Part I

ข้อมูลประเภทของถ้ำในประเทศไทย

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัฆพรรค์ วรรณโกมล
อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ Part I

เนื้อหา **หน้า**

1. บทนำ: ความหมายของถ้ำ....3
2. การแบ่งประเภทถ้ำ (Classification of Caves)....3
3. กำเนิดถ้ำหินปูน และภูมิประเทศแบบคาสต์ในประเทศไทย....5
4. การสำรวจถ้ำในเมืองไทย....9
5. การสำรวจเพื่อทำผังถ้ำ....11
6. การกำหนดตำแหน่งพิกัดในการสำรวจถ้ำ....11
7. ถ้ำในประเทศไทยที่มีความยาวมากที่สุดใน 10 ลำดับแรก....12
8. ถ้ำเป้าหมายที่จะใช้เป็นสถานที่ทำการทดลอง....12
9. การลดทอนพลังงานของคลื่นในหิน....14
10. ค่าความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของตัวอย่างหินทรายและตัวอย่างหินปูนจากบริเวณถ้ำที่ศึกษา....16
11. เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม....18

ข้อมูลประเภทของถ้ำในประเทศไทย

1. บทนำ: ความหมายของถ้ำ

ชัยพร ศิริพรไพบูลย์ [1] ได้นำเสนอการให้ความหมายหรือคำจำกัดความของถ้ำไว้เป็นสองแบบดังนี้

1) ความหมายเชิงวิทยาศาสตร์คำว่า “ถ้ำ” คือ “ช่องว่างหรือโพรงในหิน” ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นท่อทางเดินของน้ำระหว่างทางน้ำเข้า (Stream sinks) และทางน้ำออก เช่น น้ำพุ (Springs) หรือ น้ำซับ (Seeps) ซึ่งท่อเหล่านี้จะมีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 - 15 มิลลิเมตร จนกระทั่งมีขนาดใหญ่มากถึง 30 เมตร ซึ่งในกรณีที่ท่อมีขนาดใหญ่นั้นจะทำให้เกิดกระแสการไหลของน้ำเป็นแบบไหลปั่นป่วนหรือไหลเชี่ยว (Turbulent flow) ซึ่งจะมีผลในการละลายของเนื้อหินและการพัดพาตะกอนในถ้ำได้ ช่องว่างต่างๆ ที่เกิดจากการละลายนั้น ถ้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร แต่มีช่องทางเชื่อมต่อกันระหว่างทางน้ำเข้าและทางน้ำออกนั้นจะเรียกว่า “ถ้ำต้นแบบ” (Protocaves) ซึ่งท่อเหล่านี้จะเป็นส่วนสำคัญในระบบการเกิดถ้ำและจะเป็นทางที่น้ำบาดาลไหลผ่าน และในบริเวณทางน้ำออกมักจะมีโพรงที่เกิดจากการผุพัง ซึ่งต่อมาในภายหลังมักจะมีขนาดใหญ่จนเป็นใช้เป็นที่อยู่อาศัยได้

2) ความหมายที่ไม่ใช่เชิงวิทยาศาสตร์คำว่า “ถ้ำ” จะหมายถึง ช่องว่างที่เกิดตามธรรมชาติในหินที่มีขนาดที่คนจะเข้าไปได้ ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นถ้ำที่มนุษย์สามารถเข้าไปสำรวจศึกษาและทำแผนที่ได้ ถ้ำที่มีการศึกษากันส่วนใหญ่แล้วจะเป็นถ้ำที่เกิดในหินปูนและหินชนิดอื่นที่เป็นหินคาร์บอเนต (Carbonate rocks) เช่น หินโดโลไมต์ และหินอ่อน เพราะมีจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วโลก จะมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับถ้ำที่เกิดในหินชนิดอื่น

ส่วนความหมายของถ้ำตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.2525 นั้น คำว่า “ถ้ำ” หมายถึง “โพรงที่ลึกเข้าในภูเขา”

ในขณะที่คำว่า “ถ้ำ” ตามพจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ (อังกฤษ-ไทย) ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2518 ได้ให้ความหมายไว้ว่าเป็น “ช่องหรือโพรงลึกเข้าไปในแผ่นดิน” โดยมากมีอยู่ตามภูเขาที่มีน้ำใต้ดินไหลผ่านกัดเซาะ หรือ ถ้ำที่เกิดขึ้นตามชายฝั่งทะเล

2. การแบ่งประเภทถ้ำ (Classification of Caves)

ในกรณีของการแบ่งประเภทของถ้ำนั้น ชัยพร ศิริพรไพบูลย์ [1] ได้ให้ความเห็นว่าการแบ่งประเภทถ้ำมีการแบ่งอยู่หลายวิธี เช่น

1) แบ่งโดยใช้ชนิดของหิน (Rock type) เช่น ถ้ำหินปูน (หินปูน หินโดโลไมท์ หินอ่อน) ถ้ำยิบซั่ม (Gypsum caves) และ ถ้ำลาวา (Lava caves) เป็นต้น

2) แบ่งโดยลักษณะสัณฐานของถ้ำ (Morphology of the cave) และรูปทรงโครงสร้างทางเรขาคณิต (Geometric structure) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น

ก. ถ้ำแนวระนาบ (Horizontal caves) ประกอบด้วยโถงถ้ำต่าง ๆ ที่วางตัวอยู่ในแนวระนาบหรือใกล้เคียง เช่น ถ้ำรอยแยก (Fissure caves) ที่เกิดจากรอยแยกของหิน

ข. ถ้ำแนวตั้ง (Vertical caves) ประกอบด้วยปล่องถ้ำหรือโพรงถ้ำที่อยู่ในแนวดิ่ง

ค. ระบบถ้ำ (Cave systems) มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ประกอบด้วยโครงสร้างลักษณะต่าง ๆ หลายอย่าง

3) แบ่งโดยใช้ช่วงเวลาของการเกิดหิน ประกอบด้วย

ก. ถ้ำปฐมภูมิ (Primary caves) เป็นถ้ำที่เกิดในขณะที่มีการเกิดหินชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะช่องอุโมงค์ของลาวา (Lava tubes) หรือ โพรงที่เกิดจากฟองก๊าซ (Gas bubbles) หรือ ถ้ำที่เกิดจากหินทูฟา (Tufa caves)

ข. ถ้ำทุติยภูมิ (Secondary caves) เป็นถ้ำที่เกิดขึ้นภายหลังที่หินชนิดต่างๆ ได้กำเนิดขึ้นแล้ว ต่อมาเนื้อหินบางส่วนได้สลายหรือเคลื่อนตัวออกไปจนเกิดเป็นโพรงจนกลายเป็นถ้ำขึ้นในภายหลัง ซึ่งถ้ำส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นถ้ำประเภทนี้

ค. ถ้ำตติยภูมิ (Tertiary caves) เป็นถ้ำที่เกิดจากการถล่มของถ้ำอื่นๆ

4) แบ่งตามลักษณะการเกิด ได้แก่

ก. ถ้ำที่เกิดจากการละลาย (Solutional caves or Karst caves) ถ้ำส่วนใหญ่มักจะอยู่ในหินต่างๆ ที่สามารถละลายน้ำที่เป็นกรดตามธรรมชาติ เช่น น้ำฝน ยกเว้นถ้ำยิปซั่มที่สามารถละลายในน้ำทั่วไปได้

