การพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในดินตะกอน

Development of Radioanalytical Technique for Lead-210 in Sediment

คำนำ

ตะกั่ว-210 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ โดยได้มาจากการสลายตัวของ อนุกรมยูเรเนียม-238 สลายตัวแบบต่อเนื่อง จนกระทั่งได้พอโลเนียม-210 จึงสามารถพบได้ทั้งใน ้ดินตะกอน และสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นตะกั่ว-210 เป็นนิวไกลด์กัมมันตรังสีตัวหนึ่งที่นิยม นำมาใช้ในการหาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในแหล่งน้ำ และในทะเล รวมถึงสามารถ นำมาใช้ในการบอกค่าอายของดินตะกอน (Xiang et al., 2002) ในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของ ตะกั่ว-210 บ่อยครั้งสามารถวัดจากนิวไกลด์ลูก (พอโลเนียม-210) และเกิดสมดุลแบบถาวรกับนิว ใกลด์แม่ (ตะกั่ว-210) ข้อคีของการวัดพอโลเนียม-210 แทนการวัดจากตะกั่ว-210 โดยตรง คือ ให้ ้ค่าความไวในการวัดสูงกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างคินตะกอนน้อยกว่า และพบว่านิวไคลด์ทั้งสอง ้ดังนั้นปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีปริมาณที่ ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ต่ำ เหมาะสม จึงทำให้มีข้อจำกัดในการวัดก่ากัมมันตภาพรังสี เพื่อที่จะให้ได้ก่ากวามถูกต้อง และกวาม ์ แม่นยำ ในการวัดค่ากัมมันตภาพรังสี จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการวัดที่นานขึ้น ดังนั้นจึงควรต้องมี การศึกษา และพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ตะกั่ว-210 ขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตผลของตะกั่ว-210 มากขึ้น หากพัฒนาได้เทกนิกการวิเกราะห์ที่เหมาะสม ให้ก่ากวามถูกต้อง และกวามแม่นยำที่สูงขึ้น ก็จะทำ ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีที่วิเคราะห์ได้มีความน่าเชื่อถือ เมื่อนำเทคนิคการวิเคราะห์ที่ได้ไปประยกต์ใช้ ้กับงานวิจัยต่างๆ ก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีกวามถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้นด้วย ซึ่งตามวิธีเดิมนั้น (Carpenter, 1993) ให้ค่าผลิตผลของตะกั่ว-210 ที่ไม่สง และใช้เวลาในการวิเคราะห์ตะกั่ว-210 นาน ้จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยอุณหภูมิ ปัจจัยความเร็วรอบการหมุน ปัจจัยความ เป็นกรดค่าง และปัจจัยของเวลา เป็นต้น เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะสามารถที่จะให้ ใด้ค่าผลิตผลของตะกั่ว-210 เพิ่มมากขึ้น และให้ค่าที่มีความถูกต้อง ความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกัน และใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง ซึ่งถ้าสามารถที่จะลคระยะเวลาลงได้ ก็จะ ทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ครั้งละมากๆ ได้

วิธีการย่อยดินตะกอนเพื่อวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในปัจจุบัน พบว่ามี อยู่ 2 วิธี คือ วิธีการย่อยดินตะกอนด้วยเตาความร้อน กับ วิธีการย่อยดินตะกอนด้วยไมโครเวฟ เนื่องจากในห้องปฏิบัติการบางแห่งไม่มีเครื่องไมโครเวฟ เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง คั้งนั้นจึง ควรทำการศึกษาวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอน เพื่อที่จะได้รู้ว่าการย่อยดินตะกอนจากทั้งสองวิธี ให้ ก่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ในดินตะกอนเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร สามารถที่ จะได้ใช้เป็นทางเลือกในการย่อยตัวอย่างดินตะกอน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสี ของตะกั่ว-210 ต่อไป

เทกนิคเชิงนิวเคลียร์ โดยการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 สามารถนำไปใช้ใน การประเมินอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ โดยข้อดีของวิธีนี้ คือ เป็นวิธีที่สามารถประเมินอัตรา การตกตะกอนออกมาในรปของหน่วยต่อระยะเวลา เช่น มิลลิลิตรต่อปี หรือ หน่วยน้ำหนัก เช่น ้มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี นอกจากนี้แล้วไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลทุกๆ ปี ช่วยลดความ ้ยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายในการเก็บตัวอย่างได้อีกด้วย ดังนั้นจึงได้นำเอาเทคนิคเทคนิคการวิเคราะห์ ตะกั่ว-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาไปใช้ในการหาอัตราการตกตะกอนใน ้อ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จังหวัดตราด ซึ่งอ่างเก็บน้ำทั้งสองอยู่ในลุ่มน้ำ ้ห้วยแล้ง-คลองพืด ซึ่งภายในลุ่มน้ำนี้ได้มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อในด้านต่างๆ เช่น ทำสวนผลไม้ ้สวนยางพารา ทุ่งหญ้าต่อไร่ร้าง และสวนผลไม้ผสม เป็นต้น จึงมีโอกาสทำให้เกิดการชะล้าง พังทลายของดินต่อไปในอนาคต ที่เลือกอ่างเก็บน้ำทั้งสองก็เพราะว่า อ่างเก็บน้ำทับทิมสยามเป็น ้อ่างเก็บน้ำที่อยู่ในบริเวณที่มีประชากรอยู่อาศัย และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆ เป็น ้จำนวนมาก อ่างเก็บน้ำคลองหลอดมีการรบกวนการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านต่างๆ ค่อนข้างน้อย ้จึงมีเป็นอ่างที่น่าสนใจในการศึกษาครั้งนี้ และเปรียบเทียบดูว่าอ่างเก็บน้ำทั้งสองให้ค่าอัตราการ ตกตะกอนแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร โดยประเมินออกมาในรูปมิลลิเมตรต่อปี หรือ เซนติเมตรต่อ ้ปี หรือ มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี และนำค่าอัตราการตกตะกอนที่ได้ไปใช้ในการวาง แผนการจัดการทรัพยากรน้ำต่อไป

วัตถุประสงค์

 เพื่อพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์และวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 โดยการ ตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210

 การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการแยกพอโลเนียม-210 ด้วยแผ่นเงินโดยวิธีเกมีไฟฟ้า เช่น อุณหภูมิ ความเร็วรอบของการหมุน ค่าความเป็นกรดค่าง และเวลา เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม มากที่สุด

3. การเปรียบเทียบวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอนโดยวิธีไมโครเวฟกับเตาทำความร้อน

 การนำเอาการพัฒนาเทคนิคทางนิวเคลียร์โดยการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในธรรมชาติ ไปประยุกต์หาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่าง เก็บน้ำคลองหลอด จ.ตราด

การตรวจเอกสาร

1. การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210

ตะกั่ว-210 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ (มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 22.3 ปี) (Yamamoto *et al.*, 1994) ตะกั่ว-210 เกิดจากการสลายตัวของก๊าซเรดอน-222 ในชั้นบรรยากาศ (ภาพที่ 1) (Eakins and Morrison, 1978) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวผ่านลำดับอนุกรมของยูเรเนียม-238 (Walling *et al.*, 2003) หลังจากนั้นตะกั่ว-210 จะสลายตัวอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้นิวไคลด์ตัว สุดท้ายของอนุกรม คือ ตะกั่ว-206 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร (Hamilton and Smith, 1986) หลังจาก นั้น ตะกั่ว-210 ก็จะจับกับอนุภาคของฝุ่นละออง หรือ ของเหลวต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ (Kumar *et al.*, 1999) และจะลอยตัวอยู่ระหว่าง 9.6 วัน และ2-3 สัปดาห์ (Eakin and Morrison, 1978)



<u>ภาพที่ 1</u> ลำคับอนุกรมของตะกั่ว-210 ที่มา: Arizona (2006) ต่อมาตะกั่ว-210 ที่ได้ก็จะแพร่กระจายไปสู่พื้นดิน และแหล่งน้ำต่างๆ เช่น แม่น้ำ ทะเล และ ทะเลสาบ (Kumar et al., 1999) เป็นต้น (ภาพที่ 2) โดยในแหล่งน้ำจะได้ตะกั่ว-210 จากการตกลงไป ที่ผิวน้ำโดยตรง และได้จากการชะล้างพังทลายของดิน แล้วดินตะกอนที่ได้ก็จะถูกพัดพาลงสู่แหล่ง น้ำทีมีขนาดใหญ่ เช่น ทะเล หรือ ทะเลสาบ โดยตะกั่ว-210 จะรวมตัวกับอนุภากที่แขวนลอยอยู่ใน น้ำ และก่อยๆ ตกลงไปสู่กันอ่าง โดยการพาไปของดินตะกอน (Eakins and Morrison, 1978; Kumar et al., 1999) Kumar et al. (1999) ได้กล่าวว่า แหล่งที่มาของตะกั่ว-210 ในดินตะกอนว่ามาจาก 2 แหล่ง คือ ได้มาจากการสลายตัวของเรเดียม-226 ที่อยู่ในดินและหิน โดยที่ดินที่ถูกชะล้างพังทลาย เหล่านี้จะถูกพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ จึงเรียกตะกั่ว-210 นี้ว่า supported ²¹⁰Pb ส่วนอีกแหล่ง ได้มาจาก การสลายตัวของก๊าซเรดอน-222 ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ผ่านอนุกรมนิวไกลด์ที่มีก่าครึ่งชีวิตสั้น จนกระทั่งได้ตะกั่ว-210 จึงเรียกตะกั่ว-210 นี้ว่า unsupported ²¹⁰Pb (ภาพที่ 2) ส่วนปริมาณตะกั่ว-210 ในแหล่งนี้จะมีปริมาณลดลงตามเวลาที่ผ่านไป จึงได้มีการนำเอาหลักการนี้ มาประยุกต์ใช้ใน การหา่าอายุ และอัตราการตกตะกอนของดินตะกอน

พอโลเนียม-210 (มีค่าครึ่งชีวิต 138.38 วัน) เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีตัวสุดท้ายของอนุกรม ยูเรเนียม-238 (Hamilton and Smith, 1986) โดยได้มาจากการสลายตัวของก๊าซเรดอน-222 ที่อยู่ใน ชั้นบรรยากาศ (Yamamoto, 1994) ซึ่งพอโลเนียม-210 นี้จะสลายตัวให้อนุภาคแอลฟาที่ระดับ พลังงาน 5.305 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (Kev) แล้วให้ตะกั่ว-206 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร (Hamilton and Smith, 1986) จะเห็นได้ว่า ตะกั่ว-210 และพอโลเนียม-210 ต่างก็เป็นสมาชิกของอนุกรม ยูเรเนียมด้วยกันทั้งกู่ และยังเกิดสมดุลกันแบบถาวร (secular equilibrium) (Eakins and Morrison, 1978) เนื่องจากค่าครึ่งชีวิตของพอโลเนียม-210 สั้นกว่าค่าครึ่งชีวิตของตะกั่ว-210 มาก จึงสมมุติว่า ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 เท่ากับ ค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 (Huh *et al.,* 1996)

สำหรับการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 นั้นมีวิธีการวิเคราะห์อยู่ 2 วิธี คือ (1) การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 โดยตรง โดยตะกั่ว-210 จะสลายตัวให้รังสีแกมมา (2) การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 โดยทางอ้อม ซึ่งวัดก่ากัมมันตภาพรังสีได้จากนิว ใกลด์ลูกของตะกั่ว-210 ดังเช่น พอโลเนียม-210 โดยสลายตัวให้รังสีแอลฟา (Hussain *et al.*, 1995)



<u>ภาพที่ 2</u> เส้นทางของตะกั่ว-210 ที่สะสมในคินตะกอนของอ่างเก็บน้ำ ที่มา: Ozestuaries (2005)

การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 โดยทางอ้อม Gordberg (1963) ได้วิเคราะห์ ้ ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างน้ำ น้ำทะเล และธารน้ำแขึ่ง โดยได้ทำการแยกตะกั่ว-210 ออกจากตัวอย่างดินตะกอน ด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) แล้วตกตะกอนตะกั่ว-210 ให้อยู่ในรูปของตะกั่วโครเมต แล้วนำตะกอนที่ได้มาวัดค่ากัมมันตภาพรังสี ซึ่งสามารถ ้วิเคราะห์ได้ โดยการวัดก่ากัมมันตภาพรังสีของบิสมัต-210 ซึ่งสถายตัวให้รังสีเบตา (E___ = 1.2 Mev) ้สามารถวัดด้วยเครื่องวัดรังสีเบตาระดับต่ำ Nozaki and Tsunogai (1973) ได้วิเคราะห์ค่า ้กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างน้ำทะเล โดยการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 แทน เนื่องจากตะกั่ว-210 เกิดสมคุลถาวรกับพอโลเนียม-210 ซึ่งเขาได้แยกพอโลเนียม-210 ด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และรวคเร็ว ส่วน Hamilton and Smith (1986)ได้แยก พอโลเนียม-210 ด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน เช่นเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันตรงกระบวนการแยก พอโลเนียม-210 ส่วน Eakins and Morrison (1978) ได้กล่าวว่าการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของบิ สมัต-210 ความคลาดเคลื่อนสามารถเกิดขึ้นได้ถ้าแหล่งกำเนิดรังสีที่เตรียมไม่สะอาด ทำให้วัดค่า ้รังสีเบตาจากแหล่งอื่นๆ ด้วย นอกจากนั้นแล้วพลังงานของรังสีเบตาที่ได้ก็ต่ำ และช่วงเวลาของการ เกิดสมดุลระหว่างบิสมัต-210 กับตะกั่ว-210 ใช้เวลานาน คือ ประมาณ 40 วัน ข้อดีของการวิเคราะห์ พอโลเนียม-210 คือ (1) ให้ค่าความไวในการสูง (2) สามารถใช้พอโลเนียม-208 ในการติดตาม กระบวนการแยกทางเคมี (3) สามารถวัดแหล่งกำเนิดรังสีแอลฟาด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ (4) มีความรวดเร็วระหว่างขั้นตอนการเตรียม และการวัดค่ากัมมันตภาพรังสี (5) การแยก

พอ โลเนียม-210 ออกจากคินตะกอนเป็นวิธีที่ง่าย (6) ใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์ปริมาณน้อย Eakins and Morrison (1978) ใด้แยกพอโลเนียม-210 ออกจากตัวอย่างคินตะกอนโดยวิธีการกลั่น เนื่องจาก พอ โลเนียม-210 สามารถระเหยที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็จะนำสารละลายที่ได้ ้ไปแยกด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน แล้วนำแผ่นเงินที่ได้ไปวัดค่ากัมมันตภาพรังสี ด้วยเครื่อง แอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ Fleer and Bacon (1984) ได้วิเคราะห์หาปริมาณของพอโลเนียม-210 ใน ้ตัวอย่างน้ำทะเล และตะกอนแขวนลอยโดยใช้เครื่องวัดรังสีแอลฟา โดยการเติมพอโลเนียม-208 ปริมาณการเติมขึ้นอยู่กับก่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 ในตัวอย่าง (Nevissi, 1991) เพื่อ ใช้เป็นสารติดตามหาปริมาณของพอโลเนียม-210 ในตัวอย่าง และสามารถหาค่ากัมมันตภาพรังสี ้ของตะกั่ว-210 โดยการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 การวัดโดยทั่วไปอาจจะสณเสีย ใด้โดยเกิดการคดซับด้วยแก้วหรือเกิดการระเหย (Smith and Hamilton, 1984) นิวไกลด์กัมมันตรังสี ที่ให้ก่ากัมมันตภาพรังสีต่ำๆ บ่อยกรั้งที่จะต้องวัดเป็นเวลานาน เพื่อให้ได้ก่ากวามแม่นยำ และ ้ความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (Smith and Hamilton, 1984) นอกจากนั้นไอออนต่างๆ ที่ปนอยู่ใน ้สารละลาย เช่น เหล็ก จะมีส่วนในการยับยั้งการแยกพอ โลเนียม-210 บนแผ่นเงิน และลคสเปกตรัม ของกัมมันตภาพรังสีแอลฟา (Smith and Hamilton, 1984) การวัดค่ากัมมันตภาพรังสีแอลฟา ้ส่วนมากให้ความไวสูง แต่ในตัวอย่างคินตะกอนที่ใหม่มากๆ ความสมคุลระหว่างตะกั่ว-210 กับ พอโลเนียม-210 อาจจะยังไม่ถึงจุดสมุคล การหา unsupported ²¹⁰Pb นั้นสามารถหาได้จากการนำ supported ²¹⁰Pb ไปลบออกจากค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ทั้งหมด ซึ่งปกติ supported ²¹⁰Pb ที่ได้มาจากตัวอย่างจะให้ค่าอายุมากกว่า 100 ปี และบางคนหาค่า supported ²¹⁰Pb จากการวัดค่า กัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226 (Moser, 1993)

ระบบวัดกัมมันตภาพรังสีแบบแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ สามารถใช้กับหัววัดอยู่ 4 หัววัด คือ หัววัดแบบเซอร์เฟซ-แบริเออร์ หัววัดแบบแชมเบอร์ไอออน หัววัดแบบแมกเนติกสเปกโตรมิเตอร์ และหัววัดจากแสงวับ ระบบวัดกัมมันตภาพรังสีแบบแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ (ภาพที่ 4) แยก พลังงานอยู่ในช่วง 5-7 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ หัววัดแบบแมกเนติก สเปกโตรมิเตอร์นั้นให้ค่าการ แยกดีที่สุด แต่มีประสิทธิภาพในการวัดกัมมันตภาพรังสีต่ำได้ มีราคาแพง และมีความซับซ้อนของ การทำงาน ส่วนหัววัดแบบเปล่งแสงวับนั้น ประสิทธิภาพในการแยกระดับพลังงานได้ไม่ดี เมื่อ เปรียบเทียบกับอีกสามชนิด (Ivanovich and Harmon, 1982)

หัววัดแบบเซอร์เฟซ-แบริเออร์ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีความหนาเพียง 60 ไมครอน และพื้นที่ผิวประมาณ 100 ตารางมิลลิเมตร (ภาพที่ 5) นั้นทำให้สามารถแยกระดับพลังงานได้ดี สามารถใช้วัดกับตัวอย่างที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำได้ เนื่องจากให้ค่าแบกกราวค์ (Background) ต่ำ มีความไวต่อรังสีแกมมาต่ำ ราคาถูก การเพิ่มประสิทธิภาพการแยกพึกสามารถทำได้โดยปรับ ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี กับ หัววัด แต่อาจทำให้ประสิทธิภาพในการวัดกัมมันตภาพรังสี ต่ำถง



<u>ภาพที่ 3</u> สเปกตรัมของรังสีแอลฟาของพอโลเนียม-210 กับ พอโลเนียม-209 ที่มา: Phy.jyk.fi (2006)



<u>ภาพที่ 4</u> ลักษณะเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์



<u>ภาพที่ 5</u> แสดงลักษณะของการวางต้นกำเนิดรังสี ที่มา: Ortec (2003)

นอกจากที่กล่าวมาแล้วการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ยังสามารถที่จะวิเคราะห์ ใด้โดยตรง โดยการวัดจากการสลายตัวของตะกั่ว-210 ซึ่งจะสลายตัวให้รังสีแกมมา วัดด้วยเครื่อง แกมมาสเปกโตรมิเตอร์ (พลังงาน 46.5 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์) ซึ่งข้อดีของวิธีนี้ คือ ไม่ต้องอาศัย กระบวนการแยกทางเคมี (Cutshall *et al.*, 1983) เป็นการวิเคราะห์ที่ไม่ทำลายตัวอย่าง ความเป็นไป ได้ของการใช้ตัวอย่างปริมาณมากๆ สามารถวัดได้ทีละหลายๆ ธาตุอีกด้วย (Kunzendorf, 1996) แต่ วิธีนี้ก็มีปัญหาในเรื่องของ self absorption ของรังสี ซึ่งดินแต่ละชนิดก็จะให้ค่า self absorption ต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดิน (Hussain *et al.*, 1995) ดังนั้นจึงต้องแก้ค่า seft absorption อยู่ เสมอ (Cutshall *et al.*, 1983) ส่วนข้อเสีย คือ สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงานต่ำ (46.5 กิโล อิเล็กตรอนโวลต์) และมีเปอร์เซ็นต์ของการสลายตัวให้รังสีแกมมาที่น้อย (4 เปอร์เซ็นต์ของการ สลายตัวให้รังสีแกมมา) (Kunzendorf, 1996) สำหรับการวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 จะต้องให้ได้ค่าการนับ 400 ครั้ง เพื่อที่จะลดก่าความกลาดเกลื่อน (Carroll *et al.*, 1999)



<u>ภาพที่ 6</u> สเปกตรัมของตะกั่ว-210 ที่วัดด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ ที่มา: Kunzendorf (1996)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

Flynn (1968) ได้แขกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงินในสารละลาขกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง มีก่าความเป็นกรดค่างเท่ากับ 2.0 อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส ในสารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยการหมุนแผ่นเงิน และใช้เวลาในการแขกนาน 75 นาที พบว่าให้ค่าประสิทธิภาพในการแขก สูงสุด เมื่อทำการแขกเสร็จแล้วล้างแผ่นเงินด้วยน้ำ และเมทานอล รอให้แห้ง แล้วนำไปวัดต่อไป วิธี นี้จะมีปัญหาเรื่องสิ่งรบกวน จากเหล็ก (Fe(III)) โครเมียม (Cr(VI)) และสารประกอบ oxidant ของ สารอินทรีย์ และธาตุต่างๆ ที่จับบนแผ่นเงิน ซึ่งสิ่งรบกวนเหล่านี้ทำให้ประสิทธิภาพในการแขก พอโลเนียม-210 ลดลง ดังนั้นจึงเติมสารละลายไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ เพื่อจำกัดสิ่งรบกวน เหล่านี้ก่อนที่จะทำการแขกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน (Flynn, 1968) ถึงแม้จะเติมเกินก็ไม่มี ผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการจับพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน Flynn (1968) ยังกล่าวอีกว่า ประสิทธิภาพ และความเร็วในการแขกพอโลเนียม-210 ยังขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ และปริมาตรน้อยๆ ของสารละลาย สำหรับการป้องกันการระเหยของสารละลายที่ใช้ในการแยกด้องกระทำภายใน ระบบปิด และเพื่อให้เกิดความไวในการวัดสูงสุด ต้องให้แผ่นเงินสัมผัสกับสารละลายเพียงด้าน เดียว เนื่องจากการแยกพอโลเนียม-210 บนแผ่นงางทั้งสองด้าน จะทำให้กวามไวของการวัด กัมมันตภาพรังสีลดลง และต้องเพิ่มเวลาในการวัด (Smith and Hamilton, 1984) Fleer and Bacon (1984) แยกพอโลเนียม-210โดยวิธีของ Flynn (1968) แต่เพิ่มเวลาในการจับพอโลเนียม-210 บน แผ่นเงิน โดยใช้เวลา 4.0 ชั่วโมง เพื่อแน่ใจว่าพอโลเนียม-210 ทั้งหมดถูกจับบนแผ่นเงินหมด

การแขกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเกมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน โดยการแขวนแผ่นเงินให้สัมผัสกับ สารละลายทั้งสองด้าน (Smales et al., 1957) เมื่อเทียบกับการแขวนแผ่นเงินให้สัมผัสกับสารละลาย เพียงด้านเดียว (Carpenter, 1993) ใช้เวลาในการแยกเพียงครึ่งหนึ่งของการแยกโดยให้แผ่นเงิน สัมผัสกับสารละลายทั้งสองด้าน หมายความ ว่าการแยกโดยให้แผ่นเงินให้สัมผัสกับสารละลาย เพียงด้านเดียวเร็วกว่าการแยกโดยให้แผ่นเงินสัมผัสกับสารละลายทั้งสองด้าน (Schell and Nevissi, 1983) การกันไม่ให้อีกด้านหนึ่งของแผ่นเงินสัมผัสกับสารละลายอาจทำได้โดยการปิดด้านหนึ่งของ แผ่นเงินด้วยสารเคลือบ (Enamel) (Srisuksawad et al., 1997) หรือ ปิดด้วยสกรู (Smith and Hamiltion, 1984) ทั้งสองวิธีให้ก่าความถูกต้องเหมือนกันเมื่อทดสอบด้วยสารติดตามพอโลเนียม-208 แต่สารเคลือบที่ใช้ต้องสามารถทนการกัดกร่อนของกรดไฮโดรคลอริกร้อนได้

ใด้ทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพในการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีใฟฟ้าบนแผ่นเงิน ้โดยปรับปรุงปัจจัยต่อไปนี้ ความเร็วในการหมุนแผ่นเงิน เหล็กในสารละลาย ความเป็นกรคด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210บนแผ่นเงิน (Smith and Hamilton, 1984) พบว่า เมื่อแขกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน ในสารละลายที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา ในการแยกนาน 100 นาที ให้ค่าผลิตผลเท่ากับ 12 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเพิ่มเวลาในการแยกเป็น 400 นาที ้จะให้ค่าผลิตผลเพิ่มเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ และถ้าหมุนแผ่นเงินไปด้วยที่ความเร็วรอบ 50 เรเดียนต่อ ้วินาที จะให้ค่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ หรือถ้าเพิ่มความเร็วรอบเป็น 100 เรเคียนต่อวินาที จะให้ค่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 มากตามไปด้วย โดยให้ค่าผลิตผลของ พอโลเนียม-210 มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าให้ความเร็วรอบการหมุนมากกว่านี้จะทำให้ สารละลายเกิดความปั่นป่วน ทำให้ได้ค่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 ลดลง (Smith and Hamilton, 1984) สำหรับปัจจัยความเป็นกรคค่างนั้น พบว่าถ้าสารละลายมีความเป็นกรคค่างสูงเกินไป จะทำ ให้พอโลเนียม-210 ตกตะกอนร่วมกับเหล็ก(III) ได้ แต่ถ้าความเป็นกรคต่ำเกินไปทำให้สารละลาย ้กัดแผ่นเงินได้ ทำให้ได้ก่าผลิตผลของตะกั่ว-210 ลดลง และลดประสิทธิภาพการแยกของพึกทั้ง สอง (Smith and Hamilton, 1984) นอกจากนั้นแล้วเหล็ก(III) ถือว่าเป็นอุปสรรคตัวสำคัญ ที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการแยกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน เนื่องจาก เหล็ก(III) จะยับยั้งการแยก พอโลเนียม-210 ด้วยเช่นกันเนื่องจากเหล็ก (III) สามารถยับยั้งการจับของพอโลเนียม-210 บนแผ่น เงิน แก้ไขโดยเติม ตัวลดออกซิเจน (reducing agent) ลงไป ซึ่งจะทำให้เหล็ก(III) เปลี่ยนเป็นเหล็ก (II) โดย ตัวลดออกซิเจน (reducing agent) ที่ใช้ คือ กรดแอสดอบิก จะให้ประสิทธิภาพดีกว่าการ เติมไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน สำหรับปัจจัยด้านเวลานั้นในช่วงแรกๆ อัตราการจับพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงินจะสูง และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และจะให้ ก่าผลิตผลสูงสุด เมื่อใช้เวลาในการแยกนาน 2.0 ชั่วโมง และถ้าใช้ระยะเวลามากกว่านี้จะทำให้เกิด หางพีกมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการแยกของพีกทั้งสองไม่ดี

<u>การศึกษาวิธีการย่อยสลายตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟกับวิธีเตาความร้อน</u>

มุกดา (2533) กล่าวว่าสารประกอบอนินทรีย์ส่วนใหญ่ละลายได้ในกรดแก่ (กรดอนินทรีย์) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับสารอนินทรีย์ทั่วไป กรคไฮโครคลอริกใช้เป็นตัวทำ ละลายสามัญที่ดีมากตัวหนึ่ง สามารถละลายโลหะที่อยู่เหนือไฮโครเจนในตารางอิเล็กโทรโมทีฟ (มกคา, 2533) ส่วนกรคในตริก เป็นกรคที่เป็นตัวออกซิไคส์ที่แรงมาก และสามารถละลายโลหะ ้ทั่วๆไปได้ กรดเปอร์คลอริก ถ้าเรานำมาให้ความร้อน และไล่น้ำออกไป จะกลายเป็นตัวออกซิไดส์ ที่แรงมากที่สุดตัวหนึ่งทีเดียว สามารถละลายโลหะทั่วๆ ไปได้แทบทุกตัว และสามารถทำลาย สารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ปริมาณน้อยๆ ได้ดังนั้นจึงต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมากในการใช้ กรคนี้ เพราะกรคนี้จะทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงแล้วเกิคระเบิคได้กับสารที่สามารถจะถูกออกซิไคส์ ใด้ง่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งชอบทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารอินทรีย์ ส่วนสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่ ้ละลายในกรด จะต้องนำมาหลอมตัวเข้ากับฟลักซ์ที่เป็นเบส เมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว จึง ้สามารถละลายเป็นสารละลายได้ โดยการผสมสารตัวอย่างกับฟลักซ์ในอัตราส่วนโดยประมาณ ระหว่างสารตัวอย่างกับฟลักซ์เป็น 1 ต่อ 10 หรือ 1 ต่อ 20 นำของผสมนั้นมาเผาในกรูซิเบิล จนกระทั่งของผสมหลอมเหลวจนหมด ในขณะที่กระบวนการหลอมเหลวกำลัง (Crucible) สารที่ไม่ละลายจะทำปฏิกิริยากับฟลักซ์แล้วเกิดเป็นผลิตผลที่ละลายได้ง่าย ดำเนินการอยู่นั้น ้หลังจากนั้นทิ้งให้สารนั้นเย็นแล้วจึงนำมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำ หรือ ละลายใน สารถะถายกรดเจือจาง ฟลักซ์ที่เป็นเบสซึ่งนิยมใช้กันมากตัวหนึ่ง คือ เกลือโซเดียมการ์บอเนต หลังจากที่เกลือโซเดียมการ์บอเนตหลอมละลายกับสารตัวอย่าง ผลิตผลที่ได้ คือ เกลือการ์บอเนตที่ ละลายได้ในสารละลายกรด

สำหรับการย่อยสารประกอบอินทรีย์ เช่น เนื้อเยื่อของสัตว์หรือพืช ของเหลวที่เป็น สารชีวภาพ และสารประกอบอินทรีย์ สารเหล่านี้มักจะนำมาทำลายโครงสร้างโดยการย่อยสลาย เปียก หรือ เผาทำลายให้สารนั้นเป็นขี้เถ้าแห้ง แม้ว่าทั้งสองวิธี จะเป็นวิธที่นิยมใช้กันอย่างมาก ใน การวิเคราะห์ สารอินทรีย์ และสารชีวภาพก็ตาม มักพบเสมอว่าวิธีทำให้สารเป็นขี้เถ้าทำได้ง่ายกว่า เพราะเป็นวิธีที่ไม่มีการเติมสารเคมีใดๆ ลงไปในกระบวนการนี้เลยจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างมาก

วิธีการย่อยสลายเปียก เป็นวิธีการย่อยสารตัวอย่างด้วยสารละลายกรดเข้มข้น ซึ่งอาจเป็น สารละลายผสมของกรดเข้มข้นสองหรือสามชนิด

1) สารละลายผสมของกรคในตริก (HNO₃) กับ กรคซัลฟิวริก(H₂SO₄) เป็นสารออกซิใคส์ ที่นิยมใช้มากที่สุด ปกติจะใช้อัตราส่วนผสม โดยปริมาตรระหว่างกรคในตริก ต่อ กรคซัลฟิวริก 20 ต่อ 5 หรือ 30 ต่อ 5 โดยกรคในตริกเข้มข้นที่มีมากในสารละลายจะไปทำลายโครงสร้างของ สารประกอบอินทรีย์ แต่ยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ที่จะไปทำลายส่วนประกอบย่อยๆ ได้หมด กรดในตริกจะถูกไล่ออกไปในระหว่างที่ทำการย่อยสลายจนในที่สุดจะเหลือแต่กรคซัลฟิวริก เพียง ตัวเดียวที่มีความเข้มข้นมากขึ้นเรื่อยๆ ทุกทีจนเกิดควันสีขาวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ขึ้น ในขณะ ที่ทำการย่อยสลายอุณหภูมิของสารละลายจะสูงมากจนทำให้กรคซัลฟิวริกสามารถทำปฏิกิริยากับ สารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ไปได้ ถ้าในสารละลายมีสารอินทรีย์หลงเหลืออยู่ควรเติมกรคในตริกเพิ่มลง ไปอีกแล้วทำการย่อยสลายจนกระทั่งสารละลายใส

