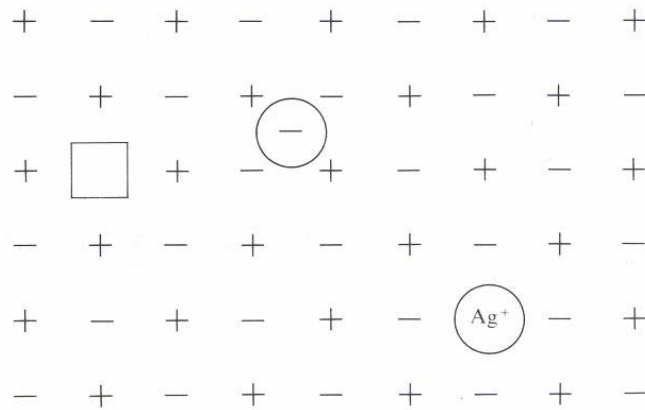


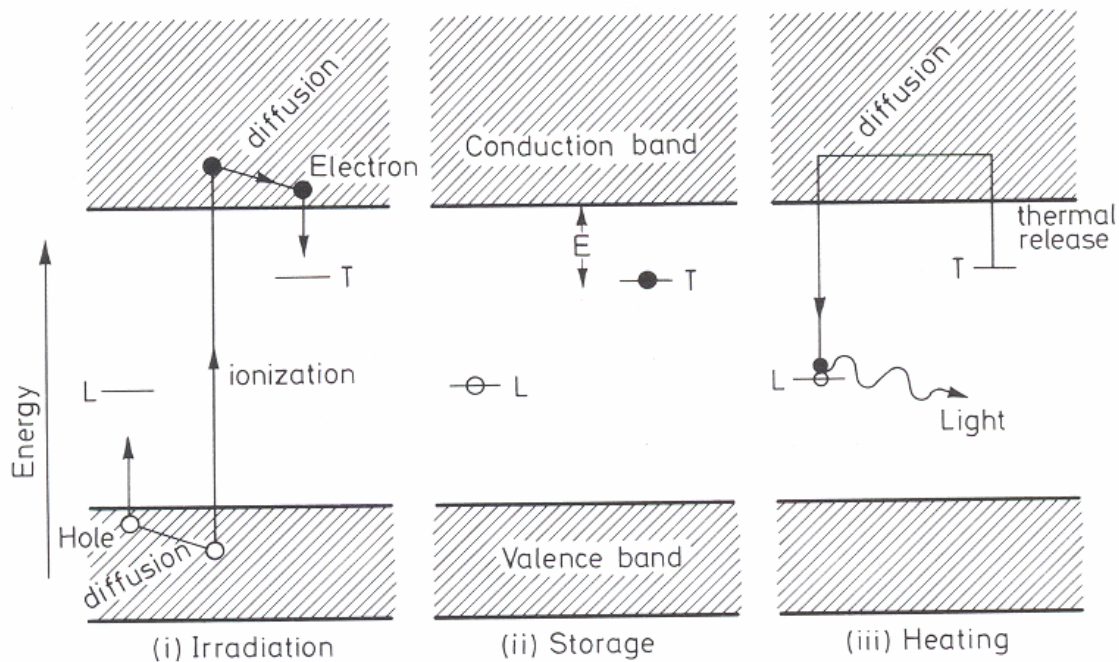
ให้เกิดกระบวนการรวมกันอีกครั้ง หนึ่งในกรณีที่มีการแผ่รังสีเกิดขึ้นนั้น เราเรียกประจุหรืออะตอมเหล่านั้นว่า ศูนย์การเรืองแสง (luminescence centers)



รูป 5.1 แผนภาพอย่างง่ายแสดงโครงข่ายผลึกที่มีประจุ(ionic crystal) อย่างง่ายที่เกิดจากความผิดปกติ โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่(negative – ion vacancy) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง(negative-ion interstitial) และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์ (substitutional impurity center) (จาก Aitken, 1985)

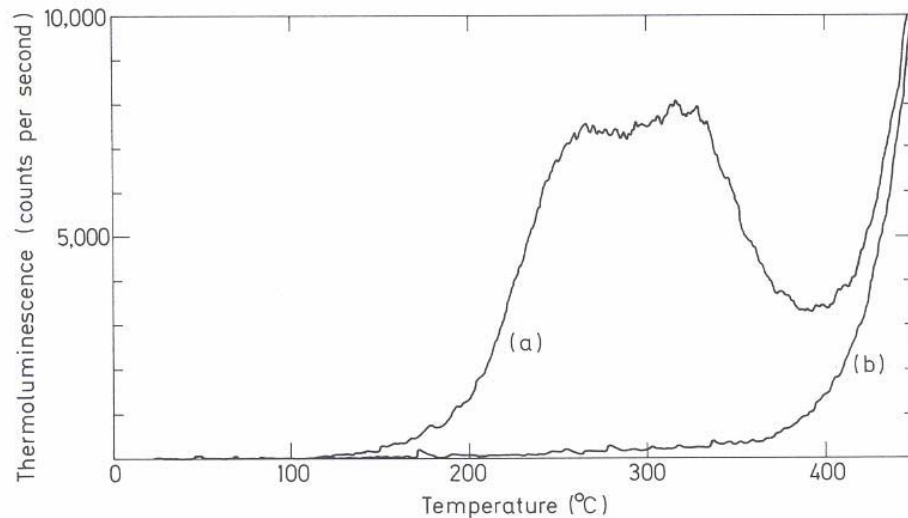
โดยทั่วไปการคัดเลือกสัญญาณการเรืองแสงความร้อน(TL signal)เพื่อนำไปคำนวณหาอายุของตัวอย่างตะกอนแต่ละประเภท ไม่มีข้อกำหนดบังคับตายตัวว่าจะเป็นที่อุณหภูมิเท่าใด และเครื่องในแต่ละห้องทดลองก็ให้สัญญาณไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับความไวของการรับสัญญาณและค่าภูมิหลังของเครื่องมือเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามมักเลือกที่จุดที่กราฟของ TL ขึ้นสูงสุดเป็นหลัก

ส่วนใหญ่แล้วเมื่อแร่ในดินตะกอนมักค่อย ๆ สูญเสียสัญญาณการเรืองแสงความร้อนที่มีอยู่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ สัญญาณนี้มีความไวมากต่อแสงสว่าง และความเข้มของสัญญาณอาจลดทอนลงได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์บนผิวโลก ซึ่งเรียกว่า “การอาบแดด” (bleaching) ดังนั้นในภาวะปกติ เมื่อเม็ดตะกอนดินถูกพัดพาจากแหล่งต้นกำเนิดลงสู่แหล่งสะสมตะกอน เม็ดตะกอนจะสัมผัสกับแสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน ซึ่งผลทำให้ความเข้มของสัญญาณการเรืองแสงที่มีอยู่เดิมถูกลบล้างออกไปจนหมด และเริ่มต้นค่อย ๆ สะสมสัญญาณใหม่เหมือนนาฬิกาที่ตาย แล้วเราต้องมาตั้งเข็มนาฬิกาขึ้นใหม่ โดยที่มีเม็ดตะกอนชั้นบนที่ไหลมาปิดทับเป็นตัวป้องกันจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อมาถึงปัจจุบันความเข้มของสัญญาณที่มีอยู่ในตะกอนดินจึงสะท้อนถึงระดับกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับและระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นตกตะกอนสะสมตัวของเม็ดตะกอนนั้น



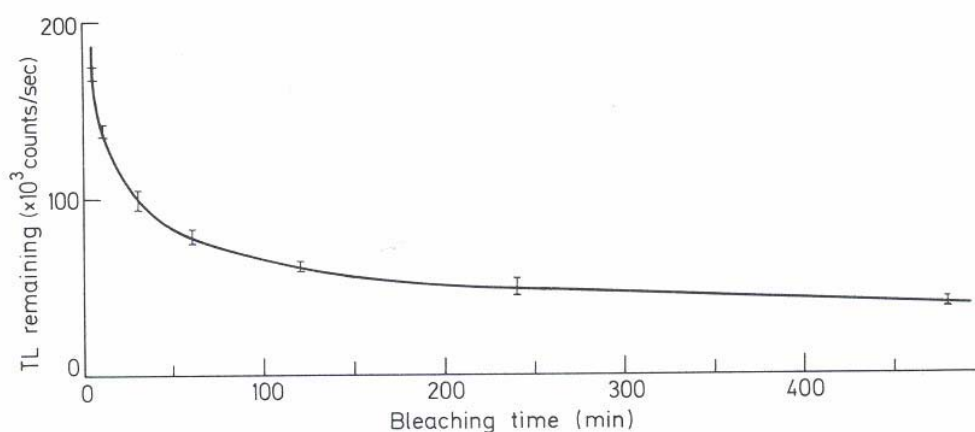
รูป 5.2 แผนภาพแสดงบริเวณระดับพลังงานที่เกิดการเรืองแสงความร้อน (จาก Aitken, 1985) ซึ่งเกิดขึ้นตามขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นการแผ่รังสี(irradiation) ซึ่งเกิดจากการที่ผลึกแร่ได้รับพลังงานจากการแผ่กัมมันตภาพรังสีจากสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการกักเก็บอิเล็กตรอน(T)ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น และเกิดหลุมความผิดปกติ(hole at defects, L) ได้
2. ขั้นการกักเก็บ(storage) โดยค่าช่วงชีวิต(lifetime) คือระดับความลึกของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน(E) นั้นต้องมากกว่าหรือลึกเพียงพอสำหรับการกักเก็บจำนวนของอิเล็กตรอน(ซึ่งจำนวนอิเล็กตรอนในหลุมกักเก็บมักสัมพันธ์กับอายุของตัวอย่าง) ส่วนการเล็ดลอดของอิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บในช่วงเวลาของการกักเก็บนั้นเกิดขึ้นน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณาในนั้น และค่าช่วงชีวิตที่กล่าวไว้ในข้างต้นนั้นเทียบได้กับระยะความลึกของหลุมกักเก็บ(E) ตำแหน่งที่ปรากฏอยู่ด้านล่างของแถบการเหนี่ยวนำ(conduction band)
3. ขั้นการให้ความร้อน(heating) เนื่องจากแร่ในตัวอย่างมักมีอุณหภูมิเฉพาะตัวสำหรับผลึกอิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บสูงสุดได้ไม่เท่ากัน (ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องพยายามทำให้ตัวอย่างบริสุทธิ์เท่าที่ทำได้ เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากแร่อื่นที่ผลึกอิเล็กตรอนออกมาทำให้ค่าที่ได้มากขึ้น หลังจากทีอิเล็กตรอนถูกผลึกออกมาจะเกิดกระบวนการรวมตัวกันอีกครั้ง ณ ที่ศูนย์เรืองแสง(luminescence centers) จากนั้นแร่จึงมีการเรืองแสงด้วยความร้อนออกมา อย่างไรก็ตามอิเล็กตรอนสามารถเกิดกระบวนการรวมตัวกันอีกครั้งที่ศูนย์ไม่เรืองแสงได้ (non- luminescence centers หรือ a “killer” centers) หรืออิเล็กตรอนอาจถูกดักจับไว้โดยหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนที่ลึกกว่าก็ได้



รูป 5.3 กราฟตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณการเรืองแสงด้วยความร้อนกับอุณหภูมิ (ที่เรียกว่ากราฟเส้นสว่าง glow-curve) กราฟ (a) แสดงค่าปริมาณการเรืองแสงด้วยความร้อนที่วัดได้ครั้งแรกและกราฟ (b) แสดงค่าปริมาณการเรืองแสงด้วยความร้อนที่วัดได้ครั้งที่สองจากตัวอย่างเดิม (จาก Aitken, 1985)

ในทางทฤษฎีแล้วเราถือว่า “การอาบแดด” มักลบล้างสัญญาณที่มีอยู่เดิมให้หมดไป คือสัญญาณการมีค่าเป็นศูนย์ก่อนที่จะมีการสะสมตัวใหม่ แต่ในทางปฏิบัติอาจไม่เป็นเช่นนั้นในทุกกรณี โดยที่ดินตะกอนอาจยังคงมีสัญญาณหลงเหลืออยู่(residual) ซึ่งในการวัดค่าหาอายุตะกอนดินเราต้องให้ความสำคัญกับเรื่องนี้ให้มาก โดยที่เราต้องคัดเลือกตัวอย่างดินให้เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ค่าหลงเหลือนี้มีค่าต่ำ ๆ



รูป 5.4 ค่าความเข้มของสัญญาณการเรืองแสงความร้อนสูงสุด (peak) ในแต่ละครั้งของการอาบแดดเทียมของตัวอย่างดินลมหอบ จากประเทศฝรั่งเศส โดยการอาบแดดเทียมในห้องปฏิบัติการ (จาก Aitken, 1985)

5.3 เครื่องมือวัดการเรืองแสงความร้อน

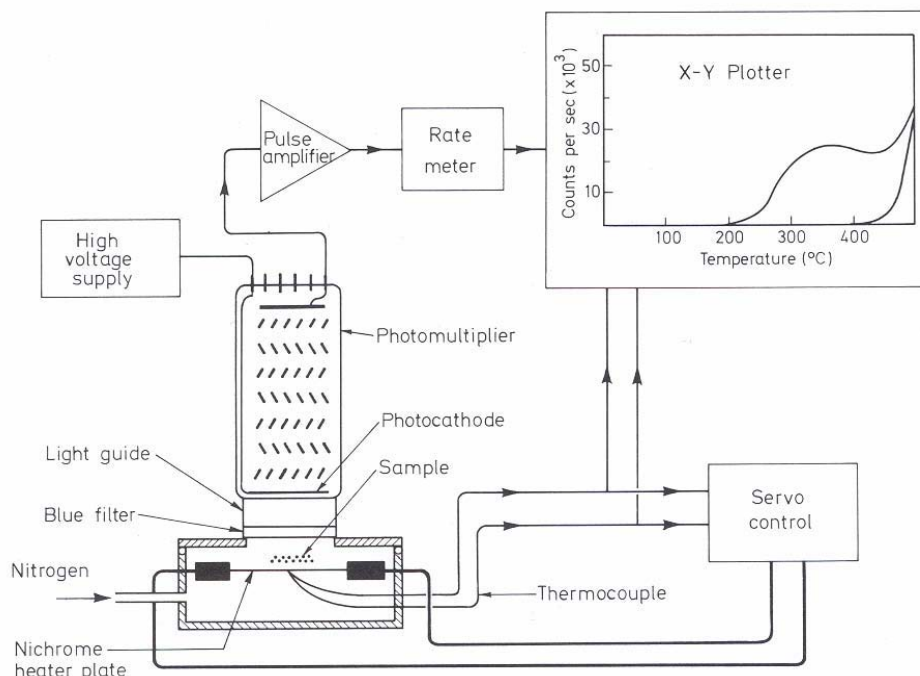
เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ณ ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ส่วน (ดูรูป 5.5) ดังนี้

