

การวิเคราะห์หาแคดเมียมในตัวอย่างน้ำโดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรีหลังจากเพิ่มความเข้มข้นด้วยการตกตะกอนร่วมกับคอปเปอร์-

8-ไฮดรอกซีควิโนลีนโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก

Determination of Cadmium in Water Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry after Co-precipitation with Copper-8- Hydroxyquinoline Using Cationic Surfactant

พัชรี กลิ่นบุญ¹, วิภารัตน์ เชื้อชวด ชัยสิทธิ์^{1*}, ยุทธพงษ์ อุดแน่น¹, รัตนา สนั่นเมือง¹

Phatcharee Klinboon¹, Wipharat Chuachud Chaiyasith¹, Yuthapong Udnan¹, Ratana Sananmuang¹

Received: 17 February 2012 ;Accepted: 20 May 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมในตัวอย่างน้ำ เช่น น้ำประปา น้ำบาดาล และน้ำดื่ม โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วมกับคอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน โดยเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกเซทิลไตร-เมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ และตรวจวัดด้วยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี โดยได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และผลของตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช ปริมาตรรีเอเจนต์ในการตกตะกอนร่วม (คอปเปอร์ (II) ไนเตรต และ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน) ปริมาณสารลดแรงตึงผิว ระยะเวลาในการตกตะกอน ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยง ปริมาตรของสารตัวอย่าง และผลรบกวนจากโลหะชนิดต่างๆ พบว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมีค่าแฟกเตอร์การเพิ่มความเข้มข้นเท่ากับ 4.39 ซึ่งจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมจากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 4.03 ไมโครกรัมต่อลิตร ผลจากการศึกษาความถูกต้อง และความแม่นยำในการวิเคราะห์พบว่าได้ค่าร้อยละการกลับคืน อยู่ในช่วง 78.4 - 114.8 ความแม่นยำในรูปร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.3-4.5 ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม 25-300 ไมโครกรัมต่อลิตร ได้นำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างน้ำประเภทต่างๆ พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: การตกตะกอนร่วม เฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี แคดเมียม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน คอปเปอร์ (II) ไนเตรต

Abstract

A preconcentration technique based on co-precipitation of cadmium with copper-8-hydroxyquinoline using cationic surfactant, cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB), for the determination of cadmium in water samples, *i.e.* tap water, ground water and drinking water by flame atomic absorption spectrometry was developed. The optimization of important parameters, such as effect of pH, amounts of reagents, *i.e.* copper nitrate and 8-hydroxyquinoline, surfactant concentration, co-precipitation time, centrifugation time, sample volume and interferences from various metals were evaluated. Under the optimized conditions, the enrichment factor was 4.39. The detection limit corresponding to three times of standard deviation (3s, n=10) was 4.03 µg/L. The percentage recoveries of cadmium were found in range of 78.4 - 114.8 %. The precision defined as relative standard deviation (%RSD) were in the range of 0.3 - 4.5% at the concentration of cadmium 25-300 µg/L. The developed method was applied for the determination of cadmium in some water samples with satisfactory results.

Keywords: Co-precipitation, Flame Atomic Absorption Spectrometry, Cadmium, 8-hydroxyquinoline, Copper (II) nitrate

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000, Thailand.

* Corresponding author. E-mail: wipharatc@nu.ac.th

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต แหล่งที่มาของสารพิษในน้ำส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งในชีวิตประจำวันตามบ้านเรือน ซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์ได้

แคดเมียมเป็นโลหะหนัก และเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ตาม พ.ร.บ.วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ควบคุมโดยกรมวิชาการเกษตร และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ซึ่งแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำมีแหล่งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี และโรงงานผลิตพลาสติก ซึ่งพิษของแคดเมียมนั้น ถ้าได้รับปริมาณมากในทันที อาจทำให้เกิดโรค อีไต อีไต (Itai-Itai disease) มีผลให้กระดูกเปราะ และปวดอย่างรุนแรง ถ้าได้รับสารในปริมาณน้อยแต่เป็นเวลานาน จะก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ไตทำงานผิดปกติ กระวนกระวาย ขาดสมาธิ ความจำเสื่อม ถ้ามีอาการอ่อนเพลียอาจหมดสติและตายได้ โดยปริมาณแคดเมียมที่พบในน้ำบริโภค น้ำบาดาล จะต้องมีความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม ต่อลิตร และน้ำดื่มที่มีภาชนะปิดสนิทต้องไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ^{3,4,5}

โลหะหนักที่พบโดยทั่วไปในสิ่งแวดล้อมนั้นมักจะมีปริมาณน้อยซึ่งเป็นการยากในการตรวจสอบโดยเทคนิคหรือเครื่องมือวิเคราะห์ทั่วไป จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการแยก และการเพิ่มความเข้มข้นมาช่วยในการวิเคราะห์ เช่น เทคนิคการสกัดแบบของเหลว-ของเหลว (liquid liquid extraction) เทคนิคการสกัดด้วยเฟสของแข็ง (solid phase extraction) การตกตะกอนร่วม (co-precipitation) และการสกัดแบบจุดขุ่น (cloud point extraction) เป็นต้น⁶⁻⁹ ซึ่งทำให้ได้ค่าแฟกเตอร์ในการเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration factor, PF) สูงขึ้น และหาสภาวะที่เหมาะสมได้ง่าย การแยกวิเคราะห์ได้เร็วและสามารถตรวจวัดด้วยเทคนิคต่างๆ ได้ เช่น ETAAS¹⁰ FAAS¹¹ และ ICP-OES¹² แต่เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย และการสกัดด้วยเฟสของแข็งนั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูงใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์นาน รวมถึงใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ และสารเคมีอื่นที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม¹³

การใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วมเพื่อเพิ่มความเข้มข้นโลหะหนักก่อนการวิเคราะห์มีข้อดีคือ สามารถเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้สารตัวอย่างปริมาณมากได้ ใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อย หลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัด ลดขั้นตอน และเวลาในการเตรียมตัวอย่าง ส่วนการใช้สารลดแรงตึงผิวได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน ดูดซับของเสีย โดยการบำบัดทางเคมีนั้น

จะเป็นการตกตะกอน (precipitation) โลหะที่เป็นพิษ และเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของอิมัลชัน และการแยกตัวทางกายภาพ เช่น การตกตะกอน ของโลหะ การกำจัดวัสดุที่ลอยผิวหน้าออก¹⁴

จากรายงานที่ผ่านมาได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยใช้สารชนิดต่างๆ ได้แก่ คอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ในตัวอย่างทางชีววิทยาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาธาตุโคบอลต์ และแมงกานีส¹⁵ การใช้คอปเปอร์ร่วมกับสาร BPHA ในตัวอย่างน้ำ ดิน และตะกอน¹⁶ การใช้คอปเปอร์-DDTC ในตัวอย่างแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อวิเคราะห์หาแคดเมียม ตะกั่ว โคบอลต์ นิกเกิล และแมงกานีส¹⁷ และการใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม คอปเปอร์ และตะกั่วในตัวอย่างน้ำ ธรรมชาติ¹⁸ เป็นต้น จากการศึกษาเบื้องต้น โดยคณะวิจัยกลุ่มเดียวกันในการหาปริมาณโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมกับคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟลอมอะตอมมิคสเปกโตรเมตรี ทำการศึกษาวิธีการตกตะกอนร่วม และการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดต่างๆ ได้แก่ Triton X-114 Triton X-100 และ CTAB พบว่าการเติม CTAB ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกสามารถทำให้การแยกตะกอนทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังทำให้ได้ค่าร้อยละการกลับคืน และความแม่นยำในการวิเคราะห์ดีขึ้นอีกด้วย¹⁹ จึงเป็นแนวทางในการนำสารลดแรงตึงผิว CTAB มาปรับใช้กับระบบการตกตะกอนร่วมกับสารประกอบเชิงซ้อน คอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน เพื่อหาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างน้ำได้ ซึ่งยังไม่มีผู้ใดได้ทำการศึกษามาก่อน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจในการพัฒนาเทคนิค การเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำประปา น้ำบาดาล และน้ำดื่ม โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วมกับสารประกอบเชิงซ้อน คอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน และเติมสารลดแรงตึงผิวชนิด ประจุบวก (CTAB) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับตัวของตะกอน การแยกตะกอน และตรวจวัดด้วยเทคนิค เฟลอมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ เครื่องเฟลอมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (flame atomic absorption spectrometer, Varian SpectrAA 220) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Hettich Zentrifugen, EBA 3S) เครื่องคนสารละลาย (magnetic stirrer, Fisher Scientific) และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยเป็นกรดงานวิเคราะห์ได้แก่ คอปเปอร์ (II) ในเตรต

($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), Carlo Erba reagent) เพื่อใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ (II) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเตรียมจากการชั่งคอปเปอร์ไนเตรด 0.378 กรัม และละลายในน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (H_2O_2 , Merck) กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3 , Carlo Erba) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , Merck) CTAB (cetyl trimethyl ammonium bromide, $\text{C}_{12}\text{H}_{42}\text{BrN}$, Loba Achemie) 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ($\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$, Acros organics) สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้จากการเจือจางสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารที่ใช้ในการศึกษาผลการรบกวนจากโลหะชนิดต่างๆ ได้แก่ สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากเหล็ก (II) ซัลเฟต (Sigma Aldrich) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) (BDH Spectrosol) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) (Carlo Erba)

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการ ตกตะกอนร่วม

เปิดสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงใน ปีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายคอปเปอร์ (II) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการศึกษา 2 ชุดการทดลองเปรียบเทียบกัน ชุดละ 3 ซ้ำ ซึ่งทำการศึกษาสภาวะที่แตกต่างกันได้แก่ ค่าพีเอช ในช่วง 3-11 ปริมาตรคอปเปอร์ (II) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วง 0.1-2.5 มิลลิกรัม สารละลาย 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน เข้มข้น 1% น้ำหนักโดยปริมาตร ในช่วง 0-30 มิลลิกรัม CTAB เข้มข้น 0.05% น้ำหนักโดยปริมาตร ในช่วง 0-1.5 มิลลิกรัม เวลาในการตกตะกอนในช่วง 0-30 นาที เวลาในการปั่นเหวี่ยง เพื่อแยกสารในช่วง 0-30 นาที และปริมาตรของ สารตัวอย่างในช่วง 5-250 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลอมอะตอมมิค-แอมป์ซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำได้แก่ น้ำประปา (tap water) น้ำบาดาล (ground water) และน้ำดื่ม (drinking water) จากเขตอำเภอเมือง อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก และอำเภอเมือง อำเภอยะมาต จังหวัดพิจิตร ชนิดละ 7 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 21 ตัวอย่างในขวดพลาสติก (PET) ปริมาตร