2) สารละลายผสมของกรดในตริก กรดเปอร์กลอริก (HCIO₄) และกรดซัลฟีวริก ใน อัตราส่วนผสมปริมาตรต่อปริมาตรของกรดในตริก ต่อ กรดเปอร์กลอริก ต่อ กรดซัลฟีวริก เป็น 3 ต่อ 1 ต่อ 1 นั้น สารละลายกรดเข้มข้นผสมดังกล่าวมานี้เป็นสารละลายผสมสูตรที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้สำหรับทำการย่อยสลายได้ดีมากอีกสูตรหนึ่ง พบว่าถ้าใช้สารละลายผสมนี้เพียง 10 มิลลิลิตร จะ มากเพียงพอสำหรับการย่อยสลายเนื้อสด หรือ เลือดหนัก 10 กรัม กรดเปอร์กลอริก เป็นกรดที่มี คุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่รุนแรงมาก เมื่อกรดเปอร์กลอริกถูกทำให้เข้มข้นเข้า และถูกทำให้ ร้อน กรดเปอร์กลอริกจะไปทำลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ปริมาณน้อยๆ ได้ดีมาก ขณะเดียวกัน กรดใน ตริก จะถูกต้มออกไปจากสารละลายก่อนจนกระทั่งหมด เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่ากรด เปอร์กลอริก ในระยะต่อมากรดซัลฟีวริก จะถูกด้มจนอยู่ในสภาพที่เป็นควันของซัลเฟอร์ไตร ออกไซด์ ดังนั้นกรดเปอร์กลอริก จึงฟุ้งกระจายเต็มภาชนะ ด้มต่อไปเรื่อยพอที่จะไปทำลาย สารอินทรีย์ที่มีปริมาฉอยู่มากในสารละลาย ให้ถูกทำลายไปจนเกือบหมด และยังมีกรดซัลฟีวริก ที่ กอยป้องกันไม่ให้สารด้วอย่างแห้ง สารละลายผสมของกรดในตริก กับ กรดเปอร์คลอริก เป็นสารละลายผสมที่นิยมใช้กัน บ้างพอสมควร ในขณะทำการย่อยสลายสารละลวยกรดในตริก จะระเหยออกมา การย่อยสลายด้วย สารผสมสูตรนี้จะไม่ก่อยแนะนำ นอกเสียจากว่าผู้ทำการทดลอง จะมีความชำนาญในการทำการ ย่อยสลายตัวอย่างมากพอสมควร

Huh et al, (1996) ทำการย่อยตัวอย่างคินตะกอนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ในกรคผสมของ กรค ้ไฮโครฟลูออริก กรคไฮโครคลอริก และกรคบอริก ด้วยสัคส่วนต่อปริมาตร 4 ต่อ 4 ต่อ1 เพื่อละลาย สารอนินทรีย์ หลังจากนั้นก็ทำให้แห้งด้วยความร้อน เมื่อแห้งแล้วละลายด้วยกรคผสมระหว่างกรค ในตริกและกรดเปอร์คลอริกด้วยสัดส่วนปริมาตร 3 ต่อ 1 เพื่อสลายพวกสารอินทรีย์ การย่อย ้ตัวอย่างด้วยเทคนิคใช้กลื่นไมโครเวฟ เป็นวิธีที่เร็ว และมีประสิทธิภาพในการย่อยตัวอย่าง ซึ่งวิธีนี้ ้ส่วนใหญ่ใช้กรดผสม เช่น ในตริกต่อไฮโดรคลอริก ในตริกต่อซัลฟิวริก ในตริกต่อเปอร์คลอริก และบางครั้งใช้กรคไฮโครฟลูออริก โคยได้ตั้งโปรแกรมการย่อยของเครื่องไมโครเวฟ ออกเป็น 2 ์ โปรแกรม แล้วเปรียบเทียบค่า ผลิตผลของธาตุต่างๆ ระหว่างของแต่ละโปรแกรม โปรแกรมที่ 1 ้อณหภูมิ และความคัน เพิ่มจนถึง 260 องศาเซลเซียส และ 30 บาร์ ตามลำคับ และกำลังได้เพิ่มจาก 400 ถึง 1000 วัตต์ 6 นาที คงไว้ที่ 1000 วัตต์ ประมาณ 15 นาที โปรแกรม 2 อุณหภูมิ และความคัน เพิ่มจนถึง 230 องศาเซลเซียส และ 20 บาร์ ตามลำดับ ส่วนให้คงที่ที่ 250 วัตต์ นาน 2 นาที ์ ต่อจากนั้นจะเพิ่มเป็น 400 วัตต์ ประมาณ 2 นาที และเพิ่มรักษาไว้ที่ 650 วัตต์ ประมาณ 30 นาที พบว่าค่า ผลิตผลของธาตุต่างๆ ที่ได้มาจากโปรแกรม 1 และโปรแกรม 2 คือ จะเหมือนๆ กัน และให้ ้ ค่าเป็นที่น่าพอใจในการวิเคราะห์ Kokot (1992) ได้ศึกษาวิธีการย่อยสลายตัวอย่างด้วยวิธีไมโครเวฟ โดยใช้ส่วนผสมจากกรคชนิดต่างๆ และสารเติมแต่ง เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุด Moser (1993) ได้ ย่อยคินตะกอนโดยใช้ สารละลายผสมของไฮโดรคฟลูออริก (HF) ปริมาตร1 มิลลิลิตร กรคไนตริก (HNO₃) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร กรดเปอร์คลอริก (HClO₄) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในท่อสแตนเลส แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมงหรือใช้เทคนิคไมโครเวฟ Carpenter (1993) ใค้ใช้พอโลเนียม-209 เป็นสารติคตาม แล้วนำมาเติมกรคเปอร์คลอริก จำนวน 10 มิลลิลิตร ต่อ น้ำหนัก 1 กรัม ต้มงนแห้ง เติมกรคสารละลายกรคไฮโครคลอริก จำนวน 10 มิลลิลิตรต่อ ้น้ำหนักตะกอน 1 กรัม ต้มงนแห้งแล้วละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 นอร์แมล Huh et al. (1996) ใช้สารผสมของกรดไฮโครฟลูออริก กรคไฮโครคลอริก และกรคบอริก ด้วย ้อัตราส่วน 4 ต่อ 4 ต่อ 1 โดยปริมาตร เพื่อย่อยสลายสารอนินทรีย์ในตัวอย่าง ต่อจากนั้นนำ ้สารละลายไปต้มจนแห้งแล้วนำส่วนที่เหลือมาย่อยต่อด้วยสารผสมของกรดในตริก และกรดเปอร์ ้คลอริก ด้วยอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน ในน้ำหรือสิ่งมีชีวิต จะหาก่าได้ ต้อง ละลายโลหะหนักนั้นออกมาก่อน การละลายโลหะหนักนั้นมีทั้งละลายนั้นออกมาก่อน การละลาย โลหะหนักนั้นมีทั้งการละลายออกจากเนื้อ จากการดูดซับ และจากเกิดการตกตะกอนซึ่งจะเกิดขึ้น ในดิน และตะกอน การดูดซับโลหะหนักนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ เช่น รัศมี ระดับของการเกิดไฮเดร ชัน และการตกตะกอนร่วมกับออกซิเจน (Alloway and Ayres., 1993) การใช้กลื่นไมโครเวฟในการ ย่อยสลายตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เพื่อวิเคราะห์ธาตุนั้น นั้นเป็นวิธีที่เร็วและและมีประสิทธิภาพใน การย่อยสลายตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เพื่อวิเคราะห์ธาตุนั้น นั้นเป็นวิธีที่เร็วและและมีประสิทธิภาพใน การย่อยสลายตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อย (Robache *et al.*, 2000) การย่อยด้วยกลื่น ใมโครเวฟด้วยปริมาตรน้อย ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย และยังลดการ ระเหยของธาตุที่จะวิเคราะห์ (Jin *et al.*, 1999) สัดส่วนกรดที่ใช้ในการย่อยสลายด้วยกลื่น ใมโครเวฟ มีดังต่อไปนี้ กรดผสมในตริกกับไฮโดรกลอริก (HNO₃-HCI) กรดผสมในตริกกับ ซัลฟิวริก (HNO₃-H₂SO₄) กรดผสมในตริกกับเปอร์คลอริก (HNO₃-HCIO₄) และบางครั้งใช้กรด ใฮโดรฟลูออริก (HF) (Nieuwenhuize *et al.*, 1991)

Sandroni et al., (2003) ได้วิเคราะห์ธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม(Mg) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) โครเมี่ยม (Cr) แคดเมี่ยม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และ วา นาเดียม (V)ใน standard reference material (SRM). Sewage sludge (LGC6136), marine sediment (PACS-1), urban particulate matter (NIST 1648) และ coal carbonization site soil (LGC6138) โดย ้ย่อยสถายสารตัวอย่างด้วย กรดผสมในตริก กับ กรดไฮโดรฟลูออริก และน้ำกลั่น และตั้งโปรแกรม ของเครื่องไมโครเวฟแตกต่างกัน โปรแกรมที่ 1 ตั้งกำลัง (power) การย่อยสูงสุด 1000 วัตต์ ใช้เวลา 36 นาที ส่วนโปรแกรมที่ 2 ตั้งกำลังการย่อยสูงสุด 650 วัตต์ และใช้เวลา 51 นาที ผลการทดลอง พบว่า โปรแกรม 2 ให้ค่าความถูกต้องและความแม่นยำดีกว่าโปรแกรมที่ 1 เมื่อพิจารณาจากผลิตผล ของธาตุดังกล่าวข้างต้น ในการย่อยสารมาตรฐาน SMR และ LGC6136 จะให้ค่าที่เหมือนกันและน่า พอใจทั้ง 2 โปรแกรม จากการศึกษาเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นระหว่างการย่อยสลายสารมาตรฐาน sewage sludge reference material (SMR144) ด้วยกรดผสมกรดในตริก (HNO₃) และไฮโดรเจน เปอร์ออกไซค์ (H₂O₂) กับ กรคในตริก (HNO₃) อย่างเดียว ผลปรากฏว่าให้ค่าผลิตผล ของ ทองแคง (Cu) เหล็ก (Fe) ตะกั่ว (Pb) และ สังกะสี (Zn) เข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในการย่อยด้วยสารทั้งสอง ชนิดแสดงว่า การเติมไฮโครเจนเปอร์ออกไซค์ (H₂O₂) ไม่มีผลต่อผลิตผลของ ทองแคง (Cu) เหล็ก (Fe) ตะกั่ว (Pb) และ สังกะสี (Zn) (Veschetti *et al.*, 2000) เมื่อเปรียบเทียบผลิตผลของธาตุต่างๆ ใน ิสารมาตรฐาน LGC 6136 กับ PACS-1 แล้วพบว่า PACS-1 ให้ค่าไม่เป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้อาจ เนื่องมาจากความซับซ้อนของเมตริก ต่อการทำลายพันธะให้แตกออกจากกันได้ (Sandroni et al.,

2003) ยิ่งถ้าเป็นตะกอนพวก ออกไซด์ ซิลิกา และสารตั้งด้นอินทรีย์ แล้วก็จะทำให้ผลิตผล ของ แกลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และ เหล็ก (Fe) ต่ำ เนื่องจากสารประกอบของธาตุเหล่านี้ไม่ถูก ทำลายในระหว่างกระบวนการย่อย (Bettineli *et al.*, 2000) สำหรับการย่อยตะกอนมาตรฐาน (PACS-1) ของทั้งสองโปรแกรมจะให้ก่าผลิตผลของ แกลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และ เหล็ก (Fe) ต่ำ เนื่องจากสารประกอบของธาตุเหล่านี้ไม่แตกออกมา ระหว่างการย่อย Zhou *et al.*, (1995) ได้เติม กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยด้วยไมโครเวฟ ของธาตุ แกลเซียม (Ca) และ แมกนีเซียม (Mg) เพราะว่ากรดนี้จะทำลายพันธะของ ซิลิเกต แร่ธาตุ และ ออกไซด์ (MgO, CaO, และFe₂O₃) มากกว่ากรดไนตริก (HNO₃) เพียงอย่างเดียว แต่กรดไฮโดร ฟลูออริก (HF) เป็นสารประกอบที่เป็นพิษ และสามารถกัดแก้วได้ ดังนั้นจึงควรเติมเพียงเล็กน้อย Robache *et al.* (1855) กล่าวว่าถ้าตั้งกำลังสูงเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียตัวอย่างได้

Chen and Lena (2001) ได้เปรียบเทียบวิธีการย่อยที่แตกต่างกัน ในการหาค่าความถูกต้อง ของธาตุในสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด คือ SRM 2704 2709 2711และตัวอย่างดินจากฟลอริดา จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยได้วิเคราะห์ธาตุ จำนวน 16 ธาตุ คือ อะลูมิเนียม (Al) แบเรียม (Ba) แกลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) โปแตสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) สังกะสี (Zn) อาเซ นิก (As) แกดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และ เซเลเนียม (Se) ซึ่ง วิธีการย่อยที่ใช้ในการเปรียบเทียบกัน มีอยู่ 3 วิธี ดังนี้ hot plate aqua regia microwave aqua regia และ microwave aqua regia + HF digestion (aqua regia หมายถึง อัตราส่วนโดยปริมาตรหว่างกรด ไฮโดรคลอริกกับกรดในตริก 3 ต่อ 1) ด้วยพบว่าวิธี microwave aqua regia + HF digestion ให้ก่า ความแม่นยำของทุกธาตุดีกว่าเล็กน้อย และถ้าเปรียบเทียบผลิตผลของธาตุต่างที่ได้ พบว่า microwave aqua regia + HF digestion ให้ค่าที่ดีกว่า อีกสองวิธี ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะสมกับการ วิเคราะห์โลหะในสารมาตรฐาน และ ดินจากฟลอริดา นอกจากนั้นเทคนิกการย่อยด้วยไมโครเวฟ จะให้กวามรวดเร็ว ปลอดภัย และไม่ไวต่อการสูญเสียของธาตุที่ระเหยง่าย (Krause *et al.*, 1995)

Nadkarni (1984) ได้รายงานว่ากรดผสมของ aqua regia กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) และ กรดบอริก (H₃BO₃) จะให้ค่าความแม่นยำ และค่าความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจในการละลายพวก เมตริกที่มีซิลิกาเป็นองก์ประกอบ สมการที่เกิดขึ้นระหว่างการย่อยแสดงดังต่อไปนี้

 $6HF + SiO_2 \longrightarrow H_2SiF_6 + 2H_2O (Wu et al., 1996)$ $H_3BO_3 + 3HF \longrightarrow HBF_3OH + 2H_2O$

$HBF_{3}OH + HF \longrightarrow HBF_{4} + H_{2}O$ (Ryss, 1956)

จะเห็นได้ว่าการเติมกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น ลงไปในขั้นตอนที่ 2 จะทำให้เกิด สารประกอบเชิงซ้อนของฟลูออไรด์ไอออน ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของตะกอนได้ง่าย (Wu *et al.*, 1996)

Kackstaetter and Heinrichs (1997) ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า aqua regia digestion จะให้ ผลิตผล ของโลหะพื้นฐานส่วนมากน่าพอใจ แต่บางธาตุ คือ อะลูมิเนียม (Al) และโปแตสเซียม (K) ให้ค่า ร้อยละผลิตผลที่ต่ำในตะกอนแม่น้ำ และNIST SRM1645 ซึ่งย่อยสลายโดยวิธี hot plate aqua regia โลหะทั้งสองนี้ อาจเป็นองค์ประกอบในแร่ซิลิเกต แต่ผลิตผลของธาตุตะกั่วกลับเพิ่มขึ้น ถ้า เปลี่ยนวิธีการย่อยจาก hot plate ไปเป็น aqua regia microwave แต่ผลิตผลของธาตุตะกั่วกลับลดลง เมื่อเปลี่ยนวิธีจาก aqua regia microwave ไปเป็น aqua regia microwave + HF ทั้งนี้การเติม HF ภายใต้อุณหภูมิ และความคันสูง อาจจะทำให้จำนวนของ SiO₂ อยู่ในรูปของ SiO₄⁴⁻ และทำปฏิกิริยา กับ Pb²⁺ และอยู่ในรูป Pb₂SiO₄

เนื่องจากมีความซับซ้อนและความหลากหลายของตัวอย่างสิ่งแวคล้อม ดังนั้น ้ประสิทธิภาพของการย่อยสลายจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของตัวอย่าง และกรคที่ใช้สำหรับการย่อย สลาย (Sandroni et al., 2003) และจะพบว่าธาตุบางอย่างจะมีปัญหาในเรื่องผลิตผล ตัวอย่าง เช่น เหล็ก (Fe), โครเมียม (Cr), ไทเทเนียม (Ti), แมกนีเซียม (Mg), และ อะลูมิเนียม (Al) พบเสมอในรูป ของ refractory chromite (FeCr₂O₄), corundum (Al₂O₃), rutile (TiO₂) และ Ti-Mg mineral การแปร ้ผันส่วนผสมของกรคจึงต้องถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการย่อยสลายตัวอย่างสิ่งแวคล้อม Nadkarni (1984) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการย่อยตัวอย่างด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ microwave-assisted acid digestion method และ conventional wet-chemical digestion method 2 วิธี คือ hot plate digestion และ pressure bomb digestion เพื่อหาค่าโลหะหนัก จำนวน 9 ธาตุ คือ เงิน (Ag), แกดเมียม (Cd), โครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), นิกเกิล (Ni), ตะกั่ว (Pb) และ สังกะสี (Zn) ในดินตะกอน, ดิน, sludge และน้ำมัน โดยวิเคราะห์ด้วย inducetively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) ผลกระทบของกรคไฮโครฟลูออริก ในกรคผสมที่มีไฮโคร ้ฟลูออริก กับไม่มีกรดไฮโดรฟลูออริกกับตัวอย่างที่มีซิลิกา ใน aqua regia (ไฮโดรคลอริก ต่อ ใน ตริก 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร), กรดเปอร์คลอริกผสมกับในตริก (HClO₄+HNO₃) และกรดในตริก พบว่า ให้ค่าร้อยละผลิตผล ของธาตุดังกล่าวข้างต้น ให้ค่าค่อนข้างต่ำ (10 ถึง (HNO,) 20 เปอร์เซ็นต์) ถ้าเติมไฮโครฟลูออริก (HF) ลงไปจะทำให้ได้ร้อยละผลิตผล ของธาตุดังกล่าว อยู่ ในช่วง 90 ถึง 115 ดังนั้น กรดไฮโครฟลูออริก (HF) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับตัวอย่างที่ เมตริกมีแร่ซิลิกาเป็นองก์ประกอบ (Sun *et al.*, 2001) สำหรับผลของกรดไฮโครคลอริก ต่อ ผลิตผล ของเงิน (Ag) ในตัวอย่างที่มี 4 ตัวอย่าง ที่มีเมตริกต่างกัน กรณีตัวอย่างที่มีเมตริกเป็นซิลิกาใน ตัวอย่าง ดิน และตะกอน พบว่าถ้าเพิ่มปริมาณกรดไฮโครคลอริก (HCl) จะทำให้ได้ ร้อยละผลิตผล ของเงิน (Ag) เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบของเงิน (Ag) อยู่ในรูปสารประกอบเซิง ช้อนกับคลอไรด์ ไอออน เช่น AgCl₂, AgCl₃² และ AgCl₄³

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามวิธี พบว่าธาตุส่วนใหญ่ที่ย่อยด้วยวิธี microwave-assisted acid digestion method จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าอีก 2 วิธี แต่ก็มีบางธาตุที่ให้ก่าผลิตผลที่ไม่แตกต่างกัน เช่น ตะกั่ว (Pb) และ โกรเมียม (Cr) เป็นต้น (Sandroni *et al.*, 2003)

4. <u>การคำนวณอัตราการตกตะกอนด้วยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์</u>

สมการที่ใช้ในการกำหนดค่าอายุ คือ (Faure, 1986)

$$^{210}Pb_{A} = ^{210}Pb_{A}^{\circ}e^{-\lambda t}$$

โดยกำหนดให้

²¹⁰Pb_A คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ต่อหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างที่กวามลึก h

 $^{^{210}}\mathrm{Pb}_{A}^{\circ}$ คือ ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่ผิว (h = 0)

 λ คือ ค่าคงที่การสถายตัว (decay constant) ของตะกั่ว-210 มีค่าเท่ากับ 3.11 x 10^2 ต่อปี

และ t คือ ค่าอายุของตัวอย่างตะกอนดิน (ปี)

จากสมการที่ (1)

$$\ln^{210}Pb_{A} = \ln(^{210}Pb_{A}^{\circ} \cdot e^{-\lambda t})$$
$$\ln^{210}Pb_{A} = \ln^{210}Pb_{A} + \ln e^{-\lambda t}$$
$$\ln^{210}Pb_{A} = \ln^{210}Pb_{A}^{\circ} - \lambda t$$
$$\ln^{210}Pb_{A} - \ln^{210}Pb_{A}^{\circ} = -\lambda t$$

เมื่อให้อัตราการตกตะกอนมีค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า $\mathbf{a} = \mathbf{h}/\mathbf{t}$ หรือ $\mathbf{t} = \mathbf{h}/\mathbf{a}$

โดยที่ a คือ อัตราการตกตะกอน มีหน่วยเป็น เซนติเมตรต่อปี

h คือ ความลึกมีหน่วยเป็น เซนติเมตร

t คือ เวลามีหน่วยเป็น ปี

แทนค่า t ในสมการที่ (4) จะได้ว่า

$$\ln^{210}Pb_{A} = \ln^{210}Pb_{A}^{\circ} - \lambda \frac{h}{a}$$
$$\ln^{210}Pb_{A} = \ln^{210}Pb_{A}^{\circ} - \frac{\lambda}{a}h$$
$$\ln\frac{210}{210}Pb_{A}^{\circ} = -\frac{\lambda}{a}h$$

สมการที่ (5) เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ถ้าหาความสัมพันธ์ระหว่าง lh²¹⁰Pb_A กับ h ก็จะได้กราฟที่มี ลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีความชัน (Slope) ดังสมการที่ (6)

$$m = -\frac{\lambda}{a}$$
$$a = -\frac{\lambda}{m}$$

เพราะฉะนั้น จะได้อัตราการตกตะกอน มีหน่วยเป็น เซนติเมตร ต่อ ปี หรือ มิลลิเมตร ต่อ ปี หรือ ถ้าต้องบการเปลี่ยนหน่วยให้อยู่ในรูปของ มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี ก็สามารถทำได้ โดย การนำความหนาแน่นเข้าไปคูณกับอัตราการตกตะกอน ก็จะได้หน่วยอัตราการตกตะกอน อยู่ ในรูป มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี ดังแสดงในสมการ

$$A = a x d$$

A คือ อัตราการตกตะกอน มีหน่วย มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี

a คือ อัตราการตกตะกอน มีหน่วย เซนติเมตรต่อปี

d คือ ความหนาแน่น มีหน่วย มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เพราะฉะนั้น จะได้ A มีหน่วย มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี

เมื่อได้ความชันแล้วก็สามารถนำไปแทนค่าในสมการที่ (7) โดยที่ค่า λ นั้นทราบอยู่แล้ว ดังนั้นก็จะสามารถหาค่าอัตราการตกตะกอนได้ และถ้าลากเส้นกราฟมาตัดแกน y (h=0) ก็จะทำให้ ได้ค่ากัมมันตภาพรังสีเริ่มต้นของตะกั่ว-210 (²¹⁰Pb_A°)

การคำนวณหาอัตราการตกตะกอนของคินตะกอนโดยวิธีตะกั่ว-210 นี้จะมีความแม่นยำแก่ ใหนขึ้นอยู่กับ สมมุติฐานเหล่านี้ เป็นจริงมากน้อยเพียงใค (ขนิษฐา และคณะ, 2537)

 ความคงที่ของปริมาณกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่เกินพอ (excess หรือ unsupported ²¹⁰Pb) ที่เติมลงสู่ระบบ นั่นคือ อัตราการทับถมของคินตะกอนและความเข้มข้นของ ตะกั่ว-210 ที่เกินพอ (excess ²¹⁰Pb) กัมมันตรังสีในเนื้อคินตั้งต้นจะต้องมีก่ากงที่ เมื่อตะกอนเริ่มตกทับถมกัน จะต้องไม่มีการเกลื่อนใหลของตะกอนยกเว้นแต่ด้วย กระบวนการทางฟิสิกส์ และชีววิทยาเท่านั้น และกระบวนการผสมผสานนี้จะต้องเกิดขึ้นในบริเวณ SML เท่านั้น

3. การแบ่งชั้นของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะต้องลึกพอ

4. ทราบค่าคงที่การสลายตัว (decay constant) ของตะกั่ว-210 ที่แน่นอน

5. การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงนิวเคลียร์ในการหาอัตราการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

ได้มีการนำเทคนิกเชิงนิวเกลียร์มาใช้ในการศึกษาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบ Albano และ ทะเลสาบ Nemi ด้วยตะกั่ว-210 (Alvisi and Frignani, 1996) ซึ่งสามารถหาอัตราการตกตะกอน ได้ในช่วงประมาณ 100 ปี ล่าสุด ถ้าต้องการศึกษาอายุของชั้นตะกอนมากกว่านั้นต้องใช้นิวไกลด์ กัมมันตรังสีตัวอื่นๆ เช่น การ์บอน-14 เป็นต้น สำหรับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินตะกอนใน ทะเลสาบ Albano มีจำนวน 6 ตำแหน่ง และทะเลสาบ Nemi อีกจำนวน 2 ตำแหน่ง โดยกำหนดจุด เก็บที่ระดับความลึกของน้ำแตกต่างกัน โดยตัวอย่างดินตะกอนในแต่ละชั้นความลึกนั้น จะให้ก่า ความหนาแน่นไม่เท่ากันยิ่งตัวอย่างที่ความลึกจากผิวมากขึ้นความหนาแน่นก็จะมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างก่ากัมมันตภาพรังสีกับความลึก กราฟที่ได้จะมีก่าลดลงแบบเส้นโก้ง เลขชี้กำลัง แต่มีบางแกน (Core) ที่ไม่ให้กราฟดังที่กล่าวมา ซึ่งแสดงถึงการขึ้นๆ ลงๆ ของก่า กัมมันตภาพรังสี อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในอัตราการตกตะกอน สำหรับอัตราการ ตกตะกอนที่ได้ในแต่ละจุดให้ก่าไม่เท่ากัน ดังนั้นการรายงานส่วนมากจึงบอกในลักษณะเป็นช่วง

โดยในบางจุดที่เก็บตัวอย่างดินตะกอนนั้นก่ากัมมันตภาพรังสีชั้นที่ลึกลงไปให้ก่าสูงกว่าชั้นที่ผิว โดยเป็นผลมาจากเกิดการผสมกันขึ้น อาจจะเนื่องมาจากการรบกวนทางกายภาพหรือทางชีววิทยา อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยในทะเลสาบแต่ละแห่งได้มีการเก็บตัวอย่างหลายจุดด้วยกันเพื่อกำหนดก่าที่ ได้ให้ออกมาเป็นช่วงเนื่องจากในแต่ละจุดนั้นให้ก่าอัตราการตกตะกอนมีก่าไม่เท่ากัน โมเดลการ เกลื่อนที่ของนิวไกลด์กัมมันตภาพรังสีเข้าไปในทะเลสาบได้แนะนำว่าเกือบจะเป็นตะกั่ว-210 ที่ตก ลงมาทั้งหมด และก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่สูงบางจุด อาจจะเนื่องมาจากเป็นจุดศูนย์รวม ตะกอน หรือ กวามสัมพันธ์กับอัตราการตกตะกอนดินสูง หรือมีประสิทธิภาพในการลำเลียงตะกอน จากพื้นที่ลุ่มน้ำสูง การที่ตะกอนดินมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก กวามหนาแน่นต่ำทำให้ก่าการสะสม ของตะกั่ว-210 สูงขึ้น Panayotou (2002) ได้ใช้ตะกั่ว-210 ในการศึกษาอัตราการตกตะกอนของดินที่ปากแม่น้ำ Minnamurra ได้เก็บด้วอย่างตะกอนดินจำนวน 4 แกน จากพื้นที่ที่ต่ำลงไปจากปากแม่น้ำ โดยจะให้ ลำดับอายุของชั้นตะกอนเพื่อใช้ในการตรวจสอบ และบอกจำนวนของอัตราการตกตะกอนทั้งใน อดีตและปัจจุบัน ซึ่งสามารถนำไปใช้บอกการเปลี่ยนแปลงของปากแม่น้ำ โดยที่จะให้ข้อมูล พื้นฐานในการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อม ในปีเดียวกันนี้เอง Xiang et al. (2002) ทำการศึกษาอัตรา การตกตะกอนของทะเลสาบในลุ่มน้ำ Yangtze โดยที่ประเทศจีนเกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรงทำให้เกิด ความเสียหายอย่างมากมาย ทำให้ทะเลสาบต่างๆ ที่อยู่ภายในลุ่มน้ำ Yangtze นั้นสามารถเกีบน้ำได้ น้อยลง เนื่องมาจากทะเลสาบเหล่านั้นตื้นเงิน โดยที่พื้นที่เหล่านี้ได้มีการตัดไม้ทำลายป่ากันอย่าง รุนแรงทำให้เกิดการพังทลายของเดินและเกิดตะกอนอย่างมากมายทำให้ตะกอนเหล่านี้ตกตะกอน ลงไปในทะเลสาบอย่างมากมาย โดยเมื่อทำการศึกษาหาอัตราการตกตะกอน โดยใช้ ซีเซียม-137 และตะกั่ว-210 พบว่าอัตราการตกตะกอนสูงขึ้นกว่าในอดีต



<u>ภาพที่ 7</u> ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นความลึกของคินตะกอน กับ กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่มา: Faure (1986)

Subramanian et al., (1985) ได้ใช้เทคนิคเชิงนิวเคลียร์โดยการวัดกัมมันตภาพรังสีของ ตะกั่ว-210 ในการหาอัตราการตกตะกอนของแม่น้ำ Yamuna รอบๆ เมือง Delhi โดยได้เก็บตัวอย่าง แกนดินตะกอนคลอบคลุมแม่น้ำ Yamuna จนกระทั่งผ่านทะลุ เมือง Delhi นำแกนตะกอนในแต่ละ ตำแหน่งมาหาอัตราการตกตะกอน พบว่าอัตราการตกตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้เมืองมากขึ้น โดย ์ ให้อัตราการตกตะกอนอยู่ในช่วง 5.6 – 82 มิถลิเมตรต่อปี กิคเป็นก่าเฉลี่ยให้ก่าอัตราการตกตะกอน เฉลี่ย 42.15 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งถือได้ว่าให้ค่าอัตราการตกตะกอนที่สูงมากเมื่อเทียบกับที่อื่นๆ ใน โถก (Subramanian *et al.*, 1985) ซึ่งสามารถนำมาใช้บอกได้ว่าต้นกำเนิดที่ทำให้อัตราการ ตกตะกอนสูงบริเวณในเมือง นั้นมาจากการทิ้งน้ำเสียในครัวเรือนลงสู่แม่น้ำ และยังให้ค่าปริมาณ ้อินทรียวัตถสง Fernando (1995) ได้วิเคราะห์ตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ Tagus เนื่องจากในบริเวณดังกล่าว มีโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยฟอสเฟต จึงได้เก็บตัวอย่าง แร่ ฟอสเฟต ปุ๋ยฟอสเฟต น้ำที่ปล่อยทิ้งจากโรงงาน และดินตะกอนจากปากแม่น้ำมาวิเคราะห์ปริมาณ ตะกั่ว-210 และพอโลเนียม-210 พบว่ามีปริมาณตะกั่ว-210 และพอโลเนียม-210 สูงกว่าระดับ ุธรรมชาติ ซึ่งในระดับธรรมชาติ (มีค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ประมาณ 68±19 เบ็กเคอเรล ต่อกิโลกรัม) แต่ดินตะกอนบริเวณดังกล่าวให้ก่ากัมมันตภาพรังสีสุงถึงประมาณ 1580 เบ็กเคอเรล ต่อกิโลกรัม ซึ่งให้ค่าที่มากกว่าระดับธรรมชาติมาก จึงได้ว่าต้นกำเนิดรังสีในดินตะกอนบริเวณปาก แม่น้ำ Tagus ได้มาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยฟอสเฟต Srisuksawad et al. (1997) ได้นำ ตะกั่ว-210 มาใช้ในการหาอัตราการตกตะกอนในบริเวณอ่าวไทย พบว่าให้ค่าอัตราการตกตะกอน บริเวณอ่าวไทยตอนบน อย่ในช่วง 270 – 490 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี ส่วนบริเวณกลาง ้อ่าวให้ค่าอัตราการตกตะกอน อยู่ในช่วง 64 ถึง 190 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี แสดงว่า ตะกอนที่มาจากพื้นที่กรุงเทพมหานครยังเคลื่อนย้ายไม่ไปถึงบริเวณตอนใต้ขอลกลางอ่าวทำให้ได้ ้ก่าอัตราการตกตะกอนต่ำกว่าบริเวณอ่าวไทยตอนบน

