การตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารสาหร่ายอบกรอบ ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี

นาย ชัยฤกษ์ มณีเสถียร
นางสาว นภัส สังข์ลาโพธิ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

Determination Of Cadmium In Roasted Seaweed

By Atomic Absorption Spectrophotometry

Mr. Chailerk Maneesatain

Ms. Napas Sanglapho

A Special Project Submitted In Partial Fullfillment Of The Require For The Degree Of

Bachelor Of Science

Department Of Chemistry

Faculty Of Science

King Mongkut's Institute Of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

โครงงานพิเศษ เรื่อง	การตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารสาหร่ายอบกรอบด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี
นักศึกษา	นาย ชัยฤกษ์ มณีเสถียร รหัส 45050676
	นางสาว นภัส สังข์ลาโพธิ์ รหัส 45050682
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	....
กรรมการ	ผศ.นงนุช ศิวะภิญโญยศ	....
กรรมการ	ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์	....

....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

โครงงานพิเศษ เรื่อง	การตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์อาหารสาหร่ายอบกรอบด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี
นักศึกษา	นาย ชัยฤกษ์ มณีเสถียร นางสาว นภัส สังข์ลาโพธิ์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการตรวจวัดปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารสาหร่ายอบกรอบที่ปัจจุบัน มีการผลิตออกมาจำหน่ายกันมากมายหลายยี่ห้อทั้งที่เป็นอุตสาหกรรมอาหารขนาดใหญ่และแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือน ทำให้ผู้บริโภคสามารถหาซื้อรับประทานได้ง่ายและเป็นที่นิยมทั้งเด็กและผู้ใหญ่ แต่อาจจะไม่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคเนื่องจากสาหร่ายทะเลมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำทะเลได้ดีโดยเฉพาะแคดเมียมซึ่งมีปนเปื้อนอยู่มาก และถ้าอาหารมีปริมาณแคดเมียมเกินที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดคือไม่เกิน 3 มิลลิกรัม จะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

ดังนั้น คณะผู้วิจัยได้คำนึงถึงความปลอดภัยและสุขภาพผู้บริโภคจึงได้คิดตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในสาหร่ายอบกรอบ โดยใช้เทคนิควิธีที่เป็นวิธีมาตรฐาน คือ เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชั่นสเปกโทรเมทรี โดยทำการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมที่เนื่องจากสาหร่ายมีองค์ประกอบที่เป็นสารอาหารและที่ไม่ใช่สารอาหารซึ่งอาจจะรบกวนการวิเคราะห์ได้ ศึกษาการเตรียมกราฟมาตรฐานแบบเติมสารมาตรฐาน(standard addition curve) ด้วยเทคนิค AAS และตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในสารละลายตัวอย่างสาหร่ายเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในสาหร่ายยี่ห้อต่างๆเพื่อให้ได้ทราบถึงคุณภาพของสาหร่ายยี่ห้อต่างๆที่คนนิยมรับประทานและความปลอดภัยในการเลือกบริโภค ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า วิธีการเตรียมตัวอย่างสาหร่ายที่เหมาะสมคือวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยเตาไฟฟ้า เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถเตรียมได้ง่ายและใช้สารเคมีน้อยและ สามารถเตรียมได้สารละลายที่นำไปตรวจวัดแล้วได้ปริมาณแคดเมียมในปริมาณใกล้เคียงกันในตัวอย่างเดียวกันและ จากผลการตรวจวัดตัวอย่างสาหร่าย 5 ยี่ห้อ ได้แก่ โกริโกะ, ซิลิโกะ, เถ้าแก่น้อย, โชกุเนะ และ สาหร่ายในคณะวิทยาศาสตร์ พบว่ายี่ห้อโชกุเนะเป็นสาหร่ายที่มีปริมาณแคดเมียมอยู่น้อยที่สุดทำให้เป็นสาหร่ายที่มีความปลอดภัยในการเลือกบริโภคมากที่สุด

Special Project Title Determination Of Cadmium In Roasted Seaweed By Atomic Absorption Spectrophotometry

Name Mr. Chailerk Maneesatain

Ms. Napas Sanglapho

Department Chemistry

Major Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation

Academic Year 2005

Special Project Advisor Ass. Prof. Kanita Tungkanarnurak

Abstract

This special project was aimed to study the determination of cadmium in the kind of food products of roasted seaweed which of present are manufactured and sold tremendously in many brands both in the big scales and household food industries .Making consumers be able to buy them easily and they were popular amoung children and adults. They may not be safe for consumers because seaweed is composed mainly of cellulose which can absorb the heavy metal contaminated in sea water very well. Especially cadmium which is in great amount and if there is too much in food being over 3 mg/kg as determined by Ministry Of Public Health, it may be harmful to consumers

Therefore the researcher realized the safety and health of consumers and decided to determine the amount of cadmium in roasted seaweed by using standard technique namely Atomic Absorption Spectrophotometry(AAS) . In this study, the researcher found that the drying ashing was more suitable method than the wet digestion. The standard addition curve was prepared to prevent the matrix effect and used to determine cadmium in the difference brands of roasted seaweed. The obtained results can be used to present the quality in the difference brands of roasted seaweed and decided to consumption.

The result of experiment was found that. The 5 brand of rosted seaweed is koroko, siliko, taogaenoi, shokune and no brand of seaweed from faculty of science in KMITL found that shokune brand had amount of cadmium in 5 brand name.So that shokune brand was safety for consumption.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดีในครั้งนี้สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกๆท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์ และคณะกรรมการ ที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี รวมทั้งแม่บ้านที่ได้ให้คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติ พี่น้อง และเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือในทุกๆด้านจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จในที่สุด

นาย ชัยฤกษ์ มณีเสถียร
นางสาว นภัส สังข์ลาโพธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สาหร่าย	4
2.2 แคดเมียม	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	12
3.2 วิธีการเตรียมสารละลาย	13
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่าง	19
4.2 การศึกษาการเตรียมกราฟมาตรฐานแบบเติมสารมาตรฐาน และปริมาณแคดเมียมที่ตรวจวัดได้	19
4.3 การประเมินผลทางสถิติ	26
4.4 ผลการสอบเทียบมาตรฐานเครื่อง AAS	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	29
ปัญหาและข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer 33

ภาคผนวก ข : การใช้สถิติในการวัดค่าการกระจาย 46

ภาคผนวก ค : ตารางแสดงผลการทดลอง 51

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มา

โลหะแคดเมียมเป็นโลหะที่มีพิษตัวหนึ่ง ที่มีโอกาสเข้ามาปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมได้ง่าย เนื่องจากแคดเมียมมีแหล่งที่มาได้จากหลายแหล่งเช่น อุตสาหกรรมการผลิตโลหะผสมอัลลอยด์ ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมผลิตเซรามิก เป็นต้น อันตรายที่มาจากแคดเมียมมีทั้งแบบเฉียบพลันเละแบบเรื้อรัง โดยถ้าหากได้รับแคดเมียม ในปริมาณที่ต่ำแคดเมียมจะไปสะสมอยู่ที่ไต แต่ถ้าได้รับเข้าไป ในปริมาณมากๆ จะไหลเวียนเข้าไปยังตับ และสะสมในตับ อาการเฉียบพลันของผู้ที่ได้รับแคดเมียมในปริมาณมากๆ คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง เป็นตะคริวที่ท้อง และ อาจมีอาการท้องร่วงอย่างแรง

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้มากที่สุดทางอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่เป็นที่นิยมใช้รับประทานยามว่างคณะผู้วิจัยจึงเน้นไปที่สาหร่ายทะเลอบกรอบ ที่เป็นอาหารยอดนิยมของคนทุกเพศทุกวัยไปแล้วในปัจจุบัน เนื่องจากสาหร่ายทะเลมีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายและเป็นอาหารที่ให้พลังงานต่ำ แต่สาหร่ายทะเลก็อาจมีโทษต่อร่างกายได้เช่นกัน เนื่องจากสาหร่ายมีองค์ประกอบเป็นสารจำพวกเส้นใย จึงสามารถดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเลได้และจากงานวิจัยในต่างประเทศที่ผ่านมาพบว่ามีโลหะแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทสาหร่าย ในปริมาณที่มากเกินเกณฑ์มาตรฐานที่หน่วยงานสากลกำหนด ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจวัดหาปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในสาหร่ายยี่ห้อต่างๆที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดและเป็นที่นิยมรับประทานกันโดยใช้เทคนิควิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (Atomic Absorption Spectrophotometry , AAS) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการตรวจวัดโลหะหนัก โดยศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมที่เนื่องจากสาหร่ายมีองค์ประกอบที่เป็นสารอาหารและที่ไม่ใช่สารอาหารซึ่งอาจจะรบกวนการวิเคราะห์ได้ ศึกษาการเตรียมกราฟมาตรฐานแบบเติมสารมาตรฐาน(standard addition curve) ด้วยเทคนิค AAS และตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในสารละลายตัวอย่างสาหร่ายเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในสาหร่ายยี่ห้อต่างๆ เพื่อให้ได้ทราบถึงคุณภาพของสาหร่ายยี่ห้อต่างๆที่คนนิยมรับประทานและความปลอดภัยในการเลือกบริโภค

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อตรวจวัดหาปริมาณแคดเมียมที่เจือปนอยู่ในผลิตภัณฑ์สาหร่ายที่นิยมรับประทานในปัจจุบัน

2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่เจือปนในสาหร่ายแต่ละยี่ห้อเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของสาหร่ายแต่ละยี่ห้อที่คนนิยมรับประทาน

3. เพื่อทราบประสิทธิภาพของเทคนิควิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี ในการตรวจวัดปริมาณแคดเมียม เนื่องจากสาหร่ายอบกรอบมีเมทริกซ์ที่ยุ่งยาก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการในย่อยตัวอย่างและการเตรียมสารละลายตัวอย่างสาหร่ายที่เหมาะสม

2. ศึกษาการตรวจวัดปริมาณแคดเมียมโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (AAS)

3. ทำการเปรียบเทียบและคำนวณหาปริมาณแคดเมียมที่ตรวจพบในสาหร่ายแต่ละยี่ห้อเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคในการเลือกรับประทาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตรวจสอบหาปริมาณแคดเมียมที่มีอยู่ในสาหร่ายที่คนนิยมนำมารับประทานกันได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2. เพื่อให้สามารถทราบได้ถึงคุณภาพและความปลอดภัยในการเลือกซื้อและรับประทานสาหร่ายทอดกรอบ

3. เพื่อมีข้อมูลประกอบการเลือกรับประทานสาหร่ายทอดกรอบ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี ที่เกี่ยวกับสาหร่าย

สาหร่ายทะเล ก็คือสาหร่ายที่เกิดขึ้นในทะเลนั่นเอง และเป็นพืชชั้นต่ำ ซึ่งคนส่วนใหญ่มักเข้าใจว่าสาหร่ายทะเลสามารถเจริญเติบโตได้ในทะเลทุกหนทุกแห่งของโลก แต่ในความเป็นจริงแล้วสาหร่ายทะเลสามารถเจริญเติบโตได้ในบางเขตเท่านั้น และไม่ใช่ว่าจะสามารถพบสาหร่ายทะเลในทะเลเขตอบอุ่นได้เสมอไป ระยะแรกมนุษย์เราอาจไม่สนใจกับสาหร่ายทะเลมากนักเพราะเห็นเป็นสิ่งสกปรกหรือมองข้ามประโยชน์ไป จนกระทั่งสาหร่ายทะเลได้มาเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายก็เพราะชาวจีนและญี่ปุ่นนำมาประกอบอาหารจนเป็นอาหารประจำชาติที่ขึ้นชื่อในประเทศไทยสำรวจพบว่าทั้งในอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามันมีสาหร่ายทะเล 106 สกุล 260 ชนิด แต่ที่นำมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 17 สกุล ซึ่งมีทั้งสาหร่ายทะเลสีเขียว สาหร่ายทะเลสีแดง และสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล

สาหร่ายทะเลขึ้นติดเกาะหินหรือของแข็งใต้ทะเลโดยใช้อวัยวะคล้ายรากยึดเกาะ แต่รากของสาหร่ายทะเลไม่สามารถหาอาหารได้เหมือนรากของพืชทั่วไป สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลเป็นสาหร่ายทะเลที่เราพบเห็นง่ายที่สุดเวลาเราไปเที่ยวทะเล เพราะพวกมันจะเกาะอยู่กันเป็นกลุ่มหนาทึบบริเวณหินโสโครก หรือลอยมากับน้ำทะเลเวลามีคลื่นแรงๆ เราสามารถใช้สาหร่ายทะเลเป็นตัวแบ่งความตื้นลึกของทะเลได้เช่นกัน เพราะว่าสาหร่ายทะเลส่วนใหญ่จะไม่ขึ้นในน้ำที่ลึกเกินกว่า 50 เมตร

สาหร่ายทะเลจัดว่าเป็นพืชที่อาศัยอยู่ใต้ทะเล ที่เกิดมาพร้อม ๆ กับโลก และจัดเป็นสิ่งแรกที่เริ่มสังเคราะห์แสงได้ และ สามารถใช้แสงอาทิตย์ในการสร้างอาหารเช่นเดียวกับพืชทั่วๆไป นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสาหร่ายเป็นแหล่งผลิตก๊าซออกซิเจนให้กับโลกของเราถึง 70% เลยทีเดียว นอกจากจะสร้างอาหารโดยการสังเคราะห์แสงแล้ว สาหร่ายทะเลก็สามารถ สร้างอาหาร โดยการดูดซึม (osmosis) เอาแร่ธาตุและสิ่งมีประโยชน์ทั้งหลายโดยตรง มาจากทะเลด้วย ดังนั้นคุณค่า และคุณประโยชน์ของสาหร่ายนั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของ น้ำทะเลเป็นสำคัญ แหล่งที่เก็บเกี่ยวสาหร่ายจึงจัดว่า มีความสำคัญอย่างมาก ในการพิจารณาถึงคุณประโยชน์ของสาหร่ายด้วย
สาหร่ายทะเลไม่มี ราก ดอก และใบเหมือนพืชบนบก สาหร่ายทะเลมีหลายสี เช่น เขียว แดง และน้ำตาล พวกสาหร่ายสีเขียว ต้องการแสงมาก จึงเจริญเติบโตอยู่ใกล้ชายฝั่ง ส่วนสาหร่ายใบพาย และสาหร่ายสีน้ำตาลชนิดอื่นๆ ไม่ต้องการแสงมากจึงอยู่ในน้ำที่ลึกลงไป และค่อนข้างมืดได้

ปัจจุบันมีการค้นพบว่ามีสาหร่ายอยู่ถึงประมาณ 20,000 ชนิดทั่วโลก ซึ่งก็พอจะแบ่งออก เป็นกลุ่มดังนี้

1. Blue seaweed (สาหร่ายสีน้ำเงิน) จัดเป็นสาหร่าย cell เดียวและมีขนาดเล็ก (microscopic and unicellular) ยกตัวอย่างเช่น Spirulina

2. Green seaweed (สาหร่ายสีเขียว) มีขนาด 10-50 ซม. จะพบบริเวณน้ำทะเล ในส่วนที่ตื้น ๆ (upper section) ยกตัวอย่างเช่น Aosa, Fucus vesiculosus และ Laminaria Digitata

