

การวิเคราะห์ตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม ที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม

ศศิธร หอมดำรงวงศ์ จตุรงค์ ลินแก้ว และอุมา บริบูรณ์

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ถนนติวานนท์ นนทบุรี 11000

บทคัดย่อ การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม ทดสอบโดยใช้สารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร ต้มให้เดือด 2 ชั่วโมง วัดปริมาณตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้เครื่อง Flame-AAS วัดปริมาณอะลูมิเนียมด้วย GF-AAS จากการทดสอบความถูกต้องของวิธีพบว่าความเป็นเส้นตรงของช่วงการวัดระหว่างค่าการดูดกลืน (absorbance) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม ในช่วงความเข้มข้น 0-3.00 0-0.8 และ 0-0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 0.9999 0.9993 และ 0.9995 ตามลำดับ ผลการทดสอบขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 0.05, 0.001 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 0.1, 0.01 และ 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมลงในสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ พบว่า % recovery ของตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมอยู่ในช่วง 92-99, 101-103 และ 98-108 ตามลำดับ และค่า % RSD ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม อยู่ในช่วง 5.5-7.5, 2.3-3.3 และ 2.8-5.9 ตามลำดับ จากการสำรวจปริมาณตะกั่ว แคดเมียม อะลูมิเนียมในภาชนะหุงต้มราคาถูก ที่วางขายในตลาดกรุงเทพฯ และปริมณฑล จำนวน 32 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีวิเคราะห์นี้ ตรวจพบตะกั่ว ร้อยละ 56 ปริมาณที่พบน้อยกว่า 0.1-3.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียมพบร้อยละ 16 ปริมาณที่พบน้อยกว่า 0.01-0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีตัวอย่างใดเกินค่ามาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (2528) พบว่า ภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียม มีตะกั่วละลายออกมามากกว่าวัสดุอื่นทั้งปริมาณและจำนวนตัวอย่าง และตรวจพบว่าภาชนะหุงต้มทุกตัวอย่างมีอะลูมิเนียมละลายออกมาโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 232 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดของอะลูมิเนียมในภาชนะหุงต้ม แต่อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่อันตรายเพราะอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทได้ เนื่องจากอะลูมิเนียมสามารถสะสมที่สมองกระดูกและตับ JECFA (1989) ได้กำหนดค่าสูงสุดที่สามารถรับได้ต่อสัปดาห์ (PTWI) ไว้ไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรกำหนดค่ามาตรฐานของอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มด้วย เพื่อคุ้มครองผู้บริโภคให้ปลอดภัย และผู้บริโภคควรดูแลตนเองให้ปลอดภัยโดยไม่เก็บอาหารที่มีสภาพเป็นกรดในภาชนะหุงต้มที่เป็นโลหะ

บทนำ

ภาชนะหุงต้ม มีความหมายตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ว่า ภาชนะซึ่งผลิตขึ้นให้ทนต่อความร้อนที่ใช้ในการประกอบอาหาร⁽¹⁾ วัสดุที่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นภาชนะหุงต้มส่วนใหญ่ทำมาจากโลหะ เพราะโลหะมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดี โลหะที่นำมาใช้ผลิตมีหลายชนิดเช่น เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม (สแตนเลส) และอะลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันเช่น เหล็กนำความร้อนได้ดีแต่เป็นสนิมง่าย อะลูมิเนียมนำความร้อนได้ดี ราคาถูกแต่ไม่ทนกับอาหารประเภทกรด สแตนเลส สวย ราคาแพง แต่นำความร้อนได้ไม่ดีเท่าวัสดุอื่น เป็นต้น

ภาชนะหุงต้มที่ทำด้วยโลหะต้องมีการควบคุมคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการผลิตเพื่อป้องกันโลหะอื่นที่เป็นอันตรายเช่น ตะกั่ว แคดเมียม ละลายลงสู่อาหารได้ ดังรายงานการสำรวจของกรมควบคุมโรคร่วมกับโรงพยาบาลอุ้มผาง จังหวัดตากพบว่าเด็กร้อยละ 60 ที่อาศัยในพื้นที่พักพิงชั่วคราว ชายแดนไทย-พม่า มีตะกั่วในเลือดสูง และสรุปสาเหตุหลัก การได้รับตะกั่วมาจากภาชนะที่ใช้ประกอบอาหารประจำวัน เนื่องจากมีข้อมูลการตรวจพบตะกั่วสูงถึง 800 ส่วนต่อล้านส่วน ภาชนะที่ใช้ประกอบอาหารมีลักษณะเป็นโลหะผสม ราคาถูก นำเข้ามาจากประเทศเพื่อนบ้าน⁽²⁾ ปัจจุบันภาชนะหุงต้มราคาถูกมีวางจำหน่ายทั่วไปไม่ใช่เฉพาะพื้นที่แถบชายแดนและเป็นที่ยอมรับเพราะปัจจัยด้านราคาถูก และยังไม่มีข้อมูลของโลหะอันตรายที่อาจละลายออกมาปนเปื้อนกับอาหารได้

