การปรับปรุงอุปกรณ์ดักจับก๊าซของชุดทดสอบสารหนูทางการค้าสำหรับตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งโดยตรง

จารุวรรณ คำแก้ว*
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา 90000 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ดักจับก๊าซสำหรับประยุกต์ใช้ตรวจหาปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบสารหนูที่พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล แทนการใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่แนบมา โดยออกแบบให้มีลักษณะเป็นขวดแก้วรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 8 เซนติเมตร และคอขวดยาว 2.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขวดที่สามารถตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับขวดที่มีรูปแบบเดียวกันแต่มีความยาวของคอขวดต่างกัน ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบเทคนิควิเคราะห์ 3 วิธีในการตรวจวัดสารหนูในตัวอย่างกุ้งแห้ง ได้แก่ การใช้ชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ออกแบบ เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรีที่ใช้วิธีโมลิบดินัมบลู และเทคนิคอินดักทีพลีคัพเพิลพลาสมาออฟติคอลอิมีสชันสเปกโทรสโกปี โดยได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการเติมและไม่เติมสารกำบังลงในตัวอย่างกุ้งแห้งก่อนการวิเคราะห์ เพื่อลดปัญหาการรบกวนจากสัญญาณพื้นหลังจากไอออนในกลุ่มอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธ จากการศึกษาพบว่ากรดไดเอธิลลีนไตรเอมีน เพนทราอะซิติก (DTPA) เป็นสารกำบังที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดได้มากกว่าไม่เติม DTPA ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างชนิดเดียวกันที่เติม DTPA เมื่อตรวจวัดโดยทั้ง 3 เทคนิค มีดังนี้ 5-10, 5.13 และ 4.38 ppb ตามลำดับ และสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งที่ไม่เติม DTPA มีค่าน้อยกว่า 5, 4.21 และ 3.51 ppb ตามลำดับ

คำสำคัญ : อุปกรณ์ดักจับก๊าซ / สารหนู / กุ้งแห้ง

* *Corresponding author : csuitcharit@gmail.com*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โปรแกรมวิชาเคมีและเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Modification of Gas-trap Apparatus of Commercial Arsenic Test Kit for Direct Determination of Total Arsenic in Dried Shrimps

Charuwan Khamkaew*

Songkhla Rajabhat University, A. Maung, Songkhla Province 90000 Thailand

Abstract

In this study, a gas trapping apparatus has been modified to measure the total arsenic concentration in dried shrimp samples by combining with a test kit developed by the Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University. The glass gas trapping apparatus was designed as a cylindrical bottle with an 8-cm height and a neck size of 2.5 cm. The designed apparatus had a higher efficiency in measuring the total arsenic content in dried shrimp samples than that containing the same type of bottle with different neck size. The efficiencies were compared among three different methods, namely, test kit using the designed gas trapping apparatus, spectrophotometric technique using molybdenum blue method, and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy technique. The effect of adding a masking agent into the dried shrimp samples prior to the analysis in order to reduce the background interference from the alkaline and alkaline earth elements was also studied. It was found that diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) is the proper masking agent due to its ability to yield the higher total arsenic concentration. The total arsenic concentrations found in the same DTPA-added sample using the proposed three techniques were 5-10, 5.13 and 4.38 ppb, respectively. These were compared with those of the same sample obtained without DTPA addition of less than 5, 4.21 and 3.51 ppb, respectively.

Keywords : Gas-Trap apparatus / Total arsenic / Dried shrimp

* *Corresponding author : csuitcharit@gmail.com*

Assistant Professor Dr., Program of Chemistry and Applied Chemistry, Faculty of Science and Technology.

1. บทนำ

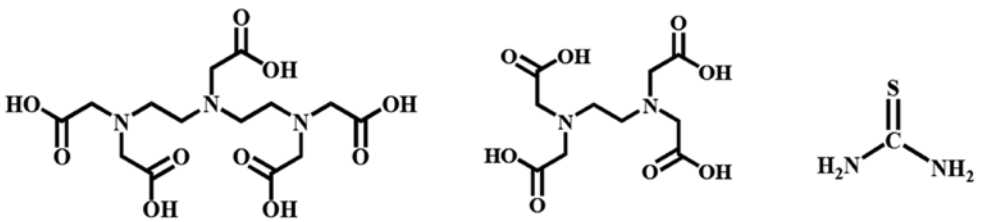
การปนเปื้อนของสารหนูในอาหารทะเลโดยเฉพาะในกุ้งแห้งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก หากมีการสะสมของสารหนูในร่างกายในปริมาณที่สูง อาจทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพตามมา นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อยอดขายของผู้ผลิตและผู้จำหน่ายอีกด้วย ถ้าไม่ได้แก้ไขปัญหาการปนเปื้อนก่อนที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อส่งออกจำหน่ายต่อไป โดยปกติสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดปริมาณสารหนูในรูปอนินทรีย์ปนเปื้อนในกุ้งแห้งต้องไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามมาตรฐานเลขที่ มผช.309/2549 [1]