ส่วนควบคุมความร้อน(Temperature program) ส่วนวัดปริมาณของแสง (Optical detection) และส่วนแปลงสัญญาณ (Signal processing)

ส่วนควบคุมความร้อน เป็นส่วนที่ทำให้ความร้อนแก่ตัวอย่างโดยผ่านแผ่นโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้แผ่นโมลิบดีนัม (molybdenum heater)หรือแผ่นนิเกิลโครเมียม(Ni-chrome)ไปยังที่ใส่ตัวอย่าง(sample holder) อัตราความร้อนของแผ่นโลหะได้มาจากกระแสไฟฟ้าที่ทำให้ตัวให้ความร้อน(heater) มีความร้อนอยู่ในช่วง 50° - 450°ซ ในเวลา 120 วินาที หรือในอัตรา 200° ซ ต่อนาที

ส่วนการวัดปริมาณแสง เป็นส่วนที่ขยายความเข้มของแสงที่วัดปริมาณของแสงที่เปล่งขึ้นมา หลังจากได้รับความร้อนที่เรียกว่า “Photomultiplier”

ส่วนแปลงสัญญาณ เป็นส่วนที่เปลี่ยนปริมาณแสงที่ได้เปล่งออกมาให้เป็นความเข้มของแสง(จำนวนต่อหน่วยเวลา) และถูกบันทึกลงเครื่องบันทึกในแกน Y ส่วนแกน X เป็นอุณหภูมิของตัวอย่างที่ได้รับจากตัวให้ความร้อน ซึ่งขั้นตอนนี้ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และผลที่ได้คือกราฟเส้นที่เรียก “Glow curve” (ดูรูป 5.3)



รูป 5.5 แผนภาพแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดปริมาณแสง (จาก Aitken, 1985)

5.4 การเก็บและคัดเลือกตัวอย่างดินตะกอน

ในการคัดเลือกตัวอย่างตะกอนที่ต้องการเก็บนั้น มีสิ่งที่จะต้องพิจารณา 3 อย่างด้วยกันคือ

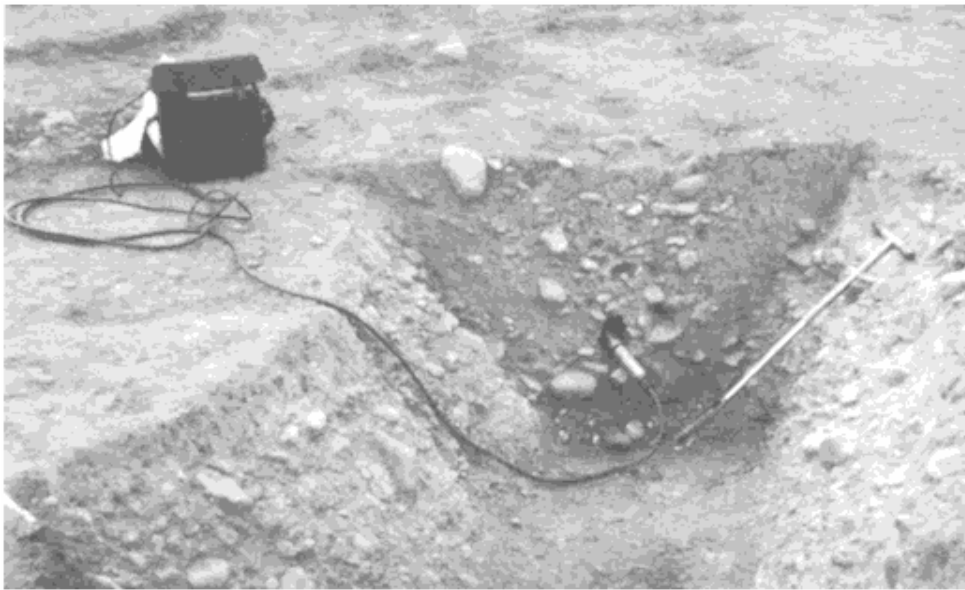
ข้อพิจารณาลำดับแรกในการคัดเลือกตัวอย่างดินสำหรับการวัดหาอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนก็คือ ตัวอย่างตะกอนดินทุกเม็ดต้องสัมผัสกับแสงสว่าง โดยเฉพาะในตอนกลางวันก่อนที่จะสะสมตัว โดยมักขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ ณ วันนั้น หรือตลอดสัปดาห์และต้องให้ได้ปริมาณแสงที่มีมากพอที่จะลบล้างสัญญาณเดิมที่มีอยู่ให้เหลือน้อยที่สุดหรือหมดไป ด้วยเหตุนี้ตะกอนดินที่เหมาะสมกับวิธีนี้จึงมักเป็นดินลมหอบ(loess)ที่เกิดจากการกระทำโดยลมในเขตแห้งแล้งจัดอย่างทะเลทรายหรือเขตแห้งแล้ง เช่น พื้นที่ภาคอีสาน เพราะเม็ดตะกอนที่อยู่ในสภาพภูมิประเทศดังกล่าวมักได้สัมผัสกับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ในช่วงกลางวันอย่างเต็มที่ที่เป็นเวลานาน ขณะที่ลมพัดพามาสะสมตัว นอกจากนี้ตะกอนที่ตกตะกอนสะสมตัวในทะเลสาบและตะกอนดินที่เกิดจากทางน้ำที่ไหลเอื่อยๆก็เป็นตัวอย่างที่เหมาะสม เพราะว่าตะกอนดินประเภทนี้มีขนาดเม็ดเล็กมาก และมักถูกพัดพาเป็นระยะทางไกล ส่วนตะกอนดินเม็ดหยาบที่เกิดจากทางน้ำพัดรุนแรงไม่เหมาะสมสำหรับวิธีนี้ เนื่องจากในระยะทางในการสะสมตัวอาจไม่ไกลกับต้นกำเนิดเท่าใดนักหรือน้ำที่ขุ่นมัวจนแสงอาทิตย์ไม่สามารถส่องผ่านทะลุทะลวงลงมาถึงเม็ดตะกอนก่อนโตได้ สำหรับตะกอนดินพัฒนาเชิงเขา (colluvium) ที่ค่อย ๆ สะสมตัวเราสามารถใช่วิธีเรืองแสงความร้อนวัดหาอายุได้ แต่ถ้าเป็นพวกที่สะสมตัวอย่างรวดเร็วอย่างดินถล่ม (debris flows) มักเป็นตัวอย่างที่ไม่เหมาะสมกับวิธีนี้

ข้อพิจารณาลำดับที่สองในการคัดเลือกชั้นดินตะกอนนั้นได้แก่การกำหนดตำแหน่งตัวอย่างที่เก็บให้เหมาะสม เพื่อนำมาหาค่าความเข้มของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ เช่น ยูเรเนียม ธอเรียม และโพแทสเซียมที่สะสมตัวอยู่โดยรอบจุดเก็บตัวอย่าง ปริมาณธาตุเหล่านี้นิยมวัดด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Portable gamma spectrometer (รูป 5.6) หรือการฝังสารสังเคราะห์บริสุทธิ์ที่ว่องไวต่อการรับกัมมันตภาพรังสี (เช่น CaSO_4 , Na_2SiO_4 และ CaF) โดยทิ้งไว้ในชั้นตะกอนเป็นเวลานานหลายเดือน แล้วจึงนำมาวัดหาค่าในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง TL dosimeter ก็ได้ หรือใช้วิธีทางอ้อมที่นำตัวอย่างดินมาวัดหาปริมาณของธาตุ Li, Th และ K ในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง Gamma-ray spectrometer (Takashima และคณะ, 1994) หรือนำดินมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุดังกล่าวด้วยวิธี Neutron activation analysis (NAA) ก็ได้ แต่ทุกวิธีต้องนำตัวอย่างตะกอนมาหาค่าปริมาณความชื้นในดินด้วย (Aitken, 1985) เพราะน้ำในดินเป็นตัวป้องกันไม่ให้เม็ดดินได้รับกัมมันตภาพรังสีเต็มที่ (รูป 5.7)

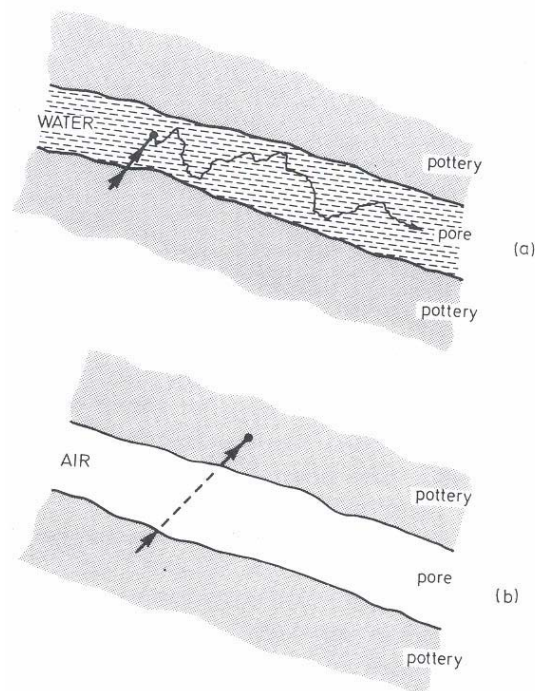
ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่เหมาะสมนั้นจึงควรให้ชั้นดินตะกอนมีความหนาแน่นพอ และเป็นเนื้อเดียวกัน จากการศึกษพบว่ารัศมีโดยรอบที่จะวัดหาค่ารังสีแกมมาในสนามได้ต้องไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร ด้วยเหตุนี้จึงควรให้จุดกึ่งกลางชั้นดินมากกว่า 0.6 เมตรขึ้นไป (Aitken, 1985) ส่วนก้อนกรวดขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในชั้นดินนั้น อาจทำให้ชั้นดินตะกอนมีค่าความเข้มของกัมมันตภาพรังสีต่ำกว่าความเป็นจริงได้ ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นชั้นดินที่ดีต้องเป็นเนื้อเดียวกัน

สิ่งสุดท้ายที่ต้องพึงระวังเป็นอย่างมากในการเก็บตัวอย่างดินนั้นคือหลีกเลี่ยงการโดนแสงสว่างในตอนกลางวัน ดังนั้นการเก็บตัวอย่างควรเก็บในร่มที่คิดว่าไม่มีแสงจะผ่านไป และเมื่อเก็บตัวอย่างได้แล้วควรนำ

ตัวอย่างที่ได้ต้องห่อหุ้มด้วยวัสดุสีดำทันทีเพื่อกันไม่ให้แสงเข้า ปริมาณตัวอย่างที่เก็บได้ควรให้ได้ประมาณ 500 กรัมเป็นอย่างน้อย



รูป 5.6 เครื่อง Portable gamma spectrometer ที่ใช้วัดหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีคือ U, Th และ K ของชั้นตะกอนอายุใหม่ๆในสนาม (จาก <http://www.users.globalnet.co.uk/~qtls/>)



รูป 5.7 อิทธิพลการดูดซับของน้ำภายในช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนเครื่องปั้นดินเผาหนา (a) ถ้าช่องว่างหนาเพียง 0.02 ไมครอนมีน้ำอยู่เต็ม น้ำจะไม่ยอมให้อนุภาคอัลฟาที่ออกจากนิวเคลียสของเรดอนผ่านได้ (b) แต่ถ้าช่องว่างนั้นเป็นอากาศ อากาศจะยอมให้อนุภาคอัลฟาสามารถผ่านได้ในช่องว่าง ที่ไม่มีน้ำอยู่นั้นได้ (จาก Aitken, 1985)

5.5 การเตรียมตัวอย่างตะกอนและการหาค่า Glow curve จากตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างของชั้นตะกอนดินเพื่อวัดหาอายุโดยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL) ต้องเก็บตัวอย่างให้ได้ น้ำหนักประมาณ 400 - 500 กรัมเป็นอย่างน้อย (ความจริงยิ่งเก็บมากยิ่งเป็นประโยชน์ในการทดลอง)

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสรุปไว้ในแผนผังรูป 5.8 โดยในนั้นเราได้ปรับปรุงจาก โดยรายละเอียดดังนี้