ข. ถ้ำลาวา (Lava cave) เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟที่พ่นธารลาวา (Lava flow) ออกมา และเนื่องจากส่วนบนและส่วนล่างของธารลาวานั้นสัมผัสกับอากาศและพื้นดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีการถ่ายทอดความร้อนให้สิ่งรอบข้างได้ง่ายกว่า จึงเย็นตัวเร็วกว่าส่วนกลางของลาวา ทำให้ด้านบนและด้านล่างของธารลาวาแข็งตัวกลายเป็นหินก่อน ในขณะที่ส่วนกลางหรือส่วนในนั้นยังมีความร้อนสูงกว่าและยังมีสภาพเป็นของเหลวที่มีก๊าซบางชนิดออกมาด้วย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ฯลฯ จึงไหลสู่ที่ต่ำต่อไป ทำให้บางส่วนของธารลาวาเกิดเป็นโพรงหรือช่องว่างตรงกลางของธารลาวาขึ้นและมักมีรูปร่างคล้ายอุโมงค์ซึ่งมีผนังค่อนข้างเรียบและกลายเป็นโพรงถ้ำขึ้นในที่สุด ปัจจุบันถ้ำเหล่านี้พบมากในบริเวณหมู่เกาะฮาวาย แต่ถ้ำชนิดนี้มีความคงทนน้อยเพราะส่วนใหญ่จะมีหลังคาถ้ำบาง จึงผุและพังทลายลงมาได้ง่ายกว่าถ้ำหินปูน ถ้ำลาวามักเป็นถ้ำที่มีอายุไม่มากและมักไม่ค่อยมีหินย้อย หินงอก ยกเว้นบริเวณหลังคาถ้ำซึ่งมีสารละลายจากภายนอกไหลซึมเข้ามาในถ้ำ ซึ่งนายชัยพร ศิริพรไพบูลย์ (2554) ได้ให้ความเห็นว่าในประเทศไทยนั้นในอดีตมีภูเขาไฟหลายยุคและมีความเก่าแก่หลายล้านปี แต่ภูเขาไฟหินบะซอลต์ที่พบเห็นในปัจจุบันจะเป็นภูเขาไฟที่มีอายุน้อย ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงประมาณช่วงปลายยุคเทอเทียรี่ถึงควอเทอนารี่ (Tertiary-Quaternary) หรือประมาณ 12 -3 ล้านปีมาแล้ว ซึ่งในอดีตคาดว่าอาจจะมีถ้ำประเภทนี้อยู่บ้างแต่ได้ผุพังหมดไปนานแล้ว จึงไม่สามารถพบเห็นได้ในปัจจุบัน

ค. ถ้ำทูฟา (Tufa caves) ทูฟานั้นเป็นหินที่เกิดจากการตกตะกอนทางเคมีของน้ำที่มีสารหินปูน ($CaCO_3$) ละลายอยู่สูง มักพบในบริเวณน้ำพุร้อนและน้ำพุเย็น หรือในบริเวณอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นของสารหินปูน เช่น บริเวณชายฝั่งทะเล ทะเลสาบ หรือลำห้วยบางแห่ง

ง. ถ้ำทะเล (Sea caves) เกิดจากพลังงานจากคลื่นที่กระแทกเข้ากับชายฝั่งทะเล (หรือริมทะเลสาบขนาดใหญ่) ที่เป็นหน้าผาหินเป็นเวลานาน จนทำให้ส่วนที่อ่อนหรือแตกหักง่ายของหินนั้นพังทลายลงมาจนเกิดเป็นโพรง ถ้ำประเภทนี้ส่วนใหญ่มีความยาวไม่มากนักเมื่อเทียบกับถ้ำในหินปูนบางแห่งจะทำให้เกิดเป็นสะพานธรรมชาติได้

จ. ถ้ำกองหินถล่ม (Talus caves) เกิดจากหินหล่นหรือหินถล่มจากหน้าผามากองรวมกันแล้วเกิดช่องว่างขนาดต่างๆ ขึ้นภายในกองหินถล่มนี้ ถ้ำประเภทนี้จะมีความยาวไม่มาก

ฉ. ถ้ำที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Earthquake cave) เป็นถ้ำที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของหินตามรอยเลื่อนจึงเกิดเป็นรอยแตกขึ้นตามธรรมชาติ ถ้ำประเภทนี้ส่วนมากมีขนาดเล็กและแคบ

ช. ถ้ำธารน้ำแข็ง (Glacier caves) เกิดจากการละลายของธารน้ำแข็ง (Glacier) จนเป็นโพรงหรือโถงถ้ำอยู่ข้างใน ส่วนที่เป็นถ้ำน้ำแข็ง (Ice cave) ที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวทั่วๆ ไปนั้น ส่วนใหญ่มักจะเป็นถ้ำในหินแข็งเช่นถ้ำที่เกิดจากการละลายหรือถ้ำลาวา แต่จะพบอยู่ในบริเวณที่มีอากาศเย็นจัดตลอดปีจึงทำให้เกิดน้ำแข็งขึ้นภายใน สำหรับถ้ำประเภทนี้ไม่มีประเทศไทย

ซ. ถ้ำดิน (Soil tubes) มักเป็นถ้ำที่เกิดในทะเลทรายเมื่อเกิดน้ำป่าไหลหลากในฤดูฝนจนทำให้ดินบางส่วนถูกน้ำพัดพาออกไปทำให้เกิดเป็นโพรงในดินขึ้น

5) แบ่งตามอายุของหิน (The age of the rock)

กรณีนี้จะมีประโยชน์ต่อการศึกษาเรื่องถ้ำที่เกิดขึ้นในหินปูน เพราะเป็นหินที่เกิดขึ้นหลายยุค เช่น หินปูนยุคปัจจุบัน (Recent limestone or tufa) ที่พบได้ทั่วโลก หินปูนยุคไตรแอสสิก (Triassic limestone) หินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian limestone) และหินปูนยุคออร์โดวิเชี่ยน (Ordovician limestone) เป็นต้น

3. กำเนิดถ้ำหินปูน และภูมิประเทศแบบคาสต์ในประเทศไทย

จากลักษณะทางธรณีวิทยาพบว่าในทุกๆ ภาคของประเทศไทยนั้นจะมีพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาที่เป็นหินปูนครอบคลุมอยู่เป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 1 หินปูนที่ปรากฏอยู่นั้นจะเป็นหินปูนที่เกิดในยุคต่างๆ เช่น ยุคโอโดวิเชี่ยน (Ordovician) ยุคคาร์บอนิเฟอร์รัส (Carboniferous) ยุคเปอร์เมียน (Permian) ยุคเปอร์โม-ไทรแอสสิก (Permo-Triassic) และ ยุคไทรแอสสิก (Triassic) พื้นที่ดังกล่าวมักจะมีภูมิประเทศที่เป็นเทือกเขาสูงและมักมีรูปร่างแปลกประหลาด ส่วนใหญ่แล้วจะมีความสูงไม่เกิน 1,300 เมตร ยกเว้นบริเวณดอยเชียงดาวซึ่งจะมีความสูงถึง 2,200 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และในบริเวณนั้นมักจะปรากฏว่ามีถ้ำอยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับถ้ำหินปูน (Limestone cave) ถือได้ว่าเป็นถ้ำที่มีความโดดเด่นมากที่สุด เพราะหินปูนเป็นหินที่มีจำนวนมากสามารถพบได้ทั่วโลกรวมทั้งทั่วทุกภาคของประเทศไทย

หินปูนมีคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการเกิดถ้ำมากกว่าหินชนิดอื่นๆ เพราะว่าปัจจัยทางธรณีวิทยาที่มีส่วนสำคัญในการกำหนดลักษณะถ้ำหินปูน คือ 1) เนื้อหิน 2) โครงสร้างทางธรณีวิทยา และ 3) ลำดับชั้นหิน ตลอดจนลักษณะหินชนิดอื่นในบริเวณข้างเคียง ทั้งนี้เพราะเนื้อหินของหินปูนที่มีแร่ประกอบหินหลักคือแร่แคลไซต์ ($CaCO_3$) ที่ละลายน้ำได้ โครงสร้างทางธรณีที่เหมาะสม เช่น ความหนา การวางตัวของชั้นหิน และการกระจายตัว มีความแข็งปานกลาง ฯลฯ จึงทำให้เกิดเป็นถ้ำได้หลากหลายแบบ ถ้ำหินปูนมักมีอายุยาวนานกว่าถ้ำชนิดอื่นๆ ทั่วไป ยิ่งไปกว่านั้นเนื้อหินปูนที่ถูกละลายออกไปแล้วนั้นยังสามารถตกตะกอน

กลับมาเป็นแร่แคลไซต์ในรูปแบบใหม่ได้อีกหลายชนิด เช่น หินงอก หินย้อย และประติมากรรมถ้ำต่างๆ ที่สวยงามอย่างน่าอัศจรรย์ ซึ่งในรายงานของชัยพร ศิริพรไพบูลย์ [1] ได้ให้ข้อมูลว่าสำหรับในประเทศไทยนั้นมีถ้ำหินปูนจำนวนมากมายไม่ต่ำกว่า 2,000 ถ้ำ

การเกิดถ้ำในหินปูนที่เกิดจากการละลายโดยน้ำนั้นสามารถที่จะแสดงได้ด้วยสมการทางเคมีดังนี้ คือ น้ำ ฝน (H_2O) ที่ตกลงมาได้รวมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะละลายในน้ำและกลายเป็นกรดคาร์บอนิคอ่อนๆ ได้ ดังสมการที่ (1)

$$2(H_2O) + 2(CO_2) \rightleftharpoons 2(H_2CO_3)\ \text{Carbonic Acid} \qquad (1)$$

ซึ่งจะแตกตัวต่อไปอีกเป็นไอออนอิสระ ดังสมการที่ (2)

$$2(H_2CO_3) \rightleftharpoons 2(H^+) + 2(HCO_3)\ \text{Bicarbonate ions} \qquad (2)$$

เมื่อกรดคาร์บอนิคซึมผ่านเนื้อหินปูน (Ca_2CO_3) ก็จะเกิดการละลาย ก่อให้เกิดเกลือแคลเซียมไบคาร์บอเนต ซึ่งละลายน้ำได้ง่ายดังสมการที่ (3)

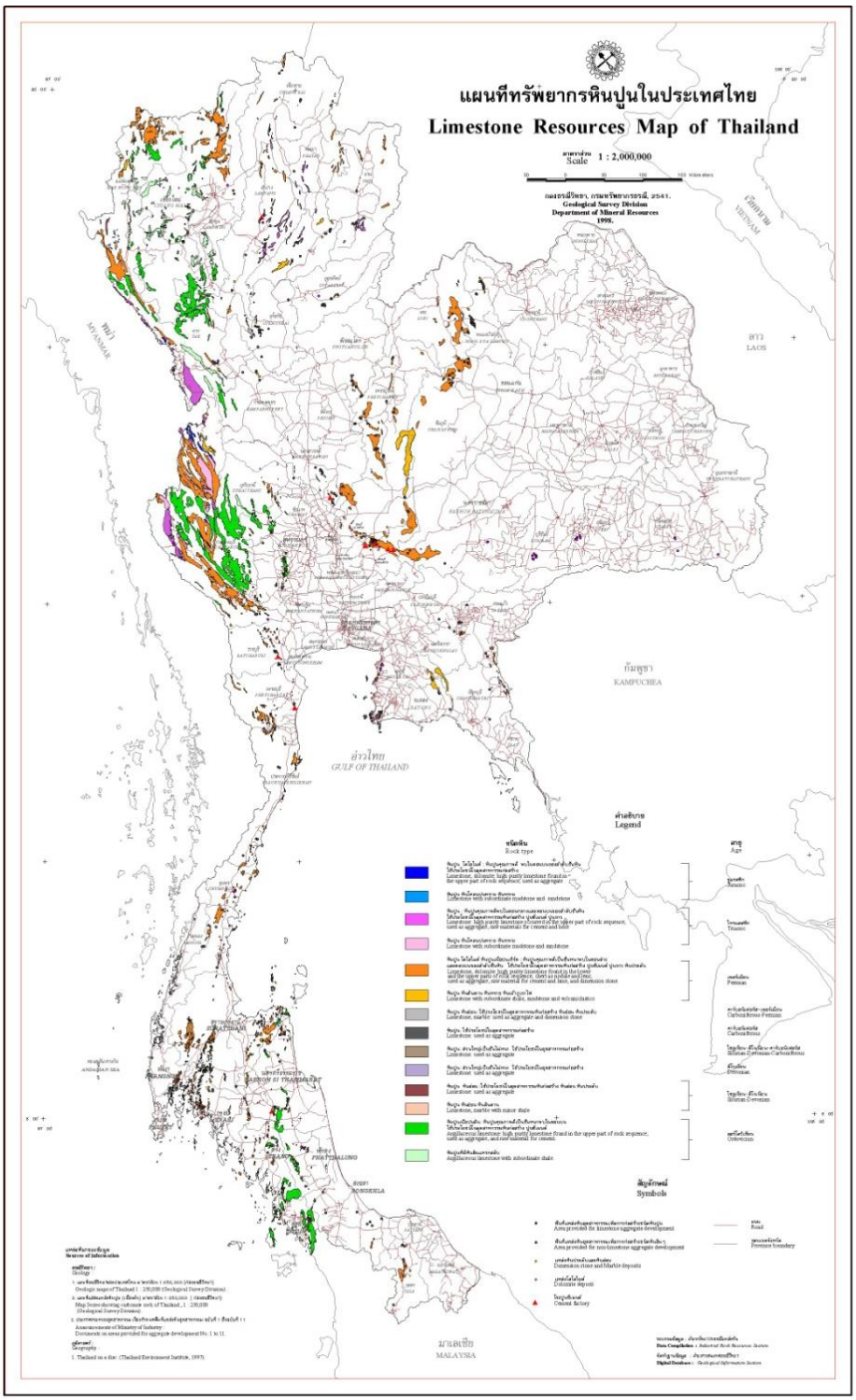
$$2(H^+) + 2(HCO_3) + CaCO_3 \rightleftharpoons H_20 + CO_2 + Ca^{2+} + 2(HCO_3) \qquad (3)$$

[น้ำ + หินปูน] [เกิดการละลาย]

สารละลายแคลเซียมไบคาร์บอเนตนี้เมื่อน้ำระเหยออกไปและคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตตกตะกอนได้อีกกลายเป็นหินงอก หินย้อย ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับในสมการที่ (3)