จากการสำรวจภาชนะหุงต้มราคาถูกส่วนใหญ่ผลิตมาจากอะลูมิเนียมซึ่งอาจมีโลหะอื่นผสมอยู่ด้วย มีการศึกษาการละลายออกมาของอะลูมิเนียมจากภาชนะหุงต้มที่ใช้ในการปรุงอาหาร พบว่าอะลูมิเนียมละลายลงสู่อาหารเพิ่มมากขึ้นในสภาวะที่เป็นกรด⁽³⁾ ขณะที่ Al Zubaidy EAH, et.al.⁽⁴⁾ รายงานว่าอะลูมิเนียมสามารถละลายออกมาจากภาชนะได้ทุกสภาวะที่ใช้ปรุงอาหาร นอกจากนี้ Al Juhaiman L.⁽⁵⁾ ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมในอาหารพบว่าปริมาณอะลูมิเนียมในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปรุงอาหารโดยใช้ภาชนะอะลูมิเนียม

พิษของโลหะตะกั่วและแคดเมียมมีอันตรายต่อสุขภาพและจัดเป็นสารก่อมะเร็ง ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ตะกั่วมีผลให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ปวดเกร็งท้อง กล้ามเนื้ออ่อนแรง เป็นพิษต่อระบบประสาทและสมอง ประสาทหลอน ชัก หมดสติ สำหรับทารกในครรภ์มารดาและเด็กเล็ก ตะกั่วจะมีผลต่อการพัฒนาทางด้านสมอง ทำให้ไอคิวต่ำ⁽⁶⁾ แคดเมียมจะสะสมที่ตับ ไต กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อ มีพิษทำลายอวัยวะที่ไปสะสม ทำให้ไตวายได้ และเป็นสารก่อมะเร็ง⁽⁷⁾ อะลูมิเนียมอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทได้ เนื่องจากพบว่าการสะสมที่สมอง กระดูกและตับ⁽³⁾

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528)⁽¹⁾ เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุ กำหนดปริมาณโลหะที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีตามที่กำหนดในวารสารเอโอเอซี (1983)⁽⁸⁾ (Association of Official Analytical Chemists) ดังนี้ ตะกั่วและแคดเมียมไม่เกิน 5.0 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ซึ่งต่อมาวิธีดังกล่าวได้ถูกยอมรับให้เป็น WHO-AOAC Method⁽⁹⁾ ทั้งนี้ไม่มีข้อกำหนดด้านการละลายของโลหะอื่น

จากการสำรวจพบว่าภาชนะหุงต้มราคาถูกส่วนใหญ่ผลิตมาจากอะลูมิเนียมซึ่งอาจมีโลหะอื่นผสมอยู่ด้วย ผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรมีการสำรวจปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาด้วย แต่เนื่องจากวิธี AOAC^(8, 9) ไม่ได้ครอบคลุมการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมจึงนำวิธีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ พร้อมทั้งได้ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี เพื่อยืนยันว่ามีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ และทำการสำรวจปริมาณโลหะที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มที่จำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการได้รับโลหะอันตรายจากการใช้ภาชนะหุงต้ม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานของภาชนะหุงต้มเพิ่มเติม นอกเหนือจากที่กำหนดไว้แล้ว จึงได้ศึกษาปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม ที่วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล

วัสดุและวิธีการ

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer ของ Varian รุ่น Spectr AA-640, hollow cathode lamp (ตะกั่วและแคดเมียม) ก๊าซอะเซทิลีนและปั๊มอากาศ (Air pump)
- เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer ของ Varian รุ่น Spectr AA-800 Zeeman background correction, hollow cathode lamp (อะลูมิเนียม) ระบบฉีดสารอัตโนมัติ Partitioned tube part no. 6310001200 Cooling water สำหรับ furnace และ ก๊าซอาร์กอนความบริสุทธิ์ 99.999%
- เตาแก๊สและ hot plate
- เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติก ก่อนใช้งานแช่ด้วยสารละลายกรดไนตริก ร้อยละ 40 โดยปริมาตร ทิ้งค้างคืนแล้วล้างกรดออกด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง ผึ่งให้แห้งในภาชนะปิดสนิท