อุปกรณ์และวิธีการ

<u>อุปกรณ์</u>

- 1. แผ่นเงิน (Silver Foil) หนา 0.1 มิลลิเมตร ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ยี่ห้อ Aldrich
- 2. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
- 3. เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตะกอน (Gravity core sampler) เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.45 ซม.
- 4. เป้า (Crucible)
- 5. โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 6. ถุงพลาสติกสำหรับใส่ตัวอย่างดินตะกอน
- 7. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 8. เครื่อง จีพีเอส (GPS)
- 9. นาฬิกาจับเวลา
- 10. สารเคลือบ (Enamel)
- 11. บิกเกอร์ขนาด 150 มล.
- 12. เครื่องแก้วต่างๆ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์พอโลเนียม

เครื่องแก้ว และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนัก ทำความสะอาคโดยการล้างด้วย น้ำยาทำความสะอาคเครื่องแก้ว และนำไปต้มด้วยกรคไนตริกเข้มข้น 8.0 นอร์แมล ล้างด้วย น้ำประปางนกระทั่งกรคหมค แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง อีกครั้ง แล้วทิ้งให้แห้ง

13. กรคในตริกเข้มข้น (conc. HNO₃)

14. กรคไฮโครคลอริกเข้มข้น (conc. HCl)

15. กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (conc HClO₄)

16. สารละลายกรคไฮโครคลอริกเข้มข้น 6 นอร์แมล (6N HCl)

17. สารละลายกรดไฮโครคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล (0.3N HCl)

18. กรคไฮโครฟลูออริกเข้มข้น (conc HF)

19. กรคไฮโครเจนเปอร์ออกไซค์เข้มข้น (conc H₂O₂)

20. สารละลายแอมโมเนียมไฮครอกไซค์เข้มข้น (conc NH₃OH)

21. สารละลายมาตรฐานพอโลเนียม-209 ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสี 19.753 dpm/g และ 26.389 dpm/g

22. ดินตะกอนที่ได้มาจากอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด ที่ลุ่มน้ำห้วย แล้ง-กลองพีด จ. ตราด

23. ดินตะกอนมาตรฐาน (Certified Reference Material, CRM)

IAEA-368 เป็นดินตะกอนที่ได้มาจากมหาสมุทรแปซิฟิก องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวก คาร์บอเนต มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เท่ากับ 23.2 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม (Bq/kg) ก่ากวามเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์. อยู่ในช่วง 19.8 – 27.2 เบ็กเกอเรลต่อกิโลกรัม (Bq/kg) (Ballestra *et al.,* 1991)

IAEA-315 ที่ใช้เป็นดินตะกอนมาตรฐาน Marine Sediment Reference Material ได้มาจาก Health Physics Division of the Bhabha Research Centre, Bombay, India ในปี 1991 ดินตะกอน ประกอบด้วย Clay Mineral และ Illite-Montmorillonite เป็นหลัก รองลงไปประกอบด้วย Quartz, Calcite, Dolomite และ feldspar มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เท่ากับ 30.1 เบ็กเคอเรล ต่อกิโลกรัม ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในช่วง 26.0 – 33.7 เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม (Bq/kg) (Ballestra *et al.*, 1996)

24. เครื่องแอลฟา สเปกโตรมิเตอร์ (alpha spectrometer) ยี่ห้อ Tennelec รุ่น TC257

25. เตาความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ Thermolyne รุ่น Nuova II Type 18400 ให้ค่าอุณหภูมิ อยู่ในช่วง 38 ถึง 371 องศาเซลเซียส

26. เครื่อง magnetic stirrer ยี่ห้อ Thermolyne รุ่น Nuova II Type 18400 ให้ค่าความเร็ว รอบการหมุนอยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 รอบต่อวินาที

27. เครื่องบคตัวอย่าง ยี่ห้อ Retch รุ่น S2

28. ตู้อบ ยี่ห้อ Heraeus

29. อุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงิน (holder)

30. เครื่องย่อยสลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Digester) ยี่ห้อ MILESTONE รุ่น MEGA 20

31. เตาเผา ยี่ห้อ Lenton Furnaces รุ่น Eurothern

32. ตู้แช่แข็ง ยี่ห้อ Sanyo

33. เครื่องชั่ง (Balance Analytical) ทศนิยม 4 ถึง 5 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler

34. เครื่องทำน้ำความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) ยี่ห้อ Barnstead

35. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ Corning รุ่น Ion Analyzer 255

36. ตู้ดูดควัน ยี่ห้อ Newlab fume cupboard

37. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Kokusan รุ่น H-108

<u>วิชีการ</u>

1. การพัฒนาอุปกรณ์การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน

การทดลองในครั้งนี้ได้ศึกษาพัฒนาอุปกรณ์การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า ได้ ด้นคว้าหาข้อมูลจากเอกสาร วารสาร และสอบถามจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ และลองผิดลองถูกจาก วัสดุต่างๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เช่น ฝาขวดพลาสติก แท่งพลาสติกบางชนิด เป็นต้น แต่ก็ไม่เหมาะสม จึงได้ลองนำเทปลอนมากลึง ปรากฏว่าสามารถกลึงได้ เนื่องจากเทปลอนเป็นพลาสติกที่มีเนื้อแข็ง จึงสามารถขึ้นรูปได้ตามที่ต้องการ เมื่อได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมแล้วจึงนำอุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงินไป ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยึดแผ่นเงิน เป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อทำให้แผ่นเงินสามารถ หมุนได้ และสามารถหมุนในระดับความเร็วที่ต้องการได้ เนื้อวัสดุทำมาจากแท่งเทปลอน

ตัดแผ่นเงินให้เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0 เซนติเมตร หลังจากนั้นขัดแผ่นเงินด้วย ผงขัดเงิน (Silver Cream) แล้วล้างแผ่นเงินด้วยน้ำธรรมดา ตามด้วยน้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง และ สุดท้ายล้างด้วยอะซิโตน แล้วรอจนกว่าแผ่นเงินจะแห้ง

2. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีใฟฟ้าบนแผ่นเงิน

2.1 การศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน

เติมกรคไฮโครคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาค 150 มิลลิลิตร แล้วหยดสารละลายมาตรฐานพอโลเนียม-209 ประมาณ 0.3 มิลลิลิตร หลังจากนั้นกี กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Bar) พร้อมกันนั้นก็แขวนแผ่นเงินลงไปในสารละลาย และปรับอุณหภูมิให้ได้ 28±2, 40±2, 60±2 และ80±2 องศาเซลเซียส พร้อมปรับช่วงเวลาในแต่ละ อุณหภูมิเป็น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ12.0 ชั่วโมง ทำอย่างละ 3 ซ้ำ เมื่อครบช่วงเวลาตามกำหนด แล้วนำแผ่นเงินมาล้างด้วยน้ำกลั่น ทิ้งแผ่นเงินไว้จนกระทั่งแห้ง แล้วนำไปวัดด้วย เครื่องแอลฟา สเปกโตรมิเตอร์ หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 (% Recovery Yield) ดังสมการข้างล่าง และเปรียบเทียบค่าที่ได้ของแต่ละอุณหภูมิ

ร้อยละผลิตผล(% Recovery Yield) =
$$rac{ hin ัมมันตภาพรังสีของสารมาตรฐานที่วัดได้}{hin ĩ มันตภาพรังสีของสารมาตรฐานที่แท้จริง} x100$$

2.2 การศึกษาปัจจัยของการหมุนแผ่นเงินที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน

เตรียมสารละลายเหมือนกับการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ หลังจากนั้นก็หมุนแผ่นเงินด้วย กวามเร็วรอบการหมุน 400, 500 และ600 รอบต่อนาที (Thermolyne, 1996) ของเครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) โดยใช้ระยะเวลาในการแยกนาน 6.0 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ เปรียบเทียบผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่ได้ของ แต่ละกวามเร็วรอบการหมุนการแผ่นเงิน

2.3 การศึกษาปัจจัยความเป็นกรดด่างของสารละลายที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 บน แผ่นเงิน

เตรียมสารละลายเหมือนกับการศึกษาปัจจัยการหมุนปรับความเป็นกรคค่างค้วยสารละลาย แอมโมเนียมไฮครอกไซค์เข้มข้น ให้ได้ความเป็นกรคค่าง 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 โคยใช้ ความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน 500 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาแยกพอโลเนียม-210 นาน 6.0 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส ในแต่ละค่าความเป็นกรดค่างทำการทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ แล้ว นำไปวัดด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาร้อยละผลิตผล (% Recovery Yield) ของพอโลเนียม-210 ที่ได้ในแต่ละค่าความเป็นกรดค่าง

2.4 การศึกษาปัจจัยของระยะเวลาที่มีต่อการแยกพอ โลเนียม-210 บนแผ่นเงิน

นำปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษาดังกล่าวข้างต้นมาหาระยะเวลาการแยกพอโลเนียม-210 ด้วยแผ่นเงิน โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 ด้วยแผ่นเงิน ออกเป็น 2.0, 4.0, 6.0 และ8.0 ชั่วโมง ตามลำดับ ในแต่ละระยะเวลาทำการทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ แล้วนำไปวัด ด้วยเกรื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ นำค่าที่ได้มากำนวณหาร้อยละผลิตผล (% Recovery Yield) ของ พอโลเนียม-210 ที่ได้

<u>การทดสอบค่าความถูกต้อง และค่าความแม่นยำของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า</u> <u>บนแผ่นเงิน</u>

ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ที่วัดได้ค่าที่ได้ ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากที่สุด การหาค่าความถูกต้อง ทำได้โดยการใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน เป็นสารติดตาม ในการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงินที่ได้ พัฒนาขึ้น แล้วนำค่ากัมมันตภาพรังสีที่วัดได้ มาคำนวณหาระดับความถูกต้องในรูปของความ ผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error) และความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative Accuracy) (อรดี, 2547) ดัง แสดงในสมการข้างล่าง

ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error, %RSD) =
$$\frac{ความผิดพลาด (Absolute Error)}{ค่าที่แท้จริง}$$
 x100

เมื่อ ความผิดพลาด (Absolute Error) = ค่าที่วัดได้ - ค่าที่แท้จริง

ความถูกต้องสัมพัทธิ์ (Relative Accuracy) = $\frac{\text{hind} \hat{1}$ เกราะห์ได้}{\text{hind} \hat{1} X100

เกณฑ์การขอมรับโดยทั่วไปของความคลาดเกลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error, %RSD) คือ ไม่ เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง 90 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์ หรือ 98 ถึง 102 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการวิเคราะห์ ทางเภสัชกรรม

การหาระดับความถูกต้องโดยการวิเคราะห์ดินมาตรฐาน (CRM) นอกจากพิจารณาจากค่า ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ และความถูกต้องสัมพัทธ์แล้ว อาจใช้การเปรียบเทียบค่าที่วิเคราะห์ได้ กับค่าที่แท้จริงของดินมาตรฐาน โดยใช้สถิติ t-test (กัลยา, 2548) หรือ โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

การทดสอบด้วย t-test ทำโดยการเปรียบเทียบค่า t จากการคำนวณ กับ ค่า t จากตาราง (Critical t-Value; t_c)

t จากการคำนวณ =
$$\frac{\overline{x} - \mu}{SD/\sqrt{n}}$$

 \overline{x} = ค่าเฉลี่ยของดินมาตรฐาน ที่วิเคราะห์ได้
 μ = ค่าที่แท้จริงของดินมาตรฐาน
 SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
 n = จำนวนครั้งที่ทำซ้ำ

t ดูได้จากตารางค่า t (ภาพผนวกที่ ง1) ซึ่งค่า t ขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่น และค่า degree of freedom (df = n-1) ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณมากกว่า t แสดงว่าค่าที่แท้จริงของดินมาตรฐาน กับค่าที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่า t แสดงว่าค่าที่แท้จริงของดินมาตรฐาน กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่า t กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่า t กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า เป็นที่ เกิดร่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า t ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่า t กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า เป็นที่ เกิดร่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับค่าที่วิเคราะห์ได้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4. การศึกษาวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟ กับวิธีเตาความร้อน

4.1 การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟ (Microwave)

ปรับส่วนผสมของกรดต่างๆ เช่น กรดไฮโครฟลูออริก กรดในตริก กรดไฮโครคลอริก กรด ไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ และ กรดเปอร์คลอริก เพื่อนำไปใช้ในการย่อยตะกอนดินให้เกิดความ เหมาะสม โดยเลือกสภาวะที่เหมาะสมตามการศึกษาของ Kokot *et al.* (1992) จำนวน 2 เงื่อนไข และอีก 1 เงื่อนไข ได้จากคู่มือการใช้เครื่องไมโครเวฟ (Milestone, 1992) แต่ละเงื่อนไขย่อยสลายที่ ความดัน 30 บาร์ และที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (Milestone, 1992) รายละเอียดของทั้ง 3 เงื่อนไข ดังแสดงใน ตารางที่ 1

เงื่อนไขที่ 1 ชั่งตัวอย่างดินตะกอน ประมาณ 1.0 กรัม ใส่ลงไปในกระบอก แล้วเติม สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน ประมาณ 100 มิลลิลิตร ลงไปในดินตะกอน หลังจากนั้นเติม กรดในตริก ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วตั้งโปรแกรมเครื่องไมโครเวฟ (โดยเครื่องไมโครเวฟที่ใช้ไม่ สามารถตั้งค่าความคันและอุณหภูมิได้) ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 ตั้งกำลังให้ได้ 450 วัตต์

เงื่อนไข	กรค	ส่วนผสม	ขั้นที่ 1		ขั้นที่ 2		ขั้นที่ 3		เวลาทั้งหมด
		(ມີດຄີຄື ອາງ)	กำลัง	เวลา	กำลัง	เวลา	กำลัง	เวลา	(นาที)
			(วัตต์)	(นาที)	(วัตต์)	(นาที)	(วัตต์)	(นาที)	
1	กรดในตริก	10	450	8	220	15	-	-	23
2	ไฮโครฟลูออริก-ไนตริก	3:7	450	10	337.5	20	112.5	5	35
3	เปอร์คลอริก-ไนตริก-	0.2:6:0.2	300	6	450	6	0	2	14
	ไฮโครเจนเปอร์ออกไซค์								

<u>ตารางที่ 1</u> การย่อยด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันของวิธีไมโครเวฟ ยี่ห้อ MILESTONE รุ่น MEGA 20

ใช้เวลา 8.0 นาที และขั้นที่ 2 ตั้งกำลังให้ได้ 220 วัตต์ ใช้เวลา 15 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา ก็นำสารละลายที่ได้มาระเหยให้แห้ง และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วเติม กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 นอร์แมล ปริมาณ 2-3 มิลลิลิตร แล้วก็ละลายตะกอนที่ เหลือด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ปริมาณ 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุน เหวี่ยงเก็บสารละลายไว้ นำตะกอนที่เหลือไปหมุนเหวี่ยงต่ออีก 2 ครั้ง เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ครั้งละ 30 มิลลิลิตร เก็บเฉพาะสารละลายไว้ไส่ในบีกเกอร์ 150 มิลลิลิตร ปรับ ปริมาตรให้ได้ 120 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปเติมกรดแอสคอบิก จนสารละลายเปลี่ยนจากสี เหลืองไปเป็นสารละลายไม่มีสี แล้วนำสารละลายที่ได้ไปแยกพอโลเนียม-210 ด้วยแผ่นเงิน ตามวิธี ที่ได้พัฒนาขึ้นมา หลังจากนั้นนำไปวัดหาก่ากัมมันตภาพรังสีด้วยเกรื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ แล้วนำมากำนวณหาก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210

้เงื่อนไขที่ 2 ชั่งตัวอย่างคินตะกอนประมาณ 1.0 กรัม ใส่ลงไปในกระบอก เติมสารละลาย มาตรฐานพอโลเนียม-209 ลงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรคผสมระหว่าง กรคไฮโคร ฟลูออริก กับ กรคในตริก ด้วยสัดส่วน 3 ต่อ 7 มิลลิลิตร นำกระบอกไปใส่ในเครื่องไมโครเวฟ แล้ว ตั้งโปรแกรม ออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ตั้งกำลัง 450 วัตต์ เวลา 10 นาที ขั้นตอนที่ 2 ตั้งกำลัง 337.5 วัตต์ เวลา 20 นาที และขั้นตอนที่ 3 ตั้งกำลัง 112.5 วัตต์ เวลา 5 นาที รวมแล้วใช้เวลาในการ ย่อยทั้งหมด 35 นาที จากที่กล่าวมา คล้ายๆ กับเงื่อนไขที่ 1 แต่ต่างกันตรง ใช้กรดไฮโครฟลูออริก ้เพิ่มเข้ามา อัตราส่วนของกรดที่แตกต่างกัน และขั้นตอนการใช้ไมโครเวฟที่แตกต่างกัน กับ เมื่อ ้ครบกำหนดเวลา ก็นำสารละลายที่ได้มาระเหยให้แห้ง และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้ง เมื่อแห้งแล้วเติม กรดไฮโครคลอริกเข้มข้น 6.0 นอร์แมล ปริมาตร 2-3 มิลลิลิตร แล้วก็ละลายตะกอนที่เหลือด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงเก็บสารละลายไว้ นำตะกอนที่เหลือเติมสารละลายกรค ใฮโครคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ครั้งละปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปเหวี่ยงต่ออีก 2 ครั้ง เก็บ เฉพาะสารละลายใส่ในบีกเกอร์ 150 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 120 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ ้ไปเติมกรคแอสคอบิก จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส แล้วนำสารละลายที่ได้ไปแยกพอโลเนียม-210 ้โดยวิธีเกมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ตามวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น แถ้วนำไปวัดหาก่ากัมมันตภาพรังสี ด้วยเกรื่อง แอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ สุดท้ายนำมากำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210

เงื่อนไขที่ 3 ชั่งตัวอย่างดินตะกอนประมาณ 1.0 กรัม ใส่ถงไปในกระบอก เติมสารละลาย มาตรฐานพอโลเนียม-209 ถงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดผสมของกรดเปอร์กลอริก กรดไนตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยสัดส่วน 0.2 ต่อ 6 ต่อ 0.2 มิลลิลิตร แล้วนำกระบอก ไปใส่ในเครื่องไมโครเวฟ แล้วตั้งโปรแกรม เป็น 3 ขั้นตอน เหมือนกันแต่ให้กำลังและเวลาต่างกัน ขั้นตอนที่ 1 ตั้งกำลัง 300 วัตต์ เวลา 6 นาที ขั้นตอนที่ 2 ตั้งกำลัง 450 วัตต์ เวลา 6 นาที และขั้นตอน ที่ 3 ตั้งกำลัง 0 วัตต์ เวลา 2 นาที รวมแล้วใช้เวลาทั้งสิ้น 14 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา กีนำ สารละลายที่ได้มาระเหยให้แห้ง และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ระเหยให้แห้ง เมื่อ แห้งแล้วเติม กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6.0 นอร์แมล ปริมาตร 2-3 มิลลิลิตร แล้วละลายตะกอนที่ เหลือด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุน เหวี่ยงเก็บสารละลายไว้ นำตะกอนที่เหลือ เติม กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล อีกครั้งละ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปหมุนเหวี่ยงต่ออีก 2 ครั้ง เก็บเฉพาะสารละลายใส่ในบีกเกอร์ ขนาค 150 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 120 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้เติมกรดแอสคอบิก จนสารละลาย เปลี่ยนเป็นสีใส แล้วนำไปแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเกมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ตามวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น หลังจากนั้นนำไปวัดหาก่ากัมมันตภาพรังสีด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ แล้วนำมากำนวณหา ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210

4.2 การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีเตาความร้อน (Hot Plate)

ชั่งตัวอย่างดินตะกอนประมาณ 1.0 กรัม ใส่ลงไปในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม สารละลายมาตรฐานพอโลเนียม-209 ลงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร เติมกรดในตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร นำไปด้ม จนระเหยให้แห้ง เติมกรดเปอร์กลอริกเข้มข้น ลงไปปริมาตร 10 มิลลิลิตร ต้ม และระเหยจนแห้ง เมื่อแห้งแล้ว สุดท้ายก็เติมกรดไฮโดรกลอริกเข้มข้น ลงไป 10 มิลลิลิตร แล้วก็ค้ม และระเหยจนแห้ง หลังจากนั้นก็เติมกรดไฮโดรกลอริกเข้มข้น 6 นอร์แมล ปริมาตร 2-3 มิลลิลิตร เพื่อละลายตะกอน แล้วก็เติมกรดไฮโดรกลอริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงเอา เฉพาะที่เป็นสารละลาย ส่วนตะกอนที่เหลือนำไปเติม สารละลายกรดไฮโดรกลอริก 0.3 นอร์แมล ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงต่ออีกจำนวน 2 ครั้ง รวบรวมสารละลายที่ได้ ใส่ลงไป ในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลายให้ได้ปริมาตร 120 มิลลิลิตร เติมกรด แอสกอบิก จนกระทั่งสารละลายใส แล้วทำการแยกพอโลเนียม-210 ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น นำแผ่นเงิน ที่ได้ไปวัดค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 ด้วยเกรื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ นำค่าที่ได้มา

<u>การทดสอบเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นเพื่อแยกพอโลเนียม-210 โดย</u> <u>วิธีเคมิไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ด้วยดินตะกอนมาตรฐาน</u>

นำดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 368 และIAEA 315 มาวิเกราะห์ตามวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น ดังที่ ได้กล่าวมาข้างต้น โดยทำการทดลองกับแต่ละดินตะกอนมาตรฐาน จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้มา เปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริงของดินตะกอนมาตรฐาน (ตารางผนวกที่ ฌ1) โดยนำค่าเหล่านี้มา กำนวณด้วยโปรแกรม SPSS หลังจากนั้นวิเกราะห์กวามแตกต่างกันทางสถิติ

<u>การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิม</u> <u>สยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จ. ตราด</u>

6.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างดินตะกอน

อ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด เป็นอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วย แล้ง-คลองพีด อยู่ใน จ. ตราด เป็นพื้นที่ที่อยู่ในเขตมรสุมทำให้มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมาก จาก การศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศคลองใหญ่ จ. ตราดพบว่า มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ประมาณ 4737.1 มิลลิเมตรต่อปี โดยเฉลี่ยในรอบปีมีจำนวนวันที่ฝนตกประมาณ 191.5 วันต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 38.2 องศาเซลเซียสในเดือนมกราคม อัตราการระเหยของน้ำประมาณ 1,503.6 มิลลิเมตรต่อปี (วิชา และคณะ, 2545)

โดยใด้เก็บตัวอย่างดินตะกอนจากอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จำนวน 9 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำห้วยแล้ง-คลองพีด โดยใช้เครื่องมือเก็บตะกอน แบบแกน (Gravity Core) จากนั้นตัดดินตะกอนออกเป็นชั้น ชั้นละ 1.0 เซนติเมตร ตามความลึก โดยใช้เครื่องมือ (Cut Plate) ที่ทำจากอะลูมิเนียม แล้วเก็บใส่ในถุงพลาสติกแบบที่ปิดปากถุงได้

6.2 วิธีการเก็บและเตรียมตัวอย่างดินตะกอน

เมื่อได้ตัวอย่างดินตะกอนแล้วให้ไล่อากาศภายในถุงเก็บตัวอย่างออกให้หมด แล้วนำไปแช่ เย็นไว้ในถังเก็บความเย็น เมื่อถึงห้องปฏิบัติการนำตัวอย่างดินตะกอนไปแช่ไว้ในเครื่องทำความเย็น ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส นำดินตะกอนมาทำให้แห้งด้วยวิธี Freeze Dry ที่อุณหภูมิ -40 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของภาชนะ น้ำหนักของดินเปียกรวมกับภาชนะ และ น้ำหนักของดินแห้งรวมกับภาชนะ เพื่อหาค่าปริมาณน้ำในดิน (Water Content) ซึ่งจะนำไปใช้หาค่า ความพรุน (Porosity) (ภาคผนวก ซ) ซึ่งจะนำมาใช้ในการหาอัตราการตกตะกอน หลังจากนั้นนำดิน ที่แห้งมาแยกเปลือกหอยออก บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดดินตะกอน และเก็บใส่ถุงพลาสติกแบบ ปิดปากถุงได้ ใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป



<u>ภาพที่ 8</u> พื้นที่อ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จ. ตราด



<u>ภาพที่ 9</u> การเก็บตัวอย่างดินตะกอน

6.3 การวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน

6.3.1 นำตัวอย่างดินตะกอนที่ได้มาจากการบดเรียบร้อยแล้วประมาณ 3.0 กรัม ใส่ ลงไปในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร (เครื่องแก้วทุกชนิดที่นำมาใช้ในการทดลองต้องทำความ สะอาดโดยแช่ในสารละลายกรดในตริก เข้มข้น 8.0 นอร์แมล ก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง)

6.3.2 เติมสารละลายมาตรฐานรังสี พอโลเนียม-209 ลงไป 300 มิลลิลิตร เพื่อใช้ เป็นสารติดตามในการหาก่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210

6.3.3 ย่อยตัวอย่างคินตะกอนด้วยวิธีเตาความร้อน (Hot Plate) เพื่อสกัดตะกั่ว-210 ออกจากคินตะกอนด้วยการเติม กรดในตริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร หลังจากนั้นให้ความร้อนแก่ ตัวอย่างคินด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก (น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งตะกอนแห้ง

6.3.4 ย่อยตะกอนต่อด้วยการเติมกรคเปอร์คลอริกเข้มข้น ลงไป 30 มิลลิลิตร ให้ ความร้อนแก่ตะกอนด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก (น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งตะกอนแห้ง

6.3.5 ย่อยตะกอนต่อด้วยการเติมกรดไฮโครคลอริกเข้มข้น ลงไป 30 มิลลิลิตร ให้ ความร้อนด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงนัก (น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งตะกอนแห้ง

6.3.6 ละลายดินตะกอนในบีกเกอร์ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 นอร์แมล จำนวน 2-3 มิลลิลิตร อุ่นให้ร้อน ถ่ายตะกอนลงในหลอดสำหรับเหวี่ยงด้วยสารละลาย กรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์แมล ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง เก็บเอาเฉพาะ สารละลายสีเหลืองถ่ายสารละลายใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยแต่ละ ครั้งเติมกรดไฮโดรคลอริก 0.3 นอร์แมล ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้ได้ 120 มิลลิลิตร

6.3.7 ใส่กรดแอสคอบิก ลงไปพร้อมกับกวนจนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนสีจาก สารละลายสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสารละลายไม่มีสี

6.3.8 นำแผ่นเงินบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ตัดให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 16.0 มิลลิเมตร ขัดด้วยกรีมขัดเงิน แล้วล้างด้วยน้ำสบู่ หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น เมื่อ
แผ่นเงินแห้งแล้วนำแผ่นเงินใส่ลงไปในที่ยึดแผ่นเงิน (Holder) ที่พัฒนาขึ้น แล้วแยกพอโลเนียม-210 ในสารละลายด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น ดังที่กล่าวมาข้างต้น

6.3.9 นำแผ่นเงินที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการแยกพอโลเนียม-210 แล้ว มาค่า กัมมันตภาพรังสี ด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ โดยค่าการนับ (Count) ของแต่ละตัวอย่างต้อง ไม่น้อยกว่า 1000 ค่าการนับ เพื่อให้ความผิดพลาดน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์

6.3.10 นำค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ ไปคำนวณหาค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน

การศึกษาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยามและอ่างเก็บน้ำคลอง หลอด จ. ตราด

7.1 การศึกษาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม จ. ตราด

อ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม เป็นอ่างเก็บน้ำที่อยู่ด้านล่างของลุ่มน้ำห้วยแล้ง-คลองพืด โดยได้ เก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม จำนวน 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 10 หลังจากนั้นดินตะกอนของแต่ละตำแหน่งจะถูกตัดออกเป็นชั้นๆ ชั้นละ 1.0 เซนติเมตร แล้วนำ ตัวอย่างดินตะกอนที่ได้ในแต่ละชั้น ไปวิเกราะห์หาก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210

ค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้ในแต่ละชั้นดินตะกอนจะถูกนำไปป้อนใส่ในโปรแกรม Lead-210 Geochronology ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Carpenter (1993) เมื่อป้อนเสร็จแล้ว จะได้ก่าอัตราการ ตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม (ภาคผนวก ซ)

7.2 การศึกษาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จ. ตราด

อ่างเก็บน้ำคลองหลอด อยู่ทางด้านบนของลุ่มน้ำห้วยแล้ง-คลองพีด โดยได้เก็บตัวอย่างดิน ตะกอน จำนวน 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 11 หลังจากนั้นดินตะกอนของแต่ละตำแหน่งจะถูก



<u>ภาพที่ 10</u> ตำแหน่งตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม จ. ตราด



<u>ภาพที่ 11</u> ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จ. ตราด

ตัดออกเป็นชั้นๆ ชั้นละ 1.0 เซนติเมตร แล้วนำดินตะกอนที่ได้ในแต่ละชั้นไปวิเคราะห์หาค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210

ค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้จากตัวอย่างดินตะกอน จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการ ตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำคลองหลอดโดยใช้โปรแกรม Lead-210 Geochronology ที่ได้ถูก พัฒนาขึ้นมาโดย Carpenter (1993) เมื่อป้อนเสร็จแล้ว ก็จะได้ก่าอัตราการตกตะกอนของดินตะกอน ในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภากผนวก ช

ผลและวิจารณ์

1. การพัฒนาอุปกรณ์การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีใฟฟ้าบนแผ่นเงิน

ใด้มีการพัฒนาอุปกรณ์การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน พบว่า สามารถพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงิน (holder) โดยอุปกรณ์ตัวนี้สามารถทำให้แผ่นเงินหมุนได้ ด้วยความเร็วตามที่ต้องการ



<u>ภาพที่ 12</u> โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงิน

จากภาพที่ 12 และภาพผนวกที่ ก1 จะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงินประกอบด้วย 2 ส่วน กือ ส่วนที่เป็นแท่นวาง กับ ส่วนที่เป็นฝาครอบ สำหรับส่วนที่เป็นแท่นวางนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน กือ แท่นวางแผ่นเงินมีลักษณะเป็นวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18.0 มิลลิเมตร และสูง 8.0 มิลลิเมตร กับ ส่วนที่ใส่แท่งแม่เหล็กก็มีลักษณะเป็นวงกลมเช่นเดียวกัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รอบนอก 30.0 มิลลิเมตร และสูง 15.0 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15.0 มิลลิเมตร และสูง 13.0 มิลลิเมตร และส่วนที่เป็นฝาครอบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30 มิลลิเมตร เส้นผ่าน ศูนย์กลางภายใน 16.0 มิลลิเมตร และสูง 8.0 มิลลิเมตร

