

การพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่
สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครู

Developing and Applying Measurement Techniques of Calcium in Mineral
Water for Education Student Learning

ไทรรงค์ เปลียนแสง*

Trairong Phlansaeng

อนงค์ ศรีโสภา**

Anong Srisopa

Received : June 15, 2018

Revised : July 9, 2018

Accepted : August 10, 2018

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียม โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ โดยอาศัยหลักการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงระหว่างแคลเซียมกับสารละลายไกลออกแซล-บิส-(2-ไฮดรอกซีเอนิล) การตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้น โดยการทดลองเปรียบเทียบกับเทคนิคคัลเลอร์ิเมทรีและเฟลมโฟโตเมทรี จากนั้นประยุกต์ใช้ในปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ จากการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบบันทึกผลการทดลองระหว่างเรียน แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และประเมินความพึงพอใจต่อการทดลองของนักศึกษา ผลการวิจัยพบว่า เทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถตรวจสอบปริมาณแคลเซียมได้ตั้งแต่ 12.5 พีพีเอ็ม เมื่อประยุกต์ใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของผู้เรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของผู้เรียนอยู่ในระดับดี (3.86) ความพึงพอใจต่อการทดลองอยู่ในระดับดี (4.47) เทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้น สามารถประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเป็นเทคนิคที่เป็นประโยชน์กับห้องเรียนขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ง่าย รวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : แคลเซียม / น้ำแร่ / คัลเลอร์ิเมทรี / เฟลมโฟโตเมทรี / ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ /
นักศึกษาครู

*อาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Faculty of Education Kamphaeng Phet Rajabhat University

**อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Lecturer of the Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajabhat University

ABSTRACT

Calcium measurement technique in mineral water using a paper-based microfluidic device was developed. Calcium concentration was determined based on the red complex formation between calcium and glyoxal-bis-(2-hydroxyanil) solution. Accuracy of the results from paper-based microfluidic device was evaluated by compared with those obtained by colorimetry and flame photometry. The technique developed was used as science experiment in undergraduate education student class. Experimental learning efficiency was evaluated from student learning efficiency, experimental report, and integrated science skill record and student satisfaction. The results indicated that the calcium detection limit of the developed paper-based microfluidic device was 12.5 ppm. Student learning achievement after learning was significant higher than that assessed before learning ($p=0.01$). The integrated science skill of the students was good (3.86). Average student satisfaction toward experiment was good (4.47). The technique developed using paper-based microfluidic device was then used in science class and benefits to a large class as it was a simple, quick and environmental friendly method.

Keywords : Calcium / Mineral Water / Colorimetry / Flame Photometry / Paper-based Microfluidic Device / Education Student

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เป็นวิธีการสอนประเภทหนึ่งที่ทำให้ประสบการณ์ตรงแก่ผู้เรียน โดยผ่านกระบวนการตรวจสอบและเห็นผลการทดลองด้วยตนเอง ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ มีความเข้าใจ สามารถจดจำการเรียนรู้ได้นานและเป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังได้พัฒนาคุณลักษณะนิสัยใฝ่รู้อีกด้วย

การเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์แบบปฏิบัติการหรือการสอนแบบทดลอง จัดเป็นการเรียนการสอนโดยมีผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้ฝึกทักษะการทดลอง ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอนและได้เรียนผ่านประสาทสัมผัสหลายด้าน โดยตรงทำให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดี

ปฏิบัติการการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมเป็นปฏิบัติการที่สามารถเชื่อมโยงหลักการทางวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวันได้อย่างดี เนื่องจากแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับร่างกายและพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิด เช่น ผักใบเขียว นม งาดำ เต้าหู้ ปลาและสัตว์น้ำที่รับประทานทั้งตัว การหาปริมาณแคลเซียมโดยทั่วไป นิยมใช้เทคนิคเฟลมโฟโตเมทรี (Flame photometry) (Pickett, 2005) เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (Atomic absorption spectrophotometry, AAS) (Lyra, et al., 2010) และเทคนิคอินดักทีฟเพลพลาสมาสเปกโทรโฟโตเมทรี (Inductively couple plasma spectrophotometry, ICP) (Pereira & Dantas, 2016) ซึ่งที่กล่าวมาจัดเป็นเทคนิคที่ต้องใช้เครื่องมือชั้นสูง ราคาแพง และผู้ปฏิบัติงานต้องมีความชำนาญ

อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ (paper-based microfluidic device) เป็นเทคนิคที่เตรียมง่าย ใช้สารเคมีปริมาณน้อย และราคาถูก โดยอาศัยการใช้ของเหลวปริมาณน้อยให้ไหลบนกระดาษซึ่งเป็นวัสดุที่ชอบ

น้ำ (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, et al., 2015) ในปัจจุบันอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองมากขึ้น เช่น การตรวจสอบนิกเกิล อะลูมิเนียมและเหล็ก ในน้ำดื่ม โดยการกักเก็บของเหลวด้วยเทียนและออกแบบให้วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความจำเพาะ และเปรียบเทียบความถูกต้องกับวิธีมาตรฐาน Inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES และยังได้มีการออกแบบอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่สามารถใช้กับนักเรียน ได้แก่ การทดลองการตรวจสอบกรดอะมิโนในสารสกัดชาเขียว โดยใช้ปากกาไขว้ (wax pen) สร้างขอบเขตการไหลของสารละลายบนกระดาษกรองและประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียน (Cai, et al., 2013) นอกจากนี้ยังได้มีการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษกับนักศึกษาระดับปริญญาตรีในการตรวจสอบปริมาณไนโตรที่ไอออนโดยใช้ปากกาชนิดกันน้ำในการสร้างขอบเขตการไหลของสารละลายเป็นรูปวงกลม (Wang, Lin, & Wang, 2015)

ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงข้อดีของการใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ได้แก่ วัสดุอุปกรณ์หาง่าย ราคาถูก ใช้สารปริมาณน้อย มีความปลอดภัยกับผู้ทดลอง และให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้มาพัฒนาเพื่อใช้ในการทดสอบปริมาณของแคลเซียมในน้ำแร่ โดยอาศัยหลักการการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงระหว่างแคลเซียม และ ไกลออกแซล-บิส-(2-ไฮดรอกซีเอนิล) และตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองกับเทคนิคมาตรฐาน ได้แก่ เทคนิคคลอรีเมทรี และ เพลมโฟโตเมทรี อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่ใช้ในการตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในน้ำแร่ได้นำไปใช้ในบทปฏิบัติการระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ และประเมินผลการเรียนรู้จาก ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบบันทึกผลการทดลองระหว่างเรียน แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และความพึงพอใจต่อการทดลอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครู
2. เพื่อศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้จากการศึกษาด้วยเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่ โดยใช้เทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษสำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย 3 ด้าน ดังนี้
 - 2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนจากการใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่
 - 2.2 ทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ภายหลังจากการใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่
 - 2.3 ความพึงพอใจต่อการทดลองการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษในการตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในน้ำแร่ และเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้กับเทคนิคคลอรีเมทรี และเพลมโฟโตเมทรี อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ รายวิชาการผลิตสื่อและอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์และโครงการวิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา ระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์ และประเมินผลการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาการผลิตสื่อและอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์และโครงการวิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จำนวน 48 คน

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัย มีดังนี้

1. ตัวแปรต้น คือ เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่
2. ตัวแปรตาม คือ 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2) ทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ 3) ความพึงพอใจต่อการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่

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

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษที่พัฒนาขึ้นได้แก่ เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer, ผลิตโดย PerkinElmer, USA) และเครื่องเฟลมสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ผลิตโดย Jenway, UK)

2. ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นปรนัย 4 ตัวเลือก ใช้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 4 ด้าน ความรู้ความจำ ความเข้าใจ กระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการนำเอาความรู้ทางกระบวนการวิทยาศาสตร์ไปใช้ ผู้วิจัยสร้างข้อสอบจำนวน 1 ชุดๆ ละ 20 ข้อ มีขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพ ดังนี้ 1) กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้หรือผลการเรียนที่คาดหวังจะได้รับการประเมิน ความรู้ทั้ง 4 ด้าน ความรู้ ความจำ ความเข้าใจ กระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการนำเอาความรู้ทางกระบวนการวิทยาศาสตร์ไปใช้ 2) สร้างข้อสอบที่สอดคล้องกับคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้ ในการสร้างคำถามมีความชัดเจน ใช้ภาษาง่ายในการเขียนเป็นประโยคบอกเล่า แต่ละคำถามจะมีคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว ส่วนตัวเลือกจะเป็นประเด็นเรื่องเดียว มีความยาวใกล้เคียงกันและมีการกระจายคำตอบของข้อสอบทั้งฉบับให้มีสัดส่วนของแต่ละตัวเลือกใกล้เคียงกัน 3) พิจารณาคุณภาพของข้อสอบให้ครอบคลุมทั้งปัญหาและคำถามตัวเลือก และเหตุผลในการสร้างตัวเลือก รวมทั้งคำตอบที่ถูกต้อง 4) เกณฑ์การให้คะแนน ตอบถูก 1 คะแนน ตอบผิด 0 คะแนน 5) การตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยนำไปประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหา ความเหมาะสมของภาษา ได้ผลค่า IOC อยู่ในระหว่าง 0.60-1.00 จากนั้นผู้วิจัยดำเนินการแก้ไขตามคำแนะนำ ของผู้เชี่ยวชาญ

3. แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ใช้สำหรับประเมินหลังจากการเรียนบทปฏิบัติการเสร็จ มีขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพดังนี้ 1) กำหนดหัวข้อทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการทั้ง 5 ทักษะ ได้แก่ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง และการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป พร้อมทั้งเกณฑ์ในการวัด 2) สร้างแบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยผ่านการตรวจสอบของอาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไข 3) นำแบบ

ประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการที่ปรับปรุงแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจสอบพิจารณาความครอบคลุมเนื้อหา ความสอดคล้อง ระหว่างรายการประเมินแต่ละข้อกับผลที่คาดหวัง 4) จัดบันทึกผลการพิจารณาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5) จัดพิมพ์แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการที่ปรับปรุงแล้ว นำไปใช้กับกลุ่มทดลองหลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว

4. แบบประเมินความพึงพอใจต่อการทดลอง

แบบประเมินความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ มีลักษณะเป็นแบบประมาณค่า (Rating scale) กำหนดรายการให้เลือกตอบตามความจริง หลังจากที่ได้ศึกษา บทปฏิบัติการแล้ว พิจารณาตัดสินใจเลือก 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด เมื่อเรียนจบแต่ละบทปฏิบัติการให้เลือกทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อการทดลองและนำข้อมูลมาดำเนินการตรวจให้คะแนน

วิธีการทดลอง

1. การตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่ เก็บตัวอย่างน้ำแร่จากร้านสะดวกซื้อ 3 แห่ง ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อสาขาลาดบ้านคลอง จังหวัดพิษณุโลก, ร้านสะดวกซื้อภายในปั้มน้ำมัน สาขากำแพงเพชร-พิจิตร จังหวัดกำแพงเพชร และร้านสะดวกซื้อภายในปั้มน้ำมัน สาขาพิษณุโลกพลังงาน จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วยตัวอย่างน้ำแร่จำนวน 6 ตัวอย่าง ทำการตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ เปรียบเทียบกับเทคนิคคัลเลอร์เมทรีและเทคนิคเฟลมโฟโตเมทรี ดังนี้

1.1 อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่ทั้ง 6 ชนิดโดยหยดน้ำตัวอย่าง 1 หยด NaOH (ผลิตโดย Loba Chemie Pvt, India) เข้มข้น 0.8 M จำนวน 1 หยด และ Glyoxal-bis-(2-hydroxyanil, GBHA (ผลิตโดย Merck, Germany) 0.2 % w/v (ใน Methanol) จำนวน 1 หยด ลงในวงกลมที่วาดไว้บนกระดาษกรอง เปรียบเทียบสีแดงที่เกิดขึ้นกับสีแดงที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้นต่างๆ กับ NaOH และ GBHA บนกระดาษกรอง

