

การศึกษาสปีชีส์ของสารกัมมันตภาพรังสีไอโอดีนในตัวอย่างที่เป็นสารละลายในน้ำ ด้วยวิธี derivatisation-solid phase extraction

*ศุภมัทรี บุญประภพ¹ และ Alan G Howard²

¹สำนักสนับสนุนกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 02-5795230 ต่อ 2319 E-mail: suprawee@oaep.go.th

² School of Chemistry, University of Southampton, Highfield campus, Southampton, The United Kingdom

Tel: 44 (0)23 80773377 E-mail: A.G.Howard@soton.ac.uk

บทคัดย่อ

วิธี derivatisation-solid phase extraction (DSPE) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการระบุสปีชีส์ต่าง ๆ ของไอโอดีน โดยเฉพาะไอโอเดต (IO_3^-) และไอโอไดด์ (I^-) ในตัวอย่างที่เป็นสารละลายในน้ำ โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนสปีชีส์ต่าง ๆ ของไอโอดีนให้อยู่ในรูปของ 4-iodo-*N, N*-dimethylaniline (IDMA) ซึ่งสามารถถูกสกัดจากตัวอย่างที่เป็นของเหลวได้โดยใช้เทคนิค solid phase extraction วิธี DSPE สามารถนำไปดัดแปลงใช้ในการรวบรวมแต่ละสปีชีส์ของ ^{129}I ในรูปของสารกัมมันตรังสี IDMA ซึ่งจะถูกรวบรวมโดยใช้เทคนิค liquid scintillation counting (LSC) ค่า mean recovery จากการหาปริมาณ $^{129}\text{I}^-$ (~9.2 เบ็กเคอเรลต่อกรัม) และ $^{129}\text{IO}_3^-$ (~0.52 เบ็กเคอเรลต่อกรัม) ในน้ำเท่ากับร้อยละ 96.5±2.6 และ 94.6±0.8 ตามลำดับ วิธีที่ได้ทำการดัดแปลงนี้จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาสปีชีส์ของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนที่มีอยู่ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : สารกัมมันตรังสีไอโอดีน ไอโอไดด์ ไอโอเดต

The Speciation Analysis of Radioactive Iodine in Aqueous Samples Using a New Derivatisation-Solid Phase Extraction Method

*Supamatthre Bunprapob¹ and Alan G Howard²

¹Bureau of Technical Support for Safety Regulation, Office of Atoms for Peace, Bangkok.10900

Phone: 02-5795230 ext 2319 E-mail: suprawee@oaep.go.th

²School of Chemistry, University of Southampton, Highfield campus, Southampton, The United Kingdom

Phone: 44 (0)23 80773377 E-mail: A.G.Howard@soton.ac.uk

Abstract

A new derivatisation-solid phase extraction (DSPE) method was developed for the identification of radioactive iodine species, especially iodate (IO_3^-) and iodide (I^-), in aqueous samples. It was based on the conversion of iodine species to 4-iodo-*N, N*-dimethylaniline (IDMA) which was then extracted from the aqueous sample by using solid phase extraction. DSPE methods could be adapted to collect individual ^{129}I species as radioactive IDMA which could be then measured by liquid scintillation counting (LSC). The mean recoveries from determining $^{129}\text{I}^-$ (~9.2 Bq g⁻¹) and $^{129}\text{IO}_3^-$

($\sim 0.52 \text{ Bq g}^{-1}$) in water were $96.5 \pm 2.6 \%$ and $94.6 \pm 0.8 \%$, respectively. These adapted methods would be applied for the speciation analysis of radioactive iodine in environmental samples.

Keywords: radioactive iodine, iodide and iodate

1. บทนำ

ไอโอดีนเป็นธาตุที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตและสามารถพบได้ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมหลายชนิด เช่น น้ำทะเล ($58 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$) ดิน ($2\text{-}15 \text{ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม}$) และน้ำฝน ($1\text{-}6 \text{ ไมโครกรัมต่อลิตร}$)¹

จากสมบัติทางเคมีของไอโอดีนสามารถพบได้ในรูปแบบทางเคมี (สปีชีส์) ทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์หลายชนิด ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปแบบของไอโอดีนจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการศึกษาการเคลื่อนที่และความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของไอโอดีนในสิ่งแวดล้อม สปีชีส์แบบอนินทรีย์ของไอโอดีนในน้ำที่สำคัญคือ ไอโอไดด์ (I^-) และ ไอโอเดต (IO_3^-)

กิจกรรมทางนิวเคลียร์เป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนในสิ่งแวดล้อม เช่น การรั่วไหลออกจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูระหว่างเดินเครื่อง การทดสอบอาวุธนิวเคลียร์² การปลดปล่อยออกมาจาก nuclear fuel reprocessing plants²⁻³ และของเสียจากโรงพยาบาล⁴

