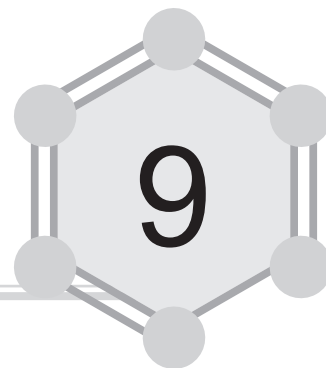


การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีหาปริมาณปรอท ในกรดไฮโดรคลอริก

Method validation for determination of mercury in hydrochloric acid



จิรสา กรงกรด^{1*}, อนุชา สินธุสาร¹, ไศรดา ขุนโหร¹, อภิษฎา สุขมาก¹
Jirasa Krongkrod^{1*}, Anucha Sinthusarn¹, Sorada Khunhon¹, Aphiya Sukmak¹

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณปรอทในกรดไฮโดรคลอริกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 217-2556 นั้นเป็นวิธีทดสอบกรดไฮโดรคลอริกสำหรับอุตสาหกรรมโดยเทคนิค Flow Injection Mercury Systems (FIMS) พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.5-10 ไมโครกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดการตรวจหาเท่ากับ 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดการวัดปริมาณเท่ากับ 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าความเอนเอียงและความเที่ยงระหว่างกลางมีร้อยละการคืนกลับและร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 85-110 และ 1.0-3.0 ตามลำดับ โดยมีค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกินร้อยละ 20

Abstract

Method validation for determination of mercury in hydrochloric acid in the present work is based on Thai Industrial Standard, TISI 217-2556, which is the test for Hydrochloric acid for industrial used, by Flow Injection Mercury Systems (FIMS). Results showed that the linear range was 0.5-10 µg/L. The limit of detection was 0.2 µg/L, and the limit of quantitation was 0.5 µg/L. Bias and intermediate precision showed that the percent recovery and relative standard deviation were 85-110 % and 1.0-3.0 %, respectively. Measurement uncertainty at 95% confidence limit was less than 20%.

คำสำคัญ : กรดไฮโดรคลอริก ปรอท

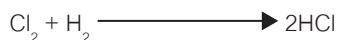
Keywords : Hydrochloric acid, Mercury

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค

*Corresponding author e-mail address: jirasa@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดเกลือ เป็นสารประเภทกรดที่ได้จากการละลายของแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ในน้ำ ถูกค้นพบโดยนักเล่นแร่แปรธาตุคือ จาร์เบียร์ เฮย์ย่น กรดไฮโดรคลอริกเป็นของเหลวใส ไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน มีความเข้มข้นร้อยละ 32 โดยประมาณ มีกลิ่นฉุน สูตรโมเลกุล คือ HCl น้ำหนักโมเลกุล 36.46 ความถ่วงจำเพาะ 1.16 กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 37 จะเรียกว่า fuming hydrochloric acid ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 1.18 จุดเดือดที่อุณหภูมิ 108.58 °ซ และจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ -35 °ซ การผลิตกรดไฮโดรคลอริกเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนกับคลอรีนดังสมการ



กรดไฮโดรคลอริกถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไวนิลคลอไรด์ สำหรับผลิต พลาสติก พีวีซี และ MDI/TDI (Methylene diphenyl diisocyanate/ toluene diisocyanate) สำหรับผลิตพอลิยูรีเทน (Polyurethane) ใช้ถลุงแร่ เพื่อผลิตดีบุก และแท่งแท่ง ใช้ในการปรับความเป็นกรด-ด่าง โดยเฉพาะสารที่เป็นด่างให้มีความเป็นกรด ใช้ไฮโดรไลซ์แป้ง และโปรตีน เพื่อผลิตอาหารรูปแบบต่างๆ ใช้กัดผิวและทำความสะอาดผิวโลหะ ใช้ในอุตสาหกรรมการชุบเคลือบโลหะ ใช้ในกระบวนการกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกหนัง [5]

สำหรับ มอก. 217-2556 : กรดไฮโดรคลอริกสำหรับอุตสาหกรรม กำหนดให้มีปริมาณปรอทในกรดไฮโดรคลอริกได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และทดสอบโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ระบบหมุนเวียนแบบปิด ใช้ประกอบกับอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ [1] ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน มีขั้นตอนในการเตรียมเครื่องมือที่ใช้เวลานาน การทดสอบปริมาณปรอทในกรดไฮโดรคลอริกโดยเทคนิค Flow Injection Mercury Systems (FIMS) [4] จะช่วยลดความยุ่งยากดังกล่าว รวมถึงสามารถทดสอบได้รวดเร็วและมีความถูกต้องสูง ตอบสนองต่อความต้องการผลทดสอบที่รวดเร็วของภาคอุตสาหกรรม สำหรับการทดสอบปริมาณปรอทโดยเทคนิค Flow Injection Mercury Systems (FIMS) มีการศึกษาในเรื่องการประเมินความเสี่ยงโลหะหนักในปลาและกุ้งจากทะเลสาบสงขลาต่อคนไทย [6] แต่ไม่ยังไม่พบในตัวอย่างกรดไฮโดรคลอริก สำหรับตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณปรอทในกรดไฮโดรคลอริกตามเอกสารนี้มีความไม่แน่นอนของการวัดไม่เกินร้อยละ ± 20 ร้อยละ ค่าการกลับคืนอยู่ในช่วง 70-130 และขอบข่ายของการรับรอง 0.01–0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 ตัวอย่างกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 35-37% ที่ผ่านการทดสอบแล้วว่าไม่พบปริมาณปรอท โดยเก็บในขวดแก้วที่มีฝาปิดสนิท

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.2.1 เครื่อง Flow Injection Mercury Systems (FIMS) 400, PerkinElmer, USA

2.2.2 เครื่องชั่งความละเอียดอ่านได้เท่ากับ 0.0001 กรัม, METTLER TOLEDO รุ่น XS205DR, Switzerland

2.2.3 เครื่องทำน้ำปราศจากไอออน MILIPORE, รุ่น Milli-Q Reference A+ System, FRANCE

2.2.4 ขวดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร ชั้นคุณภาพ A

2.2.5 ปิเปตวัดปริมาตร (Volumetric pipette) ชั้นคุณภาพ A ขนาด 1, 2, 5 และ 10 มิลลิลิตร

2.3 สารเคมี

2.3.1 สารละลายมาตรฐานปรอทอ้างอิง (Hg, Reference material (RM)), Perkin Elmer, ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.2 สารละลายมาตรฐานปรอท (Hg, Working standard), AccuStandard, ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.3 กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) ชั้นคุณภาพวิเคราะห์, Merck

2.3.4 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) ชั้นคุณภาพวิเคราะห์, Merck

2.3.5 ทิน (II) คลอไรด์ ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ชั้นคุณภาพวิเคราะห์ ชนิด low mercury, Merck

2.3.6 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

2.3.7 แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ร้อยละไม่น้อยกว่า 99.99

2.4 วิธีดำเนินงาน

2.4.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง สร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของปรอทที่ระดับความเข้มข้น 0–20 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยเตรียมจากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกรดไนตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร นำข้อมูลของกราฟมาตรฐานที่ได้มาพิจารณาความสัมพันธ์ที่แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) โดยเกณฑ์การยอมรับต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.990

2.4.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบตัวอย่าง

2.4.2.1 ชั่งตัวอย่างกรดไฮโดรคลอริกประมาณ 5 กรัม ใส่ในปิเปตที่มีน้ำปราศจากไอออน ประมาณ 50 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริก 1: 1 จำนวน 2 มิลลิลิตร

2.4.2.2 ถ่ายสารละลายใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปวัดค่าการดูด

กลืนแสง ด้วยเครื่อง Flow Injection Mercury Systems

2.4.2.3 ปรับตั้งสภาวะของเครื่อง Flow Injection Mercury Systems

Integration Time (s)	20
Data Processing	Peak Height, Smoothing: 0.5 sec or 19 point
Wavelength (nm)	253.7
Carrier Solution	3% (v/v) HCl
Reducing Agent	1.1 % SnCl ₂ in 3% (v/v) HCl
Sample loop	500 µL
The flow of carry gas	70-100 mL/min
Pump1 speed	100U/min, 10 sec
Pump2 speed	120U/min, 10 sec

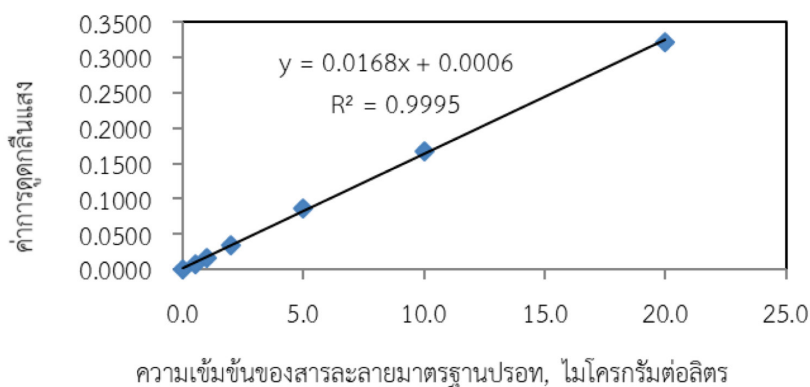
2.4.3 ขีดจำกัดการตรวจหา(LOD) และการหาขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ)

นำตัวอย่างจากข้อ 2.1 มาเตรียมตามข้อ 2.4.2 จำนวน 10 ขวด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง เทียบกับสารละลายมาตรฐาน ด้วยเครื่อง Flow Injection Mercury Systems บันทึกค่าความเข้มข้นที่อ่านได้แต่ละขวด หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S0) คำนวนค่า LOD (3S'0) และ LOQ (10S'0) [2]

2.4.4 ค่าความเอนเอียง (Bias)

นำตัวอย่างจากข้อ 2.1 มาเตรียมตามข้อ 2.4.2.1 เติมสารละลายมาตรฐานปรอทให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ (0.5, 5.0 ตารางที่ 1 ช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานการสอบเทียบของปรอท

สารละลายมาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลิตร)	0.0	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0
ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร	0.0000	0.0081	0.0167	0.0330	0.0817	0.1613	0.3219



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานการสอบเทียบ ความชัน และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) ของสารละลายมาตรฐานปรอท

ช่วงความเป็นเส้นตรงของปรอท อยู่ที่ 0.5 - 20.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ, R^2 เท่ากับ 0.9995 ค่าความชัน เท่ากับ 0.0168

และ 10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ความเข้มข้นละ 10 ขวด ถ่ายสารละลายใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง Flow Injection Mercury Systems โดยแต่ละความเข้มข้นต้องวัดภายในช่วงเวลาเดียวกัน คำนวนค่าร้อยละการคืนกลับของแต่ละความเข้มข้น โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานปรอทที่เดิมลงไป

2.4.5 การหาค่าความเที่ยงระหว่างกลาง (Intermediate precision)

นำตัวอย่างจากข้อ 2.1 มาเตรียมตามข้อ 2.4.2.1 เติมสารละลายมาตรฐานปรอทให้มีความเข้มข้น 3 ระดับ (0.5, 5.0 และ 10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) ความเข้มข้นละ 1 ขวด ถ่ายสารละลายใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทียบกับสารละลายมาตรฐานด้วยเครื่อง Flow Injection Mercury Systems ทำซ้ำตามข้อ 2.4.5 ทั้งหมด 10 วัน นำค่าความเข้มข้นที่ได้ทั้ง 10 วัน มาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, RSD) เพื่อดูว่าวิธีทดสอบทั้งกระบวนการ จำนวน 10 วัน มีความคงที่หรือไม่ โดยดูจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เกินค่ามาตรฐานหรือไม่

3. ผลและวิจารณ์ (Result and discussion)

3.1 ช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานการสอบเทียบ ความชัน และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) ของปรอท

3.2 ขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) และขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ)

ตารางที่ 2 ค่า LOD และ LOQ ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท

ค่าความเข้มข้นปรอทเฉลี่ยของตัวอย่าง 10 ขวด	0.0919 ไมโครกรัมต่อลิตร
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S_0)	0.0386 ไมโครกรัมต่อลิตร
S'_0	0.0446 ไมโครกรัมต่อลิตร
$LOD = 3 (S'_0)$	0.1338 ไมโครกรัมต่อลิตร
$LOQ = 10 (S'_0)$	0.4458 ไมโครกรัมต่อลิตร

เมื่อ

$$S'_0 = S_0 \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{n_b}}$$

n = จำนวนซ้ำของตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการใช้สำหรับออกรายงาน สำหรับการทดสอบนี้ กำหนดให้เท่ากับ 3

n_b = จำนวนซ้ำของแบลนด์ที่ห้องปฏิบัติการใช้ในการทดสอบ สำหรับการทดสอบนี้ กำหนดให้เท่ากับ 1

สรุปขีดจำกัดการตรวจหา (LOD) และขีดจำกัดการวัดปริมาณ (LOQ) ของปรอทคือ

LOD = 0.134 ไมโครกรัมต่อลิตร

LOQ = 0.446 ไมโครกรัมต่อลิตร

3.3 ค่าความเอนเอียง (Bias)

นำผลการทดสอบของสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.4.4 มาคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับ (percentage recovery) เพื่อประมาณค่าความเอนเอียงแสดงดังตารางที่ 3

$$\text{ร้อยละการคืนกลับ} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้} \times 100}{\text{ความเข้มข้นที่เติม}}$$

ตารางที่ 3 ร้อยละการคืนกลับของปรอทที่ความเข้มข้น 3 ระดับ

	ตัวอย่าง + สารละลายมาตรฐานปรอท 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร	ตัวอย่าง + สารละลายมาตรฐานปรอท 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร	ตัวอย่าง + สารละลายมาตรฐานปรอท 10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร
ค่าร้อยละการคืนกลับ	95.8	90.9	95.4
เกณฑ์กำหนด	ร้อยละ 70-130		

3.4 ค่าความเที่ยงระหว่างกลาง (Intermediate precision)

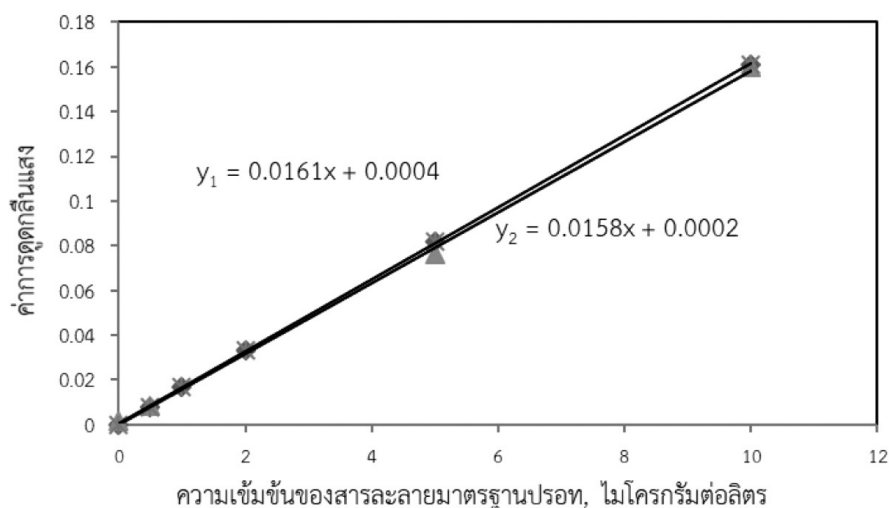
ตารางที่ 4 สรุปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, RSD) ของปรอท (คำนวณจากผลการทดสอบ 10 ซ้ำ)

	ตัวอย่าง + สารละลายมาตรฐานปรอท 0.5 ไมโครกรัมต่อลิตร	ตัวอย่าง + สารละลายมาตรฐานปรอท 5.0 ไมโครกรัมต่อลิตร	ตัวอย่าง + สารละลายมาตรฐานปรอท 10.0 ไมโครกรัมต่อลิตร
% RSD	7.93	6.08	2.89
เกณฑ์กำหนด	ร้อยละ ± 10		

3.5 ผลกระทบจากเนื้อสาร (Matrix effect)

เปรียบเทียบความชันของกราฟมาตรฐานการสอบเทียบของสารละลายมาตรฐานปรอทกับความชันของกราฟมาตรฐานการสอบเทียบของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอท

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (ไม่โครกรัมต่อลิตร)	0.0	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานปรอท	0.0000	0.0081	0.0167	0.0330	0.0817	0.1613
ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างกรดไฮโดรคลอริกที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอท	0.0015	0.0083	-	-	0.0762	0.1597



Y₁ เส้นโค้งการสอบเทียบของสารละลายมาตรฐานปรอท

Y₂ เส้นโค้งการสอบเทียบของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอท

รูปที่ 2 เปรียบเทียบความชันของกราฟมาตรฐานการสอบเทียบของสารละลายมาตรฐานปรอทกับความชันของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานปรอท

คำนวณร้อยละความแตกต่างของความชันตามสมการ

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละความแตกต่าง} &= \left(\frac{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน} - \text{ความชันของ } \textit{spiked sample}}{\text{ความชันของกราฟมาตรฐาน}} \right) \times 100 \\
 &= \frac{(0.0161 - 0.0158)}{0.0161} \times 100 \\
 &= 1.86
 \end{aligned}$$

สรุปผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของความชันต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 แสดงว่าวิธีทดสอบนี้ไม่มีผลกระทบจากเนื้อสาร

3.6 การประมาณค่าความไม่แน่นอน (Estimate uncertainty)

การศึกษานี้ใช้วิธีประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัดโดยใช้ Method validation approach ตามเอกสาร VAM Project 3.2.1 Development and Harmonisation of Measurement Uncertainty Principles, Part (d) : Protocol for uncertainty evaluation from validation โดย Barwick และ Ellison [3] ใช้ค่าความไม่แน่นอนจากการทดสอบความเอนเอียง u (R) และค่าความไม่แน่นอนจากการทดสอบความเที่ยง u (P) เพื่อประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดดังนี้

$$u_c = C\sqrt{u(R)^2 + u(P)^2}$$

ค่าความไม่แน่นอนขยาย

$$U = k \times u_c$$

ตารางที่ 5 สรุปค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

รายการ		ปรอท
แหล่งของค่าความไม่แน่นอน	ความเอนเอียง $u(R)$	0.056
	ความเที่ยง $u(P)$	0.079
ความเข้มข้น (มก./กก.) (C)		0.005
ค่าความไม่แน่นอนรวม u_c		0.00048
ค่าความไม่แน่นอนขยายที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($k = 2$)		0.00096
ค่าความไม่แน่นอนขยายคิดเป็นร้อยละ		19.2

4. สรุป (Conclusion)

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบปริมาณปรอทในกรดไฮโดรคลอริกโดยเทคนิค Flow Injection Mercury Systems (FIMS) โดยตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะที่แสดงสมบัติของวิธีทดสอบ ได้แก่ ช่วงความเป็นเส้นตรง ขีดจำกัดการตรวจหา ขีดจำกัดการวัดปริมาณ ค่าความเอนเอียง ค่าความเที่ยงระหว่างกลาง ผลกระทบจากเนื้อสาร พบว่าเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด โดยมีค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกินร้อยละ 20 หวังปฏิบัติการสามารถนำวิธีทดสอบดังกล่าวมาใช้ทดสอบปริมาณปรอทในกรดไฮโดรคลอริกได้

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 217-2556. กรดไฮโดรคลอริกสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2557.
- [2] EURACHEM. *Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Method* [online]. 2 nd ed., 2014. [viewed 17 February 2019]. Available from: www.eurachem.org
- [3] BARWICK, V. J. and S. L. R., ELLISON. *VAM Project 3.2.1: Development and Harmonization of Measurement Uncertainty Principles, LGC/VAM/1998/088 January 2000* [online]. [viewed 1 March 2001]. Available from: http://blpd.dss.go.th/training/dwdocuments/enews/VAM_uncertainty-0452.pdf.
- [4] THE PERKIN ELMER. *Flow Injection Mercury, Setting Up and Performing Analyses* [online]. 2003. [viewed 11 March 2018]. Available from: http://www.cromatec.ro/pdf/12-BRO_FIMS.pdf
- [5] จิรสา กรงกรด และไศรดา ชุนโห. กรดไฮโดรคลอริก. สารานุกรมวิทยาศาสตร์บริการ [ออนไลน์]. กรกฎาคม 2549. [อ้างถึงวันที่ 8 กรกฎาคม 2562]. เข้าถึงจาก: http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_8_2549_hydrochloric.pdf
- [6] สุดขญา ศรประสิทธิ์, กิ่งแก้ว กาญจนรัตน์และอริญญา อัศวอารีย์. การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักในปลาและกุ้งจากทะเลสาบสงขลาต่อคนไทย. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*. 59(2) เมษายน - มิถุนายน 2560, หน้า 115-127.