สารมาตรฐานและสารเคมี

- สารเคมี (AR Grade) : กรดอะซีติกเข้มข้น 100% (Merck) กรดไนตริกเข้มข้น 65% สารละลายแมกนีเซียมไนเตรท 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- สารมาตรฐาน: สารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Perkin Elmer) (สามารถสอบย้อนกลับได้)

การเตรียมสารเคมี

- สารละลายกรดอะซีติก 4% โดยปริมาตร เตรียมโดยเจือจางกรดอะซีติกเข้มข้น 40 มิลลิลิตร ในน้ำ deionized แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร
- สารละลายแมกนีเซียมไนเตรท 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายแมกนีเซียมไนเตรท จำนวน 0.25 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำ deionized และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- สารละลายมาตรฐานตะกั่วและแคดเมียมสำหรับเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer
- สารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Intermediate) : ปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยสารละลายกรดอะซีติก 4% โดยปริมาตร และปรับปริมาตรเป็น 20 มิลลิลิตร ใช้สร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- สารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Intermediate) : ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยสารละลายกรดอะซีติก 4% โดยปริมาตร และปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ใช้สร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
- สารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียมสำหรับเครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer

- สารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 0.250 มิลลิกรัมต่อลิตร: จากสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรให้เจือจางลงด้วยสารละลายกรดอะซิติก 4% โดยปริมาตร จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ ใช้สร้างกราฟมาตรฐานความเข้มข้น 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175 และ 0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ตั้งระบบการทำงานของเครื่องแบบ auto mix

ตัวอย่าง

ภาชนะหุงต้มได้แก่ กระทะ หม้อ จานร้อน กาต้มน้ำ จำนวน 32 ตัวอย่าง ซื้อมาจากร้านค้าส่งและค้าปลีก ในเขตกรุงเทพฯ นนทบุรี และปทุมธานี ระหว่างเดือน เมษายน-พฤษภาคม 2555 แบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตเป็น 3 ชนิด คือ เหล็ก 4 ตัวอย่าง อะลูมิเนียม 22 ตัวอย่าง และสแตนเลส 6 ตัวอย่าง

วิธีวิเคราะห์

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

วัดความจุของตัวอย่างโดยการเติมน้ำให้ถึงระดับน้ำล้นบนที่กปริมาตรของน้ำ ทำความสะอาดตัวอย่างโดยล้างตัวอย่างด้วยสารละลาย detergent เจือจาง ตามด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้งจนสะอาดแล้วล้างด้วยน้ำ deionized นำไปผึ่งให้แห้งในภาชนะปิดสนิท ใส่ น้ำ deionized ลงในตัวอย่างปริมาตร 2 ใน 3 ของความจุทั้งหมด ปิดฝาหรือใช้แผ่นทนความร้อนปิด นำไปวางบนเตาให้ความร้อนจนน้ำเริ่มเดือด เติมกรดอะซิติกเข้มข้นให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร แล้วต้มต่อไปอีก 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมง หยุดให้ความร้อนวางทิ้งไว้ให้เย็นเติมสารละลายกรดอะซิติก ร้อยละ 4 โดยปริมาตร ลงในภาชนะจนได้ปริมาตรเท่าเดิม คนสารละลายเบา ๆ ถ่ายสารละลายออกจากภาชนะใส่ขวดพลาสติก

การเตรียมสารละลายแบลนด์

ปฏิบัติเช่นเดียวกับตัวอย่างเปลี่ยนจากภาชนะหุงต้มเป็นบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์

วิเคราะห์ตะกั่วและแคดเมียมใช้เครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer⁽¹⁰⁾ (Flame-AAS), วิเคราะห์อะลูมิเนียมใช้เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GF-AAS)

สภาวะของเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer

ปฏิบัติตามคู่มือการตรวจวิเคราะห์โดยเครื่อง Varian Spectr-640 ดังนี้ ตะกั่ววัดที่ความยาวคลื่น 283.3 นาโนเมตร slit width 0.5 นาโนเมตร Flame type Air-acetylene และแคดเมียมวัดที่ความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร, slit width 0.5 นาโนเมตร, Flame type Air-acetylene

สภาวะของเครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer

ปฏิบัติตามคู่มือการตรวจวิเคราะห์โดยเครื่อง Varian SpectrAA-800 Zeeman graphite furnace⁽¹¹⁾ ดังนี้

อะลูมิเนียมวัดที่ความยาวคลื่น 257.4 นาโนเมตร slit width 0.5 นาโนเมตร, Zeeman Background Correction, ใช้แมกนีเซียมไนเตรทความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น modifier, total volume 22 ไมโครลิตร, sample volume 20 ไมโครลิตร และ modifier volume 2 ไมโครลิตร ฉีดสารแบบ co injection

ก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องปรับเครื่องมือ โดยการทำ sensitivity check ให้ได้สัญญาณพีคที่สมมาตร มีพื้นที่ใต้พีคสูงสุดและได้ค่า absorbance อยู่ในช่วง $\pm 20\%$ ของค่าที่ผู้ผลิตเครื่องมือกำหนดไว้

การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)⁽¹²⁾**ทดสอบช่วงการวิเคราะห์และความเป็นเส้นตรง (Working range and linearity)**

วัดสารละลายเบลงค์และสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร อะลูมิเนียมความเข้มข้น 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175 และ 0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสารมาตรฐานตะกั่วและแคดเมียม แต่ละความเข้มข้นวัดซ้ำ 6 ครั้ง สารมาตรฐานอะลูมิเนียม แต่ละความเข้มข้นวัดซ้ำ 2 ครั้ง แล้วสร้างกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและค่าการดูดกลืน คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) เพื่อศึกษาความเป็นเส้นตรง ซึ่งควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.995

วัดสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ระดับ 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมที่ระดับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร อะลูมิเนียมที่ความเข้มข้น 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175 และ 0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกัน เพื่อทดสอบความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์

การหาขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และการหาขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ)

เตรียมสารละลาย sample blank 10 ขั้ว อ่านค่าความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แล้วคำนวณค่า $LOD = \text{mean blank} \pm 3SD$ และคำนวณค่า $estimated LOQ = \text{mean blank} \pm 10SD$

เตรียมสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานที่ระดับ $estimated LOQ$ จำนวน 10 ขั้ว วัดความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม คำนวณค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery) และ ค่า relative standard deviation (%RSD) เพื่อหาค่า LOQ ที่ยอมรับได้

การทดสอบความแม่นยำและความเที่ยง (Accuracy and Precision)

เตรียมสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ ดังนี้ ตะกั่ว 2.5, 5.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม 0.25, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อะลูมิเนียม 0.100, 1.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับละ 10 ขั้ว วัดปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม คำนวณค่าร้อยละการกลับคืน ควรอยู่ในช่วง 80-110 และคำนวณค่า relative standard deviation โดยใช้ Horwitz's equation ประเมินด้วย HORRAT

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty)⁽¹³⁾

การประเมินค่าความไม่แน่นอนใช้แนวทางของ EURACHEM

ผล**การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)****ทดสอบช่วงการวิเคราะห์และความเป็นเส้นตรง (Working range and linearity)**

จากการวัดค่าสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 0, 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และอะลูมิเนียมที่ความเข้มข้น 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175 และ 0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนกับความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียม ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.9999 0.9993 และ 0.9995 ตามลำดับ

จากการวัดสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 2.50 และ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร อะลูมิเนียมที่ความเข้มข้น 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175 และ 0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร และผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่าง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.9978, 0.9975 และ 0.9984 ตามลำดับ

ทดสอบขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ)

ผลการทดสอบขีดจำกัดของการตรวจพบของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 0.05, 0.001 และ 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่า estimated LOQ ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 0.10, 0.010 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ผลการหาขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 0.1, 0.01 และ 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย %recovery ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 93, 100 และ 94 ตามลำดับ ค่า % RSD ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม เท่ากับ 9.6, 8.0 และ 8.6 ตามลำดับ

ทดสอบความแม่นยำและความเที่ยง (Accuracy and Precision)

จากการทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ ระดับละ 10 ข้างต้นคือ ตะกั่วความเข้มข้น 2.5, 5.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อะลูมิเนียมความเข้มข้น 0.1, 1.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า % recovery เฉลี่ยของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมอยู่ในช่วงร้อยละ 92-99, 101-103 และ 98-108 ตามลำดับ ค่า % RSD ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมอยู่ในช่วง 5.5-7.5, 2.3-3.3 และ 2.8-5.9 ตามลำดับ ซึ่งไม่เกิน predicted RSD_r ที่คำนวณจาก Horwitz's equation และ HORRAT มีค่าน้อยกว่า 2 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การทดสอบขีดจำกัดการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ความแม่นยำและความเที่ยงของการวิเคราะห์

ปริมาณโลหะที่เติม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณที่พบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ย % recovery	% RSD	Predicted RSD _r	HORRAT
- ตะกั่ว					
0.1 (LOQ)	0.09	93	9.6	14.9	0.6
2.5	2.4	96	7.5	9.2	0.8
5.0	4.6	92	5.5	8.3	0.7
10.0	9.9	99	6.8	7.4	0.9
- แคดเมียม					
0.01 (LOQ)	0.01	100	8.0	21.1	0.4
0.25	0.25	103	3.3	13.0	0.3
0.50	0.51	102	2.3	11.7	0.2
1.00	0.98	101	3.0	10.5	0.3
- อะลูมิเนียม					
0.010 (LOQ)	0.009	94	8.6	21.1	0.4
0.100	0.103	103	2.8	14.9	0.2
1.000	1.080	108	3.1	10.5	0.3
10.000	9.803	98	5.9	7.4	0.8

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty)

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด โดยคำนวณค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากแต่ละแหล่งแล้วคำนวณหาความไม่แน่นอนรวม (Combined standard uncertainty) และคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty) โดยใช้ค่า $K=2$ ผลการวิเคราะห์ของตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมเท่ากับ 3.35, 0.10 และ 11.0 มิลลิกรัมต่อลิตร การคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยายของการวิเคราะห์ ตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ ± 0.31 , ± 0.01 และ ± 0.9 ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่า Relative standard uncertainty ไม่เกิน 10%

การสำรวจปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม

จากข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่แจ้งไว้ในฉลากพบว่า กระดาษจำนวน 13 ตัวอย่าง ทำจากเหล็ก 3 ตัวอย่าง อะลูมิเนียม 10 ตัวอย่าง หม้อจำนวน 13 ตัวอย่าง ทำจากอะลูมิเนียม 7 ตัวอย่าง และสแตนเลส 6 ตัวอย่าง จานร้อนจำนวน 4 ตัวอย่าง ทำจากเหล็ก 1 ตัวอย่าง อะลูมิเนียม 3 ตัวอย่าง กาต้มน้ำจำนวน 2 ตัวอย่าง ทำจากอะลูมิเนียม 2 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่าง ไม่มีฉลาก ยกเว้นตัวอย่างจานร้อนที่ทำจากเหล็กมีฉลากแจ้งรายละเอียด วิธีใช้ ข้อแนะนำ ผู้ผลิตและสถานที่ผลิต

ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมจากภาชนะหุงต้ม 32 ตัวอย่าง พบการละลายออกมาของตะกั่ว 18 ตัวอย่าง (ร้อยละ 56) ปริมาณที่พบอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.1 – 3.35 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม พบ 5 ตัวอย่าง (ร้อยละ 16) ปริมาณที่พบอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.01 – 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และอะลูมิเนียม พบ 32 ตัวอย่าง (ร้อยละ 100) ปริมาณที่พบอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.010 – 953 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การสำรวจปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมที่แพร่กระจายออกมาจากภาชนะหุงต้ม

ชนิดภาชนะหุงต้ม	พบ	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)		แคดเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)			อะลูมิเนียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
		ปริมาณที่พบ	median	พบ	ปริมาณที่พบ	median	พบ	ปริมาณที่พบ	median
เหล็ก 4 ตัวอย่าง	4 ตัวอย่าง	< 0.1–0.2	< 0.1	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	4 ตัวอย่าง	0.120–0.400	0.262
สแตนเลส 6 ตัวอย่าง	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	6 ตัวอย่าง	< 0.010–0.395	1.905
อะลูมิเนียม 22 ตัวอย่าง	14 ตัวอย่าง	< 0.1–3.35	0.2	5 ตัวอย่าง	< 0.01–0.01	< 0.01	22 ตัวอย่าง	11–953	275
รวม 32 ตัวอย่าง	18 ตัวอย่าง	< 0.1–3.35	0.15	5 ตัวอย่าง	< 0.01–0.01	< 0.01	22 ตัวอย่าง	< 0.010–953	154

