

ความผันแปรของไอโซโทปเสถียรน้ำ พื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

ปานตะวัน มะศรีพันธ์¹, ยุทธพงษ์ ศิริมังคละ^{2*}, พิชเรศร์ ชัคัตตริยกุล², เสาวคนธ์ โนสูงเนิน³, นฤมล บัวทอง¹, เกียรติพงษ์ คำดี⁴,
พัชรียา จันทรเรือง⁴, พิพัฒน์ เกตุดี⁵, สหภาพ พันธุ์ปัญญากรกุล³, กิตติศักดิ์ จินดาวงศ์⁶, และบัญญัติ ทองโชติ⁷

¹บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

²ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

³นักวิชาการอิสระ

⁴สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอบางกรวย จังหวัดนครนายก

⁵กรมป่าไม้ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

⁶มูลนิธิโครงการหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

⁷ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

* Corresponding author: fforypk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาความผันแปรของไอโซโทปเสถียรน้ำบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยภายในขอบเขตพื้นที่ศูนย์ฯ ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน 1 จุด จุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 5 จุด และจุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน (บาดาล) 3 จุด รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง นำส่งตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรด้วยเครื่อง Liquid Water Isotope Analyzer (Model LGR: DLT-100) ผลการศึกษา พบว่าองค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรน้ำฝนมีค่าเฉลี่ย $-6.23\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-42.48\text{‰}\delta^2\text{H}$ น้ำผิวดินมีค่าเฉลี่ย $-6.14\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-42.24\text{‰}\delta^2\text{H}$ และน้ำใต้ดินมีค่าเฉลี่ย $-5.91\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-39.44\text{‰}\delta^2\text{H}$ เมื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน มีรูปแบบ $\delta^2\text{H} = 6.617\delta^{18}\text{O} + 1.1861$ ซึ่งส่วนใหญ่ค่าอยู่บนเส้นน้ำฝน (Global Meteoric Water Line: GMWL) เมื่อพิจารณาลักษณะไอโซโทปของน้ำฝนที่มาจากน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน พบว่า ไอโซโทปหนักพบในเดือนที่มีอุณหภูมิสูง ส่วนเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำพบไอโซโทปเบา และพบว่า น้ำฝนที่มาจากน้ำในพื้นที่ที่มีแหล่งที่มาต่างกัน โดยลุ่มน้ำย่อยแม่หละได้รับน้ำฝนจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จึงทำให้ไอโซโทปของน้ำผิวดินหนักกว่าลุ่มน้ำย่อยแม่หินเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ระหว่างช่วงแล้งฝนและช่วงน้ำหลาก และระหว่างลุ่มน้ำย่อย ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: น้ำผิวดิน / น้ำใต้ดิน / ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ / ไอโซโทปเสถียร / Global Meteoric Water Line: GMWL

Stable Isotope of Water Masses Variations at Lertor Royal Project Development Center, Tak Province

Pantawan Masriphan¹, Yutthaphong Kheereemangkla^{2*}, Patchares Chacuttrikul², Saowakhon Nosoongnoen³, Naruemol Buatong¹, Kiattipong Kamdee⁴, Patchareeya Chanrueng⁴, Pipat Katedee⁵, Sahaphap Panphanyakorakul³, Kittisak Jindawong⁶, and Bunphacha Tongchote⁷

¹The Graduate School, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

²Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

³Academic freelance

⁴Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Ongkarak District, Nakhon Nayok, Thailand

⁵Royal Forest Department, Bangkok, Thailand

⁶Royal Project Foundation, Muang District, Chiang Mai, Thailand

⁷Lertor Royal Project Development Center, Mae Ramat District, Tak, Thailand

* Corresponding author: fforypk@ku.ac.th

Abstract

The study on stable isotope of water masses variations at Lertor Royal Project Development Center (LRPDC), Tak Province, was investigated through the collection of water samples from Mae Hin and Mae La sub-watershed located within the LRPDC boundaries. Totally 9 water samples included 1 rainwater sample, 5 surface water samples, and 3 groundwater samples were gathered. The stable isotopic composition of these samples was analyzed using the Liquid Water Isotope Analyzer (Model LGR: DLT-100). The findings indicated the average stable isotope compositions were $-6.23\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-42.48\text{‰}\delta^2\text{H}$ for rainwater, $-6.14\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-42.24\text{‰}\delta^2\text{H}$ for surface water, and $-5.91\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-39.44\text{‰}\delta^2\text{H}$ for groundwater. The linear relationship of rainwater, surface water, and groundwater was $\delta^2\text{H} = 6.617\delta^{18}\text{O} + 1.1861$, with most values plotting along the GMWL (Global Meteoric Water Line), indicating groundwater recharge from both rainwater and surface water. Considering the isotopic characteristics of rainwater replenishing surface water and groundwater, heavier isotopes were found in the months with high temperatures, while lighter isotopes were found in months with low temperatures. The result was also founded that varied sources for the recharging rainwater. Since Mae La sub-watershed received rainwater influenced by the southwest monsoon, resulting in slightly heavier surface water isotopes compared to Mae Hin sub-watershed. Additionally, when comparing the stable isotopes $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ between the dry and wet periods, and between the sub-watersheds of rainwater, surface water, and groundwater, no statistically significant differences were examined.