สำหรับแผ่นเงินนั้นตัดให้เป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0 มิลลิเมตร โดยมีกวาม หนา 0.1 มิลลิเมตร และกวามบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะดังแสดงในภาพผนวกที่ ก2 สำหรับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 โดยเปรียบเทียบกับวิธีแขวนแผ่นเงินให้อยู่กับที่ (Carpenter, 1993) แล้วพบว่าสามารถเพิ่ม ผลิตผลของตะกั่ว-210 ได้ถึงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดระยะเวลาในการแยก พอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ได้ถึง 66 เปอร์เซ็นต์ และอีกด้านหนึ่งของแผ่นเงินก็ ไม่ต้องเคลือบด้วยสารเคลือบ (Enamel)

2. <u>ปัจจัยที่เหมาะสมของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีใฟฟ้าบนแผ่นเงิน</u>

2.1 การศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมิไฟฟ้าบนแผ่น เงิน

การศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่น เงิน โดยกำหนดให้แผ่นเงินแขวนอยู่กับที่ (Carpenter, 1993) ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.3 นอร์แมล ที่ความเป็นกรดด่าง 0.7 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน ที่ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีอยู่ในช่วง 5.5964-6.0081 dpm เป็นสารติดตาม เนื่องจากนิว ใคลด์กัมมันตรังสีทั้งสอง มีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่เหมือนกัน สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ 28±2, 40±2, 60±2 และ80±2 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิใช้ ระยะเวลาในการแยกนาน 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ12.0 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

<u>ตารางที่ 2</u> ปัจจัยของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลิตผลของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบน แผ่นเงิน

ช่วงเวลา	ผลิตผลของพอโลเนียม-210 (เปอร์เซ็นต์)						
(ชม.)	28±2 °C	40±2 °C	60±2°C	80±2°C			
2.0	13.55±0.56	11.49±0.48	18.36±0.77	27.11±1.07			
4.0	30.94±1.24	20.72±0.83	29.47±1.12	45.62±1.80			
6.0	44.77±1.72	40.39±1.50	49.69±1.85	62.69±2.42			
8.0	50.93±1.87	57.18±2.13	62.49±2.37	62.44±2.32			
10.0	56.74±2.08	62.20±2.28	62.78±2.30	62.81±2.37			
12.0	62.14±2.32	62.34±2.29	62.46±2.32	62.53±2.35			

การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ที่ใช้ระยะเวลาในการแยกของแต่ละ อุณหภูมินาน 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ12.0 ชั่วโมง พบว่ายิ่งใช้ระยะเวลาในการแยกนานขึ้น ค่า ร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่ได้ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย จนกระทั่งถึงระยะเวลาหนึ่ง จะเริ่ม ให้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 คงที่ จึงถือได้ว่าระยะเวลาในการแยกดังกล่าวมีความ เหมาะสมต่อการแยกพอโลเนียม-210 ของแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 (ตารางที่ 2)

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 13 พบว่าการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.3 นอร์แมล ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ใช้ ระยะเวลาการแยกนาน 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ12.0 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ดังต่อไปนี้ 13.55±0.56, 30.94±1.24, 44.77±1.72, 50.93±1.87, 56.74±2.08 และ62.14±2.32 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 นานขึ้น ก็จะให้ก่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าที่ระยะเวลาการ แยกนาน 12.0 ชั่วโมงให้ก่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 สูง จึงถือได้ว่าเป็นระยะเวลาที่เหมาะสม สำหรับการแยกพอโลเนียม-210 ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 13 พบว่าการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเกมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.3 นอร์แมล ที่อุณหภูมิ 40±2 องศาเซลเซียส ใช้ ระยะเวลาในการแยกนาน 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ12.0 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ดังต่อไปนี้ 11.49±0.48, 20.72±0.83, 40.39±1.50, 50.18±2.13, 62.20±2.28 และ62.34±2.29 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการแยกนานขึ้น ก็จะให้ก่าร้อย ละผลิตผลของพอโลเนียม-210 เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าที่ระยะเวลาการแยกนาน 10.0 ชั่วโมง เหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 ที่อุณหภูมิ 40±2 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ก่าผลิตผล สูง และใช้ระยะเวลาในการแยกสั้น

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 13 พบว่าการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ในสารละลายกรคไฮโครคลอริก เข้มข้น 0.3 นอร์แมล ที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส ใช้ ระยะเวลาในการแยกนาน 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ12.0 ชั่วโมง ตามลำคับ พบว่าให้ค่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 คังต่อไปนี้ 18.36±0.77, 29.47±1.12, 49.69±1.85, 62.49±2.37, 62.78±2.30 และ62.46±2.32 ตามลำคับ จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาการแยกนานขึ้น ก็จะให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าที่ระยะเวลาการแยกนาน 8.0 ชั่วโมง เหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 ที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ค่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 สูง และใช้ระยะเวลาในการแยกสั้น



<u>ภาพที่ 13</u> แสดงผลิตผลของพอโลเนียม-210 ในแต่ละอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน แบบเชิง เส้น

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 13 พบว่าการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.3 นอร์แมล ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส ใช้ ระยะเวลาการแยกนาน 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 และ12.0 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ดังต่อไปนี้ 27.11±1.07, 45.62±1.80, 62.69±2.42, 62.44±2.32, 62.81±2.37 และ62.53±2.35 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาในการแยกนานขึ้น จะให้ก่าร้อย ละผลิตผลของพอโลเนียม-210 เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าที่ระยะเวลาการแยกนาน 6.0 ชั่วโมง เหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่สูง และใช้ระยะเวลาในการแยกสั้น



<u>ภาพที่ 14</u> แสดงผลิตผลของพอโลเนียม-210 ในแต่ละอุณหภูมิ และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน แบบแท่ง

จากตารางที่ 2, ภาพที่ 13 และ 14 จะเห็นว่าในการแยกพอโลเนียม-210 บนแผ่นเงิน โดยให้ แผ่นเงินอยู่กับที่ พบว่าที่อุณหภูมิ 40±2 ใช้ระยะเวลาในการแยกนาน 2.0, 4.0 และ6.0 ชั่วโมง และ ที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการแยกนาน 2.0 และ4.0 ชั่วโมง ให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ต่ำกว่าการแยกพอโลเนียม-210 ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ที่เป็น เช่นนี้ เนื่องมาจากถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น จะมีฟองอากาศมาเกาะบนแผ่นเงินทำให้พอโลเนียม-210 ไม่สามารถมาเกาะบนแผ่นเงินได้ ในบริเวณที่มีฟองอากาศเกาะอยู่ได้ ถึงแม้จะได้ไล่ฟองอากาศ ที่เกาะอยู่บนแผ่นเงินอยู่ตลอด แต่มีทำให้เกิดช้าลงกว่าความเป็นจริง ดังนั้นในการแยกพอโลเนียม ที่ ระยะเวลาแรกๆ จึงทำให้ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่ได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 13 และ14 พบว่าที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่มีความ เหมาะสม เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการแยกน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ โดยใช้เวลา ในการแยกพอโลเนียม-210 เพียง 6.0 ชั่วโมง เท่านั้น ก็ให้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 บน แผ่นเงินที่สูง ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส สำหรับทำการทดลองในขั้นต่อไป ที่เป็น เช่นนี้ เนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น จึงต้องด้มหรือเผาตัวตัวอย่าง ถ้าปล่อยให้ทำปฏิกิริยากันเองที่อุณหภูมิธรรมดาบางทีอาจไม่ เกิดปฏิกิริยาขึ้นเลย หรือเกิดช้ามาก (อินทิรา, 2538) ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองในการแยก พอ โลเนียม-210 โดยสามารถอธิบายด้วยทฤษฎีการปะทะ เมื่ออนุภาคของตัวทำปฏิกิริยาเข้ามา ปะทะกัน ถ้ามีพลังงานมากพอก็จะมีการจัดอะตอมกันใหม่ ส่วนการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ก็ ต่อเมื่ออนุภาคที่เข้าปะทะกันต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ ทุกอะตอมต้อง ปะทะกันตรงแง่มุมที่เหมาะสม ประกอบกับอนุภาคจะต้องมีพลังงานเพียงพอ อย่างน้อยพลังงานนี้ ต้องเอาชนะแรงผลักที่เกิดขึ้นได้ เพื่อทำให้อนุภาคเข้ามาใกล้กัน ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นอนุภาคของ พอ โลเนียม-210 ก็จะเพิ่มจำนวนครั้ง หรือเพิ่มพลังงานของอนุภาค ย่อมเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา มากขึ้นตามไปด้วย (อินทิรา, 2538)

นอกจากนั้นแล้วยังนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 2 มาทดสอบปัจจัยของระยะเวลาว่ามีผลต่อ ร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 หรือไม่ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่าให้ก่านัยสำคัญ เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจริง หมายความว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกมีผลต่อร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 (ตารางภาคผนวก ก1) และยัง ได้ทดสอบปัจจัยของอุณหภูมิ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่าให้ก่านัยสำคัญเท่ากับ 0.00 ซึ่ง ให้กาสอบปัจจัยของอุณหภูมิ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่าให้ก่านัยสำคัญเท่ากับ 0.00 ซึ่ง ให้ก่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีกวามแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า อุณหภูมิที่แตกต่าง กันที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 มีผลต่อร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 (ตารางภาคผนวก ก 1) นอกจากนั้นยังได้ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับ ระยะเวลาที่ใช้ในการแยก พอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่าให้ก่าน้อสำคัญ เท่ากับ 0.00 ซึ่งให้ก่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า ปัจจัย ทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันต่อก่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง สองมีผลกระทบต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีใฟฟ้าบนแผ่นเงินนั่นเอง

2.2 การศึกษาปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงินที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดย วิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

การศึกษาปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงินที่มีผลต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดย วิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ได้ใช้สารละลายพอโลเนียม-209มาตรฐานที่มีค่ากัมมันตภาพรังสี 5.589 dpm เป็นสารติดตาม ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง 0.7 ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการแยกนาน 6.0 ชั่วโมง โดยได้กำหนดให้ ความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงินที่ใช้ในการศึกษาออกเป็น 400, 500 และ600 รอบต่อวินาที ผลการ ทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ความเร็วรอบ		ผลิตผล			
การหมุน		(เปอร์เซ็นต์)			
(รอบต่อนาที)	1	2	3	เฉลี่ย	-
400	3.786±0.256	3.787±0.224	3.826±0.247	3.799±0.242	67.98±4.62
500	4.789±0.299	4.873±0.301	4.651±0.300	4.771±0.300	86.69±5.84
600	4.410±0.267	4.418±0.268	4.089±0.263	4.306±0.266	77.04±5.09

<u>ตารางที่ 3</u> ปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงินที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธี เคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

จากตารางที่ 3 พบว่าที่ความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน 400, 500 และ600 รอบต่อนาที ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 เฉลี่ย เท่ากับ 3.799±0.242, 4.771±0.300 และ4.306±0.266 dpm ตามลำคับ และให้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 เฉลี่ย เท่ากับ 67.98±4.62 86.69±5.84 และ77.04±2.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำคับ

จากตารางที่ 3 พบว่าที่ความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน 500 รอบต่อนาที ให้ค่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 สูงที่สุด คือ 86.69 เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบการหมุนอื่น จึงถือ ใด้ว่าที่ความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน 500 รอบต่อนาที เหมาะสมที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า กวามเร็ว 400 รอบต่อนาที หรือ ระดับต่ำกว่านี้ความเร็วไม่พอทำให้แผ่นเงินหมุนได้ หรือ ถ้าพอก็ ทำให้แผ่นเงินหมุนได้ช้า ส่วนที่ความเร็วสูงๆ คือกวามเร็วรอบการหมุน 600 รอบต่อวินาที หรือ มากกว่านั้น จะมีผลทำให้สารละลายเกิดความปั่นป่วน ทำให้ได้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่ต่ำ (Hamilton and Smith, 1986)

จากตารางผนวกที่ ค2 แสดงการทดสอบปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงินที่มีต่อ ร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ แบบ ANOVA พบว่า ให้ค่านัยสำคัญเท่ากับ 0.00 ซึ่งให้ค่าน้อยกว่า .05 จึงปฏิเสธ H₀ นั่นคือ ผลิตผลของ พอโลเนียม-210 ให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ความเร็วรอบการหมุน จากตารางผนวกที่ ค3 แสดงการทดสอบปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน เช่นเดียวกัน ด้วยโปรแกรม SPSS แต่ต่างกันตรงที่ตารางนี้วิเคราะห์ แบบ Multiple Comparison พบว่า ในแต่ละความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน ให้ก่านัยสำคัญน้อยกว่า .05 นั่นคือ ปฏิเสช H_o จึงได้ ว่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน

2.3 การศึกษาปัจจัยความเป็นกรดด่างของสารละลายที่มีต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดย วิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

การศึกษาปัจจัยความเป็นกรดด่างของสารละลายที่มีผลต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธี เคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ได้ใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสี เท่ากับ 5.582±0.132 dpm เป็นสารติดตาม ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการหมุนแผ่นเงิน ที่ 500 รอบต่อวินาที และใช้ระยะเวลาในการแยกนาน 6.0 ชั่วโมง โดยปรับก่าความเป็นกรดค่าง ของสารละลาย ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮครอกไซค์เข้มข้น จนกระทั่งได้สารละลายที่มีความ เป็นกรดค่างต่างๆ กัน ดังนี้ 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4

<u>ตารางที่ 4</u> ปัจจัยความเป็นกรคค่างที่มีต่อผลิตผลของการแยกพอโลเนียม-210 โคยวิธีเคมีไฟฟ้าบน แผ่นเงิน

ความเป็น		ผลผลิต						
กรดด่าง		(dpm)						
	1	2	3	เฉลี่ย				
0.7	5.110±0.301	5.152±0.321	5.069±0.306	5.110±0.309	91.54±5.95			
1.0	4.861±0.296	4.771±0.292	4.882±0.301	4.838±0.296	87.90±5.79			
1.5	4.835±0.291	4.787±0.275	4.500±0.268	4.707±0.278	84.33±5.37			
2.0	4.662±0.286	4.533±0.281	4.735±0.290	4.643±0.286	84.36±5.59			
2.5	4.326±0.249	4.149±0.252	4.195±0.248	4.223±0.250	75.66±4.82			
3.0	3.404±0.224	3.254±0.202	3.483±0.225	3.380±0.217	61.42±4.22			

จากตารางที่ 4 พบว่าที่ค่าความเป็นกรดค่าง ได้แก่ 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 เฉลี่ย ดังนี้ 5.110±0.309, 4.838±0.296, 4.707±0.278, 4.643±0.286, 4.223±0.250 และ3.380±0.217 dpm ตามลำดับ และให้ค่าร้อยละผลิตผลของ พอโลเนียม-210 เฉลี่ย ดังนี้ 91.54±5.95, 87.90±5.79, 84.33±5.37, 84.36±5.59, 75.66±4.82 และ 61.42±4.22 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ก่าความเป็นกรดด่าง 0.7 ให้ก่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 สูง ที่สุด ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าความเป็นกรดด่าง 0.7 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแยก พอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมิไฟฟ้า เนื่องจากให้ค่าร้อยละผลิตผล (% recovery yield) ของ พอโลเนียม-210 เท่ากับ 91.54±5.95 ซึ่งให้ค่าสูงที่สุด ดังนั้น ค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 จึงมีความ เหมาะสมที่สุด ถ้าค่าความเป็นกรดค่างต่ำเกินไปก็ไม่ดี เพราะจะทำให้แผ่นเงินเกิดการกัดกร่อน และ มีผลทำให้การแยกกันระหว่างพีกของพอโลเนียม-210 กับ พีกของสารติดตามไม่ดี หรือถ้าสูงเกินไป กึ่จะทำให้ พอโลเนียม-210 เกิดการตกตะกอนร่วมกับไอออนอื่นๆ (Hamilton and Smith, 1986) ซึ่ง สอดกล้องกับวิธีของ Carpenter (1993); Srisuksawad *et al.*, (1997) นอกจากนั้นการแยก พอโลเนียม-210 ในสารละลายที่ค่าความเป็นกรดต่ำๆ ยังสามารถป้องกันพอโลเนียม-210 ตกตะกอนร่วมกับไอออนตัวอื่นได้อีกด้วย

จากตารางผนวกที่ ค4 พบว่าเมื่อนำค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่ได้ในแต่ละค่า ความเป็นกรดค่างที่แตกต่างกัน ไปหาความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งวิเคราะห์ แบบ Multiple Comparisonsพบว่าที่ค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 โดยเปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรด ค่างอื่นๆ จะให้ก่าเลขนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 จะให้ค่าผลิตผลของ พอโลเนียม-210 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเป็นกรดค่างอื่นๆ ได้แก่ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ3.0 ส่วนที่ค่าความเป็นกรดค่าง 1.0 ให้ค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับค่าความเป็นกรด ค่าง 0.5, 2.0, 2.5 และ3.0 แต่ไม่ให้ความแตกต่างกับค่าความเป็นกรดค่าง 1.5 ส่วนที่ค่าความเป็นกรด ค่าง 1.5ให้ค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับที่ค่าความเป็นกรดค่าง 0.5, 2.5 และ3.0 แต่ไม่ให้กวามแตกต่างกับอ่างกับอ่าความเป็นกรด ด่าง 1.5ให้ค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับที่ค่าความเป็นกรดค่าง 0.5, 2.5 และ3.0 และให้ ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเป็นกรดค่าง 1.0 และ2.0 ดังนั้นค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

2.4 การศึกษาปัจจัยของเวลาที่มีผลกระทบต่อการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน เมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมจากทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ที่อุณหภูมิ 80 ±2 องศาเซลเซียส กวามเร็วรอบการหมุน 500 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรคค่างของสารละลาย 0.7 และระยะเวลาใน การแยกนาน 4.0 ชั่วโมง แล้วนำปัจจัยที่เหมาะสมเหล่านี้มาใช้ในการทคลองหาระยะเวลาในการ แยกพอโลเนียม-210 ที่เหมาะสม ได้ใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐานที่มีค่ากัมมันตภาพรังสี เท่ากับ 5.606±0.002 dpm เป็นสารติคตาม โดยกำหนดให้ใช้ระยะเวลาในการแยกพอโลเนียม-210 ดังต่อไปนี้ 2.0, 4.0, 6.0 และ8.0 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5

พอโลเนียม-209 ที่ได้ ผลิตผล ระยะเวลา (ชั้งโมง) (เปอร์เซ็นต์) (dpm) เฉลีย 1 2 3 3.899±0.246 3.848±0.237 68.29±4.61 2.0 3.740 ± 0.240 3.829±0.241 4.0 5.084 ± 0.299 5.173 ± 0.322 5.154±0.311 5.137±0.311 91.63±5.97 5.075 ± 0.308 5.114±0.317 91.55 ± 6.08 5.204 ± 0.326 5.131±0.317 6.0 4.554±0.274 87.82±5.72 5.020 ± 0.316 5.197±0.302 4.923±0.298 8.0

<u>ตารางที่ 5</u> ปัจจัยของระยะเวลาที่มีต่อผลิตผลของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่น เงิน

จากตารางที่ 5 และภาพที่ 15 กำหนดให้ระยะเวลาที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 นาน 2.0, 4.0, 6.0 และ8.0 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าให้ค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 เฉลี่ย ดังนี้ 3.829±0.241, 5.137±0.311, 5.131±0.317 และ4.923±0.298 dpm ตามลำดับ และให้ค่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 ดังนี้ 68.29±4.61, 91.63±5.97, 91.55±6.08 และ 87.82±5.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาการนาน 4.0 ชั่วโมง มีความเหมาะสมสำหรับใช้การ แยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน เนื่องจากให้ค่ากัมมันตภาพรังสีที่สูง และใช้ ระยะเวลาในการแยกที่สั้น

จากตารางผนวกที่ ค5 เป็นการทคสอบปัจจัยของระยะเวลาที่มีผลต่อค่าร้อยละผลิตผลของ พอโลเนียม-210 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยวิเคราะห์ แบบ Multiple Comparisons พบว่าที่ ระยะเวลาที่ใช้การแยกพอโลเนียม-210 นาน 4.0 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับช่วงเวลา 2.0 ชั่วโมง พบว่า ให้ค่านัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าให้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบกับช่วงเวลา 6.0 และ 8.0 ชั่วโมง ให้ค่านัยสำคัญเท่ากับ 0.968 และ0.175 ตามลำคับ ซึ่งให้ค่านัยสำคัญมากกว่า 0.05 แสดงว่าให้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ไม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



<u>ภาพที่ 15</u> ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา กับ ผลิตผลของพอโลเนียม-210

จากตารางที่ 5, ภาพที่ 15 และตารางผนวกที่ ค5 พบว่าระยะเวลาการแยกพอโลเนียม-210 นาน 4.0 ชั่วโมงเหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่สูง คือ 91.63±5.97 และใช้ระยะเวลาในการแยกที่สั้น หรือจะทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ก็ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับ ระยะเวลาการแยกนาน 6.0 และ8.0 ชั่วโมง และเมื่อดูจากภาพ ที่ 15 จะเห็นว่าแนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา กับ ร้อยละผลิตผลของ พอโลเนียม-210 มีลักษณะแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 2.0 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นก็ ก่อยๆ เพิ่มขึ้น และตั้งแต่ระยะเวลา 4.0 ชั่วโมงเป็นต้นไปกราฟที่ได้มีลักษณะที่ค่อนข้างคงที่

จากตารางที่ 5 พบว่าที่ระยะเวลาการแยกพอโลเนียม-210 นาน 8.0 ชั่วโมงให้ก่าร้อยละ ผลิตผลของพอโลเนียม-210 เฉลี่ย น้อยกว่าที่ระยะเวลาการแยกนาน 4.0 และ6.0 ชั่วโมง เนื่องมาจาก ก่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 ที่ได้จากการแยกกรั้งแรกให้ก่าน้อยกว่าการแยกอีกสองกรั้ง หลัง เมื่อนำมาหาก่าเฉลี่ยทำให้ได้ก่าเฉลี่ยร้อยละผลิตผลของพอโลเนียม-210 น้อยกว่า ที่ระยะเวลา การแยกนาน 4.0 และ6.0 ชั่วโมง ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเกิดกวามผิดพลาดขึ้นในขั้นตอนการแยก หรือ เกิดจากแผ่นเงินที่ได้หลังจากการแยกมีลักษณะเป็นสีดำ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลต่อค่ากัมมันตภาพรังสีที่ ได้ทั้งสิ้น

<u>การทดสอบค่าความถูกต้อง และค่าความแม่นยำของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า</u> <u>บนแผ่นเงิน</u>

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแยก พอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน คือ อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการ หมุนแผ่นเงิน500 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 และระยะเวลาที่ใช้ในการแยกนาน 4.0 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเงื่อนไขเหล่านี้มาทดสอบค่าความถูกต้อง และความแม่นยำของวิธีการแยก พอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ทดสอบโดยใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสี 5.539±0.128 dpm เป็นสารติดตาม เติมลงไปในสารละลายกรดไฮโดรคลอ ริกเข้มข้น 0.3 นอร์แมล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 6

<u>ตารางที่ 6</u> การทคสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของการแยกพอโลเนียม-210 โคยวิธี เคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน

ครั้งที่	พอโลเนียม-210 ที่ได้ (dpm)	ความถูกต้องสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
1	5.027±0.309	90.76±5.96
2	5.248±0.297	94.75±5.79
3	5.139±0.306	92.79±5.92
ค่าเฉลี่ย	5.138±0.304	92.77±5.89
%relative accuracy		92.77±5.89
%RSD		2.15

จากตารางที่ 6 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 ที่วิเคราะห์ได้ในครั้ง 1, 2 และ 3 ให้ค่าดังต่อไปนี้ 5.027±0.309, 5.248±0.297 และ5.138±0.304 dpm ตามลำดับ และให้ค่า กัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 เฉลี่ย 5.138±0.304 dpm โดยพบว่าค่าที่ได้ในการทดลองแต่ ละครั้ง ให้ค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ ดังต่อไปนี้ คือ 90.76±5.96, 94.75±5.79 และ 92.79±5.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยให้ก่ากวามถูกต้องสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 92.77±5.89 เปอร์เซ็นต์ และให้ ก่ากวามผิดพลาดสัมพัทธ์เท่ากับ 2.15 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบความแตกต่าง ระหว่างค่ากัมมันตภาพรังสีที่วิเคราะห์ได้กับค่า กัมมันตภาพรังสีที่แท้จริงโดยใช้สถิติ t-test พบว่า ให้ค่า t<t โดยได้ค่า t เท่ากับ 2.285 ซึ่งน้อยกว่า 4.3 (t) (ภาคผนวก ง) ดังนั้น ค่ากัมมันตภาพรังสีที่วิเคราะห์ได้ กับ ค่ากัมมันตภาพรังสีที่แท้จริง จึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงผลการคำนวณ ในตารางผนวก ค นอกจากนั้นยังให้ ค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (% relative accuracy) เท่ากับ 92.77 และ ให้ค่า ร้อยละความผิดพลาด สัมพัทธ์ (% RSD) เท่ากับ 2.15 ดังนั้นจึงได้ว่าการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของการ แยกพอ โลเนียม-210 ด้วยสารติดตามพอ โลเนียม-209 มาตรฐาน จึงให้ค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (%relative accuracy อยู่ในช่วง 90 ถึง 110 และ เปอร์เซ็นต์ RSD ไม่เกิน 10) (อรดี, 2547)

4. การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟกับวิธีเตาความร้อน

นำวิธีการแขกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ที่เหมาะสมที่สุด คือ อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบการหมุนที่ 500 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 และ ระขะเวลาการแขกนาน 4.0 ชั่วโมง มาใช้ในการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน เพื่อทดสอบความแตกต่างของวิธีการย่อยด้วยวิธีไมโครเวฟ กับ วิธีเตาความ ร้อน โดยแต่ละวิธีใช้ตัวอย่างดินตะกอนที่ได้มาจากอ่างเก็บน้ำ ที่จังหวัดตราด ประมาณ 1.0 กรัม และใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีอยู่ในช่วง 1.7975-1.8237 dpm เป็นสารติดตาม ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

การทดลองเปรียบเทียบวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟ โดยใช้กรดและ ส่วนผสมของกรดที่แตกต่างกัน ดังนี้ (1) ใช้กรดในตริกเข้มข้น (HNO₃) อย่างเดียว ปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาในการย่อยนาน 2.0 ชั่วโมง 23 นาที (Kokot *et al.*, 1992) (2) ใช้กรดผสม ระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น กับ กรดในตริกเข้มข้น (HF-HNO₃) ด้วยอัตราส่วน 3.0 มิลลิลิตร ต่อ 7.0 มิลลิลิตร โดยใช้ระยะเวลาในการย่อยนาน 2.0 ชั่วโมง 35 นาที (Kokot *et al.*, 1992) และ (3) ใช้กรดผสมของเปอร์กลอริกเข้มข้น, กรดในตริกเข้มข้น และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น (HCIO₄-HNO₃-H₂O₂) ด้วยส่วนผสมของกรดดังนี้ 0.2 มิลลิลิตร ต่อ 6.0 มิลลิลิตร ต่อ 0.2 มิลลิลิตร (Milestone, 1992) โดยใช้ระยะเวลาในการย่อยนาน 2.0 ชั่วโมง 14 นาที กับ วิธีเตากวามร้อน ที่ย่อย

<u>j</u> p	กรค	ส่วนผสม	กัมมันตภาพรังสีจำเพาะ(dpm/g)			
		(ນີດດີດີ່ສຸງ)	1	2	3	เฉลี่ย
ใมโครเวฟ	HNO ₃	10.0	5.47±0.22	5.79±0.23	5.87±0.24	5.72±0.23
ไมโครเวฟ	HF-HNO ₃	3:7	5.69±0.23	5.80±0.20	5.62±0.21	5.70±0.21
ใมโครเวฟ	HClO ₄ -HNO ₃ -H ₂ O ₂	0.2:6:0.2	5.51±0.21	5.40±0.19	5.63±0.23	5.51±0.21
เตาความ	HNO ₃ -HClO ₄ -HCl	10:10:10	5.55±0.20	5.41±0.22	5.90±0.25	5.62±0.22
ร้อน						

<u>ตารางที่ 7</u> การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในดินตะกอน โดยการย่อย ด้วยวิธีไม โครเวฟกับวิธีเตาความร้อน

ดินตะกอนด้วยกรดในตริกเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร ตามด้วยกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร และสุดท้ายย่อยดินตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10.0 มิลลิลิตร (Carpenter, 1993) ใช้ระยะเวลาในการย่อยนาน 6.0 ชั่วโมง ซึ่งในแต่ละวิธีใช้ตัวอย่างดินตะกอนที่เหมือนกัน และปริมาณที่ใกล้เกียงกัน คือ ประมาณ 1.0 กรัม. เมื่อทำการย่อยตัวอย่างดินตะกอนเสร็จแล้ว ก็นำ สารละลายที่ได้ไปทำการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเกมีไฟฟ้าบนแผ่นเงินที่ได้จากการพัฒนาขึ้น มา หลังจากนั้นนำแผ่นเงินที่ได้ไปวัดก่ากัมมันตภาพรังสีด้วยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ เสร็จ แล้วกำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7

จากตารางที่ 7 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ได้จากการย่อยด้วยวิธี ใมโครเวฟ (1) โดยใช้กรดในตริก (HNO₃) (2) โดยใช้กรดผสมระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริกกับกรด ในตริก (HF-HNO₃) และ (3) โดยใช้กรดผสมของเปอร์คลอริก กรดในตริก และไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (HCIO₄-HNO₃-H₂O₂) พบว่าให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เฉลี่ย ดังต่อไปนี้ 5.72±0.23, 5.70±0.21 และ 5.51±0.21 dpm/g ส่วนการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีเตากวาม ร้อนนั้น ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เท่ากับ 5.62±0.22 dpm/g เมื่อดูจากค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของตะกั่ว-210 ที่ได้ จะเห็นได้ว่าให้ค่าที่ใกล้เกียงกัน

จากตารางผนวกที่ จ1 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ได้จากการย่อยดิน ตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟเปรียบเทียบกับค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ได้จากการ ย่อยดินตะกอนด้วยวิธีเตากวามร้อนโดยการทดสอบด้วยวิธี t-test ให้ก่าดังต่อไปนี้ การย่อยดิน ตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟ (1)โดยใช้กรดในตริก (HNO₃) (2)โดยใช้กรดผสมระหว่างกรดไฮโดร ฟลูออริกเข้มข้นกับกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (HF-HNO₃) และ (3) โดยใช้กรดผสมของเปอร์คลอริก, กรดในตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (HClO₄-HNO₃-H₂O₂) พบว่าให้ก่า t ดังต่อไปนี้ 0.75, 1.62 และ1.57 ตามลำดับ ซึ่งก่าที่ได้เหล่านี้ ล้วนให้ก่า t น้อยกว่าก่า t (t, เท่ากับ 4.30) ดังนั้น จึงถือได้ว่า การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟด้วยกรดผสมที่แตกต่างกัน กับ วิธีเตาความร้อน ให้ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั้น หมายถึง วิธีการ ย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟ กับ การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีเตาความร้อนให้ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ไม่แตกต่างกัน จึงสามารถเลือกใช้วิธีใดก็ได้ในการย่อย ตัวอย่างดินตะกอน เพื่อวิเกราะห์หาก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ขึ้นอยู่ กับความเหมาะสมของห้องปฏิบัติการในแต่ละแห่ง

ข้อดีของวิธีไมโกรเวฟสำหรับการย่อยตัวอย่างดินตะกอน เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ปล่อย มลพิษออกสู่อากาศน้อย ส่วนข้อเสียของวิธีนี้ คือ สามารถใช้ย่อยตัวอย่างที่มีปริมาณมากๆ ได้ไม่ดี เครื่องมือมีราคาแพง และต้องปล่อยสารละลายที่ได้ทิ้งไว้จนกว่าสารละลายนั้นจะเย็นจึงจะสามารถ นำสารละลายออกมาใช้ได้ สำหรับวิธีเตาความร้อนนั้น ข้อดี มีราคาถูก หาง่าย มีอยู่ทั่วไปใน ห้องปฏิบัติการทั่วไป สามารถย่อยปริมาณตัวอย่างดินตะกอนได้ตามความต้องการ สามารถย่อย ตัวอย่างที่มีปริมาณมากๆ ได้ ข้อเสีย ปล่อยสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม และใช้เวลาในการย่อยนาน กว่า จึงได้ว่าทั้งสองวิธีก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียอยู่ในตัว จึงสามารถเลือกใช้วิธีใดก็ได้ตามความ เหมาะสม และความสะดวกสบาย เนื่องจากวิธีทั้งสองให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

<u>การทดสอบการใช้ได้ของวิธีการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ด้วยดิน</u> <u>ตะกอนมาตรฐาน</u>

5.1 การทดสอบก่าความถูกต้อง และความแม่นย่ำ ด้วยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 368

ทคสอบการย่อยดินตะกอนมาตรฐานโดยวิธีไมโกรเวฟด้วยกรดในตริก (HNO₃) ที่เลือกใช้ กรดในตริกอย่างเดียว เพราะว่าให้ความสะดวก และไม่ยุ่งยาก กับ วิธีเตาความร้อน ซึ่งเป็นการ วิเกราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 368 โดยดิน ตะกอนที่ใช้ในการทดลอง มีน้ำหนักประมาณ 1.0 กรัม ทดลองซ้ำ จำนวน 4 ครั้ง โดยใช้สารละลาย พอโลเนียม-209 มาตรฐาน ที่มีก่ากัมมันตภาพรังสี 2.394±0.006 dpm เป็นสารติดตาม แล้วนำก่าที่ ใด้มาคำนวณหาค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (% relative accuracy) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (% RSD) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8

จากตารางที่ 8 พบว่าวิธีการย่อยดินตะกอนมาตรฐาน โดยวิธีเตาความร้อนให้ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของตะกั่ว-210 เท่ากับ 1.49±0.06 dpm/g และวิธีไมโครเวฟ ให้ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของตะกั่ว-210 เท่ากับ 1.49±0.07 dpm/g เมื่อเปรียบเทียบกับก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่แท้จริง 1.39±0.24 dpm/g (ตารางผนวกที่ ฌ1) จะเห็นได้ ว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ได้จากการย่อยด้วยวิธีทั้งสอง ให้ก่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และเมื่อ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาก่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (% relative accuracy) พบว่าทั้งสองวิธีให้ก่าเท่ากัน คือ เท่ากับ 107.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (90 ถึง 110 %) และเมื่อนำมาทดสอบหาก่า กวามคลาดเกลื่อนสัมพัทธ์ (% RSD) พบว่า วิธีเตาความร้อนให้ก่า เท่ากับ 4.03 ส่วนวิธีไมโครเวฟ ให้ก่าเท่ากับ 4.70 ซึ่งทั้งสองวิธี ให้ก่า ความกลาดเกลื่อนสัมพัทธ์ (% RSD) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เช่นเดียวกัน (% RSD <10) ดังนั้นการย่อยด้วยวิธีทั้งสองเป็นวิธีการย่อยที่ให้กวามแม่นยำ (อรดี, 2547)

<u>ตารางที่ 8</u> การทคสอบก่าความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีการย่อยด้วยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 368

ครั้งที่	ค่ากัมมันตภาพ	รังสีจำเพาะ	- ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ที่		
	(dpm/g)		แท้จริง (dpm/g)		
	เตาความร้อน	ไมโครเวฟ	-		
1	1.48±0.07	1.45±0.07	1.39±0.24		
2	1.44±0.07	1.51±0.08	1.39±0.24		
3	1.53±0.06	1.53±0.07	1.39±0.24		
4	1.50±0.07	1.46±0.08	1.39±0.24		
เฉลี่ย	1.49±0.06	1.49±0.07	1.39±0.24		
% relative accuracy	107.19	107.19			
% RSD	4.03	4.70			

จากตารางผนวกที่ 8 พบว่าการทดสอบความแตกต่างของวิธีการย่อยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA368 โดยวิธีเตาความร้อน กับ วิธีไมโครเวฟ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่าวิธีการย่อย โดยวิธีไมโครเวฟ กับวิธีเตาความร้อน ให้ค่านัยสำคัญ เท่ากับ 0.792 ซึ่งมากกว่า 0.05 คังนั้นจึงได้ว่า การย่อยตัวอย่างคินตะกอนด้วยคินตะกอนมาตรฐาน IAEA368 จากวิธีทั้งสองให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 การทดสอบค่าความถูกต้อง และความแม่นยำด้วยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 315

เป็นที่ทราบกันคือยู่แล้วว่าการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟ กับ วิธีเตาความ ร้อน ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึง เถือกวิธีเตาความร้อนมาใช้เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถย่อยตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณมากได้ และ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับห้องปฏิบัติการทั่วๆ ไป และเครื่องมือที่ใช้ก็มีราคาไม่แพง จึงได้ นำมาใช้ในการทดสอบกับดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 315 ที่มีองก์ประกอบของดินที่แตกต่างจาก ดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 368 มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ เท่ากับ 1.81 ±0.25 dpm/g (ตาราง ผนวกที่ ฌ1) โดยได้ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งใช้ดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 315 น้ำหนักประมาณ 1.0 กรัม ใช้สารละลายพอโลเนียม-209 มาตรฐาน ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีเท่ากับ 2.413±0.007 dpm เป็นสารติดตาม ผลการทดลองจังแสดงในตารางที่ 9

ครั้งที่	ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ตะกั่ว-210 ที่ได้ (dpm/g)	ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะตะกั่ว-210 ที่แท้จริง(dpm/g)
1	1.34±0.04	1.81±0.25
2	1.32±0.06	1.81±0.25
3	1.47±0.06	1.81±0.25
เฉลี่ย	1.38±0.10	1.81±0.25
	% relative accuracy	76.24±7.25
	% RSD	7.25

<u>ตารางที่ 9</u> การทดสอบค่าความถูกต้องและความแม่นยำด้วยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA315

จากตารางที่ 9 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 315 ที่วิเคราะห์ได้ครั้งที่ 1, 2 และ3 ให้ค่าดังต่อไปนี้ 1.34±0.04, 1.32±0.06 และ1.47±0.06 dpm/g ตามถำคับ โดยให้ก่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.38 dpm/g ซึ่งให้ก่าที่ไม่อยู่ในช่วงก่าที่แท้จริง (1.81±0.25 dpm/g) และเมื่อนำมาคำนวณหาก่าความถูกต้องสัมพัทธ์ พบว่าให้ก่าเท่ากับ 76.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (90 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์) (อรดี, 2547) ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจากองก์ประกอบ ของดินตะกอนที่แตกต่างกัน โดยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA315 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ควอต ถึง 46.4 เปอร์เซ็นต์ (Ballestra, 1996) จึงพบว่าการย่อยดินตะกอนด้วยกรดดังกล่าว จึงมีผลทำให้ได้ ก่ากับ 7.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ก่าที่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือได้ว่าให้ก่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ เท่ากับ 7.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ก่าที่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือได้ว่าให้ก่าความแม่นยำอยู่ในช่วงที่ ยอมรับได้ (อรดี, 2547) ดังนั้นในการวิเกราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดิน ตะกอนจะให้ก่าที่มีกวามถูกต้องมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับองก์ประกอบของดินตะกอนด้วย

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 9 มาทคสอบการใช้ได้ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่า ให้ ค่านัยสำคัญ เท่ากับ 0.012 น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าการทคสอบความถูกต้องของการย่อยดินตะกอน มาตรฐาน IAEA 315 ให้ค่าความถูกต้องไม่อยู่ในช่วง 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ ฉ2)

จากการทดสอบกับดินมาตรฐานทั้งสองชนิด คือ IAEA 368 กับ IAEA 315 พบว่าค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่วิเคราะห์ได้เมื่อเทียบกับค่าที่แท้จริง (recommended value) โดย ดินมาตรฐาน IAEA 368 ให้ก่าที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินมาตรฐาน IAEA 315นั้นให้ก่าที่ไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นองก์ประกอบของแร่ในดิน ตะกอนจึงมีผลต่อก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่วิเคราะห์ได้

<u>การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิม</u> <u>สยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จ. ตราด</u>

6.1 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำ ทับทิมสยาม

อ่างเก็บน้ำทับทิมสยามซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำที่อยู่ทางด้านล่างของลุ่มน้ำห้วยแล้ง-คลองพีด โดยเป็นอ่างที่อยู่ในบริเวณแหล่งชุมชนและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำการเกษตร ดังนั้นใน การทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จึงได้เก็บตัวอย่างดินตะกอน จำนวน 5 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่ง เก็บตัวอย่างดินตะกอน จำนวน 1 แกน (Core) รวม จำนวน 5 แกน (Core) อยู่ตรงพิกัดดังต่อไปนี้ 89678 N 138091E, 896668N 1380768E, 896668N 1380735E, 896658N 1380679E และ896462N
1380709E ตามลำดับ ได้ทำการตัดตัวอย่างดินตะกอนในแต่ละแกน ให้มีความหนาชั้นละ 1.0
เซนติเมตร แล้วนำดินตะกอนในแต่ละชั้น มาวิเคราะห์เพื่อหาค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว210 เมื่อนำค่าความลึกของชั้นดินตะกอน และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ของดิน
ตะกอนในแต่ละชั้นความลึกมาหาความสัมพันธ์กันจะได้กราฟ ดังแสดงในภาพที่ 14

จากภาพที่ 16 (ก) และตารางผนวกที่ ช1 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (unsupported หรือ excess ²¹⁰Pb) ที่ชั้นความลึกที่ผิวดินตะกอน (0.0-1.0 เซนติเมตร) ของตำแหน่งที่ 1 ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ 18.06 dpm/g หลังจากหักค่าแบกกราวด์ และจะมีแนวโน้มลดลง แบบเอ็กซ์โพเนนเซียล จนกระทั่งถึงชั้นความลึก 8.0-9.0 เซนติเมตร ส่วนดินตะกอนที่ชั้นความลึก ตั้งแต่ 9.0 เซนติเมตร จนกระทั่งถึงชั้นที่ลึกสุด ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำ และไม่แสดงแนวโน้มที่ ลดลง จึงเรียกว่าค่าแบกกราวด์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกันให้ ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb มีค่าเท่ากับ 20.0 (dpm/cm²) และ ให้ค่า steady-state depositional flux ²¹⁰Pb เท่ากับ 0.132 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 16 (ข) และตารางผนวกที่ ช2 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ที่ชั้นความลึกจากผิวดินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร ของตัวอย่างดินตะกอน ตำแหน่ง ที่ 2 ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เท่ากับ 16.15 dpm/g และมีแนวโน้มลดลง แบบ เอ็กซ์ โพเนนเซียล จนกระทั่งถึงชั้นความลึก 8.0-9.0 เซนติเมตร ดังนั้นที่ความลึกตั้งแต่ 9.0 เซนติเมตร เป็นต้นไป ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ต่ำและไม่แสดงแนวโน้มที่ลดลง จึงเรียกว่าค่า แบกกราวค์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกันให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 50.8 dpm/cm² และให้ค่า ความเข้มของตะกั่ว-210 steady-state depositional flux เท่ากับ 0.347 dpm/cm²/yr

ภาพที่ 16 (ค) และตารางผนวกที่ ช3 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ที่ชั้นความลึกจากผิวดินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร ของตำแหน่งที่ 3 ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 12.97 dpm/g และมีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ แบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล จนกระทั่งถึงชั้นความลึกที่ 8.0-9.0 เซนติเมตร ดังนั้นที่ชั้นความลึกตั้งแต่ 9.0 เซนติเมตร เป็นต้นไป จะให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ค่อนข้างต่ำและไม่แสดงแนวโน้มที่ลดลง จึงเรียกว่าค่าแบก



<u>ภาพที่ 16</u> อัตราการสลายตัวของตะกั่ว-210 ตามชั้นความลึกของดินตะกอนในแต่ละตำแหน่ง ของอ่างเกีบน้ำทับทิมสยาม จ. ตราด

กราวค์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเคียวกันให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 29.9 dpm/cm² และ ให้ค่า steady-state depositional flux เท่ากับ 0.169 dpm/cm²/yr

ภาพที่ 16 (ง) และตารางผนวกที่ ช4 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่ชั้นบนสุด (excess ²¹⁰Pb) หรือ ความลึกจากผิวดินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร ของตำแหน่งที่ 4 ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เท่ากับ 6.62 dpm/g และจะให้ค่าลดลงเรื่อยๆ แบบ เอ็กซ์ โพเนนเซียล จนกระทั่งถึงชั้นความลึก 6.0-7.0 เซนติเมตร และที่ชั้นความลึกตั้งแต่ระดับ 7.0 เซนติเมตร เป็นต้นไปจะให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ค่อนข้างต่ำและไม่แสดงแนวโน้มที่ลดลง จึงเรียกว่าค่าแบกกราวด์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกันให้ค่า integrated inventory เท่ากับ 9.2 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux เท่ากับ 0.167 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 16 (จ) และตารางผนวกที่ ช5 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ ชั้นความลึกจากผิวดินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร ของตำแหน่งที่ 5 ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ของตะกั่ว-210 เท่ากับ 14.84 dpm/g และมีแนวโน้มลดลงแบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล จนกระทั่งถึงชั้น ความลึก 6.0-7.0 เซนติเมตร และหลังจากชั้นความลึก 7.0 เซนติเมตร เป็นต้นไปจะให้ค่า กัมมันตภาพรังสีที่ค่อนค้างต่ำ และมีค่าคงที่ จึงเรียกว่า ค่าแบกกราวด์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งมีค่า เท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกันให้ค่า integrated inventory เท่ากับ 19.4 dpm/cm² และ steadystate depositional flux เท่ากับ 0.801 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 16 และตารางผนวกที่ ช1-ช5 พบว่าในแต่ละตำแหน่ง ให้ก่ากัมมันตภาพรังสี จำเพาะของตะกั่ว-210 แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของดินตะกอน (Alvisi and Frignani, 1996) และปริมาณอินทรียวัตถุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้ได้ก่า unsupported ²¹⁰Pb แตกต่างกันด้วย โดยถ้าอนุภาคยิ่งมีขนาดเล็ก และมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ดินตะกอนก็จะดูดซับ เอาตะกั่ว-210 ได้มากกว่าดินตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และมีปริมาณสารอินทรีย์ที่น้อยกว่า (Heijnis, n.d.) ดินตะกอนในตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง 3.16 – 18.06, 1.41-16.15, 0.12-12.97, 0.29-6.62 และ 1.30-14.84 dpm/g ตามลำดับ โดยให้ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ชั้นความลึกที่ผิว (0.0-1.0 เซนติเมตร) ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยามอยู่ ในช่วง 6.62-18.06 dpm/g และให้ก่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.73±4.39 dpm/g เมื่อเปรียบเทียบกับก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของอ่าวไทยซึ่งให้ก่าอยู่ในช่วง 1.6 ถึง 8.6 และมีก่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 ±1.7 dpm/g (Srisuksawad et al., 1997) จะเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำทับทิมสยามให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ้สูงกว่า 4 เท่า อาจจะเนื่องมาจากลักษณะของเนื้อคินตะกอนยิ่งเนื้อละเอียคมากการดูคซับตะกั่ว-210 ก็จะมากขึ้นเท่านั้น (Heijnis, n.d.; Alvisi and Frignani, 1996; Srisuksawad et al., 1997) นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณของคินเหนียว (clay) และปริมาณอินทรียวัตถุ (TOM) ด้วยถ้ามี ปริมาณสิ่งเหล่านี้มาก ก็จะทำให้ดินตะกอนเกิดการดูคซับตะกั่ว-210 ได้ดีขึ้น (Smith *et al.*, 1995) ้ส่วนดินตะกอนตำแหน่งที่ 4 นั้นค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ผิวบนสุดมีค่าเพียง ซึ่งให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 4 ตำแหน่งที่เหลือ ที่เป็นเช่นนี้ก็อาจจะ 6.62 dpm/g เนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้ (1) เกิดการสูญเสียผิวของดินตะกอน โดยการเกิด Slump ภายใต้กวาม ชั้นของอ่างเก็บน้ำ (2) เกิด sediment focusing of deposited sediment (3) เกิดการเติมของตะกอนจาก พื้นที่ลุ่มน้ำช้ากว่ากำหนด (4) เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสะสมของตะกอน (5) มีความผัน แปรขององค์ประกอบของคินตะกอน และ(6) เกิดการเจื้อจางของการสะสมของคินตะกอนอัน เนื่องมาจากการชะถ้างพังทลายของคินหรือแผ่นคินถล่ม (Kumar, 1999) นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า ้ตัวอย่างดินตะกอนตำแหน่งที่ 1 ที่ชั้นความลึกบริเวณผิวดินเกิดการผสมกันของดินตะกอนเกิดการ เปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า Surface Mixed Layer (SML)ในช่วงความลึก 0.0-2.0 เซนติเมตร เกิดขึ้น เนื่องมาจากการรบกวน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางกายภาพ เช่น เกิดการการรบกวนจาก กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และกระบวนการ bioturbation (Carroll et al., 1999) เป็นกระบวนการที่ เกิดขึ้นมาจากสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน ส่วนดินตะกอนที่ระดับชั้นความลึก 3.0-4.0 เซนติเมตร นั้น ้อาจจะเนื่องมาจากเกิดการแพร่ผ่านในบริเวณ SML และ อาจจะรวมถึง ตะกั่ว-210 ยังไม่เกิดสมดุล แบบเสถียรถาวรกับพอโลเนียม-210 (พอโลเนียม-210 ที่มีอายุน้อยกว่า 2 ปี ไม่จำเป็นที่จะเกิดสมดุล กับตะกั่ว-210) (Heijnis, n.d.) นอกจากกระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วยังได้มีการศึกษาปัจจัยของการ แพร่ผ่านของนิวไกลด์กัมมันตรังสีผ่านน้ำที่อยู่ในช่องว่างในดิน (pore water) ว่ามีผลทำให้เกิด SML ้จากผลการศึกษาพบว่ามีผลน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น (Smith et al., 1995) จากภาพผนวกที่ ช5 จะเห็นได้ว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ ้ชั้นดินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 14.84 dpm/g แต่พอลึกลงไปที่ชั้น 1.0-2.0 เซนติเมตร มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 2.13 dpm/g ซึ่งจะเห็นว่าช่วงระหว่างความหนาต่างกันเพียง 1.0 เซนติเมตร จะให้ก่ากัมมันตภาพรังสีต่างกันมากที่เป็นเช่นนี้เกิดจากการชะล้างพังทลายของชั้นดิน ตะกอนของชั้นที่ถัดลงมาจากชั้นบน (Heijnis, n.d.) โดยส่วนที่หายไปอยู่ระหว่างชั้นดินตะกอนที่ 1.0-2.0 เซนติเมตร และตั้งแต่ชั้นความลึกที่ 5.0 เซนติเมตร เป็นต้นไปจะให้ค่ากัมมันตภาพรังสี จำเพาะอยู่ในระดับแบกกราวด์

จากตารางภาคผนวกที่ ช1-ช5 พบว่าค่า integrated inventory ของ ตะกั่ว-210 ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ5 ให้ค่าดังต่อไปนี้ 19.99, 50.83, 29.90, 9.22 และ19.41 dpm/cm² ตามลำคับ จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้ของแต่ละตำแหน่ง มีค่าไม่เท่ากัน ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก ลักษณะของเนื้อดินตะกอน ความลึกของน้ำ อัตราการตกตะกอน อัตราของตะกั่ว-210 ที่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Lewis *et al.*, 2002) นอกจากนั้นอาจจะเกิดจุดการรวมกันของดินตะกอนขึ้น หรือ เกิดจากประสิทธิภาพการ เคลื่อนย้ายของดินตะกอนจากลุ่มน้ำ (Alvisi and Frignani, 1996) ดังนั้นจึงให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb อยู่ในช่วง 9.22 ถึง 50.83 dpm/cm² และให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.87±15.75 dpm/cm² สำหรับค่า steady-state depositional flux ในตัวอย่างดินตะกอนทุกตำแหน่ง พบว่า อยู่ในช่วง 0.136 ถึง 0.801 dpm/cm²/yr และให้มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.323±0.279 dpm/cm²/yr

6.2 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำ คลองหลอด

อ่างเก็บน้ำคลองหลอด เป็นอ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ทางด้านบนของลุ่มน้ำห้วยแล้ง-คลองพีด โดย อ่างนี้ได้เก็บตัวอย่างดินตะกอน จำนวน 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งได้เก็บตัวอย่างดินตะกอน ตำแหน่งละ 1 แกน (Core) รวม จำนวน 4 แกน (Core) เมื่อนำตัวอย่างดินตะกอนที่ได้ในแต่ละ ตำแหน่งมาตัดเป็นชั้นๆ ตามความลึก ให้มีความหนาชั้นละ 1.0 เซนติเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนแต่ละชั้น พบว่าในแต่ละตำแหน่ง ให้ ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนแต่ละชั้น พบว่าในแต่ละตำแหน่ง ให้ ลำกับมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก ช6-ช9 เมื่อนำก่าความ ลึกของชั้นดินตะกอน และค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ของดินตะกอนในแต่ละชั้น กวามลึกมาหาความสัมพันธ์กันจะได้กราฟ ดังแสดงในภาพที่ 17

จากภาพที่ 17 (ก) และตารางผนวกที่ ช6 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ที่ชั้นความลึกของคินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร (ที่ผิว) ของคินตะกอนตำแหน่งที่ 1 ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 4.42 dpm/g และมีแนวโน้มลคลงแบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล จนกระทั่งถึงชั้นความลึก 4.0-5.0 เซนติเมตร ส่วนที่ชั้นความลึกตั้งแต่ 5.0 เซนติเมตร ขึ้นไป จนถึง ชั้นความลึกที่ 11.0 เซนติเมตร มีค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำ และไม่แสดงแนวโน้มที่ลคลง จึงเรียกค่าที่ อยู่ในช่วงนี้ว่าค่าแบกกราวค์ หรือ supported ²¹⁰Pb ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 0.80 dpm/g นอกจากนั้นยังพบว่าที่ชั้นความลึก 0.0-2.0 เซนติเมตร (ภาพที่ 15 (ก)) มีการผสมกันของชั้นคิน ตะกอน ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า Surface Mixed Layer (SML) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องมาจากการ รบกวน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทางกายภาพ เช่น เกิดการการรบกวนจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และกระบวนการ bioturbation (Carroll *et al.*, 1999) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมาจาก สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน ในขณะเดียวกันให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 9.3 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux เท่ากับ 0.275 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 17 (ข) และตารางผนวกที่ ช7 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ที่ชั้นดินตะกอน 0.0-1.0 เซนติเมตร ของ ดินตะกอนตำแหน่งที่ 2 ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 4.85 dpm/g และมีแนวโน้มลดลงแบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล จนกระทั่ง ถึงชั้นดินตะกอนที่ความลึก 3.0-4.0 เซนติเมตร ส่วนชั้นดินตะกอนที่ความลึกตั้งแต่ 4.0 เซนติเมตร ขึ้นไป จนถึงชั้นความลึกที่ 14.0 เซนติเมตร มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะต่ำ และไม่แสดงแนวโน้มที่ ลดลง จึงเรียกค่าที่อยู่ในช่วงนี้ว่าค่าแบกกราวด์ หรือ supported ²¹⁰Pb ให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ เท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกันให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 7.0 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux เท่ากับ 0.198 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 17 (ค) และตารางผนวกที่ ช8 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (unsupported²¹⁰Pb) ที่ชั้นความลึกที่ผิว (0.0-1.0 เซนติเมตร) ของดินตะกอนตำแหน่งที่ 3 ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 4.09 dpm/g และมีแนวโน้มลดลงแบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล จนกระทั่ง ถึงชั้นความลึก 2.0-3.0 เซนติเมตร ส่วนชั้นดินตะกอนที่ความลึกตั้งแต่ 3.0 เซนติเมตร ขึ้นไป จนกระทั่งถึงชั้นความลึก 21.0 เซนติเมตร ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะต่ำ และไม่แสดงแนวโน้มที่ ลดลง ซึ่งเรียกค่าที่อยู่ในช่วงนี้ว่าค่าแบกกราวค์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งให้ค่ากัมมันตภาพรังสี จำเพาะ เท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกันให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 6.0 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux เท่ากับ 0.206 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 17 (ง) และตารางผนวกที่ ช9 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (unsupported ²¹⁰Pb) ที่ชั้นความลึกที่ผิว (0.0-1.0 เซนติเมตร) ของคินตะกอนตำแหน่งที่ 4 ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ผิวเท่ากับ 0.81 dpm/g ซึ่งถือว่าให้ค่าที่แตกต่างกันมาก เมื่อเทียบกับ คิน ตะกอนที่ตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งแสดงว่าอาจจะไม่ใช่ดินตะกอนที่ได้มาจากชั้นความลึกที่ผิว อาจ เนื่องมาจากเกิดการชะล้างของคินตะกอนบริเวณผิว (Heijinis, n.d.) และที่ชั้นความลึกตั้งแต่ 2.0-3.0 เซนติเมตรขึ้นไป ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ได้ ก็มีค่าขึ้นๆ ลงๆ และให้ค่าที่ต่ำ ซึ่งแสดงว่าดิน ตะกอนของชั้นนี้ เป็นชั้นที่ถือได้ว่าอยู่ในช่วงค่าแบกกราวด์ หรือ supported ²¹⁰Pb ซึ่งให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเท่ากับ 0.80 dpm/g ในขณะเดียวกัน ให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 0.230 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux เท่ากับ 0.198 dpm/cm²/yr

จากภาพที่ 17 และ ตารางภาคผนวกที่ ช6-ช9 พบว่าในแต่ละตำแหน่ง ให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของดิน ตะกอน (Alvisi and Frignani, 1996) และปริมาณสารอินทรียวัตถุที่แตกต่างกัน จึงทำให้ได้ก่า excess ²¹⁰Pb ที่แตกต่างกัน โดยถ้าอนุภาคยิ่งมีขนาดเล็กและมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ดินตะกอนก็ จะดูดซับตะกั่ว-210 ได้มากกว่าดินตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และมีปริมาณอินทรียวัตถุที่น้อย กว่า (Heijnis, n.d.) โดยดินตะกอนตำแหน่งที่ 1, 2, 3 และ 4 ให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง 0.89-5.14, 1.40-4.85, 0.90-4.77 และ1.07-1.40 dpm/g ตามลำดับ และให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ที่ชั้นความลึกที่ผิว (0.0-1.0 เซนติเมตร) อยู่ในช่วง 0.81-4.85 dpm/g ซึ่งนำมาหาก่าเฉลี่ยพบว่าให้ ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ยของตะกั่ว-210 เท่ากับ 4.45±0.38 dpm/g

จากตารางผนวกที่ ช6-ช9 พบว่าค่า integrated inventory²¹⁰Pb ของดินตะกอนตำแหน่ง 1, 2, และ3 ให้ค่าดังต่อไปนี้ 4.68, 7.03 และ6.03 dpm/cm² ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ในแต่ละ ตำแหน่งให้ค่าใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ลักษณะของเนื้อดินตะกอน ความลึกของน้ำ อัตราการตกตะกอน และอัตราของตะกั่ว-210 ที่สะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ มีลักษณะใกล้เคียงกัน (Lewis *et al.*, 2002) ยกเว้น ตำแหน่ง 4 ที่ให้ค่า integrated inventory²¹⁰Pb น้อยกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ อาจจะเนื่องมาจากเกิดการชะล้างพังทลายของชั้นดินตะกอนในบริเวณตำแหน่งนี้ (Heijnis, n.d.) จากดินตะกอนทั้ง 4 ตำแหน่งให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb อยู่ในช่วง 0.8-9.3 dpm/cm² โดยให้ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.91 \pm 1.18 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux ²¹⁰Pb อยู่ในช่วง 0.206 -0.275 dpm/cm²/yr และให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.227 \pm 0.035 dpm/cm²/yr

ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 (unsupported ²¹⁰Pb) ที่ตำแหน่ง 1, 2 และ3 มีค่าใกล้เคียง กัน อาจจะเนื่องมาจากมีชนิด, ขนาดอนุภาคของดินตะกอน และปริมาณสารอินทรีย์ในแต่ละชั้นมี ค่าใกล้เคียงกัน (Heijnis, n.d.) ส่วนดินตะกอนที่ ตำแหน่ง 4 นั้นมีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ ตะกั่ว-210 ที่ผิวแตกต่างกัน เนื่องจากดินตะกอนชั้นบนเกิดการชะล้างพังทลาย (Erosion) (Heijnis, n.d.) จึงทำให้ได้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ที่บริเวณผิวไม่ใช่ค่าที่แท้จริง



<u>ภาพที่ 17</u> อัตราการสลายตัวของตะกั่ว-210 ตามชั้นความลึกของดินตะกอนในแต่ละ ตำแหน่งของอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จ. ตราด

7. การศึกษาอัตราการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

7.1 อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

ภาพที่ 16 เป็นการนำค่ากัมมันตภาพรังสีของชั้นดินตะกอนที่ผิว จนถึงชั้นดิน ตะกอนชั้นล่างที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ลดลงแบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล ตามชั้น ความลึก (Regional of Radioactive Decay) โดยนำมาพิจารณาในรูปของ log activity ของ (excess) ²¹⁰Pb (ภาพที่ 18) แล้วนำค่าความชันที่ได้ไปใช้ในการคำนวณอัตราการตกตะกอน (ภาคผนวก ซ) ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 10

ตำแหน่ง	พิกัด	น้ำลึก	²¹⁰ Pb _{excess}	²¹⁰ Pb inventory	อัตราการตกตะกอน		าอน
(1)	(2)	(ນ.)	(dpm/g)ที่ผิว	(dpm/cm^2)	(มก./ซม.²/ปี)	ซม./ปี(ที่ผิว)	ซม./ปี(ที่ความลึก)
		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	896784N 1380917E	5.95	18.06	19.99	42.5	0.50	0.03
2	896646N 1380768E	5.06	16.15	50.83	106.9	0.38	0.07
3	896668N 1380735E	4.06	12.97	29.90	65.3	0.24	0.05
4	896658N 1380679E	6.84	6.62	9.22	55.4	0.12	0.04
5	896462N 1380709E	4.50	14.84	19.41	65.7	0.08	0.05
		เฉลี่ย	13.73±4.39	25.87±15.75	67.2±24.1	0.26±0.18	0.05 ± 0.01

<u>ตารางที่ 10</u> การสรุปค่าต่างๆ ในตัวอย่างดินตะกอน ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

<u>หมายเหตุ</u> (1) หมายถึง ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินตะกอน (2) หมายถึง พิกัดในหน่วย UTM (3) หมายถึง ความถึกของน้ำจากระดับผิวน้ำจนกระทั่งถึงผิวดินตะกอน (4) ตะกั่ว-210 ที่ได้มาจากการ สถายตัวของเรดอน-222 (5) ปริมาณตะกั่ว-210 ที่เข้ามาสะสมอยู่ในดินตะกอนต่อตารางเซนติเมตร (6) หมายถึง อัตราการตกตะกอนที่แสดงในรูปของมิถลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี (อัตราการ ตกตะกอนในรูปเซนติเมตรต่อปี X ความหนาแน่นของดินตะกอน) (7) อัตราการตกตะกอนใน หน่วยตารางเซนติเมตรต่อปีที่ระดับความถึกที่ติดกับระดับผิวดินตะกอน (8) อัตราการตกตะกอน ของชั้นความถึกที่ติดกับความถึกสุดท้ายที่สามารถหาค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ได้ จากภาพที่ 18 (ก) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (unsupported หรือ excess ²¹⁰Pb) ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 8.0-9.0 เซนติเมตร ของตัวอย่างดิน ตะกอนในตำแหน่งที่ 1 มาพิจารณาในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity มาหาความสัมพันธ์กับค่า total mass หรือ accumulative mass พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง หลังจากนั้นนำ ค่าความชันมาคำนวณหาอัตราการตกตะกอนจะได้อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนที่ตำแหน่งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 42.5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้อัตราการตกตะกอนเท่ากับ 0.50 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกผิวดิน) และ 0.03 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

จากภาพที่ 18 (ข) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (unsupported ²¹⁰Pb) ที่ ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 8.0-9.0 เซนติเมตร ของดินตะกอนในดำแหน่งที่ 2 มาพิจารณาในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity มาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่าความชันมาคำนวณหาอัตรา การตกตะกอนจะได้อัตราการตกตะกอนของตำแหน่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 106.9 มิลลิกรัมต่อตาราง เซนติเมตรต่อปี หรือให้อัตราการตกตะกอนเท่ากับ 0.38 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกผิวดิน) และ 0.07 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

จากภาพที่ 18 (ค) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ที่ระดับ ความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 9.0-10.0 เซนติเมตร ของดินตะกอนตำแหน่งที่ 3 มา พิจารณาในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity มาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่าความชันมาคำนวณหาอัตรา การตกตะกอนจะได้อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนตำแหน่งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 65.3 มิลลิกรัมต่อ ตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน เท่ากับ 0.24 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกผิว ดิน) และ 0.05 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

จากภาพที่ 18 (ง) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ที่ระดับ กวามลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 6.0-7.0 เซนติเมตร ของดินตะกอนตำแหน่งที่ 4 มาพิจารฉา ในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity มาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass พบว่ากวามสัมพันธ์ที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่ากวามชันมากำนวฉหาอัตราการ ตกตะกอนจะได้อัตราการตกตะกอนของดินตะกอน ตำแหน่งที่ 4 มีค่าเท่ากับ 55.4 มิลลิกรัมต่อ



<u>ภาพที่ 18</u> ความสัมพันธ์ระหว่างค่า total mass กับ ค่า log ²¹⁰Pb(excess) activity ของ ดิน ตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม จ. ตราด

ตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้อัตราการตกตะกอนเท่ากับ 0.12 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความถึกผิวดิน) และ 0.04 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความถึกสุดท้าย)

จากภาพที่ 18 (จ) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (unsupported หรือ excess ²¹⁰Pb) ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 4.0-5.0 เซนติเมตร ของตัวอย่างดิน ตะกอนตำแหน่งที่ 5 มาพิจารณาในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity มาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่าความ ชันมาคำนวณหาอัตราการตกตะกอนจะได้ค่าอัตราการตกตะกอนของดินตะกอน ตำแหน่งที่ 5 มีค่า เท่ากับ 65.7 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน เท่ากับ 0.08 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกผิวดิน) และ0.05 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

จากตารางที่ 10 และภาพที่ 18 พบว่าอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนทั้ง 5 ตำแหน่งของ อ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม ให้ค่าอัตราการตกตะกอนอยู่ในช่วง 42.5 – 106.9 มิลลิกรัมต่อตาราง เซนติเมตรต่อปี โดยให้ค่าอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 67.2±24.1 มิลลิกรัม ต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกผิวดิน) อยู่ในช่วง 0.08-0.50 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย (ที่ความลึกผิวดิน) 0.26±0.18 เซนติเมตรต่อปี และ ให้ก่าอัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.03-0.07 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอน เฉลี่ย (ที่ความลึกสุดท้าย) เท่ากับ 0.05±0.01 เซนติเมตรต่อปี

7.2 อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

เมื่อนำก่าความลึกของชั้นดินตะกอน กับ ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 ของดิน ตะกอนในแต่ละชั้นความลึกมาหาความสัมพันธ์กันจะได้กราฟ ดังแสดงในภาพที่ 17

จากภาพที่ 19 เป็นการนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของชั้นดินตะกอนที่ผิวจนถึงชั้นดิน ตะกอนชั้นล่างที่มีค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ลดลงแบบ เอ็กซ์โพเนนเซียล ตามความลึก (Regional of Radioactive Decay) โดยนำมาพิจารณาในรูปของ log activity ของ excess ²¹⁰Pb แล้ว นำค่าความชั้นที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำคลอง หลอด

ตำแหน่ง	พิกัด	น้ำลึก	²¹⁰ Pb _{excess} ที่ผิว	²¹⁰ Pb inventory	อัตราการตกตะกอน		กอน
(1)	(2)	(ນ.)	(dpm/g)	(dpm/cm^2)	มก./ซม.²/ปี	ซม./ปี (ที่ผิว)	ซม./ปี (ที่ความลึก)
		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	898700N 1382602E	3.50	4.42	4.68	28.6	0.08	0.02
2	896839N 1382587E	3.50	4.85	7.03	42.3	0.08	0.04
3	898787N 1382636E	3.50	4.09	6.03	50.9	0.06	0.04
4	898787N 1382603E	5.30	0.81	0.81	24.8	0.04	0.02
		เฉลี่ย	4.45±0.38	5.91±1.18	36.6±12.1	0.06±0.02	0.03±0.01

<u>ิตารางที่ 11</u> การสรุปค่าต่างๆ ที่ได้จากตัวอย่างดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

<u>หมายเหตุ</u> (1) หมายถึง คำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินตะกอน (2) หมายถึง พิกัดในหน่วย UTM (3) หมายถึง กวามลึกของน้ำจากระดับที่ผิวน้ำจนกระทั่งถึงผิวดินตะกอน (4) ตะกั่ว-210 ที่ได้จากการ สถายตัวของก๊าซเรดอน-222 (5) ปริมาณตะกั่ว-210 ที่เข้ามาสะสมอยู่ในดินตะกอนต่อตาราง เซนติเมตร (6) หมายถึง อัตราการตกตะกอนที่แสดงในรูปของมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี (อัตราการตกตะกอนในรูปเซนติเมตรต่อปี X ความหนาแน่นของดินตะกอน) (7) อัตราการ ตกตะกอนในหน่วยตารางเซนติเมตรต่อปีที่ระดับความลึกที่ติดกับระดับผิวดินตะกอน (8) อัตราการ ตกตะกอนของชั้นความลึกที่ติดกับความลึกสุดท้ายที่สามารถหาค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ได้

จากภาพที่ 19 (ก) นำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess หรือ unsupported ²¹⁰Pb) ของ ตำแหน่ง 1 ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 4.0-5.0 เซนติเมตร มา พิจารณาให้อยู่ในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass (กรัมต่อตารางเซนติเมตร) จะให้ความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มเป็น เส้นตรง และนำค่าความชันมาคำนวณหาอัตราการตกตะกอน จะได้ค่าเท่ากับ 28.6 มิลลิกรัมต่อ ตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน เท่ากับ 0.08 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกผิว ดิน) และอัตราการตกตะกอนเท่ากับ 0.02 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)



<u>ภาพที่ 19</u> ความสัมพันธ์ระหว่างค่า total mass กับ ค่า log ²¹⁰Pb(excess) activity ของดิน ตะกอน จ. ตราด

จากภาพที่ 19 (ข) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess²¹⁰Pb) ตำแหน่งที่ 2 ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 3.0-4.0 เซนติเมตร มาพิจารณาในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass จะให้ความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่าความชันมาคำนวณหาอัตราการ ตกตะกอน จะได้อัตราการตกตะกอนเท่ากับ 42.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ก่า อัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกผิวดิน) เท่ากับ 0.08 เซนติเมตรต่อปี และ อัตราการตกตะกอน เท่ากับ 0.04 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

จากภาพที่ 19 (ค) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (excess ²¹⁰Pb) ของ ตำแหน่ง 3 ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึง 2.0-3.0 เซนติเมตร มาพิจารณาในรูป log ²¹⁰Pb (excess) activity จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับค่า accumulative mass หรือ total mass จะให้ความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่าความชันมาคำนวณหาอัตราการ ตกตะกอน จะได้อัตราการตกตะกอนเท่ากับ 50.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่า อัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกผิวดิน) เท่ากับ 0.06 เซนติเมตรต่อปี และ อัตราการตกตะกอน เท่ากับ 0.04 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

จากภาพที่ 19 (ง) เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 (unsupported หรือ excess ²¹⁰Pb) ตำแหน่งที่ 4 ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0.0-1.0 เซนติเมตร จนถึงความลึก 2.0-3.0 เซนติเมตร มาพิจารณาในรูปของ log ²¹⁰Pb (excess) activity จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ กับก่า accumulative mass หรือ total mass จะได้ความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และนำค่า ความชันที่ได้มาคำนวณหาอัตราการตกตะกอน จะได้อัตราการตกตะกอนเท่ากับ 24.8 มิลลิกรัมต่อ ตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน เท่ากับ 0.04 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกผิว ดิน) และอัตราการตกตะกอนเท่ากับ 0.02 เซนติเมตรต่อปี (ที่ความลึกสุดท้าย)

พบว่าอัตราการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำคลองหลอด ทั้ง 4 ตำแหน่ง ให้ค่าอัตราการ ตกตะกอนอยู่ในช่วง 24.8-50.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราการ ตกตะกอนเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำคลองหลอด พบว่าให้ค่าอัตราการตกตะกอน เท่ากับ 36.6±12.1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน (ที่ผิวดิน) อยู่ในช่วง 0.04-0.08 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย (ที่ความลึกผิวดิน) 0.06±0.02 เซนติเมตรต่อปี และ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.02-0.04 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอน เฉลี่ย (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.03±0.01 เซนติเมตรต่อปี
1. การพัฒนาอุปกรณ์การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

อุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงิน (holder) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแท่นวาง กับ ส่วนที่ เป็นฝาครอบ สำหรับส่วนที่เป็นแท่นวางนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แท่นวางแผ่นเงินมีลักษณะ เป็นวงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18.0 มิลลิเมตร และสูง 8.0 เซนติเมตร ส่วนที่ใส่แท่งแม่เหล็ก ก็มีลักษณะเป็นวงกลมเช่นเดียวกัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 30.0 เซนติเมตร และสูง 15.0 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15.0 เซนติเมตร และสูง 13.0 เซนติเมตร สำหรับ ส่วนที่เป็นฝาครอบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30.0 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16.0 เซนติเมตร และสูง 8.0 เซนติเมตร สำหรับแผ่นเงินนั้นตัดให้เป็นวงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0 เซนติเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร ความบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ สามารถทำให้แผ่นเงินหมุนด้วยความเร็วตามที่ต้องการได้

สรุป

2. <u>ปัจจัยที่เหมาะสมในการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน</u>

2.1 ปัจจัยของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมิไฟฟ้าบนแผ่น เงิน คือ อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ให้ก่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 สูง คือ 62.53±2.35 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระยะเวลาในการแยกพอโลเนียม-210 ที่รวดเร็วเพียง 6.0 ชั่วโมง เท่านั้น จึงถือได้ว่าเป็นอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมิไฟฟ้า บนแผ่นเงิน

2.2 ปัจจัยความเร็วรอบการหมุนของแผ่นเงินที่เหมาะสมในการแยกพอโลเนียม-210 โดย วิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน คือ ความเร็วรอบการหมุน 500 รอบต่อนาที เนื่องจากให้ค่าผลิตผลของ พอโลเนียม-210 ที่เหมาะสม คือ 86.69±5.84 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นความเร็วรอบการหมุน 500 รอบต่อ นาที จึงมีความเหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

2.3 ปัจจัยค่าความเป็นกรดค่างของสารละลายที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการแยก พอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน คือ ที่ค่าความเป็นกรดค่าง 0.7 เนื่องจากให้ค่าผลิตผล ของพอโลเนียม-210 ที่สูง คือ 91.54±5.95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ค่าความเป็นกรดค่างของสารละลาย 0.7 ที่ใช้ในการแยกพอโลเนียม-210 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธี เคมีใฟฟ้าบนแผ่นเงิน

2.4 ปัจจัขของระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่น เงิน คือ ระยะเวลา 4.0 ชั่วโมง เนื่องจากให้ค่าผลิตผลของพอโลเนียม-210 ที่สูง และใช้เวลาในการ แยกพอโลเนียม-210 ที่สั้น จึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธี เคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน

<u>การทดสอบค่าความถูกต้อง และค่าความแม่นยำของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า</u> <u>บนแผ่นเงิน</u>

นำปัจจัยที่เหมาะสมของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน คือ อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของการหมุนแผ่นเงิน 500 รอบต่อนาที ค่าความเป็นกรดค่างของ สารละลายที่ 0.7 และใช้เวลาในการแยกนาน 4.0 ชั่วโมง นำปัจจัยที่เหมาะสมเหล่านี้ไปใช้ในการ ทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำกับสารละลายมาตรฐานพอโลเนียม-209 ซึ่งใช้เป็นสาร ติดตาม พบว่าให้ค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (% relative accuracy) เท่ากับ 92.77 เปอร์เซ็นต์ และให้ก่า ก่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (% RSD) เท่ากับ 2.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ค่าความถูกต้อง และความ แม่นยำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

4. การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟกับวิธีเตาความร้อน

วิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟโดยย่อยด้วยกรดแตกต่างกัน (1) ย่อยด้วย กรดในตริก (HNO₃) (2) ย่อยด้วยกรดผสมระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น กับ กรดในตริก เข้มข้น (HF-HNO₃) และ (3) ย่อยด้วยกรดผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น, กรดในตริกเข้มข้น และไฮดดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น (HClO₄-HNO₃-H₂O₂) พบว่าให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ เฉลี่ยของตะกั่ว-210 ดังต่อไปนี้ 5.72±0.23, 5.70±0.21 และ5.51±0.21 dpm/g ตามลำดับ ส่วน วิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยเตาความร้อน ให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของตะกั่ว-210 เฉลี่ย เท่ากับ 5.62±022 dpm/g เมื่อนำค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของวิธีไมโครเวฟโดยย่อยด้วยกรดที่แตกต่างกัน (1) ย่อย ด้วยกรดในตริกเข้มข้น (HNO₃) (2) ย่อยด้วยกรดผสมระหว่างกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น กับ กรด ในตริกเข้มข้น (HF-HNO₃) และ (3) ย่อยด้วยกรดผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น, กรดในตริก เข้มข้น และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น (HClO₄-HNO₃-H₂O₂) มาเปรียบกับวิธีการย่อยด้วยเตา กวามร้อน โดยนำมาทดสอบด้วยวิธี t-test พบว่าให้ค่า t ดังต่อไปนี้ 0.75, 1.62 และ1.57 ตามลำคับ ซึ่งก่า t ที่ได้ของแต่ละวิธีล้วนให้ค่าน้อยกว่าค่า t_c (t_c = 4.30) ซึ่งแสดงว่าวิธีการย่อยตัวอย่างดิน ตะกอนด้วยวิธีไมโกรเวฟกับวิธีเตาความร้อน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หมายความว่า การ ย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟกับวิธีเตาความร้อนไม่ให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของ พอโลเนียม-210 แตกต่างกัน

<u>การทดสอบการใช้ได้ของวิธีการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงินด้วยดิน</u> <u>ตะกอนมาตรฐาน</u>

นำวิธีการย่อยดินตะกอนด้วยวิธีไมโครเวฟโดยใช้กรดในตริกเข้มข้น (HNO₃) กับ วิธีเตา กวามร้อน มาทดสอบกับ ดินตะกอนมาตรฐาน IAEA 368 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ t-test พบว่า ทั้งวิธีการย่อยด้วยไมโครเวฟ และเตาทำความร้อนให้ค่านัยสำคัญเท่ากับ 0.792 มากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงได้ว่าการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA368 ด้วยวิธีทั้งสองให้ก่าผลิตผล ของตะกั่ว-210 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อทราบว่าการย่อยด้วยวิธีไมโครเวฟกับวิธีเตาความร้อนไม่มีความแตกต่างกัน จึงเลือกวิธี เตาความร้อนมาใช้ในการทคสอบกับคินตะกอนมาตรฐาน IAEA 315 พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสี จำเพาะของตะกั่ว-210 ที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.38 dpm/g ซึ่งเป็นที่ไม่อยู่ในช่วงค่าที่แท้จริง (1.81±0.25dpm/g) และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (% relative accuracy) พบว่ามีค่า เท่ากับ 76.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (86 ถึง114 เปอร์เซ็นต์) ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องมาจากองค์ประกอบของคินตะกอนที่แตกต่างกัน

6. <u>การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิม</u> <u>สยาม และอ่างเก็บน้ำคลองหลอด</u>

6.1 การวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำ ทับทิมสยาม

พบว่าตัวอย่างดินตะกอนในตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ5 ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยามให้ก่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง 3.16 – 18.06, 1.41-16.15, 0.12-12.97, 0.29-6.62 และ1.30-14.84 dpm/g ตามลำดับ โดยให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะที่ผิวดินตะกอน (excess ²¹⁰Pb activity) อยู่ ในช่วง 6.62-18.06 dpm/g และให้ก่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะเฉลี่ย เท่ากับ 13.73 \pm 4.39 dpm/g ใน ขณะเดียวกันยังให้ก่า integrated inventory ²¹⁰Pb ของดินตะกอน ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ5 ดังนี้ 19.99, 50.83, 29.90, 9.22 และ19.41 dpm/cm² ตามลำดับ โดยให้ก่าเฉลี่ยของ integrated inventory ²¹⁰Pb เท่ากับ 25.87 \pm 15.75 dpm/cm² และให้ก่า steady-state depositional flux ²¹⁰Pb อยู่ในช่วง 0.136 - 0.801 dpm/cm²/yr. โดยให้ก่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.323 \pm 0.279 dpm/cm²/yr.

6.2 การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำ คลองหลอด

พบว่าตัวอย่างดินตะกอนในตำแหน่งที่ 1, 2, 3 และ4 ของอ่างเก็บน้ำคลองหลอดให้ค่า กัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วงดังต่อไปนี้ 0.89-5.14,1.40-4.85, 0.90-4.77 และ1.07-1.40 dpm/g ตามลำดับ โดยให้ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ ที่ความลึกที่ผิว (0.0-1.0 เซนติเมตร) อยู่ในช่วง 0.81-4.85 dpm/g เมื่อนำมาค่าเฉลี่ย พบว่าให้ ค่าเฉลี่ย ที่ชั้นความลึกที่ผิว (0.0-1.0 เซนติเมตร) เท่ากับ 4.45 \pm 0.38 dpm/g ในขณะเดียวกันยังให้ค่า integrated inventory ²¹⁰Pb อยู่ในช่วง 0.80-9.30 dpm/cm² โดยกิดเป็น integrated inventory ²¹⁰Pb เฉลี่ย เท่ากับ 5.91 \pm 1.18 dpm/cm² และให้ค่า steady-state depositional flux ²¹⁰Pb อยู่ในช่วง 0.206-0.275 dpm/cm²/yr.หรือ ให้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.227 \pm 0.035 dpm/cm²/yr.

7. การศึกษาอัตราการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยามและอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

7.1 อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม จำนวน 5 ตำแหน่งให้ก่า อัตราการตกตะกอนอยู่ในช่วง 42.5–106.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี โดยให้ก่าอัตราการ ตกตะกอนเฉลี่ย เท่ากับ 67.2±24.1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ก่าอัตราการ ตกตะกอน (ที่ระดับผิว) อยู่ในช่วง 0.08-0.50 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย (ที่ กวามลึกผิวดิน) 0.26±0.18 เซนติเมตรต่อปี และให้ก่าอัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.03-0.07 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.05±0.01 เซนติเมตรต่อปี

7.2 อัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

อัตราการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำคลองหลอด จำนวน 4 ตำแหน่ง ให้ค่าอยู่ในช่วง 24.8-50.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี เมื่อนำค่าที่ได้มาหาอัตราการตกตะกอนเฉลี่ยของอ่างเก็บน้ำ กลองหลอด พบว่าให้ค่าอัตราการตกตะกอน เท่ากับ 36.6±12.1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี หรือ ให้ค่าอัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกผิวดิน) อยู่ในช่วง 0.04-0.08 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตรา การตกตะกอนเฉลี่ย (ที่ความลึกผิวดิน) 0.06±0.02 เซนติเมตรต่อปี และให้ค่าอัตราการตกตะกอน (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.02-0.04 เซนติเมตรต่อปี โดยมีอัตราการตกตะกอนเฉลี่ย (ที่ความลึกสุดท้าย) 0.03±0.01 เซนติเมตรต่อปี

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. **สถิติสำหรับงานวิจัย.** ครั้งที่พิมพ์ 1. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- งนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, ฟูเกียรติ สินาคม, มณฑา ปุณณชัยยะ, บุญสม พรเทพเกษมสันต์ และ ปฐม แหยมเกตุ. 2537. การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาอัตราการทับถมงองตะกอนในอ่าวไทยโดยวิธี Pb-210 กัมมันตรังสี, เลงหน้าไม่เรียงลำดับ. ใน รายงานการสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเล แห่งชาติ ครั้งที่5. คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ วิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- มุกดา จิรภูมิมินทร์. **เกมีวิเกราะห์ปริมาณ เล่ม 1**. พิมพ์กรั้งที่ 2. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรม การเกษตรแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขต กำแพงแสน
- วิชา นิยม, มลฑล จำเริญพฤกษ์ สมภัทร คลังทรัพย์ และสุเทพ จันทร์เขียว. 2545. ประสิทธิภาพ ของระบบวนเกษตรรูปแบบต่างๆ ต่อการอนุรักษ์ดิน ธาตุอาหาร และน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. (เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์)
- อินทิรา หาญพงษ์พันธ์. 2538. <mark>เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิควกรรมศาสตร์.</mark> จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อรดี แจ่มอุลิตรัตน์. 2547. วิ<mark>ธีการตรวจวิเคราะห์ปรอท และแคดเมียม ในดินตะกอนจากอ่าวไทย.</mark> วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Alloway, B.J., D.C. Ayres. 1993. Chemical principles of Environmental Pollution. Blackie Academic and Professional.

Alvisi, F., and M. Frignani. 1996. ²¹⁰Pb-derived sediment accumulation rates for the central Adriatic Sea and crater lakes Albano and Nemi (central Italy). Mem. 1st. ital. Idrobiol. 55: 303-320.

Arizona. 2006. Lead-210. Available Source: http://www.geo.urizona.edu, March 20, 2006.

- Ballestra, S., J.J. Lopez, J. Gastaud, P. Parsi, D. Vas and V. Noshkin. 1991. Intercomparison of radionuclide measurements in marine sediment sample IAEA-368. Marine Environment Labortory, Monaco.
- Ballestra, S., J. Gastaud, P. Parsi and D. Vas. 1996. Intercomparison of radionuclide measurements on marine sediment IAEA-315. Marine Environment Labortory, Monaco.
- Carpenter, R. 1993. Recommended procedure for separation of Pb-210 in environmental sea sediment. Bangkok.
- Carroll, J., M. Williamson, I. Lerche, E. Karabanov and D.F. Williams. 1999. Geochronology of lake baikal from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs radioisotopes. **Applied Radiation and Isotopes** 50: 1105-1119.
- Chen, M., and Q.M. Lena. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Frorida soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65: 491-499.
- Cutshall, N.H., I.L. Larsen and C.R. Olsen. 1983. Direct analysis of ²¹⁰Pb in sediment samples: self-absorption corrections. **Nuclear Instruments and Methods** 206: 309-312.
- Eakins, J.D. and R.T. Morriison. 1978. A new procedure for the determination of leadin Lake and marine sediments. Interantional Journal of Applied Radiation and
 Isotopes 29: 531-536.

Faure, G. 1986. Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, Newyork.

- Fernando, P.C. 1995. ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in sediments and suspended matter in the Tagus estuary,
 Portugal. Logal enhancement of natural levels by wastes from phosphate ore processing industry. The Science of the Total Environment 159: 201-214.
- Fleer, A.P. and M.P. Bacon. 1984. Determination of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in seawater and marine particulate matter. Nuclear Instruments and methods in Physics Research 223: 243-249.
- Flynn, W.W. 1968. The Determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. Analytica Chimica Acta 43: 221-227.
- Flynn, W.W. 1968. The Determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. Analytica Chimica Acta 43: 221-227. Cited A.A. Smales, L. Airey, J. Woodward, D. Mapper A.E.R.E. and Harwell. Report AERE C/R 2223.
- Flynn, W.W. 1968. The Determination of low levels of polonium-210 in environmental materials. Analytica Chimica Acta 43: 221-227. Cited W.A. Schell and A. Nevissi. 1983. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. I.A.E.A., Vienna.

Goldberg, E.D. 1963. Geochonology with lead-210. University of California, La Jolla, Calif.

Hamilton, T.F. and J.D. Smith. 1986. Improved alpha energy resolution for the determination of polonium isotopes by alpha-spectrometry. Applied Radiation Isotope 37: 628-630.

Heijnis, H. n.d. The principle of ²¹⁰Pb dating of sediments. Enironment, Ansto.

Huh, C.A., K.S. Chu, C.L. Wei and P.M. Liew. 1996. Lead-210 and plutonium fallout in Taiwan as recorded at a suapine lake. Journal of Southeast Asian Earth Sciences 14: 373-

- Hussain, N., G. Kim, T.M. Church and w. Carey. 1995. A Simplified technique for gammaspectrometric analysis of ²¹⁰Pb in sediment samples. **Applied Radiation Isotopes.** 47: 473-477.
- Ivanovich, M. and R.S. Harmon. 1982. Uranium Series Disequilibrium Applipications to Environmental Problems. Oxford University Press, Great Britain.
- Kokot, S., G. King, H.R. Keller and D.L. Massart. 1992. Microwave digestion: an analysis of procedures. Analytica Chimica Acta 259: 267-279.
- Kackstaetter, U.R., and G. Heinrichs. 1997. Validity of low cost laboratory geochemistry for environmental applications. **Water Air Soil Pollution** 95: 119-131.
- Kumar, U.S., S.V. Navada, S.M. Rao, Rm. P. Nachiappan, B. Kumar, T. M. Krishnamoorthy, and V.K. Shukla. 1999. Determination of recent sedimentation rates and pattern in lake Naini , India by ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating techniques. Applied Radiation and Isotopes 51: 97-105.
- Krause, P., B. Erbsloh, R. Niedergesab, R. Pepelink and A. Prange. 1995. Comparative study of different digestion procedures using supplementary analytical methods for multielementscreening of more than 50 elements in sediments of the river Elbe. Fres. J. Anal. Chem. 353: 3-11.
- Kunzendorf, H. 1996. A practical approach for self-absorption correction in ²¹⁰pb gammaspectrometric dating. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles 204: 23-31.

- Lewis, R.C., K.H. Coale, B. D. Edwards, M. Marot, N.J. Douglas and E.J. Burton. 2002. Accmulation rate and mixing of shelf sediments in the Monterery Bay National Marine Sanctuary. Marine Geology 181: 157-169.
- Milestone. 1992. Mls-1200 Mega Microwave Digestion System with Mdr Technology Operator Manual. Fatebenefratelli, Sorisole, Italy.
- Moser, R.N. 1993. A Comparison of methods for the determination of the dating-nuclides ²¹⁰Pb and ²²⁶Ra. Journal of Radioanalitical and Nuclear Chemistry Articles 173: 283-292.
- Nadkarni, R.A. 1984. Applications of microwave oven sample dissolution in analysis. Anal. Chem. 56: 2233-2237.
- Nevissi, A.E. 1991. Measurement of lead-210, Bismuth-210, and Plonium-210 in environmental samples. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Aricle 148: 121-131.
- Nieuwenhuize, J., C.H. Poley-Vos, A.H. Akker and W.V. Delft. 1991. Coparison of microwave and convensional extraction techniques for the determination metals in soils, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. **Analyst** 116: 347-351.
- Nittrouer, C.A., R.W. Stenberg, R. Carpenter, and J.T. Bennett. 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool. Application to the Washington Continental Shelf. Marine Geology 31: 297-316.
- Nozaki, Y. and S. Tsunogai. 1973. A Simultaneous determination of lead-210 and polonium-210 in sea water. Analytica Chimica Acta 64: 209-216.
- Ortec. 2003. Ortec soloist alpha spectrometer. Dual Alpha Spectrometer. Available Source: http://www.ortec-online.com/soloist.html, June 11, 2003.

- Ozestuaries. 2006. Lead-210. Available Source: http://www. Ozestuaries.org, October 14, 2005.
- Panayotou, K. 2002. Use of lead-210 dating to identify recent sedimentation in estuaries: case study of Minnamurra river estuary. Coast to Coast 342-345.

Phy. 2006. Lead-210. Available Source: http://www.phy.jyk.fi, April 8, 2006.

- Ryss, I.G. 1956. The chemistry of fluorine and its compounds. **Technical and Chemical** Literature, Moscow.
- Sandroni, V., C.M.M. Smith and A. Donovan. 2003. Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. **Talnta** 60: 715-723.
- Sandroni, V., C.M.M. Smith and A. Donovan. 2003. Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. **Talnta** 60: 715-723. Cited M.

Bettineli, G.M. Beone, S. Spezia and C. Baffi. Anal. Chim. Acta. 424: 289.

- Sandroni, V., C.M.M. Smith and A. Donovan. 2003. Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. Talnta 60: 715-723. Cited Q. Jin, F. Liang, H. Zhang, L. Zhao, Y. Huan and D. Song. Anal. Chem. 18: 479-484.
- Sandroni, V., C.M.M. Smith and A. Donovan. 2003. Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. Talnta 60: 715-723. Cited A. Robache, F. Mathe, J.C. Galloo and R. Guillermo. Analyst 125: 1855.
- Sandroni, V., C.M.M. Smith and A. Donovan. 2003. Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. Talnta 60: 715-723. Cited E. Veschetti, D. Cutilli, A. Santarsiero and M. Ottaviani. Microchem. J. 67: 171-179.

- Smith, J.D. and T.F. Hamilton. 1984. Improved tecnique for recovery and measurement of polonium-210 from environmental materials. Analytica Chimica Acta 160: 69-77.
- Smith, J.N., K.M. Ellis, K. Naes, S. Dahle and D. Matishov. 1995. Sedimentation and mixing rates of radionuclides in Barents sea sediments of f Novaya Zemlya. Deep-Sea
 Research II 42: 1471-1493.
- Srisuksawad, K., B. Porntepkasemsan, S. Nouchpramool, P. Yamkate, R. Capenter, M. L. Peterson and T. Hamilton. 1997. Radionuclide activities, geochemisty, and accumulation rates of sediments in the gulf of Thailand. Continental Shelf Research 17: 925-965.
- Subramanian, V., R. Sitasaward, and L.U. Joshi. 1985. Rate of sediment in the Yamuna river around Delhi using the ²²⁶Ra- ²¹⁰Pb method. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles 90/2: 271-276.
- Thermolyne. 1996. Nuova II Stiring Hot Plate Operation Manual. Barnstead Thermolyne, LA, USA.
- Walling, D.E., A.L. Collins and H.M. Sichingabula. 2003. Using unsupported lead-210 measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambian catchment. Geomorphology 52: 193-213.
- Wu, S., Y. Zhao, X. Feng and A. Wittmeier. 1996. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry for total metal determination in silicon-containing solid samples using the microwave assisted nitric acid-hydrofluoric acid-hydrogen peroxide-boric acid digestion system. J. Anal. At. Spect. 11: 287-296.
- Xiang, L., X.X. Lu, D.L. Higgitt and S.M. Wang. 2002. Recent lake sedimentation in the middle and lower Yangtze basin inferred from ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb measurements. Journal of Asian

Earth Sciences 21: 77-86.