วิจารณ์

การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้ม โดยใช้ Flame-AAS และ GF-AAS ตามลำดับ พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียม มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตลอดช่วงความเข้มข้น ดังนี้ ตะกั่ว ความเข้มข้น 0–3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม 0–0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และอะลูมิเนียม 0–0.200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่า $r \geq 0.995$ และใช้เป็นช่วงการวัดของโลหะทั้ง 3 ชนิด วิธีวิเคราะห์นี้มีขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD) ของตะกั่วเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร อะลูมิเนียม 0.004 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของตะกั่ว แคดเมียม และอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.1, 0.01 และ 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งได้ผ่านการยืนยันโดยการประเมินความแม่นยำและความเที่ยง จากการประเมินด้วย %recovery,

% RSD และ HORRAT พบว่าทุกค่าผ่านเกณฑ์ยอมรับตามที่ระบุใน AOAC⁽¹⁴⁾ จากการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่ามีค่า Relative standard uncertainty ไม่เกิน 10% ของค่าที่วิเคราะห์ได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่า %RSD ของตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้นใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการทำ collaborative study ที่ดำเนินการโดย FDA USA⁽⁸⁾ พบว่ามีค่าไม่เกิน repeatability within-laboratory standard deviation ดังนั้นวิธี Hot leaching ของ AOAC ซึ่งผ่านการทำ collaborative study จนทำให้ WHO-AOAC ยอมรับเป็น Official method นี้ จึงมีความเหมาะสม สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มได้

ภาชนะหุงต้มใช้ปรุงอาหารหลากหลายประเภทที่มีส่วนประกอบต่างๆ เช่น ไขมัน กรด กรดเกลือ เป็นต้น และมีการใช้ความร้อนหลายช่วงเวลา ในการทดสอบจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ครอบคลุมการใช้งาน เนื่องจากในชีวิตประจำวัน การใช้ภาชนะหุงต้มมีการใช้ซ้ำๆ จนกระทั่งภาชนะนั้นไม่สามารถใช้งานได้ อีกวิธีวิเคราะห์การละลายออกมาของโลหะจากภาชนะหุงต้มตามวิธี AOAC (1984)⁽⁹⁾ กำหนดให้ใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนอาหารประเภทกรดหรืออาหารที่มีค่า pH ไม่เกิน 5 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติก ร้อยละ 2-6 ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกัน ขณะที่ระยะเวลาที่ใช้หุงต้มกำหนดไว้ 2 ชั่วโมงนั้น กำหนดจากระยะเวลาโดยประมาณของการปรุงอาหารในภาชนะประเภทโลหะเคลือบ (enameled ware)⁽⁸⁾

ผลการสำรวจภาชนะหุงต้มที่วางจำหน่ายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จำนวน 32 ตัวอย่าง พบตัวอย่างที่มีตะกั่วและแคดเมียมละลายออกมาคิดเป็นร้อยละ 56 และ 16 ตามลำดับ ปริมาณที่ละลายอยู่ในช่วง น้อยกว่า 0.1 – 3.35 และ น้อยกว่า 0.01–0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ไม่มีตัวอย่างใดเกินค่ามาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528)⁽¹⁾ ซึ่งกำหนดปริมาณตะกั่วไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคดเมียม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาพบว่าภาชนะอะลูมิเนียมมีการละลายออกมาของโลหะทั้ง 3 ชนิดมากที่สุดเพราะวัสดุชนิดนี้ไม่ทนต่อสภาวะที่เป็นกรด สังเกตได้จากผิวของภาชนะภายหลังการทดสอบถูกกัดกร่อน พื้นผิวขรุขระไม่เรียบ ไม่มันวาว สภาพเปลี่ยนไปจากก่อนทำการทดสอบ ถึงแม้ว่าปริมาณการละลายออกมาของตะกั่วและแคดเมียมจะไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด แต่ก็มีการละลายออกมามากในภาชนะชนิดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นที่ใช้ในการศึกษา นี้ และมีปริมาณการละลายออกมาของอะลูมิเนียมสูงที่สุดถึง 953 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ภาชนะหุงต้มชนิดนี้ปรุงอาหารจึงมีโอกาสได้รับอะลูมิเนียมออกมาสู่อาหารได้ เนื่องจากอะลูมิเนียมไม่มีมาตรฐานกำหนดทั้งต่างประเทศ และในประเทศ อาจเป็นเพราะต่างประเทศไม่นิยมใช้ภาชนะอะลูมิเนียม ในขณะที่ประเทศไทยนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะราคาถูก หาซื้อง่าย จึงควรกำหนดค่ามาตรฐานของอะลูมิเนียม เพราะอะลูมิเนียมมีผลกระทบต่อสุขภาพโดยอาจก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรกำหนดค่ามาตรฐานของอะลูมิเนียม