1 ลิตรโดยล้างขวดด้วยน้ำให้สะอาดก่อนเก็บน้ำตัวอย่าง และปิดฉลาก เชื้อไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำมาวิเคราะห์²⁰

นำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน (Whatman) จากนั้นเปิดน้ำตัวอย่างมา 10 มิลลิลิตร ใส่ในปีกเกอร์ และทำการทดลองตามข้อ 2.2

การหาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างน้ำโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน (standard addition)

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จากสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรแบ่งสารละลายน้ำตัวอย่างออกเป็น 3 ส่วน เติมสารมาตรฐานแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไป และเติม CTAB แล้วนำไปทำการตกตะกอนร่วมภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยทำควบคู่กับน้ำปราศจากไอออนซึ่งใช้เป็นแบลนด์ (blank) เพื่อนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณเพื่อเทียบหาปริมาณของความเข้มข้นของแคดเมียมที่พบในน้ำตัวอย่าง

การศึกษาลรบกวนจากไอออนโลหะ ชนิดต่าง ๆ

ทำการศึกษาผลรบกวนจากไอออนโลหะชนิดต่างๆ ได้แก่ Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} และ Ni^{2+} ตามลำดับที่ความเข้มข้น 0, 0.1, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเปิดสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรใส่ในหลอด เซนตริฟิวจ์ (centrifuge tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร เติมไอออนโลหะรบกวนชนิดต่างๆ ลงไปตามความเข้มข้นที่กำหนด เติมสารละลายคอปเปอร์ (II) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร สารละลาย 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน เข้มข้น 1% น้ำหนักโดยปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และ CTAB เข้มข้น 0.05% น้ำหนักโดยปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเท่ากับ 5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการตกตะกอน 5 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ทำการแยกและละลายตะกอนที่ได้ด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 4 โมลต่อลิตร นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลอมอะตอมมิค-แอมป์ซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าการรบกวนที่มีผลต่อร้อยละการกลับคืนที่มีความแตกต่างจากเดิม $\pm 5\%$ โดยเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนร่วมของแคดเมียมกับคอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ พีเอช ปริมาณคอปเปอร์ (II) ในเตรต ปริมาณ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ปริมาณ CTAB เวลาในการตกตะกอน เวลาในการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสาร และปริมาตรของสารตัวอย่าง ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลของพีเอช

จากผลการทดลองโดยทำการศึกษาในช่วง พีเอช เท่ากับ 3-11 โดยใช้คอปเปอร์ (II) ปริมาณ 1 มิลลิกรัม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน 10 มิลลิกรัม และ CTAB เข้มข้น 0.01% น้ำหนักโดยปริมาตร ตั้งทิ้งไว้เพื่อตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าพีเอชของสารละลายมีผลต่อค่าร้อยละของการคืนกลับของแคดเมียมหลังจากทำการเพิ่มความเข้มข้นด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วมกับ คอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน โดยสารละลายที่มี พีเอชเท่ากับ 5 จะให้ค่าร้อยละการคืนกลับของแคดเมียมสูงสุด (Figure 1) ดังนั้นจึงได้เลือกค่าพีเอชของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 5 เพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป และจากผลการเติมสารลดแรงตึงผิว CTAB พบว่า สามารถแยกตะกอนออกจากสารละลายได้ง่ายกว่า และให้ค่าร้อยละการคืนกลับที่มีค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับไม่เติม CTAB ดังนั้นในการหาสภาวะ ที่เหมาะสมอื่นๆ จะศึกษาผลของการเติม และไม่เติม CTAB ควบคู่กันไปด้วย

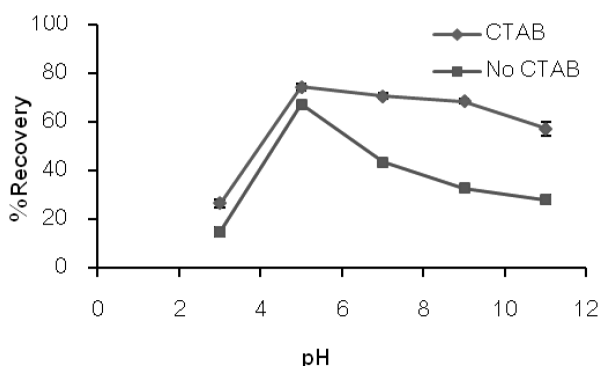


Figure 1 Influence of pH on recoveries of cadmium after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline complex (n = 3)

ผลของปริมาณคอปเปอร์ (II) ที่ใช้ในการตกตะกอนร่วม

จากการศึกษาผลของปริมาณคอปเปอร์ (II) ในช่วง ปริมาณ 0.1-2.5 มิลลิกรัม โดยใช้ 8-ไฮดรอกซี-ควิโนลีน 10 มิลลิกรัม และ CTAB เข้มข้น 0.01% น้ำหนักโดยปริมาตร ตามลำดับ ปรับพีเอชเท่ากับ 5 ตั้งทิ้งไว้เพื่อตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง เฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ พบว่า ปริมาณของคอปเปอร์ (II) มีผลต่อการการเกิดตะกอนของคอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน อย่างมาก โดยเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของคอปเปอร์ (II) มากกว่า 0.75 มิลลิกรัม ส่งผลทำให้ได้ค่าร้อยละการคืนกลับลดลงเนื่องจากปริมาณคอปเปอร์ (II) ที่มากเกินไปนั้นอาจเกิดการดูดซับที่ผิวของตะกอนทำให้แคดเมียมเกิดการตกตะกอนร่วมได้น้อยลง (Figure 2) ดังนั้นจึงเลือกเติมคอปเปอร์ (II) ปริมาณ 0.5 มิลลิกรัมเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