สารหนู หรือ Arsenic เป็นธาตุกึ่งโลหะที่มีสถานะเป็นของแข็ง มีน้ำหนักอะตอม 74.9216 มีวาเลนซี +5, +3, 0 และ-3 ที่ STP [2] โดยทั่วไปสารหนูที่พบในธรรมชาติมี 2 รูปแบบ ได้แก่ สารหนูอนินทรีย์ และสารหนูอินทรีย์ ทั้งนี้สารหนูอินทรีย์จะมีความเป็นพิษน้อยกว่าสารหนูอนินทรีย์ พิษของสารหนูอนินทรีย์ จะทำให้เกิดโรคมะเร็งทั้งในคนและสัตว์ สำหรับสารหนูที่พบในอาหารโดยเฉพาะอาหารทะเลซึ่งเป็นแหล่งที่มีสารหนูปนเปื้อนอยู่มากเป็นสารหนูอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษไม่มากโดยได้ประมาณไว้ว่าสารหนูในอาหารจะอยู่ในรูปสารหนูอินทรีย์ 75% และในรูปสารหนูอนินทรีย์ 25% [2-3] โดยส่วนใหญ่เป็นการได้รับสารหนูจากการกินและการสูดดม สำหรับสารหนูอนินทรีย์ในสภาวะที่มีออกซิเจน จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอาร์ซีเนต (As^{5+}) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้จับกับวัตถุอื่นได้ง่าย โอกาสการแพร่กระจายไปได้ไม่ไกล ในสภาวะไม่มีออกซิเจนมักพบสารหนูในรูปอาร์ซีไนต์ (As^{3+}) จะละลายน้ำได้ดีกว่าและกระจายได้ดีกว่าเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในปริมาณที่เท่ากัน As^{3+} จะมีความเป็นพิษรุนแรงกว่า As^{5+} [2-3] จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความรุนแรงของพิษสารหนูขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีที่ตรวจพบ เช่น As^{+3}, อาร์ซีน (AsH_3) และอาร์ซีไนต์ที่อยู่ในรูปของเกลือ Methylated เช่น Monomethylarsonate+3 (MMA^{+3}) และ dimethylarsenate^{+3} (DMA^{+3}) ซึ่งสารหนูที่มีรูปแบบทางเคมีเหล่านี้จะเป็นสารหนูที่มีพิษสูง

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์สารหนูสามารถทำได้หลายวิธี เช่น อินดักทีพลีคัพเพิลพลาสมา (Inductively Coupled Plasma) [4], อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (Atomic absorption Spectrophotometry) [5], โวลแทมเมตรี (Voltammetry) [6-7] และสเปกโทรโฟโตเมตรี (Spectrophotometry) [8-9] เป็นต้น ข้อดีของเทคนิคดังกล่าวจะให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง แต่มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น มีค่าใช้จ่ายที่สูง มีความยุ่งยาก ทั้งในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการวิเคราะห์ทำให้ต้องใช้เวลานาน และผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีทักษะและความเชี่ยวชาญ ในปัจจุบันการวิเคราะห์สารหนูสามารถทำได้ง่ายขึ้นโดยใช้ชุดทดสอบ (Test kit) ที่ตรวจวัดได้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ [10-11] เช่น การตรวจวัดสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างน้ำที่ใช้ชุดทดสอบ โดยสามารถตรวจวัดสารหนูทั้งหมดได้ในช่วง 5–500 ไมโครกรัมต่อลิตร ภายใน 10 นาที [12]

แม้ว่าในปัจจุบันการตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างน้ำ สามารถทำได้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพโดยใช้ชุดทดสอบ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำชุดทดสอบนี้มาใช้ตรวจวัดสารหนูในตัวอย่างกุ้งแห้งเมื่อใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่แนบมากับชุดทดสอบนั้น ในขณะที่สารตัวอย่างทำปฏิกิริยาภายในขวดจะเกิดฟองก๊าซอาร์ซีนขึ้น ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากการรีดักชันของ As^{5+} โดยใช้สังกะสีเมื่อทำปฏิกิริยาในสภาวะที่มีกรดไฮโดรคลอริก [11] แต่ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากจนล้นออกมานอกขวด ทำให้แถบกระดาษทดสอบเปียกชื้น ไม่สามารถใช้เทียบสีเพื่ออ่านความเข้มข้นของสารหนูได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่สามารถนำไปใช้กับสารเคมี และแถบกระดาษทดสอบที่แนบมากับชุดทดสอบที่สั่งซื้อ (ประกอบด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่เป็นขวดพลาสติกพร้อมฝาปิด น้ำยา A ผงสาร Z แถบกระดาษทดสอบ A และ B และแถบสีมาตรฐานเทียบสีเพื่ออ่านความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด) เพื่อให้สามารถตรวจหาสารหนูในกุ้งแห้งได้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยทำให้ผู้ประกอบการแปรรูปอาหารทะเลสามารถตัดสินใจแก้ไขปัญหาในการลดการปนเปื้อนสารหนูในระหว่างกระบวนการผลิตการแปรรูปผลิตภัณฑ์และการจัดการผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งได้ต่อไป อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ได้ตรวจวัดความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี (Spectrophotometry)

และเทคนิคอินดักทีพลีคัพเพิลพลาสมาออฟติคอลอิมีสชันสเปกโทรสโกปี (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometry; ICP-OES) รวมทั้งได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการเติมและไม่เติมสารกำบัง (masking agent ได้แก่ กรดไดเอธิลลีนไตรเอมีนเพนทราอะซิติก กรดเอธิลลีนไดเอมีนเททราอะซิติก (EDTA) และไทโอยูเรีย ที่มีโครงสร้างแสดงในรูปที่ 1) ลงในตัวอย่างกุ้งแห้งก่อนการวิเคราะห์ เพื่อลดปัญหาการรบกวนจากสัญญาณพื้นหลังจากไอออนในกลุ่มอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธ



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารกำบังที่นำมาใช้ศึกษา

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

2.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง แถบกระดาษทดสอบ A และ B และตารางแถบสีมาตรฐานเทียบสีที่แนบมากับชุดทดสอบสารหนูทั้งหมด (Hients; Higher Enterprises Co., LTD) เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องปั่น ยูวี-วิสสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer; Shimadzu 1601) อินดักทีพลีคัพเพิลพลาสมาออฟติคอลอิมีสชันสเปกโทรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, ICP-OES; Perkin-Elmer Optimal 4300 DV) และ พีเอช มิเตอร์ (pH meter; SevenEasy S-20 METTLER TOLEDO)

