pang Mapha, 2) to study the characteristics of prehistoric human populations and its relations, 3) to examine the relationships between changes in environments and cultures in the highlands of Pang Mapha, and 4) to develop a new generation of researchers who specializes in prehistoric archaeology, anthropology, and dendrochronology in Thailand. These specialists are currently scarce in Thailand.

The operations of this project are divided into three major operations. First is the excavation of the archaeological site of Tham Phi Man Long Rak. Second is the survey of archaeological sites and the environments of the vicinity. Third is the analysis of data and evidentiary objects in the laboratory.

The results from our research project are summarized as follows:

First, the analysis related to historical environment. The analysis of animal teeth, river clam shells, and sediments from archaeological site of Tham Lod rockshelter shows the cycle of climate change between 35,000 to 10,000 years ago. During the late Pleistocene period there was a tropical climate interchangeably with cooling climate, and dry and arid climate. During Holocene period the climate change to more warm and humid. While during late Holocene period the climate was continuously variable. The climate was mostly drier. This change in the environment is probably due to human actions in an effort to survive and create habitat.

Second, the characteristics and relations of the prehistoric population. The study from Physical anthropology and Dental anthropology show that human from late Pleistocene, early Holocene, and late Holocene have different characteristics. That is humans from late Pleistocene from Tham Lod rockshelter and early Holocene from Ban Rai rockshelter have skulls, facial shape, and teeth similar to humans from the Australoid-Malanesoid group. On the other hand, population from late Holocene in the era of Log Coffin

culture had the characteristic of mongoloid group. In addition, teeth analysis shows characteristics that belong in South-east Asian population.

Third, the relationship between humans and the environment in highland. The cultures and societies of the late Pleistocene and early Holocene periods have similar characteristics in that they gather in small groups; they appear to have egalitarian society. They have frequent mobility according to natural resources and seasonality. They use rockshelter close to water source and hill side plains as temporary habitat. They make tools for daily use from river cobbles and use the direct percussion technology. They hunt large to small animals for food. They honor death by burying their dead and their belongings such as stone tool and freshwater clam in everyday dwelling areas. However, the culture of late Holocene differs significantly from the culture of early Holocene and late Pleistocene. During late Holocene period because of more variability in the climate, the populations had to adapt to significant environmental changes. Even though the habitat remains in the same vicinity area as early Holocene, the population settlements are larger with higher population density. This is evidence from human remains discovered. The analysis of the archaeological site also indicates that there was division of labor among different specialties in society. On the other hand, the settlements are still located in plain area in the form of villages. They use caves and rock shelters as burial sites. Late Holocene human daily survival still depends on hunting and usage of natural resources. Specifically, analysis shows that this people have developed better use of wood and flora in general from the forest for their daily lives and ceremonial events. This is evident from the use of teak for coffin, lacquer for covering the coffin and wooden ware, hemp for making clothes, bamboo for baskets, etc. Further evidence emanates from the prominent point in the late Holocene culture on their belief of death. They make coffins, select location for burial ground and place inside the cave. The stylistic variability of coffin head imply more the socio-cultural complexity than the pebble tool culture of the Late Pleistocene-Early Holocene periods. There is also evidence of exchange and communication among outside villages such as the discovery of cowrie shell, iron implements, glass beads, etc. This shows that the log coffin culture is distinctively different from the pebble tool culture.

Fourth, development of next generation researchers. During the course of the project participating researchers have written a total of 13 theses. There are three PhD theses composing of one in archaeology from University Rovira I Virgili, Spain, one on the environment from the Faculty of Earth Science, China University of Geosciences (Wuhan), Hubei, The Republic of China, and one on faunal analysis from Mahasarakham University. A MA level includes one thesis from Faculty of Environment and Natural Resource, Mahidol University. As for BA level, a total of nine theses including four from Faculty of Archaeology, Silpakorn University, four from Faculty of Science, Srinakharinwirot University, and one from Faculty of Environment and Natural Resource, Mahidol University.

Fifth, dissemination of information and benefits to the public. The dissemination of information for the use of research to benefit the public totals 144 items 1) organization of arena and community meetings for discussion of the current issues relating to the project : 3 items, 2) youth and community camps : 4 items, 3) organized archeological site visits : 13 items, 4) public lecture : 5 items, 5) present the research works and

brain-storming with the international archeological communities : 23 items, 6) academic publications : 16 items, 7) student internship in the archeological field trips : 11 items, 8) coordinated and collaborated with Thai and foreign researchers and experts in related fields : 18 items, 9) academic conference organized by this project : 2 items, 10) working papers, thesis, and dissertations : 13 items, 11) supported data and information for the exhibition : 4 items, 12) public media : 27 items and 13) books : 5 items

คำนำ

“โครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์และสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน” ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากด้านมนุษยศาสตร์ (2556-2559) เป็นโครงการที่ต่อยอดมาจากโครงการสำรวจและจัดการระบบฐานข้อมูลถ้ำจังหวัดแม่ฮ่องสอนได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากฝ่าย 3 (2541-2543) โครงการ โบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน (ระยะที่หนึ่ง) ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากฝ่าย 1 (2544-2546) โครงการ โบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะที่สอง ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากฝ่าย 3 (2546-2549) และโครงการการสืบค้นและจัดการมรดกทางวัฒนธรรมอย่างยั่งยืนในอำเภอป่า-ปางมะผ้า-ขุนวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะที่สาม (2553-2555) ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากฝ่าย 4 อาจกล่าวได้ว่าเป็นโครงการวิจัยเดียวที่มีการทำงานโบราณคดีอย่างต่อเนื่องบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นระยะเวลาถึง 18 ปี คณะวิจัยเชื่อว่าการทำงานระยะยาวเป็นความจำเป็นที่สำคัญในการสร้างรากฐานทางปัญญาของประเทศไทย หากเรากำลังจะพัฒนาตนเองไปสู่ “ประเทศไทย 4.0” ที่จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจไปสู่การขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม เราจะคิดนวัตกรรมที่มีอัตลักษณ์เฉพาะไม่ได้ หากเราไม่เข้าใจประวัติศาสตร์ความเป็นมาของตนเอง วัฒนธรรมคือคุณค่าทางจิตใจที่ให้แรงบันดาลใจและผลักดันที่สำคัญต่อการสร้างสรรค์และทำให้เราหลุดจากกับดักของการตกเป็นอาณานิคมทางปัญญาของโลกตะวันตก เพราะเรามีความอิสระในทางความคิด

นับว่าเป็นเวลาเกือบสองทศวรรษของการสืบค้นทางโบราณคดีในพื้นที่สูงของอำเภอปางมะผ้าของคณะนักวิจัยไทยที่พยายามจะต่อและเติม “ภาพจิ๊กซอว์” ที่ขาดวันของงานโบราณคดียุคก่อนประวัติศาสตร์ของภาคเหนือและประเทศไทย โดยเฉพาะสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย-โฮโลซีนตอนปลาย (40,000-1,000 ปีมาแล้ว) พร้อมกับความพยายามในการพัฒนาศักยภาพของนักวิชาการไทยในการทำงานวิจัยระยะยาวที่เกาะติดกับพื้นที่เพื่อสร้างองค์ความรู้ และสร้างผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ดังงานวิจัยในต่างประเทศ เช่น การค้นคว้าเรื่องวิวัฒนาการของมนุษย์ที่แหล่งโบราณคดีเซงกิงในประเทศอินโดนีเซีย แหล่งโบราณคดีโอดูไวในประเทศแทนซาเนีย เพื่อพัฒนาและสร้างแรงบันดาลใจให้กับนักศึกษาและนักวิจัยรุ่นใหม่เพื่อเป็นผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านสำหรับงานโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ มานุษยวิทยากายภาพ และวงปีไม้ ซึ่งยังเป็นบุคลากรที่ขาดแคลนอย่างยิ่งของประเทศไทยในปัจจุบัน

แม้ว่าก้าวข่างแต่ละก้าวของแต่ละโครงการฯ ที่ได้ฝ่าฟันและดำเนินไปได้อย่างเชื่องช้า ผลลัพธ์ของงานวิจัยไม่สามารถเห็นเป็นรูปธรรมเพื่อนำไปใช้แก้ไขปัญหาและใช้ประโยชน์ได้ทันทีเมื่อจบโครงการเหมือนกับงานวิจัยทางการแพทย์หรือเทคโนโลยี แต่ในระดับพื้นฐานแล้วผลงานวิจัยนี้คือ “รากแก้ว” ของสังคมและวัฒนธรรม “ไทย” และ “อาเซียน” ที่ทำให้เราเข้าใจที่มาที่ไปของตนเอง ความสัมพันธ์กันระหว่างประชากรและวัฒนธรรมภายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ความรู้นี้จะนำไปสู่ความเข้าใจและเกิดการยอมรับความแตกต่างของชาติพันธุ์ ภาษา ศาสนา/ความเชื่อ และวัฒนธรรมซึ่งมีพัฒนาการที่ยาวนานมาตั้งแต่อดีตซึ่งจะนำไปสู่การลดอคติ ความขัดแย้งที่เกิดขึ้นจากความแตกต่าง และเกิดความเคารพซึ่งกันและกัน

สิ่งสำคัญที่คณะผู้วิจัยเห็นว่าเป็นหัวใจของความสำเร็จในการทำงานวิจัยโครงการระยะยาว (long term research) และความภาคภูมิใจของคณะวิจัยคือการทำงานเป็นทีมจากสหสาขาเริ่มต้นจากปัญหาของงานวิจัยคือขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้าน โบราณคดี จึงจำเป็นต้องระดมสรรพกำลังจากกัลยาณมิตรต่างสาขามาร่วมกัน

ทำงานวิจัย โดยมีโบราณคดีหรือการศึกษาสังคมวัฒนธรรมในอดีตเป็นหัวใจของงานวิจัย โดยมีคณะวิจัยชาวไทยกลุ่มหนึ่งได้бакบั้น เพียรพยายามในการแสวงหาความรู้ “ความจริงของอดีตที่ไม่มีใครรู้ว่าเป็นอย่างไร” สร้างสรรค์งานโบราณคดีร่วมกัน โครงการวิจัยนี้ได้รวบรวมผู้สนใจที่ต้องการแสวงหาความจริงของอดีตด้วยการใช้ทฤษฎีและวิธีวิทยาจากสหศาสตร์ นักวิชาการจากแต่ละสาขาได้ก้าวข้ามอัตตาของตนเองเพื่อการทำงานวิจัยร่วมกัน โดยการยอมรับ เรียนรู้และทำความเข้าใจลักษณะงานของกันและกัน มีเป้าหมายในการทำงานแบบเดียวกัน การทำงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยต่างศาสตร์ เป็นความยาก แต่สนุกและท้าทาย เนื่องจากโจทย์วิจัยเป็นประเด็นปัญหาวิชาการทางโบราณคดี และนักวิจัยแต่ละสาขามีพื้นฐานการทำงานที่แตกต่างกันมาก ทั้งแนวคิดและวิธีวิทยา รวมทั้งอัตราในศาสตร์ของตน จำเป็นต้องปรับปรนและประยุกต์ใช้วิชาของตนเองในการตอบปัญหา ขณะเดียวกันก็พัฒนาองค์ความรู้ แนวคิดทฤษฎีและวิธีวิทยาของตนเองไปพร้อมกัน นักศึกษาผู้ช่วยนักวิจัยและอาจารย์รุ่นใหม่ได้มีโอกาสร่วมวงสนทนา ถกเถียง พบปะกับนักวิชาการชาวไทยและต่างประเทศ และเห็นการทำงานร่วมกัน กระบวนการเหล่านี้ได้เป็นส่วนหนึ่งของการผลิต “ต้นกล้า” ทางวิชาการมาแล้วหลายรุ่นที่กำลังเติบโตไปในทิศทางความสนใจของตนเอง จากจุดเริ่มต้นที่ไม่รู้อะไรก็ได้เริ่มเห็นผลทั้งในรูปแบบของ “องค์ความรู้ใหม่” และการสร้าง “นักวิจัยรุ่นใหม่ไฟแรง” ที่มาร่วมเดินทางเส้นเดียวกับเพื่อเติมและเชื่อมโยงความรู้ว่า “โบราณคดีไทยอยู่ตำแหน่งใดของโบราณคดีเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และโลก”

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มีจำนวนทั้งหมด 9 เล่ม คือ เล่มที่ 1 : บูรณาการศาสตร์และภาพรวมของโครงการ เล่มที่ 2 : ภาพรวมโบราณคดี เล่มที่ 3 : การขุดค้นแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก เล่มที่ 4 : ภาควงกของการขุดค้นแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก เล่มที่ 5 : มานุษยวิทยากายภาพ (โครงกระดูกคน) เล่มที่ 6 มานุษยวิทยากายภาพ (ฟันคน) เล่มที่ 7 : ด้านวงปีไม้และสิ่งแวดลอม เล่มที่ 8 : ด้านธรณีวิทยา และเล่มที่ 9 : การเผยแพร่ความรู้และการใช้ประโยชน์งานวิจัยต่อสาธารณะ ซึ่งมีข้อสรุปความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิจากการประชุมวิชาการเรื่องการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์และสิ่งแวดลอมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานเล่มที่ 8 นำเสนอผลการวิจัยด้านธรณีวิทยา

การนำเสนอนี้แบ่งออกเป็น 6 บท คือ บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาของโครงการวิจัยและสรุปย่อผลการวิจัยเมื่อเสร็จสิ้นโครงการ บทที่ 1 บทนำ : ธรณีวิทยา บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม บทที่ 3 วิธีการศึกษา บทที่ 4 ผลการวิจัย และบทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ รวมถึงภาคผนวกท้ายเล่ม

คณะวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยเป็นงานที่มีคุณค่าและมีคุณูปการแก่ชุมชนท้องถิ่น และชุมชนวิชาการ

รัศมี ชูทรงเดช
หัวหน้าโครงการวิจัย
ตุลาคม 2559
วัดสันตฤฎี วัดท่าพระ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ยังคงมุ่งมั่นในการพัฒนาและส่งเสริมศักยภาพของนักวิจัยชาวไทยและนักวิจัยรุ่นใหม่ เพื่อเป็นกำลังของประเทศชาติในการพัฒนาความรู้ในสาขาของตน แม้ต้องฟันฝ่าคลื่นลมที่แปรปรวนของกระแสการเมืองในแต่ละยุคสมัย ขอบุคคลที่เชื่อมั่นในคณะผู้วิจัยจึงได้สนับสนุนการทำวิจัยเป็นเวลาเกือบสองทศวรรษ (2540-2559) ขอบุคคลวิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่อนุญาตให้หัวหน้าโครงการวิจัยได้ทำงานวิจัยอย่างเต็มที่ และนักศึกษาโบราณคดีที่เป็นกำลังใจสำคัญ หากปราศจากแรงสนับสนุนจากทั้งสองหน่วยงานนี้ หัวหน้าโครงการวิจัยคงไม่สามารถดำเนินงานทั้งหมดได้อย่างมีพลังและมีประสิทธิภาพ ขอบุคคลสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัย ขอบุคคลกรมศิลปากร กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่อนุญาตให้ทำงานในพื้นที่วิจัย ขอบุคคลหัวหน้าทุกคนและเจ้าหน้าที่ของศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่า ถ้ำน้ำลอดที่เอื้อต่อสถานที่ทำงาน เก็บโบราณวัตถุและที่ปักให้กับคณะผู้วิจัยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 จนถึงปัจจุบัน

นอกเหนือจากสถาบันแล้วมีบุคคลมากมายที่ผู้วิจัยอยากจะขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอบพระคุณศาสตราจารย์ นายแพทย์วิจารณ์ พานิช อดีตผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่กรุณาให้โอกาส ส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดโครงการวิจัยนี้ ศาสตราจารย์ปิยะวัติ บุญ-หลง ศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ดันตรรัตน์ และศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุทธิพันธุ์ จิตพิมลมาศ ผู้อำนวยการคนปัจจุบันที่กรุณาให้คำแนะนำ ติดตามและสนับสนุนโครงการวิจัยจนกระทั่งเสร็จสิ้นโครงการ

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สุชาติา ชินะจิตร อดีตผู้อำนวยการฝ่าย 3 ดร. สีลาภรณ์ บัวสาย ผู้อำนวยการฝ่าย 4 และศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สถาอานันท์ ผู้ช่วยผู้อำนวยการด้านมนุษยศาสตร์ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำงานวิจัยและให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด และขอบุคคลเจ้าหน้าที่ทุกคนที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานโครงการ

ขอขอบพระคุณอธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต ขาวเขียว คณบดีคณะโบราณคดี อาจารย์พูน วีระประเสริฐ อดีตอธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ผาสุข อินทรารุข และรองศาสตราจารย์สุรพล นาถะพินธุ อดีตคณบดีคณะโบราณคดี รองศาสตราจารย์ ดร. อนุชาติ พวงสำลี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพงษ์ ดิลกวิชย์ อดีตคณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยตลอดระยะเวลา 18 ปี ขอบพระคุณศาสตราจารย์เกียรติคุณปรีชา กาญจนาคม ผู้แนะนำให้ผู้เขียนได้ทำงานในพื้นที่อำเภอบางมะฝ้าเป็นครั้งแรก

ขอบุคคลคณาจารย์จากภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เข้าใจและสนับสนุนการทำงานทำให้การเดินทางไปปฏิบัติงานภาคสนามบ่อยๆ เป็นไปอย่างราบรื่นจนงานวิจัยสำเร็จลง

ขอบุคคลที่ปรึกษาโครงการ ศาสตราจารย์พิเศษ นพ.สรโรจ แสงวิเชียร และอาจารย์ปฐมฤกษ์ เกตุทัต ที่ให้คำปรึกษา วิจารณ์ และให้กำลังใจมาตลอดระยะหลายสิบปีที่ผ่านมา ผู้ทรงคุณวุฒิ ศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตั้งธรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชวลิต ขาวเขียว ดร. กันตภณ สุระประสิทธิ์ ศาสตราจารย์ ดร. เสมอชัย พูลสุวรรณ ศาสตราจารย์ แพทย์หญิง ดร.พัชรีย์ เลิศฤทธิ์ ดร. อมรา ศรีสุชาติ อาจารย์ชัยพร ศิริพรไพบูลย์ รองศาสตราจารย์ สุรพล นาถะพินธุ อาจารย์ ดร. ประสิทธิ์ เอื้อตระกูลวิทย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ. ดร. เขียวลักษณ์ เงินวิวัฒน์กุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพงษ์ คิลกวนิช อาจารย์ ดร. สีน สีนสกุล นักวิจัยอิสระ ด้านธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม
ศาสตราจารย์สายนต์ ไพเราะญัตติ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สถาอานันท์ กัลยาณมิตร
ทั้งชาวไทย อาจารย์จิราภรณ์ อรัณยะนาค อาจารย์อัยยะ พินจงสกุลดิษฐ์ พวงพร ศรีสมบุญ และชาวต่างประเทศ
Dr. Brian Chisholm จาก University of British Columbia, Dr. Kira Westaway จาก Macquarie University, Dr.
Gerrit Van Den Bergh และ Dr. Susan Hayes จาก University of Wollongong, Dr. Judith Cameron จาก
Australian National University, Dr. Tom Higham และ Dr. Katerina Douka จากห้องปฏิบัติการ Research
Laboratory for Archaeology and the History of Art, University of Oxford, Professor Dr. Eske Willerslev จาก
University of Copenhagen, Denmark, Dr. Lesse Vinner และ Uffe Gram Wilken จาก Centre for GeoGenetics,
Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen, Dr. Laura Shackelford จาก University of
Illinois at Urbana-Champaign, Dr. Arnaud Filoux จากศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยา มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม, Dr. Paul Tucson จาก Griffith University และ Dr. Darren Canoe จาก School of Biological, Earth
and Environmental Science, The University of New South Wales

ขอบคุณคุณสหวัดน์ เน้นหนา อดีตผู้อำนวยการสำนักศิลปากรที่ 8 และนักโบราณคดีสำนักศิลปากรที่ 8
ทุกคน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานมาโดยตลอด

ขอบคุณชุมชนบ้านถ้ำลอด บ้านไร่ บ้านเมืองแพม และบ้านจำโบ้ ที่เมตตาและให้ความร่วมมือ ขอบคุณ
พ่อหลวงชนตรชัย โสภารการ แห่งบ้านถ้ำลอด พ่อหลวงสิงหราช แก่นแก้ว อดีตผู้ใหญ่บ้านซำห้วย แซ่หัน แห่ง
หมู่บ้านบ้านไร่ทุกท่านทำให้ผมได้สัมผัสเหมือนเป็นบ้านที่สอง ขอขอบคุณความอยากรู้ ความช่างสงสัยของ
นักศึกษาภาควิชาโบราณคดีปัจจุบันทั้งที่มาร่วมงานในภาคสนามและที่สอนในห้องเรียนเกือบสามทศวรรษ และ
นักศึกษาต่างชาติที่มาร่วมงานภาคสนามทำให้มีกำลังใจในการทำงานวิจัย เพื่อน้องค์ความรู้ และประสบการณ์
จากงานวิจัยเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอน และช่วยยืนยันคุณค่าของการเป็นครูโบราณคดี

ขอบคุณหัวหน้าสุวิทย์ แก้วปรีรัตน์ แห่งเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย หัวหน้าวันชัย ขุนอม หัวหน้า
สมชาย บริสุทธิ์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่า ถ้ำน้ำลอดทุกท่านที่ช่วยเหลือเพื่อเรื่องบ้านพัก พื้นที่
ทำงาน ยานพาหนะ และอนุเคราะห์ความสะดวกต่างๆ ระหว่างที่ทำงานในพื้นที่ตลอดระยะเวลา 4 ปี ขอขอบคุณ
ผู้อำนวยการโรงพยาบาลปางมะผ้า โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลถ้ำลอด ผู้เฒ่าผู้แก่กลุ่มผู้สูงอายุบ้านถ้ำลอด
กลุ่มควนแพะ-ตะเกียบบ้านถ้ำลอด จอห์น สปีส์ (John Spies) สุภาพร สิงห์นาควมิ (นาง) อรพรรณ จิตกุลภัทวงศ์
(เพ็ญ) อรุณ-หนูย เบญจมาศสีเงิน มาลี เค็ดโลก (ปาลี) ป้อง และผู้ช่วยชุดค้นที่เป็นกำลังสำคัญทำให้งานผ่านไป
ด้วยดี พี่วิชะ หลู และกowi

ขอบคุณนักวิจัย และผู้ช่วยนักวิจัยด้านโบราณคดี มานุษยวิทยาภาพถ่าย สิ่งแวดล้อมและวงปีไม้ และ
ธรณีวิทยา ที่ร่วมกันทำงานมาโดยตลอด โดยเฉพาะผู้ช่วยนักวิจัยด้านโบราณคดี ชนัมชนก สัมฤทธิ์ วอัญญา ณ
หนองคาย และสมถวิล สุขเลี้ยง ที่อดทนทำงานหนัก ไม่กลัวความยากลำบาก ด้วยความรักในวิชาโบราณคดี ซึ่ง
เป็นกำลังใจที่สำคัญมาก เพราะหากไม่ได้ผู้ช่วยนักวิจัยที่ร่วมหัวจมท้ายด้วยกัน คงจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ และ Liew, Sze Haw นักเรียนโบราณคดีมาเลเซียที่มาอาสาช่วยงานอย่างจริงจัง ทำให้งานนี้เป็นการ
ทำงานร่วมอย่างแท้จริงของโบราณคดีอาเซียน หวังว่าเครือข่ายของนักวิชาการรุ่นใหม่จะสืบสานต่อไปและ
กลายเป็นพลังที่สำคัญในการพัฒนาวงการโบราณคดีอาเซียนต่อไป

ขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยรุ่นแรก ที่ได้แตกหน่อกลายเป็นอาจารย์และอาจารย์พิเศษในสถาบันต่างๆ อาจารย์
นุชนางค์ ทุมดี อาจารย์จักรินรัฐ นิยมคำ อาจารย์อุดมลักษณ์ สุนตระกูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ กระแจะ

จันทร์ นัทธมน ภูริพัฒน์พงศ์ คงคาสุริยฉาย รมย์ กนิษฐานนท์ วัชรินทร์ มณีวงษ์ และเชิดศักดิ์ ตรีธยาภิวัฒน์ และ นักศึกษารุ่นแรกๆ ที่ร่วมงานในภาคสนามได้เติบโตและประสบความสำเร็จในอาชีพอย่างงดงาม ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ชวลิต ขาวเขียว คณบดีคณะโบราณคดีคนปัจจุบัน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรรณิการ์ สุธีรัตน ภิรมย์

ขอบคุณกัลยาณมิตรที่ช่วยงานระหว่างทำงาน อาจารย์ ดร.สุสดี รอดเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จตุพล คำปวนสาย (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่) เจนจิรา เบญจพงษ์ ทิพารัตน์ ปิณฑสกุล ศุภร ชูทรงเดช วัชระ ประยูรคำ อาจารย์สาครินทร์ เครืออ่อน นักศึกษาคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ท้ายนี้ ขอขอบคุณศิริลักษณ์ กัณหาศรี ที่อยู่เคียงข้างทำงานร่วมกันมาตลอดหลายสิบปี ขอขอบคุณที่ช่วย ดำเนินการ จัดการ ช่วยตรวจทาน ทำให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีพลังโดยไม่ต้องห่วงเรื่อง รอบตัวผู้ช่วยนักวิจัยด้านโบราณคดีทุกคนที่ช่วยกันจัดทำต้นฉบับรายงานฉบับสมบูรณ์จำนวน 9 เล่มอย่างไม่รู้จัก เหน็ดเหนื่อย ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงพฤศจิกายน 2559 เป็นเวลาร่วม 7 เดือนที่ตราตรึงกับการแก้ไข จัด รูปเล่ม และจัดพิมพ์รายงานวิจัยของทุกทีมจนสำเร็จเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์

นอกจากนี้ ยังมีบุคคลอีกมากมายที่ให้ความอนุเคราะห์คณะวิจัยในระหว่างที่ทำงานในพื้นที่ ซึ่งไม่ อาจจะเอ่ยนามได้ทั้งหมดในที่นี้

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ หากมีประโยชน์สำหรับแวดวงวิชาการและสาธารณชน ความดีทั้งหมดขอ อุทิศให้กับศาสตราจารย์เกียรติ ดร. ผาสุข อินทราวุธ อาจารย์และอดีตคณบดีคณะโบราณคดี ผู้สนับสนุนงานวิจัย ของหัวหน้าโครงการฯ มาโดยตลอดระยะเวลาเกือบสองทศวรรษ กัลยาณมิตร อดีตนักวิจัยและรุ่นพี่ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร. สุภาพร นาคบัลลังก์ ที่ร่วมทำงานวิจัยตั้งแต่โครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน และผู้ช่วยนักวิจัย เศรษฐิรุฬห์ ศิริบุตร อาจารย์บรรณารักษ์ นาคบัลลังก์ และณัฐวัฒน์ อุทังกร ที่ติดตามและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยมาโดยตลอด แม้ว่าท่านเหล่านี้ไม่มีโอกาสที่จะได้เห็นผลงานวิจัย แต่ท่าน คงภูมิใจที่งานวิจัยและงานวิชาการยังคงมีผู้สืบทอดต่อ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อม
บนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน
(เล่มที่ 8: ด้านธรณีวิทยา)

โดย

ผู้วิจัย: รองศาสตราจารย์ ดร.เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยนักวิจัย: นายนพพร เด่นกิจกุล

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ด้านมนุษยศาสตร์

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

การดำรงชีวิตของประชากรในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ มีถิ่นที่อยู่อาศัยตั้งบ้านเรือน เพาะปลูก และเลี้ยงสัตว์ บริเวณที่ราบทั่วไปในเขตภูมิประเทศแบบคาสต์ (karst topography) เช่น บริเวณที่ลุ่มริมน้ำล่าง หรือแถบเชิงเขาที่มีดินและน้ำอุดมสมบูรณ์ โดยเฉพาะในบริเวณภูมิประเทศแบบคาสต์ และอาศัยถ้ำหรือเพิงผาที่อยู่สูงเป็นที่ปลงศพ สำหรับภูมิอากาศในอดีตของบริเวณโดยรอบที่สัมพันธ์กับตะกอนถ้ำในช่วงวัฒนธรรมโลงไม้ เป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีบางช่วงที่ปริมาณน้ำฝนสูงมากเป็นพิเศษ ส่วนใหญ่ไม่รุนแรง และในบริเวณถ้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองต่อภูมิอากาศดังกล่าวตลอดเวลา แผ่นดินบริเวณอำเภอปางมะผ้าได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีหลายครั้ง ดังเห็นได้จากร่องรอยของแผ่นดินไหวที่พบทั่วไปในถ้ำและมีรอยเลื่อนตัดผ่านบริเวณพื้นที่ศึกษามีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นตั้งแต่ 35,000-16,000 ปีมาแล้ว และหลังจาก 16,000 ปีมาแล้ว เป็นต้นมา พบว่าความชื้นลดลง

ในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักพบโลงไม้ในคูหา A1 มากที่สุด เนื่องจากเป็นคูหาที่อยู่ด้านในสุดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของปากถ้ำ มีลักษณะพื้นคูหาเกือบราบและมิดชิดกว่าคูหาอื่น ตะกอนร่วนในถ้ำผีแมนโลงลงรักมีลักษณะเฉพาะตัว เป็นทรายปนดินเหนียว (clayey sand) และทรายปนทรายแป้ง (silty sand) ต่างจากตะกอนจากภูมิประเทศแบบคาสต์ภายนอกถ้ำซึ่งเป็น ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay) ตะกอนในถ้ำผีแมนโลงลงรักบ่งชี้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศประมาณ 10,310 ปีมาแล้ว เพราะพบรอยชั้นไม่ต่อเนื่องในชั้นตะกอน (ที่ระดับลึก 66 เซนติเมตร จากชั้นผิวดินของคูหา A1) และบ่งบอกถึงการได้รับอิทธิพลของน้ำที่ไหลเข้ามาในถ้ำในช่วงแรกและมีปริมาณน้ำลดลงอาจได้รับอิทธิพลจากภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณน้ำฝนลดลง การยกตัวของถ้ำทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง หรืออาจได้รับอิทธิพลจากการทับถมของตะกอนในน้ำนิ่ง (slack water) ผสมกับการตกจมของตะกอนทางอากาศ (airfall)

หลักฐานทางเรขาคณิตชี้ถึงสภาพภูมิอากาศโดยรวมของเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ตลอดช่วงการทับถมที่ศึกษาเป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น การเข้ามาของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในคูหา A1 เริ่มต้นขึ้นในช่วงเวลาที่เริ่มมีการตกตะกอนในระดับลึกประมาณ 66 เซนติเมตรจากระดับชั้นผิวดิน หรือเป็นเวลาประมาณ 10,310 ปีมาแล้ว เพราะในช่วงที่ตื้นกว่านี้พบว่ามีการทับถมของตะกอนโดยปราศจากน้ำไหลหรือหากมีน้ำขังจะมีขึ้นเป็นช่วงๆ และสภาพน้ำขังนี้เกิดขึ้นในระยะเวลานั้นๆ สลับกับช่วงเวลาที่แห้งซึ่งยาวนานกว่า เพราะสังเกตชั้นตะกอนในช่วงหลังนี้เป็นชั้นที่บาง จึงเหมาะกับการเข้ามาใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งการทำการกิจกรรมของมนุษย์ในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ในเวลาต่อมาด้วย ดังนั้นทำให้พบหลักฐานกิจกรรมของมนุษย์ในชั้นตะกอนช่วงที่ลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ต่อเนื่องขึ้นมาจนถึงระดับชั้นผิวดินของคูหา

ภาชนะดินเผาในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักจัดเป็นประเภทเนื้อดิน (earthenware) ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน มีเทคนิคการเผาในที่โล่ง (open-air firing) แบบสุญไฟ มีอุณหภูมิในการเผาไม่เกิน 1,100 องศาเซลเซียส มีการเตรียมดินด้วยวัตถุดิบอย่างง่ายจากแหล่งที่ไม่ไกลจากจากบริเวณที่พบ ส่วนในลูกปัดแก้วสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ไม่มีสารประกอบทองแดงให้สีน้ำเงินและสารประกอบตะกั่วให้สีเหลือง ดังนั้นมนุษย์ในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ อาจมีการติดต่อกับชุมชนโบราณในพื้นที่ราบ เช่น ภาคกลางของประเทศไทย

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เล่มที่ 8 เล่มนี้ นำเสนอผลการวิจัยด้านธรณีวิทยาภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้าจังหวัดแม่ฮ่องสอน” โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ทางคณะวิจัยด้านธรณีวิทยาได้ออกปฏิบัติงานภาคสนามเพื่อศึกษาลักษณะของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก แหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด และได้นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

เนื้อหาหลักในรายงานเป็นผลการศึกษาสภาพภูมิประเทศที่สำคัญของปางมะผ้า คือ ลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ โดยเฉพาะสภาพธรณีสัณฐานที่เป็นถ้ำ การศึกษาทางด้านตะกอนวิทยา ซึ่งการศึกษาตะกอนในถ้ำถือเป็นงานประยุกต์ที่เป็นประโยชน์ต่องานทางโบราณคดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการศึกษาชั้นทับถม อีกทั้งยังสามารถบ่งบอกถึงสภาพภูมิอากาศโบราณได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังได้นำเทคนิคด้านธรณีเคมี โดยเฉพาะเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่นและเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์มาใช้ศึกษาโบราณวัตถุ ได้แก่ ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาและลูกปัด เพื่อวิเคราะห์แร่ธาตุองค์ประกอบที่อาจเชื่อมโยงถึงเทคโนโลยีการผลิตและการติดต่อทางสังคม

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานเล่มนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจในงานด้านธรณีวิทยาโบราณคดี และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) รองศาสตราจารย์ ดร. รัศมี ชูทรงเดช (หัวหน้าโครงการวิจัย) และทีมงานด้านโบราณคดี รองศาสตราจารย์ ดร.นาฏสุดา ภูมิจันทร์ และทีมงานด้านวงปีไม้และสิ่งแวดล้อม ทีมผู้ช่วยนักวิจัยด้านธรณีวิทยา และผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

คณะผู้วิจัยด้านธรณีวิทยา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยของโครงการ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ คณะผู้วิจัยทางโบราณคดีของโครงการวิจัย “การปฏิสัมพันธ์ ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน” ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. รัชมิ ชูทรงเดช คุณศิริลักษณ์ กันทศรี คุณสมถวิล สุขเลี้ยง คุณชนม์ชนก สัมฤทธิ์ คุณวอัญญา ณ หนองคาย และคุณกิตติคุณ จันทร์แย้ม ที่ให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวก ด้านต่างๆ พร้อมให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างโบราณวัตถุเพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นาฏสุดา ภูมิจันทร์ ที่ช่วย แนะนำให้เข้ามามีส่วนร่วมในโครงการนี้

ขอบคุณ ผอ. อรทัย สุกรีพงษ์ ผอ. สมใจ เชนยพานิชย์ คุณหทัยรัตน์ พิชัยรงค์ คุณพิศเพ็ญ พรหมอ่อน และคุณอภิชาติ หวังคล้ายกิติ กลุ่มวิจัยแร่และจุลสัณฐานดิน สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนา ที่ดิน ที่ให้การสนับสนุนในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน ทำแผ่นดินบางและแผ่นบางของภาชนะดินเผา

ขอบคุณ คุณอัครยะ พินิจสกุลดิษฐ์ และทีมงานกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความช่วยเหลือในการตรวจวิเคราะห์สังเกตตะกอนในแหล่งโบราณคดีในภาคสนาม ขอขอบคุณ ผอ. ขวดี เมอกิจ คุณสมบูรณ์ มั่นความดี คุณรัตนา จำเนียรกุล คุณวสัน สดศรี คุณเทสศักดิ์ ปิยะพัฒน์ ส่วนวิจัยและพัฒนาด้าน วิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์หา ขนาดอนุภาคเนื้อดินด้วยวิธี Hydrometer method และการเตรียมตัวอย่างดินสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma–optical emission spectroscopy (ICP–OES)

ขอขอบคุณ ผอ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาธาตุหายากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ และคุณอุทัยวรรณ อินทร์เจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง ICP–OES เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหายาก ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ องค์การมหาชน (The Gem and Jewelry Institute of Thailand (Public Organization), GIT) คุณชนพงษ์ เหลืออัมพร และคุณทัศนรา ศรีปิ่นจัน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างแร่และถูกปิดแก้วด้วยเครื่อง EDXRF, UV-Vis-NIR และ Raman Microprobe ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนา เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ องค์การมหาชน (The Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization), GISTDA) ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชด

ขอบคุณนิสิตผู้ช่วยนักวิจัย ได้แก่ นายณพพร เค้นกิจกุล นายชานนท์ แดงสีพล นางสาวภัทริรา อาลัยสุข นายวรวิทย์ มิตรอำพันธ์ นางสาวชिरา ด้วงอ่อม นางสาวพิมพ์มาดา ศิริสาโรจน์ นางสาวสุมาลี ด่านยุทธพลชัย นางสาวณัฐมณัฏ บวรยศวัฒน์ นางสาวสุนิสา หอมกลิ่น นางสาวธนสร สิงทิส นางสาวปณิดา แผลมทองประทีป นางสาวอรุณรัตน์ ทราบรัมย์ นายกิตติศักดิ์ ไบสุจันทร์ นางสาวทิพย์สุดา รักสุวรรณ และนางสาวปาลิดา รัชญา อนันต์ชัย รวมทั้งบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ แต่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเพื่อให้โครงการและ รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

สารบัญ

หน้า

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อสำหรับผู้บริหาร

Executive Summary

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญแผนที่

สารบัญแผนผัง

สารบัญแผนภูมิ

สารบัญรูป

บทนำ

1. ปัญหาและที่มาของปัญหา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

4. ขอบเขตการวิจัย

5. ระเบียบวิธีการวิจัย

6. การอภิปรายผลการศึกษาและตีความ

7. สรุปผลการวิจัยในรอบสามปี (1 มกราคม 2556-31 มกราคม 2558 ขยายเวลาถึง 30 เมษายน 2559)

บทที่ 1 บทนำ : ธรณีวิทยา

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

1.2 ความท้าทายที่เกี่ยวกับงานวิจัยทางธรณีวิทยาโบราณคดี

1.3 งานวิจัยทางธรณีวิทยาในกรอบของโครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ฯ

1.3.1 แนวทางการวิจัยทางธรณีวิทยาของโครงการฯ

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	27
2.1 ที่ตั้ง สภาพธรณีวิทยา ธรณีประวัติของพื้นที่ศึกษา และบริเวณใกล้เคียง	27
2.1.1 ลักษณะธรณีวิทยาเบื้องต้นในภาพรวม	27
2.1.2 แหล่งโบราณคดีเพิงผาลอดและแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน โลงลงรัก	29
2.1.3 กำเนิดเพิงผาลอดและเขาถ้ำผีแมน โลงลงรัก	30
2.2 ธรณีสัณฐานของภูมิประเทศแบบคาสต์	31
2.2.1 ภูมิประเทศแบบคาสต์พื้นผิว	32
2.2.2 ภูมิประเทศแบบคาสต์ใต้พื้นผิว	33
2.3 การเกิดและวิวัฒนาการของถ้ำ	36
2.3.1 ถ้ำเป็น	37
2.3.2 ถ้ำตายหรือถ้ำแห้ง	41
2.4 ผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ต่อทรัพยากรถ้ำและการจัดการ	42
2.4.1 ผลกระทบต่อภูมิประเทศแบบคาสต์และถ้ำ	42
2.5 การศึกษาวิจัยเรื่องถ้ำในประเทศไทยและในพื้นที่ศึกษา	43
2.6 ตะกอนถ้ำและเพิงผา	45
2.6.1 ประเภทตะกอนถ้ำและเพิงผาจำแนกตามแหล่งที่มา	45
2.6.2 ประเภทตะกอนถ้ำและเพิงผาจำแนกตามการกำเนิด	46
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	49
3.1 วิธีการศึกษาทางธรณีสัณฐานวิทยาระดับมหัพภาค	49
3.2 วิธีการศึกษาทางธรณีสัณฐานวิทยาระดับจุลภาค	50
3.2.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนร่วนและการเตรียมตัวอย่างแผ่นตะกอนบาง	53
3.3 การศึกษาโบราณวัตถุในทางแร่วิทยาเชิงโบราณคดี	55
บทที่ 4 ผลการวิจัย	57
4.1 ผลการศึกษาธรณีสัณฐานของอำเภอปางมะผ้า	59
4.2 ตะกอนร่วนและสิ่งแวดล้อมโบราณสมัยไพลสโตซีนตอนปลายจากบริเวณแหล่งโบราณคดีฯ	71
4.2.1 ลักษณะตะกอนจากผนังชั้นดินในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีเพิงผาลอด	71
4.2.2 ธรณีวิทยาเคมีและระดับการผุพังทางเคมีของตะกอนฯ	76
4.2.3 ผลการวิเคราะห์แร่ดิน (clay minerals)	77
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน (grain size analysis)	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ตะกอนร่วนและสภาพแวดล้อมของการตกตะกอนในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก	80
4.3.1 ตะกอนในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก คูหา A1	80
4.3.2 ตะกอนในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก คูหา A2	85
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน	89
4.3.4 ผลการวิเคราะห์เนื้อตะกอน (texture)	90
4.3.5 อภิปรายผล	91
4.4 ผลการศึกษาโบราณวัตถุ ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา และลูกปัดแก้ว	96
4.4.1 องค์ประกอบทางจุลสัณฐานของเนื้อภาชนะดินเผา	96
4.4.2 ลักษณะทางอัญมณีและองค์ประกอบทางเคมีของลูกปัดแก้ว	98
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	101
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก	
ตารางธรณีกาล	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 อายุกับการสร้างหินน้ำนมชนิดต่างๆ	12
ตารางที่ 2 อายุกับการสร้างหินแต่ละชนิด	12
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของหินบริเวณพื้นที่ศึกษา	29
ตารางที่ 2.2 ชนิดของตะกอนถ้ำ จำแนกตามแหล่งที่มา	45
ตารางที่ 4.1 ลักษณะของหินบริเวณพื้นที่ศึกษา	59
ตารางที่ 4.2 ลักษณะตะกอนจากชั้นบนลงชั้นล่างที่สังเกตพบในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด	74
ตารางที่ 4.3 อายุตะกอนแต่ละชั้นในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด	76
ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์ทางเคมีด้วย X-Ray Fluorescence (XRF) ของตัวอย่างตะกอน	77
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบระดับการผุพังของตะกอน ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง	79
ตารางที่ 4.6 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศตะวันออก (East profile) ของหลุมขุดค้นที่ 33	82
ตารางที่ 4.7 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศเหนือ (North profile) ของหลุมขุดค้นในคูหา A2	87
ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีหักเห (RI) และความถ่วงจำเพาะ (SG) ของตัวอย่างลูกปัด	99
ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างลูกปัดจากแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรักในรูปแบบ Wt% oxides	100

สารบัญแผนที่

	หน้า
แผนที่ 2.1 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาในเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน และบริเวณใกล้เคียงฯ	28
แผนที่ 2.2 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาบริเวณแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด (Tham Lod rockshelter)ฯ	30
แผนที่ 4.1 สภาพภูมิประเทศที่ถูกซ้อนทับด้วยแผนที่ธรณีวิทยาของบริเวณพื้นที่โคยรอบถ้ำลอด (X) ฯ	58
แผนที่ 4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะภูมิฐานโดยทั่วไปในมุมเฉียงกับพื้นที่ศึกษาฯ	60
แผนที่ 4.3 ก) ภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอำเภอปางมะผ้า แสดงภูมิประเทศแบบคาสต์ในตอนกลางของพื้นที่ฯ	61
แผนที่ 4.4 ลักษณะทางธรณีวิทยาในเขตอำเภอปางมะผ้าและบริเวณใกล้เคียงฯ	63

สารบัญแผนผัง

	หน้า
แผนผังที่ 4.1 แหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก แสดงตำแหน่งคูหา A1, A2, B และ C	64
แผนผังที่ 4.2 แผนผังดินแสดงตะกอนร่วนชั้นต่างๆ ของหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอดฯ	72

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ผลึกรูปเข็มในตัวอย่าง A1/3 ด้วยวิธี XRD พบว่าเป็นแร่ไฮดรอกซีอะพาไทต์	70
แผนภูมิที่ 4.2 บริเวณสีค่าที่เคลือบอยู่ที่ผิวนอกของตัวอย่าง A1/3 เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Raman microprobe	70
แผนภูมิที่ 4.3 ขนาดอนุภาคตะกอนของตัวอย่างตะกอนจากหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอดฯ	78
แผนภูมิที่ 4.4 การพลอตส่วนประกอบของอนุภาคทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว ในตัวอย่างตะกอนฯ	91
แผนภูมิที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างภาชนะดินเผา LLRA1 ด้วยวิธี XRD	97
แผนภูมิที่ 4.6 การพลอตระหว่าง ค่า SG และ RI ของตัวอย่างลูกปัดจากแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก	99

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของศาสตร์ต่างๆ	6
รูปที่ 2 เปรียบเทียบรูปแบบของวงปีไม้ที่นำมาจากหัวโลงรูปแบบต่างๆ	15
รูปที่ 2.1 ก) การเกิดโพรงและถ้ำในบริเวณที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน (water table) ฯ	37
รูปที่ 2.2 ระบบถ้ำในทางทฤษฎีมีส่วนนำเข้าสู่ระบบและส่วนนำออกจากระบบฯ	38
รูปที่ 2.3 ลำดับชั้นของการเคลื่อนย้ายคาร์บอนไดออกไซด์ลงสู่เบื้องล่างโดยผ่านพืชพรรณ ดิน ฯ	39
รูปที่ 2.4 กิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อภูมิประเทศแบบคาสต์และถ้ำ	42
รูปที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์ สำหรับเก็บตะกอนเพื่อนำไปเตรียมแผ่นตะกอนบาง (polish section)	51
รูปที่ 3.2 ก) รศ. ดร. เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา เก็บข้อมูลและอธิบายการเกิดถ้ำที่แหล่งโบราณคดี ฯ	53
รูปที่ 4.1 ก) ทางลงสู่พื้นคูหาถ้ำ ข) แผ่นหินทรุดลงมาเอียงตัวขนานกับระนาบเพดานด้านบน	65
รูปที่ 4.2 แสดงภาพโดยรวมในคูหา A1 และลักษณะการวางตัวของโลงไม้	66
รูปที่ 4.3 ภายในคูหา A2 แสดงการเริ่มขุดค้นในคูหาเมื่อเดือนมิถุนายน 2556 ฯ	67
รูปที่ 4.4 ตัวอย่าง A2/4 ซึ่งเป็นหลอดหินช้อยจากคูหา A2 (Fine grained and high porosity soda straw)	68
รูปที่ 4.5 ก) ตัวอย่าง A1/3 ครอบสีดาบนเพดานทางเข้าคูหา A1 ข) ตัวอย่างที่เก็บมาและแสดงให้เห็น ฯ	69
รูปที่ 4.6 ผังชั้นดินในหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด ก) ผังด้านทิศตะวันตก ฯ	73
รูปที่ 4.7 ก) ผังชั้นดินด้านทิศตะวันออกของหลุมขุดค้นที่ 33 ในคูหา A1 ข) การแบ่งชั้นตะกอน ฯ	81
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายแผ่นตะกอนบางจากกล้องจุลทรรศน์ (ก) ตัวอย่าง LLRA1-3.1 ฯ	85
รูปที่ 4.9 ผังชั้นดินของหลุมขุดค้นในคูหา A2 ทางด้านทิศเหนือ แสดงการแบ่งชั้นตะกอน 8 ชั้น ฯ	86
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายแผ่นตะกอนบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ ฯ	89
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายแผ่นตะกอนบางของคูหา A1 ตัวอย่าง LLRA1-6.1 จากกล้องจุลทรรศน์ ฯ	93
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างชิ้นส่วนภาชนะดินเผา LLRA1 พบในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก คูหา A1	96
รูปที่ 4.13 แผ่นบางของภาชนะดินเผาตัวอย่าง LLRA1 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ ฯ	97
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างลูกปัด ก) PMP13-4 และ ข) PMP13-7 แสดงเส้นไหล (Flow lines/Swirls) ฯ	98

บทนำ

รัศมี ขุทรงเดช

1. ปัญหาและที่มาของปัญหา

ช่วงระหว่าง 10,000-1,000 ปีมาแล้วพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดขึ้นหลายครั้งในโลก (เช่น Butzer, 1985; Chappell, 1982; Dincauze, 2000; Goudie, 1990; Redman *et al.*, 2004; Roberts, 1998; Wilson *et al.*, 2004) กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในเขตขั้วโลกทำให้ธารน้ำแข็งละลาย ภูมิอากาศมีสภาวะแปรปรวน อากาศหนาวเย็นเปลี่ยนเป็นอบอุ่น ทำให้ในพื้นที่อื่นๆ ของโลกได้รับผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ความชื้นในอากาศสูง และอากาศอบอุ่นขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ขณะที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายในภาคพื้นทวีปมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางของลมมรสุมฤดูร้อนทำให้อากาศแปรปรวน ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น สลับอากาศแห้งแล้ง (Maxwell, 2001) สัตว์บางชนิดสูญพันธุ์ (Chaimanee, 1998) ระดับน้ำทะเลที่บริเวณชายฝั่งทะเลจีน-ลง (Sinsakul, 1992) การหดตัว/ขยายตัวของป่าดงดิบ ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของพื้นที่ (Verstappen, 1980) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนี้ส่งผลกระทบต่อการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมของคนก่อนประวัติศาสตร์ หลักฐานทางโบราณคดีแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและวัฒนธรรม ได้แก่ คนริเริ่มการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ ปรับขยายพื้นที่ ประชากรเพิ่มและเคลื่อนย้าย ตั้งชุมชนขนาดใหญ่และถาวร การคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ การติดต่อแลกเปลี่ยน การแบ่งแยกหน้าที่การทำงานและแบ่งชนชั้นทางสังคม เป็นต้น (Bellwood, 2005; Penny *et al.*, 1996; Price and Feinman, 1993; Scarre, 2005)

1.1 ภาพรวมของปัญหาทางโบราณคดี

งานโบราณคดีในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทย มีข้อสมมติฐานที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและวัฒนธรรม ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว คือ **ช่วงสมัยโฮโลซีนตอนต้น (ประมาณ 10,000-7,500 ปีมาแล้ว)** มีการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องจากสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย ช่วงเวลานี้ภูมิอากาศในท้องถิ่นเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อการปรับตัวทางวัฒนธรรม พบหลักฐานของโฮโม ซาเปียน ซาเปียน ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นประชากรดั้งเดิมที่มีอายุเก่าถึงสมัยไพลสโตซีนตอนปลายและสมัยโฮโลซีนตอนต้น มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับประชากรออสเตรโลนีเซียน ส่วนเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงจากการทำเครื่องมือหินกะเทาะสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย เครื่องมือสับตัดและสะเก็ดหินเป็นเครื่องมือหินกะเทาะแบบ “โอบินเนียน” ที่มีรูปแบบเครื่องมือหินเด่นเป็นเครื่องมือกะเทาะหน้าเดียวรูปวงรี (Sumatralith) ขวานสั้น (short-axe) เครื่องมือหินลับส่วนปลาย ภาชนะดินเผาหลายเชือกทาบ การดำรงชีพที่ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมด้วยการหาอาหารที่หลากหลายชนิด ได้แก่ จับสัตว์น้ำล่าสัตว์ขนาดใหญ่-กลาง-เล็ก หลายชนิดในระบบนิเวศที่แตกต่างกัน ก่อนที่จะเพาะปลูก-เลี้ยงสัตว์ (broad-spectrum economy) เรียนรู้ในการจัดการทรัพยากรอาหารตามธรรมชาติเก็บเกี่ยวพืช และเปลี่ยนแปลงรูปแบบการตั้งถิ่นฐาน โดยย้ายจากถ้ำหรือเพิงผาหินปูนในที่สูงมาอยู่บริเวณที่ราบเชิงเขาและที่ราบริมน้ำ กอรั้น เรียกลักษณะการปรับตัวตามลักษณะของนิเวศวิทยาที่คล้ายคลึงกันของประชากรที่อาจต่างกลุ่มกันว่า

“Hoabinhian Techno-Complex” (สุรินทร์ ภูจักร และคณะ, 2537; Gorman, 1971, 1977; Yen, 1977) และ **ช่วงสมัยโฮโลซีน กลาง-ตอนปลาย(ประมาณ 6,000-1,000 ปีมาแล้ว)** เกิดการเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรมเนื่องจากมีความรู้ใหม่หรือคนกลุ่มใหม่ที่เป็นชุมชนเกษตรกรรมเคลื่อนย้ายเข้ามา ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นประชากรมองโกลอยด์ได้เข้ามาผสมหรือแทนที่ประชากรดั้งเดิมที่เป็นเจ้าของวัฒนธรรม “โฮบินเนียน” มาจากจีนตอนใต้ผ่านเข้ามาภายในภาคพื้นทวีปและหมู่เกาะเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยนำความรู้เรื่องกลีกรกรรมและการเพาะปลูกข้าวเข้ามาในดินแดนประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตั้งแต่เมื่อประมาณ 6,000 ปีมาแล้ว และนำเทคโนโลยีโลกรกรรมเข้ามาเมื่อประมาณ 3,500 ปีมาแล้ว มีการตั้งถิ่นฐานถาวร มีความแตกต่างทางสถานภาพทางสังคม เกิดช่างเฉพาะทาง มีการเพาะปลูก-เลี้ยงสัตว์ มีความหลากหลายทางชาติพันธุ์และวัฒนธรรม มีการติดต่อแลกเปลี่ยนระหว่างชุมชน (ชาร์ลส ไฮแอม และรัชนี ทศรัตน์, 2542; Bellwood, 2005)

โครงการวิจัยนี้ต่อยอดจากโครงการวิจัยเรื่อง โบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่ดำเนินงานวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2544-2549 (รัศมี ชูทรงเดช, 2547) ซึ่งมีข้อค้นพบที่สำคัญ 3 ประการเป็นพื้นฐานความรู้ที่ช่วยตรวจสอบข้อสมมติฐานข้างต้น คือ 1) มีข้อมูลพื้นฐานองค์ความรู้ในเรื่องประวัติศาสตร์วัฒนธรรมที่แสดงความต่อเนื่องทางวัฒนธรรมตั้งแต่สมัยไพลสโตซีนตอนปลายถึงโฮโลซีนตอนปลาย อายุประมาณ 32,380-300 ปีมาแล้ว 2) มีหลักฐานของประชากรก่อนประวัติศาสตร์ 2 ชุม ที่สามารถใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ได้ คือประชากรดั้งเดิมสมัยไพลสโตซีนตอนปลายจากแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด คือ โครงกระดูกของโฮโม ซาเปียน ซาเปียน ที่มีลักษณะของออสเทรโล-เมลานีเซียน เป็นหลักฐานของคนในสมัยวัฒนธรรมหินกะเทาะ จำนวน 2 โครง มีอายุ 13,640 และ 12,100 ปีมาแล้ว และสมัยโฮโลซีนตอนต้น จำนวน 1 โครง มีอายุ 9,800 ปีมาแล้ว (นัทธมน ภูริพัฒน์พงศ์, 2549) ซึ่งมีอยู่เพียงไม่กี่แหล่งในภูมิภาค ได้แก่ แหล่งโบราณคดีถ้ำหมอบเขียว จังหวัดกระบี่ (สุรินทร์ ภูจักร และคณะ, 2537; Choosiri, 1994) แหล่งโบราณคดีถ้ำ กูญง รันตูห์ (GuaGunungRuntuh) รัฐเปรัก ประเทศมาเลเซีย (Majid, 1994) แหล่งโบราณคดีถ้ำนืออาร์ (Niah) เกาะบอร์เนียว ประเทศมาเลเซีย (Baker, 2005; Majid, 1982) และแหล่งโบราณคดีตาบง (Tabon) เกาะปาลาวัน ประเทศฟิลิปปินส์ (Fox, 1970) และชุดหลักฐานของคนในวัฒนธรรมโลงไม้มีอายุ 2,300-1,000 ปีมาแล้ว จากแหล่งโบราณคดีจำนวน 17 แหล่ง ผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนของกระดูก-ฟันคนในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้พบว่า มีโครงกระดูกของบุคคลจำนวนประมาณ 61 คน ไม่สามารถระบุลักษณะประชากรได้อย่างชัดเจนแต่ผลการศึกษาลักษณะของฟันสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นมองโกลอยด์ (Mongoloid) เนื่องจากฟันตัดด้านหน้า (central incisor) มีลักษณะของฟันจอบหรือ shovel shape ชัดเจน อีกทั้งส่วนกระดูกสันจมูก (nasal bone) ค่อนข้างแบน ระยะห่างระหว่างเบ้าตา (orbits) ทั้งสองข้างค่อนข้างกว้างและกระดูกส่วนโหนกแก้ม (zygomatic bones) มีลักษณะผายออกทางด้านข้างชัดเจน ซึ่งกระดูกส่วนโหนกแก้มเหล่านี้ล้วนแสดงลักษณะ (characteristic) ที่ชัดเจนของคนมองโกลอยด์ นอกจากนี้ร่องรอยโรคที่ปรากฏบนคนในวัฒนธรรมโลงไม้แสดงถึงวิถีชีวิตที่ซับซ้อนขึ้น เช่นกิจกรรมการทำโลงไม้ การผลิตภาชนะดินเผา (นัทธมน ภูริพัฒน์พงศ์, 2549: 312) และ 3) มีหลักฐานทางโบราณคดีที่เป็นตัวแทนของอย่างน้อยสองสมัย คือ สมัยโฮโลซีนตอนต้น (วัฒนธรรมหินกะเทาะ) และโฮโลซีนตอนปลาย (วัฒนธรรมโลงไม้) ที่สามารถใช้ศึกษาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบประเด็นการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและวัฒนธรรม โดยเฉพาะหลักฐานจากวัฒนธรรมโลงไม้ซึ่งเป็นลักษณะวัฒนธรรมเฉพาะที่พบแพร่กระจายบริเวณเทือกเขาหินปูนแนวตะวันตกจากจีนตอนใต้ จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ และกาญจนบุรี รวมทั้งเกาะซาบาห์และบอร์เนียวในประเทศมาเลเซีย (รัศมี ชูทรงเดช, 2546; Chia and Koon, 2003; Ji et al., 2005)

อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะมีข้อค้นพบที่สำคัญแต่การดำเนินงานของโครงการวิจัยที่ผ่านมามีข้อจำกัดหลายประการ คือ 1) งานวิจัยเดิมได้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับคนและวัฒนธรรมเพื่อจัดลำดับประวัติศาสตร์วัฒนธรรม (establishing cultural chronology) ของคนที่เคยอาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา ทำให้สามารถกำหนดอายุสมัยได้อย่างกว้างๆ แต่เป็นช่วงเวลาที่ยาวนานตั้งแต่ 32,000-300 ปีมาแล้ว ทำให้ไม่สามารถศึกษาวัฒนธรรมในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างละเอียด 2) ธรรมชาติของหลักฐานประเภทโครงกระดูกคนไม่เอื้ออำนวยต่อการตอบคำถามเรื่องความสัมพันธ์ของประชากรในอดีตหรือการเคลื่อนย้ายของประชากรกลุ่มใหม่ เช่น โครงกระดูกในสมัยไพลสโตซีนตอนปลายค่อนข้างเปราะบาง ผิวกระดูกเปื่อยยุ่ยและแตกหักไม่สมบูรณ์ทั้งโครง ส่วนกระดูกคนในสมัยโฮโลซีนตอนปลาย สมัยวัฒนธรรมโลงไม้ ส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนกระดูกที่แตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ ไม่เป็นโครงสมบูรณ์พอที่จะสามารถจะวิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำ ฟันหลุดออกมาจากกรามและฟันกรามส่วนใหญ่เป็นฟันผุ ไม่สามารถจะนำมาใช้วิเคราะห์ดีเอ็นเอหรือไอโซโทปได้ 3) คำถามในการวิจัยและเทคนิควิธีในการวิเคราะห์หลักฐานโบราณคดีและสิ่งแวดล้อมเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมาแตกต่างจากปัจจุบัน โดยเฉพาะในปัจจุบันมีความก้าวหน้าในเทคนิควิธีที่สามารถวิเคราะห์หลักฐานได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงมากกว่าเดิม และมีนักวิจัยชาวไทยที่สามารถดำเนินการได้เอง เช่น การวิเคราะห์ค่าไอโซโทป (ออกซิเจน 16-ออกซิเจน 18) ของโลงไม้ เพื่อตอบคำถามเรื่องแหล่งที่มาของไม้สัก และหินงอกเพื่อตอบคำถามเรื่องความผันแปรของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ การวิเคราะห์ค่าไอโซโทปจากกระดูกคน การวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะ เพื่อตอบคำถามเรื่องเทคโนโลยีการผลิตและการติดต่อแลกเปลี่ยน แล้วเปรียบเทียบกับโบราณวัตถุที่มีผลการวิเคราะห์จากแหล่งโบราณคดีในภูมิภาคอื่น และ 4) องค์ความรู้ทางวิชาการไม่ได้พัฒนาต่อหลังจากที่โครงการสิ้นสุดลงเมื่อ พ.ศ. 2549 เนื่องจากทำงานวิจัยที่ต่อเนื่องเป็นงานวิจัยเชิงพื้นที่ให้ความสำคัญกับกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนในการอนุรักษ์และจัดการดูแลรักษาแหล่งโบราณคดี รวมทั้งให้ความสำคัญกับการเผยแพร่ความรู้สู่ท้องถิ่น