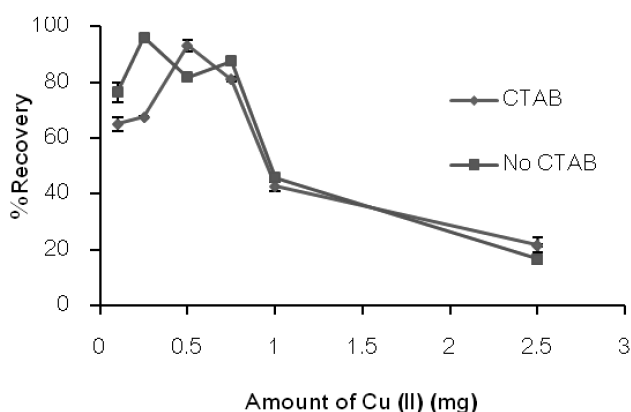


Figure 2 Influence of amount of copper on recoveries of cadmium after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline complex (n = 3)

ผลของปริมาณ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนในการตกตะกอนร่วม

จากการศึกษาปริมาณของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ที่ใช้ในการตกตะกอนร่วมโดยเติม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ความเข้มข้น 1% น้ำหนักโดยปริมาตร ในปริมาณที่แตกต่างกัน และเติมในปริมาณ ที่มากเกินไป ซึ่งทำการศึกษาในช่วงปริมาณ 0-30 มิลลิกรัม โดยใช้สารละลายคอปเปอร์ (II) 0.5 มิลลิกรัม และ CTAB เข้มข้น 0.01% น้ำหนักโดยปริมาตร ตั้งทิ้งไว้เพื่อ

ตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาทีแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิค-แอมป์ซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ พบว่า ร้อยละการกลับคืนของแคดเมียมที่ได้จากการตกตะกอนร่วมมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน มากกว่า 0.5 มิลลิกรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนที่เกินมาอาจเกิดการดูดซับไว้ที่ผิวของตะกอนทำให้แคดเมียมมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนร่วมได้ลดลง (Figure 3) ซึ่งการเติม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ปริมาณเท่ากับ 5 มิลลิกรัม จะให้ค่าร้อยละการกลับคืนของแคดเมียมโดยวิธีตกตะกอนร่วมสูงสุดเท่ากับ 85.3 จึงได้เลือกค่านี้เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป ซึ่งการเติม CTAB จะให้ค่าร้อยละการกลับคืนที่สูงกว่า และสามารถแยกตะกอนได้ง่ายกว่า

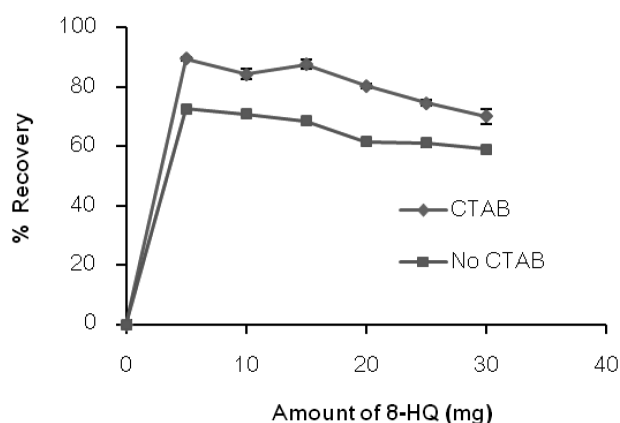


Figure 3 Influence of amount of 8-Hydroxy-quinoline on recoveries of cadmium after co-precipitation with Cu- 8-hydroxyquinoline complex (n = 3)

ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิว CTAB

จากการศึกษาผลของการเติมสารลดแรง ตึงผิว (CTAB) ในช่วง 0-1.5 มิลลิกรัม (0.5×10^{-3} - 1.5×10^{-2} % น้ำหนักโดยปริมาตร) โดยใช้ CTAB ความเข้มข้น 0.05% น้ำหนักโดยปริมาตร ในปริมาณต่างๆ ซึ่งใช้สารละลายคอปเปอร์ (II) 0.5 มิลลิกรัม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน 5 มิลลิกรัม ปรับพีเอชเท่ากับ 5 ตั้งทิ้งไว้เพื่อตกตะกอนเป็นเวลา 10 นาทีแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วย

เครื่องเฟลมอะตอมมิค-แอมป์ซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ พบว่า CTAB ความเข้มข้น 1.25×10^{-3} % น้ำหนักโดยปริมาตร จะให้ค่าร้อยละการกลับคืนสูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณของ CTAB จะให้ร้อยละการกลับคืนของแคดเมียมที่ได้จากการตกตะกอนร่วมนั้นเริ่มคงที่ และมีค่าลดลง (Figure 4) ซึ่งการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกลงไป จะมีผลทำให้ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว CTAB เกิดการแบ่งส่วน (partition) ล้อมรอบโมเลกุลของ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน และล้อมรอบแคดเมียมอยู่ภายใน ทำให้แคดเมียมสามารถจับกับผิวของตะกอนได้ดี และเกิดการละลายออกมาในชั้นน้ำได้น้อย และถ้าเติม CTAB ปริมาณมากเกินไปอาจทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมได้น้อยลง อย่างไรก็ตามการเติมสารลดแรงตึงผิวนั้นช่วยทำให้การแยกตะกอนออกจากสารละลายทำได้ง่ายขึ้น มีค่าร้อยละการกลับคืนที่สูง และมีร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 1.5% ดังนั้นจึงได้เลือกความเข้มข้นของ CTAB ที่ 1.25×10^{-3} % น้ำหนักโดยปริมาตร เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

ผลของเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนร่วม

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนหรือเวลาในการเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะให้ตะกอนสีเหลืองแกมเขียวเกิดขึ้นโดยไม่มีการคนสารละลายตัวอย่าง ซึ่งศึกษาในช่วงเวลา 0-30 นาที โดยใช้สารละลายคอปเปอร์ (II) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม ต่อลิตร ปริมาณ 0.5 มิลลิกรัม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน 5 มิลลิกรัม และ CTAB เข้มข้น 1.25×10^{-3} % น้ำหนักโดยปริมาตร ปรับพีเอชเท่ากับ 5 ตั้งทิ้งไว้เพื่อตกตะกอนแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิค-แอมป์ซอร์พชันสเปกโตร-มิเตอร์ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการตกตะกอนมากขึ้น จะให้ค่าร้อยละการกลับคืนมีแนวโน้มคงที่ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเพียง 5 นาที ก็สามารถเกิดการตกตะกอนได้ และตะกอนเกิดการดูดซับแคดเมียมไว้ที่ผิวของตะกอนทำให้แคดเมียมเป็นเสมือนสิ่งเจือปน ที่แทรกตัวอยู่ในตะกอน และสามารถให้ค่าร้อยละการคืนกลับที่สูงสุดเท่ากับ 86.1 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ (Figure 5) ดังนั้นจึงได้เลือกใช้เวลาที่ 5 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา และเกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ในการทดลองขั้นต่อไป

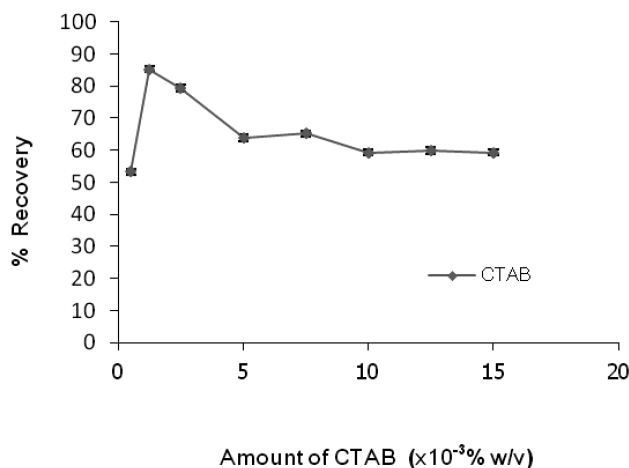


Figure 4 Influence of CTAB concentration on recoveries of cadmium (II) after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline complex ($n = 3$)

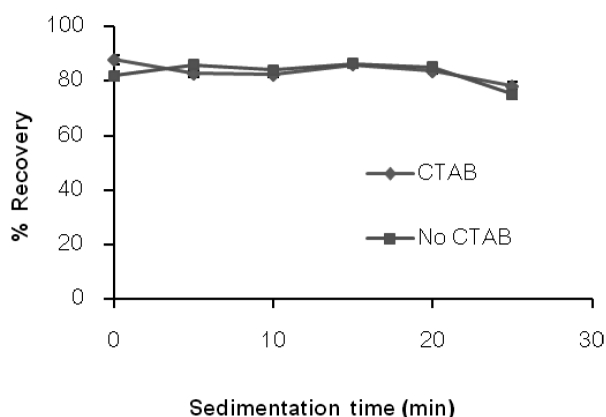


Figure 5 Influence of sedimentation time on recoveries of cadmium after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline complex ($n = 3$)

ผลของเวลาในการปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน

จากการศึกษาเวลาในการปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตะกอนออกจากสารละลาย และเพื่อให้ได้ค่าร้อยละการกลับคืนที่มากขึ้น โดยใช้สารละลายคอปเปอร์ (II) 0.5 มิลลิกรัม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน 5 มิลลิกรัม และ CTAB เข้มข้น $1.25 \times 10^{-3}\%$ นำหนักโดยปริมาตร ปรับพีเอช เท่ากับ 5 ตามลำดับ ตั้งทิ้งไว้เพื่อตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา ในช่วง 5-30 นาที จากนั้นนำมาแยก ละลายตะกอน และปรับ ปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมล ต่อลิตร แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลอมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตร-มิเตอร์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยง สารที่ 5 นาที ให้ร้อยละการกลับคืนของแคดเมียมได้สูงสุด เท่ากับ 95.6 และเมื่อเพิ่มเวลาในการหมุนเหวี่ยงมากขึ้นพบว่า

ค่าร้อยละการกลับคืนที่ได้มีค่าเกือบคงที่ และมีแนวโน้มลดลง (Figure 6) ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากแคดเมียมที่อยู่ในตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนสามารถเกิดการละลายอยู่ในวัฏภาคของสารละลายได้เมื่อมีการปั่นเหวี่ยงที่นานเกินไปทำให้ค่าร้อยละ การกลับคืนลดลง