Yamamoto, M., T. Abe, J. Kuwabara, k. Komura, K. Ueno, and Y. Takizawa. 1994. Polunium-210 and lead-210 in marine organisms: intake levels for Jananese. Journal of
Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles 178: 81-90.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์การแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน



<u>ภาพผนวกที่ ก1</u> ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ยึดแผ่นเงิน



<u>ภาพผนวกที่ ก2</u> ลักษณะของแผ่นเงินที่ใช้สำหรับแยกพอโลเนียม-210

ภาคผนวก ข

ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแอลฟา

ประสิทธิภาพของหัววัดกัมมันตภาพรังสีแอลฟา ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน ทั้งหมด 16 หัววัด ในแต่ละหัววัดปรับเทียบด้วยสารมาตรฐาน ทอเรียม-230 (Th-230) ที่มีก่ากัมมันตภาพรังสี เริ่มต้น เท่ากับ 3820±191 dpm ณ วันที่ 9 ธันวากม 2520

หัววัด	ค่ากัมมันตภาพรังสีที่แท้งริง (เบิ๋กเกอเรล)	ค่ากัมมันตภาพรังสีที่วัดได้ (เบ็กเกอเรล)	ประสิทธิภาพของหัววัด (เปอร์เช็นต์)
1	63.67	15.39	24.2
2	63.67	15.58	24.5
3	63.67	16.28	25.6
4	63.67	15.98	25.1
5	63.67	14.87	23.4
6	63.67	14.69	23.1
7	63.67	16.06	25.2
8	63.67	15.08	23.7
9	63.67	15.45	24.3
10	63.67	16.53	26.0
11	63.67	17.68	27.8
12	63.67	19.63	30.8
13	63.67	18.40	28.9
14	63.67	12.24	19.2
15	63.67	17.05	26.8
16	63.67	13.63	21.4

<u>ตารางผนวกที่ ข1</u> ประสิทธิภาพของหัววัดกัมมันตภาพรังสีแอลฟา

ภาคผนวก ค

ปัจจัยที่เหมาะสมของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า บนแผ่นเงิน

<u>ตารางผนวกที่ ค1</u> การทดสอบปัจจัยของอุณหภูมิและระยะเวลาในการแยกพอโลเนียม-210

	Type III Sum					Noncent.	Observed			
Source	of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Parameter	Power ^a			
Corrected Model	22571.392 ^b	23	981.365	85.289	.000	1961.640	1.000			
Intercept	157332.451	1	157332.451	13673.486	.000	13673.486	1.000			
hour	19987.513	5	3997.503	347.416	.000	1737.080	1.000			
temp	1500.363	3	500.121	43.465	.000	130.394	1.000			
hour * temp	1083.517	15	72.234	6.278	.000	94.167	1.000			
Error	552.307	48	11.506							
Total	180456.150	72								
Corrected Total	23123.699	71								

Tests of Between-Subjects Effects

a. Computed using alpha = .05

.

b. R Squared = .976 (Adjusted R Squared = .965)

สมมติฐานที่ 1

Ho จำนวนชั่วโมงไม่ทำให้ผลผลิตต่างกัน

H1 จำนวนชั่วโมงทำให้ผลผลิตต่างกัน

ค่า sig = .00 < .05 จึงปฏิเสธ Ho นั่นคือ จำนวนชั่วโมงทำให้ผลผลิตต่างกัน

สมมติฐานที่ 2

Ho อุณหภูมิไม่ทำให้ผลผลิตต่างกัน

H1 อุณหภูมิทำให้ผลผลิตต่างกัน

้ ก่า sig = .00 < .05 จึงปฏิเสธ Ho นั่นคือ อุณหภูมิทำให้ผลผลิตต่างกัน

สมมติฐานที่ 3

Ho ชั่วโมงกับอุณหภูมิไม่มีอิทธิพลร่วมกันผลผลิต

H1 ชั่วโมงกับอุณหภูมิมีอิทธิพลร่วมกันผลผลิต

ค่า sig = .00 < .05 จึงปฏิเสช Ho นั่นคือ ชั่วโมงกับอุณหภูมิมีอิทธิพลร่วมกันผลผลิต

<u>ตารางผนวกที่ ค2</u> การทดสอบปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนของแผ่นเงินที่แตกต่างกัน

ANOVA

Po210					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.416	2	.708	43.969	.000
Within Groups	.097	6	.016		
Total	1.513	8			

Ho : pol210 เฉลี่ยของแต่ละรอบความเร็วไม่แตกต่างกัน

H1 : pol210 เฉลี่ยต่างกันอย่างน้อย 2 รอบความเร็ว

สรุป ค่า sig = .000 น้อยกว่า .05 จึงปฏิเสธ Ho นั้นคือ Po-210 เฉลี่ยต่างกันอย่างน้อย 2 ช่วง ความเร็ว

<u>ตารางผนวกที่ ค3</u> การทดสอบปัจจัยของความเร็วรอบการหมุนที่แตกต่างกันต่อค่าผลิตผลของ พอโลเนียม-210

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Po210

LSD

		Mean				
		Difference			95% Confide	ence Interval
(I) round	(J) round	(I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
4	5	971333*	.103611	.000	-1.22486	71781
	6	506000*	.103611	.003	75953	25247
5	4	.971333*	.103611	.000	.71781	1.22486
	6	.465333*	.103611	.004	.21181	.71886
6	4	.506000*	.103611	.003	.25247	.75953
	5	465333*	.103611	.004	71886	21181

 $^{*}\cdot$ The mean difference is significant at the .05 level.

จากตารางที่ 4 และ5 จะพบว่าค่า sig=0.000 < 0.05 นั้นคือปฏิเสธ H₀ จึงถือได้ว่าปริมาณพอโลเนียม-210 ที่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนแผ่นเงิน <u>ตารางผนวกที่ ค4</u> การทดสอบปัจจัยของค่าความเป็นกรดด่างที่มีต่อค่าผลิตผลของพอโลเนียม-210

Multiple Comparisons

Dependent Variable: pol210

LSD

		Mean			95% Confide	ence Interval
(l) ph	(.l) ph	(II)	Std Error	Sia	Lower Bound	Upper Bound
0.5	1.0	.272333*	.088470	.010	.07957	.46509
	1.5	.403000*	.088470	.001	.21024	.59576
	2.0	.467000*	.088470	.000	.27424	.65976
	2.5	.887000*	.088470	.000	.69424	1.07976
	3.0	1.730000*	.088470	.000	1.53724	1.92276
1.0	0.5	272333*	.088470	.010	46509	07957
	1.5	.130667	.088470	.165	06209	.32343
	2.0	.194667*	.088470	.048	.00191	.38743
	2.5	.614667*	.088470	.000	.42191	.80743
	3.0	1.457667*	.088470	.000	1.26491	1.65043
1.5	0.5	403000*	.088470	.001	59576	21024
	1.0	130667	.088470	.165	32343	.06209
	2.0	.064000	.088470	.483	12876	.25676
	2.5	.484000*	.088470	.000	.29124	.67676
	3.0	1.327000*	.088470	.000	1.13424	1.51976
2.0	0.5	467000*	.088470	.000	65976	27424
	1.0	194667*	.088470	.048	38743	00191
	1.5	064000	.088470	.483	25676	.12876
	2.5	.420000*	.088470	.000	.22724	.61276
	3.0	1.263000*	.088470	.000	1.07024	1.45576
2.5	0.5	887000*	.088470	.000	-1.07976	69424
	1.0	614667*	.088470	.000	80743	42191
	1.5	484000*	.088470	.000	67676	29124
	2.0	420000*	.088470	.000	61276	22724
	3.0	.843000*	.088470	.000	.65024	1.03576
3.0	0.5	-1.730000*	.088470	.000	-1.92276	-1.53724
	1.0	-1.457667*	.088470	.000	-1.65043	-1.26491
	1.5	-1.327000*	.088470	.000	-1.51976	-1.13424
	2.0	-1.263000*	.088470	.000	-1.45576	-1.07024
	2.5	843000*	.088470	.000	-1.03576	65024

 $^{*}\cdot$ The mean difference is significant at the .05 level.

<u>ตารางผนวกที่ ค5</u> การทดสอบปัจจัยของระยะเวลาที่มีต่อค่าผลิตผลของพอโลเนียม-210

Multiple Comparisons

Dependent Variable: dpm

LSD

		Mean Difference			95% Confide	ence Interval
(I) hour	(J) hour	(I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
2	4	-1.308000*	.143462	.000	-1.63882	97718
	6	-1.302000*	.143462	.000	-1.63282	97118
	8	-1.094667*	.143462	.000	-1.42549	76384
4	2	1.308000*	.143462	.000	.97718	1.63882
	6	.006000	.143462	.968	32482	.33682
	8	.213333	.143462	.175	11749	.54416
6	2	1.302000*	.143462	.000	.97118	1.63282
	4	006000	.143462	.968	33682	.32482
	8	.207333	.143462	.186	12349	.53816
8	2	1.094667*	.143462	.000	.76384	1.42549
	4	213333	.143462	.175	54416	.11749
	6	207333	.143462	.186	53816	.12349

 $^{*}\cdot$ The mean difference is significant at the .05 level.

ภาคผนวก ง

การทดสอบค่าความถูกต้อง และความแม่นยำของการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่น

เงิน

<u>การทดสอบค่าความถูกต้องของวิธีการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้า บน แผ่นเงิน โดยใช้</u> <u>สถิติ t-test</u>

สมมติฐานเพื่อการทคสอบ คือ

H_o : ค่า % recovery yield ของพอโลเนียม-209 เท่ากับ 5.539 dpm

H₁: ค่า % recovery yield ของพอโลเนียม-209 ไม่เท่ากับ 5.539 dpm

การทดสอบโดยใช้ค่าวิกฤติจากตาราง t

กำหนดระดับนัยสำคัญ ${\rm C}=0.05$

สถิติทดสอบ	t	_	$\overline{x} - a$
UTIMINATION	ι	—	\overline{s}/\sqrt{n}

$$t = \frac{5.138 - 5.539}{0.304/\sqrt{3}}$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า t < t.

ตารางที่ 3 ความน่าจะเป็นแบบที

Degrees t.995 t.85 t.90 t.95 t.975 t.99 $t_{.60}$ t.65 t.70 t.75 $t_{.80}$ t.55 of Freedom 12.7 31.8 63.7 1.38 1.96 3.08 6.31 1 .158 .325 .510 .727 1.00 4.30 6.96 9.92 .445 .816 1.06 1.39 1.89 2.92 .142 289 .617 2 4.54 5.84 2.35 3.18 3 .277 .424 .584 .765 .978 1.25 1.64 .137 2.78 3.75 4.60 .271 .569 .741 .941 1.19 1.53 2.13 .414 4 .134 2.02 3.36 4.03 1.48 2:57 .408 .559 .727 .920 1.16 5 .132 .267 .404 .906 1.13 1.44 1.94 2.45 3.14 3.71 .553 .718 6 .265 .131 3.00 3.50 1.89 2.36 7 .130 .263 .402 .549 .711 .896 1.12 1.41 2.90 3.36 .889 1.40 1.86 2.31 .546 .706 1.11 8 .262 .399 .130 3.25 .398 .543 .703 .883 1.10 1.38 1.83 2.26 2.82 9 .129 .261 3.17 .397 .542 .700 .879 1.09 1.37 1.81 2.23 2.76 10 .129 .260 2.20 2.72 11 .129 .260 .396 .540 .697 .876 1.09 1.36 1.80 3.11 .873 1.08 1.36 1.78 2.18 2.68 3.05 .395 .539 .695 12 .128 .259 .870 1.08 1.35 1.77 2.16 2.65 3.01 13 .128 .259 .394 .538 .694 2.62 2.98 1.08 1.35 1.76 2.14 .692 .868 14 .128 .258 .393 .537 .128 .258 .393 .536 .691 .866 1.07 1.34 1.75 2.13 2.60 2.95 15 2.58 2.92 2.12 1.07 1.34 1.75 16 .128 .258 .392 .535 .690 .865 1.74 2.11 2.57 2.90 .392 .534 .689 .863 1.07 1.33 17 .128 .257 2.10 2.55 2.88 18 .127 .257 .392 .534 .688 .862 1.07 1.33 1.73 2.09 2.54 2.86 .391 .533 .688 .861 1.07 1.33 1.73 .127 .257 19 2.09 2.53 2.85 20 .127 .257 .391 .533 .687 .860 1.06 1.33 1.72 .859 1.06 1.32 1.72 2.08 2.52 2.83 21 .257 .391 .532 .686 .127 2.82 2.51 22 .127 .256 .390 .532 .686 .858 1.06 1.32 1.72 2.07 .685 .858 1.06 1.32 1.71 2.07 2.50 2.81 .390 .532 23 .256 .127 2.49 2.80 24 .127 .256 .390 .531 .685 .857 1.06 1.32 1.71 2.06 .856 1.06 1.32 1.71 2.06 2.49 2.79 .684 25 .256 .390 .531 .127 2.48 .531 .684 .856 1.06 1.31 1.71 2.06 2.78 26 .127 .256 .390 1.31 1.70 2.05 2.47 2.77 .855 1.06 27 .127 .256 .389 .531 .684 .683 .855 1.06 1.31 1.70 2.05 2.47 2.76 28 .127 .256 .389 .530 1.31 1.70 2.05 2.46 2.76 .389 .530 .683 .854 1.06 29 .127 .256 .389 .530 .683 .854 1.05 1.31 1.70 2.04 2.46 2.75 30 .127 .256 385 524 .674 .842 1.04 1.28 1.64 1.96 2.33 2.58 126 .253 œ

ตัวเลขในตารางเป็นค่าของ $t_{1-\alpha}$ ซึ่งทำให้ p[T < $t_{1-\alpha}$]=1-lpha ตามค่า lpha ที่ระบุไว้

Note : For the lower percentiles, use the relation $t_{\alpha} = -t_{1-\alpha}$. In particular, $t_{.50} = -t_{.50} = 0$. For example, degrees of freedom, $t_{.35} = -t_{.65} = -.404$

<u>ภาพผนวกที่ ง1</u> ค่าความน่าจะเป็นแบบที ที่มา: กัลยา (2548) ภาคผนวก จ

การย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วย วิธีไมโครเวฟ กับ วิธีเตาความร้อน

<u>การทดสอบความแตกต่างของวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอน ด้วยวิธีไมโครเวฟ กับ วิธีเตาความ</u> <u>ร้อน ด้วย สถิติ T-Test</u>

สมมติฐานเพื่อการทคสอบวิธีการย่อยด้วยไมโครเวฟด้วยกรดแตกต่างกันกับวิธีการย่อยด้วยเตา กวามร้อนโดยย่อยด้วยกรดไนตริก, กรดเปอร์กลอริก และกรดไฮโดรกลอริก

H_o : ค่ากัมมันตภาพรังสีของพอโลเนียม-210 เท่ากับ 5.62 dpm/g H_i : ค่า % recovery yield ของพอโลเนียม-210 ไม่เท่ากับ 5.62 dpm/g การทดสอบโดยใช้ค่าวิกฤติจากตาราง t

กำหนดระดับนัยสำคัญที่ ${f lpha}$ = 0.05

สถิติทคสอบ	t	=	$\frac{\overline{x} - a}{s / \sqrt{n}}$
	t	=	$\frac{5.72 - 5.62}{0.22/\sqrt{3}}$
	t	=	0.75

<u>ตารางผนวกที่ จ1</u> ผลการคำนวณหาค่า t ของการย่อยด้วยวิธีไมโครเวฟเปรียบเทียบกับวิธีการย่อย ด้วยเตาความร้อน

วิธี	กรด	ส่วนผสม	t	t _c
ไมโครเวฟ	HNO ₃	10	0.75	4.30
ไมโครเวฟ	HF-HNO ₃	3:7	1.62	4.30
ไมโครเวฟ	HClO ₄ -HNO ₃ -H ₂ O ₂	0.2:6:0.2	1.57	4.30

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบการใช้ได้ของวิธีการแยกพอโลเนียม-210 โดยวิธีเคมีไฟฟ้าบนแผ่นเงิน ด้วยดินตะกอน มาตรฐาน

<u>ตารางผนวกที่ ฉ1</u> การทดสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอน โดยวิธีไมโครเวฟ กับ วิธีเตาความร้อนด้วยดินตะกอนมาตรฐาน IAEA368

Levene's Test for Equality of Variances			t-test for Equality of Means							
							Mean	Std. Error	95% Confide of the Di	ence Interval ifference
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Difference	Difference	Lower	Upper
ค่ากัมมันตภาพรังสี ^เ เพาะ	Equal variances assumed	.429	.537	276	6	.792	00500	.01814	04939	.03939
	Equal variances no assumed			276	5.330	.793	00500	.01814	05078	.04078

Independent Samples Test

สมมติฐาน H0 ค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน

H1 ค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มไม่เท่ากัน

้ค่า sig = .537 ซึ่งมากกว่า .05 จึงยอมรับ Ho นั่นคือค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากัน

สมมติฐาน Ho ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

H1 ค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน

ค่า sig = .792 มากกว่า .05 คังนั้นยอมรับ Ho สรุปคือ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

<u>ตารางผนวกที่ ฉ2</u> การทดสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่างดินตะกอนด้วยดินตะกอน มาตรฐาน IAEA315

		Test Value = 1.81								
					95% Confidence Interval of the Difference					
				Mean						
	t	df	Sig. (2-tailed)	Difference	Lower	Upper				
dpm	-9.215	2	.012	43333	6357	2310				

สมมมติฐาน Ho ค่าเฉลี่ย dpm = 1.81

H1 ค่าเฉลี่ย ไม่เท่ากับ 1.81

สรุป เป็นการทคสอบสมมติฐาน 2 ทาง ค่า sig = 0.012 ซึ่งน้อยกว่าระคับนัยสำคัญ 0.05 จึง ปฏิเสธ Ho นั่นคือ ค่า dpm ไม่เท่ากับ 1.81 หรือ ความถูกต้องไม่อยู่ในช่วง 95 % ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอนของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

Depth	Porosity	Porosity Cumulative (%) mass (g/cm ²)	Total ²¹⁰ Po (plate date)	Excess ²¹⁰ Pb			Age
(cm) (%	(%)			(collect date) dpm/g	±s.d	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	96.1	0.03	18.80	18.06	1.68	0.60	0.8
1-2	94.6	0.14	18.17	17.42	1.40	2.4	3.2
2-3	92.4	0.28	12.85	12.09	2.39	4.5	6.6
3-4	89.3	0.48	18.25	17.50	3.05	7.5	11.3
4-5	84.6	0.77	9.77	9.00	1.25	11.3	18.1
5-6	80.0	1.16	5.40	4.61	1.43	14.0	27.2
6-7	88.1	1.51	8.01	7.23	1.22	16.0	35.5
7-8	88.0	1.77	7.26	6.48	1.56	17.9	41.7
8-9	71.6	2.21	3.95	3.16	1.20	20.0	52.1
9-10	50.9	3.07	1.44	0.64	0.42		
10-11	46.7	4.19	0.80	0.00	0.24		
11-12	45.1	5.38	0.81	0.01	0.23		
12-13	44.6	6.60	0.87	0.07	0.27		
13-14	45.2	7.81	0.94	0.14	0.28		
14-15	45.6	9.01	0.91	0.11	0.27		
15-16	44.6	10.22	0.74	-0.06	0.26		
16-17	44.7	11.44	1.03	0.23	0.30		
17-18	43.9	12.66	0.85	0.05	0.25		
18-19	43.5	13.90	1.02	0.22	0.31		
19-20	42.7	15.15	0.65	-0.15	0.19		
20-21	43.4	16.40	0.60	-0.20	0.18		
21-22	40.5	17.68	0.56	-0.24	0.17		

<u>ตารางผนวกที่ ช1</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ตำแหน่งที่ 1 ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

Depth (cm)	Porosity (%)	Cumulative mass (g/cm ²)	Total ²¹⁰ Po (plate date)	Excess ²¹⁰ Pb			Age
				(collect date) dpm/g	±S.D	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	77.3	0.23	16.66	16.15	0.45	2.7	1.6
1-2	73.1	0.77	13.06	12.48	0.43	9.5	6.0
2-3	62.5	1.48	10.39	9.76	0.45	16.5	11.9
3-4	62.7	2.30	8.54	7.89	0.39	23.3	19.1
4-5	60.5	3.15	7.64	6.96	0.40	30.0	27.5
5-6	62.7	3.99	6.78	6.08	0.45	36.5	36.8
6-7	59.1	4.85	7.26	6.57	0.33	43.4	47.0
7-8	50.3	5.85	3.07	2.31	0.54	48.5	57.9
8-9	39.7	7.06	2.19	1.41	0.40	50.8	69.4
9-10	40.6	8.38	2.40	1.62	0.45		
10-11	34.9	9.74	1.77	0.99	0.33		
11-12	34.0	11.19	1.92	1.14	0.33		
12-13	30.0	12.68	1.37	0.58	0.26		
13-14	32.7	14.19	1.11	0.32	0.19		
14-15	32.7	15.67	0.72	-0.08	0.13		
15-16	32.4	17.16	0.75	-0.05	0.14		
16-17	30.6	18.66	0.66	-0.14	0.14		
17-18	33.6	20.16	0.67	-0.13	0.13		
18-19	27.7	21.68	0.68	-0.12	0.12		
19-20	28.6	23.26	0.42	-0.39	0.11		
20-21	18.2	24.95	0.26	-0.55	0.03		

<u>ตารางผนวกที่ ช2</u> ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 2 ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

Depth (cm)	Porosity (%)	Cumulative mass (g/cm ²)	Total ²¹⁰ Po (plate date)	Excess ²¹⁰ Pb			Age
				(collect date) dpm/g	±s.d	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	87.8	0.09	13.55	12.97	2.38	1.2	1.4
1-2	79.7	0.45	9.82	9.17	1.60	5.1	6.9
2-3	74.6	0.95	7.18	6.49	1.25	9.1	14.6
3-4	72.5	1.53	6.15	5.44	1.03	12.5	23.5
4-5	71.7	2.15	5.56	4.84	0.99	15.7	32.8
5-6	72.0	2.76	5.68	4.96	0.93	18.7	42.3
6-7	54.1	3.58	3.04	2.28	0.51	21.7	54.8
7-8	55.0	4.58	4.07	3.33	0.77	24.5	70.1
8-9	51.3	5.61	4.17	3.43	0.73	28.0	85.8
9-10	49.4	6.70	0.91	0.12	0.17	29.9	102.6
10-11	45.2	7.86	2.09	1.31	0.36		
11-12	43.0	9.09	1.68	0.89	0.30		
12-13	40.3	10.38	1.38	0.59	0.24		
13-14	39.4	11.70	1.02	0.22	0.18		
14-15	39.3	13.03	0.89	0.09	0.16		
15-16	38.5	14.38	0.84	0.04	0.15		
16-17	38.5	15.73	1.04	0.25	0.18		
17-18	37.4	17.10	0.88	0.09	0.16		
18-19	36.5	18.48	0.80	0.00	0.14		
19-20	36.3	19.88	0.66	-0.15	0.11		
20-21	34.2	21.31	0.58	-0.22	0.10		

<u>ตารางผนวกที่ ช3</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 3 ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

Depth	Porosity	Cumulative	Total ²¹⁰ Po (plate date)	Excess ²¹⁰ Pb			Age
(cm)	(%)	mass (g/cm ²)		(collect date) dpm/g	±S.D	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	83.9	0.10	7.31	6.62	1.19	1.7	4.7
1-2	69.7	0.61	3.41	2.65	0.61	4.8	16.6
2-3	59.5	1.39	2.08	1.31	0.38	6.4	31.2
3-4	52.4	2.36	1.71	0.92	0.29	7.4	47.8
4-5	49.9	3.43	1.48	0.69	0.28	8.2	65.9
5-6	50.9	4.52	1.22	0.43	0.22	8.8	85.3
6-7	48.6	5.63	1.08	0.29	0.18	9.2	105.6
7-8	44.4	6.81	1.27	0.48	0.23		
8-9	45.2	8.02	1.03	0.24	0.17		
9-10	46.4	9.21	1.09	0.30	0.20		
10-11	43.2	10.43	0.97	0.18	0.17		
11-12	42.7	11.68	1.06	0.27	0.20		
12-13	36.7	13.01	0.99	0.19	0.17		

<u>ตารางผนวกที่ ช4</u> ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 4 ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม
Depth	Porosity	Cumulative	Total ²¹⁰ Po	E	Excess ²¹⁰ Pb		
(cm)		mass (g/cm^2)	(plate date)	(collect date) dpm/g	±S.D	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	61.0	0.43	15.38	14.84	1.00	6.2	6.3
1-2	60.9	1.29	2.89	2.13	0.54	14.0	20.3
2-3	52.7	2.24	2.40	1.63	0.43	15.9	35.7
3-4	50.3	3.31	2.51	1.74	0.48	17.7	52.2
4-5	48.1	4.42	2.07	1.30	0.38	19.4	69.5
5-6	46.2	5.59	1.83	1.05	0.34		87.6
6-7	44.4	6.79	1.96	1.18	0.37		
7-8	42.2	8.04	2.04	1.26	0.38		
8-9	41.1	9.32	1.95	1.17	0.37		
9-10	40.9	10.62	1.71	0.92	0.33		
10-11	39.5	11.94	1.73	0.94	0.30		
11-12	39.0	13.27	1.77	0.98	0.30		
12-13	38.7	14.62	1.77	0.99	0.31		
13-14							
14-15	40.0	17.29	1.74	0.96	0.30		
15-16	38.9	18.62	1.79	1.01	0.31		
16-17	38.8	19.96	1.39	0.60	0.25		
17-18	36.4	21.34	1.15	0.36	0.21		

<u>ตารางผนวกที่ ชร</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 5 ของอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

Depth	Porosity	Cumulative	Total ²¹⁰ Po	Po Excess ²¹⁰ Pb			Age
(cm)	(%)	mass (g/cm ²)	(plate date)	(collect date) dpm/g	±s.d	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	77.8	0.19	5.14	4.42	0.85	1.0	7.8
1-2	68.0	0.79	5.20	4.48	1.05	4.1	32.5
2-3	57.9	1.60	3.15	2.39	0.54	7.4	65.5
3-4	45.0	2.67	1.28	0.49	0.23	9.0	104.1
4-5	41.0	3.92	0.85	0.06	0.14	9.3	146.2
5-6	39.1	5.24	0.89	0.09	0.16		
6-7	41.2	6.56	0.95	0.15	0.17		
7-8	38.3	7.88	1.10	0.31	0.20		
8-9	38.2	9.24	0.94	0.14	0.17		
9-10	39.4	10.59	0.77	-0.03	0.12		
10-11	32.1	12.00	0.93	0.14	0.12		

<u>ตารางผนวกที่ ช6</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 1 ของอ่างเก็บน้ำกลองหลอด

Depth	Porosity	Cumulative	Total ²¹⁰ Po	E	Excess ²¹⁰ Pb		Age
(cm)	(%)	mass (g/cm^2)	(plate date)	(collect date) dpm/g	±S.D	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	75.5	0.20	5.63	4.85	0.94	1.0	4.7
1-2	62.4	0.88	3.83	3.02	0.67	3.6	20.8
2-3	56.3	1.78	2.35	1.52	0.40	5.7	42.0
3-4	59.8	2.70	2.23	1.40	0.39	7.0	63.8
4-5	51.0	3.68	1.22	0.38	0.22		
5-6	45.4	4.82	1.16	0.31	0.21		
6-7	44.6	6.03	1.03	0.18	0.18		
7-8	42.4	7.27	0.97	0.12	0.17		
8-9	41.2	8.55	0.93	0.08	0.16		
9-10	41.8	9.84	1.05	0.20	0.18		
10-11	43.3	11.10	1.01	0.16	0.18		
11-12	45.4	12.33	1.06	0.21	0.19		
12-13	44.3	13.54	1.04	0.19	0.18		
13-14	43.3	14.78	0.95	0.10	0.16		

<u>ตารางผนวกที่ ช7</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 2 ของอ่างเก็บน้ำกลองหลอด

Depth	Porosity	Cumulative	Total ²¹⁰ Po	E	excess ²¹⁰ Pb		Age
(cm)	(%)	mass (g/cm ²)	(plate date)	(collect date) dpm/g	±s.d	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	62.3	0.31	4.77	4.09	0.90	1.3	6.2
1-2	44.0	1.34	2.87	2.18	0.59	4.5	26.4
2-3	39.5	2.63	0.90	0.20	0.18	6.0	51.6
3-4	37.0	3.98	0.74	0.04	0.17		
4-5	35.9	5.38	0.50	-0.02	0.14		
5-6	36.7	6.78	0.60	-0.10	0.19		
6-7	35.7	8.19	1.15	0.46	0.24		
7-8	34.4	9.61	0.53	-0.17	0.12		
8-9	34.4	11.06	0.61	-0.09	0.11		
9-10	34.2	12.50	0.58	-0.13	0.11		
10-11	35.6	13.93	0.62	-0.08	0.14		
11-12	35.4	15.35	0.59	-0.11	0.15		
12-13	35.4	16.77	0.64	-0.06	0.11		
13-14	35.0	18.20	0.60	-0.10	0.11		
14-15	36.7	19.61	0.69	-0.01	0.15		
15-16	36.3	21.01	1.21	0.51	0.26		
16-17	36.8	22.40	0.63	-0.07	0.12		
17-18	38.2	23.78	0.67	-0.03	0.12		
18-19	34.6	25.18	0.57	-0.13	0.10		
19-20	0.362	26.60	0.58	-0.12	0.10		
20-21	0.366	28.00	0.47	-0.23	0.10		

<u>ตารางผนวกที่ ช8</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 3 ของอ่างเก็บน้ำกลองหลอด

Depth	Porosity	Cumulative	Total ²¹⁰ Po	E	Excess ²¹⁰ Pb		Age
(cm)	(%)	mass (g/cm ²)	(plate date)	(collect date) dpm/g	±S.D	Inventory dpm/g	(yr)
0-1	71.1	0.17	1.40	0.81	0.25	0.1	6.8
1-2	44.0	1.10	0.85	0.25	0.17	0.6	44.4
2-3	42.7	2.35	0.61	0.01	0.12	0.8	94.6
3-4	46.3	3.57	1.36	0.77	0.28		
4-5	39.6	4.83	1.07	0.48	0.20		
5-6	31.5	6.24	0.71	0.11	0.14		
6-7	34.1	7.72	0.78	0.18	0.15		
7-8	34.7	9.16	0.74	0.14	0.15		
8-9	33.4	10.61	0.62	0.02	0.10		
9-10	31.2	12.10	0.57	-0.03	0.10		

<u>ตารางผนวกที่ ช9</u> ผลการวิเคราะห์ก่ากัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในตัวอย่างดินตะกอน ของตำแหน่งที่ 4 ของอ่างเก็บน้ำกลองหลอด

ภาคผนวก ซ

การศึกษาอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

<u>แสดงองค์ประกอบและคำอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับค่ากัมมันตภาพรังสีของ</u> <u>ตะกั่ว-210</u>



<u>ภาพผนวกที่ ซ1</u> การเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ตามชั้นความลึก ที่มา : Nittrouer *et al.*, (1979)

 Surface Mixing Layer (SML) คือ ส่วนผิวหน้าสุด ตะกอนบริเวณนี้จะถูกผสมผสานเป็น เนื้อเดียวกัน ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์และชีววิทยา ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในส่วนนี้จะมีก่ากงที่

 Region of Radioactive Decay ชั้นที่อยู่ลึกลงไป อิทธิพลของกระบวนการทางฟิสิกส์ และชีววิทยา จะไม่มีอีกต่อไป ดังนั้นตะกอนในบริเวณนี้จึงอยู่ในสภาพนิ่ง และจัดตัวอยู่กับที่ excess
Pb-210 กัมมันตรังสีจะสลายตัวด้วยก่ากรึ่งชีวิตของมัน ถ้าอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนมี ้ก่ากงที่ (steady state) ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ excess Pb-210 จะลดลงตามสเกล log ส่วนนี้ คือ ส่วนที่นำมากำนวณอัตราการตกตะกอนของดินตะกอน

 Back Ground Level เมื่อ excess Pb-210 กัมมันตภาพรังสีสลายตัวไปหมดในส่วนของ Region of Radioactive Decay แล้ว ในเนื้อดินจะยังคงเหลืออยู่เพียง supported Pb-210 ซึ่งเป็น กัมมันตรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 เท่านั้น และอยู่ในสภาพสมดุล ดังนั้น ปริมาณ กัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในส่วนนี้จึงมีค่าต่ำ และเป็นค่าคงที่หรือเรียกว่าเป็นค่าพื้นฐาน (background level)

<u>การคำนวณอัตราการตกตะกอนของดินตะกอนในอ่างเก็บนำ</u>

The necessary input information for the ²¹⁰Pb sedimentation rate determination are:

- 1) Dry sediment density, ρ_{sed} ; 2.5 and 2.8 g.cc⁻¹
- 2) Porewater salinity
- 3) Porewater density, ρ_{pw} ; dependent on salinity and temperature.
- 3) 210 Po activity (dpm g⁻¹) at selected depths down core.
- 4) Estimate of the mixed layer depth; usually obvious from the 210 Po activity profile.