ภาชนะสเตนเลส มีความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดได้มาก สังเกตได้จากผิวที่ยังคงความมันวาวภายหลังการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากสเตนเลสเป็นโลหะผสมของเหล็กกับโลหะอื่น เช่น โครเมียม นิกเกิล ไทเทเนียม เป็นต้น โดยมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติเชิงกลที่ผู้ผลิตต้องการ อีกทั้งโครเมียมช่วยทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์เคลือบผิวภาชนะซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนได้⁽¹⁵⁾ แต่ยังมีมีการตรวจพบอะลูมิเนียมละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มชนิดสเตนเลส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภาชนะที่ทดสอบมีราคาถูกอาจมีการปนมาของโลหะชนิดอื่นนอกเหนือจากวัสดุหลัก เช่นเดียวกับการตรวจพบอะลูมิเนียมละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มทำด้วยเหล็ก

สรุป

วิธีวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและอะลูมิเนียมที่ละลายออกมาจากภาชนะหุงต้มนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณทางห้องปฏิบัติการและงานวิจัยได้

จากการสำรวจหาปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ที่แพร่กระจายออกมาจากภาชนะหุงต้มราคาถูกที่วางจำหน่ายในตลาดกรุงเทพฯ และปริมณฑล พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528) สำหรับอะลูมิเนียมพบว่ามีสารละลายออกมาจากทุกตัวอย่าง โดยเฉพาะภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่คนไทยนิยมใช้กันแพร่หลายตรวจพบการละลายออกมาในปริมาณสูง การได้รับอะลูมิเนียมจากอาหารที่บริโภคประจำวันเป็นประจำ อาจสะสมจนถึงระดับที่อันตรายต่อร่างกายได้ สำหรับประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดของอะลูมิเนียมเกี่ยวกับภาชนะหุงต้ม แต่ JECFA⁽¹⁶⁾ (1989) ได้กำหนดค่าสูงสุดที่สามารถรับได้ต่อสัปดาห์ (PTWI) ไว้ไม่เกิน 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อสัปดาห์แล้ว ดังนั้นประเทศไทยควรพิจารณากำหนดค่ามาตรฐานของอะลูมิเนียมในอาหารและภาชนะหุงต้มสำหรับผู้บริโภค เพื่อความปลอดภัยจากการได้รับโลหะที่อาจปนเปื้อนสู่อาหาร ในการใช้ภาชนะหุงต้มควรหลีกเลี่ยงการใช้ภาชนะอะลูมิเนียมกับอาหารที่มีสถานะที่เป็นกรดและไม่ควรเก็บรักษาอาหารที่มีสถานะเป็นกรดไว้ในภาชนะหุงต้มที่เป็นโลหะทุกชนิดเป็นเวลานาน ๆ เช่น เก็บข้ามคืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางลัดดาวัลย์ โรจนพรณทิพย์ อดีตผู้อำนวยการสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร นางกนกพร อธิสุข ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านมาตรฐานของอาหาร ช่วยตรวจต้นฉบับและเจ้าหน้าที่ฝ่ายวัสดุสัมผัสอาหารทุกท่านที่ให้การดำเนินงานสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 92 (พ.ศ. 2528) ราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่มที่ 102 ตอนที่ 117 (ลงวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2528)
2. กรมควบคุมโรค. อีพพบสารตะกั่วในแนวตะเข็บชายแดนสูงวอนเปลี่ยนภาชนะประกอบอาหาร ลดความเสี่ยง. [ออนไลน์]. 2555; [สืบค้น 2 มี.ค. 2557]; [1หน้า]. เข้าถึงได้ที่ : URL: http://dpc9.ddc.moph.go.th/crd/news/2555/03_17_Lead.html.
3. Mohammad FS, Al Zubaidy EAH, Bassioni G. Effect of aluminium leaching process of cooking wares on Food. Int. J. Electrochem. Sci. 2011; (6): 222-230.
4. Al Zubaidy EAH, Mohammad FS, Bassioni G. Effect of pH, salinity and temperature on aluminum cookware leaching during food preparation. Int. J. Electrochem. Sci. 2011; (6): 6424-6441.
5. Al Jahaiman LA. Estimating Aluminium leaching from Aluminum cook wares in different meat extracts and milk. Journal of Saudi Chemical Society 2010; (14): 131-137.
6. วิชา คงดี. ระดับสารตะกั่วในเลือดกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพสัมผัสสารตะกั่วใน 3 จังหวัดภาคใต้. ว กรรมวิทย์ พ 2541; 40 (2) : 223-8.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public health statement: Cadmium. Atlanta: Department of Health and Human Services; 2012.
8. Gould JH, Butler SW, Boyer KW, Steele EA. Hot leaching of ceramic and enameled cookware: Collaborative study. J Assoc Off Anal Chem. 1983; 66(3): 610-619.
9. Boyer KW, editor. Cadmium and Lead in Cookware Hot Leach Atomic Absorption Method. In: Williams S. editor. Official Method of Analysis of AOAC International 14 th ed. Virginia: The William Byrd Press, Inc.; 1984: 447-448.
10. Analytical methods. Flame atomic absorption spectrometry. Australia: Varian Australia Pty Ltd.; 1989. (Publication No 85-100009-00)
11. Rothery E. editor. Analytical methods for graphite tube atomizers. Australia: Varian Australia Pty Ltd.; 1988. (Publication No 85-100848-00)

12. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว
นนทบุรี : กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข; 2549.
 13. EURACHEM/CITAC Guide CG 4. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 2nd ed; 2000.
 14. AOAC Guidelines for single-laboratory validation of chemical methods, 2002.
 15. Cunat PJ. Alloying elements in stainless steel and other chromium-containing alloys. 2004; [สืบค้น 2
มี.ค. 2557]; [24 หน้า]. เข้าถึงได้ที่: URL: http://www.euro-inox.org/pdf/map/Alloying Elements_EN.pdf.
 16. JECFA (1989). Evaluation certain food additives and contaminants. Thirty-third report of the joint
FAO/ WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization, Technical Report
Series 776.
-

Determination of Lead, Cadmium and Aluminium Leached from Cooking Utensils

Sasitorn Homdumrongvong Jaturong Sinkheaw and Uma Boriboon

Bureau of Quality and Safety of Food, Department of Medical Sciences, Nonthaburi 11000, Thailand.

ABSTRACT The analysis of lead, cadmium and aluminium, which is leached from cooking utensils, was performed by heating with a 4% v/v acetic acid solution at boiling temperature for 2 hours. The leached solutions were quantitation analyzed for lead and cadmium by Flame-AAS and GF-AAS for aluminium. The results of method validation showed that the linearity of calibration ranges correlated between absorbance and the concentration of lead, cadmium and aluminium at a range of 0–3.00, 0–0.8 and 0–0.200 mg/L, with correlation coefficients (r) of 0.9999, 0.9993 and 0.9995, respectively. There were linear relationships between added and discovered amounts of these metals at the working range. The limits of detection (LOD) of lead, cadmium and aluminium were 0.05, 0.001 and 0.004 mg/L, respectively. Further, the limits of quantitation (LOQ) were 0.1, 0.01 and 0.010 mg/L, respectively. Accuracy and precision were studied as % recovery of spiked samples and %RSD under repeatability conditions. The recoveries for 3 levels of lead, cadmium and aluminium were 92–99%, 101–103% and 98–108%, respectively. The %RSD of the levels was 5.5–7.5, 2.3–3.3 and 2.8–5.9, respectively. Using these methods, a total of 32 cooking utensil distributions were analyzed. The results showed that 56% of samples were leached lead at a level <0.1–3.35 mg/L and 16% of samples were leached cadmium at a level <0.10–0.10 mg/L. None of the samples leached lead or cadmium over the legal limit as set forth by the Notification of Public Health No. 92 (B.E. 2528). All samples showed the presence of aluminium in the leaching solution at an average level of 232 mg/L. According to Thai law, there are no specified legal limitations for aluminium content in utensils. However, aluminium is regarded as a neurotoxin agent due to its accumulation in the brain, bones and liver. JECFA (1989) established a PTWI at 7 mg/kg of body weight for total intake. In order to protect consumers from aluminium intake, related organizations should establish limitations for aluminium leaching. As a result, storage of acidic foods with these cooking utensils is not recommended.

Key words: lead cadmium aluminium leaching, cooking utensils, Flame-AAS, GF-AAS