1.2 ข้อสมมติฐานการวิจัย

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มีความประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยในพื้นที่อำเภอปางมะผ้า ในประเด็นเรื่องการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อม ด้านการปรับตัวทางกายภาพของคนและวัฒนธรรมในช่วงเวลา 10,000-7,500 ปีมาแล้ว และ 2,300-1,000 ปีมาแล้ว ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและวัฒนธรรมเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สามารถจะตรวจสอบข้อสมมติฐานที่กล่าวไว้แล้วในข้างต้นว่า 1) วัฒนธรรมหินกะเทาะสมัยโฮโลซีนตอนต้น (“โอบินเนียน”) เป็นวัฒนธรรมที่ต่อเนื่องจากวัฒนธรรมเดิมคือสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย คนปรับตัวเรื่องการดำรงชีพ เทคโนโลยี ความเชื่อ และการตั้งถิ่นฐานอย่างไร และมีความสัมพันธ์กับชุมชนก่อนประวัติศาสตร์ในระดับท้องถิ่นอื่นๆ ของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้หรือไม่ 2) วัฒนธรรมโลงไม้ในช่วงเวลา 2,300-1,000 ปีเป็นวัฒนธรรมเดิมที่พัฒนาต่อเนื่องจากวัฒนธรรมหินกะเทาะ (โอบินเนียน)-หินใหม่-โลหะ (Gorman, 1977) หรือเป็นประชากรกลุ่มใหม่ที่เป็นชุมชนเกษตรกรรมเคลื่อนย้ายมาจากจีนที่นำวัฒนธรรมใหม่และนวัตกรรมใหม่เกี่ยวกับการทำถลุง-โลหกรรม และรูปแบบพิธีกรรมฝังศพแบบใหม่เข้ามาในพื้นที่อำเภอปางมะผ้า และภาคตะวันตก บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และ 3) งานวิจัยที่ผ่านมา (รัศมี ชูทรงเดช, 2549) พบว่าวัฒนธรรมโลงไม้พบกระจายบริเวณแนวตะวันตกตั้งแต่นานมาแล้วฮองซอน เชียงใหม่ สุโขทัย กาญจนบุรี ลงไปถึงหมู่เกาะเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ เกาะซาบาห์และบอร์เนียว ประเทศมาเลเซีย และฟิลิปปินส์ โดยเฉพาะแนวคิดเรื่องการฝังศพคล้ายกับที่ชุนนาน และรูปแบบของโลงคล้ายกับที่พบจากถ้ำองบะและถ้ำอาบยา จังหวัดกาญจนบุรี โครงการวิจัยนี้จึงจะศึกษาเปรียบเทียบข้าม

วัฒนธรรมเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ทางสังคมและวัฒนธรรมจากวัฒนธรรมโลงไม้ว่าเหมือน/คล้ายคลึงหรือแตกต่างกันอย่างไร (Bellwood, 1997, 2005; Sørensen and Hattling, 1967; ชาร์ลส ไฮแอม และรัชนี ทศรัตน์, 2542)

เลือกพื้นที่ศึกษาเพราะพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้ามีลักษณะสภาพแวดล้อมเฉพาะ (environment circumscription) ที่เป็นภูเขาสูงชันที่ต่อกันเป็นเทือกเขายาว และมีพื้นที่ราบที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นลักษณะภูมิประเทศจึงเป็นเงื่อนไขสำคัญในการปรับตัวของคนทั้งทางกายภาพและวัฒนธรรม และการติดต่อกับชุมชนอื่นๆ จากภายนอกพื้นที่ ทำให้พื้นที่มีวัฒนธรรมเฉพาะที่แตกต่างจากคนที่อยู่บนพื้นที่ราบ เช่น การเลือกใช้ทรัพยากรจากหลายระบบนิเวศ การเลือกทำเลตั้งถิ่นฐานมักจะอยู่บริเวณเชิงเขา สันเขา ถ้ำ/เพิงผาในภูเขาและยอดเขา การเลือกพื้นที่ฝังศพในวัฒนธรรมโลงไม้บนยอดเขาสูงชัน

การปรับตัวทางวัฒนธรรมในช่วงเวลา 10,000-7,500 ปีมาแล้ว จะใช้ข้อมูลเดิมที่เคยสำรวจและขุดค้นมาแล้วในอำเภอปางมะผ้า โดยใช้วิธีการเทคนิคการวิเคราะห์ใหม่ (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 1.5 ระเบียบวิธีการวิจัย) เช่น กระดูกสัตว์ หอย ตัวอย่างดิน ตะกอนของชั้นทับถมทางโบราณคดีจากเพิงผาถ้ำลอด โครงกระดูกคน และเปรียบเทียบกับแหล่งโบราณคดีอื่นๆ ที่มีอายุร่วมสมัยในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ข้อมูลในช่วงเวลานี้มีความจำเป็นสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบและตรวจสอบเรื่องการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมและวัฒนธรรม

ส่วนการปรับตัวทางวัฒนธรรมในช่วงเวลา 2,300-1,000 ปีมาแล้ว จะใช้ข้อมูลเดิมจากการสำรวจและการขุดค้นแหล่งโบราณคดีเพิงผาบ้านไร่ เปรียบเทียบกับข้อมูลใหม่ที่จะดำเนินการศึกษาจากแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไร่หลวงรัก และเปรียบเทียบกับแหล่งโบราณคดีอื่นๆ ที่มีอายุร่วมสมัยและมีข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการขุดค้นทางโบราณคดีในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และยูเนี่ยน ประเทศจีน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของคน เหตุผลที่เลือกศึกษาเพิ่มเติมจากแหล่งโบราณคดีนี้ **เพราะเป็นแหล่งโบราณคดีในวัฒนธรรมโลงไม้ มีข้อมูลค่อนข้างสมบูรณ์ที่สุดเท่าที่เคยพบมาในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้** แม้ว่าจะถูกรื้อค้นและเผาไฟทำลายแหล่งโบราณคดีด้วยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ **แหล่งโบราณคดีนี้มีศักยภาพในวิจัยที่สูงมาก เนื่องจากแหล่งโบราณคดีอื่นๆ ในประเทศไทย เช่น ถ้ำองบะ จังหวัดกาญจนบุรี และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ซาบาห์ ประเทศมาเลเซีย (Chia and Koon, 2003) และจินตอไนใต้ (Ji et al., 2005) ยังไม่เคยพบโครงกระดูกคนร่วมกับโลงไม้จำนวนมากและพบโครงกระดูกภายในโลงที่ปิดฝาอยู่** ข้อมูลจากแหล่งโบราณคดีนี้จะช่วยตอบคำถามในเรื่องประชากรที่อยู่บนพื้นที่สูงในอดีต สิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากร อาหารการกิน การจัดองค์กรทางสังคม ความเชื่อ ฯลฯ สมัยเหล็ก การเลือกขุดค้นแหล่งโบราณคดีวัฒนธรรมโลงไม้เพราะมีข้อมูลที่ดีสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบหลักฐานทางโบราณคดีจากแหล่งโบราณคดีอายุที่เก่ากว่าและระยะเวลาเดียวกันเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีร่องรอยที่ปรากฏบนกระดูกคนที่ชัดเจน สันนิษฐานว่าคนในวัฒนธรรมโลงไม้คงทำกิจกรรมบางอย่างที่ต้องใช้แรงในส่วนแขนและมือมากเป็นพิเศษ และเป็นการทำซ้ำๆ บ่อยๆ เป็นประจำและทำอยู่เป็นเวลานานๆ เนื่องจากร่องรอยการเกาะของกล้ามเนื้อบนกระดูกส่วนแขนและมือพบเห็นเด่นชัดเป็นพิเศษ และจากโบราณวัตถุที่พบร่วมกับกระดูกคนในวัฒนธรรมนี้คือ ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา โลงไม้ เครื่องมือเหล็ก เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าสังคมของคนในวัฒนธรรมโลงไม้ไม่น่าจะมีความซับซ้อน มีการแบ่งงานกันทำแล้ว หรือเกิดมีกลุ่มคนที่เชี่ยวชาญในการทำงานเฉพาะอย่างเกิดขึ้นแล้ว จึงน่าจะเป็นหลักฐานของการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตการดำรงชีพ (กนกนาฏ จินตกานนท์, 2549; นัทธมน ภูริพัฒน์พงศ์, 2549)

ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น งานวิจัยชุดนี้จะตรวจสอบข้อสมมติฐานเกี่ยวกับความต่อเนื่องทางวัฒนธรรมหรือการรับวัฒนธรรมใหม่ในระหว่าง 10,000-1,000 ปีมาแล้ว และตรวจสอบข้อมูลให้การศึกษา

ละเอียดมากขึ้นด้วยการบูรณาการศาสตร์ต่างๆ ร่วมกัน และวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคใหม่จากข้อมูลใหม่และเก่า ซึ่งจะช่วยให้เกิดความกระจ่างและความเข้าใจในเรื่องประชากร สิ่งแวดล้อมโบราณ การปรับตัวทางสังคมและวัฒนธรรมของคนโบราณที่อาศัยบนพื้นที่สูงภายในภาคพื้นทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในช่วงเวลาดังกล่าว

2. โจทย์ของการวิจัย

1. ตรวจสอบหาว่าช่วงเวลาระหว่าง 10,000-1,000 ปีมาแล้ว สิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะฝ้ามีการเปลี่ยนแปลง (environmental change) หรือแปรปรวน (fluctuate) หรือไม่ อย่างไร
2. ตรวจสอบว่าในช่วงเวลาระหว่าง 10,000-1,000 ปีมาแล้ว มนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์การปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมอย่างไรมีพัฒนาการทางวัฒนธรรมที่ต่อเนื่องหรือรับเอาวัฒนธรรมใหม่จากชุมชนภายนอก
3. ตรวจสอบมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ในวัฒนธรรมหินกะเทาะ “โหบินเนียน” (10,000-7,500 ปีมาแล้ว) กับวัฒนธรรมโลงไม้ (2,600-1,000 ปีมาแล้ว) เป็นประชากรกลุ่มเดียวกันหรือไม่
4. ตรวจสอบว่าวัฒนธรรมโลงไม้มีความสัมพันธ์ทางวัฒนธรรมกับชุมชนในจินตอนใต้และภาคตะวันตก หรือไม่

3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสิ่งแวดล้อมโบราณบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะฝ้า
2. เพื่อศึกษาลักษณะและความสัมพันธ์ของประชากรในอดีต
3. เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมกับวัฒนธรรมบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะฝ้าในอดีต โดยเฉพาะการปรับตัวทางวัฒนธรรม
4. เพื่อสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านสำหรับงานโบราณคดีสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในประเทศไทยด้านโบราณคดี มานุษยวิทยากายภาพและวงปีไม้ ซึ่งยังเป็นบุคลากรที่ขาดแคลนอย่างยิ่งของประเทศไทยในปัจจุบัน

4. ขอบเขตการวิจัย

สำหรับขอบเขตด้านพื้นที่ : เลือกศึกษาสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและแหล่งโบราณคดีภายในอำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน และศึกษาเปรียบเทียบข้ามวัฒนธรรมกับแหล่งโบราณคดีร่วมสมัยในประเทศไทย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศจีน เพื่อตรวจสอบความเหมือนหรือความแตกต่างทางวัฒนธรรม

ขอบเขตด้านระยะเวลา : ครอบคลุมเวลาระหว่าง 10,000-1,000 ปีมาแล้ว



แผนภูมิที่ 1 ความสัมพันธ์ของศาสตร์ต่างๆ

5. ระเบียบวิธีการวิจัย

แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ด้านหลักๆ แบ่งเป็น 1) งานด้านโบราณคดีจะตอบคำถามเรื่องวัฒนธรรมและการปฏิสัมพันธ์ของมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปรับตัว 2) งานมานุษยวิทยากายภาพจะตอบปัญหาเรื่องลักษณะของคน และ 3) งานด้านวงปีไม้และสิ่งแวดล้อมและธรณีวิทยาจะตอบคำถามเรื่องของสิ่งแวดล้อม โดยแต่ละศาสตร์มีระเบียบวิธีการศึกษาเพื่อตอบโจทย์วิจัย ดังนี้

1. ด้านโบราณคดี

1.1 การรวบรวมข้อมูลทางโบราณคดี

1.1.1 สำรวจแหล่งที่อยู่อาศัยของแหล่งโบราณคดีในวัฒนธรรมโลงไม้ เพื่อทำความเข้าใจกับระบบการตั้งถิ่นฐาน

1.1.2 สืบเคราะห์และประมวลข้อมูลของแหล่งโบราณคดีและแหล่งทรัพยากร โดยพิจารณาแหล่งโบราณคดีจากระบบนิเวศที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะบริเวณที่ราบในหุบเขาและสันเขา เพื่อศึกษาการปรับตัวของคนในอดีตบนพื้นที่สูง ได้แก่ ระบบการตั้งถิ่นฐานโดยเฉพาะแหล่งที่อยู่อาศัย การใช้พื้นที่และทรัพยากรธรรมชาติ และการดำรงชีพ

1.1.3 ขุดหลุมทดสอบทางโบราณคดี 1 แหล่ง เพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับการศึกษาด้านโบราณคดี มานุษยวิทยากายภาพและสิ่งแวดล้อมโบราณ

1.2 การวิเคราะห์แหล่งโบราณคดี โบราณวัตถุและนิเวศวัตถุต่างๆ จากข้อมูลเดิมและการขุดค้นใหม่ (เช่น กระดูกสัตว์ เมล็ดพืช ละอองเรณู) ในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปตอบคำถามเกี่ยวกับเรื่องสังคมและวัฒนธรรมในอดีต ได้แก่ การตั้งถิ่นฐาน ชีวิตความเป็นอยู่ โครงสร้างทางสังคม สภาพแวดล้อม โบราณ

1.2.1 การวิเคราะห์โบราณวัตถุ (เช่น ภาชนะดินเผา ภาชนะไม้ เครื่องมือหิน เครื่องมือโลหะ โลงไม้ ลูกปัด ฯลฯ) (Hodges, 1989; Sinopoli, 1991) ช่วยตอบคำถามเกี่ยวกับเรื่องวัฒนธรรม และการติดต่อกับชุมชนอื่นๆ

1.2.1.1 การวิเคราะห์โดยการจัดจำแนก (classification)

1.2.1.2 จัดรูปแบบของโบราณวัตถุ (typology)

1.2.2 การวิเคราะห์นิเวศวัตถุช่วยตอบคำถามเกี่ยวกับเรื่องสิ่งแวดล้อมและอาหารการกิน

1.2.2.1 การวิเคราะห์กระดูกสัตว์/หอย (Reitz and Wing, 2008)

1.2.2.2 การวิเคราะห์การสีของฟันสัตว์ (Fortelius and Solounias, 2000)

1.2.2.3 การวิเคราะห์เมล็ดพืช (Hather, 1994)

1.2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโบราณวัตถุ เช่น โบราณวัตถุที่ทำจากโลหะ แก้ว หิน (ทำร่วมกับทีมธรณีวิทยา) (Pollard and Heron, 1996) ช่วยตอบคำถามเรื่องการผลิตว่าทำในท้องถิ่นหรือติดต่อแลกเปลี่ยนกับชุมชนอื่นๆ

1.2.4 การวิเคราะห์การปลงศพ (mortuary analysis) โดยวิเคราะห์จากภูมิทัศน์ ลักษณะของที่ฝังศพ ทิศทางของการฝังศพ รูปแบบของการฝังศพ และรูปแบบหัวโลงของที่พบรวม (Buikstra and Beck, 2006; Goldstein, 2006)

1.2.5 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (spatial analysis) ของการใช้พื้นที่ภายในแหล่งโบราณคดีจากการกระจายตัวของโบราณวัตถุ (Evans, 2003)

1.2.6 การวิเคราะห์ภูมิทัศน์และระบบสัญลักษณ์ (landscape and symbolic system) โดยวิเคราะห์จากการกระจายตัวของแหล่งโบราณคดีประเภทต่างๆ ภายในพื้นที่วิจัย (Evans, 2003)

1.2.7 การกำหนดอายุด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ (Renfrew and Bahn, 2012)

1.2.7.1 คาร์บอน-14

1.2.7.2 เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

1.3 การสังเคราะห์และประมวลผลหลักฐานทางโบราณคดีทั้งหมด

1.4 ตีความหลักฐานทางโบราณคดี

2. ด้านมานุษยวิทยากายภาพ (โครงกระดูกคน)

2.1 การศึกษาวิเคราะห์โครงกระดูกและชิ้นส่วนกระดูก

2.1.1. การสังเกตและเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของกระดูก (physical appearance) ทั้งที่วัดได้ (metric traits) และวัดไม่ได้ (non-metric traits) โดยศึกษาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

2.1.1.1 การหาจำนวนคนอย่างน้อยที่สุด (minimum number of individual) โดยการคัดแยกและจำแนกกระดูกแต่ละชิ้น แล้วนับจำนวนบุคคลเพื่อทราบจำนวนประชากรอย่างน้อยที่สุด ซึ่งอ้างอิงจากจำนวนของกระดูกที่เป็นตัวแทนบุคคลหนึ่งๆ

2.1.1.2 ประชากรศาสตร์ (Demography) คือการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของโครงกระดูก ดังนี้

- เพศ (sex) ใช้ลักษณะของกระดูกเชิงกราน (pelvis) และกะโหลกศีรษะ (skull) เป็นตัวบ่งชี้เพศชาย / หญิง (เฉพาะในโครงกระดูกผู้ใหญ่) โดยใช้เกณฑ์เปรียบเทียบอ้างอิงจาก Buikstra & Ubelaker (1994)

- อายุเมื่อตาย (age at death) ในโครงกระดูกเด็ก ใช้เกณฑ์การเจริญเติบโตของร่างกายเป็นหลัก เช่น พัฒนาการการขึ้นของฟัน ความยาวของกระดูกแขนขา การเชื่อมตัวของส่วนปลายของกระดูกแขนขา (epiphysis) ที่เชื่อมตามลำดับช่วงอายุ โดยใช้เกณฑ์เปรียบเทียบอ้างอิงจาก Schaefer *et al.* (2009) ส่วนใน โครงกระดูกผู้ใหญ่วิเคราะห์ได้จากการเสื่อมสภาพของกระดูกเป็นสำคัญ เช่น อัตราการเสื่อมสภาพของข้อต่อกระดูกหัวเหน่า (pubic symphysis) โดยใช้เกณฑ์เปรียบเทียบอ้างอิงจาก Brooks & Suchey (1994) สภาพของข้อต่อกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการเสื่อมของข้อต่อกระดูกสันหลังช่วงเอว (lumbar vertebrae) และหัวเข่า (knee joint) (Buikstra & Ubelaker, 1994) อัตราการสึกของฟันกราม (molar teeth) (Brothwell, 1981)

- ส่วนสูง (stature) ใช้วิธีการวัดความยาวกระดูกยาว คือ กระดูกส่วนขา และแขน แล้วนำไปแทนค่าในสูตรคำนวณความสูงของโครงกระดูก โดยใช้สูตรสมการที่ศึกษาจากความยาวของ long bones ของคนไทยปัจจุบัน (Purepatpong *et al.*, 2012)

2.1.1.3 วิธีการดำรงชีพของคนในอดีต โดยสังเกตจากร่องรอยการใช้งานของกล้ามเนื้อบนกระดูก (musculoskeletal stress markers) การปรากฏร่องรอยการเกาะของกล้ามเนื้อที่ชัดเจนบนกระดูก สามารถอธิบายถึงแบบแผนการดำรงชีวิตของเจ้าของโครงกระดูกที่เชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อมในอดีตผ่านพฤติกรรมในการดำรงชีพ (Kennedy, 1989)

2.1.1.4 สุขภาพอนามัยและโรคภัยไข้เจ็บ (health and pathology) ของคนในอดีต โรคและความผิดปกติที่อาจพบในโครงกระดูกคนโบราณมีหลายลักษณะ เช่น กระดูกหักหรือแตก (trauma) กระดูกอักเสบเนื่องจากการติดเชื้อแบคทีเรีย เช่น วัณโรค (tuberculosis) ข้อต่อกระดูกเสื่อมสภาพ (osteoarthritis) เนื้องอกของกระดูก

(neoplastic disease or bone tumour) ภาวะกระดูกพรุน (osteoporosis) โรคโลหิตจาง (deficiency anemia) โรคในช่องปาก เช่น ฟันผุ (dental caries) เหงือกอักเสบหรือปริทันต์ (periodontitis) (Roberts & Manchester, 1995; Ortner&Putschar, 1985) ร่องรอยของโรคบางอย่างที่ปรากฏบนกระดูกและฟัน อาจส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตหรือความสูงของร่างกายได้ (Larsen, 1997) มีข้อค้นพบจากนักวิชาการหลายคนกล่าวตรงกันว่าอัตราความถี่ในการพบร่องรอย enamel hypoplasias และฟันผุในฟันของโครงกระดูกสมัยยุคที่เข้าสู่สังคมเกษตรกรรมมีเพิ่มมากขึ้นกว่าในยุคหาของป่าล่าสัตว์ แสดงถึงความตึงเครียดที่ส่งผลกระทบต่อสภาพร่างกายที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อสังคมเจริญเติบโตและซับซ้อนมากขึ้น มีการอยู่อาศัยอย่างเป็นหลักแหล่งถาวร และมีจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น (Cohen and Armelagos, 1984; Lukacs, 1989) นอกจากนี้ยังมีร่องรอยของโรคที่ปรากฏบนกระดูกที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในยุคหินใหม่ ซึ่งเป็นยุคแรกเริ่มของการทำเกษตรกรรม เช่น โรคกระดูกอ่อนเนื่องจากการขาดวิตามินซี เช่น scurvy, rickets, ภาวะการขาดธาตุเหล็ก (iron-deficiency anemia) โดยปกติภาวะการขาดสารอาหารจะกระทบต่อร่างกายของคนเราได้มากและไวที่สุดในช่วงอายุ 6 เดือนจนถึง 2-3 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ร่างกายของเด็กต้องการสารอาหารเพื่อเสริมสร้างการเจริญเติบโตอย่างมาก ดังนั้นในช่วงอายุนี้นี้ร่างกายมนุษย์จะได้รับผลกระทบจากสภาวะที่ตึงเครียดอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (Stuart-Macadam, 1989) ในเรื่องของโรคภัยไข้เจ็บของคนในวัฒนธรรมโลงไม้ พบรอยโรคที่ปรากฏบนกะโหลกศีรษะ ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงภาวะของการขาดธาตุเหล็กในร่างกาย และร่องรอยของเชื้อหุ้มผิวกระดูกอักเสบ ซึ่งรอยโรคทั้งสองอย่างนี้อาจมีสาเหตุมาจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสภาพร่างกายอ้างอิงจากการศึกษาของนักวิชาการต่างๆ ได้กล่าวไว้ว่าการขาดธาตุเหล็กในร่างกายอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตจากการหาของป่าล่าสัตว์ไปเป็นการเพาะปลูกและกินพืชเป็นอาหารหลัก (Kent, 1992; Stuart-Macadam, 1992; Robert & Manchester, 1997)

2.2 การวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุล (Biomolecular analysis) คือ การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical analysis)

2.2.1 ดีเอ็นเอ (DNA) เพื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของกลุ่มคนทางสายเลือด (Brown & Brown, 1992; Brown, 2001) วิธีการสกัดใช้พันธุกรรมที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกหรือเป็นรูจากการผุกร่อน นำมาบดจนเป็นผงละเอียด แล้วนำไปสกัดโดยใช้กระบวนการทางเคมี เมื่อได้สารสกัดดีเอ็นเอจากผงฟันแล้วจึงนำไปทำ PCR เพื่อเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ จากนั้นจึงนำไปทำ DNA sequencing คือการหาลำดับของดีเอ็นเอ (Lertit et al., 2008) เพื่อนำไปเทียบกับฐานข้อมูลของ DNA ในกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ ที่ได้เก็บข้อมูลไว้แล้ว เพื่อหาความสัมพันธ์ของกลุ่มคนในอดีตว่าจะมีความเกี่ยวข้องในเชิงพันธุศาสตร์กับกลุ่มชาติพันธุ์ใดในปัจจุบันบ้างหรือไม่ โดยขอความอนุเคราะห์การดำเนินงานในห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์

จาก ศาสตราจารย์ พญ. ดร. พัชรีย์ เลิศฤทธิ์ ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

2.2.2 การตรวจหาค่าไอโซโทป (isotope) จากกระดูก เพื่อค้นหาคำตอบเกี่ยวกับโภชนาการ (nutrition) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของคนกับสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการตั้งถิ่นฐานและอพยพโยกย้ายของผู้คนในอดีต (Evershed *et al.*, 1995) การสกัดหาค่าไอโซโทปใช้โปรแกรมชี้ที่ 1 กระดูกต้นขาหรือซี่โครงที่มีสภาพสมบูรณ์เพียงพอที่จะยังคงมีธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน (Carbon) ไนโตรเจน (Nitrogen) ออกซิเจน (Oxygen) และสตรอนเทียม (Strontium) ภายในกระดูกและฟันเอาไว้ได้พอเพียงที่จะสกัดหาค่าไอโซโทปออกมาได้ โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า irm-GC/MS (isotope Ratio Monitoring/Gas Chromatography/mass Spectrometry) (Stott *et al.*, 1999) เพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับระบบโภชนาการ (จาก Carbon isotope) และสภาพแวดล้อมในอดีต (จาก Strontium isotope) นอกจากนี้ยังอาจนำกระดูกสัตว์ทั้งที่พบในแหล่งโบราณคดีและกระดูกสัตว์ปัจจุบันในท้องถิ่นไปสกัดหาค่าสตรอนเทียมไอโซโทปด้วย เพื่อจะสามารถนำผลที่ได้มาขยายภาพของสิ่งแวดล้อมในอดีตได้กว้างขวางและชัดเจนขึ้น โดยขอความอนุเคราะห์การดำเนินงานในห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์จาก ดร. ไบรอัน คิสโฮล์ม (Brian Chisholm) มหาวิทยาลัยบริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา

2.3 การตรวจสอบเรื่องความสัมพันธ์ในเชิงกายภาพของกลุ่มคน ศึกษาโดยนำบางส่วนของกะโหลกศีรษะที่สมบูรณ์และวัดได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมจากโครงการก่อน รวมทั้งนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของกะโหลกศีรษะจากแหล่งอื่นๆ ในประเทศไทย เช่น เปรียบเทียบกับวัฒนธรรมและช่วงเวลาเดียวกันที่แหล่งถ้ำโลงไม้บ้านน้ำสุาเหือและถ้ำลูกข้าวหลาม อำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เปรียบเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันแต่ต่างวัฒนธรรม เช่น แหล่งโบราณคดีเนินอุโลก โนนวัด จังหวัดนครราชสีมา บ้านเชียง จังหวัดอุดรธานี บ้านวังไฮ จังหวัดลำพูน ประดู่ผา จังหวัดลำปาง ออบหลวง จังหวัดเชียงใหม่ โลกพนมดี จังหวัดชลบุรี หรืออาจเปรียบเทียบกับแหล่งวัฒนธรรมและช่วงเวลาเก่าลงไปกว่านั้น เช่น แหล่งโบราณคดีถ้ำพระ อำเภอยะรัง จังหวัดกาญจนบุรี ถ้ำหมอบี๋ จังหวัดกระบี่ ถ้ำชาโก จังหวัดตรัง หรือหากเป็นไปได้อาจนำข้อมูลไปศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลกะโหลกศีรษะจากแหล่งโบราณคดีในประเทศเวียดนาม ฟิลิปปินส์ และจีนตอนใต้

2.4 การศึกษาโครงกระดูกในประเด็นเกี่ยวข้องกับประเพณีวัฒนธรรมการฝังศพ ศึกษาโดยสังเกตและเก็บข้อมูลจากการขุดค้น โดยวิเคราะห์ร่วมกับงานวิจัยด้านโบราณคดีในประเด็นดังนี้

2.4.1 การเรียงตัวและการวางตัวของโครงกระดูก

2.4.2 จำนวนบุคคลที่พบในพื้นที่หนึ่งๆ ของหลุมขุดค้น

2.4.3 การวิเคราะห์เรื่องประเพณีการฝังศพร่วมกับโบราณวัตถุประเภทต่างๆ

2.5 การสังเคราะห์และประมวลผลหลักฐานทางด้านมานุษยวิทยาทุกภาพทั้งหมด

2.6 ตีความหลักฐานทางด้านมานุษยวิทยาทุกภาพ

3. ด้านมานุษยวิทยากายภาพ (ฟัน)

การศึกษาฟันแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1 การศึกษาโดยใช้ CT-Scan

3.1.1 เป็นการเก็บข้อมูลทางกายภาพทั้งภาพในและภายนอกของฟัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับฟันจากแหล่งโบราณคดีในยุควัฒนธรรมโลงไม้จากถ้ำอื่นที่ได้ศึกษามาก่อน

3.1.2 นอกจากนี้การทำ CT-Scan ยังเป็นการเก็บข้อมูลของฟันที่จะถูกทำลายลงในขบวนการศึกษา DNA และการหารูปแบบไอโซโทป (isotopic signature) ที่จะทำในขั้นตอนต่อไป แต่ข้อมูลทางกายภาพนี้จะถูกเก็บไว้และสามารถนำมาวิเคราะห์ซ้ำใหม่ได้

3.2 การวิเคราะห์ไอโซโทปเป็นการหารูปแบบไอโซโทป ลักษณะการกระจายของไอโซโทปเสถียร (stable isotopes) จากส่วนต่างๆ ของฟันโดยคาดว่าจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

3.2.1 ลักษณะของอาหาร เพื่อหาแหล่งที่มาของอาหาร

3.2.2 ระดับการกินอาหาร (trophic level) ว่าอยู่ส่วนใดของห่วงโซ่อาหาร (กินพืชหรือสัตว์)

3.2.3 การเจริญเติบโตและพัฒนาการ รูปแบบของอาหารที่เปลี่ยนไปตามช่วงอายุในแต่ละคน

3.2.4 ความแตกต่างในหมู่ประชากรว่าเป็นคนในกลุ่มเดียวกัน มาจากพื้นที่เดียวกันหรือไม่ (population heterogeneity)

3.2.5 ประชากรกลุ่มนี้เคลื่อนย้ายมาจากที่อื่นหรือไม่ (track migration) โดยเปรียบเทียบกับรูปแบบไอโซโทปจากน้ำ ปืช และสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง การศึกษารูปแบบของไอโซโทปในฟันมีข้อได้เปรียบกว่าการศึกษาจากส่วนอื่นๆ ของร่างกาย คือ

- ฟันเป็นอวัยวะที่แข็งแรงคงทนที่สุดในร่างกายมนุษย์ จึงมักพบในแหล่งโบราณคดีว่าอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์มากกว่า ผม ขน เล็บ หรือกระดูก
- ฟันเป็นระบบปิด ไม่ติดต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ถ้าไม่แตกหัก โอกาสที่จะถูกปนเปื้อนจะน้อยกว่าอวัยวะอื่นๆ
- การสร้างของฟันในช่วงต่างๆ มีรูปแบบแน่นอน เมื่อส่วนนั้นได้สร้างไปแล้วจะไม่ซ่อมสร้างกลับไปใหม่ ไม่สร้างแบบหมุนเวียนเหมือนกระดูกที่แลกเปลี่ยนกับระบบเลือดอยู่เสมอ ซึ่งหมายความว่าการศึกษาฟันจะบอกได้ว่าศึกษาที่คนอายุเท่าไร เช่น รูปแบบของไอโซโทปในคนเดียวกัน

ก. การศึกษาฟันกรามแท่นซี่ที่หนึ่ง

- ถ้าศึกษาบริเวณเคลือบฟันจะเป็นการศึกษาที่บุคคลนั้นมีอายุประมาณ 6 เดือน
- ถ้าศึกษาบริเวณปลายรากฟันจะเป็นการศึกษาที่บุคคลนั้นมีอายุประมาณ 2.5 ปี

ข. การศึกษาฟันกรามแท่นซี่ที่สาม

- ถ้าศึกษาบริเวณเคลือบฟันจะเป็นการศึกษาที่บุคคลนั้นมีอายุประมาณ 12-16 ปี
- ถ้าศึกษาบริเวณปลายรากฟันจะเป็นการศึกษาที่บุคคลนั้นมีอายุประมาณ 18-25 ปี

ผลการศึกษาจากฟันสองซี่นี้จะทำให้ทราบว่าลักษณะการกินอาหารของผู้ที่เปลี่ยน
อย่างไรตลอดช่วงเวลาตั้งแต่เป็นทารก เด็ก และผู้ใหญ่ รวมทั้งได้ย้ายที่อยู่ในช่วงอายุ
เหล่านี้หรือไม่

3.3 การสังเคราะห์และประมวลผลหลักฐานทางด้านมานุษยวิทยากายภาพทั้งหมด

3.4 ตีความหลักฐานทางด้านมานุษยวิทยากายภาพ

ตารางที่ 1 อายุกับการสร้างฟันน้ำนมซี่ต่างๆ

Maxillary (upper) teeth					
Primary teeth	Central incisor	Lateral incisor	Canine	First molar	Second molar
Initial calcification	14 wk I.U.	16 wk I.U.	17 wk I.U.	15.5 wk I.U.	19 wk I.U.
Crown completed	1.5 mo	2.5 mo	9 mo	6 mo	11 mo
Root completed	1.5 yr	2 yr	3.25 yr	2.5 yr	3 yr
Mandibular (lower) teeth					
Initial calcification	14 wk I.U.	16 wk I.U.	17 wk I.U.	15.5 wk I.U.	18 wk I.U.
Crown completed	2.5 mo	3 mo	9 mo	5.5 mo	10 mo
Root completed	1.5 yr	1.5 yr	3.25 yr	2.5 yr	3 yr

ตารางที่ 2 อายุกับการสร้างฟันแท้ซี่ต่างๆ

Maxillary (upper) teeth								
Permanent teeth	Central incisor	Lateral incisor	Canine	First premolar	Second premolar	First molar	Second molar	Third molar
Initial calcification	3-4 mo	10-12 mo	4-5 mo	1.5-1.75 yr	2-2.25 yr	at birth	2.5-3 yr	7-9 yr
Crown completed	4-5 yr	4-5 yr	6-7 yr	5-6 yr	6-7 yr	2.5-3 yr	7-8 yr	12-16 yr
Root completed	10 yr	11 yr	13-15 yr	12-13 yr	12-14 yr	9-10 yr	14-16 yr	18-25 yr
Mandibular (lower) teeth								
Initial calcification	3-4 mo	3-4 mo	4-5 mo	1.5-2 yr	2.25-2.5 yr	at birth	2.5-3 yr	8-10 yr
Crown completed	4-5 yr	4-5 yr	6-7 yr	5-6 yr	6-7 yr	2.5-3 yr	7-8 yr	12-16 yr
Root completed	9 yr	10 yr	12-14 yr	12-13 yr	13-14 yr	9-10 yr	14-15 yr	18-25 yr

4. ด้านสิ่งแวดล้อม

การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยข้อมูล 3 ประเภท คือ 1) ตัวอย่างหินงอก 2) ตัวอย่างโลงไม้ และ 3) ตัวอย่างละอองเรณู ซึ่งจะช่วยตอบโจทย์เรื่องการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลา สำหรับวิธีการเก็บตัวอย่าง เตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์ มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

4.1 หินงอก

4.1.1 เลือกถ้ำตัวอย่างจำนวน 2 ถ้ำ ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าถ้ำน้ำลอด ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าลุ่มน้ำปาย อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

4.1.2 เก็บตัวอย่างหินงอกจำนวน 2 ถ้ำ ต่อ 1 ถ้ำ โดยพิจารณาหินงอกที่ยังมีชีวิตอยู่โดยสังเกตจากบริเวณส่วนบนสุดที่ยังขึ้นด้วยน้ำ รูปร่างหินควรเป็นรูปแท่ง และเก็บตัวอย่างโดยการใช้ค้อนธรณีเคาะบริเวณฐานของหินงอกโดยรอบเพื่อให้ถึงบริเวณที่เป็นจุดกำเนิดและดันให้หลุดออกจากพื้นที่เกาะยึด จากนั้นระบุชื่อของตัวอย่าง

4.1.3 ผ่าตัวอย่างด้วยเครื่องมือตัดหินในแนวตั้ง จากปลายยอดของหินงอกมาสู่ฐาน เพื่อให้เห็นโครงสร้างของการเกิดขึ้นของหินงอกและทำความสะอาดตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น

4.1.4 จัดผิวหน้าเพื่อให้เห็นวงหรือชั้นอย่างชัดเจน

4.1.5 ใช้เครื่องมือกรอพื้นหัวเจาะขนาด 0.9 มิลลิเมตร เจาะตัวอย่างหินตามแนววง โดยปริมาณตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อวง เพื่อไปหาอายุโดยเทอร์เรียม-230 (230Th)

4.1.6 หาอายุโดยเทอร์เรียม-230 (230Th) โดยใช้เครื่อง Magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS, Finnigan Element) (วิธีการอย่างละเอียดระบุไว้ในการศึกษาของ Cai *et al.*, 2010)

4.1.7 นำหินงอกที่ตัดแล้วไปสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ที่มีความละเอียดสูง (microtek) โดยตั้งค่าความละเอียดที่ RGB/3200 dpi

4.1.8 นำภาพที่ได้จากการสแกนมาระบุตำแหน่งของวงหินและนับจำนวนวงหินโดยการใช้โปรแกรม Adobe Photoshop (วิธีการอย่างละเอียดระบุไว้ในการศึกษาของ Cai *et al.* (2010) และ Muangsong *et al.* (2011))

4.1.9 วัดค่าอัตราคาร์บอน-12 และระดับสีเทาโดยใช้โปรแกรม Image-Pro Plus 5.1 (วิธีการอย่างละเอียดระบุไว้ในการศึกษาของ Cai *et al.* (2010) และ Muangsong *et al.* (2011))

4.1.10 นำค่าอายุจากเทอร์เรียม-230 มาเปรียบเทียบกับค่าอายุที่ได้จากการนับจำนวนวงเพื่อให้ทราบค่าอายุของหินงอก

4.1.11 ใช้เครื่องมือกรอพื้นหัวเจาะขนาด 0.3 มิลลิเมตร เจาะตัวอย่างหินตามแนวเดิบบนของหินเป็นมิลลิเมตร ตั้งแต่บริเวณฐานจนถึงปลายบนสุดของหินงอกทุกๆ 1 มิลลิเมตร มีปริมาณประมาณ 150 ไมโครกรัมต่อหนึ่งตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าออกซิเจน-18

4.1.12 วิเคราะห์ค่าออกซิเจน-18 โดยใช้เครื่อง MAT-253 Mass spectrometer (วิธีการอย่างละเอียดระบุไว้ในการศึกษาของ Cai *et al.* (2010))

4.1.13 ตัวอย่างหินงอกที่เสร็จสิ้นหรือเหลือจากการศึกษาวิจัย จะนำไปเก็บรักษาเพื่อการศึกษาในลำดับต่อไปที่คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

4.1.14 นำค่าออกซิเจน-18 อัตราการเติบโตและระดับสีเทาของหินงอก ไปเปรียบเทียบ (calibration) กับข้อมูลภูมิอากาศในระดับท้องถิ่น (local-scale climate data) จากสถานีตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลภูมิอากาศในระดับพื้นที่กว้าง (large-scale climate data) โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ

4.1.15 สร้างเส้นดัชนีภูมิอากาศในอดีตและวิเคราะห์ถึงรูปแบบและปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย (Bradley, 1999)

4.2 ตัวอย่างไม้จากโลงไม้

4.2.1 ตัวอย่างโลงไม้จากถ้ำผีแมนโลงลงรัก เนื่องจากตัวอย่างไม้ที่นำมาทำโลงจะถูกตัดมาก่อน และไม้ที่ราบปีที่ตัดต้นไม้ ดังนั้นหลักการในการทำงานด้านวงปีไม้สำหรับไม้ที่ไม่มีชีวิตคือการวัดและนับขนาดความกว้างวงปี และนำกราฟเส้นของแต่ละตัวอย่างมาซ้อนทับโดยทั่วไปต้นไม้ที่เจริญเติบโตมาจากสภาพสิ่งแวดล้อมเดียวกันหรือใกล้เคียงกันจะมีรูปแบบการเจริญเติบโต (รูปแบบของกราฟเส้นวงปี) ที่คล้ายคลึงกัน

4.2.2 ตัวอย่างโลงไม้เดิม

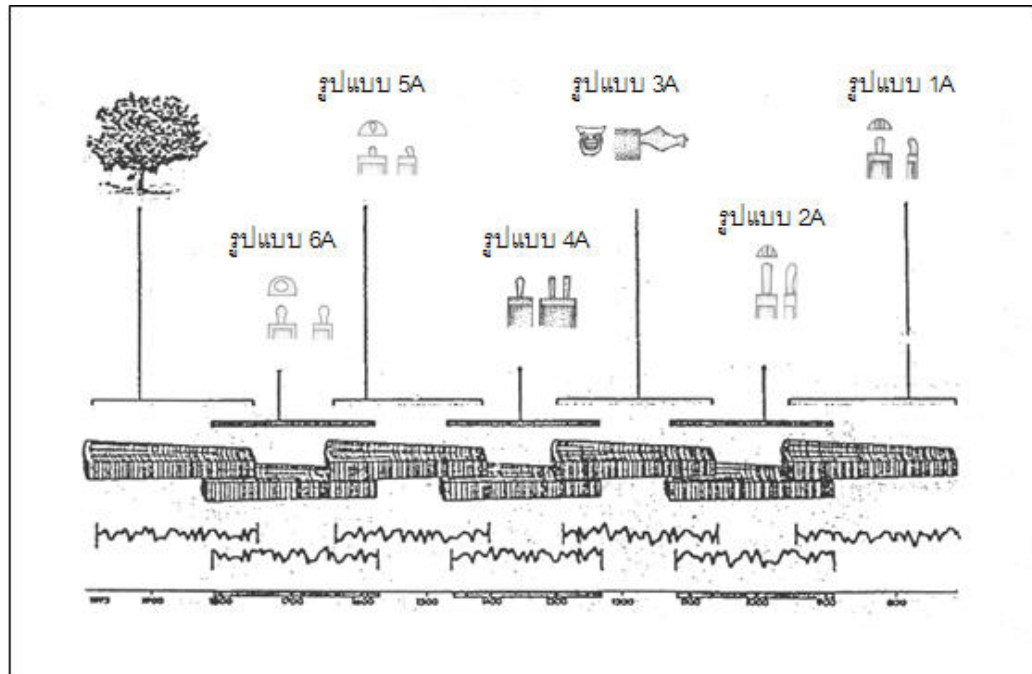
- ตัวอย่างโลงไม้เดิมที่จัดเป็นกลุ่มชุดตัวอย่างอายุลอย จะนำมาลองเทียบเคียงรูปแบบการเจริญเติบโตกับตัวอย่างที่ได้จากถ้ำใหม่
- ตัวอย่างไม้เดิม ในชุดข้อมูลที่มีจำนวนอายุค่อนข้างมาก (มากกว่า 150 วงปี) จะคัดเลือกเพื่อวิเคราะห์ค่าไอโซโทปออกซิเจน-18 และ คาร์บอน-16
- นำผลการวิเคราะห์และอภิปรายรวมทั้งโลงไม้เดิมและโลงไม้ที่ได้จากถ้ำใหม่

4.3 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาละอองเรณู

- 4.3.1 ใช้ดินตัวอย่างที่ขุดขึ้นจากแหล่งโบราณคดี เพื่อวิเคราะห์หาละอองเรณูในแต่ละชั้นดิน
- 4.3.2 หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการขุดชั้นดินตะกอนในการศึกษาละอองเรณู
- 4.3.3 วิเคราะห์ละอองเรณู ชนิด และปริมาณ (วิธีการโดยละเอียดใน Trikanchanawattana, 2005)
- 4.3.4 จัดทำไดอะแกรม
- 4.3.5 กำหนดอายุหลักฐานที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบด้วยวิธี AMS C14

4.4 การสังเคราะห์และประมวลผลหลักฐานทางด้านวงปีไม้และสิ่งแวดล้อมทั้งหมด

4.5 ศึกษาหลักฐานทางด้านวงปีไม้และสิ่งแวดล้อมทั้งหมด



รูปที่ 1 เปรียบเทียบรูปแบบของวงปีไม้ที่นำมาจากหัวโลงรูปแบบต่างๆ

5. ด้านธรณีวิทยา

การวิเคราะห์ทางด้านธรณีวิทยาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สิ่งแวดล้อมทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของโบราณวัตถุ ซึ่งจะช่วยตอบคำถามในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศจากโครงสร้างของธรณีสัณฐานและตะกอน ส่วนเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรมจะตรวจสอบจากองค์ประกอบทางเคมีของโบราณวัตถุประเภทต่างๆ

5.1 วิธีทางธรณีวิทยา

5.1.1 ศึกษาธรณีสัณฐานวิทยา (Geomorphology) ในแนวกว้างของถ้ำและพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อบรรยายลักษณะทั่วไปและธรณีประวัติของถ้ำและบริเวณใกล้เคียง เชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมในอดีต วิธีการโดยหลักคือลงพื้นที่ สัมภาษณ์คนในท้องถิ่น และศึกษาจากเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1.2 ลักษณะตะกอนถ้ำและตะกอนจากแหล่งโบราณคดีเพิงผาลอดและเพิงผาบ้านไร่ ทั้งตะกอนที่แข็งตัวแล้ว (consolidated sediments) ได้แก่ speleothems และตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (unconsolidated sediments) ได้แก่ อนุภาคกรวด (gravel) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และ ดิน (clay) ในแหล่งโบราณคดีมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิอากาศบรรพกาลอย่างไร กระบวนการผุพังอยู่กับที่ (weathering) และกระบวนการกร่อน (erosion) กระบวนการพัดพา (transportation) และกระบวนการทับถม (deposition) รวมถึงแหล่งที่มาของตะกอน (sources) สภาพแวดล้อมของการตกตะกอน และกระบวนการก่อตัวใหม่ (diagenesis: กระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากตะกอนทับถมกันแล้ว) ว่าเป็นแบบไหน นอกจากนั้นตะกอนอินทรีย์ที่อาจพบเกิดร่วม เช่น ซากดึกดำบรรพ์ (fossils)

5.1.3 ศึกษาธรณีสัณฐานวิทยาในระดับเล็กในหลุมขุดค้น (microgeomorphology) (เช่น French, 2003; Kooistra and Kooistra, 2003) เพื่อค้นหาระดับพื้นผิวเดิม (paleosurface) และ

หลักฐานอื่นๆ ซึ่งประยุกต์วิธีการทางปฐพีวิทยา (pedological method) ธรณีสัณฐานวิทยา (geomorphological method) และตะกอนวิทยา (sedimentological method) เพื่อช่วยแปลความ (เช่น Holdaway and Fanning, 2008). วิธีการคือเก็บตัวอย่างตะกอนในหลุมขุดค้นโครงกระดูก โดยให้ตัวอย่างถูกรบกวนน้อยที่สุด แล้วนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ 2 ตา จากนั้นนำตัวอย่างไปตัดเป็นแผ่นหिनบาง (เช่น Angelucci, 2003) เพื่อศึกษาข้อมูลทางแร่วิทยาของตัวอย่าง (Deer *et al.*, 1996) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา (Petrography) โดยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์, X-ray diffractometer (XRD) และ Electron microprobe (EPMA) ผลการศึกษาที่ได้ใช้ประกอบการอธิบายถึงชนิดและแหล่งที่มาของตะกอน ประวัติของตะกอน สภาพแวดล้อมการตกตะกอน

5.1.4 แร่วิทยาเชิงโบราณคดี (Archaeomineralogy) โบราณวัตถุ รวมทั้งกระดูกและฟันของมนุษย์สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ภายใต้หลักวิชาแร่วิทยาเชิงโบราณคดี (Archaeomineralogy) (Rapp, 2009) เช่น โบราณวัตถุชนิดต่างๆ เช่น เศษภาชนะแตก แก้ว โลหะ อวูร หิน แร่ เปลือกหอย เขาสัตว์ กระดูก เม็ดสี การวิเคราะห์สามารถบอกได้ถึงชนิดและธาตุองค์ประกอบทางเคมี หรือส่วนผสม (กรณีโลหะ) หรือเทคนิคที่ใช้ เช่น เครื่องมือพื้นฐานในการวิเคราะห์โบราณวัตถุ, SEM-EDS (Scanning electron microscope equipped with Energy dispersive spectrometer), XRD, EPMA, XRF (X-ray fluorescence) FTIR (Fourier transform Infrared spectrometry) และ Raman microprobe (เช่น Piga *et al.*, 2011) นอกจากนั้นใช้ ICP- AES/MS และ Mass spectrometer วิเคราะห์หา Trace elements, REEs (Rare Earth Elements) หรือ ไอโซโทป (หากจำเป็น) (Gillieson, 1996; Leng 2006) ซึ่งข้อมูลที่ได้สะท้อนถึงความเป็นอยู่ในอดีต อาจเชื่อมโยงถึงวัฒนธรรม การติดต่อกับสังคมต่างถิ่น รวมทั้งอาจบอกถึงแหล่งที่มาของสิ่งของเหล่านั้น และสภาพแวดล้อมได้

5.2 การสังเคราะห์และประมวลผลหลักฐานทางด้านธรณีวิทยาทั้งหมด

5.3 ตีความหลักฐานทางด้านธรณีวิทยา

6. การอภิปรายผลการศึกษาและตีความ

การสังเคราะห์และบูรณาการผลการวิเคราะห์จากศาสตร์ต่างๆ เพื่อนำมาอภิปรายและตีความผลการวิจัยว่าได้ตอบโจทย์วิจัยและวัตถุประสงค์หรือไม่ ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดของโครงการและอาจจะมีข้อเสนอแนะหรือคัดค้านข้อสมมติฐานเดิมหรือสร้างข้อสมมติฐานใหม่ ซึ่งถือว่าเป็นการสร้างความคิดค้นแบบในทางวิชาการ โบราณคดีและสาขาที่เกี่ยวข้อง

7. สรุปผลการวิจัยในรอบสามปี (1 มกราคม 2556-31 มกราคม 2558 ขยายเวลาถึง 30 เมษายน 2559)

โครงการวิจัยดำเนินการตั้งแต่เดือน 1 มกราคม 2556-30 เมษายน 2559 เป็นระยะเวลา 3 ปี 4 เดือน สรุปผลวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

7.1 องค์ความรู้ทางวิชาการ

7.1.1 โครงการวิจัยได้ต่อยอดจากงานวิจัยเดิมและสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่ลึกซึ้งกว่างานวิจัยโครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะที่หนึ่งและสอง โดยเฉพาะการวิเคราะห์หินสัตว์และเครื่องมือหินกะเทาะที่มีความละเอียดมากขึ้น ทำให้จัดจำแนกหินและระบุชนิดสัตว์ได้มากขึ้นกว่างานวิจัยเดิม ทำให้ทราบถึงความหลากหลายของวงศ์วัว-ควายที่พบจากแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด ซึ่งปัจจุบันแทบไม่หลงเหลืออยู่ และเป็นหลักฐานสำคัญที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย-โฮโลซีนตอนต้นที่มีอากาศแปรปรวน ชุ่มชื้นและแห้งแล้ง และส่วนเทคนิคการทำเครื่องมือหินกะเทาะมีการวิเคราะห์รายละเอียดเรื่องกระบวนการผลิต ทำให้ทราบว่ามีการคัดสรรขนาดและเลือกชนิดของหินมาทำเป็นเครื่องมือเครื่องใช้

7.1.2 ส่วนข้อมูลใหม่จากการขุดค้นแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน-โลงหลวง ซึ่งพบหลักฐานทางโบราณคดีที่สมบูรณ์ที่สุดเท่าที่เคยมีการศึกษามากในอำเภอปางมะผ้าและประเทศไทย แม้ว่าหลักฐานจะถูกเคลื่อนย้ายและทำลายไปส่วนหนึ่ง แต่ยังมีหลักฐานโบราณคดีที่อยู่ใต้ดินและภายในพื้นถ้ำจำนวนมากพอที่จะสืบสร้างอดีตได้ การค้นพบหลักฐานทางโบราณคดีที่สำคัญและขยายพรมแดนความรู้เกี่ยวกับวัฒนธรรมโลงไม้ คือ ก) ผลการกำหนดอายุคาร์บอน 14 จำนวน 18 ตัวอย่าง ทำให้ทราบอายุสมัยที่ละเอียดของถ้ำผีแมน-โลงหลวงมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 324 ปี อายุระหว่าง 1,636-1,960 ปีมาแล้ว หรือพุทธศตวรรษที่ 6-11 ข) โครงกระดูกคนที่สามารถนับเป็นจำนวนคนที่น้อยที่สุดสำหรับหนึ่งถ้ำได้ถึง 125 คน ทั้งผู้ใหญ่ เพศชาย-หญิง และเด็ก ซึ่งเป็นจำนวนคนที่มากที่สุดเท่าที่เคยศึกษามา มีลักษณะทางกายภาพและฟันคล้ายคนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ค) พิธีกรรมการปลงศพมีการปลงศพที่หลากหลายรูปแบบ เช่น การฝังศพครั้งที่ 1 การฝังศพครั้งที่ 2 ที่ฝังหลายโครงร่วมกัน การนำกระดูกมากองรวมกันและการฝังใต้ดิน ซึ่งการปลงศพหลายแบบนี้ไม่เคยพบหลักฐานทางตรงที่เด่นชัดเช่นการค้นพบในครั้งนี้ เนื่องจากแหล่งโบราณคดีที่พบจากการสำรวจมักถูกทำลายเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ด) วัตถุทางวัฒนธรรมพบว่ามีหลากหลายประเภท เช่นภาชนะดินเผารูปทรงต่างๆ ภาชนะไม้ ชิ้นส่วนผ้าทำจากใยพืชป่านกัญชงรักที่ใช้เคลือบภาชนะไม้ โลงไม้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทอผ้า การตกแต่งร่างกายด้วยลูกปัดและเส้นใยสีดำทำจากพืช หอยเบี้ย กระดูกสัตว์ประเภทหมูและไก่ และเครื่องมือเหล็ก ข้อมูลใหม่ที่ค้นพบมีความสำคัญต่อการสืบสร้างเรื่องราวของคน สังคมและวัฒนธรรมโลงไม้ที่เพิ่มเติมจากการศึกษาเดิม กล่าวคือเป็นกลุ่มสังคมขนาดใหญ่ขึ้น จัดอยู่ในระดับชนเผ่า ที่มีผู้อาวุโสเป็นผู้นำทางสังคม มีการเพิ่มประชากรมากขึ้น มีการแบ่งหน้าที่การทำงานและช่างเฉพาะทางภายในสังคม การตั้งถิ่นฐานอาจจะอยู่ในที่ราบเป็นหมู่บ้าน และใช้ถ้ำหรือเพิงผาเป็นสุสานของครอบครัว/ชุมชน การดำรงชีพยังคงมีการล่าสัตว์ป่าอยู่และมีภูมิปัญญาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่นการเลือกใช้ไม้สักสำหรับทำโลงไม้ ใยงาช้างสำหรับเคลือบโลงและภาชนะต่างๆ การใช้ใยพืชป่านกัญชง ไม้ไผ่สำหรับการทำเครื่องจักสาน มีการตกแต่งเครื่องประดับบนร่างกาย เช่น ลูกปัดแก้ว เส้นสีดำที่ใช้พันตกแต่งร่างกาย มีหลักฐานแสดงถึงการติดต่อแลกเปลี่ยนกับชุมชนภายนอกเช่นหอยเบี้ย เครื่องมือเหล็ก ลูกปัดแก้ว นอกจากนี้ยังมีความเชื่อ

เรื่องความตายที่เป็นลักษณะเด่นของวัฒนธรรมคือการทำโลงไม้ การวางโลงไม้และการเลือกทำเลที่ตั้งในการปลงศพภายในถ้ำบนพื้นที่สูงในเทือกเขาหินปูน ภายในชุมชนวัฒนธรรมโลงไม้มีความหลากหลายหลายรูปแบบหัวโลงแสดงถึงความซับซ้อนภายในสังคม และการพบโครงกระดูกจำนวนมากอยู่ในโลงเดียวกัน สันนิษฐานว่าเป็นโลงที่บรรจุกระดูกของครอบครัวเดียวกัน อาจกล่าวได้ว่าลักษณะวัฒนธรรมโลงไม้มีความแตกต่างจากวัฒนธรรมสมัยหินกะเทาะอย่างชัดเจน และมีความแตกต่างจากแหล่งโบราณคดีร่วมสมัยในภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศไทย

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะวัฒนธรรมของสมัยไพลสโตซีน-โฮโลซีนตอนต้น กับโฮโลซีนตอนปลายแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องการดำรงชีพ เทคโนโลยี และความเชื่อ ส่วนการตั้งถิ่นฐานคล้ายคลึงกันแต่แตกต่างในเรื่องของหน้าที่และการใช้พื้นที่ สมัยวัฒนธรรมโลงไม้ใช้ถ้ำและเพิงผาสำหรับฝังศพเพียงอย่างเดียว ลักษณะของคนแตกต่างกัน ประชากรดั้งเดิมมีลักษณะคล้ายกับกลุ่มคนออสตราลอยด์-เมลานีซอยด์ ขณะที่ประชากรในวัฒนธรรมโลงไม้มีลักษณะคล้ายกับคนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รูปแบบการปลงศพคล้ายกับที่พบในจีนตอนใต้ เวียดนาม และหมู่เกาะเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ วัฒนธรรมโลงไม้ในจีนสันนิษฐานว่าเป็นของกลุ่มคนไป๋เซว่ที่อาจมีความสัมพันธ์กับ “คนไท”

7.1.3 ใช้เทคนิควิธีการใหม่ในการศึกษาข้อมูลเดิมและข้อมูลใหม่คือการขึ้นรูปใบหน้าของโครงกระดูกของผู้หญิงที่อายุประมาณ 13,000 ปีมาแล้ว จากแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด ซึ่งเป็นการขึ้นรูปหน้ามนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์เป็นครั้งแรกของประเทศไทย การวิเคราะห์ไอโซโทปจากโครงกระดูกคนเพื่อตรวจสอบเรื่องการย้ายถิ่นและอาหารการกิน การวิเคราะห์ไอโซโทปจากหินปูน โลงไม้และไม้มีชีวิต เพื่อศึกษาเรื่องสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ตะกอนดิน ในการวิเคราะห์กระบวนการทับถมภายในแหล่งโบราณคดี และแร่วิทยาทางโบราณคดี ในการตรวจสอบส่วนผสมของลูกปัด ภาชนะดินเผา และเครื่องมือเหล็ก

7.2 การสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่

โครงการวิจัยได้สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ในระดับอุดมศึกษาทั้งหมด 13 รายการ **ระดับปริญญาเอก** ด้านโบราณคดี จำนวน 1 เล่ม จากมหาวิทยาลัย University Rovira I Virgili ประเทศสเปน สิ่งแวดล้อม 1 เล่ม จาก Faculty of Earth Science, China University of Geosciences (Wuhan) ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และสัตววิทยาโบราณ 1 เล่ม จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปริญญาโท** ด้านสิ่งแวดล้อม 1 เล่ม จากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ**ปริญญาตรี** ด้านโบราณคดี 4 เล่ม จากคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ธรณีวิทยา 4 เล่ม จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และสิ่งแวดล้อม 1 เล่ม จากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

นอกจากนี้ ได้สร้างนักศึกษาระดับปริญญาตรีให้เป็นผู้ช่วยนักวิจัยด้านโบราณคดีที่มีกระบวนการอบรมระเบียบวิธีการทางโบราณคดีอย่างเคร่งครัดตั้งแต่การสำรวจ ขุดค้น วิเคราะห์ สังเคราะห์ และตีความ การเขียนรายงาน/บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การนำเสนองานวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ การพูดในที่สาธารณะ นอกจากนี้ผู้ช่วยนักวิจัยได้มีโอกาสดำเนินงานกับนักวิชาการหรือผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางของไทยและต่างประเทศ เป็นกระบวนการฝึกหัดที่ใช้เวลา และเมื่อจบโครงการวิจัย ผู้ช่วยนักวิจัยได้สมัครเรียนต่อในระดับปริญญาโทและเอก และมีความมุ่งมั่นที่จะเป็นนักวิจัยในอนาคต

7.3 การเผยแพร่สู่สาธารณะ

การเผยแพร่ความรู้และการใช้ประโยชน์งานวิจัยต่อสาธารณะของโครงการฯ เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมและสนับสนุนการทำงานวิจัยมีจำนวนทั้งสิ้น 144 รายการ แบ่งเป็นประเภท 1) เวทีชาวบ้าน 3 รายการ 2) กิจกรรมค่ายเยาวชนและชุมชน 4 รายการ 3) การเยี่ยมชมพื้นที่วิจัย 13 รายการ 4) การบรรยายความรู้ 5 รายการ 5) การร่วมประชุมและเสนอบทความทางวิชาการ 23 รายการ 6) การตีพิมพ์บทความทางวิชาการ 16 รายการ 7) การฝึกงานภาคสนาม 11 รายการ 8) นักวิชาการและผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ ที่ให้ความร่วมมือทางวิชาการ 18 รายการ 9) การประชุมวิชาการ 2 รายการ 10) สารนิพนธ์/วิทยานิพนธ์ 13 รายการ 11) การสนับสนุนข้อมูลและหลักฐานทางโบราณคดีเพื่อการจัดแสดงนิทรรศการทางวิชาการ จำนวน 4 รายการ 12) สื่อสาธารณะ จำนวน 27 รายการ และ 13) ต้นฉบับหนังสือ 5 รายการ

บทที่ 1

บทนำ : ธรณีวิทยา

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศหลายครั้งในโลก (Chappell 1982; Roberts, 1998) ระหว่างสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย (ยุคน้ำแข็งตอนปลาย) กับสมัยโฮโลซีน (ยุคน้ำท่วม) ส่งผลกระทบต่อสภาพธรรมชาติสิ่งแวดล้อมวัฒนธรรมและความเป็นอยู่ของมนุษย์โดยภูมิอากาศมีความแปรปรวน เปลี่ยนแปลงจากอากาศหนาวเย็นมาเป็นอบอุ่น โดยเฉพาะธารน้ำแข็งในเขตขั้วโลกที่ละลาย ทำให้อุณหภูมิระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นและมีความชื้นในอากาศสูง จึงส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ (อาทิ การขยายตัวของป่าดิบ ป่าชายเลน) รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและวัฒนธรรม ได้แก่ การปฏิวัติเขียว มีการเริ่มเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ มีการเพิ่มของประชากร มีการตั้งชุมชนขนาดใหญ่และถาวร เกิดการแบ่งชนชั้นทางสังคม เป็นต้น (Bellwood, 1997; Price and Feinman, 1993) สำหรับในประเทศไทยย่อมได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเช่นกัน โดยเฉพาะชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและชายฝั่งทะเลอันดามัน มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ เช่น การกัดเซาะชายฝั่ง (Anderson, 1990; Penny, 1996) พืชพรรณบริเวณใกล้แหล่งน้ำมีปริมาณหนาแน่นกว่าปัจจุบัน (Heaney, 1991) และเชื่อกันว่าประเทศไทยมีพืชพรรณในป่าและความหลากหลายของสัตว์ป่าหนาแน่นกว่าปัจจุบัน (Gorman, 1971; Shoocongdej, 2000) การศึกษาในปัจจุบันยังไม่มีคำตอบที่แน่ชัดว่าภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงในบริบทของโลกมากน้อยเพียงใดอย่างไรและอะไรเป็นเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากยังไม่มีการศึกษาเชิงลึกในระดับจุลภาค (micro scale) (รัศมี ชูทรงเดช และคณะ, 2546)