1. นำตัวอย่างที่เก็บได้มาอบให้แห้ง นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 50 - 60 °C เป็นเวลา 1/2 วัน ซึ่งก่อนอบต้องทราบน้ำหนักของตัวอย่างที่แน่นอน เพื่อหาค่าความชื้นในตัวอย่าง
2. เมื่อแห้งดีแล้วจึงนำตัวอย่างบางส่วนมาบดให้ละเอียดด้วยครกบด (agate mortar) เพื่อหาชนิดของแร่ที่อยู่ในตัวอย่างโดยวิธี XRD (X-Ray diffraction)
3. นำตัวอย่างส่วนใหญ่มาบดเบา ๆ ด้วยครกไม้ หรือครกสแตนเลส ให้ได้ขนาดเล็กกว่า 0.84 มม โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 เมช
4. เมื่อได้ตัวอย่างตามปริมาณที่ต้องการแล้ว ซึ่งนำไปใส่ภาชนะหรือถ้วยพลาสติก ให้ได้น้ำหนักประมาณ 250 - 300 กรัม ปิดด้วยฝาพลาสติกให้เรียบร้อย และเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการสมดุล จากนั้นจึงนำตัวอย่างในถ้วยพลาสติกไปวัดหาปริมาณยูเรเนียม (U) ธอเรียม (Th) และ โพแทสเซียม (K) ด้วยเครื่อง Gamma-ray spectrometer หรือ วิธี Neutron activation analysis เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณสัญญาณเรืองแสงต่อปีที่เรียก Annual Dose (AD)
5. นำตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่า 0.84 มิลลิเมตร ที่เหลือมาประมาณ 100-200 กรัม บดด้วยครกไม้ต่อจนได้ขนาดระหว่าง 0.177 - 0.074 มิลลิเมตร โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 เมช และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 200 เมช
6. นำตัวอย่างใส่ถ้วยบีกเกอร์ และล้างด้วยน้ำประมาณ 10 ครั้ง จนตัวอย่างสะอาดดี เดิมกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ผสมน้ำลงไปในตัวด้วย ด้วยอัตราส่วน 1: 1 แล้วนำไปใส่ไว้ในเครื่องอุ่นด้วยน้ำ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นเทกรดทิ้งแล้วล้างน้ำประมาณ 10 ครั้ง แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C - 60 °C เป็นเวลา 1 วันจนแห้ง
7. นำตัวอย่างแห้งไปแยกแร่ลทินออกจากด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กชนิด Isodynamic magnetic separator โดยผ่านกระแสไฟฟ้าขนาด 1.4 แอมแปร์ ณ ที่ความถี่ประมาณ 25 อกศา
8. นำตัวอย่างที่เสร็จสิ้นกระบวนการแยกแร่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแร่ควอร์ตซ์และแร่เฟลด์สปาร์ มาเติมด้วยกรดกัดแก้ว (HF) ที่ความเข้มข้น 24 % และใส่ไว้ในเครื่องอุ่นตัวอย่าง (water bath) เป็นเวลา 30 นาที ในถ้วยพลาสติกเพื่อสลายแร่เฟลด์สปาร์ จากนั้นจึงเทกรดทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำอีกประมาณ 10 ครั้ง แล้วจึงเติมกรดเกลือ (HCl) อีกครั้ง ดำเนินการตามขั้นตอนเหมือนข้อ 6 ต่อจากนั้นอบให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน
9. นำตัวอย่างแร่ควอร์ตซ์บริสุทธิ์อย่างน้อยมากกว่า 95% ไปวัดค่า glow curve (กราฟเส้นสว่าง)
10. แบ่งตัวอย่างแร่ออกเป็น 3 ส่วน แต่ละส่วนหนักประมาณ 100 มิลลิกรัม นำส่วนที่ 1 ไปอบแดดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณสัญญาณ TL ที่ตกค้าง (residual) หรือหลงเหลืออยู่ในแร่ควอร์ตซ์
11. นำส่วนที่หนึ่งนี้และอีกสองส่วนไปอบรังสีแกมมา (หรืออบด้วยรังสีเบต้าอย่างใดอย่างหนึ่ง) ที่ทราบความเข้มของรังสีระดับต่าง ๆ (artificial dose addition)

12. ต่อจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปวัด TL-Irradiation glow curve ตัวอย่างละ 3-4 ครั้ง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ TL-Natural glow curve ที่มีอยู่แล้ว

13. ต่อจากนั้นจึงคำนวณหาค่า Paleodose เมื่อได้ค่า Paleodose (หรือ equivalent dose) และ Annual Dose เราสามารถคำนวณอายุของตัวอย่างได้

$$\text{Age} = \text{Paleodose} / \text{Annual dose} \quad (5.1)$$

หรือ อายุ = ความเข้มของเรืองแสงทั้งหมด/ความเข้มการเรืองแสงต่อปี

โดยที่ปริมาณความเข้มการเรืองแสงทั้งหมด(paleodose หรือ equivalent dose)เป็นปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่แร่ธาตุในธรรมชาติได้รับ ตั้งแต่เริ่มสะสมตัวในอดีตถึงปัจจุบัน มีหน่วยเป็น Gy (Gray) และปริมาณความเข้มการเรืองแสงต่อปี(annual dose)เป็นอัตราของกัมมันตภาพรังสีที่แผ่ออกมาในพื้นที่ดินในรอบ 1 ปี มีหน่วยเป็น mGy/y (หรือ miligray/year)

สำหรับค่าความเข้มการเรืองแสงต่อปี (annual dose หรือ AD) ในที่นี้เราหาได้โดยใช้วิธีทางอ้อมด้วยการนำตัวอย่างดินจากธรรมชาติ ประมาณ 100 กรัม ไปวัดหาค่ายูเรเนียม(U), ธอเรียม(Th) และโพแทสเซียม(K) ณ ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (กรุงเทพฯ) ด้วยวิธี neutron activation analysis (NAA) และวัดด้วยเครื่อง Gamma ray spectrometer เฉพาะในบางตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบผล ณ ที่มหาวิทยาลัย Akita ประเทศญี่ปุ่น แล้วจึงคำนวณด้วยสมการ 5.2 ข้างล่างนี้ ซึ่งอาศัยข้อมูลการศึกษาวิจัยของ Bell (1979) ดังตาราง 5.2

$$\text{AD} = D_{\alpha} + D_{\beta} + D_{\gamma} + D_c \quad (5.2)$$

โดยที่ $D_{\alpha} = 0.15(2.783\text{U} + 0.783\text{Th}) / (1 + 1.50\text{W})$,
 $D_{\beta} = (0.1462\text{U} + 0.0286\text{Th} + 0.8303\text{K}) B / (1 + 1.25\text{W})$,
 $D_{\gamma} = (0.1148\text{U} + 0.0514\text{Th} + 0.2492\text{K}) / (1 + 1.14\text{W})$, และ
 $D_c = \text{Cosmic ray}, 0.15$

ส่วน W เป็น ปริมาณน้ำหรือความชื้นคิดเป็นร้อยละที่อยู่ในช่องว่างของเม็ดดิน และ

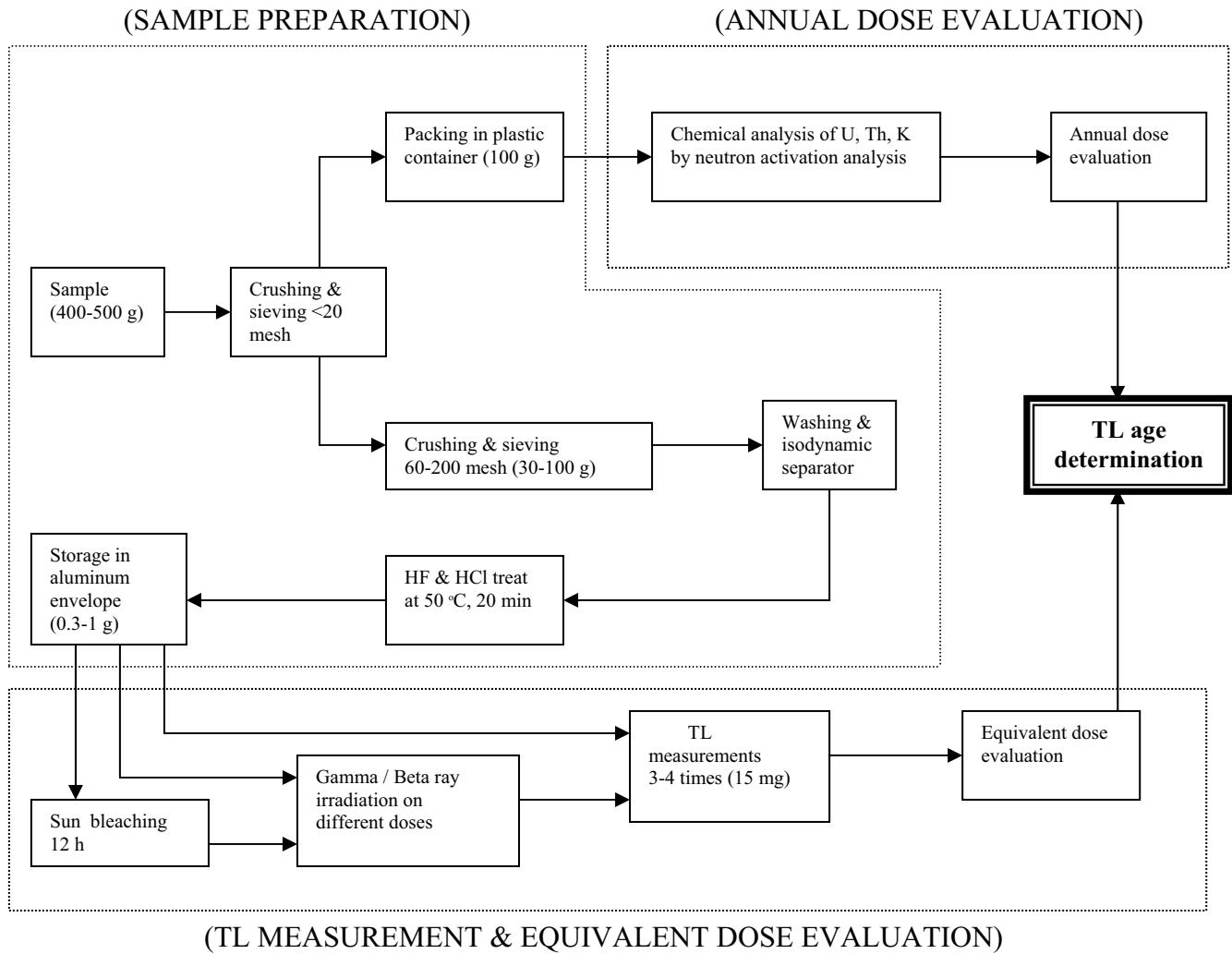
B เป็น ค่ารับรังสีเบต้าตามขนาดของเม็ดดิน = 0.9

ตาราง 5.2 ปริมาณความเข้มของรังสีอัลฟา รังสีเบต้า และรังสีแกมมา ที่เกิดจากการแผ่กัมมันตภาพ
รังสีของธาตุกัมมันตรังสี ในเวลา 1 ปี มีหน่วยเป็น ไมโครเกรย์ต่อปี (จาก Bell, 1979)

ชนิด radionuclide	ความเข้มข้น (Concentration)	อนุภาค		
		α	β	γ
Thorium series	1 ppm ^{232}Th			
no thoron loss		738	28.6	51.4
100% thoron loss		309	10.3	20.8
Uranium series	1 ppm ^{238}U			
no radon loss		2783	146.2	114.8
100% radon loss		1262	60.9	5.6
Natural potassium	1% K_2O		689.3	206.9
	1% K		830.3	249.2
Natural rubidium	100 ppm Rb		46.4	

ขั้นการเตรียมตัวอย่าง

ขั้นการวัดปริมาณการเรืองแสง



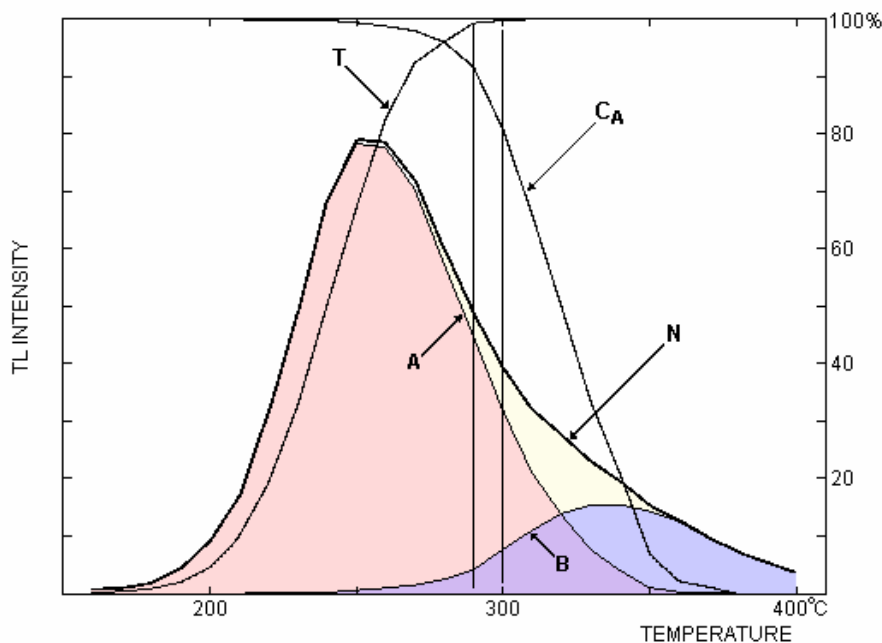
ขั้นตอนการวัดปริมาณการเรืองแสง

รูป 5.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างตะกอนดินเพื่อหาอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนในการ ศึกษาครั้งนี้ (ดัดแปลงจากTakashima, 1991)

5.6 ลักษณะสัญญาณการเรืองแสงความร้อนของเม็ดแร่ในตะกอนดิน

ปริมาณพลังงานที่สะสมไว้ในเม็ดแร่มีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บไว้ในหลุมกักเก็บ (trap) ของโครงสร้างผลึก ดังนั้นเมื่อผลึกแร่ได้รับความร้อน พลังงานนี้จะถูกปล่อยออกมาในรูปของแสงสว่าง และถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในหลุมกักที่ลึกลงไปก็จะหลุดออกมาด้วย พลังงานดังกล่าวนี้สามารถเก็บสะสมไว้ในผลึกของแร่ได้เป็นเวลานาน ๆ และปราศจากการสูญเสียนับตั้งแต่เริ่มต้นได้รับกัมมันตภาพรังสีในอดีต ยกเว้นกรณีที่ได้รับพลังงานจากภายนอกมากระตุ้น

รูป 5.9 แสดงกราฟเส้นสว่าง (glow curve) ของตัวอย่างธรรมชาติเมื่อตะกอนเม็ดละเอียดได้รับความร้อนในอัตรา 2°C ต่อวินาที เมื่อเส้นกราฟ N เป็นผลจากตัวอย่างตะกอนได้รับกัมมันตภาพรังสี ในธรรมชาติตั้งแต่ถูกทับถมอยู่ในธรรมชาติเรียกว่า สัญญาณการเรืองแสงธรรมชาติ (Natural TL) ซึ่งกราฟนี้เป็นผลรวมซ้อนทับกันระหว่างสัญญาณการเรืองแสงของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน 2 ระดับ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่ากราฟ $N = A+B$ เมื่อเส้นกราฟ A มีค่าความเข้มการเรืองแสงสูงสุดที่อุณหภูมิ 260°C ขณะที่เส้นกราฟ B อยู่ที่อุณหภูมิ 340°C เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วพบว่าสัญญาณที่อุณหภูมิ 260°C มีความเหมาะสมมากกว่าที่ 340°C ในการคัดเลือกจุดของสัญญาณการเรืองแสง (TL) ในการวัดหาอายุตะกอนดิน เนื่องจาก ณ จุด 260°C เป็นค่าที่ให้ความเข้มของสัญญาณมากที่สุด สำหรับชั้นตะกอนดินที่มีอายุเก่า ๆ อิเล็กตรอนที่สะสมอยู่ในหลุมกักเก็บ (trap) ระดับตื้น ๆ มักมีการสูญเสียออกไปในธรรมชาติ