5) Estimate of the depth at which there is only background or supported ^{210}Pb activity and the magnitude of this activity. Usually the depth at which ^{210}Po becomes constant, or determined from ^{238}U activity at the same depth.

The calculations are performed in the following order:

 First the porosity and salt correction factors for each core interval are determined from the wet and dry sediment weight measurements. A theoretical compaction profile is fit to the data an used an used for down core cumulative mass compactions if the fit meets the specified criteria. Otherwise an interpolation technique is used.

2) Next, selected core intervals (the porosity profile can be helpful in choosing the best sample set) are analyzed for their salt-free ²¹⁰Po content and decay correct back to date of core

collection,. This activity is equivalent to the ²¹⁰Pb activity on the collection date. Subtracting the supported ²¹⁰Pb activity yields the unsupported ²¹⁰Pb activity.

3) The ²¹⁰Pb activity versus mass accumulation profile is then used to determine the sedimentation rate.

4) Once the sedimentation rate is know, the ²¹⁰Pb activity versus depth profile in the SML is used to determine the surface sediment mixing coefficient.

5) The area under the ²¹⁰Pb versus mass accumulation profile is then integrated to give the ²¹⁰Pb inventory (dpm/cm⁻²)

6) Given the total inventory and the sedimentation rate, it is then possible to estimate the ²¹⁰Pb activity of the depositing particles, which is usually higher than the surface activity because of mixing near the sediment water interface.

<u>Porosity</u>

Porosity is defined as:

$$\phi = \frac{\text{volume of seawater}}{\text{volume of seawater} + \text{volume of sediment}}$$

Measuring the sediment wet and after drying gives the dry/wet ratio, R

$$\frac{\mathrm{dry}}{\mathrm{wet}} = R_{+ salt} = \frac{\mathrm{weight of dry solids}}{\mathrm{weight of dry solids plus water}}$$

It is still necessary to correct the dry weight for salt left behind from the pore water. Given the salinity, S, (% = parts per thousand) of the pore water the salt corrected dry/wet ratio is

$$g_{pw} = \frac{1 - R_{+salt}}{1 - s/1000} = \frac{\text{grams water/gram bulk sediment}}{\text{grams water/gram porewater}} = \frac{\text{grams porewater}}{\text{gram bulk sediment}}$$

and the salt free dry/wet ratios is

$$R_{-salt} = R_{+salt} - g_{pw}.S/1000$$

The total volumes, V, of dry, salt-free sediment and pore water per gram of bulk sediment are

$$V_{dry} = \frac{R_{-salt}}{\rho_{sed}} \text{ and } V_{pw} = \frac{g_{pw}}{\rho_{pw}}$$

giving $\phi = \frac{V_{pw}}{V_{dry} + V_{pw}}$

Other useful parameters which derive from the wet/dry ratio are the grams of salt-free dry sediment per cubic centimeter of bulk sediment (dry/bulk ratio) and the sea salt correction factor (SSCF)

$$\frac{dry}{bulk} = \frac{R_{-salt}}{V_{dry} + V_{pw}} \text{ and } SSCF = \frac{R_{+salt}}{R_{-salt}}$$

Any measurement that dependent on the weight of sediment analyzed (i.e. 210 Po dpm g⁻¹) must be corrected for the amount of salt present in the weighing progress.

Porosity profile determination

The porosity in a core should decrease with depth due to compaction and ideally would follow the relationship given by Athy (1930)

$$\phi(z) = \phi_{o.} e^{-\alpha.z}$$

Where ϕ_0 = average surface porosity, $\phi(z)$ = porosity at depth z, and α is a constant. To fit the porosity data to this equation, the porosity at final compaction, ϕ_{∞} is computed as the average of the three deepest porosity values and subtracted from each ϕ_z This allows for a better fit to the

curved portion of the porosity profile. The natural log of this equation is a linear equation with slope, α , and intercept, $\ln(\phi_0 - \phi_\infty)$

$$\phi(z) - \phi_{\infty} = (\phi_0 - \phi_{\infty}) \cdot e^{-\alpha \cdot z}$$
$$\ln(\phi(z) - \phi_{\infty}) = \ln(\phi_0 - \phi_{\infty}) - \alpha \cdot z$$

The porosity fitting routine first all the data and computes the r^2 value. If this value is greater that the requested fit the routine ends. Otherwise the deepest data point is omitted and a new r^2 computed. This process continues until the specified percentage the data has been omitted. If the r^2 criteria is met the fitted porosity profile is used for cumulative mass computation, otherwise an interpolation routine is fitted porosity profile is used for cumulative mass computation, otherwise an interpolation routine is fitted porosity profile is used for cumulative mass computation, otherwise otherwise an interpolation routine is fitted porosity profile is used for cumulative mass computation,

Cumulative mass

If the porosity as a function of depth is know then the cumulative mass to a depth z is

$$\int_{0}^{z} (1-\phi(z)) \cdot \rho_{sed} \cdot dz$$

$$m_{z} = \int_{0}^{\infty} (1 - ((\phi_{0} - \phi_{\infty}) \cdot e^{-\alpha \cdot z} + \phi_{\infty}) \cdot \rho_{sed} \cdot dz$$

$$m_{z} = \rho_{sed}\left[z - \frac{\phi_{0} - \phi_{x}}{\alpha} \cdot (e^{\alpha \cdot z} - 1) - \phi_{x} \cdot z\right]$$

If interpolation is used then the porosity at the sediment water interface is estimated by linearly extrapolating the porosity of the first two intervals to depth z=0

$$\phi_{0} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\phi_{1} - \phi_{2}}{z_{2} - z_{1}} \cdot \frac{z_{1}}{2} + 2x\phi_{1} \right]$$

giving the mass $(g \text{ cm}^{-2})$ to the mid-point of the first interval (z_1) as

$$m_1 = \left(1 - \left(\frac{\phi_0 + \phi_1}{2}\right) \cdot \rho_{sed} \cdot z_1\right)$$

The next *n* intervals from Z_1 to Z_n are then

$$m_n = \left(1 - \frac{(\phi_n + \phi_{n-1})}{2}\right) \cdot \rho_{sed} \cdot (Z_{n-1} - 1)$$

Calculation of ²¹⁰Po spike activity.

The activity of the Po spike solution must be corrected for decay from the spike was produced until the time when the sample is plated onto the silver disk. Given the initial activity A_o in dpm/µL at time production, t_o , the activity on the plate date, t, is simply.

$$A_{platedate} = A_{0} \cdot e^{-\lambda \cdot (t-t_{0})}$$

where λ the decay constant for either ²⁰⁸Po or ²⁰⁹Po. So the activity of the spike, A_{spike}, added to the sample is simply A_{plate date} x μ L spike solution added to the sample. The error in the spike activity is caused by the error in the certified activity and the error in pipetting an aliquot into the sample during analysis. These sources of error need to be propagated through the calculation for ²¹⁰Pb activity. The spike error is considered to be the same percentage as the initial tracer solution and the pipette error is based on manufacturers specifications. Pipette error can be verified by calibrating the pipette. Given that

120

$$A_{spike} = A_{tracer} \pm \sigma_{racer} \text{ and } V_{\mu L} = V_{\mu L} \pm \sigma_{\mu L}$$

The total error in the spike added to the sample is then

$$\sigma_{spike} = \sqrt{\sigma_{tracer}^2 A_{tracer}^2 + \sigma_{\mu}^2 \cdot V_{\mu}^2}$$

Calculation of ²¹⁰Po activity on the plate date and ²¹⁰Pb activity on core collection date.

Given the time between plating and counting as Δt the specific activity, SA, of the Po spike is

$$SA_{spike} = \frac{A_{platedate}}{PA_{spike} \cdot e^{-\lambda_{spike} \cdot \Delta t}} = \frac{dpm}{area}$$

Similarly for the ²¹⁰Po the specific activity per gram of sample is

$$SA_{210}{}_{Po} = \frac{PA_{spike} \cdot e^{-\lambda_{Po} \cdot \Delta t}}{sample \ mass} \cdot SSCF = \frac{area}{gram}$$

The sea salt correction (SCCF computed above) is necessary, because the dry sediment weighed out for analysis contained not only sediment, but also salt. Multiplying these two specific activities gives the activity of ²¹⁰Po on the plate date

$$A_{210}{}_{Po} = SA_{spike} \cdot SA_{210}{}_{Po} = \frac{dpm}{area} \cdot \frac{area}{gram} = \frac{dpm}{g}$$

This ²¹⁰Po activity equals the ²¹⁰Pb activity if the two isotopes are in secular equilibrium. The ²¹⁰Po activity back to the date of core collection the supported ²¹⁰Pb activity must be substracted before any decay correction is made.

$$A_{collectiondate}^{^{210}Pb} = \left(A_{platedate}^{^{210}Po} - A_{\sup ported}^{^{210}Pb}\right) \cdot e^{-\lambda_{Pb} \cdot \Delta t}$$

where Δt is the between core collection and plating

The measured ²¹⁰Pb activity has two main sources of error, counting statistics for the two Po peaks and the error in the spike activity. The ²¹⁰Pb activity is proportional to the ²¹⁰Po peak area and the spike and inversely proportional to the Po spike peak area.

$$A_{210_{Pb}} \propto \frac{PA_{210_{Po}}}{PA_{spike}} xA_{spike} \propto RxA_{spike}$$
 Where *R* is the peak area ratio.

From counting statistics, the $\pm 1\sigma$ error of the two Po peaks is simply \sqrt{PA} . The combined error for the ratio of the peak areas is then

$$\sigma_{R} = \frac{PA_{210}{}_{Po}}{PA_{spike}} x \sqrt{\frac{1}{PA_{210}^{2}{}_{Po}}} + \frac{1}{PA_{spike}^{2}}$$

The total error in the ²¹⁰Pb activity is then the error resulting from the product of R and A_{spike}

$$\sigma_{{}_{210}Pb} = R \cdot \sqrt{\left[\sigma_{spike}^2 + A_{spike}^2 \cdot \left(\frac{1}{PA_{210Po}} + \frac{1}{PA_{spike}}\right)\right]}$$

Sedimentation rate determination

The ²¹⁰Po activity for each core interval is measured as dpm g⁻¹ where then mass includes sediment and salt. The ²¹⁰Po activity must be corrected for the salt content by multiplying by the SSCF given above. This ²¹⁰Po activity is in secular equilibrium with the ²¹⁰Pb in the sample which is composed of a ²³⁸U supported ²¹⁰Pb fraction and an excess ²¹⁰Pb fraction. The supported ²¹⁰Pb activity must be subtracted from the total activity before any decay corrections are made. Supported activity is usually considered to be the constant, low level activity observed at depth on most cores, or equal to the ²³⁸U activity of the sediment. The unsupported ²¹⁰Pb activities are then corrected back to the date of core collection.

The sedimentation rate is then calculated from the decay of ²¹⁰Pb down core as a function of total mass accumulation. A given time, t, the activity of a radioactive isotope will be

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

where A_t is the activity at time t since t_0 , A_0 is the activity at t_0 , and λ is the decay constant (in this case 0.031139 y⁻¹ for ²¹⁰Pb). Assuming the accumulation rate is constant in time, this equation can be rewritten in terms of mass accumulation.

$$A_m = A_0 \cdot e^{-b \cdot m}$$

where b is the decay constant in terms of mass accumulation rather than time. At any point in the core $A_t = A_m$

$$A_o \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_o \cdot e^{-b \cdot m}$$
$$-\lambda \cdot t = -b \cdot m$$

For t=1 y the rate of mass accumulation per year, ω is then

$$\frac{m}{t} = \omega = \frac{\lambda}{b}$$

where b is just the slope (linear regression) of the ln(excess ²¹⁰Pb activity) versus total mass accumulation line. Only data beneath the surface mixed layer (SML) which has excess ²¹⁰Pb is used for the sedimentation rate determination. Because porosity varies down core, the sedimentation rate in terms of cm y⁻¹ is not constant, but rather a function of porosity,

rate at depth
$$z (cm y^{-1}) = \frac{\omega}{\rho_{sed} \cdot (1 - \phi_z)}$$

Total ²¹⁰Pb inventory

The ²¹⁰Pb activity an a function of mass accumulation within the SML is equal to $A_m^{ML} = A_0^{ML} \cdot e^{-b^{ML} \cdot m}$ and beneath the SML is equal to $A_m = A_0 \cdot e^{-b \cdot m}$ where $A_m^{ML} \neq A_0, A_m^{ML} \neq A_m$ and $b^{ML} \neq b$

The total excess ²¹⁰Pb activity (TA) within the SML is then

$$TA_{ML} = \int_{0}^{m_{ML}} A_{0}^{ML} \cdot e^{-b^{ML} \cdot m} = \frac{A_{0}^{ML}}{b^{ML}} \cdot (e^{b^{ML} \cdot m_{ML}} - 1)$$

where A_0^{ML} is the surface sediment activity. Likewise for the total excess ²¹⁰Pb activity beneath the SML

$$A_m = A_0 \cdot e^{-b.m}$$

$$TA_{>ML} = \int_{m_{ML}}^{m_{excess=0}} A_0^{ML} \cdot e^{-b^{ML} \cdot m} = \frac{A_0}{b} \cdot (e^{b \cdot m_{excess=0}} - e^{b \cdot m_{ML}})$$

and the total excess ²¹⁰Pb inventory is

$$TA = TA_{ML} + TA_{>ML}$$

²¹⁰Pb flux determination

Once the total inventory is know, the flux of excess ²¹⁰Pb to the sediment is computed by two related methods. The first method simply divides the total excess ²¹⁰Pb inventory by the mean life for ²¹⁰Pb (32.114) and is called the steady state flux (dpm cm⁻¹yr⁻¹). The accuracy of the flux depends on how well the TA is know. The TA can be underestimated if the ²¹⁰Pb profile does not reach background activity levels and an interpolation method is used to compute TA. The second

method multiplies the sedimentation rate by the surface activity (=activity of incoming particles) that the excess ²¹⁰Pb profile would have had if the were no mixing in the SML ($A_0^{no \text{ mixing}}$) Assuming the total ²¹⁰Pb inventory and sedimentation rates are now know $A_0^{no \text{ mixing}}$ can be computed as follows:

 $A^{>SML} = A_0^{>SML} \cdot e^{-b.m}$ for depths>SML. At the mass (depth) where $A^{>SML} \rightarrow 0$

$$\frac{A^{>SML}}{A_0^{>SML}} = e^{-b.m} \to 0$$

$$TA = \int_{0}^{m_{excess=0}} A_0^{nomixing} . e^{-b.m}$$

$$A_0^{nomixing} = \frac{TA}{\int_0^{m_{excess=0}} e^{-b.m}} = \frac{-b.TA}{(e^{-b.m_{excess=0}} - 1)} = b.TA$$

The flux is then this new depositional activity times the mass accumulation rate.

Surface layer mixing coefficient determination

The ²¹⁰Pb geochronology method is based on the assumption that of supply of ²¹⁰Pb to the sediments is constant and that the only processes changing the ²¹⁰Pb activity and any given depth are decay, sediment accumulation and mixing of near surface sediments by currents or organisms. The mixing process can be approximated as a diffusive process. The mathematical formation for the steady state activity of any radioactive isotope is

$$\frac{\partial A}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} - \omega \cdot \frac{\partial A}{\partial z} - \lambda A = 0$$

where A is the specific activity for the isotope in question, D is the mixing coefficient, z depth in sediment, ω the sedimentation rate, and λ the decay constant. This is a second order, homogeneous differential equation which has the general solution

$$A(z) = C_1 \cdot e^{\beta_1 \cdot z} + C_2 \cdot e^{\beta_2 \cdot z}$$

where C1, β 1, C2 and β 2 are constants.

Letting $Z^* = Z/L$ where L is the depth of the mixed layer, multiplying by L and dividing by L and dividing by Ω , gives the non-dimensional form which normalizes the values of Z to $0 \le Z^* \le 1$ for any mixed layer.

$$\left(\frac{D}{L\omega}\right)\cdot\frac{\partial^2 A}{\partial z^{*2}} - \frac{\partial A}{\partial z *} - \left(\frac{\lambda L}{\omega}\right)\cdot A = 0 = G \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial z *^2} - \frac{\partial A}{\partial z^*} - R \cdot A$$

Assuming $e^{\beta \cdot z}$ is a solution then gives

$$G \cdot \beta^2 \cdot e^{\beta \cdot z} - \beta \cdot e^{\beta \cdot z} - R \cdot e^{\beta \cdot z} = 0$$
 and diving by $G \cdot e^{\beta \cdot z}$

$$\beta^2 - \frac{\beta}{G} \cdot \beta - \frac{R}{G} = 0$$
 which is a quadratic equation in β with the solution

$$\beta = \frac{1/G \pm \sqrt{\left(\frac{-1}{G}\right)^2 - 4 \cdot R}}{2} = \frac{1}{2 \cdot G} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4 \cdot G^2}\right) - R} \text{ and } \beta_1 = +\sqrt{root} \text{ and}$$
$$\beta_2 = -\sqrt{root}$$

It then remains to determine the values of the constants C1 and C2 by invoking the boundary conditions

1. Across the $z = z_{ML}$ boundary the ²¹⁰Pb flux must be continues

$$\omega \cdot A_{z > ML} = \omega \cdot A_{z < ML} - D \cdot \frac{\partial A_{z < ML}}{\partial z}$$

2. Across the $z = z_{ML}$ boundary the ²¹⁰Pb activity must be continuous

$$A_{z < ML} = A_{z > ML} = A_{ML}$$

Hence,

$$\omega \cdot A_{ML} = \omega \cdot A_{ML} - D \cdot \frac{\partial A_{z < ML}}{\partial z} or - D \cdot \frac{\partial A_{z < ML}}{\partial z} = 0$$

since
$$D \neq 0 \Rightarrow \frac{\partial A_{z < ML}}{\partial z} = 0$$
 at $z = z_{ML}$

$$\frac{\partial A_{z < ML}}{\partial z} = C_1 \cdot \beta_1 \cdot e^{\beta_1 \cdot z} + C_2 \cdot \beta_2 \cdot e^{\beta_2 \cdot z} = 0$$

$$C_2 = \frac{-C_1 \cdot \beta_1 \cdot e^{\beta_1 \cdot z}}{\beta_2 \cdot e^{\beta_2 \cdot z}}$$

$$A(z) = C_1 \cdot e^{\beta \cdot z_1} - \frac{C_1 \cdot \beta_1 \cdot e^{\beta_1 \cdot z}}{\beta_2 \cdot e^{\beta_2 \cdot z}} \cdot C_1 \cdot e^{\beta_1 \cdot z} \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2}\right) = C_1 \cdot \oint (z, G, R)$$

If the activity is know for two depths within the mixed layer then

$$\frac{A_{z_1}}{\oint (z_1, G, R)} = C_1 = \frac{A_{z_2}}{\int (z_2, G, R)}$$

since z1, Z2, and ω are known, only G is not determined in $\int (z, G, R)$ and can be found by an interactive binary search to find G such that the above equation is true.

ภาคผนวก ฌ

ดินตะกอนมาตรฐาน

IAEA Code		IAEA-31	5		IAEA-368				
Matrix		Marine Sedi	ment		I	Pacific Ocea	n Sediment		
Reference date		1 st January	1993		1 st January 1990				
Date of Release		March 19	96			Septembe	er 1991		
Unit/Price		100 g 11	0 US \$			100 g	60 US \$		
Radionuclide	[Bg/kg]	95 % C.I.	Ν	R/I	[Bg/kg]	95 % C.I.	Ν	R/I	
⁴⁰ K	297	288-303	111	R	5.4	5.0-8.0	20	Ι	
⁶⁰ Co					0.6	0.5-0.7	23	R	
⁹⁰ Sr					1.8	0.45-6.90	9	Ι	
¹³⁷ Cs					0.34	0.20-0.44	10	Ι	
¹⁵⁵ Eu					3.8	3.4-4.3	23	R	
²¹⁰ Pb	30.1	26.0-33.7	33	R	23.2	19.8-27.2	24	R	
²²⁶ Ra	13.8	13.0-14.6	90	R	21.4	20.3-22.6	51	R	
²²⁸ Ra	26.7	25.3-28.0	51	R					
²²⁸ Th	27	24.0-28.9	22	R	1	0.0-2.0	7	Ι	
²³⁰ Th	16.9	15.1-20.9	8	R					
²³² Th	25.6	24.5-27.5	36	R					
²³⁴ U	17.8	16.6-20.0	11	R	35.7	21.5-44.8	6	Ι	
²³⁵ U	0.84	0.65-1.20	9	Ι	1.9	1.6-2.6	14	Ι	
²³⁸ U	17.6	8.6-24.2	31	Ι	31	25.0-33.0	19	R	
²³⁸ Pu					8.5	7.6-8.9	19	R	
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu					31	29.0-34.0	27	R	
²⁴¹ Am					1.3	1.2-1.5	31	Ι	
IAEA Report	IAE	EA/AL/065(IAE	A/MEL/6	1)	IAE	A/AL/047(L	AEA/MEL/	47)	

<u>ตารางผนวกที่ ฌ1</u> Result for Pb-210 and Po-210 in sediment sample IAEA-368 and IAEA-315

ภาคผนวก ญ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตะกอน

ความลึก	ปริ	มาณอินทรียวัตถุ	ມ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
(ซม.)	1	2	3	เฉลี่ย	(มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1	193.11	192.80	199.28	195.06	3.65
1-2		178.03	170.25	174.14	5.50
2-3	146.75	147.07	147.94	147.26	0.61
3-4	163.22	155.47	162.35	160.35	4.25
4-5		132.38	132.73	132.56	0.25
5-6	127.34		137.98	132.66	7.53
6-7	146.59	149.03	155.19	150.27	4.43
7-8	175.00	166.99	168.17	170.05	4.32
8-9	93.07	89.90	93.38	92.11	1.93
9-10	63.77		59.27	61.52	3.19
10-11	69.06	74.65	68.69	70.80	3.34
11-12	69.74	69.73	65.15	68.21	2.65
12-13	60.70	61.05	61.70	61.15	0.51
13-14	59.93	61.06		60.50	0.80
14-15	61.48	61.93		61.71	0.32
15-16	59.97		63.33	61.65	2.38
16-17	69.13		69.79	69.46	0.46
17-18		60.24	62.38	61.31	1.52
18-19	61.15	73.07		67.11	8.43
19-20	62.57	62.54		62.56	0.02
20-21	61.20	60.51	61.39	61.03	0.46
21-22		59.91	238.66	149.29	126.40

<u>ตารางที่ ญ1</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 1 ในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

ความลึก	ป	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
(สม.)					(มิลลิกรัมต่อกรัม)
	1	2	3	เฉลีย	
0-1					
1-2					
2-3					
3-4					
4-5					
5-6					
6-7					
7-8					
8-9					
9-10	66.46	67.26		66.86	0.57
10-11					
11-12					
12-13	66.67	65.85	64.09	65.53	1.31
13-14	58.86	58.01	59.02	58.63	0.55
14-15	54.31	58.82	63.29	58.81	4.49
15-16	57.06	60.41	58.38	58.62	1.68
16-17					
17-18	55.64	56.88	57.74	56.75	1.05
18-19					
19-20	54.61	53.94	53.14	53.90	0.74
20-21					

<u>ตารางที่ ญ2</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 2 ในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

ความลึก		ปริมาณอินทรียวัง	ทถุ (มิลลิกรัมต่อกร้	້ມ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	(มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1		144.17	151.20	147.69	4.97
1-2					
2-3					
3-4	101.02	99.58	101.76	100.79	1.11
4-5	102.45	101.45	102.56	102.15	0.61
5-6	105.16	108.06	106.99	106.74	1.47
6-7					
7-8					
8-9					
9-10					
10-11	60.46		58.61	59.53	1.31
11-12	60.30	61.08		60.69	0.56
12-13	60.40	61.32	61.67	61.13	0.66
13-14	60.63	60.09	61.14	60.62	0.52
14-15	56.86	56.63	58.41	57.30	0.97
15-16	59.93	61.72	62.60	61.42	1.36
16-17		66.15	66.25	66.20	0.07
17-18	66.52	69.54		68.03	2.14
18-19	63.51	65.74	67.41	65.56	1.96
19-20	64.93	68.04	68.13	67.03	1.82
20-21	65.66	64.97	64.54	65.06	0.56

<u>ตารางที่ ญ3</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 3 ในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

ความลึก	ปริเ	มาณอินทรียวัต	ถุ (มิลลิกรัมต่อก	ເວັນ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	- (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1					
1-2	85.27	84.19	83.08	84.18	1.10
2-3	85.64	81.31	82.62	83.19	2.22
3-4	82.28	87.60	86.84	85.57	2.88
4-5	68.76	67.17	66.96	67.63	0.99
5-6	83.69	80.68	77.97	80.78	2.86
6-7	68.14	71.22	68.86	69.41	1.61
7-8	74.14	72.19	71.59	72.64	1.33
8-9	73.435		72.28	72.86	0.81
9-10	80.85	81.53	84.71	82.36	2.06
10-11	78.21	78.96	77.54	78.24	0.71
11-12	79.65	77.93	86.46	81.35	4.51
12-13	77.28	80.35	85.41	81.01	4.11
13-14					
14-15	83.06	82.23	80.88	82.06	1.10
15-16	75.62	75.34	73.74	74.90	1.01
16-17	71.81	88.65	71.86	77.44	9.71
17-18	66.94	66.36		66.65	0.41

<u>ตารางที่ ญ4</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 4 ในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

ความลึก	9	ปริมาณอินทรียว้	ัตถุ (มิลลิกรัมต่อก	ັ ້ນ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	(มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1					
1-2	85.27	84.19	83.08	84.18	1.10
2-3	85.64	81.31	82.62	83.19	2.22
3-4	82.28	87.60	86.84	85.57	2.88
4-5	68.76	67.17	66.96	67.63	0.99
5-6	83.69	80.68	77.97	80.78	2.86
6-7	68.14	71.22	68.86	69.41	1.61
7-8	74.14	72.19	71.59	72.64	1.33
8-9	73.435		72.28	72.86	0.81
9-10	80.85	81.53	84.71	82.36	2.06
10-11	78.21	78.96	77.54	78.24	0.71
11-12	79.65	77.93	86.46	81.35	4.51
12-13	77.28	80.35	85.41	81.01	4.11
14-15	83.06	82.23	80.88	82.06	1.10
15-16	75.62	75.34	73.74	74.90	1.01
16-17	71.81	88.65	71.86	77.44	9.71
17-18	66.94	66.36		66.65	0.41

<u>ตารางที่ ญร</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 5 ในอ่างเก็บน้ำทับทิมสยาม

ความลึก		ปริมาณอินทรียวัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	(มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1	77.54	76.53	77.03	77.03	0.51
1-2	80.92	80.23	79.40	80.18	0.76
2-3	69.68	70.41	70.15	70.08	0.37
3-4	79.06	80.08	79.57	79.57	0.51
4-5	80.42	84.82	82.28	82.51	2.21
5-6	81.79	80.52	82.15	81.49	0.86
6-7	70.51	70.93	70.02	70.49	0.45
7-8	77.89		81.27	79.58	2.38
8-9	76.34	79.07	77.59	77.67	1.36
9-10	69.57	69.04	71.07	69.89	1.05
10-11					

<u>ตารางที่ ญ6</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 1 ในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

ความลึก	ปรี	ริมาณอินทรียวั	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	(มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1	88.13	86.60	85.59	86.77	1.28
1-2	65.48		76.31	70.90	7.65
2-3	72.68	76.30	82.18	77.05	4.80
3-4	83.51	85.05	92.18	86.91	4.63
4-5	72.85	74.85	73.60	73.77	1.01
5-6	75.47	91.41	79.11	82.00	8.35
6-7	88.25	85.85	84.56	86.22	1.87
7-8	83.49	86.52	86.51	85.51	1.75
8-9	81.15	82.44	79.00	80.86	1.74
9-10	86.65	90.08	89.54	88.76	1.84
10-11	77.92	84.07	86.81	82.93	4.55
11-12	86.78	92.18	91.27	90.08	2.89
12-13	87.11	81.94	83.09	84.04	2.71
13-14	84.11	85.79	86.56	85.49	1.25

<u>ตารางที่ ญ7</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 2 ในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

ความลึก		ปริมาณอินทรียวัด	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	(มิลลิกรัมต่อกรัม)
0-1	64.96	62.21	68.02	65.06	2.91
1-2	56.15		55.94	56.05	0.15
2-3	46.94	47.63	47.60	47.39	0.39
3-4	39.20	41.07	40.17	40.15	0.94
4-5	45.59	46.86	47.31	46.58	0.89
5-6	42.73	41.23	42.35	42.10	0.78
6-7	55.46	46.12	45.28	48.95	5.65
7-8	41.15	42.25	41.76	41.72	0.55
8-9	52.35	53.00	53.69	53.01	0.67
9-10	43.35	42.79	41.93	42.69	0.71
10-11	50.44	52.13	51.44	51.34	0.85
11-12	47.15	46.64	47.65	47.15	0.51
12-13	46.91	46.61	48.23	47.25	0.86
13-14	50.84	49.77	53.57	51.39	1.96
14-15	40.66	40.50		40.58	0.12
15-16	46.03	47.09	44.41	45.84	1.35
16-17	47.42	48.76	50.61	48.93	1.60
17-18	45.83	41.37	45.60	44.27	2.51
18-19	57.08	55.40	55.05	55.84	1.08
19-20	47.74	48.42	47.80	47.99	0.38
20-21	38.00	38.80	40.42	39.07	1.23
21-22	42.42	40.64	46.17	43.08	2.82

<u>ตารางที่ ญ8</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 3 ในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

ความลึก	ปริ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
(เซนติเมตร)	1	2	3	เฉลี่ย	- (ມີຄຄີກรັນຕ່ອກรັນ)
0-1	66.54	62.79	64.33	64.55	1.89
1-2	50.38	61.70	74.84	62.31	12.24
2-3	55.21	54.91	54.65	54.92	0.28
3-4	68.42	68.80	64.68	67.30	2.27
4-5	68.47	69.74	71.19	69.80	1.36
5-6	64.04	63.14	64.54	63.91	0.71
6-7	70.33	70.27	68.47	69.69	1.06
7-8	63.18	65.64	61.66	63.49	2.01
8-9	51.05	59.46	57.64	56.05	4.42
9-10	49.64	54.09	59.59	54.44	4.99

<u>ตารางที่ ญ9</u> แสดงปริมาณอินทรียวัตถุของดินตะกอนตำแหน่งที่ 4 ในอ่างเก็บน้ำคลองหลอด

ภาคผนวก ฎ

นิยามศัพท์

<u>นิยามศัพท์</u>

TOM หมายถึง ปริมาณอินทรียวัตถุ

ต่อ 1

Reducing Agent หมายถึง ตัวลดออกซิเจน

Supported ²¹⁰Pb หมายถึง ค่ากับมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่ได้มาจากเรเคียม-226 Unsupported ²¹⁰Pb หมายถึง ค่ากับมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ที่ได้มาจากเรดอน-222 Aqua Regia หมายถึง อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างกรดไฮโดรคลอริกกับกรดในตริก 3

dpm (disintegration per minute) หมายถึง การสลายกัมมันตรังสี

dpm/g (disintegration per minute per gram) หมายถึง การสถายกัมมันตรังสีต่อกรัม