



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5  
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่  
Developing Measurement Techniques of Zinc in Mineral Water

ไตรรงค์ เปลียนแสง<sup>1</sup>, ณัฐวุฒิ ไตรรัตน์<sup>2</sup>, ปัทมาภรณ์ ทองนวล<sup>2</sup>, อนงค์ ศรีโสภา<sup>3</sup>  
Trairong Phlansaeng<sup>1</sup>, Natthawut Trairat<sup>2</sup>, Patthamaphorn Thongnual<sup>2</sup>, Anong Srisopa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> อาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

<sup>2</sup> นักศึกษาประจำคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

<sup>3</sup> อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

**บทคัดย่อ**

การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่ โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ เปรียบเทียบกับเทคนิคคลอริเมตรีและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีโดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ เป็นการตรวจสอบน้ำแร่บรรจุขวดทั้งหมด 6 ตัวอย่างจากแหล่งที่มา 3 แหล่ง ซึ่งเทคนิคดังกล่าวอาศัยหลักการการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูระหว่างสังกะสีกับสารละลายไดทิลโซน เป็นเทคนิคที่สะดวกในการปฏิบัติการทดลอง ใช้สารเคมีปริมาณน้อย ลดค่าใช้จ่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่าเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ สามารถตรวจสอบสังกะสีได้เหมือนกับเทคนิคคลอริเมตรีและอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี และทั้ง 3 เทคนิคให้ผลการตรวจสอบที่สอดคล้องกัน คือ ไม่พบสังกะสี

**คำสำคัญ :** สังกะสี / น้ำแร่ / คลอริเมตรี / อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี / ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ

**Abstract**

Developing measurement techniques of zinc in mineral water using a paper based microfluidic by comparison with colorimetry and atomic absorption spectrophotometry applications. This detection technique using a fluid zinc comma paper. The monitoring of mineral waters, all six samples from three sources of such techniques, which relies on the complexation between zinc pink solution to the Steiner zone. The technique is easy to perform experiments. Use small amounts of chemicals, reduce costs and become more environmentally friendly. The research found that Monitoring techniques zinc in surface water samples using micro fluid paper. Zinc can check not like colorimetry and atomic absorption spectrophotometry applications and Three technical examination results are consistent no zinc.

**Keywords :** Zinc / Mineral Water / Colorimetry / Atomic Absorption Spectrophotometry / Paper-based Microfluidic Device

**ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์จัดเป็นวิธีการสอนประเภทหนึ่งที่ทำให้ประสบการณ์ตรงแก่ผู้เรียน โดยผ่านกระบวนการพิสูจน์ตรวจสอบและเห็นผลการทดลองด้วยตนเอง ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ได้มีความเข้าใจสามารถ



## รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

จดจำการเรียนรู้ได้นานและเป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังได้พัฒนาคุณลักษณะนิสัยการใฝ่รู้ด้วย (Khammani, T., 2011, 28)

การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์แบบปฏิบัติการหรือการสอนแบบทดลอง จัดเป็นการเรียนการสอนโดยมีผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้ฝึกทักษะการทดลอง ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอนและได้เรียนผ่านประสาทสัมผัสหลายด้านโดยตรงทำให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดี

ปฏิบัติการการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีเป็นปฏิบัติการที่สามารถเชื่อมโยงหลักการทางวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวันได้อย่างดี เนื่องจากสังกะสีเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่เป็นต่อร่างกายและต้องได้รับเป็นประจำ เป็นแร่ธาตุที่มีบทบาทสำคัญหลายประการต่อร่างกาย เช่น ช่วยกระตุ้นการสร้างและการซ่อมแซมหนังกำพืด ช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์คอลลาเจน และช่วยในกระบวนการสร้างเอนไซม์ ระบบภูมิคุ้มกัน การสร้างสารพันธุกรรม และการซ่อมแซมบาดแผล เป็นต้น (อัญชลี, 2559) การหาปริมาณสังกะสีโดยทั่วไป นิยมใช้เทคนิคอะตอมมิก-แอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (Atomic absorption spectrophotometry, AAS) (Lyra, Carneiro, Brandão, Pessoa, & de Castro, 2010) และเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี (spectrophotometry) (Maria Carmen Catapano and group, 2018) ซึ่งที่กล่าวมาจัดเป็นเทคนิคที่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูง ราคาแพง และผู้ปฏิบัติงานต้องมีความชำนาญ

อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ (paper-based microfluidic device) เป็นเทคนิคที่เตรียมง่าย ใช้สารเคมีปริมาณน้อย และราคาถูก โดยอาศัยการใช้ช่องของเหลวปริมาณน้อยให้ไหลบนกระดาษซึ่งเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ภายในขอบเขตที่เกิดจากส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยมีวิธีการสร้างเส้นทางการไหลบนกระดาษหลายวิธี เช่น การพิมพ์ด้วยแสง (photolithography) การพิมพ์ด้วยเครื่องพล็อตเตอร์ (plotter) การสลักด้วยหมึก (ink-jet etching) การพิมพ์ด้วยหมึก (ink-jet printing) การใช้พลาสมา (plasma treatment) และการพิมพ์ด้วยขี้ผึ้ง (wax printing) เป็นต้น (Cate, Adkins, Mettakoonpitak, & Henry, 2015) ในปัจจุบันอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองมากขึ้นเช่น การตรวจสอบนิกเกิล อะลูมิเนียมและเหล็ก ในน้ำดื่มโดยการสกรีนด้วยเทียนและออกแบบให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความจำเพาะ และเปรียบเทียบความถูกต้องกับวิธีมาตรฐาน Inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES (Ninwong, B., et al. 2016) และยังได้มีการออกแบบอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษกับนักเรียน ได้แก่ การทดลองการตรวจสอบกรดอะมิโนในสารสกัดชาเขียว โดยใช้ปากกาไข (wax pen) สร้างขอบเขตการไหลของสารละลายบนกระดาษกรองและประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียน (Cai, Wu, Xu, & Chen, 2013) นอกจากนี้ยังได้มีการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษกับนักศึกษาระดับปริญญาตรีในการตรวจสอบปริมาณไนโตรที่ไอออนโดยใช้ปากกาชนิดกันน้ำในการสร้างขอบเขตการไหลของสารละลายเป็นรูปวงกลม (Wang, Lin, & Wang, 2015)

ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงข้อดีของการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ได้แก่ วัสดุอุปกรณ์หาง่าย ราคาถูก ใช้สารปริมาณน้อย มีความปลอดภัยกับผู้ทดลอง และให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้มาพัฒนาเพื่อใช้ในการทดสอบปริมาณของสังกะสีในน้ำแร่ โดยอาศัยหลักการการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูระหว่างสังกะสีและไคทิซิน และตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองกับเทคนิคมาตรฐานได้แก่ เทคนิคอัลเลอร์ิเมทรี และเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมทรี

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ
2. เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่โดยใช้เทคนิคอัลเลอร์ิเมทรี อะตอมมิก - แอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมทรี และอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ



## รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษในการตรวจสอบสังกะสีในน้ำแร่ และเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้กับเทคนิคคลอริเมทรี และอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี โดยมีรายละเอียด ดังนี้

### การตรวจสอบสังกะสีในน้ำแร่

เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่สร้างขึ้นโดยการวาดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นเทมเพลตเรขาคณิตพลาสติก (ผลิตโดย Rotring, Germany) ด้วยสีเทียน (ตราม้า, ประเทศไทย) บนกระดาษกรอง (Whatman No. 1, Germany) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้สีเทียนละลายเข้าไปในชั้นของกระดาษ

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ Dithizone, Sodium acetate, Acetic acid, Sodium Lauryl Sulfate, Zinc Nitrate, Methanol alcohol และน้ำกลั่น

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer, ผลิตโดย PerkinElmer, USA) และเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ผลิตโดย Jenway, UK)

### วิธีการทดลอง

การตรวจสอบสังกะสีในน้ำแร่ เก็บตัวอย่างน้ำแร่จากร้านสะดวกซื้อ 3 แห่ง ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อสาขาลาดบ้านคลอง จังหวัดพิษณุโลก, ร้านสะดวกซื้อภายในปั๊มน้ำมัน สาขากำแพงเพชร-พิจิตร จังหวัดกำแพงเพชร และร้านสะดวกซื้อภายในปั๊มน้ำมัน สาขาพิษณุโลกพลังงาน จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วยตัวอย่างน้ำแร่บรรจุขวดจำนวน 6 ตัวอย่าง โดยกำหนดให้เป็นน้ำแร่ A, B, C, D, E และ F ที่การตรวจสอบปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ เปรียบเทียบกับเทคนิคคลอริเมทรีและเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี ดังนี้

1. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ตรวจสอบปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่ทั้ง 6 ชนิดโดยหยดน้ำตัวอย่าง 2 หยด Dithizone จำนวน 2 หยด ลงในวงกลมที่วาดไว้บนกระดาษกรอง เปรียบเทียบสีชมพูที่เกิดขึ้นกับสีชมพูที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้นต่างๆ กับ Dithizone บนกระดาษกรอง

2. เทคนิคคลอริเมทรี โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สร้างกราฟมาตรฐานที่ได้จากสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 0.19-25 mg/L โดยปิเปต Zinc Nitrate 1.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตรให้เป็นขวดที่ 1 จากนั้นเจือจางโดยการดูดสารละลายในขวดที่ 1 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขวดที่ 2 แล้วปรับปริมาตรให้เรียบร้อยทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนครบ 8 ขวด จะได้ความเข้มข้นดังต่อไปนี้ 25 ppm, 12.5 ppm, 6.25 ppm, 3.12 ppm, 1.56 ppm, 0.78 ppm, 0.39 ppm และ 0.19 ppm ตามลำดับ เสร็จแล้วปิเปต Standard แต่ละความเข้มข้น อย่างละ 2 มิลลิลิตร แยกใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปต Dithizone และ Sodium Lauryl Sulfate อย่างละ 1 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย Buffer 2 มิลลิลิตร และปิเปต Methanol 3 มิลลิลิตร ใส่สารทั้งหมดลงในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรให้ถึง 10 มิลลิลิตร วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer, ผลิตโดย PerkinElmer USA) ที่ความยาวคลื่น 506 nm หาปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ชนิดโดยปิเปตน้ำแร่ตัวอย่างใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เสร็จแล้วปิเปต Dithizone และ Sodium Lauryl Sulfate อย่างละ 1 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลาย Buffer 2 มิลลิลิตร และปิเปต Methanol 3 มิลลิลิตร ใส่สารทั้งหมดลงในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรให้ถึง 10 มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 506 nm และคำนวณความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำแร่เทียบกับกราฟมาตรฐาน



## รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

3. เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี สร้างกราฟมาตรฐานสังกะสีโดยเตรียมสารละลายสังกะสีมาตรฐานเข้มข้น 0.19-25 mg/L โดยปีเปต Zinc Nitrate 1.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตรแล้วระบุเป็นขวดที่ 1 จากนั้นเจือจางโดยการดูดสารละลายในขวดที่ 1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดที่ 2 แล้วปรับปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 8 ขวด จะได้ความเข้มข้นดังต่อไปนี้ 25 ppm, 12.5 ppm, 6.25 ppm, 3.12 ppm, 1.56 ppm, 0.78 ppm, 0.39 ppm และ 0.19 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำ Standard และน้ำแร่ตัวอย่างไปเข้าเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) นำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟและคำนวณสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าความเข้มข้น

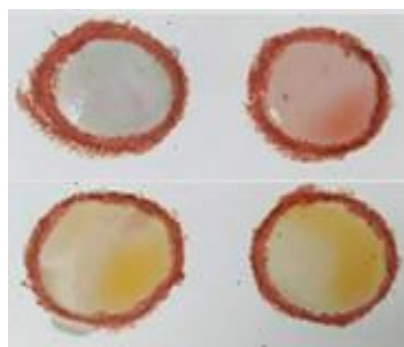
### ผลการวิจัย

การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในน้ำแร่

ได้ทำการพัฒนาเทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษเพื่อตรวจสอบปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ตัวอย่าง โดยใช้สีเทียนวาดรูปร่างวงกลมขนาด 2 เซนติเมตร ให้ความร้อนจนสีเทียนซึมเข้าไปในรูพรุนของกระดาษ (ภาพที่ 1) โดยสีเทียนเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำและทำหน้าที่กำหนดขอบเขตสารละลายบนกระดาษกรอง ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนที่ชอบน้ำ จากนั้นหยด Dithizone จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูภายในวงกลมของสีเทียน ดังภาพที่ 2 และเมื่อเทียบความเข้มของสีชมพูที่ได้จากการทดสอบกับน้ำตัวอย่าง A-F ด้วยตาเปล่ากับสารละลายมาตรฐานสังกะสี (ภาพที่ 3) พบว่าอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถตรวจวิเคราะห์สังกะสีในสารละลายมาตรฐานสังกะสีได้ตั้งแต่ 0.78-25 ppm โดยให้สีชมพูชัดเจน และในน้ำตัวอย่าง ผลการทดสอบไม่ทำให้สีชมพู และเมื่อนำไปเทียบกับผลของสารละลายมาตรฐานสังกะสี พบว่ามีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น



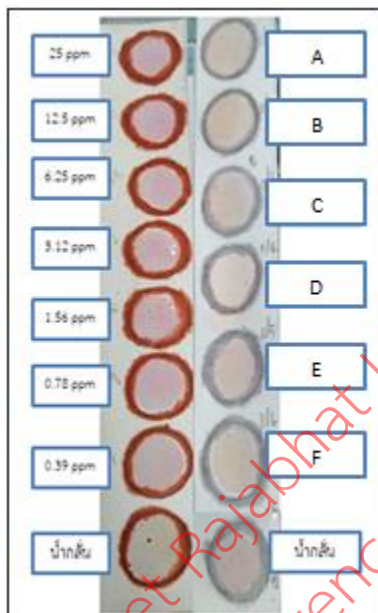
ภาพที่ 1 การให้ความร้อนกับสีเทียน



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนสีของสารละลายจากเขียวเป็นชมพู



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5  
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



ภาพที่ 3 การตรวจสอบสังกะสีด้วยเทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษ

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษจึงได้ทำการตรวจวิเคราะห์สังกะสีเปรียบเทียบกับเทคนิคคลอริเมทรี ค่าความเข้มข้นของสังกะสีในตัวอย่างจากการดูดกลืนแสงเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี จากกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีเข้มข้น 0.19-25 mg/L และเทียบกับเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี จากกราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงในช่วง 0.19-25 mg/L ปริมาณสังกะสีในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร หรือ พีพีเอ็ม ในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ชนิด แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าผลการทดลองที่ได้จากเทคนิคการวิเคราะห์ที่ต่างกัน 3 เทคนิคมีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่เมื่อใช้เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ต่างกัน

น้ำแร่ตัวอย่าง	วิธี Colorimetry	วิธี AAS	วิธีของไหลจุลภาคแบบกระดาษ
A	-4.64	-0.03	ไม่เกิดการเปลี่ยนสี และมีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น
B	-0.50	-0.03	ไม่เกิดการเปลี่ยนสี และมีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น
C	-4.20	-0.04	ไม่เกิดการเปลี่ยนสี และมีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น
D	-1.08	-0.04	ไม่เกิดการเปลี่ยนสี และมีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น
E	-2.15	-0.04	ไม่เกิดการเปลี่ยนสี และมีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น
F	-3.95	-0.04	ไม่เกิดการเปลี่ยนสี และมีสีคล้ายกับสีของน้ำกลั่น



## รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การตรวจสอบปริมาณสังกะสีในน้ำแร่ตัวอย่างโดยเทคนิค Colorimetry, AAS และผลการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำแร่ตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ เป็นการนำตัวอย่างน้ำแร่ทั้ง 6 ตัวอย่าง A, B, C, D, E และ F มาตรวจสอบสังกะสีด้วยเทคนิคคลอริเมทรี, เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมทรี และอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ พบว่าการตรวจสอบด้วยเทคนิคคลอริเมทรีและเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมทรีไม่พบปริมาณสังกะสี เทคนิคอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ดังนั้นสรุปได้ว่าการตรวจสอบสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่ด้วยเทคนิคทั้ง 3 เทคนิคมีความสัมพันธ์กัน

จากการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจสอบสังกะสีในตัวอย่างน้ำแร่ โดยใช้หลักการของไหลจุลภาคแบบกระดาษ เปรียบเทียบกับวิธีคลอริเมทรีและเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าการตรวจสอบสังกะสี โดยเทคนิคดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันทุกเทคนิค แสดงว่าเทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถใช้ตรวจสอบสังกะสีได้โดยรูปแบบอุปกรณ์แบบวงกลมสามารถสังเกตเห็นปฏิกิริยาได้ชัดเจนและการใช้สีเทียบ สามารถให้การทดลองแต่ละครั้ง และไม่เป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธนสาร เพ็งพุ่ม และอนงค์ ศรีโสภา ในการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษโดยใช้หลักการเทียบสีเพื่อใช้ในปฏิบัติการเคมี อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถทำได้ง่าย โดยการสร้างขอบเขตที่ไม่ละลายน้ำด้วยปากกาชนิดไฮ หรือปากกาชนิดไม่ละลายน้ำบนกระดาษกรอง อุปกรณ์ดังกล่าวได้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาเรื่องสมดุลเคมีและการวัดความเป็นกรด-เบส โดยอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมีราคาถูก ทำได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับงานวิจัยของนัฐวรรณ ทิพย์เนตร์ และคณะ ในการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษโดยใช้หลักการเทียบสีเพื่อใช้ในปฏิบัติการเคมีสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถทำได้ง่ายโดยการสร้างขอบเขตที่ไม่ละลายน้ำด้วยปากกาชนิดไฮ หรือ ปากกาชนิดไม่ละลายน้ำบนกระดาษกรอง อุปกรณ์ดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาเรื่องสมดุลเคมีของเหล็ก (III) ไทโอไซยาเนต ทำการศึกษาปัจจัยของไอออนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาได้แก่  $Fe^{3+}$ ,  $SCN^-$  และ  $OH^-$  และเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมีราคาถูก ทำง่าย ใช้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การตรวจวัดสีที่ได้จากปฏิกิริยามีหลายเทคนิคเช่นการสังเกตด้วยตาเปล่า ซึ่งมีข้อดีคือสะดวก แต่สีที่เกิดขึ้นต้องมีความชัดเจนง่ายแก่การสังเกต ทั้งนี้หากสารที่ใช้มีปริมาณน้อยส่งผลให้สีที่เกิดขึ้นสังเกตยาก อาจใช้การตรวจวัดสีด้วยกล้องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ร่วมกับซอฟต์แวร์การอ่านค่าสี

2. เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Dithizone กับ  $Zn^{2+}$  เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและหากตั้งทิ้งไว้นาน สีที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลง จึงต้องทำการตรวจวัดสีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจพัฒนางานวิจัยด้านโพลีอินเจกชันอะนาไลซิสควบคู่กับเทคนิคคลอริเมทรีเพื่อการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็วยิ่งขึ้น



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5  
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

เอกสารอ้างอิง

- Anchalee Chatmontree and group. (2015). Student Fabrication and Use of Simple, Low-Cost, Paper-Based Galvanic Cells To Investigate Electrochemistry. **Journal of Chemical Education**. 2015(92), 1044-1048.
- B. Wang, Z. Lin and M. Wang. (2015). Fabrication of a Paper-Based Microfluidic Device to Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay. **Journal of Chemical Education**. 2015(92), 733-736.
- Eggen, Per-Odd ; & Kvittingen, Lise. (2004). A Small-Scale and Low-Cost Apparatus for the Electrolysis of water. **The Journal of Chemical Education**. 81(9) : 1337-1338. Chemistry Laboratory. **The Journal of Chemical Education**. 78(7) : 949-950.
- Hitoshi Asano and Yukihide Shiraishi. (2015). Development of paper-based microfluidic analytical device for iron assay using photomask printed with 3D printer for fabrication of hydrophilic and hydrophobic zones on paper by photolithography. **Analytica Chimica Acta**. 2015(883), 55-60.
- L. Cai Y. Wu C. Xu and Z. Chen. (2013). A Simple Paper-Based Microfluidic Device for the Determination of the Total Amino Acid Content in a Tea leaf Extract. **Journal of Chemical Education**. 2013(90), 232-234.
- Maria Carmen Catapano and group. (2018). A simple, cheap but reliable method for evaluation of Zinc chelating properties. **Journal of Bioorganic Chemistry**. 2018(77), 287-292.
- Maryam Abedi Ostad and group. (2017). A novel direct and cost effective method for fabricating paper-based microfluidic device by commercial eye pencil and its application for determining simultaneous calcium and magnesium. **Microchemical Journal**. 2017(133), 545-550.
- Piotr Lisowski and Paweł K. Zarzycki. (2013). Microfluidic Paper-Based Analytical Devices (IPADs) And Micro Total Analysis Systems (ITAS): Development, Applications and Future Trends. **Published online**. 2013(76), 1201-1214.
- Rebekah R. Ravgiala and group. (2014). Using Paper-Based Diagnostics with High School Students To Model Forensic Investigation and Colorimetric Analysis. **Journal of Chemical Education**. 2014(91), 107-111.
- S. Liu W. Su and X. Ding. (2016). A Review on Microfluidic Paper-Based Analytical Devices for Glucose Detection. **Journal of Chemical Education**. 2016(16), 2086.
- Tao Jiang and group. (2016). Direct Mass Spectrometric Analysis of Zinc and Cadmium in Water by Microwave Plasma Torch Coupled with a Linear Ion Trap Mass Spectrometer. **International Journal of Mass Spectrometry**. 2016(33-39), 399-400.