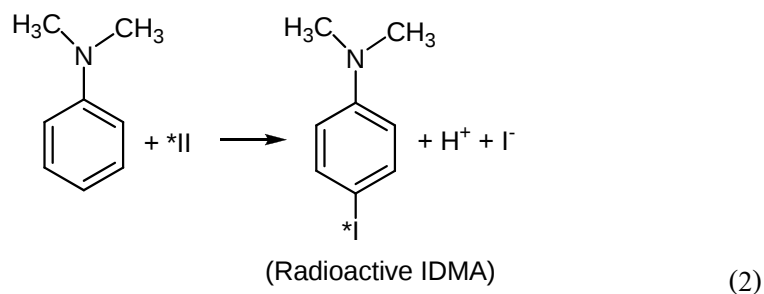
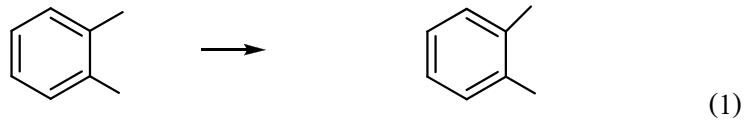
สำหรับสมบัติของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนซึ่งเชื่อว่าจะมีความคล้ายกันกับสารเสถียรไอโอดีน การปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนในสิ่งแวดล้อม จึงอาจจะมีอิทธิพลต่อวัฏจักรของสารเสถียรไอโอดีนได้

เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์จำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ไอโอไดด์ และ ไอโอเดตในตัวอย่างที่เป็นของเหลว แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารกัมมันตรังสีไอโอไดด์และสารกัมมันตรังสีไอโอเดต วิธี derivatisation สปีชีส์แบบอนินทรีย์ของไอโอดีนให้เป็น 4-iodo-*N,N*-dimethylaniline (IDMA)⁵ ได้ถูกนำมาพัฒนาสำหรับใช้วิเคราะห์สปีชีส์ของสารเสถียรและสารกัมมันตรังสีไอโอดีนในตัวอย่างที่เป็นน้ำ เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและจำเพาะสำหรับสามสปีชีส์ของไอโอดีน คือ ไอโอไดด์ ไอโอเดต และไอโอดีน สำหรับ IDMA ที่เกิดขึ้นจะถูกรวบรวมในขั้นตอนการสกัด/เพิ่มปริมาณแล้วจึงนำไปดำเนินการวัด

2. วิธีการ

วิธี derivatisation-solid phase extraction (DSPE) สำหรับการศึกษาสปีชีส์ของสารกัมมันตรังสีไอโอดีน อาศัยหลักการเปลี่ยนสปีชีส์ของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนที่เป็นแอนิออนให้อยู่ในรูปของสารกัมมันตรังสี 4-iodo-*N,N*-dimethylaniline (IDMA) ซึ่งจะถูกสกัดแยกด้วยวิธี solid phase extraction (SPE) เพื่อนำไปวัดกัมมันตภาพรังสีของแต่ละสปีชีส์ของสารกัมมันตรังสีไอโอดีน รายละเอียดมีดังนี้

สารกัมมันตรังสีไอโอไดด์ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนด้วยรีเอเจนต์ 2-iodosobenzoate reagent (IBZ) ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 6.4 (สมการที่ 1) สารกัมมันตรังสีไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะไปทำปฏิกิริยากับ *N,N*-dimethylaniline (DMA) กลายเป็นสารกัมมันตรังสี IDMA (สมการที่ 2) สารกัมมันตรังสีไอโอไดด์ที่เหลืออยู่จะเข้าทำปฏิกิริยาดังแสดงไว้ในสมการที่ 1 และ 2 จนหมด สำหรับสารกัมมันตรังสี IDMA จะถูกสกัดด้วยวิธี SPE แล้วจึงนำไปวัดด้วย LSC



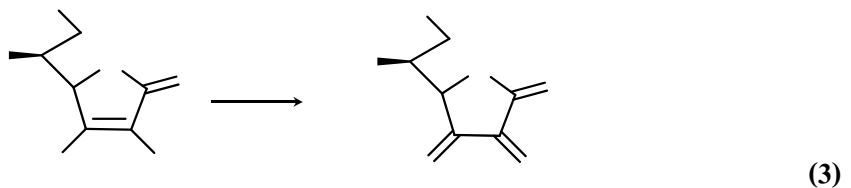
*I = radioactive iodine

IO

สำหรับสารกัมมันตรังสีไอโอเดตจะถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิกให้อยู่ในรูปของสารกัมมันตรังสีไอโอไดด์ก่อน (สมการที่ 3)



COO⁻



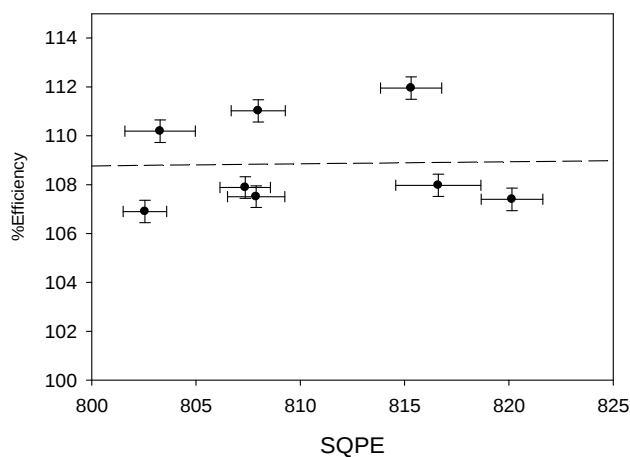
ซึ่งสารกัมมันตรังสีไอโอไดด์นี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารกัมมันตรังสี IDMA ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 นอกจากนี้สารกัมมันตรังสีไอโอดีนสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารกัมมันตรังสี IDMA ได้โดยการทำปฏิกิริยากับ DMA (สมการที่ 2)

ได้ศึกษาสถานะต่าง ๆ ที่เหมาะสมของวิธี DSPE โดยใช้สารเสถียรไอโอดีนที่อยู่ในรูปของไอโอไดด์และไอโอเดต และทำการวิเคราะห์โดยใช้ HPLC เพื่อลดการแพร่กระจายของสารกัมมันตรังสีโดยไม่จำเป็น สำหรับการสกัดด้วย SPE สารกัมมันตรังสี IDMA ถูกชะออกจาก SPE cartridge ด้วย tetrahydrofuran (THF, 5 มิลลิลิตร) ไอโซโทปกัมมันตรังสีไอโอดีนที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้คือ ¹²⁹I

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

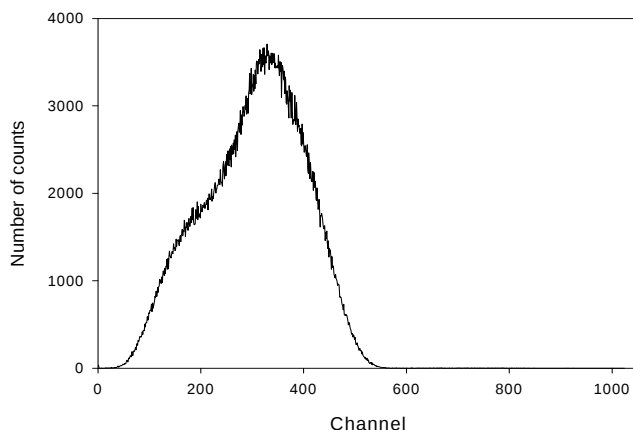
วิธี DSPE ที่ได้พัฒนาแล้ว นำไปทดสอบสำหรับการหาปริมาณไอโอไดด์และไอโอเดต (ประมาณ 1 ไมโครโมลต่อลิตร) ในตัวอย่างน้ำที่มีปริมาตร 250 มิลลิลิตร พบว่า mean recovery ของไอโอไดด์และไอโอเดตเท่ากับร้อยละ 110.8±9.7 และ 103.0±18.2 ตามลำดับ จากผลสำเร็จที่ได้รับนี้ จึงนำวิธีนี้ไปดัดแปลงเพื่อใช้สำหรับการศึกษา ^{129}I ในรูปของไอโอไดด์และไอโอเดตในตัวอย่างที่เป็นของเหลว

ในงานวิจัยนี้ ได้เตรียมสารละลาย $^{129}\text{IO}_3^-$ ขึ้น เนื่องจากไม่มีสารมาตรฐานอ้างอิงสำหรับ ^{129}I ในรูปของไอโอเดต สำหรับการวัดปริมาณกัมมันตรังสีของ $^{129}\text{IDMA}$ ด้วยเครื่อง LSC ได้ทำการศึกษาผลกระทบของค่า SQPE (Spectral Quench Parameter (External)) ที่มีต่อประสิทธิภาพการวัด (counting efficiency) ของ ^{129}I ในปริมาตรที่แตกต่างกันของ THF (1-7 มิลลิลิตร) สำหรับ scintillant ที่ใช้คือ Gold Star liquid scintillation cocktail พบว่าค่า SQPE ลดลงและประสิทธิภาพการวัดของ ^{129}I สูงกว่าร้อยละ 100 เมื่อปริมาตรของ THF เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่พบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า SQPE และประสิทธิภาพการวัด ของ ^{129}I ในปริมาตรที่แตกต่างกันของ THF ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นระบบนี้จึงเหมาะสำหรับการวัด $^{129}\text{IDMA}$ ใน THF ที่มีปริมาตรอยู่ระหว่าง 1 ถึง 7 มิลลิลิตร โดยไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญอันเกิดจากการผสมกันระหว่างสารละลายตัวอย่างและ Gold Star liquid scintillation cocktail ปริมาตรของ THF ที่เลือกใช้สำหรับการวิจัยครั้งนี้คือ 5 มิลลิลิตร