3. Brown seaweed (สาหร่ายสีน้ำตาล) อยู่ในน่านน้ำทะเลที่ลึกปานกลาง (middle section) มีขนาดยาวตั้งแต่ 10 ซม. ถึง 100 เมตร, สาหร่ายสีน้ำตาลเป็นสาหร่าย ที่มีคุณค่ามากที่สุด เพราะมีส่วนประกอบของ amino acids, vitamins และ minerals มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น Ascophyllum Nodosum

4. Red seaweed (สาหร่ายสีแดง) อยู่ในส่วนน่านน้ำที่ลึกที่สุด (deepest level) มีขนาดยาวตั้งแต่ 10-40 ซม. ยกตัวอย่างเช่น Codium Corallina

สาหร่ายทะเลนั้นมีประโยชน์หลายด้าน แม้ว่าสาหร่ายทะเลจะถูกจัดให้เป็นพืชชั้นต่ำแต่ความสำคัญประการหนึ่งที่มีต่อมวลมนุษยชาติ ที่มักจะถูกมองข้ามก็คือ การเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นในระบบนิเวศน์ แม้แต่อากาศบริสุทธิ์ที่มนุษย์เราหายใจทุกวันส่วนใหญ่ได้มาจากผลพลอยได้ของกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และสาหร่ายขนาดเล็กยังเป็นอาหารของสัตว์น้ำขนาดต่างๆ

การที่สาหร่ายทะเลได้กลายมาเป็นอาหารยอดนิยมของคนโดยทั่วไปได้นั้น เพราะในสาหร่ายทะเลมีสารอาหารและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย โดยปกติสารอาหารที่มีความจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งในสาหร่ายทะเลมีสารอาหารที่เป็นส่วนประกอบอันสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต แต่โปรตีนและไขมันนั้นแทบจะไม่มีเลย ตรงนี้เองที่ทำให้สาหร่ายทะเลกลายเป็นอาหารยอดนิยมและอาหารอันวิเศษเพราะเป็นอาหารที่ปราศจากแคลอรี่ จึงทำให้สาหร่ายทะเลได้รับการแนะนำว่าเป็นอาหารที่เหมาะสำหรับใช้ลดความอ้วน เพราะมีแคลอรี่ต่ำนั่นเอง

ประโยชน์ของสาหร่ายทะเล

ประโยชน์ในด้านการเกษตร สาหร่ายทะเลนำมาใช้ทำปุ๋ย ทำปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณค่าทางการเกษตร เกษตรกรที่อยู่ใกล้ทะเลได้ใช้สาหร่ายทะเลหมักเป็นปุ๋ยหมัก เพราะสาหร่ายทะเลมีโปแตสเซียม ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช

ประโยชน์ในด้านการค้า สาหร่ายทะเลหลายชนิดมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดวุ้นใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมยารักษาโรค อุตสาหกรรมฟอกหนัง และอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น โดยวุ้นที่ได้ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่สกัดมาจากสาหร่ายทะเลสีแดง

ประโยชน์ในด้านการแพทย์ สาหร่ายทะเลบางชนิดใช้เป็นยา เช่น สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลมีสารไอโอดีนสูง แพทย์จึงใช้สาหร่ายทะเลสีน้ำตาลรักษาโรคคอพอก นอกจากนี้ยังมีการนำสาหร่ายซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตสำหรับการทดสอบทางการแพทย์

ประโยชน์ต่อการเป็นอาหารของมนุษย์ คนไทยในแถบภาคใต้และภาคตะวันออกในอดีตและปัจจุบัน เช่น จังหวัดสุราษฎร์ธานี สงขลา ปัตตานี ตราด จันทบุรี เป็นต้น ใช้สาหร่ายเป็นกับข้าวแทนผักชาวเกาะที่อาศัยอยู่ตามเกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิกใช้สาหร่ายดิบเสริมเป็นกับข้าว และในประเทศที่คนใช้สาหร่ายเป็นอาหารมากที่สุดคือ ญี่ปุ่น ซึ่งทำให้สาหร่ายทะเลเป็นอาหารที่แพร่หลายไปทั่วโลก

ในสาหร่ายมีแก่นของเซลล์ที่ให้ความสวยงามแก่เราได้ สาหร่ายมีแร่ธาตุ วิตามิน และกรดอะมิโน ที่ช่วยขจัดสารพิษออกจากร่างกาย ทำให้การเผาผลาญดีขึ้น และช่วยกระชับเซลผิว นอกจากนี้ สารสกัดจากสาหร่ายยังช่วยให้มีการผลิตเซลใหม่ ๆ และป้องกันการรุกรานจากอนุมูลอิสระ

นอกจากนี้ เนื่องจากสาหร่ายทะเล เป็นพืชน้ำที่เติบโตในทะเลซึ่งเป็นแหล่งสะสมดูดซับเกลือแร่ชนิดต่างๆ มากมายไว้อย่างคาดไม่ถึง จึงทำให้สาหร่ายทะเลมีเกลือแร่บางชนิดเป็นพิเศษ เช่น เหล็ก แคลเซียมและไอโอดีน ล้วนแต่เป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเฉพาะไอโอดีนที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากขาดไอโอดีน ร่างกายจะแคระแกรนและสมองทึบ ทำให้เกิดโรคคอหอยพอก สำหรับหญิงสาวแล้วมีงานวิจัยได้ค้นพบว่า ถ้าร่างกายได้รับสารไอโอดีนที่เพียงพอ จะทำให้ความสาวของผู้หญิงไม่ร่วงโรยเร็วจนเกินไป และเหนืออื่นใดนี้ สาหร่ายทะเลจะได้รับการพัฒนาให้เป็นอาหารสำหรับนักบินอวกาศ เพราะในยานอวกาศนั้นมีขีดจำกัดในเรื่องของน้ำและอาหาร

โทษของสาหร่ายทะเล

ในสาหร่ายทะเลอาจจะมีสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์หลายชนิดที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่ใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค หรือบริโภคสัตว์น้ำจากแหล่งน้ำที่มีสารเคมีเป็นพิษเจือปนอยู่ สารอนินทรีย์ที่จัดเป็นสารมลพิษทางน้ำ ได้แก่ โลหะหนัก เช่น โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป มีอัตราการขยายตัวค่อนข้างช้า ทำให้สะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นานในรูปของตะกอน สิ่งมีชีวิตในน้ำจะได้รับโลหะหนักจากน้ำ พืชน้ำ สัตว์น้ำ จากการกินตามห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นจึงเกิดการสะสมโลหะหนักในเนื้อเยื่อสัตว์ และเนื้อเยื่อพืช โดยสะสมสารพิษเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นการบริโภค

โลหะหนักที่พบในแหล่งน้ำ ได้แก่ สารหนู ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม สังกะสี โครเมียม นิเกิล แมงกานิสเป็นต้น โลหะหนักที่มีบทบาทต่อภาวะมลพิษทางน้ำมากที่สุดคือปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม ถ้ามีมากเกินขีดจำกัดแล้วจะทำให้เป็นพิษต่อร่างกาย ดังเช่นพิษของปรอททำให้เกิดโรคมินามาตะใน ชาวประมงญี่ปุ่นบริเวณอ่าวมินามาตะ พิษของแคดเมียม ทำให้เกิดโรคอิไต-อิไต ในประเทศญี่ปุ่น ในประเทศไทย ประชาชนในอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นโรคไข้ดำ เนื่องจากน้ำดื่มมีสารหนูเจือปนอยู่มาก พิษของตะกั่วในชุมชนคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นต้น

นอกจากนี้สาหร่ายทะเลหากปรากฏอยู่ในธรรมชาติมากๆ เกาะอยู่ตามหินชายฝั่งอย่างหนาแน่น สายของสาหร่ายก็จะสุมกันเป็นกองสวะใหญ่ลอยเป็นแพอยู่ในน้ำ หรือลอยเป็นฝ้า ซึ่งจำเป็นจะต้องตักทิ้งและกำจัดออก หากสาหร่ายปรากฏขึ้นมามากๆ หรือมีอยู่เป็นจำนวนมากๆ จะทำให้น้ำทะเลมีสีต่างๆ เช่น สีเขียวสีน้ำเงินแกมเขียว สีน้ำตาล สีแดง เป็นต้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า ขี้ปลาวาฬ (water bloom) ซึ่งทำให้สาหร่ายทะเลเคยตกเป็นข่าวหน้าหนึ่งมาแล้วเช่นกัน

2.2 แคดเมียม (Cadmium)

เป็นโลหะหนักตัวหนึ่งทีมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมาย เช่น การผลิตโลหะผสมอัลลอยด์ ใช้ชุบโลหะที่จะนำไปเป็นส่วนประกอบของ เครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเลคโทรนิค ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมผลิตเซรามิค ยางและพลาสติก ใช้ผลิตแบตเตอรี่ (cadmium-nickle battery) ซึ่งนำมาใช้ในเครื่องคิดเลขและกล้องถ่ายรูป นอกจากนี้ยังใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา และการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์นั้นเป็นสาเหตุให้โลหะแคดเมียมเข้าไปเจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งที่มีการทำเหมืองสังกะสี การเผาไหม้ของขยะประเภทพลาสติกและยาง โรงงานทำโลหะผสมและชุบโลหะ อีกแหล่งที่มาของแคดเมียม ได้แก่ ควันบุหรี่ที่มีการประมาณการกันว่าบุหรี่ 1 มวลจะให้แคดเมียม 1.3 ไมโครกรัม ซึ่งส่วนใหญ่ปะปนอยู่ในควันบุหรี่ และบางส่วนเข้าสู่ร่างการผู้สูบ ประมาณกันว่าการสูบบุหรี่ 1 ซอง (20) มวน จะมีแคดเมียมเข้าสู่ปอด 2-4 ไมโครกรัม

โดยในคนทั่วไปที่ไม่ได้ทำงานสัมผัสกับแคดเมียม โดยตรง ร่างการจะได้รับแคดเมียมจากการอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ทั้งจากในอากาศ ในอาหาร และในน้ำดื่ม

แคดเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหาร ได้ประมาณ 5 % ของระดับแคดเมียมที่กินเข้าไป แต่จะถูกดูดซึม โดยผ่านทางระบบทางเดินหายใจได้ดีกว่าระบบทางเดินอาหาร คือประมาณ 10 – 50% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและการละลายของอนุภาคแคดเมียม

อันตรายที่เกิดจากแคดเมียม

อัตรายที่เกิดขึ้นมีทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ในภาวะเป็นพิษแบบเฉียบพลัน เมื่อรับประทางแคดเมียมในขนาดที่เป็นพิษจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง และเป็นตะคริว ในรายที่รุนแรงอาจทำให้เกิดภาวะช็อคจากการขาดน้ำจะเสียชีวิตหรือเกิดภาวะไตวายเฉียบพลันได้ หากหายใจเอา fume ของแคดเมียมเข้าไป จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อหลอดลมและปอด ทำให้มีอาการอักเสบที่ปากและคอ มีไข้ ไอ เจ็บหน้าอก และเป็นปอดอักเสบได้

ภาวะเป็นพิษจากแคดเมียมแบบเรื้อรัง ในกรณีรับประทานเป็นที่สนใจของทั่วโลก เกิดขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นตามริมฝั่งของแม่น้ำ jinsu ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 พบ่าชาวบ้านแถบนั้นเกิดอาการผิดปกติเกี่ยวกับกระดูกโดยเฉพาะสตรีวัยหมดประจำเดือนจะมีอาการปวดกระดูกข้อและกระดูกสันหลังอย่างรุนแรง เรียกว่าโรค “ อิไต-อิไต” การศึกษาในขณะนั้นพบว่าอาการดังกล่าวเกิดจากการบริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีแคดเมียมสะสมอยู่ เนื่องจากที่บริเวณนั้นเป็นที่ทำเหมืองและถลุงโลหะซึ่งผลิตทองแดง ตะกั่วและสังกะสี เป็นสาเหตุให้บริเวณแถบนั้นมีแคดเมียมในระดับสูงทั้งในอากาศและในน้ำ นอกจากนี้การสูดดมเอาแคดเมียมเข้าสู่ปอดเป็นเวลานานๆ ยังทำให้มีโอกาศเกิดมะเร็งปอดและมะเร็งต่อมลูกหมากสูงขึ้น

การขับถ่ายแคดเมียมออกจากร่างกาย

แคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายโดยผ่านทางไต แต่อัตราการขับออกจะน้อยกว่าอัตราการดูดซึม กล่าวคือประมาณร้อยละ 10 เท่านั้นที่ถูกขับออกจาก่างกาย จึงมีผลทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะในตับและไต นอกจากนี้แคดเมียมจะถูกขับออกทางผม ผิวหนังและน้ำนม แต่ในระดับที่น้อยมาก นอกจากนี้การขับถ่ายของแคดเมียมยังขึ้นกับระยะเวลาในการได้รับแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายและขึ้นอยู่กับร่างกายของแต่ละบุคคล

ระดับของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม

1. ในบรรยากาศทั่วไป

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของแคดเมียมในอากาศของประเทศต่างๆพบว่าในบรรยากาศเขตชนบทและเขตเมืองมีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมค่อนข้างต่ำ คือ ประมาณ 0.00 – 0.7 $\mu g/m^3$ ดังนั้นแคดเมียมที่ร่างกายจะได้รับ โดยการหายใจจึงค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับที่ได้รับจากทางอาหาร

2. ในสภาพแวดล้อมการทำงาน

เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

- ความเข้มข้นของฝุ่นแคดเมียมในบรรยากาศการทำงาน โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ ไม่เกิน 0.2 $\mu g/m^3$ และความเข้มข้นที่อาจยอมให้มีได้คือ 0.6 $\mu g/m^3$
- ความเข้มข้นของฟูมแคดเมียม (cadmium fume) โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ ไม่เกิน 0.1 $\mu g/m^3$ และความเข้มข้นที่ยอมให้มีได้คือ 0.3 $\mu g/m^3$

3. ในน้ำ

ค่ามาตรฐานของแคมเมียมที่มีในแหล่งน้ำที่กำหนดไว้แยกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1 มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินที่มิใช้ทะเลที่กำหนดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีคือ

- ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 $\mu g/L$ ระดับของแคดเมียมต้องไม่เกิน 0.005 $\mu g/L$
- ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 $\mu g/L$ ระดับของแคดเมียมต้องไม่เกิน 0.05 $\mu g/L$

3.2 มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

- ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในน้ำที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องไม่เกิน 0.03 $\mu g/L$ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2512)

4. ในอาหารและน้ำดื่ม

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยผ่านทางน้ำและอาหารที่มีภาชนะบรรจุเป็นกระป๋องที่มีแคดเมียมดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานของแคดเมียมในน้ำขึ้น