รูป 5.9 กราฟเส้นสว่างของตัวอย่างตะกอนละเอียด เมื่อเส้น N เป็นค่าเส้นสว่างปกติ (Natural glow curve) ที่ประกอบด้วยผลรวมของความเข้มของสัญญาณ A และ B ส่วนเส้น กราฟ T แสดงถึงการสูญเสียสัญญาณการเรืองแสง (TL) จากการปลดปล่อยความร้อนในแต่ละช่วงอุณหภูมิ (เมื่อ $C_A = A/N$) ซึ่งทำให้สามารถคัดเลือกช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหาอายุได้ที่ $290 - 300^{\circ}\text{C}$ (จาก

<http://www.users.globalnet.co.uk/~qtls/>)

5.7 การประเมินค่าความเข้มการเรืองแสงทั้งหมด (Paleodose) ในชั้นตะกอนดิน

โดยทั่วไปเราเรียกปริมาณรังสีทั้งหมดที่เมื่อตะกอนดินได้รับจากกัมมันตภาพรังสีนับตั้งแต่วันที่ตะกอนเริ่มตกสะสมตัวถึงปัจจุบันว่าความเข้มการเรืองแสง (paleodose หรือ equivalent dose) ตัวอย่างตะกอนละเอียด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-10 ไมครอน) นับว่าเป็นตัวอย่างที่ได้รับความนิยมมากในการหาค่าความเข้มการเรืองแสงนี้ เพราะ (1) แสงสว่างและความร้อนของดวงอาทิตย์ลบล้างสัญญาณเดิมในตะกอนได้สมบูรณ์แบบ (2) ตะกอนละเอียดก็มีอัตราการรับรังสีสม่ำเสมอ และ (3) มีสารแปลกปลอมที่ทำให้เกิดการผันแปรสัญญาณได้น้อยกว่าตะกอนเม็ดหยาบ

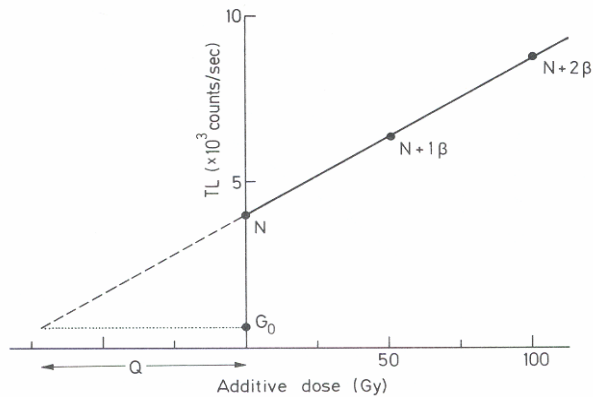
วิธีการหาค่าความเข้มการเรืองแสงทั้งหมดในชั้นตะกอนดินสามารถทำได้ด้วยการหาค่าการเรืองแสงธรรมชาติ(natural TL)ของตัวอย่างนั้นๆ ว่ามีอยู่จริงเท่าใด แล้วจึงนำตัวอย่างตะกอนดินธรรมชาตินั้นมาเพิ่มค่ากัมมันตภาพรังสีเทียม(artificial radioactivity)ที่ทราบค่าแน่นอนในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบหาค่าปริมาณความเข้ม(dose)ที่มีในชั้นดินนั้น เรียกวิธีนี้ว่าวิธีเพิ่มค่ารังสี (first glows หรือ additive dose method) (รูป 5.10) ส่วนอีกวิธีหนึ่งเราสามารถหาค่าความเข้มทั้งหมดได้จากการนำตัวอย่างไปอบแดดเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อหาค่าที่หลงเหลืออยู่(residual TL) ในตัวอย่างนั้นแล้วจึงนำไปอบกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่าแน่นอนในห้องปฏิบัติการเมื่อนำค่ามากำหนดเป็นเส้นกราฟ เราสามารถหาค่าปริมาณความเข้มการเรืองแสงทั้งหมดของชั้นตะกอนดินนั้นๆ ได้ เรียกวิธีนี้ว่าวิธีลบล้างสัญญาณทั้งหมด (total bleach method)

ยังมีอีก 2 วิธีที่สามารถหาค่าความเข้มการเรืองแสงได้ เพียงแต่แตกต่างกันที่ช่วงเวลาในการอบแดด ถ้าหากอบแดดนานมากถึง 24 ชั่วโมงมักเรียกเทคนิคนี้ว่าวิธีสร้างสัญญาณใหม่หมด (regeneration method) (รูป 5.11) แต่ถ้าเป็นการอบแดดให้ตัวอย่างเพียง 1-2 ชั่วโมงแล้วจึงนำตัวอย่างนั้นไปเพิ่มค่ารังสีเทียมต่อในห้องปฏิบัติการเรามักเรียกนั้นว่าวิธีลบล้างสัญญาณบางส่วน(partial bleach method) (รูป 5.12) นอกจากนำตัวอย่างตะกอนดินไปอบด้วยแสงแดดธรรมชาติจากดวงอาทิตย์แล้ว เรายังสามารถนำตัวอย่างไปอบด้วยลำแสง UV ในห้องปฏิบัติการได้อีกวิธีหนึ่งเพียงแต่ลดจำนวนชั่วโมงลงมาเท่านั้น

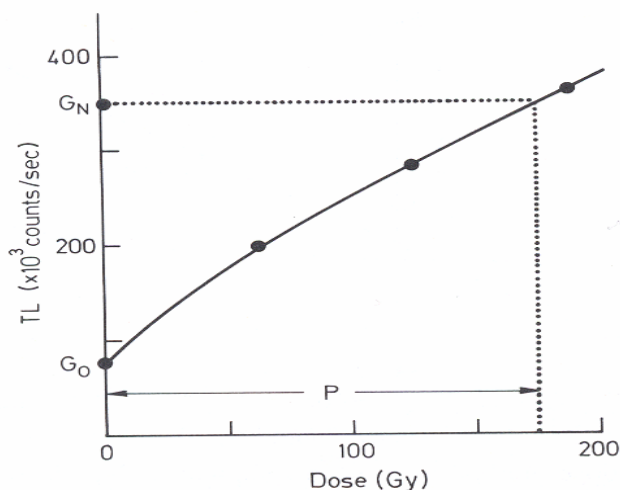
ตัวอย่างของกราฟเส้นสว่าง(glow curve)ที่แสดงไว้ในรูป 5.13 ให้ค่าความเข้มการเรืองแสงในธรรมชาติแทนด้วยสัญลักษณ์ N และให้ค่าหลงเหลืออยู่จากการอบแดดแทนด้วย R และใช้วิธีสร้างสัญญาณใหม่ (Regeneration) แสดงด้วยเส้นกราฟ $R1$ ถึง $R4$ ที่ได้จากการอบกัมมันตรังสีที่ 15, 30, 60 และ 120 Gy (เกรย์) ตามลำดับ ค่าของสัญญาณการเรืองแสงความร้อนเลือกสรรที่ใช้หาค่าความเข้มการเรืองแสงทั้งหมดได้เหมาะสมอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 290° - 300° ซ (จากรูป 5.9)

ในรูป 5.14 เป็นกราฟที่นำเอาค่าความเข้มการเรืองแสงความร้อนที่เลือกสรรจากรูป 5.13 แล้วมาแสดงคู่กับค่ากัมมันตภาพรังสีที่ใช้อบตัวอย่าง ซึ่งได้กราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่ากราฟเพิ่มค่าการเรืองแสง (growth curve)ซึ่งได้เปรียบเทียบวิธีเพิ่มค่ารังสีกับวิธีสร้างสัญญาณใหม่หมด(first glow และ regeneration)ไว้ด้วยกัน(ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้เป็นกราฟเส้นตรง) โดยให้ค่าการเรืองแสงความร้อนทั้งหมดที่เท่ากัน ในวิธีแรกใช้การลากเส้นกราฟต่อออกมาจากค่าการเรืองแสงความร้อนธรรมชาติ(natural TL)ที่แกน y แล้วให้มาถึงตัด ณ แกน x (เป็นค่าลบ)ทำให้ได้ค่าเหลือด้วย(residual) ซึ่งอยู่เหนือระดับเส้นศูนย์ของแกน X ณ ตำแหน่งเดียวกันกับวิธีการสร้าง

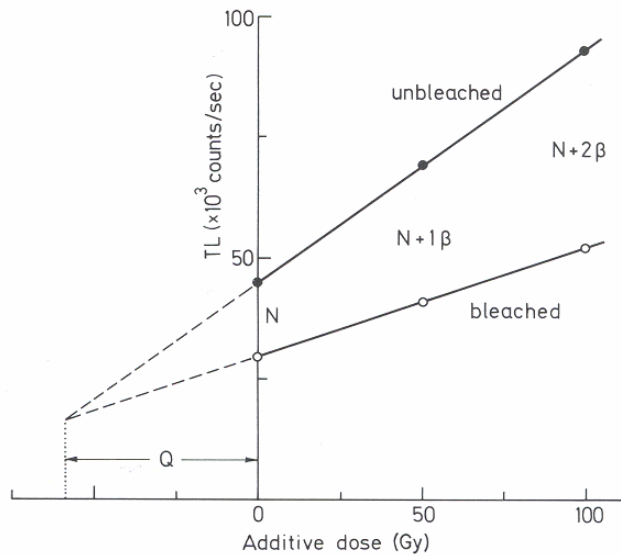
สัญญาณใหม่หมด(regeneration) หนึ่งสำหรับวิธีเพิ่มค่ารังสี(first glow) ที่ใช้หาค่าความเข้มการเรืองแสงทั้งหมด (paleodose) ในชั้นตะกอนดินนี้มักนิยมใช้กับที่ใช้หาในตัวอย่างของแร่แคลไซต์ที่เกิดขึ้นใหม่ในบริเวณน้ำพุร้อน หรือ หินงอกในถ้ำและขวานหินโบราณที่ถูกเผาไฟ (burnt flint) ส่วนวิธีสร้างสัญญาณใหม่หมด (regeneration) นั้นมีความง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าวิธีเพิ่มค่ารังสี(first glow) ในการหาอายุของตะกอนชั้นดิน เนื่องจากสามารถคำนวณค่าความเข้มการเรืองแสงความร้อนได้จากการลากเส้นตรงจากค่าการเรืองแสงธรรมชาติ (natural) มายังเส้นกราฟของแกน X ได้เลยโดยตรง ซึ่งเรียกค่านี้ว่าปริมาณสัญญาณใหม่ธรรมชาติ (Natural regeneration dose หรือ NRD)



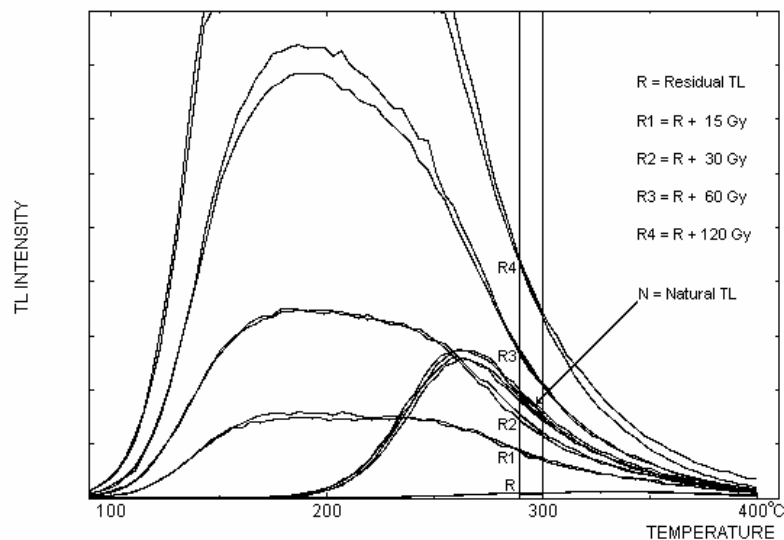
รูป 5.10 วิธีเพิ่มค่ารังสี (additive dose หรือ first glows) เพื่อหาค่าความเข้มการเรืองแสง (Q) ในตัวอย่าง ตะกอนดิน ด้วยการนำตัวอย่างตะกอนที่ให้ปริมาณสัญญาณธรรมชาติ (N) มาอบรังสีเบต้า (หรือแกมมา) โดยเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ เช่นครั้งละ 100 เกรย์ 200, 300 ฯลฯ ($N+1\beta$, $N+2\beta$ +.....) ส่วน G_0 เป็นค่าคงเหลืออยู่ในดิน (จาก Aitken, 1985)



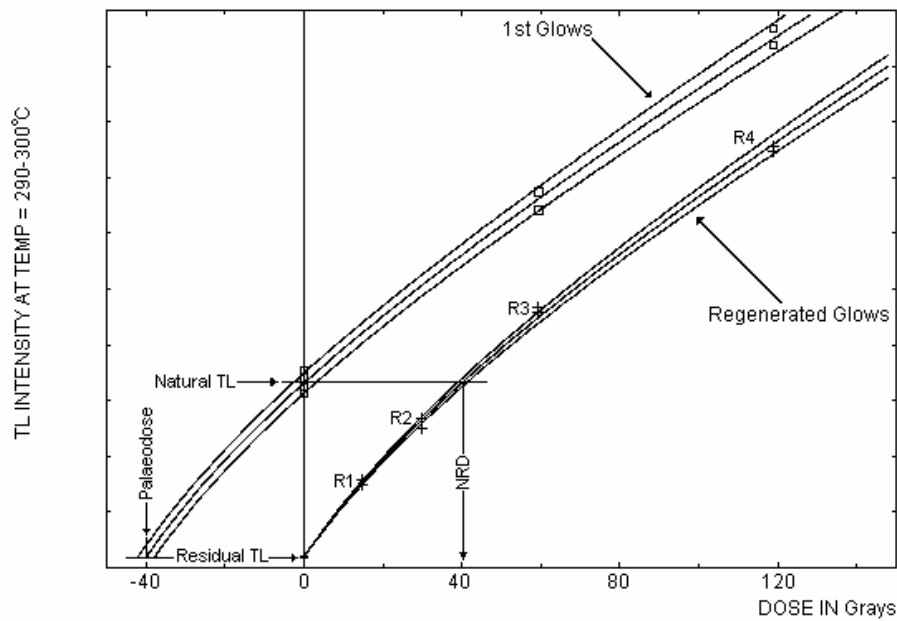
รูป 5.11 วิธีสร้างสัญญาณใหม่(regeneration) ซึ่งทำได้โดยให้ตัวอย่างที่ผ่านการอบแดดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาอบรังสีเพิ่มเป็นทวีคูณ โดยใช้จุดเริ่มต้นของกราฟที่จุดค่าคงเหลืออยู่ (G_0) ดังนั้นเมื่อทราบค่าความเข้มการเรืองแสง(TL) ในธรรมชาติ (G_N) ก็สามารถหาค่าความเข้มการเรืองแสง (Paleodose หรือ P) ของตัวอย่างตะกอนดินได้ (จาก Aitken, 1985)



