ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กม
อว 26

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน

เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่องที่ 1

การศึกษาหาปริมาณสารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

โดย

นางสาวนีระนารถ แจ้งทอง

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1

กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน

เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่องที่ 1

การศึกษาหาปริมาณสารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เลขหมู่ วท
วว 26
เลขทะเบียน 9994
วันที่ 14 พ.ย. 44

โดย

นางสาวนีระนารถ แจ้งทอง

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ด้วยอธิบดีกรมการ
จาก
วท
.....

กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1

กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

จากการทดลองหาชนิดของเกลือโพแทสเซียมและปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมเมื่อวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์และสารละลายโพแทสเซียมไนเทรต พบว่าโพแทสเซียมมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมอย่างมาก แต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่ออะลูมิเนียมและโซเดียม อย่างไรก็ตามสารละลายทั้งสองมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของธาตุแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงขึ้น โพแทสเซียมคลอไรด์จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมลดลง และพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของธาตุทั้งสามชนิดน่าจะเป็น 500 มิลลิกรัม/ลิตร จึงได้ทดลองใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์และสารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ของธาตุทั้งสามชนิด เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นวิธีเดิมที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ และกำหนดให้การใช้สารป้องกันการไอออไนซ์ทั้งสามชนิด เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ 1, 2 และ 3(วิธีเดิม) ตามลำดับ

การใช้วิธีทางสถิติซึ่งได้แก่ การทดสอบ goodness of fit of linear graphs เพื่อหา linearity ของวิธีทั้ง 3 วิธีที่ใช้วิเคราะห์ธาตุแต่ละชนิดพบว่า มี linearity ใกล้เคียงกันมาก การเปรียบเทียบความถูกต้องและแม่นยำของวิธีที่ 1 และ 2 กับวิธีที่ 3 โดยใช้ t-test และ F-test ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และจากการหาค่าความไวและขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีทั้ง 3 วิธีของแต่ละธาตุ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันจึงสามารถกล่าวได้ว่าวิเคราะห์ทั้ง 3 ให้ผลการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม แต่ละชนิดไม่แตกต่างกัน และหากต้องการวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่ง ในขณะที่มีธาตุอื่นอีก 2 ธาตุปนอยู่ด้วยจะไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมไนเทรตพบว่า โพแทสเซียมคลอไรด์เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารป้องกันการไอออไนซ์มากกว่า เพราะมีความเป็นพิษน้อยกว่าและใช้ปริมาณน้อยกว่า ดังนั้นสารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด จึงควรเป็นสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร

สารบัญ

		หน้า
1	บทนำ	1
	1.1 คำนำ	1
	1.2 ที่มาของปัญหา	3
	1.3 วัตถุประสงค์	4
	1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
	1.5 ระยะเวลาในการศึกษาทดลอง	4
	1.6 วิธีดำเนินการทดลอง	4
2	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	5
3	วิธีทดลอง	6
4	ผลการทดลอง	13
5	วิจารณ์ผลการทดลอง	19
6	สรุปผลการทดลอง	25
7	กิตติกรรมประกาศ	26
8	เอกสารอ้างอิง	27
9	ภาคผนวก	28
	9.1 ตารางที่ 1 แสดงผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม	29
	9.2 ตารางที่ 2 แสดงการหา linearity ของอะลูมิเนียม	30
	9.3 ตารางที่ 3 แสดงการหา linearity ของแบเรียม	30
	9.4 ตารางที่ 4 แสดงการหา linearity ของโซเดียม	31
	9.5 ตารางที่ 5 แสดงการหาค่าy-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีทั้ง 3 วิธี	32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9.6 ตารางที่ 6 แสดงการหาค่า y-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีทั้ง 3 วิธี 33

9.7 ตารางที่ 7 แสดงการหาค่าy-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีทั้ง 3 วิธี 34

9.8 ตารางที่ 8 แสดงการหาค่าความไวของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียม 35

9.9 ตารางที่ 9 แสดงการหาค่าความไวของวิธีวิเคราะห์แบเรียม 36

9.10 ตารางที่ 10 แสดงการหาค่าความไวของวิธีวิเคราะห์โซเดียม 36

9.11 ตารางที่ 11 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีที่ 1 37

9.12 ตารางที่ 12 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีที่ 2 38

9.13 ตารางที่ 13 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีที่ 3 39

9.14 ตารางที่ 14 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีที่ 1 40

9.15 ตารางที่ 15 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีที่ 2 41

9.16 ตารางที่ 16 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีที่ 3 42

9.17 ตารางที่ 17 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีที่ 1 43

9.18 ตารางที่ 18 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีที่ 2 44

9.19 ตารางที่ 19 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีที่ 3 45

9.20 ตารางที่ 20 แสดงการหาความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีทั้ง 3 46

9.21 ตารางที่ 21 แสดงการหาความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีทั้ง 3 47

9.22 ตารางที่ 22 แสดงการหาความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีทั้ง 3 48

การศึกษาหาปริมาณสารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. บทนำ

1.1 คำนำ[1, 2]

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิตรี้ นับว่าเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีความเฉพาะเจาะจง(specific)ค่อนข้างมาก ทั้งแหล่งกำเนิดแสงและการดูดกลืนแสง กล่าวคือ ความยาวคลื่นที่แต่ละธาตุดูดกลืนค่อนข้างชัดเจน แต่ก็มีโอกาสที่สเปกตรัมของธาตุอื่นๆ ที่ปนอยู่อาจรบกวน ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มากกว่าหรือน้อยกว่าปกติได้ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผิดพลาด ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้วิเคราะห์จะต้องศึกษาให้ดีว่าวัตถุตัวอย่างเป็นอะไร มีองค์ประกอบอย่างไร ละลายในสารใด และจะวิเคราะห์ด้วยเทคนิคใด เพื่อจะได้เตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม การวิเคราะห์ธาตุบางชนิดต้องเติมสารอื่นลงไปเพื่อป้องกันสิ่งรบกวน สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องยิ่งขึ้น

การไอออไนซ์เป็นปัญหาที่สำคัญที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เนื่องจากการไอออไนซ์คือ การที่อิเล็กตรอนหนึ่งตัวหรือมากกว่าหลุดออกจากอะตอมของธาตุทำให้เกิดไอออน ดังสมการ

$$M \longrightarrow M^{n+} + ne^-$$

ไอออนที่เกิดขึ้นจะไม่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกันกับอะตอมที่เป็นกลาง นั่นคือ ในสภาวะที่มีการไอออไนซ์เกิดขึ้น การหาปริมาณธาตุจะเป็นการวัดการดูดกลืนแสงของอะตอมในสภาวะพื้นและไอออนที่เกิดจากการไอออไนซ์ ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้แตกต่างจากสภาวะที่ไม่มีการไอออไนซ์ ดังนั้นหากไม่มีการป้องกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะผิดพลาดไป

การไอออไนซ์จะเกิดได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุและพลังงานที่ใช้ในการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม เรียกพลังงานนี้ว่า พลังงานไอออไนเซชัน พลังงานดังกล่าวนี้ได้มาจากหลายทางด้วยกัน เช่น ความร้อนจากเปลวไฟหรือจากไฟฟ้า ถ้าเปลี่ยนเปลวไฟจากชนิดอากาศ-อะเซทิลีนไปเป็นไนทรัสออกไซด์-อะเซทิลีน จะทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟเพิ่มขึ้นการไอออไนซ์ก็จะเกิดได้มากขึ้น

ธาตุพวกอัลคาไลน์เอิร์ธ ได้แก่ แบริลเลียม แมกเนเซียม แคลเซียม สทรอนเซียม และแบเรียม กับธาตุพวกอัลคาไลน์ ได้แก่ ลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม และซีเซียมล้วนเป็นธาตุที่ไอออไนซ์ได้ง่าย เพราะมีพลังงานไอออไนเซชันต่ำ

ถ้ามีการเติมธาตุที่ไอออไนซ์ได้ง่ายกว่าธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ลงในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งสมมติให้เป็น B ในขบวนการการกลายเป็นอะตอมเสรีจะเกิดปฏิกิริยา ดังสมการ

$$B \longrightarrow B^{+} + e^{-}$$

อิเล็กตรอนจาก B จะทำให้ความเข้มข้นของอิเล็กตรอนในเปลวไฟสูงขึ้น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้จะไปลดการไอออไนซ์ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้ในระดับที่ไม่มีนัยสำคัญต่อผลการวิเคราะห์อีกต่อไป สารประกอบของธาตุ B ที่เติมลงไปเพื่อป้องกันการไอออไนซ์นี้เรียกว่า ไอออนซัพเพสเซอร์ (ion suppressor) หรือสารป้องกันการไอออไนซ์

การวิเคราะห์ธาตุในสารประกอบที่ระเหยหรือแตกตัวได้ยาก จำเป็นต้องใช้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูง แต่การไอออไนซ์ก็จะเกิดตามมา การเติมสารป้องกันการไอออไนซ์ทำให้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างประเภทนี้ได้

จากตารางที่ 1อะลูมิเนียม แบเรียม โซเดียม และโพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีพลังงานไอออไนเซชันต่ำ จึงถูกไอออไนซ์ได้ง่าย ในที่นี้อะลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูงที่สุด ส่วนพลังงานไอออไนเซชันของแบเรียมและโซเดียมมีค่าใกล้เคียงกันมาก โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำกว่าธาตุทั้งสาม จึงถูกเลือกมาใช้เป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ของธาตุทั้งสามชนิดในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิตรี้

ตารางที่ 1 พลังงานไอออไนเซชันค่าแรก(first ionization energy) ของอะลูมิเนียม แบเรียม โซเดียม และโพแทสเซียม

ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชันค่าแรก (k cal/g. mol)
อะลูมิเนียม	138
แบเรียม	120
โซเดียม	119
โพแทสเซียม	100

ผลของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ต่อมนุษย์

อะลูมิเนียม [3]

อะลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีคุณอนันต์แต่ก็มีโทษมหันต์ อะลูมิเนียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการบริโภคน้ำ อาหาร และยาบางชนิดโดยผ่านทางภาชนะบรรจุ อะลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีพิษต่อระบบประสาท

เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคอัลไซเมอร์(Alzheimer) โรคหัวใจบางชนิดที่เกิดกับคนงานที่คลุกคลีอยู่กับฝุ่นผงอะลูมิเนียม โรคกระดูกบางชนิด โรคโลหิตจาง โรคกระเพาะ ตับเป็นพิษและมะเร็งถุงน้ำดี

แบเรียม[4]

เกลือของแบเรียมเป็นพิษมากเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย แต่โดยปกติแล้วจะไม่พบในเนื้อเยื่อมนุษย์ และพบน้อยมากในอาหาร สารประกอบของแบเรียมถูกนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด ได้แก่ แบเรียมซัลเฟต ซึ่งนำมาใช้ในทางการแพทย์เนื่องจากมีการดูดซึมได้น้อยมาก ความเป็นพิษของแบเรียม คือ ทำให้การสูบฉีดของโลหิตต่ำ ทำให้เกิดโรคความดัน แขนขาเป็นอัมพาต ท้องร่วง และปวดท้องอาเจียนอย่างแรง

โซเดียม[5]