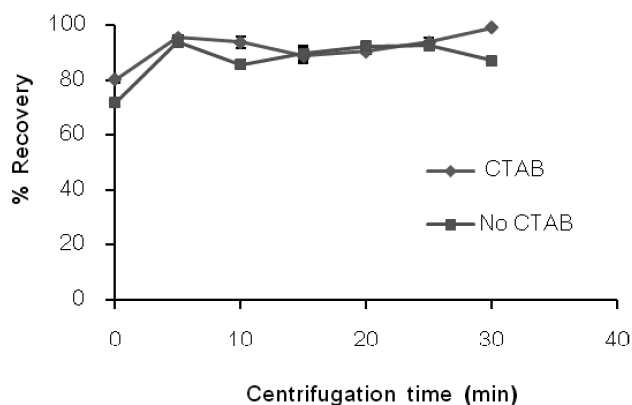


Figure 6 Influence of centrifugation time on recoveries of cadmium after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline complex ($n = 3$)

ผลของปริมาตรของสารตัวอย่างในการตกตะกอนร่วม

ในการเพิ่มความเข้มข้นของวิธีที่พัฒนาขึ้นหรือค่าแฟกเตอร์ในการเพิ่มความเข้มข้นที่สามารถ ทำได้โดยวิธีดังกล่าว โดยทำการศึกษาในช่วงปริมาตร 5-250 มิลลิลิตร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรของสารตัวอย่างจาก 5-50 มิลลิลิตร ปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตรให้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 81.7-85.6 และเมื่อเพิ่มปริมาตรสารตัวอย่างเป็น 100-250 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 2, 2.5 และ 4 มิลลิลิตร ตามลำดับพบว่าร้อยละการกลับคืนที่ได้ มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 51.1-71.4 ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย โดยใช้ปริมาตรสารตัวอย่างได้สูงสุดเท่ากับ 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร ดังนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้สูงสุดเท่ากับ 25 เท่า

การประยุกต์ใช้วิธีการตกตะกอนร่วมในการหาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างน้ำประเภทต่าง ๆ

จากการนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างน้ำธรรมชาติได้แก่ น้ำบาดาล น้ำประปา และน้ำดื่ม ด้วยวิธีการเติมสารมาตรฐาน (standard addition method) จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งหมด 21 ตัวอย่างสามารถตรวจพบปริมาณแคดเมียมในตัวอย่าง

น้ำบาดาล อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร ปริมาณเท่ากับ 0.115 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินปริมาณมาตรฐานน้ำบาดาลในการบริโภคเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร⁴ และจากการวิเคราะห์

ดังกล่าวด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นพบว่าให้ความถูกต้อง ซึ่งพิจารณาจากค่าร้อยละการกลับคืนที่ได้อยู่ในช่วง 78.4-114% (Table 1)

Table 1 Result of cadmium determination in water samples and percentage recoveries after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline and CTAB addition

Cd (II) added (µg/L)	Drinking water		Tap water		Ground water	
	Cd (II) found (µg/L)	Recovery (%)	Cd (II) found (µg/L)	Recovery (%)	Cd (II) found (µg/L)	Recovery (%)
0	N.D.*	-	N.D.*	-	0.0024	-
100	78.4 ± 0.4	78.4 ± 0.04	90.3 ± 0.1	90.3 ± 0.1	96.5 ± 0.9	96.5 ± 0.9
200	180.5 ± 0.7	90.3 ± 0.04	226 ± 0.2	113.0 ± 0.2	229.6 ± 0.6	114.8 ± 0.3

*N.D. = Not detectable

3.9 ผลการศึกษาการรบกวนจากไอออนโลหะ ชนิดอื่น ๆ

จากการศึกษาผลการรบกวนของโลหะต่างๆ ที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมโดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น ซึ่งได้ทำการศึกษาที่สารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของโลหะรบกวนเท่ากับ 0.1, 1, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าสังกะสี ตะกั่ว และโคบอลต์ที่ความเข้มข้นมากกว่าสารละลายแคดเมียม 100 เท่า จะส่งผลรบกวนต่อการวิเคราะห์แคดเมียม

ซึ่งทำให้ค่าร้อยละการกลับคืนของแคดเมียมมีค่าลดลงและมีผลการรบกวนมากยิ่งขึ้น เมื่อปริมาณโลหะรบกวนมีความเข้มข้นมากกว่า 1,000 เท่า ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากโลหะรบกวนสามารถเกิดการแข่งขันในการตกตะกอนร่วม และดูดซับที่ผิวของตะกอน คอปเปอร์ (II)-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ทำให้แคดเมียม ไม่สามารถจับกับตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Table 2)

Table 2 Influence of interfering ions on recoveries of cadmium (0.1 mg/L) using the proposed technique

Concentration of interfering ions (mg/L)	0.1	1	10	100
Interfering ratio	1:1	10:1	100:1	1000:1
Na ⁺	101.1 ± 0.2	113.2 ± 0.3	99.2 ± 0.4	105.3 ± 0.3
K ⁺	95.2 ± 0.3	87.7 ± 0.4	80.5 ± 0.2	65.1 ± 0.2
Ca ²⁺	102.3 ± 0.3	109.5 ± 0.5	81.4 ± 0.4	85.8 ± 0.2
Mg ²⁺	107.1 ± 0.4	101 ± 0.3	86.5 ± 0.2	87.6 ± 0.3
Zn ²⁺	104.2 ± 0.3	100.5 ± 0.2	92.6 ± 0.2	67.8 ± 0.3
Pb ²⁺	97.2 ± 0.3	91.7 ± 0.2	83.8 ± 0.2	78.4 ± 0.3
Co ²⁺	87.1 ± 0.3	103.2 ± 0.2	85.1 ± 0.2	60.3 ± 0.3
Ni ²⁺	100.3 ± 0.3	92.3 ± 0.4	87.5 ± 0.3	93.7 ± 0.3
Fe ²⁺	97.9 ± 0.3	98.1 ± 0.3	101.6 ± 0.4	108.1 ± 0.2