การเกิดถ้ำในหินปูนนั้นจะเริ่มต้นจากน้ำฝนและน้ำผิวดินที่ละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศและในชั้นดินจนกลายเป็นกรดคาร์บอนิค ซึ่งเป็นกรดอ่อนๆ แล้วไหลแทรกซึมเข้าไปตามรอยแตกหรือช่องว่างต่างๆ ในชั้นหินปูน และจะทำให้เกิดการละลายของแร่แคลไซต์ ($CaCO_3$) ที่เป็นองค์ประกอบหลักของหินปูนได้ เมื่อเวลาผ่านไปมากเพียงพอช่องว่างเหล่านั้นก็จะถูกละลายมากขึ้นและขยายจนเป็นโพรงขนาดใหญ่ และโพรงประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นใต้ระดับน้ำ ซึ่งจะเรียกโพรงประเภทนี้ว่า “โถงน้ำ” (Phreatic tube หรือ Solution channels) ต่อมาเมื่อแม่น้ำหรือลำธารต่างๆ ได้กัดเซาะพื้นท้องน้ำให้ลึกลงไปเรื่อยๆ จึงเป็นผลให้ระดับน้ำในโถงถ้ำลดลงตามไปด้วย ถ้ำดังกล่าวจึงโผล่ขึ้นมาอยู่เหนือระดับน้ำ จากนั้นจะมีอากาศเข้ามาแทนที่และถ้ำโถงน้ำต่างๆ ที่แห้งลงนั้นยังคงมีน้ำจากหลังคาถ้ำหรือผนังถ้ำไหลซึมเข้ามาในโถงถ้ำอีกก็จะทำให้เกิดหินงอก หินย้อย ขึ้นมาได้

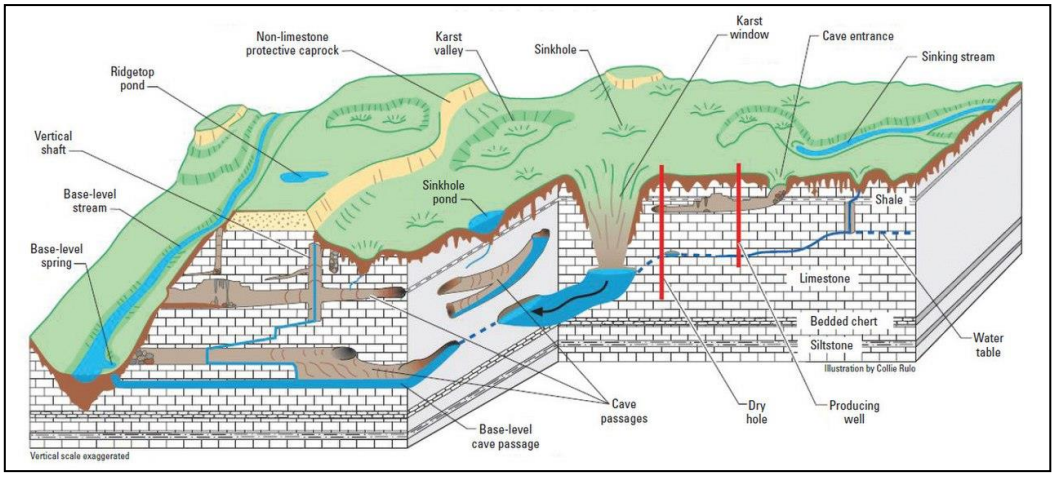
เมื่อระบบของโถงถ้ำได้มีพัฒนาการต่อไปเรื่อยๆ โดยที่ยังคงมีการลดระดับของพื้นธารน้ำอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดโถงถ้ำในระดับลึกลงไปอีก โถงถ้ำต่างๆ จะถูกละลายและถูกกัดกร่อนมากขึ้นจนกลายเป็นถ้ำขนาดใหญ่และเมื่อถึงจุดๆ หนึ่งจะเกิดการยุบตัวและถล่มลงมา ทำให้เห็นเป็นภูมิประเทศที่มีลักษณะตะปุ่มตะปั่ม มีหน้าผาหินปูนที่สูงชันสลับกับแอ่งหลุมยุบที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆ กัน ซึ่งลักษณะของพื้นที่ประเภทนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “ภูมิประเทศแบบคาสต์” (Karst topography) ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 1 แผนที่แสดงทรัพยากรหินปูนในประเทศไทย (คัดลอกและดัดแปลงจาก กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2541) [2]

เมื่อระบบของโถงถ้ำได้มีพัฒนาการต่อไปเรื่อยๆ โดยที่ยังคงมีการลดระดับของพื้นธารน้ำอย่างต่อเนื่องก็จะทำให้เกิดโถงถ้ำในระดับลึกลงไปอีก โถงถ้ำต่างๆ จะถูกละลายและถูกกัดกร่อนมากขึ้นจนกลายเป็นถ้ำขนาดใหญ่ และเมื่อถึงจุดๆ หนึ่งจะเกิดการยุบตัวและถล่มลงมา ทำให้เห็นเป็นภูมิประเทศที่มี

ลักษณะตะปุ่มตะปั่ม มีหน้าผาหินปูนที่สูงชันสลับกับแอ่งหลุมยุบที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆ กัน ซึ่งลักษณะของพื้นที่ประเภทนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “ภูมิประเทศแบบคาสต์” (Karst topography) ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของภูมิประเทศแบบคาสต์ (Karst topography) ระบบการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน การละลายและการเกิดโพรงถ้ำใต้ดินภายในหินปูน (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/4/40/KarstterrainUSGS.jpg/1280px-KarstterrainUSGS.jpg?1578027065408)

รูปที่ 3 สภาพภูมิประเทศแบบคาสต์ ที่เมืองโคตาบารู (Kotabaru) ประเทศอินโดนีเซีย (https://bombasticborneo.com/wp-content/uploads/2017/07/Karst-Topography-Kotabaru-Indonesia-Borneo-Tourist-Attraction.jpg)

4. การสำรวจถ้ำในเมืองไทย

ชัยพร ศิริพรไพบูลย์ (2554) ได้รวบรวมประวัติการสำรวจถ้ำในประเทศไทยไว้ดังนี้ว่าการสำรวจถ้ำที่เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยอย่างเป็นทางการครั้งแรกนั้นยังไม่มีความชัดเจนนัก แต่มีหลักฐานการสำรวจทางด้านโบราณคดี โดย Lamb ในปี พ.ศ. 2508 และ Gorman ในปี พ.ศ. 2512- 2515 และมีรายงานเกี่ยวกับภูมิประเทศแบบคาสต์ (Karst topography) หรือภูมิประเทศแบบหินปูนที่มีถ้ำ ได้เริ่มมาปรากฏในช่วงปี พ.ศ. 2516 เป็นต้นมา เช่น Troll ในปี พ.ศ. 2516 และในช่วงเวลาดังกล่าวได้มีการสำรวจเพื่อศึกษาเรื่องถ้ำทั่วประเทศไทยอย่างจริงจัง โดย Heinrich Kush ในช่วงปี พ.ศ. 2518 - 2521

ต่อมาในปี พ.ศ. 2524 คณะสำรวจถ้ำชาวฝรั่งเศสจากสมาคมการสำรวจถ้ำได้เข้ามาทำการสำรวจและทำแผนที่ถ้ำที่สำคัญในบริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทยในจังหวัดเชียงใหม่และลำปาง (Deharveng and Gouze, 1981) และตามด้วยการสำรวจถ้ำครั้งใหญ่ในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2528-2531 โดย Association Pyreneene de Speleology ในปี พ.ศ. 2529-2531 ซึ่งเป็นการสำรวจโดยวิธีทางวิทยาศาสตร์ในด้านการวิจัยทางชีววิทยาและอุทกวิทยา ซึ่งส่วนใหญ่จะเน้นในพื้นที่บริเวณทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือและบางส่วนบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย

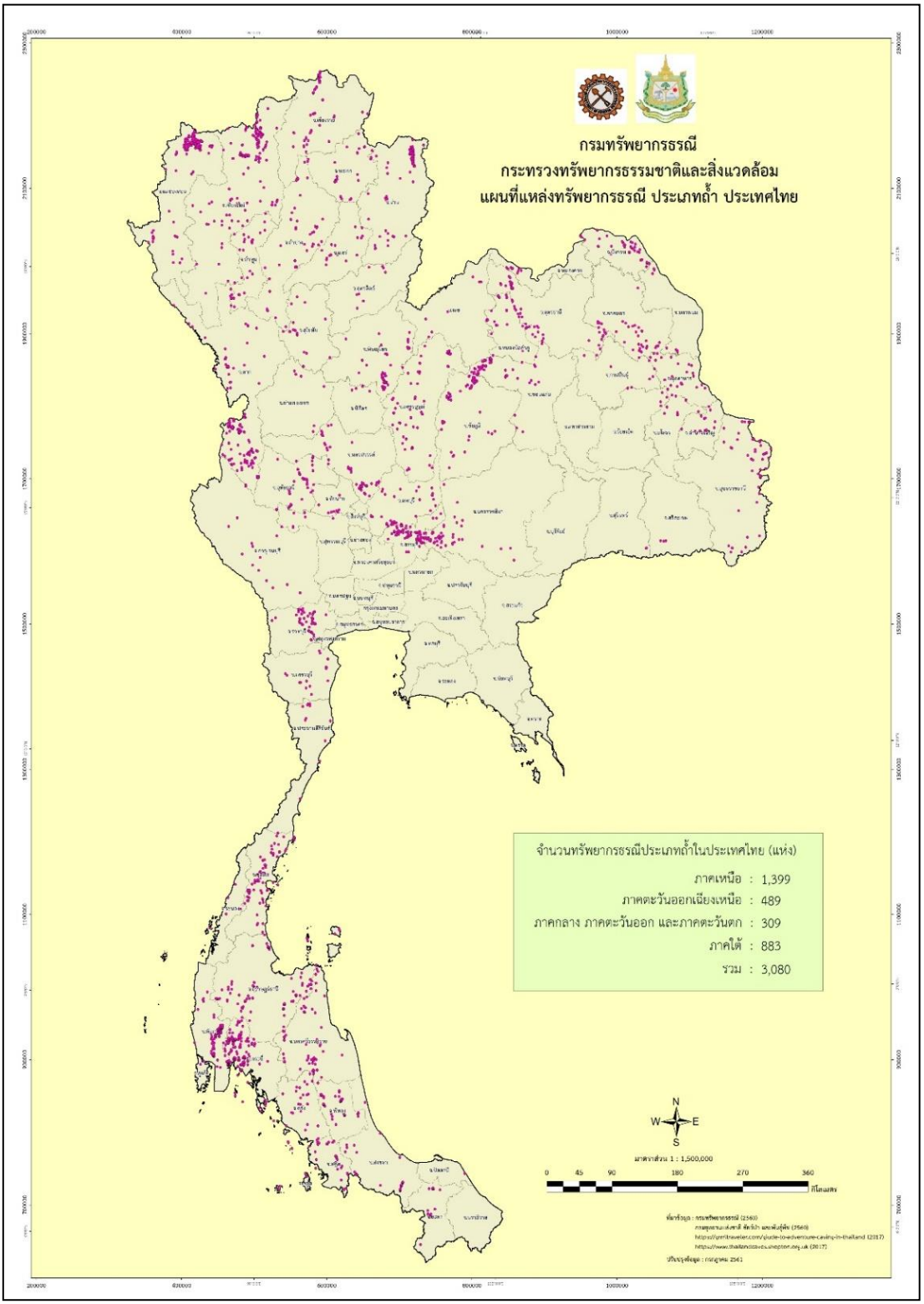
การสำรวจถ้ำที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งได้มีการดำเนินการโดยนักสำรวจถ้ำชาวออสเตรเลียหลายคน เริ่มด้วย John Spies ซึ่งได้เข้ามาสำรวจถ้ำในเชิงการค้นหาและเพื่อการผจญภัย แต่ยังไม่เน้นการสำรวจในเชิงวิทยาศาสตร์ในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนเมื่อประมาณ 30 ปี มาแล้ว อย่างไรก็ตาม John Spies ก็ได้ให้การช่วยเหลือกลุ่มนักสำรวจทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ที่เข้ามาภายหลังจนกระทั่งถึงปัจจุบัน เช่น นักสำรวจถ้ำชาวออสเตรเลีย John Dunkley และคณะได้เข้ามาสำรวจในจังหวัดแม่ฮ่องสอนในปี พ.ศ. 2526 และช่วงปี พ.ศ. 2528-2529 และนอกเหนือจากการสำรวจแล้ว John Dunkley ยังได้วิจัยและรวบรวมเอกสารตลอดจนข้อมูลเรื่องถ้ำในประเทศไทยจากแหล่งอื่น ๆ ทั้งในและนอกประเทศและได้จัดพิมพ์เป็นเอกสารสองฉบับในปี พ.ศ. 2537 และ 2538 ตามลำดับ ส่วนในระยะประมาณ 10 ปี ที่ผ่านมา Dean Smart ชาวอังกฤษได้เข้ามาสำรวจถ้ำหลายแห่งในประเทศไทยและช่วยงานด้านวิชาการเรื่องถ้ำให้กับกรมป่าไม้ในบางโครงการ

จะเห็นได้ว่าการศึกษาเรื่องถ้ำในประเทศไทยที่ผ่านมานั้นดำเนินการโดยชาวต่างชาติเป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับการสำรวจถ้ำในเชิงวิทยาศาสตร์โดยคนไทยนั้นเพิ่งเริ่มต้นมาประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา โดยเป็นความสนใจเฉพาะบุคคลบางกลุ่มเท่านั้น

ผลจากการสำรวจในภาพรวมนั้นในประเทศไทยพบถ้ำกระจายตัวอยู่ทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยจากรายงานของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้รายงานว่าจนถึงปี พ.ศ. 2561 มีถ้ำที่สำรวจพบในประเทศไทยทั้งสิ้น 3,030 ถ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยพบถ้ำในภาคเหนือมากที่สุด 1,399 ถ้ำ (คิดเป็นร้อยละ 46.2) มีถ้ำในภาคใต้จำนวน 833 ถ้ำ (คิดเป็นร้อยละ 27.5) มีถ้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 489 ถ้ำ คิดเป็นร้อยละ 16.1) และถ้ำที่เหลือมีการกระจายตัวอยู่ในภาคตะวันตก ภาคตะวันออกและภาคกลาง รวมกันอีกจำนวน 309 ถ้ำ (คิดเป็นร้อยละ 10.2) ตามลำดับ

โดยถ้ำชนิดที่เกิดจากการละลายของหินปูน (Limestone cave) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดและเป็นถ้ำที่มีขนาดใหญ่และมีความยาวมาก เช่น ถ้ำพระวังแดง จ.พิษณุโลก ซึ่งเป็นถ้ำที่มีความยาวมากที่สุดในประเทศไทย (ยาว 13,761 เมตร) ถ้ำแม่ละนา จ.แม่ฮ่องสอน ถ้ำหลวงขุนน้ำนางนอน จ.เชียงราย เป็นต้น รองลงมาได้แก่ ถ้ำชนิดที่เกิดในหินทราย (Sandstone cave) เช่น ถ้ำมืดหรือถ้ำปาฏิหาริย์ จ.อุบลราชธานี ส่วนถ้ำทะเล