Keywords: Surface water / Groundwater / Lertor Royal Project Development Center: LRPDC / Stable Isotope / Global Meteoric Water Line: GMWL

1. บทนำ

ปัจจุบัน สถานการณ์ความต้องการน้ำมีเพิ่มมากขึ้นทั้งด้านปริมาณ ความสะอาด และช่วงเวลาของการมีน้ำในแหล่งน้ำ ซึ่งปัญหาด้านการขาดแคลนน้ำ การเข้าถึงแหล่งน้ำที่สะอาด และขาดน้ำในแหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ มีผลต่อการพัฒนาประชากรโดยเฉพาะวัยเด็ก ปัญหาด้านสุขอนามัย รวมถึงความแห้งแล้ง และอุทกภัย โดยที่มาของน้ำมาจากทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (บาดาล) ทั้งนี้ มีรายงานถึงความต้องการน้ำจืดทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้น 20 เท่า ทุก ๆ 20 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตร และอุตสาหกรรม [10] จึงส่งผลต่อทั้งปริมาณ คุณภาพน้ำ และการหมุนเวียนน้ำในวัฏจักร (Hydrologic cycle) ดังนั้นความเข้าใจต่อวัฏจักร (ระบบ) ของน้ำซึ่งมีส่วนประกอบของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน รวมถึงทรัพยากร หรือระบบอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันจึงมีความสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และสิ่งแวดล้อม

ในพื้นที่สูงของหลายภูมิภาครวมทั้งในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไปเป็นรูปแบบอื่น ๆ ทั้งพื้นที่เกษตรกรรม และชุมชน ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติโดยเฉพาะทรัพยากรน้ำทั้งด้านปริมาณ และคุณภาพที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคในครัวเรือน และน้ำเพื่อการเกษตร ปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูร้อน เกิดอุทกภัยน้ำป่าไหลหลากในช่วงฤดูฝน คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และการเข้าถึงแหล่งน้ำ เป็นปัญหาที่พบกระจายในทุกพื้นที่ สำหรับพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก ซึ่งเป็นโครงการหลวงลำดับแรกในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 10 สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อนมีความลาดชันสูง แต่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม รวมทั้งปัจจุบันมีการพัฒนาที่ดินตามเป้าหมายของการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชน ซึ่งเมื่อมีการพัฒนากิจกรรมต่าง ๆ จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ดินมีการอัดตัวแน่น การพังทลายและการสูญเสียดิน ป่าเสื่อมสภาพ เป็นต้น ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมในพื้นที่สูงทำให้ระบบนิเวศป่าเสื่อมสภาพ รวมทั้งพืชที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ และปลูกชนิดเดียวทั้งพื้นที่ต่อเนื่องหลายปี ซึ่งนอกจากการปกคลุมของเรือนยอดพืชจะลดลงแล้ว ระบบรากพืชเกษตรที่เป็นรูปแบบเดียวเป็นรากฝอย และอยู่ระดับตื้น จึงส่งผลต่ออัตราการซึมผ่านผิวดินที่ลดลง เกิดน้ำไหลบ่าในช่วงฤดูฝนได้ง่าย และเมื่อดินกักเก็บน้ำได้น้อยก็ส่งผลต่อการเติมน้ำใต้ดินจึงเกิดสภาพความแห้งแล้งขึ้น

กระบวนการทางอุทกวิทยาเหล่านี้สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงเวลา และเชิงพื้นที่ การประยุกต์เทคนิคไอโซโทปเป็นหนึ่งในวิธีการศึกษาวิจัยวัฏจักรของน้ำ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาได้ทั้งการติดตามวัฏจักรของน้ำ การจำแนกแหล่งที่มา และการเคลื่อนที่ของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยองค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำ ตรวจสอบได้จากอัตราส่วนโมเลกุลของไฮโดรเจน และออกซิเจน ทำให้สามารถติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7]

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาองค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน บริเวณพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

2.2 ศึกษาแหล่งที่มาของน้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของไอโซโทปเสถียร

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา ภายในขอบเขตศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก และบริเวณใกล้เคียง โดยกำหนดลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน (ขอบเขตลุ่มน้ำปิง) และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ (ขอบเขตลุ่มน้ำสาละวิน)

3.2 ศึกษาไอโซโทปในรูปแบบไอโซโทปเสถียร ได้แก่ Oxygen-18; ¹⁸O และ Deuterium; ²H

3.3 เก็บตัวอย่างน้ำรวม 9 ตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำฝน 1 ตัวอย่าง น้ำผิวดินจากลำน้ำ หรือแหล่งน้ำในลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง (ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน 3 ตัวอย่าง และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ 2 ตัวอย่าง) และน้ำใต้ดิน (บาดาล) จากหลุมเจาะน้ำบาดาลในลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งหมด 3 ตัวอย่าง (ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน 1 ตัวอย่าง และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ 2 ตัวอย่าง)

3.4 เก็บตัวอย่างน้ำ 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงแล้งฝน (Dry period) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 เดือนกุมภาพันธ์ และ ธันวาคม พ.ศ. 2567 และช่วงน้ำหลาก (Wet period) ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2567

4. วิธีการศึกษา

4.1 รายละเอียดพื้นที่ศึกษา

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลแม่ต๋ืน อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก มีระดับความสูงของพื้นที่ระหว่าง 500–1,200 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาในลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่มน้ำ ที่อยู่ในขอบเขตศูนย์ฯ และบริเวณใกล้เคียง ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน พื้นที่ 23.63 ตารางกิโลเมตร ลำน้ำไหลออกน้ำแม่ต๋ืน อยู่ในขอบเขตลุ่มน้ำปิง และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ พื้นที่ 35.48 ตารางกิโลเมตร ลำน้ำไหลออกแม่น้ำเมย อยู่ในขอบเขตลุ่มน้ำสาละวิน

4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำ 3 ประเภทได้แก่ น้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (บาดาล) โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำรวม 9 จุด (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน 1 จุด บริเวณสันเขา (หน่วยป่าไม้เลอตอ) เพื่อเป็นตัวแทนของทั้งสองลุ่มน้ำย่อย ส่วนลุ่มน้ำย่อยแม่หิน เก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 3 จุด ในลำน้ำธรรมชาติ (ห้วยแม่หิน) อ่างเก็บน้ำ (อ่างเก็บน้ำแม่หินหลวง) และบ่อน้ำ (บ่อธนาคารน้ำใต้ดิน สำนักงานศูนย์ฯ เลอตอ) และน้ำใต้ดิน (บาดาล) 1 จุด เจาะโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (บ่อบาดาลบ้านแม่ต๋ืน) ส่วนลุ่มน้ำย่อยแม่หละ เก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 2 จุด ในลำน้ำธรรมชาติ (ห้วยแม่หละ และลำน้ำเลอตอ) และน้ำใต้ดิน (บาดาล) 2 จุด เจาะโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (บ่อเจาะที่โรงคัดบรรจุ บ้านจ่อคี และบ่อบาดาลบ้านนกกก) เก็บตัวอย่างน้ำ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแล้งฝน เก็บข้อมูลเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 เดือนกุมภาพันธ์ และธันวาคม พ.ศ. 2567 และช่วงน้ำหลาก เก็บข้อมูลทุกเดือนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2567

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาไอโซโทปเสถียร มีหลักการสำคัญ คือ การป้องกันการระเหย และการแลกเปลี่ยนไอน้ำกับอากาศภายนอก โดยขณะเก็บต้องให้ภาชนะและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างทั้งหมดอยู่ใต้น้ำ และตรวจสอบว่าภายในไม่มีฟองอากาศ เก็บตัวอย่างด้วยขวดแก้วปิดด้วยฝาแบบ Poly-seal ผนึกด้วยพาราฟิล์ม [4], [14] และเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (20–30 °C) สำหรับน้ำฝน เก็บตัวอย่างจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge) โดยรวบรวมตามเหตุการณ์ (Event-based sampling) น้ำผิวดิน ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงตัก (Grab Samples) ที่กึ่งกลางความกว้าง และความลึกของลำน้ำ ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน (บาดาล) ทำการสูบน้ำขึ้นมาก่อนจนกว่าระดับของการปั้มน้ำค้างที่แล้วปล่อยน้ำไหลทิ้งไม่น้อยกว่า 15 นาที ตามแนวทางการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลประกาศโดยกรมทรัพยากรธรณี [1]

4.3 การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรในน้ำ

การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรในตัวอย่างน้ำ โดยใช้เครื่อง Liquid Water Isotope Analyzer (Model LGR: DLT-100) จากความร่วมมือของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีหลักการในการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1,390 นาโนเมตร เพื่อคำนวณความเข้มข้นของโมเลกุลน้ำซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างไอโซโทปที่พบได้ทั่วไป (^1H , ^{16}O) และไอโซโทปที่พบได้น้อย (^2H , ^{18}O) ค่าที่ได้ถูกรายงานเป็นค่า δ (‰) เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) ตามที่กำหนดโดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 1

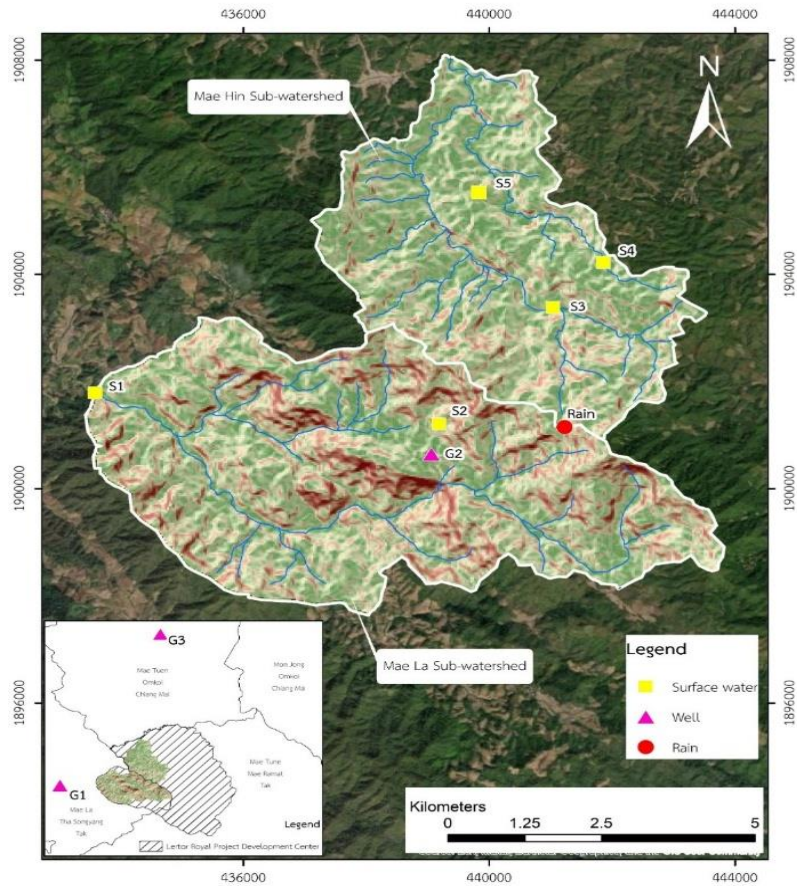
$$\delta(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{Sample}} - R_{\text{VSMOW}}}{R_{\text{VSMOW}}} \right) \cdot 1000 \quad (1)$$

เมื่อ R_{Sample} คือ อัตราส่วนไอโซโทปของตัวอย่าง

R_{VSMOW} คือ อัตราส่วนไอโซโทปของสารมาตรฐาน VSMOW

ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ไอโซโทปเสถียรระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ จากสมการ Global Meteoric Water Line: GMWL [8] พบว่า ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนไอโซโทป $\delta^2\text{H}$ และ $\delta^{18}\text{O}$ ของน้ำฝนมีลักษณะเป็นเส้นตรง (สมการที่ 2) ซึ่งสามารถบ่งบอกแหล่งที่มา และสภาพแวดล้อมของน้ำในบริเวณนั้นได้

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10 \quad (2)$$



รูปที่ 1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

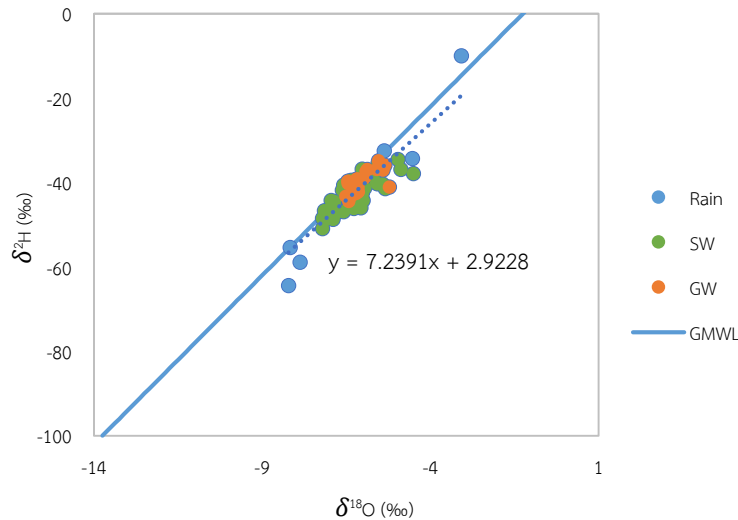
ตารางที่ 1 รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

ขอบเขตลุ่มน้ำ	ระดับความสูง (เมตร)	ประเภทแหล่งน้ำ	รหัส	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	พิกัด UTM	
					X	Y
ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน	900	น้ำผิวดิน	S3	ห้วยแม่หิน	441037	1903380
	1,000	น้ำผิวดิน	S4	อ่างเก็บน้ำแม่หินหลวง	441858	1904220
	850	น้ำผิวดิน	S5	บ่อธนาคารน้ำใต้ดิน สำนักงานศูนย์ ฯ เลอตอ	439723	1905520
	450	น้ำใต้ดิน	G3	บ่อบาดาลบ้านแม่ต้น	442192	1924280
ลุ่มน้ำย่อยแม่หละ	240	น้ำผิวดิน	S1	ห้วยแม่หละ	433586	1901790
	830	น้ำผิวดิน	S2	ลำน้ำเลอตอ (น้ำตก)	439182	1901210
	210	น้ำใต้ดิน	G1	บ่อบาดาลบ้านกกก	428565	1900700
	810	น้ำใต้ดิน	G2	บ่อเจาะที่โรงคัดบรรจุ (บ้านจ่อคี)	439012	1900670
สถานีวัดน้ำฝน	1,200	น้ำฝน	น้ำฝน	สถานีวัดน้ำฝน (หน่วยป่าไม้เลอตอ)	441230	1901250

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบไอโซโทปเสถียร

การวิเคราะห์ความผันแปรขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียร $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ พบว่า องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำฝนเฉลี่ย $-6.23\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-42.48\text{‰}\delta^2\text{H}$ น้ำผิวดินเฉลี่ย $-6.14\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-42.24\text{‰}\delta^2\text{H}$ และ น้ำใต้ดินเฉลี่ย $-5.91\text{‰}\delta^{18}\text{O}$, $-39.44\text{‰}\delta^2\text{H}$ (ตารางที่ 2) เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ของ ทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้น $\delta^2\text{H} = 6.617\delta^{18}\text{O} - 1.1861$ (รูปที่ 2) โดยพบว่า องค์ประกอบของ ไอโซโทปเสถียรของน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินบางส่วนมีความชื้นต่ำกว่าเส้น GMWL แสดงถึงอิทธิพลจากการระเหย [9], [11], [13], [17] ซึ่งเป็นผลจากสภาพของแหล่งน้ำผิวดินมีลักษณะเป็นลำน้ำตื้น รวมถึงผลจากความชื้นสัมพัทธ์ที่มีปริมาณต่ำ มีความเร็ว ลม ความสูงของพื้นที่ และการบดบังของพืช [6], [16], [18] นอกจากนี้ การเก็บข้อมูลในช่วงที่มีความร้อนจากแสงอาทิตย์อาจ ส่งผลให้น้ำมีการระเหย [12], [21] อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 2 พบว่า องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน มีอัตราส่วนอยู่บนเส้นน้ำฝน GMWL แสดงถึงน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่มีการซึมจากทั้งน้ำฝน และน้ำผิวดิน [4] สรุปได้ว่า บริเวณพื้นที่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอเป็นพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area)



รูปที่ 2 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ (‰) และ $\delta^2\text{H}$ (‰) ในน้ำฝน (Rain), น้ำผิวดิน (SW), และน้ำใต้ดิน (GW) บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

5.2 ความผันแปรองค์ประกอบไอโซโทปเสถียรเชิงเวลา

ความผันแปรขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำรายเดือน พบว่า น้ำฝนที่เข้ามาเดิมเป็นน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน พิจารณาจากค่าไอโซโทปที่หนักกว่าเนื่องจากสภาพอากาศช่วงดังกล่าวมีอุณหภูมิสูง สอดคล้องตามข้อมูลการตรวจวัดของกรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา [2], [3] ดังนั้น ในกระบวนการเกิดฝน มวลน้ำที่เป็นไอโซโทปเบาจะจึงระเหยง่าย รวมถึงจับตัวเป็นหยดน้ำได้ยาก จึงพบไอโซโทปหนักในน้ำฝนได้มากกว่า [19] ส่วนในเดือนที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง หรือตกหนักมากช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ไอโซโทปเบามีโอกาสกลั่นตัวเป็นหยดน้ำมากขึ้น ทำให้ในช่วงนี้ น้ำฝนมีค่าสัดส่วนไอโซโทปลดลง ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ระหว่างช่วงแล้งฝน และช่วงน้ำหลาก พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

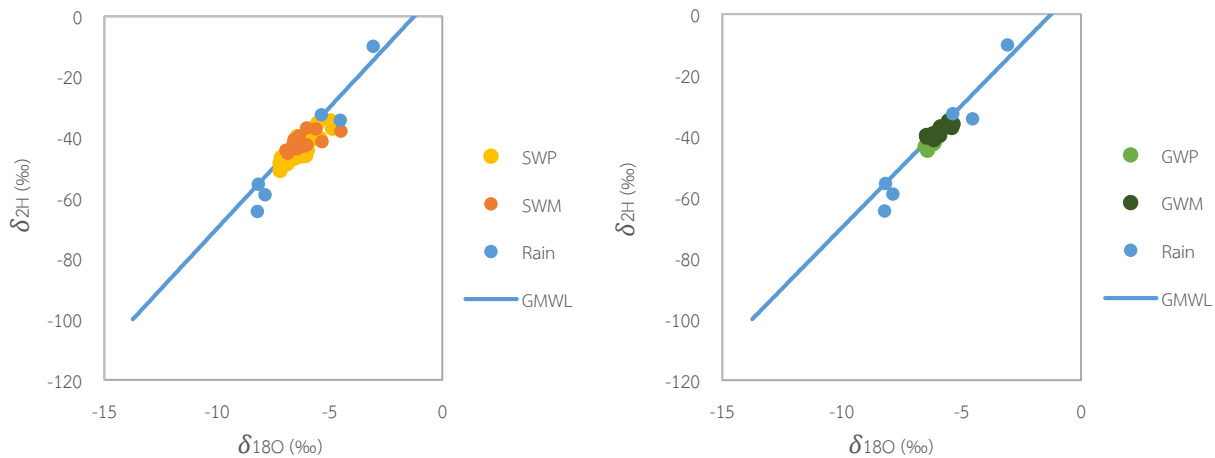
ตารางที่ 2 องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรรายเดือนในกลุ่มน้ำย่อยแม่หิน และกลุ่มน้ำย่อยแม่ทะเล บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

ประเภทแหล่งน้ำ	กลุ่มน้ำย่อย	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ระดับความสูง (เมตร)	ไอโซโทป เสถียร (‰)	ช่วงแล้งฝน			ช่วงน้ำหลาก						
					พ.ย.	ก.พ.	ธ.ค.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
					2566			2567			2567			
น้ำฝน	-	สถานีวัดน้ำฝน	1,200	$\delta^{18}O$	NA	NA	NA	-3.08	-8.17	-7.87	-8.22	NA	NA	-4.54
		หน่วยป่าไม้เลอตอ		$\delta^{2}H$	NA	NA	NA	-10.02	-55.45	-58.94	-64.47	NA	NA	-34.32
น้ำผิวดิน	แม่หิน	ห้วยแม่หิน	900	$\delta^{18}O$	-6.85	-6.32	-5.47	-6.43	-6.56	-6.35	-7.15	-6.98	-6.00	-6.00
	ลุ่มน้ำปิง			$\delta^{2}H$	-44.47	-41.96	-39.9	-39.76	-41.70	-44.46	-46.68	-46.30	-44.30	-44.30
		อ่างเก็บน้ำแม่หินหลวง	1,000	$\delta^{18}O$	-7.21	-5.95	-5.78	-5.55	-5.79	-5.57	-7.09	-6.81	-6.28	-6.28
				$\delta^{2}H$	-48.49	-41.32	-43.2	-35.38	-38.04	-40.30	-48.72	-47.26	-46.15	-46.15
		ธนาคารน้ำใต้ดิน	850	$\delta^{18}O$	-7.21	-5.60	-4.48	-4.96	-4.88	-5.42	-6.90	-6.58	-6.07	-6.07
		สำนักงานศูนย์ฯ เลอตอ		$\delta^{2}H$	-50.93	-40.22	-38.2	-34.56	-36.94	-40.41	-48.72	-46.95	-45.98	-45.98
	แม่ทะเล	ห้วยแม่ทะเล	240	$\delta^{18}O$	NA	-5.95	-6.28	-6.03	-6.35	-6.36	-4.50	-6.50	-6.46	-6.46
	ลุ่มน้ำสาละวิน			$\delta^{2}H$	NA	-38.26	-40.4	-36.84	-39.50	-41.81	-37.92	-42.53	-43.81	-43.81
		ลำน้ำเลอตอ (น้ำตก)	830	$\delta^{18}O$	-6.95	-6.62	-5.47	-5.61	-6.58	-6.02	-6.86	-6.15	-5.34	-5.34
				$\delta^{2}H$	-44.28	-41.85	-39.9	-37.25	-40.67	-42.43	-45.23	-42.91	-41.47	-41.47
น้ำใต้ดิน	แม่หิน	บ่อน้ำบาดาลบ้านแม่ตื่น	450	$\delta^{18}O$	NA	-6.34	-6.09	-6.21	-6.51	-6.43	-6.15	-6.36	-6.22	-6.22
	ลุ่มน้ำปิง			$\delta^{2}H$	NA	-42.78	-42.5	-42.61	-43.26	-44.54	-42.20	-43.22	-41.07	-41.07
	แม่ทะเล	บ่อน้ำบาดาลบ้านกก	210	$\delta^{18}O$	NA	-5.55	-4.39	-5.92	-5.88	-5.96	-5.36	-5.60	-5.41	-5.41
	ลุ่มน้ำสาละวิน			$\delta^{2}H$	NA	-34.90	-34.3	-37.41	-36.93	-38.91	-35.94	-36.95	-37.07	-37.07
		บ่อเจาะที่โรงคัดบรรจุ	810	$\delta^{18}O$	-6.44	NA	-5.09	-6.19	-6.46	-6.15	-6.17	-6.25	-4.63	-4.63
		บ้านจ้อคี		$\delta^{2}H$	-40.23	NA	-36.6	-39.20	-39.76	-41.14	-39.22	-40.19	-35.7	-35.7

หมายเหตุ: NA ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้

5.3 ความผันแปรองค์ประกอบไอโซโทปเสถียรเชิงพื้นที่

ความผันแปรขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินเปรียบเทียบระหว่างลุ่มน้ำย่อย พบว่า น้ำผิวดินของลุ่มน้ำย่อยแม่หละส่วนใหญ่พบไอโซโทปที่หนักกว่าในลุ่มน้ำย่อยแม่หินเล็กน้อย (รูปที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับไอโซโทปของน้ำใต้ดินเมื่อพิจารณาพร้อมกับไอโซโทปน้ำฝนที่มีไอโซโทปหนักในช่วงเดือนพฤษภาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน ที่เกิดฝนตกบ่อยในระยะเวลาสั้น ๆ รวมถึงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ [5] นอกจากนี้ ลุ่มน้ำย่อยแม่หละที่อยู่ด้านฝั่งตะวันตกของประเทศไทยที่มีระยะห่างจากชายฝั่งไม่เกิน 400 กิโลเมตร (ฝั่งมหาสมุทรอินเดีย) ทำให้พื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบจากชายฝั่งทะเลที่แสดงค่าไอโซโทปหนักมากขึ้น [15] ตามความใกล้กับมหาสมุทร [20] ส่งผลให้ปรากฏลักษณะของไอโซโทปหนักมากกว่าในลุ่มน้ำย่อยแม่หละ ซึ่งเมื่อฝนปะทะกับแนวเทือกเขาสูง ทำให้ลุ่มน้ำย่อยแม่หินได้รับน้ำฝนจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อยกว่าส่งผลให้ได้รับไอโซโทปหนักน้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ระหว่างลุ่มน้ำย่อยทั้งในช่วงแล้งฝน และช่วงน้ำหลาก พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3 เส้นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำผิวดิน: SW (ด้านซ้าย) และน้ำใต้ดิน: GW (ด้านขวา) ของลุ่มน้ำย่อยแม่หิน (SWP and GWP) และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ (SWM and GWM) บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความผันแปรของไอโซโทปเสถียรของน้ำ บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก พบว่า น้ำใต้ดินเป็นน้ำที่มาจากทั้งน้ำฝน และน้ำผิวดิน สรุปได้ว่า พื้นที่ศูนย์ฯ เลอตอ เป็นพื้นที่เติมน้ำ นอกจากนี้ พบว่า แหล่งที่มาของน้ำผิวดินของแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีที่มาแตกต่างกัน โดยฝนที่ตกในช่วงเดือนพฤษภาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน ปรากฏลักษณะของไอโซโทปหนัก จึงเติมน้ำให้กับลุ่มน้ำย่อยแม่หละ เนื่องจากมีฝนตกบ่อยแต่เกิดในระยะเวลาสั้นๆ รวมทั้งอิทธิพลจากการที่อยู่ใกล้ทะเล (มหาสมุทรอินเดีย) มากกว่า แต่ช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม น้ำฝนแสดงลักษณะไอโซโทปที่เบา จากการที่มีฝนตกหนัก หรือตกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไอโซโทปเบามีโอกาสกลั่นตัวเป็นหยดน้ำมากขึ้น น้ำฝนจึงมีส่วนไอโซโทปเบามากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร ($\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$) ระหว่างช่วงแล้งฝน และช่วงน้ำหลาก และระหว่างลุ่มน้ำย่อย ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทรัพยากรธรณี. (2542). ประกาศกรมทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 9 ออกตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล.
- [2] กรมทรัพยากรน้ำ. (2567). ข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ [Excel]. <https://nishydro.dwr.go.th/home>
- [3] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ [Excel]. http://www.cmmet.tmd.go.th/forecast/pt/pt_Data/Northern_Metdata.php
- [4] ณัฐพัชร คารวะ. (2559). การประยุกต์ไอโซโทปเสถียรเพื่อประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล บริเวณอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. กรุงเทพฯ.
- [5] ศูนย์ภูมิอากาศ. (2566). ภูมิอากาศจังหวัดตาก กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา
- [6] Blaney, H. F. (1960). Evaporation from water surfaces in mountain areas of Western United States. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 5(1), 27-37. <https://doi.org/10.1080/0262666009493161>
- [7] Cook, P. (2020). *Introduction to isotopes and environmental tracers as indicators of groundwater flow*. The Groundwater Project.
- [8] Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133(3465), 1702-1703. <https://doi.org/10.1126/science.133.3465.1702>
- [9] Craig, H., & Gordon, L. (1965). Deuterium and oxygen 18 variations in the ocean and the marine atmosphere, Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures E. Proceedings of the Third Spoleto Conference, Spoleto, Italy, edited by E. Tongioli et. al.
- [10] FAO. (2017). *Water for sustainable food and agriculture*. <https://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf>
- [11] Gat, J. R. (2008, Mar). The isotopic composition of evaporating waters- review of the historical evolution leading up to the Craig-Gordon model. *Isotopes Environ Health Stud*, 44(1), 5-9. <https://doi.org/10.1080/10256010801887067>
- [12] Heck, K., Coltman, E., Schneider, J., & Helmig, R. (2020). Influence of radiation on evaporation rates: A numerical analysis. *Water Resources Research*, 56(10). <https://doi.org/10.1029/2020wr027332>
- [13] Horita, J., Rozanski, K., & Cohen, S. (2008, Mar). Isotope effects in the evaporation of water: a status report of the Craig-Gordon model. *Isotopes Environ Health Stud*, 44(1), 23-49. <https://doi.org/10.1080/10256010801887174>
- [14] Kendall, C., & McDonnell, J. J. (2012). *Isotope tracers in catchment hydrology*. Elsevier.
- [15] Kern, Z., Hatvani, I., Czuppon, G., Fórizs, I., Erdélyi, D., Kanduč, T., Palcsu, L., & Vreča, P. (2020). Isotopic ‘altitude’ and ‘continental’ effects in modern precipitation across the Adriatic–Pannonian Region. *Water*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/w12061797>
- [16] Pérez, A., Lagos, O., Lillo-Saavedra, M., Souto, C., Paredes, J., & Arumí, J. L. (2020). Mountain lake evaporation: A comparative study between hourly estimations models and in situ measurements. *Water*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/w12092648>
- [17] Skrzypek, G., Mydłowski, A., Dogramaci, S., Hedley, P., Gibson, J. J., & Grierson, P. F. (2015). Estimation of evaporative loss based on the stable isotope composition of water using Hydrocalculator. *Journal of Hydrology*, 523, 781-789. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.010>
- [18] Szeitz, A. J., & Moore, R. D. (2020). Predicting evaporation from mountain streams. *Hydrological Processes*, 34(22), 4262-4279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.13875>
- [19] Vystavna, Y., Matiatos, I., & Wassenaar, L. I. (2021, Sep 16). Temperature and precipitation effects on the isotopic composition of global precipitation reveal long-term climate dynamics. *Sci Rep*, 11, 18503. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98094-6>
- [20] Winnick, M. J., Chamberlain, C. P., Caves, J. K., & Welker, J. M. (2014, 2014/11/15/). Quantifying the isotopic ‘continental effect’. *Earth and Planetary Science Letters*, 406, 123-133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.09.005>
- [21] Yu, X., & Xu, J. (2020). Does sunlight always accelerate water droplet evaporation? *Applied Physics Letters*, 116(25). <https://doi.org/10.1063/5.0012700>