ความสามารถในการวิเคราะห์ (Analytical performance) และการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้น (Method validation)

กราฟมาตรฐานของเทคนิคการตกตะกอนร่วมโดยเปรียบเทียบการเติม CTAB และไม่เติม CTAB มีค่าเท่ากับ $y = 0.4712x - 0.0001$ และ $y = 0.4431x - 0.0009$ ตามลำดับ

ขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์ (detection limit) ที่มีการเติมและไม่เติม CTAB ซึ่งหาได้จาก $3\sigma_{\text{blank}}/\text{slope}$ มีค่าเท่ากับ 4.03 และ 10.43 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งการเติม CTAB ส่งผลให้ได้สภาพไวในการวิเคราะห์มากกว่า จากการทดลองพบว่าค่าแฟกเตอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพ (enrichment factor) มีค่าเท่ากับ 4.39 ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของความชัน

ที่ได้จากกราฟมาตรฐานโดยวิธีการตกตะกอนร่วมต่อความเข้มข้นที่ได้จากกราฟมาตรฐานโดยวิธีเฟลอมอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ปกติ ค่าแฟคเตอร์ในการเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration factor) มีค่าเท่ากับ 5 ซึ่งหาได้จากปริมาตร

สารตัวอย่างก่อนเพิ่มความเข้มข้นต่อปริมาตรตัวอย่างสุดท้าย หลังเพิ่มความเข้มข้น ซึ่งค่าแฟคเตอร์ในการเพิ่มความเข้มข้นสูงสุดจากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 25 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.3-4.5% (Table 3-4)

Table 3 Optimization conditions for cadmium determination after co-precipitation with Cu-8-hydroxyquinoline

Parameter	Result	
	Range of study	Optimized conditions
pH	3-11	5
Amount of Cu(II) (mg)	0.1-2.5	0.5
Amount of 8-hydroxyquinoline (mg)	0-30	5
Amount of CTAB ($\times 10^{-3}\%$ w/v)	0-1.5	1.25
Sedimentation time (min)	0-30	5
Centrifugation time (min)	5-30	5
Sample volume (mL)	5-250	50 (at maximum PF with final volume of 2 mL)

Table 4 Analytical performance for determination of cadmium by co-precipitation method with Cu(II)-8-hydroxyquinoline complex

Condition of study	Value	
	No addition of CTAB	Addition of CTAB
Working range ($\mu\text{g/L}$)	0-300	0-300
Linear equation from calibration curve with co-precipitation method with FAAS	$y = 0.4431x - 0.0009$ $r^2 = 0.9995$	$y = 0.4712x - 0.0001$ $r^2 = 0.9947$
Detection limit by co-precipitation method with FAAS ($\mu\text{g/L}$)	10.43	4.03
Detection limit by FAAS ($\mu\text{g/L}$)	30	10
Enrichment factor (EF)	4.14	4.39
Preconcentration factor (PF)	5	5 (Maximum PF at sample Volume of 50 mL is 25)
% Relative standard deviation (%RSD)	0.3 - 1.2	0.7 - 4.5

สรุปผล

จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณแคดเมียมโดยวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้คอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน และเติมสารลดแรงตึงผิว CATB พบว่าสามารถเพิ่มความเข้มข้นแคดเมียมได้สูงสุด 25 เท่า ซึ่งแคดเมียมไอออนสามารถตกตะกอนร่วมกับคอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ด้วยกลไกแบบบออคclusion (Occlusion) โดยใช้คอปเปอร์เป็นโลหะที่ทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปของคอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ซึ่งตะกอนของคอปเปอร์-8-ไฮดรอกซีควิโนลีน จะเกิดขึ้นเมื่อทำการเติมสารละลายคอปเปอร์ (II) ในเตรต ปรับพีเอชเท่ากับ 5 และเติม 8-ไฮดรอกซีควิโนลีนลงไปปริมาณมากเกินพอ นอกจากนี้วิธีการตกตะกอนร่วมยังสามารถวิเคราะห์ได้ใน

ระดับต่ำ และให้ค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ดีกว่าวิธีการตกตะกอนร่วมโดยใช้ระบบอื่น^{15,17,18,19,21,22} (Table 5) นอกจากนี้ยังใช้เวลาวิเคราะห์เพียง 15 นาทีต่อตัวอย่าง หลีกเลียงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการเตรียมสารตัวอย่าง และให้ผลการตรวจวัดที่ดี มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ สามารถนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาตะกั่ว สารหนู นิกเกิล สังกะสี และปรอท เนื่องจากโลหะดังกล่าวสามารถเกิดการตกตะกอนร่วมกับตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนในลักษณะเดียวกันได้ และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่างทางคลินิกวิทยาอื่นๆ ได้แก่ เล็บ เส้นผม เลือด ปัสสาวะ น้ำลาย รวมถึงในด้านการวิเคราะห์ตัวอย่างทางอาหาร และยา ซึ่งเป็นงานวิจัยที่อยู่ในระหว่างการดำเนินงาน

Table 5 Comparison of analytical performance using various co-precipitation techniques for determination of cadmium, previous reports and present work

Analyte	Precipitant	Dissolution	PF	Detection Limit (µg/L)	Detection method	%RSD	Reference
Cu, Fe, Pb, Mn, Zn, Cd, Ni, Bi, Cr	Co-diethyldithiocarbamate	conc. HNO ₃	225	4-64	FAAS	<7	[17]
Cu, Co, Pb, Cd, Ni	Cerium(IV) hydroxide	conc. HNO ₃	375	0.18-7	FAAS	<9	[21]
Pb, Cd, Co, Ni, Mn	Cu(II)-dibenzylthiocarbamate	conc. HNO ₃	50	0.34-0.87	GFAAS	<10	[19]
Pb	Manganese dioxide	HNO ₃ /H ₂ O ₂	75	3.2	ICP-OES	<5	[22]
Cd, Cu, Pb	Aluminium hydroxide	4 M HNO ₃	125	3-16	FAAS	<10	[18]
Co, Mn	Cu(II)-8-hydroxyquinoline	conc. HNO ₃	25	0.86-0.98	FAAS	<10	[15]
Cd	Cu(II)-8-hydroxyquinoline/CTAB	4 M HNO ₃	25	4.03	FAAS	0.3-4.5	This work

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ แหล่งทุนการศึกษาจาก สำนักงานส่งเสริมการสนธิวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (สสวท.) โครงการส่งเสริมผู้ที่มีความรู้ความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์(สวค.) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้โครงการทุน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความช่วยเหลือ สละเวลา และอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. น้ำและความสำคัญในการดำรงชีวิต. [Online]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.sec.psu.ac.th>. May 24 2011.
2. ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. โลหะหนัก : ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม.[Online]. เข้าถึงได้จาก:<http://www.chemtrack.org/NewsDetail.asp>: May 24 2011.
3. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำบริโภค.[Online]. เข้าถึงได้จาก:http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html. July 14 2011.

4. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์ และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกัน ด้านสาธารณสุข และการป้องกัน ในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ พ.ศ.2551.[Online]. เข้าถึงได้จาก: http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html. July 14 2011.
5. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท.[Online]. เข้าถึงได้จาก: http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html#s1. July 14 2011.
6. Ghalivand M.B, Ahmadi F, Rafiee E. Solid phase extraction and determination of ultra trace amounts of copper using activated carbon modified by *N,N*-bis (salicylidene)-1,2-phenylenediamine. Separation Science and Technology. 2007;42:897-910.
7. Kagaya M, Araki Y, Hirai N, Hasegawa K. Co-precipitation with yttrium phosphate as a separation technique for iron(III), lead, and bismuth from cobalt, nickel, and copper matrices. Talanta. 2005;67:90-97.
8. Ghaedi M, Niknam K, Shokrollahi A, Niknam E. Determination of Cu, Fe, Pb and Zn by FAAS after preconcentration using sodium dodecyl sulfate coated alumina modified with complexing agent. China. Chemistry Society. 2009;56 :150-157.

9. Madakian T, Ghazizadeh F. Cloud point preconcentration and spectrophotometric determination of trace amount of molybdenum(VI) in steel and water samples. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;153:695-700.
10. Tulay O, Serife T, Vedat Y, Senol K, Didem A. Determination of lead and cadmium in food samples by the coprecipitation method. *Food Chemistry*. 2009;113:1314-1317.
11. Tuzen M, Soylak M. Multi-element co-precipitation for separation and enrichment of heavy metal ions for their flame atomic absorption spectrometric determinations. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;162:724-729.
12. Barbara F, Barbara M, Katarzyna P, Bozena P, Franciszek B. Determination of heavy metals by ICP-OES and FAAS after preconcentration with 2,2-bipyridyl and erythrosine. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;152:1122-1129.
13. Stalikas CD. Micelle-mediated extraction as a tool for separation and preconcentration in metal analysis. *Trends in Analytical Chemistry*. 2002;21(5):343-355.
14. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม:ระบบบำบัดน้ำเสีย [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s: June 2 2011.
15. Soylak M, Kaya B, Tuzen M. Cu(II)-8-hydroxyquinoline system for preconcentration and separation of cobalt(II) and manganese(II) in real sample. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;147:832-837.
16. Samaci S, Kartal S. Determination of some trace metal ions in various samples by FAAS after separation/preconcentration by copper(II) -BPHA coprecipitation method. *Microchimica Acta*. 2010;170:75-82.
17. Elci L, Sahin U, Oztas S. Determination of trace amount of some metals in sample with high salt content by atomic absorption spectrometry, after cobalt-diethyldithiocarbamate coprecipitation, *Talanta*. 1997;44:1017-1023.
18. Doner G, Ege A. Determination of Cu, Cd and Pb in seawater and mineral water by flame atomic absorption spectrometry after co-precipitation with aluminum dioxide. *Analytica Chimica Acta*. 2005;547:14-17.
19. กาญจนา ทองผิว และ จริยา นนท์สิงห์. การวิเคราะห์หาแคดเมียมปริมาณน้อยในตัวอย่างเส้นผม และเล็บ โดยเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมตรี หลังจากเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมกับคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์และสารลดแรงตึงผิว. รายงานการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์. 2553 : 28-35.
20. ส่วนวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ. ข้อปฏิบัติในการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ. [Online]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.waterlabdw.com/wizContent.aspwiConID=218&txtmMenu>. June 10 2010.
21. Divrikli U, Elci L. Determination of some trace metals in water and sediment sample by flame atomic absorption spectrometry after co-precipitation with cerium (IV) hydroxide. *Analytica Chimica Acta*. 2002;452:231-235.
22. Bispo MS, Morte ES, Korn MGA, Gracas Andrade LS, Korn M. Determination of Pb in river water sample by inductively coupled plasma optical emission spectrometry after ultrasound-assisted co-precipitation with manganese dioxide. *Spectrochimica Acta Part B*. 2005;60:653-658.