รูป 5.12 วิธีลบล้างสัญญาณบางส่วน (partial bleach) ทำได้โดยการนำตัวอย่างดินไปอบแดดเพียง 1-2 ชั่วโมง แล้วนำมาอบรังสีเพิ่มทวิคูณเป็นช่วงๆ แล้วลากกราฟเส้นตรง โดยนำมาเทียบกับวิธีเพิ่มค่ารังสี (additive dose) ในกราฟบน ก็จะได้ค่า Paleodose (Q) โดยที่ไม่ต้องหาค่าคงเหลืออยู่ในดิน (จาก Aitken, 1985)



รูป 5.13 กราฟเส้นสว่าง (glow curves) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณการเรืองแสง (TL) กับอุณหภูมิของตัวอย่างตะกอนละเอียด โดยแสดงถึงสัญญาณการเรืองแสงธรรมชาติ (N) สัญญาณคงเหลืออยู่ (R) ซึ่งได้จากการนำตัวอย่างธรรมชาติไปอบแดดเป็นเวลานาน แล้วนำไปอบรังสีที่ความเข้ม 15, 30, 60 และ 120 Gy โดยเลือกใช้ช่วงอุณหภูมิประมาณ 290° ถึง 300°ซ (จากรูป 5.9) (จาก <http://www.users.globalnet.co.uk/~qtls/>)



รูป 5.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการหาค่าการเรืองแสงทั้งหมด (Paleodose) ด้วยวิธีเพิ่มค่ารังสี (First glows หรือ additive dose) กับที่ได้จากวิธีการสร้างสัญญาณใหม่หมด(Regenerated glows) โดยที่ ให้ผลเท่ากันคือ 40 Gy (จาก <http://www.users.globalnet.co.uk/~qtls/>)

5.8 ข้อจำกัดในการหาช่วงอายุของชั้นตะกอน

โดยทั่วไปมีข้อจำกัดในการหาอายุตะกอนดินด้วยวิธีการเรืองแสงความร้อน ทั้งนี้เนื่องจาก 2 ปัจจัยหลักด้วยกัน คือ การอิ่มตัวของสัญญาณเรืองแสงความร้อน(saturation of the TL growth) และความไร้เสถียรภาพของสัญญาณ (instability of the signal)

การอิ่มตัวของสัญญาณเรืองแสงความร้อน หมายถึง การที่เราเพิ่มปริมาณการอบกัมมันตภาพรังสีมากขึ้น แต่สัญญาณการเรืองแสงความร้อนไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม แต่ยังคงอยู่ ณ ที่ตำแหน่งเดิม ส่วนความไร้เสถียรภาพของสัญญาณ หมายถึง การที่เราค่อย ๆ เพิ่มความร้อนให้กับตัวอย่าง แต่กราฟแสดงสัญญาณการเรืองแสงความร้อนไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม ณ ตำแหน่งอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มของสัญญาณสูญหายไป ซึ่งมักเกิดกับชั้นตะกอนดินที่มีอายุตั้งแต่แสนปีขึ้นไป(Aitken, 1985)

5.9 ความถูกต้องแม่นยำของการหาอายุตะกอนด้วยวิธีการเรืองแสงด้วยความร้อน

การหาอายุของชั้นตะกอนด้วยวิธีการเรืองแสงความร้อนนี้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นกับค่าความผิดพลาด ซึ่งได้แก่การประเมินหาค่าการเรืองแสงความร้อนทั้งหมด (paleodose) และการวัดหาค่าปริมาณการเรืองแสงต่อปี (annual dose หรือ dose rate) โดยที่ช่วงค่าการเรืองแสงความร้อนทั้งหมดที่วัดได้จากเครื่องมือ มีค่ากว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแร่ในตะกอน ซึ่งค่าที่ได้มักมีความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 5-10% ส่วน

ค่าที่ผันแปรไปของค่าการเรืองแสงความร้อนต่อปีขึ้นอยู่กับความเป็นเนื้อเดียวกันของตะกอนดินในช่วงเวลาสะสมตะกอนและอัตราการแผ่กระจายตัวของกัมมันตภาพรังสี รวมทั้งปริมาณน้ำในดินด้วย ซึ่งทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในกรณีนี้ไม่เกิน 10% โดยรวมแล้วค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในการวัดหาอายุด้วยวิธีนี้ต้องไม่เกิน 15% (Takashima, 1991) (โดยที่มีความน่าจะเป็นอยู่ในค่า 68%)

5.10 ผลการหาอายุชั้นดินด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน(TL –dating results)

การขุดร่องสำรวจในบริเวณพื้นที่ที่มีรอยเลื่อนมีพลัง นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากเพื่อกันหาร่องรอยของรอยเลื่อนที่สัมพันธ์แผ่นดินไหว(earthquake-relating fault) ที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วในอดีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่ที่ยังไม่ปรากฏการแยกหรือปริแตกบนพื้นผิวดินให้เห็นในปัจจุบัน(surface rupture) อย่างเช่นพื้นที่ศึกษาวิจัยในพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่ในครั้งนี้

ดังนั้นในการคัดเลือกพื้นที่ขุดร่องสำรวจ(trenching)จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงลักษณะการปรากฏและทิศทางของรอยเลื่อนเป็นสำคัญ โดยร่องสำรวจต้องตั้งฉากกับแนวของรอยเลื่อนเป็นหลัก และอยู่ในข่ายโครงการรังวัดของแผนที่ภูมิประเทศรายละเอียด หรือมีหมุดหลักฐานอ้างอิงเชื่อมโยงถึงกันได้ทุกตำแหน่งของร่องสำรวจเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างชั้นดินที่ตกตะกอนสะสมตัวในบริเวณต่างๆ ของภูมิประเทศ นอกจากนั้นตำแหน่งที่ขุดต้องเป็นจุดที่มีความปลอดภัยในการทำงาน มีโอกาสพังทลายของดินน้อยมาก แต่ในหลายๆครั้งจุดที่จะทำการขุดร่องสำรวจมักเป็นจุดที่ประสบปัญหาที่ไม่เกี่ยวข้องกับทางเทคนิค(nontechnical problem) เช่นเป็นพื้นที่หวงห้าม(non-personnel trespassing) หรือของรัฐบาล(government-owned area) ทำให้ไม่สามารถกำหนดจุดได้ถูกต้องแม่นยำจริงๆ แต่ก็ต้องพยายามหาจุดนี้เป็นไปได้มากที่สุด เมื่อได้ร่องสำรวจแล้วต้องทำการขุดผนังทุกด้านของร่องสำรวจให้เรียบ และขีดเส้นรอยต่อของแต่ละชั้นตะกอนดิน อีกทั้งแนวเหลื่อมตัวออกจากกันของชั้นตะกอน (ซึ่งอาจแสดงการเลื่อนตัวหรือรอยเลื่อน) ปักด้วยธงขนาดเล็กลงบนชั้นตะกอนดินละหนึ่งสี ต่อจากนั้นจึงจึงเชือกทำเป็นตารางโดยให้มีระยะห่างในแนวราบประมาณ 75 เซนติเมตร และแนวดิ่งประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อเป็นจุดอ้างอิง(reference point) ทำการพรรณาเก็บรายละเอียดของทุกชั้นตะกอนดิน และรอยเลื่อนที่ปรากฏทุกจุด ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่าปูมบันทึกร่องสำรวจ(trench logging) ต่อมาจึงสเก็ตภาพและถ่ายภาพทุกช่องกริดทั้งสองผนังตลอดความยาวของร่องสำรวจ แล้วนำภาพถ่ายทั้งหมดมาต่อกันเป็นภาพโมเสสแสดงข้อมูลหลักฐานทั้งหมดที่ค้นพบในสนาม รวมทั้งเก็บตะกอนดินของชั้นต่างๆที่มีขนาดเม็ดละเอียดทั้งชั้นที่ถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน และชั้นที่ปิดทับรอยเลื่อนด้านบน รวมทั้งถ้ามีผงรอยเลื่อน(fault gouge) อยู่ด้วย เพื่อหาอายุ ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการวัดหาอายุของตัวอย่างในพื้นที่จังหวัดลำปางจำนวน 20 ตัวอย่าง ได้นำสรุปรวมไว้ในตาราง 5.3 ก และของจังหวัดแพร่ได้สรุปไว้ในตาราง 5.3 ข

ตาราง 5.3ก ผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนจากร่องสำรวจบ้านบอม (BB) บ้านสมัย (HS) และบ้านมาย (Mai) รวมแหล่งดินโผล่ข้างถนน (LP) ในจังหวัดลำปางด้วยวิธีเรืองแสงด้วยความร้อนและลักษณะโผล่ปรากฏตามเส้นทางลำปาง-เด่นชัย

Sample No.	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Water content (%)	Annual Dose (mGy/Y)	Paleodose (Gy)	TL Age (year)
BB1-1	1.59	6.37	1.25	10	3.27	5	1,500 ± 20
BB1-3	1.66	7.76	1.26	15	3.36	7	2,000 ± 110
BB1-4	1.84	6.88	1.30	15	3.38	12	3,500 ± 80
BB1-5	1.78	7.67	1.40	19	3.41	21	6,100 ± 170
BB1-7	1.40	6.91	1.20	22	2.84	12	4,200 ± 160
HS1-1	5.48	21.46	4.18	4	11.59	55	4,700 ± 210
HS1-2	4.96	22.52	4.41	2	11.96	53	4,400 ± 170
HS1-3	4.88	25.92	3.82	2	11.88	76	6,400 ± 280
HS1-4	5.01	26.97	3.96	7	11.58	78	6,700 ± 220
HS1-5	5.32	21.00	4.36	22	9.43	23	2,400 ± 150
HS1-6	4.13	27.85	4.06	10	10.89	45	4,100 ± 150
Mai1-1	2.60	11.92	1.42	14	4.75	18	3,800 ± 140
Mai1-2	2.38	12.93	1.46	14	4.83	23	4,700 ± 450
Mai1-3	2.65	13.47	1.60	10	5.42	34	6,300 ± 900
Mai1-4	2.71	13.29	1.28	10	5.14	40	7,800 ± 750
Mai1-5	2.64	16.55	1.25	13	5.46	210	40,000 ± 3,000
Mai1-6	2.51	15.94	1.50	10	5.67	105	18,000 ± 2,500
LP1-1	2.53	21.27	1.96	10	7.82	305	39,000 ± 1,500
LP1-2	3.27	22.40	1.93	13	7.35	360	49,000 ± 2,000
LP1-3	2.65	22.27	1.90	8	7.36	380	51,000 ± 3,000

ตาราง 5.3ข ผลการหาอายุของตัวอย่างตะกอนจากจังหวัดแพร่ด้วยวิธีเรืองแสงด้วยความร้อน

Sample No.	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Water content (%)	Annual Dose (mGy/Y)	Paleodose (Gy)	TL Age (Year)
TC	1.45	4.95	0.75	16	1.08	1,410	970,000±180,000
CC1	2.91	10.09	1.27	6	2.31	404	90,000±13,000
CC2	2.24	9.05	1.85	15	2.26	1,880	55,000±10,000
PDL1	2.65	8.89	1.38	12	2.08	1,010	390,000±100,000
PDL2	2.72	8.67	1.43	5	2.34	2,810	1,200,000±220,000
PDR1	2.19	8.37	1.23	8	1.97	2,030	890,000±140,000
PDR2	2.49	6.60	1.25	2	2.09	3,275	1,150,000±285,000
PD2-1	2.77	9.18	0.61	7	1.69	480	190,000±48,000
PD2-2	3.82	9.98	1.67	6	2.84	2,760	970,000±250,000
G2	2.30	8.66	1.43	8	1.94	1,600	270,000±70,000

5.11 ผลการศึกษาภาคสนามของกลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-เถิน

กลุ่มรอยเลื่อนลำปาง-เถิน(Lampang-Thoen fault zone) มีความยาวประมาณ 120 กิโลเมตร ประกอบด้วยรอยเลื่อนต่างๆ ที่มีทิศทางการวางตัวส่วนใหญ่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ รอยเลื่อนบ้านมาย รอยเลื่อนต้นจูน รอยเลื่อนสบปราบ รอยเลื่อนเถิน รอยเลื่อนลอง รอยเลื่อนวังจั่น รอยเลื่อนแม่ปวน และรอยเลื่อน วังขอน เป็นต้น (ดูรูป 5.15) ซึ่งกลุ่มรอยเลื่อนนี้ปรากฏอยู่ระหว่างด้านตะวันออกของแอ่งถ้ำหินเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และด้านตะวันตกของแอ่งสะสมตะกอนจังหวัดแพร่โดยที่ก่อนหน้านี้ Nutalaya (1994) และ Hinthong (1995) ได้จัดจำแนกให้กลุ่มรอยเลื่อนเถินเป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่ยังมีการขยับเคลื่อนตัวอยู่ในปัจจุบัน หรือที่เรียกว่ารอยเลื่อนมีพลัง(active fault) กลุ่มรอยเลื่อนนี้ก่อให้เกิดหน้าผาสามเหลี่ยม (triangular facet) ที่เห็นได้ชัดทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีความสูงมากถึง 600 เมตรในส่วนช่วงตอนกลางของทิวเขาที่เป็นเส้นแบ่งจังหวัดลำปาง และจังหวัดแพร่ โดยมีความสูงเฉลี่ยของหน้าผานี้ตลอดแนวรอยเลื่อนประมาณ 400 เมตร กลุ่มรอยเลื่อนเถินมีลักษณะธรณีสัณฐาน(geomorphology) มากมายที่บ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นเมื่อไม่นานมานี้ โดยเฉพาะการที่รอยเลื่อนสัมผัสกับแอ่งสะสมตัวของตะกอนยุคปัจจุบัน รอยเลื่อนกลุ่มนี้มีหลักฐานบ่งชี้ว่ามีการเคลื่อนขยับตัวทุกแนวรอยเลื่อนตลอดความยาวทั้งหมดของกลุ่มรอยเลื่อนเถิน

การวิเคราะห์จากภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:50,000 เพื่อศึกษาสภาพธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่ และการสำรวจภาคสนาม พบว่าตลอดแนวของกลุ่มรอยเลื่อนเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงบนในอำเภอแม่ทะ ลงมาทางใต้ผ่านอำเภอสบปราบ จนถึงอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ส่วนด้านตะวันออกของพื้นที่สำรวจในเขตอำเภอวังชิ้น จนถึงอำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่ ทำให้ได้พื้นที่เลือกสรรที่จะทำการศึกษาวิจัยในรายละเอียดด้วยการขุดร่องสำรวจตั้งฉากกับแนวรอยเลื่อน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ในแนวดิ่งของรอยเลื่อน และชั้นดินตะกอนยุคใหม่ ทั้งที่ถูกรอยเลื่อนตัดผ่าน และที่ปิดทับแนวรอยเลื่อน รวมทั้งวัดหาอายุของชั้นดินต่างๆ เหล่านี้เพื่อหาเวลาที่รอยเลื่อนมีการขยับตัว นอกจากนี้ก่อนทำการขุดร่องสำรวจได้ดำเนินการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศรายละเอียดรายรอบพื้นที่เลือกสรรที่เป็นรอยเลื่อนที่มีศักยภาพมีพลังลำดับต้นๆ หรือแสดงมีลักษณะสภาพธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่ (neotectonics) ที่คมชัดมากที่สุด อีกทั้งมีการผูกโยงชะล้างจากทางน้ำน้อย ๆ และความยากง่ายในการเข้าพื้นที่ รวมทั้งการอนุญาตของเจ้าของพื้นที่โดยได้เลือกรอยเลื่อน 3 รอยเลื่อน (ดูรูป 5.15) ได้แก่

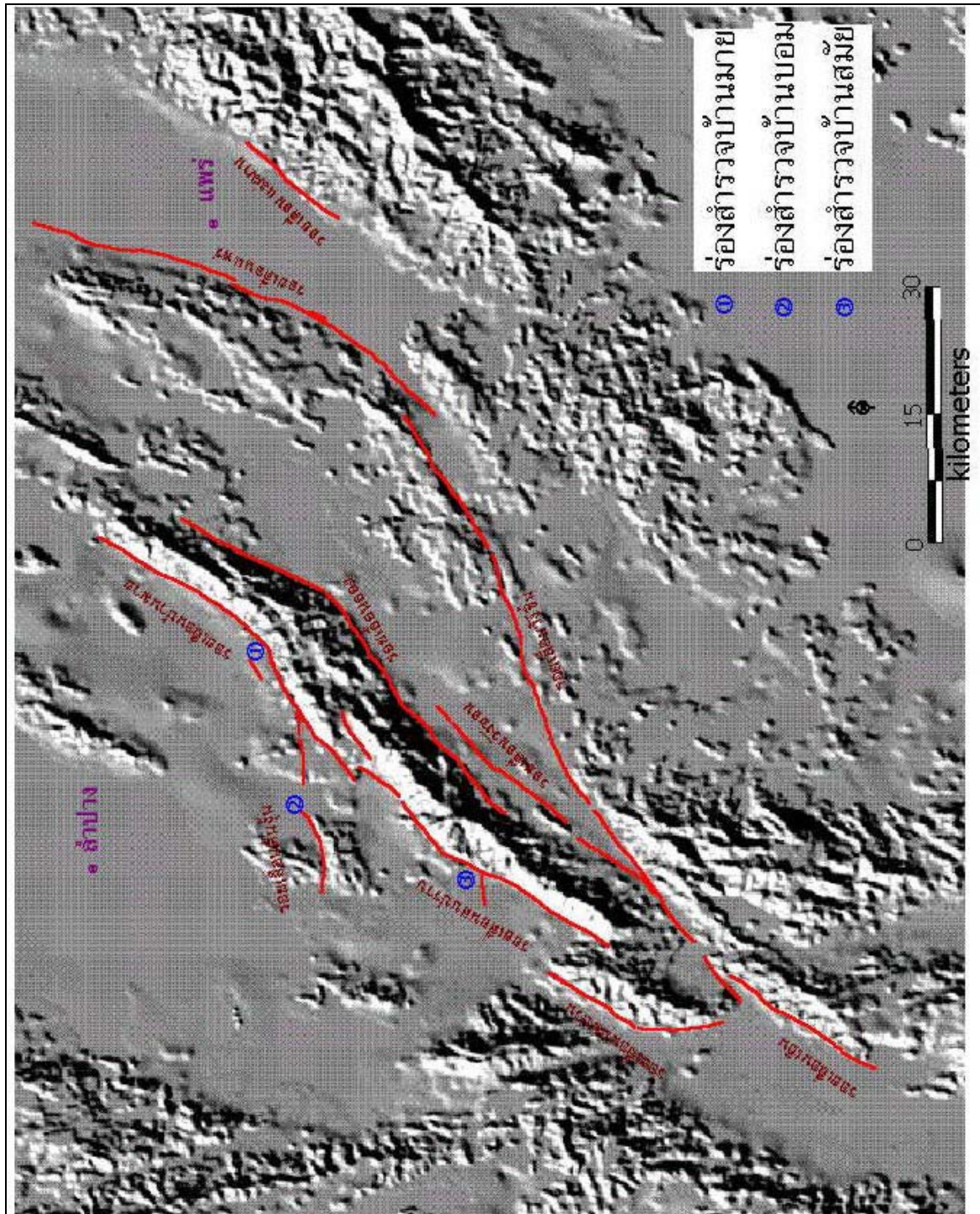
1. รอยเลื่อนบ้านมาย ที่บ้านมาย ตำบลวังเงิน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง
2. รอยเลื่อนต้นงู ที่บ้านบอมหลวง ตำบลบ้านบอม อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง และ
3. รอยเลื่อนสบปราบ ที่บ้านเหล่า ตำบลสมัย อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง

5.11.1 รอยเลื่อนบ้านมาย

ตลอดความยาว 40 กิโลเมตรของรอยเลื่อนบ้านมายนี้ปรากฏว่าเมื่อครั้งในอดีตหลายหมื่นปีที่ผ่านมา รอยเลื่อนดังกล่าวน่าจะมีการขยับเคลื่อนตัวหลายครั้ง ก่อให้เกิดหน้าผาสามเหลี่ยมหลายระดับตามไหล่เขา โดยเฉพาะด้านที่หันหน้าไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 400 ถึง 600 เมตร หน้าผาสามเหลี่ยมเหล่านี้ถูกค้นด้วยลักษณะภูมิประเทศแบบขั้นบันได ซึ่งก็คือร่องรอยที่เหลือจากการกัดกร่อนของทางน้ำในแต่ละครั้ง หลังการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง ที่ฐานของหน้าผารอยเลื่อน หน้าผาเหล่านี้มีความชัดเจนมากที่สุดบริเวณบ้านมาย ซึ่งทำให้เราเรียกรอยเลื่อนนี้ว่า “รอยเลื่อนบ้านมาย” ซึ่งประกอบด้วยขั้นบันไดอย่างน้อย 3 ระดับ ที่มีความชันเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้ส่วนฐานของหน้าผา โดยที่ปกติแล้วขั้นบันไดที่ชันมากที่สุดแสดงถึงกาลเวลาของการเคลื่อนตัวครั้งล่าสุด โดยที่ขั้นบันไดระดับต่ำสุดที่พบ มีความสูงระหว่าง 5 ถึง 10 เมตร และเอียงจากแนวราบประมาณ 35 ถึง 40 องศา

รอยเลื่อนบริเวณนี้มีสิ่งบ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวที่ค่อนข้างใหม่ปรากฏอยู่ในหินโผล่จากการตัดถนน ที่อยู่ถัดออกไปจากทิวเขาหน้าผาสามเหลี่ยมประมาณ 1 กิโลเมตร ตามถนนสายลำปาง-อำเภอเถิน (ทางหลวงหมายเลข 11) บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 28+600 มีรอยเลื่อนปกติแนวหนึ่งที่ตัดให้ชั้นกรวดตะกอนน้ำพา (river gravel bed) และดินเหนียวทะเลสาบ (lacustrine) เอียงเทลงไปทางทิศตะวันตกประมาณ 80 องศาจากแนวราบ และรอยเลื่อนนี้มีทิศทางการวางตัวในแนว 230 องศาจากทิศเหนือ (แนวตะวันตกเฉียงใต้) โดยมีระยะการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง (vertical slip) ประมาณ 1.5 เมตร จำนวนครั้งของการเคลื่อนตัวและระยะการเคลื่อนตัวในแต่ละครั้งไม่สามารถหาได้ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนบนของลำดับชั้นดินบริเวณนี้ถูกกัดกร่อนมากจนราบเรียบก่อนที่จะมีชั้นกรวดอายุอ่อนพัดพามา

ตกทับถมกันบนพื้นผิวที่ถูกกัดกร่อนดังกล่าวและจากหลักฐานในสนามพบว่าแนวชั้นกรวดอายุอ่อนนี้ปิดทับแนวรอยเลื่อน (รูป 5.16)



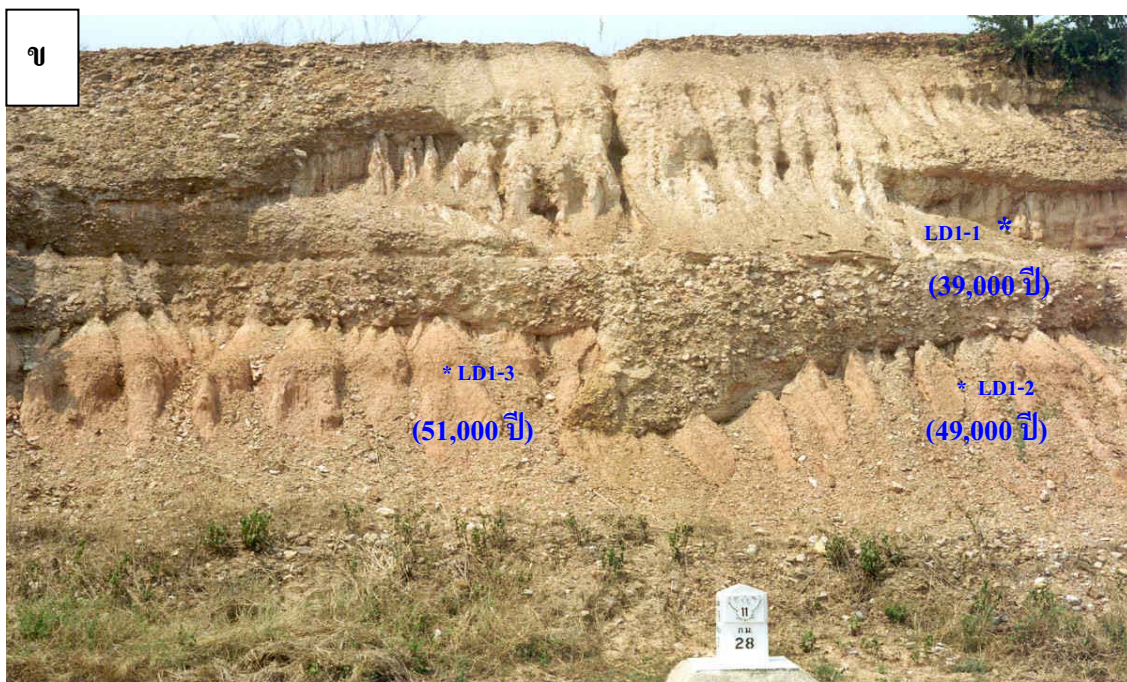
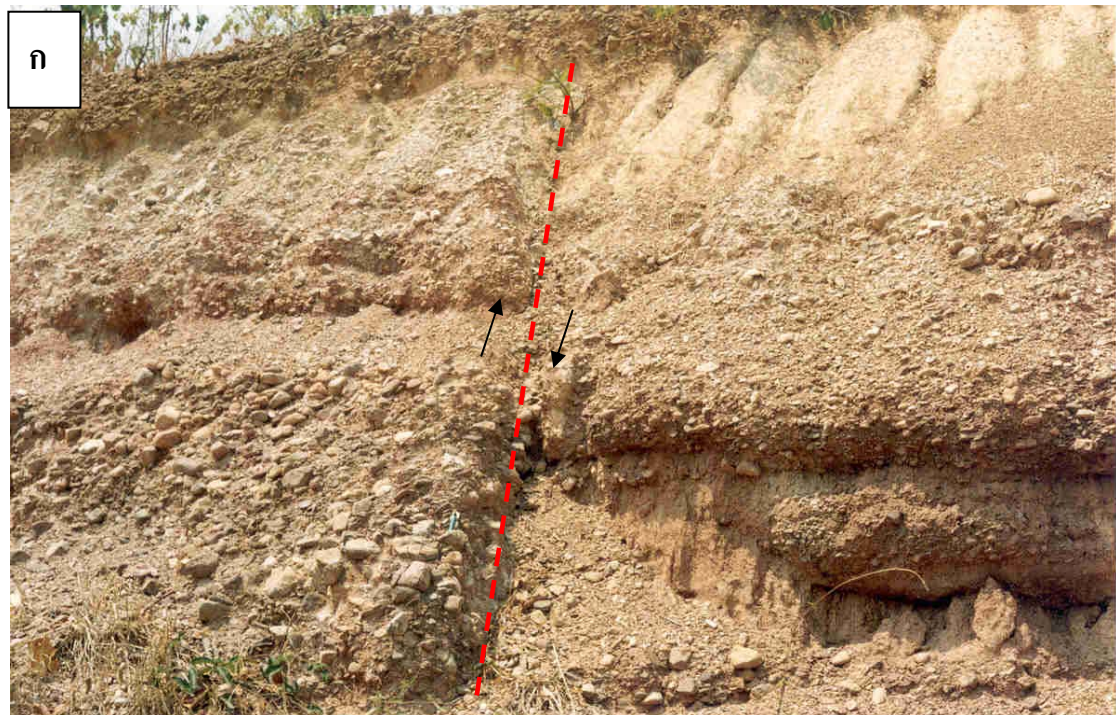
รูป 5.15 แนวกลุ่มรอยเลื่อนเงิน-แพร่ ในพื้นที่จังหวัดลำปาง-แพร่ และตำแหน่งร่องสำรวจบ้านมาย บ้านบอม และบ้านสมย

