บทที่ ๖

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

๖.๑ สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพอสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

๖.๑.๑ การหาความแน่นอนในการวัดอุณหภูมิการลอยตัว ดังตารางที่ ๕.๑ สรุปได้ว่าในการหาปริมาณน้ำชนิดหนัก โดยเทียบกับน้ำชนิดหนักมาตรฐาน ปรากฏว่าการหาปริมาณน้ำชนิดหนักด้วยวิธีการลอยตัวมีความแน่นอนสูง กล่าวคือที่ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักต่ำ ๆ เช่น ๔๐๐ และ ๘๐๐ PPM จนถึงความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้จากอุณหภูมิลอยตัวสูงสุด ซึ่งอ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้ ความถูกต้อง (accuracy) จะอยู่ในระดับ ๑.๔๔ %

๖.๑.๒ ความแม่นยำของการวิเคราะห์ แสดงการหาสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ ๕.๓ โดยใช้ค่า n = ๖๐ จากการทดลองหาค่า % CV ของน้ำทะเลชลบุรี โดยทำการวัดอุณหภูมิที่จุดวกกลับ ๖๐ ครั้ง และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า % CV ปรากฏว่าได้ % CV = ๔.๔๑๓ % การทดลองที่ดี ควรจะมีสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ๑๐ % จากผลที่ได้ ปรากฏว่า % CV มีค่าน้อยกว่า ๑๐ % จึงสรุปได้ว่า การทดลองได้ผลดี

๖.๑.๓ ข้อจำกัดของการวิเคราะห์

๖.๑.๓.๑ ความไม่บริสุทธิ์ของน้ำตัวอย่าง

ผลอันเนื่องมาจากสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำต่ออุณหภูมิการลอยตัว ดังตารางที่ ๕.๖ สรุปได้ว่า ของแข็งที่ละลายปนอยู่ในตัวอย่างน้ำ จะมีผลต่อปริมาณน้ำชนิดหนักที่วัดได้ กล่าวคือ ถ้านำตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้กลั่นมาหาปริมาณน้ำชนิดหนักจะมีค่าผิดไปจากความเป็นจริงมาก ส่วนตัวอย่างที่กลั่น ๑ ครั้ง และกลั่น ๖ ครั้ง จนได้ค่า total dissolved solic อย่างสูง

ไม่เกิน ๓ ppm. ค่าที่วัดได้ต่างกันก็เพียงเล็กน้อย จากตารางที่ ๕.๒ ปรากฏว่าตัวอย่างน้ำพุร้อนที่บ้านแม่ใจ หลุม ๒ ที่ไม่ได้กลั่น สามารถวัดปริมาณน้ำชนิดหนักได้ถึง ๐.๔๓๔ ± ๐.๐๐๖ % ส่วนตัวอย่างที่กลั่นแล้วนำมาวัดปริมาณน้ำชนิดหนักได้เพียง ๐.๐๓๖ ± ๐.๐๐๖ % การทดลองในช่วงนี้ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาปริมาณน้ำชนิดหนักด้วยวิธีการลอยตัว จะต้องทำให้บริสุทธิ์ เพื่อขจัดสิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่จะรบกวนการวัดความหนาแน่น

๖.๑.๓.๒ อุณหภูมิของจุดกลับตัว

ปกติในการวิเคราะห์จะต้องพยายามทำให้ความเข้มข้นของ D_2O ในน้ำตัวอย่างใกล้เคียงกับน้ำมาตรฐาน โดยการทำให้เจือจาง ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมี D_2O สูง ๆ กรณีที่น้ำตัวอย่างมีความเข้มข้น D_2O ต่ำกว่าน้ำมาตรฐานจะไม่เกิดปัญหา เนื่องจากน้ำมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปา ซึ่งมี D_2O ต่ำอยู่แล้ว จึงสามารถเลือกความหนาแน่นของลูกลอยให้ได้อุณหภูมิของจุดกลับตัวสำหรับน้ำมาตรฐานอยู่ที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องมากน้อยได้ตามความต้องการ อุณหภูมิของจุดกลับตัวของน้ำตัวอย่างกรณีนี้จึงยังคงสูงกว่าอุณหภูมิห้องได้ ซึ่งจะหลีกเลี่ยง การจัดอุปกรณ์เพื่อให้ได้อุณหภูมิของน้ำตัวอย่างต่ำกว่าอุณหภูมิห้องอันเป็นข้อยุ่งยาก

กรณีน้ำตัวอย่างที่มีความเข้มข้น D_2O สูงมากจะมีปัญหาเนื่องจากฟองของไอน้ำที่เริ่มเกิดและการถ่ายเทมวลของน้ำตัวอย่าง เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้การหาอุณหภูมิของจุดกลับตัวไม่ได้ผล ปกติจากการสังเกตุขณะทำการทดลอง จะใช้อุณหภูมิได้สูงประมาณไม่เกิน ๔๒ °C

๖.๑.๓.๓ ความเข้มข้นของ D_2O ในน้ำตัวอย่าง

ในกรณีใช้น้ำมาตรฐานเป็นน้ำประปา ความเข้มข้นสูงสุดของ D_2O ในน้ำตัวอย่างจะจำกัด โดยเทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้เพราะเทอร์มอมิเตอร์ที่มีขีดแบ่งละเอียดถึงทศนิยมที่สอง จะอ่านได้ในช่วงหนึ่งของอุณหภูมิ เช่น ๗ °C ดังที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ถ้าใช้น้ำมาตรฐานเป็นน้ำที่มี D_2O ความเข้มข้นสูงจะมีข้อจำกัดในเรื่องการดูดความชื้นในอากาศของทั้งน้ำมาตรฐานและน้ำตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถหาน้ำมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ได้

๖.๑.๔ เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

เวลาส่วนใหญ่ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นการเตรียมน้ำตัวอย่างให้บริสุทธิ์ ซึ่งใช้เวลานาน ๓ ชั่วโมง ส่วนเวลาที่ใช้ในการหาอุณหภูมิของจุดกลับตัวใช้เวลาอย่างมากที่สุดประมาณ ๓ ชั่วโมง ต่อ ๑ ตัวอย่าง และใช้เวลาอย่างน้อยที่สุดประมาณ $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง ต่อ ๑ ตัวอย่าง กล่าวคือ โดยเฉลี่ยประมาณ ๑ ชั่วโมง

๖.๑.๕ ตารางที่ ๕.๔ แสดงอุณหภูมิที่จุดวกกลับของตัวอย่างน้ำ ๑๗ ตัวอย่าง และตารางที่ ๕.๕ แสดงถึงปริมาณน้ำชนิดหนักที่คำนวณได้ และแสดงถึงปริมาณของของแข็งที่ละลายปนอยู่ โดยวัดด้วย DS Meter ออกมาในรูปของ PPM.

ข้อมูลจากตารางที่ ๕.๕ สรุปได้ว่าสารละลายอิเลคโทรไลท์จากกรมวิทยาศาสตร์ทหารบกมีเปอร์เซ็นต์ของน้ำชนิดหนักสูงสุด = ๐.๑๑๖ $\pm$ ๐.๐๐๖ ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณน้ำชนิดหนักรองลงมาได้แก่ น้ำจากบ่อน้ำร้อน อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ (๔๐°C) มีปริมาณน้ำชนิดหนัก = ๐.๐๔๔ % $\pm$ ๐.๐๐๖ และน้ำจากแม่น้ำโขง อ.เมือง จ.นครพนม มีปริมาณน้ำชนิดหนัก = ๐.๐๓๑ % $\pm$ ๐.๐๐๖ ค่าที่สูงนี้ เนื่องจากเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำโขงในฤดูร้อน (ของเมืองหนาว) ซึ่งน้ำแข็งจากภูเขาน้ำแข็งจะเริ่มละลายและไหลเรื่อยลงมาจนถึงบริเวณที่เก็บตัวอย่าง เป็นผลให้น้ำที่ไหลลงมามีปริมาณ D_2O สูงกว่า H_2O

ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณน้ำชนิดหนักต่ำสุดคือ ตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำน้อย จ.อ่างทอง มีปริมาณน้ำชนิดหนัก = ๐.๐๑๐ % การที่มีปริมาณน้ำชนิดหนักต่ำ เพราะว่าลมที่พัดผ่านบริเวณใกล้เคียงกับ จ.อ่างทอง เป็นลมที่เกิดจากไอน้ำที่มีปริมาณดิวทีเรียมต่ำ

ข้อมูลจากตารางที่ ๕.๔ และ ๕.๕ แสดงให้เห็นว่า ถ้าตัวอย่างน้ำมีปริมาณน้ำชนิดหนักสูงขึ้นค่าของอุณหภูมิการลอยตัวที่วัดได้ก็จะสูงขึ้นด้วย ในการหาปริมาณน้ำชนิดหนักด้วยวิธีนี้สามารถใช้หาตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักสูง จนถึงตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักต่ำ เช่น น้ำจากแม่น้ำน้อย ดังนั้นถ้าจะหาปริมาณน้ำชนิดหนักที่มีปริมาณน้อยกว่าน้ำจากแม่น้ำน้อยก็น่าจะหาได้ด้วยวิธีนี้

๖.๒ ข้อเสนอแนะ

๖.๒.๑ ควรจะหาตัวอย่างน้ำให้มากกว่านี้ เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลว่าน้ำจากแหล่งไหนของประเทศไทยมีปริมาณน้ำชนิดหนักสูงสุด และควรเก็บตัวอย่างต่างฤดูกาลกัน เพื่อเปรียบเทียบ โดยเฉพาะตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำที่ตื้นน้ำเป็นธารน้ำแข็ง, จากทะเลสาป, จากน้ำบาดาล ซึ่งตัวอย่างน้ำเหล่านี้ความเข้มข้นจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล

๖.๒.๒ ในการเตรียมน้ำชนิดหนักมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสูง ควรจะทำให้เจือจางก่อน โดยน้ำบริสุทธิ์ที่ทราบค่าปริมาณน้ำชนิดหนักแน่นอนจนได้ค่าความเข้ม D_2O ใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่าง เนื่องจากการหาอุณหภูมิของจุดกลับตัวเมื่อใช้น้ำมาตรฐานที่มีความเข้มข้น D_2O สูง จะต้องทำในภาชนะปิด เพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศ

๖.๒.๓ ถ้าเป็นไปได้ ควรจะหาเทอร์มอมิเตอร์ที่มีขีดแบ่งละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ ๓ เพื่อให้การวัดถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น และควรเป็นชนิดอ่านเป็นตัวเลข

๖.๒.๔ เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถทำให้สั้นลงได้ ถ้าทำการทดลองในห้องที่จัดเตรียมไว้เฉพาะ คือ ควรเป็นห้องที่อุณหภูมิภายในห้องมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และควรมีการถ่ายเทมวลอากาศในห้องน้อยที่สุด

ห้องที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นห้องปรับอากาศ แต่มีผู้ใช้มาก ประตูที่เปิด, ปิดตลอดเวลา นอกจากจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องแล้วยังจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน และเกิดกระแสลมด้วย การอ่านค่าอุณหภูมิของจุดกลับตัวจึงทำได้ยากและใช้เวลานานพอสมควร

๖.๒.๕ ลูกลอยควรทำด้วยควอทซ์ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน และให้ค่าอุณหภูมิของจุดกลับตัวที่ถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากควอทซ์มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อยกว่าแก้ว pyrex มาก