- ในน้ำดื่มได้มีมาตรฐานที่กำหนดไว้โดยกระทรวงสาธารณสุขและสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมว่า ระดับที่ยอมให้มีได้คือ 0.01 μg /L ส่วนในน้ำดื่มที่มีฝาปิดสนิทจะมีระดับที่ยอมรับได้คือ 0.005 μg /L
- ในอาหาร โดยทั่วไปที่มาจากบริเวณที่ไม่มีปัญหามลพิษจะมีแคดเมียมต่ำกว่า 1 ppm ยกเว้นในตับ ไต และ สัตว์ทะเลประเภท หอย กุ้ง ปู จะมี แคดเมียมในระดับสูงกว่านี้ ซึ่งค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 3.0 ppm

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cadmium Concentration in Current Japanese Foods and Beverage

Yuriko Kikuchi, et al. Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, Keio University

เป็นการศึกษาการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม ในอาหารและเครื่องดื่มที่บริโภคกันทั่วไปในประเทศญี่ปุ่น โดยทำการตรวจวัดปริมาณของแคดเมียม ในอาหารทะเลและเครื่องดื่ม 519 ชนิดที่ซื้อมาจากตลาดทั่วไป แล้วจึงทำการตรวจวัดด้วย flame หรือ flame less atomic absorption spectrophotometer (AAS) จากการทดลองจะได้ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในอาหารแต่ละกลุ่มดังนี้ cereals 0.001- 0.380 μg/g , มันฝรั่ง < 0.01- 0.08 μg/g , น้ำตาลและสารให้ความหวาน < 0.01 μg/g , ถั่วและเมล็ดพืช < 0.01- 0.18 μg/g , ผัก (ปลูกในดิน) < 0.001- 0.128 μg/g , ผัก (ปลูกโดยวิธี hydroponics) < 0.001-0.002 μg/g , ผลไม้ < 0.001-0.033 μg/g , เห็ด < 0.01-0.19 μg/g , สาหร่าย 0.040- 2.380 μg/g , ปลา < 0.01-0.02 μg/g , หอย < 0.010-5.050 μg/g , เนื้อ < 0.001- 0.100 μg/g , ไข่ < 0.001 μg/g , นม < 0.010 μg/g , ไขมันและน้ำมัน < 0.001 μg/g , ขนมหวาน < 0.020- 0.100 μg/g , เครื่องดื่ม < 0.01- 0.13 μg/g , เครื่องปรุงรสและเครื่องเทศ < 0.01- 0.06 μg/g จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้พบว่า ปริมาณแคดเมียมใน cereals จะอยู่ในช่วง 0.004 ถึง0.380 μg/g สาหร่ายและหอยจะมีปริมาณแคดเมียมสูง ในผักที่ปลูกโดยวิธี hydroponics จะมีปริมาณแคดเมียมที่ต่ำมากหรือไม่สามารถตรวจวัดได้เลย ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะเป็นการความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์เพื่อที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แคดเมียมในอาหารกลุ่มอื่นๆต่อไป

Automated flow-injection method for cadmium determination with pre-concentration and reagent preparation on-line

Department of Chemistry, FIA Laboratory, Universidad Nacional del Sur, 8000-Bah□a Blanca, Argentine

การตรวจวัด Cd(II) ด้วยวิธีทาง spectrophotometric โดยใช้ระบบ flow injection ที่เตรียมได้โดยใช้ solid-phase reactor สำหรับเตรียมความเข้มข้นของแคดเมียม และ ใช้ on-line reagent preparation โดยในขั้นแรกจะต้องทำให้เกิด dithizone-Cd complex ก่อนเพื่อทำให้เกิดสี. กราฟมาตรฐานของแคดเมียมจะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 6 และ 300 μg L^{-1} มี detection limit อยู่ที่ 5.4 μg L^{-1} มี % RSD เท่ากับ 3.7% วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด Cd(II) ในน้ำผิวดิน น้ำในบ่อและน้ำดื่มได้

บทที่ 3
การดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้

สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก 6 M (6 M Hydrochloric , HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA reagent
2. กรดไนตริก 0.1 M (0.1 M Nitric acid , HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA reagent
3. สารละลายมาตรฐานแคดเมียม 1000 ppm (Cadmium Standard Solution 1000 ppm) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA reagent
4. กรดซัลฟิวริก (Conc. Sulfuric, H_2SO_4)เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA reagent
5. ไฮโดรเจนเปอออกไซด์ 50% (50% Hydrogenperoxide H_2O_2)บริษัท CARLO ERBA reagent
6. น้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน
7. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สาหร่ายอบกรอบ

อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมทรี (Atomic Absorption Spectrophotometry , AAS)รุ่นAA680 ของบริษัท Shimadzu
2. เตาเผาไฟฟ้า (Electric Furnance)
3. แท่นให้ความร้อน(Hot Plate)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. เครื่องแก้ว

3.2 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.2.1สารละลายมาตรฐานแคดเมียม 10 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Stock Solution) ที่มีความเข้มข้น 1000 ppm มา 1 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.2.2สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์0.04 ppm.

สารละลายแบลงค์เตรียมโดยใช้สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 8 มล. เติมลงไปในน้ำกลั่น 1 ลิตร

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสาหร่ายโดยวิธีการย่อยด้วยกรด

1. ชั่งตัวอย่าง 50 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1.5 ลิตรเติมเศษกระเบื้องปิดฝาเติมแล้วเติมกรดไนตริก ลงไป 25 มิลลิลิตรด้วยความระมัดระวังปิดฝาและทำการอุ่นเบาๆด้วยเครื่องให้ความร้อน

2. เมื่อปฏิกิริยาลดลงเติมกรดไนตริก ลงไป 25 มิลลิลิตร ทำการอุ่นอีกครั้งแล้วทำซ้ำจนกระทั่งเติมไนตริกลงไปปริมาตรรวมทั้งหมด 100 มิลลิตร ทิ้งไว้ 1 คืน

3. ให้ความร้อนจนกระทั่งเกิดควันของไนตรัส (NO)เกิดขึ้น ควบคุมการเกิดฟองที่มากเกินไปโดยการหล่อเย็นด้วยน้ำ

4. จะมีเซลลูโลสและไขมันที่จะไม่ละลาย

5. ทำการกำจัดไขมันในสารละลายที่ร้อนโดยการแช่บีกเกอร์ในน้ำแข็ง

6. นำสารละลายที่เป็นของเหลวแยกออกจากไขมันที่ถูกทำให้เป็นตะกอนและของแข็งผ่านสำลีใส่ลงในบีกเกอร์

7. เติมน้ำ 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 1.5 ลิตรที่มีไขมันอยู่ ให้ความร้อนแล้วทำการเขย่าอย่างแรง

8. ทำให้เย็นด้วยการแช่ในน้ำและกรองด้วยน้ำประมาณ 20 มิลลิลิตร โดยใช้สำลีกรอง

9. เติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้นลงไปในตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร

10. ทำการเจือจางด้วยน้ำประมาณ 30 มิลลิลิตรและระเหยจนสารละลายเป็นสีน้ำตาลไหม้

11. จากนั้นให้ทำการเติม 50 % ของไฮโดรเจนเปอออกไซด์ 1 มิลลิลิตรอย่างระมัดระวัง

12. เติมไฮโดรเจนเปอออกไซด์ จนกระทั่งสารละลายไม่มีสี

13. ให้ความร้อนจนเกิดควันของซัลเฟอร์ เติมไฮโดรเจนเปอออกไซด์เพื่อเอาส่วนที่ไหม้ออก

14. ให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อทำการไล่ไฮโดรเจนเปอออกไซด์

15. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

16. เตรียมสารละลายแบลงค์ จาก 100 มิลลิลิตรของ กรดไนตริก 20 มิลลิลิตร ของกรดซัลฟิวริกและเติมน้ำให้เท่ากับที่เติมลงในตัวอย่างจากนั้นเติม 50 % ของไฮโดรเจนเปอออกไซด์ ในปริมาณที่เท่ากับที่เติมลงในตัวอย่าง

3.3.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยโดยใช้เตาเผาไฟฟ้า

1. ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายอบกรอบที่มีขายตามท้องตลาดโดยแบ่งเป็น สาหร่ายอบกรอบชนิดที่มีกรรมวิธีผลิตที่ได้มาตรฐานและได้รับอนุญาตจากองค์การอาหารและยา (อย.) ที่มีขายตามร้านสะดวกซื้อหรือตามซูเปอร์มาเก็ต และสาหร่ายอบกรอบที่มีขายตามตลาดทั่วไป เช่นที่ขายตามตลาดนัด

2. นำตัวอย่างสาหร่ายมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. ชั่งตัวอย่างที่อบแล้วใส่ในครูซิเบิล ประมาณ 10 กรัม โดยที่แต่ละตัวอย่างที่ทำการชั่งจะต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.01 กรัม และทำการบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง

4. นำครูซิเบิลที่มีตัวอย่างอยู่ปิดด้วยกระจกนาฬิกา แล้วนำเข้าไปเผาใน เตาเผาไฟฟ้า ที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน

5. นำครูซิเบิลออกจากเตาเผาและทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

6. เมื่อระเหยน้ำหมดแล้วจึงนำครูซิเบิลเข้าไปเผาในเตาเผา ที่ 450 องศาเซลเซียสจนกระทั่งสารตัวอย่างเป็นเถ้าอย่างสมบูรณ์ โดยเถ้าที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีขาว

7. เทเถ้าที่ได้ลงในชามระเหยแล้วทำการเติม 6M HCl 5 ml แกว่งชามระเหยเพื่อให้เถ้าสัมผัสกับกรดอย่างทั่วถึง แล้วทำการระเหยกรดบนชามระเหย จนกรดระเหยหมด

8. นำตะกอนที่เหลือมาละลายด้วย 0.1 M HNO_3 จำนวน 30 ml ปิดด้วยกระจกนาฬิกาแล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง

9. กรองสารละลายที่ได้แล้วนำไปเก็บในขวดพลาสติกเพื่อนำไปใช้ในขั้นต่อไป

10. ทำการเตรียมแบลงค์ของสารละลายด้วยวิธีเดียวกัน

3.3.3 การสอบเทียบมาตรฐานเครื่อง AAS

การเทียบมาตรฐาน(Calibrate) เครื่อง AASมีดังนี้

1. การทำ Baseline Stability เป็นการเช็คระดับคลื่นรบกวน(noise level) ที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นๆซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

2. การทำ Wavelength accuracy เป็นการเช็คความถูกต้องของค่าความยาวคลื่นที่แสดงที่เครื่อง AAS ขณะทำ Line search ว่าตรงกับความยาวคลื่นของธาตุที่กำลังทำ Line search หรือไม่

3. การทำ Absorption Sensitivity และ Reproducibility เป็นการเช็คค่าความแม่นยำของการดูดกลืนแสง โดยการวัดซ้ำๆกันหลายๆครั้ง

4. การทำ Minimun detection limit เป็นการเช็คค่าความสามารถของเครื่องที่จะวัดค่าดูดกลืนแสงของธาตุนั้นๆ ได้ที่ความเข้มข้นต่ำที่สุดเท่าไร โดยนำค่าความสูงของ peak ไปคำนวณตามสูตร

Minimun detection limit = (0.04x2xN)/S

N = noise height

S = signal height

โดยเครื่อง AAS รุ่น 680 ของบริษัท Shimadzu ซึ่งทางบริษัทได้กำหนดค่าของการเทียบมาตรฐานของเครื่องที่ยอมรับได้ดังนี้

Items	Description
Baseline Stability	Noise : 0.007 Abs or less
Wavelength accuracy	± 0.3
Absorption Sensitivity and Reproducibility	0.2 Abs or greater and %CV 2% or less
Minimum detection limit	0.006 ppm. Or less

การใช้งาน

เปิดสวิตซ์ POWER ของเครื่อง AAS รอประมาณ 3นาที เครื่องจะถูก set พร้อมที่จะใช้งาน

การทำBaseline Stability

1. ใส่หลอดอาร์เซนิก ลงในช่องใส่หลอดตำแหน่งที่ 1 ตั้งค่ากระแส 6 mA ค่า slit 0.6 nm. ค่าความยาวคลื่น 193.7 nm.

2. ตั้งค่า MODE เป็น HCL

3. ตั้งค่า EXPANSION = 20 RESPONSE = 2 CHART SPEED = 10

4. ตั้งค่า CRT เป็น REAL TIME

ค่าแกน Y (Abs) full scale = 0.24 ค่าแกน X (SEC/DIV) = 70

5. กดปุ่ม START ให้เครื่องวัด Baseline 5 นาที

6. กดปุ่ม F 8 เครื่องจะพิมพ์ตารางการวัด Baseline

7. กดปุ่ม STOP

8. อ่านค่า Baseline drift และค่า Noise level

การทำ Wavelength accuracy

1. **ใส่**หลอดเมอร์คิวรี่ ลงช่องใส่หลอดตำแหน่งที่1 ตั้งค่ากระแส 4 mA ค่า Slit 0.2 nm. ค่าความยาวคลื่น 253.7 nm.
2. **เครื่อง**จะทำการ line search
3. **อ่าน**ค่าความยาวคลื่นของ PEAK ที่ปรากฏที่เครื่องว่าตรงกับความยาวคลื่นที่กำหนดหรือไม่
4. **เมื่อ**เครื่องทำการ line search เสร็จจะขึ้นคำว่า BB FINISHED

การทำ Absorption Sensitivity และReproducibility

สารเคมี

สารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ 4 ppm.