ชั้นดินเหนียวทะเลสาบที่มีชั้นกรวดตะกอนน้ำพาแทรกสลับคั่นกลางที่ถูกรอยเลื่อนนี้ตัดผ่านให้เคลื่อนออกจากกัน ถูกเก็บตัวอย่างนำมาหาอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน(TL) พบว่าดินเหนียวชั้นล่างที่มีสีน้ำตาลแดงอ่อนมีอายุเฉลี่ยประมาณ 50,000 ปี ($49,000 \pm 2,000$ และ $51,000 \pm 3,000$ ปี) และดินเหนียวชั้นบนสีเหลืองจางมีอายุเฉลี่ยประมาณ 40,000 ปี ($39,000 \pm 1,500$ ปี) จากลักษณะนี้แสดงหมายความว่ารอยเลื่อนนี้มีการเคลื่อนขยับตัวครั้งสุดท้ายไม่เกิน 40,000 ปีล่วงมาแล้ว

จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศพบว่า รอยเลื่อนที่ปรากฏข้างถนนนี้มีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างตรงไปทางทิศตะวันออก และมีความยาวประมาณ 12 กิโลเมตร โดยวางตัวค่อนข้างขนานไปกับรอยเลื่อนบ้านมายที่เป็นรอยเลื่อนหลัก ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างรอยเลื่อนนี้กับรอยเลื่อนบ้านมายเป็นลักษณะรอยเลื่อนทางเดียวกัน(synthetic fault) นั่นคือมีมุมเอียงเท และทิศทางการเคลื่อนตัวเหมือนรอยเลื่อนหลัก แต่จากลักษณะปรากฏทางธรณีสัณฐานที่ขาดหายไป และไม่ปรากฏลักษณะการเคลื่อนตัวที่ไม่ปรากฏในชั้นกรวดอายุอ่อน บ่งบอกว่ารอยเลื่อนนี้น่าจะมีอายุแก่กว่ารอยเลื่อนบ้านมาย

จากการสำรวจในสนามบริเวณทุ่งนาของบ้านมาย ตำบลวังเงิน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง พบว่ารอยเลื่อนบ้านมายตัดเข้าไปในกลุ่มน้ำหลากของห้วยแม่มายซึ่งเป็นที่ลุ่มนาข้าว และก่อให้เกิดการเลื่อนตัวในแนวตั้ง (vertical offset) ของพื้นผิวชั้นตะกอนน้ำ ลงไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 6 เมตร ซึ่งพบว่าเป็นพื้นที่เหมาะสมที่สุดที่จะเป็นจุดตรวจตรวจสอบศึกษาค้นหาร่องรอยของประวัติการเคลื่อนตัว และการเคลื่อนครั้งล่าสุดของรอยเลื่อนบ้านมายนี้ (รูป 5.17)

ผลของการตรวจสำรวจดังแสดงในรูป 5.20 พบว่าในลำดับชั้นดินในร่องบ้านมาย 1 ช่วงล่างเป็นชั้นดินเหนียวปนกรวด 3 ชั้นหนาประมาณ 20-250 ซม และชั้นกรวดแทรกชั้นอยู่ 1 ชั้น โดยชั้นดินเหนียวปนกรวด (gravelly clay) ชั้นที่ 3 นับจากข้างล่างมีเม็ดดินลูกรัง(lateritic)ปะปนมาก บ่งชี้ว่าเป็นหน้าดินเดิมที่สัมผัสกับอากาศเกิดปฏิกิริยาเคมีออกซิเจนในเนื้อดิน ซึ่งชั้นดินช่วงล่างที่กล่าวมานี้ถูกรอยเลื่อนตัดผ่านตลอด หลังจากนั้น มีชั้นดินเหนียวปนทราย(sandy clay)มาปิดทับ ตามด้วยดินเหนียวปนกรวด (gravelly clay) ซึ่งแสดงการจัดขนาดทำให้เนื้อดินเม็ดหยาบขึ้นด้านบน(coarsening upward sequence)คล้ายกับการสะสมตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fan)โดยมีหน้าดินดำปิดทับตอนบนสุด สำหรับอายุที่หาได้ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน(TL)พบว่าในชั้นดินเหนียวปนกรวดชั้นล่างสุดมีอายุประมาณ 40,000 ปี และชั้นดินเหนียวปนกรวดชั้นที่สองมีอายุ $6,300 \pm 900$ ปี $7,800 \pm 750$ ปี และ $18,000 \pm 2,500$ ปี หรือมีอายุประมาณ 6,000 ถึง 20,000 ปีล่วงมาแล้ว ส่วนชั้นดินเหนียวปนทรายที่อยู่ปิดทับด้านบนของรอยเลื่อนวัดหาอายุได้ $3,800 \pm 140$ ปี และ $4,700 \pm 450$ ปี หรือมีอายุอยู่ในช่วงประมาณ 3,000 ถึง 5,000 ปีล่วงมาแล้ว เพราะฉะนั้นชั้นดินเหนียวปนกรวดปนลูกรังควรมีอายุอยู่ประมาณ 5,000 ถึง 6,000 ปีล่วงมาแล้ว จากข้อมูลทั้งหมดแสดงว่าในพื้นที่นี้แนวรอยเลื่อนบ้านมายมีการขยับเคลื่อนตัวครั้งสุดท้ายเมื่อประมาณ 5,000 ปีมาแล้ว และจากข้อมูลการสำรวจทำแผนที่ภูมิประเทศรายละเอียด (รูป 5.19) พบว่ามีทางน้ำหักงอในลักษณะเหลื่อมซ้าย(left-lateral offset) และมีความต่างระดับของชั้นตะพัก(river terrace) กับทุ่งนา(alluvial plain) ด้านล่างในแนวตั้ง 6 เมตร (รูป 5.17) และชั้นดินเหนียวปนกรวดที่ถูกตัดมีอายุประมาณ 40,000 ปี ทำให้สามารถประมาณอัตราเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ (slip rate) ของรอยเลื่อนบ้านมายนี้เป็น 0.15 มิลลิเมตรต่อปี



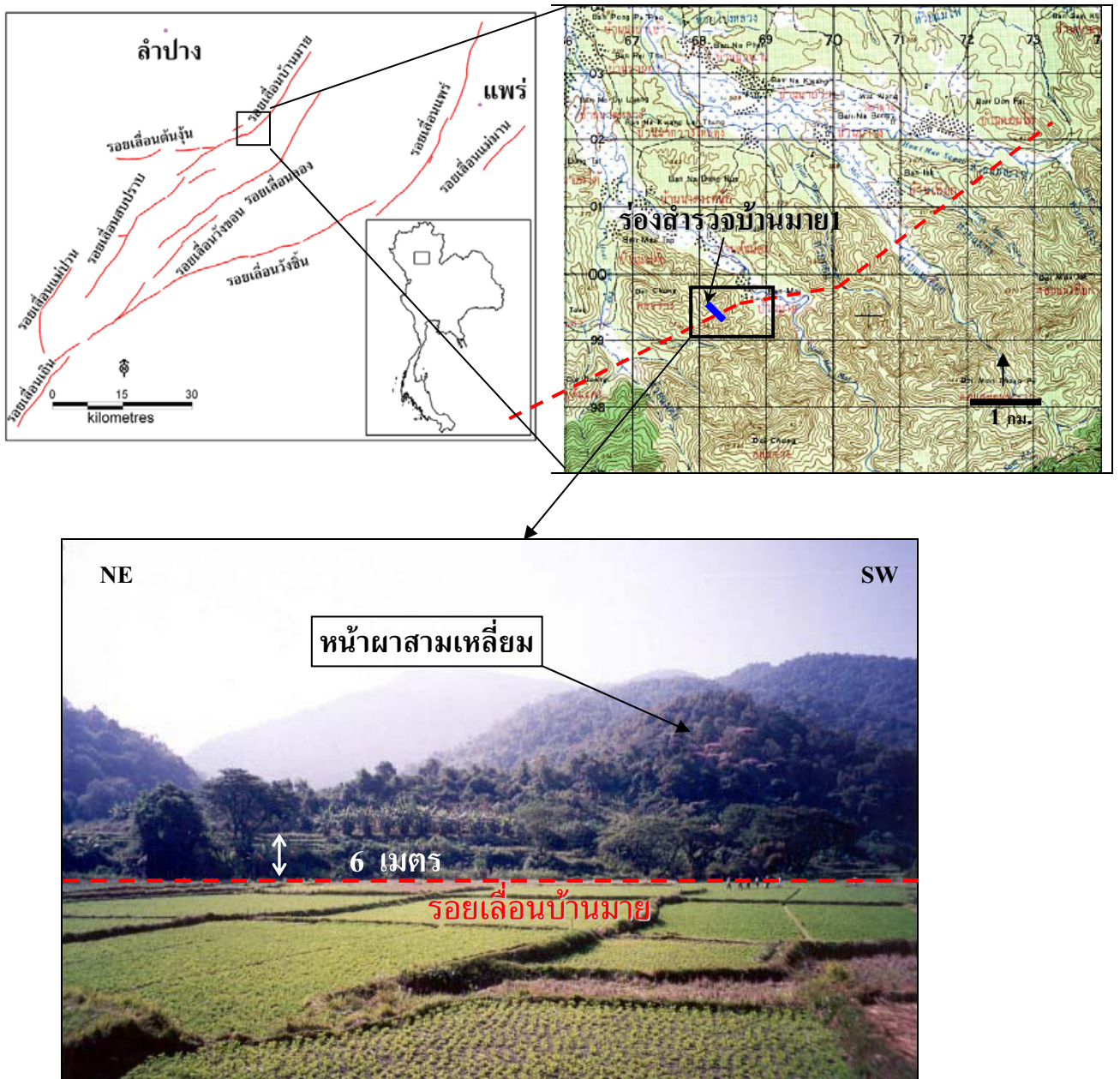
รูป 5.16 ก. ตะกอนไม่จับแน่น (unconsolidated deposit) ที่โผล่ให้เห็นเนื่องจากถนนตัดผ่าน (road-cut exposure) ณ หลักกิโลเมตรที่ 28+600 ถนนลำปาง-ลอง ที่แสดงแนวรอยเลื่อนปกติ ซึ่งตัดผ่านชั้นกรวดและชั้นดินเหนียวจนทำให้เกิดการเลื่อนตัวในแนวตั้ง 1.5 เมตร โดยมีชั้นกรวดอายุอ่อนปิดทับรอยเลื่อน และ (ข) อายุชั้นดินเหนียวที่วัดด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน ณ หลักกิโลเมตรที่ 28+000 ถนนลำปาง-ลอง ซึ่งหาอายุได้ประมาณ 50,000 ปี (ชั้นล่าง) และ 39,000 ปี (ชั้นบน)

5.11.2 รอยเลื่อนต้นงูน

รอยเลื่อนบ้านมายเป็นรอยเลื่อนหลักที่อยู่ด้านเหนือ เมื่อทอดตัวยาวลงมาทิศใต้ได้มีการหักโค้งงอตัวเข้าสู่ทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตกมากขึ้น และมีการแตกแยกออกเป็นรอยเลื่อนสาขา (หรือรอยเลื่อนย่อย) ที่มีชื่อว่า “รอยเลื่อนต้นงูน” ซึ่งมีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออก-ตะวันตก มีความยาว 20 กิโลเมตร รอยเลื่อนนี้แสดงลักษณะหน้าผาสองเหลี่ยม และผารอยเลื่อนที่หันหน้าไปทางทิศเหนือและมีแนวทอดตัวไปไกลเกือบถึงแม่น้ำวังในทางทิศตะวันตก รอยเลื่อนสาขานี้ปรากฏหน้าผาสองเหลี่ยมซ้อนกันหลายอัน และมีเชิงระนาบหน้าตัดหลายอันปรากฏรวมอยู่ด้วย พร้อมทั้งมีหุบเขาทางน้ำรูปแฉับเหลี่ยม (Y-glass valley) อีกด้วย ซึ่งทั้งหมดนี้บ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นเมื่อไม่นานมานี้ หน้าผาสองเหลี่ยมเหล่านี้มีการพัฒนาตัวเป็นรูปขั้นบันไดสามระดับ ได้แก่ ระดับล่างสุดสูงประมาณ 3-5 เมตร เอียงเท 45 องศา ระดับกลางเอียงเทประมาณ 25 ถึง 30 องศา และสูงประมาณ 100 เมตร และระดับบนสุด มีการเอียงเทประมาณ 15 ถึง 20 องศา สูงชันไปถึงยอดเขา ในส่วนระดับล่างสุดมีลักษณะเด่นชัดที่สุด (รูป 5.21) และสูงประมาณ 100 เมตร และระดับบนสุด มีการเอียงเทประมาณ 15 ถึง 20 องศา สูงชันไปถึงยอดเขา ในส่วนระดับล่างสุดมีลักษณะเด่นชัดที่สุด (รูป 5.22ก)

ทางน้ำทุกสายที่ตัดผ่านรอยเลื่อนนี้ แสดงร่องรอยการกัดเซาะที่เด่นชัดบนหินพื้น อันเป็นการบ่งชี้ถึงการเคลื่อนตัวในแนวตั้งในพื้นที่ด้านทิศตะวันตกของคอยต้นงูน ลักษณะธรณีสัณฐานของรอยเลื่อนลดน้อยลงไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อทอดตัวยาวไปถึงแม่น้ำวังไม่พบลักษณะของการเคลื่อนตัว ในบริเวณนี้พบว่าหินบะซอลต์สมัยไพลโอซีนตอนปลายถึงสมัยไพลสโตซีนตอนต้น (Pleio-Pleistocene) ที่แผ่ปกคลุมพื้นที่มากกว่า 2.5 ตร.กม. ถูกตัดด้วยรอยเลื่อนนี้ โดยตัดผ่านเข้าไปในเนื้อหินบะซอลต์เพียงบางส่วน