1.2 เทคนิคคัลเลอร์เมทรี สร้างกราฟมาตรฐานที่ได้จากสารละลายมาตรฐาน แคลเซียม ความเข้มข้น 6.25-50 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแคลเซียม 5 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL เติมน้ำ NaOH 0.4 M ปริมาตร 1 mL และ GBHA เข้มข้น 0.05 % w/v (ใน Methanol) ปริมาตร 5 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกริมมาตรด้วยน้ำกลั่น วัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer, ผลิตโดย PerkinElmer USA) ที่ความยาวคลื่น 516 nm หาปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ชนิดโดย ปิเปตน้ำแร่ ชนิดละ 5 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL เติมน้ำ NaOH 1 mL และ GBHA 5 mL แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดบอกริมมาตรด้วยน้ำกลั่น วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 nm และคำนวณความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำแร่เทียบกับกราฟมาตรฐาน

1.3 เทคนิคเฟลมโฟโตเมทรี สร้างกราฟมาตรฐานแคลเซียมโดยเตรียมสารละลายแคลเซียมมาตรฐานเข้มข้น 0.39-100 mg/L จากสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 1000 mg/L (ผลิตโดย BDH Laboratory supplies, England) และดูดสารละลายและวัดค่าการคายแสงจากเครื่องเฟลมสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ผลิตโดย Jenway, UK) ตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในน้ำแร่ตัวอย่างโดยดูดสารละลายเข้าเครื่องเฟลมสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณความเข้มข้นโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

2. การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังการเรียนด้วยเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่ ก่อนนำเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งได้แก่นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร คณะครุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

ชั้นปีที่ 2 จำนวน 48 คน ให้นักศึกษาทำแบบทดสอบ Pre-test หลังจากนั้นนักศึกษาทดลองใช้เทคนิคการตรวจสอบ แคลเซียมในน้ำแร่ ให้ทำแบบทดสอบ Post-test ตามลำดับ

3. การศึกษาทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการต่อการใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่ การศึกษาทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ โดยการทำแบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ เรียนรู้ หลังจากนั้นนักศึกษาทดลองใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่เสร็จสิ้นแล้ว ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 คณะครุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

4. การศึกษาความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ การศึกษาความพึงพอใจต่อการทดลอง โดยการตอบแบบ ประเมินความพึงพอใจต่อการทดลองหลังจากนักศึกษาทดลองใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่เสร็จสิ้น แล้ว ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 คณะครุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มจาก 1) ประมวลผลและวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่ศึกษา โดยการทำการ ทดลองและสรุปผลการทดลองหาเทคนิควิธีที่เหมาะสม 2) ก่อนเรียนทดลองใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมใน น้ำแร่ ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดความรู้ ความเข้าใจ เป็นการประเมินตนเองก่อนเรียน 3) เมื่อสิ้นสุดการ ดำเนินการตามเทคนิควิธีให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบวัดความรู้ความเข้าใจ เป็นการประเมินตนเองหลังเรียน 4) นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนมาหาความแตกต่างด้วยค่า (t-test) 5) เมื่อทดลอง ใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่เสร็จ ให้ผู้เรียนทำแบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ และนำข้อมูลมาดำเนินการดังนี้

ตรวจให้คะแนนจากเกณฑ์ที่ตั้งไว้

1) เกณฑ์การประเมิน ทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ 5 ทักษะ แต่ละทักษะมี 5 ระดับ ดังนี้

5	หมายถึง	ดีมาก
4	หมายถึง	ดี
3	หมายถึง	พอใช้
2	หมายถึง	น้อย
1	หมายถึง	น้อยที่สุด

2) เกณฑ์แต่ละทักษะกำหนดคะแนนเต็มเท่ากัน คือ 5 คะแนน รวมคะแนนเต็มทั้งหมด 25 คะแนน การประเมินทักษะเมื่อรวมทั้ง 5 ทักษะ ใช้เกณฑ์ ดังนี้

ช่วงคะแนน	22.6-25.0	ดีมาก
ช่วงคะแนน	17.6-22.5	ดี
ช่วงคะแนน	12.6-17.5	พอใช้
ช่วงคะแนน	7.6-12.5	น้อย
ช่วงคะแนน	0.0-7.5	น้อยที่สุด

จากนั้นให้ผู้เรียนทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อการทดลอง โดยนำข้อมูลมาดำเนินการดังนี้

1) ตรวจให้คะแนนจากเกณฑ์ที่ตั้งไว้

มากที่สุด	ให้	5 คะแนน
มาก	ให้	4 คะแนน
ปานกลาง	ให้	3 คะแนน
น้อย	ให้	2 คะแนน

น้อยที่สุด ให้ 1 คะแนน

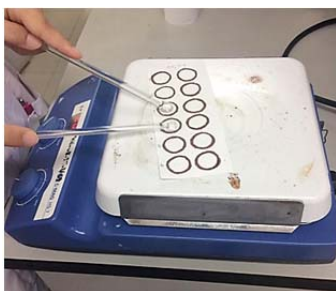
2) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยเกณฑ์ในการแปลความหมายจากค่าเฉลี่ยดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	1.00-1.49 = ระดับต่ำที่สุด หรือไม่มี
คะแนนเฉลี่ย	1.50-2.49 = ระดับต่ำ
คะแนนเฉลี่ย	2.50-3.49 = ระดับปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย	3.50-4.49 = ระดับดี
คะแนนเฉลี่ย	4.50-5.00 = ระดับดีมาก

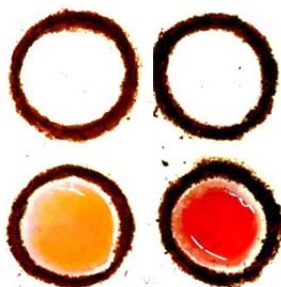
สรุปผลการวิจัย

1. การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่

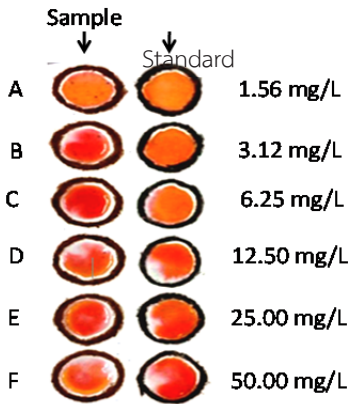
ได้ทำการพัฒนาเทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษเพื่อตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ตัวอย่าง โดยใช้สีเทียนขนาดรูปวงกลมขนาด 2 เซนติเมตร ให้ความร้อนจนสีเทียนซึมเข้าไปในรูพรุนของกระดาษ (ภาพที่ 1) โดยสีเทียนเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำและทำหน้าที่กำหนดขอบเขตสารละลายบนกระดาษกรอง ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนที่ชอบน้ำ จากนั้นหยดรีเอเจนต์ได้แก่ NaOH และ GBHA จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงภายในวงกลมของสีเทียน ดังภาพที่ 2 และเมื่อเทียบความเข้มของสีแดงด้วยตาเปล่ากับสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ภาพที่ 3) พบว่าอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมได้ตั้งแต่ 12.5 mg/L หรือ 12.5 ppm โดยให้สีแดงเข้มชัดเจน



ภาพที่ 1 การให้ความร้อนกับสีเทียน



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนสีของสารละลายจากเหลืองเป็นแดง



ภาพที่ 3 การตรวจสอบแคลเซียมด้วยเทคนิคของไหลจุลภาคแบบกระดาษ



ภาพที่ 4 สีของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (1.56-50.00 mg/L) สำหรับตรวจสอบด้วยเทคนิคคัลเลอร์ิเมทรี

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ จึงได้ทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมเปรียบเทียบกับเทคนิคคัลเลอร์ิเมทรี คำนวณความเข้มข้นของแคลเซียมในตัวอย่างจากการดูดกลืนแสงเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคลเซียม (ภาพที่ 4) โดยกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 1.56-50.00 mg/L มีสมการเส้นตรงเป็น $y = 0.0341x + 0.0183$ ($R^2 = 0.9987$) และเทียบกับเทคนิคเฟลมโฟโตเมทรี ซึ่งกราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงในช่วง 0.39-25.00 mg/L สมการเส้นตรงเป็น $y = 1.2148x + 0.2387$ ($R^2 = 0.9998$) ปริมาณแคลเซียมในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร หรือ พีพีเอ็ม ในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ชนิดแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าผลการทดลองที่ได้จากเทคนิคการวิเคราะห์ที่ต่างกัน 3 เทคนิคมีความสอดคล้องกันโดยปริมาณแคลเซียมที่วัดโดยเทคนิคคัลเลอร์ิเมทรีในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.40-56.74 พีพีเอ็ม

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่เมื่อใช้เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ต่างกัน

น้ำแร่	Colorimetry (mg/L)	Flame photometry (mg/L)	Paper-based microfluidic device (mg/L)
A	1.40	2.28	น้อยกว่า 12.5
B	39.37	36.34	มากกว่า 12.5
C	56.74	37.27	มากกว่า 12.5
D	29.09	16.25	มากกว่า 12.5
E	26.94	15.59	มากกว่า 12.5
F	26.62	13.07	มากกว่า 12.5

2. การใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครู จากการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษเพื่อใช้ในการทดสอบปริมาณแคลเซียมพบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ตรวจสอบปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างที่มีแคลเซียมมากกว่า 12.5 พีพีเอ็มขึ้นไป

โดยให้ผลการทดลองเป็นสีแดงบนกระดาษกรองสีขาวอย่างชัดเจน อุปกรณ์เตรียมง่าย ราคาถูกและ ใช้สารปริมาณน้อย จากข้อดีดังกล่าวจึงได้นำอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษไปใช้กับการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครู และประเมินผลการเรียนรู้ได้แก่

2.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง ก่อนและหลังการใช้เทคนิคการทดสอบแคลเซียม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนแตกต่างกัน คะแนนสอบหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนใช้เทคนิคและหลังใช้เทคนิค

กลุ่มตัวอย่าง	ผลการทดสอบ	N	\bar{X}	S.D.	t-test
นักศึกษาโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร รหัส 5911203 และ 5911204	ก่อน	48	9.67	1.69	19.62**
	หลัง	48	16.63	1.63	

2.2 การวิเคราะห์ทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ คะแนนเฉลี่ยทั้ง 5 ทักษะของผู้เรียนทุกคนผ่านเกณฑ์การประเมินและมีผลการประเมินอยู่ในระดับดี ซึ่งได้แก่ การกำหนดและควบคุมตัวแปร การตั้งสมมติฐาน การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง และการตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทักษะทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

รายการประเมิน	คะแนนเต็ม	\bar{X}	S.D.
1. การกำหนดและควบคุมตัวแปร	5	3.69	0.24
2. การตั้งสมมติฐาน	5	3.69	0.22
3. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	5	3.63	0.21
4. การทดลอง	5	4.25	0.21
5. การตีความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป	5	4.03	0.37
คะแนนรวมทั้งหมด 25 คะแนน		19.29	
คะแนนเฉลี่ย (\bar{X})		3.86	
แปลผลระดับคะแนน		ดี	

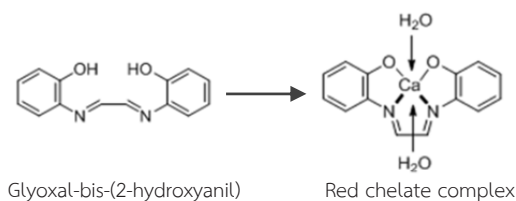
2.3 ความพึงพอใจต่อการทดลอง ด้านการใช้ประโยชน์ ด้านความพึงพอใจ และด้านความรู้ความเข้าใจ ในระดับดีถึงดีมากทุกข้อ โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4.47 ผลการประเมินความพึงพอใจแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการทดลองการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำโดยใช้หลักการของไหลจุลภาคแบบกระดาษ

หัวข้อ	\bar{X}	SD	ความพึงพอใจอยู่ในระดับ
ด้านการใช้ประโยชน์			
1. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมี	4.56	0.54	ดีมาก
2. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษช่วยลดปริมาณการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม	4.52	0.50	ดีมาก
3. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษทำให้ลดระยะเวลาในการทดลอง	4.40	0.61	ดี
4. อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษช่วยให้การประเมินผลการทดลองง่ายขึ้น	4.43	0.58	ดี
ด้านการทดลอง			
1. ความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์	4.54	0.54	ดีมาก
2. ความสะดวกในการทดลอง	4.50	0.58	ดีมาก
3. เทคนิคการทดลองมีความน่าสนใจ	4.50	0.50	ดีมาก
ด้านความรู้ความเข้าใจ			
1. เทคนิคการทดลองทำให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหา	4.42	0.51	ดี
2. สามารถทบทวนเนื้อหาย้อนหลังได้จากผลการทดลองที่ได้	4.40	0.54	ดี

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่โดยใช้หลักการของไหลจุลภาคแบบกระดาษ พบว่า สามารถตรวจสอบปริมาณแคลเซียมได้ตั้งแต่ 12.5 mg/L โดยสีของสารละลายจะมีสีแดงเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนดังภาพที่ 5 รูปแบบอุปกรณ์แบบวงกลมสามารถสังเกตเห็นปฏิกิริยาได้ชัดเจนและการใช้สีย้อมซึ่งมีส่วนผสมของไขมันสัตว์หรือขี้ผึ้งทำหน้าที่กักสารไม่ให้ซึมออกมาจนขอบเขตที่กำหนดไว้ได้อย่างดี และยังพบว่า สามารถประหยัดรีเอเจนต์ที่ใช้ทดสอบได้แก่ Glyoxal-bis-(2-hydroxyanil) ได้มากกว่าบทปฏิบัติการเดิมที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง และลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 5 สมการเคมีของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง GBHA และ Ca^{2+}
(Perjési, Almási, & Rozmer, 2014)

เนื่องจากแคลเซียมจำเป็นต่อการทำงานของร่างกายมนุษย์ โดยผู้ใหญ่อายุ 19-50 ปี ควรบริโภคอาหารที่มีแคลเซียม 1000 มิลลิกรัม ดังนั้นปริมาณแคลเซียม ในเครื่องดื่มและอาหารจึงเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับผู้บริโภค งานวิจัยปริมาณแคลเซียมในน้ำแร่ในประเทศไทย ในปัจจุบันพบว่ายังมีน้อย โดยผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าแคลเซียมในน้ำแร่ 6 ชนิดที่นำมาตรวจสอบ (เทคนิคคัลเลอรีเมทรี) อยู่ระหว่าง 1.40-56.74 แต่ในต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย พบว่าปริมาณแคลเซียม ในน้ำแร่อยู่ในช่วง 1.59-25.06 mg/L (Azlan, et al., 2012) และในประเทศลิทัวเนีย พบว่ามีปริมาณแคลเซียมอยู่ในน้ำแร่ในช่วง 4.2-220 mg/L (Uzdavinienė & Tautkus, 2007)

การนำเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำโดยใช้หลักการของไหลจลภาคแบบกระดาศ ที่พัฒนาและประยุกต์ขึ้นไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง แล้ววัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ได้เรียนปฏิบัติการการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ของไหลจลภาคแบบกระดาศที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการที่มีความแตกต่างกัน โดยคะแนนสอบหลังเรียนของนักศึกษาสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ผลดังกล่าวมาจากกระบวนการเรียนการสอนเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำแร่โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจลภาคแบบกระดาศ ซึ่งเป็นเทคนิคที่เตรียมง่าย อุปกรณ์มีราคาถูก ทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปฏิบัติการทดลองทุกคน การใช้สารปริมานน้อยนอกจากจะเป็นการประหยัดสารแล้วยังทำให้ผู้เรียนรู้สึกมั่นใจในความปลอดภัย การเรียนการสอนด้วยอุปกรณ์ของไหลจลภาคแบบกระดาศทำให้ผู้เรียน มีลำดับในการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องและได้เอากระบวนการเรียนรู้ จากการทดลองมารวมอภิปรายผลการทดลอง และลงข้อสรุปสู่ทฤษฎีและการทำแบบฝึกหัดทบทวนทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ ได้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาทักษะทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการของนักศึกษาที่เรียนด้วยเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ของไหลจลภาคแบบกระดาศ พบว่า อยู่ในระดับดี แสดงว่าเทคนิคดังกล่าวมีคุณภาพ ช่วยเพิ่มทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนเกิดประสบการณ์ทางการเรียนรู้นั้น วิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะทักษะในด้านการทดลอง

จากการศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการทดลองด้วยเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำโดยใช้หลักการของไหลจลภาคแบบกระดาศ พบว่าอยู่ในระดับดีถึงดีมาก แสดงว่าบทปฏิบัติการมีคุณภาพช่วยเพิ่มความกระตือรือร้นในการเรียน และแรงจูงใจให้ผู้เรียนสนใจการเรียนมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไป

การตรวจวัดสีที่ได้จากปฏิกิริยามีหลายเทคนิคเช่นการสังเกตด้วยตาเปล่า ซึ่งมีข้อดีคือสะดวก แต่สีที่เกิดขึ้นต้องมีความชัดเจนง่ายแก่การสังเกต ทั้งนี้หากสารที่มีปริมาณน้อยส่งผลให้สีที่เกิดขึ้นสังเกตยาก อาจใช้การตรวจวัดสีด้วยกล้องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ร่วมกับซอฟต์แวร์การอ่านค่าสี

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง GBHA กับ Ca^{2+} เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและหากตั้งทิ้งไว้นาน สีที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลง จึงต้องทำการตรวจวัดสีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจพัฒนางานวิจัยด้านฟิสิกส์ของนาโนลิซซควคคู่กับเทคนิคคัลเลอรีเมทรีเพื่อการตรวจวิเคราะห์ที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

2. การสอนโดยใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในน้ำโดยใช้หลักการของไหลจลภาคแบบกระดาศ ผู้สอนต้องพยายามเชื่อมโยงผลการทดลองที่ได้เข้ากับหลักการทางทฤษฎีเพราะจะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาและสรุปเป็นความคิดรวบยอดได้

References

- Azlan, A., et al. (2012). Evaluation of Minerals Content of Drinking Water in Malaysia. **The Scientific World Journal**, (1), 1-10.
- Cai, L., et al. (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**, **90**(2), 232-234.
- Cate, D.M., et al. (2015). Recent Developments in Paper-Based Microfluidic Devices. **Analytical Chemistry**, **87**(1), 19-41.
- Lyra, F.H., et al. (2010). Determination of Na, K, Ca and Mg in biodiesel samples by flame atomic absorption spectrometry (F AAS) using microemulsion as sample preparation. **Microchemical Journal**, **96**(1), 180-185.
- Pereira, J.B. & Dantas, K.G.F. (2016). Evaluation of inorganic elements in cat's claw teas using ICP OES and GF AAS. **Food Chemistry**, **196**, 331-337.
- Perjési, P., Almási, A., & Rozmer, Z. (2014). **Pharmaceutical Chemistry I – Laboratory**. Experiments and Commentary : Department of Pharmaceutical Chemistry, University of Pécs Medical School.
- Pickett, E.E. (2005). ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY | Flame Photometry* A2 - Worsfold, Paul. In A. Townshend & C. Poole (Eds.), **Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)** (pp. 203-210). Oxford : Elsevier.
- Uždavinienė, D., & Tautkus, S. (2007). Determination of calcium in mineral waters by flame atomic absorption spectrometry. **CHEMIJA**, **18**(4), 34-37.
- Wang, B., Lin, Z., & Wang, M. (2015). Fabrication of a Paper-Based Microfluidic Device To Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay. **Journal of Chemical Education**, **92**(4), 733-736.