(Sea cave) อาจจะพบได้บ้างตามบริเวณชายฝั่งทะเลที่มีหินปูนปรากฏอยู่ตามบริเวณชายฝั่ง โดยพบได้ทั้งทางฝั่งทะเลอันดามันและทางฝั่งอ่าวไทย เช่น ถ้ำมรกต จ.ตรัง และถ้ำลอด จ.พังงา เป็นต้น



รูปที่ 4 แผนที่แสดงตำแหน่งถ้ำที่พบในประเทศไทย (ภาพจาก กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2561) [3]

5. การสำรวจเพื่อทำผังถ้ำ

การสำรวจเพื่อทำผังถ้ำจะทำให้เราทราบว่าในแต่ละถ้ำนั้นมีลักษณะทางกายภาพเป็นอย่างไร มีลักษณะเฉพาะตัวเป็นอย่างไร เช่น ความยาว ทิศทาง จำนวนโถงถ้ำ ตลอดจนเพื่อให้ทราบว่ามีสิ่งที่น่าสนใจอยู่ส่วนไหนของถ้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการศึกษาถ้ำในขั้นรายละเอียดในแง่มุมต่างๆ ในเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการจำแนกถ้ำเพื่อการพัฒนาหรือใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ตลอดจนเพื่อการอนุรักษ์ถ้ำ การสำรวจเพื่อทำผังถ้ำจะประกอบไปด้วยสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมากมายและขึ้นอยู่กับความสนใจของผู้สำรวจ ในที่นี้จะกล่าวถึงในบางแง่มุมที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจซึ่งประกอบไปด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังนี้ คือ

1) การสำรวจทิศทางของโถงถ้ำหลัก (Main cave passage) และโถงแยกของถ้ำแต่ละถ้ำ

2) ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยา โดยทำการบันทึกลักษณะทางธรณีวิทยาที่ปรากฏ ได้แก่ ประเภทและชนิดของหินในพื้นที่โครงการ รวมทั้งลักษณะของหินที่ปรากฏ เช่น สี เนื้อหิน ลักษณะการผุพัง รวมทั้งข้อมูลซากดึกดำบรรพ์ (Fossils) ที่พบในถ้ำ

3) ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural geology) ได้แก่รอยต่อของชั้นหิน (Bedding plane) รอยแตกเรียบ (Joints) การแตกไม่เรียบ (Fracture) ลักษณะการคดโค้งของชั้นหิน (Folding) รอยเลื่อน (Faults) และ การเรียงลำดับของชั้นหินต่างๆ เป็นต้น

4) ตะกอนภายในถ้ำ เป็นการศึกษาตะกอนที่เกิดจากการพัดพาของน้ำและตะกอนที่เกิดจากการตกสะสมตัวจากสารละลายคาร์บอเนต (Speleothems) ต่างๆ เช่น หินงอก หินย้อย เสาหิน ไข่มุกถ้ำ ฯลฯ

5) ศึกษาหลักฐานที่แสดงถึงวิวัฒนาการของถ้ำ เช่น ระดับพื้นถ้ำ เก่า (Fossil floor levels) ระดับน้ำภายในถ้ำในอดีต รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เช่น การเกิดหลุมยุบในถ้ำ การทรุดตัวของพื้นถ้ำ ฯลฯ

6) ด้านอื่นๆ เช่น ชีววิทยา โบราณคดี ฯลฯ

6. การกำหนดตำแหน่งพิกัดในการสำรวจถ้ำ

ในอดีตและบางครั้งในปัจจุบันในขั้นตอนการสำรวจถ้ำเบื้องต้นนั้นการทำแผนที่ถ้ำและการกำหนดตำแหน่งพิกัดของผู้สำรวจและสิ่งต่างๆ ภายในถ้ำจะใช้วิธีการใช้สายวัดระยะและเข็มทิศ (Tape and compass method) โดยจะมีการวัด “ระยะและทิศทาง” ซึ่งจะต้องมีการวัดระยะทางระหว่างจากจุดสำรวจต่างๆ เริ่มต้นตั้งแต่บริเวณปากทางเข้าถ้ำเรื่อยเข้าไปตามแนวเส้นกึ่งกลางของถ้ำ (Cave center line) ของโถงถ้ำ โดยการวัดระยะจะต้องทำการวัดด้วยเทปวัดระยะที่ให้ความละเอียดทุกๆ 10 เซนติเมตร และจะมีการวัดทิศทางระหว่างจุดสำรวจด้วยเข็มทิศแม่เหล็กที่ให้ความละเอียดถึง 1 องศา พร้อมทั้งทำการวัดค่าความลาดชัน (Slope) หรือมุมเอียงของแนวต่างๆ ด้วยเครื่องมือวัดมุมเอียง (Inclinometer) ที่มีความละเอียดถึง 1 องศาด้วยเช่นกัน

สำหรับปัจจุบันนั้นการทำแผนที่ถ้ำและการกำหนดตำแหน่งภายในถ้ำสามารถกระทำได้สะดวกและมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นโดยการวัดระยะทางและทิศทางของจุดสำรวจต่างๆ ภายในถ้ำโดยใช้โต๊ะสำรวจ (Plane table) หรือกล้องวัดมุม (Theodolite) สำหรับการวัดมุม ค่าระดับและทิศทางตามแนวเส้นกึ่งกลางของถ้ำในกรณีที่โถงถ้ำมีขนาดใหญ่มากพอที่จะติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ได้ และใช้อุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง

พิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) ช่วยในการกำหนดตำแหน่งพิกัดของผู้สำรวจและจุดสำรวจได้ในกรณีที่สามารถติดตั้งตัวส่งและตัวรับสัญญาณบริเวณปากถ้ำและในโถงถ้ำที่สัญญาณสามารถส่งเข้าไปถึงกันและกันได้

7. ถ้ำในประเทศไทยที่มีความยาวมากที่สุดใน 10 ลำดับแรก

จากการจัดลำดับของเว็บไซต์ www.thailandcaves.shepton.org.uk ล่าสุดเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 พบว่าถ้ำที่มีความยาวมากที่สุดในประเทศไทยใน 10 ลำดับแรก ล้วนแต่เป็นถ้ำที่เกิดจากการละลายในหินปูนทั้งสิ้น โดยเรียงลำดับตามความยาวได้ดังนี้

1)	ถ้ำพระวังแดง	จังหวัดพิษณุโลก	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 13,761 เมตร
2)	ถ้ำแม่ละนา	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 12,720 เมตร
3)	ถ้ำลม/ถ้ำน้ำ/ถ้ำงาม	จังหวัดเชียงใหม่	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 12,260 เมตร
4)	ถ้ำใหญ่น้ำหนาว	จังหวัดเพชรบูรณ์	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 10,597 เมตร
5)	ถ้ำหลวงขุนน้ำนางนอน	จังหวัดเชียงราย	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 10,316 เมตร
6)	ถ้ำน้ำลาง	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 8,950 เมตร
7)	ถ้ำตะโค๊ะบิ	จังหวัดตาก	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 7,346 เมตร
8)	ถ้ำกระแชง	จังหวัดยะลา	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 5,633 เมตร
9)	ถ้ำน้ำวังศรีธรรมโศกราช	จังหวัดนครศรีธรรมราช	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 5,200 เมตร
10)	ถ้ำเชียงดาว	จังหวัดเชียงใหม่	เป็นถ้ำหินปูน มีความยาวโดยรวม 5,170 เมตร