รูปที่ 1 ผลกระทบของค่า SQPE ต่อ counting efficiency ของ ^{129}I ในปริมาตรที่แตกต่างกันของ THF

ลักษณะของ liquid scintillation spectrum ของ ^{129}I ที่ได้จากการเจือจางใน THF (5 มิลลิลิตร) และ Gold Star liquid scintillation cocktail (15 มิลลิลิตร) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการซ้อนทับกันของสองพีค โดยพีคขนาดใหญ่จะเกี่ยวข้องกับค่าพลังงานบีตาที่แผ่ออกมาจาก ^{129}I ที่ 152 keV สำหรับพีคขนาดเล็กด้านหน้าอาจจะเกิดจากรังสีเอกซ์ รังสีแกมมาและอิเล็กตรอนของ ^{129}I ซึ่งสามารถตรวจจับได้ด้วย LSC



รูปที่ 2 liquid scintillation spectrum ของ ^{129}I (ในรูปของไอโอไดค์, 460 เบ็กเคอเรล) ใน 5 มิลลิลิตรของ THF ที่ผสมกับ Gold Star liquid scintillation cocktail

ตัวอย่างน้ำ (25 มิลลิลิตร) ที่ได้ทำการเติม $^{129}\text{I}^-$ (~9.2 เบ็กเคอเรลต่อกรัม) และ $^{129}\text{IO}_3^-$ (~0.52 เบ็กเคอเรลต่อกรัม) ถูกนำมาใช้ในศึกษาสำหรับการดัดแปลงวิธี DSPE สำหรับการวัดสารกัมมันตรังสีไอโอดีน ค่า mean recovery ที่ได้จากการทดสอบทั้งสองสปีชีส์ คือ ร้อยละ 96.5 ± 2.6 และ 94.6 ± 0.8 ตามลำดับ ดังนั้นวิธี DSPE จึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ $^{129}\text{I}^-$ และ $^{129}\text{IO}_3^-$ ในตัวอย่างที่เป็นของเหลว

4. สรุป

วิธี derivatisation solid phase extraction (DSPE) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาปริมาณไอโอไดค์และไอโอเดตในตัวอย่างที่เป็นของเหลว และสามารถนำมาดัดแปลงสำหรับการรวบรวมและวัดสปีชีส์ของ ^{129}I ในตัวอย่างที่เป็นของเหลวได้ สำหรับเทคนิคที่เลือกใช้วัด ^{129}I ในการวิจัยครั้งนี้คือ liquid scintillation counting (LSC) เพราะประสิทธิภาพการวัดของ ^{129}I สูง และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่มาก

นอกจากนี้วิธี DSPE สามารถนำไปใช้ในการศึกษาสปีชีส์อนินทรีย์ของสารเสถียรและสารกัมมันตรังสีไอโอดีนได้พร้อมกัน เพราะโดยปกติสารเสถียรและสารกัมมันตรังสีไอโอดีนจะปรากฏด้วยกันโดยเลือกเทคนิคที่ใช้สำหรับการตรวจวัดให้เหมาะสมกับชนิดของไอโซโทปของไอโอดีน วิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ สำหรับการศึกษาสปีชีส์ของสารกัมมันตรังสีไอโอดีนในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมที่เป็นสารละลายในน้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ Dr Phil Warwick, Dr Ian Croudace และเจ้าหน้าที่ทุกท่านใน Geosciences Advisory Unit, National Oceanography Center, Southampton สำหรับคำแนะนำและความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ทางเคมีรังสี

6. เอกสารอ้างอิง

1. R. Fuge and C. C. Johnson, 1986, Environmental Geochemistry and health., 8, 31-54
2. M. Betti, 2000, Microchemical Journal, 67, 363-373
3. C. Frechou and D. Calmet, 2003, Journal of Environmental Radioactivity, 70, 43-59
4. J.E. Martin and F.D. Fenner, 1997, Public health Reports, 112, 308-312
5. S. Mishra, V. Singh, A. Jain and K.K. Verma, 2000, Analyst, 125, 459-464