



สำนักหอสมุด

อภิธานทนาการ

รายงานฉบับสมบูรณ์  
เรื่อง

การศึกษาความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบเติมสารมาตรฐาน  
โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน  
สเปกโทรโฟโตเมตรี

Studies of the error of standard addition method for Atomic  
Absorption Spectrophotometry

โดย

นายยุทธพงษ์ อุดแน่น

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	
วันลงทะเบียน.....	1.3.111.2011...
เลขทะเบียน.....	5641202 2.2
เลขเรียกหนังสือ.....	๑๑

๙๕  
๙๖565  
2550

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
งบประมาณปี 2550

## คำนำ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบวิธีเต็มสารมาตรฐานโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรีนี้ได้รับการช่วยอย่างดีจากนิสิต 3 ท่านได้แก่ นายอนุชา หมู่มสมบูรณ์ นางสาวเกศกนก ทองอ่ำ และนายอาทิตย์ บุญมา ผู้เขียนขอขอบคุณนิสิตทั้ง 3 ท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้อย่างเต็มที่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการใช้เครื่องมือต่างๆ มา ณ ที่นี้ด้วย

วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2551

(ดร. ยุทธพงษ์ อุดแน่น)

ผู้ทำวิจัย



## งานวิจัยเรื่อง

ภาษาไทย

การศึกษาความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบเติมสารมาตรฐานโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี

ภาษาอังกฤษ

Studies of the error of standard addition method for Atomic Absorption Spectrophotometry

โดย

ดร. ยุทธพงษ์ อุดแน่น

## บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบเติมสารมาตรฐาน สำหรับหาปริมาณแคลเซียมในน้ำประปา ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม และนมผงตัวอย่าง โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (AAS) พบว่าผลของการวิเคราะห์โดยใช้การทำกราฟมาตรฐานและใช้การเติมสารมาตรฐานให้ค่าที่แตกต่างกัน โดยผลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการเติมสารมาตรฐานจะมีความผิดพลาดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการทดสอบแบบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์แล้ว พบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## Abstract

The error of standard addition method for the determination of calcium in water, calcium supplement tablet and powdered milk samples by atomic absorption spectrometry was external evaluated. It was found that the analysis results calibration method and standard addition method were different. Percent relative errors of the analysis results obtained by standard addition method are greater than 10 %. Nevertheless the results obtained from both method are not significantly different by t-test at 95 % confidence ( $\alpha = 0.05$ ).

## สารบัญ

## หน้า

คำนำ	ข
บทคัด	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
1 บทนำ	1
1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา	2
1.2 เคมีวิเคราะห์ (Analytical Chemistry)	3
1.2.1 กระบวนการวิเคราะห์	4
1.2.2 ชนิดของความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์	6
1.2.3 รายการที่ควรตรวจสอบเมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์	6
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	7
1.4 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 สารปนเปื้อนในน้ำ	10
2.2 นมผง	11
2.3 ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม	13
2.4 อะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี	15
2.5 กราฟมาตรฐาน (Calibration graph)	16
2.6 การเติมสารมาตรฐาน (Standard Addition)	17
2.7 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดแสงกับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง	17
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>3 วิธีการทดลอง</b>	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	21
3.2 สารเคมี	21
3.3 การเตรียมสารละลาย	22
3.4 วิธีการทดลอง	22
3.4.1 ตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II)	22
3.4.2 น้ำประปา	23
3.4.3 นมผงดูเม็กซ์ไฮคิว Dumex Hi-Q และเอนฟาโกร	23
3.4.4 ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Calmax, Calplus MZ, OSKEPT, Oyst-Cal500, CAL-DOXON และ KAL-CEE ORANGE	23
3.4.5 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน แคลเซียม(II) และน้ำประปา	24
3.4.6 การสร้างกราฟสำหรับการวิเคราะห์แบบวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานของแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) และน้ำประปา	24
3.4.7 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์นมผงตัวอย่างและผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมตัวอย่าง	25
3.4.8 การสร้างกราฟสำหรับการวิเคราะห์แบบวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานของแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์นมผงตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมตัวอย่าง	25
<b>4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II)	26
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในน้ำประปา	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างนมผง	29
4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม	31
5 สรุปผลการทดลอง	34
บรรณานุกรม	36



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ระดับคุณลักษณะของน้ำตามความกระด้างของ US geological Survey	10
2.2 คุณค่าทางโภชนาการของนมและผลิตภัณฑ์นม ต่อ 100 กรัม	11
4.1 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph	26
4.2 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่า	27
4.3 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph	28
4.4 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph	31
4.5 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph	32
4.6 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่า	32
ข.1 การทดสอบแบบที่ของวิธี Calibration graph เทียบกับค่าจริง	50
ข.2 การทดสอบแบบที่ของวิธี Standard addition graph เทียบกับค่าจริง	51
ข.3 การทดสอบแบบที่ของวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่าเทียบกับค่าจริง	52
ข.4 การทดสอบแบบที่ของวิธี Calibration graph เทียบกับ Standard addition	53
ข.5 การทดสอบแบบที่ของวิธี Calibration graph เทียบกับ Standard addition	54
ข.6 การทดสอบแบบที่ของวิธี Calibration graph เทียบกับปริมาณอ้างอิง	55
ข.7 การทดสอบแบบที่ของวิธี Standard addition เทียบกับปริมาณอ้างอิง	56
ข.8 การทดสอบแบบที่ของวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่า เทียบกับปริมาณอ้างอิง	57

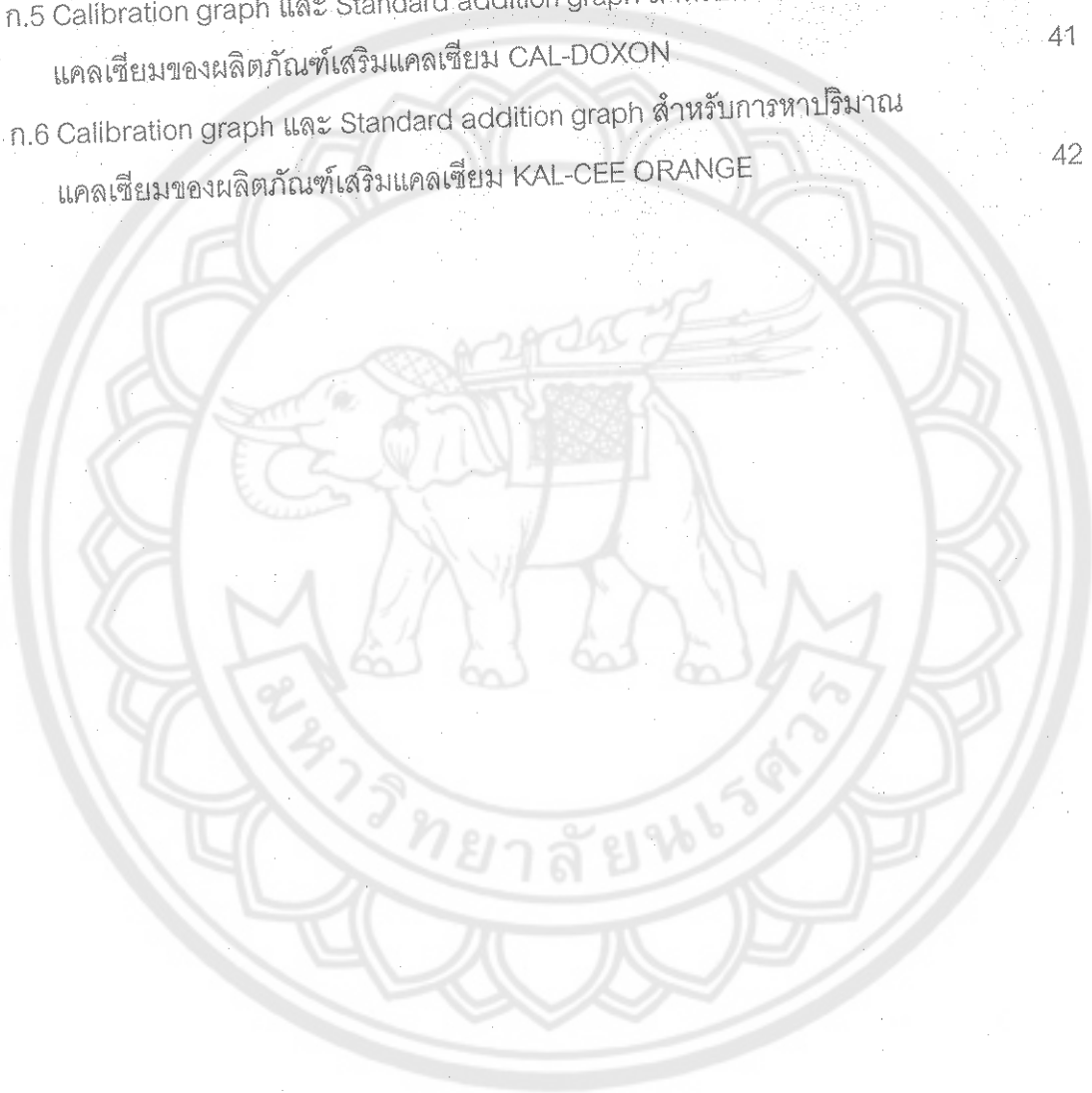
## สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 การหาความเข้มข้นโดย Standard addition graph	1
1.2 (ก) สาเหตุของความผิดพลาดจาก Calibration graph ไม่ผ่านจุด (0,0)	2
1.2 (ข) สาเหตุของความผิดพลาดจากความชัน ของ Calibration graph และ Standard addition graph ไม่เท่ากัน	2
2.1 ส่วนประกอบของ Atomic Absorption Spectrometer	14
2.2 Calibration graph	16
2.3 Standard addition graph	17
2.4 กระบวนการเกิดอะตอมมิกแอ็บซอร์ปชัน	17
4.1 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างที่ได้เตรียมจากสารละลาย มาตรฐานแคลเซียม(II)	26
4.2 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมในน้ำประปา	28
4.3 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมของตัวอย่างนมผงดูเม็ก ดูโกร	29
4.4 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมของตัวอย่างนมผง Dumex Hi-Q	30
4.5 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมของตัวอย่างนมผงเอนฟาโกร	30
ก.1 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมของผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Calmax	39
ก.2 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณ แคลเซียมของผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Calplus MZ	40
ก.3 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียมของผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม OSKEPT	40



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ก.4 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณ แคลเซียมของผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Oyst-Cal 500	41
ก.5 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณ แคลเซียมของผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม CAL-DOXON	41
ก.6 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณ แคลเซียมของผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม KAL-CEE ORANGE	42



# บทที่ 1

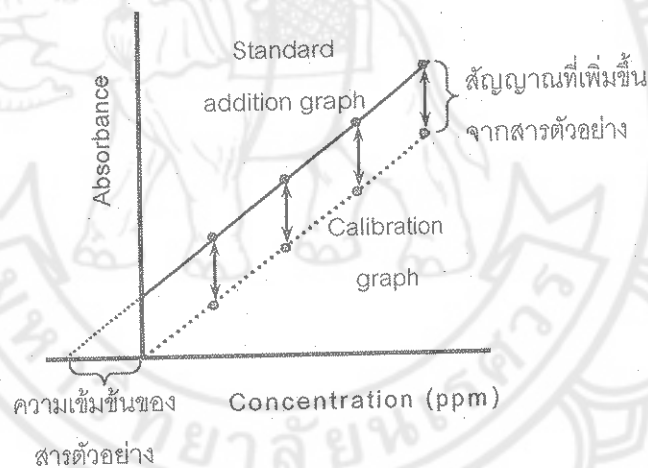
## บทนำ

### 1.1 ที่มา และความสำคัญของปัญหา

เทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะไอออนส่วนใหญ่ คือ อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (AAS) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วมาก การวิเคราะห์อาจทำได้ 2 วิธี ได้แก่

- 1) การทำกราฟมาตรฐาน (Calibration method)
- 2) การวิเคราะห์แบบวิธีเติมสารมาตรฐาน (Standard addition method)

การวิเคราะห์แบบวิธีเติมสารมาตรฐาน คือ การเพิ่มสัญญาณของไอออนที่สนใจในสารตัวอย่างเข้าไปในกราฟมาตรฐานดังแสดงในรูป 1.1