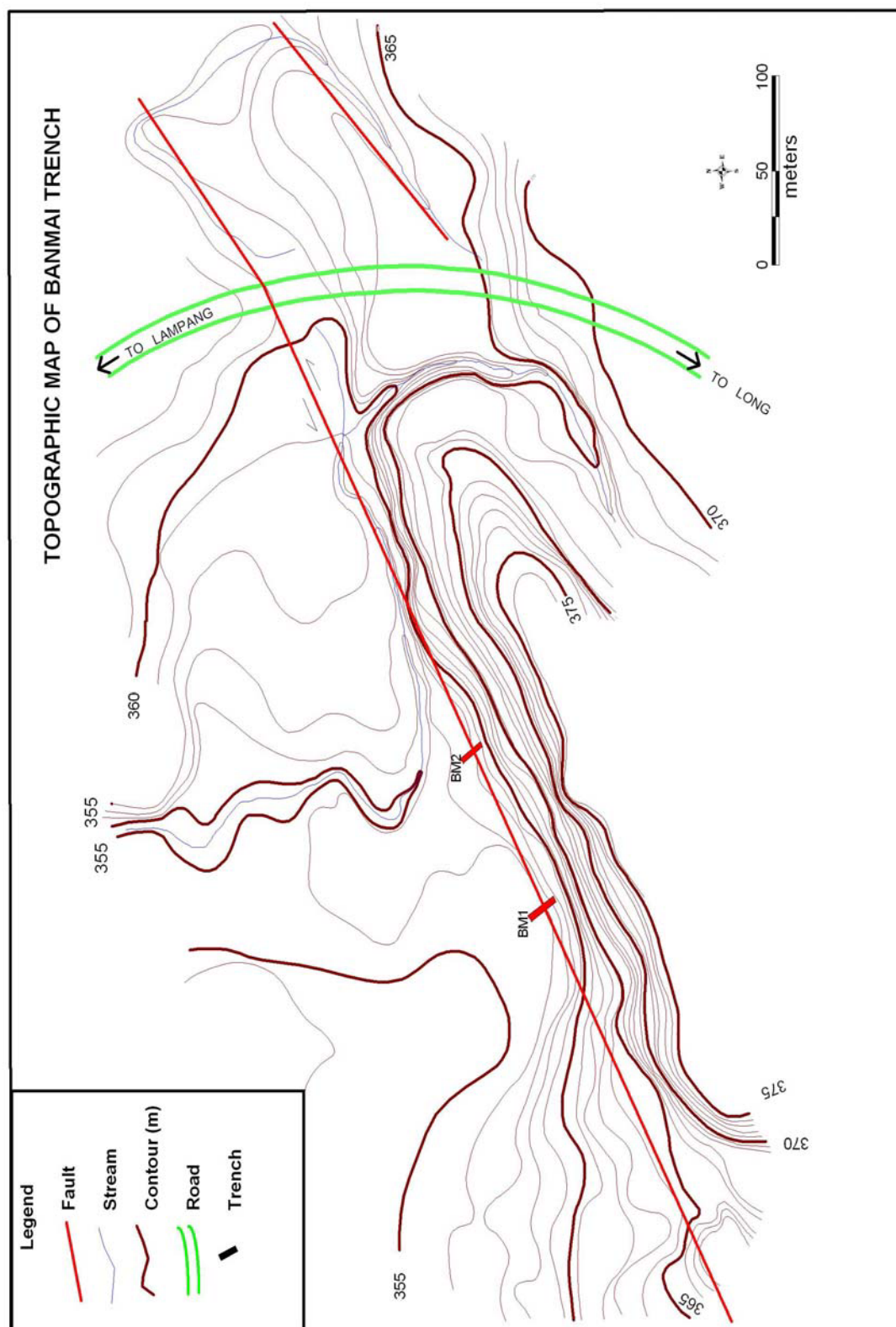
การคัดเลือกพื้นที่ที่เป็นตำแหน่งของการขุดร่องสำรวจของรอยเลื่อนต้นงูนนี้ ได้ค้นพบว่าบริเวณทุ่งนาติดเชิงเขาของบ้านบอมหลวง ตำบลบ้านบอม อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการขุดร่องสำรวจหาความสัมพันธ์ของชั้นดินและรอยเลื่อนแนวนี้ (รูป 5.22ข) โดยขนาดของร่องสำรวจนี้มีความยาว 22 เมตร กว้าง 2 เมตร และมีส่วนลึกที่สุดทางทิศเหนือ 2.5 เมตร พบว่ามีหินไรโอไลต์ผุมาก สีขาว มีรอยแตกมากมายเป็นหินพื้นรองรับด้านล่าง ถัดขึ้นมาเป็นชั้นทรายหยาบ สีน้ำตาลเข้ม ปะปนด้วยก้อนกรวดเศษหินไรโอไลต์ ซึ่งชั้นนี้ได้วัดหาอายุด้วยวิธี TL ได้อายุ $6,100 \pm 170$ ปีแล้วมาแล้ว และทำการเก็บตัวอย่างอินทรีย์วัตถุหาอายุ C-14 (AMS) ได้อายุ $5,882 \pm 42$ ปี และพบว่าชั้นนี้มีถูกรอยเลื่อนที่ลากยาวมาจากเนื้อหินด้านล่างมาสิ้นสุดที่ระดับผิวบนของชั้นทรายนี้ เนื้อแนวรอยเลื่อนขึ้นมาถูกปิดทับด้วยชั้นดินเหนียวปนทรายแป้ง และมีก้อนกรวดขนาดเล็กกระจายอยู่บ้างเล็กน้อย โดยช่วงบนมีปริมาณของเนื้อดินเม็ดหยาบมากขึ้น ชั้นนี้วัดหาอายุได้ $2,000 \pm 110$ ปี $3,500 \pm 80$ ปี และ $4,200 \pm 160$ ปี ทำการเก็บตัวอย่างอินทรีย์วัตถุจำนวน 2 ตัวอย่าง ด้วยวิธี C-14 (AMS) ได้อายุ $1,940 \pm 35$ ปี และ $4,030 \pm 39$ ปี และชั้นบนสุดเป็นดินทรายแป้งปนทราย โดยด้านล่างมีกรวดปะปนประปราย ซึ่งชั้นนี้แสดงการจัดขนาดเนื้อดินเม็ดละเอียดขึ้นด้านบน ชั้นนี้พบว่าที่ระดับความลึกจากผิวดินลงมา 40 เซนติเมตร วัดหาอายุด้วยวิธี TL ได้ $1,500 \pm 20$ ปี ทำการหาอายุด้วยวิธี C-14 (AMS) ได้อายุ $1,793 \pm 35$ ปี จากหลักฐานที่ค้นพบสรุปได้ว่ารอยเลื่อนนี้มีการเคลื่อนขยับตัวครั้งสุดท้ายเมื่อประมาณ 3,000 ปีจากปัจจุบัน



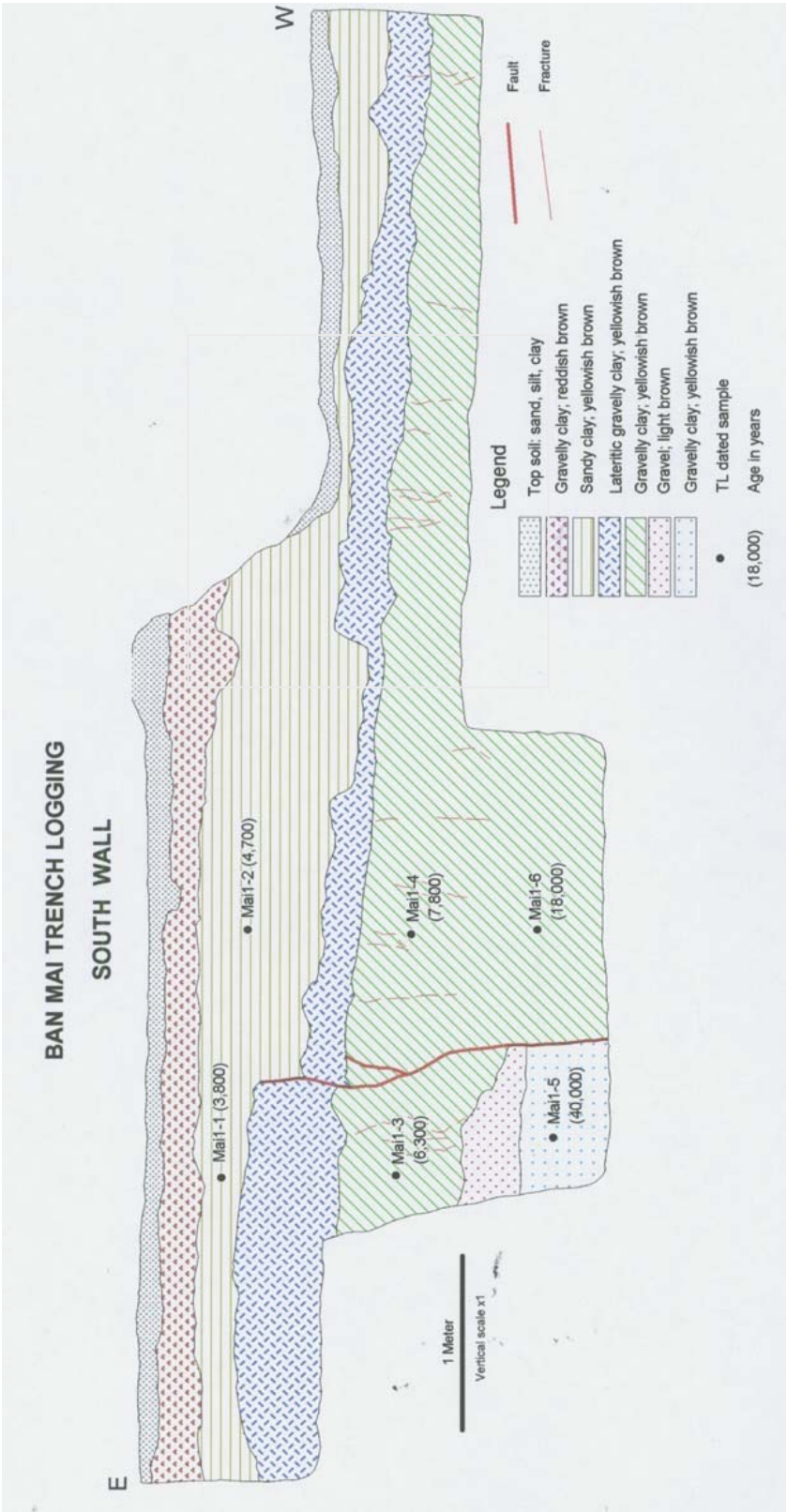
รูป 5.17 สภาพภูมิประเทศบริเวณบ้านมาย(ภาพล่าง,ส่วนหน้า) ที่รอยเลื่อนบ้านมายพาดผ่านในส่วนหน้าของเขา
จนเกิดความแตกต่างของพื้นที่แนวตั้ง 6 เมตร เส้นประในภาพบนขวาคือแนวรอยเลื่อนที่ลากบนแผนที่
ภูมิประเทศ



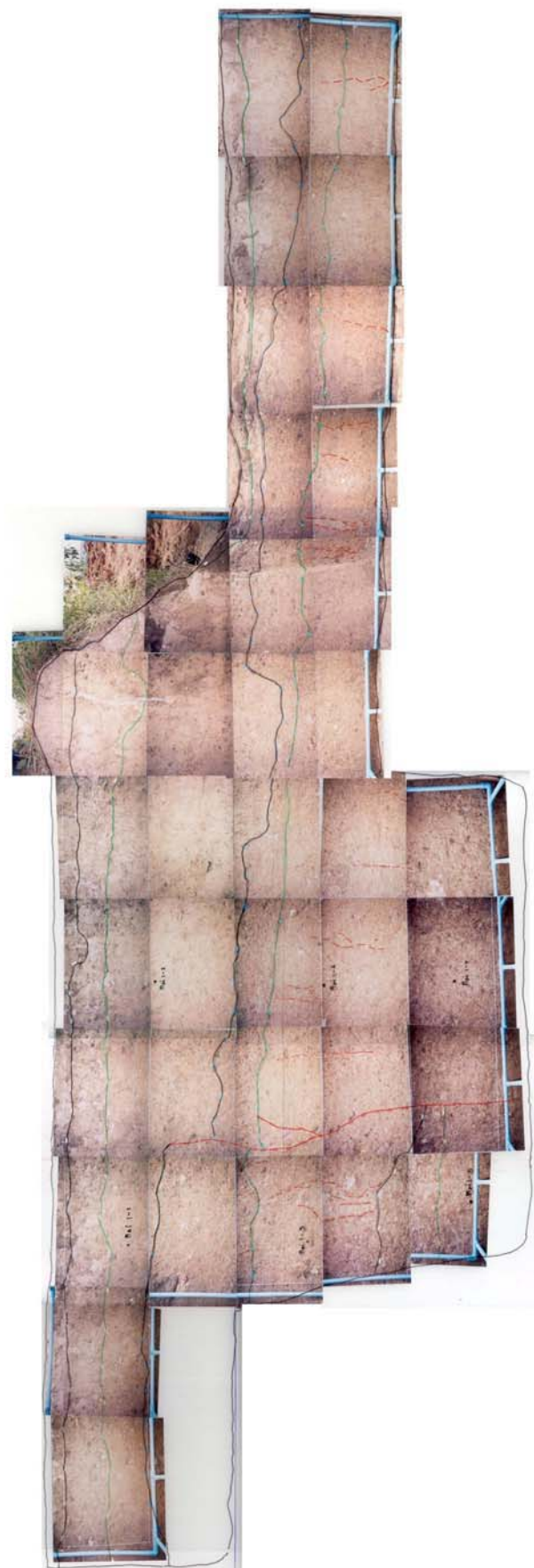
รูป 5.18 สภาพภูมิประเทศบริเวณเชิงเขาบ้านมายแสดงร่องสำรวจบ้านมาย 1 ได้แนวหน้าผารอยเลื่อน



รูป 5.19 แผนที่ภูมิประเทศรายละเอียดบริเวณ โดยรอบร่องสำรวจบ้านมาย 1 และบ้านมาย 2 รวมทั้งแสดงลักษณะทางน้ำหักงอในแบบเหลี่ยมซ้าย ขวาลักษณะการสำรวจสำรวจในครั้ง



รูป 5.20ก ลำดับชั้นดินพร้อมอายุที่หาได้ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน(TL) และแนวรอยเลื่อนที่ปรากฏบนผนังด้านใต้ของร่องสำรวจ
บ้านมาย 1



รูป 5.20ข ภาพถ่ายของลำดัดบ้านดินนั้งด้านใต้ของร่องสำรวจบ้านมาย 1 ป้านมาย อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง