



โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การวิเคราะห์แร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในนมผงโดยอาศัยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์  
Analysis of mineral nutrient content in milk powder using X-ray fluorescence (XRF)

ชื่อนิสิต นางสาวนันทนัช เลิศอนันต์สิทธิ์ เลขประจำตัว 6033049023  
ภาควิชา เคมี  
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์แร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในนมผงโดยอาศัยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรส  
เซนซ์

Analysis of mineral nutrient content in milk powder using X-ray  
fluorescence (XRF)

โดย  
นางสาวนันทน์ช เลิศอนันต์สิทธิ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

โครงการ การวิเคราะห์แร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในนมผงโดยอาศัยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

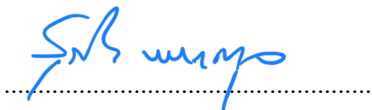
โดย นางสาวนันทน์ เลิศอนันต์สิทธิ์

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- |                                      |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| 1. อาจารย์ ดร.จัญจดา อุ่นเรืองศรี    | ประธานกรรมการ    |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.วิทยา เรืองพรสุทธิ | กรรมการ          |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ พรภคกุล | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ พรภคกุล)  
อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ โฮเวน)  
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ ๒๘. เดือน ธันวาคม พ.ศ.2563

ชื่อโครงการ                      การวิเคราะห์แร่ธาตุอาหารที่มีอยู่ในนมผงโดยอาศัยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์  
ชื่อนิสิตในโครงการ            นางสาวนันทน์ช เลิศอนันต์สิทธิ์      เลขประจำตัว 6033049023  
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา            รองศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย พรภคกุล  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

### บทคัดย่อ

คุณภาพของนมผงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในภาคอุตสาหกรรมการแปรรูปนมผง การตรวจสอบคุณภาพและวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นมผงจึงมีความสำคัญมาก การตรวจสอบคุณภาพด้านแร่ธาตุตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เป็นที่นิยมในภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่าง สามารถทำการวิเคราะห์ที่ได้โดยตรงต่อสารตัวอย่างของแข็ง และไม่ทำลายสารตัวอย่าง ดังนั้นการทราบผลการวิเคราะห์ที่ได้รวดเร็วจึงส่งผลดีต่อการส่งออกและการจัดจำหน่ายสินค้า บริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ได้ดำเนินธุรกิจด้านการผลิต และจำหน่ายผลิตภัณฑ์นมผงที่มีคุณภาพสำหรับผู้ใหญ่ ทารกและเด็ก อย่างไรก็ตามบริษัทมีการวิเคราะห์แร่ธาตุในนมผงโดยอาศัยเทคนิค XRF และได้มีการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบของสามแร่ธาตุคือ แคลเซียม, เหล็ก และสังกะสี เส้นโค้งสอบเทียบนั้นยังที่มีช่วงความเข้มข้นไม่ครอบคลุมความเข้มข้นของสูตรนมผงที่มีอยู่ในโรงงานปัจจุบัน ดังนั้นโครงการนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุโดยเทคนิค XRF ได้แก่ การเตรียมสารตัวอย่าง (น้ำหนักสารตัวอย่าง, แรงดันที่ใช้ในการอัดสารตัวอย่าง ความชื้น และความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง) และตัวแปรต่างๆของเครื่องมือ (ศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า) จากนั้นทำการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบเพื่อการควบคุมคุณภาพแร่ธาตุอาหารในนมใหม่ และเพิ่มแร่ธาตุในการวิเคราะห์ใหม่สองแร่ธาตุ ได้แก่ โซเดียม และแมกนีเซียม สารตัวอย่างนมผงจำนวน 25 สูตร นำมาเป็นสารมาตรฐานวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม, แคลเซียม, เหล็ก, และสังกะสี พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์มีช่วงความเข้มข้นครอบคลุมปริมาณแร่ธาตุในนมผงแต่ละสูตรที่มีอยู่ในปัจจุบัน (9.35-31.18, 3.71-12.37, 19.25-64.16, 0.55-1.83, และ 0.17-0.55 mg/100 g สำหรับ Na, Mg, Ca, Fe, และ Zn ), และค่าความเข้มข้นสูงสุดที่วิเคราะห์ และยอมรับได้เท่ากับ 575.32, 245.03, 2311.34, 60.02 และ 17.88 mg/100 g

คำสำคัญ:      เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์, นมผง, แร่ธาตุอาหาร



Project Title                    Analysis of mineral nutrient content in milk powder using X-ray fluorescence (XRF)

Student Name                  Miss Nuntanuch Lersanantasil                  Student ID 6033049023

Advisor Name                  Associated Professor Surachai Pornpakakul, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

### Abstract

Quality of milk powder is an important factor in milk processing industry. Quality check and quantitative method of nutrient content in products are also crucial. Analysis of mineral nutrient content in milk powder using X-ray fluorescence is popular in major industry because it is easy technique, rapid, no need of sample preparation, direct analysis with sample surface, and non-destructive. Therefore, fast of quantitative result provided by XRF benefits exporting and saling product. Mead Johnson Nutrition (Thailand) Co, Ltd. (MJN) has a business on manufacturing and sale well quality of milk products for adults, babies, and kids. However, the company has a method of analysis of mineral nutrient content in milk powder using X-ray fluorescence and has three calibration curves of calcium, iron, and zinc but concentration rang of these calibration cuvres do not cover concentration rage of all formulation milk powder in the company. Thus, this research studied many parameters such as sample preparation

(mass, pressure, moisture, and homogeneity) and instrument condition (voltage, current) that affected on analysis of mineral nutrient content in milk powder using XRF and also provided new calibration curves for quality control of milk powder and for determining sodium and magnesium. Twenty five formulations of milk powder were used as standard samples for quantitative analysis of sodium, magnesium, calcium, iron, and zinc. Results of the study provided the improved methods for analysis of mineral nutrient content in milk powder using XRF which covered the concentration range of all formulation (9.35-31.18, 3.71-12.37, 19.25-64.16, 0.55-1.83, and 0.17-0.55 mg/100 g for Na, Mg, Ca, Fe, and Zn, respectively), and limit of linearity 575.32, 245.03, 2311.34, 60.02 and 17.88 mg/100 g

Keywords: X-ray fluorescence, milk powder, mineral nutrient

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและเล่มรายงานวิจัยฉบับนี้จะไม่สำเร็จได้หากไม่ได้รับความกรุณาจาก  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย พรภคกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความรู้ คำแนะนำต่างๆ รวมถึงแนวทางใน  
การดำเนินงานวิจัย อีกทั้งยังสละเวลาในการตอบคำถาม และยังให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบริษัท มีดี จอห์นสัน นิวทริชัน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์นมผง และ  
สารเคมีต่างๆสำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณคุณศิริพรรณ วัฒนะรัตน์ (พี่ปี) ผู้จัดการหน่วยงาน Quality control ที่ให้การต้อนรับอย่าง  
ดี ทั้งยังให้โอกาสในการรับฟังความรู้จากวิทยากรที่มาอบรมในส่วนเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆภายในหน่วยงาน

ขอขอบคุณคุณบุปผา แสงสุข (พี่เปิ้ล) และพี่ๆในหน่วยงาน Quality control ที่ให้ความรู้ และ  
คำแนะนำเกี่ยวกับนมผง การใช้เครื่องมือ ตลอดจนให้การช่วยเหลือในระหว่างการทำงาน งานวิจัย และการใช้  
ชีวิตตลอดระยะเวลาการทำสหกิจศึกษา

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสศึกษาสหกิจศึกษา และสนับสนุนใน  
งานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมีที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนอย่าง  
เต็มที่ ทางผู้วิจัยระลึกในความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 การทดลอง</b>	<b>4</b>
2.1 นมผง	4
2.2 วิธีการวิเคราะห์แร่ธาตุในนมผง	4
2.3 เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ และการวิเคราะห์แร่ธาตุ	6
2.4 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	8
2.5 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (Method Validation)	10
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	<b>12</b>
3.1 การเก็บตัวอย่าง	12
3.2 การเตรียมความเข้มข้นของสารตัวอย่าง	12
3.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy	12
3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry	13
3.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry	13
3.6 การตรวจสอบความใช้ได้ของเส้นโค้งการสอบเทียบ	16
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>17</b>

## สารบัญต่อ

	หน้า
4.1 ลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการวิเคราะห์โดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	17
4.2 ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง	20
4.3 สภาวะของเครื่องมือที่มีผลต่อการวิเคราะห์โดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	20
4.4 การสร้างเส้นโค้งสอบเทียบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	24
4.5 การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ และความเข้มข้นต่ำสุดกับสูงสุดที่ยอมรับได้	26
4.6 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์	28
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>	<b>37</b>
เอกสารอ้างอิง	39
ประวัติผู้วิจัย	40

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงช่วงค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆในนมผงสูตรต่างๆ	12
ตารางที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างในแต่ละจำนวนที่มีน้ำหนักแน่นอน	17
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างของแร่ธาตุสามชนิดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF จากการสุ่มสารตัวอย่างชนิดเดียวกันจำนวน 10 ซ้ำ	20
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ และยอมรับได้ของแร่ธาตุห้าชนิดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF	27
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุด และ สูงสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ และยอมรับได้ของแร่ธาตุห้าชนิดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF	28
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุสังกะสี	29
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุเหล็ก	30
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุแคลเซียม	31
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุแมกนีเซียม	32
ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุโซเดียม	33
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี	34
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก	35
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม	35
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุแมกนีเซียม	36
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุโซเดียม	36

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงสารอาหารที่มีอยู่ในนม	1
รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์นมผงที่มีจำหน่ายของบริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด	1
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของนมผง	4
รูปที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์	6
รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดปฏิกิริยากับรังสีเอกซ์ของอะตอม	7
รูปที่ 2.4 แสดงเวลาต่างๆที่ใช้ในการศึกษาปริมาณวิเคราะห์แร่ธาตุในผลิตภัณฑ์นม	7
รูปที่ 3.1 แสดงรูปซ้อนตวงที่ใช้ในการตักสารตัวอย่าง	13
รูปที่ 3.2 แสดงรูปภาพขณะรองรับสาร	13
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องอัด hydraulic แบบอัตโนมัติ และภาชนะทนแรงดัน	14
รูปที่ 3.3 แสดงเครื่อง XRF	14
รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF	15
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนของสารตัวอย่างและความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่แรงดัน 5 และ 8 ตันของการวิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี	18
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนของสารตัวอย่างและความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่แรงดัน 5 และ 8 ตันของการวิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก	18
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนของสารตัวอย่างและความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่แรงดัน 5 และ 8 ตันของการวิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม	19
รูปที่ 4.4 แสดงสารตัวอย่างที่ทิ้งไว้ให้ดูดความชื้น	19
รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 5 kV	21
รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV 100 $\mu$ A	22
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 22 kV	22
รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 30 kV และ 15 kV	23
รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV 200 $\mu$ A	23
รูปที่ 4.10 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, และแคลเซียมก่อนตัด background	24
รูปที่ 4.11 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุโซเดียม	25
รูปที่ 4.12 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุแมกนีเซียม	25
รูปที่ 4.13 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุสังกะสี	25
รูปที่ 4.14 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุเหล็ก	26
รูปที่ 4.15 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุแคลเซียม	26

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี	29
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก	30
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม	31
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุแมกนีเซียม	32
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุโซเดียม	33

## สารบัญคำย่อ

XRF	X-ray fluorescence
ICP	Inductively couple plasma
MS	Mass spectrometry
mg	milligram
g	gram
$\mu$ A	microampere
kV	Kilovolt
EDXRF	Energy dispersive X-ray fluorescence



# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นมผงถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญสำหรับการบริโภคอย่างหนึ่งเนื่องจากง่ายในการเตรียมเพื่อบริโภค สะดวกในการเก็บรักษา และยังอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิด เช่น วิตามิน แร่ธาตุ สารสื่อประสาท เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แสดงสารอาหารที่มีอยู่ในนม

สำหรับภาคอุตสาหกรรมคุณภาพของนมผงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะส่งผลต่อการเลือกบริโภค ผลิตภัณฑ์ของผู้คนในสังคม ผู้ผลิตจึงทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นนมผงที่บรรจุสารอาหารหลายชนิดที่ได้มาตรฐาน<sup>[1]</sup>



เอนฟามามา เอพลัส

เอนฟาโกร 3 สมาร์ทพลัส

เอนฟาโกร เอพลัส มายด์โปร สูตร 3

เอนฟาโกร เอพลัส มายด์โปร เจนเทิล แคร์

เอนฟาโกร เอพลัส มายด์โปร สูตร 4

ดีเอชเอ พลัส เอ็มเอฟจีเอ็ม โปร 3

รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์นมผงที่มีจำหน่ายของบริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด

แร่ธาตุอาหารในนมผงที่บริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ศึกษาและสนใจประกอบด้วย แร่ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, คลอรีน, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส, เหล็ก, ทองแดง, สังกะสี, และซีลีเนียม ในการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในนมผงมีเทคนิคมากมาย เช่น

Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS), Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES), Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) และ X-ray fluorescence spectrometry (XRF) เทคนิค XRF เป็นเทคนิคที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยตรงต่อสารตัวอย่างของแข็งโดยไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่าง ในขณะที่เทคนิค FAAS, ICP-OES และ ICP-MS ต้องมีการเตรียมสารตัวอย่างด้วยการใช้กรดในการย่อยสารอินทรีย์ก่อนการวิเคราะห์ ดังนั้นเทคนิค XRF จึงเป็นเทคนิคที่รวดเร็ว ใช้เวลาน้อยในการวิเคราะห์และสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว บริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด ได้มีการวิเคราะห์แร่ธาตุในนมผงโดยอาศัยเทคนิค XRF และได้มีการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบของสามแร่ธาตุคือ แคลเซียม, เหล็ก และสังกะสี อย่างไรก็ตามเส้นโค้งสอบเทียบยังมีความเข้มข้นไม่ครอบคลุมความเข้มข้นของสูตรนมผงที่มีอยู่ในโรงงานปัจจุบัน ดังนั้นโครงการนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุแคลเซียม, เหล็ก และสังกะสีโดยเทคนิค XRF การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์, ความชื้น, ความเป็นสม่าเสมอ และความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่างและตัวแปรต่างๆของเครื่องมือ XRF ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ และกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อช่วงความเข้มข้นของแร่ธาตุ และการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบเพื่อการควบคุมคุณภาพแร่ธาตุอาหารในนม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ได้จากหน่วยการผลิตของ บริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด โดยอาศัยเทคนิค Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy และ Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometry เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ได้จากเทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry
2. สร้างเส้นโค้งการสอบเทียบจากความเข้มข้นที่คำนวณจากสัญญาณรังสีเอกซ์ของเทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry
3. ตรวจสอบความใช้ได้ของเส้นโค้งการสอบเทียบโดยเปรียบเทียบความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จาก Quality control และสารตัวอย่างนมผงสูตรต่างๆ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สร้างเส้นโค้งการสอบเทียบของธาตุ 5 ธาตุที่มีค่า limit of detection และ limit of linearity ครอบคลุมความเข้มข้นของสารตัวอย่างมากที่สุดโดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ พิจารณาสัญญาณที่ได้จากการปล่อยรังสีเอกซ์ที่ระดับพลังงานที่เหมาะสมของธาตุนั้นและธาตุเบาในการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่วัดจากสูตรนมผงต่างๆจากหน่วยผลิตนมผงของบริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด

เทียบกับความเข้มข้นที่ทราบจากเทคนิค Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy และ Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometry

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เส้นโค้งสอบเทียบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, และแคลเซียมในผลิตภัณฑ์นมผงที่มีช่วงความเข้มข้นที่กว้างขึ้น
2. ได้เส้นโค้งสอบเทียบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแร่ธาตุโซเดียม และแมกนีเซียมในผลิตภัณฑ์นมผง
3. ได้ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์แร่ธาตุอาหารในตัวอย่างนมผง

## บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 นมผง

นมผงผลิตมาจากน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีลักษณะเป็นผงแห้งละเอียด เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญในการนำมาบริโภค เนื่องจากมีความสะดวกในการเตรียม เก็บรักษา และยังอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากมาย ได้แก่ กรดอะมิโนมาตรฐาน 21 ชนิด วิตามินหลากชนิด เช่น วิตามินเอ, ดี, อี, เค, บี 6, บี 12, และซี รวมถึงแร่ธาตุมากมาย เช่น แมกนีเซียม, แคลเซียม, ซิงก์, โพแทสเซียม และเหล็ก ปัจจุบันนมผงได้มีการเพิ่มสารปรุงแต่งเพื่อบำรุงพัฒนาการของเด็กเพื่อให้นมผงนั้นมีสารอาหารใกล้เคียงนมแม่มากที่สุด เช่น DHA และ ARA



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของนมผง

### 2.2 วิธีการวิเคราะห์แร่ธาตุในนมผง

การวิเคราะห์แร่ธาตุในผลิตภัณฑ์นมมีหลากหลายเทคนิคมากมาย<sup>[2]</sup>

#### 2.2.1 Complexometric

เป็นเทคนิคแรกที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแคลเซียมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์นม การไทเทรตแบบตกตะกอนนิยมใช้ในการวิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และคลอรีน ซึ่งคลอรีนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค atomic absorption หรือ ICP ตามวิธี AOAC การวิเคราะห์แร่ธาตุคลอรีนในผลิตภัณฑ์นมใช้การไทเทรตกับ  $\text{AgNO}_3$

#### 2.2.2 Ultraviolet/visible spectrophotometry (UV/Vis)

เป็นเทคนิคที่ง่ายและถูกกว่าเทคนิค atomic spectroscopic แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้หลายแร่ธาตุ และต้องเพิ่ม sensitivity กับ selectivity ซึ่งเทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์หาแร่ธาตุฟอสฟอรัสในผลิตภัณฑ์นมโดยอาศัยการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างกับแร่ธาตุ molybdate หรือปฏิกิริยารีดักชันของ amidol โดยใช้การย่อยด้วยไมโครเวฟ ระบบ sequential

injection ถูกนำมาใช้สำหรับ online digestion และ colorimetric determination ของ การวิเคราะห์แร่ธาตุฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ประกอบในนม แร่ธาตุอื่นๆที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV/Vis เป็นการวิเคราะห์แร่ธาตุ สังกะสี, แคลเซียม, และแมกนีเซียม ในนม UHT และนมผงโดยใช้ ratio spectra-continuous wavelet transforms without prior separation step

### 2.2.3 $^{31}\text{P}$ -NMR

เทคนิคนี้ใช้คำนวณการตรวจวัดและการแยกกันของสัญญาณของโครงสร้าง phosphorylate ที่ต่างกัน เป็นการวิเคราะห์ที่ตรวจวัดและหาปริมาณวิเคราะห์ของโครงสร้างฟอสฟอรัสต่างๆ ในนมเรียกว่าเป็นการกระจายตัวของฟอสฟอรัสระหว่าง soluble และ micellar เฟส ซึ่ง ฟอสเฟสส่วนใหญ่จะอยู่ใน micellar caseins และส่วนน้อยจะอยู่ในสารประกอบอื่นที่อยู่ใน เฟส soluble

### 2.2.4 Atomic spectrometry

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ atomic absorption spectroscopy (FAAS), ETAAS หรือ inductively coupled plasma absorption emission (ICP-AES) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแร่ธาตุที่วิเคราะห์, ความแม่นยำ และความเที่ยง และจำนวนของแร่ธาตุที่วิเคราะห์ FAAS เป็นเทคนิคที่แรกเริ่มใช้วิเคราะห์ธาตุหลักในนมคือ แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม และโพแทสเซียม ETAAS ต้องการปริมาณสาร ตัวอย่างที่น้อยมาก และเป็นเทคนิคที่มี detection thresholds ต่ำของธาตุหนักและธาตุที่ หนักมาก (Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, Co, Cr and Pb) ในการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมี spectral and matrix รบกวน inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) เป็นเทคนิคที่มีผลกระทบจากตัวรบกวนน้อย และยังสามารถ วิเคราะห์ได้หลายธาตุ ระบบของ detector มีกำลังสูงสุดใน atomic spectrometry ทำให้มี sensitivity, multi-element analytical capability ที่สูง และยังสามารถวิเคราะห์ isotope ratio ได้แต่ยังมี spectral and matrix รบกวน

### 2.2.5 X-Ray Fluorescence (XRF)

เป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์แร่ธาตุได้หลายชนิดสำหรับแร่ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 22 ถึง 55 ถึงแม้ว่าจะเป็นเทคนิคที่ราคาสูง, รวดเร็ว, ไม่ทำลายสารตัวอย่าง, และไม่ขึ้นอยู่กับตัว รบกวน, และไม่ต้องการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบที่มีองค์ประกอบเหมือนสารตัวอย่าง

XRF เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในหน่วยการผลิตผลิตภัณฑ์เพราะสามารถวิเคราะห์ได้โดยตรงต่อสารตัวอย่างของแข็งโดยปราศจากการเตรียม

### 2.2.6 Voltammetric techniques

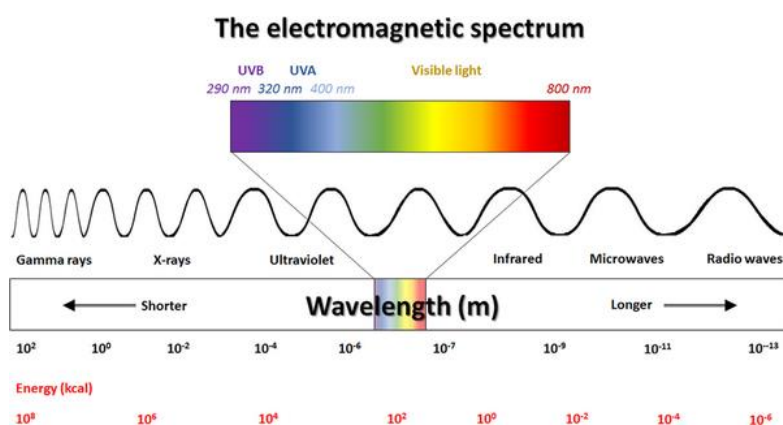
เป็นเทคนิคที่วิเคราะห์โดยทั่วไป รวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่เครื่องมือไม่แพง แต่ต้องมี sensitivity ที่ดีในการวิเคราะห์แร่ธาตุจำนวนมาก

### 2.2.7 Electroanalytical techniques

Ion Chromatography (IC) ยังมี applicability ของนมและผลิตภัณฑ์นมที่เป็นข้อจำกัด

## 2.3 เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence spectrometry) และการวิเคราะห์แร่ธาตุ

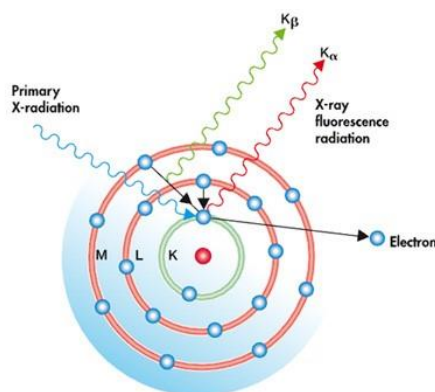
เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการคายรังสีฟลูออเรสเซนซ์ของอิเล็กตรอนระดับอะตอม โดยรังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นสั้นในช่วง  $10^{-5}$  ถึง 100 อังสตรอม ( $\text{\AA}$ )



รูปที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

### 2.3.1 การระบุชนิดของแร่ธาตุด้วยคุณภาพวิเคราะห์

เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจำนวนมาก สารตัวอย่างถูกเตรียมโดยการอัดผงสารตัวอย่างกับตัวบรรจุสารตัวอย่าง หรือจานแก้ว สารตัวอย่างถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ที่ผลิตจากแหล่งกำเนิดคือ x-ray tube ที่ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 10 ถึง 100 kV ปฏิกิริยาของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (primary x-ray radiation) แผ่กระทบอะตอมของสารตัวอย่างทำให้เกิด ionization ของการเปลี่ยนชั้นระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ขณะเปลี่ยนกลับระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน รังสีฟลูออเรสเซนซ์ของพลังงานจำเพาะของแต่ละธาตุจะถูกปลดปล่อยออกมา สัญญาณการคายพลังงานของรังสีจำเพาะถูกวิเคราะห์ด้วย x-ray spectrometer ที่เหมาะสม และเปรียบเทียบกับรูปแบบของสารตัวอย่างมาตรฐาน ข้อจำกัดของการตรวจวัดสำหรับโลหะหนักอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 ppm<sup>[3]</sup>



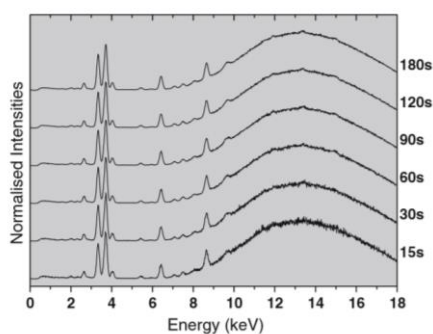
**รูปที่ 2.3** แสดงการเกิดปฏิกิริยากับรังสีเอกซ์ของอะตอม

ประจุบวกของนิวเคลียสในอะตอมถูกล้อมด้วยอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เป็นพื้นที่ (shell) ความแข็งแรงของพันธะที่เชื่อมระหว่างอิเล็กตรอนกับนิวเคลียสของอะตอมขึ้นอยู่กับพื้นที่ และระดับชั้นพลังงานที่อิเล็กตรอนอยู่ พลังงานที่น้อยที่สุดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากชั้นระดับพลังงานใช้อธิบายการหลุดออกจากชั้นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงในสุด ซึ่งพลังงานดังกล่าวคือ พลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ทุกๆธาตุจะระบุมความแตกต่างโดยเลขอะตอมหรือจำนวนอิเล็กตรอนในสภาวะธรรมชาติ พลังงานยึดเหนี่ยวหรือระดับชั้นพลังงานในทุกธาตุต่างกัน เมื่อความยาวคลื่นหรือพลังงานที่ปล่อยออกมาของรังสีเอกซ์ที่จำเพาะธาตุเรียกว่า Characteristic X-rays<sup>[4]</sup>

### 2.3.2 วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ขึ้นกับชนิดของแร่ธาตุและกำลังของเครื่องมือ งานวิจัยเกี่ยวกับการหาปริมาณวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ได้มีนักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษาและเลือกใช้ภาวะในการศึกษาหลากหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างดังนี้

L. Perring และ F. Monard<sup>[5]</sup> ได้ทำการศึกษาการพัฒนาของเทคนิค energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) โดยใช้ภาวะในการหาปริมาณวิเคราะห์ที่ศักย์ไฟฟ้า 8 kV, 20 kV กระแสไฟฟ้า 600, 450  $\mu$ A สำหรับการวิเคราะห์ธาตุเบา (Na, Mg, P, และ Cl) และธาตุหนัก (K, Ca, Fe, และ Zn) ตามลำดับ และยังคงศึกษาเวลาที่เหมาะสม และรวดเร็วของแต่ละธาตุในการวิเคราะห์



**รูปที่ 2.4** แสดงเวลาต่างๆที่ใช้ในการศึกษาปริมาณวิเคราะห์แร่ธาตุในผลิตภัณฑ์นมด้วยเทคนิค EDXRF

จากการทดลองเขาสรุปว่าการลดเวลาในการวิเคราะห์ให้สั้นลงสามารถทำได้ และไม่ได้ลดคุณภาพของการทำงาน ส่วนภาวะการทดลองควรมีการควบคุมที่ดีกว่าเดิมโดยการเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้นและสามารถวิเคราะห์ได้ภายใน 24 ชั่วโมง

G.V. Pashkova<sup>[6]</sup> ได้ทำการศึกษากาการวิเคราะห์แร่ธาตุที่ประกอบในนมและผลิตภัณฑ์นมต่างๆด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่ง G.V. Pashkova ได้ใช้เทคนิค wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) ในการศึกษาปริมาณวิเคราะห์ เส้นโค้งมาตรฐานถูกสร้างโดยกลุ่มของสารตัวอย่างที่มีนมประกอบอยู่ที่วิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเทคนิค ICP-OES และวัสดุเทียบที่ใช้อ้างอิง (reference materials : RM) :ซึ่งสารตัวอย่างนม และสารที่ใช้อ้างอิงจะต้องมีตัวรบกวนที่เหมือนกัน การวิเคราะห์จะศึกษาพีค K แอลฟา สภาวะที่ใช้ในการศึกษาที่ศักย์ไฟฟ้า 30 kV, 50 kV สำหรับการวิเคราะห์ธาตุเบา (Na, Mg, P, S, Cl, K, และ Ca) และธาตุหนัก (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr และ Br)ตามลำดับ และที่กระแสไฟฟ้า 40 mA สารตัวอย่างที่ใช้มีน้ำหนัก 4 กรัม อัดด้วยแรงดัน 2 ถึง 8 ตัน นมแห้งที่มีไขมันประกอบมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงอัดที่ 2 ตัน และหากน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงอัดที่ 8 ตัน จากการทดลองสรุปว่าการวิเคราะห์โลหะหนักโดย WDXRF ควรมีการพัฒนา โลหะหนักอย่างเช่น แมงกานีส, เหล็ก, นิกเกิล, และคอปเปอร์ควรมีการวิเคราะห์เฉพาะในนมที่แห้ง และข้อเสียของเทคนิคที่ไม่ทำลายสารตัวอย่างคือ มีค่า LOD ที่สูงสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก

W. P. McCarthy และคณะ<sup>[7]</sup> ได้ทำการศึกษาเทคนิคเทคนิค energy dispersive x-ray fluorescsnce (EDXRF) ในการศึกษาวิเคราะห์ 5 แร่ธาตุหลักในนมผง (Na, Mg, P, K, และ Ca) การวิเคราะห์จะศึกษาพีค K แอลฟา สภาวะที่ใช้ในการศึกษาที่ศักย์ไฟฟ้า 25 kV สำหรับการวิเคราะห์ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส, 30 kV สำหรับการวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียม และแคลเซียม และเวลาที่ใช้วิเคราะห์ 300 วินาที สำหรับการวิเคราะห์ธาตุโซเดียม, และแมกนีเซียม และ 100 วินาที สำหรับการวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียม, ฟอสฟอรัส และแคลเซียม สารตัวอย่างที่ใช้มีน้ำหนัก 4 กรัม อัดด้วยแรงดัน 2.5 บาร์ ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้ระหว่างเทคนิค XRF กับเทคนิค ICP-MS จากการทดลองสรุปได้ว่าเทคนิค EDXRF มีกระบวนการวิเคราะห์ที่รวดเร็วมะสำหรับการวิเคราะห์ภายในโรงงานทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงกว่าเทคนิค ICP

## 2.4 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray

### Fluorescence spectrometry

#### 2.4.1 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระดับไมโครด้วยเทคนิค XRF

ในสภาพแวดล้อมของการทำงานปริมาณของสารตัวอย่างเป็นตัวแปรที่มีขีดจำกัดอย่างหนึ่ง การกระจายตัวของแร่ธาตุที่แปรตามชนิดของอนุภาค ซึ่งหากส่วนหนึ่งมีอนุภาคที่สามารถวิเคราะห์จำนวนมาก และอีกส่วนเป็นอนุภาคที่สนใจวิเคราะห์เป็นส่วนน้อย spin rotation จะมีบทบาท การเจือจางและการใช้ความเร็วในการหมุนที่มีความสัมพันธ์สูงจะทำให้สองส่วนแยกจากกัน



## 2.4.2 Quality control programmes

โปรแกรมนี้ควรมี

### (a) Sampling programme

1. เหตุผลในการเก็บสารตัวอย่าง
  - วัตถุประสงค์ที่จะศึกษาต้องชัดเจน
  - การตอบคำถามของปัญหาชัดเจนต้องมีการคำนวณ
2. ชนิดของสารตัวอย่างที่เก็บ
  - ตัวเลือกและความเป็นธรรมชาติของสารตัวอย่างขึ้นอยู่กับเหตุผลในการเก็บสารตัวอย่าง และคุณสมบัติของเครื่อง XRF
3. พื้นที่ของจุดสารตัวอย่างที่เก็บ
  - ขึ้นกับความเป็นธรรมชาติของสารตัวอย่าง และระดับความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง
4. ขนาดและจำนวนของสารตัวอย่าง
  - กำหนดโดยความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง, จำนวนในการวิเคราะห์ซ้ำ, และเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
  - ในการพิจารณาต้องใช้สารตัวอย่างในปริมาณที่สัมพันธ์กัน
5. ความถี่และระยะเวลาในการเก็บสารตัวอย่าง
  - ขึ้นอยู่กับความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง, กำลังของแรงงาน และข้อจำกัดของอุปกรณ์
6. อุปกรณ์และเทคนิคในการเก็บสารตัวอย่าง
  - ธรรมชาติของสารตัวอย่าง และความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่างใช้ในการตัดสินใจในการสุ่มหรือการเลือกระบบในการเก็บสารตัวอย่าง นอกจากนี้เทคนิคในการเก็บสารตัวอย่างไม่จำเป็นต้องพิเศษหรือเป็นเหตุให้ต้องเปลี่ยนสารตัวอย่าง
7. ตัวบรรจุสารตัวอย่าง
  - ต้องทำการกำจัดสารปนเปื้อนที่มากับตัวบรรจุสารตัวอย่าง
8. การเก็บรักษาสารตัวอย่าง
  - สิ่งนี้จำเป็นเมื่อสารตัวอย่างไม่ได้ทำการวิเคราะห์ทันที
9. ระยะเวลาในการขนส่งและการครอบครอง
  - พิจารณาจากธรรมชาติของสารตัวอย่าง, การเสื่อมของวัสดุเก็บ, และการปนเปื้อน
10. ข้อมูล
  - ชัดเจนและข้อมูลครบในการระบุสารตัวอย่างที่เก็บมา

-มีข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับสารตัวอย่างซึ่งจะต้องเก็บจากผลการทดลองที่ทำการวิเคราะห์แล้ว

### (b) Homogenization

ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง (Homogenization) เริ่มมีความสำคัญในส่วนของกระบวนการวิเคราะห์สารตัวอย่างหลายประเภทส่วนมากเป็นสารตัวอย่างประเภทของแข็ง สารประเภทแป้ง และสารทางชีวภาพบางชนิด

การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง (Homogeneity test) ในส่วนการทดสอบใช้สารตัวอย่างประมาณ 50-100 มิลลิกรัม (ขึ้นกับระบบการวิเคราะห์ของเทคนิค XRF) ซึ่งควรมีค่า uncertainty ที่ 3% ส่วนของสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบอาจจะเป็นส่วนหนึ่งของสารตัวอย่างหรือส่วนหนึ่งของสารตัวอย่างจากสารตัวอย่าง<sup>[8]</sup>

#### 2.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ของเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

สัญญาณที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF spectroscopy ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบใหญ่

1. การคายรังสีเอกซ์ที่ความยาวคลื่นจำเพาะที่เหมือนกันของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมของสารตัวอย่าง

2. พื้นหลังที่ต่อเนื่องของการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ด้วยอิเล็กตรอนชั้นนอก

รังสีเอกซ์จำเพาะโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับผิวของสารตัวอย่างที่ลึกลงไป 1-1000 ไมโครเมตร ธาตุเบาอยากที่จะตรวจวัดกว่าธาตุหนัก ขนาดของอนุภาค และแร่ธาตุที่ประกอบอยู่ หรือความหนาแน่นสามารถมีผลต่อฟลักซ์สัญญาณจำเพาะที่คายออกมา และเพิ่มการกระจายตัวของพื้นหลัง การทำให้สารตัวอย่างมีขนาดอนุภาคที่เหมาะสมและการกดสารตัวอย่างที่ทำให้บริเวณผิวหน้าเรียบจะช่วยลดการกระจายตัว และลดข้อจำกัดของการตรวจวัดธาตุเบา<sup>[9]</sup>

## 2.5 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (Method Validation)

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ<sup>[10]</sup>เป็นกระบวนการใช้ยืนยันความถูกต้องและความเหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์เพื่อที่จะสามารถนำวิธีวิเคราะห์ที่ศึกษาอยู่มาใช้วิเคราะห์สารตัวอย่าง นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบถึงข้อจำกัดและคุณสมบัติของวิธีวิเคราะห์นั้นๆ วิธีการทดสอบที่ใช้สำหรับ method validation จะครอบคลุมสมบัติของวิธีการวิเคราะห์สองประการดังนี้

### 2.5.1 ความถูกต้อง (accuracy)

ความถูกต้อง หมายถึง ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์นั้นว่าค่าที่วิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากเท่าใด หากค่าที่วิเคราะห์ที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากแสดงว่าการวิเคราะห์นั้นมีความแม่นยำสูง

$$\text{Relative error} = (\text{absolute error} / \text{ค่าที่แท้จริง}) \times 100$$

$$\text{Relative accuracy} = (\text{ค่าที่วิเคราะห์ได้} / \text{ค่าที่แท้จริง}) \times 100$$

เกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยทั่วไปของ relative error ไม่เกิน 10 % และ relative accuracy อยู่ระหว่าง 90-110 % หรือ 98-102 %

### 2.5.2 การทำซ้ำอย่างเที่ยง (precision)

ความเที่ยง หมายถึง ความใกล้เคียงของค่าที่วิเคราะห์ซ้ำๆ หลายรอบด้วยวิธีวิเคราะห์เดียวกัน ความแตกต่างของค่าที่วิเคราะห์ได้จะแสดงในค่าทางสถิติ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, RSD)

หรือค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation, CV) ซึ่งความเที่ยงมี 2 วิธีการวิเคราะห์ได้แก่

1. Repeatability หมายถึงความเที่ยงที่เกิดจากการวิเคราะห์ซ้ำๆหลายรอบในสถานะเดียวกัน ผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกัน
2. Reproducibility หมายถึงความเที่ยงที่เกิดจากการวิเคราะห์ซ้ำๆโดยใช้วิธีเดียวกัน ผู้วิเคราะห์ต่างกัน เครื่องมือต่างชุดกัน

$$\% \text{ RSD} = (\text{S.D./Mean}) \times 100^{[10]}$$

### 2.5.3 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้และยอมรับได้

การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ในตัวอย่าง (Limit of detection, LOD) และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้โดยมีความแม่นยำและความเที่ยงที่ยอมรับได้ (Limit of quantitation, LOQ) หาได้จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ไม่มีสารที่สนใจ (Sample blank)<sup>[10]</sup>

$$\text{LOD} = 3 \times \text{S.D.}$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{S.D.}$$

### 2.5.4 ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ และยอมรับได้

การหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้แล้วกราฟของการวิเคราะห์ยังมีความเป็นเส้นตรงแล้วยังมีความแม่นยำและความเที่ยงที่ยอมรับได้ (Limit of linearity, LOL) หาได้ค่าความเข้มข้นที่สูงสุดจากกราฟที่วิเคราะห์ระหว่างค่าสัญญาณกับความเข้มข้นแล้วค่าทั้งสองยังมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) อยู่ระหว่าง 0.995-1.00<sup>[10]</sup>

### บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 การเก็บตัวอย่าง

นมผงที่ใช้ในการทดลองเก็บจากหน่วยการผลิตนมผงภายในโรงงาน ของบริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชัน (ประเทศไทย) จำกัด ที่อำเภอดอนหัวฬ่อ จังหวัดชลบุรี จำนวน 25 สูตร ประกอบด้วยสูตรสำหรับเด็กทารก เด็กโต และผู้ใหญ่มีครรภ์

#### 3.2 การเตรียมความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

วัตถุดิบนมผงผลิตมาจากการนำนมวัวมาทำให้แห้งด้วยการระเหยน้ำออก ต่อมาทำการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค ICP-OES ของแร่ธาตุต่างๆได้แก่ แร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, โซเดียม, โพแทสเซียม, และฟอสฟอรัสซึ่งแร่ธาตุต่างๆมีปริมาณในหน่วยมิลลิกรัมในร้อยละมีค่าเท่ากับ 1.32, 0.35, 412.18, 38.09, 118.26, 503.89, และ 333.89 ตามลำดับ และนมผงสูตรต่างๆในปัจจุบันมีความเข้มข้นดังตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** แสดงช่วงค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆในนมผงสูตรต่างๆ

Element	Zn	Fe	Ca	Mg	Na
Low Conc. (mg/100g)	3.13	5.99	373.20	46.69	157.75
High Conc. (mg/100g)	8.52	16.09	1334.69	93.71	368.78

การเตรียมความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เริ่มจากการผสมสารตัวอย่างนมผงกับวัตถุดิบที่ทราบความเข้มข้นเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่มีค่า limit of detection และ limit of linearity ครอบคลุมความเข้มข้นของสารตัวอย่างนมผงสูตรต่างๆที่มีอยู่ปัจจุบันในโรงงาน

#### 3.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma

##### Optical Emission Spectroscopy

เป็นเทคนิคที่ใช้หาความเข้มข้นของสารตัวอย่างเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไประบุความเข้มข้นของสารตัวอย่างให้กับเทคนิคออกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ โดยนำนมผงที่ได้จากการเตรียมความเข้มข้นซึ่งน้ำหนักใส่ถ้วยทนความร้อนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่ hot plate และเตาเผา นำออกมาเติมกรดไนตริกเข้มข้นแล้วนำไประเหยให้แห้ง นำเข้าเตาเผาอีกครั้งแล้วนำออกมาเติมกรดไฮโดรคลอริกปรับปริมาตรของสารละลายด้วย

ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร นำสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆโดยวัดสัญญาณการคายแสงของอะตอมของแต่ละธาตุอันเนื่องมาจาก ICP

### 3.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

เทคนิค Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometry เป็นอีกวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง ซึ่งในการวิเคราะห์ต้องมีการเตรียมสารตัวอย่างโดยนำนมผงไปชั่งน้ำหนักเติมน้ำ deionized ละลายสารตัวอย่าง นำสารละลายไปชั่งน้ำหนัก เติมกรดไนตริกเข้มข้นแล้วนำไปย่อยสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง Ultramicrowave ปิดสารละลายแล้วปรับปริมาตรด้วยขวดกำหนดปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆโดยวัดสัญญาณมวลของอะตอมของแต่ละธาตุ

### 3.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence spectrometry

#### 3.5.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

ในการเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF มีความสำคัญมากเนื่องจากหากทำการเตรียมสารตัวอย่างได้ไม่ดีจะส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุที่วิเคราะห์ได้ในนมผง ในการเตรียมสารตัวอย่างมีวิธีการดังนี้ นำภาชนะโลหะที่ใช้รองรับสารตัวอย่างใส่ลงในภาชนะทนแรงอัด จากนั้นนำสารตัวอย่างที่ทราบความเข้มข้นจากเทคนิค ICP ตักมา 1 ช้อนตวง



**รูปที่ 3.1** แสดงรูปช้อนตวงที่ใช้ในการตักสารตัวอย่าง



**รูปที่ 3.2** แสดงรูปภาชนะรองรับสาร

นำสารตัวอย่างเทลงในภาชนะรองรับสารโดยไม่ทิ้งไว้เป็นเวลานานเนื่องจากสารตัวอย่างสามารถดูดความชื้นได้ดี ปิดฝาภาชนะทนแรงอัดแล้วนำไปเข้าเครื่องอัดซึ่งอัดด้วยแรงอัดด้วยแรงดัน 5 ตันโดยใช้เครื่องอัด hydraulic อัดแบบอัตโนมัติ



**รูปที่ 3.3** แสดงเครื่องอัด hydraulic แบบอัตโนมัติ และภาชนะทนแรงดัน

นำภาชนะทนแรงดันออกจากเครื่องอัดสาร นำสารตัวอย่างที่เป็นก้อนของแข็งออกจากภาชนะทนแรงอัดแล้วนำไปห่อด้วยฟิล์มชนิดบางที่ไม่มีการปนเปื้อนของโลหะที่สนใจวิเคราะห์

### 3.5.2 การสร้างเส้นโค้งการสอบเทียบ

เป็นเทคนิคที่นิยมสำหรับการทดลองปริมาณวิเคราะห์เพื่อทราบความเข้มข้นของสารที่สนใจ ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการสร้างเส้นโค้งการสอบเทียบแบบสารมาตรฐานภายนอก (External standard) โดยนำสารตัวอย่างที่ทราบความเข้มข้นต่างๆจากเทคนิค ICP โดยแร่ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม, แคลเซียม, เหล็ก, และสังกะสีใช้สารตัวอย่างจำนวน 21, 27, 32, 25, 26 สูตร ตามลำดับ โดยแต่ละสูตรจะมีการวิเคราะห์จำนวนแร่ธาตุที่ต่างกันไปตามช่วงอายุของผู้บริโภคที่ต้องการแร่ธาตุที่ต่างกัน จากนั้นนำมาทำการเตรียมอัดเป็นก้อนแล้วทำการสแกนที่ผิวหน้าโดยใช้เครื่อง XRF



**รูปที่ 3.3** แสดงเครื่อง XRF

ตัวเครื่องจะมีแหล่งกำเนิดผลิตรังสีเอกซ์ยิงไปที่ผิวหน้าของสารตัวอย่าง จากนั้นอิเล็กตรอนชั้นในของอะตอมของธาตุต่างๆในสารตัวอย่างที่ได้รับพลังงานจากรังเอกซ์จะเปลี่ยนขึ้นระดับพลังงานและคายรังสีเอกซ์ออกมาเป็นค่าสัญญาณแล้วตกกระทบตัวรับสัญญาณ ตัวเครื่องจะมีโปรแกรมคำนวณทำการแปลงค่าสัญญาณออกมาเป็นความเข้มข้นตามโปรแกรมที่ตั้งการวัดแร่ธาตุที่สนใจโดยเครื่องจะรายงานผลเป็นค่าต่างๆดังรูปที่ 3.4 เมื่อได้ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างต่างๆเครื่องจะทำการสร้างกราฟเส้นตรง

ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ป้อนเข้าเครื่อง (ค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์จากเทคนิค ICP )กับค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์จากเทคนิค XRF

## Mg Intensity

Standard Name	Used	Raw cps	Corrected cps	Ratio	Known mg/100g	Calc mg/100g	Diff mg/100g	%Diff
Yes		83.0	83.0					
Yes		83.4	83.4	39.3622	38.0884	39.0119	0.92347	2.42
No		102.5	102.5	39.5064	38.0884	39.1568	1.06840	2.81
No		99.9	99.9	48.9570	49.0862	0.0000	-49.08620	-100.00
Yes		112.7	112.7	47.6913	46.8943	0.0000	-46.89430	-100.00
Yes		113.0	113.0	53.9427	59.7240	61.8471	2.12307	3.55
Yes		139.0	139.0	54.0855	61.1795	62.0317	0.85222	1.39
No		104.9	104.9	66.6888	88.0050	87.8107	-0.19431	-0.22
Yes		96.4	96.4	50.0668	53.3305	0.0000	-53.33050	-100.00
Yes		117.9	117.9	45.7667	46.6902	48.1538	1.46358	3.13
Yes		102.9	102.9	56.6507	69.4670	74.3460	4.87903	7.02
No		101.5	101.5	48.9801	55.9935	56.9075	0.91397	1.63
No		101.2	101.2	48.4994	49.0862	0.0000	-49.08620	-100.00
Yes		111.9	111.9	48.2833	46.8943	0.0000	-46.89430	-100.00
Yes		113.5	113.5	53.5661	59.7240	61.5251	1.80114	3.02
Yes		138.1	138.1	54.2981	61.1795	62.3564	1.17691	1.92
No		105.8	105.8	66.2297	88.0050	86.9737	-1.03134	-1.17
Yes		94.7	94.7	50.4502	53.3305	0.0000	-53.33050	-100.00
Yes		114.1	114.1	44.9722	46.6902	47.0824	0.39216	0.84
Yes		102.4	102.4	54.9183	69.4670	71.7427	2.27565	3.28
Yes		109.3	109.3	48.7678	55.9935	56.4471	0.45361	0.81
Yes		109.1	109.1	52.2674	61.1615	60.4815	-0.68004	-1.11
Yes		98.8	98.8	52.2575	59.8785	57.8279	-2.05059	-3.42
Yes		112.1	112.1	47.2167	54.0998	55.5931	1.49334	2.76
Yes		120.3	120.3	53.7930	68.5040	70.7838	2.27976	3.33
Yes		116.7	116.7	57.7628	72.2486	68.6804	-3.56819	-4.94
Yes		122.9	122.9	56.0075	67.9228	69.4580	1.53516	2.26
Yes		124.9	124.9	59.0721	81.9836	76.3711	-5.61246	-6.85
No		127.6	127.6	60.6366	93.7143	94.7275	1.01316	1.08
Yes		109.5	109.5	61.2236	96.1693	0.0000	-96.16930	-100.00
Yes		111.0	111.0	52.4217	61.1615	60.5794	-0.58215	-0.95
Yes		99.6	99.6	53.1773	59.8785	59.0920	-0.78648	-1.31
Yes		112.4	112.4	47.5860	54.0998	55.7793	1.67946	3.10
Yes		121.0	121.0	53.9380	68.5040	70.9989	2.49492	3.64
Yes		114.7	114.7	58.0973	72.2486	68.9592	-3.28944	-4.55
Yes		123.4	123.4	55.0411	67.9228	68.0757	0.15294	0.23
Yes		123.3	123.3	59.2797	81.9836	76.5988	-5.38479	-6.57
No		127.8	127.8	59.8471	93.7143	93.3054	-0.40894	-0.44
Yes		84.2	84.2	61.2714	96.1693	0.0000	-96.16930	-100.00
Yes		85.9	85.9	39.8161	36.3294	37.9301	1.60068	4.41
Yes		563.2	563.2	40.6127	36.3294	38.9878	2.65836	7.32
Yes		568.5	568.5	273.1063	245.2083	245.1577	-0.05057	-0.02
Yes		120.7	120.7	275.4651	245.2083	244.9212	-0.28706	-0.12
Yes		120.2	120.2	58.0450	80.6882	77.6606	-3.02759	-3.75
No		123.9	123.9	57.7924	80.6882	77.3868	-3.30144	-4.09
No		124.6	124.6	59.6219	87.7590	0.0000	-87.75900	-100.00
Yes		120.9	120.9	59.9338	87.7590	0.0000	-87.75900	-100.00
Yes		120.6	120.6	58.5000	78.1860	80.0017	1.81574	2.32
Yes		112.9	112.9	58.3275	78.1860	79.6558	1.46983	1.88
Yes		113.5	113.5	54.3303	72.6690	71.1804	-1.48858	-2.05
Yes		112.6	112.6	54.6156	72.6690	71.6810	-0.98805	-1.36
Yes		112.5	112.5	54.1730	64.1950	70.5526	6.35759	9.90
Yes		106.0	106.0	54.1142	64.1950	70.5728	6.37775	9.93
Yes		106.4	106.4	50.7422	59.8710	61.0768	1.20579	2.01
Yes		107.8	107.8	50.9356	59.8710	61.4002	1.52918	2.55
Yes		106.3	106.3	51.2813	63.7650	60.4604	-3.30460	-5.18
Yes		86.7	86.7	50.5740	63.7650	59.5586	-4.20637	-6.60
Yes		86.1	86.1	41.1167	45.3005	42.1132	-3.18735	-7.04
No		135.0	135.0	40.8019	45.3005	41.7192	-3.58131	-7.91
No		136.8	136.8	65.5038	116.5652	0.0000	-116.56520	-100.00
Yes		141.3	141.3	66.3557	116.5652	0.0000	-116.56520	-100.00
Yes		141.7	141.7	68.5709	112.5954	106.5066	-6.08880	-5.41
Yes		262.8	262.8	68.7784	112.5954	106.5565	-6.03892	-5.36
Yes		259.4	259.4	127.5557	176.5192	175.3232	-1.19598	-0.68
Yes		232.0	232.0	125.9789	176.5192	172.9432	-3.57604	-2.03
Yes		234.1	234.1	112.6755	156.9631	162.2703	5.30720	3.38
				113.6626	156.9631	163.5804	6.61730	4.22

รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

### 3.6 การตรวจสอบความใช้ได้ของเส้นโค้งการสอบเทียบ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการสร้างวิธีการวิเคราะห์ใหม่จึงต้องมีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการใหม่ ในการตรวจสอบความใช้ได้ของเส้นโค้งสอบเทียบแร่ธาตุต่างๆ (แร่ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม, แคลเซียม, เหล็ก, และสังกะสี) ที่สร้างขึ้นใหม่ไม่มีวิธีการดังนี้

#### 3.6.1 การวิเคราะห์สารตัวอย่างชนิดที่มีการควบคุมคุณภาพ

สารตัวอย่างชนิดที่มีการควบคุมคุณภาพ (Quality control, QC) มีปริมาณแร่ธาตุในช่วงหนึ่ง หากทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่สร้างขึ้นแล้วความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่ควบคุมก็สามารถใช้บ่งชี้ว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีนั้นน่าเชื่อถือ โดยในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่าง QC จำนวน 15 ครั้ง ครั้งละ 2 ซ้ำ สำหรับแต่ละเส้นโค้งสอบเทียบที่สร้างขึ้น

#### 3.6.2 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง

สารตัวอย่างสูตรนมต่างๆที่นำมาวิเคราะห์หากความเข้มข้นที่วิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับวิธีที่ผ่านการทดสอบมาแล้วก็สามารถนำวิธีที่สร้างขึ้นใหม่มาใช้วิเคราะห์แทนได้ โดยงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สูตรนมต่างๆของแร่ธาตุแคลเซียม, เหล็ก, และสังกะสีจำนวน 11 สูตร แร่ธาตุโซเดียมจำนวน 5 สูตร และแร่ธาตุแมกนีเซียมจำนวน 8 สูตร แต่ละสูตรทำการวิเคราะห์จำนวน 10 ซ้ำ ทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้จากเทคนิค ICP กับ XRF เพื่อยืนยันว่าเทคนิค XRF สามารถใช้แทนเทคนิค ICP ได้



## บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย

### 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่มีผลต่อการวิเคราะห์โดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

นมผงที่ใช้ในงานวิจัยเป็นนมผงจาก บริษัท มีด จอห์นสัน นิวทริชั่น (ประเทศไทย) จำกัด โดยนมผงทั้งหมดเก็บมาจากหน่วยการผลิตของโรงงาน เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆในนมผงซึ่งใช้ในการบ่งบอกถึงคุณภาพของนมผง ดังนั้นในการวิเคราะห์แต่ละครั้งควรมีความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ใกล้เคียงกัน ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF มีดังนี้

#### 4.1.1 น้ำหนักของนมผง

น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุหากน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันจะส่งผลให้ปริมาณแร่ธาตุในสารตัวอย่างแต่ละครั้งมีความใกล้เคียงกันโดยอ้างอิงจากค่าทางสถิติคือ %RSD แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างนมผงชนิดหนึ่งโดยทำการวิเคราะห์ 6 ซ้ำ ในงานวิจัยนี้มีการควบคุมน้ำหนักของสารตัวอย่างโดยใช้ช้อนตวงนมผงในการตักสารตัวอย่าง และเลือกใช้ช้อนขนาดใหญ่เนื่องจากหากให้ช้อนเล็กจะต้องมีการตักสารมากกว่าหนึ่งครั้ง อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทำให้น้ำหนักสารตัวอย่างไม่มีความสัมพันธ์กัน

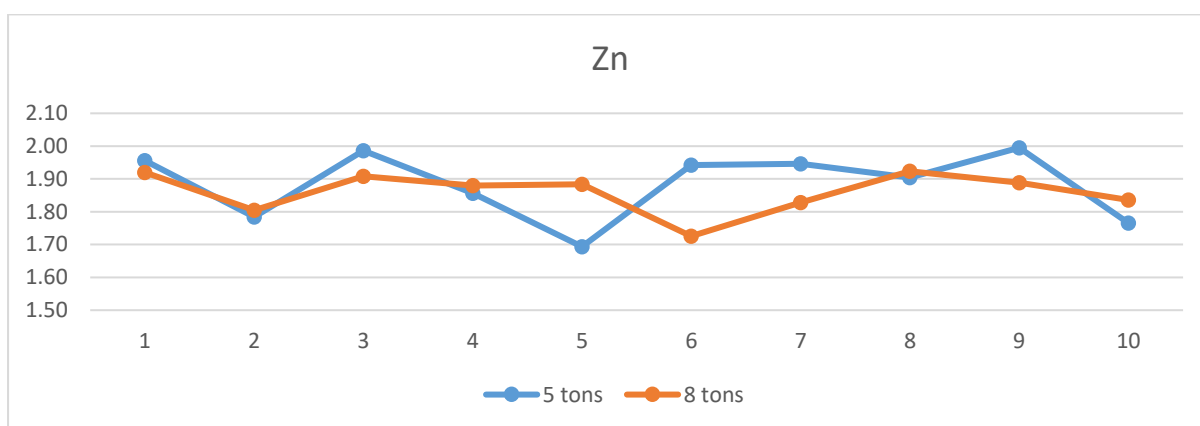
**ตารางที่ 4.1** แสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างในแต่ละจำนวนที่มีน้ำหนักแน่นอน

Relative mass	Zn	Fe	Ca
1	7.9657	10.6732	791.0963
2	7.2162	11.3650	803.0348
3	7.6851	11.6650	798.6691
4	7.3181	12.1901	794.0770
5	7.5159	11.7547	791.8243
6	7.7775	11.5614	783.9578
mean	7.58	11.53	793.78
SD	0.28	0.50	6.59
%RSD	3.75	4.36	0.83

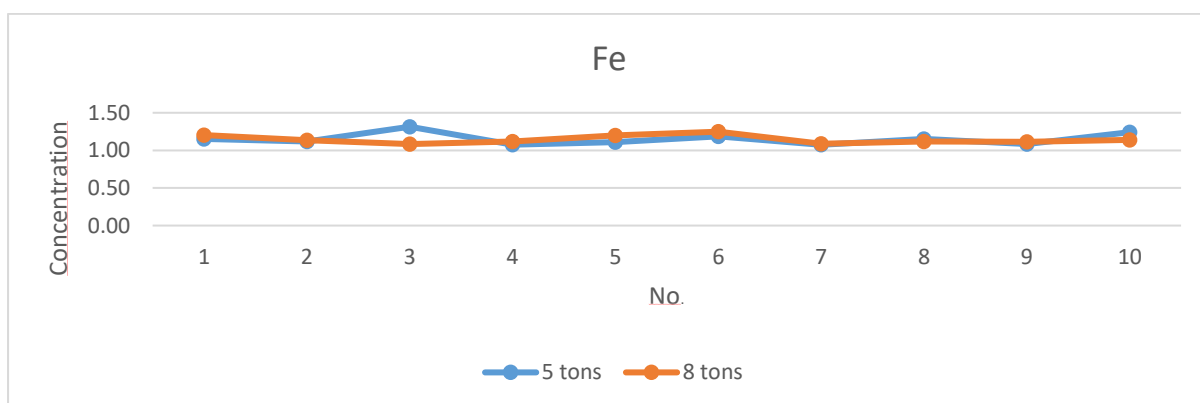
#### 4.1.2 แร่ตั้งต้น

แร่ตั้งต้นที่ใช้ในการอัดสารตัวอย่างเพื่อเตรียมสารตัวอย่างก่อนการนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF เราจะต้องใช้แร่ตั้งต้นที่เหมาะสมเพื่อให้บริเวณผิวหน้าของสารตัวอย่างไม่เกิดช่องว่าง

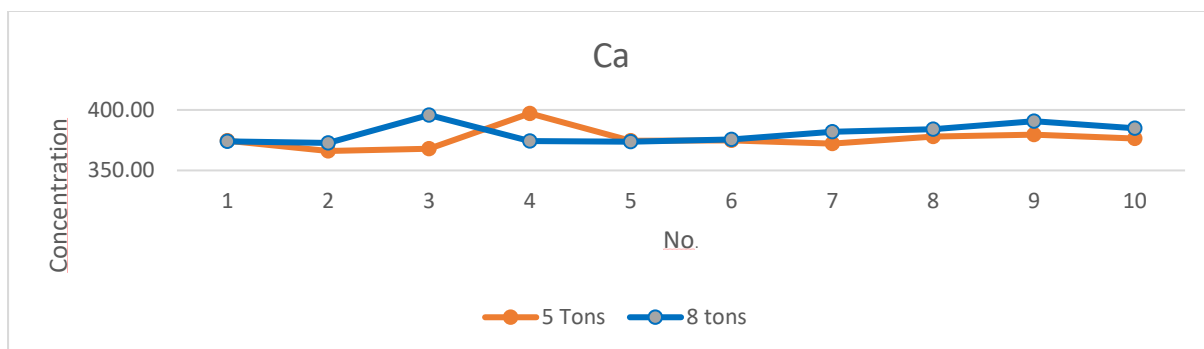
(Pressed pellet) ทำให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำขึ้น โดยปกติโรงงานใช้แรงดันขนาด 5 ตันในการอัดสารตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้เราจึงศึกษาแรงดันในการอัดสารตัวอย่างเพิ่มอีกขนาดคือ 8 ตัน พบว่าในการวิเคราะห์ปริมาณสารตัวอย่างด้วยแรงดันที่ 5 และ 8 ตันได้ปริมาณแร่ธาตุใกล้เคียงกันทั้งการวิเคราะห์ 10 ซ้ำของแร่ธาตุสามแร่ธาตุ จากรูปที่ 4.1 เป็นการวิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี รูปที่ 4.2 เป็นการวิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก จากรูปที่ 4.3 เป็นการวิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม ดังนั้นจึงเลือกใช้แรงดันที่ 5 ตันในการอัดสารตัวอย่างเนื่องจากได้ปริมาณแร่ธาตุที่ใกล้เคียงกันทั้งยังประหยัดพลังงานกว่าใช้แรง 8 ตัน



**รูปที่ 4.1** แสดงกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนของสารตัวอย่างและความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่แรงดัน 5 และ 8 ตันของการวิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี



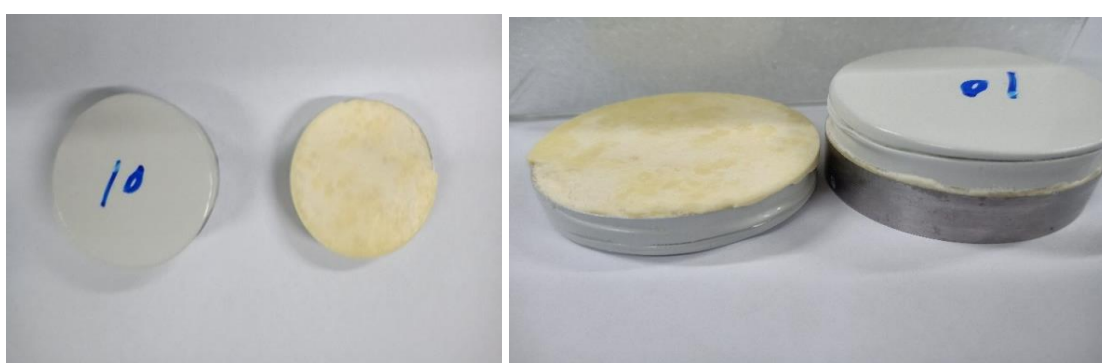
**รูปที่ 4.2** แสดงกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนของสารตัวอย่างและความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่แรงดัน 5 และ 8 ตันของการวิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก



**รูปที่ 4.3** แสดงกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนของสารตัวอย่างและความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่แรงดัน 5 และ 8 ตันของการวิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม

#### 4.1.3 ความชื้น

นอกจากน้ำหนักของสารตัวอย่างกับแรงดันสิ่งที่มีผลกับสารตัวอย่างอีกชนิดคือ ความชื้น เนื่องจากนมผงประกอบไปด้วยน้ำตาล ไขมัน และสารประกอบต่างๆที่สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศได้ หากทิ้งสารตัวอย่างไว้นานๆสารตัวอย่างจะดูดความชื้น และเมื่อนำไปอัดด้วยแรงดันพบว่าสารตัวอย่างเหนียวติดกับภาชนะกด บริเวณผิวหน้าของสารตัวอย่างมีลักษณะเหนียวหนืด มีการละลายของสารตัวอย่าง และมีไขมันกระจายตัวที่ผิวหน้ามาก ด้วยสภาพที่ผิวหน้าของสารตัวอย่างมีคุณภาพลดลงส่งผลให้การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่างนมผงคลาดเคลื่อนไปเนื่องจากไขมันและน้ำทำให้การกระจายตัวของรังสีเอกซ์ที่สะท้อนออกจากบริเวณผิวหน้าของสารตัวอย่างเพิ่มขึ้น และบดบังการรับรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดของอะตอมของแร่ธาตุที่บริเวณผิวหน้าของสารตัวอย่าง นอกจากจะทำให้การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุเพิ่มขึ้นยังทำให้เกิดอุปสรรคในการแกะสารตัวอย่างออกจากภาชนะกดทำให้เพิ่มระยะเวลาในขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง



**รูปที่ 4.4** แสดงสารตัวอย่างที่ทิ้งไว้ให้ดูดความชื้น

#### 4.2 ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่างชนิดของแข็งใช้เพื่อทดสอบว่าสารตัวอย่างมีสภาพเดียวกันทุกจุดหรือไม่ ซึ่งในการผลิตนมผงของบริษัทแต่ละครั้งทำการผลิตสินค้าในปริมาณมหาศาลจึงมีความจำเป็นในการตรวจสอบสารอาหารแร่ธาตุต่างๆที่ทำการผสมลงไปมีการกระจายตัวเท่าๆกันหรือไม่ ในการทดสอบทำการสุ่มตักตัวอย่างนมผงชนิดเดียวกันมา 10 จุด และทำการวิเคราะห์ปริมาณสารตัวอย่างแต่ละครั้งด้วยเทคนิค XRF แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าสารตัวอย่างที่สุ่มมาทั้ง 10 จุดมีความเข้มข้นของแร่ธาตุใกล้เคียงกันโดยอ้างอิงจากค่าทางสถิติ % RSD ของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, และแคลเซียมเท่ากับ 4.07, 4.78, และ 2.20 โดยค่าทั้งสามมีค่าไม่เกิน 5%

**ตารางที่ 4.2** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างของแร่ธาตุสามชนิดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF จากการสุ่มสารตัวอย่างชนิดเดียวกันจำนวน 10 ซ้ำ

Sample No.	XRF Result (mg/100g)		
	Zn	Fe	Ca
1	1.87	1.14	359.42
2	1.86	1.16	378.94
3	1.78	1.29	379.03
4	1.87	1.08	384.92
5	1.85	1.10	366.06
6	1.85	1.15	365.73
7	1.90	1.17	374.69
8	1.66	1.12	369.76
9	1.76	1.15	369.32
10	1.74	1.14	381.84
mean	1.81	1.15	372.97
S.D.	0.07	0.05	8.19
%RSD	4.07	4.78	2.20

#### 4.3 สภาวะของเครื่องมือที่มีผลต่อการวิเคราะห์โดยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF เป็นสเปกตรัมที่ได้จากการคายรังสีเอกซ์ของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งแต่ละแร่ธาตุจะมีค่าพลังงานเฉพาะหากพลังงานที่ใช้ไม่มากพอ อิเล็กตรอนจะไม่ถูกกระตุ้น และคายรังสีเอกซ์ออกมา ปัจจัยที่ส่งผลต่อสเปกตรัมเอกซ์เรย์มีดังนี้

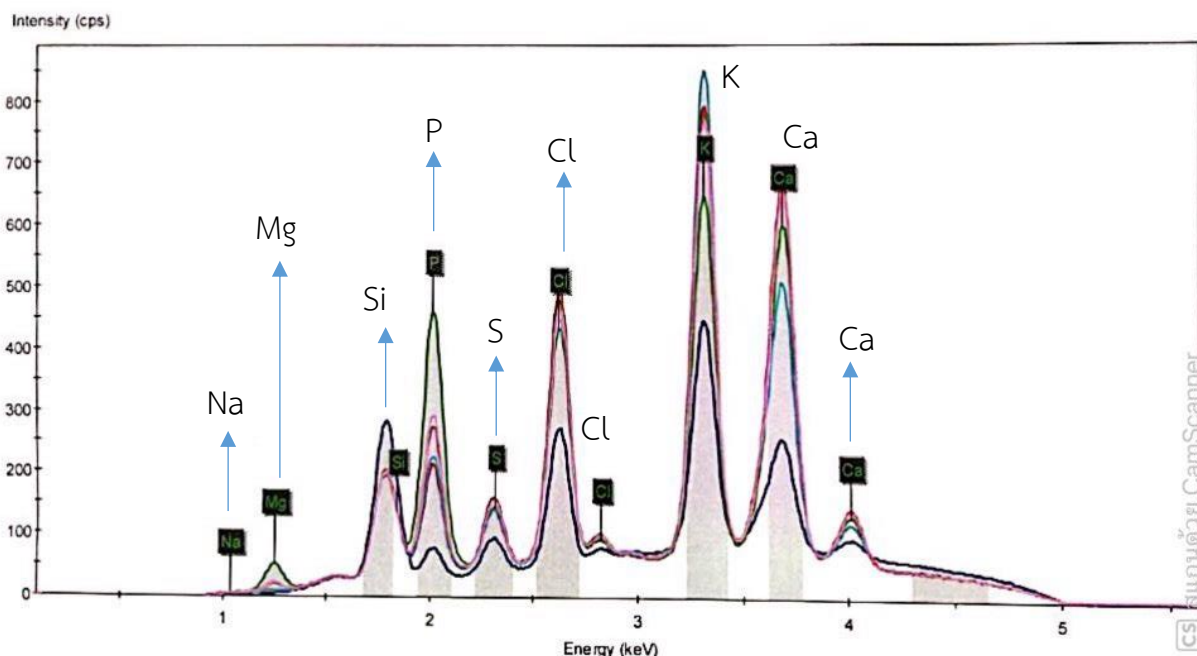
### 4.3.1 เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Time of measure)

โดยปกติทางโรงงานเลือกใช้เวลาในการวิเคราะห์แร่ธาตุที่ 90, และ 120 วินาทีต่อสถานะการวิเคราะห์ธาตุหนักและธาตุเบาตามลำดับ และจากเอกสารอ้างอิงรูปที่ 2.4 ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์เลือกใช้เวลาต่างๆ เราจึงเลือกใช้เวลาเดิมที่โรงงานใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นเวลาที่รวดเร็วและสเปกตรัมที่วิเคราะห์ยอมรับได้ ซึ่งเหมาะสำหรับโรงงานที่มีการวิเคราะห์สารตัวอย่างจำนวนมาก

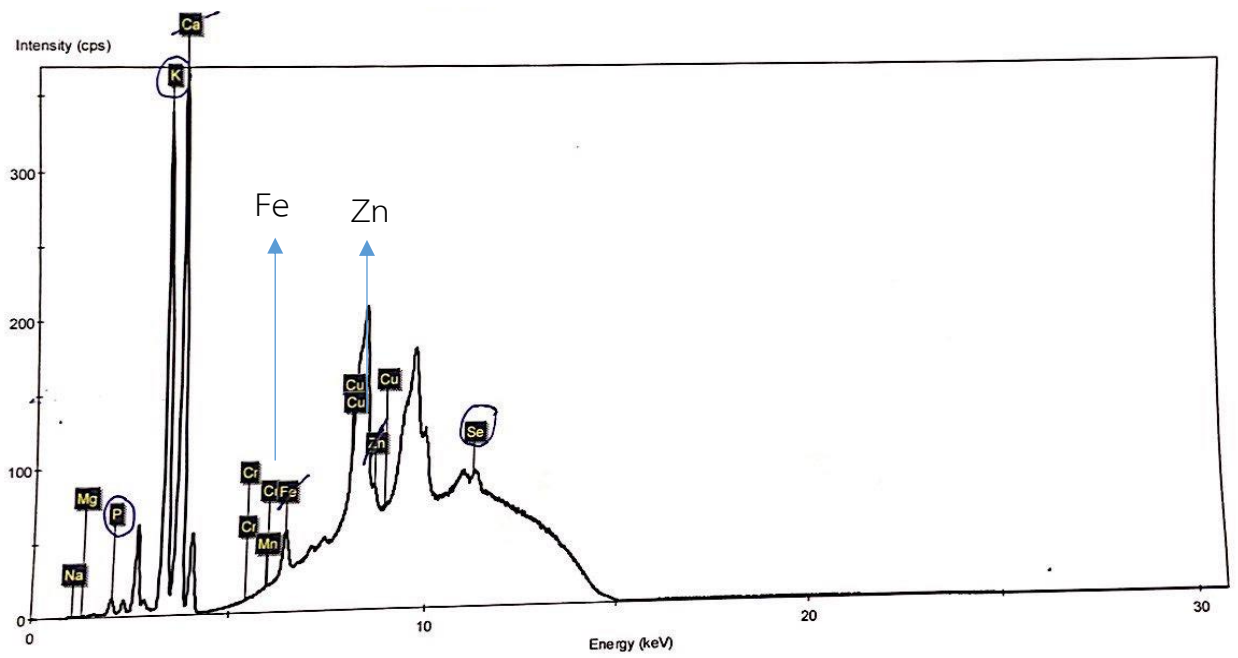
### 4.3.2 ศักย์ไฟฟ้า (Voltage)

ในงานวิจัยทำการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุต่างๆทั้งที่เป็นธาตุเบา และธาตุหนักจึงได้ทำการศึกษาศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์แร่ธาตุต่างๆโดยศักย์ไฟฟ้าที่ศึกษา ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าขนาด 5 kV, 15 kV, 22 kV, และ 30 kV พบว่าศักย์ไฟฟ้าขนาด 5 kV รูปที่ 4.5 เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเบา (โซเดียม, และแมกนีเซียม) เนื่องจากแร่ธาตุโซเดียม และแมกนีเซียมปรากฏพีคแอลฟาที่ 1.0410 kV, และ 1.2537 kV ตามลำดับ และสัญญาณของพีคค่อนข้างต่ำหากเลือกใช้พลังงานที่มากขึ้น

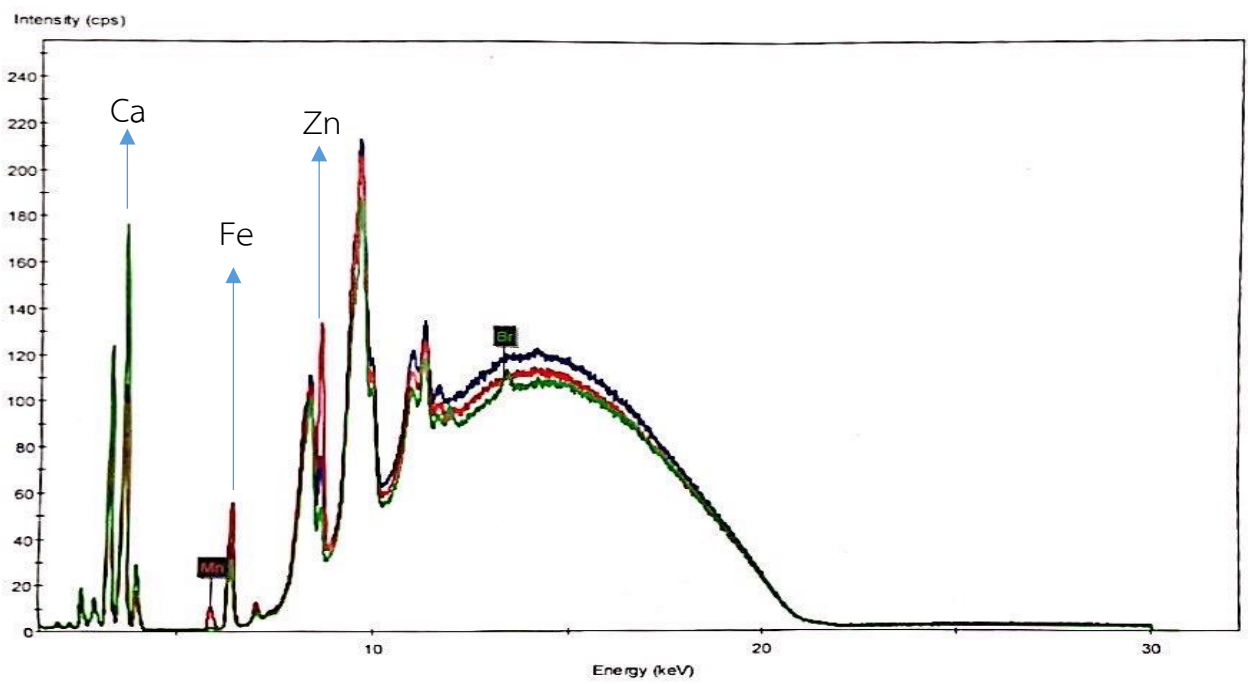
จะทำให้พีคด้านท้ายที่เป็น background ยกตัวสูงขึ้นส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ ส่วนศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ธาตุหนัก (แคลเซียม, เหล็ก, และสังกะสี) คือศักย์ไฟฟ้าขนาด 22 kV รูปที่ 4.7 เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าขนาด 15 kV รูปที่ 4.6 พีคเหล็ก และสังกะสีปรากฏสัญญาณที่ 6.4040 kV, และ 8.6389 kV ตามลำดับยังมีสัญญาณที่ไม่มากพอ พีคมีการ broad ไม่ sharp เหมือน 22 kV และที่ศักย์ไฟฟ้า 30 kV พบว่า base line ยกตัวสูงขึ้นส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ



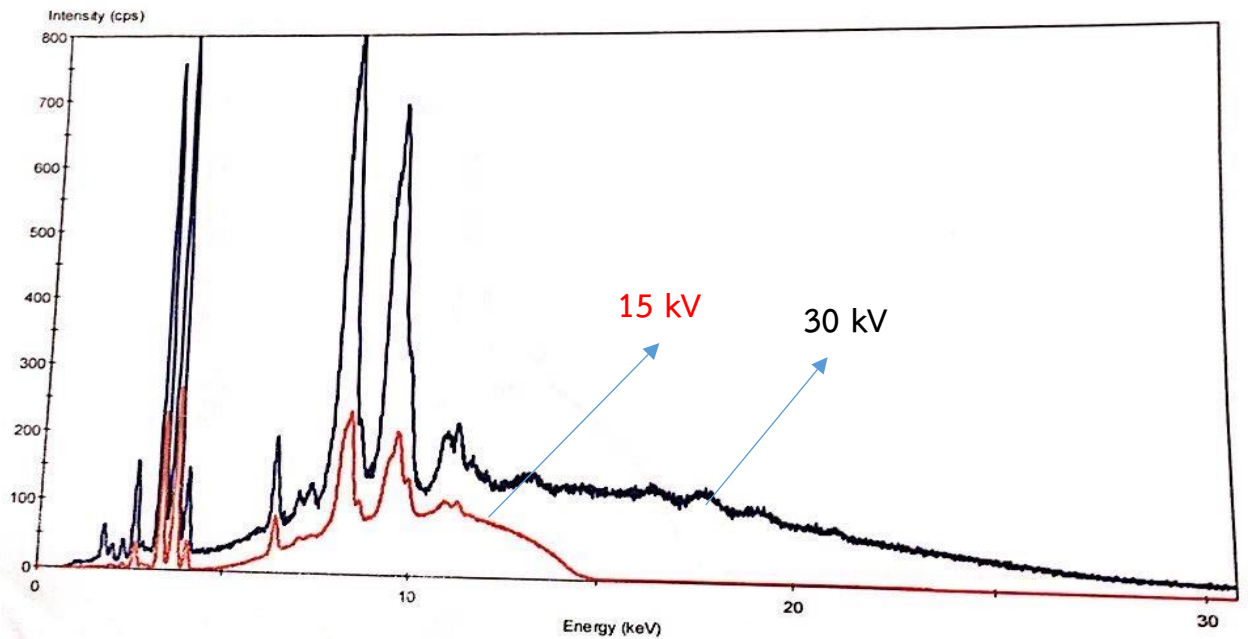
รูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 5 kV



รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV 100  $\mu$ A



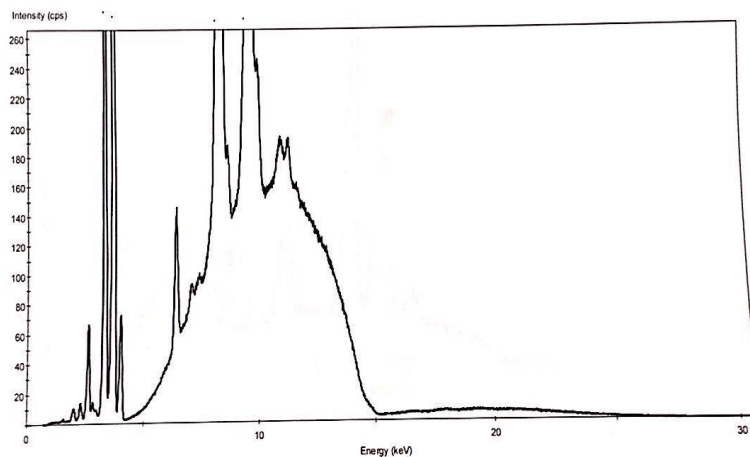
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 22 kV



รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 30 kV และ 15 kV

#### 4.3.3 กระแสไฟฟ้า (Current)

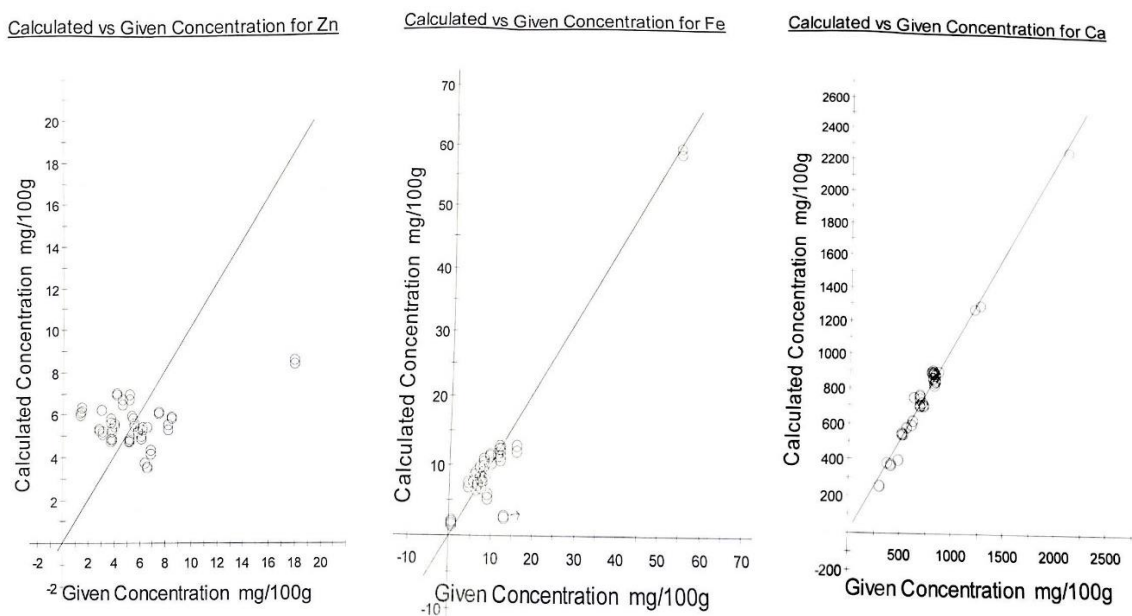
กระแสไฟฟ้าก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสเปกตรัมของเทคนิค XRF เนื่องจากในการผลิตรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิต electron beam ไปชนโลหะ target ซึ่งเครื่อง XRF ที่ใช้เป็นโลหะ target ชนิดทังสเตนที่เคลือบอยู่บนขั้วแอโนดของ X-ray tube เมื่อ electron beam ชนกับโลหะ target รังสีเอกซ์จะถูกปลดปล่อยออกมา เมื่อพิจารณาแล้วหากเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าอาจส่งผลต่อสเปกตรัมในการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ เนื่องด้วยปกติทางโรงงานใช้กระแสไฟฟ้าที่ 100  $\mu\text{A}$  รูปที่ 4.6 เราจึงทำการศึกษาเพิ่มคือ 200  $\mu\text{A}$  พบว่าที่ 200  $\mu\text{A}$  base line ด้านซ้ายมีการยกตัวสูงขึ้นทำให้บริเวณการวิเคราะห์ที่คบบริเวณด้านหน้าดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV 200  $\mu\text{A}$

#### 4.4 การสร้างเส้นโค้งสอบเทียบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

เมื่อได้พารามิเตอร์สภาวะการวิเคราะห์ของเครื่องมือ XRF เราจึงทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างมาตรฐานเพื่อสร้างเส้นโค้งสอบเทียบระหว่างความเข้มข้นที่ได้จากเทคนิค ICP (แกน x) กับ XRF (แกน y) พบว่ากราฟที่ได้ไม่เป็น linearity มีการกระจายจุดของกราฟแร่ธาตุสังกะสีกับเหล็กดังรูปที่ 4.10



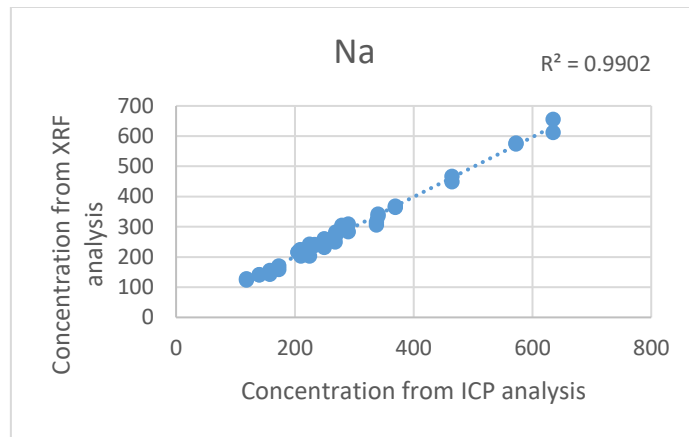
**รูปที่ 4.10** แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, และแคลเซียมก่อนตัด background

เมื่อสังเกตจากกราฟสเปกตรัมรูปที่ 4.7 พบว่าด้านท้ายกราฟมีการยกตัวของ base line เป็นผลให้รบกวนการวิเคราะห์แร่ธาตุ ดังนั้นเราจึงทำการคำนวณความเข้มข้นใหม่เป็น ratio ซึ่งเป็นการตัด background โดยมีการคำนวณดังนี้

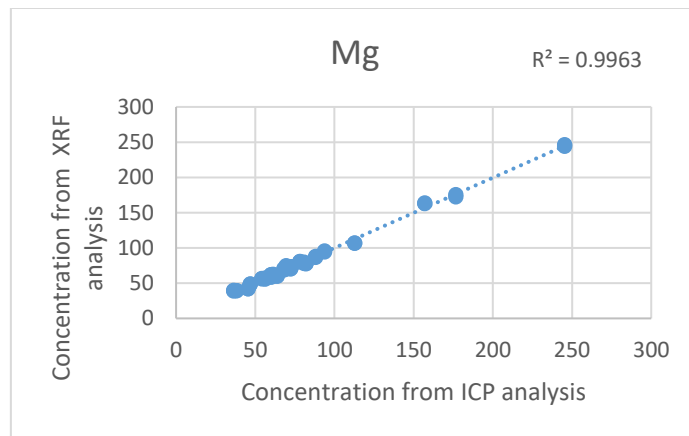
$$\text{Ratio} = \text{Peak cps} / \text{Background cps}$$

กราฟใหม่ที่ได้มีความเป็นเส้นตรง, จุดบนกราฟไม่กระจายตัวความเข้มข้นที่ได้จากเทคนิค ICP กับ XRF แทบจะไม่ต่างกัน, และค่า  $R^2$  ของเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุโซเดียม แมกนีเซียม สังกะสี เหล็ก และแคลเซียมมีค่าเท่ากับ 0.9902, 0.9963, 0.9942, 0.9992, และ 0.9943 ดังรูปที่ 4.11 ถึงรูปที่ 4.15 จึงสรุปได้ว่าในการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเทคนิค XRF ต้องมีการตัด background

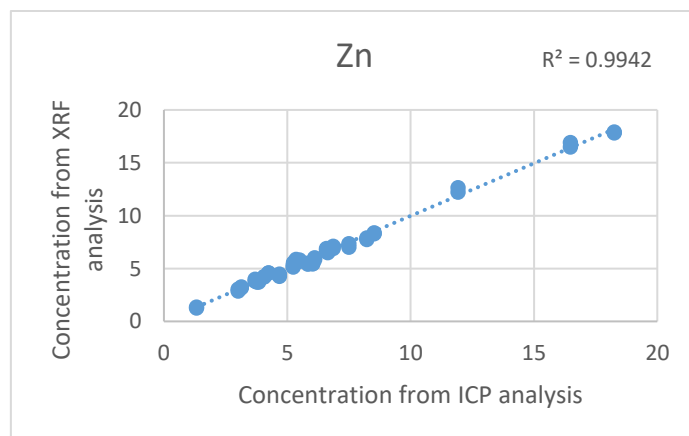




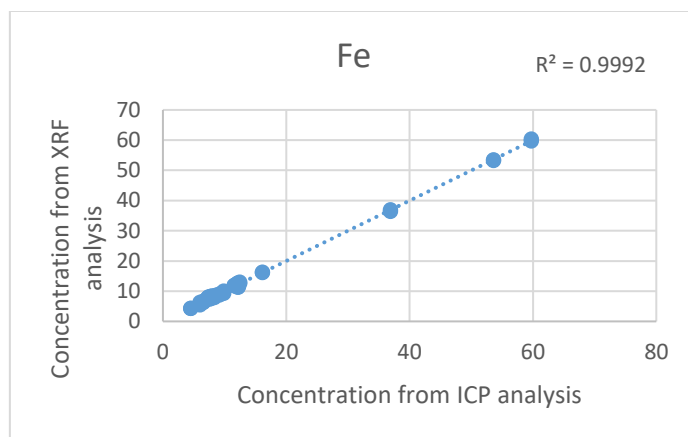
รูปที่ 4.11 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุโซเดียม



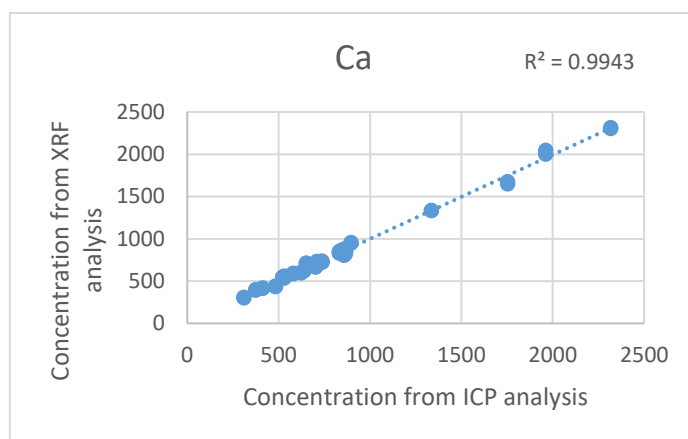
รูปที่ 4.12 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุแมกนีเซียม



รูปที่ 4.13 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุสังกะสี



รูปที่ 4.14 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุเหล็ก



รูปที่ 4.15 แสดงเส้นโค้งสอบเทียบของแร่ธาตุแคลเซียม

#### 4.5 การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ และความเข้มข้นต่ำสุด

##### กับสูงสุดที่ยอมรับได้ ( Determination of LOD, LOQ, LOL )

เมื่อได้เส้นโค้งสอบเทียบสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ เราต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ (LOL) และค่าความเข้มข้นต่ำสุด และสูงสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ และยอมรับได้ (LOQ และ LOL) เพื่อใช้ในการยืนยันว่าค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้นั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ หากไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ก็ไม่สามารถจัดจำหน่ายสินค้าจนจบกระบวนการผลิตนั้นได้ ดังนั้นจึงทำการหาค่า LOD, LOQ และ LOL ความเข้มข้นของแร่ธาตุในหน่วยมิลลิกรัมในหนึ่งร้อยกรัมสารตัวอย่างจนพบจากรูปพบว่าที่ความเข้มข้นสูงสุดของแต่ละแร่ธาตุยังคงเป็นเส้นตรงไม่มีการกระจายของจุด ยกเว้นกราฟของแร่ธาตุโซเดียมที่ค่าความเข้มข้นสูงสุดเริ่มกระจายทำให้เลือกค่าความเข้มข้นถัดมาเป็นค่า LOL ดังนั้นค่า LOL ของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, และโซเดียมมีค่าเท่ากับ 17.88, 60.02, 2311.34, 245.03, และ 575.32 ( mg / 100 g )ตามลำดับ ส่วนการหาค่า LOD และ LOQ หากจากการนำสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำสุดไป

วิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยเทคนิค XRF จำนวน 10 ซ้ำจากนั้นคำนวณตามสูตรพบว่าค่า LOD ของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, และโซเดียมมีค่าเท่ากับ 0.17, 0.55, 19.25, 3.71, และ 9.35 ( mg / 100 g ) ตามลำดับ และค่า LOQ มีค่าเท่ากับ 0.55, 1.83, 64.16, 12.37, และ 31.18 ( mg / 100 g ) ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 ดังนั้นเราจึงทำการสรุปช่วงความเข้มข้นของการวิเคราะห์จากกราฟของแร่ธาตุทั้งห้าชนิดเป็นดังตารางที่ 4.4 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับช่วงความเข้มข้นของสูตรนมต่างๆในปัจจุบันของทางบริษัทดังตารางที่ 3.1 พบว่าช่วงความเข้มข้นในการวิเคราะห์มีความครอบคลุมช่วงความเข้มข้นของสูตรนมในปัจจุบันทำให้สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างนมผงได้หลายสูตรจากช่วงความเข้มข้นสูตรเดิมที่เคยมีอยู่

**ตารางที่ 4.3** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ และยอมรับได้ของแร่ธาตุห้าชนิดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคXRF

Sample Blank	Zn	Fe	Ca	Mg	Na
	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)	(mg/100g)
1	1.4450	4.3894	297.9056	34.7213	119.8100
2	1.4019	4.3950	300.2788	34.4462	113.8289
3	1.3821	4.2814	301.7624	34.7890	122.0578
4	1.4352	4.5435	310.3886	37.5012	112.2884
5	1.4361	4.4983	313.0594	34.7364	116.4300
6	1.3596	4.2288	308.1394	34.0681	118.0834
7	1.3357	4.7538	304.9530	37.5716	119.0961
8	1.2616	4.7150	316.9092	35.1060	116.0979
9	1.3701	4.4586	315.1438	35.2329	116.2910
10	1.3688	4.6500	307.0149	36.1565	120.6164
Mean	1.38	4.49	307.56	35.43	117.46
Std. Dev.	0.0553	0.1834	6.4155	1.2367	3.1178
% RSD	4.01	4.08	2.09	3.49	2.65
%RSD Acceptable (Y/N)	YES	YES	YES	YES	YES
LOD	0.17	0.55	19.25	3.71	9.35
LOQ	0.55	1.83	64.16	12.37	31.18

**ตารางที่ 4.4** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุด และ สูงสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ และยอมรับได้ของแร่ธาตุห้าชนิดที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

Precision	Concentration (mg/100g)				
	Zn	Fe	Ca	Mg	Na
LOD	0.17	0.55	19.25	3.71	9.35
LOQ	0.55	1.83	64.16	12.37	31.18
LOL	17.88	60.02	2311.34	245.03	575.32

#### 4.6 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

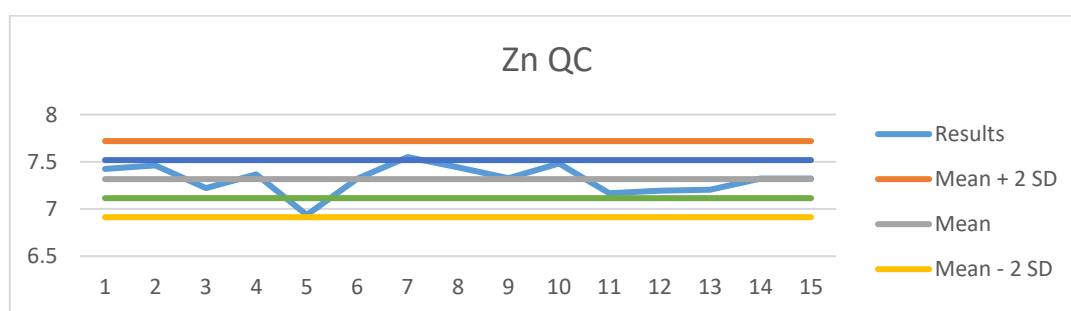
เนื่องจากสูตรผสมต่างๆที่ใช้เป็นสารมาตรฐานในการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบมีแร่ธาตุแมงกานีสในปริมาณน้อยแต่สารมาตรฐานที่ใช้ทดสอบชนิด SEM มีแร่ธาตุแมงกานีสประกอบอยู่ ส่วนสารมาตรฐานที่ใช้ทดสอบชนิด ERM มี base line ยกตัวต่ำกว่าสารตัวอย่างมาตรฐานทำให้สารทั้งสองชนิดไม่สามารถใช้ในการอ้างอิงได้จึงเลือกวิธีการควบคุมคุณภาพ และวิธีการเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสองชนิดแทน

##### 4.6.1 การควบคุมคุณภาพ (Quality control)

การควบคุมคุณภาพเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผสมในกระบวนการผลิตนั้น เนื่องจากสารตัวอย่างเป็นสารที่มีอยู่ภายในบริษัทหาได้ง่าย และราคาไม่แพง หากความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากวิธีที่สร้างขึ้นใหม่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่มีการรับรอง (Certificate of concentration) และอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ความเชื่อมั่น 95 % (ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น  $\pm 2S.D.$  ) ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์นั้นสามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุได้ ในการเก็บข้อมูลนั้นต้องเก็บอย่างน้อย 15 ครั้งแต่ละครั้งเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์จำนวน 2 รอบ ซึ่งการวิเคราะห์ซ้ำใช้เพื่อยืนยันว่าความเข้มข้นที่ได้แทบจะไม่ต่างกันโดยหาได้จาก %different ของค่าความเข้มข้นสองรอบ และควรมีค่าไม่เกิน 10 % หากเก็บข้อมูลจำนวนมากขึ้นข้อมูลของผลการวิเคราะห์จะกระจายตัวมากขึ้นจะทำให้ช่วงความเข้มข้นที่ความเชื่อมั่น 95 % กว้างขึ้น จากผลการทดลองรูปที่ 4.16 ถึงรูปที่ 4.20 พบว่าความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, และโซเดียมมีค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพไม่เกินช่วงความเข้มข้นที่ความเชื่อมั่น 95 % แต่แร่ธาตุแมงกานีสมีหนึ่งมีค่าเกินช่วงเป็นผลมาจากจำนวนข้อมูลในงานวิจัยนี้ยังไม่มากพอหากทำการเก็บข้อมูลต่อไปอาจทำให้ช่วงความเข้มข้น กว้างขึ้น และอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ยอมรับได้

**ตารางที่ 4.5** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุสังกะสี

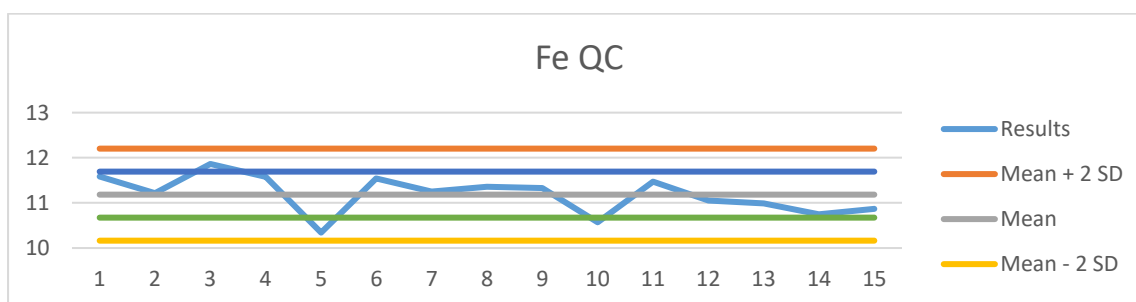
Number	Test Date	Results ( mg/100g)		
		A	B	Average
1	15/09/2020	7.23	7.62	7.42
2	15/09/2020	7.68	7.25	7.46
3	15/09/2020	7.06	7.39	7.22
4	15/09/2020	7.36	7.38	7.37
5	15/09/2020	6.80	7.07	6.94
6	15/09/2020	7.28	7.36	7.32
7	15/09/2020	7.64	7.46	7.55
8	16/09/2020	7.67	7.21	7.44
9	17/09/2020	7.19	7.46	7.33
10	18/09/2020	7.58	7.39	7.48
11	18/09/2020	7.00	7.33	7.17
12	18/09/2020	7.15	7.24	7.20
13	18/09/2020	7.14	7.27	7.21
14	21/09/2020	7.31	7.34	7.32
15	23/09/2020	7.31	7.34	7.32
Mean = 7.32		SD = 0.20		%RSD = 2.8
Mean + 1 SD =		7.52	Mean - 1 SD =	7.11
Mean + 2 SD =		7.72	Mean - 2 SD =	6.91
Mean + 3 SD =		7.92	Mean - 3 SD =	6.71



**รูปที่ 4.16** กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี

**ตารางที่ 4.6** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุเหล็ก

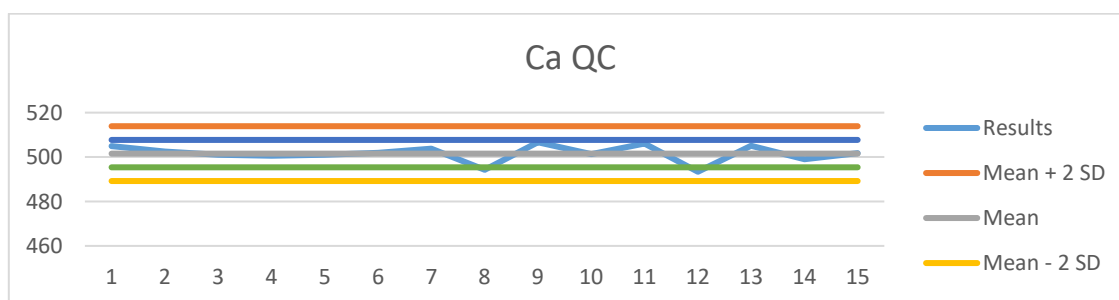
Number	Test Date	Results ( mg/100g)		
		A	B	Average
1	15/09/2020	11.84	11.33	11.58
2	15/09/2020	11.30	11.13	11.21
3	15/09/2020	11.93	11.79	11.86
4	15/09/2020	10.89	12.27	11.58
5	15/09/2020	10.43	10.25	10.34
6	15/09/2020	11.60	11.48	11.54
7	16/09/2020	11.43	11.07	11.25
8	16/09/2020	11.82	10.89	11.35
9	18/09/2020	11.12	11.53	11.33
10	18/09/2020	10.64	10.50	10.57
11	18/09/2020	12.10	10.85	11.47
12	18/09/2020	11.00	11.10	11.05
13	18/09/2020	10.84	11.14	10.99
14	21/09/2020	10.70	10.80	10.75
15	23/09/2020	10.98	10.75	10.87
Mean = 11.18		SD = 0.51		%RSD = 4.6
Mean + 1 SD =		11.69	Mean - 1 SD =	10.67
Mean + 2 SD =		12.20	Mean - 2 SD =	10.16
Mean + 3 SD =		12.71	Mean - 3 SD =	9.65



**รูปที่ 4.17** กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก

**ตารางที่ 4.7** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุแคลเซียม

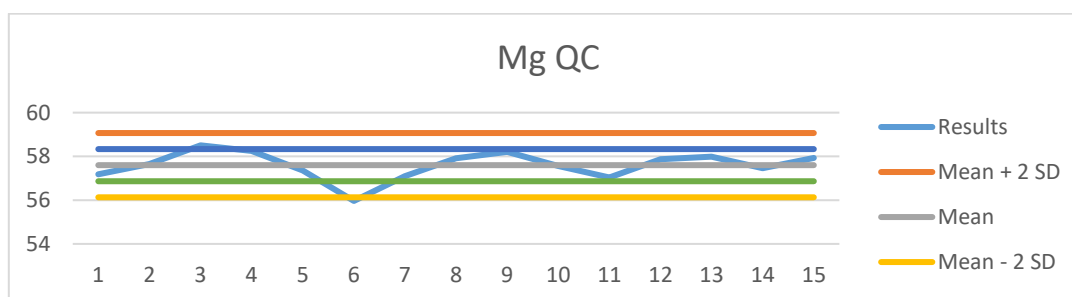
Number	Test Date	Results ( mg/100g)		
		A	B	Average
1	15/09/2020	507.59	502.19	504.89
2	15/09/2020	505.99	498.88	502.43
3	15/09/2020	499.37	502.75	501.06
4	15/09/2020	509.42	491.84	500.63
5	15/09/2020	499.93	502.12	501.02
6	15/09/2020	498.96	504.79	501.88
7	16/09/2020	511.16	496.52	503.84
8	16/09/2020	489.87	498.60	494.24
9	17/09/2021	507.89	505.41	506.65
10	18/09/2020	498.18	504.31	501.25
11	18/09/2020	498.37	513.66	506.02
12	18/09/2020	488.26	498.50	493.38
13	18/09/2020	509.66	500.46	505.06
14	21/09/2020	505.57	492.49	499.03
15	23/09/2020	504.34	499.13	501.74
Mean = 501.54		SD = 6.17		%RSD = 1.2
Mean + 1 SD =		507.71	Mean - 1 SD =	495.37
Mean + 2 SD =		513.88	Mean - 2 SD =	489.20
Mean + 3 SD =		520.06	Mean - 3 SD =	483.03



**รูปที่ 4.18** กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม

**ตารางที่ 4.8** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุแมกนีเซียม

Number	Test Date	Results ( mg/100g)		
		A	B	Average
1	15/09/2020	57.77	56.60	57.19
2	15/09/2020	58.06	57.23	57.64
3	15/09/2020	58.17	58.84	58.51
4	15/09/2020	58.59	57.92	58.26
5	15/09/2020	57.38	57.33	57.36
6	15/09/2020	56.09	55.84	55.96
7	15/09/2020	57.36	56.82	57.09
8	15/09/2020	58.05	57.78	57.92
9	15/09/2020	58.99	57.44	58.21
10	15/09/2020	57.21	57.91	57.56
11	16/09/2020	57.46	56.62	57.04
12	17/09/2020	57.57	58.17	57.87
13	18/09/2020	57.74	58.24	57.99
14	18/09/2020	56.97	57.94	57.45
15	18/09/2020	57.60	58.27	57.93
Mean = 57.60		SD = 0.73		%RSD = 1.3
Mean + 1 SD =		58.33	Mean - 1 SD =	56.86
Mean + 2 SD =		59.07	Mean - 2 SD =	56.13
Mean + 3 SD =		59.80	Mean - 3 SD =	55.40

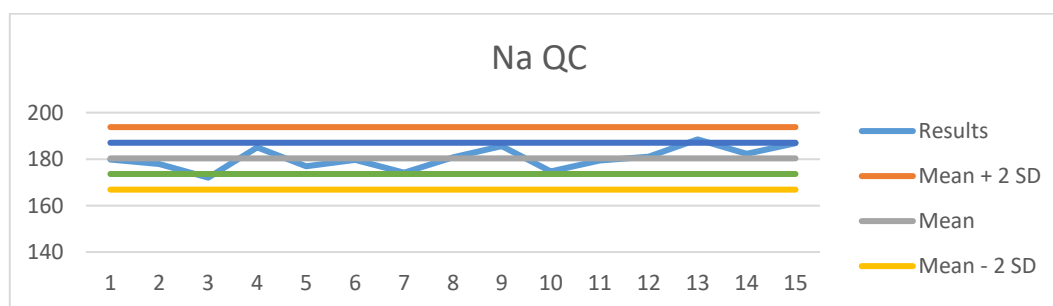


**รูปที่ 4.19** กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุแมกนีเซียม



**ตารางที่ 4.9** แสดงข้อมูลค่าความเข้มข้นสารตัวอย่างที่ใช้ควบคุมคุณภาพนมผงที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ของแร่ธาตุโซเดียม

Number	Test Date	Results ( mg/100g)		
		A	B	Average
1	15/09/2020	181.38	178.33	179.86
2	15/09/2020	184.18	171.43	177.80
3	15/09/2020	171.43	172.60	172.01
4	15/09/2020	177.62	192.59	185.10
5	15/09/2020	166.12	187.62	176.87
6	15/9/2020	180.98	178.37	179.67
7	15/09/2020	175.49	172.86	174.17
8	15/9/2020	186.60	175.01	180.81
9	15/09/2020	188.52	182.61	185.56
10	16/09/2020	172.03	177.50	174.77
11	17/09/2020	180.65	178.08	179.36
12	17/09/2020	176.59	185.57	181.08
13	17/09/2020	183.85	193.11	188.48
14	17/09/2020	187.00	177.50	182.25
15	17/09/2020	186.09	187.53	186.81
Mean = 180.31		SD = 6.72		%RSD = 3.7
Mean + 1 SD =		187.03	Mean - 1 SD =	173.58
Mean + 2 SD =		193.76	Mean - 2 SD =	166.86
Mean + 3 SD =		200.48	Mean - 3 SD =	160.14



**รูปที่ 4.20** กราฟแสดงความเข้มข้นของสารตัวอย่างคุณภาพที่วิเคราะห์แร่ธาตุโซเดียม

#### 4.6.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสองชนิด

**ตารางที่ 4.10** แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุสังกะสี

Zn				
Formulation	Mean con. XRF (mg/100)	Mean con. ICP (mg/100)	t Stat	t Critical two- tail
1	3.26	2.96	4.7630	2.1009
2	4.02	3.64	6.6648	2.1009
3	4.52	4.25	3.4575	2.1009
4	4.66	4.06	6.6403	2.1009
5	5.40	5.12	3.2352	2.1448
6	5.45	5.46	-0.1343	2.1199
7	5.62	5.22	5.1451	2.1788
8	6.21	6.12	1.0121	2.1009
9	6.68	6.66	0.1456	2.1009
10	7.24	7.10	0.9143	2.1009
11	7.71	7.81	-0.9509	2.1314

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมนผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุเหล็ก

Fe				
Formulation	Mean con. XRF (mg/100)	Mean con. ICP (mg/100)	t Stat	t Critical two-tail
1	6.72	6.52	1.6550	2.1009
2	6.29	6.15	1.8608	2.1009
3	7.14	6.90	2.0660	2.1009
4	7.73	6.79	7.9218	2.2281
5	8.39	8.22	1.3322	2.1009
6	8.48	7.62	7.2748	2.1604
7	9.25	8.08	7.8412	2.2010
8	9.64	9.96	-1.6532	2.1009
9	11.16	10.07	6.1979	2.1604
10	11.97	12.05	-0.4366	2.1009
11	12.60	11.14	7.0063	2.1009

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมนผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุแคลเซียม

Ca				
Formulation	Mean con. XRF (mg/100)	Mean con. ICP (mg/100)	t Stat	t Critical two-tail
1	622.64	567.07	5.4373	2.1009
2	692.59	749.75	-4.8957	2.1009
3	699.71	697.48	0.4655	2.1199
4	848.94	829.23	3.7515	2.1009
5	849.89	906.86	-5.8224	2.1009
6	856.36	831.54	1.7024	2.1009
7	859.84	828.15	5.7331	2.1009
8	860.66	768.46	12.2410	2.1009
9	863.81	825.73	4.9094	2.1098
10	865.46	860.97	0.5175	2.1788
11	946.57	888.36	6.5849	2.1009

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุแมกนีเซียม

Mg				
Formulation	Mean con. XRF (mg/100)	Mean con. ICP (mg/100)	t Stat	t Critical two-tail
1	63.09	63.16	-0.0576	2.1009
2	63.19	58.62	4.9165	2.1009
3	70.15	73.24	-6.4973	2.1314
4	71.41	68.95	3.2382	2.1009
5	79.70	73.88	4.9504	2.1009
6	81.61	78.84	0.2957	2.1009
7	83.70	96.12	-8.2827	2.1009
8	110.73	111.28	-0.3969	2.1009

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าการทดสอบ t Test ของนมผงสูตรต่างๆที่วิเคราะห์แร่ธาตุโซเดียม

Na				
Formulation	Mean con. XRF (mg/100)	Mean con. ICP (mg/100)	t Stat	t Critical two-tail
1	195.36	244.70	-11.4046	2.1009
2	273.96	329.29	-10.7178	2.1009
3	279.96	303.55	-4.4527	2.1098
4	298.82	215.15	15.0997	2.1009
5	303.21	272.52	9.4947	2.1009

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ในการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุอาหารในนมผงโดยการวิเคราะห์จากนมผงสูตรต่างๆที่มีภายในบริษัทจำนวน 25 สูตรนำมาเป็นสารมาตรฐานในการสร้างเส้นโค้งสอบเทียบโดยทำการวัดแร่ธาตุจำนวน 5 แร่ธาตุ ได้แก่ แร่ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม, แคลเซียม, เหล็ก, และสังกะสี เส้นโค้งสอบเทียบที่สร้างขึ้นจะสามารถสังเกตจากเส้นสเปกตรัมที่ทำการสแกนผ่านบริเวณผิวหน้าของสารตัวอย่างหลังจากนั้นเครื่อง XRF จะทำการคำนวณเป็นความเข้มข้นแล้วสร้างกราฟขึ้นมา ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในนมผงด้วยเทคนิค XRF ได้แก่ การเตรียมสารตัวอย่าง (น้ำหนักสารตัวอย่าง, แรงดันที่ใช้ในการอัดสารตัวอย่าง ความชื้น ความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่าง) และตัวแปรต่างๆของเครื่องมือ (ศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า) พบว่าใช้ขั้นตอนวัดตัวอย่างที่ให้น้ำหนัก 16 กรัม แรงดันที่ใช้ในการอัดสารตัวอย่างขนาด 5 ตัน ศักย์ไฟฟ้า 22 kV, กระแสไฟฟ้า 100  $\mu$ A, และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ 90 วินาที เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนัก ขณะที่ 5 kV 600  $\mu$ A และ 200 วินาทีเหมาะสำหรับธาตุโลหะเบา จากการวิเคราะห์เพื่อสร้างเส้นโค้งสอบเทียบพบว่าการคำนวณปริมาณแร่ธาตุจะต้องมีการหักลบพื้นหลัง (background) โดยคำนวณเป็นอัตราส่วนกับสัญญาณที่วัดได้จะทำให้ได้ความถูกต้องของการสอบเทียบมากกว่าการไม่หักลบพื้นหลังออก

เมื่อทำการวิเคราะห์แร่ธาตุในนมผงของบริษัทซึ่งมีช่วงความเข้มข้นของแร่ธาตุในหน่วยมิลลิกรัมในหนึ่งร้อยกรัมสำหรับแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, และโซเดียมมีค่าเท่ากับ 3.13-8.52, 5.99-16.09, 373.20-1334.69, 46.69-93.71, และ 157.75-368.78 และเปรียบเทียบข้อมูลช่วงความเข้มข้นของแร่ธาตุในหน่วยมิลลิกรัมในหนึ่งร้อยกรัมสารตัวอย่างนมผงมีความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, และแคลเซียมของเส้นโค้งมาตรฐานเดิมที่มีอยู่มีค่าเท่ากับ 2.80-31.95, 3.05-36.01, และ 403.31-1283.00 พบว่าสามารถวิเคราะห์แร่ธาตุที่มีช่วงความเข้มข้นกว้างขึ้นโดยช่วงความเข้มข้นของแร่ธาตุในหน่วยมิลลิกรัมในหนึ่งร้อยกรัมสารตัวอย่างนมผงมีความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, และโซเดียมของเส้นโค้งมาตรฐานใหม่ที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 1.32-18.25, 4.49-59.73, 309.64-2316.22, 36.33-245.21, และ 118.26-572.31 นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ (LOD) เท่ากับ 0.17, 0.55, 19.25, 3.71, และ 9.35 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยอมรับได้ (LOQ) เท่ากับ 0.55, 1.83, 64.16, 12.37, และ 31.18 และความเข้มข้นสูงสุดที่เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ (LOL) เท่ากับ 17.88, 60.02, 2311.34, 245.03, และ 575.32 ตามลำดับ นอกจากนี้ช่วง LOD-LOL ที่ได้จากการศึกษาพบว่าครอบคลุมช่วงความเข้มข้นของแร่ธาตุในนมผง และเมื่อเทียบกับช่วงความเข้มข้นเดิมพบว่าช่วงความเข้มข้นใหม่กว้างกว่าช่วงความเข้มข้นเดิม รวมทั้งสามารถวิเคราะห์แร่ธาตุได้เพิ่มเติมอีกสองชนิดคือ แร่ธาตุโซเดียม และแมกนีเซียม

ข้อเสนอแนะในการวิเคราะห์แร่ธาตุอาหารที่สนใจในนมผงมีจำนวน 9 แร่ธาตุได้แก่ แร่ธาตุโซเดียม, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, คลอรีน, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส, เหล็ก, ทองแดง, สังกะสี, และซีรีเนียม ซึ่งแร่ธาตุสังกะสี, เหล็ก, แคลเซียม, แมกนีเซียม, และโซเดียม เราได้ทำการวิเคราะห์แล้ว ในส่วนของการพัฒนาต่องานวิจัยนี้ส่วนแรกสามารถสร้างเส้นโค้งสอบเทียบเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในนมผงได้ คือ แร่ธาตุ คลอรีน, ฟอสฟอรัส, และโพแทสเซียม ส่วนที่สองคือ การศึกษาแร่ธาตุแมงกานีสที่รบกวนการวิเคราะห์แร่ธาตุ เหล็กในผลิตภัณฑ์นมผง ส่วนสุดท้ายคือ เก็บข้อมูลผลการวิเคราะห์สำหรับสูตรนมอื่นที่ยังไม่ได้ทำการสำรวจ ข้อมูล ดังนั้นจึงควรศึกษาสูตรนมผงอื่นๆเพิ่มเติม

## เอกสารอ้างอิง

1. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 156 (พ.ศ.2537), นมดัดแปลงสำหรับทารกและนมดัดแปลงสูตรต่อเนื่องสำหรับทารกและเด็กเล็ก. Retrieve from. <http://food.fda.moph.go.th/law/data/announmoph/P156.pdf> (accessed 17.03.20).
2. M.A. Fuente, M. Juárez, Milk and dairy products, in: M. Guardia, S. Garrigues (Eds.), *Handbook of Mineral Elements in Food*, John Wiley & Sons, **2015**, pp.650-651.
3. P.J. Potts, “ X-ray fluorescence analysis : principles and practice of wavelength dispersive spectrometry ”, *A Handbook of Silicate Rock Analysis*, Springer Science+Business Media New York, **1987**, 226-285
4. R. Scholtz, *Fundamental principle, Introduction to X-ray Fluorescence Analysis (XRF)*, Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany, **2000-2006**, pp 2-3.
5. L. Perring, F. Monard, “ Improvement of Energy Dispersive X-Ray Fluorescence
6. Throughput: Influence of Measuring Times and Number of Replicates on Validation Performance Characteristics ”, *Food Anal. Methods*, Springer Science + Business Media, Switzerland, **2009**, pp 104–115.
7. G.V. Pashkova, *X-ray Fluorescence Determination of Element Contents in Milk and Dairy Products*, Springer Science + Business Media, **2009**, 10(2), 303-310.
8. W. P. McCarthy, K. Daly, A. Fenelon, C. O’Connor, N. A. Mccarthy, S. A. Hogan, J. T. Tobin, T. F. O’Callaghan, “ Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry as a tool for the rapid determination of the five major minerals (Na, Mg, K, P and Ca) in skim milk powder ”, *International Journal of Dairy Technology*, **73(2)**, **2020**, 459-467.
9. R.D. Vis, S. Bamford, Sampling, storage and sample preparation procedures for X ray fluorescence analysis of environmental materials, INIS Clearinghouse, Vienna, Austria, **1997**.
10. XRF Sample Preparation Techniques: Pellets versus Loose Powder |

Spectroscopy Guides. Retrieve from.

<https://www.specac.com/en/news/calendar/2018/08/xrf-pellets-vs-powder>  
(accessed 10.11.20).

11. การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ, วิธีการทดสอบที่ใช้สำหรับ method validation  
Retrieve from [reo06.mnre.go.th](http://reo06.mnre.go.th) (accessed 01.10.20).



### ประวัติผู้วิจัย

นางสาวนันทน์ช เลิศอนันต์สิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 25 เดือน มกราคม พ.ศ. 2542 ที่จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษา  
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา  
2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 564-566 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ รหัสไปรษณีย์  
32000 อีเมล mildsister@gmail.com