โซเดียมเป็นธาตุในกลุ่มอิเล็กโทรไลต์ เพราะเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นโซเดียมไอออนซึ่งมีประจุบวก ในทางโภชนาการโซเดียมจัดเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายในจำพวกเกลือแร่ มนุษย์ได้รับโซเดียมควบคู่ไปกับคลอไรด์ในรูปโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนใหญ่ อาหารธรรมชาติที่มีโซเดียมได้แก่ ไข่ นม เนยแข็ง องค์ประกอบที่สำคัญของผงชูรสและผงฟูก็คือ โซเดียม การขาดโซเดียมมักเนื่องมาจากการอาเจียนอย่างรุนแรงหรือเรื้อรัง หรือท้องเสียซึ่งอาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ เบื่ออาหาร กล้ามเนื้อไม่มีแรง หรือเป็นตะคริวและความดันต่ำ แต่ถ้าร่างกายได้รับโซเดียมมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดอันตรายได้เช่นกัน ซึ่งจะทำให้เกิดอาการบวมน้ำ หรือเป็นโรคไต

1.2 ที่มาของปัญหา

ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นั้น ฝ่ายอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์1 เลือกใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 1000 มิลลิกรัม/ลิตรเป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ แต่เนื่องจากเอกสารทางวิชาการและคู่มือการใช้เครื่องหลายเล่ม แนะนำให้ใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมไนเทรตเป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ คู่มือบางเล่มให้ใช้โพแทสเซียมในช่วงความเข้มข้น 1000-2000 มิลลิกรัม/ลิตร[6] บางเล่มให้ใช้ 1000 มิลลิกรัม/ลิตร[7]ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด แต่ไม่พบรายงานที่แน่นอนว่าสารใดและปริมาณเท่าใดเหมาะสมที่สุด และถ้าหากใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมน้อยกว่าที่คู่มือการใช้เครื่องระบุไว้ จะมีผลต่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการวิเคราะห์หรือไม่อย่างไร หากต้องการวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่งในขณะที่มีธาตุอื่นปนอยู่ด้วย จะมีการรบกวนซึ่งกันและกันหรือไม่อย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อหาชนิดของเกลือโพแทสเซียมและปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผิดพลาดเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.ได้วิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งนำมาประยุกต์เป็นวิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้

2. ลดมลภาวะและความเป็นพิษจากสารเคมีที่ใช้

3. ประหยัดงบประมาณของประเทศในการซื้อสารเคมี

1.5 ระยะเวลาในการศึกษาทดลอง

ตุลาคม 2540 –กันยายน 2541

1.6 วิธีดำเนินการทดลอง

1.6.1 หาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม โดยเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับสารละลายโพแทสเซียมไนเทรต

1.6.2 หาLinearity ของกราฟมาตรฐาน ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง โดยหาความสัมพันธ์ในรูป linear regression และ correlation coefficient แล้วทดสอบ goodness of fit of linears graph โดยใช้ y-residuals ของกราฟที่สร้างขึ้น[6] จากวิธีที่ 1 โพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร วิธีที่ 2 โพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร วิธีที่ 3 โพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นวิธีเดิมที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการ

1.6.3 ความไวของวิธี (Sensitivity) คือความเข้มข้นของสารละลาย ที่ทำให้สัญญาณของการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงไป 1 % หรือ 0.0044 absorbance unit

1.6.4 ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์ (Detection limit) คือความเข้มข้นของสารละลายต่ำสุด ที่สามารถให้สัญญาณที่แตกต่างจากสัญญาณรบกวน(noise) และสภาพพื้นของสัญญาณ(blackground)

1.6.5 เปรียบเทียบความแม่นยำและความถูกต้องของวิธีใหม่ทั้ง 2 วิธีกับวิธีเดิม(วิธีที่ 3)

1.6.6 การรบกวนซึ่งกันและกันของธาตุทั้งสามชนิด เมื่ออยู่ในสารละลายตัวอย่างเดียวกัน

2. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 880 ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

2.1.2 หลอดกำเนิดแสง(hollow cathode lamp) อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ยี่ห้อ Varian ประเทศออสเตรเลีย

2.1.3 เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2.1.4 ก๊าซอะเซทิลีน (acethylene gas)

2.1.5 ก๊าซไนทรัสออกไซด์ (nitrous oxide gas)

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม(aluminium working standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.2 สารละลายมาตรฐานแบเรียม(barium working standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.3 สารละลายมาตรฐานโซเดียม(sodium working standard solution) 1000 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.4 กรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น(hydrochloric acid) ชนิด AR grade

2.2.5 โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride)ชนิด AR grade

2.2.6 โพแทสเซียมไนเทรต (potassium nitrate)ชนิด AR grade

2.3 สารละลายที่ใช้

2.3.1 น้ำ D.I. (deionized water)

เตรียมโดยนำน้ำกลั่นผ่านเครื่อง Deionizer เพื่อกำจัดแอนไอออนและแคตไอออน ใช้น้ำนี้ในการเตรียมและเจือจางสารละลายทุกชนิด ในทุกขั้นตอนของการทดลอง

2.3.2 สารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยการเจือจางจากสารละลายมาตรฐาน 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ด้วยน้ำสำหรับแบเรียมและโซเดียม ส่วนอะลูมิเนียมเจือจางด้วยกรดไฮโดรคลอริค 5%

2.3.3 สารโพแทสเซียมคลอไรด์ ซึ่งมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเท่ากับ 25,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 23.8375 กรัม ละลายในน้ำ 200 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายที่ได้ลงในขวดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2.3.4 สารโพแทสเซียมไนเทรต ซึ่งมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเท่ากับ 25,000 มิลลิกรัม/ลิตร

เตรียมโดยชั่งโพแทสเซียมไนเทรต 32.3255 กรัม ละลายในน้ำ 200 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายที่ได้ลงในขวดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3. **วิธีทดลอง**

3.1 **การหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม โดยเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์กับสารละลายโพแทสเซียมไนเทรต**

3.1.1 **การหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสม ที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม**

- เตรียมสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 12 มิลลิกรัม/ลิตร ที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมเป็น 0, 100, 200, 300, 400, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 5000, 7500 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร 3 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 14 ขวด เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ปริมาตร 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร
- ทำซ้ำโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตแทนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์
- นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สภาวะในการวัดดังตารางที่ 2
- นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของโพแทสเซียม

3.1.2 **การหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของแบเรียม**

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 แต่ใช้สารละลายมาตรฐานแบเรียม 100 มิลลิกรัม/ลิตรแทนสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

3.1.3 **การหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์องโซเดียม**

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1 แต่ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียม 100 มิลลิกรัม/ลิตรแทนสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการวัดค่าดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [6]

	Aluminium	Barium	Sodium
Lamp current, mA	10	20	5
Flame type	Nitrous oxide/ Acetylene	Nitrous oxide/ Acetylene	Air/ Acetylene
Flame stoichiometry	Reducing, red cone1-2 cm.	Reducing, red cone1-2 cm.	Oxidizing
Wavelenge, nm	309.3	553.6	330.3
Slit width, nm	0.5	0.1	0.5

3.2 การหา linearity

3.2.1 การหา linearity ของอะลูมิเนียม

วิธีที่ 1 ใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร

- เตรียมสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียมเข้มข้น 0, 5, 10, 20, 30, 50 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร มา 0, 1.25, 2.5, 5.0, 7.5, 12.5 และ 20 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด เติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.5 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร
- นำสารละลายทั้งหมดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของธาตุ
- คำนวณ linear regression และ correlation coefficient แล้วทดสอบ goodness of fit of linear graphs เพื่อดูว่ากราฟที่ได้มีส่วนโค้งหรือไม่ โดยใช้ y-residuals ของกราฟที่สร้างขึ้น

y-residual = $y_i - \hat{y}$

เมื่อ y_i = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

$\hat{y}$ = ค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณจาก linear regression ที่ความเข้มข้นเดียวกันกับ y_i

เปรียบเทียบ y-residual ของจุดที่สงสัยว่าแตกต่างจากจุดอื่นในเส้นตรงนี้หรือไม่ โดยใช้ Q-test

$$Q = \left| \frac{\text{suspect value} - \text{nearest value}}{\text{largest value} - \text{smallest value}} \right|$$

การทดสอบแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียม โดยวิธีที่ 1

ความเข้มข้นของแบเรียม (มิลลิกรัม/ลิตร)	0	5	10	20	30	50	80
ค่าการดูดกลืนแสง	-0.001	0.054	0.106	0.207	0.300	0.498	0.700

เมื่อคำนวณ linear regression เส้นที่ 1 โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด สมการที่ได้คือ y = 0.092x, r = 0.9974 ค่า r ที่ได้มีค่าสูง แต่บางครั้งกราฟที่มีส่วนโค้งก็มีค่า r สูงได้เช่นกัน เมื่อใช้สมการ linear regression นี้คำนวณ y-residuals ของจุดต่างๆ จะได้ –0.001, 0.008, 0.014, 0.023, 0.024, 0.038 และ –0.036 ตามลำดับ y-residual ของจุดสุดท้าย (จุดที่ 7 = -0.036) แตกต่างจากจุดอื่นๆ หรือไม่

เพื่อความแน่ใจ คำนวณ linear regression ของ 6 จุดแรกเท่านั้น(เส้นที่ 2) สมการคือ y = 0.01x, r = 0.9997 (r มีค่ามากกว่า r ของ linear regression เส้นแรก) y-residuals ของ 6 จุดแรกจะเป็น –0.001, 0.004, 0.006, 0.007 และ –0.002 และเมื่อใช้ linear regression เส้นที่ 2 คำนวณ y-residual ของจุดที่ 7 (80, 0.700) จะได้เท่ากับ –0.1 การที่จะบอกว่าค่า –0.1 แตกต่างจากจุดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ทำได้ 2 แบบ คือ ใช้ t-test เพื่อดูว่า y-residual ค่าสุดท้ายแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของ y-residuals ของ 6 จุดแรกหรือไม่ หรือใช้ Q-test ดูว่า y-residual ค่าสุดท้ายเป็น outlier ของ y-residuals ทั้งหมดหรือไม่ ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ Q-test เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว

$Q_{\text{คำนวณ}}$ มีค่า = 0.916 ซึ่งมีค่ามากกว่า $Q_{\text{จากตาราง}}$(= 0.570, n=7) ดังนั้นตัดจุด (80, 0.700)

ทำซ้ำโดยคำนวณ linear regression เส้นที่ 3 แล้วคำนวณ y-residuals ของ 5 จุดแรก และจุด (50, 0.498) ทดสอบ outlier ของ y-residual ของจุด (50, 0.498) ถ้า $Q_{คำนวณ}$ได้มีค่าน้อยกว่า $Q_{ตาราง}$ ก็ถือว่า linear regression เส้นที่ 2 เป็นสมการของการวิเคราะห์แบเรียม ซึ่งมี linearity เป็น 0-50 มิลลิกรัม/ลิตร

แต่ถ้า $Q_{คำนวณ}$ได้มีค่ามากกว่า $Q_{จากตาราง}$ ก็ทำซ้ำไปจนกว่า $Q_{คำนวณ}$มีค่าน้อยกว่า $Q_{จากตาราง}$

<u>วิธีที่ 2 ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร</u>

- ทำเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรต 0.5 มิลลิลิตร แทนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์

<u>วิธีที่ 3 ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 1000 มิลลิกรัม/ลิตร</u>

- ทำเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรต 1.0 มิลลิลิตร แทนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์

3.2.2 **<u>การหา linearity ของแบเรียม</u>**

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 แต่ใช้สารละลายมาตรฐานแบเรียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร แทนสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

3.2.3 **<u>การหา linearity ของโซเดียม</u>**

จากคู่มือการใช้เครื่องมือทำให้ทราบว่าโซเดียมมี linearity ยาวกว่าอะลูมิเนียมและแบเรียม จึงต้องเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสูงกว่าในกรณีของอะลูมิเนียม และแบเรียม

- เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมเข้มข้น 100, 120, 150, และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ปิเปตสารละลายโซเดียมเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร มา 2.5, 3.0, 3.75 และ 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 12 ขวด แล้วเติมโพแทสเซียมตามวิธีที่ 1 , 2 และ 3

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 แต่ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร แทนสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

3.3 **<u>การหาค่าความไว(Sensitity)</u>**[9]

- วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์(blank) 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

● วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานของธาตุ ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 0.2 absorbance unit 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

● ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ ลบด้วยค่าเฉลี่ยของแบลงค์

● คำนวณค่าความไวจากสูตร

$$\text{Sensitivity} = \frac{C \times 0.0044}{\bar{x}}$$

Sensitivity = ความไวของวิธีวิเคราะห์(มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่ใช้(มิลลิกรัม/ลิตร)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานลบค่าเฉลี่ยของแบลงค์

3.4 <u>การหาขีดจำกัดต่ำสุด (detection limit)</u>[9]

3.4.1 <u>การหาขีดจำกัดต่ำสุดของอะลูมิเนียม</u>

<u>วิธีที่ 1</u>

● เตรียมสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม เข้มข้น 0, 4 และ 8 มิลลิกรัม/ลิตร โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร 0, 1 และ 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 3 ขวด แต่ละขวดเติมสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ขวดละ 0.5 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

● นำสารละลายทั้งหมดมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ การวัดค่าการดูดกลืนแสงของธาตุมีลำดับการวัดคือ แบลงค์ สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 4 มิลลิกรัม/ลิตร แบลงค์ และสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 8 มิลลิกรัม/ลิตร ทำเช่นนี้ 10 ครั้ง

● หาค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของแบลงค์ที่วัดก่อนและหลัง การวัดสารละลายมาตรฐานนั้น

● นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน ลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงของแบลงค์เฉลี่ย แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของทั้งสองความเข้มข้น

● คำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของสารละลายมาตรฐานทั้ง 2 แล้วหาค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดต่ำสุดของสารละลายมาตรฐานทั้งสองความเข้มข้น จากสูตร

$$\text{detection limit} = \frac{C \times 3SD}{\bar{x}}$$

detection limit = ขีดจำกัดต่ำสุด(มิลลิกรัม/ลิตร)

C = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน(มิลลิกรัม/ลิตร)

SD = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสง

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

<u>วิธีที่ 2</u>

- ทำเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรต 0.5 มิลลิลิตร แทนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์

<u>วิธีที่ 3</u>

- ทำเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรต 1.0 มิลลิลิตร แทนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์

3.4.2 **<u>การหาขีดจำกัดต่ำสุดของแบเรียม</u>**

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 แต่ใช้สารละลายมาตรฐานแบเรียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร แทนสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

3.4.3 **<u>การหาขีดจำกัดต่ำสุดของโซเดียม</u>**

- ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1 แต่ใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร แทนสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร

3.5 **<u>การหาความแม่นยำ(precision) และความถูกต้อง(accuracy)</u>**

- นำสารละลายมาตรฐานที่อยู่ในช่วง linear range มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์อีกครั้ง เครื่องจะเก็บข้อมูลไว้แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve)

- นำสารละลายแบลงค์ และสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 8 มิลลิกรัม/ลิตรที่เตรียมโดยวิธีที่ 1, 2 และ 3 มาวัดค่าการดูดกลืนแสง เครื่องจะประเมินผลข้อมูลออกมาในรูปความเข้มข้น(มิลลิกรัม/ลิตร) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของธาตุที่สร้างไว้

วัดค่าความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 8 มิลลิกรัม/ลิตร นี้ 10 ครั้ง หักลบด้วยค่าความเข้มข้นของแบลงค์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- การทดสอบความแม่นยำ เป็นการทดสอบเพื่อดูว่า วิธีที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นวิธีใหม่ มีความแม่นยำแตกต่างจากวิธีที่ 3 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่เดิมอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้ F-test (two-tailed test)[8]

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad \text{หรือ} \quad F = \frac{s_2^2}{s_1^2}$$

โดยที่ s_1 และ s_2 = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีเดิม และวิธีใหม่(มิลลิกรัม/ลิตร)

และกำหนดให้ ค่า F ต้องมีค่า ≥ 1 เสมอ

ถ้า $F_{\text{คำนวณ}}$มีค่าน้อยกว่า $F_{\text{จากตาราง}}$ แสดงว่าวิธีใหม่ (วิธีที่ 1 และ 2) และวิธีเดิม (วิธีที่ 3)มีความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- คำนวณ pooled estimate of standard deviation[8]

$$s_{pooled}^2 = \frac{\left\{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2\right.}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

เมื่อ n_1 และ n_2 = จำนวนครั้งที่ทำการทดลองของวิธีเดิมและวิธีใหม่

- การเปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีใหม่กับวิธีเดิมทำโดยใช้ t-test

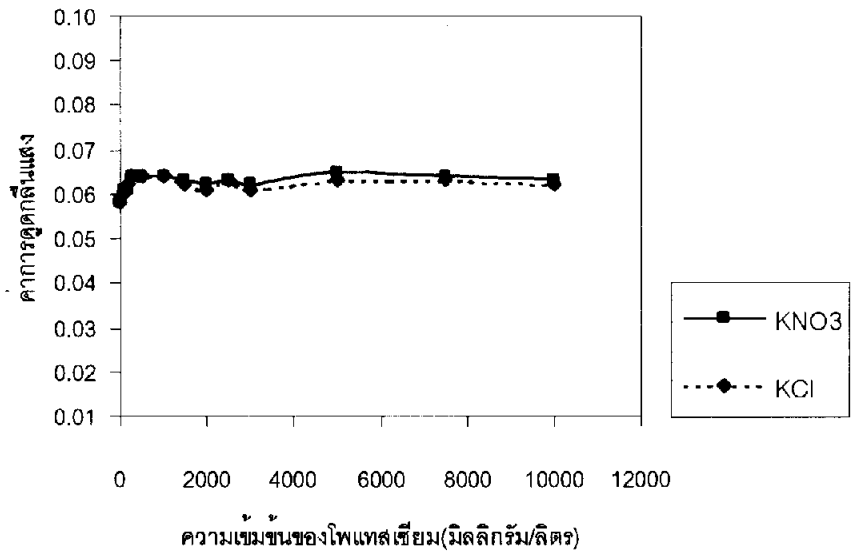
$$t = \left| \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s_{pooled}\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} \right|, \quad \text{degree of freedom} = (n_1 + n_2 - 2)$$

เมื่อ $\bar{x}_1$ และ $\bar{x}_2$ = ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่วัดได้โดยวิธีเดิมและวิธีใหม่(มิลลิกรัม/ลิตร)

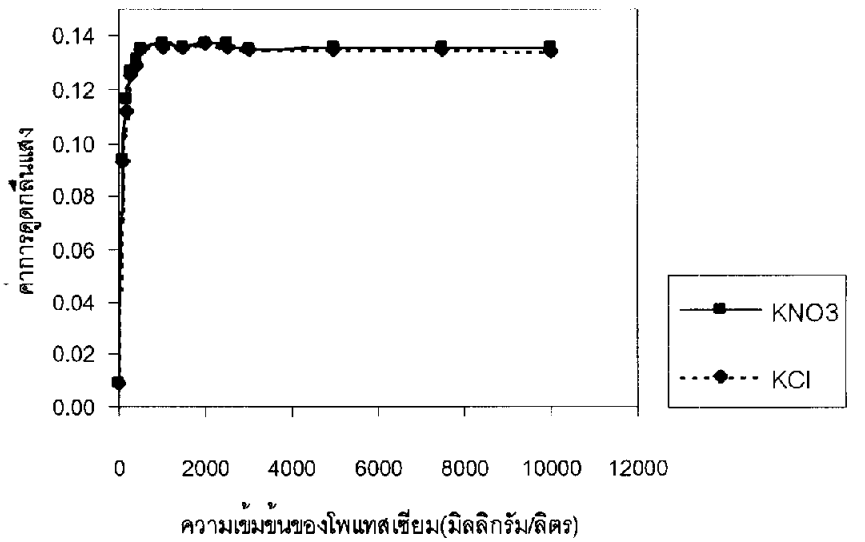
ถ้า $t_{\text{คำนวณ}}$มีค่าน้อยกว่า $t_{\text{จากตาราง}}$ แสดงว่าความถูกต้องของวิธีใหม่และวิธีเดิมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ วิธีทั้งสองให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกัน

4. ผลการทดลอง

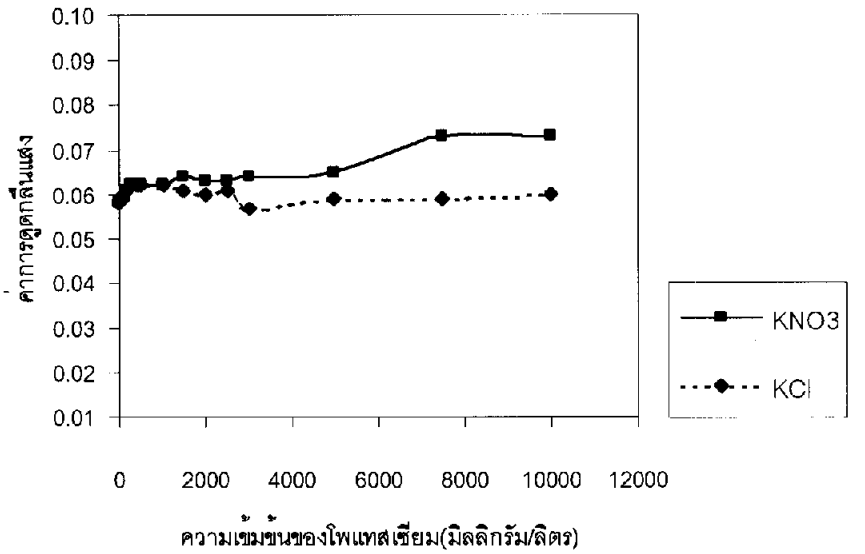
4.1 จากการศึกษาหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม โดยเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์และสารละลายโพแทสเซียมไนเทรต แล้วนำมาสร้างกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของโพแทสเซียม ดังแสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 1 แสดงผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม



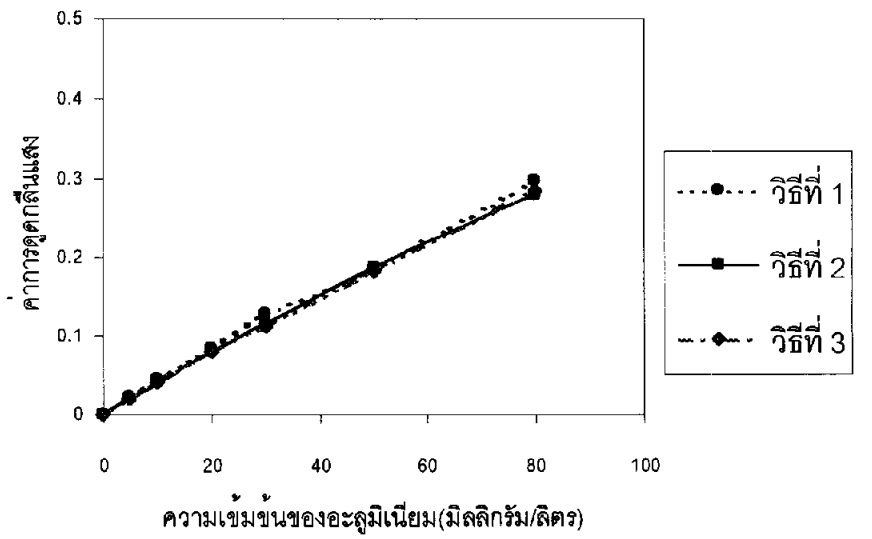
รูปที่ 2 แสดงผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียม



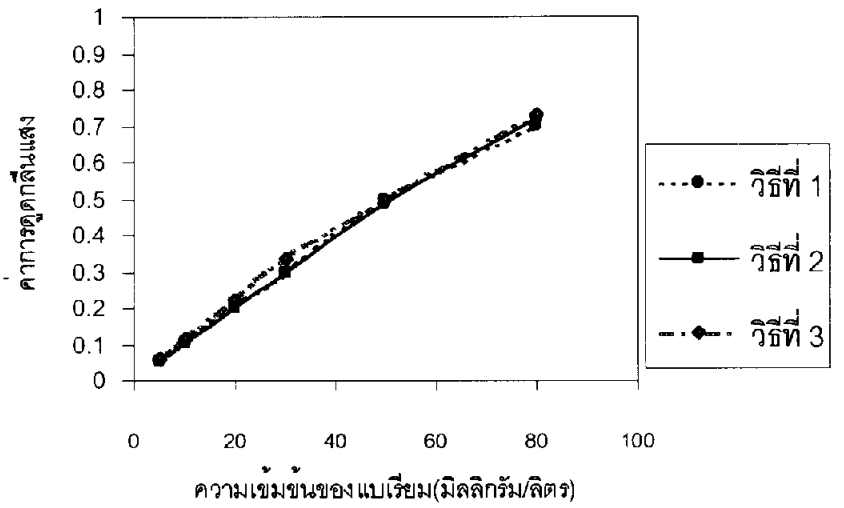
<u>รูปที่ 3</u> แสดงผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียม

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลดิบในการศึกษาผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมอยู่ในตารางที่ 1 ในภาคผนวก

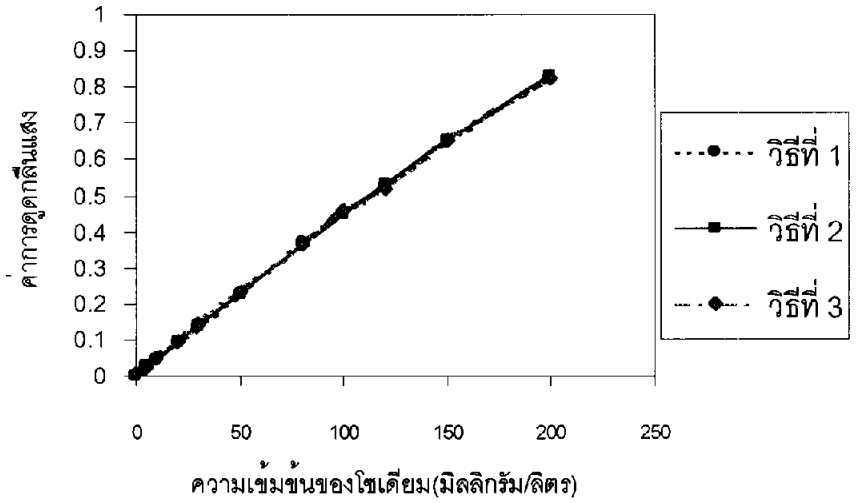
4.2 ผลการศึกษา linearity ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 แสดงในรูปที่ 4, 5 และ 6 ส่วนการคำนวณ linear regression และ correlation coefficient, r, แสดงในตารางที่ 3



<u>รูปที่ 4</u> แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียม



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ตารางที่ 3 แสดง linear regression, correlation coefficient ของช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่างๆ ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 วิธี

ธาตุ	วิธีที่	ช่วงความเข้มข้นที่ใช้	Linear regression	r
อะลูมิเนียม	1	0-80 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0038 x	0.9968
		0-50 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0039 x	0.9930
		0-30 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0043 x	0.9999
	2	0-80 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0036 x	0.9993
		0-50 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0038 x	0.9996
		0-30 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0039 x	0.9980
	3	0-80 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0036 x	0.9992
		0-50 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0037 x	0.9990
		0-30 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0038 x	0.9989
แบเรียม	1	0-80 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0092 x	0.9947
		0-50 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.010 x	0.9997
		0-30 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0102 x	0.9994
	2	0-80 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0093 x	0.9979
		0-50 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0098 x	0.9998
		0-30 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.010 x	0.9998
	3	0-80 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0096 x	0.9932
		0-50 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0105 x	0.9958
		0-30 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0112 x	0.9996
โซเดียม	1	0-200 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0043 x	0.9989
		0-150 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0044 x	0.9994
		0–120 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0045 x	0.9995
	2	0-200 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0043 x	0.9992
		0-150 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0044 x	0.9996
		0–120 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0045 x	0.9997
	3	0-200 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0043 x	0.9981
		0-150 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0044 x	0.9992
		0–120 มิลลิกรัม/ลิตร	y = 0.0045 x	0.9992

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของการหา linearity ของวิธีวิเคราะห์ อยู่ในตารางที่ 2, 3 และ 4 ในภาคผนวก

จากการใช้ y-residuals และ Q-test เพื่อทดสอบ goodness of fit of linear graphs พบว่าวิธีทั้ง 3 ที่ใช้วิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมมีค่า linearity ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่า linear range , correlation coefficient ,r, และสมการ linear regression

ธาตุ	วิธีที่	Linear range(มิลลิกรัม/ลิตร)	สมการ linear regression	r
อะลูมิเนียม	1	0-80	y = 0.0038x	0.9968
	2	0-50	y = 0.0038x	0.9996
	3	0-50	y = 0.0037x	0.9990
แบเรียม	1	0-50	y = 0.0100x	0.9997
	2	0-30	y = 0.0100x	0.9998
	3	0-30	y = 0.0112x	0.9997
โซเดียม	1	0-150	y = 0.0044x	0.9994
	2	0-150	y = 0.0044x	0.9997
	3	0-150	y = 0.0044x	0.9992

หมายเหตุ การหา y-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 วิธี แสดงในตารางที่ 5, 6 และ 7 ในภาคผนวก

4.3 ค่าความไวของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงความไวของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม

ธาตุ	ความไวของวิธี (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
อะลูมิเนียม	1.16	1.21	1.23
แบเรียม	0.45	0.45	0.43
โซเดียม	0.98	0.96	0.96

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของความไวของวิธีวิเคราะห์ อยู่ในตารางที่ 8-10 ในภาคผนวก

4.4 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์

ธาตุ	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธี(มิลลิกรัม/ลิตร)		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
อะลูมิเนียม	0.64	0.62	0.63
แบเรียม	0.27	0.27	0.28
โซเดียม	0.56	0.48	0.59

หมายเหตุ ข้อมูลดิบของค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์อยู่ในตารางที่ 11-19 ในภาคผนวก

4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของวิธีที่ 1 และ 2 กับวิธีที่ 3 ของธาตุทั้งสามชนิดโดยใช้ F-test (two-tailed test)

ธาตุ	อัตราส่วนความแปรปรวน (F)	
	$F_{1,3}$	$F_{2,3}$
อะลูมิเนียม	1.061	3.245
แบเรียม	2.754	2.181
โซเดียม	1.585	1.157

หมายเหตุ 1. $F_{\text{จากตาราง}}$ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 4.026 (n_1, n_2 = 9,9)

2. ความแปรปรวนคำนวณจากการวัดสารละลายมาตรฐานของธาตุ 10 ครั้ง

3. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของวิธีที่ 1 และ 2 กับวิธีที่ 3 ของธาตุทั้งสามชนิดอยู่ในตารางที่ 20-22 ในภาคผนวก

4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมซึ่งวิเคราะห์โดยวิธีทั้ง 3 แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของวิธีที่ 1 และ 2 กับวิธีที่ 3 ของธาตุทั้ง 3 ชนิดโดยใช้ t-test

ธาตุ	$t_{1,3}$	$t_{2,3}$
อะลูมิเนียม	0.47	0.18
แบเรียม	2.02	1.16
โซเดียม	1.49	1.56

หมายเหตุ 1. $t_{\text{จากตาราง}}$ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 2.10 ($n_1 + n_2 - 2 = 18$)

2. ค่าเฉลี่ยคำนวณจากการวัดสารละลายมาตรฐานของธาตุ 10 ครั้ง

3. ข้อมูลดิบของการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของวิธีที่ 1 และ 2 กับวิธีที่ 3 ของธาตุทั้ง 3 ชนิดอยู่ในตารางที่ 20-22 ในภาคผนวก

5. วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมที่จะป้องกันการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม

จากรูปที่ 1 ซึ่งแสดงผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเป็น 0 มิลลิกรัม/ลิตรนั้น ค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียมมีค่าต่ำ แต่เมื่อมีการเติมโพแทสเซียมลงไป ค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย และค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียมคงที่ตั้งแต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเท่ากับ 300-1000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าทั้งโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมไนเทรต มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียมคล้ายๆกัน

ผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าโพแทสเซียมมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมอย่างมาก กล่าวคือถ้าไม่มีการเติมโพแทสเซียมค่าการดูดกลืนแสงจะต่ำมากเกือบเป็น 0 แต่ถ้าเติมโพแทสเซียมลงไปเพียง 100 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมจะสูงขึ้นอย่างมาก และค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมจะเริ่มคงที่ตั้งแต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเท่ากับ 300 มิลลิกรัม/ลิตร

และมีการเปลี่ยนแปลงอีกเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอีก ทั้งโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมไนเทรตมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับกรณีของโซเดียม(รูปที่ 3) ในช่วงที่โพแทสเซียมมีความเข้มข้นต่ำ คือ 0-1000 มิลลิกรัม/ลิตร โพแทสเซียมมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมในลักษณะเดียวกันไม่ว่าจะใช้โพแทสเซียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมไนเทรต แต่เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมจะลดลงเมื่อใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ ในทางตรงกันข้ามค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยถ้าใช้โพแทสเซียมไนเทรต ทั้งนี้เนื่องมาจากคลอไรด์ไอออนที่อยู่ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์จะไปรวมตัวกับโซเดียมเกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์ ดังสมการที่ 1

$$Na^{+} + Cl^{-} = NaCl \qquad (1)$$

การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในขบวนการการกลายเป็นอะตอม(atomization) จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2

$$NaCl = Na + Cl \qquad (2)$$

คลอรีนอะตอมที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมอะตอมลดลง[2] ดังนั้นเมื่อปริมาณคลอไรด์ในสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอรีนอะตอมก็จะมากขึ้น โอกาสที่โซเดียมจะอยู่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ก็จะมีมากขึ้นด้วย การกลายเป็นอะตอมของโซเดียมก็จะลดลง ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมลดลงอย่างมากเมื่อมีคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูงๆอยู่ด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมหากมีการเติมกรดไฮโดรคลอริคลงในสารละลายมากเกินไป จะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ส่วนไนเทรตไอออนไม่มีผลกระทบนี้

โพแทสเซียมมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียมและโซเดียม ในลักษณะที่คล้ายคลึงกันมากที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมต่ำๆ (รูปที่ 1 และ 3) ทั้งๆที่พลังงานไอออไนเซชันของธาตุทั้งสองต่างกันมาก ส่วนผลของโพแทสเซียมต่อแบเรียมนั้นแตกต่างออกไป

เมื่อพิจารณาสภาวะที่ใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของธาตุทั้งสามชนิด(ตารางที่ 2) จะเห็นว่าชนิดของเปลวไฟที่ใช้ในการวิเคราะห์โซเดียม คือ อากาศ-อะเซทิลีน เปลวไฟที่มีอากาศเป็นก๊าซออกซิเดนต์นี้มีอุณหภูมิประมาณ 2100-2400^{o}K การไอออไนซ์ของอะตอมเกิดได้น้อย โพแทสเซียมจึงมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียมเพียงเล็กน้อย การไอออไนซ์จะเกิดได้มากขึ้นในเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูง

เช่น ในเปลวไฟชนิดไนทรัสออกไซด์-อะเซทิลีน (ที่มีอุณหภูมิประมาณ 2600-2800°K) ซึ่งสอดคล้องกับผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียม ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณแบเรียม หากไม่มีการเติมโพแทสเซียมในปริมาณที่เพียงพอลงในสารละลายก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง จะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผิดพลาด นั่นคือชนิดของเปลวไฟมีผลต่อการไอออไนซ์ของอะตอม แม้ว่าโซเดียม และแบเรียมจะมีค่าพลังงานไอออไนเซชันค่าแรกใกล้เคียงกันก็ตาม (ตารางที่ 1) ส่วนในกรณีของอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันค่อนข้างสูง การไอออไนซ์จึงเกิดได้เพียงเล็กน้อยถึงแม้จะใช้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูง การเติมโพแทสเซียมจึงมีผลเพียงเล็กน้อย

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมควรเติมโพแทสเซียมซึ่งเป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ลงไป ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงของธาตุทั้งสามชนิดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ตั้งแต่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเท่ากับ 300 มิลลิกรัม/ลิตร และเกือบคงที่เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น (ยกเว้นกรณีของโซเดียม) อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงๆจะมีปริมาณของแข็ง(solid content) ในสารละลายสูงขึ้นด้วย ทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะในเปลวไฟชนิดไนทรัสออกไซด์-อะเซทิลีน ดังนั้นความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เหมาะสมน่าจะเป็น 500 มิลลิกรัม/ลิตร และเพื่อพิสูจน์ว่าความเข้มข้นนี้ให้ผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างจากวิธีที่ใช้อยู่เดิม จึงกำหนดให้

วิธีที่ 1 ใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีโพแทสเซียมเข้มข้น เท่ากับ 500 มิลลิกรัม/ลิตร

วิธีที่ 2 ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียมเข้มข้น เท่ากับ 500 มิลลิกรัม/ลิตร

วิธีที่ 3 ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียมเข้มข้น เท่ากับ 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นวิธีเดิมที่ฝ่ายอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทั้ง 3 ชนิด

เพื่อใช้ในการทดลองตอนต่อๆไป

5.2 <u>การหา linearity</u>

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ต้องทำเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน นักวิเคราะห์ต้องการให้ linear range ของกราฟมาตรฐานยาวที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อจะได้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุในช่วงความเข้มข้นกว้างๆในตัวอย่างชนิดต่างๆ โดยไม่ต้องทำการ

เจือจางตัวอย่างก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง แต่โดยทั่วไปมักจะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นกราฟที่ได้จะโค้งลง(ไม่เป็นเส้นตรงอีกต่อไป) ดังนั้นปัญหาก็คือ จะทราบได้อย่างไรว่ามีความโค้งงอในกราฟมาตรฐานหรือไม่ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง fit พอดีกับเส้นตรงเส้นหนึ่งหรือไม่ linear range เป็นเท่าใด ค่า correlation coefficient พอจะบอกความสัมพันธ์เส้นตรงนี้ได้ แต่ในบางครั้งกราฟที่มีส่วนโค้งก็มีค่า r สูงได้เช่นกัน การทดสอบ goodness of fit of linear graphs สามารถแก้ปัญหานี้ได้ ด้วยวิธีดังกล่าวทำให้สามารถหาค่า linearity ของวิธีทั้ง 3 ที่ใช้วิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดได้ดังตารางที่ 4 เมื่อใช้วิธีทั้ง 3 วิเคราะห์อะลูมิเนียม พบว่า linear range ของวิธีที่ 1 จะเป็น 0-80 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนวิธีที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากันคือ 0-50 มิลลิกรัม/ลิตร โดยที่ช่วง linearity เหล่านี้มีค่า slope และ ค่า r ใกล้เคียงกันมาก

ในกรณีของแบเรียม linear range ของวิธีที่ 1 เป็น 0-50 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนวิธีที่ 2 และ 3 เท่ากับ 0-30 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้ง 3 วิธีมีค่า slope และ r ใกล้เคียงกัน ส่วนโซเดียม linear range ของวิธีทั้ง 3มีค่าเท่ากัน คือ 0-150 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีslope เท่ากัน และ ค่า r ใกล้เคียงกันมาก

อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์สามารถเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อใช้ในการสร้างกราฟมาตรฐานโดยให้ความเข้มข้นสูงสุดน้อยกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ goodness of fit of linear graphs ก็ได้ เนื่องจากถ้าใช้ช่วงความเข้มข้นสั้นลง ค่า slope ซึ่งแสดงถึงความไวของวิธีวิเคราะห์จะสูงขึ้น (ตารางที่ 3) และยังเป็นการลดปริมาณสารละลายมาตรฐานที่ใช้ด้วยโดยเฉพาะเมื่อปริมาณธาตุที่ต้องการวิเคราะห์มีอยู่ในระดับต่ำ ก็ไม่ความจำเป็นต้องใช้กราฟมาตรฐานที่ช่วงความเข้มข้นกว้าง

การวิเคราะห์แบเรียม(ซึ่งจัดเป็น highly emissive element) ในช่วงความเข้มข้นสูงๆ พบว่าสัญญาณที่ได้ จะไม่เรียบสม่ำเสมอ เป็นผลให้ผลการทดลองที่ได้มีความแม่นยำต่ำ การแก้ไขก็อาจทำได้โดยทำการเจือจางตัวอย่าง ลด slit width และเพิ่ม lamp current[9]

5.3 <u>การหาความไวและขีดจำกัดต่ำของวิธีวิเคราะห์ของธาตุทั้งสามชนิด</u>

ความไวของวิธีที่ 1, 2 และ 3 ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียม(ตารางที่ 5) มีค่าใกล้เคียงกันมาก ความไวของวิธีทั้ง 3 ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบเรียม และโซเดียมก็ใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกันกับอะลูมิเนียม

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกันมาก

จากการหาค่าความไวและขีดจำกัดต่ำสุดพบว่า ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีทั้ง 3 วิธี ซึ่งใช้วิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดมีค่าต่ำกว่าค่าความไว ทั้งนี้เนื่องจากในการหาค่าความไวพิจารณาเฉพาะขนาดของสัญญาณค่าการดูดกลืนแสงเท่านั้น แต่ขีดจำกัดต่ำสุดพิจารณาทั้งสัญญาณการดูดกลืนแสงและสัญญาณรบกวน การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าในการวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้มีสัญญาณรบกวนน้อยมาก อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ธาตุเหล่านี้เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูง และตัดปัญหาความกังวลใจของผู้วิเคราะห์ ในการที่จะบอกว่าพบธาตุนั้นในขณะที่ไม่มี หรือไม่พบขณะที่มีธาตุนั้นในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์อยู่ จึงควรกำหนดขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับงานวิเคราะห์ให้สูงกว่าขีดจำกัดต่ำสุดที่หาได้จากการทดลอง เรียกขีดจำกัดนี้ว่า quantitative limit ซึ่งคำนวณมาจาก 10 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดสารละลายมาตรฐาน 10 ครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่า

$$\text{quantitative limit} = \frac{10}{3} \text{ of detection limit}^{a}$$

5.4 <u>การเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีที่ 1และ 2 กับวิธีที่ 3</u>

ความแม่นยำของวิธีทั้ง 3 วิธี ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด ซึ่งทดสอบโดยใช้ F-test (ตารางที่ 7) พบว่า วิธีทั้ง 3 วิธีมีความแม่นยำในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลการทดสอบนี้ทำให้สามารถคำนวณ pooled estimate of standard deviation เพื่อใช้เป็น standard deviation ในการทดสอบความถูกต้องด้วย t-test ได้(ตารางที่ 8) ซึ่งพบว่าวิธีทั้ง 3 ให้ความถูกต้องในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5.5 <u>การเลือกใช้สารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสม</u>

จากข้อ 5.4 จะเห็นว่าความถูกต้องแม่นยำของวิธีทั้ง 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % การจะเลือกใช้โพแทสเซียมคลอไรด์หรือโพแทสเซียมไนเทรตเป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสม ผู้วิเคราะห์จึงควรคำนึงถึงคุณสมบัติของสารนั้นๆด้วย

โพแทสเซียมคลอไรด์[10] มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือไม่มีสี มีรสเค็มเหมือนเกลือ พบในธรรมชาติในรูป sylvite มีคุณสมบัติ ละลายน้ำได้ดี มีความถ่วงจำเพาะ 1.987 จุดหลอมเหลว 772°ซ ระเหิด

(sublimes) ที่ 1500°ซ ไม่ติดไฟ มีความเป็นพิษต่ำ ใช้ทำปุ๋ย เป็นแหล่งของเกลือโพแทสเซียม โพแทสเซียมคลอไรด์ถูกนำมาใช้ทางยา photograph, spectroscopy, buffer solution, food additive และรีเอเจนต์ในห้องปฏิบัติการ ส่วนโพแทสเซียมไนเทรต[10] มีลักษณะเป็นผลึกใสสีขาวหรือไม่มีสี ดูดความชื้นได้เล็กน้อย มีรสเผ็ดและเค็ม มีความถ่วงจำเพาะ 2.1062 จุดหลอมเหลว 337°ซ สลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 400°ซ ละลายน้ำได้ดี มีความเป็นพิษต่ำ อาจระเบิดได้เมื่ออยู่รวมกับสารประกอบอินทรีย์เนื่องจากเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง ใช้ในปุ๋ยบางชนิด รีเอเจนต์ การปรับปรุงคุณภาพของยาสูบ อุตสาหกรรมแก้ว และใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ในเชื้อเพลิงของจรวด เมื่อพิจารณาถึงสูตรโมเลกุลของสารประกอบทั้งสองแล้ว จะเห็นได้ว่าเมื่อมีน้ำหนักเท่ากัน โพแทสเซียมคลอไรด์จะมีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่า

นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง สภาวะที่สารเหล่านี้อยู่ในเปลวไฟของเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ด้วย ในสภาวะเช่นนั้น คลอไรด์ไอออนจากโพแทสเซียมคลอไรด์จะกลายเป็นก๊าซคลอรีนหรือกรดไฮโดรคลอริค[2] ส่วนไนเทรตไอออนจากโพแทสเซียมไนเทรตจะกลายเป็นออกไซด์ของไนโตรเจน[1] ซึ่งเป็นสารมีพิษร้ายแรงมาก

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาแล้ว การเลือกใช้โพแทสเซียมคลอไรด์จึงน่าจะเหมาะกว่าโพแทสเซียมไนเทรต

5.5 <u>การรบกวนซึ่งกันและกันของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียมเมื่ออยู่ในสารละลายเดียวกัน</u>[1, 6]

เมื่อพิจารณาชนิดของเปลวไฟที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด อะลูมิเนียม และแบเรียมใช้เปลวไฟชนิดไนทรัสออกไซด์-อะเซทิลีน ซึ่งเป็นเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูง แต่เปลวไฟที่ใช้วิเคราะห์โซเดียม คือ แอร์-อะเซทิลีน ส่วนค่าพลังงานไอออไนเซชันของธาตุทั้งสามเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จะเป็น โซเดียม แบเรียม และอะลูมิเนียม (ตารางที่ 1) ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมในสารละลายที่มีโซเดียมและแบเรียมปนอยู่ โซเดียมและแบเรียมมีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำกว่าอะลูมิเนียม จะถูกไอออไนซ์ได้ง่ายกว่า (โดยเฉพาะในเปลวไฟที่อุณหภูมิสูง) อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากอะตอมของโซเดียมและแบเรียมจะไปลดการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียม

แต่หากต้องการหาปริมาณแบเรียมในสารละลายที่มีอะลูมิเนียมและโซเดียมปนอยู่ ในกรณีนี้โซเดียมเท่านั้นที่จะถูกไอออไนซ์และจะไปช่วยลดการไอออไนซ์ของแบเรียม ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณ

โซเดียมในสารละลายที่มีอะลูมิเนียมและแบเรียมปนอยู่ด้วย เนื่องจากอะลูมิเนียมและแบเรียมมีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูงกว่าโซเดียม จึงไม่สามารถช่วยลดการไอออไนซ์ของโซเดียมได้ แต่จะไม่รบกวนการวัดค่าการดูดกลืนแสงของโซเดียม เนื่องจากความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม คือ 309.3, 553.6 และ 330.3 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไปของแต่ละธาตุ ดังนั้นจึงไม่น่าจะมีการรบกวนซึ่งกันและกันเมื่อธาตุเหล่านี้อยู่ในสารละลายเดียวกัน

นั่นคือ ในการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุอย่างหนึ่ง ในขณะที่มีธาตุอย่างอื่นที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันใกล้เคียงกันหรือต่ำกว่า ธาตุเหล่านี้จะช่วยลดการไอออไนซ์ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้ อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ธาตุใดธาตุหนึ่งในขณะที่มีธาตุอื่นๆปนอยู่มากๆก็อาจมีปัญหาเรื่อง solid content เกิดขึ้นได้เช่นกัน

6. <u>สรุปผลการทดลอง</u>

6.1 ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม ต้องมีการเติมโพแทสเซียมลงไปในสารละลายก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อป้องกันการไอออไนซ์ของธาตุเหล่านั้น

6.2 เมื่อใช้วิธีที่1 (ใช้สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร) วิธีที่ 2 (ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร) และวิธีที่ 3 (ใช้สารละลายโพแทสเซียมไนเทรตที่มีโพแทสเซียม 1000 มิลลิกรัม/ลิตร) ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิด พบว่าวิธีทั้ง 3 วิธี มี linearity ความไวและขีดจำกัดต่ำสุด ของแต่ละธาตุใกล้เคียงกันมาก อีกทั้งผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีทั้ง 3 วิธีในการวิเคราะห์ธาตุแต่ละชนิด ก็มีความถูกต้องและความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพียง 500 มิลลิกรัม/ลิตร ก็เพียงพอที่จะเป็นสารป้องกันการไอออไนซ์ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดแล้ว

6.3 หากพิจารณาถึงคุณสมบัติของโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมไนเทรตแล้ว พบว่าโพแทสเซียมคลอไรด์เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารป้องกันการไอออไนซ์มากกว่า เนื่องจากเป็นสารที่ถูกแนะนำให้ใช้ในทาง Spectroscopy ตามเอกสารทางวิชาการ อีกทั้งมีความเป็นพิษน้อยกว่าเมื่ออยู่ในเปลวไฟขณะทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และใช้ปริมาณน้อยกว่า สารป้องกันการไอออไนซ์ที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม จึงควรเป็นสารละลาย

โพแทสเซียมคลอไรด์ที่มีโพแทสเซียม 500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสามารถนำวิธีวิเคราะห์นี้ไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการได้

6.4 จากการทดลองพบว่า สามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการลงได้ อันเป็นการประหยัดงบประมาณในการสั่งซื้อสารเคมี และลดมลภาวะเนื่องจากใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษน้อยลง

6.5 ในการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามชนิดเมื่ออยู่ในสารละลายเดียวกัน จะไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน ยิ่งไปกว่านั้นถ้าต้องการวิเคราะห์อะลูมิเนียม และ/หรือแบเรียมในขณะที่มีโซเดียมอยู่ด้วย โซเดียมซึ่งมีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำกว่า จะช่วยลดการไอออไนซ์ของอะลูมิเนียมและแบเรียมอีกด้วย

7. <u>กิตติกรรมประกาศ</u>

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณส่องแสง เลี่ยวชวลิต ผู้อำนวยการกอง กองเคมี คุณเรณู ตามไท หัวหน้ากลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 และผู้ร่วมงานในกลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ ขอขอบคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความเอื้อเฟื้อวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีต่างๆ ทำให้การศึกษาทดลองนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

1. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2534. หน้า 361-364.

2. Skoog, D. A. **Principle of Instrumental Analysis**. 3rd ed. Orlando : Saunders College Publishing, 1985. p 274-276.

3. ปรีชา จิรวงศ์ไพโรจน์, บรรณาธิการ. **นิกส์**. มิถุนายน, 2523, ปีที่ 1, ฉบับที่ 3. หน้า 36-37.

4. Seiler, H. G., Seigel, H. and Siegel, A. **Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds**. New york : Marcel Dekker, Inc. 1988. p 99.

5. วีระพงษ์ ฉัตรานนท์. **ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันและแนวทางการบริโภคอาหารสำหรับคนไทย**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, 2523. หน้า 113.

6. The Variance Australia Pty Ltd. **Flame Atomic Absorption Spectrometry, Analytical Methods**. 1989. p 6-7, 11, 40.

7. Instrumentation Laboratory Inc. **Atomic Absorption Methods Manual, Volumn 1: Standard Conditions for Flame Operation**. 1979.

8. Miller, J. C. and Miller, J. N. **Statistic for Analytical Chemistry**. Chichester : Ellis Horwood, 1984. p 53-62, 96-98, 112-116.

9. The Perkin-Elmer Corporation. **Analytical Methods for Atomic Aborption Spectrometry**. 1994. p 24-25, 32.

10. Hawley, G. G. **The Condensed Chemical Dictionary**. 10th ed. Taipai : Meiya Publications, 1981. p 847, 851.

9. ภาคผนวก

9.1 ตารางที่ 1 แสดงผลของโพแทสเซียมต่อค่าการดูดกลืนแสงของอะลูมิเนียม แบเรียม และโซเดียม

ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง					
	อะลูมิเนียม		แบเรียม		โซเดียม	
	โพแทสเซียมคลอไรด์	โพแทสเซียมไนเทรต	โพแทสเซียมคลอไรด์	โพแทสเซียมไนเทรต	โพแทสเซียมคลอไรด์	โพแทสเซียมไนเทรต
0	0.058	0.058	0.009	0.009	0.058	0.058
100	0.060	0.061	0.093	0.094	0.059	0.059
200	0.062	0.061	0.112	0.116	0.061	0.061
300	0.064	0.064	0.125	0.127	0.062	0.062
400	0.064	0.064	0.129	0.131	0.062	0.062
500	0.064	0.064	0.135	0.135	0.062	0.062
1000	0.064	0.064	0.136	0.137	0.062	0.062
1500	0.062	0.063	0.136	0.136	0.061	0.064
2000	0.061	0.062	0.137	0.137	0.060	0.063
2500	0.063	0.063	0.136	0.137	0.061	0.063
3000	0.061	0.062	0.135	0.135	0.057	0.064
5000	0.063	0.065	0.135	0.136	0.059	0.065
7500	0.063	0.064	0.135	0.136	0.059	0.073
10000	0.062	0.063	0.134	0.136	0.060	0.073

9.2 ตารางที่ 2 แสดงการหา linearity ของอะลูมิเนียม

ความเข้มข้นของอะลูมิเนียม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
0	0.000	0.000	0.000
5	0.022	0.021	0.021
10	0.044	0.040	0.039
20	0.086	0.079	0.079
30	0.128	0.114	0.112
50	0.184	0.188	0.182
80	0.298	0.280	0.284

9.3 ตารางที่ 3 แสดงการหา linearity ของแบเรียม

ความเข้มข้นของแบเรียม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
0	-0.001	-0.001	0.000
5	0.054	0.054	0.062
10	0.106	0.101	0.116
20	0.207	0.201	0.224
30	0.300	0.297	0.336
50	0.498	0.486	0.500
80	0.700	0.721	0.732

9.4 ตารางที่ 4 แสดงการหา linearity ของโซเดียม

ความเข้มข้นของโซเดียม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
0	0.001	0.000	0.003
5	0.024	0.025	0.023
10	0.046	0.046	0.047
20	0.091	0.092	0.092
30	0.135	0.137	0.144
50	0.225	0.229	0.232
80	0.371	0.365	0.363
100	0.446	0.447	0.457
120	0.525	0.528	0.522
150	0.648	0.654	0.652
200	0.839	0.844	0.825

9.5 <u>ตารางที่ 5</u> แสดงการหาค่า y-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีทั้ง 3 วิธี

วิธีที่	Regression เส้นที่							
1	1; y = 0.0038x				2; y = 0.0039x			
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$		
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	5	0.022	0.019	0.003	0.0195	0.0025		
	10	0.044	0.038	0.006	0.039	0.005		
	20	0.086	0.076	0.010	0.078	0.008		
	30	0.128	0.114	0.014	0.117	0.011		
	50	0.184	0.190	-0.006	0.195	-0.011		
	80	0.298	0.034	-0.006	0.312	-0.014		
					$Q_{คำนวณ}$	0.120		
					$Q_{จากตาราง}$	0.507		
2	1; y = 0.0036x				2; y = 0.0038x		3; y = 0.0039x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5	0.021	0.018	0.003	0.019	0.0002	0.0195	0.0015
	10	0.040	0.036	0.004	0.038	0.002	0.039	0.001
	20	0.079	0.072	0.007	0.076	0.0003	0.078	0.001
	30	0.114	0.108	0.006	0.114	0.000	0.117	-0.003
	50	0.188	0.180	-0.008	0.190	-0.002	0.195	-0.007
	80	0.280	0.288	-0.008	0.034	-0.024	$Q_{คำนวณ}$	0.471
					$Q_{คำนวณ}$	0.815	$Q_{จากตาราง}$	0.560
					$Q_{จากตาราง}$	0.507		
3	1; y = 0.0036				2; y = 0.0037x		3; y = 0.0038x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5	0.021	0.018	0.003	0.0185	0.0025	0.019	0.002
	10	0.039	0.036	0.003	0.037	0.002	0.038	0.001
	20	0.079	0.072	0.007	0.074	0.005	0.076	0.003
	30	0.112	0.108	0.004	0.111	0.001	0.114	-0.002
	50	0.182	0.180	0.002	0.185	-0.003	0.190	-0.008
	80	0.284	0.288	-0.004	0.296	-0.012	$Q_{คำนวณ}$	0.545
					$Q_{คำนวณ}$	0.529	$Q_{จากตาราง}$	0.560
					$Q_{จากตาราง}$	0.507		

9.6 <u>ตารางที่ 6</u> แสดงการหาค่า y-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีทั้ง 3 วิธี

วิธีที่	Regression เส้นที่									
1	1; y = 0.0092x				2; y = 0.0100x		3; y = 0.0102x			
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$		
	0	-0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001		
	5	0.054	0.046	0.008	0.050	0.004	0.051	0.003		
	10	0.106	0.092	0.014	0.100	0.006	0.102	0.004		
	20	0.207	0.184	0.023	0.200	0.007	0.204	0.003		
	30	0.300	0.276	0.024	0.300	0.000	0.306	0.001		
	50	0.498	0.460	0.038	0.500	-0.002	0.510	-0.003		
	80	0.700	0.736	-0.036	0.800	-0.100	$Q_{คำนวณ}$	0.286		
					$Q_{คำนวณ}$	0.916	$Q_{จากตาราง}$	0.560		
					$Q_{จากตาราง}$	0.507				
2	1; y = 0.0093x				2; y = 0.0098x		3; y = 0.0102x		4; y = 0.0101x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	-0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001
	5	0.054	0.0465	0.0075	0.049	0.005	0.050	0.004	0.0505	0.0035
	10	01.01	0.093	0.008	0.098	0.003	0.100	0.001	0.101	0.000
	20	0.201	0.186	0.015	0.196	0.005	0.200	0.001	0.202	-0.001
	30	0.297	0.279	0.018	0.294	0.003	0.300	-0.003	0.303	-0.006
	50	0.486	0.465	0.021	0.490	-0.004	0.500	-0.014	$Q_{คำนวณ}$	0.526
	80	0.721	0.744	-0.023	0.784	-0.063	$Q_{คำนวณ}$	0.611	$Q_{จากตาราง}$	0.642
					$Q_{คำนวณ}$	0.868	$Q_{จากตาราง}$	0.560		
					$Q_{จากตาราง}$	0.507				
3	1; y = 0.0096x				2; y = 0.0105x		3; y = 0.0112x		4; y = 0.0113x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	5	0.062	0.048	0.014	0.0525	0.0095	0.056	0.006	0.0565	0.00055
	10	0.116	0.096	0.020	0.105	0.011	0.112	0.004	0.113	0.003
	20	0.224	0.192	0.032	0.210	0.014	0.224	0.000	0.226	-0.0002
	30	0.336	0.288	0.048	0.315	0.021	0.336	0.000	0.339	-0.003
	50	0.500	0.480	0.20	0.525	-0.025	0.560	-0.060	$Q_{คำนวณ}$	0.117
	80	0.732	0.768	-0.036	0.840	-0.108	$Q_{คำนวณ}$	0.909	$Q_{จากตาราง}$	0.642
					$Q_{คำนวณ}$	0.634	$Q_{จากตาราง}$	0.560		
					$Q_{จากตาราง}$	0.507				

9.7 ตารางที่ 7 แสดงการหาค่า y-residuals และการทดสอบ outlier ของ y-residuals ในการวิเคราะห์โซเดียม โดยวิธีทั้ง 3 วิธี

วิธีที่	Regression เส้นที่							
1	1; y = 0.0043x				2; y = 0.0044x		3; y = 0.0045x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
	5	0.024	0.0215	0.0025	0.022	0.002	0.0225	0.0015
	10	0.046	0.043	0.003	0.044	0.002	0.045	0.001
	20	0.091	0.086	0.005	0.088	0.003	0.090	0.001
	30	0.135	0.129	0.006	0.132	0.003	0.135	0.000
	50	0.225	0.215	0.010	0.220	0.005	0.225	0.000
	80	0.371	0.344	0.027	0.352	0.019	0.360	0.011
	100	0.446	0.430	0.016	0.440	0.006	0.450	-0.004
	120	0.525	0.516	0.009	0.528	-0.003	0.540	-0.015
	150	0.648	0.645	0.003	0.660	-0.012	0.675	-0.027
	200	0.824	0.860	-0.036	0.880	-0.056	$Q_{คำนวณ}$	0.315
					$Q_{คำนวณ}$	0.587	$Q_{จากตาราง}$	0.477
					$Q_{จากตาราง}$	0.576		
2	1; y = 0.0043x				2; y = 0.0044x		3; y = 0.0045x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0..000	0.000
	5	0.025	0.0215	0.0035	0.022	0.003	0.0225	0.0025
	10	0.046	0.043	0.003	0.044	0.002	0.045	0.001
	20	0.092	0.086	0.006	0.088	0.004	0.090	0.002
	30	0.137	0.129	0.008	0.132	0.005	0.135	0.002
	50	0.229	0.215	0.014	0.220	0.009	0.225	0.004
	80	0.365	0.344	0.021	0.352	0.013	0.360	0.005
	100	0.447	0.430	0.017	0.440	0.007	0.450	-0.003
	120	0.528	0.516	0.012	0.528	0.000	0.540	-0.012
	150	0.654	0.645	0.009	0.660	-0.006	0.675	-0.021
	200	0.830	0.860	-0.030	0.880	-0.050	$Q_{คำนวณ}$	0.346
					$Q_{คำนวณ}$	0.698	$Q_{จากตาราง}$	0.477
					$Q_{จากตาราง}$	0.576		

9.7 ตารางที่ 7 (ต่อ)

วิธีที่	Regression เส้นที่							
3	1; y = 0.0043x				2; y = 0.0044x		3; y = 0.0045x	
	x_i	y_i	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$	$\hat{y}$	$y_i - \hat{y}$
	0	0.003	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.003
	5	0.023	0.0215	0.0015	0.022	0.001	0.0225	0.0005
	10	0.047	0.043	0.004	0.044	0.003	0.045	0.002
	20	0.092	0.086	0.006	0.088	0.004	0.090	0.002
	30	0.144	0.129	0.015	0.132	0.012	0.135	0.009
	50	0.232	0.215	0.017	0.220	0.012	0.225	0.0007
	80	0.363	0.344	0.019	0.352	0.011	0.360	0.003
	100	0.457	0.430	0.027	0.440	0.017	0.450	0.007
	120	0.522	0.516	0.006	0.528	-0.006	0.540	-0.018
	150	0.652	0.645	0.007	0.660	-0.008	0.675	-0.023
	200	0.825	0.860	-0.035	0.880	-0.055	$Q_{คำนวณ}$	0.156
					$Q_{คำนวณ}$	0.854	$Q_{จากตาราง}$	0.477
					$Q_{จากตาราง}$	0.576		

9.8 ตารางที่ 8 แสดงการหาค่าความไวของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียม

ค่าการดูดกลืนแสง ครั้งที่	วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
	แบลงค์	อะลูมิเนียม 50 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	อะลูมิเนียม 50 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	อะลูมิเนียม 50 มิลลิกรัม/ลิตร
1	0.001	0.191	0.002	0.183	0.000	0.182
2	0.002	0.189	0.001	0.182	0.001	0.178
3	0.001	0.191	0.001	0.183	0.001	0.180
4	0.001	0.192	0.002	0.185	-0.001	0.174
5	0.002	0.189	0.002	0.184	0.002	0.180
เฉลี่ย		0.1904		0.1834		0.1788
ความไวของวิธีวิเคราะห์ (มิลลิกรัม/ลิตร)		1.17		1.21		1.23

9.9 ตารางที่ 9 แสดงการหาค่าความไวของวิธีวิเคราะห์แบเรียม

ค่าการดูดกลืนแสง ครั้งที่	วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
	แบลงค์	แบเรียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	แบเรียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	แบเรียม 20 มิลลิกรัม/ลิตร
1	-0.001	0.194	-0.001	0.198	0.001	0.207
2	-0.001	0.193	-0.001	0.193	0.000	0.208
3	0.000	0.196	0.000	0.195	-0.001	0.205
4	0.002	0.192	0.002	0.200	0.001	0.208
5	0.001	0.195	0.002	0.201	0.000	0.206
เฉลี่ย		0.194		0.1974		0.2068
ความไวของวิธีวิเคราะห์ (มิลลิกรัม/ลิตร)		**0.45**		**0.45**		**0.43**

9.10 ตารางที่ 10 แสดงการหาค่าความไวของวิธีวิเคราะห์โซเดียม

ค่าการดูดกลืนแสง ครั้งที่	วิธีที่ 1		วิธีที่ 2		วิธีที่ 3	
	แบลงค์	โซเดียม 50 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	โซเดียม 50 มิลลิกรัม/ลิตร	แบลงค์	โซเดียม 50 มิลลิกรัม/ลิตร
1	0.000	0.225	0.000	0.229	0.001	0.232
2	0.001	0.223	0.001	0.227	0.000	0.230
3	0.001	0.226	0.001	0.228	0.001	0.231
4	0.000	0.228	0.000	0.230	0.001	0.229
5	0.000	0.223	0.000	0.229	0.001	0.230
เฉลี่ย	0.0004	0.225		0.2286		0.2304
ความไวของวิธีวิเคราะห์ (มิลลิกรัม/ลิตร)		**0.98**		**0.96**		**0.96**

9.11 <u>ตารางที่ 11</u> แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีที่ 1

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.000 0.001	0.0005	0.018	0.0175	1	0.001 0.000	0.005	0.034	0.0335
2	0.001 0.002	0.0015	0.016	0.0145	2	0.002 0.001	0.0015	0.037	0.0355
3	0.001 0.002	0.0015	0.018	0.0165	3	0.002 0.001	0.0015	0.036	0.0345
4	0.002 0.001	0.0015	0.017	0.0155	4	0.001 0.002	0.0015	0.039	0.0375
5	0.002 0.001	0.0015	0.017	0.0155	5	0.001 0.002	0.0015	0.037	0.0355
6	0.000 0.002	0.001	0.018	0.017	6	0.002 0.000	0.001	0.038	0.037
7	0.002 0.001	0.0015	0.018	0.0165	7	0.001 0.002	0.0015	0.038	0.0365
8	0.002 0.002	0.002	0.020	0.018	8	0.002 0.002	0.002	0.038	0.036
9	0.002 0.002	0.002	0.019	0.017	9	0.002 0.002	0.002	0.038	0.036
10	0.002 0.002	0.002	0.020	0.018	10	0.002 0.002	0.002	0.039	0.037
$\bar{x}$ = 0.0166					$\bar{x}$ = 0.0359				
SD = 0.0009					SD = 0.00092				
3SD = 0.0027					3SD = 0.00276				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.65 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.62 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.64 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.12 <u>ตารางที่ 12</u> แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีที่ 2

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.002 0.002	0.002	0.022	0.020	1	0.002 0.002	0.002	0.041	0.039
2	0.002 0.002	0.002	0.022	0.020	2	0.002 0.002	0.002	0.039	0.037
3	0.001 0.002	0.0015	0.022	0.0205	3	0.001 0.002	0.0015	0.042	0.0405
4	0.002 0.002	0.002	0.018	0.016	4	0.002 0.002	0.002	0.039	0.037
5	0.002 0.001	0.0015	0.020	0.0185	5	0.002 0.001	0.005	0.041	0.0395
6	0.002 0.002	0.002	0.022	0.020	6	0.002 0.002	0.002	0.041	0.039
7	0.002 0.002	0.002	0.021	0.019	7	0.002 0.002	0.002	0.039	0.037
8	0.001 0.002	0.0015	0.022	0.0205	8	0.001 0.002	0.0015	0.041	0.0395
9	0.002 0.002	0.002	0.022	0.020	9	0.002 0.002	0.002	0.041	0.039
10	0.002 0.002	0.002	0.021	0.019	10	0.002 0.002	0.002	0.040	0.038
$\bar{x}$ = 0.01935					$\bar{x}$ = 0.0385				
SD = 0.00098					SD = 0.001				
3SD = 0.0294					3SD = 0.003				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.61 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.62 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.62 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.13 <u>ตารางที่ 13</u> แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีที่ 3

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานอะลูมิเนียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.000 0.000	0.000	0.016	0.016	1	0.000 0.000	0.000	0.031	0.031
2	0.000 0.000	0.000	0.016	0.016	2	0.000 0.000	0.000	0.031	0.031
3	0.001 0.000	0.0005	0.016	0.0155	3	0.000 0.001	0.0005	0.031	0.0305
4	0.000 0.000	0.000	0.016	0.016	4	0.000 0.000	0.000	0.031	0.031
5	0.001 0.001	0.001	0.016	0.015	5	0.001 0.001	0.001	0.030	0.029
6	0.001 0.001	0.001	0.016	0.015	6	0.001 0.001	0.001	0.030	0.029
7	0.001 0.001	0.001	0.016	0.015	7	0.001 0.001	0.001	0.031	0.030
8	0.001 0.001	0.001	0.016	0.015	8	0.001 0.001	0.001	0.032	0.031
9	0.001 0.001	0.001	0.018	0.017	9	0.001 0.001	0.001	0.032	0.031
10	0.001 0.001	0.001	0.018	0.017	10	0.001 0.001	0.001	0.032	0.031
$\bar{x}$ = 0.01575					$\bar{x}$ = 0.03045				
SD = 0.000791					SD = 0.000832				
3SD = 0.002373					3SD = 0.002496				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.60 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.66 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.63 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.14 ตารางที่ 14 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีที่ 1

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานแบเรียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานแบเรียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	-0.001 -0.001	-0.001	0.039	0.040	1	-0.001 -0.001	-0.001	0.077	0.078
2	-0.001 -0.002	-0.0015	0.039	0.0405	2	-0.001 -0.002	-0.0015	0.080	0.0815
3	0.000 0.001	0.0005	0.042	0.0415	3	0.000 0.001	0.0005	0.080	0.0795
4	0.002 0.002	0.002	0.042	0.040	4	0.002 0.002	0.002	0.082	0.080
5	0.002 0.002	0.002	0.043	0.041	5	0.002 0.002	0.002	0.082	0.080
6	0.002 0.001	0.0015	0.044	0.0425	6	0.002 0.001	0.0015	0.080	0.0785
7	0.001 0.001	0.001	0.040	0.039	7	0.001 0.001	0.001	0.080	0.079
8	0.002 0.002	0.002	0.043	0.041	8	0.002 0.002	0.002	0.081	0.079
9	0.002 0.001	0.0015	0.044	0.0425	9	0.002 0.001	0.0015	0.078	0.0765
10	0.001 0.001	0.001	0.041	0.040	10	0.001 0.001	0.001	0.080	0.079
$\bar{x}$ = 0.0408					$\bar{x}$ = 0.0791				
SD = 0.0009					SD = 0.00092				
3SD = 0.0027					3SD = 0.00276				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.26 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.27 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.15 ตารางที่ 15 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีที่ 2

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานแบเรียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานแบเรียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.001 0.001	0.001	0.040	0.039	1	0.001 0.001	0.001	0.079	0.078
2	0.001 0.001	0.001	0.039	0.038	2	0.001 0.001	0.001	0.079	0.078
3	0.001 0.001	0.001	0.039	0.038	3	0.001 0.001	0.001	0.079	0.078
4	0.001 0.001	0.001	0.039	0.038	4	0.001 0.001	0.001	0.078	0.077
5	0.001 0.001	0.001	0.039	0.038	5	0.001 0.001	0.001	0.078	0.077
6	0.001 0.001	0.001	0.039	0.038	6	0.001 0.001	0.001	0.078	0.077
7	0.001 0.001	0.001	0.039	0.038	7	0.001 0.001	0.001	0.079	0.078
8	0.001 0.001	0.001	0.041	0.040	8	0.001 0.001	0.001	0.080	0.079
9	0.001 0.001	0.001	0.041	0.040	9	0.001 0.001	0.001	0.081	0.080
10	0.001 0.001	0.001	0.041	0.040	10	0.001 0.001	0.001	0.081	0.080
$\bar{x}$ = 0.0387					$\bar{x}$ = 0.0782				
SD = 0.00084					SD = 0.00088				
3SD = 0.00252					3SD = 0.00264				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.26 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.27 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.27 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.16 <u>ตารางที่ 16</u> แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีที่ 3

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานแบเรียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานแบเรียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.001 0.000	0.0005	0.044	0.0435	1	0.000 0.000	0.000	0.086	0.086
2	0.000 0.000	0.000	0.043	0.043	2	0.000 0.000	0.000	0.087	0.087
3	0.000 0.000	0.000	0.042	0.042	3	0.000 0.000	0.000	0.089	0.089
4	0.000 0.000	0.000	0.045	0.045	4	0.000 0.000	0.000	0.089	0.089
5	0.000 0.000	0.000	0.045	0.045	5	0.000 0.000	0.000	0.089	0.089
6	0.000 0.000	0.000	0.045	0.045	6	0.000 0.000	0.000	0.089	0.089
7	0.000 0.000	0.000	0.044	0.044	7	0.000 0.000	0.000	0.088	0.088
8	0.000 0.000	0.000	0.044	0.044	8	0.000 0.000	0.000	0.088	0.088
9	0.000 0.000	0.000	0.045	0.045	9	0.000 0.000	0.000	0.088	0.088
10	0.000 0.000	0.000	0.045	0.045	10	0.000 0.000	0.000	0.087	0.087
$\bar{x}$ = 0.04415					$\bar{x}$ = 0.0875				
SD = 0.001055					SD = 0.001001				
3SD = 0.003165					3SD = 0.003003				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.29 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.27 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.28 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.17 <u>ตารางที่ 17</u> แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีที่ 1

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานโซเดียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานโซเดียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.000 0.001	0.0005	0.016	0.0155	1	0.000 0.001	0.0005	0.036	0.0355
2	0.001 0.001	0.001	0.017	0.016	2	0.001 0.001	0.001	0.034	0.033
3	0.001 0.000	0.0005	0.018	0.0175	3	0.001 0.000	0.0005	0.035	0.0345
4	0.000 0.000	0.000	0.019	0.019	4	0.000 0.000	0.000	0.036	0.036
5	0.000 0.001	0.0005	0.018	0.0175	5	0.000 0.001	0.0005	0.034	0.0335
6	0.001 0.001	0.001	0.019	0.018	6	0.001 0.001	0.001	0.035	0.034
7	0.000 0.000	0.000	0.017	0.017	7	0.000 0.000	0.000	0.035	0.035
8	0.000 0.000	0.000	0.017	0.017	8	0.000 0.000	0.000	0.034	0.034
9	-0.001 0.000	-0.0005	0.018	0.0185	9	-0.001 0.000	-0.0005	0.034	0.0345
10	0.002 0.000	0.001	0.018	0.017	10	0.000 0.001	0.0005	0.034	0.0335
$\bar{x}$ = 0.0173					$\bar{x}$ = 0.0343				
SD = 0.0008					SD = 0.0008				
3SD = 0.0024					3SD = 0.0024				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.55 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.56 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.56 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.18 ตารางที่ 18 แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีที่ 2

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานโซเดียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานโซเดียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.000 0.001	0.0005	0.018	0.0175	1	0.001 0.000	0.0005	0.036	0.0355
2	0.001 0.001	0.001	0.019	0.018	2	0.001 0.001	0.001	0.035	0.034
3	0.001 0.001	0.001	0.019	0.018	3	0.001 0.001	0.001	0.034	0.033
4	0.001 0.000	0.0005	0.017	0.0165	4	0.000 0.001	0.0005	0.036	0.0355
5	0.001 0.001	0.001	0.019	0.018	5	0.001 0.001	0.001	0.035	0.034
6	0.001 0.000	0.0005	0.018	0.0175	6	0.000 0.001	0.0005	0.035	0.0345
7	0.001 0.001	0.001	0.018	0.017	7	0.001 0.001	0.001	0.036	0.035
8	0.001 0.001	0.001	0.017	0.016	8	0.001 0.001	0.001	0.035	0.034
9	0.001 0.001	0.001	0.018	0.017	9	0.001 0.001	0.001	0.035	0.034
10	0.002 0.001	0.0015	0.017	0.0155	10	0.001 0.002	0.0015	0.035	0.0335
$\bar{x}$ = 0.0171					$\bar{x}$ = 0.0343				
SD = 0.0007					SD = 0.00066				
3SD = 0.0021					3SD = 0.00198				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.49 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.46 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.48 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.19 <u>ตารางที่ 19</u> แสดงการหาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีที่ 3

ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานโซเดียม 4 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าการดูดกลืนแสงสำหรับสารละลายมาตรฐานโซเดียม 8 มิลลิกรัม/ลิตร				
ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย	ครั้งที่	สารละลายแบลงค์	สารละลายแบลงค์เฉลี่ย	สารละลายมาตรฐาน	สารละลายมาตรฐานลบสารละลายแบลงค์เฉลี่ย
1	0.000 0.001	0.0005	0.019	0.0185	1	0.001 0.001	0.001	0.037	0.036
2	0.001 0.000	0.0005	0.019	0.0185	2	0.000 0.000	0.000	0.039	0.039
3	0.000 0.001	0.0005	0.021	0.0205	3	0.001 0.001	0.001	0.038	0.038
4	0.001 0.001	0.001	0.022	0.021	4	0.001 0.001	0.001	0.038	0.037
5	0.001 0.001	0.001	0.021	0.020	5	0.001 0.000	0.0005	0.038	0.0375
6	0.001 0.000	0.0005	0.021	0.0205	6	0.001 0.002	0.0015	0.039	0.0375
7	0.002 0.001	0.0015	0.022	0.0205	7	0.001 0.002	0.0015	0.039	0.0375
8	0.002 0.001	0.0015	0.022	0.0205	8	0.001 0.002	0.0015	0.038	0.0365
9	0.002 0.002	0.002	0.021	0.019	9	0.001 0.002	0.0015	0.040	0.0385
10	0.001 0.001	0.001	0.020	0.019	10	0.001 0.000	0.0005	0.039	0.0385
$\bar{x}$ = 0.0198					$\bar{x}$ = 0.0376				
SD = 0.000949					SD = 0.000937				
3SD = 0.002847					3SD = 0.002811				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.57 มิลลิกรัม/ลิตร					ค่าขีดจำกัดต่ำสุด = 0.60 มิลลิกรัม/ลิตร				
ค่าขีดจำกัดต่ำสุดเฉลี่ย = 0.59 มิลลิกรัม/ลิตร									

9.20 <u>ตารางที่ 20</u> แสดงการหาความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์อะลูมิเนียมโดยวิธีทั้ง 3

ครั้งที่	ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมที่วัดได้(มิลลิกรัม/ลิตร)		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
1	7.774	7.853	7.698
2	7.770	7.702	7.697
3	7.810	7.922	7.699
4	7.940	7.818	7.800
5	7.684	7.953	7.670
6	7.932	7.732	7.789
7	8.002	7.963	7.901
8	8.390	8.012	8.073
9	8.174	7.685	8.286
10	7.718	7.956	8.123
$\bar{x}$	7.9194	7.8596	7.8736
SD	0.2238	0.1198	0.2158
SD^2	0.0494	0.0144	0.0466
F คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**1.06**	**3.24**	
s_{pooled}คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**0.2191**	**0.1746**	
t คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**0.47**	**0.18**	

9.21 ตารางที่ 21 แสดงการหาความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์แบเรียมโดยวิธีทั้ง 3

ครั้งที่	ความเข้มข้นของแบเรียมที่วัดได้(มิลลิกรัม/ลิตร)		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
1	8.128	8.927	8.113
2	8.262	8.371	8.381
3	8.278	8.346	8.541
4	8.363	8.262	8.322
5	8.452	8.334	8.322
6	8.188	8.343	8.737
7	8.122	8.355	9.014
8	8.205	8.325	8.279
9	8.445	8.332	8.729
10	8.652	8.345	8.739
$\bar{x}$	8.3095	8.3940	8.5177
SD	0.1686	0.1895	0.2798
SD^2	0.0284	0.0359	0.0783
F คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**2.75**	**2.18**	
s_{pooled}คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**0.2310**	**0.2389**	
t คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**2.02**	**1.16**	

9.22 ตารางที่ 22 แสดงการหาความแม่นยำ และความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์โซเดียมโดยวิธีทั้ง 3

ครั้งที่	ความเข้มข้นของโซเดียมที่วัดได้(มิลลิกรัม/ลิตร)		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
1	7.777	7.862	7.790
2	7.619	7.802	7.702
3	7.689	7.823	7.660
4	7.724	7.778	7.773
5	7.683	7.791	7.731
6	7.725	7.777	7.758
7	7.861	7.895	7.87
8	7.601	7.831	7.787
9	7.663	7.631	7.716
10	7.798	8.003	7.833
$\bar{x}$	7.714	7.8193	7.7628
SD	0.0808	0.0951	0.0642
SD^2	0.0065	0.0090	0.0041
F คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**1.58**	**2.20**	
s_{pooled}คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**0.0730**	**0.0812**	
t คำนวณเทียบกับวิธีที่ 3	**1.49**	**1.56**	