สารละลายแบลงค์ เตรียมโดยใช้สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 8มล. เติมลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร

1. ใส่หลอดคอปเปอร์ ลงช่องใส่หลอดตำแหน่งที่ 1 ตั้งค่ากระแส 3 mA ค่า Slit 0.5 nm. ค่าความยาวคลื่น 324.8 nm.
2. ตั้งค่า MODE เป็น HCL
3. ตั้งค่า SIG-PROG = 2 PRE-SPY = 5 REPEAT = 5 MAX-N = 5 CV = 2 EXPANSION = 2 RESPONSE = 5 CHART SPEED = 10
4. เช็คระบบก๊าซอะเซทิลีนและอากาศ กด LEAK CHECK กด IGNITE
5. กด START
6. ดูดสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ 4ppm. แล้วตั้งความสูงและมุมของหัวเตาเพื่อให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด
7. ดูดสารละลายแบลงค์ กด BLANK
8. ดูดสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ 4 ppm. กด MEASURE เครื่องจะพิมพ์ค่าการดูดกลืนแสง
9. ดูดสารละลายแบลงค์
10. **ทำซ้ำข้อ 8 จนครบ 5ครั้ง**
11. **เครื่องจะพิมพ์ผลออกมากด STOP**
12. **อ่านค่า**เฉลี่ยของการดูดกลืนแสงและค่า CV

การทำ Minimum detection limit

1. ใส่หลอดคอปเปอร์ลงในช่องใส่หลอดตำแหน่งที่ 1 ตั้งค่ากระแส 3 mA ค่า Slit 0.5 nm. ค่า Slit 0.5 nm . ค่าความยาวคลื่น 324.8 nm.
2. ตั้งค่า MODE เป็น HCL
3. ตั้งค่า SIG-PROG = 2 PRE-SPY = 5 REPEAT = 5 MAX-N = 5 CV = 2 EXPANSION = 50 RESPONSE = 4 CHART SPEED = 30
4. เช็คระบบก๊าซอะเซทีลีนและอากาศ กดLEAK CHECK กด IGNITE
5. กด START
6. ดูดสารละลายแบลงค์ กด BLANK
7. ดูดสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ 0.04 ppm.จากข้อ 3.2.2 กด MEASURE
8. ทำซ้ำข้อ8 จนครบ 3 ครั้ง
9. เครื่องจะพิมพ์ผลออกมากด STOP
10. วัดความสูงของ Noise และ Signal
11. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า Minimum detection limit

3.3.4 การตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในสารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานด้วยวิธี AAS

1. ตั้งสภาวะของเครื่อง อะตอมมิกแอบซอร์ปชั่นสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ air – C_2H_2 oxidizing flameและใช้ความยาวคลื่น 228.8 nm

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 และ 2.5 ppm ตามลำดับ จากสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 1000 ppm

3. เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ได้โดยการเติมสารมาตรฐาน ทำได้โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างใส่บีกเกอร์ที่เตรียมไว้ จำนวน 4 ใบ ใบละ 2 ml จากนั้นจึงทำการเติมสารละลายมาตรฐานเคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0 , 0.5 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 ppm จำนวน 2 ml ลงในบีกเกอร์แต่ละใบตามลำดับ

4. เริ่มทำการตรวจวัดโดยทำการวัดแบลงค์ ของเครื่องโดยการใช้น้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน ให้ค่าที่ได้เป็นศูนย์

5. ทำการวัดสารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน ทั้ง 5 บีกเกอร์ โดยแต่ละตัวอย่างวัดซ้ำ 3 ครั้งและทำการวัดแบลงค์ของสารละลายตัวอย่าง

6. นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป

3.3.5 การประเมินผลโดยใช้หลักทางสถิติ

1. การประเมินความเที่ยง(precision)

ความเที่ยงของข้อมูลพิจารณาได้จากค่า RSD และ%RSD หรือ %CV สูตรที่ใช้คำนวณพิจารณาได้จากในภาคผนวก ถ้าค่าเหล่านี้มีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีความเบี่ยงเบนมากหรือข้อมูลมีการกระจายมาก

2. ค่าความเป็นเส้นตรง(linearity)

ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร2 ตัวเป็นเส้นตรงหรือไม่พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) โดยสูตรที่ใช้คำนวณพิจารณาได้จากในภาคผนวก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ควรได้ค่าประมาณ 0.999 หรือ 1.000 จึงจะได้แสดงว่าความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรในกราฟมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่าง

การย่อยสารตัวอย่างแบบเปียกเป็นการย่อยสารตัวอย่างโดยใช้กรดในการย่อยตัวอย่าง ขณะเตรียมตัวอย่างสามารถเกิดอันตรายได้เนื่องกรดที่นำมาใช้ย่อยตัวอย่างเป็นกรดเข้มข้นดังนั้นจึงอาจจะมีการกระเด็นเมื่อกรดถูกนำมาให้ความร้อนได้ซึ่งจะอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ทำการทดลองได้ ส่วนลักษณะของสารละลายตัวอย่างที่ได้ จะเป็นสารละลายที่มีสีเหลืองและมีสภาวะความเป็นกรดที่สูง โดยสารละลายตัวอย่างที่ได้จะมี pH ประมาณ 1 กว่าๆ

การย่อยสารตัวอย่างแบบ Dry Ashing เป็นการย่อยสารตัวอย่างโดยการเผาตัวอย่างจนเป็นเถ้า ลักษณะของตัวอย่างที่ได้จะเถ้าสีขาว และเมื่อนำไปทำการเตรียมเป็นสารละลายจะได้สารละลายใส

ดังนั้น การเตรียมสารละลายตัวอย่างสาหร่ายโดยการเผาจนเป็นเถ้าจะเหมาะสมกว่าการเตรียมสารละลายตัวอย่างโดยการย่อยแบบเปียก เนื่องจากการเตรียมสารละลายตัวอย่างทำได้ง่าย สะดวกกว่า ได้สารละลายที่ใสและมีความเป็นกรดน้อยกว่า แล้วยังมีอันตรายน้อยกว่าการย่อยแบบเปียกอีกด้วย

4.2 การศึกษาการเตรียมกราฟมาตรฐานแบบเติมสารมาตรฐาน และปริมาณแคดเมียมที่ตรวจวัดได้

ในรายงานวิจัยนี้ ตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างสาหร่ายอบกรอบ 5 ชนิด คือ สาหร่ายยี่ห้อโกริโกะ, สาหร่ายยี่ห้อซิลิโกะ, สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์, สาหร่ายยี่ห้อเถ้าแก่น้อย และสาหร่ายยี่ห้อโชกุเนะ แต่ละตัวอย่างทำการตรวจวัดด้วยวิธีเติมสารมาตรฐาน ได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 1

การคำนวณความปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างสามารถคำนวณได้จาก

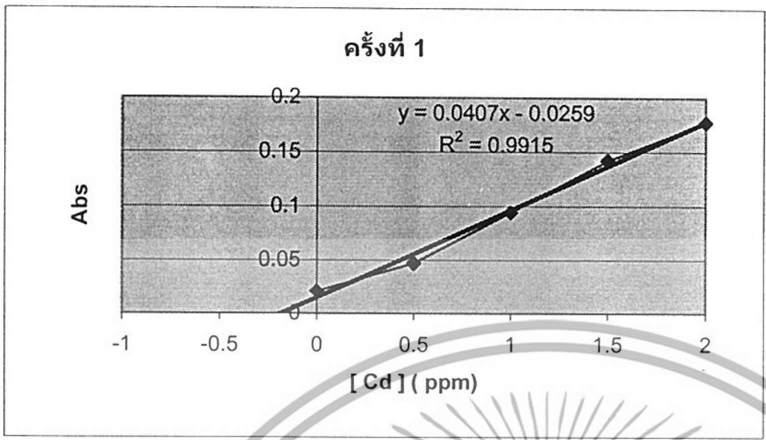
$$\text{ความเข้มข้นแคดเมียมในตัวอย่าง} = \frac{[\text{Test Solution}] * V}{W}$$

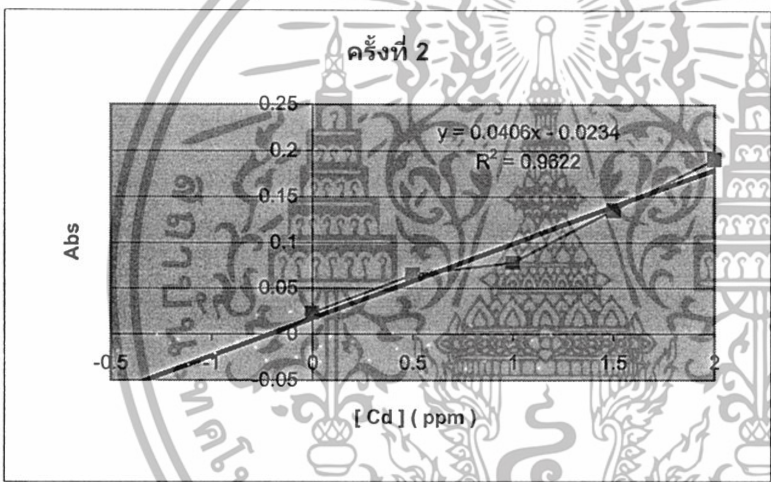
โดยที่ V = ปริมาณของ Test Solution ในการทดลองใช้ 30 ml

W = น้ำหนักของตัวอย่างสาหร่าย

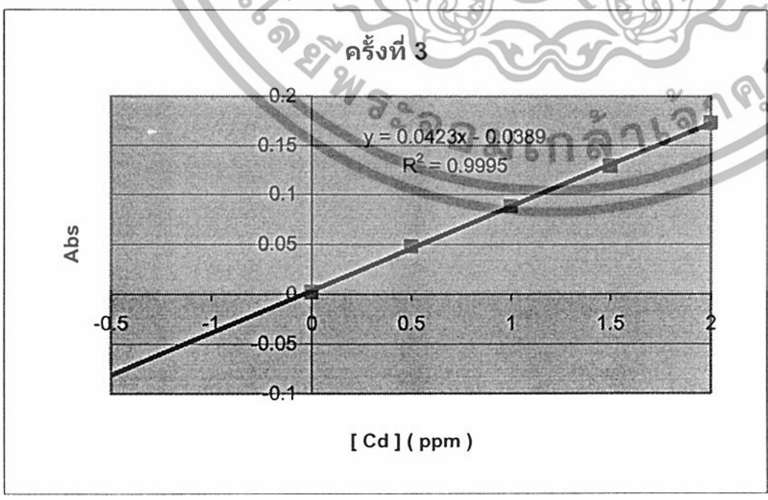
[Test Solution] จะได้จากการฟมาตรฐาน

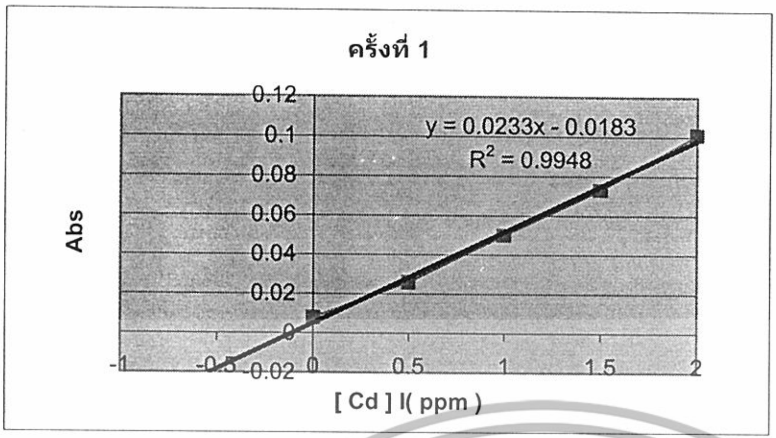
รูปแสดงกราฟ Standard Addition ของสาหร่ายแต่ละยี่ห้อ

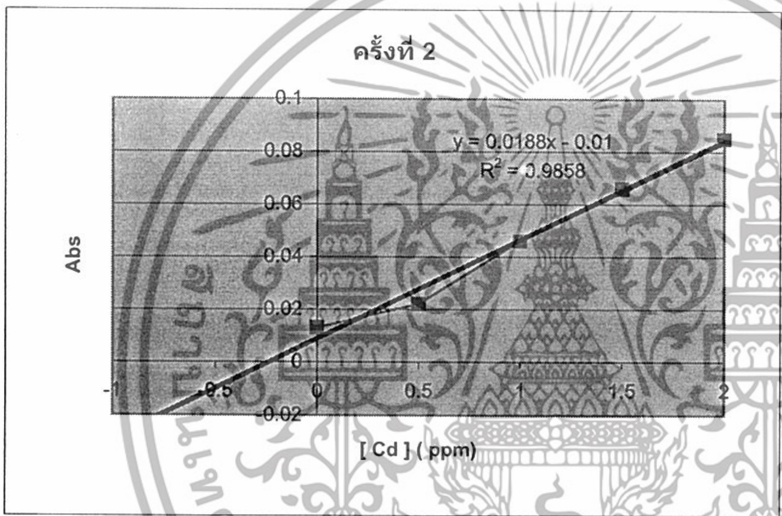




(ก.)
ยี่ห้อโกริโกะ

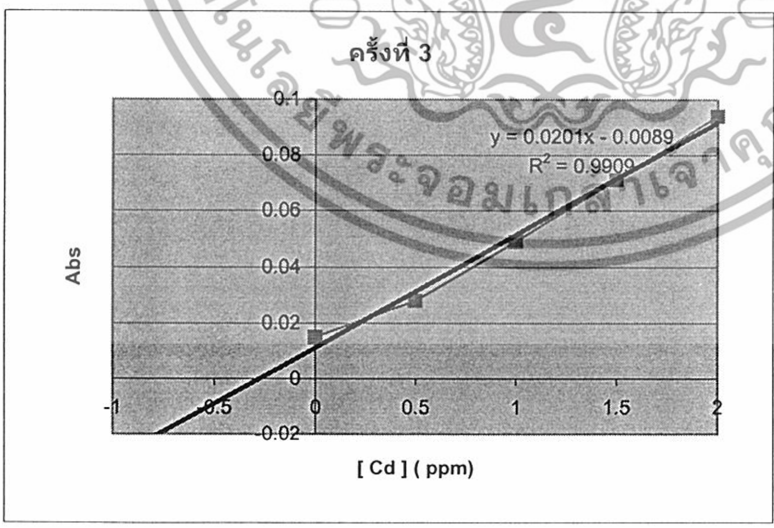


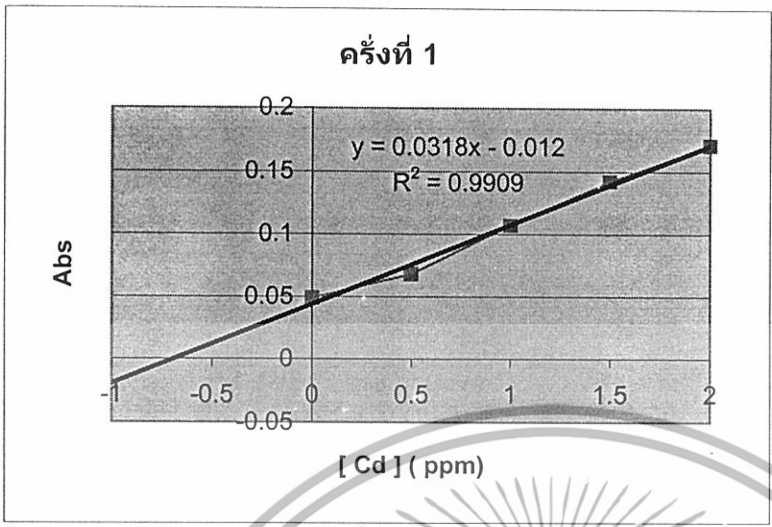

ครั้งที่ 1
y = 0.0233x - 0.0183
R2 = 0.9948
Abs
[Cd] l(ppm)

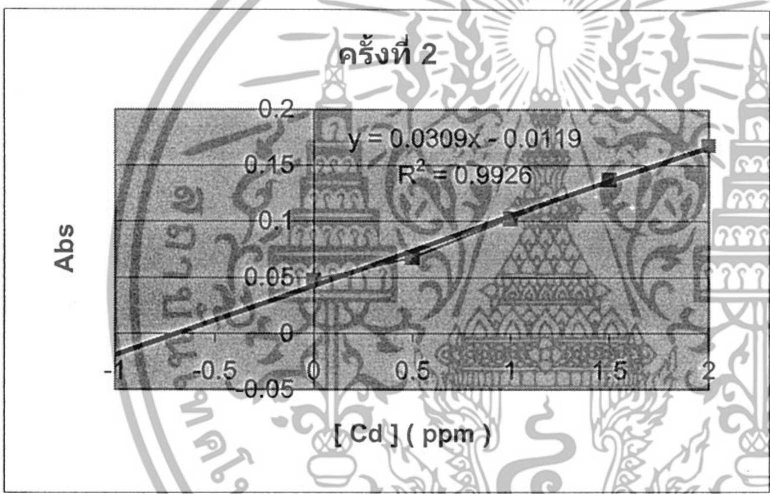

ครั้งที่ 2
y = 0.0188x + 0.01
R2 = 0.9858
Abs
[Cd] (ppm)

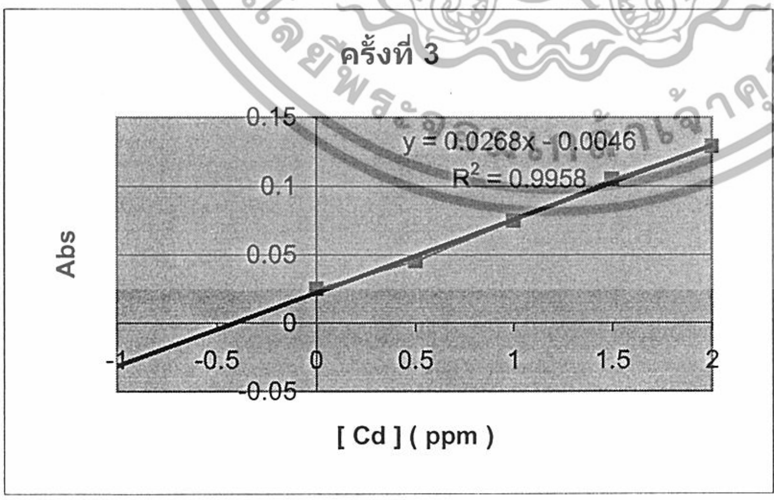
(ข.)