1.2 ความท้าทายที่เกี่ยวกับงานวิจัยทางธรณีวิทยาโบราณคดี

เนื่องจากปัญหาหลักคือ ระหว่าง 10,000-1,000 ปี มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมหรือไม่ อย่างไร มนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์บนภาคพื้นแผ่นดิน (mainland SEA) ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมอย่างไรนั้น การหาข้อสนับสนุน หรือการช่วยตอบปัญหาดังกล่าวจึงมุ่งเน้นไปในเรื่องธรณีวิทยาทางโบราณคดี (geoarchaeology) ซึ่งครอบคลุมถึง แร่วิทยาเชิงโบราณคดี (archaeomineralogy) ด้วย เป็นการศึกษาเพื่อบอกถึงแหล่งที่มาทางโบราณคดี (archaeological provenance studies) ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้ในประเทศไทยพอมียู่บ้าง เช่น ขวลิขาวเขียว (2546) ได้ศึกษาธรณีวิทยาทางโบราณคดี บริเวณเพิงผาถ้ำลอด อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยวิเคราะห์ชั้นตะกอนจากหลุมขุดค้น นอกจากนี้มีการวิเคราะห์เครื่องมือหิน วิเคราะห์ชั้นส่วนภาชนะดินเผา วิเคราะห์ชั้นกรวดเปรียบเทียบกับชั้นกรวดธรรมชาติในลำน้ำลาง มาร์วิก และกาแกน (Marwick and Gagan, 2011) ได้ศึกษาออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) ในเปลือกหอยจากเพิงผาถ้ำลอดและเพิงผาบ้านไร่ อำเภอปางมะผ้า จังหวัด

แม่ฮ่องสอน โดยได้สรุปว่าภูมิอากาศในช่วง 33,000-20,000 ปีก่อนปัจจุบัน ของภูมิภาคนี้มีความแปรปรวนและขึ้น ตามมาด้วยช่วงอากาศที่แห้งมากขึ้นในช่วง 20,000-11,500 ปีก่อนปัจจุบัน หลังจากนั้น 9,800 ปีก่อนปัจจุบัน พบว่าปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นและภูมิอากาศแปรปรวนน้อยลง

ทรัพยากรธรณีต่างๆ เช่น ตะกอน หิน และแร่ ที่อยู่ในแหล่งโบราณคดีนับว่าเป็นวัตถุหรือหลักฐาน สำคัญของการศึกษาธรณีวิทยาโบราณคดีได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณถ้ำหรือเพิงผาที่เป็นแหล่งโบราณคดี สามารถแบ่งลักษณะตะกอนที่ทำการศึกษาออกเป็นสองประเภทคือ 1) ตะกอนที่แข็งตัวแล้ว (consolidated sediments) ได้แก่ หินต่างๆ และตะกอนถ้ำหรือแร่ทุติยภูมิ (speleothems) ส่วนใหญ่ไม่ได้เน้นศึกษาถึงการหาอายุ แต่ดำเนินการหาองค์ประกอบทางเคมีและทางแร่วิทยาและบรรยายเชิงพรรณนา เช่น คาร์คานาส (Karkanass, 2013) ศึกษาลักษณะตะกอนถ้ำในระดับเล็กหรือจุลสัณฐานวิทยา (micro morphology) เพื่อช่วยอธิบายและจำลอง การวิวัฒนาการของถ้ำ และภูมิอากาศบรรพการและการวิวัฒนาการของพื้นที่ และ 2) ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (unconsolidated sediments) ได้แก่ ตะกอนขนาดกรวด (gravel) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และ ดินเหนียวหรือเคลย์ (clay) ในแหล่งโบราณคดีมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิอากาศบรรพกาลอย่างไร กระบวนการผุพังอยู่กับที่ (weathering) การกร่อน (erosion) การนำพา (transportation) การทับถม (deposition) รวมถึงแหล่งที่มา (sources) ของตะกอนการหาองค์ประกอบเคมีและทางแร่วิทยาเพื่อบอกสภาพแวดล้อมของการตกตะกอนและเพื่อศึกษา กระบวนการการก่อตัวใหม่ (หรือ diagenesis ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากตะกอนทับถมกันแล้ว) เป็นแบบไหน เช่น ลินเดอร์โฮล์ม และลุนเบิร์ก (Linderholm and Lundberg, 1994) ได้ตรวจหาธาตุร่องรอย (traces) ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ในดินของประเทศสวีเดน โดยเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุในแหล่งที่ใช้ควบคุม ฟาร์แรนด์ (Farrand, 2001) ได้ทบทวนวิธีการศึกษาและประโยชน์ต่อการศึกษาตะกอนถ้ำและเพิงผา โดยกล่าวถึง แนวทางการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ผลที่สามารถนำไปใช้ในการตีความสภาพแวดล้อม การตกตะกอนและภูมิอากาศบรรพการ ซิมป์สัน และคณะ (Simpson *et al.*, 2005) ได้วิเคราะห์แผ่นบางของ ตะกอน และพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของมนุษย์โบราณจากการประมงเป็นการเพาะปลูก

ลักษณะของสิ่งของเครื่องใช้ เน้นการศึกษาทางแร่วิทยาเชิงโบราณคดี (archaeomineralogy) เช่น อัญมณี ชนิดต่างๆ ชิ้นส่วนภาชนะ การวิเคราะห์สามารถบอกได้ถึงชนิดและธาตุองค์ประกอบทางเคมีหรือส่วนผสม (กรณี โลหะ) ข้อมูลที่พบสะท้อนถึงความเป็นอยู่ในอดีต อาจเชื่อมโยงถึงวัฒนธรรม การติดต่อกับสังคมต่างถิ่น รวมทั้ง อาจบอกถึงแหล่งที่มาของสิ่งของเหล่านั้น และสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ในอดีตได้ เช่น การ์เซีย-เฮราส และ คณะ (García-Heras *et al.*, 2005) ได้วิเคราะห์ลูกปัดแก้วในยุคก่อน โรมัน จากลักษณะทางกายภาพและทางเคมี พบว่าอาจมาจากการค้าขายในอดีต โรเบิร์ตชอว์ และคณะ (Robertshaw *et al.*, 2010) ได้วิเคราะห์ลูกปัดแก้วของ แอฟริกาใต้เพื่อบ่งบอกถึงองค์ประกอบเคมี แหล่งที่มา และรูปแบบทางการค้า คาร์เตอร์ (Carter, 2010) ได้ วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของลูกปัดหินอาเกตและคาร์นีเลียนจำนวนหนึ่งในแหล่งโบราณคดีพรหมทินใต้ ตำบลหลุมข้าว อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี ด้วยวิธียิงเลเซอร์ LA-ICP-MS ผ่านเนื้อลูกปัด เพื่อเปรียบเทียบกับ แหล่งหินอาเกตและคาร์นีเลียนในประเทศอิหร่าน รวมถึงเปรียบเทียบกับลูกปัดหินจากแหล่งโบราณคดี 2 แหล่ง ในรัฐคุราซในประเทศอินเดีย เพื่อศึกษาว่าลูกปัดผ่านการผลิตจากแหล่งใด ปริณสลุ และคณะ (Prinsloo *et al.*, 2011) ได้ใช้วิธีรามานไมโครโพรบ (Raman microprobe) วิเคราะห์ลูกปัดแก้วจากแอฟริกา เบอร์ทีน และคณะ (Bertini *et al.*, 2011) ได้วิเคราะห์ลูกปัดแก้วยุคโลหะโดยใช้วิธี LA-ICP-MS พบว่าลูกปัดมีแหล่งที่มาจากหลาย แห่ง ลี และคณะ (Li *et al.*, 2013) ศึกษาโครงสร้างลักษณะของลูกปัดแก้วดินยุคโบราณของจีนที่มีอายุประมาณ 100 ปีก่อนคริสตกาลจนถึงคริสต์ศักราชที่ 10 โดยการแปลผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ต่อพ่วง

กับ energy dispersive spectrometer (SEM-EDS: Scanning electron microscopy equipped with energy dispersive spectrometer) และวิธีรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy) จอนสัน และคณะ (Johnson *et al.*, 2013) ได้วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและรายงานผลวิเคราะห์ทางเคมีของลูกปัดทรงกระบอกที่ทำมาจากอุกกาบาต ยุคก่อนประวัติศาสตร์อีปต์ 3,300 ปี ก่อนคริสตกาล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิธีเอกซเรย์ซีที (X-ray CT หรือ Micro X-ray microcomputer tomography)

สำหรับชิ้นส่วนภาชนะดินเผา (potsherds) จากแหล่งโบราณคดี ได้มีการศึกษาเชิงธรณีโบราณคดี และแร่วิทยาทางโบราณคดีกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฟอนเตส และคณะ (Fontes *et al.*, 1984) ได้ใช้เทคนิคพิกซี (PIXE: Particle-induced X-ray emission หรือ proton-induced X-ray emission) ในการศึกษาชิ้นส่วนภาชนะดินเผาเพื่อแปลความแหล่งดินที่ใช้ในการผลิต แฟบบรีและมอลเดรา (Fabbri and Maldera, 1989) ได้ใช้วิธีเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction หรือ XRD) การวิเคราะห์ทางเคมี และการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา (Petrography) วิเคราะห์ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาเพื่อบ่งบอกถึงกระบวนการผลิต เวย์รด์ และคณะ (Weerd *et al.*, 2004) ได้ใช้อินฟราเรดและวิธีรามานไมโครสโคปี (Infrared and Raman microscopy) ในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา เพื่อศึกษาข้อมูลทางแร่และเม็ดสี

งานวิจัยลักษณะต่างๆ ดังที่กล่าวมานี้ ในประเทศไทยนับว่ายังมีอยู่น้อย ดังนั้นจึงเป็นสิ่งท้าทายและเป็นโอกาสของนักวิจัยไทยรุ่นใหม่ ทำให้หันมาสนใจงานวิจัยแบบบูรณาการระหว่างวิทยาศาสตร์กับโบราณคดีกันมากขึ้น

1.3 งานวิจัยทางธรณีวิทยาในกรอบของโครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้วคณะผู้วิจัยจากสถาบันต่างๆ อาทิ มหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จึงได้จัดทำโครงการวิจัยหลักเรื่อง “การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน” โดยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และได้กำหนดโจทย์วิจัยทางธรณีวิทยาที่สรุปได้ 2 ประการสำคัญ คือ 1) ระหว่าง 10,000-1,000 ปีมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมหรือไม่ อย่างไร และ 2) มนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์บนภาคพื้นแผ่นดิน (mainland SEA) ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมอย่างไร? พร้อมทั้งมีวัตถุประสงค์หลักของโครงการ คือ 1) ทำความเข้าใจเกี่ยวกับวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในอดีต 2) ศึกษาการปรับตัวทางวัฒนธรรม โดยเฉพาะวัฒนธรรมโลงไม้ 3) ศึกษาการปรับตัวทางกายภาพของมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ และ 4) สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ในการทำงานบูรณาการศาสตร์ (นักศึกษาปริญญาเอก-โท-ตรี)

ผู้วิจัยในฐานะที่รับผิดชอบเนื้อหาทางด้านธรณีวิทยาจึงได้กำหนดแนวทางการวิจัยที่จะเป็นส่วนสนับสนุนการวิจัยในประเด็นหลักของโครงการขึ้น โดยโจทย์วิจัยข้อ 1) และวัตถุประสงค์ข้อ 1) ได้ดำเนินการดังนี้คือ ศึกษาตะกอนในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรักในลูกหา A1 และ A2 ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เช่น เก็บตัวอย่างตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (unconsolidated sediments) เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ การสังเกตลักษณะทางกายภาพ (physical observation) การวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา (petrography) การศึกษาเนื้อดิน (soil texture) โดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer method) การศึกษาทางแร่วิทยา (Mineralogy) โดยวิธีเอกซเรย์ซีที

(XRD) การศึกษาทางธรณีเคมี (geochemistry) โดยเฉพาะการวิเคราะห์ธาตุหลักและธาตุร่องรอย (major and trace elements) โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF, X-ray fluorescence) เป็นต้น

สำหรับโจทย์วิจัยข้อ 2) และวัตถุประสงค์ข้อ 2) ได้อาศัยข้อมูลจากวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการแปลความหมายจากแผนที่ธรณีวิทยาและภาพถ่ายดาวเทียม พบว่ามนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์มีการปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมทางธรณีวิทยา โดยเฉพาะพื้นที่ภูมิประเทศแบบคาสต์ ซึ่งเป็นภูมิประเทศที่เป็นรากฐานของระบบนิเวศที่สมบูรณ์และโดดเด่นในพื้นที่ เช่น การเลือกแหล่งที่พักชั่วคราวเป็นเพิงผาหินปูน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผา รอยเลื่อน (fault scarp) ถ้าที่มีโพรงกว้าง เลือกแหล่งผลิตเครื่องมือหินบริเวณสันคอยมีที่ราบ โดยมีแหล่งวัตถุดิบที่เป็นหินจากหาดกรวดริมน้ำ เลือกแหล่งที่อยู่อาศัยเป็นบริเวณลานตะพักริมน้ำ สันคอย สันคอยเดี่ยว ริมน้ำหรือที่ลาดเชิงเขา เลือกที่ฝังศพในวัฒนธรรมโลงไม้ในถ้ำที่มีคูหากว้างหรือมีทางเดินยาว (อาจพบที่ฝังศพเป็นเพิงผาบ้าง) ที่ฝังศพส่วนมากเป็นที่สูงชันและบางแห่งเป็นถ้ำที่เข้าถึงได้ยาก นอกจากนั้นยังพบว่าผู้คนยุคประวัติศาสตร์ใช้บริเวณลานตะพักริมน้ำเป็นที่ตั้งแหล่งโบราณสถาน

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ธรณีสัณฐานวิทยาในระดับเล็ก กรณีศึกษาถ้ำผีแมน โลงลงรัก เช่น ความเหมาะสมของขนาดรูปทรงที่ตั้งของถ้ำ และคูหาต่างๆ กับการเก็บรักษาโลงไม้ เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพกับการเลือกใช้พื้นที่ในการใช้เป็นที่พักศพและมีการศึกษาแร่วิทยาภายในถ้ำ

งานธรณีวิทยาได้ประยุกต์วิธีการศึกษาทางธรณีเคมี (geochemistry) และเคมีทางแร่ (mineral chemistry) มาใช้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของลูกปัดแก้วที่พบร่วมกับในโลงไม้จำนวนหนึ่ง โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับลูกปัดแก้วจากแหล่งอื่นในประเทศไทยในยุคสมัยใกล้เคียงกัน พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับบางแหล่ง แสดงให้เห็นว่าชุมชนสมัยวัฒนธรรมโลงไม้มีการติดต่อกับพื้นที่อื่นหรือชุมชนภายนอก ขณะที่การศึกษาชิ้นส่วนภาชนะดินเผาที่พบในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน โลงลงรักด้วยกระบวนการทาง petrography และ mineralogy พบว่าภาชนะดินเผาได้ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน

สำหรับวัตถุประสงค์ข้อ 4) นั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ในการทำงานบูรณาการศาสตร์ (นักศึกษาปริญญาเอก-โท-ตรี) มีนิสิตจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒและมหาวิทยาลัยมหิดล จำนวน 15 คน เข้าร่วมวิจัยจำนวน 6 โครงการย่อย

การวิเคราะห์ทางด้านธรณีวิทยาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สิ่งแวดล้อมทางกายภาพและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนและโบราณวัตถุ ซึ่งช่วยตอบคำถามในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศจากโครงสร้างของธรณีสัณฐานและตะกอน ส่วนเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรม ได้ตรวจสอบจากองค์ประกอบทางเคมีของโบราณวัตถุประเภทต่างๆ

1.3.1 แนวทางการวิจัยทางธรณีวิทยาของโครงการฯ

1.3.1.1 ศึกษาธรณีสัณฐานวิทยา (geomorphology) ในแนวกว้างของถ้ำและพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อบรรยายลักษณะทั่วไปและธรณีประวัติของถ้ำและบริเวณใกล้เคียง เชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมในอดีต วิธีการโดยหลักคือ ลงพื้นที่สำรวจภาคสนาม และศึกษาจากเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น

1.3.1.2 ศึกษาลักษณะตะกอนถ้ำและตะกอนจากแหล่งโบราณคดีเพิงผาลอดและเพิงผาบ้านไร่ ทั้งตะกอนที่แข็งตัวแล้ว (consolidated sediments) ได้แก่ แร่ทุติยภูมิ (speleothems) และตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (unconsolidated sediments) ได้แก่ อนุภาคกรวด (gravel) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และ ดินเหนียว (clay) ในแหล่งโบราณคดีที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิอากาศบรรพกาลอย่างไร นอกจากนี้ได้ศึกษากระบวนการผุพังอยู่กับที่ (weathering) และกระบวนการกร่อน (erosion) กระบวนการนำพา (transportation) และกระบวนการทับถม (deposition) รวมถึง แหล่งที่มา (sources) ของตะกอน สภาพแวดล้อมของการตกตะกอน และกระบวนการก่อตัวใหม่ (diagenesis) หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากตะกอนทับถมกันแล้วว่าเป็นแบบใด และศึกษาตะกอนอินทรีย์ที่อาจพบร่วม เช่น ซากดึกดำบรรพ์ (fossils)

1.3.1.3 ศึกษาธรณีสัณฐานวิทยาในระดับเล็ก (micro geomorphology) (e.g. French, 2003; Kooistra and Kooistra, 2003) ในหลุมขุดค้น เพื่อค้นหาระดับพื้นผิวเดิม (palaeosurface) และหลักฐานอื่นๆ โดยประยุกต์วิธีการทางปฐพีวิทยา (pedological method) ธรณีสัณฐานวิทยา (geomorphological method) และตะกอนวิทยา (sedimentological method) เพื่อช่วยในการแปลความ (e.g. Holdaway and Fanning, 2008) วิธีการคือ เก็บตัวอย่างตะกอนในหลุมขุดค้นโดยให้ตัวอย่างถูกรบกวนน้อยที่สุด แล้วนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์สองกระบอกตาแบบสเตอริโอ จากนั้นนำตัวอย่างไปตัดเป็นแผ่นหีนบาง (e.g. Angelucci, 2003) เพื่อศึกษาข้อมูลทางแร่วิทยาของตัวอย่าง (Deer *et al.*, 1996) โดยใช้เทคนิคสไลวาร์รณนา (petrography) ในการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ นอกจากนี้ใช้วิธีเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction หรือ XRD) หรือ วิธีอิเล็กตรอนโพรบไมโครอานาไลซิส (EPMA: Electron probe microanalysis) จากนั้นนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้ประกอบการอธิบายถึงชนิดและแหล่งที่มาของตะกอน ประวัติของตะกอน สภาพแวดล้อมการตกตะกอน

1.3.1.4 ศึกษาแร่วิทยาเชิงโบราณคดี (archaeomineralogy) โดยโบราณวัตถุ รวมทั้งกระดูกและฟันของมนุษย์ สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ภายใต้หลักวิชาแร่วิทยาเชิงโบราณคดี (Rapp, 2009) เช่น ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา แก้ว โลหะ อวูร หิน แร่ เปลือกหอย เขาสัตว์ กระดูก ลูกปัด การวิเคราะห์สามารถบอกได้ถึงชนิดและธาตุองค์ประกอบทางเคมีหรือส่วนผสม (กรณีโลหะ) เทคนิคที่ใช้ ได้แก่ เครื่องมือพื้นฐานในการวิเคราะห์โบราณวัตถุ อาทิ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ต่อพ่วงกับ EDS (SEM-EDS หรือ scanning electron microscopy equipped with energy dispersive spectrometer) วิธีเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) วิธีอิเล็กตรอนโพรบไมโครอานาไลซิส (EPMA) วิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) วิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรเมทรี (FTIR: Fourier transform Infrared spectrometry) และวิธีรามานไมโครโพรบ (Raman microprobe) เป็นต้น (e.g. Piga *et al.*, 2011)

นอกจากนั้นใช้วิธีหรือเทคนิคไอซีพี-ไออีเอส (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy หรือ Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)) วิธีไอซีพี-เอ็มเอส (ICP-MS หรือ inductively coupled plasma mass spectrometer) วิเคราะห์หาธาตุร่องรอย (trace elements) ธาตุหายาก (REEs: Rare Earth Elements) หรือวิเคราะห์ไอโซโทป (Gillieson, 1996; Leng, 2006) ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีเหล่านี้ สะท้อนถึงความเป็นอยู่ในอดีตและอาจเชื่อมโยงถึงวัฒนธรรม การติดต่อกับสังคมต่างถิ่น รวมทั้งอาจบอกถึงแหล่งที่มาของสิ่งของเหล่านั้นและสภาพแวดล้อมได้

1.3.1.5 การสังเคราะห์และประมวลผลหลักฐานทางด้านธรณีวิทยาทั้งหมด

1.3.1.6 ตีความหลักฐานทางด้านธรณีวิทยา

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษารัสนิทัศน์ฐานในภาพรวมของอำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งโบราณคดี

1.4.2 เพื่อศึกษาข้อมูลทางธรณีสัณฐานวิทยาขนาดเล็ก ตะกอนวิทยา ธรณีเคมี และแร่วิทยาของถ้ำผีแมน โลงลงรักและเพิงผาถ้ำลอด อำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อเชื่อมโยงและอธิบายสภาพภูมิอากาศโบราณรวมทั้งเพื่อช่วยอธิบายถึงการติดต่อกับชุมชนภายนอกของคนในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 มิติด้านเวลา 10,000-1,000 ปี (หนึ่งหมื่นปีเป็นช่วงไพลสโตซีนตอนปลาย) มีการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศและภูมิประเทศในระดับโลก ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม ส่วนหลังจากหมื่นปีมาแล้ว มีการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาในระดับท้องถิ่น เช่น การขึ้นลงของระดับน้ำทะเล การเปลี่ยนแปลงทิศทางของลมมรสุมที่แตกต่างกันจนถึงเมื่อประมาณ 1,000 ปีที่ระดับน้ำทะเลเท่ากับปัจจุบัน

1.5.2 มิติด้านพื้นที่อำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน และการขุดค้นแหล่งโบราณคดีในถ้ำแห่งใหม่ที่มีความสมบูรณ์ที่สุดที่เคยพบมา โดยเฉพาะเพิงผาถ้ำลอดและถ้ำผีแมน โลงลงรัก

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 มุ่งองค์ความรู้ด้านธรณีโบราณคดี โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ความรู้ทางตะกอนวิทยา ธรณีเคมีและแร่วิทยาเพิ่มขึ้น

1.6.2 สร้างฐานข้อมูลเปรียบเทียบเรื่องสิ่งแวดล้อมโบราณในช่วง 10,000-1,000 ปีมาแล้ว ต่อยอดกับการศึกษาสิ่งแวดล้อมปัจจุบัน ทำให้ประเทศไทยมีฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมที่ย้อนกลับไปได้ยาวนาน ซึ่งสามารถช่วยทำนายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้

1.6.3 สร้างนักวิจัยไทยรุ่นใหม่ให้เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมโบราณก่อนประวัติศาสตร์ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.6.4 ได้บทความ/หนังสือ/สื่อที่เป็นผลจากงานวิจัย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

สำหรับการทบทวนความรู้ด้านธรณีวิทยา ครอบคลุมเนื้อหาข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีประวัติของพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง การเกิดภูมิประเทศแบบคาสต์ การเกิดและวิวัฒนาการของถ้ำ ผลกระทบของการกระทำของมนุษย์ต่อทรัพยากรถ้ำและการจัดการ การศึกษาวิจัยเรื่องถ้ำในประเทศไทย และงานวิจัยด้านธรณีวิทยาทางโบราณคดีที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นที่ก่อนหรือหลังการเข้ามาใช้พื้นที่โดยคนโบราณ และสถานภาพของความรู้ด้านธรณีโบราณคดีรวมทั้งตะกอนถ้ำและเพิงผา

2.1 ที่ตั้ง สภาพธรณีวิทยา ธรณีประวัติของพื้นที่ศึกษา และบริเวณใกล้เคียง

สำหรับในที่นี้ แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือศึกษาธรณีสัณฐานในภาพกว้างในท้องที่ อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นอันดับแรกก่อน (แผนที่ 2.1) แล้วจึงลงไปรายละเอียดระดับเล็ก (micro morphology) ซึ่งแนวทางหลังนี้ผู้วิจัยได้เลือกจุดศึกษาสองแห่งคือ แหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอดและแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก (แผนที่ 2.2)

2.1.1 ลักษณะธรณีวิทยาเบื้องต้นในภาพรวม

ลักษณะธรณีวิทยาเบื้องต้นในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินสามประเภท ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร ในอายุต่างๆ โดยกล่าวตามลำดับอายุจากเก่าไปอ่อนดังนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) (แผนที่ 2.1 และตารางที่ 2.1) (ดูตารางธรณีกาลในภาคผนวกประกอบ)

2.1.1.1 หินอายุไซลูเรียน-ดีโวเนียน (Silurian—Devonian, SD)

ประกอบด้วยหินแปรที่มีริวซาน ได้แก่ หินฟิลไลต์ หินฟิลไลต์ที่มีเนื้อคาร์บอนปน และหินฟิลไลต์ที่มีเนื้อปนหินควอร์ตไซต์

2.1.1.2 หินอายุไซลูเรียน-ดีโวเนียนต่อคาร์บอนิเฟอรัส (Silurian—Devonian to Carboniferous, SDCtp)

หินที่พบเป็นหินในกลุ่มทองผาภูมิ (Thong PhaPhum Group) ประกอบไปด้วยหินดินดานสีดำ หินเชิร์ต และหินทรายแป้งสีเทาเข้มและมีเนื้อปูนปน นอกจากนี้ยังพบหินปูนที่แสดงชั้นหินที่บางและมีก้อน

ทรงมนปน ในหินกลุ่มนี้บางแห่งพบซากบรรพชีวิน ได้แก่ Graptolite, Tentaculite, Nautiloid, Trilobite และ Brachiopod

2.1.1.3 หินอายุคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous, C)

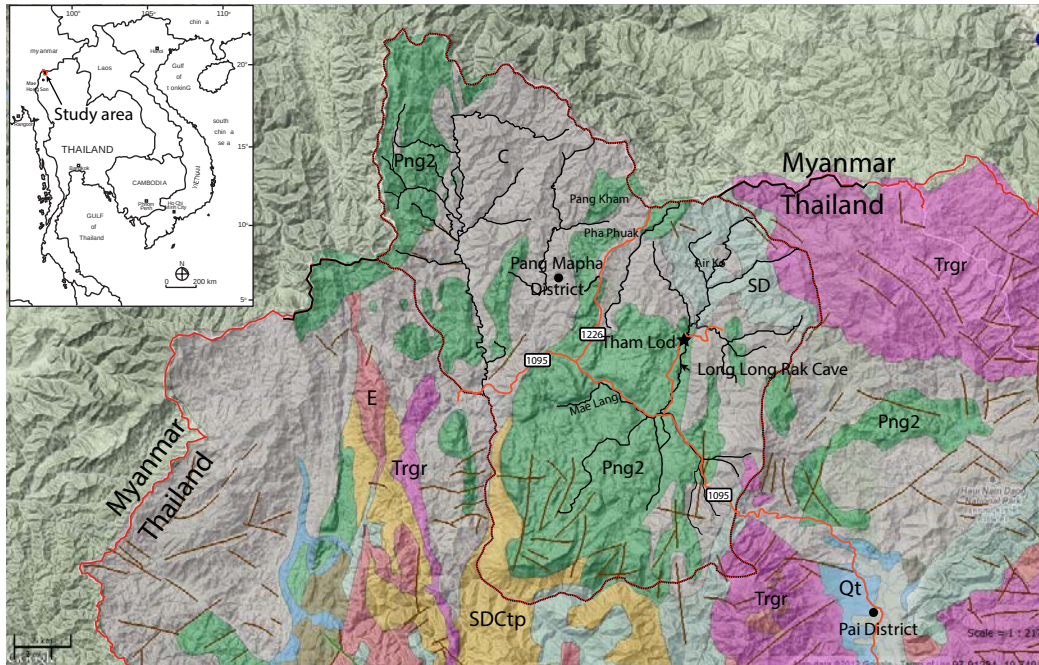
ประกอบไปด้วยหินตะกอนเนื้อเศษหินหรือหินเนื้อประสม (clastic or detrital sedimentary rocks) ได้แก่ หินกรวดมน หินทราย และ หินดินดาน หินตะกอนเนื้อประสานหรือหินตะกอนเคมี (nonclastic or chemical sedimentary rocks) ได้แก่ หินเชิร์ตและหินปูน นอกจากนี้ยังพบหินแปรอีกชนิดหนึ่งคือ หินชนวน (slate)

2.1.1.4 หินอายุเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian, Png2)

หินที่พบเป็นหมวดหินผาหวด (PhaHuat Fm.) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มหินงาว (Ngao Group) ประกอบด้วยหินตะกอนชนิดหินปูนที่แสดงชั้นหินและไม่แสดงชั้นหิน มีสีเทา ดำ แทรกสลับด้วยชั้นหินดินดาน และชั้นหินทราย ซึ่งเพิงผาล้อและถ้ำผิแมนโงลงรักตั้งอยู่ในหินปูนหมวดนี้

2.1.1.5 หินอายุไทรแอสซิก (Triassic, Trgr)

หินที่พบเป็นหินอัคนี ประเภทแกรนิตชนิดต่างๆ ได้แก่ หินแกรนิตที่มีแร่ไบโอไทต์ หินแกรนิตที่มีแร่ทัวร์มาลีน หินแกรนิตที่มีแร่ไบโอไทต์และแร่มัสโคไวต์ หินแกรนิตที่มีแร่มัสโคไวต์และทัวร์มาลีน และหินแกรนิตที่มีไบโอไทต์และทัวร์มาลีน



แผนที่ 2.1 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาในเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน และบริเวณใกล้เคียง แสดงทางน้ำ ทางหลวง และรอยแตก รอยเลื่อน (เส้นสีน้ำตาล) ในพื้นที่ (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) (ดูคำอธิบายในตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของหินบริเวณพื้นที่ศึกษา

Symbol	Formation/Group	Lithology	Age
t	-	terrace deposits: gravel, sand, silt, clay, and laterite.	Quaternary
Trgr	-	biotite granite, tourmaline granite, granodiorite, biotite-muscovite granite, muscovite-tourmaline granite, and biotite-tourmaline granite.	Triassic
Png2	PhaHuat Fm., Ngao Group	limestone, bedded and massive, grey, black, interbedded with shale and sandstone	Middle Permian
C	-	conglomerate, sandstone, shale, slate, chert, and limestone.	Carboniferous
SDCtp	Thong PhaPhum Group	black shale, chert, and silt stone, dark gray, calcareous; limestone, thin-bedded and nodular; locally with graptolite, tentaculite, nautiloid, trilobite and brachiopod.	Silurian-Devonian- Carboniferous
SD	-	phyllite, carbonaceous phyllite, and quartzitic phyllite.	Silurian-Devonian

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2556)

สำหรับธรณี โครงสร้างในพื้นที่ศึกษาไม่ปรากฏในบริเวณพื้นที่ศึกษามากนัก พบบริเวณโดยรอบเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ แนวรอยเลื่อนขนาดเล็กโดยเฉพาะทางทิศตะวันออกของพื้นที่ พบวางตัวในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ—ทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ—ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (แผนที่ 2.1)

2.1.2 แหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอดและแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก

(ดูได้จากแผนที่ 2.2)

2.1.2.1 แหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด

ตั้งอยู่ในบ้านถ้ำลอด ตำบลถ้ำลอด อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน พิกัด 19° 34'N และ 98° 16'E หรือห่างจากจังหวัดเชียงใหม่ประมาณ 150 กิโลเมตรไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 640 เมตร แหล่งโบราณคดีแห่งนี้ได้มีการขุดค้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2549 ภายใต้การกำกับดูแลของ รศ. ดร. รัศมี ชูทรงเดช ในโครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงฯ ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยศิลปากร แหล่งโบราณคดีนี้เป็นแหล่งกักเก็บตะกอนที่ดีและสะดวกต่อการเข้าถึงพื้นที่ โดยตั้งอยู่ในศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าถ้ำน้ำลอด อำเภอปางมะผ้า (รัศมี ชูทรงเดช, 2547)

2.1.2.2 แหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก

ตั้งอยู่ในเขตบ้านถ้ำลอด ตำบลถ้ำลอด อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน อยู่ห่างจากบ้านถ้ำลอดลงมาทางทิศใต้ประมาณ 2 กิโลเมตร เป็นถ้ำที่เกิดในเขาหินปูน ปากถ้ำสูงจากระดับน้ำทะเล 744 เมตร ณ เส้นรุ้งที่ 19° 33' 21.05"N และเส้นแวงที่ 98° 16' 28"E (พิกัด UTM 47 Q 423891 m E 2162494 m N) อยู่ในเขตลุ่มน้ำ

The map is a topographic representation of a region in Thailand, characterized by brown contour lines indicating elevation. Key features include:

- Tham Lod rockshelter:** Located in the upper central part of the map, marked with a black circle and labeled in Thai as "บ้านถ้ำลอด" and in English as "Tham Lod rockshelter".
- Long Long Rak cave:** Located in the lower central part of the map, marked with a black circle and labeled in Thai as "ถ้ำลอด" and in English as "Long Long Rak cave".
- Other locations:**
 - Doi Chun No:** Located to the west of the rockshelter, labeled in Thai as "ดอยจันทน์" and in English as "Doi Chun No".
 - Wai Pa Muang Phae:** Located to the east of the rockshelter, labeled in Thai as "วัดป่าม่วงแพะ" and in English as "Wai Pa Muang Phae".
 - Rong Rian Ban Tham Lot:** Located to the west of the rockshelter, labeled in Thai as "โรงเรียนบ้านถ้ำลอด" and in English as "Rong Rian Ban Tham Lot".
 - Ban Tham Lot:** Located to the east of the rockshelter, labeled in Thai as "บ้านถ้ำลอด" and in English as "Ban Tham Lot".
 - Wai Tham Lot:** Located to the south of the rockshelter, labeled in Thai as "วัดถ้ำลอด" and in English as "Wai Tham Lot".
 - Tham Lot Health Station:** Located to the southwest of the rockshelter, labeled in Thai as "สถานีอนามัยบ้านถ้ำลอด" and in English as "Tham Lot Health Station".
- Geographical features:**
 - Nam Mae Lao:** A river flowing from the north to the south, labeled in Thai as "น้ำแม่ลาว" and in English as "Nam Mae Lao".
 - Nam Phae:** A river flowing from the north to the south, labeled in Thai as "น้ำแพะ" and in English as "Nam Phae".
 - Nam Mae Nam:** A river flowing from the north to the south, labeled in Thai as "น้ำแม่남" and in English as "Nam Mae Nam".
- Elevation:** Contour lines are labeled with values such as 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100, and 0.

2.1.3 กำเนิดเพิงผาถ้ำลอดและเขาถ้ำผีแมนโลงลงรัก

ในช่วงยุคเพอร์เมียน พื้นที่ภูเขาแห่งนี้และบริเวณโดยรอบ เป็นส่วนหนึ่งของร่องทะเลที่ครอบคลุมทะเลเป็นบริเวณกว้างใหญ่ทอดยาว (Palaeo-Tethys Ocean) ด้านหนึ่งของร่องทะเลเป็นแนวชายฝั่งของจุลทวีปฉาน-ไทย (Shan-Thai block or Sibumasu) ส่วนอีกด้านหนึ่งของร่องทะเลเป็นแนวชายฝั่งของจุลทวีปอินโดจีน

(Indochina block) โดยบริเวณไหล่ทวีปของจุลทวีปทั้งสองเป็นบริเวณที่มีการตกสะสมของตะกอนเคมีของสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต เกิดเป็นแนวหินปูนทอดยาวขนานกับชายฝั่งของจุลทวีปทั้งสอง หินในยุคนี้มีซากดึกดำบรรพ์อยู่จำนวนมาก เช่น คดข้าวสาร แบคทีเรียฟอสเฟต (หอยตะเกียง) ไบรโอซัว หอยวงช้าง แอมโมไนต์ ปะการัง ปลั้วปลิงทะเล

อย่างไรก็ตามตลอดช่วงอายุเพอร์เมียน จุลทวีปทั้งสองได้เคลื่อนที่เข้าหากัน ทำให้ร่องทะเลระหว่างจุลทวีปทั้งสองแคบลงจนเชื่อมติดกันในช่วงท้ายของยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงช่วงต้นของยุคไทรแอสซิกตอนปลาย (Late Middle Triassic-early Late Triassic, post-Anisian) (Sone and Metcalfe, 2008) ทำให้ร่องทะเลหลงเหลืออยู่เพียงแนวแคบๆ บางบริเวณ และต่อมาได้หายไปทั้งหมดในยุคจูแรสซิก หลังจากนั้นมา ตลอดช่วงมหายุคซีโนโซอิก (65 ล้านปีมาจนถึงปัจจุบัน) ได้เกิดกระบวนการบรรพตรังสรรค์หิมาลัย (Himalayan orogeny) หรือการก่อให้เกิดเทือกเขาหิมาลัย ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไทยอย่างมาก กล่าวคือมีการยกตัวของแผ่นดินเป็นแนวเทือกเขาหลายแนว เช่น เทือกเขาสูงทางภาคเหนือ เทือกเขาตะนาวศรี เทือกเขาตะนาวศรี และเทือกเขาสันกำแพง เทือกเขาสูงทางภาคเหนือ นั้นครอบคลุมแนวเขาหินปูนในเขตจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยมีถ้ำลอดและถ้ำผีแมน โลงลงรักรวมอยู่เป็นส่วนหนึ่งด้วย

ภายหลังที่ชั้นหินปูนยุคเพอร์เมียนยกตัวสูงขึ้นเหนือระดับน้ำทะเล กระบวนการผุพังอยู่กับที่และกระบวนการกร่อนได้เกิดขึ้นกับหินปูนตามมาเมื่อกาลเวลาผ่านไปนับหลายล้านปี ชั้นหินปูนจึงแสดงภูมิประเทศหลายรูปแบบ ทั้งภูเขา ถ้ำ หลุมยุบ ป่าหินปูน ทางน้ำใต้ดิน และหุบหินปูน รวมเรียกว่า ภูมิประเทศแบบคาสต์ (Karst topography) ดังที่เห็นอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นภูเขาหินปูนที่เกิดในยุคเพอร์เมียน และมีลักษณะเด่นที่แสดงภูมิประเทศแบบคาสต์ที่เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาสูงทางภาคเหนือของประเทศไทย ดังนั้นจึงจะกล่าวรายละเอียดของธรณีสัณฐานของภูมิประเทศแบบคาสต์ในลำดับต่อไป

2.2 ธรณีสัณฐานของภูมิประเทศแบบคาสต์

คำจำกัดความของภูมิประเทศแบบคาสต์ มีดังต่อไปนี้ จากพจนานุกรมธรณีวิทยาของวิทเทนและบรูคส์ (Whitten and Brooks, 1977: 254) กล่าวว่า เป็นลักษณะภูมิประเทศที่แสดงให้เห็นรูปแบบของการกัดกร่อนในพื้นที่หินปูนและโดโลไมต์ ซึ่งคล้ายกับภูมิประเทศในมหายุคคาสต์ของประเทศยูโกสลาเวีย ลักษณะภูมิประเทศนี้มีได้เกิดจากการกระทำของน้ำผิวดินเท่านั้น แต่ยังเกิดจากการกระทำของน้ำในเนื้อหินและทางน้ำใต้ดินผิวดินอีกด้วย กระบวนการเกิดภูมิประเทศนั้นมีจุดเริ่มต้นจากการยกตัวของชั้นหินปูนจนถึงระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเลทำให้เกิดกระบวนการน้ำไหลกัดกร่อนลงไปในพื้นที่หินปูน

สำหรับพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาซึ่งจัดทำโดยคณะอนุกรรมการจัดทำพจนานุกรมธรณีวิทยา (คณะอนุกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา, 2530: 67) ได้ให้ความหมายว่าเป็นพื้นที่หินปูนที่น้ำฝนน้ำท่าชะละลายหินออกไปมากจนเป็นตะปุ่มตะป่ำ เต็มไปด้วยหลุมบ่อ ถ้ำ และทางน้ำใต้ดินที่น้ำละลายเอาเนื้อหินปูนแทรกซึมหายลงไป พื้นที่แบบนี้จึงมักเป็นที่แห้งแล้งและมีทางน้ำที่น้ำไหลลงที่ต่ำในหน้าฝน แต่ตอนปลายธารน้ำผิวดินหายไปหมด คำนี้แต่เดิมใช้กับที่ราบสูงคาสต์ อันเป็นที่ราบสูงชายฝั่งทะเลเอเดรียติกในเขตประเทศยูโกสลาเวีย

สตราเลอร์ (Strabler, 1975: 482) ได้นิยามความหมายของภูมิประเทศแบบคาสต์ว่า หมายถึง ภูมิประเทศที่เกิดบนหินปูนซึ่งเป็นพื้นที่มีหลุมยุบจำนวนมากและมีถ้ำหรือพื้นที่ผิวดินปรากฏอยู่จำนวนมาก

ธอร์นเบอร์รี่ (Thornbury, 1969: 303) ให้นิยามความหมายว่า หมายถึง ภูมิประเทศที่เกิดบนหินปูนหรือหินโดโลไมต์ทำให้มีลักษณะที่แตกต่างจากหินชนิดอื่นๆ อย่างเด่นชัด ภูมิประเทศนี้เกิดจากการละลายใต้ระดับพื้นผิวและจากการไหลของน้ำพื้นผิวไปยังทางน้ำใต้พื้นผิว

จากความหมายของภูมิประเทศแบบคาสต์ดังกล่าวมาจะเห็นว่าภูมิประเทศชนิดนี้เกิดบนพื้นหินที่ละลายได้ง่ายคือ หินปูนกับหินโดโลไมต์ และเกิดจากการกระทำของน้ำทั้งน้ำบนผิวดินและน้ำใต้พื้นผิว จนมีผลทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่สามารถใช้เป็นแหล่งท่องเที่ยวได้หลายชนิด

กอร์ชคอฟและยาคุชวา (Gorshkov and Yakushova, 1967: 175-184) ได้จำแนกและอธิบายถึงลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ไว้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.2.1 ภูมิประเทศแบบคาสต์พื้นผิว

เป็นภูมิประเทศแบบคาสต์ที่พัฒนาขึ้นบนผิวของหินที่ระบายน้ำได้ ทำให้เกิดร่องแอ่งต่ำ ทางน้ำไหลร่องตามรอยแยกและหลุม ลักษณะภูมิประเทศเหล่านี้มีความลึกตั้งแต่ 1-2 เมตร บางที่วางตัวขนานกันไป โดยสัมพันธ์กับการเอียงตัวของพื้นผิวหิน น้ำไหลเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดลักษณะภูมิประเทศเหล่านี้ มีทั้งน้ำที่ซึมลงไปตามรอยแยกจนกว้างมากขึ้นหรือน้ำที่ค้างอยู่ในรูเล็กๆ ในเนื้อหินหรือรอยแตก จนทำให้รูหรือรอยแตกเป็นร่องรอยแยกหรือรูขนาดใหญ่ขึ้น ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดบนพื้นผิวนี้เรียกรวมกันว่า “ทุ่งภูมิประเทศแบบคาสต์” (Karst fields) ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศต่างๆ กัน ดังนี้

2.2.1.1 โพรงนกแอ่น (swallow hole)

เป็นหลุมที่เกิดในแนวคั้ง เกิดจากการละลายหินปูนอย่างรุนแรงบนชั้นหินปูนที่โผล่ขึ้นมาเหนือพื้นผิว โพรงหินมีขนาดต่างๆ กัน

2.2.1.2 หลุมยุบ (sinkhole)

เป็นหลุมขนาดใหญ่ที่เกิดบนพื้นหินปูน เกิดจากการทรุดตัวของชั้นหินเนื่องจากเนื้อหินเบื้องล่างถูกน้ำละลายไปหมด ทำให้ชั้นหินพื้นผิวทานน้ำหนักไม่ไหวจึงทรุดลงไป หลุมยุบมีขนาดใหญ่กว่าโพรงนกแอ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-50 เมตร และมีความลึก 15-20 เมตร

2.2.1.3 แอ่งหินปูนรูปกระทะและที่ราบคาสต์ (karst cauldron and polje)

เป็นภูมิประเทศแบบคาสต์ที่พัฒนาต่อมาจากขั้นหนึ่งและขนาดใหญ่ขึ้น เป็นการเกิดแอ่งหินปูนรูปกระทะและที่ราบหินปูนจำนวนมากมาประสานกันเป็นช่องขนาดใหญ่ สันฐานคล้ายกระทะที่เกิดจากการทรุดตัว (collapse) ของแผ่นหินเบื้องบน ที่บริเวณใต้ระดับพื้นผิวเป็นโพรงขนาดใหญ่การทอดตัวตื้นอาจเกิดจากกระบวนการแปร โครงสร้าง (tectonic process) หรืออาจเกิดร่วมกับกระบวนการละลายการกร่อนและการพัดพา

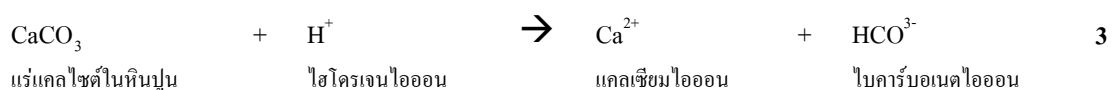
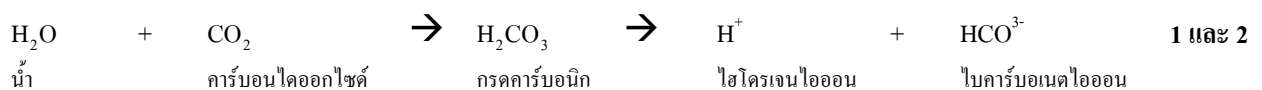
2.2.1.4 ลำธารและทะเลสาบชั่วคราว (intermittent rivers and lakes)

เป็นลำธารและทะเลสาบที่มีน้ำเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลตามลำธารและลงสู่ทะเลสาบมากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกไปจากลำธารและทะเลสาบ ส่วนฤดูแล้งไม่มีน้ำในลำธารและทะเลสาบ เพราะน้ำซึมหายไปตามรอยแยกและรูรั่วของหินจนหมด

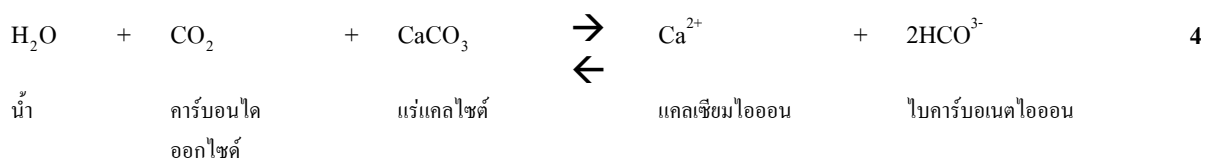
2.2.2 ภูมิประเทศแบบคาสต์ใต้พื้นผิว

เป็นภูมิประเทศที่เกิดใต้พื้นผิวดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของช่องว่างใต้พื้นผิว (subterranean channels) ช่องว่างนั้นมีทั้งช่องว่างที่วางตัวในแนวดิ่ง ช่องว่างรูปแบน ช่องว่างที่วางตัวในแนวราบ ช่องว่างรูปไข่ และถ้าภูมิประเทศที่มีคนสนใจศึกษากันมาก คือ ถ้ำ

รีด และวัตสัน (Read and Watson, 1970: 132-133) กล่าวถึงภูมิประเทศแบบคาสต์ว่า น้ำฝนเป็นน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนผสมอยู่มาก สามารถทำให้เกิดกระบวนการผุพังบริเวณพื้นผิวดินได้ โดยเฉพาะกรดคาร์บอนิก (Carbonic acid – H_2CO_3) ทำให้เกิดปฏิกิริยากับแร่แคลไซต์ (CaCO_3) ซึ่งเป็นแร่ที่ประกอบอยู่ในหินปูน ทำให้เกิดสารละลายคาร์บอเนต (CaHCO_3)₂ กระบวนการที่เกิดขึ้นมีสามขั้นตอน โดยสองขั้นตอนแรก น้ำทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำให้ได้กรดคาร์บอนิกที่มีฤทธิ์อ่อนแอ ดังสมการที่ 1 และ 2 ส่วนขั้นตอนที่สามเกิดขึ้นโดยแคลไซต์ถูกละลายโดยกรดคาร์บอนิกที่ได้จากขั้นตอนที่สองดังสมการที่ 3 ต่อไปนี้ (Thomson and Turk, 2005: 221)



จากสมการ 1, 2 และ 3 สามารถเขียนเป็นสมการรวมได้ดังสมการที่ 4 (Plummer and McGary, 1991: 246)



สมการที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อแร่แคลไซต์ในหินปูนละลายลงแล้วจะได้สารละลายซึ่งประกอบด้วยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ด้านขวามือของสมการ กระบวนการนี้ทำให้เกิดถ้ำหรือโพรงในหินปูน และเมื่อสารละลายซึ่งมีความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนและไบคาร์บอเนตไอออนสูง ไหลและหยดลงไปตามรอยแตก ช่องว่างในหิน เพดาน ผิวน้ำ หรือพื้นถ้ำอย่างช้าๆ ซึ่งจะอยู่ในสภาวะของบรรยากาศภายในถ้ำ และทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ละลายอยู่ในสารละลายสูญเสียออกไป (degassing) ทำให้ไอออนทั้งสองนี้ทำปฏิกิริยาย้อนกลับไปทางซ้ายมือและตกผลึกเป็นแร่แคลไซต์ทุกชนิดภูมิหรือตะกอนถ้ำ (speleothems) ต่างๆ อยู่ในถ้ำต่อไป

ผลของกระบวนการนี้ทำให้เกิดภูมิประเทศที่ตระการตาตามรอยแยกของหินปูนที่โผล่ขึ้นมาสัมผัสกับน้ำฝน กระบวนการนี้จะขยายตัวกว้างขึ้นเป็นร่องวางตัวตัดกันไปตามลักษณะของรอยแยกของหินปูนมีลักษณะคล้ายตาตะแกรง ซึ่งเรียกว่า “ระแหงหิน” (grikes) ส่วนก้อนหินที่วางตัวอยู่ระหว่างรอยระแหงเหมือนทางเท้า เรียกว่า “หินยอคราบ” (clint) เนื่องจากรอยระแหงทำให้เกิดแท่งหินขอบมนและมีด้านบนค่อนข้างแบนราบ แต่ถ้าด้านบนของแท่งหินนี้เป็นตะปุ่มตะป่ำมียอดแหลม เรียกว่า ป่าหินปูน หรือป่าช้าหินปูน (lapiaz or lapies) (Read and Watson, 1970: 132-133)

ตามร่องรอยระแหงซึ่งเดิมคือรอยแยกของหินปูนนี้หากมีการละลายต่อไปอีก ทำให้เกิดรูที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า “รูนกแอ่น” ถ้าใหญ่ขึ้นไปอีกก็เรียกว่า “รูรูปหม้อ” (Pots or colinas) ตามร่องเหล่านี้มีลักษณะเป็นธารน้ำขนาดเล็กและมีน้ำตกขนาดเล็กปรากฏอยู่ รูรูปหม้อนี้ถ้าอยู่ใกล้พื้นผิวจะมีขนาดเล็กและมีดินที่หลือจากการพัดพาตกค้างอยู่เต็ม แต่ถ้ารูรูปหม้อเกิดลึกลงไปชั้นหินปูน รูนี้สามารถพัฒนาไปเป็นถ้ำ (caves) ได้ ส่วนถ้ำหลวง (caverns) ส่วนมากเกิดจากถ้ำธารใต้พื้นผิว

สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ในพื้นที่ศึกษาและมีศักยภาพเป็นสถานที่ท่องเที่ยวได้นั้นมีทั้งภูมิประเทศแบบคาสต์พื้นผิวและใต้พื้นผิว ตัวอย่างที่สำคัญมีดังนี้

1. ป่าหินปูน หรือป่าช้าหินปูน หรือที่ภาษาฝรั่งเศส เรียกว่า ลาเปียซ์ (lapies) พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน (ราชบัณฑิตยสถาน เล่ม 2, 2549: 488) ได้นิยามไว้ว่าเป็นบริเวณพื้นที่หินปูนที่มีลักษณะเป็นลายตะแกรง เกิดจากหินปูนถูกน้ำฝนชะละลายจนเป็นร่องรอยระแหงสลับกับสันแนวเต็มไปด้วยหิน ต่อมาเมื่อสารละลายคาร์บอเนตไปตกตะกอนอยู่ตามระแหงหิน ทำให้บริเวณพื้นหินปูนมีลายคล้ายตะแกรง ส่วนสตรีเลอร์ (Strabler, 1975: 482) กล่าวว่า ป่าหินปูน คือ พื้นผิวหินปูนที่มีหน้าหินขนาดเล็กสลับกับร่องขนาดเล็กจำนวนมาก

ธอร์นเบอร์รี่ (Thornbury, 1969: 306-307) ได้อธิบายลักษณะป่าหินปูนไว้อย่างละเอียดดังนี้ ป่าหินปูนเป็นลักษณะภูมิประเทศเกิดเฉพาะที่บนพื้นผิวหินปูนที่ไม่มีดินแร่รอสซา (terra rossa) ปกคลุม ทำให้พื้นผิวหินปูนโผล่ขึ้นมาและถูกสลักเสลาด้วยกระบวนการผุกร่อนจนเป็นหลุมหรือเป็นร่อง ทำให้พื้นผิวหินปูนขรุขระ ป่าหินปูนประเภทที่รู้จักกันเป็นอย่างดี ได้แก่ “ร่องป่าหินปูน” (hill lapies) เป็นป่าหินปูนที่มีร่องขนาดเล็กจำนวนมากและร่องนั้นอยู่ชิดกัน ธอร์นเบอร์รี่ได้อ้างคำกล่าวของ ซวีจิก (Cvijic, 1924 อ้างใน Thornbury, 1969: 307) ถึงแหล่งกำเนิดของป่าหินปูนว่า ป่าหินปูนเกิดบนหินปูนที่ไม่มีสิ่งใดปกคลุมเลย ปัจจัยควบคุมการเกิดภูมิประเทศนี้ ได้แก่ ส่วนประกอบของหิน เนื้อหิน โครงสร้างของหิน ความลาดพื้นผิวหินและปริมาณพืชที่ปกคลุม ป่าหินปูนพบน้อยมากบนที่ราบ ส่วนมากพบหลุมยุบแทน

2. หลุมยุบ (sinkhole) เป็นหลุมที่เกิดในพื้นที่หินปูน ปากหลุมมีลักษณะค่อนข้างกลม ซึ่งธอร์นเบอร์รี่ (Thornbury 1969: 307-311) กล่าวว่า หลุมยุบเป็นภูมิประเทศที่พบโดยทั่วไปในพื้นที่หินปูน ตามนัยของลักษณะภูมิประเทศหลุมยุบ คือ แอ่งต่ำที่มีความลึกต่างๆ กันจากความลึกไม่กี่ฟุตจนถึง 100 ฟุตหรือมากกว่าส่วนมากมีความลึก 10-30 ฟุต พื้นที่ปากหลุมมีขนาดตั้งแต่ไม่กี่ตารางหลาไปจนถึงนับเป็นเอเคอร์ (1 เอเคอร์ = 43,560 ตารางฟุต = 4,047 ตารางเมตร) หลุมยุบที่พบบ่อยๆ มีรูปร่างเป็นปล่อง (funnel shape) ปากหลุมค่อยๆ กว้างขึ้นเมื่อใกล้พื้นผิว ชนิดของหลุมยุบนั้นแบ่งได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ หลุมยุบที่เกิดจากการไหลของน้ำทำไปตามรอยแยกในชั้นหินปูน ทำให้เกิดโพรงลึกในแนวตั้ง เรียกกันว่า หลุมยุบจากการละลาย (solution sinkhole) หลุมยุบชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนลักษณะทางกายภาพของชั้นหิน ส่วนอีกชนิดเป็นหลุมยุบที่เกิดจากการทรุดตัวของชั้นหินเนื่องจากภายใต้ชั้นหินนั้นมีทางน้ำใต้ดินเกิดขึ้น หินเบื้องบนรับน้ำหนักไม่ไหวจึงทรุดตัวลงไป

เรียกหลุมยุบชนิดนี้ว่า หลุมยุบจากการทรุดตัว (collapse sinkhole) ธอร์นเบอร์รี่กล่าวว่า ภาษาเซอร์เบีย เรียกหลุมยุบชนิดแรกว่า โดไลนา (Dolinas) เมื่อเป็นภาษาอังกฤษใช้คำว่า โดไลน์ (dolines) ส่วนหลุมยุบที่มีน้ำไหลลงไปทางปากปล่อง ธอร์นเบอร์รี่เรียกว่า โพรงนกแอน (swallow hole)

อย่างไรก็ตามความหมายของหลุมยุบที่กล่าวมานี้ค่อนข้างแตกต่างจากความหมายที่ปรากฏในพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาและพจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ (คณะอนุกรรมการการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา, 2530: 109 และราชบัณฑิตยสถาน เล่ม 2, 2549: 754) โดยเฉพาะขนาด พจนานุกรมทั้งสองได้นิยามความหมายของหลุมยุบไว้เหมือนกันดังนี้ หลุมยุบ คือ หลุมลึกบนแผ่นดินที่ปากเกือบกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 เมตรหรือมากกว่า 200 เมตร เกิดจากน้ำละลายเอาหินเกลือ ยิปซัมหรือหินปูนที่อยู่ด้านล่างออกไปเสีย ทำให้พื้นดินตอนบนยุบลงไปเป็นหลุมใหญ่ หากการละลายสารดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลุมยุบนี้จะลึกลงเรื่อยๆ จนทะลุทางน้ำข้างล่างเกิดเป็นปล่อง (chimney)

3. ถ้ำ เป็นภูมิประเทศแบบคาสต์ที่มีคุณค่าของความเป็นแหล่งท่องเที่ยวมากที่สุด เพราะองค์ประกอบของถ้ำมีทั้งลักษณะของความแปลก ตระการตา สวยงาม และบางถ้ำยังมีความลึกกลับ เกิดจากความมืดภายในถ้ำหรือจากความเชื่อและนิทานพื้นบ้านเกี่ยวกับถ้ำ ในพื้นที่วิจัยมีถ้ำอยู่จำนวนหลายถ้ำที่สามารถพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวได้

พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ (ราชบัณฑิตยสถาน เล่ม 2, 2549: 135) ให้ความหมายว่า ถ้ำ หมายถึง ช่องที่เป็นโพรงลึกเข้าไปในแผ่นดิน โดยมากมีอยู่ตามภูเขาหินปูนที่มีน้ำใต้ดินไหลผ่านกัดเซาะ หรือถ้ำที่เกิดตามชายฝั่งทะเล ถ้ำมีขนาดเล็กเรียกว่า ถ้ำ (cave) ถ้ำมีขนาดใหญ่กว้างขวางมากเรียกว่า ถ้ำหลวง (cavern)

กอร์ชคอฟและยาคุโชวา (Gorshkov and Yakushova, 1967: 181) กล่าวว่า ถ้ำเป็นภูมิประเทศแบบคาสต์ใต้พื้นผิวที่มีการศึกษากันมาก ตามปกติพบถ้ำตามแนวระดับน้ำใต้ดินในภูมิประเทศแบบคาสต์ ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดที่จะเกิดถ้ำ ถ้านั้นเป็นระบบช่องทางน้ำไหลใต้พื้นผิวที่วางตัวในแนวระนาบหรือเกือบระนาบ โดยมีสาขาเป็นช่องแคบ ระบบช่องทางนี้เป็นไปตามรอยแยกของชั้นหิน ตามพื้นถ้ำอาจมีทางน้ำหรือแอ่งน้ำเล็กๆ น้ำในลำธารจะทำปฏิกิริยากับหินและก่อให้เกิดการกัดกร่อนพัฒนา พื้นถ้ำบางแห่งมีเศษหินที่ร่วงมาจากผนังถ้ำกองอยู่ น้ำที่ซึมตามรอยแตกบนผนังถ้ำจะละลายแคลไซต์ลงมาตกผลึกได้เพดานถ้ำ ก่อให้เกิดภูมิประเทศที่ตระการตา เช่น หินย้อย (stalactite) มีลักษณะเป็นแท่งหินที่ตกลงมาจากเพดานถ้ำ ส่วนน้ำที่หยดลงมาถึงพื้นถ้ำก่อให้เกิดแท่งหินงอกสูงขึ้นมา เรียกว่า หินงอก (stalagmite)

ถ้ำหลวงหรือถ้ำนั้น ธอร์นเบอร์รี่ (Thornbury, 1969: 325-327) กล่าวว่า เป็นช่องทางเดินใต้ระดับพื้นผิวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อาจมีระบบง่าย ๆ หรือสลับซับซ้อน มีทั้งที่ขยายตัวในแนวดิ่งและแนวนอน อาจมีเพียงระดับเดียวหรือหลายระดับ อาจมีลำธารอยู่ในถ้ำหรือไม่ก็ได้ ถ้ำแห่งส่วนมากมีสองระดับหรือมากกว่านั้น จึงมีความตระการตาเรียกว่า ถ้ำโรงมโหรี (gallery cavern) ถ้ำลักษณะนี้อาจมีถึงห้าชั้น ในถ้ำเล็กๆ นั้น เราสามารถมองเห็นลักษณะการวิวัฒนาการของถ้ำได้ง่าย ระบบของถ้ำเป็นไปตามรอยแยกและระนาบชั้นหิน ระบบรอยแยกและระนาบชั้นหินเป็นระบบที่ต่อเนื่องกันเป็นสามมิติและช่องว่างในระบบนี้จะขยายตัวใหญ่ขึ้นจากการไหลของน้ำในช่องว่างนั้น หลักฐานของปรากฏการณ์นี้เห็นได้ง่ายในถ้ำขนาดเล็ก แต่ถ้ำขนาดใหญ่หรือถ้ำหลวงอาจเห็นได้ยาก

ภายในถ้ำมีการตกตะกอนลักษณะต่างๆ ก่อให้เกิดความสวยงามความตระการตา และทำให้ทราบประวัติและการกำเนิดของถ้ำนั้น ลักษณะที่สะดุดตาโดยปกติเกิดจากการสะสมตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตบนเพดาน ผนัง และพื้นถ้ำที่สำคัญ ได้แก่ คราบหินปูนหรือทราเวอร์ทีน (travertine) หินงอก หินย้อย เสาหิน

(columns or pillars) หินน้ำไหล (flowstone) เป็นคราบหินที่เกิดจากการตกผลึกของแคลไซต์ที่ละลายปนมา กับน้ำที่ไหลไปบนพื้นถ้ำ ทำนบหิน (rimstone) เป็นขอบหินแคลไซต์กลม เกิดจากน้ำพุที่มาจากพื้นถ้ำ ส่วนลักษณะต่างๆ ที่พบในถ้ำและคำจำกัดความเกี่ยวกับถ้ำที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ สามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ใน พินดา สิทธิสุนทร และคณะ (2549)