รูป 1.1 การหาความเข้มข้นโดย Standard addition graph

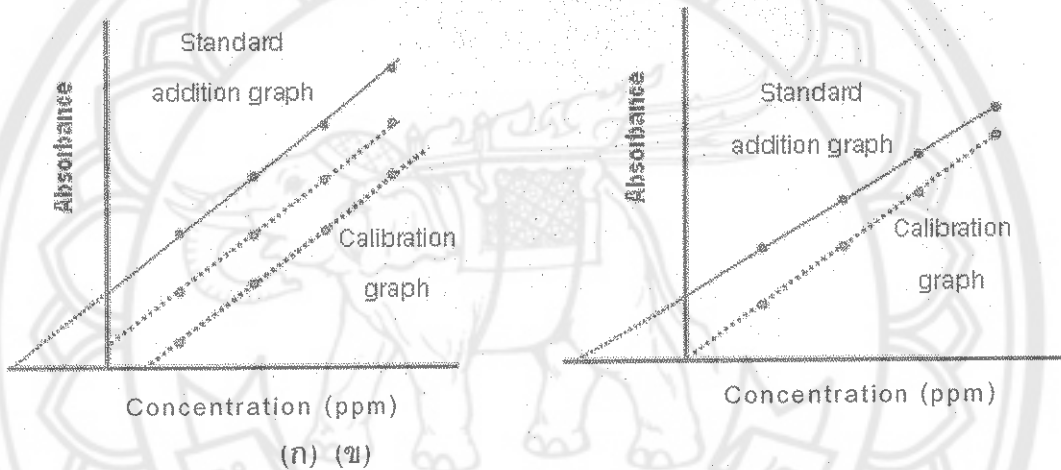
ในการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างสามารถทำได้โดยการต่อเส้นกราฟไปตัดที่แกนความเข้มข้นดังแสดงในรูป 1.1 สำหรับการทำให้ Calibration method จะเหมาะกับตัวอย่างจำนวนมาก ๆ และในสารตัวอย่างมีตัวรบกวน (Interference) น้อย ส่วน Standard addition method จะเหมาะกับการวิเคราะห์ที่มีจำนวนตัวอย่างน้อย และในสารตัวอย่างมีตัวรบกวนค่อนข้างมาก

จากการทดลองพบว่า มีบ่อยครั้งที่ผลจากการทดลองที่ได้จากทั้งสองวิธีนี้มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีตัวรบกวนน้อยมาก ๆ ก็ตาม นักเคมีวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะมองข้ามตรงจุดนี้ไป ซึ่งอาจจะเป็นเหตุทำให้ผลของการวิเคราะห์ผิดพลาดได้

และอาจส่งผลถึงการนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้แล้วเกิดความผิดพลาดตามไปด้วย ซึ่งความแตกต่างของความเข้มข้นที่วิเคราะห์โดยทั้งสองวิธี น่าจะมีสาเหตุมาจากสมมติฐานทั้ง 2 ข้อ คือ

1) Calibration graph ไม่ผ่านจุด (0,0)

2) ความชันของ Calibration graph และ Standard addition graph ไม่เท่ากัน ซึ่งในความเป็นจริงการหาความเข้มข้นของตัวอย่างโดยการต่อเส้นกราฟไปตัดแกนความเข้มข้นนั้น สัญญาณที่เพิ่มขึ้นจากสารตัวอย่างบน Calibration graph ควรจะเท่ากับทุกจุด ซึ่งหมายความว่า ความชันของ Calibration graph และ Standard addition graph จะต้องเท่ากัน



รูป 1.2 (ก) สาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดจาก Calibration graph ไม่ผ่านจุด (0,0)

(ข) สาเหตุของความผิดพลาดที่เกิดจากความชันของ Calibration graph และ Standard addition graph ไม่เท่ากัน

## 1.2 เคมีวิเคราะห์ (Analytical Chemistry)<sup>1</sup>

เคมีวิเคราะห์เป็นสาขาหนึ่งของวิชาเคมีที่ศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าประกอบของสารว่าประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง และมีปริมาณเท่าไร เคมีวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. คุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่ามีสารประกอบที่สนใจประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง และเป็นสารประกอบชนิดใด

2. ปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) เป็นวิธีการหาปริมาณหรือความบริสุทธิ์ของสารที่สนใจในตัวอย่าง การวิเคราะห์ทางปริมาณเกิดขึ้นหลังจากที่นักวิทยาศาสตร์รู้จักการวิเคราะห์ทางคุณภาพมาเป็นเวลานานแล้ว

ในการนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์ สารตัวอย่างอาจเป็นสารบริสุทธิ์หรือไม่บริสุทธิ์ก็ได้ โดยปกติในการวิเคราะห์สารที่บริสุทธิ์จะทำได้ง่าย เพียงเลือกวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมก็สามารถทำการวิเคราะห์ได้เลย แต่ถ้าสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นสารประกอบที่ไม่บริสุทธิ์ การวิเคราะห์จะยุ่งยากขึ้น ต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการแยก (Separation method) เพื่อเอาเฉพาะสารตัวที่สนใจออกมาทำการวิเคราะห์

### 1.2.1 กระบวนการวิเคราะห์<sup>1</sup>

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างใด ๆ ต้องทราบก่อนว่าจะวิเคราะห์ด้วยวิธีใด มีปัญหาในการวิเคราะห์นั้นหรือไม่ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่จะเป็นตัวกำหนดว่าจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบใด ต้องใช้วิธีการใดกำจัดสิ่งที่จะส่งผลกระทบต่อการวัดออกไปก่อน ประสิทธิภาพ อุปกรณ์ที่มีอยู่ ค่าใช้จ่าย เวลาที่ต้องใช้ สิ่งเหล่านี้เป็นตัวหลักในการกำหนดวิธีการวิเคราะห์

ปกติแล้วในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (Sample) เนื้อเดียวกันใด ๆ จะนำสารตัวอย่างนั้นมาบางส่วนแล้ววิเคราะห์ซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์น่าเชื่อถือ ในการวิเคราะห์ อาจจะต้องเปลี่ยนสภาพของสารตัวอย่างหรือสารที่ต้องการวัดให้อยู่ในสภาพหรือรูปที่เหมาะสม เช่น อาจต้องปรับ pH ของสารละลายให้เหมาะสม

วิธีการวิเคราะห์มีทั้งแบบโดยตรง (Absolute) และแบบโดยอ้อม (Relative) การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์โดยอ้อม คือสามารถหาปริมาณของสารที่ต้องการได้ด้วยการวัดหาสมบัติบางอย่างของสารก่อน แล้วใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารกับปริมาณของสาร เทียบหาปริมาณของสารจากสมบัติของสารนั้น

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างไม่ได้นำสารตัวอย่างมาทำการวัดหาคุณภาพ หรือปริมาณได้เลย ในการปฏิบัติการทดลองต้องผ่านขั้นตอนในการวิเคราะห์อีกหลายขั้นตอน วิธีการวัดหาคุณภาพหรือปริมาณเป็นเพียงขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการวิเคราะห์ทั้งหมด ขั้นตอนในการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. การเลือกวิธี (Choice of method) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างใด ๆ ต้องเลือกวิธีวิเคราะห์ให้ได้ก่อนว่าจะใช้วิธีใดในการวิเคราะห์ ซึ่งต้องคำนึงถึงความถูกต้องของผลที่ได้ เศรษฐกิจ สารเคมี และระยะเวลาการทดลอง
2. การเก็บสารตัวอย่าง (Sampling) เมื่อเลือกวิธีวิเคราะห์ได้แล้วขั้นตอนต่อไป คือการเก็บตัวอย่างสารที่จะนำมาวิเคราะห์
3. การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ (Preparation of the laboratory sample for analysis)

4. การวัดสารที่สนใจ (Measuring the desired substance) ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างตามวิธีการวิเคราะห์ที่ได้เลือกมาอย่างเหมาะสม และควรทำการทดลองหลาย ๆ ครั้ง อย่างน้อย 3 ครั้ง

5. การคำนวณผลที่ได้เมื่อได้ผลจากข้อ 4 แล้วให้นำผลมาคำนวณโดยเทียบกับน้ำหนักของสารที่ใช้เริ่มต้นหรือเทียบกับสารละลายมาตรฐานโดยการทำการกราฟมาตรฐาน (Calibration graph) เพื่อหาปริมาณของสารที่สนใจในสารตัวอย่าง

### 1.2.2 ชนิดของความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์

ก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่างผู้วิเคราะห์ต้องศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์ ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้เข้าใจก่อน แต่ในทางปฏิบัติทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ค่อนข้างซับซ้อน ต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องมือหลายประเภทตั้งแต่เครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานทั่วไป เช่น เครื่องชั่ง เครื่องแก้วประเภทต่าง ๆ ไปจนถึงเครื่องมือที่มีความซับซ้อน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดทางด้านผู้วิเคราะห์และประสบการณ์ รวมทั้งในบางโอกาสสภาพแวดล้อมในการวิเคราะห์ก็ไม่เอื้ออำนวย ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่ทำให้การวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ทั้งสิ้น ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงต้องตรวจสอบผลการวิเคราะห์ว่ามี ความถูกต้องหรือไม่หลังจากวิเคราะห์ตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้วก่อนที่จะทิ้งตัวอย่างเหล่านั้นไป และนอกจากผู้วิเคราะห์แล้วผู้ใช้ข้อมูลทั้งภายในและภายนอกมีความจำเป็นที่ต้องรู้ว่าข้อมูลเหล่านั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดก่อนที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งหากไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเสียก่อน อาจนำไปสู่การสรุปหรือการตัดสินใจที่ผิดพลาดได้

ทุกการวิเคราะห์จะมีความคลาดเคลื่อน (Error) เกิดขึ้น หมายถึง ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างจากค่าจริง ความคลาดเคลื่อนจากความไม่เที่ยงตรงของการวัดอาจจะออกมาโดยทำให้ผลวิเคราะห์ออกมามากกว่าความเป็นจริง และทั้งในแนวที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ออกมาน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งการวิเคราะห์ตัวอย่างมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าจริงของคุณสมบัติบางประการในตัวอย่าง การวิเคราะห์มีเทอมที่บอกถึงคุณภาพของการวิเคราะห์ คือ ความเที่ยงตรง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy)

ความเที่ยงตรง หมายถึง ความใกล้เคียงกันของผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง โดยใช้วิธีวิเคราะห์เดียวกันในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน และสภาวะที่เหมือนกัน ความเที่ยงตรงยังกล่าวถึง Reproducibility ของผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์เดียวกัน แต่ต่างสภาวะกัน (เวลา ผู้วิเคราะห์ เครื่องมือ) ความเที่ยงตรงแสดงในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) หรือสัมประสิทธิ์ของการผันแปร (%RSD) ความเที่ยงตรงมี 2 แบบ คือ

1) Reproducibility หมายถึง การวัดความสอดคล้องกันระหว่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์เดียวกัน ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน (ผู้วิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ เวลา)

2) Repeatability หมายถึง การวัดความสอดคล้องกันระหว่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีวิเคราะห์เดียวกัน ภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน (ผู้วิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ เวลา)

ความแม่นยำ หมายถึง ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับค่าจริง ในเชิงปริมาณความแม่นยำ แสดงเป็น % recovery หรือ % error

ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์เกิดขึ้นจากอะไรได้บ้าง เมื่อรู้ว่าการวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง ผู้วิเคราะห์หรือผู้ควบคุมดูแลห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุง เพื่อให้การวิเคราะห์ครั้งต่อไป มีความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปการวิเคราะห์ตัวอย่างจะต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อย 4 ประการ คือ (1) ผู้วิเคราะห์ (2) เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งสารเคมี (3) วิธีวิเคราะห์และ (4) ตัวอย่าง ดังนั้นความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์เกือบทั้งหมดจึงเกิดจากองค์ประกอบทั้ง 4 ดังกล่าวเป็นหลัก

1. ผู้วิเคราะห์ มีอิทธิพลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์โดยทั่วไป ผู้วิเคราะห์ตัวอย่างมีหลายระดับ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของพารามิเตอร์นั้น ๆ ประเด็นสำคัญอยู่ที่ผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ใช่ผู้ทำงานประจำ ทำให้ขาดความต่อเนื่อง การเปลี่ยนผู้วิเคราะห์บ่อย ๆ อาจมีผลต่อผลการวิเคราะห์ได้หากไม่ได้มีการควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะผู้วิเคราะห์แต่ละคนมีความรู้ความสามารถและประสบการณ์แตกต่างกันออกไป ซึ่งความผิดพลาดอันเนื่องมาจากเปลี่ยนผู้วิเคราะห์บ่อย ๆ อาจเห็นได้ไม่ชัดหากทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์เพียงช่วงเวลาสั้น ๆ แต่หากได้วิเคราะห์พารามิเตอร์นั้นต่อเนื่องเป็นเวลานานหลาย ๆ ปีก็จะเห็นความผิดพลาดที่เกิดจากการวิเคราะห์ของแต่ละคนได้ข้อจำกัดของผู้วิเคราะห์ที่มีต่อผลการวิเคราะห์ ส่วนใหญ่มีผลมาจากความรู้ของผู้ที่ทำการวิเคราะห์ขาดผู้แนะนำที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์การวิเคราะห์ ขาดเอกสารที่เป็นภาษาไทยสำหรับใช้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม การวิเคราะห์หลักสูตรการเรียนการสอน และผู้วิเคราะห์หลาย ๆ คนยังขาดความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานทางห้องปฏิบัติการอยู่มาก

2. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์รวมทั้งสารเคมี ปัจจุบันมีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ทันสมัยมากมาย เครื่องมือเหล่านั้นมีขีดความสามารถในการวัดสูง และส่วนใหญ่มักจะทำงานร่วมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เครื่องมือบางอย่างสามารถนำติดตัวไปใช้วัดภาคสนามได้ เช่น เครื่องวัดพีเอช เครื่องมือวัดออกซิเจน เครื่องวัดความเค็ม ฯลฯ เครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้จะมีคู่มืออธิบายถึงวิธีการวัดค่าในตัวอย่าง ตลอดจนถึงการบำรุงดูแลรักษาอย่างละเอียด แต่ผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ได้ให้ความสนใจคู่มือเหล่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องมือเหล่านั้นวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่าง

ถูกต้อง ไม่ได้ตรวจสอบสภาพของเครื่องมือหรือไม่ได้ทำการปรับเทียบเครื่องมือเหล่านั้นก่อนนำไปใช้ นอกจากนี้ในการใช้เครื่องมือชนิดเดียวกันบางยี่ห้อ แต่ใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์แตกต่างกัน วิธีการวัดยังแตกต่างกันด้วย ความผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องมืออุปกรณ์มาจากหลาย ๆ สาเหตุด้วยกัน คือ ผู้ใช้ใช้เครื่องมือไม่ถูกต้องตามสภาพแวดล้อมของเครื่องมือที่ไม่เหมาะสม เครื่องมือชำรุดไม่อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งาน สำหรับความผิดพลาดที่เกิดจากสารเคมีและสารละลาย อาจเกิดจากการเตรียมสารละลายผิด สารเคมีที่ใช้เสื่อมหรือคุณภาพไม่ดี เป็นต้น

3. วิธีวิเคราะห์ การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์เป็นสิ่งที่ควรต้องระวัง เพราะวิธีวิเคราะห์แต่ละวิธีต่างมีข้อจำกัด เช่น เลือกวิธีวิเคราะห์ไม่ถูกต้อง ไม่ได้พิจารณาถึงข้อจำกัดของแต่ละวิธี โดยเฉพาะผลเนื่องจาก matrix ไม่เข้าใจกระบวนการวิเคราะห์ ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนหรือข้อควรระวังที่แนะนำไว้ในวิธีการวิเคราะห์อย่างเคร่งครัด

4. ตัวอย่าง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดได้ หากเก็บตัวอย่างไม่ถูกต้อง เลือกใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างและภาชนะใส่ตัวอย่างไม่เหมาะสม หรือแม้แต่การเตรียมตัวอย่างไม่ถูกต้องก็อาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ฤดูกาล งบประมาณ การบริหารงานภายในหน่วยงานที่อาจทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนหรือไม่ถูกต้องได้

### 1.2.3 รายการที่ควรตรวจสอบเมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์

ตรวจสอบการคำนวณ ตรวจสอบว่าหน่วยถูกต้องหรือไม่ รวมทั้งตรวจสอบว่าย้ายข้อมูลถูกต้องหรือไม่ ตรวจสอบสารละลายมาตรฐานที่ใช้ ปรับเทียบเครื่องมือ สารละลายเก่าเสื่อมคุณภาพและเตรียมสารละลายใหม่ผิด ตรวจสอบสภาวะที่ใช้เก็บรักษา ตรวจสอบอายุของสารละลาย และคาดคะเนตรวจสอบดูว่าน้ำยาเคมีเก่าเสื่อมคุณภาพหรือไม่ ตรวจสอบน้ำยาเคมีใหม่เพื่อให้แน่ใจว่าเตรียมถูกต้อง ตรวจสอบสภาวะที่เก็บรักษาน้ำยาเคมีโดยเฉพาะน้ำยาเคมีที่ต้องเก็บห่างจากแสง หรือน้ำยาเคมีที่เก็บไว้ในที่ที่ควบคุมอุณหภูมิและตรวจสอบอายุของน้ำยาเคมี ทั้งน้ำยาเคมีที่หมดอายุหรือเก็บรักษาไม่เหมาะสม สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ คือรายการที่ควรตรวจสอบเมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เกิดขึ้น

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ประเมินความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบวิธีการเดิมสารมาตรฐาน สำหรับหาปริมาณแคลเซียมในสารตัวอย่างที่เตรียมขึ้นจากสารมาตรฐานแคลเซียม(II) ตัวอย่างน้ำประปาทั้งที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยกรดและน้ำประปาที่ทำการย่อยด้วยกรด ตัวอย่างนมผงทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดู

เม็ก ดูโกร, Dumex Hi-Q และเอนฟาโกร รวมทั้งตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ Calmax, Calplus MZ, OSKEPT, Oyst-Cal 500, CAL-DOXON และ KAL-CEE ORANGE โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี เทียบกับปริมาณอ้างอิงของตัวอย่างแต่ละชนิด จากนั้นทำการแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้ที่ต้องการ ใกล้เคียงกับปริมาณอ้างอิงมากขึ้น

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ

- 1) เพื่อประเมินความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบวิธีการเติมสารมาตรฐานโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี และหาวิธีแก้ไขความผิดพลาดในการวิเคราะห์นี้ได้
  - 2) เพื่อหาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างที่เตรียมขึ้นจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม
- (II) ตัวอย่างน้ำประปา ตัวอย่างนมผง และตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมแบบวิธีการเติมสารมาตรฐาน โดยเทียบกับการทำกราฟมาตรฐาน

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงสาเหตุความผิดพลาดของการวิเคราะห์แบบวิธีการเติมสารมาตรฐานโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี
- 2) สามารถแก้ปัญหาความผิดพลาดของการวิเคราะห์นี้ และทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง แม่นยำมากขึ้น
- 3) ทราบถึงปริมาณแคลเซียมในตัวอย่าง
- 4) เป็นแนวทางให้ผู้สนใจโครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์หาธาตุอื่น และอาจนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคอื่นเพื่อความถูกต้องต่อไป



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารปนเปื้อนในน้ำ<sup>2,3</sup>

น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต แต่ในปัจจุบันน้ำกลับเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในปัญหามลพิษทางสภาวะแวดล้อม เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี ถ้าน้ำมีสารพิษละลายปนอยู่ สารพิษเหล่านี้จะทำให้ น้ำมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการอุปโภคและบริโภค ซึ่งไม่อาจปฏิเสธได้ว่าแหล่งที่มาของสารพิษในน้ำส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งในชีวิตประจำวันตามบ้านเรือน ซึ่งน้ำทิ้งดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับการบำบัดหรือกำจัดสิ่งสกปรกให้มีความสะอาดเพียงพอก่อนที่จะทิ้งลงสู่รางระบายน้ำสาธารณะ แม่น้ำลำคลอง หรือก่อนที่จะมีการนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคอีกครั้ง ปริมาณโลหะหนักในน้ำเป็นดัชนีชี้วัดหนึ่งที่ใช้เพื่อควบคุมมาตรฐานคุณภาพน้ำ ซึ่งค่านิยามของโลหะหนัก คือ โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ปรีท นิกเกิล สังกะสี แคลเซียม และทองแดง เป็นต้น โลหะหนักนับวันยังมีอัตราการถ่ายเทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น โลหะเหล่านี้บางชนิดร่างกายไม่ต้องการในขณะที่บางชนิดจำเป็นต่อร่างกาย แต่ถ้าร่างกายได้รับโลหะหนักเหล่านี้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดความเป็นพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้

น้ำมีสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีและสามารถละลายสารต่าง ๆ ได้มากมาย จากวัฏจักรของน้ำสามารถอธิบายที่มาของการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ในน้ำได้ ซึ่งแหล่งที่มาของสารปนเปื้อนแหล่งใหญ่ คือ จากธรรมชาติ นอกจากนี้การปนเปื้อนยังมาจากการกระทำของมนุษย์ด้วย สารปนเปื้อนที่พบในน้ำ (แหล่งน้ำธรรมชาติต่าง ๆ) ได้แก่ สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ อนุภาคแขวนลอย จุลินทรีย์ และก๊าซที่ละลายน้ำได้ สารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม ซิลิเกต แร่ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้มาจากดินทรายใต้ท้องน้ำ นอกจากนี้ยังมีเหล็ก ซัลเฟต ไนเตรทที่มาจากปุ๋ย ทองแดง สังกะสีที่มาจากท่อส่งก๊าซได้น้ำ เป็นต้น

น้ำกระด้าง<sup>4</sup> หมายถึง น้ำที่ไม่เกิดฟองกับสบู่หรือเกิดฟองสบู่เล็กน้อย และมีโคลสบูเกิดขึ้นหรือหมายถึง น้ำที่มีแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) แมกนีเซียมไอออน ( $Mg^{2+}$ ) หรือไอออนที่มีประจุบวกสอง ละลายอยู่ ตัวอย่างน้ำกระด้าง เช่น น้ำคลอง น้ำบ่อ น้ำประปา น้ำบาดาล น้ำทะเล เป็นต้น สาเหตุที่น้ำมีความกระด้างเกิดจากน้ำฝนซึ่งมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ละลายอยู่ ทำให้เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ( $H_2CO_3$ ) ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อซึมลงใต้ดินผ่านชั้นดินซึ่งมีการสลายตัวของ

สารอินทรีย์ จะทำให้มีปริมาณกรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) มากขึ้น ซึ่งเมื่อน้ำที่ซึมผ่านชั้นดิน หรือสัมผัสกับชั้นหินโดยเฉพาะหินปูนซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ( $\text{MgCO}_3$ ) น้ำจะสามารถละลายองค์ประกอบหลักเหล่านี้ได้ทำให้ปริมาณแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{2+}$ ) เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นโดยทั่วไปน้ำบนผิวดิน เช่น แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ จะมีความกระด้างน้อยกว่าน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล น้ำที่ใช้บริโภคถ้ามีคุณลักษณะเป็นน้ำค่อนข้างกระด้าง โดยเฉพาะเป็นน้ำกระด้างที่มีไอออนลบจำพวกคาร์บอเนตไอออน ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) จะมีรสชาติดี ทำให้รู้สึกสดชื่น และโดยปกติคุณสมบัติของร่างกายมนุษย์ไม่สามารถทำให้น้ำที่มีความกระด้างเกิดตะกอนหรือตะกรันอุดตันอวัยวะต่าง ๆ ได้ น้ำประปาที่ใช้อุปโภคถ้ามีความกระด้างต่ำจะทำให้ใช้น้ำไม่สะดวก เช่น ในการอาบน้ำหรือซักผ้า ทำให้ล้างสบู่หรือผงซักฟอกออกยาก จึงมีกระบวนการในการเพิ่มความกระด้างของน้ำ เพื่อทำให้น้ำประปามีความสะดวกต่อผู้ใช้น้ำมากขึ้น ความกระด้างในน้ำที่มีอยู่ทุกประเภท จะรวมเรียกว่า ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) แบ่งตามไอออนที่มีอยู่ในน้ำได้เป็น 2 ประเภท<sup>5</sup> ดังนี้

1) ไอออนประจุลบที่มีอยู่ในน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.1 ความกระด้างคาร์บอเนตหรือความกระด้างชั่วคราว (Carbonate Hardness or Temporary Hardness) ซึ่งได้แก่ คาร์บอเนตไอออน ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) และไบคาร์บอเนตไอออน ( $\text{HCO}_3^-$ ) โดยส่วนใหญ่ในน้ำจะเป็นจำพวกไบคาร์บอเนตไอออน ( $\text{HCO}_3^-$ ) เมื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถกำจัดความกระด้างประเภทนี้ได้

1.2 ความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนตหรือความกระด้างถาวร (Non-Carbonate Hardness or Permanent Hardness) ซึ่งได้แก่ ซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) คลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) ซึ่งความกระด้างประเภทนี้จะไม่สามารถถูกกำจัดได้ด้วยอุณหภูมิ ในกรณีที่น้ำมีปริมาณแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{2+}$ ) น้อย แต่มีปริมาณของโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) สูงมากเพียงพอจะทำให้น้ำไม่เป็นฟองกับสบู่ได้ เรียกว่า ความกระด้างเทียม (Pseudo Hardness)

2) แบ่งตามไอออนประจุบวกในน้ำ ส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) เรียกว่า Calcium Hardness และแมกนีเซียมไอออน ( $\text{Mg}^{2+}$ ) เรียกว่า Magnesium Hardness

ความของความกระด้างของน้ำแทนค่าด้วยความเข้มข้นทั้งหมดของแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และแมกนีเซียม ( $\text{Mg}^{2+}$ ) โดยจะแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (mg/L as  $\text{CaCO}_3$ ) โดยสามารถจัดแบ่งระดับคุณลักษณะของน้ำตามความกระด้างของ US Geological Survey ดังแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ระดับคุณลักษณะของน้ำตามความกระด้างของ US Geological Survey

เกณฑ์ความกระด้างของน้ำ	ปริมาณความกระด้างของน้ำ (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )
น้ำอ่อน	0 – 60
น้ำค่อนข้างกระด้าง	61 – 120
น้ำกระด้าง	121 – 180
น้ำกระด้างมาก	มากกว่า 181

## 2.2 นมผง<sup>6,7</sup>

นมผง (Dried or powdered milk) เป็นนมที่ทำขึ้นจากนมวัว นำมาผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ ทำให้น้ำระเหยออกหมดจนได้เป็นนมผง เพื่อยืดอายุการเก็บให้นานขึ้นโดยยังคงคุณค่าของสารอาหารส่วนใหญ่ไว้ได้ แต่วิตามินบางชนิด เช่น วิตามินบี และวิตามินซี จะถูกทำลายไปบ้างในกระบวนการผลิต นมผงสามารถแบ่งตามปริมาณไขมัน ได้ดังนี้

- นมผงธรรมดา คือ นมผงที่มีไขมันอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ของน้ำหนัก
- นมผงขาดมันเนย คือ นมผงที่มีไขมันอยู่ไม่เกินร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก
- นมผงพร่องมันเนย คือ นมผงที่มีไขมันประมาณร้อยละ 1.5 – 26 ของน้ำหนัก

และนมผงที่แบ่งตามการใช้เลี้ยงทารก<sup>8</sup> มีดังนี้

- นมผงดัดแปลง (Humanized milk หรือ modified milk) เป็นนมผงสำหรับใช้เลี้ยงทารกอายุต่ำกว่า 6 เดือน เนื่องจากปริมาณโปรตีนและเกลือแร่ในนมผงสูงเกินไป สำหรับทารกจึงต้องมีการดัดแปลงให้ใกล้เคียงกับนมของมารดา บริษัทที่ผลิตนมเหล่านี้จะมีการแข่งขันกันอย่างมากในการศึกษาค้นคว้าและทดลองดัดแปลงนมวัวให้มีสารอาหารต่าง ๆ ใกล้เคียงกับนมมารดามากที่สุด หรืออาจมีการเสริมสารอาหารบางชนิดที่มีประโยชน์ต่อทารกให้มากกว่าที่มีปกติในนมมารดา ผู้บริโภคจึงควรขอความรู้จากบุคลากรสาธารณสุขเพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้ถูกต้องและไม่เสียเงินมากโดยไม่จำเป็น

- นมผงครบส่วน (Whole milk) เป็นนมวัวที่มีการระเหยนํ้าออก โดยไม่ต้องปรับปริมาณโปรตีนและเกลือแร่ให้ลดลง เพราะใช้สำหรับทารกอายุเกิน 6 เดือนและในเด็กโต เมื่อละลายนํ้าตามสัดส่วนที่ถูกต้องจะได้คุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงนํ้านมวัว

### ลักษณะนมผงที่ดี

1. มีสีขาวหรือสีครีม
2. ละลายได้ง่ายทันที ไม่เป็นก้อนแข็ง
3. มีกลิ่นหอม ปราศจากกลิ่นรสที่น่ารังเกียจ ผุ่นผง สารพิษ หรือสิ่งแปลกปลอม
4. ภาชนะบรรจุต้องสะอาด ทนต่อการกัดกร่อนของนมผง
5. ฉลากระบุประเภท ชื่อผู้ทำ น้ำหนัก วันเดือนปีที่ทำ วิธีเก็บรักษา วิธีเตรียมเพื่อรับประทาน

ตาราง 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของนมและผลิตภัณฑ์นม ต่อ 100 กรัม<sup>8</sup>

คุณค่า	นมสด	นมข้นจืด	นมข้นหวาน	นมผง	เนย
พลังงาน (kcal)	65	136	336	486	725
ไขมัน (%)	3.6	7.0	8.2	26.0	85
คาร์โบไฮเดรต (%)	5.0	9.9	55.0	36.2	1.4
โปรตีน (%)	3.3	7.0	8.2	26.0	0.5
แคลเซียม (mg)	137	243	275	727	15
ฟอสฟอรัส (mg)	74	195	229	480	16

### 2.3 ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม<sup>9,10</sup>

แคลเซียม เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของกระดูก ร่างกายของคนทั่วไปมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบประมาณ 12 กิโลกรัม การได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอเป็นเวลานานร่วมกับได้ฟอสฟอรัสมากเกินไปนำไปสู่โรคกระดูกพรุนได้ง่าย ประโยชน์หลักของแคลเซียมเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความแข็งแรงของกระดูกและฟัน ช่วยให้เลือดแข็งตัวตามปกติ ช่วยการหดตัวของกล้ามเนื้อ ช่วยส่งต่อคลื่นประสาทและสมอง อาหารแคลเซียมพบได้ในผักสีเขียวเข้ม คะนํ้า บรอกโคลี ส้ม มะนาว ถั่ว และกระดูกสัตว์ อาหารในยุคปัจจุบันมีแคลเซียมต่ำ ในประเทศตะวันตกมีการศึกษาพบว่าคนส่วนใหญ่ได้รับแคลเซียมต่ำกว่าที่ควร จึงมีผลิตภัณฑ์เสริมจำพวกแคลเซียมเม็ดฟู่วางขายทั่วไป สำหรับคนที่ไม่สามารถรับประทานอาหารที่มีแคลเซียมสูงได้สามารถทดแทนได้ด้วยอาหารเสริมแคลเซียม โดยมักจะอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมกลูโคเนต แคลเซียมซิเตรต แคลเซียมซิเตรตมาเลต แคลเซียมแลคเตต และแคลเซียมฟอสเฟต ปริมาณที่ร่างกายจะได้รับแคลเซียมจากอาหารเสริมเหล่านี้จะขึ้นกับว่าในแต่ละชนิดจะให้แคลเซียมแก่

ร่างกายเท่าไร เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตจะให้ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมกลูโคเนตจะให้ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียมประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ยังขึ้นกับการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายด้วย มีการค้นพบว่าแร่ธาตุ แคลเซียมที่ได้จากแคลเซียมซิเตรตจะถูกดูดซึมได้ดีกว่าที่ได้จากคาร์บอเนต จากการศึกษาพบว่าการสะสมแคลเซียมของร่างกายมนุษย์นั้นเริ่มตั้งแต่วัยทารกในครรภ์มารดา โดยในแต่ละวัยร่างกายสามารถสะสมปริมาณแคลเซียมในระดับที่แตกต่างกัน<sup>10</sup> ดังนี้

- เด็กแรกเกิด - 9 ขวบ มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 100 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- เด็กอายุ 10 ขวบ มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 100-150 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- ช่วงวัยรุ่น มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 200-400 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- ชายและหญิงอายุ 18 ปี มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 50-100 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน
- ผู้ใหญ่อายุ 30 ปี มีความสามารถในการสะสมแคลเซียมได้ 0 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งหมายความว่า หลังจากอายุ 30 ปีไปแล้ว ร่างกายจะไม่สะสมแคลเซียมอีก จึงต้องมีการเติมแคลเซียมให้ร่างกายเพื่อรักษาระดับแคลเซียมในกระดูก

ปริมาณความต้องการแคลเซียมของร่างกายจะแตกต่างกันในแต่ละวัย ซึ่งสถาบันสุขภาพแห่งชาติของอเมริกา (National Health Institute) แนะนำปริมาณของแคลเซียมที่ควรได้รับอย่างเหมาะสมในแต่ละวัน<sup>10</sup> ดังนี้

- เด็ก (1-10 ปี) ควรได้รับ 800 – 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน
- วัยรุ่น (11-25 ปี) ควรได้รับ 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน
- ผู้ใหญ่ควรได้รับ 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน
- หญิงมีครรภ์ควรได้รับ 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน
- หญิงให้นมบุตรควรได้รับ 1,500 – 2,000 มิลลิกรัมต่อวัน
- ผู้ป่วยกระดูกหักควรได้รับ 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน

ปัจจุบันมีการนำผลิตภัณฑ์อาหารเสริมหลายรูปแบบมาใช้ในจุดมุ่งหมายเดียวกับยา<sup>11</sup> คือ เพื่อรักษาโรค ป้องกันโรค หรือบำรุงร่างกาย ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมต่าง ๆ กำลังเป็นที่สนใจของประชาชนเป็นอย่างมากในปัจจุบัน แต่มีคำถามเกิดขึ้นว่าผลิตภัณฑ์อาหารเสริมดีจริงหรือไม่

เมื่อเปรียบเทียบกับยานานหนึ่ง อาจต้องใช้เวลานับ 10 ปีและเงินทุนจำนวนมากในการค้นคว้าวิจัย ทดลองกับสัตว์ทดลองและคนว่าไม่ก่อให้เกิดอันตรายและมีฤทธิ์รักษาโรคได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเหล่านี้ต้องอาศัยข้อมูลทางการแพทย์มาสนับสนุน เพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความมั่นใจที่จะซื้อมารับประทาน องค์การอาหารและยาของไทยให้ใช้คำเรียกอาหารกลุ่มนี้ว่า "ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร" เนื่องจากการเรียกว่าเป็นอาหารเสริมสุขภาพอาจทำให้ประชาชนเข้าใจผิดคิดว่าสามารถเสริมสุขภาพได้จริงและเกิดความสับสนกับอาหารเสริมของเด็ก และอาหารทางการแพทย์ (Medical food) ในต่างประเทศเปลี่ยนการเรียกจาก health food เป็น functional food ซึ่งหมายถึง อาหารที่มีลักษณะ ดังนี้

- 1) มีส่วนประกอบซึ่งมีผลต่อการทำงานของร่างกายในด้านบวก
- 2) ส่วนประกอบที่มีผลเสียต่อสุขภาพ ถูกทำให้มีปริมาณลดลงจากกระบวนการผลิตหรือวิธีการอื่น ๆ

ปัจจุบันมีอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่มีข้อมูลว่ามีประโยชน์อยู่เพียงไม่กี่ชนิดโดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกายอมรับให้ตีตราประกาศในสลากอาหารได้ 7 ชนิดในปี พ.ศ. 2536 และต่อมามีข้อมูลเพิ่มเติมอีกว่าอาหารเสริมแคลเซียมมีผลต่อการป้องกันโรคกระดูกพรุน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมีทั้งข้อดีและข้อเสียในตัวเอง ดังนั้นการเลือกใช้อย่างเหมาะสมจึงมีความจำเป็น และต้องทำความเข้าใจกับผู้ใช้ว่าการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องร่วมกับการรับประทานอาหารอย่างเหมาะสม และมีพฤติกรรมที่ส่งเสริมสุขภาพ เช่น การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ หลีกเลี่ยงพฤติกรรมเสี่ยงอื่น ๆ ชมรมนักกำหนดอาหารแห่งสหรัฐอเมริกา มีข้อเสนอแนะในการใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารว่า ถ้าต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเหล่านี้ควรใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริม โดยรับประทานอาหารตามปกติครบทุกประเภทให้หลากหลาย และต้องใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารนั้น ๆ ในขนาดที่พอเหมาะ ส่วนในประเทศไทยแพทยสภาได้มีประกาศอย่างชัดเจนว่าห้ามแพทย์มีส่วนเกี่ยวข้องในการส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์เสริมอาหารไม่ว่าจะในลักษณะการให้ความรู้ในกระบวนการส่งเสริมการขาย การแนะนำให้ผู้ป่วยใช้ การสั่งให้ประชาชนหรือผู้ป่วยใช้ อย่างไรก็ตาม แพทย์ยังมีความจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อจะได้ให้คำปรึกษาแนะนำที่ถูกต้องแก่ผู้ป่วยและประชาชนทั่วไป

#### 2.4 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี<sup>12</sup>

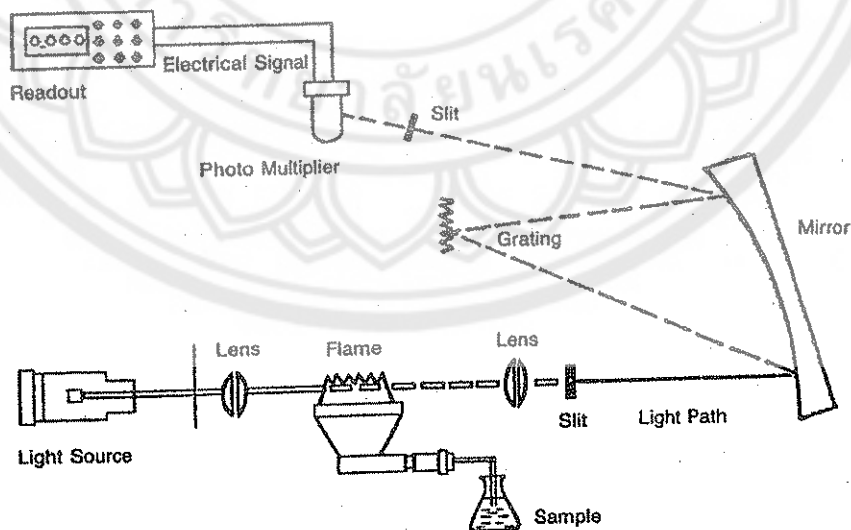
หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Principles of atomic absorption)

เทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์พชัน เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้

ความเที่ยง ความแม่นยำ มีสภาพไวสูง และเป็นเทคนิคที่เฉพาะดีมาก ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงนัก ความสามารถของเทคนิคนี้มีสูงมาก เพราะสามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 67 ธาตุ อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับพลังงานแตกต่างกัน จึงมีการดูดกลืนพลังงานต่างกัน เช่น อะตอมของโซเดียมจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เพราะแสงที่มีความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีพลังงานพอดีที่จะทำให้อิเล็กตรอนของโซเดียมอะตอมเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของธาตุแต่ละชนิด ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดการแตกตัวกลายเป็นไอ หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น หรืออาจเกิดเป็นไอออนก่อนก็ได้

อะตอมมิกแอบซอร์พชันมีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source)
2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี (atomizer)
3. โมโนโครมเตอร์ (monochromator) ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ
4. ดีเทคเตอร์ (detector)
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (data system and read-out units)



รูป 2.1 ส่วนประกอบของ Atomic Absorption Spectrometer

ที่มา : (แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2534. เว็บไซต์)

### กระบวนการทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization)

ในกรณีที่ใช้กระบวนการ atomization ด้วยเปลวไฟนั้น สารตัวอย่างจะต้องเป็น สารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์อื่น กระบวนการ atomization นี้สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่

1. Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็ก ๆ ด้วยเครื่องที่ เรียกว่า nebulizer
2. Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายรวมกันเป็น หยดสารละลายที่ใหญ่ขึ้น ไม่สามารถจะลอยในอากาศได้ จึงตกลงมาไปทางท่อน้ำทิ้ง
3. Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็ก ๆ ของสารละลายเกิดการผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง (fuel) และออกซิเจนใน spray chamber ของ nebulizer
4. Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็ก ๆ นั้นถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ
5. Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยที่พลังงาน ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์เป็นโมเลกุลและเป็น อะตอมเสรี บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้นหรือเกิดการไอออไนเซชัน

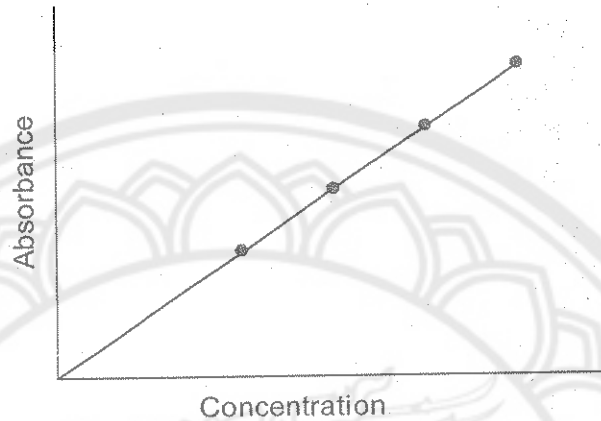
### 2.5 กราฟมาตรฐาน (Calibration graph)<sup>13</sup>

ในเคมีวิเคราะห์ มีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมกราฟมาตรฐาน (Calibration graph) สำหรับใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผล ซึ่งกราฟมาตรฐาน หมายถึง กราฟที่สร้างระหว่างสมบัติ ของสารกับความเข้มข้นของสารนั้น นอกจากนี้ความสัมพันธ์ที่ว่ามันอาจเปลี่ยนไปตามความ เข้มข้นของสาร ปกติแล้วจะเตรียมกราฟมาตรฐานโดยนำสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแล้ว ประมาณ 4-5 ความเข้มข้น นำมาวัดสมบัติของสารตัวอย่าง เช่น ในสเปกโทรโฟโตเมตรีจะสร้าง กราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่สารดูดกลืนแสงในช่วงแสงยูวี-วิสิเบิล โดยกำหนดให้เป็นแกน y และแกน x คือ ความเข้มข้นของสารละลาย และเมื่อเตรียมกราฟมาตรฐาน เรียบร้อยแล้วจะทราบ ความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้โดยนำค่าที่วัดได้ของสารตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน โดย เทียบเป็นมุมฉากกับเส้นตรง (แกน x)

อย่างไรก็ตามปัจจัยต่าง ๆ ที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์มีผลต่อความเป็นเส้นตรงของกราฟ มาตรฐาน บางครั้งระยะเวลาที่ใช้ก็มีผลต่อความเป็นเส้นตรงที่ได้ ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน ต้องการให้กราฟออกมาเป็นเส้นตรง ซึ่งปกติแล้วกราฟมาตรฐานจะสร้างจุดที่ชัดเจน ซึ่งจะทำให้ กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงมากขึ้น นอกจากนี้ความละเอียดของช่วงความเข้มข้นต้องไม่สูงหรือต่ำ



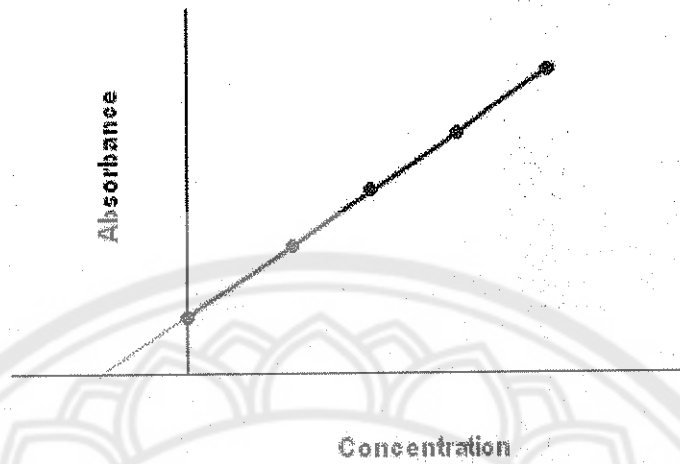
เกินไป อย่างไรก็ตามสารตัวอย่างที่ยังไม่ทราบความเข้มข้นสามารถอ่านได้โดยตรงจากกราฟมาตรฐาน



รูป 2.2 Calibration graph

## 2.6 การเติมสารมาตรฐาน (Standard Addition)<sup>13</sup>

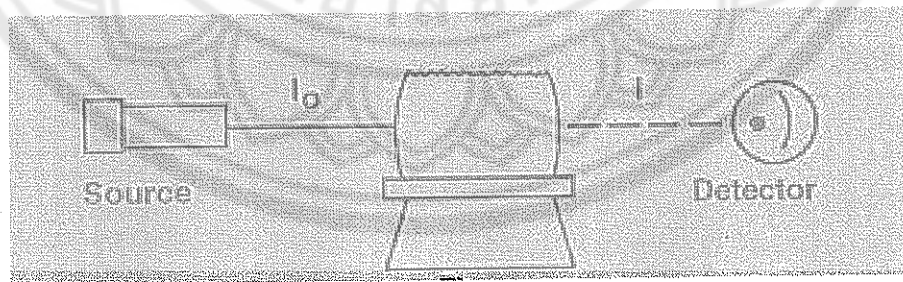
ในการวิเคราะห์โดยการถ่ายภาพมาตรฐานในบางครั้งที่สารตัวอย่างมีองค์ประกอบอื่น ๆ ปนอยู่ด้วยมีผลทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้ เนื่องจากองค์ประกอบของสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างแตกต่างกันค่อนข้างมาก สัญญาณที่ได้จากสารละลายตัวอย่างจึงไม่ได้เกิดจากสารที่ต้องการวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย ดังนั้นจึงทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับ matrix effects และ interferences จึงควรใช้วิธีการเติมสารมาตรฐาน ซึ่งทำได้โดยแบ่งสารละลายตัวอย่างออกเป็น 4-5 ส่วน และนำแต่ละส่วนมาเติมสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันลงไปจำนวนปริมาตรเท่ากัน ส่วนสารละลายสุดท้ายนำมาเติมเฉพาะตัวทำละลายให้มีปริมาตรเท่ากันแล้วนำไปวัดค่าและนำมาเขียนกราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป ความเข้มข้นของสารตัวอย่างหาได้จากการลากเส้นตัดแกน y ที่จุด 0 ไปตัดแกนความเข้มข้น (แกน x) การวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะเห็นว่าสารละลายทุกขวดมีลักษณะเหมือนกัน ถ้าการวิเคราะห์มี matrix effect ก็จะมี effect เหมือนกันหมดด้วยจึงหักล้างกันไป



รูป 2.3 Standard addition graph

2.7 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มของสารตัวอย่าง<sup>14</sup>

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของอะตอมอธิบายได้จากกฎของแลมเบิร์ตและเบียร์ (Lambert-Beer's law) ที่กล่าวว่า เมื่อความยาวคลื่นของแสงมีค่าคงที่ ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนจะมีความสัมพันธ์แบบเอกซโพเนนเชียลกับระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ผ่านอะตอมและความเข้มข้นของอะตอม จากรูป 2.4 กระบวนการเกิดอะตอมมิกแอบซอร์พชัน เมื่อหาความสัมพันธ์ตามกฎดังกล่าว จะได้ผลดังสมการที่ 1 เมื่อหาความสัมพันธ์ในรูปลอการิทึม จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2



รูป 2.4 กระบวนการเกิดอะตอมมิกแอบซอร์พชัน

ที่มา : (ฐิติรัตน์ จารุวาระกุล, 2548. เวปไซต์)

$$T = I/I_0 = e^{-abc} \dots\dots\dots (1)$$

$$\log (I/I_0) = A \text{ (Absorbance)} = abc \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ	T	=	ค่าความส่องผ่าน (transmittance)
	$I_0$	=	ความเข้มแสงก่อนผ่านอะตอม
	I	=	ความเข้มแสงหลังผ่านอะตอม
	A	=	ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)
	a	=	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
	b	=	ความยาวทางเดินแสง (ช่องเปิดบนตะเกียง, slot)
	c	=	ความเข้มข้นของอะตอม

จาก Lambert-Beer's law จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของอะตอมที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง เมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาสร้างกราฟมาตรฐาน (ration graph) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นแน่นอน แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน จากนั้นนำค่าการดูดกลืนของสารตัวอย่างที่วัดได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ. 1990 Van Staden JF และ Van Rensburg A.<sup>15</sup> ได้ศึกษาถึงการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในนมโดยใช้เทคนิคพื้นฐาน ได้แก่ ฟลูออโรเมตริกซ์ (FI) และอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตริกซ์ (AAS) วิธีที่ใช้ในการกำจัดตัวรบกวน (Interference) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในนมคือ dialyser ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมได้ ซึ่งตัวรบกวน (Interference) นี้มาจากฟอสเฟตที่อยู่ในนม ในการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่อยู่ในนมจะใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตริกซ์ โดยใช้ dinitrogen oxide-acetylene และใช้  $K^+$  กับสารตัวอย่าง 30 ไมโครลิตร ฟลูออโรเมตริกซ์ (FI) จะมีช่วงมาตรฐานของแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) อยู่ที่ 100-1500 mg/kg ในระบบของการตรวจวัดหาปริมาณ total calcium ช่วงมาตรฐานอยู่ที่ 1300-1500 mg/kg และ free calcium ช่วงมาตรฐานจะอยู่ที่ 120-170 mg  $dm^{-3}$

ปี ค.ศ. 1996 Miguel Angel De La Fuente Belén Carazo และ Manuela Juárez<sup>16</sup> อธิบายถึงการย่อยผลิตภัณฑ์ของแข็ง (เนยแข็ง caseinates และนมผง) เพื่อหาปริมาณของแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยเทคนิคเฟรมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตริกซ์ ในการทดลองหาสารประกอบในนมผงนี้ จะเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างกรดไนตริก เปอร์คลอริก และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วคำนวณหาร้อยละของโซเดียมและ

ไฟแฟลชเชื่อมที่เกิดจากปฏิกิริยาของเปอร์คลอริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่ปริมาณร้อยละของแคลเซียมและแมกนีเซียมค่าที่ได้จะต่ำ แม้ว่าผลที่ได้จะทำการแก้ไขแล้วเมื่อใช้เปอร์คลอริกแทนการใช้กรดไน-ตริก การเตรียมสารตัวอย่างจะทำการย่อยโดยใช้กรดไนตริกแล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการวิเคราะห์หาปริมาณของเนยแข็ง และ caseinates จะมีปริมาณแมกนีเซียม แคลเซียม และโซเดียมต่ำ คือ ปริมาณแมกนีเซียมมี 1.34 - 2.46 % แคลเซียมมี 1.15 - 2.69 % และโซเดียมมี 3.35 - 9.02 % อย่างไรก็ตามความถูกต้องของการวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมและไฟแฟลชเชื่อมมีร้อยละการกลับคืน คือ โซเดียมมี 96.3 - 99.2 % และไฟแฟลชเชื่อมมี 97.0 - 99.8 % แต่ร้อยละการกลับคืนของแคลเซียมและแมกนีเซียมมีค่าต่ำ คือ แคลเซียมมี 91.6 - 98.8 % และแมกนีเซียมมี 94.0 - 98.4 %

ปี ค.ศ. 2000 Non-science-major ในมหาวิทยาลัย Chicago ประเทศโคลัมเบีย<sup>17</sup> ได้แนะนำให้ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานให้อยู่ในหน่วยพีพีเอ็ม (ppm) เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี โดยทำการย่อย foodstuffs ด้วยกรดไนตริกเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของแคลเซียมและตรวจวัดระดับของแคลเซียมในอาหารหลายๆ ประเภท จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์โลหะในเส้นผม วิตามิน และอาหารต่างๆไป

ปี ค.ศ. 2002 Nabrzycki M และ Gajewska R.<sup>18</sup> ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณสตรอนเทียม ลิเทียม และแคลเซียม ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ 87 ตัวอย่างในผลิตภัณฑ์นม 5 ชนิด และ 93 ตัวอย่างในปลาทะเล 10 ชนิด ซึ่งจะทำการย่อยสารตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก ในการวิเคราะห์หาปริมาณสตรอนเทียม ลิเทียม และแคลเซียม จะใช้เทคนิคเฟรมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งการหาปริมาณลิเทียมและแคลเซียมจะใช้ air-acetylene flame และสตรอนเทียมใช้ nitrous -oxide-acetylene flame ปริมาณสตรอนเทียมในผลิตภัณฑ์นมจะมีช่วงอยู่ระหว่าง 0.21 - 0.79 mg/kg และเนื้อปลาทะเล 0.02 - 4.63 mg/kg ปริมาณลิเทียมในนมจะอยู่ในช่วง 0.01 - 0.50 mg/kg และเนื้อปลาทะเล 0.00 - 0.58 mg/kg สำหรับปริมาณแคลเซียมในนมจะมีปริมาณสูง คืออยู่ในช่วงจาก 1,010.0 - 2,020.0 mg/kg แต่ในเนื้อปลาจะมีปริมาณแคลเซียมที่ไม่แน่นอนอยู่ระหว่าง 40 - 1,052 mg/kg จากนั้นทำการคำนวณหาอัตราส่วนเฉลี่ยของสตรอนเทียมและแคลเซียมในนมและโยเกิร์ตจะมีค่าประมาณ 0.32 mg และในเนื้อปลาทะเลจะมีค่าประมาณ 3.84 mg

ปี ค.ศ. 2004 จากการค้นคว้าเอกสารโครงการที่เกี่ยวข้อง พบว่าโครงการของศุภารัตน์ เข็มพิลา และเจนจิรา จันทรหาล้า<sup>19</sup> ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่างโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี โวลแทมเมตรี และคัลเลอริเมตรี เพื่อหาความผิดพลาดแบบ

วิธีการเติมสารมาตรฐาน จากการทดลองพบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณคอปเปอร์(II) เหล็ก(II) และโครเมียม(III) โดยเทคนิคอะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรีที่มีความผิดพลาดมากที่สุด ซึ่งค่าที่ได้นั้นไม่สามารถยอมรับได้ แต่เมื่อเทียบกับความผิดพลาดที่ได้จากการแก้ไขค่าเนื่องจากการทำกราฟมาตรฐาน (calibration graph) ที่ไม่ผ่านจุด (0,0)แล้ว พบว่าความผิดพลาดที่ได้ มีค่าน้อยกว่าและสามารถยอมรับได้ และผลการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตโดยเทคนิคคลอริเมตรี มีความผิดพลาดน้อยที่สุด จึงไม่จำเป็นต้องทำการแก้ไขข้อมูล ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว(II) และสังกะสี(II) มีความผิดพลาดน้อยมาก



### บทที่ 3 วิธีการทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์: SpectrAA 220, Varian, Australia.
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง: HA- 202M, A & D company, Japan.
3. เตาเผา: Fisher Scientific, Isotherm Muffle furnace, Canada.
4. เตาไฟฟ้า: Fisher Scientific, USA.
5. ตะเกียงแอลกอฮอล์
6. บีกเกอร์ ขนาด 50 ml
7. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50 ml, 100 ml, 250 ml
8. ถ้วยระเหย
9. กรวยกรองแก้ว
10. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
11. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
12. ขวดพลาสติกฝาเกลียว ขนาด 60 ml, 120 ml, 250 ml
13. ปิเปตขนาด 10 ml
14. ลูกยาง 3 ทาง
15. คีมคีบ

#### 3.2 สารเคมี

1. แคลเซียมคาร์บอเนต:  $\text{CaCO}_3$  (M.W. 100.09) AR grade, Fisher.
2. กรดไฮโดรคลอริก: HCl เข้มข้น 36.5 -38%, (M.W. 36.46 ) AR grade, J.T Baker, USA.
3. กรดไนตริก:  $\text{HNO}_3$  (M.W.63.01) AR grade, 69.6%, J.T Baker, USA.
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์:  $\text{H}_2\text{O}_2$  (M.W.32.02) AR grade, J.T Baker, USA.
5. ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Calmax, Unilab pharmaceuticals, co., LTD, Samutprakarn.
6. ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Calplus MZ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด เวสโก ฟาร์มาซูติคอลล, กรุงเทพฯ.

7. ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม OSKEPT

8. ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Oyst-Cal 500, Goldline laboratories, INC, Miami.

9. ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม CAL-DOXON, Millimed company limited,

Samutprakarn.

10. ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม KAL-CEE ORANGE, บริษัท บี.แอล.ฮั่ว จำกัด, กรุงเทพฯ.

11. นมผงดูเม็กซ์ ดูโกร สูตรแครอท, ดูเม็กซ์ จำกัด, สมุทรปราการ.

12. นมผง Dumex Hi-Q 1 plus, บริษัท ดูเม็กซ์ จำกัด, สมุทรปราการ.

13. นมผงเอนฟาโกร รสจืด, บริษัท บริสตอล-ไมเยอร์ส สควิบบี ไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

14. น้ำประปา

15. น้ำปราศจากไอออน

### 3.3 การเตรียมสารละลาย

#### 3.3.1 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) 1000 ppm

เตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1000 ppm โดยชั่ง  $\text{CaCO}_3$  มา 0.6243 กรัม แล้วหยดกรด HCl เข้มข้นจนละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 250 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดปรับปริมาตร

#### 3.3.2 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) 25 ppm

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) เข้มข้น 25 ppm โดยการปิเปตจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) 1000 ppm มา 6.25 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

#### 3.3.3 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) 20 ppm

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) เข้มข้น 20 ppm โดยการปิเปตจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (II) 1000 ppm มา 2 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 ตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II)

- เตรียมสารละลายตัวอย่างแคลเซียม(II) เข้มข้น 30 ppm โดยการปิเปตจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) 1000 ppm มา 1.5 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

- เตรียมสารละลายตัวอย่างแคลเซียม(II) เข้มข้น 20 ppm โดยการบีบเปิดจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) 1000 ppm มา 1 ml ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปริมาตร

### 3.4.2 น้ำประปา

- เก็บน้ำประปาตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการ 307 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

- นำน้ำประปามา 50 ml ย่อยด้วยกรดไนตริก 10 ml จากนั้นต้มบนเตาไฟฟ้าจนเกือบแห้ง ให้เหลือประมาณ 5 – 10 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml

### 3.4.3 นมผงดูเม็กซ์ ดูโกร, Dumex Hi-Q และเลนฟาโกร

ชั่งนมผงตัวอย่างมา 0.5 g ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.0001 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ย่อยด้วยกรดไนตริก 10 ml สลับกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 ml ตั้งบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 - 80 °C จนได้สารละลายใส เทสารละลายตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

### 3.4.4 ผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม Calmax, Calplus MZ, OSKEPT, Oyst-Cal 500, CALDOXON และ KAL-CEE ORANGE

1. ชั่งผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมตัวอย่างมา 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.0001 กรัม ใส่ในถ้วยระเหย
2. เผาด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ เพื่อไล่ความชื้นไม่ให้เกิดการลุกไหม้ภายในเตาเผา (เผาในตู้ดูดควัน)
3. เมื่อเผาจนหมดควันแล้วใส่ในเตาเผา เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง หรือจนกว่าสีของถ้ำเป็นสีขาวหรือขาวเทา
4. เมื่อเผาจนสีของถ้ำเป็นสีขาวหรือขาวเทาแล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
5. จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 ml และเติมน้ำปราศจากไอออนร้อนประมาณ 10 ml ถ้าถ้ำละลายไม่หมดให้นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า โดยให้เดือดเบา ๆ เพื่อละลายถ้ำให้หมด



6. เทสารละลายตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 ml ชะด้วยตัวอย่างด้วยน้ำปราศจากไอออนร้อน 3 - 4 ครั้ง

7. ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปรับปริมาตร

8. ทำการเจือจางสารละลายตัวอย่าง โดยการปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 5 ml ลงในขวดปรับปริมาตร 50 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปรับปริมาตร

### 3.4.5 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) และน้ำประปา

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) ให้มีความเข้มข้น 1 2 3 4 และ 5 ppm จากการเจือจางจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) เข้มข้น 20 ppm โดยปิเปตมาดังนี้ 1 2 3 4 และ 5 ml ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งมีสภาวะการทดลอง ดังต่อไปนี้ โดยใช้น้ำปราศจากไอออนเป็น blank

- Lamp Current	:	10 mA
- Slit width	:	0.5 nm
- Mode	:	BGC ON
- Wave length	:	422.7 nm
- Conc. Unit	:	ppm

นำผลที่ได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) กับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียม(II)

### 3.4.6 การสร้างกราฟสำหรับการวิเคราะห์แบบวิธีการเติมสารละลายมาตรฐานของแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) และน้ำประปา

เตรียมสารละลายเช่นเดียวกันกับการเตรียมกราฟมาตรฐานข้างต้นแต่เพิ่มสารละลายตัวอย่างเข้าไป 5 ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ นำผลที่ได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียม(II)



สำนักหอสมุด

### 3.4.7 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์นมผง ตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมตัวอย่าง

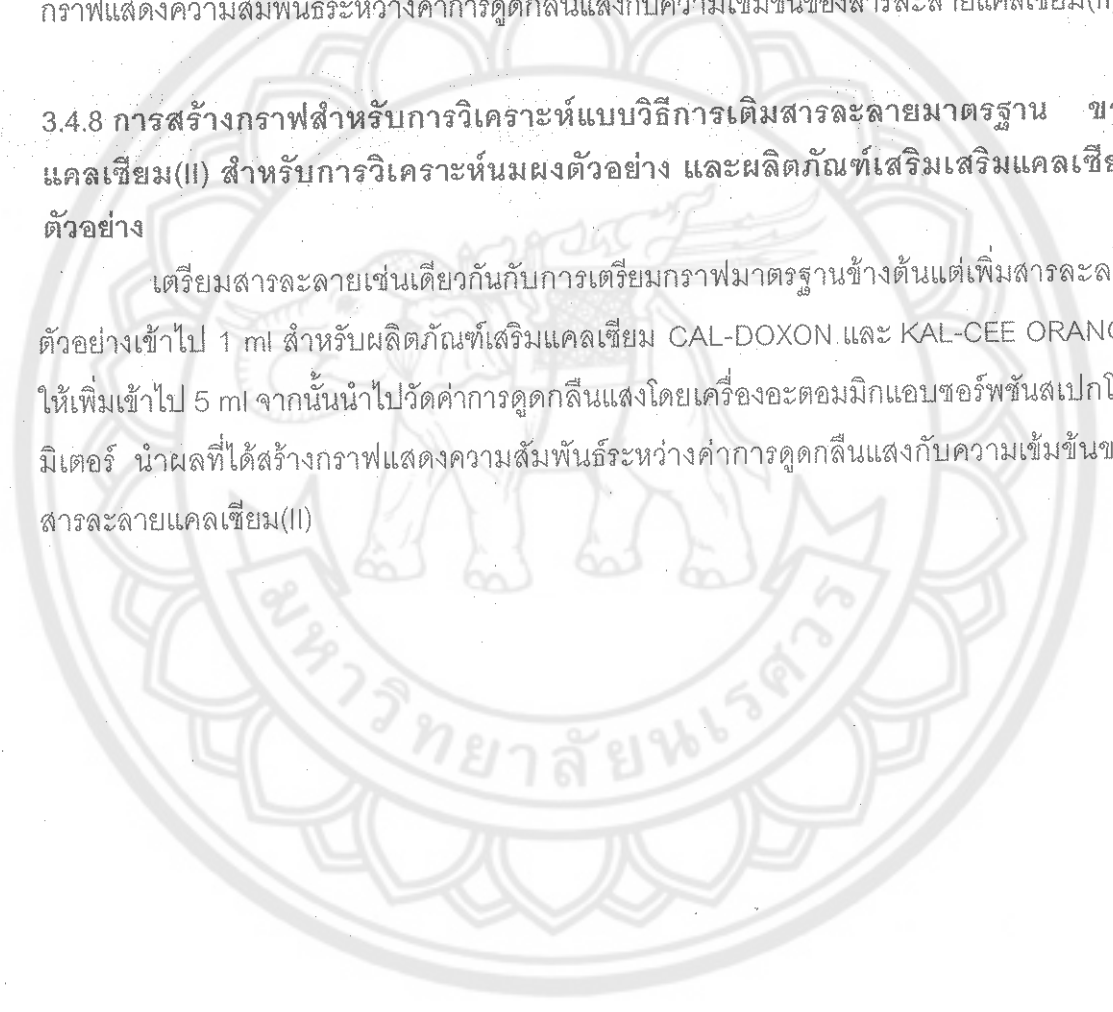
13 JUL 2011

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมให้มีความเข้มข้น 1 2 3 4 และ 5 ppm จากการ  
เจือจางจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) เข้มข้น 25 ppm โดยปิเปตมาดังนี้ 2 4 6 8 และ 10  
ml ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน  
จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ นำผลที่ได้สร้าง  
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียม(II)

๑  
๑๐  
117  
P5  
๘๖๕๖๕  
๘๖๖๐

### 3.4.8 การสร้างกราฟสำหรับการวิเคราะห์แบบวิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน ของ แคลเซียม(II) สำหรับการวิเคราะห์นมผงตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม ตัวอย่าง

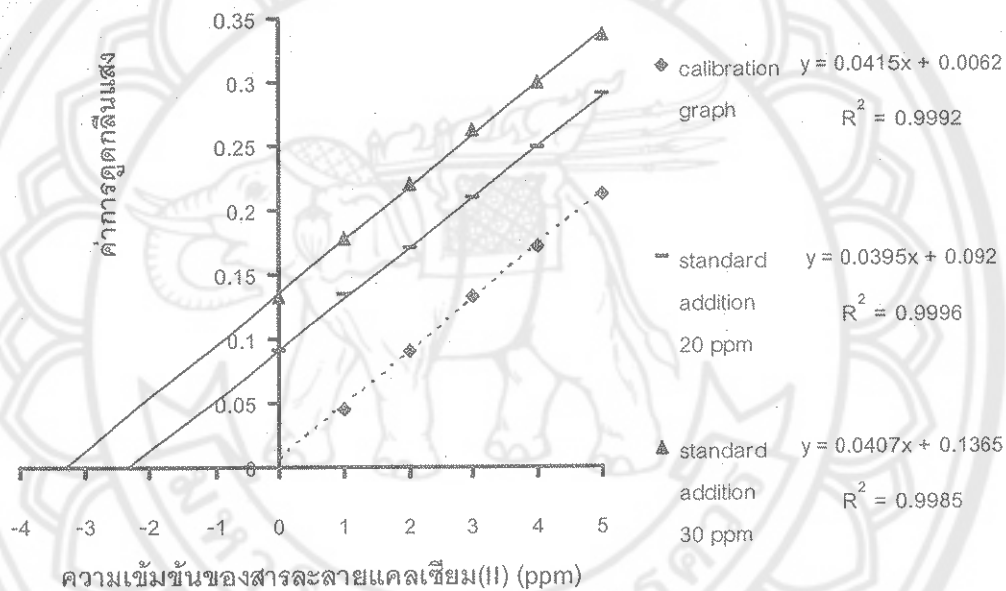
เตรียมสารละลายเช่นเดียวกันกับการเตรียมกราฟมาตรฐานข้างต้นแต่เพิ่มสารละลาย  
ตัวอย่างเข้าไป 1 ml สำหรับผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม CAL-DOXON และ KAL-CEE ORANGE  
ให้เพิ่มเข้าไป 5 ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทร  
มิเตอร์ นำผลที่ได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ  
สารละลายแคลเซียม(II)



## บทที่ 4 ผลการทดลอง

### 4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) โดยใช้การทำ Calibration graph และวิธี Standard addition graph โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี ได้ผลการทดลองดังรูป 4.1 และตาราง 4.1 และ 4.2



รูป 4.1 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II)

ตาราง 4.1 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph

สารตัวอย่าง	Calibration graph		Standard addition graph	
	ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้	% ความผิดพลาด	ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้	% ความผิดพลาด
สารมาตรฐาน 20 ppm	20.4	2.0	23.3	16.5
สารมาตรฐาน 30 ppm	30.6	2.0	33.5	11.7

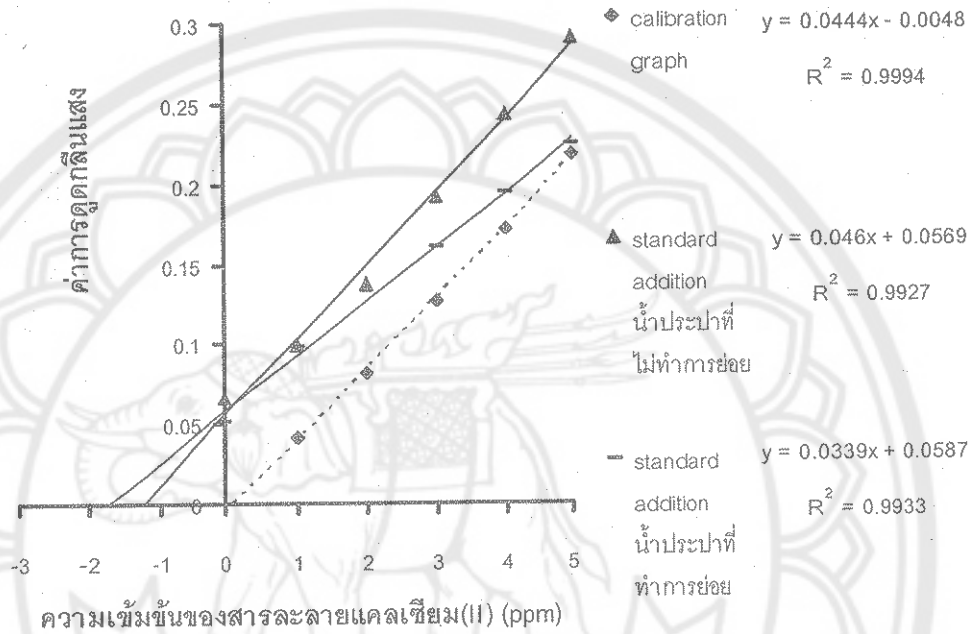
ตาราง 4.2 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่า

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ โดยวิธี Standard addition graph (ppm)	
	ก่อนทำการแก้ไขค่า	หลังจากทำการแก้ไขค่า
สารมาตรฐาน 20 ppm	23.3	21.8
สารมาตรฐาน 30 ppm	33.5	32.0

จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Standard addition graph เปรียบเทียบความผิดพลาดของวิธี Standard addition graph ยังมีความผิดพลาดอยู่มาก เมื่อทำการแก้ไขค่าเนื่องจาก Calibration graph ไม่ผ่านจุด (0,0) แล้ว ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น เมื่อทำการทดสอบแบบที (t - test) ระหว่างความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph กับค่าจริง และการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph กับค่าจริง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี แต่จากผลการทดลองความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ ทั้งสองวิธียังแตกต่างกันเล็กน้อย แม้ว่าจะทำการแก้ไขค่าที่วิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph แล้ว ซึ่งอาจเกิดจากความชันของ Calibration graph และ Standard addition graph ไม่เท่ากัน จึงทำให้ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Standard addition graph ยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้น

#### 4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในน้ำประปา

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในน้ำประปาที่ไม่ได้ทำการย่อยด้วยกรดกับน้ำประปาที่ทำการย่อยด้วยกรด โดยการใช้การทำ Calibration graph และวิธี Standard addition graph ได้ผลการทดลองดังรูป 4.2 และตาราง 4.3



รูป 4.2 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียม(II) ในน้ำประปา

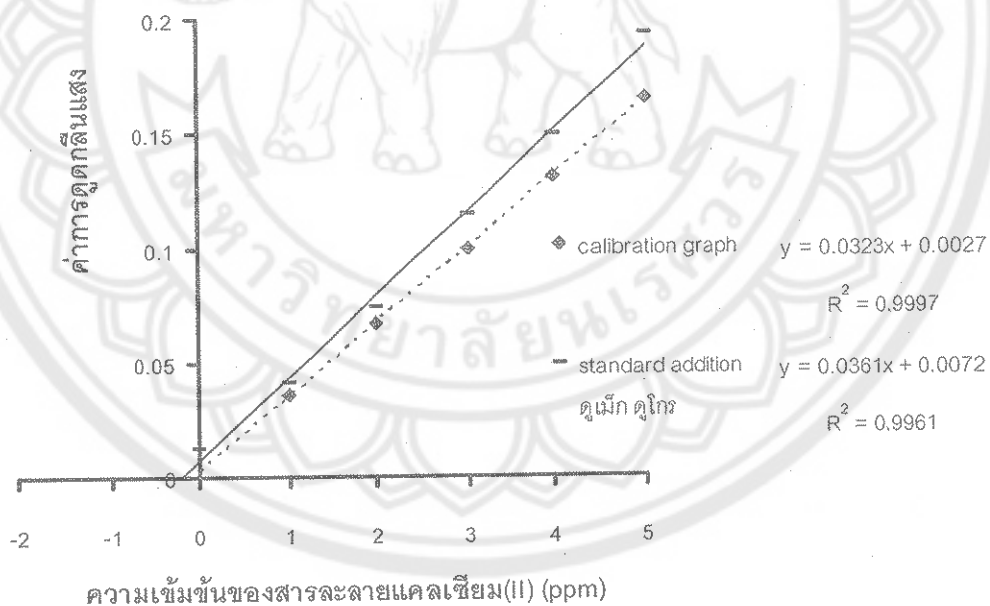
ตาราง 4.3 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ได้ (ppm)	
	Calibration graph	Standard addition graph
น้ำประปาที่ไม่ทำการย่อย	16.1	12.4
น้ำประปาที่ทำการย่อย	12.5	17.3

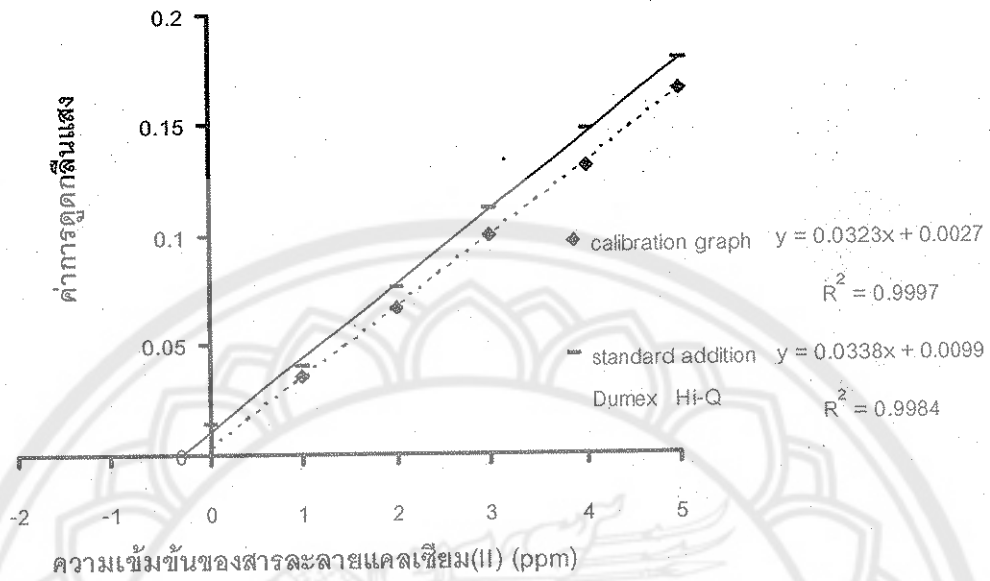
จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ได้ในน้ำประปา โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph มีค่าต่างกันพอสมควร และความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ในน้ำประปาที่ทำการย่อย และไม่ทำการย่อยจะมีค่าแตกต่างกัน จากกราฟที่ได้จะเห็นว่ากราฟของวิธี Standard addition ของน้ำประปาที่ทำการย่อยมีความชันต่างจาก Calibration graph ในขณะที่กราฟของวิธี Standard addition ของน้ำประปาที่ไม่ทำการย่อยมีความชันที่ใกล้เคียงกับ Calibration graph แต่เมื่อนำความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ไปทดสอบแบบที่ (t - test) พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างนมผง

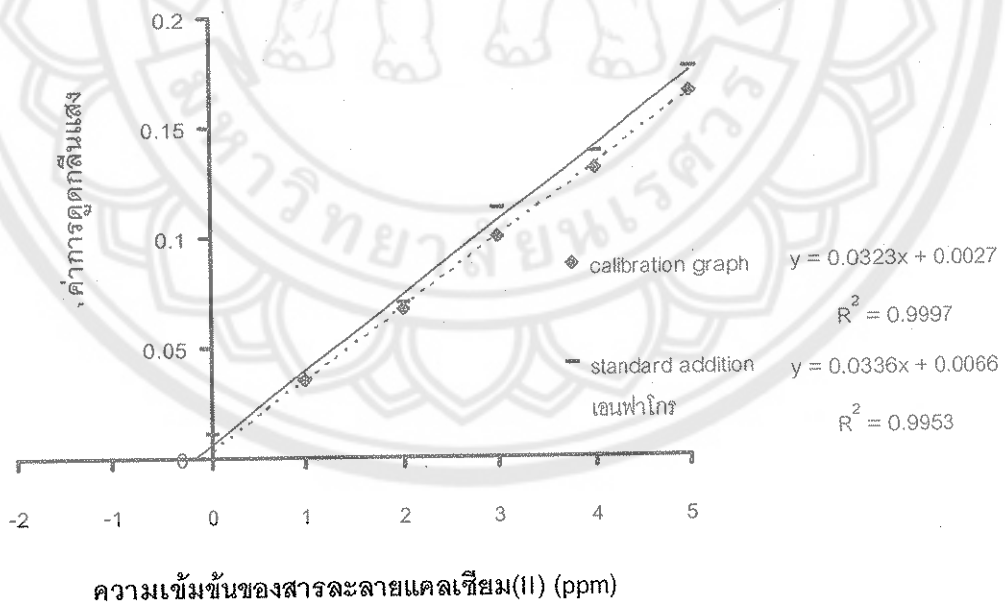
ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างนมผงทั้ง 3 ชนิด โดยใช้การทำ Calibration graph และวิธี Standard addition graph ได้ผลการทดลองดังรูป 4.3 - 4.5 และตาราง 4.4



รูป 4.3 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียม(II) ของตัวอย่างนมผงดูเม็ก ดูโกร



รูป 4.4 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียม(II) ของตัวอย่างนมผง Dumex Hi-Q



รูป 4.5 Calibration graph และ Standard addition graph สำหรับการหาปริมาณแคลเซียม(II) ของตัวอย่างนมผงเอนฟาโกลด์

ตาราง 4.4 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph

สารตัวอย่างนมผง	ความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ได้ (ppm)	
	Calibration graph*	Standard addition*
ดูเม็ก ดูโกร	30.7	19.9
Dumex Hi-Q	32.8	29.3
เอนฟาโกร	26.0	19.6

\* หมายเหตุ ความเข้มข้นของตัวอย่างนมผงที่วิเคราะห์ได้ต่อนมผง 1 กรัม

จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมในนมผงตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph และวิธี Standard addition graph นั้นมีค่าต่างกันอย่างมาก เมื่อนำไปทดสอบแบบที (t - test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระหว่างความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph กับวิธี Standard addition graph พบว่าการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่จากผลการทดลองความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ทั้งสองวิธีนั้นมีค่าต่างกันมาก ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากความชันของ Calibration graph และ Standard addition graph ไม่เท่ากัน จึงทำให้ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ทั้งสองวิธีแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดนี้ยากจะทำการแก้ไขค่าให้ถูกต้องได้

#### 4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม(II) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียม โดยใช้การทำ Calibration graph และวิธี Standard addition graph ได้ผลการทดลองดังตาราง 4.5 และ 4.6



ตาราง 4.5 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์ โดยวิธี Calibration graph และ Standard addition graph

สารตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ เสริมแคลเซียม	ปริมาณ แคลเซียม อ้างอิง (mg/เม็ด)	Calibration graph		Standard addition graph	
		ความเข้มข้นที่ วิเคราะห์ได้	% recovery	ความเข้มข้นที่ วิเคราะห์ได้	% recovery
Calmax	600	604.6	100.8	741.9	123.6
Calplus MZ	500	492.1	98.4	550.9	110.2
OSKEPT	600	622.3	103.7	716.7	119.4
Oyst-Cal 500	500	472.2	94.4	558.2	111.6
CAL-DOXON	250	247.5	99.0	287.3	115.0
KAL-CEE ORANGE	250	239.4	95.8	279.2	111.7

ตาราง 4.6 ปริมาณแคลเซียมจากการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่า

สารตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เสริมแคลเซียม	ความเข้มข้นของแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ได้ โดยวิธี Standard addition graph (mg/เม็ด)	
	ก่อนทำการแก้ไขค่า	หลังจากทำการแก้ไขค่า
Calmax	741.9	728.0
Calplus MZ	550.9	535.2
OSKEPT	716.7	703.2
Oyst-Cal 500	558.2	546.6
CAL-DOXON	287.3	279.6
KAL-CEE ORANGE	279.2	271.2

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณแคลเซียมในผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด ที่วิเคราะห์โดยวิธี Calibration graph ใกล้เคียงกับปริมาณอ้างอิงมากกว่าที่วิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph และมีเปอร์เซ็นต์คืนกลับใกล้เคียง 100% มากกว่า เมื่อทำการทดสอบแบบที่ (t - test) ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph กับปริมาณอ้างอิง และค่าที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Standard addition graph กับปริมาณอ้างอิง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี และเมื่อทำการแก้ไขค่าที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี standard addition graph เนื่องจาก Calibration graph ไม่ผ่านจุด (0,0) แล้ว ค่าที่วิเคราะห์ได้ยังต่างจากปริมาณอ้างอิง แต่เมื่อทำการทดสอบแบบที่ (t - test) ระหว่างค่าที่วิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph ที่ทำการแก้ไขค่าแล้วกับปริมาณอ้างอิง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่จากผลการทดลองปริมาณแคลเซียมที่คำนวณหลังจากการแก้ไขค่าแล้ว ยังมีค่าที่ต่างจากปริมาณอ้างอิงมากพอสมควร ซึ่งสาเหตุของความผิดพลาดนี้ น่าจะเกิดจากความชันของ Calibration graph และ Standard addition graph ไม่เท่ากัน จึงทำให้ปริมาณของแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Standard addition graph ต่างจากปริมาณอ้างอิง และต่างจากปริมาณที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่างที่เตรียมขึ้นจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) น้ำประปาตัวอย่าง นมผงตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารแคลเซียมตัวอย่างโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (AAS) พบว่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียม(II) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Calibration graph และความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้โดย Standard addition graph เมื่อนำไปเทียบกับค่าจริงของสารตัวอย่างมาตรฐานเข้มข้น 20 ppm และ 30 ppm พบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Calibration graph มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph และความผิดพลาดที่ได้จากวิธี Standard addition graph มีค่ามาก แต่เมื่อทำการแก้ไขค่าเนื่องจาก Calibration graph ไม่ผ่านจุด(0,0) แล้ว ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น ทำให้ความผิดพลาดที่ได้จากการแก้ไขค่าแล้วมีค่าน้อยลงและสามารถยอมรับได้ เมื่อทำการทดสอบแบบที (t - test) ระหว่างความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ โดยวิธี Calibration graph กับค่าจริง และการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph กับค่าจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในน้ำประปาตัวที่ไม่ทำการย่อย และน้ำประปาที่ทำการย่อยแล้ว พบว่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์โดยวิธี Calibration graph กับวิธี Standard addition graph มีความแตกต่างกันมาก เมื่อทดสอบแบบที (t - test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าผลการวิเคราะห์ของทั้งสองวิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในนมผงตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ดูเม็ก ดูโกร Dumex Hi-Q และเอนฟาโกร พบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในตัวอย่างนมผงทั้ง 3 ชนิด ที่วิเคราะห์โดยวิธี Calibration graph กับวิธี Standard addition graph มีความแตกต่างกันมาก แต่เมื่อนำความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ ไปทำการทดสอบแบบที (t - test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี

การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในผลิตภัณฑ์เสริมแคลเซียมตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ Calmax, Calplus MZ, OSKEPT, Oyst-Cal 500, CAL-DOXON และ KAL-CEE ORANGE พบว่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์โดยวิธี Calibration graph ได้ผลใกล้เคียงกับปริมาณอ้างอิงมากกว่าการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph และวิธี Standard addition graph มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากกว่า เมื่อทำการแก้ไขค่าแล้ว ผลที่ได้ยังต่างจากปริมาณอ้างอิงมาก แต่เมื่อทำ

การทดสอบแบบที (t - test) ระหว่างความเข้มข้นที่วิเคราะห์โดยวิธี Calibration graph กับปริมาณอ้างอิง และการวิเคราะห์โดยวิธี Standard addition graph กับปริมาณอ้างอิง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้



### บรรณานุกรม

- 1) ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. (2543). เคมีวิเคราะห์ 1. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- 2) อนิวัตร บัณฑิตโก. (2548). การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเพื่อการควบคุมคุณภาพตรวจสอบในระบบบำบัดและสิ่งแวดล้อม. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก [http://www.navy.mi.th/science/Webpage/newdocument/doc\\_water.htm](http://www.navy.mi.th/science/Webpage/newdocument/doc_water.htm).
- 3) ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. (2547). สารปนเปื้อนในน้ำ. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก <http://www.scithai.com/explore/content.asp?id=55&cat=23>.
- 4) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (ไม่ปรากฏปีที่เผยแพร่). น้ำกระด้าง. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 จาก <http://www.ipst.ac.th/chemistry/articles11/water.htm>.
- 6) Francisco Burzi. (2548). น้ำกระด้าง. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 จาก <http://www.4uengineer.com/modules.php?name=News&file=article&sid=64>.
- 7) ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. (ไม่ปรากฏปีที่เผยแพร่). ประโยชน์ของนม. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก <http://www.dusitecom.com/taradnut/mbdetail.php?id=F110697>.
- 8) ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. (ไม่ปรากฏปีที่เผยแพร่). คู่มือผู้บริโภค. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก [http://www.tisi.go.th/consumer\\_guide/beverage.html](http://www.tisi.go.th/consumer_guide/beverage.html).
- 9) กองโภชนาการ. (2535). นมและผลิตภัณฑ์นม. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก <http://food.toryod.com/yodfoodPRODUCTdairy.php>.
- 10) สรจักร ศิริบริรักษ์. (2542). เกลือแร่กับโรคหัวใจ. สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก [http://www.elib-online.com/doctors/med\\_heart4.html](http://www.elib-online.com/doctors/med_heart4.html).
- 11) ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. (2548). แคลเซียม (Calcium). สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก [http://www.healthdd.com/article/article\\_preview.php?id=41](http://www.healthdd.com/article/article_preview.php?id=41).
- 12) ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง. (2547). เรื่องน่ารู้ของอาหารเสริม. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก <http://www.siamaircare.com/nutrient/mainframe.htm>.
- 13) แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. (2534). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

- 14) James S. Schenk, George H. Fritz. (1997). Quantitative Analytical chemistry. Avenue Newton. Massuch usehs.
- 15) วุฒิรัตน์ จารุวาระกุล. (2548). หลักการและการแก้ปัญหาเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์. สืบค้นเมื่อ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550. จาก <http://www.dpim.go.th/dt/pper/000001124857266.pdf>.
- 16) Van Staden JF, Van Rensburg A. (1990). Simultaneous determination of total and free calcium in milk by flow injection. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม พ.ศ. 2550. จาก [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list\\_uids=2396746&dopt=Abstract](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=2396746&dopt=Abstract).
- 17) Miguel Angel De La Fuente, Belén Carazo and Manuela Juárez. (1996). Determination of Major Minerals in Dairy Products Digested in Closed Vessel Using Microwave Heating. สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม พ.ศ. 2550. จาก <http://jds.fass.org/cgi/content/abstract/80/5/806>.
- 18) Keith S. Kosteka. (2000). Atomic Absorption Spectroscopy of Calcium in Foodstuffs in Non-Science-Major Courses. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม พ.ศ. 2550. จาก <http://jchemed.chem.wisc.edu/Journal/Issues/2000/Oct/abs1321.html>.
- 19) Nabrzycki M, Gajewska R. (2002). Content of strontium, lithium and calcium in selected milk products and in some marine smoked fish. สืบค้นเมื่อ 9 มกราคม พ.ศ. 2550. จาก [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list\\_uids=12108223&dopt=Abstract](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=12108223&dopt=Abstract).
- 20) ศุภรัตน์ เข้มพิลา และเจนจิรา จันทร์หุ้ม. (2547). การศึกษาค่าความผิดพลาดของการเติมสารมาตรฐานโดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี โวลแทมเมตรี และคัลเลอริเมตรี. โครงการงานการศึกษาคัดระ วิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมี, มหาวิทยาลัยนเรศวร.