ยี่ห้อซิริโกะ


ครั้งที่ 3
y = 0.0201x - 0.0089
R2 = 0.9909
Abs
[Cd] (ppm)

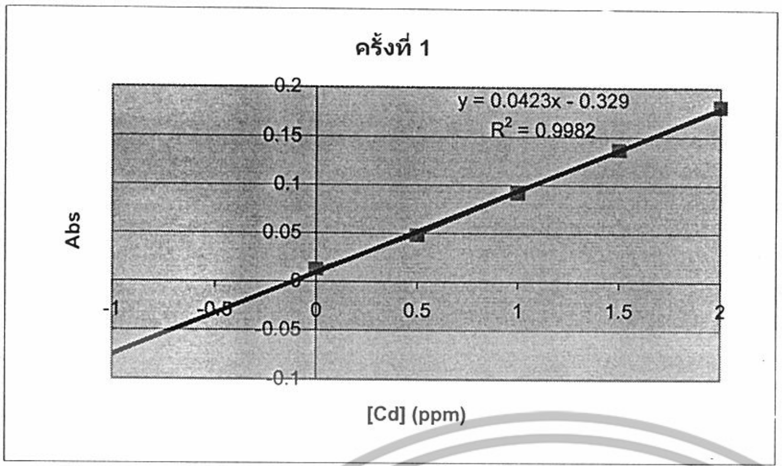


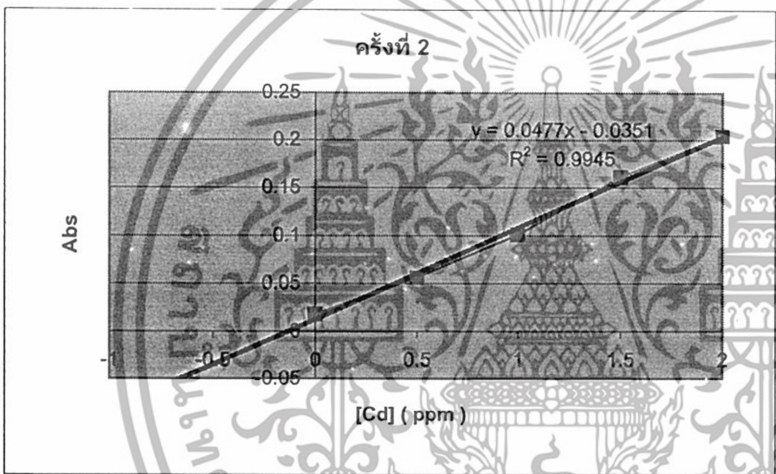




(ค.)

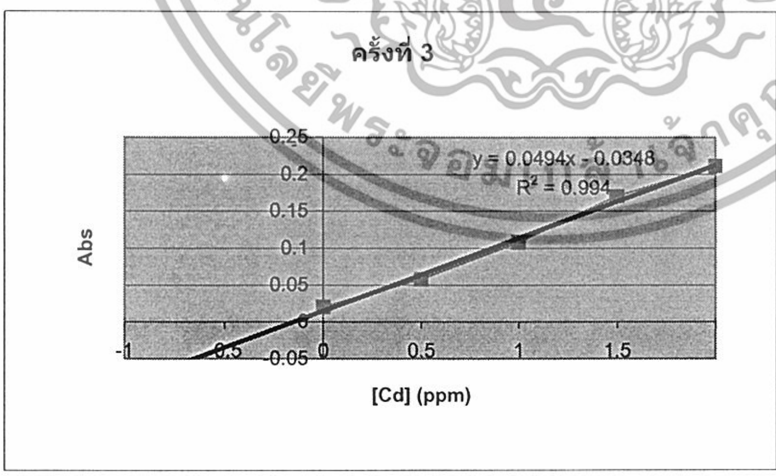
สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์

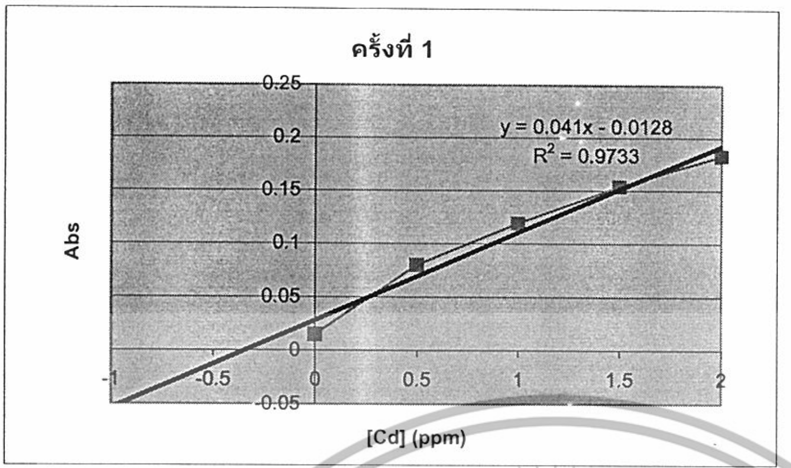


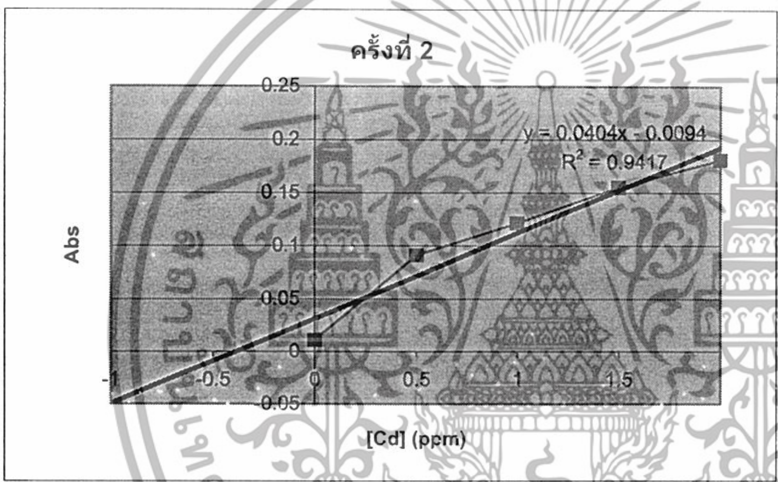


(ง.)

ยี่ห้อเถ้าแก่น้อย

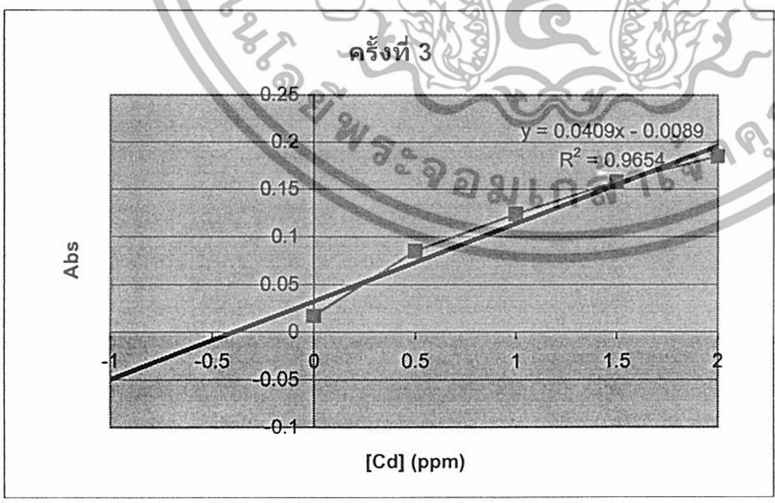



ครั้งที่ 1
y = 0.041x - 0.0128
R^2 = 0.9733
Abs
[Cd] (ppm)


ครั้งที่ 2
y = 0.0404x - 0.0094
R^2 = 0.9417
Abs
[Cd] (ppm)

(จ.)

ยี่ห้อโชกุเนะ


ครั้งที่ 3
y = 0.0409x - 0.0089
R^2 = 0.9654
Abs
[Cd] (ppm)

รูปที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานแบบเติมสารมาตรฐานจากการตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างสาหร่ายยี่ห้อต่างๆโดย รูป ก. สาหร่ายยี่ห้อโกริโกะ ข. สาหร่ายยี่ห้อซิลิโกะ ค. สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์ ง. สาหร่ายยี่ห้อเถ้าแก่น้อย จ. สาหร่ายยี่ห้อโชกุเนะ

จากกราฟมาตรฐานแบบเติมสารมาตรฐานในรูปที่ 1 พบว่าปริมาณแคดเมียมในสาหร่ายแต่ละยี่ห้อ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแคดเมียมในสาหร่ายแต่ละยี่ห้อ

สาหร่ายยี่ห้อ	ครั้งที่	ปริมาณแคดเมียม (ppm)
โกริโกะ	1	3.813
	2	3.451
	3	3.504
	เฉลี่ย	3.589 ± 0.195
ซิลิโกะ	1	4.700
	2	3.181
	3	2.656
	เฉลี่ย	3.512 ± 1.061
สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์	1	2.259
	2	2.309
	3	1.032
	เฉลี่ย	1.867 ± 0.723
เถ้าแก่น้อย	1	2.319
	2	2.196
	3	2.102
	เฉลี่ย	2.205 ± 0.108
โชกุเนะ	1	1.923
	2	1.397
	3	1.306
	เฉลี่ย	1.542 ± 0.333

4.3 การประเมินผลทางสถิติ

ตารางที่ 2 แสดงค่า SD และ % CV ของสาหร่ายแต่ละยี่ห้อ

สาหร่ายยี่ห้อ	SD	% CV
โกริโกะ	0.195	5.433
ซิลิโกะ	1.061	30.21
สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์	0.723	38.746
เถ้าแก่น้อย	0.108	4.897
โชกุเนะ	0.333	21.6

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละกราฟมาตรฐาน

สาหร่ายยี่ห้อ	ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
โกริโกะ	1	0.9915
	2	0.9622
	3	0.9995
ซิลิโกะ	1	0.9948
	2	0.9858
	3	0.9909
สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์	1	0.9909
	2	0.9926
	3	0.9958
เถ้าแก่น้อย	1	0.9982
	2	0.9945
	3	0.994
โชกุเนะ	1	0.9733
	2	0.9417
	3	0.9654

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในส่วนของการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างสาหร่ายอบกรอบพบว่า การเตรียมตัวอย่างสาหร่าย โดยการย่อยด้วยกรดนั้นไม่มีความเหมาะสมกับตัวอย่างสาหร่ายเนื่องจากเมื่อทำการย่อยด้วยกรดสารละลายตัวอย่างที่ได้จะไม่เป็นสารละลายใสโดยสารละลายที่ได้จะมีสีเหลืองและยังมีตะกอนของสาหร่ายปะปนอยู่และสารละลายมีสภาพความเป็นกรดสูงดังนั้นการใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหาวิธีการเตรียมสารละลายตัวอย่างสาหร่ายใหม่โดยทำการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้า(Ashing) ในการเตรียมสารละลายตัวอย่างซึ่งวิธีการเผาให้เป็นเถ้านี้ทางผู้ทดลองได้พบว่า เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสะดวก มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากและสามารถเตรียมเป็นสารละลายตัวอย่างได้ง่าย ซึ่งได้เป็นสารละลายใสที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการวิเคราะห์ได้

จากการประเมินผลการทดลองจะทำให้ทราบถึงปริมาณของแคดเมียมที่เจือปนอยู่ในสาหร่ายอบกรอบยี่ห้อต่างๆจำนวน 5 ยี่ห้อที่นำมาทดสอบ ทำให้ทราบว่าปริมาณของแคดเมียมที่เจือปนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดไว้หรือไม่ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียมเจือปนได้ไม่เกิน 3 mg/kg

ในการทดลองทำการวัดโดยใช้วิธีการเติมสารมาตรฐาน แล้วจึงทำการวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 228.8 นาโนเมตร ในการทดลองทำการวัดตัวอย่างสาหร่ายยี่ห้อละ 3 ครั้งซึ่งจะได้ ความเข้มข้นของแคดเมียมของสาหร่ายยี่ห้อโกริโกะ, สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์, ซิลิโกะ, เถ้าแก่น้อย และ โชกุเนะเท่ากับ 3.589, 1.867, 3.512, 2.205 และ 1.542 mg/kg ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะทำให้ทราบว่าสาหร่ายยี่ห้อโชกุเนะเป็นสาหร่ายอบกรอบที่มีปริมาณแคดเมียมเจือปนอยู่ต่ำที่สุดจากจำนวนตัวอย่างสาหร่าย 5 ยี่ห้อที่ทำการเลือกมาทดสอบโดยมีปริมาณแคดเมียมเจือปนอยู่ 1.542 mg/kg

ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้จะสามารถนำไปประเมินได้ว่าโดยส่วนมากแล้วสาหร่ายอบกรอบจะมีปริมาณการเจือปนของแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 3 ppm ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าสาหร่ายยี่ห้อโชกุเนะเป็นสาหร่ายยี่ห้อที่มีปริมาณแคดเมียมเจือปนอยู่น้อยที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าเราต้องการที่จะหลีกเลี่ยงอันตรายของโลหะหนักจากการบริโภคสาหร่ายใน 5 ยี่ห้อนี้ยี่ห้อโชกุเนะจะเป็นยี่ห้อที่เราควรจะเลือกรับประทานมากที่สุดและปลอดภัยจากอันตรายของแคดเมียมที่สุดในทั้งหมด 5 ยี่ห้อ

ซึ่งผลของงานวิจัยนี้จะทำให้ผู้บริโภคสามารถที่จะรู้ได้ว่าสาหร่ายอบกรอบแต่ละยี่ห้อมีปริมาณแคดเมียมที่เจือปนอยู่เป็นปริมาณเท่าใดและยังสามารถนำผลการทดลองไปใช้ประกอบในการพิจารณาการเลือกรับประทานสาหร่ายอบกรอบได้อีกด้วย

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของเทคนิควิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรีว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดตัวอย่างสาหร่ายอบกรอบ เนื่องจากค่าที่ได้จากแต่ละตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน และในแต่ละกราฟมาตรฐานก็ยังมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ อีกทั้งวิธีการวัดยังสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วอีกด้วย

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการชั่งตัวอย่างมีค่าตัวเลขที่ได้ไม่คงที่ขณะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างสาหร่ายซึ่งทำให้มีผลต่อการนำน้ำหนักตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณแคดเมียมได้
2. การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการเผาให้เป็นเถ้านั้นพบว่า เตาเผาที่ใช้มีอุณหภูมิไม่เท่ากันทั่วทั้งเตาเผาโดยสังเกตได้จากครูซิเบิลที่ใส่ตัวอย่างสาหร่ายอยู่ด้านในจะเป็นเถ้าได้เร็วกว่าครูซิเบิลที่อยู่ด้านหน้าของเตาเผา
3. ในขั้นตอนของการทำ Standard Addition อาจจะมีการผิดพลาดได้เนื่องจากความไม่ชำนาญของผู้ทำการทดลอง
4. เครื่อง AAS ที่ใช้ในการทดลองมักจะมีปัญหาในเรื่องของการอุดตันของท่อที่จะนำสารเข้าสู่ Nabulizer และมีการอุดตันของ Nabulizer ทำให้อัตราการไหลของสารที่เข้าเครื่องไม่ต่อเนื่องทำให้ผลการทดลองผิดพลาดและทำการทดลองได้ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อมีการอุดตันจึงควรนำท่อและ Nabulizer ออกมาทำความสะอาดก่อนทำการทดลองต่อ
5. เครื่อง AAS ที่ใช้บางครั้งทำให้ค่าที่วัดได้ไม่แน่นอนเนื่องจากบางครั้งที่ทำการทดลองจะมีค่า Background ของเครื่องสูง และทำให้เครื่องไม่นิ่งขณะทำการทดลอง
6. ขณะที่ทำการทดลองกระดาษที่ใช้พิมพ์ในเครื่องหมดจึงต้องทำการจดค่าที่ได้เองซึ่งค่าที่ได้จากเครื่องไม่นิ่งจึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดของผลการทดลองได้
7. ไม่สามารถหาค่าความแม่นได้เนื่องจากค่านี้เป็นค่าที่จะต้องหาจากกราฟของการทดลองแต่กระดาษของเครื่องหมดจึงไม่สามารถพิมพ์ค่าออกมาได้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). **มาตรฐานคุณภาพ.** ค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2548, จาก http://www.pcd.go.th/

โกศล วงศ์สวรรค์, สถิต วงศ์สวรรค์, และ สุธิลา ตุลยะเสถียร. (2544). **มลพิษสิ่งแวดล้อม .** กรุงเทพฯ : รวมสาส์น.

ชอบหม่ำสาหร่ายทะเลแห้งต้องระวัง เพราะมันเปลี่ยนไปแล้ว. (2548). ผู้จัดการ. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2548, จาก http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID =9470000002175

แม้น อมรสิทธิ์, และ อมร เพชรสม. (2539). **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

ระวังแคดเมียม ในสาหร่าย. (2547, 29 มีนาคม). ค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2548, จาก http://www.story2you.com/interface/content/content_reply_intfhealth.asp?Ctid=10319 &CatID=9&hidpageNo=10&IsDelContent=no&CatType=2&FileReply=/interface/ content/content_reply_intfhealth.asp&FileDelete=/interface/content/contentboard_ delete_intf.asp

วรรณะ อารีสินพิทักษ์. (2531). **ปัญหาสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพฯ : โครงการตำราคณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สาหร่าย. (ม.ป.ป.). ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2548, จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/ 1675/old1675/html/menu13/m1306.html

สุดใจ. (2548). **ระวังแคดเมียม ในสาหร่าย.** ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2548, จาก http://www.trekkingthai.com /cgi-bin/webboard/generate.pl?board=photo1&content=0492

Atomic-Absorption Spectroscopy (AA). (1996). ค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2548, จาก http://elchem.kaist.ac.kr/vt/chem-ed/spec/atomic/aa.htm

Scielo Brazil. (2005). **Automated flow-injection method for cadmium determination with pre-concentration and reagent preparation on-line**. ค้นเมื่อ 30 พฤษภาคม 2548, จาก http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000100025&lng=en&nrm=iso

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

เทคนิคทาง AAS เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุ หรือวิเคราะห์โลหะหนักวิธีหนึ่ง ซึ่งทำได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่มีความเที่ยง ความแม่นมีสภาพความไวสูงและเป็นเทคนิคที่มีความเฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ที่ไม่สูงนัก ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วห้องปฏิบัติการที่ทันสมัย มักจะมีเครื่อง AAS อยู่ด้วยเสมอ ความสามารถของเทคนิคนี้มีสูงมาก เพราะสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆได้ถึง 67 ธาตุ ทำให้การทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปี พศ. 1953 Walsh ได้สร้างความสนใจและแสดงให้เห็นถึงประโยชน์และข้อดีต่างๆ ของการใช้ AAS ในการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในขณะนั้นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทางสเปกโทรสโกปี ได้แก่ เทคนิค Colorimetry และเทคนิคทาง atomic emission spectroscopy และในปี พศ. 1955 Walsh ได้พัฒนาเทคนิค อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรสโกปีขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้อย่างกว้างขวาง ช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และได้เปรียบกว่าการใช้วิธีทาง atomic emission ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้อย่างมาก

หลักการของ Atomic Absorption

Atomic Absorption เป็นกระบนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานที่แตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสง ได้ดีที่ความยาวคลื่น 589 nm เพราะแสงที่ความยางคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเลคตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนแปลงสภานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าความยาวคลื่นเหล่านี้จัดเป็น spectroscopic line ของ อะตอมมิกสเปคตรัม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด

ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่างๆกัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว (dissociation) หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ (vaporization) หรืออาจจะแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะกระตุ้น หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้

การเกิด Atomic absorption emission และ ฟลูออเรสเซนต์ นั้นมีลักษณะการเกิดทรานซิชันจากสถานะพื้นไปสู่สภานะกระตุ้นระดับเรก (first excited state) มีด้วยกัน 3 แบบคือ

แบบที่ 1 เมื่ออิเลคตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นระดับแรก โดยการดูดกลืนพลังงานจากโฟตรอน เป็น atomic absorption

แบบที่ 2 เมื่ออิเลคตรอนได้รับพลังงานความร้อน ทำให้อิเลคตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้นระดับแรก แล้วปล่อยพลังงานออกมา เมื่อกลัวสู่สถานะพื้นจะทำให้โฟตรอนออกมา เรียกว่า atomic emission

แบบที่ 3 เมื่ออิเลคตรอนได้รับพลังงานจากโฟตรอนที่มาจากสเปกตรัมทำให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปยังสถานะกระตุ้น เมื่อกลับสู่สถานะพื้นจะทำให้โฟตรอนออกมา เรียกว่าเป็นการเกิดอะตอมมิกฟลูออเรสเซนต์

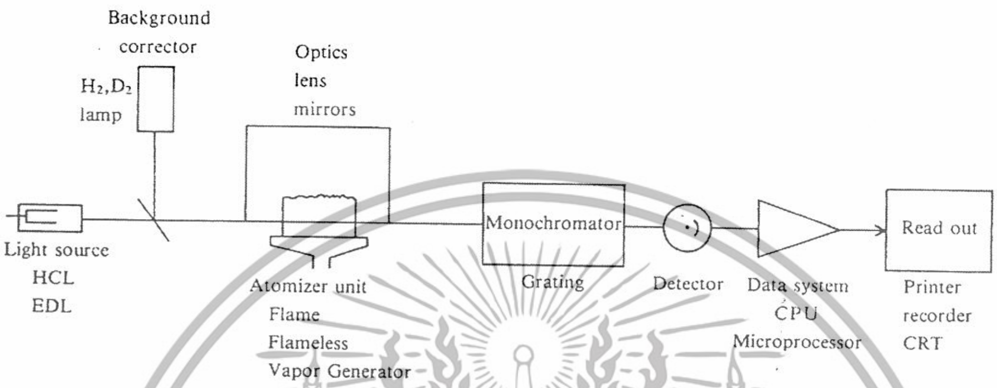
เทคนิคต่างๆ

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS

เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้ Flame Atomization Technique เป็นเทคนิคที่ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม
2. ใช้ Flameless Technique หรือ Non-flame Atomization Technique ซึ่งเทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnance) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆกัน และใช้เวลาต่างกันได้
3. การใช้ Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดซึ่งเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1 และ 2 ไม่ได้แต่จำเป็ต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีทำใหธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่าย ๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วทำให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้จะใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As , Se , Te . Ge , Bi และ Sb ซึ่งจะได้กล่าโดยรายละเอียดต่อไป
4. ใช้ Cold Vapor Generation Technique สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยโดยเฉพาะ

ในการทดลองจะใช้เทคนิคที่ Flame Atomization Technique เท่านั้นจึงอธิบายเฉพาะ Flame Atomization Technique เท่านั้นและเพื่อที่จะให้เข้าใจถึงเทคนิคการวิเคราะห์ทาง AAS ตลอดจนหน้าที่ของส่วนต่างๆของเครื่อง AAS ได้เข้าใจง่ายขึ้น โดยจะได้อธิบายรายละเอียดเป็นส่วน ดังต่อไปนี้



รูปที่แสดงองค์ประกอบของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophometer

องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆของเครื่อง AAS

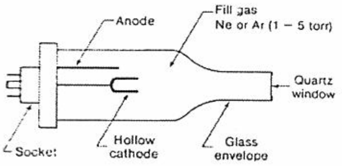
1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)
2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (Atomizer)
3. momochromator ซึ่งใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ
4. Detector
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล

แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

เครื่อง AAS โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงจะใช้เป็น hollow cathode lamp (HCL) และ Electro discharge lamp (EDL) ซึ่งมีใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น

1. Hollow Cathode Lamps (HCLs)

   ลักษณะของ HCL โดยทั่วไปจะแสดงดังรูป



ลักษณะของ HCL จะประกอบด้วยขั้วแคโทด ซึ่งเป็นโลหะทำเป็นรูปทรงกระบอกกลวง หรือรูปถ้วย แล้วฉาบด้วยโลหะหรือผงโลหะชนิดเดียวกับธาตุที่ต้องการศึกษา เพื่อให้ได้ สเปกตรัมที่มี Rasonance lines ส่วนขั้วแอโนด ทำด้วยโลหะนิกเกิลหรือทังสเตนเป็นแท่งเล็กๆ ภายในหลอดแกวบรรจุด้วยก๊าซนีออน หรือ อาร์กอนที่ความดันประมาณ 4 – 10 torr ส่วน window อาจเป็นแก้วไพเร็กซ์ หรือ ควอร์ตซ์ ถ้าสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วง UV window ต้องทำด้วยควอร์ตซ์ หรือซิลิกา แต่ถ้าสเปกตรัมที่ได้อยู่ในช่วงวิสิเบิลก็อาจจะใช้แก้วไพเร็กซ์ หรือควอร์ตซ์ก็ได้ และที่สำคัญ window จะต้องสะอาดอยู่เสมอ ในการใช้หลอด HCL ควรจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าให้ถูกต้อง โดยที่ไปจะอยู่ในช่วง 3 – 30 mA ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ เมื่อใช้กระแสไฟฟ้ามากๆ จะทำให้อายุของหลอดนั้นสั้นลง แต่ได้แสงที่มีความเข้มสูงเป็นการเพิ่ม S/N ratio

การเกิดสเปกตรัมของ HCL

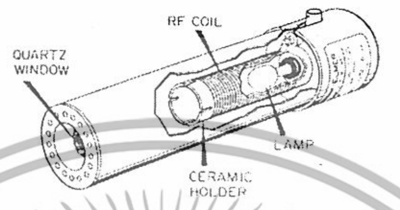
เมื่อใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 300 – 600 โวลท์ จะทำให้ แก๊สเฉื่อยที่บรรจุอยู่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ได้เป็น ไอออนบวกเล้วไอออนบวกก็จะวิ่งเข้าไปชนธาตุที่ฉาบอยู่ที่ขั้วแคโทด ทำให้อะตอมของธาตุนั้นๆ ถูกกระตุ้นและเปล่งแสงออกมาเป็นสเปกตรัมเฉพาะของธาตุนั้น

สำหรับ Multi-element Lamp คือในหลอดเดียวกัน สามารถใช้ได้กับหลายธาตุ โดยหลอดชนิดนี้ที่มีการทำขาย ได้แก่ หลอด Ca/Mg , Na/K ,หรือ Co/Cr/Cu/Fe/Mn/Ni ทำให้สะดวกในการวิเคราะห์หลาย ๆธาตุ โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนหลอด แต่ก็มีข้อเสียหลายอย่างเช่นกัน โดย HCL ทุกหลอดเมื่อมีการใช้งานจะต้องมีการ warm up 5 – 10 นาทีเสมอเพื่อให้แสงที่ออกมาคงที่

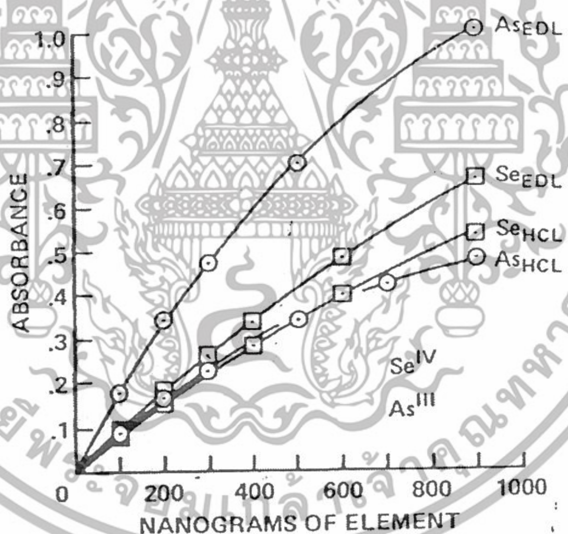
2. Electroeless Discharge Lamp (EDLs)

หลอดชนิดนี้ได้รับความนิยมเร็วมากในการใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ในการหาปริมาณของธาตุบางอย่างได้แก่ Bi , Cd , Hg , As , P , Pb , Sb , Se , Sn , Te , Tl และ Zn โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลอดนี้ได้รับการแนะนำให้ใช้ในการหาปริมาณ ของ As , Se และ Hg เพราะให้ sensitivity ที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังให้ความเข้มแสงที่สูงกว่าอีกด้วย ซึ่งทำให้เพิ่มขีดจำกัดของการตรวจหาดีอีกด้วย

รูปแสดงลักษณะของ EDL



แสดงการเปรียบเทียบการวัดค่า absorbance ของ As และ Se โดยใช้ EDL และ HCL



จะเห็นได้ว่าค่า absorbance ที่วัดได้จากการใช้ EDL สูงกว่า HCL มาก โดย EDL จะทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย radio frequency ขนาด 27.12 MHz

Atomizer

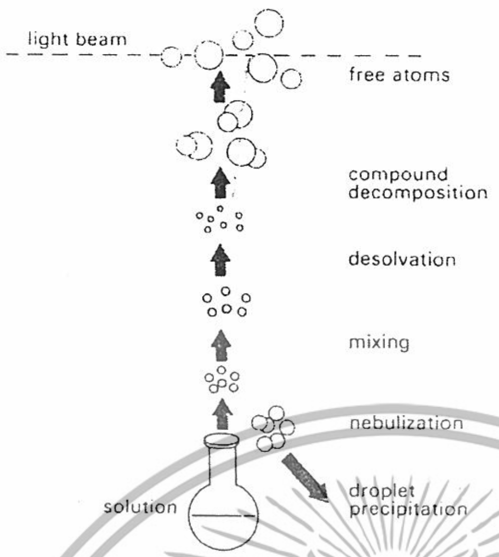
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS นั้นจะต้องมีส่วนของ Atomizer ที่ทำให้ ธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แตกตัวเป็นอะตอมเสรี (free atom) โดยที่อะตอมเสรีที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นตัวดูดกลืนแสงที่จะทำการวัดโดยเลือกใช้ความยาวคลื่นของแสงที่เหมาะสมผ่านเข้าไป วิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้

กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวกลายเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization)

ในกรณีที่จะใช้กระบวนการ atomization ด้วยเปลวไฟได้นั้น สารตัวอย่างจะต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายจะเป็นน้ำหรือสารละลายอินทรีย์ก็ได้ โดยกระบานการ atomization จะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. Nabulization เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ ด้วยเครื่อง nabulizer
2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายรวมตัวกันเป็นหยดสารละลายโต ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง
3. Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel) และออกซิแดนท์ (oxidant) ใน spray chamber ของ nabulizer
4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กนั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของสารประกอบ โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นที่ตอนล่างของเปลวไฟ
5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ จะไปทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุล เละเป็นอะตอมเสรี บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการ ionization ต่อไปได้

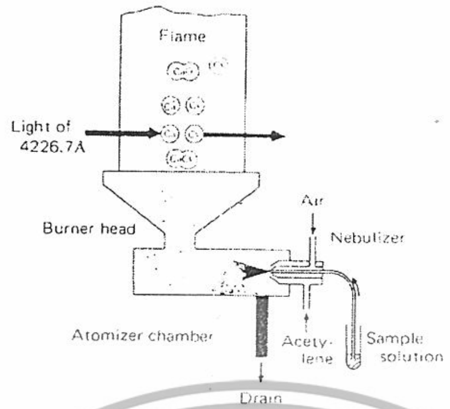
กระบวนการทั้ง จะแสดงดังรูป

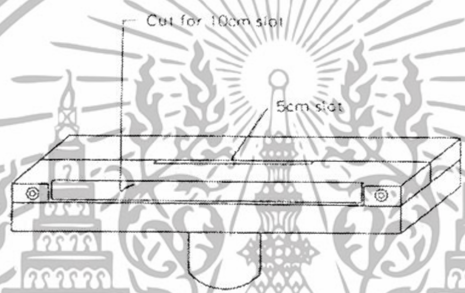


Burner และ Flame

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS นั้นการเลือกใช้ burner และ flame ควรจะต้องทราบก่อนว่าธาตุที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นเหมาะสมกับ flame ประเภทใดแล้วจึง เลือกใช้ burner ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดอะตอมเสรีของธาตุนั้น โดย burner จะมีให้เลือกใช้ 3 ชนิด คือ burner ที่ใช้กับ air/acetylene , nitrous oxide / acetylene และ hydrogen / entrained air ซึ่งจะมีการใช้ที่แตกต่างกัน โดยทั่วไป burner จะทำด้วยโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรด เช่นทำด้วยโลหะไททาเนียม หรือโลหะผสมไททาเนียม ขนาดของช่องที่ทำให้เกิดเปลวไฟ (slot) มี 2 ขนาด คือ 10 ซม. และ 5 ซม. สำหรับ burner ที่มีช่องขนาด 5 ซม. จะใช้กับ nitrous oxide / acetylene เท่านั้น เพราะเป็นการเผาไหม้ที่เร็วมาก ถ้าทำเป็นช่องยาวอาจจะทำให้เกิดการระเบิดได้

รูปแสดงลักษณะของ Burner





ชนิดของเปลวไฟ

โดยทั่วไปแล้วเปลวไฟที่ใช้จะมีอยู่ 4 ชนิด ซึ่งเปลวไฟทั้ง 4 ชนิดนี้จะให้สภาพไวที่ดี มีความปลอดภัยในการใช้งาน สะดวก และราคาไม่แพง แต่การเลือกใช้เปลวไฟในการให้เกิด atomization จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับธาตุที่วิเคราะห์เพราะเปลวไฟแต่ละชนิดให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง

ชนิดของเปลวไฟ	อุณหภูมิสูงสุด °C
Ar-H_2	1577
Air-H_2	2045
Air-C_2H_2	2300
N_2O-C_2H_2	2955 (~ 3000)

เปลวไฟที่เกิดจาก air / acetylene เป็นเปลวไฟที่ใช้กันมากและใช้ในการวิเคราะห์ได้ประมาณ 30 ธาตุ

เปลวไฟที่เกิดจาก nitrous oxide / acetylene เป็นเปลวไปที่ร้อนที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะธาตุ เช่น Al , V , Si และ Ti รวมทั้งพวก rare elements ถึงแม้ว่าธาตุเหล่านี้เมื่ออยู่ในเปลวไฟจะเกิดการรวมตัวเป็นสารทนไฟหรือออกไซด์ที่เสถียรมากก็ตาม แต่เปลวไฟนี้ก็สามารถทำให้เกิดการสลายตัวเป็นอะตอมได้ ดังนั้นเปลวไฟชนิดนี้จึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ถึง 67 ธาตุ

เปลวไฟที่เกิดจาก อากาศและไฮโดรเจน หรืออาร์กอน/ไฮโดรเจน เปลวไฟชนิดนี้จะใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งบางครั้งอาจจะเรียกว่า entrained air flame คือแก๊สไฮโดรเจนเองติดไฟได้โดยมีอากาศช่วย เปลวไฟชนิดนี้จะใช้ในกรณีที่ใช้ hydride generation technique หรือใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As , Se , Zn , Pb , Cd และ Sn ซึ่งใช้แสงที่มีความยาวคลื่นสั้น background absorption จะต้องต่ำ $Ar\text{-}H_2$ จึงเหมาะที่สุด แต่มีข้อเสียที่อุณหภูมิของเปลวไฟค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการแทรกสอดมากขึ้น

การเกิด Ionization

การเกิด ionization เป็นปัญหาที่ไม่ต้องการให้เกิดในการวิเคราะห์ทาง AAS เพราะว่าการเกิด ionization ของธาตุเป็นผลกระทบที่สำคัญต่อความถูกต้องของการวัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอมเสรีในขณะที่อยู่ในเปลวไฟ เคือถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจำนวนอะตอมที่สถานะพื้นจะลดลงเพราะเกิดการ ionization มากขึ้น ซึ่งการเกิด ionization จะมากหรือน้อยนั้นก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุและพลังงานที่จะต้องใช้ในการทำให้อิเล็คตรอนหลุดออกไป พลังดังกล่าวนั้นอาจได้มาจากหลายทางด้วยกัน เช่น จากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า

ตารางแสดงการเกิด ionization ในเปลวไฟของธาตุหมู่ 2 A

ธาตุ	Ionization potential (eV)	ความเข้มข้น (μg/mL)	% ไอออไนเซชัน	
			C_2H_2/air	C_2H_2/N_2O
Be	9.32	2	–	0
Mg	7.64	2	0	6
Ca	6.11	5	3	43
Sr	5.69	5.5	13	84
Ba	5.21	30	0	88

ธาตุที่เป็นพวก alkaline earth และ alkaline ล้วนเป็นธาตุที่ ionize ได้ง่าย เพราะมีค่า ionization potential ต่ำ นอกจากนี้ยังเห็นได้อีกว่าการ ionize ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุบางชนิดโดยเฉพาะ

ตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent หรือ Non-aqueous solution)

ในการวิเคราะห์ทาง AAS ในบางครั้งอาจจะมีความจำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายอย่างอื่นที่นอกจากน้ำ เช่นบางครั้งสารตัวอย่างที่เป็น organic liquid , lubricating oil พวกเชื้อเพลิง หรือในบางกรณีอาจจะต้องมีการทำการสกัดเพื่อแยกหรือทำให้เข้มข้นขึ้น ในการเลือกใช้ตัวทำละลายจะมีความสำคัญเนื่องจากตัวทำละลายจะมีผลกระทบต่อสมบัติของเปลวไฟ แล้วส่งผลให้ความแม่นยำและสภาพไวของการวิเคราะห์เปลี่ยนไป โดยมีตัวทำละลายหลายชนิดที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้กับเทคนิค AAS เพราะทำให้เกิดควันมากและทำให้เกิดเปลวไฟสีเหลือง ซึ่งได้แก่สารประกอบพวกอะโรมาติกและเฮไลด์ ส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสมได้แก่ aliphatic ester หรือ ketone ขนาด C_6 หรือ C_7 หรือพวก alkane ขนาด C_{10} เป็นต้น

ตารางแสดงตัวทำละลายที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมสำหรับ AAS

ตัวทำละลายที่เหมาะสม	ตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสม
Acetonitrile	Acetone
MIBK	Chloroform
Methyl n-amyl ketone	Diethyl ether
Isobutyl acetate	Ethanol
Xylene	Methanol
White spirit	Methyl chloride
Aliphatic ester and ketone C_6 หรือ C_7	
C_{10} alkanes	

ในกรณีที่มีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งติดไฟได้ทำให้เปลวไฟมีการเปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีการลด flow rate ของเชื้อเพลิงลง และที่ต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวังคือ

1. สารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะต้องใช้ตัวทำละลายอย่างเดียวกัน
2. เมื่อมีดขการใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายเข้าด้วยกันแล้วทำให้แรงตึงผิวของสารละลายลดลง ดังนั้นสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างจะมีองค์ประกอบที่เหมือนกัน
3. เรื่องจองความปลอดภัยเกี่ยวกับไฟไหม้จะต้องระวังโดยเฉพาะเมื่อใช้สารอินทรีย์ที่มีจุดวาบไฟต่ำ

Monochromator และ Detector เหมือนกับในเครื่อง uv-vis spectrophotometer จึงไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้ เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค flameless atomization นั้นจะมี matrix interference มาก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องจึงจะต้องกาทางกำจัด interference ให้เหลือน้อยที่สุด โดยสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการวิเคราะห์ คือ

1. พยายามลดปริมาณคลอไรด์ หรือไม่ควรมี คลอไรด์ในสารตัวอย่าง เพราะว่ามีธาตุหลายธาตุที่สามารถเกิดสารประกอบโควาเลนต์กับคลอไรด์ที่เสถียรมาก ๆ เมื่อได้รับความร้อนจะระเหยออกไปไม่สลายตัวทำให้สารตัวอย่างสูญเสียไป
2. ควรให้สารตัวอย่างอยู่ในสารละลายของกรดไนตริก เพราะ โลหะไนเตรตจำนวนมากเมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวโดยไม่มีการนะเหยถึงแม้จะมีคลอไรด์มากก็ตาม ดังนั้นในการวิเคราะห์ควรเติมกรดไนตริกให้มากเกินพอเสมอ
3. ควรตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดที่ใช้เสมอ หรือต้องหา blank level เสมอ
4. กรด H_2SO_4 และ H_3PO_4 สามารถใช้ได้เมื่อใช้ furnace แต่ควรจะต้องระวัง เพราะเกลือซัลเฟตและเกลือฟอสเฟตไม่ค่อยละลายน้ำ ดังนั้นจึงไม่ควรเติมกรดเหล่านี้ก่อนนำไปฉีดใน atomizer แต่ควรเติมภายหลัง
5. ควรทำให้ standard และสารตัวอย่างมี matrix ที่เหมือนกัน โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ standard addition calibration

นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้มีการพัฒนาเทคนิคขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการทำลาย interference matrix ในระหว่าง drying และ ashing step โดยไม่ทำให้สารตัวอย่างระเหยออกไป คือใช้วิธีการเติมสารเคมีบางชนิดที่เรียกว่า modifier ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยทำให้เกิดสารอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

1. ทำให้สารตัวอย่างเกิดสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวสูง เช่นเกิดเป็นเกลือหรือออกไซด์ หรือเกิดเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ยาก ดังนั้น interference matrix จะถูกกำจัดให้หมดไปในระหว่าง drying และ ashing
2. ทำให้ matrix มีการระเหยได้ง่ายขึ้น จึงสามารถกำจัดให้หมดไปก่อนที่สารตัวอย่างจะเกิดการ atomization

ตารางแสดง matrix modifier ที่ใช้ในการหาปริมาณของธาตุบางชนิดด้วยเทคนิค AAS

ธาตุ	matrix modifier*
Al	$Mg(NO_3)_2$
Sb	$Ni(NO_3)_2$
As	$Ni(NO_3)_2$
Be	$Mg(NO_3)_2$
Cd	$(NH_4)_2HPO_4$
	NH_4F^2, EDTA
	ascorbic acid
	citric acid, HNO_3
Cr	$Mg(NO_3)_2$
Ga	$HClO_4$
Pb	$(NH_4)_2HPO_4$
Hg	$(NH_4)_2S$
Mn	$Mg(NO_3)_2$
P	$La(NO_3)_3$
Se	$Ni(NO_3)_2$
Te	$Ni(NO_3)_2$
Tl	H_2SO_4

การเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

Flame Tcchnique

เทคนิคนี้ใช้ flame ทำให้เกิดการ atomization ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยสารตัวอย่างที่ใช้จะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. สารตัวอย่างต้องเป็นสารละลายหรือของเหลว
2. สารตัวอย่างควรมีสารที่เป็นของแข็งละลายอยู่ไม่เกิน 5 % เพราะจะมีผลต่อการ atomization
3. ควรมีความเข้นข้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม
4. สารละลายตัวอย่างจะต้องมีอย่างน้อย 1 ml

นอกจากนี้ผู้ทำการวิเคราะห์ไม่จำเป็นต้องใช้ความชำนานมากนัก ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะอยู่ที่การเตรียมสารตัวอย่างให้เป็นสารละลาย ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเครื่องมือมีน้อย มีความแม่นยำนการวิเคราะห์ที่ดี

Graphite Fernace Technique

สารตัวอย่างที่ใช้จะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. สารตัวอย่างอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว หรือของแข็งละลายในของเหลว
2. สารตัวอย่างต้องสลายตัวด้วยความร้อน และทำให้สารเจือปนกับสารที่จะวิเคราะห์แยกออกจากกันได้
3. จะต้องมีช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม

4. สารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะต้องเปรียบเทียบกันได้
5. ปริมาณของสารตัวอย่างที่ต้องใช้อาจจะเป็น 0.5 μl
6. วิธีนี้ให้ความแม่นและ sensitivity ในการวิเคราะห์ที่ดี แต่ผู้วิเคราะห์จำเป็นที่จะต้องมีความชำนาญพอสมควร

Vapor Generation Technique

สำหรบเทคนิคนี้จำเป็นต้องใช้สารตัวอย่างที่มีลักษณะต่อไปนี้

1. สารตัวอย่างจำเป็นจะต้องย่อยให้อยู่ในสภาพที่เป็นกรด และมี oxidation stage ที่เหมาะสม
2. ใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะบางาตุเท่านั้น
3. ควรจะต้องปราศจากสิ่งรบกวนทางเคมี
4. ช่วงความเข้มข้นจะต้องพอเหมาะ
5. เป็นเทคนิคที่ให้ sensitivity สูงสำหรับธาตุที่สามารถวิเคราะห์ได้

ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

1. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางการเกษตร เช่นการวิเคราะห์ดิน พืชและปุ๋ย
2. ใช้ในการวิเคาะห์เพื่อการแพทย์และชีวเคมี เช่น การหาปริมาณของธาตุในเลือด ปัสสาวะ
3. ใช้ในการวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา เช่นการวิเคราะห์โลหะผสมต่างๆ หาปริมาณเจือปนของสารต่างๆใน โลหะบริสุทธิ์
4. ใช้ในการวิเคราะห์พวกน้ำมันและเพื่อการปิโตรเลียม เช่นการหาองค์ประกอบที่เป็นโลหะของน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเครื่อง น้ำมันปิโตรเลียมและน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น
5. ใช้ในงานวิเคราะห์พวกแร่และวัสดุต่างๆ
6. ใช้ในงานวีเคระห์น้ำจากแหล่งต่างๆ เช่น น้ำบาดาล น้ำเสีย น้ำทิ้ง เป็นต้น
7. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อม
8. ใช้ในงานวิเคราะห์ทางอาหารและยา
9. ใช้ในงานวิเคราะห์ธาตุในสารอื่นๆ

ภาคผนวก ข.

การใช้สถิติในการวัดค่าการกระจาย

ลักษณะของข้อมูลที่เบี่ยงเบนออกจากค่าเฉลี่ย หรือกระจัดกระจายอยู่รอบๆ ค่าเฉลี่ยเรียกว่า การกระจายของข้อมูล ค่ากำลังสองของค่าค่าการกระจายเรียกว่า ความแปรปรวนของข้อมูล ในการวัดการกระจายหรือความแปรปรวนของข้อมูล สามารถคำนวณได้ โดยใช้ค่าพิสัย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย ความแปรปรวน และสัมประสิทธิ์การกระจาย

1. **ค่าพิสัย(R)**

ค่าพิสัย (R) ของชุดข้อมูลคือ ผลต่างระหว่างข้อมูลสูงสุดกับข้อมูลที่มีค่าต่ำสุดของข้อมูลชุดนั้น

2. **ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Average or Mean Deviation)**

ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย(AD หรือ MD) คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง(ไม่คิดเครื่องหมาย) ระหว่างค่าของข้อมูลแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น

$$AD = \frac{\sum \left| x_i - \bar{x} \right|}{n}$$

เมื่อ $\left| x_i - \bar{x} \right|$ = ค่าสัมบูรณ์ของส่วนเบี่ยงเบน x_i จาก $\bar{X}$

ตัวอย่าง : ชุดข้อมูล 2, 3, 5, 7, 8

3. **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation)**

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD นิยมเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ S)คือรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนระหว่างค่าของข้อมูลแต่ละตักับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้นหรือเป็นรากที่สองของส่วนเบี่ยงเบนกำลังสองเฉลี่ยนั่นเอง

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left(x_i - \mu\right)^2}{N}}$$

4. **ความแปรปรวน (Variance)**

ความแปรปรวน ของข้อมูล(S^2 หรือ $Ó^2$) คือค่ากำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อ

S, S^2 = สัญลักษณ์แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างตามลำดับ

Ó, Ó^2 = สัญลักษณ์แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนของข้อมูลกลุ่มประชากรตามลำดับ

5. สัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation)

สัมประสิทธิ์การกระจายหรือ %CV เป็นค่าการกระจายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็น 100

$$CV\ (\%) = \frac{S}{\overline{X}} \times 100$$

ตารางสรุปสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการกระจายของข้อมูล

ตารางที่ 5.1 สูตรสำหรับคำนวณค่าการกระจายของข้อมูล

ค่าการกระจาย	ข้อมูลไม่ได้แจกแจงความถี่	ข้อมูลแจกแจงความถี่
1. พิสัย (Range)	R = คะแนนสูงสุด-คะแนนต่ำสุด	R = คะแนนสูงสุด-คะแนนต่ำสุด
2. ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Quartile Deviation)	$QD = \frac{Q_3 - Q_1}{2}$	$QD = \frac{Q_3 - Q_1}{2}$ เมื่อ $Q_1 = L_o + \left[\frac{\frac{n}{4} - F_b}{f_x}\right](c)$ เมื่อ $Q_3 = L_o + \left[\frac{\frac{3n}{4} - F_b}{f_x}\right](c)$
3. ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Average or Mean Deviation)	$AD = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lvert x_i - \bar{x} \rvert}{n}$	$AD = \frac{\sum_{i=1}^{k} f_i \lvert x_i - \bar{x} \rvert}{n}$
4. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Diviation) 4.1 ประชากร (σ)	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2}{N}}$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \mu^2}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} f_i (x_i - \mu)^2}{N}}$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum fx^2}{N} - \mu^2}$
4.2 กลุ่มตัวอย่าง (s)	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ $s = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}{n(n-1)}}$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ $s = \sqrt{\frac{n\sum fx^2 - \left(\sum fx\right)^2}{n(n-1)}}$
5. สัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of Variation)	$CV(\%) = \frac{s}{\overline{X}} \times 100$	$CV(\%) = \frac{s}{\overline{X}} \times 100$

<u>การใช้สถิติในการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล</u>

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปร สมารถวัดได้ด้วยดัชนีทางสถิติ เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ถ้าเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรเรียกว่า สหสัมพันธ์แบบง่าย แต่ถ้าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสุ่มของตัวแปรมากกว่า 2 ตัว เรียกว่าสหสัมพันธ์พหุ จากการศึกษาสหสัมพันธ์ จะทำให้ทราบทิศทางและขนาดของความผันแปรรวมกันระหว่างตัวแปร อันนำไปสู่การทำนายค่าของตัวแปรตามที่เราสนใจศึกษาค่าตัวแปรอิสระ

1.สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย

Karl Pearson 1900 ได้พัฒนาตัวชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร(โดยตัวแปรทั้ง 2ต่างเป็นค่าตอเนื่องหรือวัดในสเกลอันตรภาค/อัตราส่วน) เรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$r = \frac{\sum(Z_x Z_y)}{n}$$

เมื่อ Z_x , Z_y = คะแนนมาตรฐานของตัวแปรX และ Yตามลำดับ

N = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

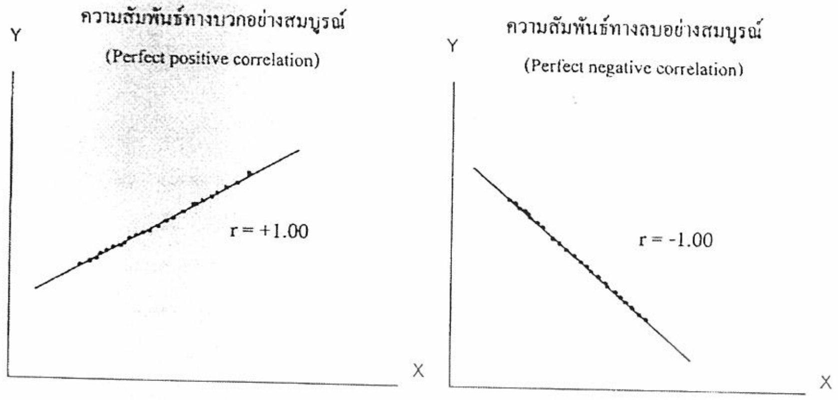
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จึงเป็นค่าเฉลี่ยของผลคูณระหว่างคะแนนมาตรฐานของสองตัวแปร ซึ่งมีสูตรในการคำนวณจากคะแนนดิบดังนี้

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

2. แผนภาพความสัมพันธ์

เมื่อพิจารณาตัวแปร X และ Y แผนภาพการกระจายของจุดพิกัด (X,Y) บนระนาบแสดงถึงลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง ถ้าจุดพิกัดอยู่บนเส้นตรงเดียวกันถือว่าเป็น ความสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์ การกระจายของจุดพิกัดออกจากเส้นตรงมากเท่าใดขนาดของความสัมพันธ์ก็ลดลงดังภาพ

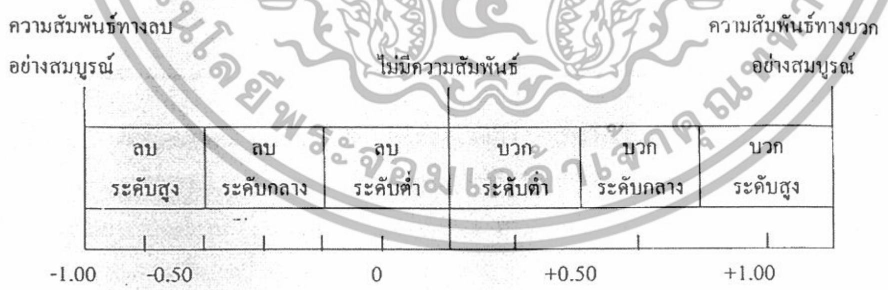
ภาพที่ 13.1 ภาพความสัมพันธ์ทางบวกและทางลบอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 13.2 ภาพความสัมพันธ์ระดับต่างๆ

3. ขนาดของความสัมพันธ์

ขนาดของความสัมพันธ์มีค่าจาก 0 ถึง 1.00 สามารถจัดระดับของความสัมพันธ์ได้โดยประมาณดังภาพ



ภาพที่ 13.3 ขนาดของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4. คุณลักษณะของความสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีคุณลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

1. เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง(linear relation)
2. ทิศทาง(direction) ของความสัมพันธ์อาจเป็นลบ หรือ บวก
3. ขนาด(strength) ของความสัมพันธ์มีค่าจาก 0 ถึง 1
4. ขนาดของความสัมพันธ์พิจารณาจากตัวเลขไม่เกี่ยวข้องกับทิศทาง

ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงผลการทดลอง

สาหร่ายยี่ห้อ โกริโกะ

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0043 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.144

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.161	0.184	0.15	0.165	0.021
0.5	0.2	0.184	0.189	0.191	0.047
1	0.237	0.223	0.256	0.238	0.094
1.5	0.281	0.294	0.282	0.286	0.142
2	0.32	0.338	0.307	0.321	0.177

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0068 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.152

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.175	0.176	0.174	0.175	0.023
0.5	0.214	0.218	0.219	0.217	0.065
1	0.221	0.217	0.252	0.230	0.078
1.5	0.275	0.286	0.300	0.287	0.135
2	0.345	0.338	0.346	0.343	0.191

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0084 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.004

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.008	0.008	0.008	0.008	0.002
0.5	0.052	0.054	0.05	0.052	0.048
1	0.094	0.092	0.092	0.092	0.088
1.5	0.133	0.134	0.133	0.133	0.129
2	0.177	0.18	0.176	0.177	0.173

สาหร่ายยี่ห้อ ซิริโกะ

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0102 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.021

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.029	0.029	0.029	0.029	0.008
0.5	0.045	0.048	0.048	0.047	0.026
1	0.07	0.07	0.073	0.071	0.05
1.5	0.093	0.095	0.094	0.094	0.073
2	0.109	0.113	0.1147	0.112	0.101

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0082 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.026

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.039	0.039	0.038	0.039	0.013
0.5	0.049	0.048	0.047	0.048	0.022
1	0.072	0.072	0.072	0.072	0.046
1.5	0.094	0.092	0.092	0.092	0.066
2	0.112	0.109	0.112	0.111	0.085

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0039 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.026

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.042	0.044	0.044	0.043	0.015
0.5	0.056	0.056	0.057	0.056	0.028
1	0.075	0.077	0.079	0.077	0.049
1.5	0.099	0.099	0.098	0.099	0.071
2	0.124	0.12	0.1122	0.122	0.094

สาหร่ายไม่มียี่ห้อที่ซื้อจากร้านค้าในคณะวิทยาศาสตร์

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0063 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.002

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.05	0.051	0.051	0.051	0.049
0.5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.068
1	0.108	0.109	0.11	0.1069	0.107
1.5	0.144	0.147	0.143	0.144	0.142
2	0.176	0.175	0.17	0.173	0.171

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0023 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.008

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.055	0.058	0.055	0.056	0.048
0.5	0.075	0.073	0.080	0.076	0.068
1	0.102	0.098	0.130	0.110	0.102
1.5	0.137	0.149	0.149	0.145	0.137
2	0.174	0.178	0.176	0.176	0.168

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0023 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.014

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.039	0.04	0.039	0.039	0.025
0.5	0.06	0.06	0.057	0.059	0.045
1	0.089	0.089	0.089	0.089	0.075
1.5	0.112	0.121	0.125	0.119	0.105
2	0.145	0.138	0.147	0.143	0.129

สาหร่ายยี่ห้อ เถ้าแก่น้อย

น้ำหนักตัวอย่าง = 10.0502 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.003

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.016	0.015	0.016	0.016	0.013
0.5	0.051	0.05	0.052	0.051	0.048
1	0.094	0.094	0.097	0.095	0.092
1.5	0.14	0.14	0.139	0.14	0.137
2	0.184	0.183	0.183	0.183	0.18

น้ำหนักตัวอย่าง = 10.0563 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.002

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.018
0.5	0.059	0.058	0.059	0.058	0.056
1	0.102	0.102	0.103	0.103	0.101
1.5	0.163	0.162	0.163	0.163	0.161
2	0.206	0.206	0.207	0.206	0.204

น้ำหนักตัวอย่าง = 10.0535 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.000

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.019	0.02	0.02	0.02	0.02
0.5	0.056	0.059	0.058	0.058	0.058
1	0.104	0.109	0.112	0.108	0.108
1.5	0.171	0.169	0.17	0.17	0.17
2	0.211	0.212	0.211	0.211	0.211

สาหร่ายยี่ห้อ โชกุเนะ

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0081 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.005

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.018	0.021	0.021	0.02	0.015
0.5	0.088	0.083	0.084	0.085	0.08
1	0.124	0.124	0.122	0.124	0.119
1.5	0.153	0.159	0.165	0.159	0.154
2	0.185	0.189	0.190	0.188	0.183

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0040 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.003

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.014	0.014	0.013	0.014	0.011
0.5	0.096	0.093	0.092	0.094	0.091
1	0.128	0.125	0.12	0.124	0.121
1.5	0.158	0.154	0.162	0.158	0.155
2	0.196	0.181	0.174	0.184	0.181

น้ำหนักตัวอย่าง = 5.0060 กรัม blank ของสารละลาย เท่ากับ 0.019

ความเข้มข้นของ Cd ที่เติม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ค่าแก้
0	0.034	0.036	0.036	0.036	0.017
0.5	0.102	0.099	0.111	0.104	0.085
1	0.229	0.235	0.238	0.243	0.124
1.5	0.175	0.179	0.1777	0.177	0.158
2	0.206	0.202	0.204	0.204	0.185