8. ถ้ำเป้าหมายที่จะใช้เป็นสถานที่ทำการทดลอง

8.1 ถ้ำเชียงดาว จ.เชียงใหม่

ถ้ำเชียงดาวตั้งอยู่ในพื้นที่ของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเชียงดาว อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่ ปากถ้ำเชียงดาวตั้งอยู่บริเวณเชิงดอยหลวงเชียงดาว ซึ่งเป็นยอดเขาสูงประมาณ 2,180 เมตร ดอยเชียงดาวสร้างตัวจากหินปูนยุคเพอร์เมียน ประกอบด้วยหินปูนมวลหนาเป็นส่วนใหญ่สลับกับหินปูนชั้นบางเป็นช่วงๆ หินปูนจะมีสีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม มีเนื้อหินปูนแบบหินปูนเนื้อโคลนมีซากดึกดำบรรพ์ของคตข้าวสาร (Fusulinid) ถ้ำเชียงดาวเป็นโพรงถ้ำที่เกิดจากการละลายของหินปูน (Limestone cave) มีความยาวของทุกโพรงถ้ำรวมกันประมาณ 5.17 กม. บริเวณหน้าถ้ำมีน้ำไหลจากในถ้ำออกมาที่บริเวณหน้าถ้ำตลอดเวลา น้ำที่ไหลออกมาจะมีความใสและสวยงาม รวมไปถึงมีพันธุ์ไม้ที่หลากหลายและยังเป็นที่ตั้งของวัดถ้ำเชียงดาวอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5 สภาพภายในถ้ำได้มีการปรับแต่งให้มีความสวยงามโดยการใช้แสงไฟจากหลอดไฟฟ้าช่วยเพิ่มให้เกิดความสว่างและการเล่นแสงที่สวยงามมากขึ้นของหินงอก หินย้อยต่างๆ ภายในถ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 5 บริเวณปากทางเข้าถ้ำเชียงดาว ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ของวัดถ้ำเชียงดาว

รูปที่ 6 บริเวณโถงถ้ำด้านในถ้ำเชียงดาว

8.2 ถ้ำปาฏิหาริย์ (ถ้ำมืด) จ.อุบลราชธานี

ถ้ำปาฏิหาริย์ หรือ ถ้ำมืด เป็นถ้ำหินทราย (Sandstone cave) ตั้งอยู่ที่วัดถ้ำปาฏิหาริย์ ในเขตอุทยานแห่งชาติผาแต้ม อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ถ้ำปาฏิหาริย์เป็นถ้ำที่มีความยาวประมาณ 300 เมตร ถ้ำปาฏิหาริย์เป็นถ้ำที่เกิดจากกระบวนการผุพังอยู่กับที่และกร่อนตามแนวระนาบของชั้นหินทรายของกลุ่มหินโคราชที่มีความคงทนต่อการผุกร่อนน้อย โดยมีน้ำเป็นตัวกัดกร่อนและพัดพาเม็ดทรายออกไปทีละน้อย จนทำให้เกิดเป็นโพรงถ้ำและมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ปัจจุบันถ้ำแห่งนี้อยู่ในความดูแลของวัดถ้ำปาฏิหาริย์ เมื่อต้องการเข้าในถ้ำจะต้องขออนุญาตจากทางวัดเพื่อเปิดประตูทางลงสู่ถ้ำและเปิดไฟภายในถ้ำ

รูปที่ 7 บริเวณปากทางลงไปภายในถ้ำปาฏิหาริย์ (ถ้ำมืด) อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี

รูปที่ 8 สภาพภายในถ้ำปาฏิหาริย์ (ถ้ำมืด) อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี

9. การลดทอนพลังงานของคลื่นในหิน

สำหรับหัวข้อนี้เป็นผลจากการศึกษาทางธรณีวิทยาในเรื่องของการลดทอนลงของพลังงานของคลื่นที่เดินทางผ่านชั้นหิน ซึ่งมีผลกระทบต่อการศึกษาพฤติกรรมของคลื่นความถี่วิทยุที่ถูกส่งผ่านเข้าไปในโพรงถ้ำและมีพฤติกรรมแตกต่างจากการส่งผ่านคลื่นความถี่ในอากาศว่างที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยสำคัญส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนของคลื่นความถี่วิทยุภายในโพรงถ้ำนั้นเป็นผลมาจากค่าความพรุน (Porosity) ที่มีอยู่ในเนื้อหินซึ่งส่งผลกระทบต่อการส่งผ่านพลังงานของคลื่นความถี่วิทยุผ่านเข้าไปในตัวกลางซึ่งในที่นี้ก็คือเม็ดตะกอนในกรณีของหินตะกอนหรือผลึกแร่ ในกรณีของหินที่เกิดจากการตกผลึกของแร่ เช่น หินปูนหรือหินอัคนีต่างๆ ที่อยู่ห่างกันนั้น การส่งพลังงานคลื่นความถี่วิทยุจะเกิดขึ้นได้ยากและยังส่งผลให้ค่าความเร็วของคลื่นนั้นลดลงอีกด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วที่คลื่นใช้ในการเดิน

ทางผ่านตัวกลางที่เป็นหินซึ่งมีความพรุนนั้นสามารถอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Wyllie et at. (1962) [4] ดังนี้

$$\frac{1}{v} = \frac{\phi}{v_f} + \frac{(1-\phi)}{v_m} \tag{4}$$

เมื่อ ϕ = ค่าความพรุนของหิน (ร้อยละ)

v = ค่าความเร็วของคลื่นที่เดินทางผ่านชั้นหิน (เมตร/วินาที)

v_f = ค่าความเร็วของคลื่นที่เดินทางผ่านของไหลที่แทรกอยู่ในเนื้อหิน (เมตร/วินาที)

v_m = ค่าความเร็วของคลื่นที่เดินทางผ่านเนื้อหิน (เมตร/วินาที)

ความพรุน คือ ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่อยู่ภายในหินเทียบกับปริมาตรทั้งหมดของหิน โดยในกรณีของหินตะกอน เช่น หินทราย หินกรวด หรือหินโคลนนั้น ช่องว่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหินจะขึ้นอยู่กับการทับถม การจัดเรียงตัว และการสะสมตัวของตะกอนของหินชนิดนั้น ๆ โดยการคัดขนาดของตะกอนเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่สงผลต่อค่าความพรุนของชั้นหิน หินตะกอนที่มีการคัดขนาดของเม็ดตะกอนที่ดีก็จะทำให้มีความพรุนดี (มีความพรุนมาก) หินที่มีการคัดขนาดของเม็ดตะกอนที่ไม่ดีก็จะส่งผลทำให้มีความพรุนไม่ดี (ความพรุนน้อย) ตามแต่ละชนิดหิน และอีกปัจจัยหนึ่งที่สงผลต่อความพรุนในหินตะกอนก็คือ การเชื่อมประสานระหว่างเม็ดตะกอน โดยการเชื่อมประสานนั้นอาจจะขึ้นอยู่กันแร่ธาตุที่ละลายมาแทรกสะสมตัวในช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอนในขณะที่มีการทับถมของเม็ดตะกอนแล้วกลายเป็นหินพร้อม ๆ กัน หรือแทรกเข้ามาแทนที่วัสดุอื่น ๆ ในช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอนในภายหลังก็ได้ ซึ่งก็จะส่งผลให้ค่าความพรุนของชั้นหินลดลงได้เช่นกัน ส่วนในหินที่เกิดจากการตกผลึกของสารละลาย เช่น ในกลุ่มของหินปูน หรือหินอัคนีนั้น ค่าความพรุนจะมีค่าน้อยมากแต่ค่าความพรุนอาจจะเพิ่มขึ้นได้จากการที่เนื้อหินเหล่านี้มีการแตกออกจากกันหรือบางส่วนของเนื้อหินถูกทำให้เกิดการละลายออกไปโดยเฉพาะพวกหินปูน

ทั้งนี้จากการทดสอบวัดค่าความพรุนของหินทรายของหมวดหินพระวิหาร (Phra Wihan Formation) ซึ่งเป็นหินทรายหมวดหินเดียวกันกับที่เกิดเป็นโพรงถ้ำที่ถ้ำวัดปาฏิหาริย์ อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี ของ Gaewmood and Trisan (2018) [5] พบว่า ค่าความพรุนเฉลี่ยของหินทรายหมวดหินพระวิหารมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 12.6 ในขณะที่ อัฆพรรค์ วรรณโกมล และจงพันธ์ จงลักษมณี (2561) [6] ได้ทำการวัดค่าความพรุนของหินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian limestone) ซึ่งเป็นหินปูนที่มีอายุและเป็นชนิดเดียวกันกับหินปูนที่ถ้ำเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าหินปูนดังกล่าวมีค่าความพรุนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.06 เท่านั้น

ดังนั้นจากค่าความพรุนของหินทรายหมวดหินพระวิหารและหินปูนยุคเพอร์เมียนที่มีค่าแตกต่างกันจะส่งผลให้การเดินทางของคลื่นความถี่วิทยุผ่านหินทั้งสองชนิดนั้นมีความแตกต่างกันด้วย โดยคลื่นจะสามารถเดินทางผ่านหินปูนยุคเพอร์เมียนของถ้ำเชียงดาวได้รวดเร็วกว่าและมีการถูกดูดซับพลังงานของคลื่นไว้ในเนื้อหินได้น้อยกว่าหินทรายของหมวดหินพระวิหารจึงเป็นผลให้เกิดการสะท้อน หักเหและเลี้ยวเบนของคลื่นได้ดีกว่าที่เกิดขึ้นในหินทรายหมวดหินพระวิหารของถ้ำปาฏิหาริย์

10. ค่าความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของตัวอย่างหินทรายและตัวอย่างหินปูนจากบริเวณถ้ำที่ศึกษา

ค่าความสามารถในการนำไฟฟ้า (Conductivity, $S.m^{-1}$) ของตัวอย่างหินทราย (หมวดหินพระวิหาร กลุ่มหินโคราช) ที่ได้จากภายในถ้ำปาฏิหาริย์ อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี และตัวอย่างหินปูน (อายุเพอร์เมียน) ที่ได้จากภายในถ้ำเชียงดาว อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่ ได้ถูกคำนวณจากค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity, Ω-m) จากความสัมพันธ์ดังสมการ (5)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{5}$$

เมื่อ σ = Rock conductivity, $S.m^{-1}$

ρ = Rock resistivity, Ω-m

จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยตรงจากตัวอย่างหินทราย (Sandstone) และหินปูน (Limestone) จากตัวอย่างที่เก็บจากถ้ำที่เป็นพื้นที่ศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 สามารถวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและนำมาคำนวณหาค่าความสามารถในการนำไฟฟ้าดังแสดงผลการวัดและการคำนวณไว้ในตารางที่ 1

รูปที่ 9 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของตัวอย่างหินทรายที่เก็บจากภายในถ้ำปาฏิหาริย์ อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี ในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 10 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของตัวอย่างหินปูนที่เก็บจากภายในถ้ำเชียงดาว อ.เชียงดาว จ. เชียงใหม่ ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ของตัวอย่างหินทรายและหินปูนจากถ้ำที่เป็นพื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างหิน	**Rock Resistivity (Ω-m)**	**Rock Conductivity ($S.m^{-1}$)**
หินทราย		
วัดครั้งที่ 1	0.7339×10^{6}	1.3626×10^{-6}
วัดครั้งที่ 2	0.9033×10^{6}	1.1071×10^{-6}
วัดครั้งที่ 3	0.8185×10^{6}	1.2218×10^{-6}
เฉลี่ย	0.8186×10^{6}	1.2305×10^{-6}
หินปูน		
วัดครั้งที่ 1	428.8×10^{6}	0.0023×10^{-6}
วัดครั้งที่ 2	547.7×10^{6}	0.0018×10^{-6}
วัดครั้งที่ 3	539.5×10^{6}	0.0019×10^{-6}
เฉลี่ย	505.3×10^{6}	0.0020×10^{-6}

ในส่วนค่าความซึมผ่านของหิน (Rock Permeability, md) ของหินทรายและหินปูนนั้น Phanuphong Gaewmood (2017) [7] ได้ทำการศึกษาและวัดค่าความซึมผ่านของหินทรายตัวอย่าง (Sandstone) จากหมวดหินพระวิหาร (Phra Wihan Formation) กลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ซึ่งเป็นหินชนิดเดียวกันกับที่พบภายในถ้ำปาฏิหาริย์ อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี พบว่าหินตัวอย่างที่นำมาตรวจวัดมีค่าความซึมผ่านเฉลี่ยอยู่ที่ 30.51 md (milli Darcy)

อัฆพรรค์ วรรณโกมล และ จงพันธ์ จงลักษมณี (2557) [8] ได้ทำการวัดค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินปูนอายุเพอร์เมียน (Permian limestone) ซึ่งเป็นหินปูนอายุเดียวกันกับตัวอย่างหินปูนที่พบในบริเวณพื้นที่ถ้ำหลวง อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่ พบว่าค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้ของแต่ละตัวอย่างมีค่าน้อยมากและบางตัวอย่างไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยในส่วนของตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้นั้นจะมีค่าความซึมผ่านอยู่ระหว่าง 0.008 – 0.021 md เท่านั้น

11. เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม

[1] ชัยพร ศิริพรไพบูลย์, 2554, เอกสารประกอบการอบรมและฝึกภาคปฏิบัติการสำรวจและการศึกษาเรื่อง ถ้ำวิทยา “ถ้ำหินปูน การกำเนิด การพัฒนา และ การอนุรักษ์ ” (14 ก.ย. 2554), กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 30 หน้า

[2] แผนที่ทรัพยากรหินปูนในประเทศไทย มาตราส่วน 1: 2,000,000, 2541, กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหรกรรม, กรุงเทพฯ

[3] แผนที่แหล่งทรัพยากรธรณี ประเภทถ้ำ ประเทศไทย มาตราส่วน 1: 1,500,000, 2561, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

[4] M. R. J. Wyllie, G. H. F. Gardner, and A. R. Gregory, “Studies of Elastic Wave Attenuation in Porous Media,” GEOPHYSICS 27: pp.569-589, 1962.

[5] Phanuphong Gaewmood and Kriangkrai Trisarn, “Study on Increasing Production and Potential of Khorat Sand Gas Using Fracturing and Computer Simulation,” Suranaree Journal of Science and Technology 25(4): pp.411-418, August31,2018.

[6] อัฆพรรค์ วรรณโกมล และ จงพันธ์ จงลักษมณี, “การวิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราช,” รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สิงหาคม 2561, 83 หน้า

[7] Phanuphong Gaewmood, 2017, Study on Increasing Gas Production of Khorat Sandstone in L*4/57* Block by Hydraulic Fracturing and Computer Simulation, Master Thesis, School of Geotechnology, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, pp. 144.

[8] อัฆพรรค์ วรรณโกมล และ จงพันธ์ จงลักษมณี, 2557, การวิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราช, รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี