

การตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
แบบพกพา

DETERMINATION OF CALCIUM BY PORTABLE
SPECTROMETER



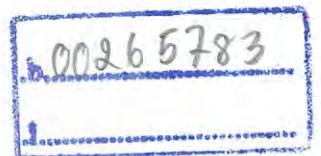
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
แบบพกพา

DETERMINATION OF CALCIUM BY PORTABLE
SPECTROMETER



พลอยไพลิน นพรัตน์
สุดาร์ตน์ ธนะสูตร
โอปอ คีตวัฒนานนท์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF CALCIUM BY PORTABLE SPECTROMETER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา
Determination of Calcium by Portable Spectrometer

ชื่อนักศึกษา นางสาว พลอยไพลิน นพรัตน์ รหัสนักศึกษา 55050747
นางสาว สุศรัตน์ ธนะสูตร รหัสนักศึกษา 55050834
นางสาว โอบอ คีตพัฒนานนท์ รหัสนักศึกษา 55050879

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพลอยไพลิน นพรัตน์	รหัสนักศึกษา	55050747
	นางสาวสุตารัตน์ ธนะสูตร	รหัสนักศึกษา	55050834
	นางสาวโอปอ คีตพัฒนานนท์	รหัสนักศึกษา	55050879
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้พัฒนา วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมไอออนในน้ำประปาและนม โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา หลักการตรวจวัดอาศัยปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเอริโอโครมแบลคที่กับแคลเซียมไอออนในสภาวะสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 10 โดยทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์สีแดงที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาโดยมีหลอด LED เป็นหลอดกำเนิดแสง

ในขั้นแรก ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ แล้วจึงนำสภาวะที่เหมาะสมไปใช้กับเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา จากการศึกษาพบว่าในช่วงใช้งานที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมตั้งแต่ 1-150 พีพีเอ็ม โดยมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในเกณฑ์ดี ($R^2=0.9924$) มีความเที่ยงสูง ($RSD=1.12$) ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (y_B+3S_B) และของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (y_B+10S_B) เท่ากับ 0.79 พีพีเอ็ม กับ 2.62 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

ได้ประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างน้ำประปาและนม แล้วเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางสถิติกับผลที่ได้จากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าทั้งสองเครื่องให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($t_{stat.} = -1.166, t_{crit.} = 2.776$) จากผลการศึกษา พบว่าตัวอย่างน้ำประปาได้ค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับเท่ากับ 91.1 จึงกล่าวได้ว่าวิธีการตรวจวัดแคลเซียมไอออนด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพานี้ มีความแม่นยำสูงแต่อย่างไรก็ตาม พบว่าตัวอย่างนม ได้ค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับเท่ากับ 63.3 เนื่องจากองค์ประกอบในน้ำนมรบกวนการวิเคราะห์ จึงต้องมีการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมในลำดับต่อไป

คำสำคัญ : การหาปริมาณ แคลเซียม เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

Title	Determination of Calcium by Portable Spectrometer		
Students	Miss.Phloiphailin	Noppharat	Student ID 55050747
	Miss.Sudarat	Thanasut	Student ID 55050834
	Miss.Opo	Keetawattananon	Student ID 55050879
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst.Prof.Dr. Nathawut Choengchan		

Abstract

This work presents method development for determination of calcium. Detection chemistry is based on the reaction between calcium and eriochrome black T in buffer solution at pH = 10. The method was developed for measurement by the portable LED spectrometer. However, the optimal conditions were investigated using UV-Vis spectrophotometer and were then adapted to the portable device. Analytical performances of the LED spectrometer were evaluated. Working range from 1 to 150 ppm was observed with good linearity ($R^2=0.9924$). The method also provided high precision (RSD = 1.12 %). The limit of detection (y_B+3S_B) and the limit of quantitation (y_B+10S_B) were found at 0.79 ppm and 2.62 ppm, respectively. The method was applied to tap water and milk samples. For water samples, results obtained by the portable device and by the spectrophotometer were not significant difference by paired t-test at 95 % confidence ($t_{Stat.} = -1.166$, $t_{Cri.} = 2.776$). Recovery of 91.1 % was achieved. However, for milk sample, pure recovery (63.3 %) was obtained. It was maybe due to matrix effect. Further investigation will be carried out in next work.

Keywords : Determination , Calcium , Portable spectrometer.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เกิดขึ้นและสามารถดำเนินการจนสำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก ผศ.ดร.ณัฐภูมิ เชิงชั้น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของกลุ่มงานวิจัยนี้ ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเสนอแนะเพิ่มเติมทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง กรรมการสอบที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการพิจารณางานวิจัย พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนการช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในงานวิจัยฉบับนี้จนถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณอาจณรงค์ เมธาวิสรรเสริญ ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือในการทำงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่อำนวยความสะดวกการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสารเคมี ตลอดจนสถานที่สำหรับกรวิจัย คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ กลุ่มผู้วิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พลอยไพลิน นพรัตน์
สุดารัตน์ ณะสูตร
โอปอ คีตวัฒนานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา.....	3
2.1.1 แหล่งน้ำดิบ.....	3
2.1.2 การปรับปรุงคุณภาพ.....	3
2.1.3 การตกตะกอน.....	3
2.1.4 การกรอง.....	4
2.1.5 การฆ่าเชื้อโรค.....	4
2.1.6 การควบคุมคุณภาพ.....	4
2.1.7 การสูบน้ำ.....	4
2.2 คุณภาพมาตรฐานน้ำประปา.....	4
2.2.1 ความหมายของน้ำกระด้าง.....	4
2.2.2 ประเภทของความกระด้าง.....	5
2.2.3 ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากน้ำกระด้าง.....	5
2.2.4 มาตรฐานน้ำประปาตามมาตรฐาน.....	6
2.3 กระบวนการผลิตน้ำนม.....	7
2.3.1 แหล่งน้ำนมดิบ.....	7
2.3.2 ศูนย์รวมน้ำนม.....	7
2.3.3 ขั้นตอนรับน้ำนมดิบ.....	7
2.3.4 ขั้นตอนการเทอร์มิเซชัน (Thermization process).....	8
2.3.5 ขั้นตอนการโฮโมจีไนส์เซชัน (Homogenization).....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6 ขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Heat treatment process).....	8
2.3.7 ขั้นตอนการบรรจุ (Filling process).....	8
2.3.8 ขั้นตอนการเก็บรักษา (Storage).....	9
2.4 คุณภาพมาตรฐานน้ำนมสำหรับดื่ม.....	9
2.4.1 ความหมายของน้ำนม.....	9
2.4.2 การควบคุมคุณภาพ.....	9
2.5 หลักการ ยูวี-วิลิเบลสเปกโทรโฟโตเมทรี.....	13
2.6 เครื่องตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา.....	14
2.7 หลักการที่ใช้ในการตรวจวัด.....	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	27
3.1.1 สารเคมี.....	27
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด.....	27
3.2 การเตรียมสารละลาย.....	27
3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม.....	27
3.3 ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์.....	28
3.3.1 ศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมสารในการวิเคราะห์.....	28
ต่อค่าการดูดกลืนแสง.....	28
3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาตรสารละลายอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคที.....	29
ต่อค่าการดูดกลืนแสง.....	29
3.3.3 ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา.....	29
3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงที่.....	29
เหมาะสม.....	29
3.4 ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์.....	30
3.4.1 การศึกษาความแม่นยำ.....	30
3.4.2 การศึกษาความเที่ยง.....	30
3.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมโดยใช้.....	31
เครื่องตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	32
4.1 ศึกษาหลักการในการตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียม.....	32
4.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์.....	33
4.2.1 ศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมของสารในการวิเคราะห์.....	33
4.2.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาตรสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที	35
ต่อค่าการดูดกลืนแสง.....	35
4.2.3 ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา.....	37
4.2.4 ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสง	38
ที่เหมาะสม.....	38
4.3 ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ปริมาณของแคลเซียมด้วยเครื่อง	41
ยูวี – วิสเปิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	41
4.3.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง.....	41
4.3.2 ศึกษาความแม่นยำ.....	42
4.3.3 ศึกษาความเที่ยง.....	42
4.3.4 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD)	43
และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้โดยมีความถูกต้องและความเที่ยง	43
ที่ยอมรับได้ (Limit of Quantitation ; LOQ).....	43
4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง	43
วัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา.....	43
4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีมาตรฐานและวิธีที่พัฒนาขึ้น.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก กระบวนการชุดเจาะน้ำบาดาล.....	50
ภาคผนวก ข ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์.....	53
ภาคผนวก ค ศึกษาอิทธิพลของปริมาตรสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที ต่อค่าการ	54
ดูดกลืนแสง.....	54
ภาคผนวก ง ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสม.....	56
ภาคผนวก จ ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ปริมาณของแคลเซียมด้วยเครื่องวัด	58
ยูวี-วิสเปิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงเกณฑ์ความกระด้างของน้ำ.....	5
2.2 ตารางแสดงคุณภาพมาตรฐานน้ำประปา.....	6
2.3 ตารางแสดงปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมและในเถ้าของน้ำนมโดยเฉลี่ย.....	11
2.4 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น.....	16
2.5 แสดงข้อมูลจำเพาะของ High Power LEDs- Multi-Color XLAMP.....	
MCE 80 LM RGBW.....	20
4.1 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (% Recovery).....	44
4.2 แสดงค่าร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (n=3).....	44
4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในน้ำประปาที่วิเคราะห์ด้วย.....	
วิธีที่ตรวจวัดด้วยด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์กับวิธีที่ตรวจวัด.....	
ด้วยเครื่องยูวีแบบพกพา.....	46
4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์วิเคราะห์โดยใช้การทดสอบ Paired t-test.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงกระบวนการผลิตน้ำประปา.....	3
2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม.....	10
2.3 แสดงระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้น.....	14
2.4 แสดงการดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล..... และการแสดงผล.....	14
2.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer.....	15
2.6 แสดงการดูดกลืนแสงของสาร.....	17
2.7 แสดงแผนผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์.....	18
2.8 แสดงลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP.....	19
2.9 แสดงหลอดแอลอีดี High Power LEDs- Multi-Color XLAMP..... MCE 80LM RGBW.....	20
2.10 แสดงโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo transistor รุ่น WPTS-505).....	21
2.11 แสดงหน้าจอ LCD 16x2 Blue on White.....	21
2.12 แสดงเครื่องมือการตรวจวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา.....	22
2.13 แสดงสูตรโครงสร้างของสารละลายเอริโอโครมแบลคที.....	22
2.14 แสดงโครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนแคลเซียมและเอริโอโครมแบลคที.....	23
4.1 แสดงสเปกตรัมระหว่างสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที..... กับสารละลายมาตรฐานแคลเซียม.....	34
4.2 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียม.....	35
4.3 แสดงสเปกตรัมผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสารละลายมาตรฐาน..... แคลเซียมและสารละลายเอริโอโครมแบลคทีที่เกิดจากการศึกษาอิทธิพล..... ของลำดับการเติมลำดับที่ 1.....	36
4.4 แสดงสเปกตรัมผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสารละลายมาตรฐาน..... แคลเซียมและสารละลายเอริโอโครมแบลคทีที่เกิดจากการศึกษาอิทธิพล..... ของลำดับการเติมลำดับที่ 2.....	36
4.5 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับลำดับการเติมสาร.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ ปริมาณอินดิเคเตอร์ที่ที่เหมาะสม.....	38
4.7 แสดงสเปกตรัมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับสารละลาย เอริโอโครมแบลคทีปริมาตร 40 ไมโครลิตร.....	38
4.8 แสดงสเปกตรัมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับสารละลาย เอริโอโครมแบลคทีปริมาตร 60 ไมโครลิตร.....	39
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเวลา.....	39
4.10 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=8.....	40
4.11 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=9.....	40
4.12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=10.....	41
4.13 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=11.....	41
4.14 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียมกับ ของสารละลายบัฟเฟอร์.....	42
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียมกับความเข้มข้น.....	43
4.16 กราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียมด้วยเครื่องตรวจวัด การดูดกลืนแสงแบบพกพา.....	45

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ppm	ส่วนในล้าน (part per million)
R^2	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination)
% Recovery	ค่าร้อยละของการคืนกลับ
nm	นาโนเมตร
cm	เซนติเมตร
g	กรัม
ml	มิลลิลิตร
% RSD	ร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard Deviation)
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยแคลเซียมจะช่วยเสริมสร้างกระดูกทำให้กระดูกไม่พรุนเปราะบาง หรือหักง่ายช่วยซ่อมแซมการสึกหรอของกระดูก โดยเฉพาะกับคนที่เริ่มมีอายุมากขึ้น การได้รับแคลเซียมก็จะทำให้ร่างกายสามารถซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอได้อีกทั้งยังช่วยในการทำงานของระบบประสาทควบคุมการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ

แหล่งอาหารที่พบแคลเซียมในปริมาณมาก ได้แก่ ปลาขนาดเล็กที่สามารถบริโภคได้ทั้งตัว และนมวัวซึ่งนิยมดื่มกันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันนมวัวมีจำหน่ายมากมายทั้งในรูปแบบผงและนมกล่อง ผลิตภัณฑ์นมเหล่านี้จะระบุปริมาณแคลเซียมบนฉลากเพื่อให้ข้อมูลแก่ผู้ซื้อ ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพการผลิตและเพื่อคุ้มครองผู้บริโภคจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในนม แม้แคลเซียมจะเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นและมีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ในอีกด้านหนึ่งก็อาจก่อให้เกิดโทษได้ เช่น เมื่อแคลเซียมรวมตัวกับคาร์บอนเนตจะเกิดเป็นหินปูน ซึ่งถ้าสะสมอยู่ตามแหล่งน้ำธรรมชาติอาจทำให้น้ำเกิดความกระด้าง ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้อุปโภคและบริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในแหล่งน้ำ ไม่ให้มีปริมาณมากเกินไปป้องกันปัญหาความกระด้าง

การวิเคราะห์แคลเซียมในเชิงปริมาณ สามารถทำได้โดยการไทเทรตซึ่งมีข้อดีคือ ทำได้ง่าย ใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วที่มีในห้องปฏิบัติการทั่วไป แต่มีข้อเสียคือ อาจให้ผลวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำต่ำ มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องด้วยใช้ตาเปล่าในการสังเกตจุดยุติ การวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ ได้แก่ วิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Flame atomic absorption spectrophotometer (Flame-AAS) จึงมีข้อดีที่เหนือกว่าการไทเทรต เพราะสามารถวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมได้แม่นยำกว่า แต่การใช้เครื่อง Flame-AAS ก็ยังคงมีข้อจำกัดคือ เป็นเครื่องมือราคาแพง มีใช้ในบางห้องปฏิบัติการเท่านั้นและผู้ใช้ต้องมีความชำนาญสูง อีกทั้งเครื่องมือมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถนำไปใช้กับงานภาคสนามได้

ด้วยข้อจำกัดของวิธีไทเทรตและวิธี Flame-AAS ดังข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมวิธีใหม่ โดยใช้เครื่องมือที่ใช้งานง่าย ราคาถูก มีขนาดเล็กพกพาไปใช้นอกห้องปฏิบัติการได้ และที่สำคัญคือ ยังคงให้ผลวิเคราะห์แม่นยำ โดยจะพัฒนาวิธีวิเคราะห์แคลเซียมด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาที่สร้างขึ้นเอง และวัดค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมและสารละลายเอริโอโครมแบลคที โดยจะประยุกต์วิธีนี้เพื่อใช้หาปริมาณแคลเซียมในน้ำนมและในแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำประปา ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาที่สร้างขึ้นเอง

1.2.2 เพื่อประยุกต์วิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมและตัวอย่างน้ำประปา

1.2.3 เพื่อทดสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในพิธีการพิธีเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มจากสืบค้นและศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แคลเซียมเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาข้อดี-ข้อเสียของวิธีเหล่านั้น และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่จะพัฒนาในงานวิจัยนี้ ขั้นต่อไปจึงศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัด ได้แก่ ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียม และ Eriochrome black T โดยติดตามสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นจึงทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่ส่งผลต่อความไวในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมนี้ ยังคงใช้เครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในเบื้องต้น จากนั้นจึงนำสภาวะดังกล่าวไปดัดแปลงใช้กับเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมสำหรับการควบคุมคุณภาพการผลิต และตัวอย่างน้ำจากแหล่งธรรมชาติ น้ำประปา เพื่อทดสอบความกระด้างต่อไป ทั้งนี้จะทำการทดสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนากับที่ได้ และทดสอบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วยวิธีทางสถิติ ในขั้นตอนการดำเนินงานขั้นสุดท้ายจะได้รวบรวมผลการศึกษาเพื่อเผยแพร่ต่อไป

ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เป็นดังต่อไปนี้

1. สืบค้นและศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แคลเซียมเชิงปริมาณ
2. ศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัด ได้แก่ ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมและสารละลายเอริโอโครมแบลคที โดยติดตามสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
3. ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ใช้เครื่องยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
4. สภาวะดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา
5. ประยุกต์ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำนมและตัวอย่างน้ำจากแหล่งธรรมชาติ แหล่งน้ำประปา เพื่อทดสอบความกระด้างต่อไป
6. รวบรวมผลการศึกษาเพื่อเผยแพร่ต่อไป

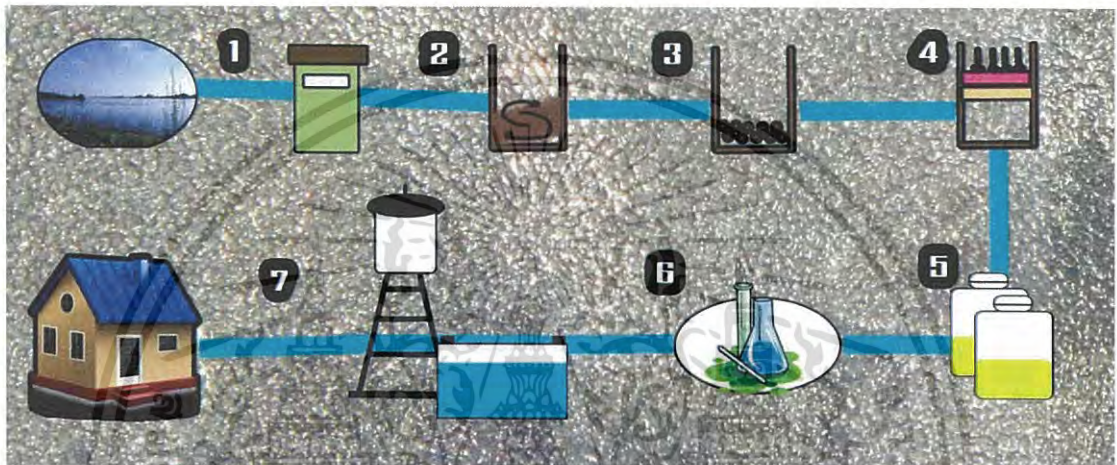
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาซึ่งเป็นวิธีที่ใช้งานง่าย มีความแม่นยำในการวิเคราะห์
- 1.4.2 สามารถประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมคุณภาพการผลิตนมและเพื่อทดสอบความกระด้างของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา [1]

น้ำประปาที่นำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคนั้นต้องมีกระบวนการผลิตและกระบวนการควบคุมคุณภาพเพื่อให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพของประชาชน โดยกระบวนการผลิตนั้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตน้ำประปา [1]

1. แหล่งน้ำดิบ

การสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำที่ได้จัดเตรียมไว้ ซึ่งน้ำดิบที่จะสามารถนำมาใช้ได้ต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพก่อน ซึ่งน้ำดิบที่ดื่มนั้นต้องไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่ปนเปื้อนดินโคลนและสารเจือปน น้ำดิบที่สูบมาใช้งานจะต้องผ่านการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ น้ำดังกล่าวจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพในลำดับต่อไป

2. การปรับปรุงคุณภาพ

น้ำดิบเคลื่อนที่เข้าสู่ถังกวนผ่านท่อส่งน้ำที่มาจากโรงสูบน้ำแรงดันต่ำ ในขั้นตอนดังกล่าวจะมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น ได้แก่ การเติมสารส้มลงไปใต้น้ำดิบ เนื่องจากยังมีสารแขวนลอยอยู่ การเติมปูนขาวจะช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น การเติมปูนขาวเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำและสาหร่าย ทำให้น้ำไม่สะอาดและยังทำให้เกิดการอุดตันในท่อส่งน้ำด้วย

3. การตกตะกอน

น้ำที่ผ่านการผสมสารเคมีแล้วจะถูกพักที่แอ่งน้ำขนาดใหญ่เพื่อตกตะกอน ตะกอนขนาดใหญ่จะตกลงก้นถัง น้ำใสด้านบนจะไหลเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

4. การกรอง

ในถังกรองขนาดใหญ่จะรองรับน้ำซึ่งถูกกรองด้วยถ่านหินแอนทราไซต์และทรายกรอง มีหัวกรองที่มีประสิทธิภาพ น้ำที่กรองได้จะมีความขุ่นไม่เกิน 2 หน่วย เมื่อครบ 48 ชั่วโมง จะต้องทำความสะอาดถังกรอง โดยใช้ลมร้อนพ่นจากด้านล่างของถังเพื่อให้ทรายขยายตัวกำจัดสิ่งสกปรกที่ตกค้างบริเวณผิวหน้าของชั้นกรองออกไป

5. การฆ่าเชื้อโรค

น้ำที่ผ่านการกรองเสร็จแล้วจะเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เจือปนอยู่ในน้ำ น้ำที่ผ่านการเติมคลอรีนจะเรียกว่า น้ำประปา ซึ่งจะลำเลียงไปพักที่บ่อน้ำใส

6. การควบคุมคุณภาพ

น้ำประปาที่สามารถนำไปใช้อุปโภคและบริโภคนั้นจะต้องเกณฑ์มาตรฐานของน้ำประปาที่กำหนดไว้ ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ การควบคุมคุณภาพนั้นจะผ่านการตรวจสอบโดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

7. การสูบน้ำ

น้ำที่มีความพร้อมที่จะนำไปใช้งาน จะถูกเก็บไว้ในถังบรรจุน้ำสูง ซึ่งน้ำจะถูกสูบแล้วแจกจ่ายไปยังท่อเข้าสู่ชุมชน

2.2 คุณภาพมาตรฐานน้ำประปา [2]

2.2.1. ความหมายของน้ำกระด้าง

ความกระด้างของน้ำเกิดจากธาตุไอออนบวกของโลหะ โดยเฉพาะไอออนที่มีประจุ 2+ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} เป็นต้น และอาจมีธาตุอื่นๆ เช่น Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} แต่มีอยู่ในปริมาณน้อยมาก

สาเหตุที่น้ำกระด้างเกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์บนชั้นหน้าดินของแบคทีเรียรวมตัวกับน้ำเกิดเป็น Carbonic Acid ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อไหลซึมไปสัมผัสกับชั้นหินที่เป็นด่าง โดยเฉพาะชั้นหินปูนซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) เป็นองค์ประกอบหลักจะละลายหินปูนมากับน้ำทำให้ปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} มากขึ้น ส่งผลให้ความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้น

ดังนั้น ค่าจำกัดความของความกระด้างของน้ำจะแทนค่าด้วยความเข้มข้นทั้งหมดของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} โดยจะแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (mg/l as CaCO_3) อย่างไรก็ตามถ้าไอออนตัวอื่นๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น มีอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมากก็ต้องคิดคำนวณรวมด้วย โดยจัดแบ่งระดับความกระด้างของน้ำได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงเกณฑ์ความกระด้างของน้ำ [2]

เกณฑ์ความกระด้างของน้ำ	ปริมาณความกระด้างของน้ำ (ppm as CaCO ₃)
น้ำอ่อน	0-75
น้ำค่อนข้างกระด้าง	75-150
น้ำกระด้าง	150-300
น้ำกระด้างมาก	>300

เกณฑ์ปกติในกระบวนการผลิตน้ำประปาผลิตจ่ายจะควบคุมความกระด้างสุดท้ายอยู่ในช่วงไม่เกิน 300 ppm ที่อยู่ในรูป CaCO₃ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนในเส้นท่อและเพื่อประโยชน์ในการซักล้าง หากความกระด้างน้อยกว่านี้จะเกิดการกัดกร่อนสูงเนื่องจากเป็นน้ำอ่อน และความกระด้างสูงสบู่มจะไม่เกิดฟองทำให้สิ้นเปลืองสบู่

2.2.2 ประเภทของความกระด้าง

ความกระด้างในน้ำมีอยู่ทุกประเภท จะรวมเรียกว่าน้ำกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) แบ่งตามไอออนที่มีอยู่ในน้ำได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. แบ่งตามไอออนประจุลบที่มีอยู่ในน้ำ ได้เป็น 2 ประเภท

1.1. ความกระด้างคาร์บอเนต หรือความกระด้างชั่วคราว (Carbonate Hardness or Temporary Hardness) ได้แก่ CO₃²⁻ และ HCO₃⁻ โดยส่วนใหญ่ในน้ำจะเป็นจำพวก HCO₃⁻ ซึ่งเมื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถกำจัดความกระด้างประเภทนี้ได้ (เมื่อถูกความร้อนจะตกตะกอนกลายเป็นหินปูน)

1.2 ความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนต หรือความกระด้างถาวร (Non-Carbonate Hardness or Permanent Hardness) ได้แก่ SO₄²⁻, Cl⁻ ซึ่งความกระด้างประเภทนี้ต้องใช้วิธีในทางเคมีแก้ไข

2. แบ่งตามไอออนประจุบวกในน้ำ ส่วนใหญ่เป็น Ca²⁺ เรียกว่า Calcium Hardness และ Mg²⁺ เรียกว่า Magnesium Hardness

2.2.3. ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากน้ำกระด้าง

1. ทำให้เกิดตะกอนในหม้อน้ำ เครื่องทำความร้อน ท่อน้ำร้อน เครื่องใช้ในครัว ฯลฯ
2. เกิดตะกอนแข็งเกาะติดผิววัสดุต่างๆ เมื่อได้รับความร้อนพอเพียง
3. ทำให้การซักฟอกไม่มีฟองเกิดความสิ้นเปลืองน้ำมากกว่าปกติ
4. หากเป็นน้ำดื่มจะมีรสแปลกไปสำหรับผู้บริโภคที่ยังไม่คุ้นรส
5. เกิดสีเหลืองติดบนเสื้อผ้าหากซักล้างด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4. มาตรฐานน้ำประปาตามมาตรฐานการประปา [3]

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงคุณภาพมาตรฐานน้ำประปา [3]

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด (ppm)	เกณฑ์ที่กำหนดอนุโลมให้สูงสุด (ppm)
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Colour)	5.0	15.0
รส (Taste)	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
กลิ่น (Odour)	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
ความขุ่น (Turbidity) หน่วยซีลิกา	5.0	20.0
ความเป็นกรด ต่าง (pH)	6.5-8.5	ไม่เกิน 9.2
คุณลักษณะทางเคมี (หน่วย มก./ล.)		
ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total Solids)	500	1,500
เหล็ก (Fe^{2+})	0.5	1.0
แมงกานีส (Mn^{2+})	0.3	0.5
เหล็กและแมงกานีส (Fe^{2+} & Mn^{2+})	0.5	1.0
ทองแดง (Cu^{2+})	1.0	1.5
สังกะสี (Zn^{2+})	5.0	15.0
แคลเซียม ; Form ($CaCO_3$)	300	500
แมกนีเซียม (Mg^{2+})	50	150
แคลเซียม (Ca^{2+})	200	250
ซัลเฟต (SO_4^{2-})	250	600
คลอไรด์ (Cl^-)	0.7	1.0
ฟลูออไรด์ (F^-)	45	45
ไนเตรต (NO_3^-)	0.5	1.0
อัลคิลเบนซิลโฟเนต (ABS)	0.001	0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด (ppm)
คุณลักษณะทางด้านสารเป็นพิษ	
ปรอท (Hg^{2+})	0.001
ตะกั่ว (Pb^{2+})	0.05
อาร์เซนิก (As^{2+})	0.05
เซลีนียม (Se^{2+})	0.01
โครเมียม (Cr Hexavalent)	0.05
ไซยาไนด์ (CN)	0.2
แคดเมียม (Cd^{2+})	0.01
บาเรียม (Ba^{2+})	1.0
คุณลักษณะทางด้านจุลชีววิทยา	
แบคทีเรียทั้งหมด (โคโลนี/ มิลลิกรัม)	500
เอ็มพีเอ็น (โคลิฟอร์มมอร์แกนซึมต่อ 100 cm^3 อีโคไลน์ (E. coli)	น้อยกว่า 2.2 ไม่มี

2.3 กระบวนการผลิตน้ำนม [4]

2.3.1 แหล่งน้ำนมดิบ

แหล่งน้ำนมดิบ คือ บริเวณฟาร์มที่เลี้ยงโคนมของเกษตรกรที่มีการเลี้ยงโคนม มีการดูแลและควบคุมให้มีการผลิตน้ำนมดิบที่มีคุณภาพ น้ำนมดิบที่มีคุณภาพสามารถตรวจสอบได้ทางกายภาพ น้ำนมจะมีสีขาว ไม่มีกลิ่นเหม็น และไม่ตกตะกอน

2.3.2 ศูนย์รวมน้ำนม

เป็นจุดที่รวบรวมน้ำนมจากแหล่งน้ำนมดิบ โดยจะมีการควบคุมคุณภาพน้ำนมทางกายภาพและวิธีทางเคมีในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้ได้น้ำนมดิบที่มีคุณภาพ

2.3.3 ขั้นตอนรับน้ำนมดิบ

น้ำนมดิบที่ผ่านการควบคุมคุณภาพจะเข้าสู่โรงงาน (ปริมาณเฉลี่ย 60 ตัน/วัน) จะถูกเก็บตัวอย่างไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ-เคมี และจุลินทรีย์ หลังจากนั้นน้ำนมดิบที่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้จะถูกเข้าไปเก็บไว้ในแทงค์ โดยผ่านเพลททำความเย็น (cooling plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดอุณหภูมิให้น้ำนมดิบลงเหลือ 4-8 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำน้ำนมดิบเข้าสู่ขั้นตอนการผลิต

2.3.4 ขั้นตอนการเทอร์มิเซชัน (Thermization process)

น้ำนมดิบก่อนเข้ากระบวนการผลิตจะถูกนำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเบื้องต้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที แล้วถูกทำให้เย็นลงอีกครั้งที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำร้อนและน้ำเย็นที่เครื่อง Plate Heat Exchanger จากนั้นน้ำนมจะถูกเก็บไว้ในถังพักก่อน เพื่อรอเข้าสู่ขั้นตอนต่อไปในลำดับต่อไป

2.3.5 ขั้นตอนการโฮโมจีไนส์เซชัน (Homogenization)

นมที่ผ่านการเทอร์มิเซชันแล้วจะไหลเข้าสู่เครื่องโฮโมจีไนส์ เพื่อให้ขนาดอนุภาคของไขมันในนมมีขนาดเล็กลงไม่เกิดการแยกชั้นกันเมื่อตั้งทิ้งไว้ จากนั้นใช้ความดันที่ 200 กิโลปาสกาล/ตร.ซม. เพื่อทำให้นมไหลผ่านช่องขนาดเล็กเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

2.3.6 ขั้นตอนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Heat treatment process)

การฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์

น้ำนมดิบจะถูกนำผ่านเข้าสู่เครื่องพาสเจอร์ไรส์ เพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเพิ่มอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อจะไหลไปพักไว้ในถังเก็บนมพาสเจอร์ไรส์ซึ่งรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการบรรจุเตรียมนำไปจำหน่าย

การฆ่าเชื้อแบบยูเอชที U.H.T (ultra-high-temperature processing)

น้ำนมดิบที่ผ่านการเทอร์มิเซชันจะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการฆ่าเชื้อขั้นสุดท้ายด้วยเครื่อง UHT แบบ Tubular Heat Exchanger โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำ โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจาก 4 องศาเซลเซียส เป็น 30 70 และ 95 องศาเซลเซียส ตามลำดับจนน้ำนมมีอุณหภูมิสูงถึง 139 องศาเซลเซียส นาน 3 วินาที

2.3.7 ขั้นตอนการบรรจุ (Filling process)

การบรรจุนมพาสเจอร์ไรส์

เริ่มจากการป้อนนมที่ผลิตได้เข้าสู่เครื่องบรรจุอัตโนมัติ จากนั้นนำฟิล์มพลาสติกมาผ่านการซีลให้เป็นถุงโดยใช้ความร้อน จากนั้นจะป้อนนมลงไปในถุงก่อนที่จะฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ปากถุงด้วยรังสี Ultraviolet ก่อนที่จะซีลปิดถุงและทำการตัดออกเป็นถุงก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ไปเก็บรักษา

การบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic filling)

การบรรจุนมยูเอชที จะทำการบรรจุที่สภาวะ ปลอดเชื้อ มี 2 เทคโนโลยีด้วยกันคือ SIG combibloc และ Tetra Pak แตกต่างที่กล่องบรรจุเป็นแบบ sleeve และแบบฟิล์มม้วนกล่องนมที่บรรจุจะถูกนำไปฆ่าเชื้อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และทำการบรรจุภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ (Aseptic zone) และถูกลำเลียงตามสายพาน เพื่อพิมพ์วันที่หมดอายุ การจัดลงลัง และขนย้ายเข้าสู่โกดังเพื่อรอตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจะถูกย้ายเข้าไปเก็บในคลังสินค้า

2.3.8 ขั้นตอนการเก็บรักษา (Storage)

เมื่อผ่านขั้นตอนการบรรจุนมแล้ว ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะต้องถูกนำไปเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่ายโดยผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์จะถูกนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนผลิตภัณฑ์นมยูเอชที สามารถเก็บรักษาไว้ได้ที่อุณหภูมิปกติภายในที่เก็บสินค้า

2.4 คุณภาพมาตรฐานน้ำนมสำหรับดื่ม [5]

2.4.1 ความหมายของน้ำนม

คำนิยามโดยทั่วไปของคำว่า “น้ำนม” (Milk) หมายถึง ของเหลวที่กลั่นสร้างจากเต้านม ซึ่งได้จากการรีดออกมาจากเต้านมของแม่โค กระบือ แพะ หรือแกะ ที่มีสุขภาพดี หลังจากที่สัตว์นั้นคลอดลูกแล้ว 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะหมดน้ำนมเหลือง (Colostrum) ไม่ว่าจะผ่านกระบวนการแปรรูปหรือไม่ก็ตาม น้ำนมที่ถูกรีดออกมาใหม่ ๆ จะมีอุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส และน้ำนมจะถูกปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ตามเต้านมมีคอนริตนม ถังนม และเครื่องรีดนม โดยที่นมเป็นอาหารที่เน่าเสียได้ง่าย เพราะเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จึงต้องทำการลดอุณหภูมิของนมให้ต่ำอยู่ที่ประมาณ 5 องศาเซลเซียสโดยเร็วที่สุดเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำนม

2.4.2 การควบคุมคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพจะควบคุมให้น้ำนมสำหรับดื่มมีคุณภาพโดยเริ่มตั้งแต่การควบคุมที่แหล่งน้ำนมดิบจนถึงขั้นตอนการผลิตน้ำนมได้ผลิตภัณฑ์น้ำนมดื่ม

1. การตรวจสอบทางกายภาพ

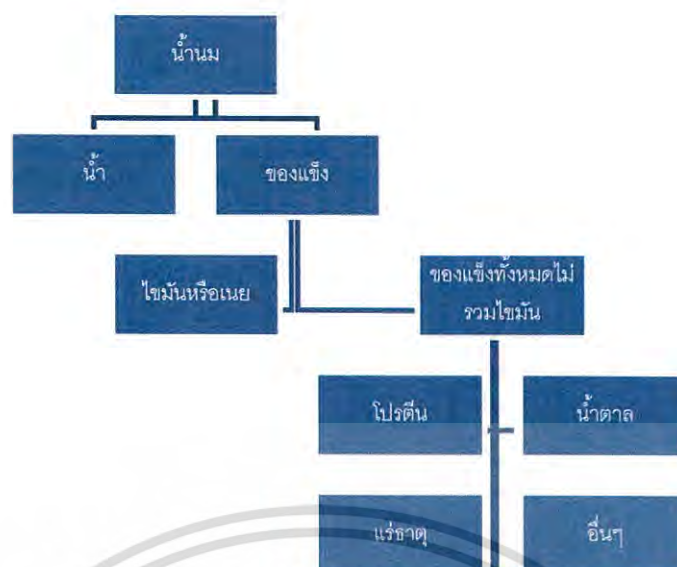
แหล่งน้ำนมดิบจะมีการคัดน้ำนมที่มีคุณภาพก่อนที่จะส่งไปยังศูนย์รวมนม ซึ่งเป็นการควบคุมคุณภาพเบื้องต้น โดยน้ำนมที่ดีจะต้องมีสีขาว ไม่ขุ่นหรือตกตะกอนเป็นก้อน ไม่มีกลิ่นฉุน และมีรสหวานเล็กน้อย

2. การตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมวัวประกอบด้วย น้ำ 85.5-89.5 % ของแข็งทั้งหมด 10.5-14.5 % ประกอบด้วย ไขมันนม 2.5-6.0 % โปรตีน 2.9-5.0 % น้ำตาลแลคโตส 3.6-5.5% และเถ้า 0.6-0.9 % มีส่วนประกอบโดยเฉลี่ย ประกอบด้วย น้ำ 87 % ไขมัน 3.9 % น้ำตาลแลคโตส 4.9 % โปรตีน 3.5 % และเถ้า 0.7 % น้ำนมวัวปกติควรมีของแข็งทั้งหมดไม่รวมไขมัน (Milk solid non fat ; MSNF) 8.25 % และไขมันนมไม่น้อยกว่า 3.25 %

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมวัวผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดของพันธุ์ สัตว์แต่ละตัว อาหาร ฤดูกาล สภาวะแวดล้อม อายุของสัตว์ ระยะการให้นม และสภาวะของเต้านม



รูปภาพที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม [5]

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนม

น้ำ (Water)

ในน้ำนมวัวมีน้ำประมาณ 85-90 % น้ำที่อยู่ในน้ำนมทำหน้าที่เป็นตัวละลาย ให้ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งละลายหรือแพร่กระจายตัว (Suspension) นอกจากนั้นน้ำบางส่วนอยู่ในรูปไฮเดรตกับเกลือและน้ำตาลแลคโตส และบางส่วนจับอยู่กับโมเลกุลโปรตีน

ไขมันนม (Fat)

ไขมันนม หรือมันเนย หรือ milk fat หรือ butter fat มีมากกว่าส่วนประกอบอื่น ๆ มีประมาณ 2.5-6 % มีค่าเฉลี่ย 3.9 % ของปริมาณไขมันนม และชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ ตัวสัตว์ อาหารสัตว์ ระยะเวลาให้นม ฤดูกาล และแหล่งที่มาของน้ำนม ไขมันนมก็เหมือนไขมันทั่วไป คือเป็นสารที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ประมาณ 97-98 % อีก 1-2 % เป็นสารประกอบพวกฟอสโฟลิปิด และวิตามินที่ละลายในไขมัน (Fat soluble vitamins ; vitamin A, vitamin D, vitamin E, vitamin K) และมีกรดไขมันอิสระจำนวนเล็กน้อย ซึ่งทั้งหมดรวมกันมีชื่อเรียกเป็นทางการเรียกว่าลิปิดในน้ำนม (Milk lipid)

โปรตีน (Proteins)

โปรตีนในน้ำนมวัวมีประมาณ 3.5 % ประกอบด้วยโปรตีนชนิดต่างๆหลายชนิด โปรตีนในน้ำนมวัวสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ เคซีน(Casein) และเวย์หรือซีรัม(Whey or Serum protein) เคซีนมีปริมาณมากที่สุด คือ 2.9 % และเวย์หรือซีรัมโปรตีนมีปริมาณ 0.6 % หรือมีปริมาณ 80 % และ 20 % ของโปรตีนทั้งหมดตามลำดับ ส่วนโปรตีนที่สำคัญอื่นๆที่พบในน้ำนม ได้แก่ Lactoferrin, Transferrin, Enzyme สำหรับเวย์โปรตีน คือ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมทั้งหมดที่ไม่รวมโปรตีนเคซีน และของเหลวที่เหลือหลังการตกตะกอนแยกโปรตีนเคซีน คือ ตะกอนโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่พบในปริมาณมากที่สุดในน้ำนม คือ น้ำตาลแลคโตส มีปริมาณ 4-6 % ในน้ำนมคนมีปริมาณน้ำตาลแลคโตสสูงกว่า คือปริมาณ 7 % ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม คือ สภาวะของเต้านมหากวัวเป็นโรคเต้านมอักเสบ (Mastitis) จะมีผลทำให้ปริมาณคลอไรด์ในน้ำนมเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำตาลแลคโตสลดลง

แร่ธาตุ (Minerals)

การตรวจสอบหาปริมาณแร่ธาตุในน้ำนม ใช้วิธีการหาปริมาณเถ้ามีปริมาณ 0.71 % ซึ่งหมายถึงสารที่เหลือหลังจากเผา น้ำนมจนเป็นขี้เถ้าซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ในรูปของคาร์บอเนตออกไซด์ (Carbonate oxides) และฟอสเฟต (Phosphates) ในน้ำนมมีแร่ธาตุต่างๆ จำนวนมาก ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญและจำเป็นต่อร่างกาย แร่ธาตุที่มีปริมาณค่อนข้างมากในน้ำนม ได้แก่ แคลเซียม (Calcium) 0.123 % ฟอสฟอรัส (Phosphorus) 0.095 % ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเด็กหรือตัวอ่อน เพื่อสร้างกระดูกและฟัน ธาตุต่างๆ เหล่านี้นอกจากจะมีความสำคัญทางด้านโภชนาการแล้ว ยังมีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียมมีผลต่อการทำงานของเรนินซึ่งใช้ในการผลิตเนยแข็ง และมีผลต่อการแข็งตัวของนมระเหยน้ำ แร่ธาตุอื่นๆ เช่น ทองแดง และเหล็ก อาจจะมีส่วนในการเกิดกลิ่นไม่ดีขึ้นในผลิตภัณฑ์นม

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมและในเถ้าของน้ำนมโดยเฉลี่ย [5]

แร่ธาตุ (Minerals)	% ในน้ำนม	% ในเถ้าของน้ำนม
โปแตสเซียม (Potassium)	0.14	20.0
แคลเซียม (Calcium)	0.12	17.4
คลอไรด์ (Chloride)	0.10	14.5
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	0.09	13.2
โซเดียม (Sodium)	0.05	7.4
แมกนีเซียม (Magnesium)	0.01	1.5
กำมะถัน (Sulfur)	0.025	3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจวัดอุณหภูมิ

น้ำนมดิบหลังจากการรีด ควรจะนำมาเก็บที่อุณหภูมิต่ำโดยเร็ว เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำนม ซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำนมได้ การตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำนมเป็นวิธีที่สามารถตรวจว่าการเก็บรักษาคุณภาพน้ำนมมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ น้ำนมดิบที่มาถึงโรงงานและมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่กำหนด (มีไม่เกิน 8 - 10 องศาเซลเซียส)

การตรวจวัดความถ่วงจำเพาะของนม

การหาความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของน้ำนม เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจการเติมสิ่งเจือปนลงในน้ำนม (adulteration) โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำ การเติมน้ำลงในน้ำนมค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามการเอาไขมันออก (skimming) หรือเติมหางนมค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้น โดยปกติจะมีความถ่วงจำเพาะ 1.026 - 1.031 ที่อุณหภูมิ 15-200 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะมีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ำนมและอุณหภูมิ

การตรวจวัดความเป็นกรดเบส

น้ำนมดิบโดยปกติจะมี pH 6.6 - 6.8 ซึ่งองค์ประกอบของน้ำนม เช่น โปรตีน, ซิเตรต, ฟอสเฟต, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้น้ำนมมีความเป็นกรดเล็กน้อย แบคทีเรียบางชนิดสามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสให้กรดแลคติกออกมา ถ้ามีปริมาณแบคทีเรียมากขึ้นจะทำให้มีกรดแลคติก ในน้ำนมมากขึ้นด้วย ทำการทดสอบกรดแลคติกในน้ำนมโดยการ titrate ด้วย 0.1 N NaOH และใช้ phenolphthalein เป็น indicator ซึ่งโดยปกติ phenolphthalein ในกรดจะไม่มีสี แต่ในด่างจะมีสีแดง (สำหรับช่วง pH 8.2 - 10.0) และนำปริมาณของ 0.1 N NaOH ที่ใช้ในการ titrate มาคำนวณหาปริมาณกรดในน้ำ

การตรวจหาจำนวนแบคทีเรียโดยใช้สีเป็นตัวบ่งชี้ (DYE REDUCTION TEST)

การวัดการจางของสี เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีของแบคทีเรีย ซึ่งขบวนการ Oxidation - reduction ของแบคทีเรียต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำนม และ Oxidation - reduction potential ลดลง การลดลงนี้สามารถวัดได้ในรูปของเวลาที่แบคทีเรียใช้ในการเปลี่ยนสี โดยสีที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ methylene blue, resazurin ซึ่งเวลาที่ใช้ในการจางของสีเป็นสัดส่วนผกผันกับจำนวนแบคทีเรียในน้ำนม วิธีนี้จะช่วยในการประมาณความมกน้อยของแบคทีเรียในน้ำนมได้ แต่ไม่สามารถบอกจำนวนของแบคทีเรียในน้ำนมได้

การตรวจสอบความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของน้ำนมวัว คือน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของน้ำนมมีค่าอยู่ในช่วง 1.028 ถึง 1.034 ค่านี้จะผันแปรขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบในน้ำนมวัว

การตรวจสอบจุดเดือด (Boiling point)

จุดเดือดของน้ำนมวัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 101 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในน้ำนม หากน้ำนมมีปริมาณของแข็งละลายอยู่มากจะทำให้น้ำนมมีจุดเดือดสูงขึ้น

จุดเยือกแข็ง (Freezing point)

จุดเยือกแข็งของน้ำนมวัวมีค่าอยู่ในช่วง -0.54 ถึง -0.59 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ย -0.55 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็งของน้ำนมขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่ละลายได้ในน้ำ

ดัชนีการหักเหของแสง (Refractive index)

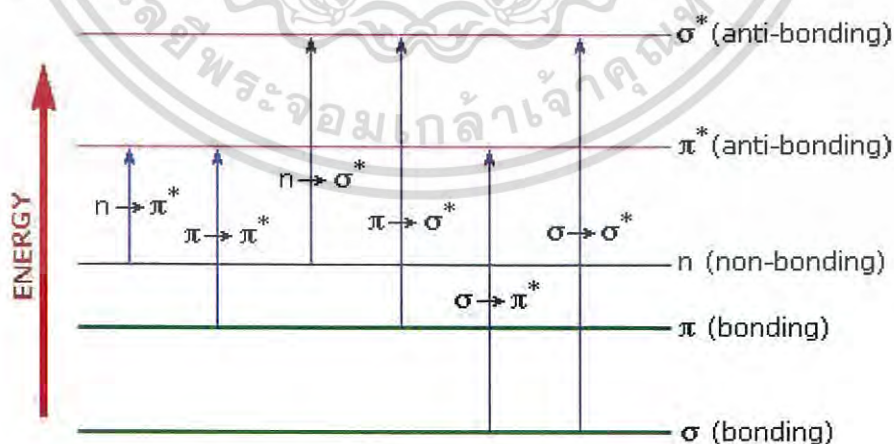
ดัชนีการหักเหของแสงของน้ำนมวัว มีค่าประมาณ (n_{20}^D) 1.3440-1.3485 ของน้ำมีค่า 1.3330 น้ำนมกระป๋องมีค่าใกล้เคียงกับน้ำนมวัว แต่น้ำนมคนมีค่าดัชนีการหักเหของแสงสูงกว่าเล็กน้อย ค่านี้อาจมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด หมายถึง การต้านทานการไหลของโมเลกุลของของเหลว ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานระหว่างของเหลว ผิวที่สัมผัส และ kinetic motion หน่วยของความหนืด คือ poise และน้ำนมวัวมีความหนืดประมาณ 2.0 เซนติพอยส์ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความหนืดของน้ำนมขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของน้ำนม

2.5 หลักการ UV-VIS Spectrophotometry [6]

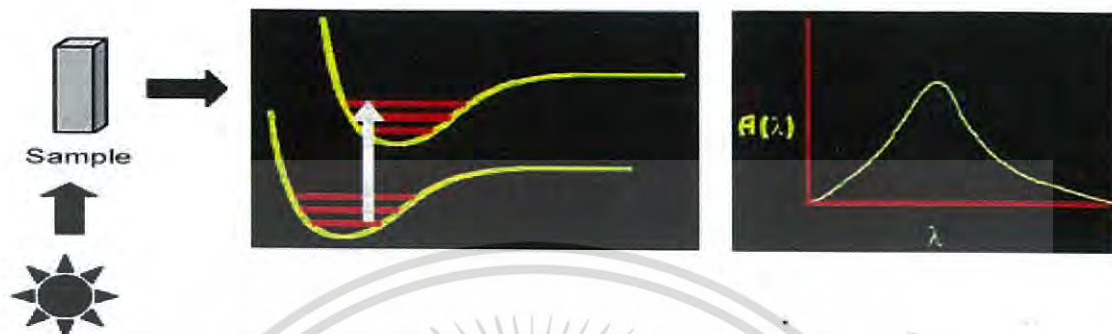
UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแสงและค่า intensity ในช่วง Ultraviolet และ Visible ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือโดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 190-800 nm โดยสารที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ สารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน สารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี ในการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer จะอาศัยหลักการพื้นฐานคือ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นแสงในช่วง UV-Visible อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะถูกกระตุ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.3 แสดงระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้น [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสง ในช่วง UV-Visible เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างได้รับพลังงาน ในช่วงคลื่นแสงที่ match กับ electronic transition ของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล พลังงานจะถูก ดูดกลืนและอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะมี higher energy orbital



รูปที่ 2.4 แสดงการดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายใน โมเลกุลและการแสดงผล [7]

เมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายใน อะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัด ปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่า ต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวน โมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ ในตัวอย่างได้

2.5.1 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer [7]

1. แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องจะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ ตลอดเวลา และต้องมีความเข้มแสงที่มากพอ

2. โมโนโครมาเตอร์

เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมแสงโดยทำให้แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นโพลีโคร มาติกให้เป็นโมโนโครมาติก โดยใช้ filter, prism หรือ grating

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุตัวอย่าง

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างหรือ Cuvette โดยรูปแบบที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ cell ที่ทำด้วยแก้ว ธรรมดาจะใช้ในช่วง Visible และ Quartz จะใช้ในช่วง UV และ Visible

4. ดีเทคเตอร์

ทำหน้าที่วัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยเปลี่ยนพลังงานคลื่นรังสีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

5. เครื่องขยาย-แยก สัญญาณและประมวลผล

นำสัญญาณที่ได้ไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer [7]

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งคุณภาพและปริมาณโดยความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสามารถใช้ในการระบุชนิดของสาร ในขณะที่ปริมาณการดูดกลืนแสงจะใช้ในการบอกปริมาณของสารที่นำมาวิเคราะห์ ในการหาปริมาณของสารจะอาศัย Beer's law

$$A = \epsilon bc$$

A = ค่าการดูดกลืนแสง

ϵ = molar absorptivity ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$)

b = path length

c = ความเข้มข้นของสารที่นำมาวิเคราะห์ ($mol \cdot L^{-1}$)

2.6 เครื่องตรวจวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา (Portable Spectrometer)[8]

สารแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน สารไม่มีสีส่วนใหญ่จะดูดกลืนช่วงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งมีความยาวคลื่น 200 ถึง 300 นาโนเมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่น 780 ถึง 1000 นาโนเมตร ส่วนสารที่มีสีจะดูดกลืนแสงในช่วงคลื่น 380 ถึง 780 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงขาวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากสมบัติของสารดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์สารชนิดต่างๆได้ การดูดกลืนของสารที่แสงสีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น [8]

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีตรงกันข้าม (Complementary color) หรือสีของสารที่ตาเรามองเห็น
350-430	ม่วง	เหลือง
430-475	น้ำเงิน	ส้ม
475-495	เขียวแกมน้ำเงิน	ส้มแกมแดง
495-505	เขียวแกมน้ำเงิน	แดงแกมส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

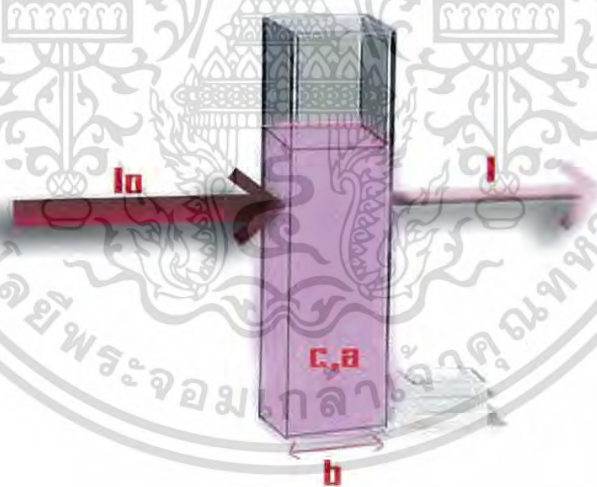
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีตรงกันข้าม (Complementary color) หรือสีของสารที่ตาเรามองเห็น
505-555	เขียว	แดง
555-575	เขียวแกมเหลือง	ม่วงแดง
575-600	เหลือง	ม่วง
600-650	ส้ม	น้ำเงิน
670-700	แดง	เขียว

* ช่วงความยาวคลื่นที่ระบุเป็นค่าประมาณของแสงแถบสีต่าง ๆ

เนื่องจากรายงานวิจัยนี้ เกี่ยวข้องกับหลักการของการดูดกลืนแสงที่จะแปรผันตามความเข้มข้นตามหลักการของ Beer's law ดังนั้น จึงต้องศึกษาหลักการ Beer's law และหลักการการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อประกอบประโยชน์ต่องานวิจัย จึงได้กล่าวถึงหลักการดังที่กล่าวไว้ พอสังเขปดังนี้

หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorption spectroscopy)

เมื่อลำแสงรังสีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ผ่านสารละลายในแนวขนาน ที่บรรจุอยู่ในเซลล์ Cuvette ที่มีความหนาเป็น b (cm) โดยที่สารละลายนั้นมีความเข้มข้นของ absorbing species เป็น c (mol/L) ซึ่ง absorbing species นั้นจะเกิดการดูดกลืนความเข้มของรังสี (Intensity) ก่อนผ่านสารละลายหรือ I_0 จะลดลงเหลือความเข้ม (Intensity) หลังผ่านสารละลายดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการดูดกลืนแสงของสาร [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของ Beer's law

กล่าวว่าความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของ absorbing species ในสารละลาย โดย absorbance (A) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความเข้มข้นของ absorbing species (c) และ path length ของ absorbing medium (l) โดยที่

$$A = -\frac{\log I}{I_0} = \epsilon bc$$

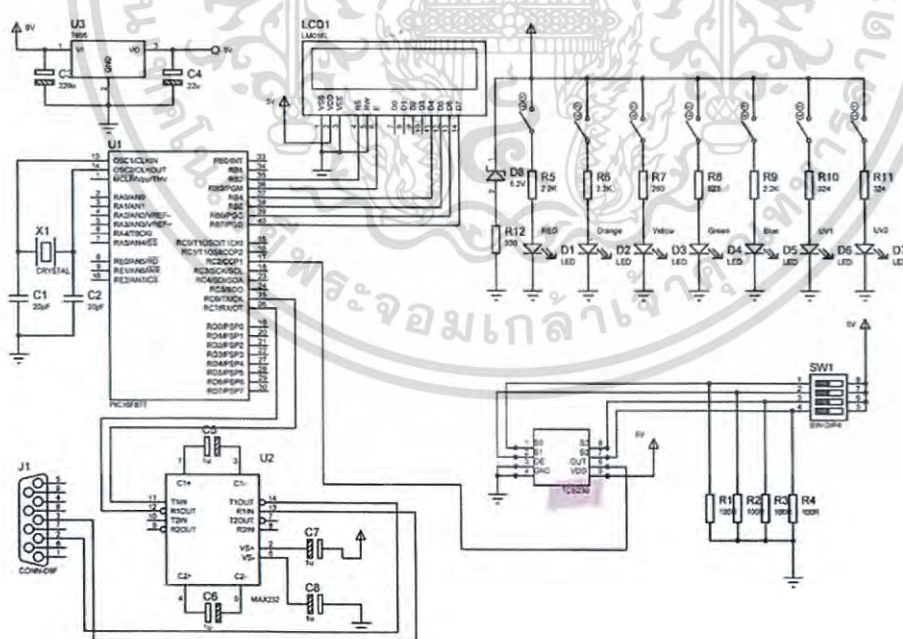
เมื่อ I_0 และ I = ความเข้มข้นของแสงก่อนและหลังผ่านสารละลายตามลำดับ

ϵ = ค่าคงที่ของการดูดแสง หรือค่า molar absorption coefficient เป็นค่าเฉพาะสำหรับสารหนึ่งๆและที่ช่วงคลื่นหนึ่งๆ

b = ความยาวของระยะทางที่แสงผ่านสารละลายที่จะวัดการดูดแสง

c = เป็นความเข้มข้นของสารละลาย

T. S. Yeh และ S. S. Tseng [10] ได้สร้างเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ราคาถูกขึ้น โดยหลอดกำเนิดแสงทำจากหลอดไฟ LED เครื่องสเปกโตรมิเตอร์นี้ เลือกให้ทำงานได้ตามลำพังหรือจะทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ก็ได้ ส่วนของการแสดงผล สามารถแสดงได้ทั้งที่หน้าจอของตัวเครื่องเองและที่คอมพิวเตอร์ ตัวเครื่องสามารถเลือกความยาวคลื่นได้ถึง 7 ค่า แผนผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของตัวเครื่อง แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



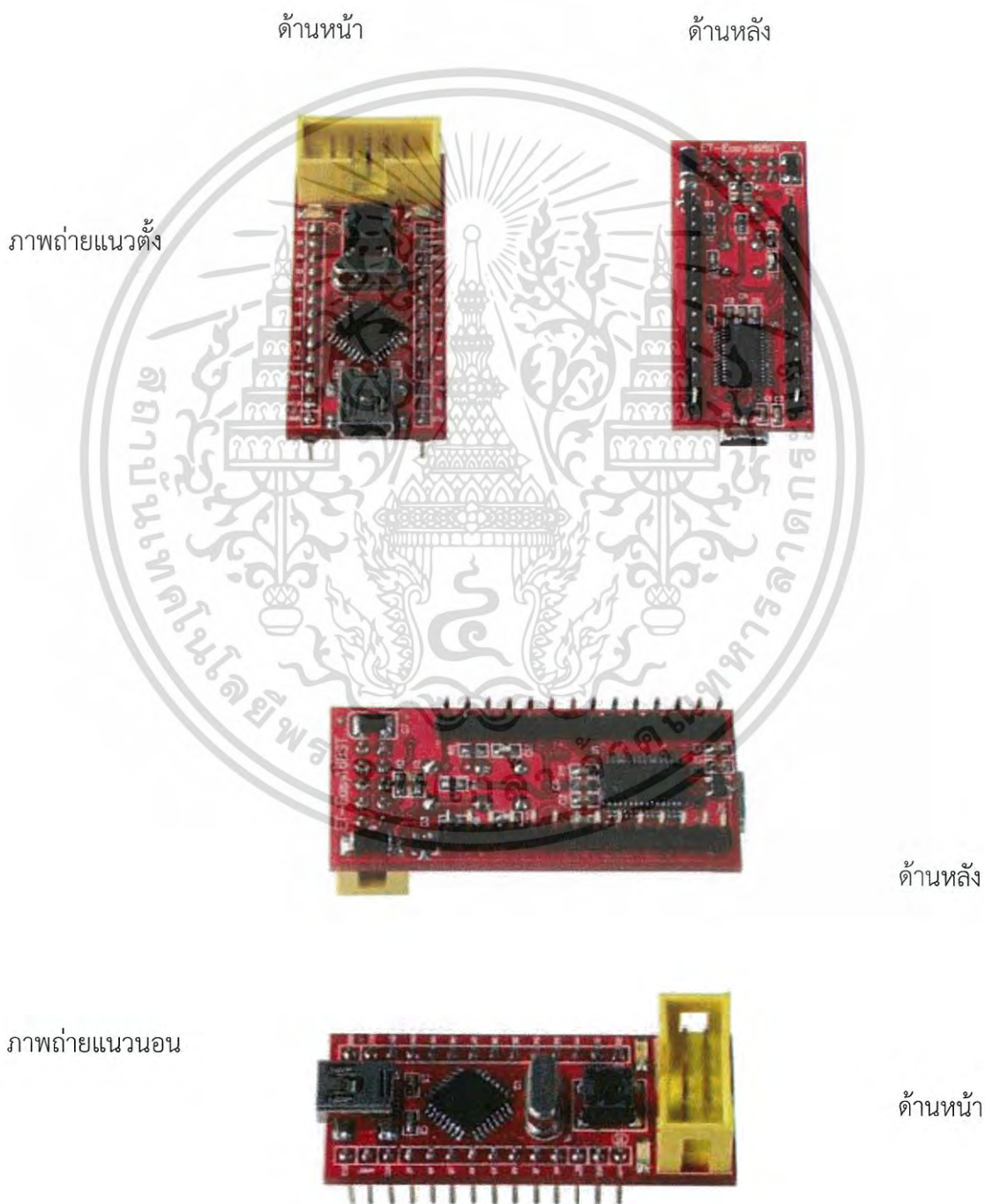
รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบภายในของเครื่องตรวจวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา [8]

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ET-EASY168 STAMP)

ET-EASY168 STAMP เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR8 ขนาดเล็ก โดยมีขนาดของบอร์ด 2 ซม. X 5 ซม. และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ ATmega168 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด ภายในตัวบอร์ดได้รวมเอาไอซี USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232R เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมด้วย RS232 กับคอมพิวเตอร์พีซี ผ่านทางพอร์ต USB ได้โดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของบอร์ด ET-EASY168 STAMP [8] ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลอดกำเนิดแสงแอลอีดี (Light emitting diode, LED)

ใช้หลอดกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟแอลอีดีพลังงานสูงรุ่น High Power LEDs – Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW ที่สามารถเปล่งแสงสีแดง-เขียว-น้ำเงิน ได้ภายในหลอดเดียวกัน ข้อมูลจำเพาะและรูปแสดงหลอด LED เป็นดังตารางที่ 2.6 และรูปที่ 2.9

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลจำเพาะของ High Power LEDs- Multi-Color XLAMP MCE 80 LM RGBW [8]

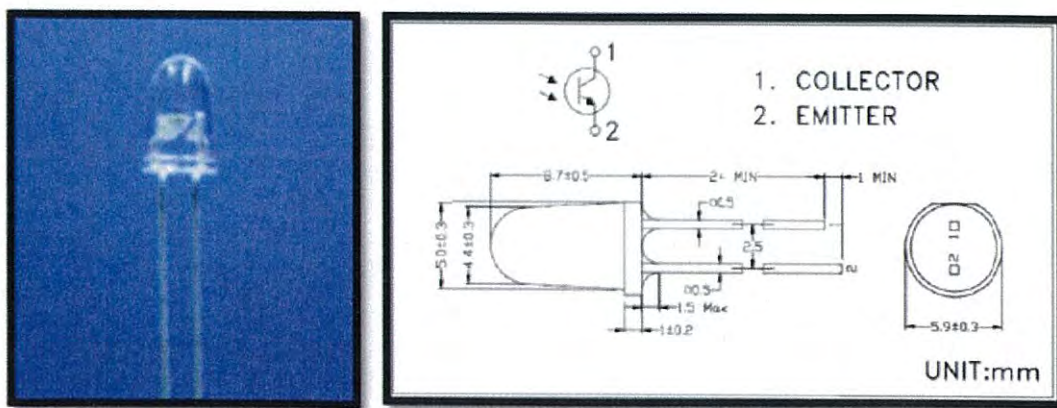
รายการ	คุณลักษณะของหลอด
ความสว่างของสี	RGB, Neutral White
กระแสทางตรง	350 Ma
แรงดันทางตรง	R: 2.1 V,G: 3.4 V, B: 3.2 V และ W: 3.2 V
ขนาดหลอดไฟ LED	7.5 mm x 7 mm x 4.48 mm
ฟลักซ์ส่องสว่าง/ฟลักซ์การแผ่รังสี	R: 30.6 lm, G: 67.2 lm, B: 8.2 lm และ W: 80 lm
อัตราพลังงาน	9.5 W

รูปที่ 2.9 แสดงหลอดแอลอีดี High Power LEDs- Multi-Color XLAMP MCE 80LM RGBW [8]

3. โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo transistor)

โฟโตทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์ที่รวมเอาโฟโตไดโอดมาไว้ภายในวงจรเดียวกัน โดยให้โฟโตไดโอดทำหน้าที่เป็นตัวโอแอดสกรและใส่ให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น เมื่อมีแสงตกกระทบที่โฟโตไดโอด จะเกิดการนำกระแสที่ขาเบส ทรานซิสเตอร์จึงสามารถนำกระแสได้ ซึ่งในงานนี้ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ รุ่น WPTS-505 เป็น ดีเทคเตอร์ในการตรวจวัดแสง รูปโฟโตทรานซิสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงโฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo transistor รุ่น WPTS-505) [8]

4.จอแสดงผล

ในส่วนของจอแสดงผลมีการใช้หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นหน้าจอแสดงผลที่สามารถแสดงผลได้ 2 บรรทัด จำนวน 32 ตัวอักษร



รูปที่ 2.11 หน้าจอ LCD 16x2 Blue on White [8]

คุณสมบัติ LCD 16x2 Blue on White

1. แสดงผลที่ 8 bit และ 4 bit MPU
2. ข้อมูลตัวอักษรอื่นๆ สามารถแสดงผลได้โดยเครื่องกำเนิดตัวอักษร (RAM)
3. กะทัดรัดสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆได้โดยง่าย
4. ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบภายนอกเครื่องดูกลืนแสงแบบพกพา [8]



รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องมือการตรวจวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา [8]

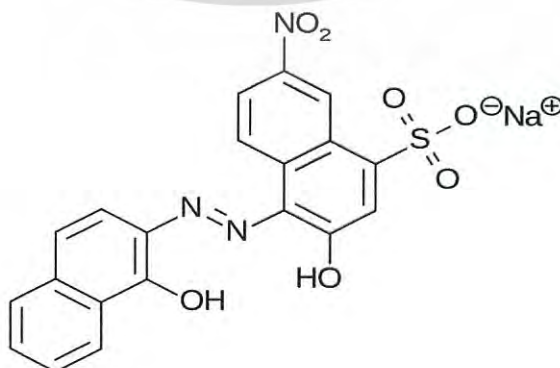
ส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา ประกอบไปด้วย

1. Sample holder คือ ช่องสำหรับใส่สารที่ต้องการตรวจวัดการดูดกลืนแสง
2. Monitor คือ หน้าจอแสดงผล
3. Switch On/ Off คือ ปุ่มเปิดและหยุดการดำเนินงานของเครื่อง
4. Buttons lamp LED คือ แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ตรวจวัด มี 3 สี คือ เขียว แดง น้ำเงิน
5. Buttons auto zero

2.7 หลักการที่ใช้ในการตรวจวัด [9]

2.7.1 หลักการตรวจวัด

Ca^{2+} เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีอยู่มากในแหล่งน้ำประปา น้ำบาดาล โดยอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตมีความเป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้น้ำมีความกระด้าง นอกจากนี้ Ca^{2+} ยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำนม โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธีทางยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Ca^{2+} และสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที



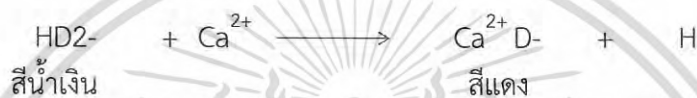
รูปที่ 2.13 แสดงสูตรโครงสร้างของสารละลายเอริโอโครมแบลคที (EBT หรือ HD2-) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์อันเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

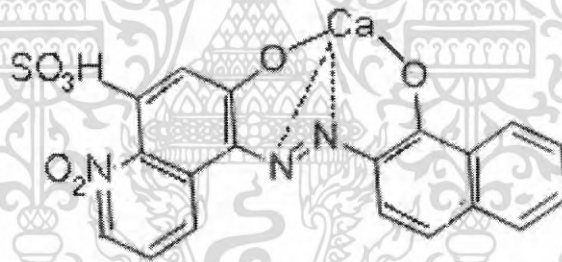
อินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้ให้เกิดโครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ (Complexometric Compound) คือ สารละลายเอริโอโรมแบลคที ซึ่งจะให้สีต่างกันเมื่ออยู่ใน pH ที่ต่างกัน

pH 5.5	pH 7-11	pH 11.5
สีแดง	สีน้ำเงิน	สีส้ม
H_2In^-	H_2In^{2-}	H_2In^{3-}

งานวิจัยนี้จะใช้สารละลายเอริโอโรมแบลคทีที่เป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยากับ Ca^{2+} จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) โดยมีสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ควบคุมเพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสม โดยควบคุมที่ pH = 10



สารละลายอินดิเคเตอร์มีสีแดงเมื่อเกิดปฏิกิริยากับ Ca^{2+} ในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) และได้สารละลายมีสีแดง ซึ่งความเข้มของสีแดงที่ปรากฏจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Ca^{2+}



รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแคลเซียมและเอริโอโรมแบลคที [9]

จากการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นของสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) ทำให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม (Ca^{2+}) ได้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่น โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี และนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องมือยูวีแบบพกพาใช้ในการวิเคราะห์หาแคลเซียมในน้ำนม น้ำประปา และน้ำบาดาล

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [10-14]

Pawel Pohl และคณะ [10] ได้เสนอวิธีการหาปริมาณ Ca, Mg, Fe and Zn ในน้ำนมวัว โดยใช้เทคนิค two-column ion exchange โดยการตรวจวัดนั้นอาศัยหลักการแยกของสาร อาศัยความเป็นขั้วของสาร วิธีการดังกล่าวจะใช้คอลัมน์ แบ่งออกเป็น Strong cation exchanger Dowex 50Wx4 และ Strong anion exchanger Dowex 1x4 ต่อกันเป็นลำดับ ซึ่งการแยกของ Ca, Mg, Fe and Zn อาศัยความเป็นขั้ว จากนั้นชะคอลัมน์ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2 โมลาร์ สารที่ถูกชะออกมาก่อนหลังจะถูกชะตามความแรงของขั้วสารแล้วนำไปตรวจหาปริมาณความเข้มข้นของโลหะ ที่ได้จากการชะและใช้ Flame atomic absorption spectrometry เป็นตัวตรวจวัด (detector) จากผลการศึกษาสำหรับการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมพบว่ามีความเป็นเส้นตรงช่วง $1.0-5.0 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ และขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด เท่ากับ $0.002 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$

Laurent Noe'l และคณะ [11] ได้เสนอวิธีการตรวจวัดหาปริมาณ Na, K, Ca, Mg ในตัวอย่างที่เป็นผลิตภัณฑ์จากนม โดยใช้เทคนิค Flame atomic absorption spectrometry วิธีดังกล่าวพัฒนา โดยมีการนำผลิตภัณฑ์จากนมมาทำการเตรียมสารตัวอย่าง คือทำการ dry ashing หรือ wet digestion เพื่อย่อยสารตัวอย่างก่อนนำไปตรวจวัดด้วยวิธี Flame atomic absorption spectrometry โดยมีการควบคุมสถานะของสารละลาย จากผลการศึกษาสำหรับการตรวจวัดปริมาณของ Na, K, Ca, Mg ได้ค่า repeatability relative standard deviations อยู่ในช่วง 1.7-6.4%, 1.8-10.0%, 0.9-5.5% และ 1.1-4.7% ตามลำดับ และได้ค่า reproducibility relative standard deviations อยู่ในช่วง 3.7-9.2%, 2.7-8.9%, 2.1-7.9% และ 1.3-7.4% ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีดังกล่าวมีความแม่นยำและความเที่ยงที่ดี

R. Gao และคณะ [12] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดไอออนอิสระของ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ นำนม โดยใช้เทคนิค Calcium Ionselective Electrode (Ca - ISE) มาใช้ในการตรวจวัด วิธีดังกล่าวมีการพัฒนาเยื่อ membrane คือ Donan membrane โดยจะทำให้ไอออนอยู่ในรูปของสารประกอบคลอไรด์ ในการทดลองระบบของเทคนิค Donan membrane จะแบ่งเป็น 3 ระบบ คือ 1. ทำให้ไอออนอยู่ในรูปคลอไรด์จากสารละลาย $\text{CaCl}_2\text{-KCl}$ 2. Simulated milk ultrafiltrate 3. Reconstituted skim milk ในการทดลองจะต้องควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาพบว่าเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและความเที่ยง จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมนำมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมในนมได้

P.J. McKinstry [13] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณ Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, P และ Zn ในสูตรนมสำหรับเด็กทารก ในตัวอย่างนมที่อยู่ในรูปผงและของเหลว โดยในการเตรียมตัวอย่างในรูปสารละลาย และนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES) จากผลการศึกษาพบว่า ขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัด $0.08 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ความเที่ยงของการวิเคราะห์ คือ 0.19% ความแม่นยำของการวิเคราะห์ ของทุกธาตุอยู่ในช่วง 99.2-103.7 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ วิธีดังกล่าวนี้มีความเที่ยงและความแม่นยำสูง

Erol Akyilmaz และคณะ [14] ได้เสนอการหาแคลเซียมในน้ำนมและตัวอย่างน้ำโดยใช้ Catalase Enzyme Electrode โดยใช้ Biosensor มาใช้ในการตรวจวัด โดยได้พัฒนาวิธีการหาแคลเซียมในน้ำนมและน้ำประปาซึ่งเป็นวิธีการที่มีความไว รวดเร็ว และแม่นยำในการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางเคมีเชิงไฟฟ้า ซึ่งใช้ Catalase Enzyme Electrode การตรวจวัดขึ้นดังกล่าวจะติดตามผลที่เกิดขึ้นจากการที่ Ca^{2+} ไปเพิ่มอัตราการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยนำผลดังกล่าวมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในพิธีการศึกษานี้เท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในน้ำนม และน้ำประปา ในช่วง 1-10 mM มีความสามารถในการวิเคราะห์คืนกลับเป็น 99.2 % และขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดด้วย เท่ากับ 1 mM ที่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ Ca^{2+} ความเข้มข้น 5 mM เป็น 2.07 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

Journal	Sample	Technique	Condition	Insert	Reference
1. Determination of Ca, Mg, Fe and Zn partitioning in UHT cow milks by two-column ion exchange and flame atomic absorption spectrometry detection	UHT cow milks	two-column ion exchange and flame atomic absorption spectrometry detection	For Calcium Analytical Wavelength :422.7 nm Slit width :0.7 nm Air flow rate ; 8.0 l.min ⁻¹ Acetylene flow rate :10 l.min ⁻¹ Lamp current: 10 mA	For Calcium Linearity range :1.0-5.0 µg.ml ⁻¹ Detection limit (3σ) :0.002 µg.ml ⁻¹	Pawel Pohl *, Bartlomiej Prusisz Talanta 71 (2007) 715-721
2. Determination of sodium, potassium, calcium and magnesium content in milk products by flame atomic absorption spectrometry (FAAS): A joint ISO/IDF collaborative study	milk products	flame atomic absorption spectrometry (FAAS):	For Calcim Analytical wavelength :422.7 nm Slit width : 0.7 nm Air flow rate : 8.0 l.min ⁻¹ Acetylene flow rate :3.4 l.min ⁻¹ Lamp current :10 mA	For Calcium %RSD: 2.07 %	Laurent Noe" , Michael Carl , Christelle Vastel , Thierry Gue´rin International Dairy Journal 18 (2008) 899-904
3. Simultaneous determination of free calcium, magnesium, sodium and potassium ion concentrations in simulated milk ultrafiltrate and reconstituted skim milk using the Donnan Membrane Technique	Milk	the Donnan Membrane Technique	Use Buffer pH 2 The thickness of membrane:0.16 mm. The charge density of the membrane :0.8 mmol.g ⁻¹	-	R. Gao a, E.J.M. Temminghoff , H.P. van Leeuwen, H.J.F. van Valenberg, M.D. Eisner, M.A.J.S. van Boekel, International Dairy

					Journal 19 (2009) 431–436
4. The determination of major and minor elements in milk and infant formula by slurry nebulisation and inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES)	milkpowders and liquid milk	inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES)	RF power:1100 W Nebuliser flow :0.95 l.min ⁻¹ Auxiliary flow :15 l.min ⁻¹ Plasma flow :0.50 l.min ⁻¹ Sample flow :1.5 l.min ⁻¹ Source equilibration time :15s Viewing height :15 nm Background correction: Manual point	Detection limit (3σ) :0.08 μg.ml ⁻¹ %Recovery : 100.9 % %RSD: 0.19 %	P.J. McKinstry, H.E. Indyka*, N.D. Kim, Food Chemistry 65 (1999) 245±252
5. Determination of calcium in milk and water by using catalase enzyme electrode	milk and water	catalase enzyme electrode	All experiments were carried out at 20 ± 1.0 C and all glassware was washed in phosphate-free detergent, soaked in 1.4 M nitric acid and rinsed in deionised water	Detection limit (3σ) : 1 mM %Recovery : 99.2 % %RSD: 2.07 %	Erol Akyilma, Ozge kozgus.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. แคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ACS-For analysis- CARLO ERBA
2. สารละลายแอมโมเนีย (NH_4OH), ACS-For analysis- CARLO ERBA
3. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl), ACS-For analysis- CARLO ERBA
4. เอริโอโครมแบลคที Eriochrome Black-T, ACS reagent (indicator grade) –sigma, ALORICH

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด

1. ขวดวัดปริมาตร
2. บีกเกอร์
3. ไมโครปิเปต
4. หลอดหยด
5. ขวด Vial
6. เครื่องปั่นกวนสาร
7. เครื่องวัด pH- Metrohm® 827 pH Lab Meter, USA
8. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์- Jasco V630, USA
9. เครื่องตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม ความเข้มข้น 300 ppm
ละลายสารแคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 0.030 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10
สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 2.00 โมลาร์ เตรียมได้จากตวงสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 25.64 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 2.00 โมลาร์ เตรียมได้จากชั่งสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 10.6 กรัม แล้วปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

นำสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ละลายในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 8 แล้วปรับด้วยน้ำกลั่น ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ได้สารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10

3.การเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที (Eriochrome Black-T) ความเข้มข้น $1.63 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$

ละลายเอริโอโครมแบลคทีใน 0.1501 g ในไตรเอทานอลอะมีน (Triethanolamine) 15 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร แล้วเก็บในขวดสีชา

3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

3.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐานการตรวจวัดแคลเซียม

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 300 ppm มาปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ตามลำดับ

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1 ppm มา 5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ ลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นเอริโอโครมแบลคที 40 ไมโครลิตร เขย่าแล้วเทสารละลายใส่ Cuvette ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง 400-800 นาโนเมตร

3. ทำซ้ำข้อ 1-2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้นเป็น 10, 50, 100 และ 150 ppm ตามลำดับแต่ละความเข้มข้น ทำซ้ำ 2 ครั้ง

3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมสารในการวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 300 ppm ปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ตามลำดับในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมมีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมแต่ละความเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

3. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

4. ปิเปตสารละลายเอริโอโครมแบลคที 40 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืน บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง ทำซ้ำข้อ 2-5 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

6. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนลำดับการเติมเป็นบัฟเฟอร์ สารละลายอินดิเคเตอร์ สารละลายมาตรฐานแคลเซียมตามลำดับ โดยใส่ปริมาตรตามเท่ากับครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่ต่อค่าการดูดกลืนแสง

1. การเตรียมสารละลายสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 300 ppm ปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ตามลำดับในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมมีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมแต่ละความเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด

ทดลอง 3. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมบัพเฟอร์ pH 10 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

4. ปิเปตสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ 20 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืน บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง ทำซ้ำ 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

6. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนปริมาณของสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ เป็น 40 และ 60 ไมโครลิตร ตามลำดับ

3.3.4 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา

1. การเตรียมสารละลายสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 300 ppm ปริมาตร 0.08, 4.2 และ 12.5 มิลลิลิตร ตามลำดับในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมมีความเข้มข้น 1, 50 และ 150 ppm

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมแต่ละความเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด

ทดลอง 3. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมบัพเฟอร์ pH 10 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

4. ปิเปตสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ 40 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 561 นาโนเมตร ทำการวัดทุกๆ 1 วินาทีเป็นเวลา 30 นาที บันทึกค่าการดูดกลืนแสง

3.3.5. ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงที่

เหมาะสม

1. การเตรียมสารละลายสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 300 ppm ปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ตามลำดับในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมมีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมแต่ละความเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

3. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมบัพเฟอร์ pH 8 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

4. ปิเปตสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ 40 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด

5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง บันทึกผลค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำซ้ำข้อ 2-5 อีก 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยค่าการดูดกลืนแสง ทำการทดลองโดยเปลี่ยน pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เป็น 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

3.4 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์

3.4.1 การศึกษาความแม่นยำ

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 300 ppm มา ปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ตามลำดับ

2. การ Spike สารตัวอย่าง

2.1 เตรียมสารตัวอย่างน้ำประปา และน้ำนม

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำประปาจนถึงปริมาตร 25 มิลลิลิตร

2.3 ทำซ้ำข้อ 2.1 – 2.2 โดยเปลี่ยนใช้น้ำนมปรับปริมาตรแทน

3. การเตรียมสารตัวอย่าง

ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำนม โดยปิเปตตัวอย่างน้ำนมมา 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางจนเข้มข้นได้ 1000 เท่า

4. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1-3 ใส่ในหลอดทดลอง ปิเปตแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และปิเปตอินดิเคเตอร์ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง

5. นำสารละลายไปตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง บันทึกผล

6. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของแคลเซียม แล้วคำนวณหา % Recovery

3.4.2 การศึกษาความเที่ยง

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 300 ppm มา ปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ตามลำดับ

2. ปิเปตสารละลาย 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง ปิเปตแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และปิเปตอินดิเคเตอร์ปริมาตร 40 ไมโครลิตร

3. นำสารละลายไปตรวจวัดค่าดูดกลืนแสง ทำซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าความเข้มข้นที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean; \bar{X}) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) และร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relative Standard deviation; %RSD) ของแต่ละความเข้มข้น

3.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

3.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 300 ppm มา ปริมาตร 0.08, 0.8, 4.2, 8.3 และ 12.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ตามลำดับ

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1 ppm มา 5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ ลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ 40 ไมโครลิตร เขย่า เทสารละลายใส่ Cuvette ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง 400-800 นาโนเมตร

3. ทำซ้ำข้อ 1-2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 10, 50, 100 และ 150 ppm ตามลำดับแต่ละความเข้มข้น ทำซ้ำ 2 ครั้ง

3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ปิเปตตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง

2. ปิเปตสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่ปริมาตร 40 ไมโครลิตร

3. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และคำนวณหาความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

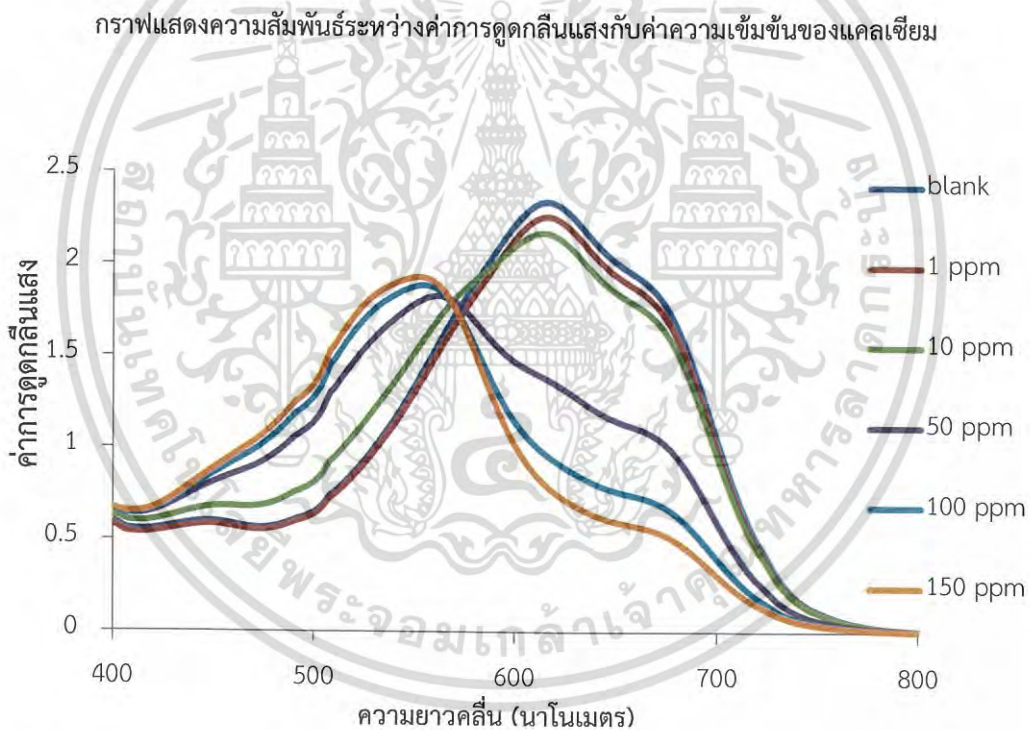
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ศึกษาหลักการในการตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียม

จากการศึกษาหลักในการตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียม จะสามารถวิเคราะห์ได้จากการติดตามค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมและสารละลายเอรีโอโครมแบลคที โดยปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีเมื่อควบคุม pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH 10

ศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ศึกษาโดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ทำปฏิกิริยากับสารละลายอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคที โดยมีสารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ควบคุมเพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสม ที่ pH 10 นำไปวัดความยาวคลื่นช่วง 400 – 800 นาโนเมตร ได้ผลของสเปกตรัมดังภาพ

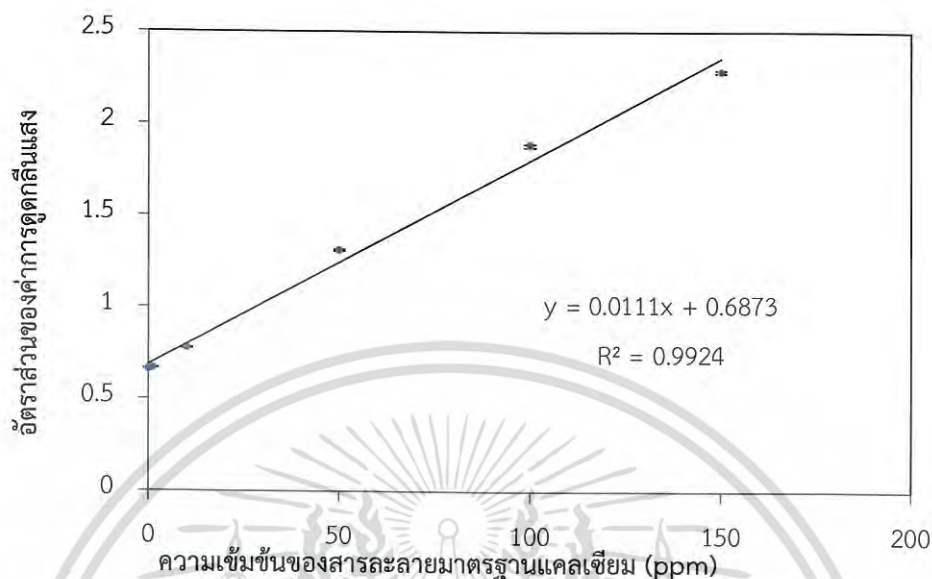


รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมระหว่างสารละลายอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคทีกับสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm

จากสเปกตรัมในรูป 4.1 ผลลัพธ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอินดิเคเตอร์และสารละลายมาตรฐานแคลเซียม สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุดสองตำแหน่งที่ ความยาวคลื่น 561 และ ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร จึงเลือกใช้ความยาวคลื่นดังกล่าวในการติดตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะใช้ความยาวคลื่นดังกล่าวในการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงในการทดลองหาปริมาณแคลเซียมต่อไป



รูปที่ 4.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแคลเซียม

จากกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.2 ได้ช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายแคลเซียมเท่ากับ 1 – 150 ppm ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0111x + 0.6873$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9924 จึงกล่าวได้ว่ากราฟมาตรฐานนี้มีความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้

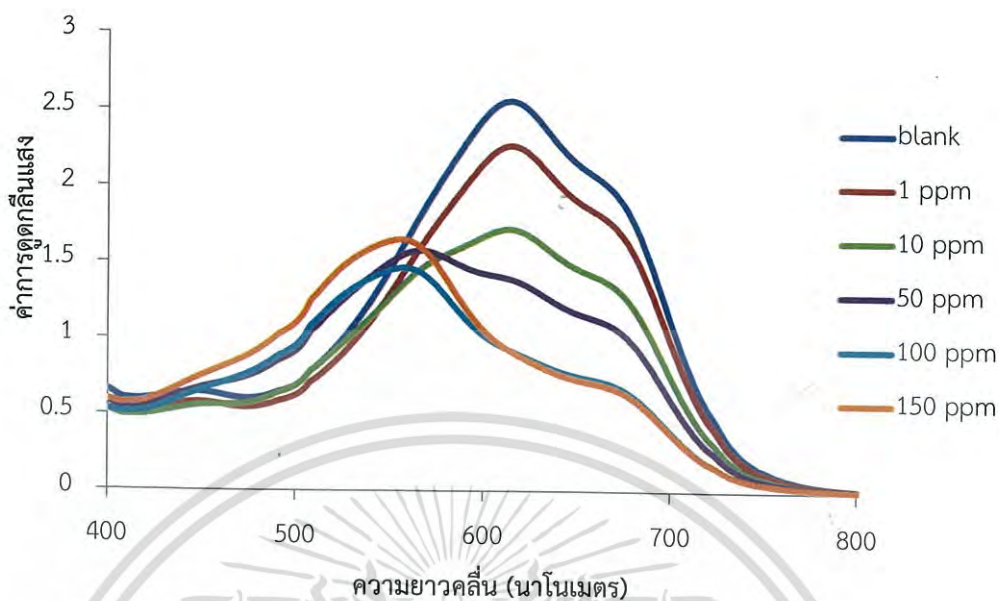
4.2 ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์