4. ลักษณะอื่นๆ นอกจากที่กล่าวมาและอาจพบได้ ชัยพร ศิริพรไพบุณย์ (2543ก) ได้นำเสนอไว้ดังนี้

4.1 หลุมยุบซับซ้อน (uvala) เป็นหลุมยุบที่มีความซับซ้อน มักมีหลุมยุบขนาดเล็กอยู่ตามขอบของหลุมใหญ่ เช่น บริเวณบ้านปางคามและบ้านห้วยป่าดิง เป็นต้น

4.2 หุบเขาหลุมยุบ (polje) เป็นร่องหลุมยุบที่มีพื้นที่ท้องน้ำเป็นที่ราบ และมีขนาดพื้นที่มากกว่า 1 ตารางกิโลเมตร อาจมีลำธารน้ำไหลไม่ตลอดปี (intermittent stream) หรือเป็นธารน้ำไหลตลอดปี (perennial stream) ซึ่งหุบเขาหลุมยุบนี้ มักถูกน้ำท่วมได้ในฤดูน้ำหลาก แต่พื้นที่ดังกล่าวสามารถใช้ในการเกษตรได้ดี เพราะเป็นที่ราบและมีน้ำบริบูรณ์กว่าส่วนอื่น เช่น บ้านแม่ละนาและบ้านไร่ ซึ่งใช้พื้นที่ในการทำข้าวและปลูกพืชผักสวนครัว

4.3 กีด (stream sink) เป็นลำห้วยที่มีน้ำไหลหายเข้าไปใต้ดิน เช่น บ้านกีดน้ำลาด บ้านกีดสามสิบ บ้านกีดข้าวหลาม และบ้านลูกตอง เป็นต้น

4.4 น้ำพุ (Spring) หรือภาษาถิ่นทางภาคเหนือเรียก “น้ำฮู” ซึ่งเป็นลำห้วยที่ไหลออกมาจากถ้ำ เช่น ที่บ้านแม่ น้ำฮูสองแคว น้ำฮูผาเสือ และบริเวณใกล้ลำน้ำของ ใกล้ น้ำตกชุ่มซ่า รวมทั้งน้ำที่ไหลออกมาจากถ้ำน้ำลาดด้วย บางแห่งเป็นน้ำซับ (seeps) เพราะมีอัตราการไหลของน้ำออกมาสู่ผิวดินตามเชิงเขา ในปริมาณน้อยในลักษณะซึมออกมา เช่น ที่บ้านแม่สุยะ

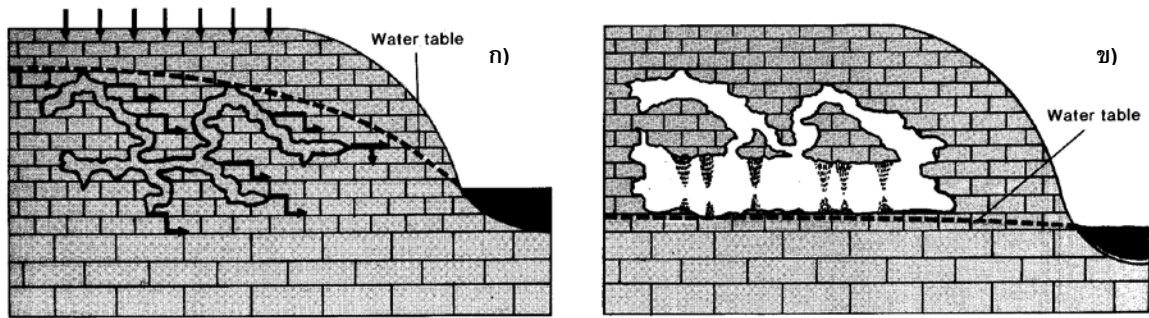
4.5 หน้าต่างคาสต์ (Karst window) เป็นแอ่งหรือหลุมที่เกิดจากการพังทลายของเพดานถ้ำและมีลำธารไหลอยู่ด้านล่าง

4.6 หุบเขาแห้ง (dry valley) เป็นหุบเขาเล็กๆ ที่ไม่มีร่องของน้ำผิวดิน มักพบอยู่ตามร่องเขาที่มีความลาดชัน

4.7 หุบเขาบอด (blind valley) เป็นหุบเขาที่มีปลายด้านล่างปิดโดยมีหน้าผาหรือมีความลาดชันหันหน้าเข้าหาหุบเขา เช่น ที่บ้านปางคาม ซึ่งหุบเขานี้จะมีลำธารน้ำไหลตลอดปี (perennial stream) หรือธารน้ำไหลไม่ตลอดปี (intermittent stream) ก็ได้

2.3 การเกิดและวิวัฒนาการของถ้ำ

พลัมเมอร์และแมกเกียร์ (Plummer and McGary, 1991: 245-6) กล่าวว่า ถ้ำส่วนใหญ่เกิดจากน้ำบาดาล (ground water) ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อนละลายหินปูนตามรอยแตก รอยแยก และระนาบชั้นหิน น้ำบาดาลเป็นสารละลายที่มีคาร์บอนไดออกไซด์มาจากอากาศและในดิน ถ้ำบางแห่งอาจเกิดจากการละลายของหินปูนที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน (water table) (รูปที่ 2.1) ต่อมาเมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลงหรือพื้นแผ่นดินบริเวณนั้นยกตัวขึ้นเหนือระดับน้ำใต้ดิน ทำให้ภายในถ้ำเริ่มมีตะกอนถ้ำหรือแร่ทุติยภูมิ (speleothem) อันเนื่องมาจากการตกผลึกของแคลไซต์ (calcite precipitation) ดังได้กล่าวไว้แล้ว และแสดงในสมการที่ 4



รูปที่ 2.1 ก) น้ำบาดาลในหินปูนไหลซึมตามรอยแตกและระนาบชั้นหิน และละลายหินปูนจนกลายเป็นโพรงและถ้ำ ในบริเวณที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน (water table) ข) เมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลง ทำให้โพรง และถ้ำขยายกว้างขึ้น และมีอากาศเข้าไปบรรจุอยู่ ทำให้เกิดตะกอนถ้ำ เช่น หินงอก หินย้อย บริเวณเหนือระดับน้ำใต้ดิน (Plummer and McGeary, 1991: 245)

กิลลีสัน (Gillieson, 1996) ให้รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการกำเนิดถ้ำ ได้แก่ สิ่งที่พบในถ้ำหรือตะกอนภายในถ้ำ การศึกษาหาอายุตะกอนภายในถ้ำ การศึกษาภูมิอากาศบรรพกาลจากตะกอนในถ้ำ นิเวศวิทยาในถ้ำ การจัดการถ้ำและลุ่มน้ำของภูมิประเทศแบบศาสตร์ ซึ่งลักษณะระบบถ้ำ ในทางทฤษฎีมีทั้งส่วนนำเข้า (inputs) และส่วนนำออก (outputs) ที่หลากหลาย (รูปที่ 2.2) พัฒนัธร โทไวยะ (2542) กล่าวถึงการกำเนิดและวิวัฒนาการของถ้ำ 2 กลุ่ม ได้แก่ ถ้ำเป็น (active cave) คือ มีการกัดเซาะจากทางน้ำ มีการตกตะกอนของตะกอนถ้ำ (ยังคงมีการเกิดหินงอก หินย้อย ต่างๆ อยู่) และถ้ำอีกกลุ่มหนึ่งคือ ถ้ำลอย (ถ้ำแขวน) ที่หยุดการพัฒนาไปแล้วบางที่เรียกว่า ถ้ำตาย หรือถ้ำแห้ง (non active cave)

2.3.1 ถ้ำเป็น

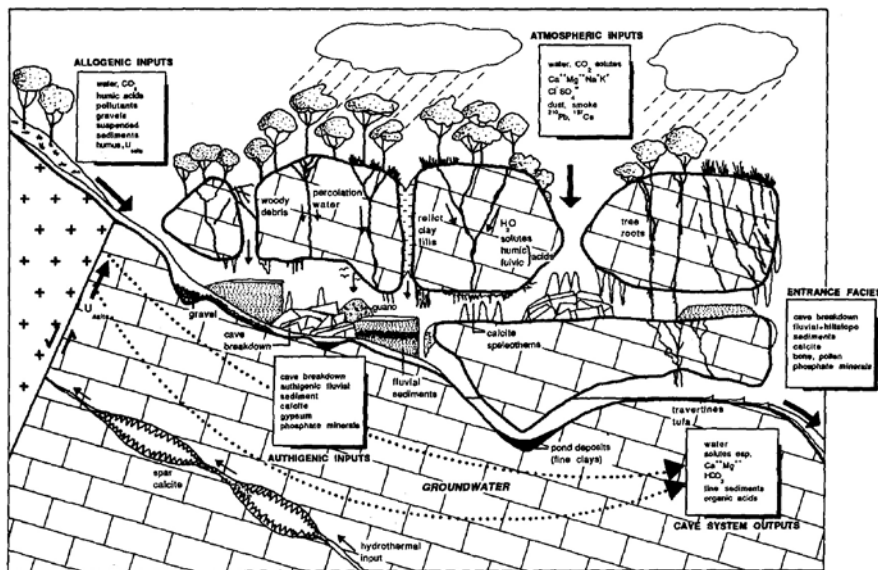
สำหรับถ้ำเป็น (active cave) มีการวิวัฒนาการเป็นขั้นต่างๆ 4 ขั้น ดังต่อไปนี้

2.3.1.1 ถ้ำปฐมวัย (youth cave)

เมื่อฝนตกลงมาบนพื้นผิวโลก น้ำส่วนใหญ่ไหลล้นไปตามพื้นผิวดิน กลายเป็นทางน้ำ แต่มีน้ำบางส่วนประมาณ 5-10% ที่ไหลซึมลงใต้ผิวดิน หรือในกรณีที่ดินโคลนพื้นผิวดินหรือไม่มีดินปกคลุมอยู่ น้ำจะไหลลงตามรอยแตกของหิน น้ำที่ไหลซึมลงอยู่ใต้พื้นผิวเหล่านี้ส่วนหนึ่งถูกดูดซับเอาไว้ด้วยรากพืช ส่วนที่เหลือไหลซึมไปตามรูพรุนของชั้นดิน และไหลไปตามความลาดชันของพื้นผิวโลก หากน้ำมีปริมาณมากพอจะกลายเป็นน้ำบาดาล (ground water) น้ำบาดาลบางส่วนไหลซึมต่อไปในแนวดิ่งตามความลึกของชั้นดิน (รูปที่ 2.3)

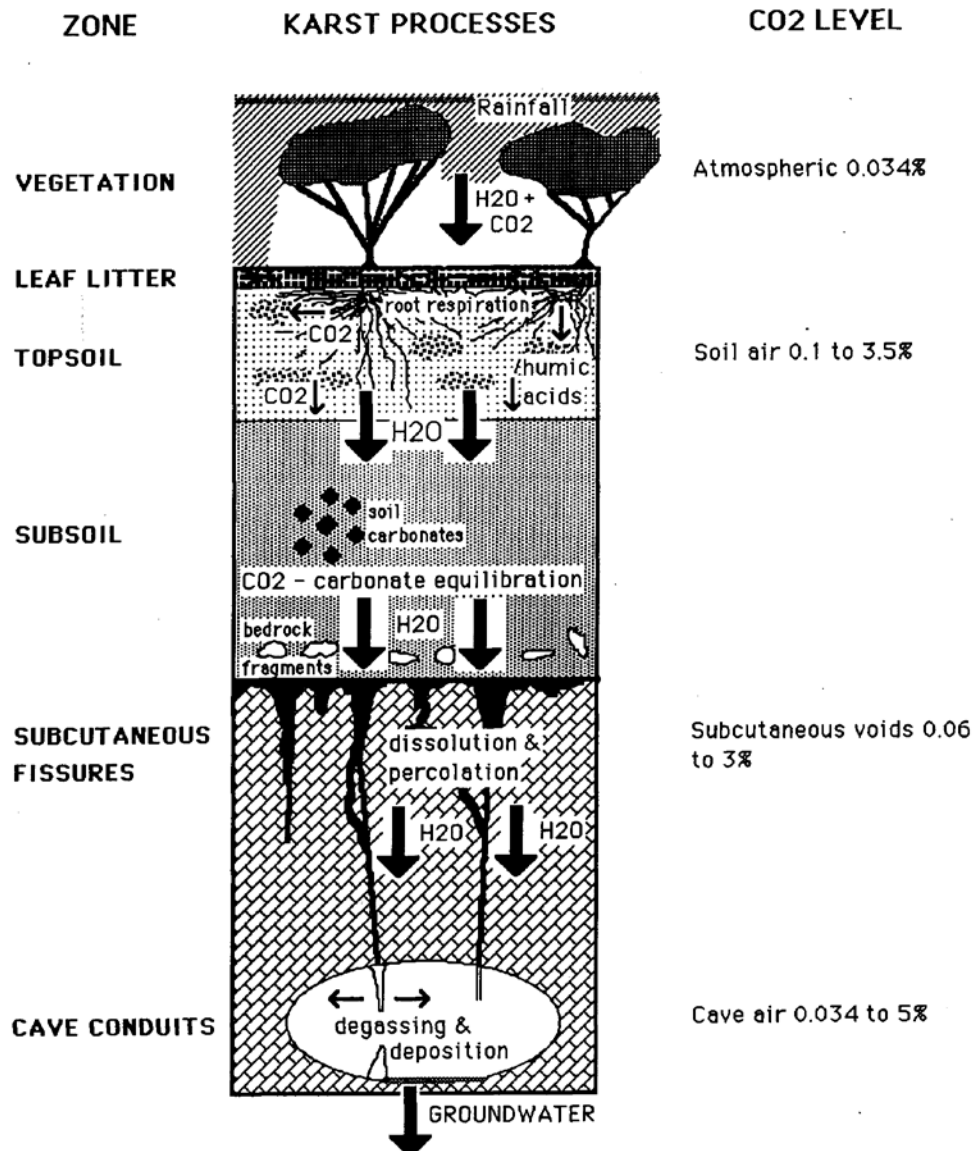
อย่างไรก็ตามในบางครั้งมีข้อจำกัด คือ ถ้ำชั้นดินชั้น ดินจะมีความพรุน (porosity) น้อย หรือเป็นหินแข็งจนน้ำไม่สามารถไหลซึมต่อไปได้ น้ำเหล่านั้นจึงไหลขนานไปกับชั้นดินลงไปตามความลาดชัน แต่เมื่อใดที่ชั้นหินมีรอยแตก น้ำเหล่านั้นจะมีโอกาสไหลซึมผ่านรอยแตกเหล่านั้นได้ น้ำบาดาลเหล่านี้ในขณะที่ไหลซึมผ่านชั้นดินหรือแม้กระทั่งน้ำฝนที่ตกลงมา เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศโดยธรรมชาติจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้วยในปริมาณที่พอเหมาะจำนวนหนึ่ง น้ำเมื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ใน

ธรรมชาติ (ในอากาศหรือในรูปของชั้นดิน) จะกลายเป็นน้ำที่มีสภาพเป็นกรดคาร์บอนิกอ่อนๆ เมื่อไหลไปพบหินปูน มีผลให้ทำหน้าที่เป็นตัวละลายแร่แคลไซต์ในหินปูนได้



รูปที่ 2.2 ระบบถ้ำในทางทฤษฎีมีส่วนนำเข้าสู่ระบบและส่วนนำออกจากระบบจำนวนมากและหลากหลาย (Gillieson, 1996: 7)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการเกิดถ้ำเท่านั้น กระบวนการต่อมาของการเกิดถ้ำคือ เมื่อน้ำเริ่มละลายหินปูน (ถ้าส่วนใหญ่เกิดในหินปูนดังนั้นจึงเน้นเฉพาะหินปูนเท่านั้น หินชนิดอื่นมีรอยแตกเช่นกัน แต่น้ำจะไหลลงไปได้เพียงระดับหนึ่งก็ไม่สามารถไหลซึมต่อไปได้เพราะรอยแตกเริ่มเล็กลงและน้ำไม่สามารถละลายเนื้อหินออกไปได้) เมื่อน้ำไหลซึมผ่านรอยแตกของหินปูน รอยแตกหรือรูก็เริ่มขยายตัวออกจากขนาดเล็กแล้วค่อยๆ ใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2.3 ลำดับขั้นตอนของการเคลื่อนย้ายคาร์บอนไดออกไซด์ลงสู่เบื้องล่างโดยผ่านพืชพรรณ ดิน และชั้นหินบนสุดที่อยู่ใต้ชั้นดิน (subcutaneous zones) ในพื้นที่ภูมิประเทศแบบคาสต์ ซึ่งในแง่ใดแห่งหนึ่งอาจจะไม่แสดงเขต (zone) ครบทั้งหมดที่มีอยู่ในแผนภูมิรูปภาพนี้ก็ได้ สดมภ์ขวาสุดในภาพแสดงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ของคาสต์ที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบอบอุ่น (Gillieson, 1996: 72)

โดยธรรมชาติรอยแตกในหินมีหลายทิศทาง ไม่เพียงแต่รอยแตกในแนวตั้งเท่านั้น แนวแตกในแนวระนาบก็ถูกละลายไปด้วยเช่นกัน รอยแตกเหล่านี้แรกๆ เมื่อมีน้ำไหลซึมผ่านในปริมาณน้อย ความเร็วในการไหลยังไม่มาก เมื่อรอยแตกถูกละลายขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านได้จะมากขึ้น ทำให้อัตราการไหลและอัตราการละลายมากตามไปด้วย เมื่อรอยแตกขยายใหญ่ขึ้นจนเป็นรูโพรง การไหลของน้ำจึงเป็นอิสระมากขึ้นจนสามารถไหลเป็นทางน้ำ ตั้งแต่ในช่วงต้นที่กล่าวมาจนถึงระยะนี้สามารถทำให้หินเป็นรูโพรงขนาดใหญ่พอควรจัดอยู่ในระยะเริ่มแรก (youth) ที่เริ่มเกิดเป็นถ้ำแล้ว ถ้ำในระยะนี้จึงมีแต่กระบวนการกัดเซาะของน้ำเป็นส่วนใหญ่ ไม่มีกระบวนการตกตะกอนภายในถ้ำเกิดขึ้นมากนัก อาจมีตะกอนถ้ำบางอย่างเกิดขึ้นตามมา หากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น การเกิดหลอดหินขี้ย (soda straw) หินขี้ย (stalactite) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาบ้าง ไม่มีอะไร

ซับซ้อนนอกจากพบรูโพรงขนาดเล็กและแคบ มีความชันค่อนข้างมาก ยังไม่มีตะกอนถ้ำต่างๆ หรือตะกอนทางน้ำ (กรวดและทราย) มีเพียงหินหล่นขนาดใหญ่ที่เป็นผลจากการเกิดรอยเลื่อน (fault) ของชั้นหิน ทำให้เศษหินหล่นเหล่านี้ยังมีเหลี่ยมคม เนื่องจากยัง ไม่มีการละลายหรือการขัดถูของการตกตะกอนต่างๆ

2.3.1.2 ถ้ำขัณมิวัย (matured cave)

เป็นถ้ำที่เกิดขึ้นเมื่อการกัดเซาะในแนวตั้งเข้าสู่จุดสมดุล รวมทั้งระดับน้ำบาดาลกัดเซาะและละลายเนื้อหินจนเข้าสู่กับระดับน้ำผิวดิน ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง รวมถึงเมื่อการกัดเซาะในแนวระนาบมีมากขึ้นและรักษาระดับคงที่ไว้ได้ในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง การขัดสีของตะกอนทางน้ำจะขัดถูให้ก้อนหินขนาดใหญ่ให้เล็กลงและลบเหลี่ยมมุมมากขึ้น การไหลหยดของน้ำตามเพดานและผนังถ้ำมากขึ้น ทำให้เกิดตะกอนถ้ำมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น หินงอก หินย้อย หรือหินปูนฉาบ แต่ขนาดยังไม่ใหญ่มากนัก ชนิดของตะกอนถ้ำประเภทนี้เกิดอยู่ได้น้ำหรือในแอ่งจะยังมีน้อยมาก

2.3.1.3 ถ้ำปัจฉิมวัย (Old age cave)

เป็นถ้ำที่มีอายุมาก ผ่านการกัดเซาะและการละลายมานาน ตะกอนตามพื้นเป็นพวกกรวดทราย และดินเหนียว ก้อนกรวดมีความกลมมนไม่มีเหลี่ยมขนาดใหญ่มาก ส่วนใหญ่กองคุดอยู่บนผนังถ้ำ จนบางครั้งน้ำที่ไหลซึมผ่านผนังถ้ำหรือผ่านพวกหินปูนฉาบหรือม่านหินย้อย (drapery) ต่างๆ จะตกตะกอนเคลือบพวกก้อนกรวดเหล่านั้นจนเชื่อมติดกับผนังถ้ำไปด้วย ลักษณะดังกล่าวนี้ใช้เป็นหลักฐานว่าบริเวณเหล่านี้เคยเป็นพื้นทางน้ำมาก่อน

นอกจากนี้บางครั้งตามผนังถ้ำอาจมีโพรงตันบางแห่ง ซึ่งเมื่อถึงฤดูน้ำหลาก ตามซอก หลืบ หรือรูโพรงเหล่านี้จะเต็มไปด้วยน้ำ แต่ต่อมาเมื่อระดับน้ำลดลงมีการตกตะกอนของตะกอนถ้ำประเภทที่เกิดได้น้ำในขณะนี้น้ำขังนิ่ง เช่น พวก pool deposits ต่างๆ หรือพวกผลึกเคลือบผนัง (crystal linings) เป็นต้น ถือเป็นหลักฐานหนึ่งที่บ่งชี้ว่า ครั้งหนึ่งเคยมีน้ำท่วมถึงในระดับต่างๆ มาแล้ว นอกจากนั้นตะกอนที่เกิดในแอ่งอาจเป็นพวกดินโคลนที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก เมื่อน้ำลดลงหรือแห้งไป ตะกอนเหล่านี้อาจทับถมกันอยู่ในแอ่งหรือเคลือบฉาบอยู่บนตะกอนถ้ำต่างๆ ด้วยขนาดของถ้ำอาจมีการขยายตัวในแนวระนาบออกไปเรื่อยๆ เท่าที่จะเป็นไปได้ ขึ้นกับปริมาณน้ำและความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถ้ำเหล่านี้

2.3.1.4 ถ้ำคืนพลัง (Rejuvenated cave)

เป็นถ้ำที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา โดยที่พื้นผิวหรือลักษณะภูมิประเทศบริเวณถ้ำที่มีอยู่ก่อนยกตัวสูงขึ้นกว่าระดับเดิมในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง เป็นเหตุให้เริ่มเกิดการกัดเซาะในแนวลึกครั้งใหม่ กระบวนการเกิดถ้ำยังคงดำเนินต่อไป เช่น การตกตะกอนถ้ำมีความต่อเนื่อง หากไม่มีหลักฐานอย่างใดอย่างหนึ่ง อาจไม่ทราบว่าเกิดการเคลื่อนตัวหรือยกตัวของพื้นผิวโลก แต่เนื่องจากหลักฐานหลายอย่างที่ถูกบันทึกอยู่บนผนังถ้ำหรือตะกอนถ้ำบางอย่างทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงแต่ละครั้งเอาไว้ เช่น ระดับพื้นน้ำเดิม (fossil floor) หรือการแตกหักของแท่งเสาหินที่เกิดจากแรงดึงเมื่อมีการทรุดตัวของระดับพื้นหรือเมื่อพื้นผิวโลกถูกยกในระดับสูงขึ้น ระดับน้ำต่างๆ ต้องปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง ถือเป็นระดับมาตรฐานที่น้ำจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเสมอ เมื่อน้ำในถ้ำไหลกัดเซาะในระดับที่ลึกลงจนทำให้เกิดรูโพรงด้านล่างของพื้นถ้ำเดิม จึงเกิดการพังถล่มของพื้นเป็นหลุมลึกลงไป หรือเรียกว่า หลุมยุบ (sinkhole หรือ doline) พบได้ทั่วไปในบริเวณที่มีน้ำบาดาล

ไหลอยู่ใต้พื้นชั้นหินที่เป็นหินปูน แต่หากเกิดการยุบตัวของชั้นหินที่ถูกละลายจนข้างใต้เกิดเป็นรูโพรงขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการพังถล่มของพื้นที่เป็นบริเวณกว้างใหญ่มาก เรียกว่า หุบเขาหลุมยุบ (polje) ตัวอย่างถ้ำที่มีหลักฐานการเกิด การคืนพลัง (rejuvenation) มาแล้ว ได้แก่ ถ้ำลอด อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

2.3.2 ถ้ำตายหรือถ้ำแห้ง

เป็นถ้ำอีกกลุ่มที่หยุดพัฒนาแล้ว (inactive caves) อาจเรียกว่า ถ้ำลอย (ถ้ำแขวน) ถ้ำตาย หรือถ้ำแห้ง มักพบอยู่ตามยอดเขาสูง อาจเป็นเพียงรูโพรงที่มีขนาดต่างๆ ทั้งเล็กและใหญ่ บางถ้ำแม้จะไม่สูงมาก แต่จะอยู่ในระดับสูงกว่าถ้ำที่ยังมีพัฒนาการอยู่ทั่วไป ถ้ำแขวนเหล่านี้มีอยู่เป็นจำนวนมาก และส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยมนุษย์โบราณ เช่น การนำโลงศพไปเก็บไว้ในถ้ำ (พินดา สิทธิสุนทร และคณะ, 2549) และบางถ้ำอาจถูกใช้เป็นที่อยู่อาศัยของมนุษย์โบราณเหล่านั้นด้วย นอกจากมนุษย์แล้วมีร่องรอยว่าสัตว์ต่างๆ ใช้เป็นที่อยู่อาศัยหลบภัยด้วย

สำหรับวิวัฒนาการหรือการเกิดของถ้ำตายหรือถ้ำแห้ง สามารถจำแนกอธิบายได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.2.1 ถ้ำตายหรือถ้ำแห้งประเภทแรก

เป็นพวกที่เกิดเป็นรูโพรงลึกๆ มีระดับชั้นภายในถ้ำหลายระดับ ไม่พบตะกอนกรวดทราย พบเฉพาะก้อนหินหล่นขนาดต่างๆ ที่แตกหัก หรือพบตะกอนถ้ำพวกหินย้อยขนาดต่างๆ ที่ตกหล่นอยู่ตามพื้นถ้ำรวมกับพวกฝุ่นละอองที่อาจเกิดจากตะกอนพวกดินเหนียวตกทับถมอยู่ ถ้ำตายประเภทนี้คาดว่าเกิดจากการที่น้ำไหลซึมตามรอยแตกจากด้านบนแล้วละลายเนื้อหินให้รอยแตกมีขนาดกว้างขึ้นเรื่อยๆ โดยการละลายถูกจำกัดในรูโพรง ไม่มีการไหลของน้ำในแนวราบมากนัก มีน้ำไหลผ่านรอยแตกในแนวตั้งมากกว่าการไหลในแนวระนาบ ถ้ำพวกนี้เกิดในบริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน (water table) หรืออยู่บนยอดเขาสูงมีปากถ้ำอยู่ด้านบน ซึ่งเรียกว่า หน้าต่างถ้ำ (window) พื้นถ้ำจะอยู่ลึกลงไปจากปากทางเข้า แร่ทุติยภูมิ (speleothems) มีอยู่บ้าง ส่วนใหญ่เป็นประเภทที่เกิดจากน้ำหยดและน้ำไหล (dripstone and flowstone forms) เช่น หินงอก หินย้อย หินปูนฉาบ ถ้ำประเภทนี้อาจผ่านขั้นตอนการคืนพลัง (rejuvenation) หรือไม่ได้ เพราะหลักฐานมักไม่ค่อยเด่นชัดหรือไม่พบหลักฐานอะไรเลย อย่างไรก็ตามสาเหตุที่ถ้ำพวกนี้หยุดการพัฒนากลายเป็นถ้ำตายหรือถ้ำแห้งนั้น มีสาเหตุหลักคือการเปลี่ยนสภาพของหลังคาถ้ำ กล่าวคือ หลังคาถ้ำบางลงหรือถล่มลง ป่าหรือพืชพรรณบนหลังคาลดน้อยลง ทำให้น้ำที่ซึมผ่านหลังคาถ้ำลดน้อยลงจนหมดไปในที่สุด

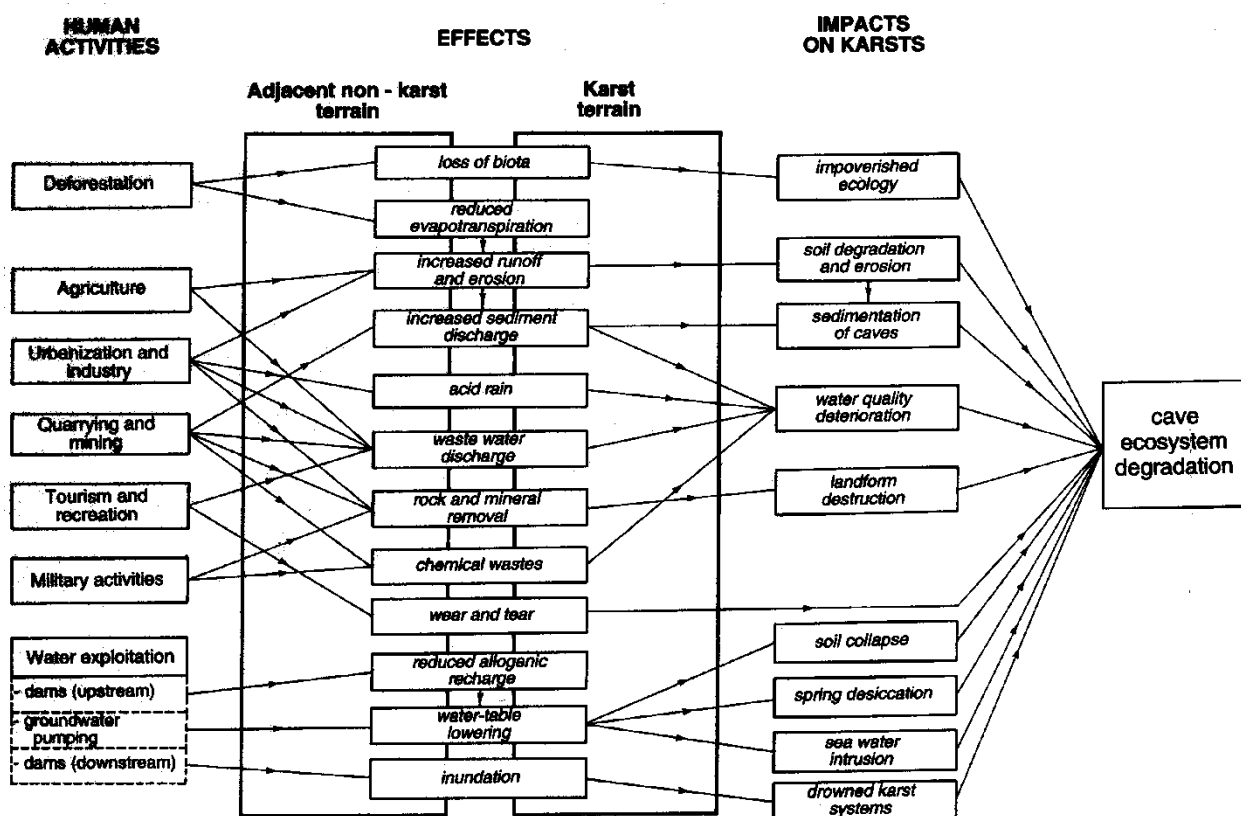
2.3.2.2 ถ้ำตายหรือถ้ำแห้งประเภทที่สอง

เป็นถ้ำที่มีพัฒนาการจากถ้ำที่เกิดได้ระดับน้ำใต้ดิน เคยมีน้ำไหลในแนวราบมาก่อน ต่อมา มีน้ำไหลในแนวตั้ง ถ้ำแขวนประเภทนี้มีพัฒนาการแบบถ้ำเป็นโดยทั่วไป แต่ได้ผ่านขั้นตอนของการคืนพลังมาหลายครั้ง จนกระทั่งต่อมา ระดับที่เคยอยู่ได้ระดับน้ำใต้ดินถูกยกตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ จนอยู่สูงเหนือระดับน้ำใต้ดินปัจจุบันมาก ขณะเดียวกันแนวถ้ำเดิมที่เป็นแนวต่อเนื่องกันถูกทำลายหรือถล่มหายไป เนื่องจากการเกิดหลุมยุบขนาดใหญ่พังทลายลงจนเป็นแนวหลุมยุบ ส่วนของถ้ำที่หลงเหลืออยู่จึงค้างลอยอยู่บนยอดเขา หน้าผาหรือเชิงเขา ในขณะที่ถ้ำเป็นใหม่หรือทางน้ำใหม่ยังังคงมีพัฒนาการต่อไป ถ้ำประเภทนี้มีความยาวในแนวระนาบไม่มากนัก อาจมีตะกอนถ้ำหลายแบบคล้ายถ้ำเป็นที่เห็นกันอยู่ในปัจจุบัน เพียงแต่ปัจจุบันได้หยุดการพัฒนาไปแล้ว ถ้ำพวกนี้มีปากถ้ำอยู่ในแนวราบตามหน้าผาต่างๆ เนื่องจากแนวถ้ำเดิมถล่มไป จนเหลือบางส่วนที่ยังคงอยู่ในเนื้อหิน

2.4 ผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ต่อทรัพยากรน้ำและการจัดการ

2.4.1 ผลกระทบต่อภูมิประเทศแบบคาสต์และถ้ำ

ถ้ำถือว่าเป็นทรัพยากรที่เปราะบางและละเอียดอ่อน อีกทั้งเป็นทรัพยากรที่ไม่สามารถสร้างขึ้นมาทดแทนได้ (non-renewable resource) ดังนั้นกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์จึงอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของระบบคาสต์และถ้ำได้หลายประการ เช่น วิลเลียม (Williams, 1993) ได้จำแนกไว้ในรูปที่ 2.4 กิจกรรมของมนุษย์ดังกล่าว ได้แก่ การทำลายป่า (deforestation) เกษตรกรรม (agriculture) การตั้งถิ่นฐาน และอุตสาหกรรม (urbanization and industry) การเปิดหน้าดินและการทำเหมือง (quarrying and mining) การท่องเที่ยวและนันทนาการ (tourism and recreation) กิจกรรมทางทหาร (military activities) การนำน้ำมาใช้ (water exploitation) เช่น การสร้างเขื่อนเหนื่อน้ำ หรือที่ปลายน้ำการสูบน้ำบาดาล ผลกระทบหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมเหล่านี้ ได้แก่ ระบบนิเวศเสื่อมโทรม (impoverished ecology) การสูญเสียหน้าดินและการกษัยการหรือการพังทลายของหน้าดิน (soil degradation and erosion) การตกตะกอนในถ้ำ (sedimentation of caves) คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม (water quality deterioration) การทำลายลักษณะภูมิประเทศ (Landform destruction) ปัญหาดินทรุดตัว (soil collapse) น้ำผุดหรือน้ำพุแห้งลง (spring desiccation) การรุกคืบของน้ำทะเล (sea water intrusion) ระบบคาสต์จมน้ำอยู่ใต้น้ำ (drowned karst system) ผลกระทบเหล่านี้ในที่สุดส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายลงของระบบนิเวศในถ้ำ (cave ecosystem degradation)



รูปที่ 2.4 กิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อภูมิประเทศแบบคาสต์และถ้ำ (Williams, 1993)

2.5 การศึกษาวิจัยเรื่องถ้ำในประเทศไทยและในพื้นที่ศึกษา

การสำรวจถ้ำในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นการสำรวจถ้ำหินปูน และพบมากถึง 176 ถ้ำ นักสำรวจถ้ำรุ่นแรกเป็นชาวออสเตรเลียและฝรั่งเศส ได้พบถ้ำใหม่หลายถ้ำและเป็นถ้ำที่มีขนาดใหญ่ เช่น ถ้ำแม่ละนาและถ้ำผามอน (พินดา สิทธิสุนทร และคณะ, 2549) สำหรับข้อมูลการวิจัยด้านธรณีวิทยานั้น มีนักวิจัยชาวฝรั่งเศสได้สำรวจและทำแผนที่บริเวณโดยรอบถ้ำน้ำแดง ถ้ำผาแดง (Brouquisse, 1986) นอกจากนั้นยังมีการสำรวจเพื่อทำแผนผังถ้ำบางถ้ำ เช่น ถ้ำปลา ถ้ำน้ำฮู ถ้ำน้ำหัวขัว ถ้ำผามอน รวมทั้งมีการนำเสนอข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา ชีววิทยาและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในถ้ำ (Maffie et Rigai, 1968; Deharveng et Bedos, 1986; Brouquisse, 1987; Deharveng, 1987; Rigai et Maffie, 1988)

ดังก์ลีย์และบริช (Dunkley, 1985; Dunkley and Brush, 1986) ได้อธิบายลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่เขาหินปูนและสำรวจถ้ำบางถ้ำ เช่น ถ้ำผาเผือก ถ้ำน้ำลาด และถ้ำซู่ซ่า พวกเขายังได้ทำผังถ้ำต่างๆ ให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้น เคียร์นัน (Kiernan, 1988) ได้อธิบายรายละเอียดด้านธรณีสัณฐานพื้นผิวดินและธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำของ รวมทั้งธรณีสัณฐานใต้ดินและระบบการไหลของน้ำ รวมทั้งการทับถมของตะกอนในช่วงยุคควอเทอร์นารีและการเปรียบเทียบอายุตะกอนในบริเวณต่างๆ ที่สะท้อนสภาพแวดล้อมในอดีต ต่อมา เคียร์นัน (Kiernan, 1990) ยังได้นำเสนอลักษณะธรณีวิทยาของถ้ำหินปูนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน

ส่วนการศึกษาถ้ำโดยคนไทย ได้แก่ สิทธิพงษ์ ดิลกวานิช และคณะ (2543ก) ได้สำรวจและจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 47 ถ้ำ ถือเป็นงานบุกเบิกเรื่องถ้ำโดยคนไทย และในขณะเดียวกัน ชัยพร ศิริพรไพบูรณ์ (2543ก และ 2543ข) ได้ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาและทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำของและกลุ่มน้ำลาด ซึ่งมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับเรื่องถ้ำในเขตอำเภอปางมะผ้าโดยตรง และยังมีการทำผังถ้ำต่างๆ ในอำเภอปางมะผ้า ได้แก่ ถ้ำผาเผือก ถ้ำปางคาม ถ้ำผามอน ถ้ำน้ำริน 1 ถ้ำแม่ฮ่อม ถ้ำคริสตัลแม่ละนา ถ้ำน้ำฮูสลับป่อง ถ้ำปล่องบ้านถ้ำ (Big Knob cave) และถ้ำผาแดง (สิทธิพงษ์ ดิลกวานิช และคณะ, 2543ข)

ตัวอย่างงานที่เกี่ยวกับการสำรวจถ้ำในพื้นที่อื่นของไทย เช่น ประมาณ เทพสงเคราะห์ และคณะ (2546) ได้จำแนกลักษณะธรณีสัณฐานศาสตร์ภายในถ้ำน้ำลอดวัดถ้ำสุมะโนเพื่อใช้ในการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดพัทลุง หรือพื้นที่ภาคกลาง เช่น สมาร์ท (Smart, 2005) ได้สำรวจทำแผนผังของเขาค้อเอราวัณ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี จำนวน 14 ถ้ำ ได้แก่ ถ้ำค้างคาว ถ้ำกระถางใหม่ ถ้ำพระศรี ถ้ำตุ๊กแก ถ้ำริยสัจสี่ ถ้ำม้า ถ้ำเม่น ถ้ำหม้อ ถ้ำสมบัติ ถ้ำรอยขีด ถ้ำหนึ่ง ถ้ำสอง ถ้ำค้างคาว 2 และถ้ำเล็กในทุ่งคาร์เร็น (Karren; forms of karst topography) นอกจากนี้สมาร์ท (Smart, 2005: 15) ได้กล่าวถึงคุณค่าและประโยชน์ของถ้ำเหล่านี้ไว้ว่า เป็นถ้ำที่ยังคงสภาพธรรมชาติมากแทบจะไม่ถูกรบกวนเลย เมื่อเปรียบเทียบกับถ้ำอื่นๆ ในภาคกลางของประเทศไทย ลักษณะเด่นนี้ถือเป็นโอกาสที่ควรสงวนรักษาและอนุรักษ์ไว้เพื่อการศึกษาวิจัยเชิงวิชาการลักษณะเฉพาะของถ้ำ รวมทั้งเพื่อการท่องเที่ยวทั้งแบบมวลชน (mass tourism) และแบบผจญภัย (adventure tourism) ถ้ำในเขาค้อเอราวัณแสดงลักษณะทางธรณีวิทยาครบทุกแบบ ถือว่าเป็นถ้ำต้นแบบในภาคกลาง ลักษณะดังกล่าวที่พบได้แก่

1. ลักษณะที่เกิดจากการกัดเซาะหรือกำเนิดอยู่ในเขตอิมมุนา (phreatic origin) หรือเคยอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน เช่น แอนาสโตโมซิส (anastomoses) เพนแดนท์ (pendants) การเกิดรอยริ้วน้ำไหล (scalloping) และร่องรอยของการกัดเซาะอื่นๆ

2. การละลายที่ไม่เท่ากันของผิวหิน ทำให้มองเห็นร่องรอยบนสูงขึ้นของซากดึกดำบรรพ์ เช่น แบรคิโอพอด (brachiopods) แกสโตรพอด (gastropods) ไครนอยด์ (crinoids)

3. ตะกอนถ้ำมีสภาพดี และยังคงเจริญเติบโตอยู่ เช่น หินงอก หินย้อย เสาหิน หินปูนเกลียว (helictites) แอนโทไดต์ (anthodites) ไข่มุกถ้ำ (cave pearls) ปะการังถ้ำ (cave popcorn) เป็นต้น

4. แร่ทุติยภูมิที่ถูกละลายซ้ำ (redissolved speleothems) บ่งชี้ถึงการวิวัฒนาการของถ้ำหลายช่วง

5. ตะกอนที่วางตัวเป็นชั้นๆ ประกอบด้วย ตะกอนหลากหลายชนิดที่ต่างกันในช่วงชั้น บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโบราณ

6. การแทรกดันตัวขึ้นมาจากหินหนืด (magma) ที่แข็งตัวกลายเป็นหินอัคนีประเภทเบสิกหรือเมฟิก (basic or mafic igneous rocks)

7. ไฟโตคาสต์ (phytokarst) บริเวณปากถ้ำและปล่องอากาศหรือโพรงบนหลังคาถ้ำ (skylights) นรรัตน์ บุญกันภัย และ ทวีวัฒน์ นาคไชยะ (2547) ได้สำรวจตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาโดยสำรวจชนิด หิน แร่ทุติยภูมิ และทำแผนผังถ้ำจำนวน 2 แห่งในเขาถ้ำเอราวัณ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี คือ ถ้ำเทวาพิทักษ์และถ้ำไม่มีชื่อ โดยใช้เทปวัดระยะสองข้างของเส้นแนวกลางของคูหาต่างๆ และกำหนดทิศทางโดยเข็มทิศ

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา และคณะ (2553) สำรวจถ้ำเทวาพิทักษ์ในเขาถ้ำเอราวัณ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี โดยทำผังถ้ำ วิเคราะห์แร่ทุติยภูมิโดยวิธีสีลาวรรณนา กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สำรวจแหล่งซากดึกดำบรรพ์ทั้งในและรอบบริเวณถ้ำ รวมทั้งสำรวจสิ่งมีชีวิตในถ้ำและหลังคาถ้ำ โดยได้นำเสนอข้อมูลเชิงวิชาการถึงรายละเอียดของสิ่งที่พบในถ้ำว่ามีลักษณะการกำเนิดอย่างไร มีองค์ประกอบทางแร่หรือทางธรณีอย่างไร นอกจากนั้นยังสำรวจและทำแผนผังแนวเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติบนหลังคาถ้ำด้วย

เอลลิส (Ellis, 2012) ได้สำรวจทำบัญชีรายชื่อถ้ำและคำบรรยายลักษณะโดยสังเขปของถ้ำในจังหวัดแม่ฮ่องสอนไว้โดยแยกตามอำเภอที่ตั้ง ปาณิสรา ภูทอง (Phutong, 2008) ได้ศึกษาหินงอกในถ้ำน้ำจาง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ภายใต้อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์ พบว่าแสดงชั้นของหินงอกที่มีสีน้ำตาลและแต่ละชั้นถูกแบ่งโดยชั้นสีน้ำตาลเข้ม จากการถ่ายภาพด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยายต่ำ (100x) พบว่าในแต่ละชั้นของหินงอกประกอบด้วยกลุ่มผลึกรูปเส้นใยจำนวนมากรวมกลุ่มกันเป็นรูปร่างคล้ายพัด แต่ภายใต้กำลังขยายที่สูงขึ้น (2,000x) พบว่ากลุ่มผลึกเหล่านั้นประกอบไปด้วยผลึกเดี่ยวของแร่อะราโกไนต์ (Aragonite) ซึ่งมีลักษณะผลึกเป็นแผ่นหนา (tabular) ขนาด 10x40x5 ไมโครเมตรและแผ่นคล้ายใบมีด (blade) ขนาด 10x40x1 ไมโครเมตรโดยชนิดของแร่ที่ใช้เทคนิค XRD (X-ray Diffraction) ในการศึกษาจากนี้ยังพบว่าหินปูนต้นกำเนิดของหินงอกเป็นหินไบโอสปาร์ไรต์ (biosparite) ในยุคเพอร์เมียน

เห็นได้ว่าการสำรวจถ้ำในทางธรณีวิทยาส่วนใหญ่ไม่ได้ดำเนินการในเชิงลึกหรือมีความสัมพันธ์กับเรื่อง การเกิดตะกอนร่วนที่ทับถมกันในถ้ำ รวมถึงไม่พบการเชื่อมโยงระหว่างสภาพแวดล้อมการเกิดตะกอนกับ ภูมิอากาศในช่วงสมัยไพลสโตซีนมากนัก

2.6 ตะกอนถ้ำและเพิงผา

สำหรับในที่นี้ขอกล่าวไว้พอสังเขป รายละเอียดนั้นอยู่ในหนังสือเรื่องศาสตร์กับธรณีโบราณคดีซึ่งแต่งโดยผู้วิจัย

2.6.1 ประเภทตะกอนถ้ำและเพิงผาจำแนกตามแหล่งที่มา

ตะกอนสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้เป็น 2 กลุ่มคือ ตะกอนที่มาจากภายในถ้ำ (autochthonous or endogenous) และตะกอนที่มาจากนอกถ้ำ (allochthonous or exogenous) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของตะกอนถ้ำ จำแนกตามแหล่งที่มา (Goldberg and Macphail, 2006)

ชนิดตะกอน	ตะกอนที่มาจากภายในถ้ำ (autochthonous or endogenous)	ตะกอนที่มาจากนอกถ้ำ (allochthonous or exogenous)
ตะกอนเนื้อเศษหิน (clastic sediments):		
- เศษหินส่วนที่ได้จากการผุพังอยู่กับที่	xx	
- ก้อนหินหล่นที่เป็นบล็อกล (éboulis)	xx	
- เม็ดตะกอนที่แตกหลุดออกมาจากผนังถ้ำ โดยการสลายตัวหรือถูกขูดขีด โดยมนุษย์*	xx	
- ลานหินเชิงผา (talus) บริเวณปากทางเข้าถ้ำ	xx	xx
- ตะกอนที่ได้จากการซึมของน้ำ และน้ำหยด	xx	xx
- สิ่งทับถมธารน้ำพา (fluvial deposits)	xx	xx
- ตะกอนธารน้ำแข็ง (glacial deposits)	xx	xx
- สิ่งทับถมลมพา (aeolian deposits)	xx	xx
เศษหินส่วนของสิ่งมีชีวิต (biogenic debris):		
- ฝุ่นขี้นกและคางคาง	xx	x
- หินที่อยู่ในกระเพาะของสัตว์โบราณ (gastroliths)	xx	x
- กระดูก และมูลสัตว์โบราณ (coprolite) ของสัตว์กินเนื้อ	xx	xx
- ไม้ เหง้า	x	xx
- ซากสิ่งมีชีวิต (humus)	x	xx
สิ่งทับถมที่เกิดจากการกระทำโดยมนุษย์ (anthropogenic deposits):		
- วัตถุที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ขนาดเล็ก เช่น กระดูก เปลือกหอย เครื่องมือหิน เป็นต้น	x	xx
- ดิน/ตะกอนที่ถูกมนุษย์นำเข้ามา	x	xx
- ไม้/ถ่าน	x	xx
- ขี้เถ้า	x	xx
ตะกอนที่เกิดโดยกระบวนการทางเคมี (chemical sediments):		
- คราบหินปูนหรือทรอเวอร์ทีน (travertines)	xx	
- หินเกลือระเหย (evaporites)	xx	

ตารางที่ 2.2 ชนิดของตะกอนจำแนกตามแหล่งที่มา (Goldberg and Macphail, 2006) (ต่อ)

ชนิดตะกอน	ตะกอนที่มาจากภายใน	ตะกอนที่มาจากนอก
	(autochthonous or endogenous)	(allochthonous or exogenous)
- ปุ๋ยขี้ก (guano) แร่ในหมู่ฟอสเฟต (phosphate) และแร่ไนโตรเจน (nitrate)	xx	
- ตะกอนที่ทนต่อการผุพัง (resistates) เช่น ก้อนทรงมนของเหล็กหรือแมงกานีสออกไซด์	xx	
- น้ำแข็ง	xx	

ความเป็นไปได้: xx= มาก, x = น้อย; * = Hughes and Lampert (1977)

2.6.2 ประเภทตะกอนและเพิงผาจำแนกตามการกำเนิด

ตะกอนในถ้ำและเพิงผาสามารถแบ่งออกเป็นสามประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกอนที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา (geogenic) ตะกอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (biogenic) ยกเว้นมนุษย์และตะกอนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (anthropogenic) กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับตะกอนทั้งสามประเภทอาจเกิดร่วมกันหรือไม่ก็ได้ แต่ส่วนใหญ่ก็มักเกิดร่วมกันทั้งสามประเภท (Farran, 2001)

2.6.2.1 ตะกอนที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา (geogenic)

ตะกอนที่เกิดโดยกระบวนการทางธรณีวิทยาอาจมีต้นกำเนิดอยู่ในถ้ำ (endogenic/autochthonous) หรือนอกถ้ำ (exogenic/allochthonous) ได้แก่

1. วัตถุที่ตกหล่นจากหลังคาถ้ำ ซึ่งอาจเกิดจากการแตกหลุดออกมาเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยหรือการหลุดร่วงลงมาของหินบนหลังคาถ้ำ
2. การสลายตัวของชั้นหินในถ้ำโดยกระบวนการทางเคมีและทางกายภาพ เช่น อากาศร้อนสลับกับเย็น ทำให้หินหดตัว-ขยายตัวและแตกออก รวมทั้งการกลายเป็นน้ำแข็งและการละลายของน้ำตามช่องว่างในหิน
3. การทับถมหรือการสะสมตัวของตะกอนทางเคมีทำให้เกิดตะกอนถ้ำที่เป็นของแข็งที่เรียกว่าแร่ทุติยภูมิ เช่น คราบหินปูนหรือทราเวอทีน (travertine or flowstone) หินน้ำหยดหรือดริปสโตน (dripstone) ได้แก่ หินงอกและหินย้อย
4. การชะล้างและการไหลของเศษหินเชิงผา (colluvium) และดินที่เข้ามาทางปากถ้ำหรือทางรอยแตกรอยแยกตามผนังหรือเพดานถ้ำ
5. ฝุ่นที่ตกลงมาทับถมกันซึ่งอาจมีขนาดตั้งแต่ ทรายจนถึงทรายแป้ง อันเนื่องมาจากลมในเขตทะเลทราย
6. การสะสมตัวของตะกอนทางน้ำ จากทางน้ำที่ไหลภายในถ้ำหรือจากทางน้ำนอกถ้ำที่ไหลผ่านเข้ามาทางปากถ้ำ
7. กรวดและทรายจากชายหาด อาจพบได้ในกรณีของถ้ำที่อยู่ในบริเวณทะเลสาบหรือชายฝั่งทะเลหรือมหาสมุทรในปัจจุบันหรือในอดีต

2.6.2.2 ตะกอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (biogenic) ยกเว้นมนุษย์

ตะกอนที่เกิดจากการจากสิ่งมีชีวิต มาจากสัตว์และพืชที่อาศัยอยู่ในถ้ำ ถ้ำที่มีตะกอนประเภทนี้ร้อยละเปอร์เซ็นต์อาจหาได้ยาก แต่มักพบขึ้นส่วนกระดูกและเปลือกหอยได้ง่ายกว่าชั้นส่วนอื่นๆ สัตว์ที่ดำรงชีวิตอยู่ในถ้ำเช่น หมี มักตายลงในถ้ำขณะที่จำศีล ดังนั้นจึงพบกระดูกอยู่ตามพื้นถ้ำ (Farrand, 2001) การพบกระดูกสัตว์ปะปนกับสิ่งของเครื่องใช้ของมนุษย์ อาจเป็นของสัตว์ที่เข้ามาบริเวณหรือขุดคุ้ยหลังจากที่มนุษย์เข้ามาใช้ประโยชน์ในถ้ำและทิ้งไปแล้วก็ได้ หรืออาจเกิดจากการรบกวนของมนุษย์กลุ่มอื่นภายหลังก็ได้ เช่น ถ้ำที่ยาริมเบอร์เกส (Yarimburağaz) ใกล้กับเมืองอิสตันบูล (Istanbul) ประเทศตุรกี พบว่ามีหมีและมนุษย์อาศัยอยู่ในถ้ำเดียวกันแต่ต่างช่วงเวลา (Stiner *et al.*, 1996) เช่นเดียวกันกับในมุลนากสูกที่พบขน กระดูก และฟันของสัตว์ฟันแทะขนาดเล็ก เช่น หนู และจิ้งจอก หรือในอาหารที่สำรองออกมาของนกสูกและนกอื่นๆ หลังจากการกินและย่อยเนื้อและหนังของอาหารแล้ว นกพวกที่ล่าสัตว์อื่นเป็นอาหารมักไม่ค่อยอาศัยอยู่ในถ้ำที่มีมนุษย์เข้าไปครอบครองอยู่ในขณะนั้น รวมทั้งสัตว์ขนาดเล็กที่พบในมุลนากสูกเหล่านี้ก็ไม่ได้อาศัยอยู่ในถ้ำเช่นกัน แต่นกจับสัตว์ขนาดเล็กเหล่านี้จากนอกถ้ำ หรือเมื่อค้างคาตายลง อาจพบกระดูกอยู่ในตะกอนถ้ำได้เช่นกัน ค้างคาอาจอาศัยอยู่ในส่วนที่อยู่ลึกมากของถ้ำ ส่วนมนุษย์มักอาศัยอยู่บริเวณใกล้ปากถ้ำมากกว่า

นอกจากชั้นส่วนกระดูกแล้ว สัตว์ยังละทิ้งมูลหรือของเสียไว้ในตะกอนถ้ำด้วย เช่น ปุ๋ยขึ้นนก (guano) ที่พบตามถ้ำเกิดจากมูลนกหรือค้างคาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่ขับถ่ายออกมา มูลสัตว์เหล่านี้อาจกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์ (coprolite) ที่สามารถชี้บ่งบอกถึงอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ และสภาพแวดล้อมในอดีตบริเวณนอกถ้ำได้

2.6.2.3 ตะกอนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (anthropogenic)

ตะกอนที่เกิดโดยการกระทำของมนุษย์คล้ายกับตะกอนที่เกิดโดยการกระทำของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มักพบปะปนกันกับตะกอนที่เกิดโดยกระบวนการทางธรณีวิทยาและตะกอนที่เกิดโดยกระทำของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อย่างไรก็ตามตะกอนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์สามารถพบได้ในปริมาณหรือสัดส่วนที่มากกว่าตะกอนประเภทอื่นๆ ตะกอนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์อาจถูกนำเข้ามายังแหล่งโดยไม่ได้ตั้งใจหรือโดยจงใจก็ได้ เช่น การนำไม้หรือหินเข้ามาก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวก หรือทำพิธีกรรมต่างๆ การนำดินและทรายเข้ามาปรับระดับพื้นที่อยู่อาศัย หรือเตาไฟที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้ความอบอุ่นหรือใช้ในการประกอบอาหาร ดังนั้นจึงมักพบขี้เถ้าหรือถ่านปะปนกับตะกอนถ้ำ ขี้เถ้าอาจคงเหลืออยู่ในรูปของการรวมกันอยู่ตรงกลางของตำแหน่งเตาไฟดั้งเดิม หรือแยกกระจายกันอยู่โดยปะปนไปกับตะกอนถ้ำประเภทอื่นก็ได้ นอกจากนี้ขี้เถ้าอาจเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการที่เกิดหลังจากการทับถมของตะกอนแต่โดยมากสามารถจำแนกออกได้ (Schiegl *et al.*, 1996)

นอกจากนี้มนุษย์สามารถนำอาหารเข้ามาบริโภคในถ้ำและเพิงผา จากนั้นอาจทิ้งเศษอาหารที่คงสภาพไว้ในถ้ำ เช่น กระดูก ก้างปลา เปลือกหอยทากบก เปลือกหอยน้ำจืด เปลือกหอยทะเล บางแห่งพบชั้นส่วนเหล่านี้เป็นกองๆ หรือกระจุกกระจายอยู่ทั่วไปในตะกอนที่เกิดโดยกระบวนการทางธรณีวิทยา ในบางกรณีอาจพบว่ามีการนำดินเข้ามาในถ้ำโดยมนุษย์อย่างมีได้ตั้งใจ เช่น โคลนที่ติดกับเท้า สิ่งสกปรกหรือฝุ่นที่ติดมากับเครื่องแต่งกาย โดยเฉพาะเศษเส้นใย รวมถึงพืชพันธุ์ที่ถูกนำเข้ามาในถ้ำ เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ ผลไม้ เมล็ดพืช อาจมีฝุ่น ดิน เปื้อนติดเข้ามาด้วยก็ได้

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

สำหรับงานด้านธรณีวิทยา ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีหลักการเลือกพื้นที่คือ ในภาพกว้างหรือระดับมหัพภาคกำหนดให้อยู่ในเขตอำเภอปางมะผ้าและเน้นบริเวณพื้นที่หินปูน โดยภายในพื้นที่ดังกล่าวผู้วิจัยได้เลือกจุดศึกษาสองแห่งคือ แหล่งโบราณคดีเพิงผาลอดและแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน โดยลงรักเพื่อการศึกษาในระดับจุลภาค

3.1 วิธีการศึกษาทางธรณีสัณฐานวิทยาระดับมหัพภาค

3.1.1 ศึกษาธรณีสัณฐานวิทยา (geomorphology) ในแนวกว้างของถ้ำและพื้นที่ใกล้เคียงเพื่อบรรยายลักษณะทั่วไปประวัติของถ้ำและบริเวณใกล้เคียง เพื่อเชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมในอดีต โดยหลักคือ ลงพื้นที่สำรวจภาคสนามศึกษาจากเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ศึกษาและแปลความหมายจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 พิมพ์ครั้งที่ 2-RTSD ลำดับชุด L7018 ราว 4648 II (ดอยผกูด) โดยกรมแผนที่ทหาร (กรมแผนที่ทหาร, 2542) แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:54,000 โดยกรมทรัพยากรธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) ที่นำเสนอใน Google Map data ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชตจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ "สทอภ." หรือรู้จักกันในชื่อจีสด้า (GISTDA หรือ Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization)) ซึ่งสามารถบ่งบอกลักษณะธรณีสัณฐานได้ และภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth (Google Earth, 2013)

3.1.3 ศึกษารายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษา สำรวจเก็บข้อมูล ถ่ายภาพ และเก็บตัวอย่างหินจากพื้นที่ต่างๆ เช่น บ้านถ้ำลอด บ้านแอโก๋ บ้านไร่ และบ้านจำโบ้ โดยตัวอย่างที่เก็บเป็นหินที่เนื้อสด (ไม่ผุ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้อนละประมาณไม่ต่ำกว่า 10 เซนติเมตร รวมตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง

3.1.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

3.1.4.1. คัดเลือกตัวอย่างหินบริเวณปากถ้ำและหินงอกหินย้อยภายในถ้ำ เพื่อนำมาตัดและจัดทำแผ่นบาง (thin section) และนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ (polarizing microscope) เพื่อสังเกตลักษณะเนื้อหินและองค์ประกอบทางแร่

3.1.4.2. คัดเลือกตัวอย่างหินงอกหินย้อยไปบดเป็นผงละเอียดและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer หรือ เครื่อง XRD) และเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence หรือเครื่อง XRF) เพื่อระบุชนิดของแร่และองค์ประกอบทางเคมีของหิน

3.1.4.3 คัดเลือกตัวอย่างเศษชิ้นส่วนขนาดเล็กกว่า 1 เซนติเมตร ที่มีลักษณะของรูปผลึกที่น่าสนใจ เช่น มีการสะท้อนแสงระยิบระยับเมื่อมีแสงมากระทบเมื่ออยู่ในถ้ำ โดยนำไปวิเคราะห์รูปผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscope หรือ SEM) และ นำไปวิเคราะห์หาชนิดแร่ด้วยวิธีรามาน ไมโครโพรบ (Raman microprobe)

3.1.5 ประมวลผลและสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเพื่อสรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับความเหมาะสมทางด้านกายภาพของถ้ำ โดยเฉพาะการเลือกใช้พื้นที่เพื่อเก็บรักษาโครงกระดูกของชุมชนในวัฒนธรรมโลงไม้

3.1.6 วิเคราะห์ทางเคมีตัวอย่างหินโดยเครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ เพื่อตรวจหาธาตุหลักและธาตุร่องรอย (major and trace elements) และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI: Loss On Ignition)

3.1.7 สังเกตและถ่ายภาพลักษณะรูปร่าง (morphology) โครงสร้าง และลักษณะคราบหินปูน ทางน้ำโบราณ ทิศทางการไหลเข้าของตะกอนภายในถ้ำฝิเมนโลงลงรัก วัฒนธรรมและแนวระดับ (dip and strike) บริเวณพื้นที่ลาดชัน (slope) พื้นที่ทางเดิน และชั้นหินที่หลุดตกลงมา

3.2 วิธีการศึกษาทางธรณีฐานันฐานวิทยาระดับจุลภาค

ศึกษาธรณีฐานันฐานวิทยาในหลุมขุดค้น (French, 2003; Kooistra and Kooistra, 2003) เพื่อค้นหาระดับพื้นผิวเดิม (palaeosurface) และหลักฐานอื่นๆ โดยประยุกต์วิธีการทางปฐพีวิทยา (pedological method) ธรณีฐานันฐานวิทยา (geomorphological method) และตะกอนวิทยา (sedimentological method) เพื่อช่วยในการแปลความ (เช่น Holdaway and Fanning, 2008)

วิธีการโดยรวม คือ เก็บตัวอย่างตะกอนในหลุมขุดค้นทางโบราณคดีโดยให้ตัวอย่างถูกรบกวนน้อยที่สุด จากนั้นนำมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์สองกระบอกตาแบบสเตอริโอ (binocular stereo-microscope) หรืออาจนำตัวอย่างไปตัดเป็นแผ่นหินบาง (เช่น Angelucci, 2003) เพื่อศึกษาข้อมูลทางแร่วิทยาของตัวอย่าง (Deer *et al.*, 1996) โดยใช้การวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนา (petrography) วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ หรือศึกษาด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ และเครื่องมืออื่นๆ ผลการศึกษาที่ได้ ใช้ประกอบการอธิบายถึงชนิดและแหล่งที่มาของตะกอน ประวัติของตะกอน สภาพแวดล้อมการตกตะกอน

เก็บตัวอย่างแร่ที่เกิดจากแร่ทุติยภูมิ (คราบหินปูน หินงอก และผลึกแร่ เป็นต้น) จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยเก็บขนาดต่างกัน ตั้งแต่ 1 เซนติเมตร-10 เซนติเมตร) จากชิ้นส่วนแร่ที่หลุดตกอยู่ตามพื้นและกะเทาะด้วยก้อนออกจากพื้นหรือผนังถ้ำ ตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดและกรด และนำไปตรวจดูลักษณะพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์สองตาแบบสเตอริโอ (binocular stereo-microscope) จากนั้นนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) เพื่อดูลักษณะรูปร่างของผลึก ตัวอย่างบางส่วนถูกนำไปตัดเป็นแผ่นหินบางเพื่อศึกษาจุลฐานันฐานวิทยา (micro geomorphology) และองค์ประกอบแร่ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ บางส่วนนำไปบดเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ สำหรับตัวอย่างหิน วิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ส่วนตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวหรือตะกอนร่วน (unconsolidated sediments) เก็บตัวอย่างโดยใช้ฟลั่วขนาดเล็กตกตะกอนใส่ถุงพลาสติก และใช้กล่องคูเบียนา (Kubiena box) (รูปที่ 3.1) กดลงไปบนตะกอนโดยให้ตัวอย่างได้รับผลกระทบน้อยที่สุดแล้วเก็บตัวอย่างไว้ในกล่องดังกล่าว สำหรับแหล่งโบราณคดีถ้ำฝิเมนโลงลงรัก ได้เก็บตัวอย่างในเบื้องต้น ตัวอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม จำนวนทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ ผิวตะกอนพื้นถ้ำบริเวณทางเข้าถ้ำ A1 จำนวน 1 ตัวอย่าง พื้นที่ถ้ำ A2 จำนวน 1 ตัวอย่าง พื้นที่ถ้ำ B จำนวน 2 ตัวอย่าง และพื้นที่ถ้ำ

C จำนวน 2 ตัวอย่าง และยังได้เก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณปากถ้ำ จำนวน 5 ตัวอย่าง รวมถึงเก็บตัวอย่างตะกอนจากบริเวณใกล้กับเพิงผาบ้านไร่ จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.1 กล่องคูเบียนา สำหรับเก็บตะกอนเพื่อนำไปเตรียมแผ่นตะกอนบาง (polish section)

นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างตะกอนร่วนจากบริเวณผนังหลุมขุดค้น (profile) ของแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด จำนวน 13 ตัวอย่าง และจากหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักในคูหา A1 จำนวน 13 ตัวอย่าง และในคูหา A2 จำนวน 8 ตัวอย่าง

จากการที่ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างจากชั้นตะกอนภายในหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด พบว่าตัวอย่างตะกอนถูกเก็บตามชั้นตะกอนที่มีการกำหนดไว้อย่างชัดเจน มีความเหมาะสมในการนำไปดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ชั้นตะกอนร่วนที่ถูกกำหนดขึ้นนั้น ใช้หลักการแบ่งชั้นตะกอนตามขนาดตะกอน สีตะกอน เนื้อตะกอน และลักษณะจำเพาะต่างๆ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ชั้นตะกอนแต่ละชั้น เพื่อเปรียบเทียบลักษณะต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทับถมของตะกอน โดยใช้พลาสมาขนาดเล็กและตัดตะกอนออกมาจากชั้นตั้งแต่ชั้นบนสุดจนถึงชั้นล่างสุดของหลุมขุดค้น โดยน้ำหนักของตัวอย่างตะกอนที่เก็บนั้นอยู่ที่ตัวอย่างละประมาณ 1-2 กิโลกรัม และใช้ถุงพลาสติกแบบเปิด-ปิดได้ (resealable plastic bags) เป็นภาชนะบรรจุตัวอย่างตะกอน

สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ การสำรวจและการบรรยาย (field observations and descriptions) ลักษณะต่างๆ ทางกายภาพของตะกอนร่วนในแต่ละชั้นตะกอนของผนังชั้นดินในหลุมขุดค้น เพื่อนำข้อมูลไปประกอบกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ (laboratory approach)

ตัวอย่างตะกอนบางส่วนถูกแบ่งไปหาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของทราย(sand) ทรายแป้ง (silt) และเคลย์ (clay) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer method) (Bouyoucos, 1962) ที่เหลือนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส และสุ่มไปตรวจดูเม็ดตะกอนและองค์ประกอบต่างๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ส่องกระบอกตาแบบสเตอริโอ ส่วนที่เก็บไว้ในกล่องคูเบียนาจะถูกอบด้วยสารเรซินเพื่อทำแผ่นตะกอนบาง (กล่าวรายละเอียดใน

หัวข้อถัดไป) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ บางส่วนจะนำไปตรวจดูองค์ประกอบทางแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ ด้วยวิธีการบดตะกอนมวลรวมและแบบแยกอนุภาคเคลือบด้วยเครื่องสวิงมิล (Swing mill) ให้เป็นผงเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหลักและธาตุรองรอยด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ และหาการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังเก็บตัวอย่างตะกอนจากผนังชั้นดินของหลุมขุดค้นในคูหา A1 และ A2 ของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน โลงลงรัก ด้วยการใส่กระบอกที่ทำจากท่อ PVC ในการเก็บเพื่อไปหาอายุด้วยวิธีการเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence หรือ TL)

โดยสรุปผู้วิจัยได้ศึกษาตะกอนร่วนจากเพิงผาถ้ำลอดเพื่ออธิบายลักษณะของตะกอนและสภาพแวดล้อมในอดีต นอกจากนั้นยังศึกษาตะกอนถ้ำโดยเฉพาะที่เป็นตะกอนร่วนจากภายในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน โลงลงรัก เนื่องจากตะกอนถ้ำถ้ำถือว่าถูกรบกวนน้อยกว่าตะกอนนอกถ้ำ โดยเลือกศึกษาจากหลุมขุดค้นทางโบราณคดีจำนวน 2 หลุมคือ หลุมขุดค้นในคูหา A1 และ A2 เป็นหลัก ในคูหาดังกล่าวเป็นบริเวณที่พบโลงไม้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะคูหา A1 พบมากถึง 39 ฝา นอกจากนั้นยังนำตะกอนจากแหล่งอื่นทั้งในและนอกถ้ำมาเปรียบเทียบกับ (รูปที่ 3.2)

ผู้วิจัยได้สังเกตตะกอนและวัดขนาดต่างๆ ในภาคสนามโดยใช้ ตาเปล่า เลนส์กำลังขยาย 10 เท่า สมุดเทียบสีดินมันเชล (Munsell soil color chart) ไม้บรรทัด ดัลล์เมตร สมุดโน้ต กล้องถ่ายภาพ ชุดตรวจค่า pH ภาคสนาม มีการเก็บตัวอย่างตะกอนเพื่อศึกษาในห้องปฏิบัติการ โดยบรรจุตัวอย่างลงในถุงพลาสติกแบบเปิด-ปิดได้ ตัวอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อนำไปศึกษากับกล้องจุลทรรศน์สองกระบอกตาแบบสเตอริโอ วิเคราะห์เนื้อตะกอน (texture) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ และหาส่วนประกอบทางแร่ของตะกอนด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟร็กชัน นอกจากนั้นยังเก็บตัวอย่างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่อไปเตรียมแผ่นตะกอนบาง สำหรับการวิเคราะห์ตะกอนและชนิดแร่ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์

การวิเคราะห์ด้วยวิธีต่างๆ ไม่ได้กล่าวรายละเอียดไว้ในที่นี้ แต่รายละเอียดของวิธีการเตรียมตัวอย่างขอกกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



ก)



ข)

รูปที่ 3.2 ก) รศ. ดร. เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา เก็บข้อมูลและอธิบายการเกิดถ้ำที่แหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก
ข) นิสิตคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เก็บข้อมูลและฝึกงานภาคสนามที่แหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

3.2.1 การเก็บตัวอย่างตะกอนร่วนและการเตรียมตัวอย่างแผ่นตะกอนบาง

3.2.1.1 วิธีเก็บตัวอย่างตะกอน

การเก็บตัวอย่างตะกอนร่วนจากชั้นตะกอนที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้น ได้ใช้ภาชนะเก็บตะกอนชนิดกล่องคูเบียนา ขนาด 5x10x8 cm. ทำจากโลหะ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านบนและด้านล่างของกล่องเป็นฝา สามารถเปิด-ปิดได้ เพื่อเก็บตะกอนอย่างตะกอนร่วนในแบบคงสภาพของการจัดเรียงตัวของตะกอนตามที่อยู่ในชั้นตะกอนมีวิธีการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

1. ปาดผิวตะกอนด้านหน้าออกก่อน จากนั้นเตรียมกล่องคูเบียนา โดยเปิดฝาด้านบนและล่าง แล้วฝังกล่องลงไปในชั้นตะกอน
2. ตอกด้านที่คมของกล่องเข้าหาหน้าตัดตะกอนจนตะกอนอัดแน่นอยู่ภายในกล่อง
3. ใช้มีดกรีดเข้าไปในหน้าตัดตะกอนตามรูปร่างของกล่อง ปิดฝาด้านบนของกล่อง (ฝาด้านที่หันหน้าเข้าสู่ผู้เก็บตัวอย่าง) แล้วค่อยๆ ขูดนำกล่องออกมาจากหน้าตัดตะกอน เพื่อให้สามารถขยับกล่องออกมาจากชั้นตะกอนได้

4. จากนั้นใช้มีดปาดตะกอนที่ล้นอยู่ให้เรียบเสมอกับขอบกล่อง ปิดฝาหลังของกล่อง แล้วฉีกฝากล่องทั้งสองด้วยเทปกาวย่นให้แน่นพร้อมทั้งเขียนทิศทางด้านบนและล่างบนฝากล่องตามตำแหน่งจริงในพื้นที่ที่เก็บ

3.2.1.2 วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. นำตัวอย่างตะกอนที่เก็บด้วยกล่องคูเบียมา มาถ่ายลงในกล่องกระดาษแข็งที่บุด้วยพลาสติกหนาและอบในเตาอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายสัปดาห์ เพื่อให้มั่นใจว่าน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในตะกอนถูกขจัดออกไปจนหมดแล้ว

2. ทำให้ตะกอนแข็งตัวโดยการเชื่อมตะกอน (Impregnation) (ช่วงเวลาดำเนินการ: เมษายน 2557) โดยใช้ น้ำยาเชื่อม ได้แก่ plastic resin, Benzoyl peroxide และ Styrene monomer เทน้ำยาที่ผสมลงไป ในกล่องตัวอย่างตะกอน (สัดส่วนของน้ำยาตามลักษณะของเนื้อตะกอน)

3. นำไปเก็บในตู้อบสูญญากาศ (vacuum oven) ที่ความดัน 60 เซนติเมตรปรอท ประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่ในตู้คลื่น ต้องคอยเติมน้ำยาให้ท่วมเสมอ จนกว่าน้ำยาจะแข็งตัว

4. นำมาตัดด้วยเครื่องตัดให้หนาประมาณ 5-8 มิลลิเมตร โดยให้มีความกว้างและความยาว สัมพันธ์กับขนาดของสไลด์ และนำมาขัดผิวด้านใดด้านหนึ่งของตัวอย่าง โดยใช้ผงขัดคอรันดัม และน้ำมันเบบอล 82 แล้วเช็ดตัวอย่างที่ขัดให้แห้ง

5. นำตัวอย่างตะกอนมาติดบนสไลด์ โดยใช้ น้ำยาดิตสไลด์ (mounting) (ซึ่งมีส่วนผสมของ plastic resin, Cyclohexanone และ Cobalt octoate) ส่วนผสมนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการ แต่ควรเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ระหว่าง 25–30 นาที หลังจากดิตสไลด์เรียบร้อยแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

6. นำตัวอย่างตะกอนมาตัดด้วยเครื่องตัด/ขัดบาง และขัดด้วยผงขัดหยาบ/ละเอียดด้วยมือ จนได้ตัวอย่างมีความหนา 0.03 มิลลิเมตร สุดท้ายยัดเช็ดทำความสะอาดแผ่นตะกอนบางและจัดเก็บต่อไป

3.2.1.3 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้เตรียมแผ่นตะกอนบาง

1. กล่องคูเบียนา ขนาด 5x10x8 cm. และอุปกรณ์ มีด เกรียง สว่าน ค้อน และเทปกาว
2. ตู้อบตัวอย่าง (Oven)
3. สารผสมทำน้ำยาเชื่อมตะกอน ได้แก่ Plastic resin, Benzoyl peroxide และ Styrene monomer
4. ตู้อบสูญญากาศ
5. เครื่องตัดใหญ่และเครื่องตัดเล็ก (slab saws)
6. สารผสมทำน้ำยาดิตสไลด์ ได้แก่ plastic resin, Cyclohexanone และ Cobalt octoate
7. เครื่องตัดบางและเครื่องขัด (Thin section saw/grinder)
8. ผงขัดคอรันดัม (หยาบ/ละเอียด)
9. น้ำมันเบบอล 82

3.3 การศึกษาโบราณวัตถุในทางแร่วิทยาเชิงโบราณคดี

ตัวอย่างโบราณวัตถุที่ผู้วิจัยเลือกนำมาศึกษา ได้แก่ ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาและลูกปัดแก้ว จากภายในแหล่งและในชั้นตะกอนของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรัก รวมถึงถ้ำอื่นๆ ที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอปางมะผ้า

ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา จำนวน 8 ตัวอย่าง ได้ถูกนำมาศึกษาด้วยวิธีสัณฐานวิทยาหรือถูกตัดเป็นแผ่นบางแล้วศึกษาส่วนประกอบทางแร่และเนื้อดินเผา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ นอกจากนั้นบางส่วนถูกนำไปบดเป็นผงเพื่อทำการวิเคราะห์หาชนิดแร่บางชนิดด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถบ่งบอกถึงเทคนิควิธีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาภาชนะเหล่านั้นในอดีต

ลูกปัดแก้วจากแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ไล่ลงรักจำนวน 8 ตัวอย่าง ถูกนำมาวิเคราะห์หาลักษณะทางอัญมณีเบื้องต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์อัญมณี เครื่องรีแฟร็กโตมิเตอร์เพื่อหาค่าดัชนีหักเห และเครื่องขังไฟฟ้าแบบไฮโดรสแตติก เพื่อหาความถ่วงจำเพาะ และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องอีดีเอกซเรย์ EDXRF (Energy dispersive X-ray spectroscopy) เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาอธิบายเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตลูกปัด รวมถึงการติดต่อระหว่างชุมชนสมัยวัฒนธรรมโลงไม้กับชุมชนแหล่งอื่น

ตารางที่ 4.6 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศตะวันออก (East profile) ของหลุมขุดค้นที่ 33 ในคูหา A1 ของแหล่งโบราณคดีอู่ผืนแมนโลงลงรัก

Layer	Depth (cm.) at left corner of profile	Thickness (cm.), at left-right corners	Color	pH	Observation in the field	Observation under a binocular microscope	Interpretation	Sample No.
1	0-10 (Top soil)	10-20	Dark brown, 7.5YR 3/4	7.5	disturbed and loose soil, floated speleothems, bone- shell- and wood fragments	clay, stiff clay; quartz grains, $\varnothing = 0.6-0.7$ mm. (fine sand); plant roots.	slack water and airfall*	LLRA1-1
2	10-20	10-5	Dark brown, 7.5YR 3/4	7	silt, clay, white mottles, rock fragments, bone fragments, charcoal (5x0.3 cm.)	clay; quartz grains, $\varnothing = 0.8-0.9$ mm. (medium sand); rock fragments; bone fragments; charcoal.	slack water and airfall	LLRA1-2
3.1	20-32	12-20	Dark reddish brown, 5YR 3/3	7.5	loose soil, silty clay, bone, shell- fragments, charcoal, very well round nodules at the bottom, pottery fragments	clay, stiff clay; quartz grains, $\varnothing = 0.8-0.9$ mm. (medium sand); charcoal fragments.	slack water and airfall	LLRA1-3
3A	32-36	4-4	Dark brown, 7.5YR 3/4	7	thin seam, loose yellow soil, dry clay,	-	slack water and airfall	Soil 3A (upper)
3	36-42.5	6.5-7	Dark brown, 7.5YR 3/4	7	dark brown and loose soil. well round, granular nodules, shell fragments, fibrous calcite crystals (1 cm. across), lens of loose and dry yellow clay at the bottom	-	slack water and airfall	Soil 3A (lower)
3	42.5-63.5	21-8.5	Dark brown, 7.5YR 3/4	7	horizontal thin laminas (~0.1-1 cm. thick for each), dark brow to yellow brown soil, loose, silty clay, tiny white spots, patches of polycrystalline calcite, shell fragments, charcoal fragments (0.5x1 cm.), granular Mn-nodules ($\varnothing = 0.3-0.5$ cm.) at the bottom	upper zone: clay, stiff clay; quartz grains, $\varnothing = 0.3-0.5$ mm. (fine sand, moderate sphericity), wood fragments. lower zone: clay; quartz grains, $\varnothing = 0.3-0.5$ mm. (fine sand, moderate sphericity).	slack water and airfall	LLRA1-3.1

ตารางที่ 4.6 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศตะวันออก (East profile) ของหลุมขุดค้นที่ 33 ในถ้ำหา A1 ของแหล่งโบราณคดีอำเภอนิลัง (ต่อ)

Layer	Depth (cm.) at left corner of profile	Thickness (cm.), at left-right corners	Color	pH	Observation in the field	Observation under a binocular microscope	Interpretation	Sample No.
3-4	63.5-66	2.5-2	Dark brown, 7.5YR 3/4	7	loose dark brown <u>thin bed</u> , very well round Mn-nodules ($\varnothing$ = 0.2x0.3 cm.), break between layers 3.1 and 4.	-	slack water and airfall	LLRA1-3.2
Discontinuity								
4A	66-74	8-9	Dark yellowish brown, 10YR 3/6	7	cross bedding, yellow brown, loose silty clay, white spots, white acicular-fibrous calcite crystals, very thin bed of sand particles ($\varnothing$ = 1.0-2.0 mm.)	clay; quartz grains, $\varnothing$ = 0.5–0.7 mm. (fine sand, sub-angular, moderate sphericity).	flow of water and airfall	LLRA1-4
4B1	74-81	7-7	Dark yellowish brown, 10YR 3/6	7	reddish brown, granular grains ($\varnothing$ up to 0.7x0.9 cm.), black nodules ($\varnothing$ up to 0.9x0.5 cm., 0.7x0.5 cm.), white patches of calcite? (powder)	-	flow of water and airfall	-
4B	81-87	6-9	Dark reddish brown, 5YR 3/4	7	resemble that of layer 6, termite nest (9x11 cm.), loose brown laterite-like soil, black spots, white spots, calcretes ($\varnothing$ = 2x2.5 cm.)	clay; quartz grains, $\varnothing$ = 0.5–0.7 mm. (fine sand, sub-rounded, moderate sphericity); wood- and charcoal- fragments.	flow of water and airfall	LLRA1-4B

ตารางที่ 4.6 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศตะวันออก (East profile) ของหลุมขุดค้นที่ 33 ในคูหา A1 ของแหล่งโบราณคดีอู่ผืนโลงลงรัก (ต่อ)

Layer	Depth (cm.) at left corner of profile	Thickness (cm.), at left-right corners	Color	pH	Observation in the field	Observation under a binocular microscope	Interpretation	Sample No.
5	87-116	29-8	Dark reddish brown, 5YR 3/3	7	brown-earthy and loose silty clay, yellow nodules (limonite?) with $\varnothing = 1.7 \times 1$ cm., white polycrystalline calcite (0.5x6.5 cm.), Termite nests ($\varnothing = 7 \times 7$ cm and 6×11 cm.).	clay; quartz grains, $\varnothing = 0.8-0.9$ mm. (coarse sand).	flow of water	LLRA1-5
6	116-146	30-26	Dark reddish brown, 2.5YR 2.5/3	7	brown laterite-like soil, stiff soil, loose soil, speleothem fragment (0.7x9 cm), yellow concretion (calcrete, $\varnothing =$ up to 2 cm.), shell fragments, mottled white of tiny calcite crystals (6x10 mm.), termite nest.	clay; quartz grains, $\varnothing = 0.8-0.9$ mm. (coarse sand).	flow of water	LLRA1-6
7	146-146	0-30	Dark reddish brown, 5YR 3/4	7	yellow brown, silty clay, very well round quartz grain ($\varnothing \sim 1$ cm.), white spots, termite nest ($\varnothing = 9 \times 8$ cm.).	clay; quartz grains, $\varnothing = 1.5-2.0$ mm. (coarse sand).	flow of water	LLRA1-6.1
	Floor of the pit		Dark brown, 7.5YR 3/4	7.5	clay	quartz grains, $\varnothing = 1.5-2.0$ mm. (coarse sand).	flow of water	LLRA1-7

*airfall หมายถึง อนุภาคตกลงมาจากอากาศ เช่น อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศภายในถ้ำ เมื่ออากาศนิ่งอนุภาคเหล่านั้นจะตกลงมาทับถมบนพื้น นอกจากนี้ยังรวมถึงอนุภาคหรือเศษหิน แร่ ที่หลุดลงมาจากผนังหรือเพดานถ้ำด้วย

ตารางที่ 4.7 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศเหนือ (North profile) ของหลุมขุดค้นในถ้ำ A2 ของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก

Layer	Depth (cm.) at left corner of profile	Thickness (cm.), at left-right corners	Color	pH	Observation in the field	Observation under a binocular microscope	Interpretation	Sample No.
1	0-4	4-11	Dusky red, 10R 3/3	7	loose sediment with sand particles, dead plant roots, abundant of leaf and bark/wood debris, as well as shell fragments, white fine particles (bone fragments?).	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.6-0.7 mm., medium sand, sub-rounded, moderate sphericity); calcite crystals (0.3-0.5 mm.); rock fragment.	flow of water and airfall	LLRA2
2	4-17	13-10	Reddish brown, 2.5YR 4/4	7.5	loose sediment with sand particles, wood fragments, limestone fragments ($\varnothing$ =2x2 cm. to 7x5 cm., angular, low sphericity), shell fragment ($\varnothing$ = 2x1 cm.)	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.4-0.5 mm., fine sand, sub-angular, moderate sphericity); calcite crystals ($\varnothing$ =0.3-0.6 mm.); rock fragments.	flow of water and airfall	LLRA2- N2
3	17-40	23-31	Dark reddish brown, 2.5YR 3/3	7.5	loose sediments with sand particles, termite nest ($\varnothing$ = 5x7 cm.), limestone fragments, shell fragments.	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.3-0.5 mm., fine sand, sub-rounded, moderate sphericity); calcite crystals ($\varnothing$ =0.3-0.5 mm.); rock fragments.	flow of water and airfall	LLRA2- N3
4	40-72	32-19	Dark reddish brown, 2.5YR 3/3	7	dry and loose sediments with sand particles, slightly lumped sediment, abundant of dead plant roots, limestone fragments (6x2 cm., sub-angular, low sphericity).	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.9-1.1 mm., medium to coarse sand, sub-angular, moderate sphericity); calcite crystals ($\varnothing$ =0.3 mm.).	flow of water and airfall	LLRA2- N4
5	72-75	3-5	Dark reddish brown, 2.5YR 3/4	7.5	loose sediments with sand particles, abundant of calcretes, limestone fragments ($\varnothing$ up to 2x4x0.5 cm., angular, low sphericity), shell ($\varnothing$ =1.5 cm.), low moisture (dry).	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.8-1.2 mm., medium sand, sub-angular, moderate sphericity); calcite crystals ($\varnothing$ =0.4-0.5 mm.).	flow of water and airfall	LLRA2- N5

ตารางที่ 4.7 ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศเหนือ (North profile) ของหลุมขุดค้นในถ้ำ A2 ของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก (ต่อ)

Layer	Depth (cm.) at left corner of profile	Thickness (cm.), at left-right corners	Color	pH	Observation in the field	Observation under a binocular microscope	Interpretation	Sample No.
6	75-91	16-35	Dark reddish brown, 2.5YR 3/3	7	lumped sediments of small crumbs with sand particles, limestone fragments ($\varnothing$ up to 3.5x0.5x0.6 cm. and 9x6 cm, angular, low sphericity), abundant of dead plant roots, moderately moisture content.	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.4-0.6 mm., fine sand, sub-angular, moderate sphericity); calcite crystals ($\varnothing$ =0.35-0.5 mm.)	flow of water and airfall	LLRA2- N6
7	91-162	71-49	Dark reddish brown, 2.5YR 3/3	7	lumped sediments of small crumbs with sand particles, grey mottles in the upper part of layer, wood fragments, white limestone fragments ($\varnothing$ =2x2 cm. and 4x2 cm, angular, low sphericity), shell fragment ($\varnothing$ =4x2 cm.)	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.4-0.5 mm., fine sand, sub-angular, moderate sphericity); calcite crystals ($\varnothing$ =0.4-0.9 mm.)	flow of water and airfall	LLRA2- N7
8	162-196	34-73	Dark reddish brown, 2.5YR 3/3	7	stiff clay, lumped clay ($\varnothing$ up to 6x4x3 cm.), limestone fragments ($\varnothing$ =13x7 cm., angular, low sphericity), abundant of living plant roots, high moisture content.	clay, lumped; quartz grains ($\varnothing$ =0.3-0.5 mm., fine sand, sub-rounded, moderate sphericity); calcite as the very fine crystals crystallized in aggregates.	flow of water and airfall	LLRA2- N8

*airfall หมายถึง อนุภาคตกลงมาจากอากาศ เช่น อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศภายในถ้ำ เมื่ออากาศนิ่งอนุภาคเหล่านั้นจะตกลงมาทับถมบนพื้น นอกจากนี้ยังรวมถึงอนุภาคหรือเศษหิน แร่ ที่หลุดลงมาจากผนังหรือเพดานถ้ำด้วย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา, นพพร เคนกิกกุล
 สุมาลี ด้านยุทธพลชัย, ณฐมนต์ บวรยศภักดิ์, สุนิสา ทอมกลิ่น
 ชานนท์ แดงสีพล, ภัทรธรา อาลัยสุข, วรวิทย์ มิตรอำพันธ์
 วชิรา ค้างอ่วม, พิมพ์มาดา ศิริสาโรจน์, วปณิศา แผลมทองประทีป
 ธนสร สิงทิต, อรุณรัตน์ ทราบรัมย์, กิตติศักดิ์ ใบสุขจันทร์
 ทิพย์สุดา รักสุวรรณ และปาลิดา ธัญญาอนันต์ชัย

ผลการวิเคราะห์จากการอ่านและแปลความแผนที่ธรณีวิทยารวมทั้งการสำรวจภาคสนามพบว่าลักษณะธรณีสัณฐานของอำเภอปางมะผ้าที่โดดเด่น ส่วนใหญ่เป็นภูเขา มีที่ราบระหว่างร่องเขาสำหรับตั้งบ้านเรือน และเพาะปลูก มีการเพาะปลูกบริเวณเชิงเขาที่ไม่ชันมากในบางพื้นที่ บางแห่งสูงจากระดับน้ำทะเลต่ำกว่า 1,200 เมตร บริเวณที่ลุ่มต่ำ เช่น บริเวณริมฝั่งน้ำลำสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 600 เมตร ลักษณะหินส่วนใหญ่ในพื้นที่เป็นหินปูนยุคเพอร์เมียน ซึ่งตกตะกอนในน้ำทะเลลึกไม่เกินประมาณ 200 เมตร

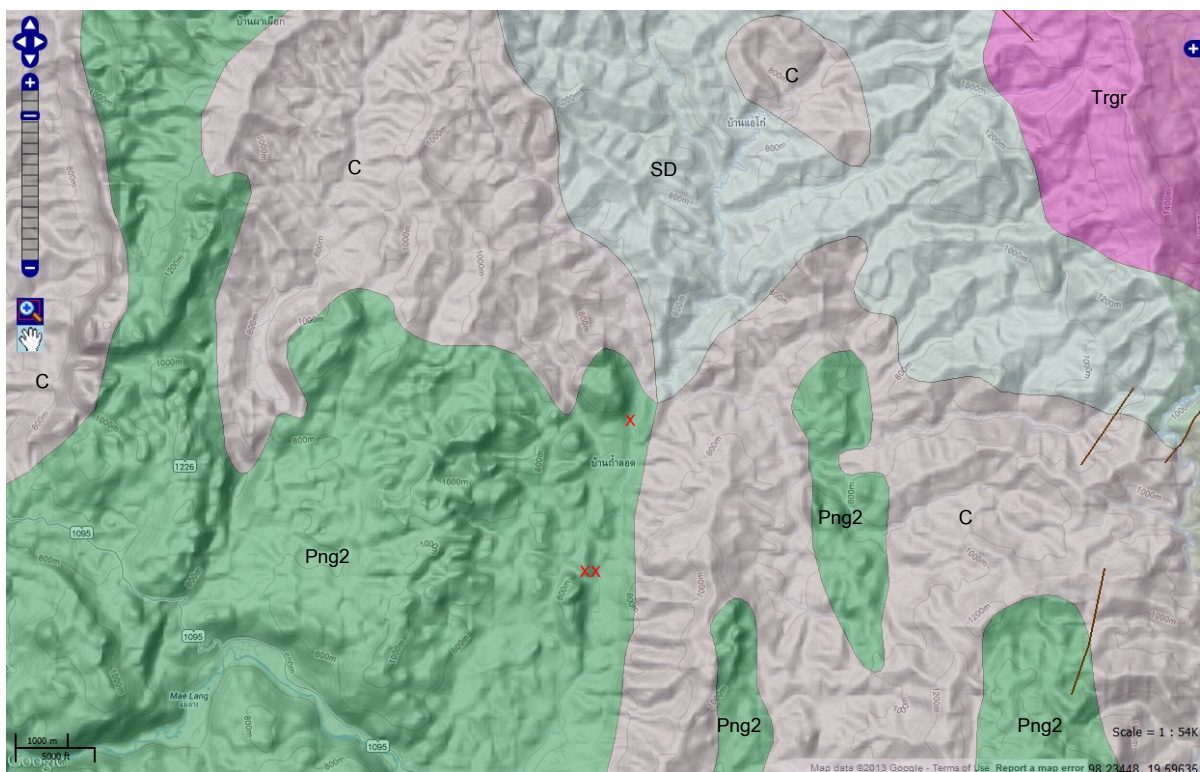
ลักษณะที่แสดงสภาพธรณีสัณฐานแบบคาสต์ ประกอบด้วย ถ้ำ หน้าผา หลุมยุบชนิดต่างๆ เช่น ถ้ำ หลุมยุบจากการละลาย (solution sinkhole) หลุมยุบที่เกิดจากการทรุดตัวของชั้นหิน และหลุมยุบที่มีน้ำไหลลงไปทางปากปล่อง หรือโพรงนกแอ่น เช่น ที่บ้านน้ำสุ ส่วนหินชนิดอื่น เช่น หินแปร และหินตะกอนชนิดอื่นๆ พบโดยรอบของบริเวณหินปูนและพื้นที่ที่รองรับหินปูนอยู่ สำหรับภูมิประเทศแบบคาสต์ถือเป็นพื้นที่ที่โดดเด่นที่สุดในแง่การตั้งถิ่นฐานและการใช้ประโยชน์ นับว่าเหมาะสมสำหรับมนุษย์ในการใช้ประโยชน์เพื่อทำกิจกรรมต่างๆ เพราะมีความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าพื้นที่ที่เกิดจากหินประเภทอื่นในบริเวณใกล้เคียง และมีแหล่งน้ำไหลผ่านประกอบกับ ถ้ำ หรือเพิงผา ยังใช้เป็นแหล่งหลบภัยแดดฝน หรือภัยธรรมชาติได้ จากการศึกษางานโบราณคดีในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย พบว่ามนุษย์สมัยก่อนประวัติศาสตร์ช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนปลายถึงสมัยโฮโลซีนตอนต้น ใช้ถ้ำและเพิงผาเป็นแหล่งที่พักอาศัยและประกอบกิจกรรมต่างๆ (Anderson, 1990)

สำหรับทางน้ำในพื้นที่หินปูนเป็นทางน้ำที่มีแหล่งต้นน้ำไหลผ่านหินต่างๆ บริเวณทางตอนเหนือของพื้นที่และพัดพาเอาหินดินก้นกบบริเวณต้นน้ำ เช่น จากบริเวณบ้านแอโก้เข้ามายังพื้นที่ภูมิประเทศแบบคาสต์ที่อยู่บริเวณตอนล่างของตัวอำเภอปางมะผ้า โดยมีแม่น้ำสายหลักคือลำน้ำลำ และสาขาย่อยของลำน้ำลำ ตัวอย่างหินดังกล่าว เช่น หินควอตไซต์ หินทราย หินเชิร์ต และหินแกรนิต หินเหล่านี้มีความคงทนและแข็งแรง โดยเฉพาะ หินควอตไซต์ หินเชิร์ต และหินทราย มีองค์ประกอบเป็นแร่ควอตซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่แข็ง ผุพังช้า หินเหล่านี้ถือเป็นแหล่งทรัพยากรของมนุษย์โบราณในการนำมาใช้ประโยชน์ ทำเครื่องมือหิน ตัวอย่างการศึกษาที่ถ้ำผี จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยเชสเตอร์ กอร์มัน (Gorman, 1970) พบหลักฐานว่ามีมนุษย์เข้ามาใช้พื้นที่ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนปลายถึงสมัยโฮโลซีนตอนต้น มีการใช้เครื่องมือหินแบบโอบินเนียน ที่เก็บจากหินกรวดแม่น้ำ

นอกจากนี้ลักษณะของลำน้ำลำยังเป็นแม่น้ำที่กัดเซาะลงในแนวลึกมากกว่าในแนวราบ เนื่องจากอยู่ห่างจากระดับอยู่ตัว (base level) มาก ทำให้มีร่องน้ำที่ไม่กว้างและกระแสน้ำค่อนข้างแรง มีลานตะพักน้ำแบบแคบๆ สองข้างฝั่งเป็นช่วงๆ เช่น บริเวณเพิงผาถ้ำลอด ซึ่งอาจเป็นคูก้นน้ำของลำน้ำลำมาก่อน โดยต่อมาทางน้ำเปลี่ยนทางเดินและทิ้งตะกอนลานตะพักเอาไว้รวมกับตะกอนที่เกิดจากการทับถมของลานหินเชิงผาโดยมีความสัมพันธ์กับข้อมูลอัตราการไหลของลำน้ำลำ (ชัยพร ศิริพรไพบุลย์, 2542) ที่แสดงการไหลในอัตราที่สูงอีกด้วย สามารถศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาเพิ่มเติมจาก ชัยพร ศิริพรไพบุลย์ (2543) และ สิทธิพงษ์ ดิลกวานิช (2543)

ส่วนรอยแตก รอยแยก และรอยเลื่อนในหิน พบว่ามีมากในบริเวณพื้นที่หินปูนเช่นกัน เนื่องจากคุณสมบัติของหินปูนเป็นหินที่ค่อนข้างเปราะ และร่องรอยเหล่านี้เอื้อต่อการเกิดถ้ำและโพรง เนื่องมาจากการละลายของหินปูนโดยน้ำแทรกเข้าไปตามรอยแตก เมื่อระยะเวลาผ่านไปทำให้ช่องเปิดกว้างขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้การแตกหลุดของหินสองข้างของรอยแตกหรือรอยเลื่อนยังส่งผลให้เกิดหน้าผาชัน หรือเพิงผาต่างๆ ในพื้นที่ได้

ภูมิประเทศในเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นภูเขาสลับซับซ้อน มีที่ราบขนาดเล็กกระหว่างภูเขา หรือสองข้างฝั่งลำน้ำ ส่วนใหญ่เป็นที่ตั้งของหมู่บ้านและพื้นที่เพาะปลูก ยอดเขาสูงที่อยู่ใกล้ปากถ้ำที่ศึกษามากที่สุด สูงจากระดับน้ำทะเล 910 เมตร (แผนที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1) ลักษณะธรณีวิทยาในบริเวณโดยรอบประกอบด้วยหินสามประเภท ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร ในช่วงอายุต่างๆ



แผนที่ 4.1 สภาพภูมิประเทศที่ถูกซ้อนทับด้วยแผนที่ธรณีวิทยาของบริเวณพื้นที่โดยรอบถ้ำลอด (X) และถ้ำผีแมน โลงลงรัก (XX) (กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของหินบริเวณพื้นที่ศึกษา ดูแผนที่ 4.1 ประกอบ (กรมทรัพยากรธรณี, 2556)

Symbol	Formation/Group	Lithology	Age
Trgr	-	biotite granite, tourmaline granite, granodiorite, biotite-muscovite granite, muscovite-tourmaline granite and biotite-tourmaline granite.	Triassic
Png2	Pha Huat Fm., Ngao Group	limestone, bedded and massive, grey, black, interbedded with shale and sandstone	Middle Permian
C	-	conglomerate, sandstone, shale, slate, chert, and limestone.	Carboniferous
SD	-	phyllite, carbonaceous phyllite, and quartzitic phyllite.	Silurian-Devonian

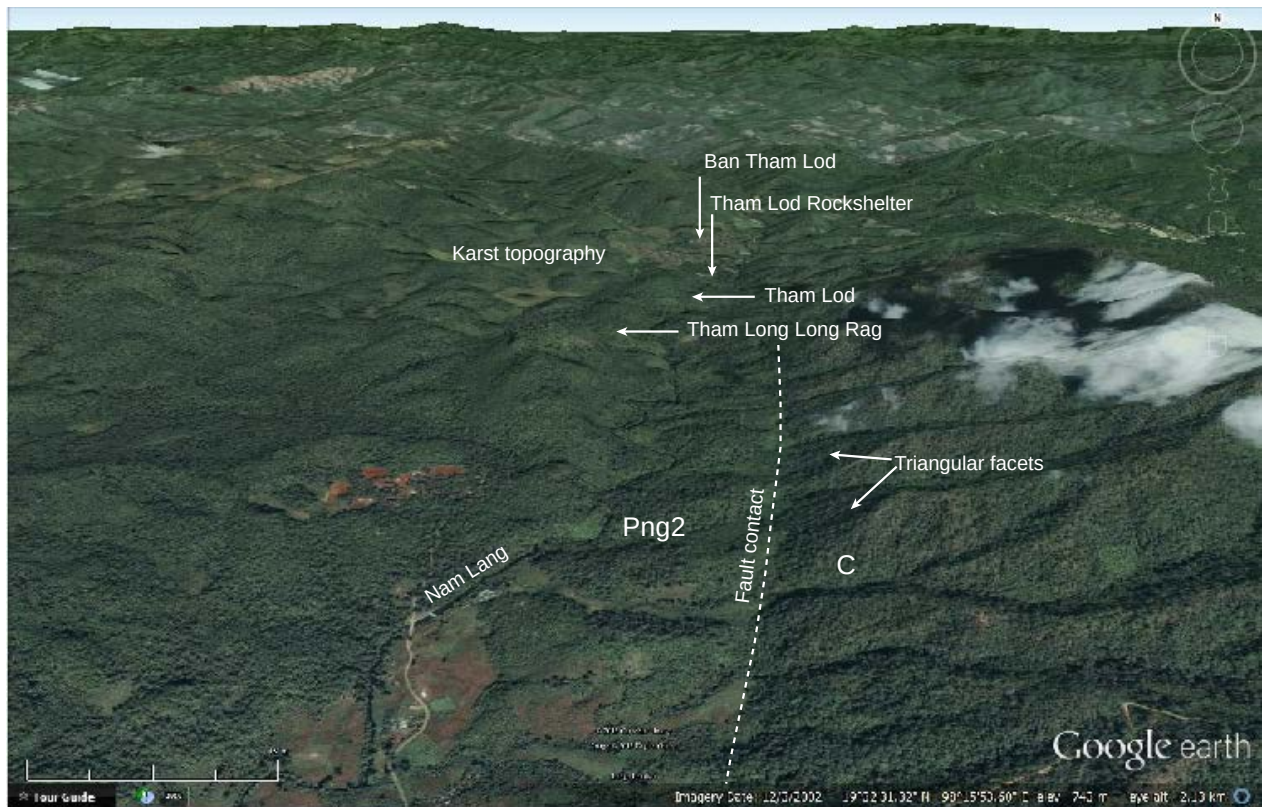
4.1 ผลการศึกษาธรณีฐานของอำเภอบางมะเฝ้า

ลักษณะธรณีฐานของพื้นที่ศึกษาเป็นภูมิประเทศแบบคาสต์ สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ดังแผนที่ 4.2 (Google Earth, 2013) และแสดงตำแหน่งหลุมขุดและรูปแบบทางน้ำไว้ในแผนที่ 4.3 สำหรับธรณีโครงสร้างในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยรอยเลื่อน วางตัวในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันตกเฉียงใต้ พบรอยเลื่อนที่เห็นเด่นชัดในแนวประมาณ ทิศเหนือ-ทิศใต้ตัดผ่านพื้นที่

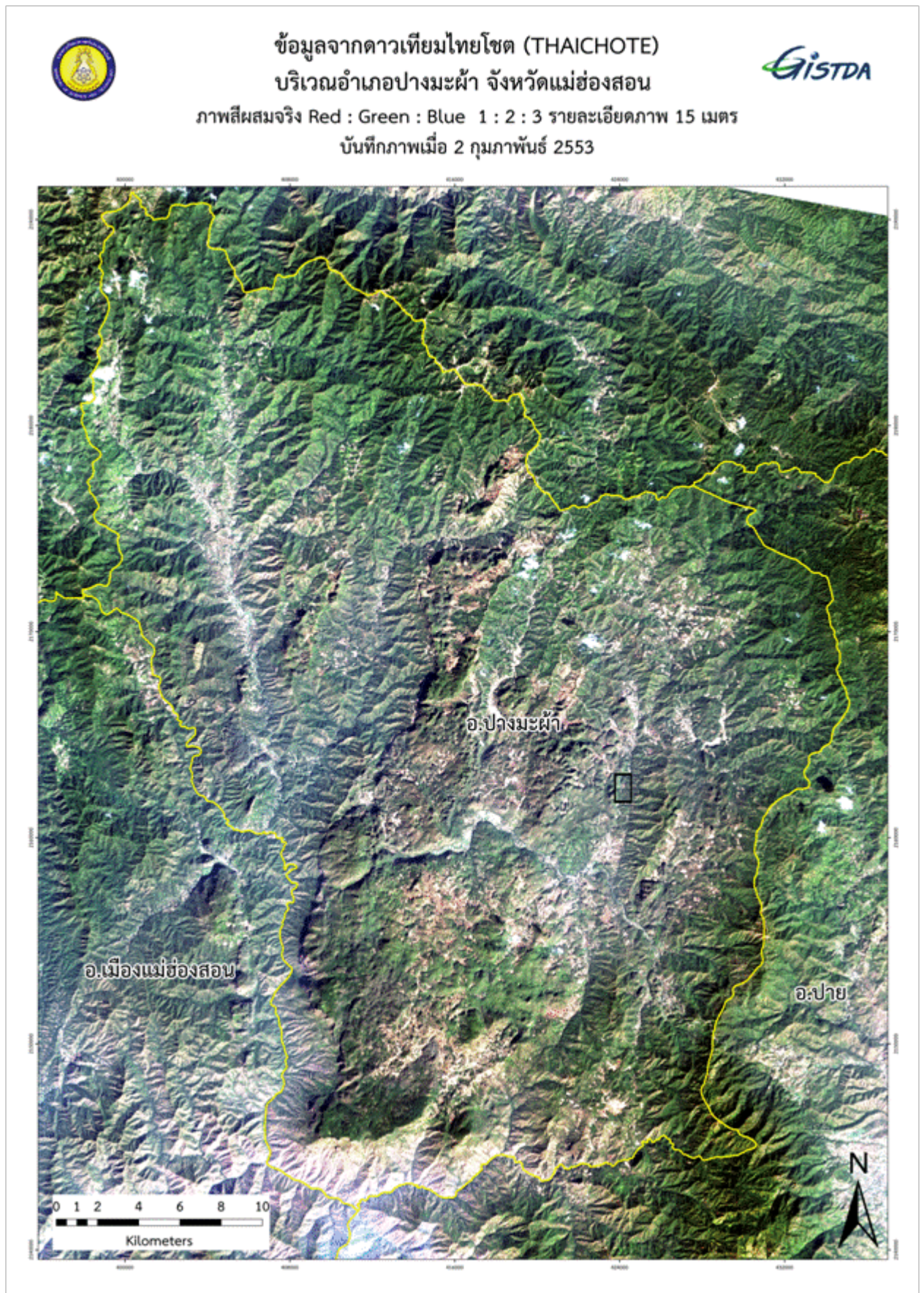
ภูมิประเทศแบบคาสต์ของอำเภอบางมะเฝ้า เกิดจากการละลายของหินปูนชุดราชนูรีที่มีอายุอยู่ในยุคเพอร์เมียน (Permian period, 250-280 ล้านปี) ในพื้นที่ประกอบด้วยหลุมขุดหรือแอ่งขุดจำนวนมากทำให้เกิดภูมิประเทศที่ขรุขระลักษณะภูมิประเทศที่โดดเด่นเช่นนี้มักพบหลักฐานทางโบราณคดีของมนุษย์ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนปลายถึงสมัยโฮโลซีนตอนต้นซึ่งใช้ถ้ำหรือเพิงผาเป็นที่อยู่อาศัยหรือเพื่อประกอบกิจกรรมและประเพณีทางความเชื่อ พบว่าทางน้ำมีการเปลี่ยนระบบจากทางน้ำบนดินเป็นทางน้ำใต้ดินจากการศึกษาตัวอย่างด้วยการตัดแผ่นหินบางและส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์สองกระบอกตาแบบสเตอริโอ (binocular stereo-microscope) พบซากดึกดำบรรพ์ชนิดหอยตะเกียง (Brachiopod) และคดข้าวสาร (Fusulinids) อยู่ในหินตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างเป็นหินปูนที่เกิดการตกตะกอนในท้องทะเลร่วมกับซากสัตว์ทะเลดึกดำบรรพ์ สัตว์ทั้งสองชนิดเป็นสัตว์ทะเลดึกดำบรรพ์ที่อาศัยบริเวณทะเลน้ำตื้นที่คลื่นลมสงบ จึงสรุปได้ว่าบริเวณอำเภอบางมะเฝ้าเคยเป็นเขตทะเลมาก่อน นอกจากนั้นบริเวณนี้ยังได้รับอิทธิพลของแผ่นดินไหวสังเกตได้จากหน้าผารอยเลื่อน เช่น ที่เพิงผาถ้ำลอด และการแตกทรุดตัวตามระนาบชั้นหินในถ้ำผีแมนโลงลงรัก

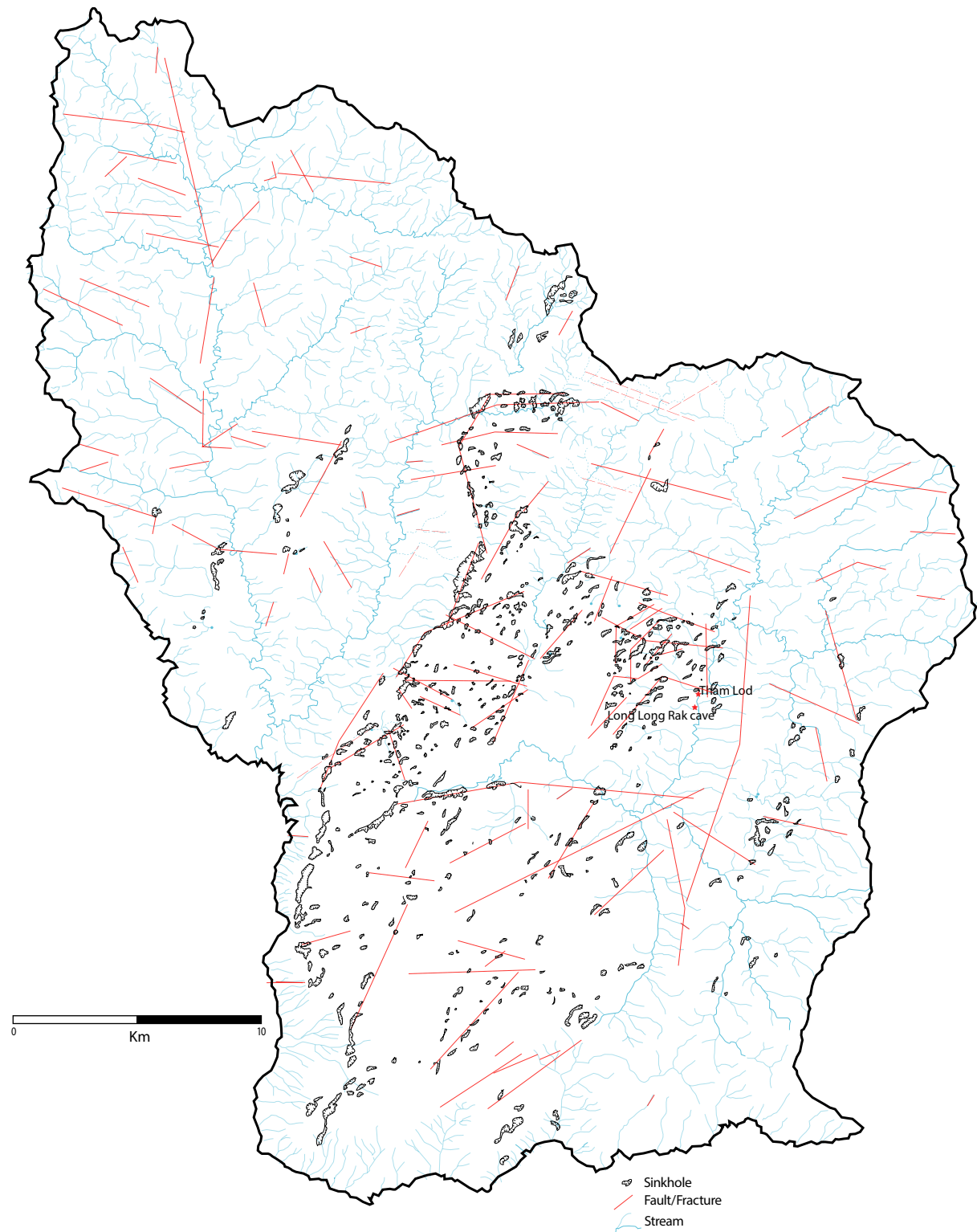
ประเทศไทยมีการบันทึกสถิติแผ่นดินไหวไว้ในเอกสารทางประวัติศาสตร์ เช่น ปฐม พงสาวดาร ศิลาจารึก พบว่าส่วนใหญ่มีตำแหน่งบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศ การเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวรู้สึกได้ในประเทศไทยเกิดขึ้นตั้งแต่ 624 ปีก่อนคริสตศักราช บางครั้งรุนแรงมากจนทำให้เมืองล่ม เช่น พ.ศ. 1003 มีการบันทึกว่าเมืองโยนกนครล่ม ปัจจุบันพบว่าแผ่นดินไหวรู้สึกได้ในประเทศไทยเกิดขึ้นปีละ 6-8 ครั้ง โดยเป็นแผ่นดินไหวขนาดเล็กถึงปานกลาง มีตำแหน่งศูนย์กลางทั้งภายในและนอกประเทศ (ชะเอม อนิสดา, 2557) และจากการวิเคราะห์ห้วงประกอบทางเคมีของตัวอย่างหิน มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 65.47-99.73 โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีทั้งตัวอย่างที่เป็นหินปูนและหินปูนแมกนีเซียมทำให้ปริมาณของแคลเซียม

คาร์บอนเนตมีค่าอยู่ในช่วงกว้าง ซึ่งบางตัวอย่างจัดเป็นหินปูนแมกนีเซียม (Magnesium limestone) เพราะมีแมกนีเซียมคาร์บอนเนตมากกว่าร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 35 (ราชกิจจานุเบกษา, 2549)



แผนที่ 4.2 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะภูมิฐานโดยทั่วไปในมุมมองเฉียงกับพื้นที่ศึกษา (Google Earth, 2013) แสดงแนวรอยเลื่อนที่เป็นแนวสัมผัสระหว่างหิน 2 ยุค (Png2 คือ หินปูนยุคเพอร์เมียน และ C คือ หินตะกอนเนื้อประสมและหินแปรยุคคาร์บอนิเฟอรัส)

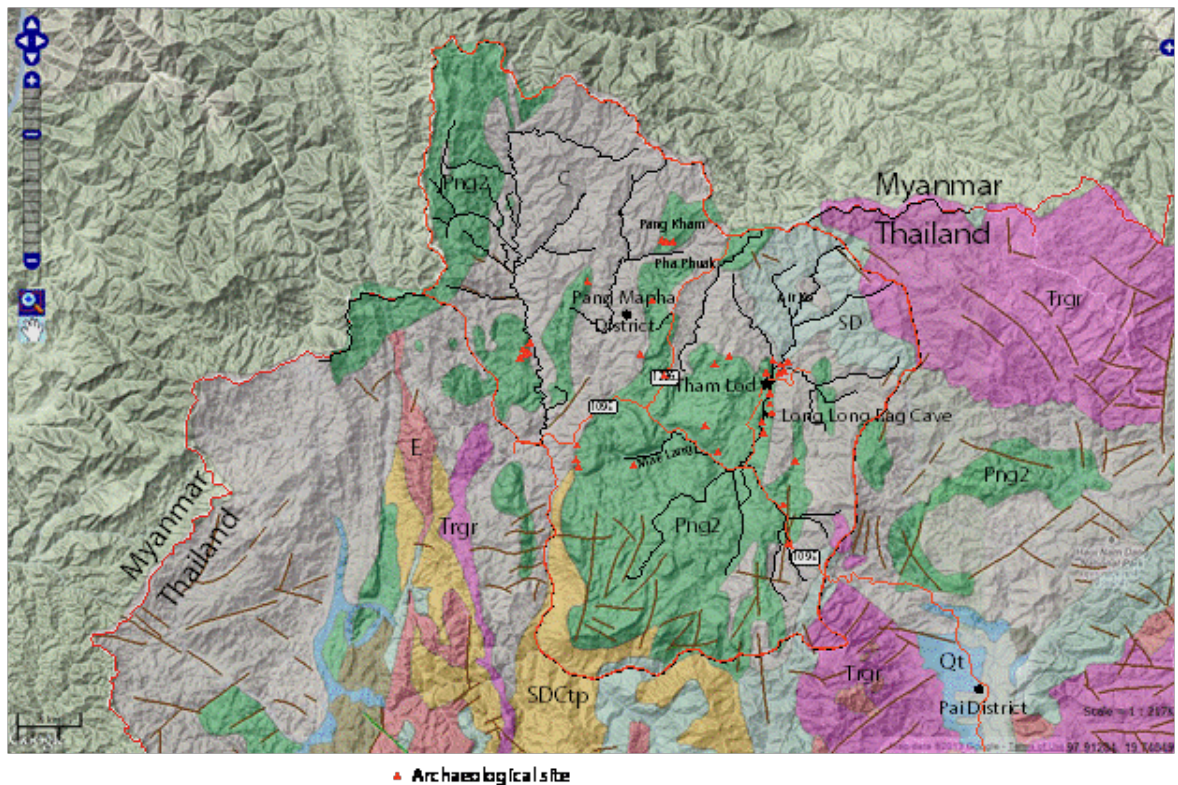




ข)

คำอธิบายแผนที่ 4.3 ก) ภาพถ่ายดาวเทียม บริเวณอำเภอปางมะผ้า แสดงภูมิประเทศแบบคาสต์ในตอนกลางของพื้นที่ (ข้อมูลดาวเทียมจาก GISTDA) และ ข) แสดงตำแหน่งหลุมยุบในพื้นที่คาสต์ทางน้ำ รอยแตก และรอยเลื่อนต่างๆ ที่แปลจากภาพ ก (แปลภาพโดยใช้แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหารประกอบ โดยนางสาวชिरา ดั่งอ่วม และนางสาวพิมพ์มาดา ศิริสาธลิโภชน)

จากการศึกษาในภาพกว้างพบว่า ตำแหน่งของแหล่งโบราณคดีของบริเวณอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอนตั้งอยู่บริเวณชายขอบของพื้นที่คาสต์หินปูน (แผนที่ 4.4)



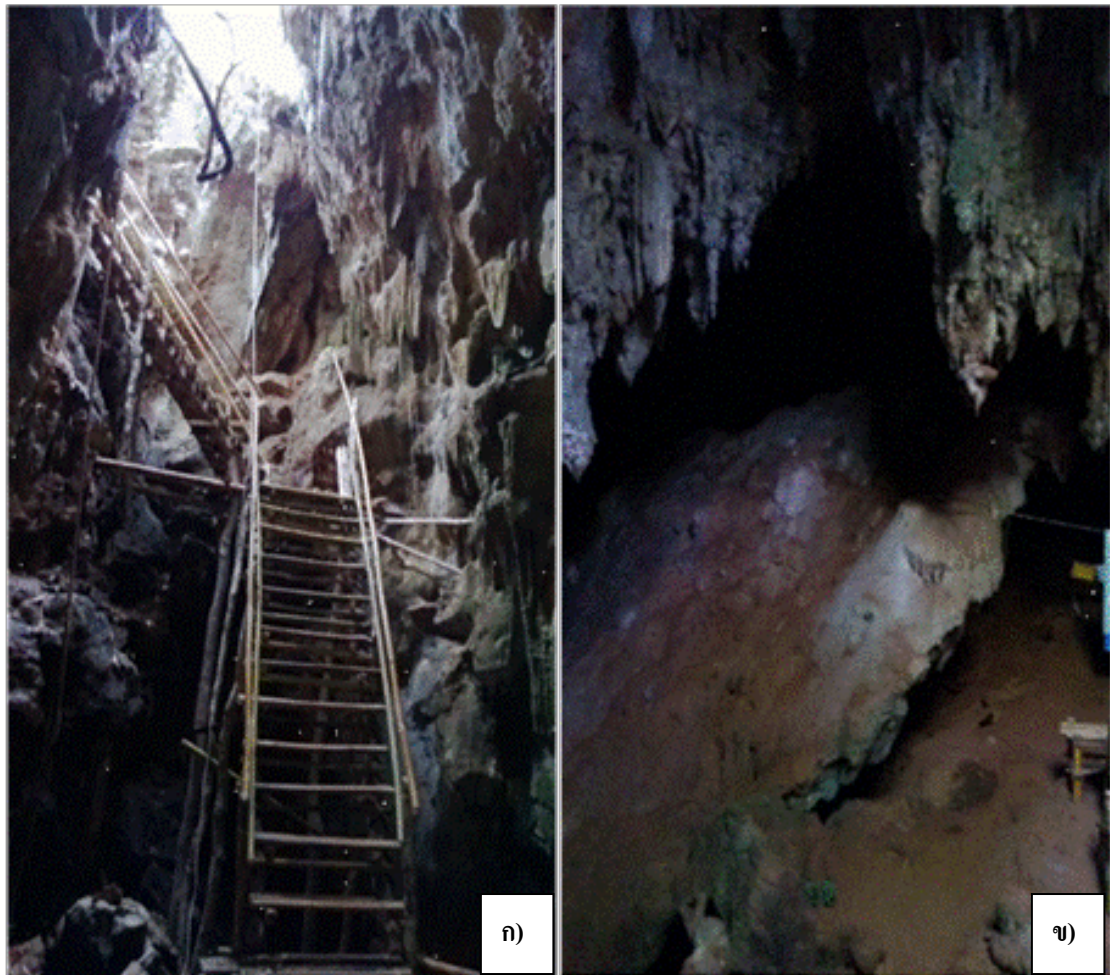
แผนที่ 4.4 ลักษณะทางธรณีวิทยาในเขตอำเภอปางมะผ้าและบริเวณใกล้เคียง แสดงทางน้ำ ทางหลวง และรอยแตก รอยเลื่อน (เส้นสีน้ำตาล) และ ตำแหน่งของแหล่งโบราณคดี (archaeological site) พื้นที่ที่เป็นหินปูนคือ บริเวณสีเขียวเข้มหรือที่มีสัญลักษณ์เป็น Png2 [ลักษณะของหินบริเวณพื้นที่ศึกษามาจากกรมทรัพยากรธรณี (2556); ตำแหน่งของแหล่งโบราณคดีอ้างอิงจาก สิทธิพงษ์ ดิลกวานิช และคณะ (2543ก) รัศมี ชูทรงเดช (2543) และ รัศมี ชูทรงเดช และคณะ (2550)]

ถ้าฝิเมนโลงลงรัก ตั้งอยู่ในเขตบ้านถ้ำลอด ตำบลถ้ำลอด อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน อยู่ห่างจากบ้านถ้ำลอด มาทางทิศใต้ประมาณ 2 กิโลเมตร ปากถ้ำสูงจากระดับน้ำทะเล 744 เมตร ณ เส้นรุ้งที่ $19^{\circ} 33' 21.05''\text{N}$ และเส้นแวงที่ $98^{\circ} 16' 28''\text{E}$ (พิกัด UTM 47 Q 423891 m E 2162494 m N) อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 พิมพ์ครั้งที่ 2-RTSD ลำดับชุด L7018 ระวัง 4648 II (คอยผัดกุด) (กรมแผนที่ทหาร, 2542) อยู่ในเขตลุ่มน้ำกลาง พิกัด UTM ตามแผนที่ภูมิประเทศ คือ 238624 ภายในถ้ำประกอบด้วยถ้ำต่างๆ แบ่งโดยคณะสำรวจทางโบราณคดี (ซึ่งโครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งร่วมอยู่ด้วย นำโดย รศ.ดร. รัศมี ชูทรงเดช และมีการศึกษาเกี่ยวกับโบราณคดี เช่น โครงกระดูกคนในโลงไม้ และเครื่องใช้ต่างๆ) แบ่งออกเป็น ถ้ำ A, B และ C (แผนผังที่ 4.1) ลักษณะธรณีสัณฐานของถ้ำคือ ปากถ้ำเป็นปล่องเกิดจากหลุมยุบในแนวโค้ง ปากปล่องมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 เมตร ระยะในแนวโค้งจากพื้นผิวบนปากปล่องจนไปถึงพื้นถ้ำที่วัดได้ประมาณ 10 เมตร



แผนผังที่ 4.1 แหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน-โลงรัก แสดงตำแหน่งคูหา A1, A2, B และ C

บริเวณคูหาใต้ทางเข้า (คูหากลาง) มีลักษณะเด่นของหินที่เกิดจากการละลายของหินปูน และการทรุดลงของชั้นหิน (bed) กว้างประมาณ 10 เมตร ขวางอยู่เบื้องล่าง เมื่อลงถึงพื้นคูหาถ้าจะเห็นแผ่นหินดังกล่าวเอียง มีแนวระดับ (strike) ประมาณทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และมีมุมเท (dip) ลงไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ระบายของชั้นหิน (bedding plane) ดังกล่าววางตัวสอดคล้องกับระบายของเพดานโพธิ์ แสดงให้เห็นว่าวัตถุทั้งสองนี้เคยอยู่ติดกันมาก่อน ต่อมาทรุดตัวลงเนื่องจากแผ่นดินไหว แต่พบคราบหินปูน และหินงอกหินย้อยเกิดพอกหรือฉาบบนระบายผิวหินทั้งสองภายหลัง (รูปที่ 4.1)

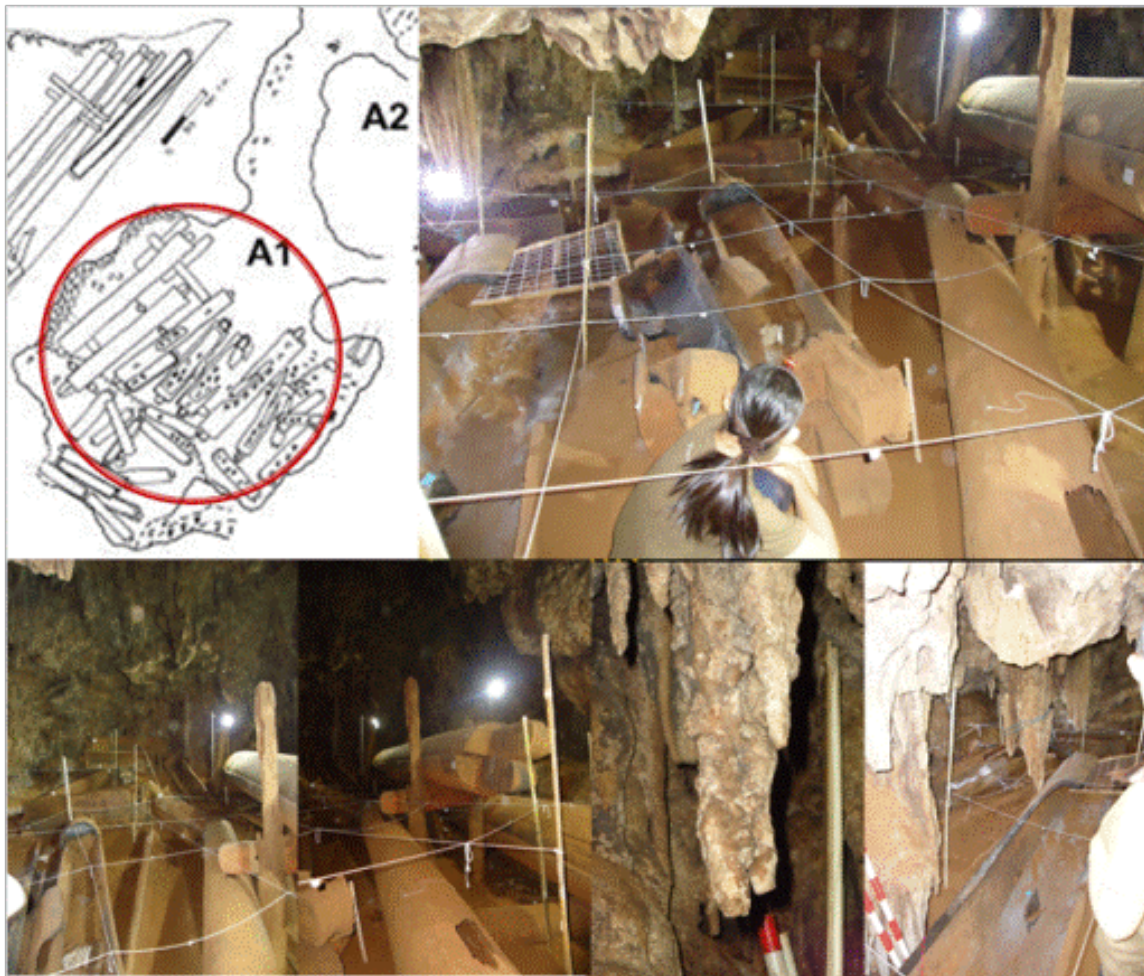


รูปที่ 4.1 ก) ทางลงสู่พื้นถ้ำ ข) แผ่นหินทรุดลงมาเอียงตัวขนานกับระนาบเพดานด้านบน

ถ้ำ A แบ่งออกเป็นสองถ้ำย่อย คือ A1 และ A2 บริเวณทางเข้าถ้ำ A1 เมื่อมุ่งหน้าเข้าสู่ถ้ำ ทางด้านซ้ายมือก่อนถึงถ้ำพบหินที่มีการแตกขนานกับแนวราบ ยาว 4.2 เมตร พื้นผิวรอยแตกด้านบนสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร รอยแตกมีระยะห่าง 20 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าหินด้านบนและล่างเคยเป็นก้อนเดียวกัน และแตกออกจากกันภายหลัง เรียกรอยนี้ว่า เทนชันแครก (tension crack) เมื่อเวลาผ่านไปมีการตกผลึกของแคลไซต์เคลือบลงอยู่ที่ผิวของรอยแตก พบแร่ทุติยภูมิอื่นๆ เช่น ไข่มุกถ้ำ (cave pearl)

ปากทางเข้าสู่ถ้ำ A1 สูงประมาณ 80 เซนติเมตร กว้าง 1 เมตร พบหินย้อยยาวประมาณ 1 เมตร อยู่ทางด้านซ้าย ปลายหินย้อยจมลงไปในพื้นดิน ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะคาสต์โบราณ (Palaeokarst) แสดงให้เห็นว่าในอดีต พื้นถ้ำมีระดับต่ำกว่าปัจจุบัน ต่อมาเกิดการพัดพาตะกอนมาทับถมและสะสมตัวจนทำให้พื้นถ้ำมีระดับสูงขึ้นยังพบหินย้อยอีกจำนวนมากบางก้อนยาวถึง 1 เมตร บริเวณนี้พบคราบสีด้านบนเพดานถ้ำ และทางด้านขวามือพบชะงิบบนแนวแคลไซต์ที่ตกผลึกเป็นกลุ่มเรียกว่า เม็กซิกันออนิกซ์ (Mexican onyx) มีความสูงจากพื้นถ้ำประมาณ 1.2 เมตร ยาวประมาณ 2.3 เมตร หนาประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นบริเวณที่ระดับน้ำเคยสูงถึงชะงิบบดังกล่าวจนทำให้แคลไซต์ตกตะกอนเหนือผิวหน้า

คูหา A1 มีเพดานสูงจากพื้นถ้ำประมาณ 4.5 เมตร ขนาดคูหาประมาณประมาณ 3.5x4 ตารางเมตร ทางเข้ามีความกว้างประมาณ 1 เมตร เป็นบริเวณที่พบโลงไม้จำนวนมากถึง 39 ฝา นอกจากนี้ยังพบหินช้อยซึ่งมีขนาดยาวประมาณ 50 เซนติเมตรขึ้นไปอีกจำนวนมาก (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 แสดงภาพโดยรวมในคูหา A1 และลักษณะการวางตัวของโลงไม้

คูหา A2 สูงประมาณ 1 เมตร กว้างประมาณ 4.3 เมตร พื้นคูหามีความลาดเอียง 30 องศาไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ พบฝาโลงไม้จำนวน 3 ฝา และยังมีการขุดค้นทางโบราณคดีและการศึกษาภาคตัดของตะกอนดินโดยชุดสิบลูกไปจากพื้นประมาณ 2.30 เมตร บริเวณผนังชั้นดินของหลุมขุดค้นทางด้านทิศใต้ พบผิวของคราบหินปูนยุคใหม่หรือทราเวอร์ทีน (travertine) ที่เคลือบอยู่บนผนังของผิวหินปูนดั้งเดิม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคาสต์โบราณ ถูกปิดทับด้วยตะกอนดินหนาไม่ต่ำกว่า 2.5 เมตร แสดงให้เห็นว่าถ้ำแห่งนี้เป็นที่ได้รับอิทธิพลของการไหลเข้าของตะกอนจากภายนอก โดยมีน้ำเป็นตัวกระทำ ภายหลังจากการบดหินปูนดังกล่าวเกิดขึ้นแล้ว (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 ภายในถ้ำ A2 ภาพซ้ายแสดงการเริ่มขุดค้นในถ้ำเมื่อเดือนมิถุนายน 2556 ภาพขวาหลุมที่เกิดจากการขุดค้นถ่ายภาพเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2556 แสดงพื้นผิวของคาสต์โบราณ

ถ้ำ B มีขนาดใหญ่ แต่สภาพพื้นที่ลาดชันกว่าถ้ำอื่น การเข้าถึงยากลำบาก โดยต้องลอดมาจากถ้ำ C ซึ่งเป็นช่องทางขนาดเล็ก (ประมาณ 1x1 เมตร) และลึกเป็นแนวเกือบดิ่งลงประมาณ 4 เมตร จึงจะถึงพื้นในถ้ำ B มีเพดานสูงประมาณ 10 เมตรจากพื้นถ้ำ เดินสำรวจได้สะดวก หากเข้ามาเป็นระยะทางประมาณ 3 เมตร จะพบทางแยกทางซ้ายและขวา

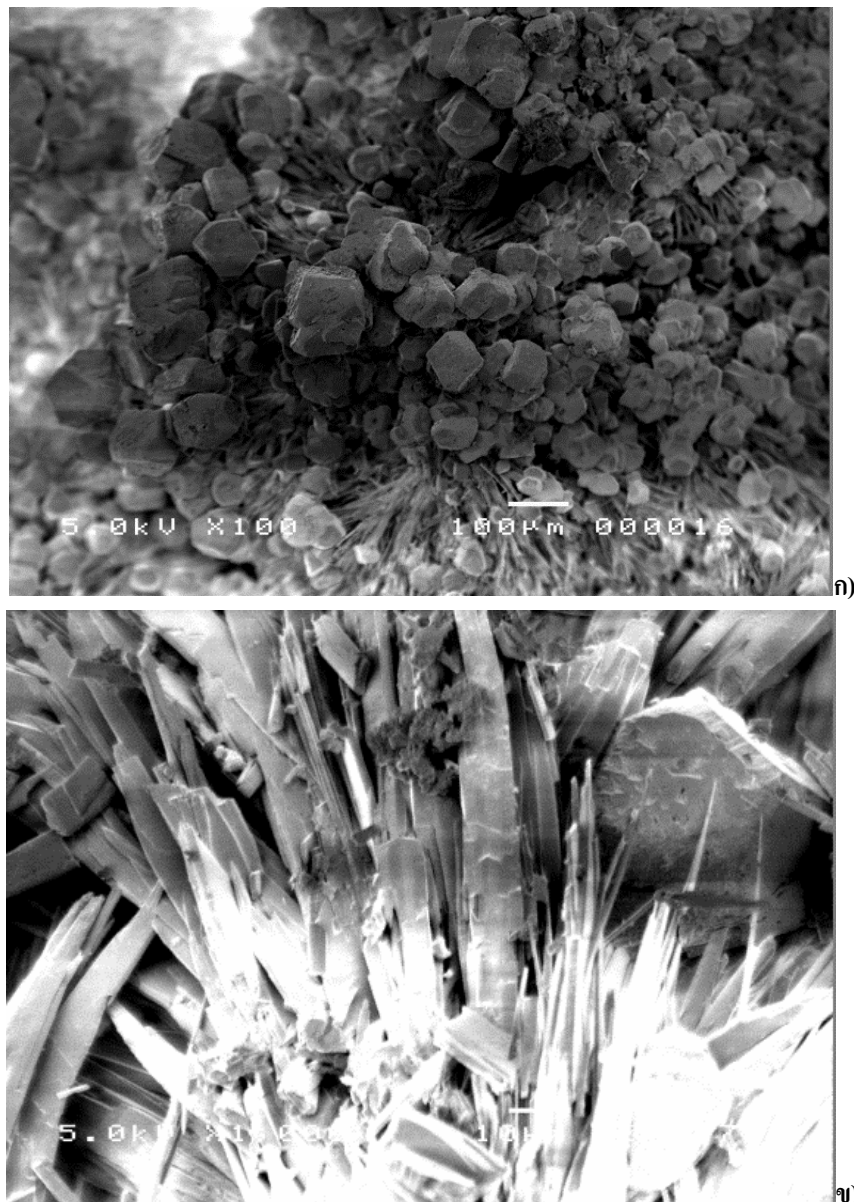
หากเดินเข้าไปตามทางแยกซ้ายพบชิ้นส่วนกระดูกคนกระจายตามพื้นถ้ำ เป็นระยะทางประมาณ 10 เมตร เป็นทางค่อนข้างลึกและพื้นไม่เรียบ เต็มไปด้วยหินก้อนใหญ่ต้องปีนป่ายตลอดทาง พบแร่ฟอสเฟตที่สวยงาม เช่น หินขี้ย ขาวถึง 2 เมตร หินงอก สูงประมาณ 60 เซนติเมตร และพบหินน้ำไหลขนาดใหญ่ นอกจากนี้บริเวณผนังและเพดานถ้ำ มีสีขาวของหินปูนปลูมูมิ แลดูสวยงาม

หากเดินเข้าไปตามทางแยกขวาจะพบกระดูกคน โลงไม้ ภาชนะดินเผา หากเข้าไปได้ถึงประมาณ 4 เมตร สามารถเชื่อมต่อกับทางแยกซ้ายได้

ถ้ำ C เมื่อลงจากปากถ้ำถึงพื้นด้านล่างจะพบพื้นที่ถ้ำนี้มีบริเวณถ้ำแรก พบกระดูกคนกระจายอยู่เป็นหย่อมๆ พบหินขี้ยตามผนังและเพดานถ้ำจำนวนมาก มีความยาวสูงสุดถึง 6 เมตร นอกจากนั้นยังพบม่านหินขี้ย (drapery) ม่านเบคอน (bacon formation)

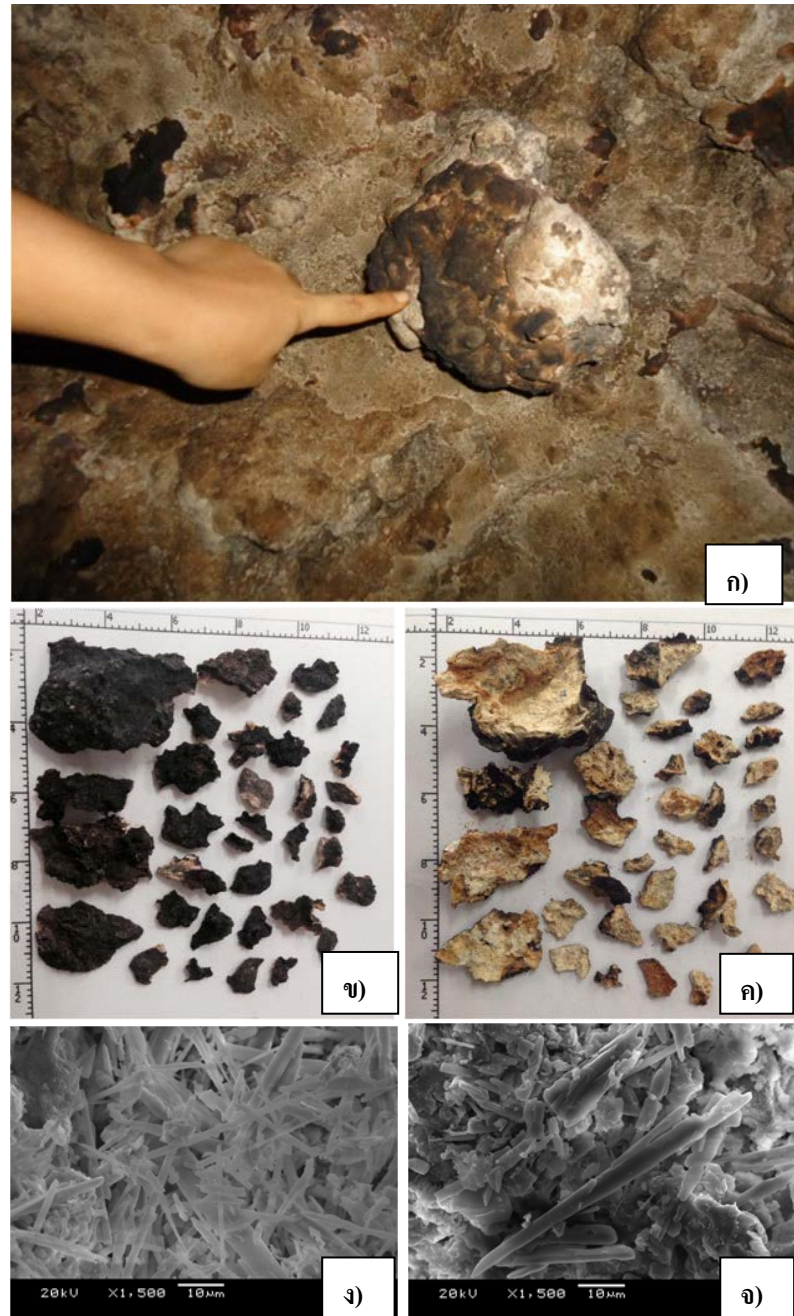
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่จากภายในถ้ำด้วยวิธี XRD พบว่าส่วนใหญ่เป็นแคลไซต์ บางตัวอย่างมีแร่ควอตซ์ปนเปื้อนเล็กน้อย เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการไหลของตะกอนจากนอกถ้ำ แร่แคลไซต์ดังกล่าวเกิดจากสารละลายของหินปูนดั้งเดิมที่ถูกกัดเซาะโดยน้ำฝนและน้ำใต้ดินแล้วไหลลงไปตามร่องหรือรอยแตกของหินปูนตามเพดานหรือผนังถ้ำแล้วตกตะกอนแข็งตัวเป็นแร่ฟอสเฟตที่มีรูปร่างเป็นประติมากรรมในถ้ำที่สวยงาม องค์ประกอบทางเคมีของหินปูนนอกถ้ำ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

พบว่าแร่แคลไซต์มีรูปผลึกเป็นแบบมวลเม็ด และแบบแผ่นบางปลายแหลมคล้ายใบมีด (รูปที่ 4.4) ผลึกเหล่านี้เมื่อเรียงตัวต่อกันหนาแน่นและมีแสงไฟมาตกกระทบหน้าผลึก จะทำให้เกิดการสะท้อนแสงระยิบระยับ นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์กลุ่มผลึกแร่ที่มีลักษณะผิวนอกสีดำด้านในสีขาว/ครีม ซึ่งพบที่เพดานถ้ำบริเวณทางเข้าคูหา A1 (รูปที่ 4.5) ด้วยการส่องกล้อง SEM, วิธี XRD และวิธี Raman microprobe พบว่าเป็นแร่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxy apatite) สีขาว และเคลือบบางๆ ด้วยเรโซมาไทต์ (Hematite) สีดำ (แผนภูมิที่ 4.1 และแผนภูมิที่ 4.2)

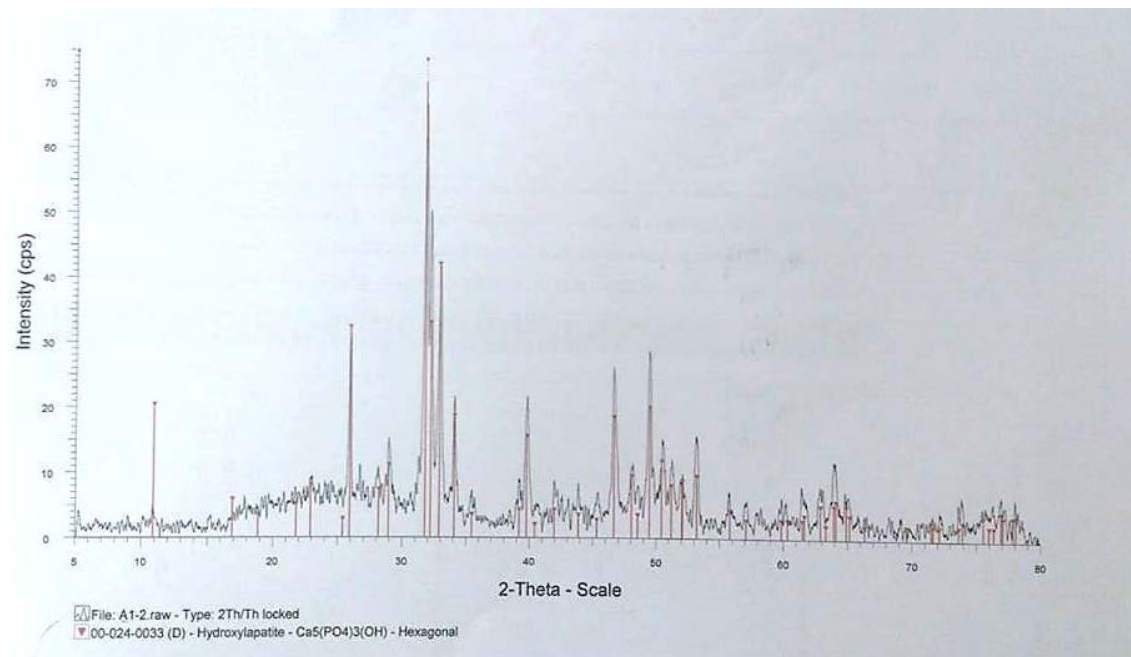


รูปที่ 4.4 ตัวอย่าง A2/4 ซึ่งเป็นหลอดหินย้อยจากคูหา A2 (Fine grained and high porosity soda straw)

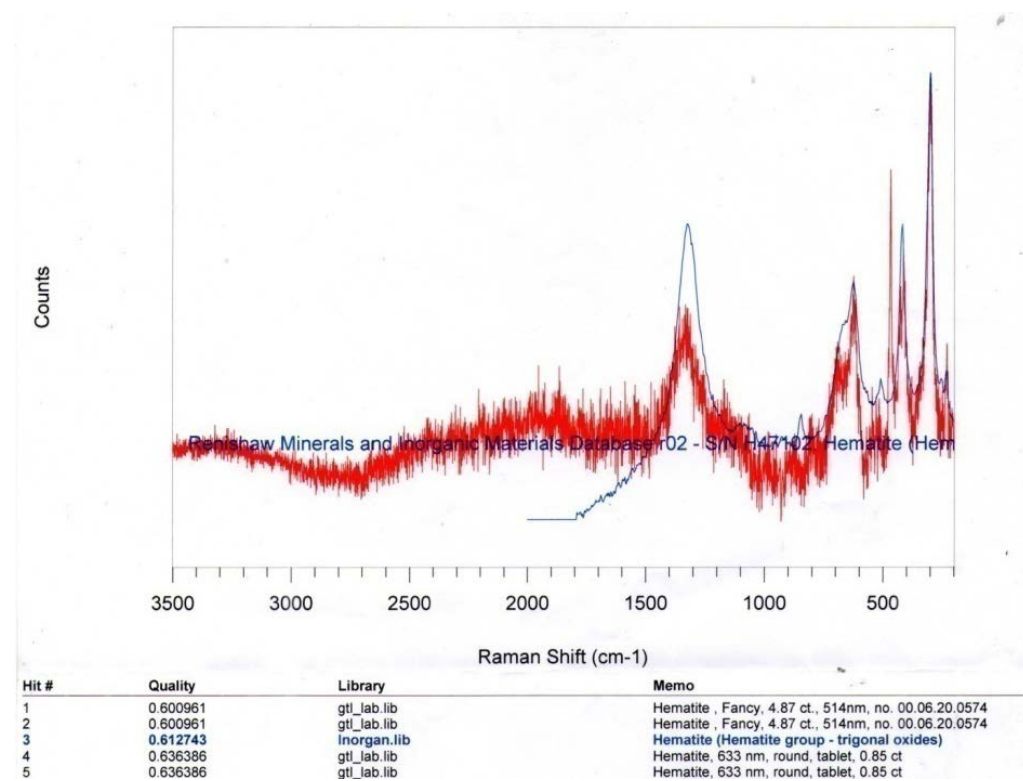
- ก) แสดงกลุ่มผลึกแคลไซต์ที่เกาะกัน เป็นลักษณะของแผ่นบางปลายแหลมคล้ายใบมีด (Elongated blades with acute tip) ที่ตกผลึกเกาะกันอยู่ มีขนาดผลึกกว้างประมาณ 10 ไมครอน ยาวตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป
- ข) แสดงกลุ่มผลึกแบบมวลเม็ด (Granular) ที่เกาะกันอยู่ มีขนาดประมาณ 20x30 ไมครอน



รูปที่ 4.5 ก) ตัวอย่าง A1/3 คราบสีดำบนพาดานทางเข้าคูหา A1 (Fine grained, black surface white polycrystalline inside) ข) ตัวอย่างที่เก็บมาและแสดงให้เห็นผิวด้านนอก ค) ผิวด้านใน ง) ภาพภายใต้กล้องSEM บริเวณผิวด้านนอกสีดำพบผลึกรูปเข็ม (Acicular) กว้างตั้งแต่ 1-8 ไมครอน ยาวตั้งแต่ 30 ไมครอนขึ้นไป จ) ภาพภายใต้กล้องSEM บริเวณผิวด้านในสีครีม พบผลึกรูปเข็มเช่นกัน มีขนาด 1x10 ไมครอน ขึ้นไป



แผนภูมิที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ผลึกที่เพิ่มในตัวอย่าง A1/3 (ดังรูปที่ 4.5 ง) ด้วยวิธี XRD พบว่าเป็นแร่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxylapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$)



แผนภูมิที่ 4.2 บริเวณสีดำที่เคลือบอยู่ที่ผิวนอกของตัวอย่าง A1/3 ดังรูปที่ 4.5 ข เมื่อนำไปวิเคราะห์โดยวิธี Raman microprobe พบว่าเป็นแร่ฮีมาไทต์ (Fe_2O_3)

4.2 ตะกอนร่วนและสิ่งแวดล้อมโบราณสมัยไพลสโตซีนตอนปลายจากบริเวณแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด

ตะกอนร่วนที่ทับถมกันในบริเวณเพิงผาถ้ำลอดเป็นส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้ ตะกอนร่วนถูกกักเก็บอยู่ในพื้นที่ได้เพิงผาซึ่งเราใช้ลักษณะทางตะกอนวิทยาเพื่อการศึกษาสิ่งแวดล้อมและภูมิอากาศในอดีต ตะกอนร่วนที่ทับถมในบริเวณหนึ่ง สามารถมีที่มาจากหลายแหล่ง เช่น จากแหล่งภายนอกบริเวณพื้นที่ศึกษา (allogenic sediments) หรือเกิดจากการทับถมภายในพื้นที่ (autogenic sediments) ตะกอนร่วนเหล่านี้สามารถใช้ศึกษาเหตุการณ์ การดำรงชีวิตของผู้คนที่อยู่อาศัยได้เพิงผาในอดีต ซึ่งตะกอนสะท้อนลักษณะการทับถมและบริบททางสิ่งแวดล้อม อันนำไปสู่หลักฐานทางโบราณคดี

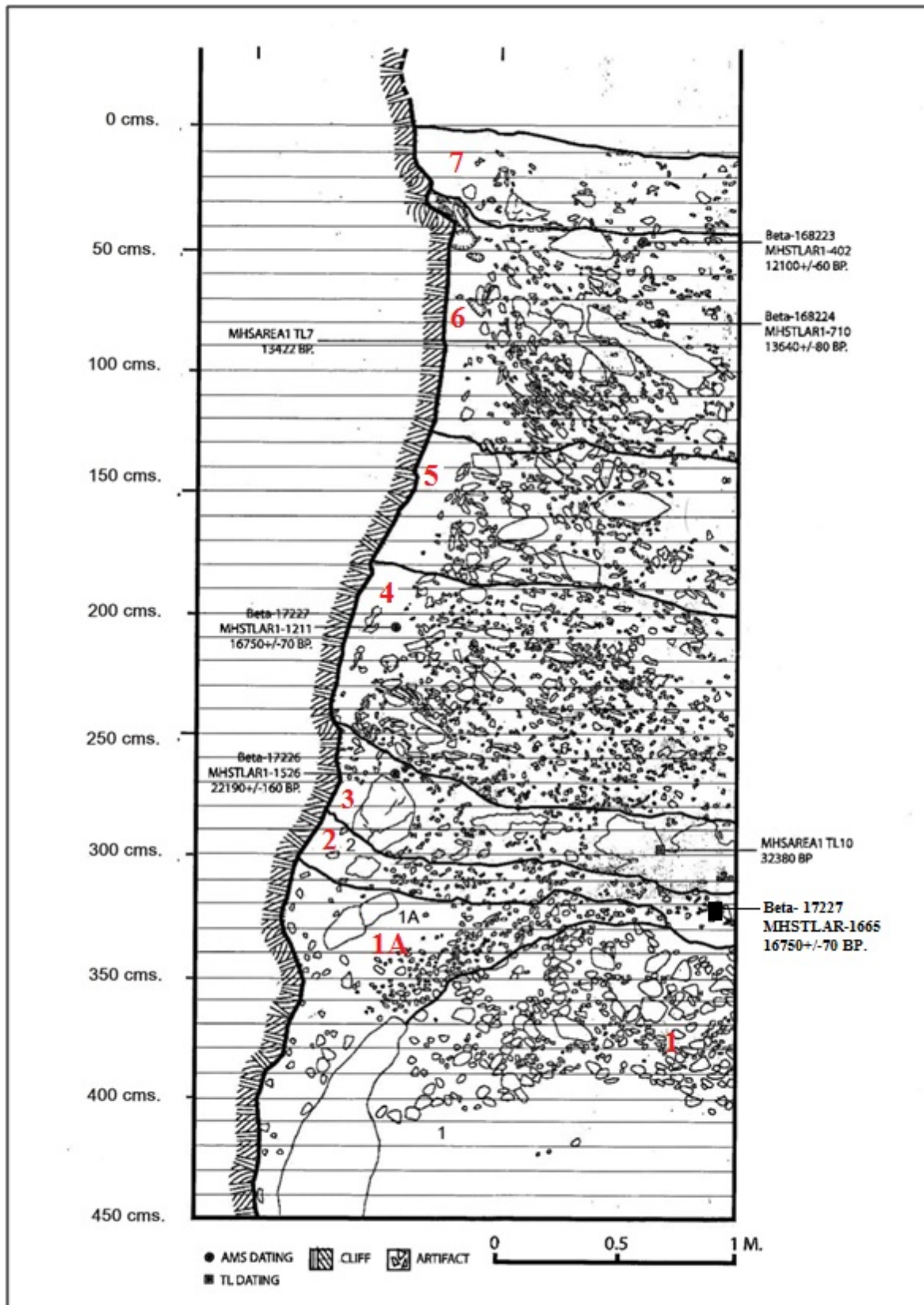
หลุมขุดค้นทางโบราณคดีบริเวณเพิงผาถ้ำลอด มีระยะเวลาขุดค้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2549 ภายใต้การกำกับดูแลของ รศ. ดร. รัศมี ชูทรงเดช ในโครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูง ในอำเภอบางมอญ ซึ่งได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยศิลปากร พื้นที่ศึกษานี้เป็นแหล่งกักเก็บตะกอนที่ดี และยังสะดวกต่อการเดินทางเข้าถึงพื้นที่ ตั้งอยู่ในศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าถ้ำน้ำลอด อำเภอบางมอญ (รัศมี ชูทรงเดช, 2547; รัศมี ชูทรงเดช และคณะ, 2550)

เพิงผาถ้ำลอดเป็นแหล่งโบราณคดีที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมของมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์ ได้แก่ วัฒนธรรมหินกะเทาะ เป็นที่อยู่อาศัยชั่วคราว เป็นแหล่งกักเก็บอาหาร แหล่งกักเก็บเครื่องมือหิน และเป็นแหล่งผลิตหินกะเทาะ พื้นที่นี้ยังเป็นที่อยู่อาศัยของมนุษย์ในยุคหินใหม่ และมีการพบโลงไม้ในแหล่งโบราณคดีนี้ ข้อมูลต่างๆ เหล่านี้อาจใช้ตีความได้ว่าแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอดมีความหลากหลายสูงทางด้านโบราณคดี

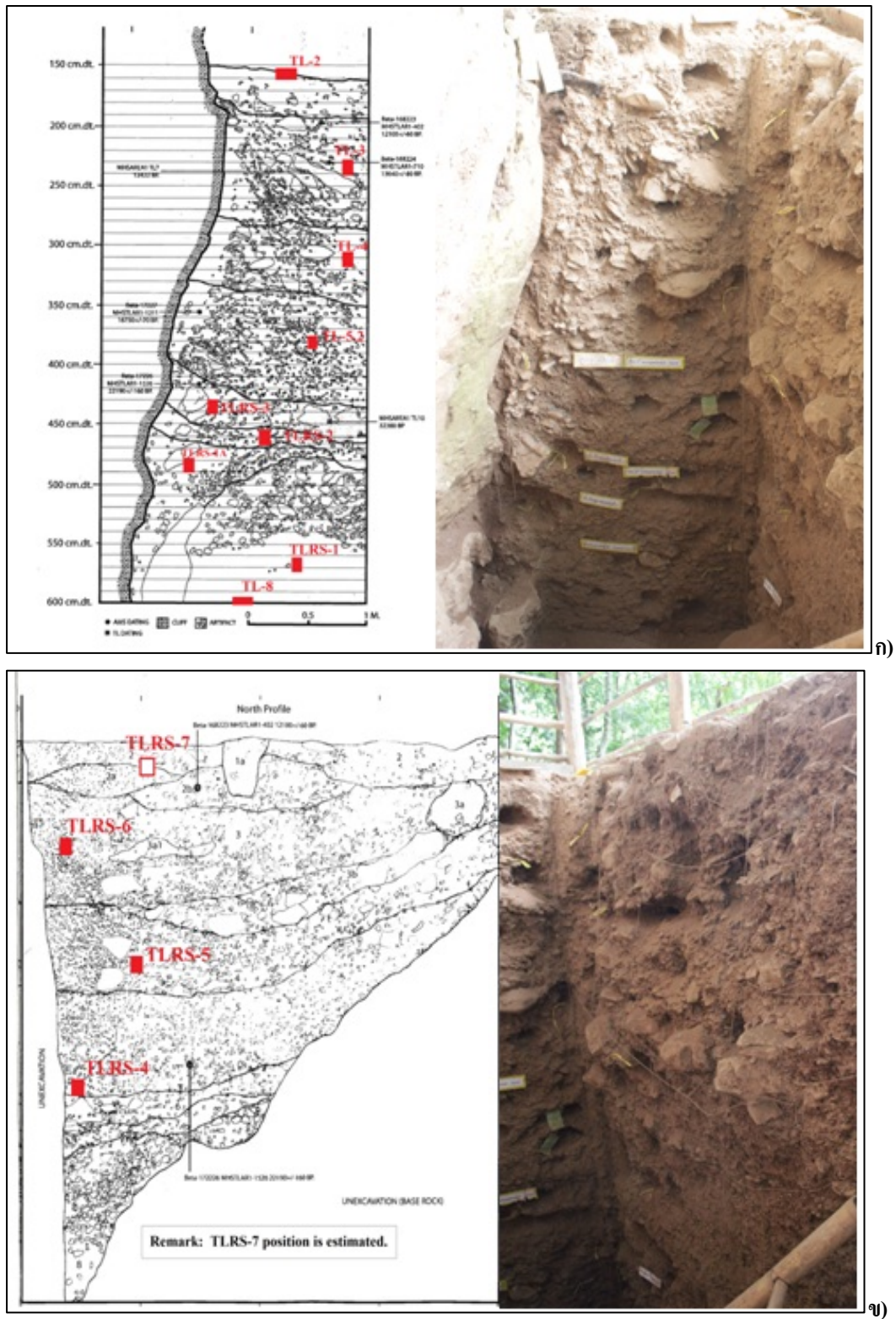
พื้นที่ใกล้เคียงของแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด คือ แหล่งโบราณคดีถ้ำลอด เป็นพื้นที่ที่ถูกเข้ามาศึกษา มากที่สุด เนื่องจากเป็นสถานที่ท่องเที่ยวประเภทถ้ำที่สวยงาม และยังพบโลงไม้ซึ่งมีอายุประมาณ $1,450 \pm 110$ ปี และ $1,240 \pm 90$ ปีอีกด้วย (รัศมี ชูทรงเดช และคณะ, 2550)

4.2.1 ลักษณะตะกอนจากผนังชั้นดินในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด

ผลการสำรวจและสังเกตในภาคสนาม เกี่ยวกับลักษณะตะกอนร่วนของผนังชั้นดินในหลุมขุดค้นทางโบราณคดีที่เพิงผาถ้ำลอด (แผนผังที่ 4.2 และ รูปที่ 4.6) ตั้งแต่ชั้นบนสุดจนถึงล่างสุดดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับอายุตะกอนในบางชั้นได้นำมาจากรวบรวมที่เกี่ยวกับและสรุปไว้ในตารางที่ 4.3



แผนผังที่ 4.2 หน้าชั้นดินแสดงตะกอนร่วนชั้นต่างๆ ของหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาลอดด้านทิศตะวันตก และมีข้อมูลอายุแสดงเป็นบางชั้น (รัศมี ชูทรงเดช และคณะ, 2550)



รูปที่ 4.6 ผนังชั้นดินในหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาล้อด ก) ผนังด้านทิศตะวันตก และ ข) ผนังด้านทิศเหนือ (แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง) (รัศมี ชูทรงเดช และคณะ, 2550)

ตารางที่ 4.2 ลักษณะตะกอนจากชั้นบนลงชั้นล่างที่สังเกตพบในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีเพิงผาล้าสด

ชั้นตะกอน	ลักษณะที่พบ
Layer 7: ชั้นที่อยู่อาศัย 6 (ชั้นบนสุด)	มี Boulder ของหินควอตไซต์ (quartzite, well rounded, low sphericity) มีเนื้อเป็นสีแดง มีไมกาขนาดเล็กมากปน
Layer 6: ชั้นที่อยู่อาศัย 5	พบกรวด very angular , หินปูน (limestone), 7 x 5 x 1.5 cm. เป็น clay มีรากไม้ มีไมกา มีวัตถุสีขาว ขนาด 1.5 มม. มีกรวดของหินปูน very angular มีเศษหินงอกหินย้อย ลักษณะเป็นเนื้อดินมีเศษถ่านปะปน พบกระดูกสันหลังของมนุษย์ มีเศษหินปูนเป็นแผ่นแบนเรียงตัวกัน มีกรวดของหินทราย (sandstone) ขนาด 10 x 20 x 30 cm. (upper ชั้นที่อยู่อาศัย 5)
Layer 5: ชั้นที่อยู่อาศัย 4	Boulder ขนาด 10x30x15 cm. ของหินควอตไซต์ (quartzite), rounded, low sphericity; Boulders of limestone ขนาด 10x20x15 cm., angular , low sphericity; 25x30x25 cm., angular, low sphericity, มีวัตถุสีขาวขนาดเล็กเป็นร่างแห, มีวัตถุสีขาวไม่ทราบว่าเป็นชนิดใด ชั้นดินเป็นดินเหนียวปนทรายแข็ง พบถ่านมี concretion เคลือบรูปร่าง Irregular ขนาด 5x4x3 cm., 30x36x16 cm., พบหินปูน, angular
Layer 4: ชั้นที่อยู่อาศัย 3	มีกรวดขนาด 12x9x6 cm., และขนาด 15x7x9 cm. เป็นหินควอตไซต์ (quartzite), well round, low sphericity, มีหินปูน, angular มีขนาด 13x3x15 cm. และ 10 x 15 x 5 cm. มีเศษกระดูกมาก (กองกระดูก) บริเวณใกล้เพิงผาเป็นชั้นดิน มี Concretion (calcrete) เชื่อมประสานกระดูกเข้ากับดิน, มีสารเชื่อมเป็น Clay to silt, มีไมกาน้อยกว่า 1%, พบ Concretion มีกระดูกพบ Boulder ก้อนใหญ่, มีวัตถุสีดำคล้ายถ่าน ขนาด 3 มม.
Layer 3: ชั้นที่อยู่อาศัย 2	มีการเคลือบของปูนสีขาว มี Concretion (calcrete) ที่เกิดในช่วง Diagenesis (การก่อตัวใหม่หลังจากตกตะกอนแล้ว), มีเศษหินชนวน (slate), มีกรวดเหลี่ยม Low sphericity, very angular, 1.5x4x2.5 cm., สารเชื่อมเป็น clay-silt, มีไมกาขาว (Muscovite) ขนาด <1 mm. (<1%), มีสารเชื่อมสีน้ำตาลปนเหลือง มีกรวดมากกว่า 80 % (angular), ขนาดกรวดเฉลี่ย 3x5x4 cm., มี clay ที่มีไมกาปนน้อยกว่า 1%
Layer 2: ชั้นที่อยู่อาศัย 1	มีกรวด angular สีดำ, เป็น Secondary lime stone, angular, 8x5x4 cm., low sphericity, 3x0.5 cm., เป็นชั้นกรวดเหลี่ยม, มี clay เป็นสารเชื่อม, มีเศษกระดูกสีขาวขนาดเล็ก, มีกรวดเป็น quartz, sub-angular, 2x1.5x2 cm, กรวดขนาด 3x1.5x2.5 cm., low sphericity, angular
Layer 1A: ชั้นดินธรรมชาติ	มีกรวด ~80% เป็นเม็ดกรวดของหินเชิร์ต (Chert) สีเทาดำ very angular ขนาด 2x1x0.5 cm. มีสารเชื่อมเป็น Clay เป็นชั้นกรวด มีกรวดขนาด 2.5x4x3 cm., very well rounded, low sphericity, มีหินควอตไซต์ ขนาด 4.5x5x2 cm., very angular, low sphericity, มีขนาดเฉลี่ย 2x1 cm. มี clay และเม็ด quartz แทรกอยู่ ขนาด 2mm. มี Clay lense ขนาด 20x70 cm มีจุดประสีดำเทา, มี Quartz angular จำนวนมาก, พบ marly rock.
Layer 1: ชั้นดินธรรมชาติ (ชั้นล่างสุด)	ชั้นล่างที่เป็นดิน Clay มีสีน้ำตาลอมแดง มีไมกาขาว (Muscovite) ขนาดประมาณ 1 มม. มี quartz ขนาดเม็ดกรวด (rare), Angular, subrounded to rounded ขนาด 2-1.5 มม. ชั้นดินมีสีประ กรวดน้อยกว่า 2% ชั้นบนที่เป็นกรวด มีกรวดขนาดสูงสุด 7x6x18 ซม.มี Cement เป็น Clay ปนทราย Quartz มีแร่ไมกาปนกรวดเป็นหินทรายสีเทา (กรวดมีประมาณ 80% ของชั้น)

ข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับลักษณะชั้นดิน (ขวลิขิต ขาวเขียว, 2546)

ชั้นดินที่ 1 อยู่ด้านบนสุด หนาประมาณ 10 เซนติเมตร มีเศษใบไม้แห้งปะปน และพบหลักฐานสมัยปัจจุบัน เช่น ชิ้นส่วนแก้ว เศษเชือก เหยี่ยว 25 สตางค์ และมีวัตถุโบราณกระจายตัวอยู่เล็กน้อย

ชั้นดินที่ 2 ลึกจากผิวดินประมาณ 10-50 เซนติเมตร เป็นดินอุกความร้อน มีหินปูนกระจายตัวอยู่ พบหลักฐานคือ ชิ้นส่วนภาชนะดินเผาเนื้อดินและเนื้อแกร่ง ชิ้นส่วนกระดูกสัตว์ เปลือกหอย สะเก็ดหิน แกนหิน ลูกปัดแก้วขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร

ชั้นดินที่ 3 ลึกจากผิวดินประมาณ 50-130 เซนติเมตรเป็นดินสีน้ำตาล มีก้อนหินปูนแตกเป็นแผ่นกระจายตัวอยู่ พบหลักฐานคือ ชิ้นส่วนกระดูกสัตว์ เครื่องมือหินแบบสุมาตราลิส ขวานสั้น สะเก็ดหินที่มีร่องรอยการใช้งานและไม่มีการใช้งาน แกนหิน หินกรวด เปลือกหอย โครงกระดูกหมายเลข 1 และ 2

ชั้นดินที่ 4 ลึกจากผิวดินประมาณ 130-200 เซนติเมตรลักษณะดินคล้ายกับดินชั้นที่ 3 พบชั้นของ calcrete จับตัวแน่นเป็นแผ่นกระจายตัวอย่างต่อเนื่อง ปะปนอยู่กับหลักฐานทางโบราณคดี หลักฐานที่พบคือ เครื่องมือหิน แกนหิน สะเก็ดหิน หินกรวด ชิ้นส่วนกระดูกสัตว์ เปลือกหอยโดยเฉพาะเครื่องมือหินที่พบเป็นเครื่องมือแบบสุมาตราลิส ซึ่งลักษณะของเครื่องมือหินแบบนี้จะพบต่อเนื่องลงไปในพื้นที่ในระดับต่ำกว่า แต่ปริมาณที่พบจะแตกต่างกันออกไป แกนหิน สะเก็ดหินกรวดพบเป็นจำนวนมาก วางตัวในแนวอนในช่วงใกล้กับผนังเพิงผา

ชั้นดินที่ 5 ลึกจากผิวดินประมาณ 200-290 เซนติเมตร ช่วงบนของชั้นนี้ต่อเนื่องจากชั้นที่ 4 ลงมา มีก้อนหินปูนขนาดใหญ่ที่ตกลงมาจากเพิงผาวางตัวเป็นแนว แบ่งชั้นดินที่ 4 กับชั้นดินที่ 5 ออกจากกันอย่างชัดเจน หลักฐานที่พบคือ ชิ้นส่วนกระดูกสัตว์ เปลือกหอย กระจายตัวหนาแน่นมากส่วนใหญ่เป็นกระดูกสัตว์ขนาดใหญ่ขนาดกลาง มีหลายชิ้นส่วนปะปนกัน

ชั้นดินที่ 6 ลึกจากผิวดินประมาณ 290-320 เซนติเมตรลักษณะคล้ายกับชั้นดินที่ 5 เริ่มมีก้อนหินกรวดขนาดเล็กเข้ามาปะปนหลักฐานที่พบคือ ชิ้นส่วนกระดูกสัตว์ เปลือกหอย แกนหิน เครื่องมือหิน สะเก็ดหิน หินกรวด แต่ปริมาณหลักฐานลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดินที่อยู่ในระดับบน

ชั้นดินที่ 7 ลึกจากผิวดินประมาณ 320-340 เซนติเมตรลักษณะดินมีเถ้าปะปน และมีชั้นของ calcrete จับตัวแน่นเป็นแผ่นกระจายตัวอยู่มาก หลักฐานที่พบคือ ชิ้นส่วนกระดูกสัตว์ เปลือกหอย สะเก็ดหิน ปะปนอยู่เล็กน้อย

ชั้นดินที่ 8 ลึกจากผิวดินประมาณ 340-450 เซนติเมตรเป็นชั้นดินธรรมชาติ ไม่พบหลักฐานทางโบราณคดีแต่อย่างใด มีก้อนหินกรวดกระจายตัวต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการทับถมตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นแบบคัดขนาดจากก้อนใหญ่ขึ้นไปหาก้อนเล็ก

ตารางที่ 4.3 อายุตะกอนแต่ละชั้นในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีเพิงผาล้อด (จากชั้นบนลงชั้นล่าง)

เลขตัวอย่าง	อายุตะกอน	ที่มา
TLRS-7 (ชั้นบนสุด)	~12,100 ±60 ปี: ค่าอายุโดยประมาณ จากการเทียบเคียงอายุที่ได้จากชั้นดิน 2b ที่อยู่ติดกัน	ชวลิต ขาวเขียว (2546)
TLTS-6	13,422 ±541 ปี	รัศมี ชูทรงเดช และคณะ (2550)
TLRS-5	24,920 ±200 ปี	รัศมี ชูทรงเดช และคณะ (2550)
TLRS-4	22,190 ±160 ปี	ชวลิต ขาวเขียว (2546)
TL-2	~12,100 ±60 ปี: ค่าอายุโดยประมาณ จากการเทียบเคียงอายุที่ได้จากชั้นดิน 2b ที่อยู่ติดกัน	ชวลิต ขาวเขียว (2546)
TL-3	13,422 ±541 ปี	รัศมี ชูทรงเดช และคณะ (2550)
TL-4	24,920 ±200 ปี	”
TL-5.2	13,599 ±79 ปี	”
TLRS-3	32,380±292 ปี	”
TLRS-2	16,750 ±70 ปี	”
TLRS-1A	16,750 ±70 ปี	”
TLRS-1	~16,750 ±70 ปี: อายุโดยประมาณ จากการเทียบเคียงค่าอายุจากตัวอย่าง TLTS-1A ที่อยู่ชั้นดินติดกัน ซึ่งมีอายุ 16,750 ±70 ปี	”
TL-8 (ชั้นล่างสุด)	~ 16,750 ±70 ปี: อายุโดยประมาณ จากการเทียบเคียงค่าอายุจากตัวอย่าง TLTS-1A ที่อยู่ชั้นดินเดียวกัน ซึ่งมีอายุ 16,750 ±70 ปี	”

4.2.2 ธรณีวิทยาเคมีและระดับการผุพังทางเคมีของตะกอน (Chemical Index of Alterations, CIA)

ตัวอย่างตะกอนรวม 11 ตัวอย่าง ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF) เพื่อหาส่วนประกอบทางเคมีและหาระดับการผุพังทางเคมีของตะกอน (CIA) (Saminpanya *et al.*, 2014) ค่าดังกล่าวสามารถบอกระดับการผุพังทางเคมีอันโดยสามารถนำไปประกอบการวิเคราะห์ตะกอนร่วมกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณแร่ดิน และขนาดอนุภาคของตะกอน โดยผลการวิเคราะห์ทางเคมีแสดงในตารางที่ 4.4 ร่วมกับค่าระดับการผุพังทางเคมีของตะกอน (CIA value)

**ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์ทางเคมีด้วย X-Ray Fluorescence (XRF) ของตัวอย่างตะกอนจากแหล่งโบราณคดี
เพิงผาล้าตลอด และค่าระดับการผุพังทางเคมีของตะกอน (CIA value)**

Major Elements (wt%)	TLRS- 1	TL -8	TLRS-1A	TLRS-2	TLRS-3	TLRS-4	TLRS-5	TL -4	TLRS-6	TL 3	TLRS-7
Al ₂ O ₃	16.241	14.528	15.760	13.303	13.400	12.251	11.913	15.010	10.811	8.940	11.318
Fe ₂ O ₃ (total Fe)	7.501	7.249	7.479	6.875	6.969	7.026	6.805	10.170	5.849	5.085	6.017
K ₂ O	2.617	2.469	2.246	1.778	1.731	1.456	1.509	2.123	1.715	1.609	3.030
MgO	1.012	0.830	0.977	1.082	1.114	1.170	1.162	1.530	1.052	0.849	1.265
MnO	0.552	0.522	0.842	0.731	0.810	0.868	0.874	1.404	0.787	0.678	0.757
Na ₂ O	0.122	0.103	0.122	0.145	0.130	0.144	0.155	0.106	0.119	0.110	0.160
P ₂ O ₅	0.402	0.462	0.870	1.862	2.026	2.749	2.339	3.730	2.575	3.480	2.394
SiO ₂	59.226	58.336	53.606	46.083	45.238	37.716	36.739	31.140	35.922	34.817	41.578
TiO ₂	0.867	0.798	0.863	0.790	0.784	0.738	0.704	1.070	0.669	0.574	0.713
CaO	3.159	4.713	6.287	13.067	13.125	18.020	18.968	32.930	20.763	23.820	16.351
Loss on Ignition (LOI) + SO ₃	8.35	9.130	10.88	14.48	14.78	17.60	18.57	-	19.67	19.970	16.42
SO ₃								0.101			
Total	100.05	99.64	99.93	100.20	100.11	99.74	99.76	99.31	99.93	99.93	100.00
CIA Value	73.359	66.602	64.550	47.019	47.206	38.439	36.605	29.919	32.361	25.929	36.676

4.2.3 ผลการวิเคราะห์แร่ดิน (clay minerals)

แร่ดินหรือแร่ที่มีอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay fraction) เป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากการผุพังทางกายภาพและเคมีของแร่ปฐมภูมิกลายเป็นสารละลายแล้วตกผลึกเป็นแร่ชนิดใหม่อยู่ในชั้นตะกอน เช่น แร่ดิน (clay minerals) การแปลความของแร่ดินในเชิงธรณีวิทยานั้น สามารถวิเคราะห์จากตะกอนแร่ปฐมภูมิ เช่น ไมกากลายเป็นไฮโดรไมกา (Hydrous mica) แร่ทุติยภูมิอีลไลต์ (illite) และแรวอร์มิคูไลต์ (vermiculite or beidelite) เกิดจากการตกผลึกใหม่จากสารละลายที่มาจากแร่ปฐมภูมิ ส่วนแร่สเมกไทต์ (smectite) มักเกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมแบบแห้งแล้งและมีการระบายน้ำต่ำมาก ส่งผลให้อิออนของซิลิกาซึ่งมีประจุบวก มีความเข้มข้นมากขึ้นหรือมีการระบายน้ำต่ำ สำหรับในสภาพแวดล้อมแบบน้ำที่มีการชะล้าง (leaching) ได้ดี จะเป็นปัจจัยของการตกผลึกของแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) ได้ดีด้วย ผลการวิเคราะห์แร่ดินของตะกอนจำนวน 13 ตัวอย่างจากชั้นต่างๆ ของหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาล้าตลอด ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD) แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน (grain size analysis)

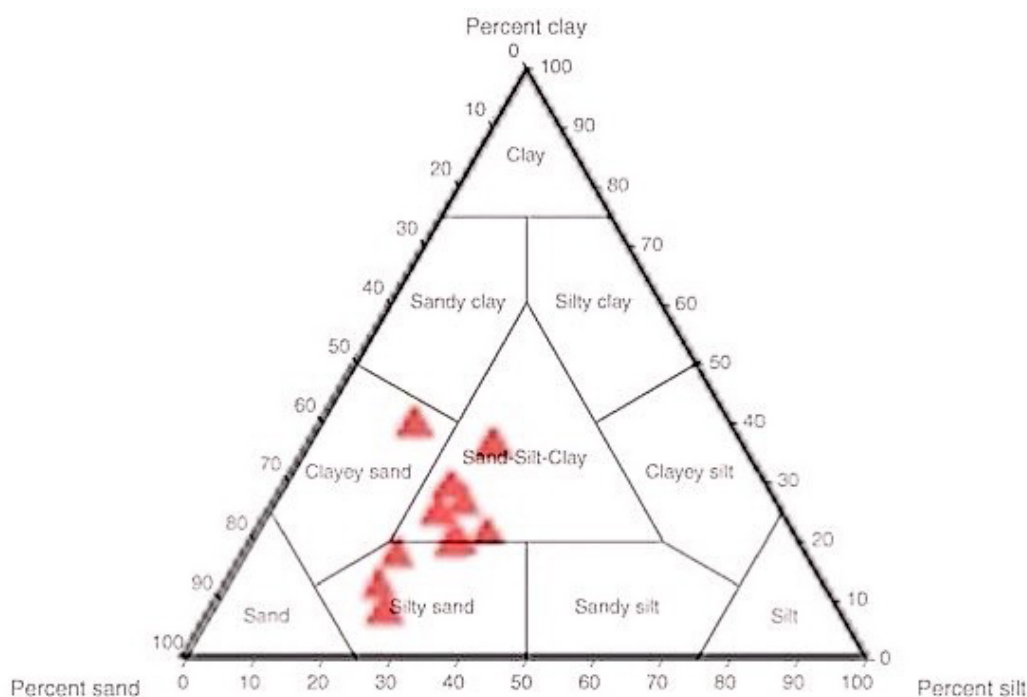
การวิเคราะห์ขนาดตะกอนด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer method) เป็นการตรวจวัดปริมาณตามขนาดของตะกอนที่แบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดทราย ขนาดทรายแป้ง และขนาดดินเหนียว โดยใช้การ

วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (laboratory methods) การวิเคราะห์ใช้หลักการแยกตะกอนในน้ำ และการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละขนาดอนุภาคของแต่ละตัวอย่างตะกอน

อนุภาคตะกอนทรายมีขนาดตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 63 ไมครอนหรือ 50 ไมครอน อนุภาคตะกอนทรายแป้ง มีขนาดตั้งแต่ 63 ไมครอน หรือ 50 ไมครอน ถึง 2 ไมครอน และอนุภาคดินเหนียว มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 2 ไมครอนลงมา แต่มีข้อจำกัดสำหรับขนาดตะกอน เนื่องจากมีความแตกต่างกันในการแบ่งชนิดตะกอนออกตามขนาดตามหลักการของบางประเทศ

ผลการวิเคราะห์หาขนาดตะกอนในแต่ละตัวอย่างนั้น แสดงถึงลักษณะทางกายภาพของตะกอน สามารถบ่งชี้ลักษณะทางปฐพีวิทยา หรือพัฒนาการของดิน ในส่วนการศึกษาธรณีวิทยาในช่วงยุคควอเทอร์นารี (Quaternary geology) ที่มุ่งเน้นตะกอนวิทยาในแหล่งโบราณคดีนั้น การวิเคราะห์ขนาดตะกอนได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตีความลักษณะทางพลศาสตร์ตะกอน ธรรมชาติของตะกอน และสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจัยต่อลักษณะการทับถม (Courtney *et al.*, 1989)

ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในตะกอนแต่ละตัวอย่าง แสดงผลอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของแต่ละขนาดอนุภาคโดยผลนั้นอธิบายรวมในลักษณะของเนื้อดิน (soil texture) ซึ่งผลของการวิเคราะห์เนื้อดินได้ถูกแยกย่อยออกเป็นขนาดอนุภาคแล้วจึงนำไปบันทึกลงในแผนภูมิสามเหลี่ยม (Triangular diagram) ในเปอร์เซ็นต์ต่างๆ จากในแผนภูมิเห็นได้ว่าตัวอย่างปรากฏเป็นจุดสีแดง ซึ่งใช้แทน 1 ตัวอย่าง แสดงอยู่ในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของแผนภูมิสามเหลี่ยมนี้ (แผนภูมิที่ 4.3)



แผนภูมิที่ 4.3 ขนาดอนุภาคตะกอนของตัวอย่างตะกอนจากหลุมขุดค้นทางโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตะกอน sand-silt-clay (ใช้แผนภูมิการจำแนกเนื้อตะกอนของ Shepard, 1954)

ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน สามารถใช้เปรียบเทียบกับปริมาณแร่ดิน ระดับการผุพังทางเคมีของตะกอน ซึ่งใช้ตีความร่วมกันดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบระดับการผุพังของตะกอน ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดยแสดงค่าระดับการผุพังทางเคมีของตะกอน (CIA Value) ขนาดอนุภาคตะกอน (particle Size) และระดับปริมาณของแร่ดินที่พบจากตัวอย่างของชั้นตะกอนส่วนบน (upper zone) และส่วนล่าง (lower zone)

เลขตัวอย่าง	ปริมาณแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite)	ปริมาณแร่อิลไลต์ (Illite)	ค่าระดับการผุพังทางเคมี ของตะกอน (CIA value)	เนื้อตะกอน (Texture)
ส่วนบน				
TLRS – 4	น้อย	น้อย	38.439	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TL - 5.2	น้อย	น้อย	-	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TLRS – 5	น้อย	น้อย	36.605	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TL - 4	น้อย	น้อย	29.919	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TLRS – 6	น้อย	น้อย	32.361	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TL 3	น้อย	-	25.929	ทรายเป็นทรายแป้ง (silty sand)
TLRS – 7	น้อย	น้อย	36.676	ทรายเป็นทรายแป้ง (silty sand)
TL - 2	น้อย	น้อย	-	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
ส่วนล่าง				
TLRS – 1	ปานกลาง	ปานกลาง	73.359	ทรายเป็นทรายแป้ง (silty sand)
TL - 8	ปานกลาง	ปานกลาง	66.602	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TLRS - 1A	ปานกลาง	ปานกลาง	64.55	ทรายเป็นดินเหนียว (clayey sand)
TLRS – 2	ปานกลาง	ปานกลาง	47.019	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)
TLRS – 3	ปานกลาง	ปานกลาง	47.206	ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว (sand-silt-clay)

จากตารางที่ 4.5 สามารถแปลความได้ว่า ชั้นตะกอนระดับล่าง (lower sediment layers) ได้แก่ ชั้นดินตามตัวอย่างที่ TL-8, TLRS-1, TLRS-1A, TLRS-2 และ TLRS-3 เหล่านี้มีการผุพังทางเคมีระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดยตีความจากค่าระดับการผุพังทางเคมี โดยเฉพาะชั้นตะกอนที่อยู่ระดับล่าง (lower zone) มีปริมาณแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) ในระดับปานกลางนับว่าเป็นดัชนีบ่งชี้ว่าการผุพังในพื้นที่ศึกษาสูง เคโอลิไนต์เป็นแร่

ทุติยภูมิ ซึ่งเกิดขึ้นจากขบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบกำเนิด (parent material) เช่น เฟลด์สปาร์ (feldspar) โดยเปลี่ยนสภาพหรือเกิดการผุพังของแร่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นหรือกึ่งร้อนชื้นเป็นหลัก เกิดจากผลของการผุพังทางเคมีที่รุนแรงหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ พื้นที่นั้นอยู่ในเขตภูมิอากาศที่มีปริมาณฝนมาก จนส่งผลต่อปฏิกิริยาทางเคมี เช่น มีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ionic transfer) เกิดขึ้นอย่างชัดเจน (Hong *et al.*, 2013)

ในส่วนของชั้นดินที่อยู่ระดับบน (upper zone) มีผลการวิเคราะห์ค่าระดับการผุพังที่ค่อนข้างต่ำ โดยพิจารณาจากการปริมาณแร่ดินชนิดเคโอลิไนต์ ที่พบในปริมาณน้อย โดยชั้นดินระดับบนนี้ได้แก่ ตัวอย่างที่ TLRS-4, TL 5.2, TLRS-5, TL-4, TLRS-6, TL-3, TLRS-7 และ TL-2 ซึ่งมีระดับการผุพังทางเคมีต่ำกว่าจึงแปลความได้ว่าชั้นดินระดับดังกล่าวนี้มีการทับถมของตะกอนในสภาพภูมิอากาศที่มีปริมาณฝนน้อยกว่าชั้นดินระดับล่าง โดยผลทั้งหมดนี้เมื่อนำมาเทียบกับค่าอายุตะกอนของพื้นที่ศึกษานี้ พบว่าอยู่ในช่วงไพลสโตซีนตอนปลาย (Late Pleistocene)

ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน แร่ดิน และค่าระดับการผุพังทางเคมีได้ถูกนำมาตีความร่วมด้วย โดยผลขนาดอนุภาคตะกอนที่แสดงออกมาของชั้นดินนั้น พบว่าก่อนไปทางอนุภาคขนาดทรายเป็นส่วนใหญ่ ในชั้นดินระดับล่าง สามารถแปลความได้ว่า มีความเป็นไปได้มากกว่าพื้นที่ที่เคยปรากฏทางน้ำที่มีระดับการไหลของน้ำในระดับปานกลางหรืออาจจะค่อนข้างแรงในช่วงไพลสโตซีนตอนปลายระหว่าง 16,000-35,000 ปี ซึ่งการตีความนี้สัมพันธ์กับการตีความจากแร่ดินชนิดเคโอลิไนต์และค่าระดับการผุพังทางเคมีที่บ่งบอกว่าพื้นที่ศึกษาหรือชั้นดินระดับล่าง (lower layers) นั้นเคยทับถมในช่วงสิ่งแวดล้อมในอดีตที่มีภูมิอากาศร้อนชื้น กึ่งร้อนชื้น ส่วนชั้นดินระดับบน ตีความได้ว่าทับถมอยู่ในช่วงภูมิอากาศที่มีฝนตกน้อยกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของชวลิต ขาวเขียว (2546) ที่ได้รายงานว่า ภายในช่วงเวลา 22,350 ปี-12,160 ปีที่ผ่านมา มีการใช้พื้นที่เพื่อกิจกรรมต่างๆ คือ การอยู่อาศัยชั่วคราว แหล่งผลิตเครื่องมือหิน การประกอบอาหาร และการทิ้งขยะ ร่วมกับการพบลักษณะของการทับถมของชั้นกรวด ซึ่งมีการคัดขนาดค่อนข้างดี จัดเป็นลักษณะของทางน้ำเก่าที่ไหลผ่านบริเวณดังกล่าวในอดีตหรืออาจเป็นลักษณะของทางน้ำที่ไหลเข้าโพรงถ้ำในอดีต

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า สิ่งแวดล้อมในอดีตของบริเวณแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอดมีความเป็นไปได้สูงที่ประกอบด้วยภูมิอากาศในอดีตแบบร้อนชื้นมากกว่าในช่วงตั้งแต่ 35,000-16,000 ปีก่อนปัจจุบัน หรือตรงกับช่วงไพลสโตซีนตอนปลาย ส่วนหลังจากประมาณ 16,000 ปีมาถึงปัจจุบัน ภูมิอากาศมีความแห้งแล้งมากขึ้น

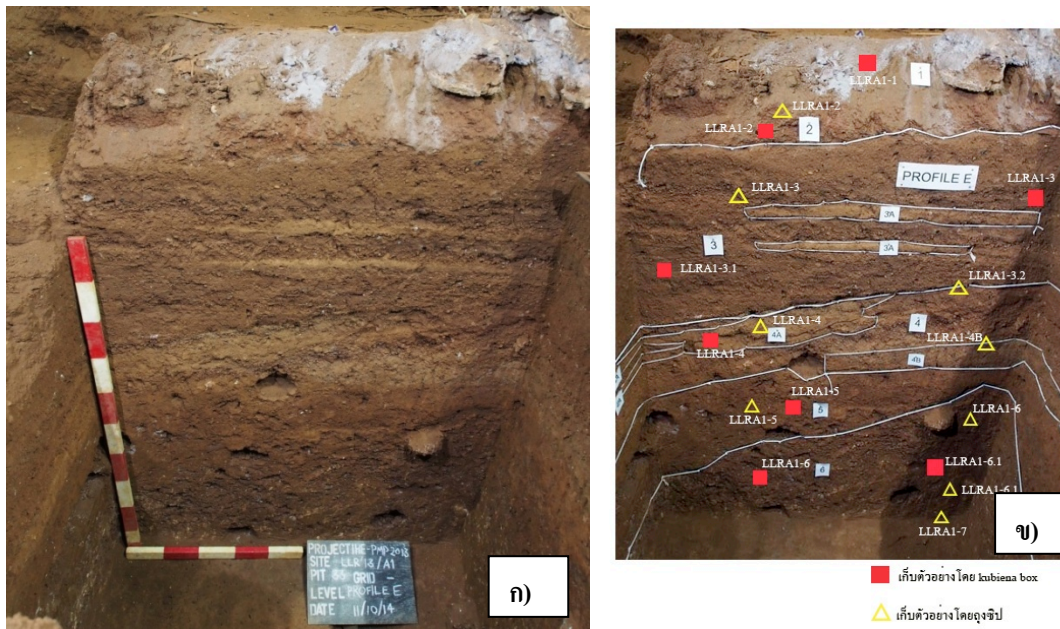
4.3 ตะกอนร่วนและสภาพแวดล้อมของการตกตะกอนในแหล่งโบราณคดี

ถ้ำผีแมนโลงลงรัก

4.3.1 ตะกอนในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก คูหา A1

4.3.1.1 ลักษณะตะกอนจากผนังชั้นดินของคูหา A1

หลุมขุดค้นที่ 33 ในคูหา A1 ของถ้ำผีแมนโลงลงรัก มีขนาด กว้างxยาวxลึก ประมาณ 1x1x1.5 เมตร (รูปที่ 4.7) ตะกอนส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดงเข้ม มีชั้นสีเหลืองแทรกสลับบ้าง พบเศษหินปูนก้อนใหญ่ปนเล็กน้อย มีโพรงที่เกิดจากรังปลวกในช่วงล่างๆ ผลการสังเกตลักษณะตะกอนในภาคสนามสรุปไว้ในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.7 ก) หน้าชั้นดินด้านทิศตะวันออกของหลุมขุดค้นที่ 33 ในคูหา A1 (Scale bar = 50 cm.) และ ข) การแบ่งชั้นตะกอนและตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง (เพื่อเพื่อภาพโดย คณะผู้วิจัยทางโบราณคดีของโครงการวิจัย“การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน”)

ลักษณะตะกอนที่สังเกตได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์สองกระบอกตาแบบสเตอริโอ (Binocular) พบว่า ตะกอนส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดงและลักษณะตะกอนมีทรายปนจำนวนมาก เม็ดทรายมีลักษณะเป็นแบบ Sub-rounded ถึง Sub-angular บ่งบอกว่าเป็นเม็ดทรายที่ถูกพัดพามาจากบริเวณที่ไม่ห่างไกลมาก และบางชั้นของตะกอนเป็นดินเหนียวปนทราย นอกจากนี้ในตะกอนยังพบการสะสมของ ใบไม้ ถ่าน เศษหินปูน และเปลือกหอยด้วย

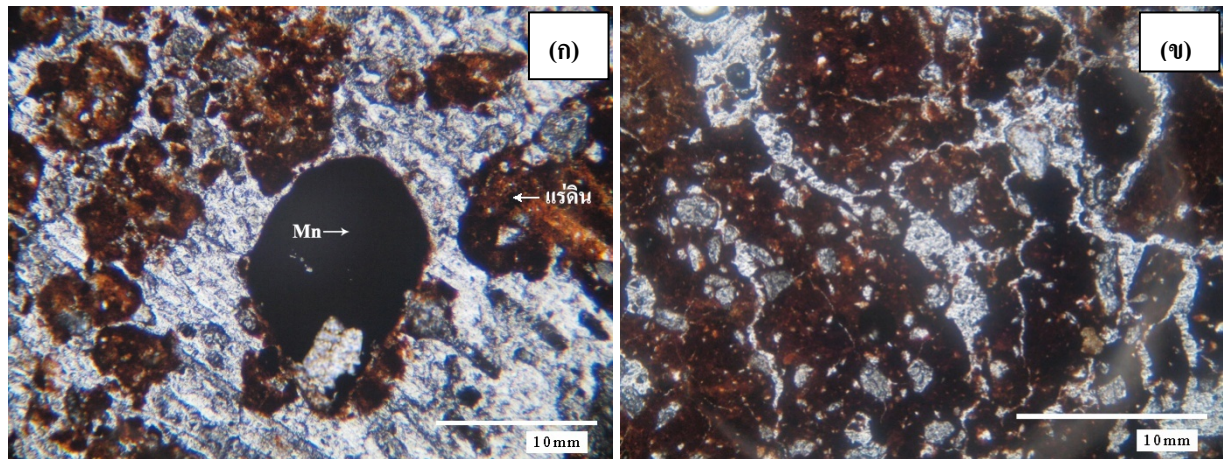
4.3.1.2 ผลการศึกษาแผ่นตะกอนบางของคูหา A1

องค์ประกอบหลักของตะกอนประกอบไปด้วยอนุภาคของแร่ควอตซ์ (เฉลี่ย 35%) และแร่ดิน (เฉลี่ย 50%) และพบช่องว่างแร่แคลไซต์และเศษพืช (เช่น ตัวอย่าง LLRA1-1) ประมาณ 15% บางตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงการสะสมตัวของสารแคลเซียมคาร์บอเนตในลักษณะของ calcrete (ตัวอย่าง LLRA1-2 ถึง -5) เชื่อมประสานอนุภาคของแร่ควอตซ์หลายๆ เม็ดไว้ และยังพบแคลเซียมคาร์บอเนตบรรจุอยู่ในช่องว่างของก้อนตะกอน (calcitic infilling) ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่อนุภาคของแร่ควอตซ์และแร่ดินถูกพัดพาเข้ามาสะสมตัวกันภายในถ้ำแล้ว โดยสารละลายของสารแคลเซียมคาร์บอเนตจากผนังหรือเพดานถ้ำได้ไหลลงไปตกผลึกและจับตัวรวมกับอนุภาคดินและทรายเกิดเป็น calcrete และ calcitic infilling ตะกอนส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบมวลเม็ด (granular structure) บางตัวอย่าง เช่น LLRA1-6 และ LLRA1-6.1 พบมวลสารพอกแมงกานีสและเหล็กออกไซด์แบบก้อนทรงมน (nodule) (ซึ่งเป็นมวลวัตถุหรือแร่ที่จับตัวกันแน่นและแข็งเป็นรูปทรงกลม แต่ที่พบทั่วไปมักเป็นรูปกลมรี รูปกลมแบน หรือรูปร่างไม่แน่นอน เกิดจากการจับตัวกันของสารเหลว หรือการตกผลึกของสารละลายรอบๆ จุดหรืออนุภาค) (รูปที่ 4.8) ลักษณะช่องว่าง (Pore/void) ในเนื้อตะกอนของบางตัวอย่าง เช่น LLRA1-6 แสดงช่องว่างแบบซิกแซกพลาแน (zig-zag planar void) ซึ่งบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมแบบเปียกสลับแห้งที่เกิดจากการหดและขยายตัวของแร่ดินบางชนิด

ตารางที่ 4.6 (แทรกตารางแนวนอน) ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศตะวันออก (East profile) ของหลุม
ชุดคันที่ 33 ในคูหา A1 ของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก

ตารางที่ 4.6 (แทรกตารางแนวนอน)

ตารางที่ 4.6 (แทรกตารางแนวนอน)

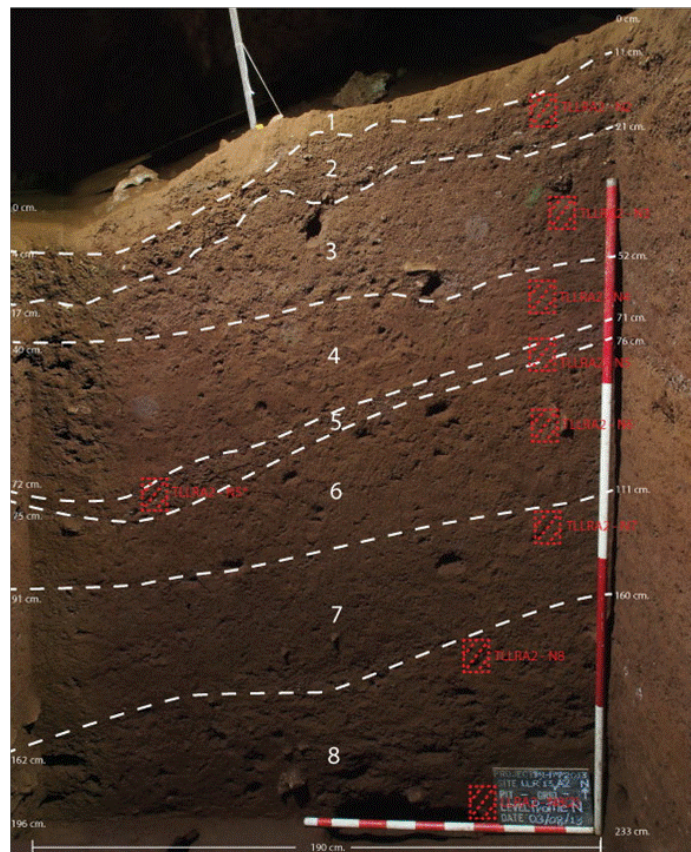


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายแผ่นตะกอนบางจากกล้องจุลทรรศน์ (ก) ตัวอย่าง LLRA1-3.1 (40x, Plane polarization, PPL) แสดง Mn-nodule (สีดำ) และแร่ดินที่เชื่อมประสานเม็ดแร่ควอตซ์เข้าไว้ด้วยกัน (ข) ตัวอย่าง LLRA1-6.1 (40x, PPL) แสดงลักษณะช่องว่างภายในแบบแบบซิกแซกพลาเนนา (zig-zag planar void) (เส้นสีเทา)

4.3.2 ตะกอนในหลุมขุดค้นของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก กูหา A2

4.3.2.1 ลักษณะตะกอนจากผนังชั้นดินของกูหา A2

หลุมขุดค้นในกูหา A2 ของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก มีขนาดกว้างxยาวxลึก ประมาณ 2x2x2 เมตร (รูปที่ 4.9) จากการสังเกตตะกอนในภาคสนามและด้วยกล้องจุลทรรศน์ส่องกระบอกตาแบบสเตอริโอ พบว่าในภาพรวมตะกอนมีสีน้ำตาลปนแดงเข้ม โดยแบ่งออกเป็น 8 ชั้น ชั้นตะกอนล่างมีแนวโน้มที่มีสีเข้มกว่าชั้นที่อยู่ด้านบน ตะกอนส่วนใหญ่ร่วน แต่อนุภาคดินเหนียวมีการจับตัวกันเป็นก้อน (lumps) พบอนุภาคเม็ดทรายของแร่ควอตซ์ ที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม (angular) และมีภาวะทรงกลมต่ำ (low sphericity) พบผลึกแคลไซต์และชิ้นส่วนหินปูนปนอยู่ด้วย นอกจากนี้มีอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ เปลือกหอย เศษไม้ เศษพืช ปนอยู่เกือบทุกชั้น (ตารางที่ 4.7)



รูปที่ 4.9 ผังชั้นดินของหลุมขุดค้นในถ้ำหา A2 ทางด้านทิศเหนือ แสดงการแบ่งชั้นตะกอน 8 ชั้น โดยอาศัยลักษณะความแตกต่างของสีและเนื้อตะกอนที่มองเห็นด้วยตาเปล่าเป็นเกณฑ์ กรอบสี่เหลี่ยมแทนจุดเก็บตัวอย่าง (Vertical scale bar = 0.5 m.; Horizontal scale bar = 10 cm.)

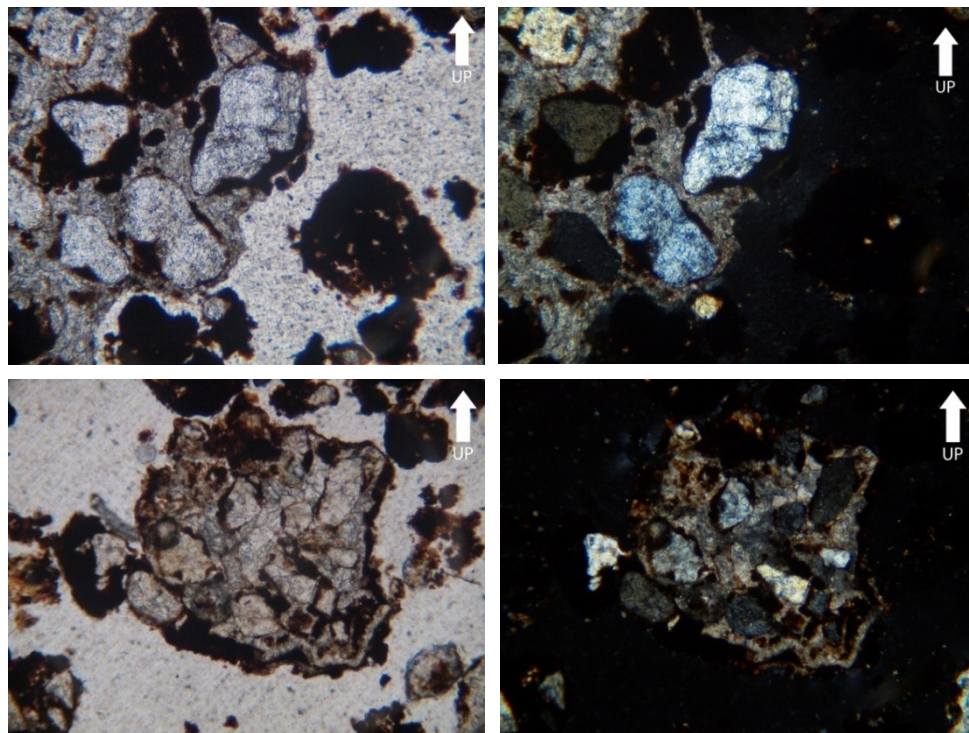
ตารางที่ 4.7 (แทรกตารางแนวนอน) ลักษณะตะกอนถ้ำตามผนังชั้นดินด้านทิศเหนือ (North profile) ของหลุมขุดค้นในถ้ำ A2 ของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก

ตารางที่ 4.7 (แทรกตารางแนวนอน)

4.3.2.2 ผลการศึกษาแผ่นตะกอนบางของอุหา A2

ลักษณะของตะกอนภายใต้แผ่นตะกอนบางส่วนใหญ่ประกอบด้วยเม็ดแร่ควอตซ์และแร่ดิน ลักษณะของเม็ดควอตซ์มีรูปร่างเป็นแบบกึ่งเหลี่ยมมุม(sub-angular) และมีภาวะทรงกลมปานกลางถึงสูง (moderate to high sphericity) พบโครงสร้าง calcrete (ขนาด 2×1.5 และ $1.1 \times 1 \mu\text{m}$) (รูปที่ 4.10) และการเข้าไปบรรจุด้วยแคลไซต์ (calcitic infilling) ในช่องว่างของตะกอน นอกจากนี้ยังพบจุดประที่เป็นพวกเหล็กและแมงกานีสสีเทา-ดำ (Ferruginous and mangiferous mottle, grey – black) ในตะกอนด้วย

สำหรับโครงสร้างจุลภาคทางปฐพีวิทยา พบว่าตะกอนทั้งหมดมีโครงสร้างแบบเศษเล็กเศษน้อย (crumb structure) ซึ่งเป็นลักษณะเกาะกลุ่มกัน (aggregates) ที่มีรูพรุนรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งเกิดภายใต้สภาวะเปียกสลับแห้ง



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายแผ่นตะกอนบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรส์ กำลังขยาย 100x (Look north) แถวบนเป็นตัวอย่าง TLLRA2-N4 แถวล่าง เป็นตัวอย่าง TLLRA2-N6 แสดงแคลกริต โดยสารคาร์บอนेटเชื่อมประสานเม็ดแร่ควอตซ์ไว้เป็นก้อน ภาพบนซ้ายและล่างซ้ายภายใต้แสง Plane polarization (PPL), ภาพบนขวาและล่างขวาภายใต้แสงแบบ Cross polarization (XPL)

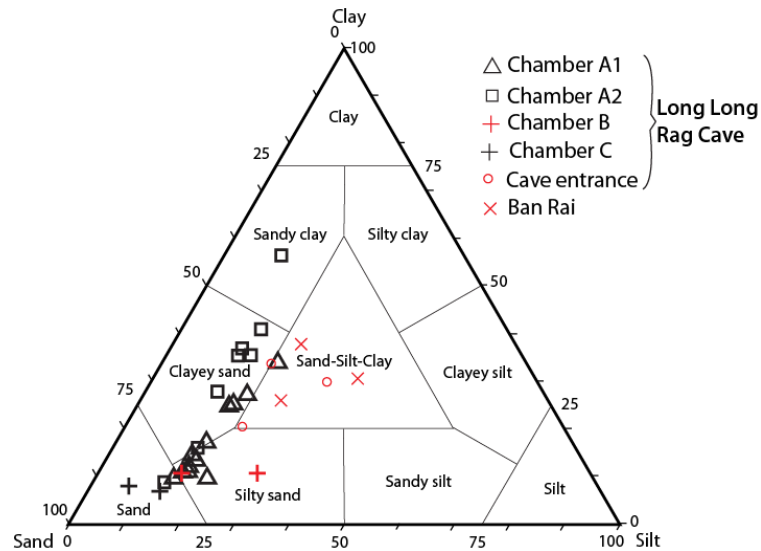
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction, XRD)

เทคนิค XRD ด้วยวิธีการบดตะกอนแบบมวลรวมและแบบแยกขนาดอนุภาคเคลย์ (clay fraction) โดยการบดตะกอนพบตัวอย่างส่วนใหญ่ของตะกอนถ้าผิแมนโลงลงรักมีปริมาณแร่ควอตซ์และเคโอลิไนต์ในระดับปานกลาง (moderate) ส่วนแร่แคลไซต์ เวอร์มิคิวไลต์ และอิลไลต์ มีปริมาณรองลงไปถึงน้อยมาก การแปลความ

จากแร่ที่พบบางชนิด คือ 1) ควอตซ์พบมีอยู่ทั่วไป เนื่องจากมีความทนต่อการผุพัง แห่่งที่มาส่วนใหญ่จะมาจากการผุพังของหินเฟลสิก เช่น แกรนิต ในที่นี้อาจมาจากการสลายตัวของหินปูนที่มีเนื้อทรายปน และ 2) เคโอลิไนต์เป็นแร่ดินที่เปลี่ยนสภาพมาจากการผุพังทางเคมีอย่างรุนแรงของแร่ปฐมภูมิ เช่น เฟลด์สปาร์ ภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีปริมาณฝนมาก (Hong *et al.*, 2013) แร่เหล่านี้มาจากทั้งภายนอกและภายในถ้ำ โดยเฉพาะแร่ควอตซ์และแร่ดินซึ่งเคลื่อนย้ายมาจากภายนอกถ้ำโดยการกระทำของน้ำไหลและน้ำที่ไหลซึมลงตามรอยแตกของผนังและเพดานถ้ำรวมทั้งน้ำที่หยดลงมาจากเพดานถ้ำ เป็นต้น แคลไซต์มาจากการละลายของหินปูนซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของถ้ำเอง แล้วมาตกผลึกในตะกอนภายหลังจากตะกอนพวกเศษหินได้ทับถมกันแล้วโดยกระบวนการก่อตัวใหม่ (diagenesis)

4.3.4 ผลการวิเคราะห์เนื้อตะกอน (texture)

เนื้อตะกอนของถ้ำผีแมนโลงลงรักส่วนใหญ่เป็นทรายปนดินเหนียว (clayey sand) และ ทรายปนทรายแป้ง (silty sand) (แผนภูมิที่ 4.4) ตะกอนในคูหา A2 มีแนวโน้มที่มีปริมาณของอนุภาคเคลย์ (clay) มากกว่าของคูหา A1 เมื่อนำตัวอย่างจากนอกถ้ำ เช่น บนหลังคาถ้ำบริเวณใกล้ทางเข้าถ้ำ (cave entrance) และจากเชิงเขาของของแหล่งโบราณคดีเพิงผาบ้านไร่ (Ban Rai) มาเปรียบเทียบ พบว่ามีความแตกต่างจากเนื้อตะกอนในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักอย่างชัดเจน กล่าวคือเป็นตะกอนที่มีส่วนผสมของอนุภาค ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน



แผนภูมิที่ 4.4 การพลอตส่วนประกอบของอนุภาคทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว ในตัวอย่างตะกอนลงในแผนภูมิการจำแนกเนื้อตะกอนของเชฟพาร์ด (Shepard, 1954) (Ban Rai เป็นตัวอย่างตะกอนจากเชิงเขาของแหล่งโบราณคดีเพิงผาบ้านไร่ ตำบลปางมะผ้า อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน)

4.3.5. อภิปรายผล

จากการสังเกตหลังการนำเอาตะกอนร่วนของหลุมขุดค้นทางโบราณคดีในคูหา A2 ออกจนหมดแล้ว พบว่ามีคราบหินปูนทุติยภูมิที่เรียกว่า ทรราเวอร์ทีน (travertine) เคลือบจับอยู่บนผนังหรือพื้นผิวของหินปูนดั้งเดิม (primary limestone) ของถ้ำ คราบหินปูนที่เกิดขึ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของคาสต์โบราณ ถูกปิดทับด้วยตะกอนร่วนหนาไม่ต่ำกว่า 2.5 เมตร แสดงให้เห็นว่าถ้ำแห่งนี้เป็นที่ได้รับอิทธิพลของการไหลเข้าของตะกอนจากภายนอก โดยมีน้ำเป็นตัวกระทำหลัก หลังจากคราบหินปูนดังกล่าวเกิดขึ้นแล้ว การไหลเข้าของตะกอนในคูหา A2 มีความไม่ต่อเนื่องกันซึ่งสังเกตได้จากตะกอนในชั้นล่าง (ชั้นที่ 8 ของการศึกษานี้) มีเนื้อตะกอนเป็นดินเหนียวมากที่สุดหรือเป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) (แผนภูมิที่ 4.4) ส่วนชั้นดินถัดขึ้นมาเป็นตะกอนที่มีทรายเพิ่มขึ้นหรือเป็นทรายนดินเหนียว (clayey sand) ตะกอนชั้นบนสุด พบว่ามีเนื้อเป็นทรายมากที่สุด

สำหรับตะกอนที่ปากถ้ำมีเนื้อตะกอนเป็นทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว ลักษณะการไหลเข้าของตะกอนส่วนใหญ่มาจากทางปากถ้ำโดยมี น้ำฝนที่ไหลเข้ามาโดยตรงรวมทั้งน้ำฝนที่ซึมและหยดลงมาจากเพดานและผนังถ้ำด้วย แต่ไม่รุนแรงมากในช่วงแรกชั้นตะกอนที่เป็นดินเหนียวแสดงให้เห็นว่าน้ำไหลเข้ามาอย่างช้าๆ และไม่รุนแรง รวมทั้งอาจมีน้ำขังในระยะหนึ่งสังเกตจากจุดประสีเทาในตะกอนชั้นที่ 7 ตะกอนส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดง (Reddish brown) แสดงให้เห็นถึงการระบายอากาศค่อนข้างดี ลักษณะของเม็ดตะกอนที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า (ตารางที่ 4.7) และภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเม็ดแร่ควอตซ์ส่วนใหญ่มีขนาด Sand ($\phi \sim 1/16-2$ มม.) มีความกลมแบบกึ่งกลมถึงกึ่งเหลี่ยมมุม (sub-rounded to sub-angular) และมีภาวะทรงกลมปานกลาง (moderate sphericity) บ่งบอกว่าเม็ดตะกอนผ่านการขัดสีมาไม่มากนัก

จากข้อมูลดังกล่าวเห็นได้ว่าภูมิอากาศบริเวณโดยรอบสัมพันธ์กับตะกอน โดยมีบางช่วงที่ปริมาณน้ำฝนสูงมากเป็นพิเศษทำให้น้ำไหลเข้ามากกว่าปกติ เห็นได้จากร่องรอยของการท่วมขังของน้ำทั้งจากลักษณะของตะกอนและตะกอนของคราบหินปูน แต่โดยรวมแล้วตะกอนในถ้ำมีลักษณะส่วนใหญ่ที่คล้ายกันคือ ได้รับอิทธิพล

ของน้ำพัดพาเอาตะกอนเข้ามาสะสมตามปกติไม่รุนแรง และในบริเวณถ้ำเองก็มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองต่อภูมิอากาศดังกล่าวตลอดเวลา ดังเห็นได้จากการละลายของหินปูน และมีการตกผลึกของหินปูนที่เป็นแร่ทุติยภูมิอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ก่อนที่ตะกอนชั้นบนหนาประมาณ 3 เมตรจะมาทับถม และตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาไปนับตั้งแต่เริ่มการสะสมตัวของแร่ทุติยภูมิดังกล่าว พื้นแผ่นดินบริเวณนี้ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีหลายครั้งเห็นได้จากร่องรอยของแผ่นดินไหวที่พบทั่วไปในถ้ำและมีรอยเลื่อนตัดผ่านบริเวณใกล้เคียงกับถ้ำลอด

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนด้วยเทคนิค XRD ตัวอย่างตะกอนถ้ำของคูหา C มีแร่ควอตซ์และแร่แคลไซต์ มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อธิบายได้ว่าบริเวณคูหา C มีผนังด้านบนของถ้ำเป็นช่องโหว่หรืออยู่ได้ปากถ้ำ ทำให้ตะกอนจากภายนอกตกลงมาหรือไหลเข้ามาสะสมตัวกันได้มากและง่ายกว่าคูหาอื่นที่อยู่ลึกเข้าไป สำหรับตะกอนในคูหา B (ตัวอย่าง LLRB1) นั้นตรวจพบว่ามีแร่ควอตซ์ในปริมาณน้อยมาก และเนื้อตะกอนเกือบจะไม่มีอนุภาคดินเหนียวอยู่เลย ทั้งนี้เนื่องจากคูหา B อยู่ลึก ทำให้ตะกอนจากภายนอกเข้ามาได้ยาก แต่พบอินทรีวิตอยู่ในปริมาณมาก สำหรับออกไซด์ของเหล็กที่พบในตะกอนเกือบทุกตัวอย่าง บ่งชี้ถึงสภาพการถ่ายเทอากาศที่ดีของตะกอนถ้ำ และเป็นตัวที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลแดงในตะกอนอีกด้วย

การเปรียบเทียบตะกอนระหว่างคูหา A1 และ A2 พบว่า

1. คูหา A2 ไม่แสดงลักษณะที่มีน้ำขังนาน มีแต่เพียงความชื้นที่หล่อเลี้ยงตะกอนเท่านั้น มีบางชั้นแห้งหรือมีความชื้นต่ำ สังเกตจากแคลไซต์ที่ตกผลึกปนอยู่ในตะกอน เหตุผลสนับสนุนประการหนึ่งคือ ระดับพื้นคูหา A2 อยู่สูงกว่าของคูหา A1

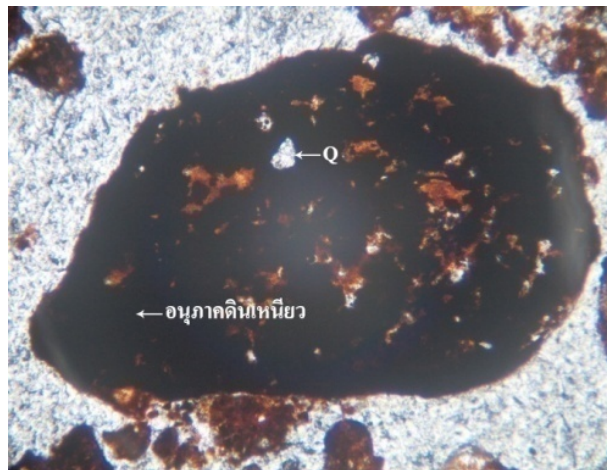
2. คูหา A1 มีบางช่วงที่แสดงลักษณะของน้ำขังนานกว่า โดยเฉพาะที่ระดับความลึกประมาณ 70-80 เซนติเมตรจากผิวดิน เนื่องจากพบตะกอนขนาดเล็กและเม็ดก้อนกลม (nodules) สีดำของเหล็ก/แมงกานีสออกไซด์

3. ลักษณะตะกอนของคูหาทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแง่ของการทับถม กล่าวคือในคูหา A1 การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการตกตะกอนมีรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง (unconformity) ปรากฏที่ระดับลึก 66 เซนติเมตร พบชั้นตะกอนเปลี่ยนจากการวางตัวเอียงไปทางทิศเหนือมาเป็นการวางตัวในแนวราบขนานกับพื้นโลกและต่อเนื่องขึ้นมาจนถึงผิวนสุด รวมทั้งพบชิ้นส่วนซากสิ่งมีชีวิตปะปนอยู่ในช่วงนี้

4. ตะกอนในคูหา A2 แสดงการตกทับถมเป็นชั้นๆ เอียงตัวไปทางทิศตะวันตกและสอดคล้องกัน (conformed) กันทุกชั้น และความหนาของแต่ละชั้นไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งน่าจะได้รับอิทธิพลจากการไหลเข้ามาของน้ำจากปากถ้ำโดยตรงมากกว่า โดยที่กระแสน้ำไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง แตกต่างจากในคูหา A1 ที่ตะกอนเกิดจากการไหลพัดพา มาเนื่องจากมีน้ำฝนที่ตกลงมาตามฤดูกาลแล้วไหลเข้ามาในถ้ำในช่วงแรก (ที่ระดับของตะกอนลึกกว่า 66 เซนติเมตรลงไป) ต่อมากระแสน้ำนิ่งแทบไม่มีการไหล หรือเทียบได้กับการมีน้ำขังและแห้งสลับกันในช่วงความลึกที่น้อยกว่าระดับ 66 เซนติเมตรขึ้นมา เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลมาจากปากถ้ำโดยตรงลดน้อยลง ตะกอนจากปากถ้ำส่วนใหญ่ถูกคักจับโดยคูหา A2 และมีน้อยมากที่ไหลมายัง A1 เพราะคูหา A1 ตั้งอยู่ห่างจากปากถ้ำมากกว่า ดังนั้นจึงได้รับอิทธิพลของน้ำไหลจากปากถ้ำน้อยกว่าคูหา A2 ทั้งนี้อาจเกิดจากภูมิอากาศเปลี่ยนไปในทางที่มีปริมาณฝนน้อยลง หรือเป็นจุดเปลี่ยนที่เกิดภาวะแห้งแล้งกว่าเดิม จึงคาดว่า การเข้ามาใช้พื้นที่ในคูหา A1 ของสิ่งมีชีวิต เริ่มต้นขึ้นในช่วงเวลาที่เริ่มมีการตกตะกอนในระดับประมาณ 66 เซนติเมตรจากผิวดิน เพราะปราศจากน้ำไหลหรือหากมีภาวะน้ำขัง อาจเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นๆ สลับกับช่วงเวลาที่แห้งซึ่งน่าจะ

ยาวนานกว่า เพราะสังเกตชั้นตะกอนในช่วงหลังนี้เป็นชั้นที่บาง จึงเป็นโอกาสที่ดีต่อการเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่คูหานี้

การสะสมของตะกอนในคูหา A1 โดยเฉพาะที่ระดับลึกกว่า 66 เซนติเมตรจากผิวดิน ได้รับอิทธิพลของน้ำพัดพาเป็นหลัก โดยเกิดจากการที่น้ำไหลเข้ามา และมีทิศทางการไหลของน้ำไปทางทิศเหนือ ซึ่งสังเกตได้จากการเอียงตัวของชั้นตะกอนไปทางทิศดังกล่าว น้ำได้พัดพาเอาอนุภาคขนาดต่างๆ เข้ามา ตั้งแต่เม็ดทรายที่เป็นแร่ควอตซ์ ทรายแป้ง และดินเหนียว (ตัวอย่าง LLRA1-6, LLRA1-6.1 และ LLRA1-7) ตะกอนเหล่านี้มีสีสีแดงหรือสีน้ำตาลเข้ม บางส่วนสีออกเหลือง (รูปที่ 4.7) ตะกอนในชั้นนี้เป็นดินเหนียวค่อนข้างแน่น แต่พบ calcrete ในช่องว่างเล็กๆ บ้าง พบกรวดแร่ควอตซ์ (Very well round, $\varnothing \sim 1$ cm.) ซึ่งบ่งชี้ว่ากระแสน้ำไหลเข้ามาค่อนข้างแรง นอกจากนั้น เมื่อมองแผ่นตะกอนบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์พบอนุภาคดินเหนียวเป็นก้อนเกือบกลม และมีเม็ดควอตซ์ขนาดเล็กเป็นอินคลูชัน (Inclusion) (รูปที่ 4.11) ซึ่งแปลความได้ว่า ดินเหนียวกลิ้งมาโดยการพัดพาของกระแสน้ำแล้วกดทับให้เม็ดควอตซ์ติดเข้าไปด้วย หรือเม็ดควอตซ์ถูกเคลื่อนย้ายไปยังแหล่งก่อนแล้วจึงทำการเกาะกลุ่มกับดินเหนียวสีแดง (Alberts *et al.*, 1980) ที่ไหลมาจากผิวดินเหนือถ้ำ กระบวนการหลังนี้ได้ถูกกล่าวไว้ในการศึกษาหลายๆ เรื่อง ได้แก่ บริงค์แมนและรีเดอร์ (Brinkmann and Reeder, 1995) แฟรงก์ (Frank, 1968) และแมคคอนเนลและแมกกี (McConnell and Magee, 1993)



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายแผ่นตะกอนบางของคูหา A1 ตัวอย่าง LLRA1-6.1 จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40X PPL แสดงก้อนทรงมนที่มีส่วนประกอบเป็นแร่ดินที่มีเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ปน (สีน้ำตาลเข้ม) โดยมีแร่ควอตซ์ (Q) เป็นอินคลูชัน

นอกจากนั้นตะกอนในชั้นนี้ยังมีเม็ดก้อนทรงมนที่มีเปลือกแข็งสีดำของแมงกานีสและเหล็กออกไซด์ปนอยู่ด้วย ซึ่งบ่งชี้ว่าตะกอนอยู่ในสภาวะออกซิเดชันของ Mn^{2+} และ Mn^{4+} ในน้ำของถ้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ใช้เป็นตัวกลาง (Tebo *et al.*, 1997; Northup and Lavoie, 2001) เทียบได้กับในถ้ำดากิ่ง (Dadong) ประเทศจีนซึ่งพบว่าเปลือกแข็งดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่อยู่ระหว่างยุคน้ำแข็ง (Interglacial stages) หรือเป็นช่วงเวลาดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่อยู่ระหว่างยุคน้ำแข็งสองยุคซึ่งมีอากาศอบอุ่นกว่า (Karkanas *et al.*, 2008) ตรงกับช่วงเปลี่ยนผ่านหรือสิ้นสุดยุคน้ำแข็งของยังเกอร์ดรายแอส (Younger Dryas) พอดี (ประมาณ 12,000 ปีมาแล้ว) และถือ

เป็นช่วงเปลี่ยนไปเป็นสมัยโฮโลซีน ซึ่งมีภูมิอากาศอุ่นขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดมีความชื้นสูงและมีฝนมากขึ้น การเคลือบหรือการเปื้อนด้วยเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ในตะกอนถ้ำนั้น บ่งชี้ว่าเป็นการเกิดภายใต้สภาวะเปียกชื้น (เช่น Knapp *et al.*, 2004; Karkanis *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามในช่วงเวลานี้ในตะกอนยังพบชิ้นส่วนหินปูนที่มีขนาดก้อนหินมนเล็ก (cobbles) เนื่องจากเหตุการณ์การทรุดตัวหรือการแตกหลุดออกมาของผนังถ้ำ

ตั้งแต่ช่วงเวลาที่ตะกอนยังคงไหลผ่านเข้ามาในคูหา A1 อย่างต่อเนื่อง โดยไหลไปทางทิศเหนือ สอดคล้องกับทิศทางการไหลของตะกอนในช่วงอายุก่อนหน้านี้ แต่ลักษณะของตะกอนเริ่มเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะจากการสังเกตสีของตะกอนจางลงเล็กน้อยโดยดูจากรูปผนังชั้นดิน (รูปที่ 4.7) หรือสังเกตจากตัวอย่าง LLRA1-5 มีสีน้ำตาลปนแดงเข้มกว่า LLR1-4 หรือ LLR1-4B เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าในช่วงนี้ยังมีน้ำไหลเข้ามาในถ้ำ แต่ปริมาณน้ำน้อยลงกว่าช่วงก่อน จะเห็นว่าในชั้นตะกอนที่มีสีเข้มกว่าหรือส่วนล่างๆ อาจมีน้ำขังนานกว่าชั้นที่อยู่เหนือขึ้นไป และพบก้อนทรงมนของแมงกานีสและเหล็กเกิดอยู่หนาแน่นกว่าชั้นบนของช่วงอายุนี้ นอกจากนั้นยังพบกลุ่มผลึกแคลไซต์ขนาดเล็กๆ (Polycrystalline calcite, 0.5x6.5 cm.) ในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอน ซึ่งเกิดภายหลังจากการตกทับถมของตะกอนแล้ว ส่วนตอนเหนือขึ้นไปเป็นชั้นที่เก็บตัวอย่าง LLR1-4 และ LLR1-4B พบว่าตะกอนมีสีจางลงเป็นสีน้ำตาลปนเหลือง ภูมิอากาศในช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่เริ่มมีน้ำไหลเข้ามาในคูหาบ่อยลง แสดงให้เห็นว่าอาจได้รับอิทธิพลของฝนน้อยกว่าช่วงก่อนแต่ยังพบก้อนทรงมนกระจายอยู่ตลอดทั้งชั้น รวมทั้งเม็ดของแคลกริต (calcrete) ภูมิอากาศในช่วงนี้อยู่ในช่วงร้อนชื้นแบบเต็มรูปแบบ แต่ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาเริ่มน้อยลงเนื่องจากทางน้ำอาจเริ่มเปลี่ยนทิศทางหรือมีการแบ่งปริมาณน้ำไปยังทางผ่านอื่นๆ ด้วย การพบการวางชั้นเฉียงระดับ (cross bedding) ขนาดเล็กๆ ที่เอียงตัวไปทางทิศเหนือ ในชั้นของตะกอน LLRA1-4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่ามีกระแสน้ำไหลไปทางทิศเหนืออยู่

ตั้งแต่ช่วงเวลาที่มีการตกทับถมของตะกอนเหนือระดับความลึก 66 เซนติเมตรขึ้นมาถึงที่ความลึกประมาณ 10 เซนติเมตรจากผิวดิน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงชุดลักษณะ (facies) ของตะกอนในคูหา A1 กล่าวคือ ในช่วงก่อนที่จะมีการทับถมของตะกอนในชั้นนี้ ได้มีชั้นหนาประมาณ 2-2.5 ซม. ซึ่งเต็มไปด้วยก้อนทรงมนของแมงกานีสออกไซด์ (Mn-nodules, $\varnothing \sim 0.2 \times 0.3$ ซม.) คั่นอยู่ แสดงให้เห็นว่ามีน้ำขังอยู่ค่อนข้างนาน และเป็นช่วงที่มีอากาศอบอุ่นกว่าช่วงอื่นๆ (Karkanis *et al.*, 2008) ช่วงอายุนี้มีการทับถมของตะกอนที่ต่างออกไปคือ แสดงชั้นขนานกับผิวโลก และมีชั้นบางๆ (หนาประมาณ 3-4 เซนติเมตร) ของตะกอนเคลย์สีเหลืองแห้งและย่อยแตกสลาย (แทนด้วย 3A และ 3B ในรูปที่ 4.7) ลักษณะของชั้นตะกอนเกิดจากการทับถมกันในน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำหรือเป็นน้ำนิ่ง (slack water) ความหนาของชั้นตะกอนในช่วงเวลานี้ประมาณ 30 เซนติเมตร ซึ่งใช้เวลาที่ทับถมกันช้า โดยอาศัยตัวกระทำซึ่งเป็นน้ำขังแล้วยังได้รับอิทธิพลจากการตกตะกอนแบบ airfall ด้วย น้ำที่ขังในคูหาไม่ลึกเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ สลับกับแห้งหรือที่เรียกว่าเปียกสลับแห้ง ลักษณะของน้ำเป็นน้ำที่ค่อยซึมมาอย่างช้าๆ จากปากถ้ำ ผนังและเพดานถ้ำมากกว่าการไหลบ่าเข้ามาโดยตรง การที่พบว่าตะกอนมีลักษณะเปียกในบางช่วงเนื่องจากมีก้อนทรงมนของแมงกานีสออกไซด์ปนอยู่บ้าง

ชุดลักษณะของน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำหรือชุดลักษณะของน้ำขัง (slack water facies) มีลักษณะเป็นชั้นบางหลายๆ ชั้น (White, 2007) และในที่นี้พบชั้นบางที่วางตัวในแนวราบ (horizontal thin laminae) ($\sim 0.1-1$ cm. thick for each) ในชั้นตะกอนที่ 3 (ตัวอย่าง LLRA1-3.1) ชั้นที่ประกอบด้วยตะกอนละเอียดขนาดทรายแป้งและดินเหนียวมักก่อตัวเป็นชั้นสุดท้ายที่อยู่บนสุดของการทับถมของตะกอนเศษหิน ชุดลักษณะนี้มักพบในทางเชื่อมหรือทางผ่าน (passage) ปลายที่อุดตัน กะเปาะ และซอกอื่นๆ ในถ้ำที่ไม่น่าจะมีทางน้ำไหลเข้าไปถึงได้ ชุดลักษณะของน้ำที่ไม่มีกระแสน้ำมีลักษณะการทับถมจากตะกอนแขวนลอยที่ตกจมออกมาจากทางเชื่อมหรือทางผ่านที่ถูกน้ำ

ท่วม การที่ระดับน้ำท่วมสูงขึ้นและเข้าท่วมช่องว่างต่างๆ ทั้งหมดแล้วจึงเข้าไปยังอยู่เป็นแอ่ง ซึ่งในที่นี้คือคูหา A1 เปรียบเสมือนเป็นปลายคูหาอุดตันและมีน้ำขังตั้งแต่ช่วงชั้นที่อยู่เหนือระดับ 66 เซนติเมตรขึ้นมา ในช่วงเวลาระยะหนึ่งจนกระทั่งน้ำท่วมนั้นได้ซึมหายไประยะหนึ่งแล้ว เมื่อคูหา A1 ถูกบรรจุไปด้วยน้ำจนเต็มแล้ว ในระหว่างช่วงเวลานั้น สิ่งที่จะวนลอยอยู่จึงมีเวลาที่จะตกจมลงและสะสมเป็นชั้นตะกอน

ลักษณะดังกล่าวแสดงถึงช่วงภูมิอากาศภายนอกถ้ำอาจได้รับอิทธิพลของอากาศที่มีฝนไม่มากนักเมื่อเทียบกับชั้นตะกอนต่างๆ ของผนังชั้นดิน ช่วงนี้อิทธิพลของน้ำฝนจึงไม่เด่นชัดนักในคูหา A1 แตกต่างจากตะกอนในคูหา A2 ที่พบว่าลักษณะตะกอนมีชุดลักษณะคล้ายกับช่วงของตะกอนที่อยู่ในระดับความลึกมากกว่า 66 เซนติเมตรของหลุมขุดค้นในคูหา A1 อาจอธิบายได้ว่า ตะกอนของคูหา A1 เป็นคนละชุดกันกับคูหา A2 โดยเฉพาะที่ระดับความลึกน้อยกว่า 66 เซนติเมตร A1 แตกต่างจากของ A2 มาก แสดงให้เห็นว่าการตกทับถมของตะกอนในถ้ำเดียวกัน ก็มีความแตกต่างในเฉพาะพื้นที่ที่อยู่คนละแห่ง ขึ้นอยู่กับลักษณะศาสตร์หรือรูปลักษณะของถ้ำ

ตะกอนในคูหา A2 ได้รับอิทธิพลของการไหลเข้ามาของตะกอนจากภายนอกถ้ำโดยการกระทำของน้ำไหลเป็นหลัก ในระดับที่อยู่ลึกจากชั้นผิวดินประมาณ 15-20 เซนติเมตร มีอัตราการตกตะกอนน้อยมาก ซึ่งเท่ากับว่าการไหลของตะกอนเข้ามามีน้อย อีกประการหนึ่งคูหา A2 อยู่ใกล้ปากถ้ำมากกว่าคูหา A1 เปรียบเสมือนเป็นที่ดักตะกอนจากภายนอกก่อนที่จะเข้าไปยังคูหา A1 ด้วย อีกทั้งคูหา A2 มีขนาดเล็กและแคบกว่าคูหา A1 มาก รวมทั้งการทับถมของตะกอนก็แสดงชั้นทับถมที่เอียงไปทางทิศตะวันตก และยังมีทางเชื่อมต่อไปยังทางเข้าของคูหา A1 ด้วย ดังนั้นโอกาสที่จะมีน้ำขังหรือได้รับตะกอนจากน้ำขังและการหลุดตกของเศษตะกอนจากทางอากาศจึงแทบจะไม่มีเลย ทำให้อัตราการทับถมของตะกอนในช่วงชั้นบนสุดจึงมีน้อยมาก

ช่วงเวลาของสภาพอากาศที่มีน้ำเข้ามาในถ้ำน้อยกว่าหรือมีปริมาณฝนอาจจะน้อยกว่า สังเกตได้จากตะกอนของคูหา A1 ที่เปลี่ยนจากชั้นกว่ามาเป็นแห้งกว่าที่ระดับความลึก 66 เซนติเมตร เนื่องจากตั้งแต่ระดับที่สูงกว่านี้ขึ้นมาเป็นการตกตะกอนในน้ำนิ่งเป็นหลัก และตะกอนสะสมกันเป็นชั้นบาง บางชั้นแสดงลักษณะตะกอนที่เกิดจากน้ำขังและตะกอนจากการหยดลงจากเพดานถ้ำ หรือได้รับตะกอนที่เป็นอนุภาคที่ตกจากการแขวนลอยอยู่ในอากาศเท่านั้น เช่น ชั้น 3A ในคูหา A1 ทำให้พิจารณาได้อีกแง่หนึ่งคือ ในช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนผ่านของสภาพแวดล้อมจากการไหลท่วมของน้ำตามทางน้ำในถ้ำมาเป็นการเกิดน้ำขังและค่อนข้างนิ่ง เนื่องจากพื้นแผ่นดินมีการขุดตัวในช่วงนี้จึงทำให้ระบบน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงและมีน้ำไหลเข้ามาน้อยลง อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมแล้วหลักฐานทางธรณีวิทยาของตะกอนบ่งบอกว่าภูมิอากาศโบราณในขณะที่ตะกอนตกทับถมกันทั้งผนังชั้นดินของบริเวณปางมะผ้ายังเป็นแบบร้อนชื้น เพราะมีแร่เคโอลินในตะกอนจำนวนมาก เนื่องจากภูมิอากาศในเขตร้อนชื้นทำให้เกิดการผุพังอยู่กับที่ (weathering) อย่างรุนแรงและให้ผลผลิตเป็นแร่ชนิดนี้

จากการศึกษาของอักษิณัฐ ชะบางบอน และบาร์บารา ไวล์ฟาร์ท (Chabangborn and Wohlfarth, 2014) พบว่าพื้นที่ภาคพื้นทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งอยู่ระหว่างเขตร้อนสู่เขตอบอุ่นมีลักษณะภูมิอากาศเขตร้อนชื้น ได้รับอิทธิพลทางภูมิอากาศจากทั้งสองเขตและเป็นแห่งเดียวที่เข้าสู่ช่วงมรสุมก่อนพื้นที่อื่น โดยช่วง 15,000-5,000 ปีมาแล้ว ภาคพื้นทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยทั่วไปมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีไม่ต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนรายปีไม่ต่ำกว่า 1,100 มิลลิเมตร ส่วนมรสุมฤดูร้อนได้ทวีความรุนแรงขึ้นในช่วงประมาณ 10,000-7,000 ปี มาแล้ว และค่อยๆ อ่อนกำลังลงหลัง 7,000 ปี และหลัง 2,000 ปีที่ผ่านมา พบว่ามรสุมฤดูร้อนมีกำลังแรงขึ้นสลับกับอ่อนลงในหลายช่วง อย่างไรก็ตามในภาพรวม พบว่าช่วง 15,000-10,000 ปี ลักษณะทั่วไปของภูมิอากาศบนภาคพื้นทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นแบบหนาวเย็นสลับกับชื้น (cool/wet climatic

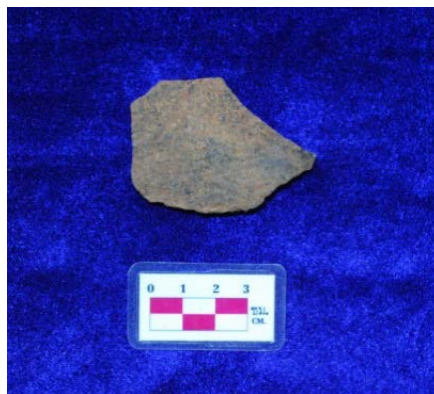
conditions) ส่วนช่วงตั้งแต่ 7,000 ปีมาแล้ว ภูมิอากาศเป็นแบบอบอุ่นขึ้นสลับแห้งกว่า (warmer/drier conditions) ในระดับกลาง

4.4 ผลการศึกษาโบราณวัตถุ ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา และลูกปัดแก้ว

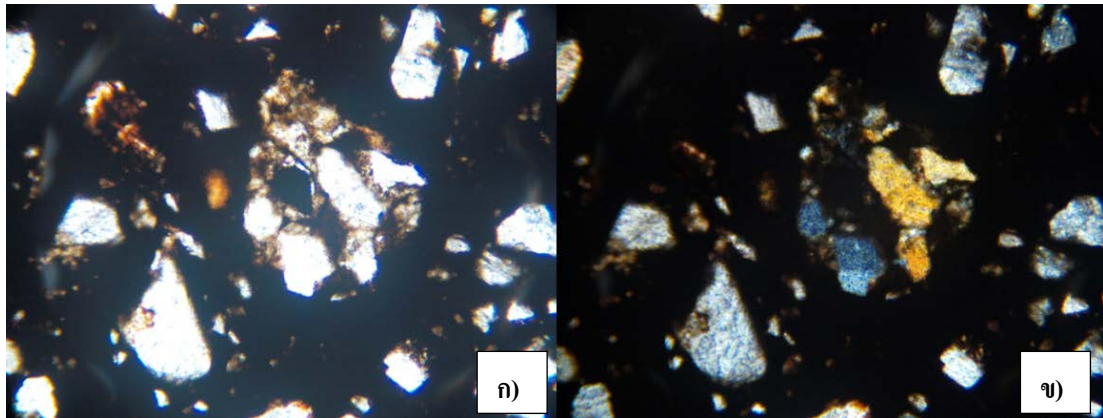
4.4.1 องค์ประกอบทางจุลสัณฐานของเนื้อภาชนะดินเผา

สมถวิล สุขเลี้ยง (2559) ได้วิเคราะห์ข้อมูลของภาชนะดินเผา รวมทั้งภาชนะไม้ที่พบในแหล่งโบราณคดี ถ้ำผีแมน-โลงลงรัก ในเรื่องขนาด รูปแบบ รูปทรง และการตกแต่ง ไว้อย่างละเอียด ซึ่งลักษณะภาชนะดินเผาเป็นหม้อก้นกลมและขาปากโค้งออก และตกแต่งด้วยลายเชือกทาบและรมควัน ส่วนใหญ่เป็นภาชนะที่ผ่านการใช้งานแล้ว สำหรับภาชนะไม้มีลักษณะเป็นทรงกลม ถ้วย และรูปพานคล้ายเครื่องเงิน ขณะที่ ชื้อ ฮาว หลิว (Haw, 2016) ได้ศึกษาตัวอย่างภาชนะดินเผาจากถ้ำผีแมน-โลงลงรักในแง่ของเนื้อดิน ส่วนผสมของเนื้อดิน โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าและการใช้เลนส์กำลังขยาย 10 เท่า และให้ข้อสรุปถึงกระบวนการผลิตในระดับเบื้องต้น

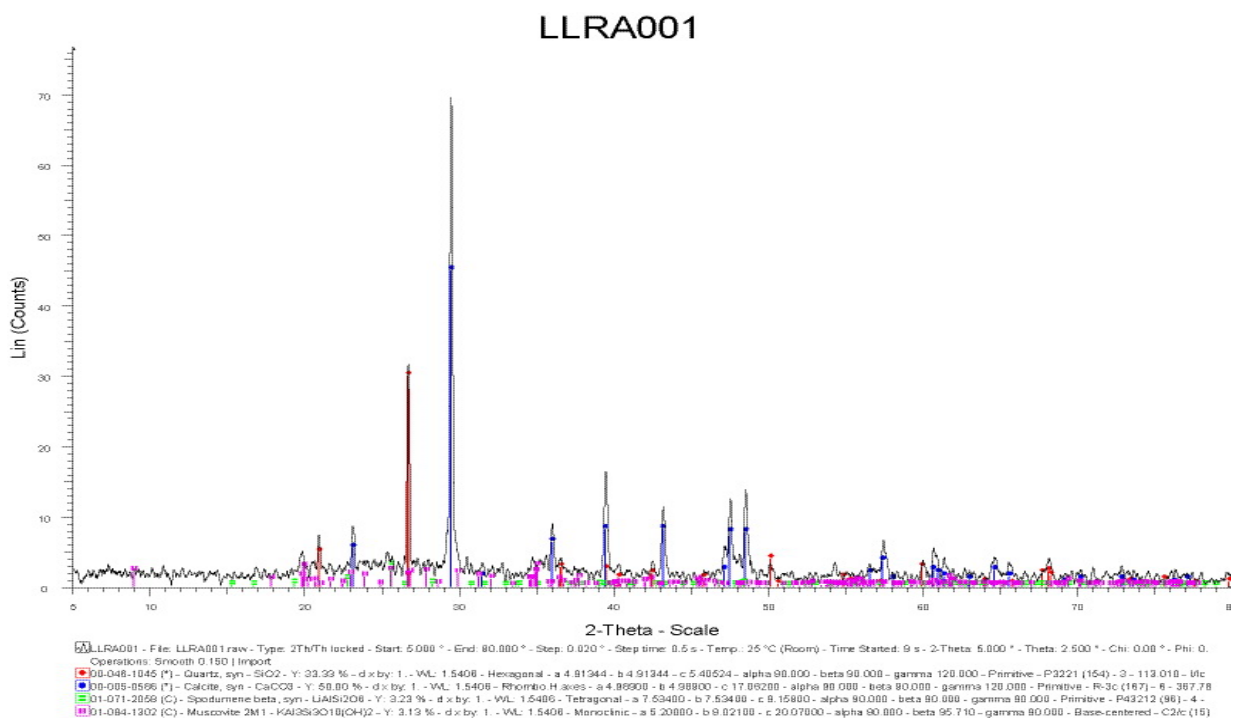
สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ภาชนะดินเผาตัวอย่างส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง (รูปที่ 4.12) ขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กออกไซด์ที่มีอยู่ในเนื้อ เช่น ในตัวอย่าง LLRC2 และ LLRC4 มีปริมาณของเหล็กออกไซด์ค่อนข้างสูง จากการวิเคราะห์แผ่นบางของภาชนะดินเผา พบว่าประกอบไปด้วยแร่ควอตซ์ที่สังเกตได้อย่างชัดเจน พบว่าเม็ดตะกอนมีการคัดขนาดไม่ดี เม็ดแร่มีเหลี่ยมมุมมาก (รูปที่ 4.13) นอกจากนั้นยังพบเศษพืชปะปนอยู่ในบางตัวอย่าง องค์ประกอบภายในเนื้อภาชนะดินเผาจากถ้ำผีแมน-โลงลงรักได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD พบว่ามีแร่ที่เป็นส่วนประกอบหลักคือ แร่ควอตซ์ แร่รองคือ แคลไซต์ เลอโอลิไนต์ ไมโครไคลน สปอดูมิน และมัสโคไวต์ (แผนภูมิที่ 4.5) แร่เหล่านี้เป็นแร่ที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำหรือสามารถทนอยู่ได้ที่อุณหภูมิไม่เกินประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส เพราะหากอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้แร่เลอโอลิไนต์เปลี่ยนเป็นแร่มุลไลต์ (mullite) (Brindley and Nakahira, 1957) แต่ในตัวอย่างไม่พบแร่ชนิดหลังนี้เลย



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างชิ้นส่วนภาชนะดินเผา LLRA1 พบในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน-โลงลงรัก อุหา A1 แสดงเทคนิคการขึ้นรูปแบบเป็นหม้อ ลักษณะการตกแต่งพบว่ามีการตกแต่งด้วยลายเชือกทาบขนาดกลาง ลักษณะเนื้อดินหยาบปานกลาง ขนาด 4x6x0.6 ซม. น้ำหนัก 23.5 กรัม สีผิวด้านนอกเป็น 2.5YR 3/1 (Very dark gray) สีภายในเนื้อเป็น 7.5YR 5/4 (Brown)



รูปที่ 4.13 แผ่นบางของภาชนะดินเผาตัวอย่าง LLRA1 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์แสดงเม็ดแร่ควอตซ์ (quartz) ที่มองเห็นได้ชัดเจน ก) PPL (Plane Polarize Light), 100X ข) XPL (Cross Polarize Light)



แผนภูมิที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างภาชนะดินเผา LLRA1 ด้วยวิธี XRD

จากลักษณะทางกายภาพพบว่าภาชนะที่นำมาศึกษานี้มีการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน เนื่องจากผิวของภาชนะเรียบ แต่ถ้ามีการขึ้นรูปด้วยมือนั้นผิวจะไม่เรียบ เพราะจะมีรอยกดของนิ้วมือ ผิวด้านในจะมีเส้นเล็กๆ ขนานกันเป็นแนวอย่างสม่ำเสมอ (พัชริ สาริกบุตร, 2523: 106) ภาชนะดินเผาตัวอย่างจัดเป็นประเภทเนื้อดิน เพราะมีความพรุนตั้งแต่ 19.60-24.2% ซึ่งภาชนะดินเผาประเภทนี้จะมีค่าความพรุนตั้งแต่ 2 % ขึ้นไป สำหรับเทคนิคการเผา เป็นการเผาในที่โล่ง (open-air firing) โดยใช้วิธีการเผาแบบสุ่มไฟ ซึ่งมีอุณหภูมิในการเผาไม่เกิน 1,100 องศาเซลเซียส

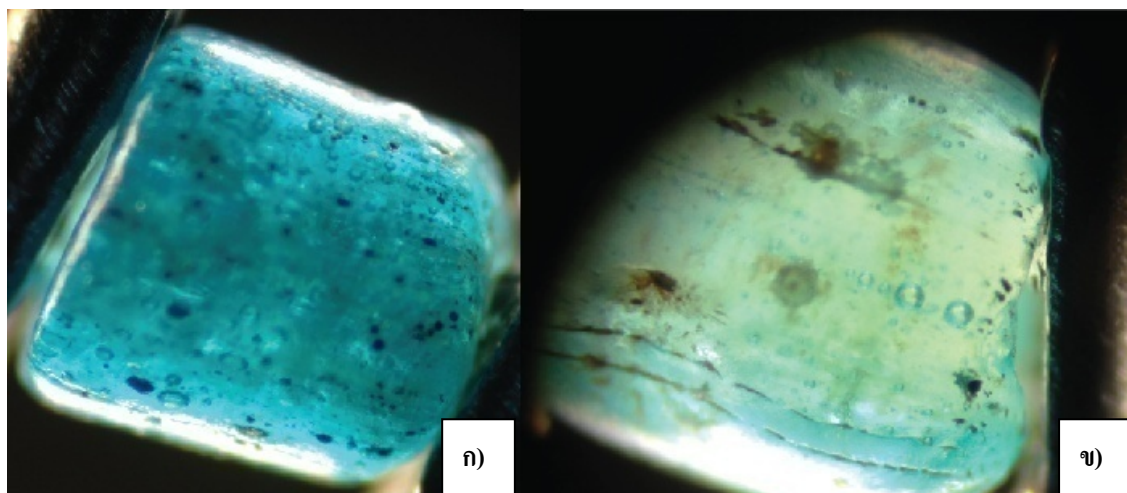
สำหรับขั้นตอนการเตรียมดินเพื่อนำมาทำภาชนะดินเผานั้นยังไม่มี การเตรียมดินที่ดีมากนัก เนื่องจากพบว่า การคัดขนาดของเม็ดแร่โดยรวมมีการคัดขนาดไม่ค่อยดี และผลึกแร่ที่พบมีขนาดต่างกันมาก กล่าวคือ พบทั้งอนุภาคหยาบจนถึงละเอียดปะปนกัน แหล่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตภาชนะดินเผาในอดีตน่าจะเลือกใช้ดินในบริเวณใกล้เคียงแหล่งที่พบ เนื่องจากพบเศษหินควอตไซต์ เช่น ในตัวอย่างของ LLRC3, LLRC4 ทั้งนี้ ในบริเวณลำน้ำลำมีหินควอตไซต์เป็นจำนวนมาก และบริเวณบ้านเอโก้ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับที่ตั้งของแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมน ใกล้เคียง พบว่าเป็นแหล่งหินควอตไซต์เช่นกัน นอกจากนี้พบตัวอย่างที่มีแร่แคลไซต์อยู่ด้วย ถึง 6 ตัวอย่างจากทั้ง 8 ตัวอย่าง ซึ่งอาจเกิดจาก 2 กรณี คือ แร่แคลไซต์ประกอบอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอยู่แล้ว หรือเกิดจากการแพร่ซึมของสารละลายจาก CaCO_3 จากถ้ำเข้าไปในเนื้อภาชนะดินเผาภายหลัง

4.4.2 ลักษณะทางอัญมณีและองค์ประกอบทางเคมีของลูกปัดแก้ว

ตัวอย่างลูกปัดแก้วจากถ้ำผีแมน ใกล้เคียงจำนวน 8 เม็ด ถูกนำมาวิเคราะห์ทางอัญมณีและทางเคมีเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้

4.4.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางอัญมณี

1. การสังเกตลักษณะตำหนิ (Inclusion) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์อัญมณี แสดงในรูปที่ 4.14
2. ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรีแฟร็กโตมิเตอร์ (Refractometer) เพื่อหาค่าดัชนีหักเห (RI) และด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าแบบไฮโดรสแตติก เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และแผนภูมิที่ 4.6

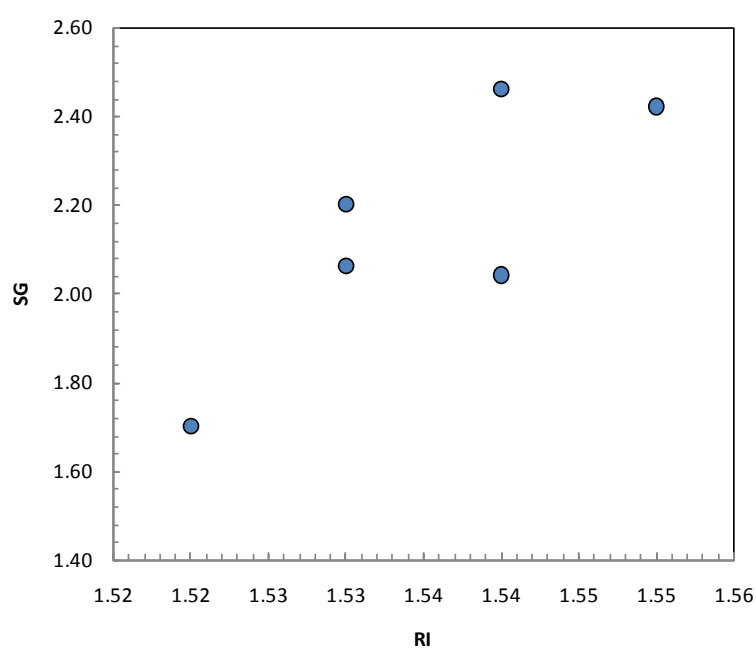


รูปที่ 4.14 ตัวอย่างลูกปัด ก) PMP13-4 และ ข) PMP13-7 แสดงเส้นไหล (Flow lines/Swirls) และฟองอากาศ (Gas bubbles) ภายในบ่งบอกถึงการผลิตด้วยวิธีการหลอมแก้ว ดังแล้วจึงตัดเป็นท่อนสั้นๆ

ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีหักเห (RI) และความถ่วงจำเพาะ (SG) ของตัวอย่างลูกปัด

Sample No.	RI	SG
PMP13-1	1.54	2.46
PMP13-2	1.55	2.42
PMP13-3	1.54	2.04
PMP13-4	1.53	2.2
PMP13-5	N/A	N/A
PMP13-6	N/A	N/A
PMP13-7	1.52	1.7
PMP13-8	1.53	2.06
Average	1.54	2.15

N/A = Not applicable due to too small samples



แผนภูมิที่ 4.6 การพลอตระหว่างค่า SG และ RI ของตัวอย่างลูกปัดจากแหล่งโบราณคดีอัมพวา

4.4.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างด้วยเครื่อง EDXRF

(Energy dispersive X-ray spectroscopy)

ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างลูกปัดจากแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักในรูป Wt% oxides

Oxide	Sample						
	PMP13-1 greenish blue	PMP13-2 greenish blue	PMP13-4 greenish blue	PMP13-5 greenish blue	PMP13-6 green	PMP13-7 green-Blue	PMP13-8 greenish blue
Al ₂ O ₃	6.06	8.02	7.73	8.40	8.00	7.02	5.29
SiO ₂	80.19	78.98	78.09	80.59	52.82	79.88	83.95
K ₂ O	1.65	3.71	3.06	1.86	1.69	3.24	2.17
CaO	2.67	4.14	4.93	2.16	2.41	1.70	4.41
TiO ₂	0.79	0.83	0.70	0.68	0.61	0.63	0.38
V ₂ O ₅	0.06	0.11	0.06	0.04	0.07	0.05	0.06
MnO	0.23	0.07	0.07	0.00	0.00	0.06	0.07
Fe ₂ O ₃	1.71	1.72	1.28	1.24	1.23	1.23	0.99
CuO	2.86	1.10	2.67	3.26	2.70	3.43	2.35
PbO ₂	1.30	0.27	0.61	1.38	29.72	0.83	0.03
SrO	0.20	0.15	0.11	0.00	0.00	0.15	0.09
ZrO ₂	0.78	0.36	0.24	0.38	0.76	0.45	0.13
SnO ₂	1.52	0.56	0.45	0.00	0.00	1.32	0.08
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

จากตารางที่ 4.9 พบว่าสารประกอบของทองแดง (Cu) น่าจะเป็นธาตุที่ให้สีน้ำเงินในตัวอย่างลูกปัด และสารประกอบที่มีตะกั่ว (Pb) น่าจะให้สีเหลืองในตัวอย่าง ส่วนลูกปัดสีเขียวมีธาตุตะกั่วสูงมาก (ตัวอย่าง PMP13-6 พบตะกั่วออกไซด์สูงถึง 29.72%) ซึ่งในที่นี้ไม่มีตัวอย่างลูกปัดสีเหลืองมาทำการวิเคราะห์ จึงอนุมานได้ว่าตัวอย่างลูกปัดสีเขียวที่มีอยู่ได้รับอิทธิพลจากการผสมกันของสองสีคือน้ำเงิน (เกิดจาก Cu) กับเหลือง (เกิดจาก Pb) เมื่อทำการเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของลูกปัดแก้วจากแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักกับข้อมูลลูกปัดแก้วที่พบจากภาคกลางของไทย (สุสติ รอดเจริญ, 2557) พบว่ามีส่วนคล้ายกัน อาจกล่าวได้ว่ามนุษย์ในสมัยวัฒนธรรมโลงไม่มีความเชื่อมโยงหรือติดต่อกับชุมชนโบราณในพื้นที่ราบของประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับที่ รัชมิ ชูทรงเดช (2543) กล่าวว่า ลูกปัดหรือสำริดอาจเป็นวัตถุที่ได้จากการแลกเปลี่ยนกับของป่ากับชุมชนภายนอก และโบราณวัตถุทั้งสองพบได้น้อยในแหล่งโบราณคดีที่ในเขตอำเภอปางมะผ้า จึงไม่น่าจะมีการผลิตขึ้นในท้องถิ่น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา

ธรณีสัณฐานในภาพรวมของอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูง สลับซับซ้อน มีรูปแบบทางน้ำเป็นรูปกิ่งไม้ ซึ่งมีทิศทางการไหลของลำน้ำส่วนใหญ่จากทิศเหนือลงสู่ทางทิศใต้ มีภูมิประเทศที่เด่นเป็นแบบคาสต์ เกิดในหินปูนยุคเพอร์เมียน ประกอบด้วย ถ้ำ เิงผา หลุมยุบ จำนวนมาก มีทางน้ำมุดหลายแห่ง พื้นที่แบบคาสต์สูงจากน้ำทะเลประมาณ 600-1,000 เมตร มีแนวรอยเลื่อนที่พาดผ่านพื้นที่วางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ แหล่งโบราณคดีที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมโลงไม้ในเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ตั้งอยู่ในเขตภูมิประเทศแบบคาสต์ โดยเฉพาะที่ปลงศพหรือสุสาน โลงไม้ส่วนใหญ่อยู่ในถ้ำและใต้เพิงผาดำแหน่งของแหล่งที่พบสุสานส่วนใหญ่อยู่บริเวณชายขอบของพื้นที่คาสต์ ถ้ำที่ถูกเลือกใช้เป็นที่เก็บโลงไม้มักอยู่ตามหน้าผาสูงชันของเทือกเขา ถ้ำเหล่านั้นมีความซับซ้อนและมีพื้นที่โล่งพอต่อการวางโลงไม้ (รัศมี ชูทรงเดช และคณะ, 2543) การดำรงชีวิตของประชากรในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ อาจมีถิ่นที่อยู่อาศัยตั้งบ้านเรือนอยู่ตามหุบเขาแคบๆ ที่อุดมสมบูรณ์ หรือเชิงเขาหรือสันเขาที่ใกล้กับแหล่งน้ำ (รัศมี ชูทรงเดช, 2543) และเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ ในบริเวณที่ราบทั่วไป เช่น บริเวณที่ลุ่มริมน้ำลำธาร หรือแถบเชิงเขาที่มีดินและน้ำอุดมสมบูรณ์ โดยอาศัยถ้ำหรือเพิงผาที่อยู่สูงเป็นที่เก็บโลงศพ (Treerayapiwat, 2005) อย่างไรก็ตามยังมีกลุ่มคนที่อาศัยอยู่บริเวณเพิงผาแต่อยู่ในช่วงอายุเก่าแก่กว่าผู้คนในวัฒนธรรมโลงไม้ ขณะนี้ยังไม่พบหลักฐานที่แน่ชัดของการใช้พื้นที่สำหรับชุมชนวัฒนธรรมโลงไม้ในพื้นที่ศึกษา จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในขั้นต่อไป

สำหรับภูมิอากาศในอดีตของบริเวณ โดยรอบที่สัมพันธ์กับตะกอนถ้ำในช่วงวัฒนธรรมโลงไม้เป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีสภาพแวดล้อมธรรมชาติทั้งพืชพรรณและสัตว์ป่าคล้ายคลึงกับปัจจุบัน (Sinsakul, 1992; นาฏสุดา ภูมิจันทร์, 2559) จากตัวอย่างในถ้ำผีแมนโลงลงรักพบว่า มีบางช่วงที่ปริมาณน้ำฝนสูงมากเป็นพิเศษทำให้น้ำไหลเข้ามากกว่ปกติ เห็นได้จากร่องรอยของการท่วมขังของน้ำจากชะง่อนของคราบหินปูน แต่โดยรวมแล้วตะกอนในถ้ำมีลักษณะที่คล้ายกันคือได้รับอิทธิพลของน้ำพัดพาเอาตะกอนเข้ามาสะสมตามปกติโดยส่วนใหญ่ไม่รุนแรง และในบริเวณถ้ำเองก็มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อตอบสนองต่อภูมิอากาศดังกล่าวตลอดเวลา เห็นได้จากการละลายของหินปูน และมีการตกผลึกของหินปูนที่เป็นแร่ทุติยภูมิอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ก่อนที่จะตะกอนชั้นบนหนาประมาณ 3 เมตรจะมาทับถม และตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา นับตั้งแต่เริ่มการสะสมตัวของแร่ทุติยภูมิดังกล่าว แผ่นดินบริเวณนี้ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีหลายครั้งแสดงให้เห็นจากร่องรอยของแผ่นดินไหวที่พบทั่วไปในถ้ำเองและมีรอยเลื่อนตัดผ่านบริเวณถ้ำตลอด (ตามแนวเพิงผา)

จากผลการศึกษาบริเวณเพิงผาถ้ำลอด พบว่าสิ่งแวดล้อมในอดีตของบริเวณพื้นที่ศึกษานี้มีความเป็นไปได้สูงที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับกึ่งแล้งในช่วงเวลากว้างๆ ตั้งแต่ 35,000-16,000 ปี ซึ่งตรงกับช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ นาฏสุดา ภูมิจันทร์ (2559) ในช่วงเวลานั้นมีสภาพอากาศชื้นสลับแห้งแล้ง (Marwick and Gagan, 2011)

การพบโลงไม้ในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรัก พบในคูหา A1 มากที่สุด รองลงมาคือ A2 และ B ทั้งนี้เนื่องจากคูหา A1 เป็นคูหาที่อยู่ด้านในสุดทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของปากถ้ำ มีลักษณะพื้นคูหาเกือบราบและมิดชิดกว่าคูหาอื่น ส่วนคูหา A2 มีขนาดเล็กและแคบ อยู่ใกล้ปากถ้ำมากกว่าคูหา A1 สำหรับคูหา B มีลักษณะไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต พื้นไม่เรียบเต็มไปด้วยโขดหิน มีทางเชื่อมติดต่อกับคูหากลาง และคูหา C ซึ่งเป็นคูหาที่อยู่ติดกับทางเข้าถ้ำและมองเห็นได้จากปากถ้ำ แสดงให้เห็นว่าการเลือกที่เก็บโลงไม้ได้เน้นถึงความมิดชิดปลอดภัยจากการรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น การรบกวนโดยมนุษย์ สัตว์ หรือการไหลบ่าเข้ามาของน้ำหรือตะกอน โดยให้น้ำน้อยที่สุด รวมทั้งพื้นที่ที่เก็บโลงไม้ต้องมีพื้นที่กว้างพอที่จะบรรจุโลงไม้ได้ตลอดความยาวของโลงและจัดเก็บโลงไม้ได้ในจำนวนมากพอ ซึ่งคูหา A1 ถือว่าเหมาะสมที่สุด

การพบโลงไม้ในคูหา A2 และคูหา B อธิบายได้ว่า พื้นที่ในคูหา A1 ไม่พอเพียง (เต็ม) ดังนั้นจึงใช้คูหา A2 รองรับเพิ่มเติม ส่วนคูหา B เป็นคูหาที่ได้รับการพิจารณาบรรจุโลงไม้เป็นอันดับหลังสุด ซึ่งสอดคล้องกับการหาอายุโลงไม้ที่พบในคูหาต่างๆ พบว่าโลงไม้ที่พบในคูหา A1 ส่วนใหญ่มีอายุมากที่สุด (รัศมี ชูทรงเดช, 2559)

ตะกอนร่วนในแหล่งโบราณคดีถ้ำผีแมนโลงลงรักมีลักษณะเฉพาะตัว เช่น มีเนื้อตะกอนเป็นทรายปนดินเหนียว และทรายปนทรายแป้ง ต่างจากตะกอนในภูมิประเทศแบบคาสต์ภายนอกถ้ำและตะกอนในแหล่งโบราณคดีเพิงผาลอดที่ส่วนใหญ่มีเนื้อเป็น ทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียว และหยابกว่าในถ้ำเพราะได้รับอิทธิพลของน้ำหรือสภาพแวดล้อมที่รุนแรงกว่า สำหรับการเปรียบเทียบลักษณะของการทับถมของตะกอนในคูหา A1 และ A2 ของถ้ำผีแมนโลงลงรัก พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือคูหา A1 มีรอยชั้นไม่ต่อเนื่องปรากฏที่ระดับลึก 66 เซนติเมตร (จากระดับชั้นผิวดินของถ้ำ) เมื่อหาอายุโดยวิธีการเรืองแสงด้วยความร้อน (Thermoluminescence, TL) จากห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ประมาณ 10,310 ปี ส่วนในคูหา A2 ตะกอนแสดงการทับถมเป็นชั้นๆ เอียงตัวไปทางทิศตะวันตกทุกชั้นและวางตัวอย่างสอดคล้องกัน ความหนาของแต่ละชั้นไม่ต่างกันมาก ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการไหลเข้ามาของน้ำจากปากถ้ำโดยตรงและกระแสน้ำไม่เปลี่ยนทิศทาง

ในคูหา A1 ตะกอนถูกพัดพาโดยน้ำที่ไหลเข้ามา ผลมาจากน้ำฝนที่ตกตามฤดูกาลในถ้ำในช่วงแรก (ระดับของตะกอนลึกจากผิวดินกว่า 66 เซนติเมตร) ต่อมาเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลมาจากปากถ้ำโดยตรงลดลง จึงทำให้น้ำขังและแห้งสลับกันในช่วงความลึกที่น้อยกว่าระดับ 66 เซนติเมตร ส่งผลให้ตะกอนที่มาจากปากถ้ำส่วนใหญ่ถูกดักจับโดยคูหา A2 จนเหลือน้อยมากที่ไหลผ่านมายังคูหา A1 ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากปากถ้ำมากกว่า

ดังนั้นตะกอนในคูหา A1 จึงบอกถึงการได้รับอิทธิพลของน้ำที่ไหลเข้ามาในถ้ำในช่วงแรกและมีปริมาณน้ำลดลง ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณน้ำฝนลดลง หรือการยกตัวของถ้ำทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง ส่งผลให้การทับถมของตะกอนที่ระดับตื้นกว่า 66 เซนติเมตร ได้รับอิทธิพลจากการทับถมของตะกอนในน้ำนิ่ง (slack water) ผนวกกับการตกจมของตะกอนทางอากาศ จากหลักฐานทางแร่วิทยาบ่งชี้ถึงสภาพภูมิอากาศโดยรวมของเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ตลอดช่วงการทับถมที่ศึกษาเป็นภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งสอดคล้องกับงานของนาฏสุตา ภูมิงานงค์ (2559) การเข้ามาของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในคูหา A1 เริ่มต้นขึ้นในช่วงเวลาที่เริ่มมีการตกตะกอนในระดับประมาณ 66 เซนติเมตรจากระดับชั้นผิวดินของคูหา เพราะปราศจากน้ำไหลหรือหากมีน้ำขัง อาจมีขึ้นเป็นช่วงๆ และเป็นน้ำขังที่เกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นๆ สลับกับช่วงเวลาที่แห้งซึ่งอาจจะยาวนานกว่า เพราะสังเกตชั้นตะกอนในช่วงหลังนี้เป็นชั้นที่บาง จึงเป็นโอกาสที่เหมาะสมกับการเข้ามาใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตรวมทั้งการทำกิจกรรมของมนุษย์ในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ในเวลาต่อมาด้วย

ทั้งนี้จากการขุดค้นโดยทีมงานวิจัยด้านโบราณคดีของโครงการการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่าร่องรอยหรือหลักฐานทางโบราณคดี (ชั้นวัฒนธรรม) ที่แสดงว่ามนุษย์เริ่มเข้ามาใช้ประโยชน์ปรากฏที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินของคูหา (วอถัญญา ณ หนองคาย และคณะ, 2559) และจากการหาอายุชั้นส่วนของโลงไม้ ยางไม้ที่เคลือบบนฝาโลงในคูหา A1 และ A2 รวม 18 ตัวอย่าง ด้วยวิธี C-14 พบว่ามีอายุอยู่ระหว่าง 1960 ± 30 - 1636 ± 44 ปีก่อนปัจจุบัน (รัศมี ชูทรงเดช, 2559)

ในโครงการได้มีการหาอายุของชั้นตะกอนโดยวิธีการเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence, TL) ในคูหา A1 และ A2 ของถ้ำผีแมนโลงลงรัก ซึ่งได้อายุมากที่สุดของชั้นตะกอนประมาณ 13,000 ปี (ไฟสโตซีนตอนปลาย) จากบริเวณที่ลึกประมาณ 1.5 เมตร จากผิวดินของคูหา A1 แต่เนื่องจากผลที่ได้มีค่าผิดพลาดสูง จึงควรมีการหาอายุตะกอนที่ละเอียดมากขึ้น ควรมีการกำหนดอายุโบราณวัตถุ เช่น ชิ้นส่วนภาชนะดินเผา เปลือกหอยหรือถ่านไม้ที่พบรวมในชั้นวัฒนธรรมด้วยเครื่องมือที่ให้ผลได้ละเอียด แม่นยำ และรวดเร็ว เช่น วิธีหาอายุ AMS (accelerator mass spectrometry) เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ด้านอายุของชั้นตะกอนและอายุของโบราณวัตถุที่พบว่ามีการใช้งานพื้นที่ในช่วงเวลาเดียวกันจริงหรือมีการรบกวนชั้นดินเกิดขึ้นหรือไม่อย่างไร

ภาชนะดินเผาในถ้ำผีแมนโลงลงรักจัดเป็นประเภทเนื้อดิน ขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน โดยมีเทคนิคการเผาในที่โล่ง โดยใช้วิธีการเผาแบบสุ่มไฟ มีอุณหภูมิในการเผาไม่เกิน 1,100 องศาเซลเซียส การเตรียมดินเพื่อนำมาทำภาชนะดินเผานั้นเป็นการเตรียมอย่างง่าย เนื่องจากพบว่าการคัดขนาดของเม็ดแร่ไม่ดี แหล่งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตภาชนะดินเผาในอดีต อาจเลือกใช้ดินในบริเวณใกล้เคียงแหล่งที่พบ เพราะพบชิ้นส่วนหินควอตซ์ไซต์ในตัวอย่างด้วย ซึ่งในบริเวณพื้นที่ศึกษาพบหินดังกล่าวอยู่มาก

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของลูกปัดแก้วที่พบในสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ พบว่ามีสารประกอบของทองแดงเป็นธาตุที่ให้สีน้ำเงินและสารประกอบของตะกั่วเป็นธาตุที่ให้สีเหลือง จากตัวอย่างลูกปัดสมัยวัฒนธรรมโลงไม้ กล่าวได้ว่าอาจมีการติดต่อกับชุมชนโบราณในพื้นที่ลุ่มต่ำ เช่น ภาคกลาง (มุสดี รอดเจริญ, 2557) ของประเทศไทย อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติมและยืนยันเกี่ยวกับเรื่องนี้ต่อไป

จากคำถามโจทย์วิจัยที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 1 คือข้อที่ 1) ระหว่าง 10,000-1,000 ปีมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมหรือไม่ อย่างไรนั้น งานธรณีวิทยาครั้งนี้ได้ให้คำตอบได้ในระดับหนึ่งดังกล่าวไว้แล้วข้างต้น โดยสรุปคือ สภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศโบราณที่ได้จากการแปลความของตะกอนถ้ำ ตะกอนเพิงผา มีความสอดคล้องจากการแปลความโดยเทคนิคอื่น เช่น คำนวณปีไม้ ส่วนข้อที่ 2) มนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์บนภาคพื้นแผ่นดินปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมอย่างไร? นั้น งานทางด้านธรณีวิทยาในขั้นนี้ยังไม่สามารถให้คำตอบได้ คงต้องอาศัยผลการศึกษาหรือการแปลความข้อมูลในศาสตร์อื่น แต่อย่างน้อยส่วนหนึ่งของการวิจัยเล่มนี้มีผลการวิเคราะห์ทางเคมีในระดับเบื้องต้นจากลูกปัดแก้วที่พบร่วมกับโลงไม้ จึงสันนิษฐานว่าผู้คนในวัฒนธรรมโลงไม้มีการติดต่อกับสังคมพื้นที่ราบ ส่วนหลักฐานประเภทโลหะที่พบร่วมกับวัฒนธรรมโลงไม้ควรได้รับการศึกษาถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตในอดีตด้วยเช่นกัน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กนกนาถ จินตกานนท์

- 2549 “การทำนายอายุของผู้ตายจากปริมาตรของฟันในสามมิติ.” ใน พลวัตทางสังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: เรือนแก้ว. หน้า 57-67.

คณะอนุกรรมการการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา

- 2530 พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชวลิต ขาวเขียว

- 2542 ธรณีวิทยาทางโบราณคดี: กระบวนการก่อตัวของแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต (โบราณคดี) ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดีมหาวิทยาลัยศิลปากร.

ชาร์ลส ไฮแอม และรัชนี ทศรัตน์

- 2542 สยามดึกดำบรรพ์. กรุงเทพฯ: ริเวอร์บุ๊กส์.

ชัยพร ศิริพรไพบูลย์

- 2542 “ลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกวิทยา.” รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2: โครงการสำรวจและจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำจังหวัดแม่ฮ่องสอน. นครปฐม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. หน้า 29-67.
- 2543ก “ธรณีวิทยาของจังหวัดแม่ฮ่องสอนตอนบน.” ใน การสำรวจและจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำ จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). หน้า 19-39.
- 2543ข “อุทกวิทยาของกลุ่มน้ำของและกลุ่มน้ำล่าง จังหวัดแม่ฮ่องสอน.” ใน การสำรวจและจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำ จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). หน้า 41-54.

นรรัตน์ บุญกันภัย และทวีวัฒน์ นาคไชยะ

- 2547 ธรณีวิทยาถ้ำบริเวณเขาถ้ำเอราวัณ อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี. สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณีวิทยา. รายงานตรวจสอบ ฉบับที่ สร3-6/2547.

นาฏสุดา ภูมิจันทร์

- 2559ก “การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในยุคไพลสโตซีนตอนปลาย-ปัจจุบัน: โดยหลักฐานที่หลากหลาย.” ใน การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: โครงการการปฏิสัมพันธ์ฯ. หน้า 75-104.

นาฏสุดา ภูมิจำนงค์

- 2559ข “การใช้วงปีไม้สักจากโลงไม้ฮั่นมานสิ่งแวดล้อมในอดีตในบริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทย.” ใน การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: โครงการการปฏิสัมพันธ์ฯ. หน้า 129-154.

นัทธมน ภูริพัฒน์พงศ์

- 2549ก “การศึกษาวิเคราะห์ร่องรอยบนกระดูกที่เกิดจากการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน.” รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 5 โครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะที่สอง. กรุงเทพฯ. หน้า 394.
- 2549ข “การศึกษาวิเคราะห์ร่องรอยบนกระดูกที่เกิดจากโรคภัยไข้เจ็บ.” รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 5 โครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะที่สอง. กรุงเทพฯ. หน้า 395-396.
- 2549ค “ตามรอยคนโบราณในอำเภอปางมะผ้า: ภาพร่างของชิ้นส่วนที่หายไป.” ใน พลวัตทางสังคมวัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: เรือนแก้ว. หน้า 3-29.

ประมาณ เทพสงเคราะห์ จักรกฤษ กลีสวรรณ และฉลอง แก้วประเสริฐ,

- 2546 การจำแนกลักษณะธรณีสัณฐานศาสตร์ภายในถ้ำน้ำลอดบริเวณวัดถ้ำสุมะโนเพื่อใช้สำหรับการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดพัทลุง. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.

ปานิสรา ภูทอง

- 2551 แร่วิทยาและธรณีเคมีไอโซโทปของหินงอกในถ้ำน้ำจาง ปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

สุสติ รอดเจริญ

- 2557 “แกว้อคูมิน่า กลุ่มแกว้อสำคัญที่พบมากในลูกปัดแกว้อสมัยทวาราวดี ในภาคกลางของประเทศไทย.” ใน เอกสารการประชุมวิชาการความก้าวหน้าทางวิชาการ โบราณคดีและการจัดการทรัพยากรทางวัฒนธรรมของชาติ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาโบราณคดี คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากรและกรมศิลปากร. หน้า 123-144.

พัชรีย์ สาริกบุตร

- 2523 เทคโนโลยีสมัยโบราณ. กรุงเทพฯ: คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พัฒนธร โตไวยะ

- 2542 “วิวัฒนาการของถ้ำ.” ใน ทรัพยากรถ้ำ. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ โครงการการสำรวจและการจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำ จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดกาญจนบุรี. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. หน้า 10-19.

พินดา สิทธิสุนทร, ไชมอน การ์ดเนอร์ และดิน สมาร์ท

- 2549 ถ้ำถิ่นเหนือ. กรุงเทพฯ: ริเวอร์บุ๊กส์.

ราชกิจจานุเบกษา

- 2549 มาตรฐานอุตสาหกรรมปูนไลม์, มอก.202 เล่ม1-2548, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่ 84 ง, 24 สิงหาคม.

ราชบัณฑิตยสถาน

- 2544 พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา. กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.
2549 พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.

รัศมี ชูทรงเดช

- 2543 รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการสำรวจและจัดระบบฐานข้อมูลลำจังหวัดแม่ฮ่องสอน (เล่มที่4: โบราณคดี). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
2546 “วัฒนธรรมโลงไม้หรือโลงผีแมน: ยุคก่อนประวัติศาสตร์ของแม่ฮ่องสอน?” ใน คน วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อมโบราณ บนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน, เอกสารประกอบการประชุมโครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. หน้า 91-124.
2547 โบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
2559 “สังคมและวัฒนธรรมโลงไม้ที่ถ้ำผีแมนโลงลงรัก.” ใน การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: โครงการการปฏิสัมพันธ์ฯ. หน้า 297-322.

รัศมี ชูทรงเดช และคณะ

- 2543 รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการสำรวจและจัดระบบฐานข้อมูลลำจังหวัดแม่ฮ่องสอน (เล่มที่4: โบราณคดี). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
2546 รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน (เล่มที่5: ด้านโบราณคดี (การขุดค้นแหล่งโบราณคดีเพิงผาถ้ำลอด)). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)
2549 พลวัตทางสังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: เรือนแก้ว.
2550 รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการโบราณคดีบนพื้นที่สูงในเขตอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน ระยะเวลาที่สอง (เล่มที่ 2: ด้านโบราณคดี). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

วอภัญญา ณ หนองคาย ชนม์ชนก สัมฤทธิ์ และสมถวิล สุขเลี้ยง

- 2559 “การขุดค้นถ้ำผีแมนโลงลงรัก.” ใน การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: โครงการการปฏิสัมพันธ์ฯ. หน้า 199-215.

สมถวิล สุขเลี้ยง

- 2559 “ภาษาชนเผ่า ภาษาไม่มี: จากของใช้สู่เครื่องใช้ในสุสาน.” ใน การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ก่อนประวัติศาสตร์กับสิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงในอำเภอบางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: โครงการการปฏิสัมพันธ์ฯ. หน้า 323-354.

เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา, นาฏสุดา ภูมิจำนงค์, น้อม งามนิสัย และพรพรรณ สมินทร์ปัญญา

- 2553 “การวางแผนจัดการเขาด้าเอราวัณเพื่อการท่องเที่ยวทางธรรมชาติอย่างยั่งยืน.” วารสารอิเล็กทรอนิกส์การท่องเที่ยวไทยนานาชาติ (1): 1-15.

สิทธิพงษ์ คิลกวานิช และคณะ

- 2543ก รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการสำรวจและจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำ จังหวัดแม่ฮ่องสอน. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- 2543ข รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำ จังหวัดแม่ฮ่องสอน (เล่มที่ 2: ธรณีวิทยาและอุทกวิทยา). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

สุรินทร์ ภูจักร และคณะ

- 2537 รายงานขั้นสรุปการขุดค้นที่ถ้ำหมอเขียว จังหวัดกระบี่ ถ้ำชาไถ จังหวัดตรัง และการศึกษาชาติพันธุ์ทางโบราณคดีชนกลุ่มน้อยชาไถ จังหวัดตรัง เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาษาอังกฤษ

Alberts, E.E., Moldenhauer, W.C., Forster, G. R.

- 1980 “Soil aggregates and primary particles transported in rill and inter-rill flow.” **Soil Science Society of America Journal** 44: 590-595.

Anderson D

- 1990 **Lang Rongrien rockshelter: A Pleistocene, early Holocene archaeological site from Krabi, southwestern Thailand.** University museum monograph 71. Philadelphia: The University museum.

Angelucci, D.E.

- 2003 “Geoarchaeology and micromorphology of Abric de la Cativera (Catalonia, Spain).” **Catena** 54: 573–601.

Baker, G.

- 2005 “The archaeology of foraging and farming at Niah cave, Sarawak. In Human Use of Caves in Penninsular Island Southeast Asia.” (eds. G. Baker and D. Gilbertson). **Asian Perspectives** 44 (1): 90-106.

Bellwood, P.

1997 **Prehistory of the Indo-Malaysian Archipelago**. Honolulu, Hawaii: University of Hawai'i Press.

2005 **First Farmer: The Origins of Agricultural Societies**. Malden: Blackwell.

Bertini, M., Shortland, A., Milek, K., and Krupp, E.,

2011 "Investigation of Iron Age north-eastern Scottish glass beads using element analysis with LA-ICP-MS." **Journal of Archaeological Science** 38(10): 2750–2766.

Bouyoucos, G.J.

1962 "Hydrometer method improvement for making particle size analysis of soils." **Agronomy Journal** 54: 179-186.

Bradley, R. S.

1999 **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. 2nd ed. San Diego: Academic Press.

Brindley G.W., Nakahira, M.

1957 "Kinetics of Dehydroxylation of Kaolinite and Halloysite." **Journal of the American Ceramic Society** 40: 346–350.

Brinkmann, R., Reeder, P.

1995 "The relationship between surface soils and cave sediments in west-central Florida, U.S.A." **Transactions of the British Cave Research Association** 22: 95-102.

Brooks, S.T. and Suchey, J.M.

1990 "Skeletal Age Determination Based on the Os Pubis: A Comparison of the Acsadi-Nemeskeri and Suchey-Brooks Methods." **Human Evolution** 5: 227-238.

Brothwell, D.

1981 **Digging Up Bones**. London: Oxford University Press.

Brouquisse, R.

1986. Cadre geologique. Expedition Thai-Maros 85. **Rapport Speleologique et Scientifique**. Toulouse, Association Pyreneenne de Speleologie: 101-118.

1987 Catalogue des cavites nouvellement visitees par P.A.P.S. en Thaïlande. Expedition Thai-Maros 86. **Rapport Speleologique et Scientifique**. Toulouse, Association Pyreneenne de Speleologie: 25-27.

Brown, T.A.

2001 "Ancient DNA." In D.R. Brothwell & A.M. Pollard (eds.). **Handbook of archaeological sciences**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd: pp. 301-311.

Brown, T.A. and Brown, K.A.

1992 "Ancient DNA and the archaeologist." **Antiquity** 66: 10-23.

Buikstra, J. and A. Beck

- 2006 **Bioarcheology: The Contextual Analysis of Human Remains.** Burlington, MA: Academic Press.

Buikstra, J.E. and Ubelaker, D.H.

- 1994 **Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains.** Arkansas Archaeological Survey Research Series No.44.

Butzer, K. W.

- 1985 **Archaeology as Human Ecology.** Cambridge: Cambridge University Press.

Cai, B., Pumijumnong, N., Tan, M., Muangsong, C., Kong, X., Jiang, X., and Nan, S.

- 2010 "Effects of intraseasonal variation of summer monsoon rainfall on stable isotope and growth rate of a stalagmite from northwestern Thailand." **J. Geophys. Res.**, 115, D21104, 1-10, doi: 10.1029/2009JD013378.

Carter, A.,

- 2010 "Trade and exchange networks in iron age Cambodia: preliminary results from a compositional analysis of glass beads." **Bulletin of the indo-pacific prehistory association** 30: 178-188.

Chabangborn, A., Wohlfarth, B.,

- 2014 "Climate over mainland Southeast Asia 10.5–5 ka." **Journal of Quaternary Science** 29 (5): 445-454.

Chappell, J.

- 1982 "Sea levels and sediments: some features of the context of coastal archaeological site in the tropics." **Archaeology in Oceania** 17: 69-78.

Chaimanee, Y.

- 1998 **Plio-Pleistocene Rodents of Thailand. Thai Studies in Biodiversity No. 3.** Bangkok: BIOTEC and NSTDA.

Chia, S. and P. Koon

- 2003 "Recent discovery of an ancient log coffin in Semporna, Sabah." **Sabah Society Journal** 20: 35-43.

Chitkament, T., Gaillard, C., Shoocongdej, R.

- 2015 "Tham Lod rockshelter (Pang Mapha district, north-western Thailand): Evolution of the lithic assemblages during the late Pleistocene." **Quaternary International.** doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.058>.

Choosiri, P.

- 1993 **An Analysis of Paleopathological Changes in Human Skeletal Remains from Southern Thailand.** Unpublished manuscript. Bangkok: Fine Arts Department.

Cohen, M.N. and Armelagos, G.J. (eds.)

1984 **Paleopathology at the Origins of Agriculture.** New York: Academic Press.

Courty, M.A., Goldberg, P., Macphail, R.

1989 **Soils and micromorphology in archaeology.** Cambridge: Cambridge University Press.

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J.

1996 **An Introduction to the rock-forming minerals.** 2nd ed. Edinburgh: Addison Wesley Longman Limited.

Deharveng, L.

1987 Programme zoologique: bilan general et principaux resultants. Expedition Thai-Maros 86. **Rapport Speleologique et Scientifique.** Toulouse, Association Pyreneenne de Speleologie: 111-116.

Deharveng, L, et Bedos, A.

1986 Gas carbonique. Expedition Thai-Maros 85. **Rapport Speleologique et Scientifique.** Toulouse, Association Pyreneenne de Speleologie: 144-152.

Dincauze, D. F.

2000 **Environmental Archaeology: Principles and Practice.** Cambridge: Cambridge University Press.

Dunkley, J.R.

1985 “Karst and caves of the Nam Lang – Nam Khong region, northeast Thailand.” **Helictite** 23: 3-22.

Dunkley, J. and Burch, J. (eds.)

1986 **Cave of North-West Thailand.** Sydney: Speleological Research Council.

Ellis, M.

2012 **The caves of Mae Hong Son, Thailand.** Lom Sak, Phetchabun: Takobi Ltd, 110 pp. (available at <http://www.thailandcaves.shepton.org.uk>).

Evershed, R.P., Turner-Walker, G., Hedges, R.E.M., Tuross, N. and Leyden, A.

1995 “Preliminary results for the analysis of lipids in ancient bone.” **Journal of Archaeological Science** 22: 277-290.

Fabbri, B., and Maldera, R.,

1989 “Prehispanic potsherds from Gran Canaria (Spain) and their raw materials.” **Applied Clay Science** 4: 485-497.

Farrand, W.R.

2001 “Sediments and Stratigraphy in Rockshelters and Caves: A Personal Perspective on Principles and Pragmatics. Geoarchaeology” **An International Journal** 16: 537-557.

Fontes, P., Brissaud, I., Lagarde, G., Leblanc, J., Person, A., Saliege, J.-F., and Heitz Ch.

- 1984 "PIXE analysis and provenance study of archaeological potsherds from West Africa." **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms** 3: 404-407.

Fortelius, M. & Solounias, N.

- 2000 "Using the Abrasion-Attrition Wear Gradient: A New Method for Reconstructing Paleodiets." **American Museum Novitates** 3301: 1-36.

Fox, R.

- 1970 **The Tabon Caves: Archaeological Explorations and Excavations on Palawan**. National Museum.

Frank, R.

- 1968 "Cave sediments as palaeoenvironmental indicators, and the sedimentary sequence in Koonalda Cave". In **Aboriginal Man and Environment in Australia**, D. J. Mulvaney and J. Golson.(ed.). Canberra: Australian National University Press: pp. 94-104.

French, C.A.

- 2003 **Geoarchaeology in Action: Studies in Soil Micromorphology and Landscape Evolution**. Routledge: London.

García-Heras, M., Rincón, J.Ma., Jimeno, A., Villegas, M.A.

- 2005 "Pre-Roman coloured glass beads from the Iberian Peninsula: a chemico-physical characterisation study." **Journal of Archaeological Science** 32: 727-738.

Gillieson, D.

- 1996 **Caves: Processes, Development, Management**. Oxford: Blackwell Publishers Ltd.

Goldberg, P., Macphail, R.I.

- 2006 **Practical and Theoretical Geoarchaeology**. Oxford: Blackwell Publishing.

Goldstein, L.

- 2006 "Mortuary Analysis and Bioarchaeology." In **Bioarchaeology: The Contextual Analysis of Human Remains**, edited by J. Buikstra and A. Beck,. Burlington: Academic Press: pp. 375-388.

Gorman, C.

- 1970 "Excavation at spirit cave, north Thailand: some interim interpretations." **Asian perspectives** 13: 79-107.
- 1971 "The Hoabinhian and after : subsistence pattern in Southeast Asian during the late Pleistocene and early Recent periods." **World Archaeology** 2: 300-320.
- 1977 "A priori models and Thai prehistory: a reconsideration of the beginning of agriculture in Southeast Asia." In **Origins of Agriculture**, edited by C. Reed. Mouton: The Hague.

Gorshkov, G.P. and Yakushova, A.F.

1967 **Physical geology.** Moscow: Mir Publishers.

Grave, P., Spies, J., Barbetti, M. and Hotchkis, M.

1993 **Dating of log coffins of Northwestern Thailand.** Paper present at IPPA Conference, Chiangmai: 5-12 January.

1977 "A priori models and Thai prehistory : a reconsideration of the beginning of agriculture in Southeast Asia. " In **Origins of Agriculture**, edited by C. Reed. Mouton: The Hague.

Goudie, A.

1990 **Environmental Change.** Oxford: Clarendon Press. Seconded

Hather, J. G. (ed.)

1994 **Tropical Archaeobotany: Applications and New Developments.** London: Routledge.

Haw, L.S.

2016 "Understanding early cultures through pottery technology: the reconstruction of operational sequence of earthenware potteries." in **Interactions between populations and environment in highland Pangmapha Maehongson province.** Bangkok: IHE-PMP project. pp. 355-372.

Heaney, L.R.

1991 "A Synopsis of Climatic and Vegetational Change in Southeast Asia." **Climatic Change** 19: 53-61.

Hodges, H.

1989 **Artifacts.** London: Duckworth.

Holdaway, S.J. and Fanning, P.

2008 "Developing a landscape history as part of a survey strategy : A critique of current settlement system approaches based on case studies from Western New South Wales, Australia." **Journal of Archaeological Method and Theory** 15: 167-189.

Hong, H., Yangsheng, Yin, K., Wang, C., Li, Z.,

2013 "Clay record of climate change since the mid-Pleistocene in Jiujiang, south China. " **Boreas** 42 (1): 173-183.

Hughes, P.J., Lampert, R.J

1977 "Occupational Disturbance and Types of Archaeological Deposit." **Journal of Archaeological Science** 4:135-140.

Ji X., Nakayama M., Han K., Liu X., Liu H., Kondo O.

2005 **Unique Biological Affinity of the Hanging Coffin People in Ancient China Based on Craniometry of Two Skulls from Yunnan Province.** Publish online 22 April 2005 in J-STAGE www.jstage.jst.go.jp DOI: 10.1537/ ase.040805.

- Johnson, D., Tyldesley, J., Lowe, T., Withers, P.J. and Grady, M.M.
 2013 “Analysis of a prehistoric Egyptian iron bead with implications for the use and perception of meteorite iron in ancient Egypt.” **Meteoritics & Planetary Science** 2013: 1-10.
- Johnson, K.R., Ingram, B.L., Sharp, W.D. and Zhang, P.
 2006 “East Asian summer monsoon variability during Marine Isotope Stage 5 based on speleothem $\delta^{18}\text{O}$ from Wanxiang Cave, Central China.” **Palaeo** 236: 5-19.
- Karkanas, P., Goldberg, P.
 2013 “Micromorphology of Cave Sediments.” In John F. Shroder and Frumkin, A. (eds.). **Treatise on Geomorphology**. Volume 6: Karst Geomorphology, San Diego: Academic Press.
- Karkanas, P., Schepartz, L.A., Miller-Antonio, S., Wei, W., Weiwen, H.
 2008 “Late middle Pleistocene climate in southwestern China: inferences from the stratigraphic record of Panxian Dadong Cave, Guizhou.” **Quaternary Science Reviews** 27: 1555–1570.
- Karkanas, P., Shahack-Gross, R., Ayalon, A., et al.
 2007 “Evidence for habitual use of fire at the end of the Lower Paleolithic: site formation processes at Qesem Cave, Israel. ” **Journal of Human Evolution** 53: 197–212.
- Kennedy, K.A.R.
 1989 “Skeletal Markers of Occupational Stress.” In Iscan M.Y. & Kennedy K.A.R. (eds) **Reconstruction of Life from the Skeleton**. New York: Alan R.Liss, Inc: pp. 129-160.
- Kent, S.
 1992 “Anemia through the ages : changing perspectives and their implications.” In Stuart-Macadam, P. & S.K. Kent (eds.) **Diet, demography and disease.Changing perspectives on anemia**. Aldine De Gruyter : New York: pp.1-30.
- Kermode, L.
 1974 “Glowworm Cave, Waitomo, conservation study.” **NZ Speleological Bulletin** 5: 329-44.
- Kiernan, K.
 1988 **Geomorphology of a tropical intermontane basin in the Sino-Burman ranges**. Proceedings of the 26th International Congress, Sydney: pp.1-19.
 1990 “Some limestone caves north-east of Mae Hong Son, northern Thailand.” **Historical Bulletin Siam Society** 38: 59-67.
- Knapp, E.P., Terry, D.O., Harbor, D.J., Thren, R.C.
 2004 “Reading Virginia’s paleoclimate from geochemistry and sedimentology of clastic cave sediments.” In Sasowsky, I.D., Mylroie, J. (eds.). **Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate**. Kluwer/Plenum. New York: pp. 95–106.

Kooistra, M.J., Kooistra, L.I.

- 2003 “Integrated research in archaeology using soil micromorphology and palynology.” **Catena** 54: 603–617.

Kourampas, Nikos, Simpson, Ian A., Perera, Nimal, Deraniyagala, Siran U., & Wijeyapala, W. H.

- 2009 “Rockshelter sedimentation in a dynamic tropical landscape: Late Pleistocene–Early Holocene archaeological deposits in Kitulgala Beli-lena, southwestern Sri Lanka.” **Geoarchaeology** 24: 677–714.

Larsen, C. S.

- 1997 **Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton**. Cambridge: Cambridge University Press.

Lertrit, P., Poolsuwan, S., Thosarat R., Sanpachudayan, T., Boonyarit, H., Chinpaisal, C. and Suktitipat, B.

- 2008 “Genetic History of Southeast Asian Populations as Revealed by Ancient and Modern Human Mitochondrial DNA Analysis.” **American Journal of Physical Anthropology** 137 (4): 425–440.

Leng, M.J. (ed)

- 2006 **Isotopes in palaeoenvironmental research**, vol. 10. Springer.

Li, Q., Liu, S., Su, B., Zhao, H., Fu, Q. and Dong, J.,

- 2013 “Characterization of some tin-contained ancient glass beads found in China by means of SEMS-EDS and Raman spectroscopy.” **Microscopy Research and Technique** 2013: 133–140.

Linderholm, J., Lundberg, E.

- 1994 “Chemical characterisation of various archaeological soil samples using main and trace elements determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.” **Journal of Archaeological Science** 21: 303–314.

Lukacs, J.R.

- 1989 “Dental Paleopathology : Method for Reconstructing Dietary Patterns.” In Iscan M.Y. & Kennedy K.A.R. (eds) **Reconstruction of Life from the Skeleton**. New York: Alan R.Liss, Inc.: pp. 261–286.

Maffie, L., et Rigai, D.

- 1968 Le karst de la Nam Lang. Expedition Thai-Maros 85. **Rapport Speleologique et Scientifique**. Toulouse, Association Pyreneenne de Speleologie: 38–50.

Majid, Z.

- 1982 “The West Mouth, Niah, in the Prehistory of Southwest Asia.” In **The Sarawak Museum Journal** 31 (52). Special Monograph No. 3.
- 1994 **The Excavation of Gua Gunning Runtuh and Discovery of the Perak Man in Malaysia**. Kuala Lumpur: Department of Museums and Antiquity Malaysia.

Marwick, M., Gagan, M.K.

- 2011 “Late Pleistocene monsoon variability in northwest Thailand: an oxygen isotope sequence from the bivalve *Margaritanopsis laosensis* excavated in Mae Hong Son province.” **Quaternary Science Reviews** 30: 3088-3098.

Maxwell

- 2001 “Holocene monsoon changes inferred from lake sediment pollen and carbonate records, northeastern Cambodia.” **Quaternary Research** 56: 590-600.

McConnell, A., Magee, J.W.

- 1993 “The contribution of microscopic analysis of archaeological sediments to the reconstruction of the human past in Australasia”. In **Archaeometry Current Australasian Research**. B. L.Fankhauser and J. R. Bird (eds). Canberra: Australian National University: pp. 131-140.

Muangsong, C., Pumijumong, N., Cai, B., and Tan, M.

- 2011 “Stalagmite grey level as a proxy of the palaeoclimate in northwestern Thailand.” **Science Asia** 37(3), 262-267, doi :10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.262.

Northup, D.E. and Lavoie, K.H.

- 2001 “Geomicrobiology of caves: A review.” **Geomicrobiology Journal** 18: 199–222.

Ortner, D.J. and Putschar, W.

- 1985 **Identification of Paleopathological Conditions in Human Skeletal Remains**. Washington, DC: Smithsonian Institution Press.

Penny, D.

- 1996 “Paleoenvironmental analysis of the Sakon Nakhon basin, northeast Thailand: palynological perspectives on climate change and human occupation.” **Bulletin of Indo-Pacific Prehistory Association** 18 (2): 139-148.

Phutong, P.

- 2008 **Mineralogy and isotopic geochemistry of stalagmites in Namjang cave, Pangmapha, Maehongson province, Thailand**. M.Sc. Thesis, Mahidol University.

Piga, G., Cubedo, A.S., Brunetti, A., Piccinini, M., Malgosa, A., Napolitano, E., Enzo, S.

- 2011 “A multi-technique approach by XRD, XRF, FT-IR to characterize the diagenesis of dinosaur bones from Spain.” **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 310: 92–107.

Plummer, C. and McGeary.

- 1991 **Physical geology**. 5th ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers.

Price, D. and Feinman, G.

- 1993 **Last Hunter-First Farmer**. Santa Fe: School of American Research Press.

Prinsloo, L.C., Tournié, A., and Colomban, P.

- 2011 “A Raman spectroscopic study of glass trade beads excavated at Mapungubwe hill and K2, two archaeological sites in southern Africa, raises questions about the last occupation date of the hill.” **Journal of Archaeological Science** 38 (12): 3264-3277.

Pollard, A.M. and C. Heron

- 1996 **Archaeological Chemistry**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.

Pureepatpong, N., Sangiampongsa, A., Lerdpipatworakul, T. and Sangvichien, S.

- 2012 “Stature Estimation of Modern Thais from Long Bones: A Cadaveric Study.” **Siriraj Medical Journal** Vol 64 (Supplement 1) Jan–Feb: 22-25.

Rapp G.

- 2009 **Archaeomineralogy**. 2nd ed. Springer-Verlag , Heidelberg: Mineralogical Association of Canada.

Read, H.H. and Watson, J.,

- 1970 **Introduction to geology**. 2nd ed.-Reprinted. London: Macmillan& Co.

Redman, C. L., James, S. R., Fish, P. R., Rogers, J.D.

- 2004 **The Archaeology of Global Change: The Impact of Humans on Their Environments**. Washington: Smithsonian.

Renfrew, C. and P. Bahn

- 2012 **Archaeology: Theories, Methods and Practice**. 6th Edition. London: Thames and Hudson.

Rigai, D. et Maffre, L.

- 1988 Le nord-ouest: provinces de Chiang Rai, Mae Hong Son et Lampang. Expedition Thai-Maros 87-88. **Rapport Speleologique et Scientifique**. Toulouse, Association Pyreneenne de Speleologie: 22-40.

Roberts, N.

- 1998 **The Holocene: An Environmental History**. n.p.

Roberts, C. and Manchester. K.

- 1995 **The Archaeology of Disease**. New York: Cornell University Press.

Robertshaw, P., Wood, M., Melchiorre, E., Popelka-Filcoff, R. S., Glascock, M. D.,

- 2010 “Southern African glass beads: chemistry, glass sources and patterns of trade.” **Journal of Archaeological Science** 37(8): 1898-1912.

Saminpanya, S., Duangkrayom, J., Jintasakul, P., Hanta, R.

- 2014 “Petrography, mineralogy and geochemistry of Cretaceous sediment samples from western Khorat Plateau, Thailand, and considerations on their provenance.” **Journal of Asian Earth Sciences** 83: 13–34.

Scarre, C. (ed.)

- 2005 **The Human Past: World Prehistory & Development of Human Societies.** London: Thames & Hudson.

Schaefer, M., Black, S., and Scheuer, L.

- 2009 **Juvenile Osteology: A Laboratory and Field Manual.** United States of America: Elsevier Inc.

Schiegl, S., Goldberg, P., Bar-Yosef, O., Weiner, S.

- 1996 "Ash Deposits in Hayonim and Kebara Caves, Israel: macroscopic, microscopic and mineralogical observations, and their archaeological implications." **Journal of Archaeological Science** 23: 763-781.

Shepard, F. P.

- 1954 "Nomenclature based on sand-silt-clay Ratios." **Journal of Sedimentary Petrology** 24: 151-158.

Shoocongdej R

- 2000 "Forager mobility organization in seasonal tropical environments of Western Thailand." **World archaeology** 32(1): 14-40.

Simpson, I.A., Barrett, J.H., Milek, K.B.

- 2005 "Interpreting the Viking Age to Medieval Period transition in Norse Orkney through Cultural Soil and Sediment Analyses." **Geoarchaeology: An International Journal** 20 (4): 355-377.

Sinopoli, C. M.

- 1991 **Approaches to Archaeological Ceramics.** New York: Plenum Press.

Sinsakul, S.

- 1992 "Evidence of Quaternary sea level changes in the coastal areas of Thailand: a review." **Journal of Southeast Asian Earth Science** 7 (1): 23-27.

Smart, D.

- 2005 **Caves of Khao Tham Erawan, Lopburi (รายงานการสำรวจถ้ำ ณ อุเขาถ้ำเอราวัณ).** Department of National Park Fauna and Flora Conservation (DNP). 24 pp.

Sone, M., Metcalfe, I.

- 2008 "Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny." **Geoscience** 340: 166-179.

Sørensen, P. and Hatting, T.

- 1967 **Archaeological excavations in Thailand : volume II Ban-Kao neolithic settlements with cemeteries in the Kanchanaburi province. Part one: the archaeological material from the burials.** Copenhagen: Munksgaard.

Stiner, M.C., Arsebük, G., & Howell, F.C.

- 1996 “Cave bears and Paleolithic artifacts in Yarimburgaz Cave, Turkey: Dissecting a palimpsest.” **Geoarchaeology** 11: 279–327.

Stott, A.W., Evershed, R. P., Jim, S., Jones, V., Rogers, J. M., Tuross, N. and Ambrose, S.

- 1999 “Cholesterol as a new source of palaeodietary information : Experimental approaches and archaeological applications.” **Journal of Archaeological Science** 26: 705-716.

Strahler, A. N.

- 1975 **Physical geography**. New York: Wiley.

Stuart-Macadam, P. L.

- 1989 “Nutritional Deficiency Diseases : A Survey of Scurvy, Rickets, and Iron-Deficiency Anemia.” In Iscan M.Y. & Kennedy K.A.R. (eds). **Reconstruction of Life from the Skeleton**. New York: Alan R.Liss, Inc.: pp. 201-222.
- 1992 “Anemia in past human populations.” In Stuart-Macadam, P. & S.K. Kent (eds.) **Diet, demography and disease. Changing perspectives on anemia**. Aldine De Gruyter: New York: pp.151-170.

Tebo, B.M., Ghiorse, W.C., van Waasbergen, L.G., Siering, P.L., and Caspi, R.

- 1997 “Bacterially mediated mineral formation: Insights into manganese (II) oxidation from molecular genetic and biochemical studies.” **Review of Mineralogy** 35: 225–266.

Thomson, G. R. and Turk, J.

- 2005 **Earth science and the environment**. 3rd ed. Belmont: Thomsom, Brook/Cole.

Thornbury, W. D.

1969. **Principles of geomorphology**. New York: Wiley.

Treerayapiwat, C.

- 2005 “Pattern of the Habitation and Burial Activity in the Ban Rai Rockshelter, Northwest Thailand.” **Asian Perspectives** 44: 231-45.

Trikanchanawattana, C.

- 2005 **Palynological Study at Ban Tham Lod and Ban Rai in Pang Ma Pha District, Mae Hong Son Province, Northern Thailand**. MS.c Thesis in Graduate School, Mahidol University Thailand.

Verstappen, H. T.

- 1980 “Quaternary climatic changes and natural environment in southeast Asia.” **Geo Journal** 4 (1): 45–54.

Weerd, J. van der, Smith, G. D., Firth, S., Clark, R. J. H.

- 2004 “Identification of black pigments on prehistoric Southwest American potsherds by infrared and Raman microscopy.” **Journal of Archaeological Science** 31: 1429-1437.

White, W. B.

- 2007 “Cave sediments and paleoclimate.” **Journal of cave and karst studies** 69 (1): 76–93

White, W. B., Culver, D. C.

- 2012 **Cave, definition of Encyclopedia of Caves:** pp. 103-107.

Whitten, D. G. A., Brooks, J. R. V.

- 1977 **The penguin dictionary of geology.** Harmondsworth: Penguin Books Ltd.

Williams, P. W.

- 1993 “Environmental change and human impact on karst terrains: an introduction. In P. Williams (ed.) **Karst Terrains: Environmental Changes and Human Impact.**” **Catena Supplement** 25: 1-20.

Wislon, R. C. L.

- 2004 **The Great Ice Age: Climate Change and Life.** London and New York: Routledge.

Woodward J. C., Goldberg P.

- 2001 “The Sedimentary Records in Mediterranean Rockshelters and Caves: Archives of Environmental Change.” **GeoarchaeologyAn International Journal** 16: 327-354.

Yen, D.

- 1977 “The Hoabinhian horticulture?: the evidence and the questions from northwest Thailand.” In **Sunda and Sahul**, edited by J. Allen, J. Golson, and R. Jones. (eds.) London: Academic Press: pp. 567-599.

เว็บไซต์

กรมทรัพยากรธรณี, 2556. Google Map data. จาก <http://wms2.dmr.go.th/kml.html> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 28 กรกฎาคม 2557.

ชะเอม อนิสดา. ประวัติศาสตร์การเกิดแผ่นดินไหวในไทย. จาก <http://blog.eduzones.com/anisada/80016> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 21 มิถุนายน 2557.

Google Earth, 2013, version 7.1.2.2041. From <http://dl.google.com/earth/client/current/GoogleEarthWin.exe>. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 28 กรกฎาคม 2557.

Google Map data , 2013, Available at:<http://wms2.dmr.go.th/kml.html>. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 5 พฤศจิกายน 2558.

แผนที่

กรมแผนที่ทหาร

2542 แผนที่ภูมิประเทศ (ดอยผกูด). พิมพ์ครั้งที่ 2. RTSD ลำดับชุด L7018 ระวัง 4648 II มาตรฐาน 1:50,000.

กรมทรัพยากรธรณี

2550 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย (ดอยผกูด). ลำดับชุด L7017 ระวัง 4648 II มาตรฐาน 1:50,000.

ภาคผนวก

ตารางธรณีกาล

ภาคผนวก

ตารางธรณีกาล

บรมยุค (eon)	มหายุค (era)	ยุค (period)	สมัย (epoch)	เวลา (หน่วยเป็นล้านปี)
ฟานาโรโซอิก (Phanerozoic)	ซีโนโซอิก (Cenozoic)	ควอเทอร์นารี (Quaternary)	โฮโลซีน/ยุคปัจจุบัน (Holocene/Recent)	๐.๐๑
			ไพลสโตซีน (Pleistocene)	๑.๖
		เทอร์เชียรี (Tertiary)	พาลีโอซีน (Pliocene)	๕.๓
			ไมโอซีน (Miocene)	๒๓.๗
			โอลิโกซีน (Oligocene)	๓๖.๖
			อีโอซีน (Eocene)	๕๗.๘
			พาลีโอซีน (Paleocene)	๖๖.๔
	มีโซโซอิก (Mesozoic)	ครีเทเชียส (Cretaceous)		๑๔๐
		จูแรสซิก (Jurassic)		๒๑๐
		ไทรแอสซิก (Triassic)		๒๔๕
	พาลีโอโซอิก (Paleozoic)	เพอร์เมียน (Permian)		๒๘๖
		คาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous)		๓๖๐
		ดีโวเนียน (Devonian)		๔๐๘
		ซิลูเรียน (Silurian)		๔๓๘
		ออริโดวิเซียน (Ordovician)		๕๐๕
		แคมเบรียน (Cambrian)		๕๗๐
โพรเทโรโซอิก (Proterozoic)	ปลาย	แอลกองเกียน (Algonkian)	Late	๕๐๐
	กลาง			๑,๖๐๐
	ต้น		Early	๒,๕๐๐
คริปโตโซอิก (Cryptozoic)			อาร์เคียน (Archaean) (Archaean) (Azoic)	๔,๐๐๐*
Priscoonian				๔,๗๐๐
พรีสโคเนียน				๔,๗๐๐

ที่มา USGS (๑๙๘๕)

* Elsevier Science (๑๙๘๕)

ที่มา: ราชบัณฑิตยสถาน, 2544: 162