2.1.2 สารเคมีเกรดวิเคราะห์ ได้แก่ กรดไนตริก (Nitic acid, HNO_3; Merck) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl, Merck) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4; Merck) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, $C_6H_6O_6$; POCH) โซเดียมอาร์ซีเนตเฮปตาไฮเดรต (Sodium arsenate heptahydrate, $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$; Sigma-Aldrich) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2; Ajax) โซเดียม ไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH; LabScan) โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate, $KMnO_4$, Ajax) กรดเอธิลลีนไดเอมีนเททราอะซิติก (Ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA; RFCL Limited) กรดไดเอธิลลีนไตรเอมีนเพนทราอะซิติก (Diethylenetriaminepentaacetic acid, DTPA; Fluka) ไทโอยูเรีย (CH_4N_2S; RFCL Limited) แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium-molybdate $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.7H_2O$; Ajax) และสารเคมีที่แนบมากับชุดทดสอบสารหนูทั้งหมด ประกอบด้วยน้ำยา A และผงสาร Z (Hients; Higher Enterprises Co., LTD)

2.1.3 ตัวอย่างกุ้งแห้ง จากกลุ่มแปรรูปอาหารทะเลตันหยงโป ต.ตันหยงโป อ.เมือง จ.สตูล

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่เหมาะสม โดยทำการศึกษา 2 ตัวแปร ได้แก่

1. ศึกษารูปแบบของขวดทำปฏิกิริยาและฝาขวด ซึ่งมีลักษณะเป็นขวดที่ทำจากแก้วรูปทรงกระบอกสูงที่มีคอขวดยาว ฝาขวดทำจากวัสดุเทฟลอนที่ทนกรด และมีแผ่นซิลิโคน 2 แผ่น รองรับแถบกระดาษทดสอบ A และ B ที่สอดเข้าไประหว่างชั้นของแผ่นซิลิโคน 2 แผ่น ซึ่งรองไว้

ใต้ฝาขวด ด้านข้างของฝาขวดมีช่องขนาด 1.0 เซนติเมตร สำหรับสอดแถบกระดาษทดสอบที่ใช้เทียบสี เพื่ออ่านความเข้มข้นของสารหนู

2. ศึกษาความยาวของคอขวดทำปฏิกิริยา โดยออกแบบระดับความยาวของคอขวดให้มี 4 ระดับ ได้แก่ 2.5, 4.5, 6.5 และ 8.5 เซนติเมตร ซึ่งทำให้ขวดมีความสูงทั้งหมด (วัดจากก้นขวดจนถึงปากขวด) 4 ระดับ คือ 8, 10, 12 และ 14 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วนำไปศึกษาการใช้งานด้วยการนำไปตรวจวัดปริมาณสารหนูในตัวอย่างกุ้งแห้งป่นละเอียด (ผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช) หนัก 1.0 กรัม ที่บรรจุลงในขวดทำปฏิกิริยาแต่ละขนาด โดยแต่ละขวดจะเติมน้ำที่ปราศจากไอออน (De-ionized, DI) จำนวน 20 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานสารหนู (ที่เตรียมจากสารละลายโซดียมอาร์ซีเนตเฮปตาไฮเดรต) เข้มข้น 10 ppm จำนวน 20 ไมโครลิตร แล้วเติมสารเคมีจากชุดทดสอบ แต่ละขวดจะทิ้งไว้ 10 นาที เขย่าเป็นระยะ สังเกตความเข้มของสีที่ปรากฏบนแถบกระดาษทดสอบ A จากขวดแต่ละขนาด อ่านความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดโดยการเทียบสีที่ปรากฏบนแถบกระดาษทดสอบ A กับแถบสีมาตรฐาน

2.2.2 การเตรียมกุ้งแห้งให้มีสารหนูปนเปื้อน ทำได้โดยชั่งตัวอย่างกุ้งแห้งควบคุม (มีสารหนูปนเปื้อนน้อยกว่า 1.5 ppb เมื่อตรวจวัดโดยเทคนิค ICP-OES) หนัก 25 กรัม แช่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 200 ppb ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 วัน เพื่อศึกษาระยะเวลาที่กุ้งแห้งดูดซับสารหนูได้มากที่สุด โดยวัดความเข้มข้นของสารหนูจากสารละลายมาตรฐานสารหนู (ที่แช่กุ้งแห้ง) ด้วยชุดทดสอบทำซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับกุ้งแห้งที่ดูดซับสารหนูได้มากที่สุด จะนำไปใช้ศึกษาด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อไป

2.2.3 การศึกษาผลของสารกำบังต่อการลดการรบกวนการวิเคราะห์สารหนูในกุ้งแห้ง โดยตรวจวัดด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง สภาวะที่ศึกษามีดังนี้

1. ศึกษาผลของชนิดของสารกำบัง ทำได้โดยชั่งตัวอย่างกุ้งแห้งป่นละเอียด (ที่เตรียมจากข้อ 2.2.2 และผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช) หนัก 1.0 กรัม ลงในขวดทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม เติมสารละลาย DTPA เข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (W/V) จำนวน 200 ไมโครลิตร เติมน้ำ DI 20 มิลลิลิตร แล้วเติมสารเคมีจากชุดทดสอบ ปิดฝาขวด สอดกระดาษทดสอบ A และ B ทิ้งไว้ 10 นาที และเขย่าเป็นระยะ สังเกตผล และอ่านความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ชุด แต่เปลี่ยนสารกำบังจากสารละลาย DTPA เป็นสารละลาย EDTA และสารละลายไทโอยูเรียที่เข้มข้นร้อยละ 0.3 (W/V) อย่างละเท่ากัน

2. ศึกษาผลของปริมาตรของสารกำบังที่เหมาะสม (ที่ได้จากผลการศึกษาข้อ 2.2.3 (1)) ที่ดำเนินขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2.2.3 (1) และเติมสารกำบังที่เหมาะสมโดยปรับเปลี่ยนปริมาตรที่เติมดังนี้ 50, 100, 200 และ 400 ไมโครลิตร

2.2.4 การตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้ง โดยทำการศึกษาดังนี้

1. เปรียบเทียบการตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งด้วย ชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ออกแบบกับเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES

การตรวจวัดสารหนูด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ออกแบบ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างกุ้งแห้งควบคุมและกุ้งแห้งที่เตรียมให้มีสารหนูปนเปื้อนที่ป่นละเอียด (ผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช) หนักอย่างละ 1.0 กรัม ลงในขวดทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม (ได้ผลจากข้อ 2.2.1) เติมน้ำ DI 20 มิลลิลิตร เติม DTPA เข้มข้นร้อยละ 0.3 (W/V) จำนวน 200 ไมโครลิตร เติมสารเคมีที่แนบมากับชุดทดสอบ ปิดฝาขวด สอดกระดาษทดสอบ A และ B ทิ้งไว้ 10 นาที และเขย่าเป็นระยะ สังเกตผลและอ่านความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด ทำซ้ำ 2 ครั้ง เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้ง โดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรีที่ใช้วิธีโมลิบดินัมบลู [8] และเทคนิค ICP-OES ด้วยวิธีการผลิตไอไฮไดรด์ (hydride generation) ที่เติมและไม่เติมสารละลาย DTPA (ในการตรวจวัดสารหนูโดยเทคนิคทั้ง 2 วิธี ได้เตรียมตัวอย่างโดยการย่อยที่ใช้กุ้งแห้งควบคุมและกุ้งแห้งที่เตรียมป่นละเอียด และผ่านตะแกรงขนาด

80 เมช หนักอย่างละ 1 กรัม เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 35 (V/V) 1 มิลลิตร นำไปย่อยด้วยไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมสารละลาย DTPA เข้มข้นร้อยละ 0.3 (W/V) จำนวน 200 ไมโครลิตร)

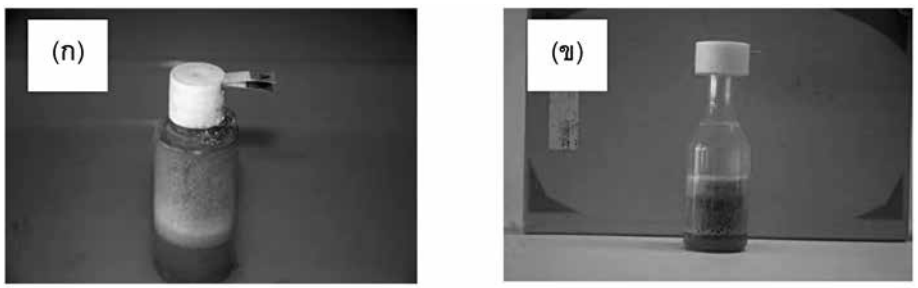
ในการตรวจวัดสารหนูโดยเทคนิคทั้ง 3 วิธี ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณสารหนูที่ตรวจวัด โดยวิธี T-test แบบกลุ่ม

2. ศึกษาร้อยละของการได้กลับคืน (recovery; %) โดยการตรวจวัดด้วย ชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ได้ปรับปรุง และทำเช่นเดียวกับข้อ 2.2.4 (1) ที่เติมสารละลาย DTPA และสารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 10 ppm จำนวน 20 ไมโครลิตร ลงในขวดทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามในการศึกษาได้เปรียบเทียบกับการตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES

3. ผลการทดลอง

3.1 การออกแบบอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่เหมาะสม

ในการตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดใน กุ้งแห้ง ด้วยชุดทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่แนบมากับชุดทดสอบซึ่งมีขวดทำปฏิกิริยาเป็นขวดพลาสติกนั้น ในขณะที่สารหนูในกุ้งแห้งทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่างๆ ภายในขวดจะเกิดฟองขึ้นจนล้นออกมานอกขวด ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) ทำให้แถบกระดาษทดสอบเปียกชื้น จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ออกแบบขวดทำปฏิกิริยาและฝาขวดใหม่ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้



(ก) อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่แนบมากับชุดทดสอบ (ข) อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง

รูปที่ 2 อุปกรณ์ดักจับก๊าซสำหรับการตรวจวัดสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบ:

3.1.1 การศึกษารูปแบบของขวดทำปฏิกิริยาและฝาขวด โดยได้ออกแบบให้มีลักษณะดังนี้ ขวดทำปฏิกิริยาทำจากวัสดุที่เป็นแก้ว มีลักษณะตัวขวดเป็นทรงรูปกระบอกสูง 4 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวขวด 4.75 เซนติเมตร คอขวดมีลักษณะยาว และมีเส้นผ่าศูนย์กลางของปากขวด เท่ากับ 1.75 เซนติเมตร โดยมีความลาดเอียงจากตัวขวดไปยังคอขวด เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ฝาขวดทำด้วยวัสดุเทฟลอนที่ทนการกัดกร่อนของกรด ด้านข้างของฝาขวดมีช่องไว้เพื่อสอดแถบกระดาษ A และ B (ช่องยาว 1 เซนติเมตร กว้าง 0.2 เซนติเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข)

3.1.2 การศึกษาความยาวของคอขวดทำปฏิกิริยา โดยใช้เป็นอุปกรณ์ดักจับก๊าซเพื่อตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งหนัก 1 กรัม พบว่า คอขวดที่ยาว 2.5 เซนติเมตร เป็นความยาวของคอขวดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อเทียบกับขวดที่มีคอขวดยาวไม่เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร เนื่องจากเมื่อใช้คอขวดยาวมากกว่า 2.5 เซนติเมตร ก๊าซอาร์ซีนที่เกิดขึ้นภายในขวดจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลกับเมอร์คิว-รีโบรไมด์ (ที่เคลือบอยู่บนกระดาษทดสอบ) ได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้แถบสีที่ปรากฏบนกระดาษทดสอบมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลที่จาง ในขณะที่คอขวดที่สั้นกว่า 2.5 เซนติเมตร

(ไม่ได้รายงาน) ฟองก๊าซอาร์ซีนที่เกิดขึ้นจะล้นออกมานอกขวด ทำให้กระดาษทดสอบเปียกชื้น และไม่สามารถใช้เทียบสีเพื่ออ่านความเข้มข้นที่ถูกต้องของสารหนูทั้งหมดได้ ดังนั้นคอขวดที่ยาว 2.5 เซนติเมตร ซึ่งทำให้ขวดมีความสูงเท่ากับ 8 เซนติเมตร สามารถใช้เป็นขวดทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ดักจับก๊าซในการตรวจวัดสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งได้ดีที่สุด ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของความยาวของคอขวดทำปฏิกิริยาต่อปริมาณสารหนูทั้งหมดที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง

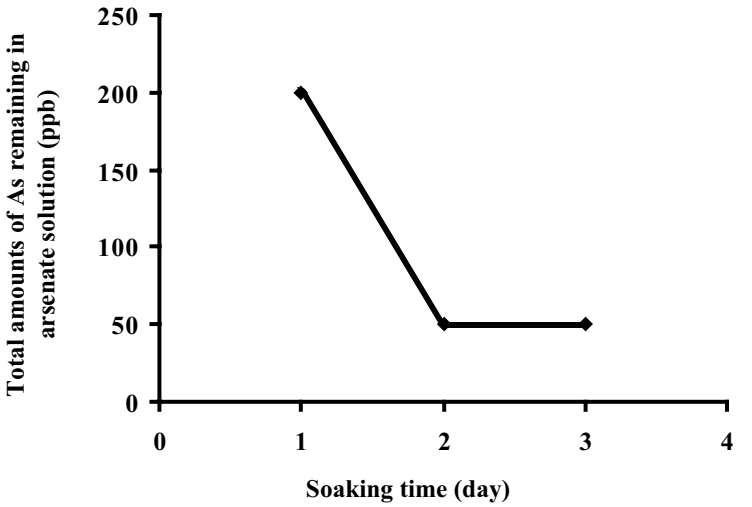
ขวดทำปฏิกิริยาที่ออกแบบสำหรับอุปกรณ์ดักจับก๊าซ มีลักษณะเป็นขวดแก้ว รูปทรงกระบอกสูง 4 ซม. มีเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวขวด 4.75 ซม. และมีความกว้างของปากขวด 1.75 ซม.		**ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดที่อ่านได้จากการเทียบสี จากตารางสีมาตรฐาน (ppb)**
ความสูงทั้งหมดของขวด (ซม.)	**ความยาวของคอขวด (ซม.)**	
8.0	2.5	5-10
10.0	4.5	<5
12.0	6.5	<5
14.0	8.5	0

อย่างไรก็ตาม ในการอ่านความเข้มข้นของสารหนูเมื่อตรวจวัดด้วยชุดทดสอบ สามารถทำได้โดยใช้สายตาเปรียบเทียบความสอดคล้องของแถบสีที่ปรากฏบนกระดาษทดสอบกับเฉดสีจากตารางแถบสีมาตรฐาน (ที่ความเข้มของเฉดสีเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นสารหนู ได้แก่ 0, 5, 10, 30, 50, 100, 200, 300 และ 500 ppb) (รูปที่ 3) แล้วรายงานด้วยความเข้มข้นที่อาจมีค่าเท่ากับมากกว่า น้อยกว่า หรืออยู่ระหว่างช่วงความเข้มข้นของสารหนูที่แสดงบนแถบสีมาตรฐานเท่านั้น จึงทำให้การรายงานปริมาณสารหนูที่ตรวจวัดด้วยชุดทดสอบไม่สามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อน และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติได้ (ตรวจวัดซ้ำ 3 ครั้ง) เพื่ออ่านค่าระดับความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด (ppb) ที่ตรวจวัดด้วยชุดทดสอบ

รูปที่ 3 การเทียบสีที่ปรากฏบนแถบกระดาษทดสอบด้วยตารางแถบสีมาตรฐาน

3.2 การเตรียมกุ้งแห้งให้มีสารหนูปนเปื้อน

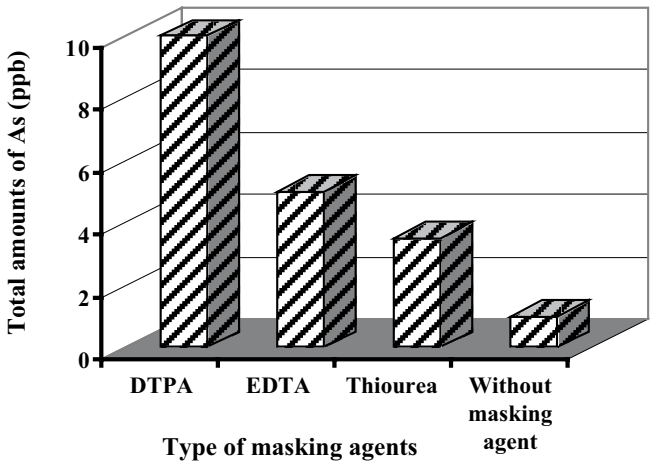
ในการเพิ่มสัญญาณหรือเพิ่มปริมาณของสารหนูในตัวอย่างกุ้งแห้งที่ทราบค่า สามารถทำได้โดยนำกุ้งแห้งควบคุมมาแช่ในสารละลายมาตรฐานสารหนูในระยะเวลาต่างๆ แล้วตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูที่แช่กุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบ เมื่อใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง ผลการศึกษาพบว่า การแช่กุ้งแห้งในสารละลายมาตรฐานสารหนูเข้มข้น 200 ppb นาน 2-3 วัน กุ้งแห้งจะดูดซับสารละลายสารหนูได้มากที่สุด ทำให้สารหนูที่ตรวจวัดได้จากสารละลายมาตรฐานสารหนูที่แช่กุ้งแห้ง มีปริมาณลดลงมากที่สุดและคงที่ (รูปที่ 4) ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลา 2 วัน ในการเตรียมกุ้งแห้งให้มีสารหนูปนเปื้อนเพื่อนำมาใช้ตลอดการศึกษา



รูปที่ 4 ผลของระยะเวลาต่อความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดที่เหลืออยู่ในสารละลายมาตรฐานสารหนู ที่แช่ตัวอย่างกุ้งแห้งที่เตรียม เมื่อตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง

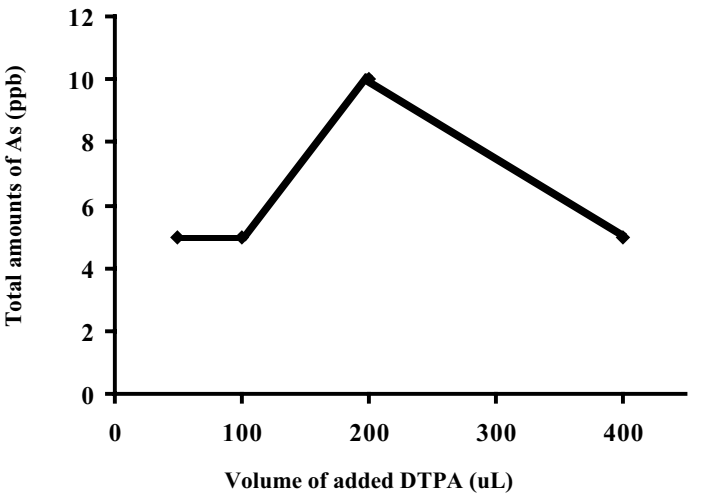
3.3 การศึกษาผลของสารกำบังต่อการลดการรบกวนการวิเคราะห์สารหนูในกุ้งแห้ง

3.3.1 การศึกษาผลของชนิดของสารกำบังต่อการลดสัญญาณพื้นหลังในกุ้งแห้งด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง โดยตรวจวัดความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดจากการศึกษาเมื่อเติมสารละลายของสารกำบังชนิดต่างๆ ที่มีความเข้มข้นอย่างละเท่ากันลงในขวดทำปฏิกิริยาที่มีความสูงที่เหมาะสม ซึ่งบรรจุตัวอย่างกุ้งแห้งที่เตรียม บดละเอียด และผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช หนัก 1 กรัม แล้วเติมสารเคมีที่แนบมากับชุดทดสอบ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเติมสารละลาย DTPA ลงไปในตัวอย่างกุ้งแห้งก่อนการวิเคราะห์ จะช่วยให้สามารถตรวจพบสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งได้มากกว่าไม่เติมสารกำบัง และมากกว่าการเติม EDTA และไทโอยูเรียที่มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 5 นั่นคือ สารละลาย DTPA สามารถลดปัญหาการรบกวนจากไอออนในกลุ่มอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ธ ซึ่งเป็นสัญญาณพื้นหลังที่รบกวนการตรวจวัดสารหนูในกุ้งแห้งได้มากที่สุด



รูปที่ 5 ผลของชนิดของสารกำบังต่อความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งที่เตรียม เมื่อตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง

3.3.2 การศึกษาผลของปริมาตรของสารกำบังที่เหมาะสมต่อความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้ง จากการศึกษาเมื่อเติมสารละลาย DTPA เข้มข้นร้อยละ 0.3 (W/V) ที่ปริมาตรต่างๆ ลงในตัวอย่างกุ้งแห้งที่บรรจุในขวดทำปฏิกิริยาที่มีความสูงที่เหมาะสม แล้วเติมสารเคมีที่แนบมากับชุดทดสอบ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเติมสารละลาย DTPA ปริมาตร 200 ไมโครลิตร สามารถตรวจวัดสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งได้มากที่สุด เมื่อตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลของปริมาตรของ DTPA ต่อความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งที่เตรียม เมื่อตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง

3.4 การตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้ง

3.4.1 การเปรียบเทียบผลการตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งควบคุม และกุ้งแห้งที่เตรียมให้มีสารหนูปนเปื้อน ที่เติมและไม่เติมสารละลาย DTPA ด้วยเทคนิควิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี ผลการตรวจวัดแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งได้เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งโดยวิธี T-test แบบกลุ่ม พบว่าการตรวจวัดปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งควบคุมที่เติมและไม่เติมสารละลาย DTPA โดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งที่เตรียมให้มีสารหนูปนเปื้อนที่เติมและไม่เติมสารละลาย DTPA เมื่อตรวจวัดด้วยเทคนิคทั้ง 2 ดังกล่าว ให้ผลการตรวจวัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยพบว่าการตรวจวัดสารหนูด้วยเทคนิค ICP-OES ให้ผลการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่าผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค สเปกโทรโฟโตเมตรี เนื่องจากเครื่อง ICP-OES ที่ใช้ มีความไวในการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่าเครื่องยูวี-วิสสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งทำให้ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดด้วยเทคนิค ICP-OES มีค่าสูงกว่าเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี ดังแสดงในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคทั้ง 3 วิธี มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าที่แสดงผลไปในทิศทางเดียวกันเมื่อใช้ตัวอย่างชนิดเดียวกัน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณสารหนูทั้งหมดในตัวอย่างกุ้งแห้งที่ตรวจวัดด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุงกับเทคนิคเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรีและเทคนิค ICP-OES (n=3)

ตัวอย่างกุ้งแห้ง	ความเข้มข้นของสารหนูทั้งหมด (มก./กก.-น้ำหนักแห้ง) ± sd.					
	ไม่เติม DTPA			เติม DTPA		
	Test kit	Spectrophotometry	ICP-OES	Test kit	Spectrophotometry	ICP-OES
กุ้งแห้งควบคุม	nd	$^{ns}0.43\pm0.21$	$^{ns}0.32\pm0.08$	<5	$^{ns}1.35\pm0.11$	$^{ns}1.33\pm0.01$
กุ้งแห้งที่เตรียม	<5	$^{**}4.21\pm0.25$	$^{**}3.51\pm0.28$	5-10	$^{**}5.51\pm0.34$	$^{**}4.38\pm0.37$

nd หมายถึง ไม่สามารถจรวจวัดได้ (non-detectable)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

** หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $P<0.05$

นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ได้ออกแบบกับเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES และสามารถสรุปผลได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุงกับเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES

ปัจจัยที่ต้องการเปรียบเทียบ	เทคนิคที่ตรวจวัด		
	Test kit	Spectrophotometry	ICP-OES
ระยะเวลาในการเตรียมตัวอย่าง (ชม.)	0.5	4.5	3.5
ความเร็วในการวิเคราะห์ (ตย./ชม.)	6	30	80
ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (มก./ล.)	5	3.21[8]	50[8]
ค่าความเข้มข้นของสารหนูที่รายงาน	ค่าประมาณหรือเป็นช่วงความเข้มข้น	ค่าที่ละเอียดและแน่นอน	ค่าที่ละเอียดและแน่นอน
อัตราค่าวิเคราะห์ต่อ 1 ตัวอย่าง (บาท)	70	350	540
ความรู้ความชำนาญของผู้วิเคราะห์	ไม่จำเป็นต้องมี	จำเป็นต้องมี	จำเป็นต้องมี

3.4.2 การหาร้อยละของการได้กลับคืน เมื่อตรวจวัดปริมาณสารหนูด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง พบว่าสามารถตรวจวัดปริมาณสารหนูได้ในช่วง 5-10 ppb หรือได้ร้อยละของการกลับคืนอยู่ในช่วง 50-100 ซึ่งเป็นช่วงที่กว้าง ในขณะที่การตรวจวัดสารหนูด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES ได้ร้อยละของการกลับคืน เท่ากับ 55.1 (ตรวจวัดได้ 5.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และ 4.38 (ตรวจวัดได้ 4.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามในการอ่านความเข้มข้นของ สารหนูโดยการเทียบสีจากแถบสีบนกระดาษทดสอบกับตารางแถบสีมาตรฐานที่สามารถรายงานเป็นระดับของช่วงความเข้มข้นเท่านั้น ซึ่งแถบสีที่ปรากฏบนกระดาษทดสอบจะมีสีเหลืองที่เข้มกว่าที่ระดับความเข้มข้น 5 ppb มาก จนใกล้เคียงกับสีเหลืองที่ระดับความเข้มข้น 10 ppb ดังนั้นในการรายงานจึงต้องรายงานเป็นช่วงของระดับความเข้มข้น

4. อภิปรายผล

ในการตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดในกุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบ มีกลไกเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ดักจับก๊าซดังนี้ สารหนูในกุ้งแห้งจะทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำยา A ที่แนบมากับชุดทดสอบ) และผงสังกะสี (ผงสาร Z ที่แนบมากับชุดทดสอบ) เกิดเป็นก๊าซอาร์ซีน และไฮโดรเจนในอาร์ซีนจะเข้าไปแทนที่โบรไมด์ (ในเมอร์คิวรีโบรไมด์ที่เคลือบอยู่บนกระดาษทดสอบ) เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีเหลืองหรือสีน้ำตาล [10-11] ซึ่งความเข้มของสีจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารหนู จากผลการตรวจวัดสารหนูในกุ้งแห้งโดยใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ออกแบบให้มีความสูงทั้งหมด 8 เซนติเมตร พบว่าสามารถตรวจวัดปริมาณสารหนูทั้งหมดได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับขวดที่มีรูปแบบเดียวกันแต่มีความสูงต่างกัน นั่นคือ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยา ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจะไม่ล้นออกมานอกขวด ทำให้กระดาษทดสอบไม่เปียกชื้น และฝาขวดที่ทำด้วยวัสดุเทฟลอนสามารถปิดได้แน่นสนิท ทำให้ไม่สูญเสียก๊าซอาร์ซีน

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งด้วยชุดทดสอบ ได้เปรียบเทียบผลของการเติมและไม่เติมสารกำบัง ลงในตัวอย่างกุ้งแห้งก่อนการวิเคราะห์เพื่อลดปัญหาการรบกวนจากสัญญาณพื้นหลังจากไอออนของโลหะในกลุ่มอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ จากการศึกษาพบว่าการเติม DTPA ลงไปในตัวอย่างกุ้งแห้งก่อนการวิเคราะห์จะช่วยให้สามารถตรวจหาปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งได้มากกว่าไม่เติมสารกำบัง และมากกว่าการเติม EDTA และไทโอยูเรียที่มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจาก DTPA สามารถจับกับไอออนของโลหะในกลุ่มอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ ที่มีอยู่ในกุ้งแห้งได้ดีกว่า EDTA และไทโอยูเรีย เนื่องจาก DTPA มีจำนวนหมู่ฟังก์ชั่นคาร์บอกซิลิกมากกว่า EDTA และมีหมู่เอมีนมากกว่าทั้ง EDTA และไทโอยูเรีย (รูปที่ 1) ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะไอออนที่เสถียร (ค่า K_f ของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ กับ DTPA ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า EDTA, [13]) ทำให้ไอออนของโลหะในกลุ่มดังกล่าวที่ปนเปื้อนในกุ้งแห้งจึงรบกวนการวิเคราะห์สารหนูได้น้อยลง ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งโดยเทคนิควิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี จึงได้เติม DTPA ซึ่งเป็นสารกำบังที่เหมาะสมลงไปในตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ เพื่อช่วยลดปัญหาการรบกวนจากไอออนในกลุ่มอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอิร์ธ ซึ่งเป็นสัญญาณพื้นหลังที่รบกวนการตรวจวัดสารหนูในกุ้งแห้งได้มากกว่าไม่เติม ดังแสดงในตารางที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคทั้ง 3 วิธี มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าที่แสดงผลไปในทิศทางเดียวกันเมื่อใช้ตัวอย่างชนิดเดียวกัน ดังนี้ <5, 4.21 และ 3.51 ppb ตามลำดับ เมื่อไม่เติม DTPA และที่ 5-10, 5.13 และ 4.38 ppb ตามลำดับ เมื่อเติม DTPA

เมื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูในตัวอย่างกุ้งแห้งโดยเทคนิคทั้ง 3 วิธีในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ (ตารางที่ 3) ได้แก่ ระยะเวลาในการเตรียมตัวอย่าง ความเร็วในการวิเคราะห์ ความรู้ความชำนาญของผู้วิเคราะห์ และอัตราค่าวิเคราะห์ พบว่า การตรวจวัดด้วยชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ปรับปรุง สามารถทราบผลได้ภายใน 40 นาทีต่อตัวอย่าง ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรีที่ใช้วิธีโมลิบดินัมบลู จะต้องใช้เวลาประมาณ 4.5 ชั่วโมงต่อตัวอย่าง และเทคนิค ICP-OES จะต้องใช้เวลาประมาณ 3.5 ชั่วโมงต่อตัวอย่าง นอกจากนี้ผู้วิเคราะห์

ที่ตรวจวัดปริมาณสารหนูด้วยชุดทดสอบสามารถทำการวิเคราะห์ได้เอง ไม่จำเป็นต้องมีทักษะและความชำนาญในทางวิทยาศาสตร์ ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเทคนิค สเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES ผู้วิเคราะห์จำเป็นจะต้องมีทักษะและความชำนาญในทางเคมีเป็นอย่างดี จึงจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สารหนูในกุ้งแห้งโดยเทคนิคทั้ง 3 วิธี พบว่าการวิเคราะห์สารหนูในกุ้งแห้งด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES มีค่าวิเคราะห์ต่อตัวอย่างที่สูงกว่าการใช้ชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ได้ปรับปรุงประมาณ 5 และ 8 เท่า ตามลำดับ เนื่องจากในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมีเกรดวิเคราะห์ (เช่น โซเดียมอาร์ซีไนเตเฮปตาไฮเดรต) ที่มีราคาสูงมาก

5. สรุปผล

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การนำชุดทดสอบที่ใช้อุปกรณ์ดักจับก๊าซที่ได้ปรับปรุงมาใช้ สามารถตรวจวัดปริมาณสารหนูในกุ้งแห้งได้เอง โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ การตรวจวัดสามารถทำได้สะดวก รวดเร็ว ราคาถูก เมื่อเทียบกับเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES นอกจากนี้ยังให้ผลที่เชื่อถือได้ แม้ว่าการรายงานความเข้มข้นของสารหนูจากการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบจะเป็นค่าที่ได้จากการประมาณที่รายงานความเข้มข้นในสเกลที่กว้างก็ตาม ในขณะที่ผลการวิเคราะห์จากเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี และเทคนิค ICP-OES จะรายงานด้วยค่าที่ละเอียดและแน่นอน ดังนั้นการเลือกวิธีตรวจวัดสารหนูในกุ้งแห้งสามารถทำได้ตามความเหมาะสมขึ้นกับวัตถุประสงค์ของลักษณะงานที่ต้องการ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่สนับสนุนงบประมาณตลอดโครงการวิจัย ปีงบประมาณ 2552 และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือ

7. เอกสารอ้างอิง

1. Thai office of community product standards, 2006, “Dried Shrimp Product Standard (tcps 309/2549)”, Ministry of Industry, Bangkok [online], Available: http://app.tisi.go.th/otop/standard/standards. html [2014, January 20] (In Thai).

2. Duker, A.A., Carranza, E.J., and Hale, M., 2005, “Arsenic geochemistry and health”, *Environ. In*., Vol. 31, pp. 631-641.

3. McSheehy, S., Szpunar, J., Morabito, R., and Quevauviller, P., 2003, “The speciation of arsenic in biological tissues and the certification of reference materials for quality control”, *Trends Anal. Chem*., Vol. 22, No. 4, pp. 191-209.

4. Pizarro, I., Gómez, M., Cámara, C., and Palacios, M.A., 2003, “Arsenic speciation in environmental and biological samples: Extraction and stability studies”, *Anal. Chim. Acta*., Vol. 495, pp. 85-98.

5. Tüzen, M., 2003, “Determination of heavy metals in fish sample of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry”, *Food Chem*. Vol. 80, pp. 119-123.

6. Giacomino, A., Abollino, O., Lazzara, M., Malandrino, M., and Mentasti, E., 2011, “Determination of As(III) by anodic stripping voltammetry using a lateral gold electrode: experimental conditions, electron transfer and monitoring of electrode surface”, *Talanta*, Vol. 83, pp. 1428-1435.

7. Feeney, R., and Kounaves, S.P., 2002, “Voltammetric measurement of arsenic in natural waters”, *Talanta*, Vol. 58, pp. 23-31.

8. Suitcharit, C., 2013, “Quantitative Determination of Arsenate in Dried Shrimp by Spectrophotometric Measurement of Its Heteropoly Blue”, *Adv. Mat. Res*., Vol. 705, pp 9-14.

9. Morita, K., and Kaneko, E., 2006, “Spectrophotometric determination of arsenic in water

samples based on micro particle formation of ethyl violet-molybdoarsenate", *Anal. Sci.*, Vol. 22, pp. 1085-1089.

10. Techalertmanee, T., Siripinyanond, A., and Shiowatana, J., 2008. "Development of test kit for inorganic arsenic speciation", *Proceedings of The 30th Congress on science and Technology of Thailand (STT30)*, [online], Available : http : // www. scisoc.or.th/ stt/30/ sec__c/paper/stt30__C0079. pdf [2012 January 10]

11. Kinniburgh, D.G., and Kosmus, W., 2002, "Arsenic contamination in groundwater: some analytical considerations", *Talanta*, Vol. 58, pp. 165-180.

12. Shiowatana, J., Techalertmanee, T., and Siripinyanond, A., 2008, Gas-trap apparatus for sample measurement and field test-kit for arsenic and ammonia [online], Available : http://www. sc.mahidol.ac.th/tha/ research/product.htm [2011 November 20] (In Thai).

13. Metal Chelates, [online], Available: http:// www.dojindo.com/Images/Product%20Photo/ Chelate__Table__of__Stability__Constants.pdf. [2014 August 10]