4.2.1. ศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมของสาร

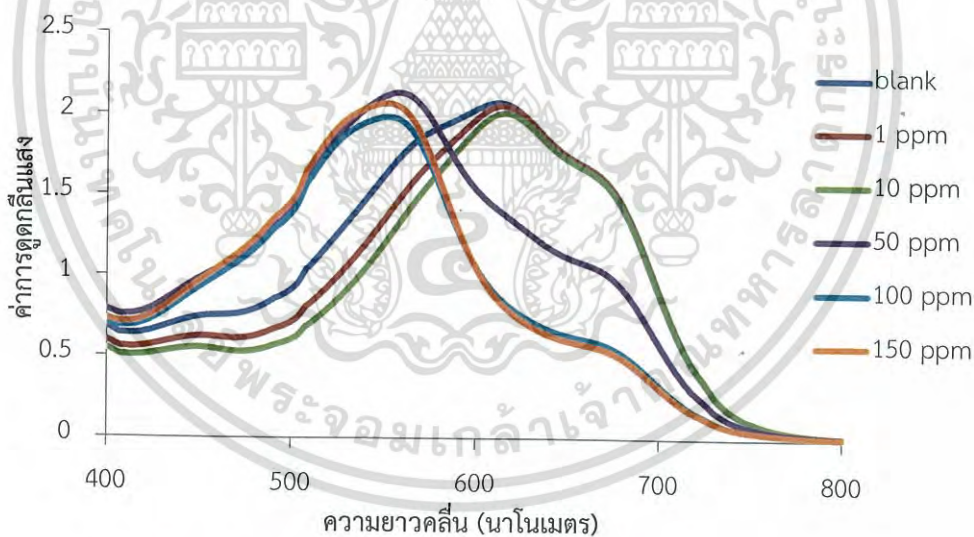
จากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จึงได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม โดยศึกษาผลที่เกิดจากลำดับการเติม โดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ทำปฏิกิริยากับสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที ใช้สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียม pH 10 ควบคุมสภาวะให้เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา แบ่งการศึกษาเป็น 2 ลำดับ

ลำดับที่ 1 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม, บัฟเฟอร์, สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที ตามลำดับ

ลำดับที่ 2 บัฟเฟอร์, สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที, สารละลายมาตรฐานแคลเซียม ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าให้ผลการทดลองดังภาพ

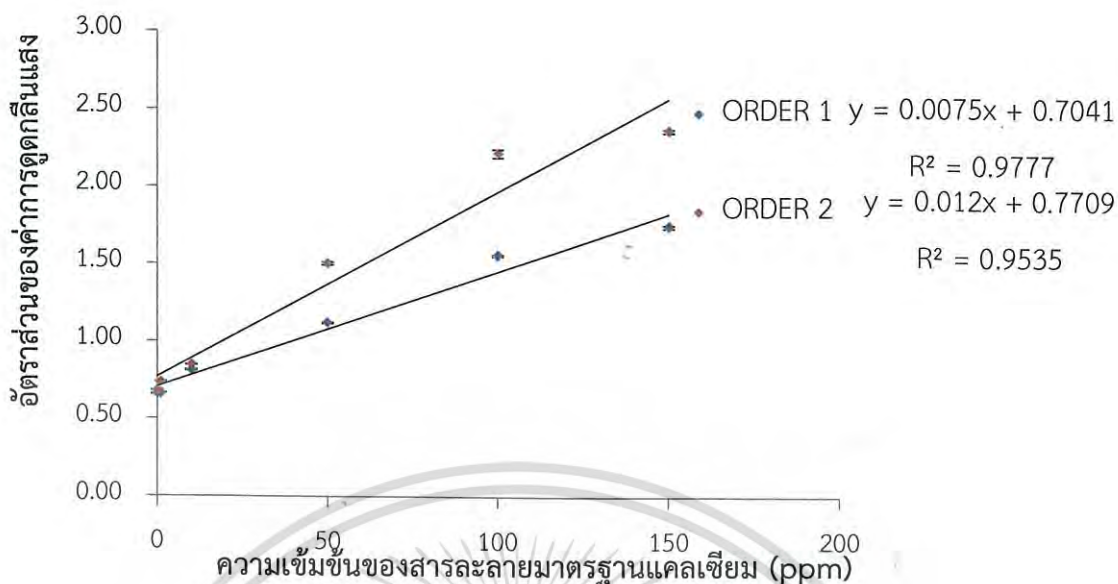


รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดจากสารละลายมาตรฐานแคลซียมและสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ที่เกิดจากการศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมลำดับที่ 1



รูปที่ 4.4 แสดงสเปกตรัมฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดจากสารละลายมาตรฐานแคลซียมและสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ที่เกิดจากการศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมลำดับที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

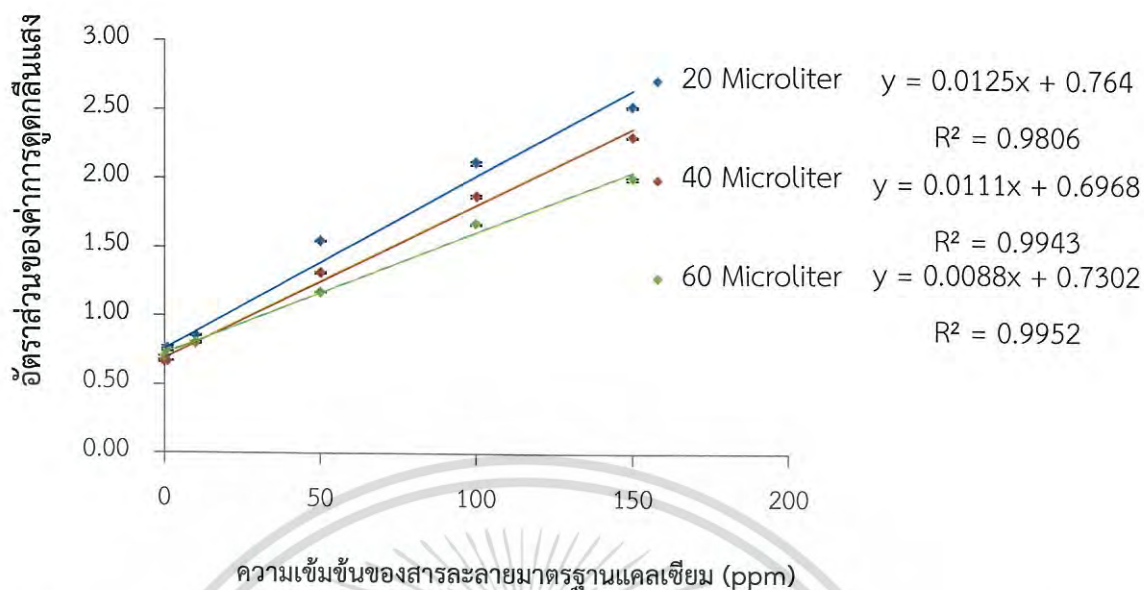


รูปภาพที่ 4.5 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการตกตะกอนแสงกับลำดับการเติมสาร

จากการผลศึกษารูปที่ 4.3 – 4.4 พบว่าสเปกตรัมทั้งสองยังไม่เป็นแนวโน้ม แต่ผลจากการศึกษาลำดับของการเติมสารพบว่าชุดที่ 1 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม, บัฟเฟอร์, สารละลายอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.5 ได้ช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายแคลเซียมคือ $y = 0.0075x + 0.7041$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9777 ซึ่งมีแนวโน้มดีกว่าชุดที่ 2 จึงใช้ลำดับการเติมของชุดที่ 1 ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในลำดับต่อไป

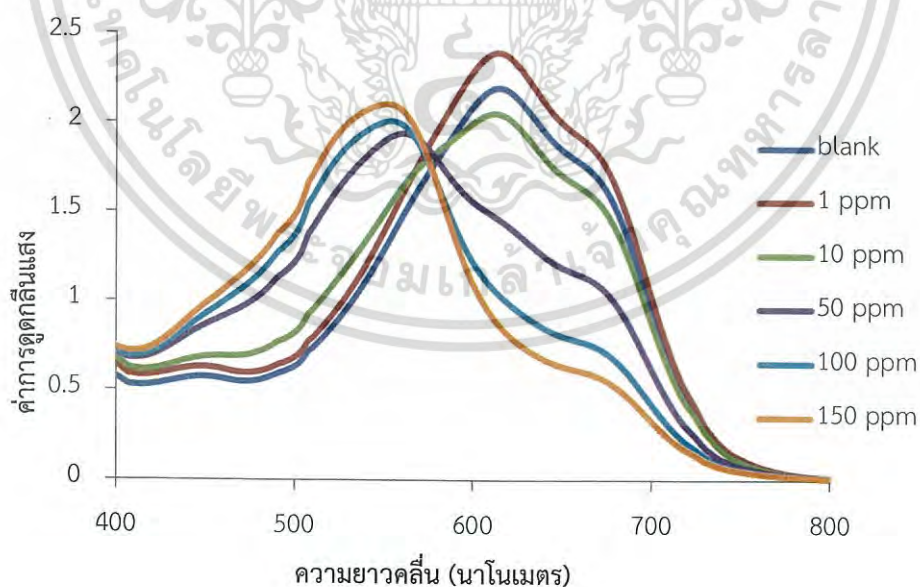
4.2.2. ศึกษาอิทธิพลของปริมาตรสารละลายอินดิเคเตอร์ เอรีโอโครมแบลคที่ต่อค่าการตกตะกอนแสง

เมื่อทราบแล้วว่าลำดับการเติมนั้นมีผลต่อค่าการตกตะกอนแสงของแคลเซียม ดังนั้นจึงใช้ลำดับชุดที่ 1 มาทำการศึกษหาปริมาณอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา โดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ใส่สารละลายแอมโมเนียมบัฟเฟอร์ pH 10 จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายอินดิเคเตอร์ โดยใช้ปริมาณอินดิเคเตอร์เป็น 20, 40 และ 60 ไมโครลิตร ตามลำดับ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6



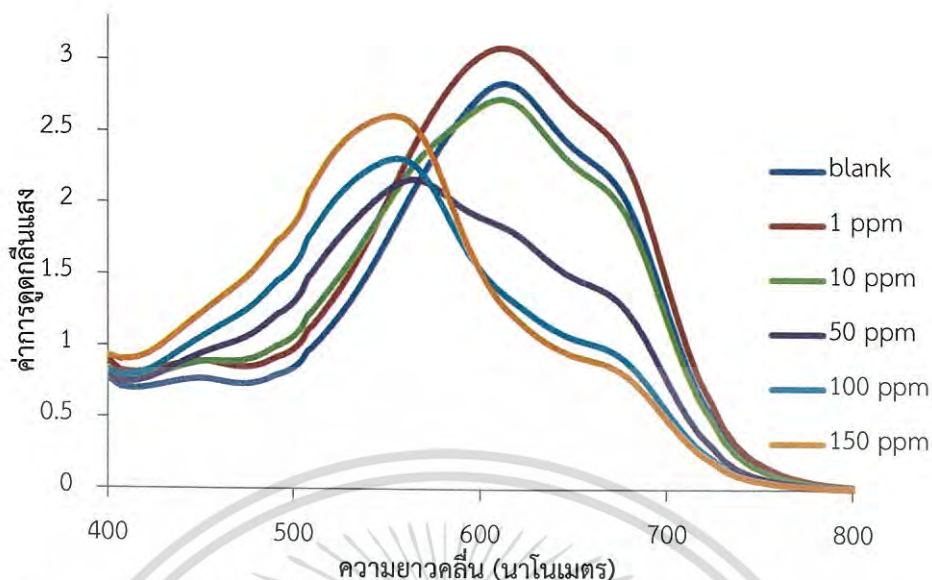
รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับปริมาณอินดิเคเตอร์ที่ 40 และ 60 ไมโครลิตร มีค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายแคลเซียมได้สมการเส้นตรงเท่ากับ $y = 0.0111x + 0.6968$, $y = 0.0088x + 0.7302$ ตามลำดับและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9952, 0.9943 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงสเปกตรัมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

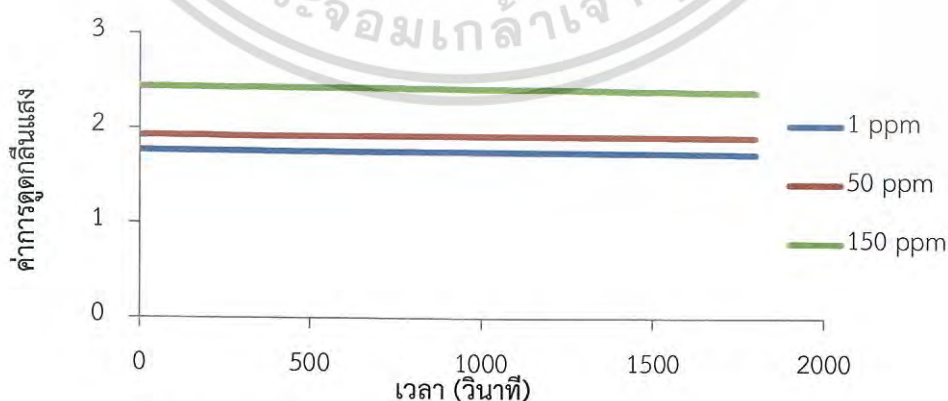


รูปภาพที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับสารละลายเอริโอโครมแบลคที่ ปริมาตร 60 ไมโครลิตร

การศึกษาสเปกตรัมที่เกิดจากสารละลายมาตรฐานแคลเซียมกับปริมาตรที่เหมาะสมของ สารละลายอินดิเคเตอร์ คือ 60 ไมโครลิตร จะพบว่าสเปกตรัมดังกล่าวให้ค่าการดูดกลืนแสงให้ค่า สัญญาณสูง จึงเลือกใช้อินดิเคเตอร์ปริมาตรที่ 40 ไมโครลิตรจึงได้นำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมใน ลำดับต่อไป

4.2.3 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา โดยศึกษาที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน แคลเซียมความเข้มข้น 1, 50, 150 ppm กับสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่ปริมาตร 40 ไมโครลิตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลา 30 นาที พบว่าให้ผลการทดลองดังรูป ที่ 4.9



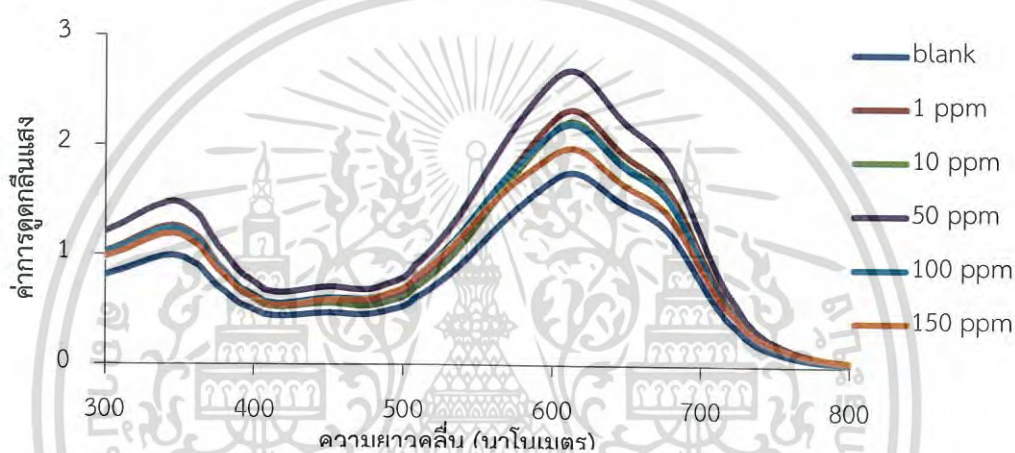
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

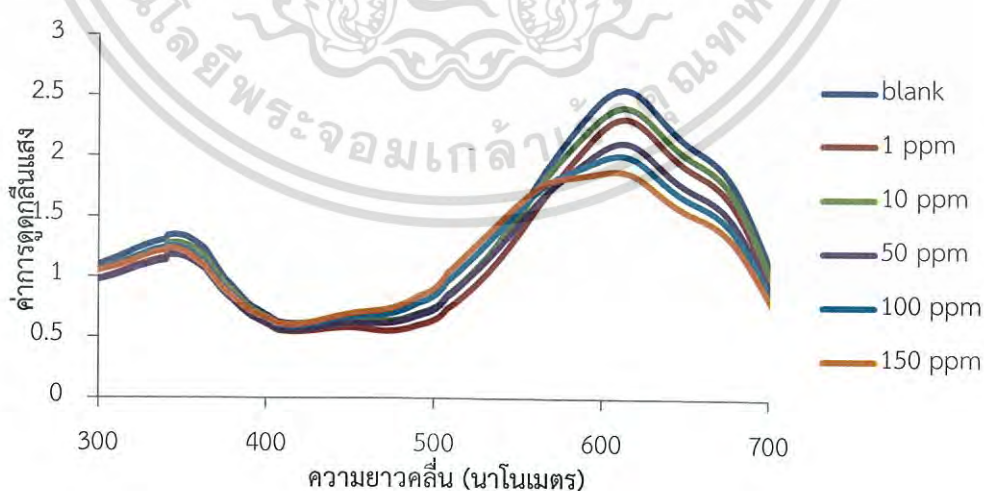
จากรูปที่ 4.9 สรุปได้ว่าเวลาไม่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียม ดังนั้นการวิเคราะห์จึงไม่ต้องจับเวลา สามารถตรวจวัด ณ เวลาใดก็ได้

4.2.4 ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสม

จากการศึกษาจนศาสตร์พบว่าเวลาไม่มีผลต่อการเกิดสเปกตรัมของแคลเซียม จึงได้ศึกษา pH ของสารละลายแอมโมเนียมบัพเฟอร์ที่เหมาะสม โดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ทำปฏิกิริยากับสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่ใช้สารละลายบัพเฟอร์แอมโมเนียมเป็น 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ พบว่าให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 - 4.13

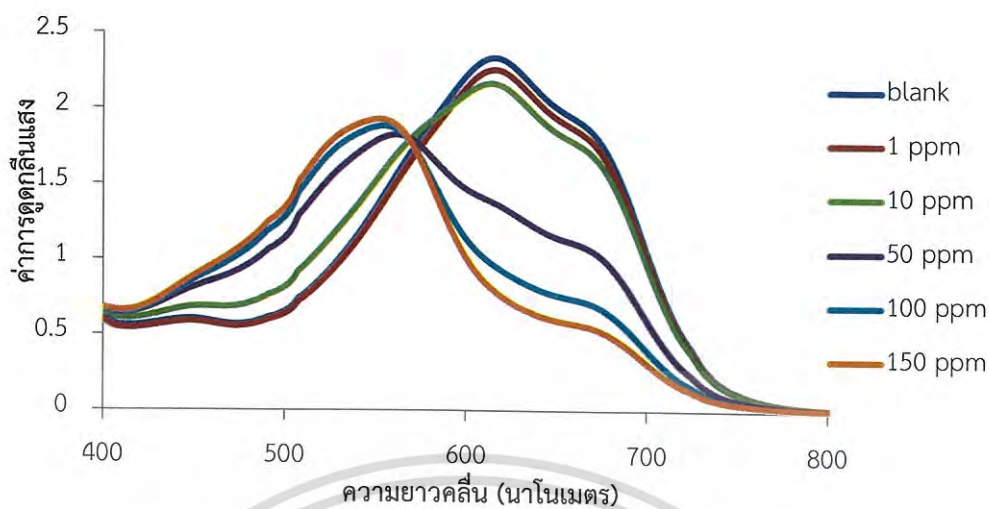


รูปที่ 4.10 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=8

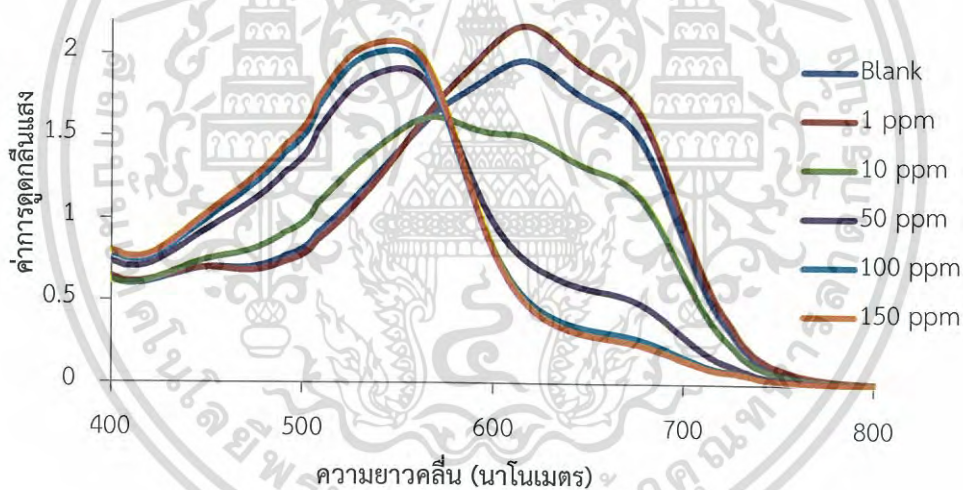


รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

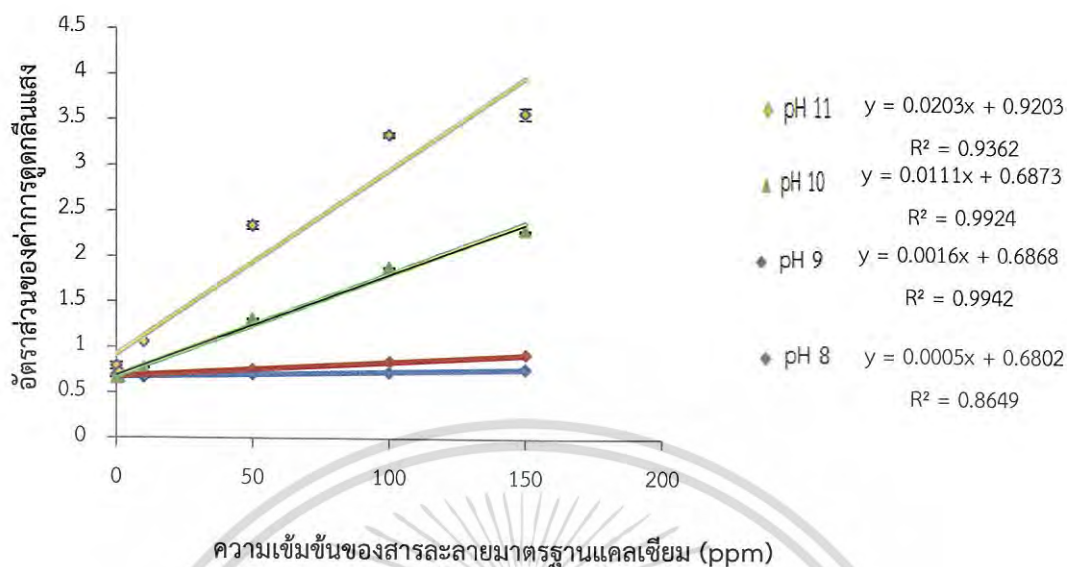


รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=10



รูปที่ 4.13 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ pH=11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียมกับ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์

จากรูป 4.13 เมื่อพิจารณาสเปกตรัมจะพบว่าสเปกตรัมของ pH 10 มีค่าการดูดกลืนแสงเป็นแนวโน้มตามลำดับ และจากการศึกษาการตรวจวัดแคลเซียม ที่ pH 10 จะส่งผลให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแคลเซียมและสารละลายอินดิเคเตอร์โดยจากการศึกษาที่ pH 10 ดังรูป 4.14 มีช่วงค่าความเป็นเส้นตรง $y = 0.011x + 0.6873$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) คือ 0.9924 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

สภาวะที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดแคลเซียม

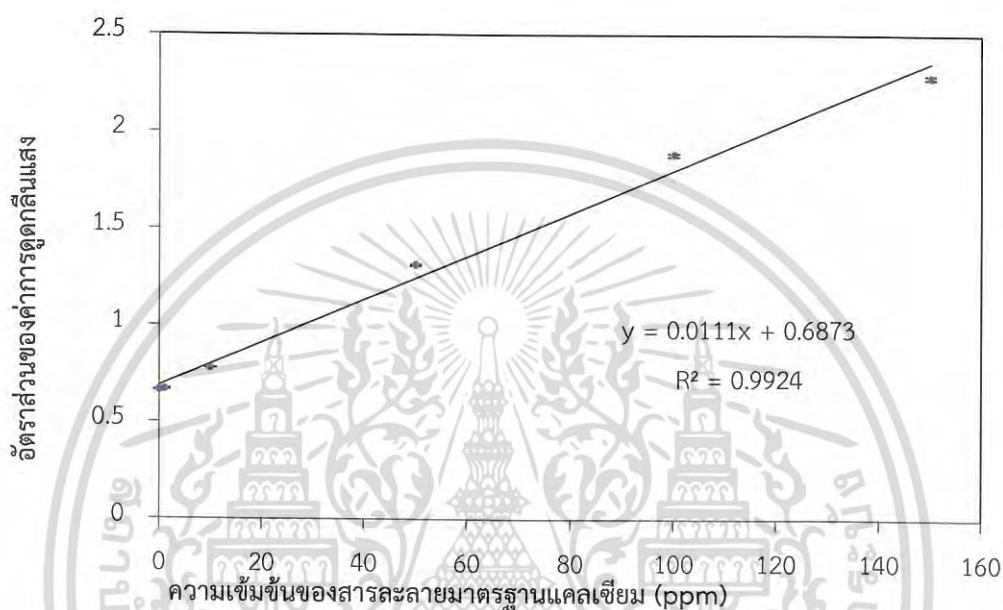
ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสม
ลำดับการเติม	ลำดับที่ 1 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม, บัฟเฟอร์, สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที
ปริมาตรอินดิเคเตอร์	40 ไมโครลิตร
pH บัฟเฟอร์	pH 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ปริมาณของแคลเซียมด้วยเครื่องวัดด้วยเครื่องยูวี – วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4.3.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ศึกษาโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียมที่ความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 ,150 ppm เลือกใช้อินดิเคเตอร์เอริโอโครมเบลคทีปริมาตร 40 ไมโครลิตร นำไปวัดด้วยเครื่องดูวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง (R^2)



รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียมกับความเข้มข้น

จากรูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0111x + 0.6872$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9924 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

4.3.2 การศึกษาความแม่นยำ (Accuracy)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (% Recovery)

ครั้งที่	สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแคลเซียม (ppm)					
		น้ำประปา			น้ำนม		
		Original	Spike	Found	Original	Spike	Found
1		11.98	107.61	112.07	2.32	107.61	74.28
2		11.96	107.61	111.3	2.43	107.61	73.98
3		11.91	107.61	106.45	2.44	106.61	73.34
Mean		11.9	107.61	109.94	2.4	107.6	73.9
Recovery (%)		91.06			63.75		

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าร้อยละการคืนกลับ (% Recovery) ของตัวอย่างน้ำประปา อยู่ในช่วง 90-100 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แต่น้ำมนั้นค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ เนื่องจากน้ำมนั้นมีตัวรบกวนในการรบกวนผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการพัฒนาวิเคราะห์ที่เหมาะสมในลำดับต่อไป

4.3.2 การศึกษาความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยงของการวิเคราะห์ ศึกษาโดยการนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ความเข้มข้น 100 ppm มาทำการตรวจวัดซ้ำ 3 ซ้ำ แล้วนำผลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (% Relative Standard Deviation)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (n=3)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	ครั้งที่			Mean	SD	%RSD
	1	2	3			
100 ppm (น้ำประปา)	106.1	107.6	105.2	106.3	1.16	1.12
100 ppm (นม)	123.6	107.6	109.4	113.5	8.76	7.72

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการอ่านค่าความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมโดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนั้นมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมจริงและเมื่อตรวจสอบค่า %RSD พบว่าทุกค่าที่คำนวณอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสรุปว่าวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยง

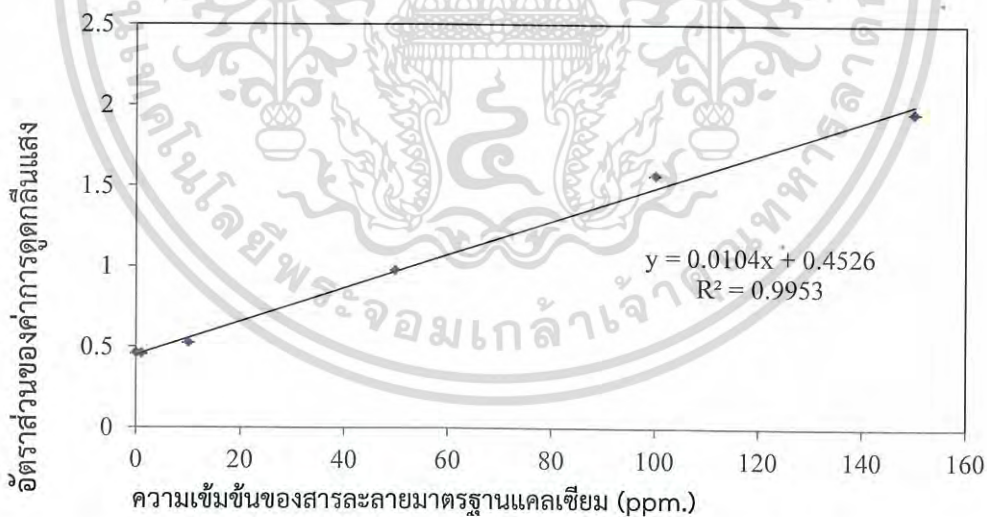
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (limit of detection) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้โดยมีความถูกต้องและความเที่ยงที่ยอมรับได้ (limit of quantitation)

ค่า LOD และ LOQ ศึกษาโดยการนำสารละลายแบบลงค์ มาทำการตรวจวัดซ้ำ 10 ครั้งด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงจะได้ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานจากสมการเส้นตรง $y = 0.0111x + 0.68728$ จากนั้นนำค่ามาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ เมื่อ blank ไม่มีสัญญาณ จึงได้ค่า LOD เท่ากับ 0.79 LOQ เท่ากับ 2.62

4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดหาปริมาณแคลเซียม จึงได้นำเอาวิธีวิเคราะห์ที่ไปประยุกต์ใช้ในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา โดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 150 ppm ทำปฏิกิริยากับสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคทีปริมาตร 40 ไมโครลิตร ใช้สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียม pH 10 ควบคุมสภาวะให้เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟมาตรฐานของอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียมด้วยเครื่องตรวจวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา

จากกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.16 ได้ช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายแคลเซียมเท่ากับได้สมการเส้นตรง $y = 0.0104x + 0.4526$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9995 จึงกล่าวได้ว่ากราฟมาตรฐานนี้มีความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้

ดังนั้นวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาได้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5. การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีมาตรฐานและวิธีที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในน้ำประปาที่วิเคราะห์ด้วยวิธีที่ตรวจวัดด้วยด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับวิธีที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

ตัวอย่าง	ปริมาณแคลเซียมที่ตรวจวัดได้ (ppm)	
	UV-Vis Spectrophotometer	Portable Spectrometer
	Mean	Mean
1	153.33	146.76
2	159.06	156.29
3	160.28	161.31
4	138.91	117.35
5	125.29	117.94

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์วิเคราะห์โดยใช้การทดสอบ Paired t-test

t-Test: Paired Two Sample for Means	
t Stat	-1.947
t Critical two-tail	2.776

จากแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์วิเคราะห์โดยใช้การทดสอบ Paired t-test ในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าวิธีวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี คือวิธีวิเคราะห์ที่ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับวิธีที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา ให้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐาน ดังนั้นสามารถใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาในการวิเคราะห์แคลเซียมในน้ำประปาแทนการใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณหาแคลเซียมโดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา ซึ่งการหาปริมาณแคลเซียมทำได้ช่วงความเป็นเส้นตรงความเข้มข้น 1 – 150 พีพีเอ็ม ได้สมการเชิงเส้น $y = 0.0111x + 0.68732$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9924 และทำการศึกษาอิทธิพลของลำดับการเติมของสาร โดยนำสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100, 150 พีพีเอ็ม มาทำปฏิกิริยากับสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที และใช้สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียม pH 10 ควบคุมสภาวะให้เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า สเปกตรัมทั้งสองยังไม่มีความเป็นแนวโน้ม แต่ผลจากการศึกษาลำดับการเติมพบว่า ลำดับการเติมชุดที่ 1 มีลำดับการเติมดังนี้ ใส่สารละลายมาตรฐานแคลเซียม, บัฟเฟอร์, สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดีกว่าลำดับการเติมชุดที่ 2 ดังนั้นจึงใช้ลำดับการเติมในชุดที่ 1 ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในลำดับต่อไป

การศึกษาค่าอิทธิพลของปริมาตรสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคทีต่อการดูดกลืนแสงพบว่าที่ ปริมาตรอินดิเคเตอร์ 40 ไมโครลิตร มีค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายแคลเซียม ได้สมการเส้นตรงเท่ากับ $y = 0.0111x + 0.6968$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) คือ 0.9943 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดี และมีความไวที่ดี

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา สรุปได้ว่าเวลาไม่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของแคลเซียม ดังนั้นการวิเคราะห์จึงไม่ต้องจับเวลา สามารถตรวจวัด ณ เวลาใดก็ได้ และการศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดต่างที่มีผลต่อการดูดกลืนแสงที่สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียมเป็น pH 8, 9, 10, 11 จากการศึกษาพบว่าที่ pH เท่ากับ 10 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดีที่สุด ให้ค่าช่วงความเป็นเส้นตรง $y = 0.011x + 0.6873$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) คือ 0.9924 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

สรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดแคลเซียม คือ ลำดับการเติมแบบที่ 1 มีลำดับการเติมดังนี้ ใส่สารละลายมาตรฐานแคลเซียม ตามด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียม pH 10 และ สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 40 ไมโครลิตร ตามลำดับ

จากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียม นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา ให้ค่าช่วงความเป็นเส้นตรง $y = 0.0104x + 0.4526$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9953 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่าวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาได้

ในการศึกษาผลของการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานแคลเซียมพบว่าความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ในตัวอย่างน้ำประปาและตัวอย่างน้ำนมให้ค่าร้อยละการคืนกลับ เท่ากับ 91.1 และ 63.3 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กับวิธีที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแบบพกพาพบว่าผลลัพธ์วิเคราะห์ของทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสามารถใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาในการวิเคราะห์แคลเซียมในน้ำประปาแทนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้ ทั้งนี้สำหรับตัวอย่างน้ำนมยังต้องมีการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. cuvette ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว ควรทำการล้างให้สะอาดก่อนการใช้งานครั้งต่อไป เพราะจะทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าผิดพลาด
2. ในการเตรียมสารเคมีต่างๆควรสวมถุงมือและหน้ากากป้องกันสารเคมีเพื่อป้องกันไม่ให้สารเคมีสัมผัสผิวหนังและระเหยเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้
3. การใส่ cell ในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ควรใส่ให้ถูกด้านและปิดฝาครอบเครื่องทุกครั้ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดของค่าการดูดกลืนแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การประปาส่วนภูมิภาค. 2559. กระบวนการผลิตน้ำประปา. [Online]. Available : <http://www.pwa.co.th/contents/service/treatment>
- [2] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 2559. คุณภาพมาตรฐานของน้ำประปา. [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html
- [3] กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 2551. ประกาศกระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : ราชกิจจานุเบกษา
- [4] องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย. 2559. กระบวนการผลิตน้ำนม. [Online]. Available : <http://www.dpo.go.th>
- [5] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 2559. คุณภาพมาตรฐานของน้ำประปา. [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html
- [6] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559. หลักการยูวี-วิสลิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์. [Online]. Available : <http://www.nanotec.or.th>
- [7] มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2559. การตรวจสอบคุณสมบัติการดูดกลืนแสง. [Online]. Available: [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-8.pdf)
- [8] ดร. ญัฐวุฒิ เชิงชัน. 2557. “การออกแบบและสร้างเครื่องมือสเปกโทรมิเตอร์อย่างง่าย”, คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] ดร. ญัฐวุฒิ เชิงชัน. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์. คณะวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] Pawel Pohl , Bartlomiej Prusisz. 2007. Determination of Ca, Mg, Fe and Zn partitioning in UHT cow milks by two-column ion exchange and flame atomic absorption spectrometry detection. Talanta 71. : 715–721
- [11] Laurent Noe`l a, Michael Carl b , Christelle Vastel a , Thierry Gue`rin a. 2008. Determination of sodium, potassium, calcium and magnesium content in milk products by flame atomic absorption spectrometry (FAAS): A joint ISO/IDF collaborative study. International Dairy Journal 18. : 899–904
- [12] R. Gao a , E.J.M. Temminghoff b , H.P. van Leeuwen c , H.J.F. van Valenberg a , M.D. Eisner d , M.A.J.S. van Boekel a. 2009. Simultaneous determination of free calcium, magnesium, sodium and potassium ion concentrations in simulated milk ultrafiltrate and reconstituted skim milk using the Donnan Membrane Technique. International Dairy Journal 19 : 431–436

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] P.J. McKinstry a , H.E. Indyka , N.D. Kimb. 1998. The determination of major and minor elements in milk and infant formula by slurry nebulisation and inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES).Food Chemistry. 65 : 245±252
- [14] Erol Akyilma, Ozge kozgus. 2009. Determination of calcium in milk and water by using catalase enzyme electrode. Food chemical 115: 347-351 .
- [15] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2559 กระบวนการขุดเจาะน้ำบาดาล. [Online]. Available : http://www.dgr.go.th/water/waterforlife2_1.htm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กระบวนการขุดเจาะน้ำบาดาล [15]

การเจาะน้ำบาดาลนั้นจะมีประสิทธิภาพจะเริ่มต้นมาตั้งแต่การสำรวจ การวางแผน และการเจาะ บ่อบาดาลที่ดีจะต้องเป็นผลเนื่องมาจากการสำรวจและวางแผนได้ดี ใช้เครื่องเจาะถูกต้อง พัฒนาบ่อถูกหลักและนำน้ำขึ้นมาใช้ด้วยวิธีการที่เหมาะสมตามหลักการด้านชลศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเลือกที่เจาะ

การเลือกที่เจาะนั้นจะมีประสิทธิภาพจะต้องมีความรู้ด้านธรณีวิทยา และอุทกวิทยาในการหาแหล่งขุดเจาะ การเจาะหาแหล่งน้ำที่ต้องการน้ำในปริมาณมากๆ จะต้องมีการเจาะบ่อดทดสอบ (Test hole) ดูลึก่อน 2 - 3 บ่อ การเจาะบ่อดทดสอบมีวัตถุประสงค์ที่จะหาความลึกของแหล่งน้ำบาดาล จุดที่ขึ้นน้ำบาดาลหนาที่สุด จุดที่น้ำบาดาลมากที่สุด คุณภาพน้ำที่ดีที่สุด ผลจากการทดสอบและรายละเอียดการตรวจสอบอื่นๆ เช่น การตรวจสอบชั้นหิน การตรวจชั้นน้ำด้วยเครื่องมือไฟฟ้า และการทดสอบปริมาณน้ำ เพื่อมาประเมินให้ถูกหลักก็จะกำหนดจุดเจาะให้ได้ผลดีที่สุดได้ และต้องอาศัยลักษณะทางภูมิประเทศ โดยมีหลักดังต่อไปนี้

1. แหล่งขุดเจาะที่เป็นทุ่งราบ พื้นที่ดังกล่าวรองรับด้วยกรวดทรายความหนา 25 เมตร บริเวณดังกล่าวบ่อจะมีน้ำไม่มาก
2. แหล่งขุดเจาะที่เป็นทุ่งราบ แต่กรวดมีลักษณะเป็นเหลี่ยมๆ บริเวณดังกล่าวไม่มีน้ำ
3. แหล่งขุดเจาะที่เป็นทุ่งราบหรือหุบเขา มีแม่น้ำลำธารไหลผ่าน ตัวน้ำคดเคี้ยวไปมา และมีหาดทรายกว้างขวาง ฤดูฝนมักจะมีน้ำล้นฝั่ง ฤดูแล้งมีน้ำไหล บริเวณดังกล่าวบ่อจะมีน้ำเยอะ
4. แหล่งขุดเจาะที่เป็นคิ่งน้ำ ควรเลือกเจาะบริเวณคิ่งน้ำด้านที่มีหาดทราย ด้านตรงข้ามซึ่งมีตลิ่ง ชั้นและน้ำเขาไม่ควรเจาะบ่อน้ำบาดาล
5. แหล่งขุดเจาะที่เป็นทุ่งราบกว้างขวางริมทะเล สามารถเจาะได้ทุกบริเวณ ต้องเจาะในระดับที่เหมาะสมไม่ลึกเกินไป เนื่องจากน้ำขึ้นด้านล่างจะเป็นน้ำเค็ม
6. แหล่งขุดเจาะเป็นที่ราบลานเทชั้นบันไดหลายชั้น ควรเลือกเจาะในบริเวณที่อยู่ระดับที่ต่ำที่สุด เนื่องจากน้ำบริเวณที่สูงจะอยู่ลึกมาก
7. แหล่งขุดเจาะมีชั้นดินเหนียวสลับอยู่ในชั้นกรวด น้ำจะอยู่ในชั้นทรายซึ่งมีระดับลึก
8. บริเวณที่เป็นทุ่งราบแล้ง แต่มีต้นไม้อื่นเขียวชอุ่มเป็นแนวยาว เป็นตอน ๆ ตลอดปี แสดงว่าบริเวณนั้นมีแหล่งน้ำบาดาล ซึ่งอาจจะอยู่ในบริเวณร่องน้ำเก่า
9. บริเวณพื้นที่ที่เป็นแหล่งน้ำเค็มหรือแหล่งเกลือ ดังเช่น ในที่ราบตอนกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ควรจะเลือกที่เจาะในบริเวณที่เป็นเนินสูง ๆ มีป่าหรือพุ่มไม้ทั่วไป เพราะอาจมีโอกาสได้น้ำจืด
10. บริเวณพื้นที่ซึ่งเป็นภูเขามีหินแข็งโผล่ให้เห็น ชั้นหินเอียงเทลงไปทางเชิงเขา ไม่ควรอย่างยิ่งที่จะเจาะน้ำบาดาลในบริเวณนั้น แต่ถ้าต้องการน้ำจริงๆ ก็ควรเลื่อนที่เจาะลงไปทางเชิงเขา

2. การเจาะน้ำบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจาะน้ำบาดาลนั้นสามารถกระทำได้โดยกรมทรัพยากรธรณี และบริษัทรับเหมา ซึ่งการขุดเจาะเพื่อให้ได้น้ำบาดาลที่มีประสิทธิภาพนั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่การเลือกใช้เครื่องเจาะให้ถูกต้อง การเลือกประเภทเครื่องเจาะนี้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญหลายประการ เช่น วัตถุประสงค์ที่จะเอาน้ำมาใช้ ปริมาณน้ำที่ต้องการ ความลึกของน้ำบาดาล สภาพความแข็งและการวางตัวของชั้นหิน และงบประมาณค่าใช้จ่าย ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการเจาะอย่างยิ่ง

3. การก่อสร้างบ่อ

ประกอบด้วยการออกแบบบ่อ การใส่ท่อกรูท่อกรอง และการกรกรวด

3.1 การออกแบบบ่อ

การออกแบบบ่อ หมายถึงการนำรายละเอียดต่าง ๆ ที่ได้จากการเจาะบ่อนั้น ๆ มาวางแผนการทำบ่อให้ได้ผลที่สุด ทั้งด้านปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำ หลักใหญ่ของการออกแบบอยู่ที่การใส่ท่อกรูและท่อกรองให้ถูกขนาดและถูกตำแหน่งที่ควรจะอยู่ เช่น ท่อกรองจะต้องมีความยาวอย่างน้อย 2/3 ของความหนาของชั้นน้ำ ตำแหน่งของท่อกรองจะต้องอยู่ตรงกับชั้นน้ำ ในกรณีที่บ่อนั้นเจาะผ่านชั้นน้ำเค็ม ก็ต้องกำหนดวิธีการอุดหรือกันน้ำเค็มไม่ให้ปนกับน้ำจืด และเข้ามาในบ่อเหล่านี้เป็นต้น

3.2. การใส่ท่อกรูท่อกรอง

ท่อกรูเป็นเหล็กเหนียวใช้ใส่ในบ่อเพื่อเป็นผนังถาวรของบ่อ ในกรณีที่เป้นหินร่วนต้องใส่ท่อกรูเพื่อกันไม่ให้บ่อพัง บ่อเจาะในหินแข็งซึ่งเมื่อถูกน้ำแช่นานจะแตกเปื่อยยุ่ย เช่น หินดินดานต้องใส่ท่อกรูด้วย ส่วนบ่อที่เจาะในหินแข็งซึ่งไม่จำเป็นต้องใส่ บ่อที่ไม่ใส่ท่อกรูเรียกว่า บ่อเปิด (Open Hole) ท่อกรูบ่อน้ำบาดาลส่วนใหญ่ยาวประมาณ 20 ฟุต โดยเฉลี่ยมีหลายขนาดตั้งแต่ 4 นิ้ว จนถึง 24 นิ้ว การเลือกใช้ท่อกรูขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะใช้น้ำ

3.3. การกรกรวด(Gravel Packing)

การกรกรวดจะทำระหว่างช่องว่างระหว่างผนังบ่อกับท่อกรองต้องใส่กรวดไว้โดยรอบ กรวดเหล่านี้ทำหน้าที่เหมือนกับบ่ออีกบ่อหนึ่งหุ้มบ่อจริงไว้ ลักษณะของบ่อนี้ประกอบด้วยกรวดที่มีความพรุนและความซึมได้สูง จึงยอมให้น้ำไหลผ่านได้มากที่สุด นอกนั้นยังช่วยกรองตะกอนและดินหรือทรายจากบริเวณอื่น เข้าไปในบ่อ ปัญหาของทรายที่หลุดไปต้องทำคู่กับการใส่ตะแกรงร่อน ยิ่งบ่อมีความหนาของชั้นกรกรวดมากก็จะสามารถดูน้ำได้มาก

4. การพัฒนาบ่อ

ขั้นตอนสุดท้ายในการทำบ่อก่อนที่จะสูบน้ำจากบ่อออกไปใช้ การพัฒนาบ่อมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้บ่อมีน้ำเพิ่มมากขึ้น ป้องกันไม่ให้ทรายเข้าบ่อและทำให้อายุการใช้งานของบ่อยืนยาวขึ้น

5. การทดสอบปริมาณน้ำ

บ่อที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องมีการทดสอบปริมาณน้ำ (Pumping test) เพื่อให้ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณน้ำ คุณภาพของน้ำ จากนั้นติดตั้งเครื่องสูบน้ำขึ้นมาใช้

คุณภาพมาตรฐานน้ำบาดาล [3]

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงคุณลักษณะของน้ำบาดาล [3]

คุณลักษณะน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางกายภาพ	สี (Colour)	แพลทินัม-โคบอลต์	5	15
	ความขุ่น (Turbidity)	หน่วยความขุ่น	5	20
	ความเป็นกรดต่าง(pH)	-	7.0-8.5	6.5-9.2
	แมงกานีส (Mn^{2+})	ppm	<0.3	0.5
	ทองแดง (Cu^{2+})	ppm	<1.0	1.5
	สังกะสี (Zn^{2+})	ppm	<5	15
	ซัลเฟต (SO_4^{2-})	ppm	<200	250
	คลอไรด์ (Cl^-)	ppm	<250	600
	ฟลูออไรด์ (F^-)	ppm	<0.7	1.0
	ไนเตรท (NO_3^-)	ppm	<45	45
	ความกระด้างทั้งหมด	ppm	<300	500
	ความกระด้างถาวร	ppm	<200	250
	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้	ppm	<600	1200
	ไซยาไนด์ (CN^-)	ppm	0	0.1
สารพิษ	สารหนู (As^{2+})	ppm	0	0.05
	ไซยาไนด์ (CN^-)	ppm	0	0.1
	ตะกั่ว (Pb^{2+})	ppm	0	0.05
	ปรอท (Hg^{2+})	ppm	0	0.001
	แคดเมียม (Cd^{2+})	ppm	0	0.01
	ซีลีเนียม (Se^{2+})	ppm	0	0.01
ทางแบคทีเรีย	แบคทีเรียที่ตรวจพบโดยวิธี standard plate Count	Coloni/cm ³	< 500	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข. ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของลำดับการเติมสารในการวิเคราะห์ ลำดับที่ 1

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.65	0.66	0.66	0.66	0.00	0.28
1	0.66	0.66	0.66	0.66	0.00	0.02
10	0.80	0.81	0.81	0.81	0.00	0.39
50	1.12	1.11	1.11	1.11	0.00	0.35
100	1.56	1.55	1.55	1.55	0.00	0.28
150	1.75	1.74	1.73	1.74	0.00	0.54

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของลำดับการเติมสารในการวิเคราะห์ ลำดับที่ 2

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.68	0.68	0.68	0.68	0.00	0.20
1	0.73	0.73	0.73	0.73	0.00	0.29
10	0.84	0.85	0.85	0.84	0.00	0.11
50	1.51	1.51	1.49	1.50	0.01	0.67
100	2.24	2.20	2.19	2.21	0.02	1.24
150	2.37	2.36	2.35	2.36	0.01	0.47

ภาคผนวก ค

ค. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารละลายอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคที่ ต่อค่าการดูดกลืนแสง ตารางที่ ค.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของปริมาณอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคที่ 20 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.67	0.66	0.66	0.66	0.00	0.61
1	0.75	0.76	0.77	0.76	0.01	1.68
10	0.86	0.85	0.85	0.85	0.00	0.42
50	1.54	1.55	1.54	1.54	0.00	0.32
100	2.11	2.12	2.10	2.11	0.01	0.58
150	2.51	2.53	2.52	2.52	0.00	0.25

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของปริมาณอินดิเคเตอร์เอรีโอโครมแบลคที่ 40 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.67	0.67	0.67	0.67	0.00	0.48
1	0.66	0.67	0.67	0.67	0.00	0.33
10	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.18
50	1.32	1.31	1.31	1.31	0.00	0.41
100	1.88	1.87	1.86	1.87	0.00	0.43
150	2.30	2.30	2.30	2.30	0.00	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของปริมาณอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที 60 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.25
1	0.73	0.75	0.75	0.74	0.00	1.25
10	0.79	0.80	0.80	0.80	0.00	0.68
50	1.17	1.17	1.17	1.17	0.00	0.11
100	1.67	1.67	1.66	1.67	0.00	0.23
150	2.01	1.99	1.99	2.00	0.01	0.62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ง. ศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงที่เหมาะสม
 ตารางที่ ง.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ pH = 8

ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.14
1	0.66	0.67	0.67	0.67	0.00	0.36
10	0.67	0.67	0.67	0.67	0.00	0.50
50	0.69	0.70	0.70	0.70	0.00	0.57
100	0.71	0.72	0.72	0.72	0.00	0.74
150	0.76	0.75	0.76	0.76	0.00	0.21

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ pH = 9

ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.68	0.69	0.68	0.69	0.00	0.35
1	0.67	0.67	0.67	0.67	0.00	0.41
10	0.77	0.68	0.68	0.71	0.05	7.41
50	0.75	0.75	0.76	0.76	0.00	0.18
100	0.84	0.84	0.84	0.84	0.00	0.21
150	0.92	0.92	0.92	0.92	0.00	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ pH = 10

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.66	0.66	0.66	0.66	0.00	0.14
1	0.66	0.66	0.67	0.66	0.00	0.31
10	0.77	0.77	0.77	0.77	0.00	0.07
50	1.30	1.31	1.30	1.31	0.00	0.35
100	1.88	1.88	1.87	1.88	0.00	0.39
150	2.29	2.28	2.27	2.28	0.00	0.38

ตารางที่ ง.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของค่าความเป็นกรด-ด่างที่ pH = 11

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.83	0.77	0.77	0.79	0.03	4.56
1	0.72	0.72	0.72	0.72	0.00	0.12
10	1.05	1.06	1.05	1.05	0.00	0.14
50	2.38	2.33	2.29	2.33	0.04	1.84
100	3.36	3.35	3.30	3.34	0.02	0.84
150	3.65	3.55	3.52	3.57	0.06	1.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

จ. ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ปริมาณของแคลเซียมด้วยเครื่องวัดยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ จ.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของในการศึกษาความเป็นเส้นตรง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
0	0.66	0.66	0.66	0.66	0.00	0.14
1	0.66	0.66	0.67	0.66	0.00	0.31
10	0.77	0.77	0.77	0.77	0.00	0.07
50	1.30	1.31	1.30	1.31	0.00	0.35
100	1.88	1.88	1.87	1.88	0.00	0.39
150	2.29	2.28	2.27	2.28	0.00	0.38

ตารางที่ จ.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของในการศึกษาความเที่ยง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ppm)	1	2	3	\bar{x}	SD	%RSD
100 ppm (น้ำประปา)	106.1	107.6	105.2	106.3	1.16	1.12
100 ppm (น้ำนม)	123.6	107.6	109.4	113.5	8.76	7.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของในการศึกษาค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับของตัวอย่างน้ำประปา

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแคลเซียม (ppm)		
	Original	Added	Found
1	12	107.61	112.07
2	12	107.61	111.3
3	11.9	107.61	106.45
Mean	11.9	107.61	109.94
%Recovery	91.06%		

ตารางที่ จ.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของในการศึกษาค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับของตัวอย่างน้ำนม

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแคลเซียม (ppm)		
	Original	Added	Found
1	2.32	107.61	74.3
2	2.43	107.61	74.0
3	2.44	107.61	73.3
Mean	2.4	107.61	73.9
%Recovery	63.75%		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ. 5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของในการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
0.6779	0.6839	0.6889	0.6874	0.6872	0.6878	0.6883	0.6884	0.6863	0.6869	0.6863

จากการตรวจวัด blank 10 ครั้ง ได้สมการเส้นตรง $y = 0.0125x + 0.724$

$$SD = 0.003277, \text{ Slope} = 0.0125$$

$$LOD = \frac{3SD}{\text{Slope}} = \frac{3 \times 0.003277}{0.0125}$$

$$LOQ = \frac{10SD}{\text{Slope}} = \frac{10 \times 0.003277}{0.0125}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้