

แผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินนิงตรวจวัดด้วยตาเปล่าสำหรับวิเคราะห์ไซยาไนด์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการหมัก
มันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล

Electrospun fiber kits based on naked eyes detection of cyanide analysis in waste water
samples from cassava fermentation process for ethanol production

รมย์ธีรา เชื้อโชติ^{1,3,*}, รณฤทธิ นาโควงศ์^{2,3}

Romteera Chueachot^{1,3,*}, Ronariddh Nakhawong^{2,3}

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี ประเทศไทย 34000

¹Program of Chemistry, Faculty of Science, Ubonratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani, 34000 Thailand

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี ประเทศไทย 34000

²Program of Physics, Faculty of Science, Ubonratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani, 34000 Thailand

³ห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุนาโนเฉพาะทางและอิเล็กโตรสปินนิง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี ประเทศไทย 34000

³Functional Nanomaterial & Electrospinning Research Laboratory, Faculty of Science, Ubonratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani, 34000 Thailand

*Corresponding Author: romteera.c@ubru.ac.th

Received: 15 September 2017; Revised: 20 October 2017; Accepted: 21 October 2017; Available online: 1 December 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการตรวจวัดหาปริมาณไซยาไนด์โดยอาศัยปฏิกิริยานินไฮดรินในแผ่นเส้นใยทดสอบร่วมกับการเตรียมตัวอย่างแบบการกลั่นด้วยชุดกลั่นขนาดเล็กโดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของกรด ซึ่งการเตรียมแผ่นเส้นใยใช้วิธีโซล-เจลแล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ความต่างศักย์ที่ 15 กิโลโวลต์ ที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่ร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการเกิดเจลที่ 40 ถึง 50 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารประกอบนินไฮดรินที่ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ปริมาณของเมโซพอร์ซิลิกาที่ 3 โดยน้ำหนัก และเวลาในการแช่แผ่นเส้นใยทดสอบที่เวลา 5 นาที จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดไซยาไนด์ด้วยวิธีการตรวจวัดสีด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร จากการหาขีดจำกัดของการตรวจวัดของแผ่นเส้นใยทดสอบที่ได้นี้สามารถตรวจวัดปริมาณของไซยาไนด์ในระดับมิลลิกรัมต่อลิตร ประยุกต์ใช้กับตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการหมักมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจวัดแบบสารละลาย โดยตัวอย่างน้ำเสียไม่พบการปนเปื้อนของไซยาไนด์ ดังนั้นแผ่นเส้นใยทดสอบที่พัฒนาขึ้นนี้มีศักยภาพในการตรวจหาไซยาไนด์ได้เบื้องต้นและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในน้ำเสีย

คำสำคัญ: กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต; ไซยาไนด์; แผ่นเส้นใยทดสอบ; การตรวจวัดด้วยตาเปล่า

©2017 Sakon Nakhon Rajabhat University reserved

Abstract

The aim of research is to develop the electrospun fibers for cyanide detection based on ninhydrin and acidic hydrolysis reaction. The fibers were prepared by sol-gel method and then formation fibers with electrospinning method. A high voltage of 15 kV, the distance between the needle tip and collector of 15 cm and flow rate of 1 mL h⁻¹ were used for electrospinning method. The optimum conditions for cyanide detection were used 25 wt% ninhydrin concentration, 3 wt% mesoporous silica concentration and contact time 5 mins. The fibers were investigated the performance quantities the cyanide detection by spectrophotometry at wavelength 480 nm. The detection limit of the cyanide test strip was found in mg L⁻¹ level. Consequently, fibers were applied to waste water from cassava fermentation compare with batch analysis. The results showed that no detection the cyanide was observed in the sample. The electrospun fibers test strip can be detected cyanide with pre-screening test and suitable for selective choice in cyanide detection in waste water.

Keywords: Electrospinning process; Cyanide; Test strip; Naked eyes detection

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและเป็นปัจจัยพื้นฐานการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอมีราคาที่เหมาะสมและมีคุณภาพที่ดี สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและความต้องการใช้ในกิจกรรมการผลิตต่างๆ ได้อย่างเพียงพอ ทั้งนี้ในปัจจุบันจะมุ่งถึงการที่จะพัฒนาพลังงานจากแหล่งที่มาประเภทที่ใช้แล้วไม่หมดไป เช่น การพัฒนาใช้แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักมันสำปะหลังซึ่งเป็นพืชพลังงานที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยหัวและรากมันสำปะหลังจะมีแป้งที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการหมักเป็นเอทานอล แต่เนื่องจากในรากและมันสำปะหลังดิบนั้นมีสารลิมานาริน (Limanarin) และมีเอนไซม์ลิมานารินเนส (Limanarinase) ซึ่งสามารถย่อยเปลี่ยนรูปลิมานารินกลายเป็นสารไซยาไนด์ได้ โดยไซยาไนด์เป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษสูง ทำให้เสียชีวิตได้ในเวลารวดเร็ว [1 – 3] จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากการหมักมันสำปะหลังนั้น มีปัญหาการปนเปื้อนของสารไซยาไนด์อยู่ในตัวอย่างน้ำเสีย ดังนั้นถ้าในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีการปนเปื้อนไซยาไนด์เกินเกณฑ์มาตรฐาน จะส่งผลให้ระบบสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศนั้นถูกทำลายได้ ทำให้สิ่งมีชีวิตอันตรายเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ อีกเหตุผลหนึ่งคือสำหรับวิธีวิเคราะห์ยังคงต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญและเครื่องมือขั้นสูงในการตรวจวิเคราะห์ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิต

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์มีงานวิจัยอย่างแพร่หลายและสามารถตรวจวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น สเปกโทรฟลูออโรโฟโตเมทรี [4, 5] ยูวี-วิซิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทรี [6] โพวอินเจกชัน [7] รวมทั้งในปัจจุบันนิยมใช้ระบบเซนเซอร์ทางเคมี [8, 9] เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ แต่ข้อจำกัดคือยังคงใช้กลไกทางเคมีซับซ้อน วิธีการใช้หลายขั้นตอนและใช้สารเคมีที่มีราคาแพง จึงทำให้ไม่สะดวกและยุ่งยากมากในการปฏิบัติงานจริง ดังนั้นวิธีการตรวจวัดโดยใช้แผ่นทดสอบ (Test strip) [9,10] จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาศัยการทำปฏิกิริยาในแผ่นทดสอบ (In-situ analysis) โดยวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเบสในการขึ้นรูปนั้นมีอยู่หลายแบบ เช่น กระดาษ และในปัจจุบันนิยมใช้พอลิเมอร์ร่วมกับการขึ้นรูปที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น การสปัตเตอริง (Sputtering) สปินโคตติ้ง (Spin coating) และการปั่นเส้นใย สำหรับวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปเส้นใยโดยใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการผลักดันสารละลายให้เกิดเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กได้ แผ่นเส้นใยที่ขึ้นรูปด้วยระบบอิเล็กโตรสปินนิงนั้น มีขนาดเล็กตั้งแต่ขนาดไมโครเมตรถึงนาโนเมตร ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้จะทำให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งานในด้านวิเคราะห์แล้วนั้น ลักษณะเส้นใยนี้คือมีพื้นผิวสูงช่วยทำให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องและแม่นยำสูง โดยอาศัยการทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่ทำให้เกิดสีแล้วสามารถวัดด้วยทางสายตาได้ (Naked eyes detection) [11, 12]

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเน้นศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารไซยาไนด์และวิธีวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากการหมักมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นเอทานอล โดยแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์สปันด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์สปันนิ่ง โดยงานวิจัยนี้เลือกพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิคาร์โพรแลคโตน (Polycaprolactone, PCL) และพอลิอะคริโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile, PAN) เพื่อให้แผ่นเส้นใยนาโนมีสมบัติเป็นทั้งส่วนชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แล้วอาศัยการทำปฏิกิริยากับสารที่ทำให้เกิดสีเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นทดสอบแบบตรวจวัดด้วยสายตาหาปริมาณไซยาไนด์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรีและนำไปประยุกต์ใช้จริงกับตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกรดวิเคราะห์ โดยใช้โพแทสเซียมไซยาไนด์ (Anala[®], อังกฤษ) คอปเปอร์ (I) คลอไรด์ (Laboratory BHD Reagent, อังกฤษ) กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตและแอมโมเนียมคลอไรด์ (Qrec chemical, สวิสเซอร์แลนด์) คอปเปอร์ (II) ไนเตรต และคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (Ajax Finechem, ออสเตรเลีย) โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมฟอสเฟต ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ และโพแทสเซียมไฮโอไซยานेट (Carlo Erba, อิตาลี) นินไฮดริน (sd fine-chem limited, อินเดีย) พอลิคาร์โพรแลคโตน และพอลิอะคริโลไนไตรล์ (Sigma-aldrich, สหรัฐอเมริกา)

ศึกษาผลของความเข้มข้นของพอลิเมอร์

งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 14, 16 และ 18 โดยน้ำหนัก ซึ่งขั้นตอนเริ่มจากนำตัวทำละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดเตรียมสาร จากนั้นเติมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดให้มีความเข้มข้นตามที่ศึกษา แล้วทำให้เกิดเป็นเจลโดยผ่านกระบวนการโซลเจล ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 ถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นพักสารละลายที่เตรียมได้ในอุณหภูมิห้องเพื่อในสารละลายคงที่พร้อมในการขึ้นเป็นแผ่นเส้นใย จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปในขั้นตอนนี้คือ ระยะห่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับเท่ากับ 15 เซนติเมตร ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 20 กิโลโวลต์ และอัตราเร็วในการไหลของสารละลายเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (JSM model 6010LV, JEOL, ญี่ปุ่น)

ศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาศักย์ไฟฟ้าที่ 10 15 และ 20 กิโลโวลต์ โดยสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปในขั้นตอนนี้คือ ระยะห่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับเท่ากับ 15 เซนติเมตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เท่ากับร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก และอัตราเร็วในการไหลของสารละลายเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำของแผ่นเส้นใย (Water absorption test)

ตัดแผ่นเส้นใยให้ได้ขนาด 5 × 5 ตารางเซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกผล จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาชั่งน้ำหนักแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Water absorbtion (\%)} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ W_0 คือ น้ำหนักของแผ่นเส้นใยก่อนการดูดซับ (กรัม) และ W_t คือ น้ำหนักของแผ่นเส้นใยหลังการดูดซับ (กรัม)

ศึกษาสมบัติของแผ่นเส้นใยต่อไซยาไนด์ไอออน

นำแผ่นเส้นใยที่ได้ไปทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาสารไซยาไนด์ในตัวอย่างต้นแบบ (Model solution) โดยขั้นตอนนี้เติมสารประกอบไนไฮดรินความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และวัสดุช่วยในการดูดซับคือเมโซพอร์ซิลิกาขนาดนาโนที่ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก นำแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้จากสภาวะที่เหมาะสมไปทดสอบสมบัติเชิงแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (90+PG Instruments Ltd, อังกฤษ) โดยทำการทดสอบการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาของสารประกอบไนไฮดรินต่อไซยาไนด์ไอออนในแผ่นเส้นใยทดสอบในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 800 นาโนเมตร

ศึกษาผลของเวลาในการแช่แผ่นเส้นใยในสารละลายไซยาไนด์

สารประกอบไนไฮดรินในแผ่นเส้นใยจะทำปฏิกิริยากัน โดยใช้ไซยาไนด์ไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเวลาการแช่แผ่นเส้นใยทดสอบในช่วงเวลา 5 ถึง 60 นาที จากนั้นนำแผ่นเส้นใยไปทดสอบการดูดกลืนแสง

ศึกษาความเสถียรภาพของแผ่นเส้นใยต่อเวลา

จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไนไฮดรินกับไซยาไนด์นั้นจะเกิดสีก่อนขึ้นบริเวณแผ่นเส้นใยทดสอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเสถียรภาพของสีที่เกิดขึ้นเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการทดสอบกับสารละลายไซยาไนด์ไปแล้ว โดยจะศึกษาเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นไปทดสอบการดูดกลืนแสง

ศึกษาผลของตัวรบกวน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตัวไอออนอื่นๆ ที่มีผลต่อสีที่เกิดขึ้นบนแผ่นเส้นใยทดสอบ โดยจะเลือกเฉพาะแอนไอออนเท่านั้น คือ CH_3COO^- , SCN^- , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} และ PO_4^{3-} ที่ความเข้มข้นของแอนไอออน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแช่แผ่นเส้นใยเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทดสอบการดูดกลืนแสง

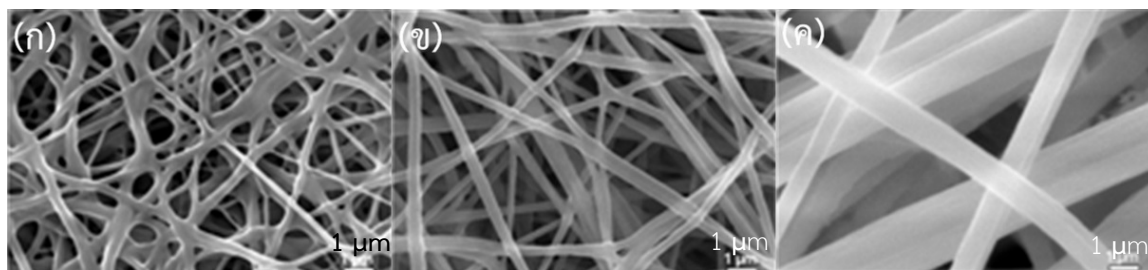
การวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในตัวอย่างจริง

ตัวอย่างจริงที่ใช้ทดสอบครั้งนี้คือ น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการหมักมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นเอทานอล ซึ่งวัตถุดิบในการหมักเอทานอลคือ มันสำปะหลัง งานวิจัยนี้จะต้องมีการเปลี่ยนรูปของไซยาไนด์รูปแบบอื่นๆ ให้อยู่ในรูปของไซยาไนด์ทั้งหมด วิธีการทดสอบเริ่มจากการเตรียมตัวอย่างด้วยชุดกลั่นขนาดเล็ก โดยสภาวะในการเตรียมตัวอย่างนั้นคือ ใช้คิวบัสคลอไรด์ เป็นตัวรีดิวซ์ ใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาตรของตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร อุณหภูมิในการกลั่น 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการกลั่น 30 นาที [13] จากนั้นนำแผ่นเส้นใยที่เตรียมไว้ไปจุ่มแช่ในตัวอย่างแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ด้วยสารละลาย (Batch analysis)

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ผลของความเข้มข้นของพอลิเมอร์

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นเส้นใยนั้นส่งผลถึงความหนืดของสารละลาย โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันตั้งที่ร้อยละ 14, 16 และ 18 โดยน้ำหนัก จากภาพที่ 1(ก) เป็นลักษณะของเส้นใยที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ร้อยละ 14 โดยน้ำหนัก จะเกิดการติดกันของเส้นใยเกิดเป็นตารางหรือร่างแห เนื่องจากความเข้มข้นของพอลิเมอร์นั้นเจือจางเกินไป และภาพที่ 1(ค) พบว่าที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก เส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นมาก ซึ่งจะส่งผลถึงพื้นผิวสัมผัสที่ลดลงตามไปด้วย ส่วนภาพที่ 1(ข) พบว่าที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก เส้นใยที่ได้มีขนาดเรียบและเส้นใยนั้นมีขนาดที่เล็กสม่ำเสมอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่ร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้

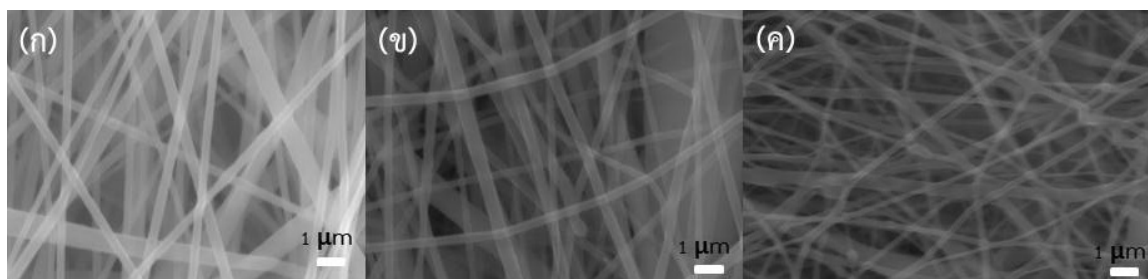


ภาพที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ความเข้มข้น (ก) ร้อยละ 14 (ข) ร้อยละ 16 และ (ค) ร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

ผลของความต่างศักย์

1 μm

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนาโนพอลิคาโพรแลคโตนที่เตรียมเป็นแผ่นเส้นใยเมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยโดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 10, 15 และ 20 กิโลโวลต์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก พบว่าแผ่นเส้นใยที่ได้ทั้ง 3 เรือนไข เส้นใยที่ได้เป็นเส้นใยที่ไม่ถักทอ (Non-woven) ลักษณะที่สังเกตด้วยตาเบื้องต้นทำให้เห็นว่าแผ่นเส้นใยทั้ง 3 แบบมีลักษณะเรียบ เหนียว มีสีขาว ยืดหยุ่นได้ดี

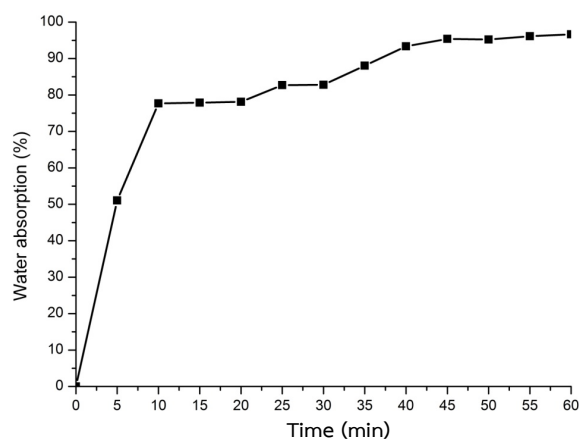


ภาพที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ศักย์ไฟฟ้า (ก) 10 (ข) 15 และ (ค) 20 กิโลโวลต์

จากการเตรียมสารละลายของพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก จากภาพที่ 2(ก) พบว่าที่ศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ เส้นใยที่ได้มีลักษณะค่อนข้างเรียบ ไม่พบเม็ดปม (Beads) เส้นใยยาวต่อเนื่องหลายมิลลิเมตรหลังจากเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเป็น 15 กิโลโวลต์ เส้นใยยังคงมีลักษณะเรียบ มีขนาดใกล้เคียงกัน และยาวต่อเนื่อง เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงมีค่าประมาณ ดังภาพที่ 2(ข) เมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ พบว่าเส้นใยมีขนาดที่เล็กลงดังภาพที่ 2(ค) ซึ่งผลที่ได้ทำให้พบว่า เส้นใยมีขนาดเล็กลงเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ลำพอลิเมอร์ที่พุ่งออกจากปลายเข็มถูกดึงยืดมากและมีการเสียดตัวคล้ายไส้ โดยการเสียดตัว (Bending instability) ของลำพอลิเมอร์ทำให้ลำพอลิเมอร์เกิดการแกว่งมากขึ้นทำให้เส้นใยมีขนาดที่เล็กลง ไม่เพียงเท่านั้นทั้งความเข้มข้นของพอลิเมอร์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงฉากรองรับ ฯลฯ ล้วนมีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ เนื่องจากเส้นใยที่ได้มีลักษณะค่อนข้างที่เหมาะสม เรียบ ไม่ติดกัน ยาวต่อเนื่องสม่ำเสมอ และเส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กซึ่งเหมาะสำหรับการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

ความสามารถในการดูดซับน้ำของแผ่นเส้นใย (water absorption test)

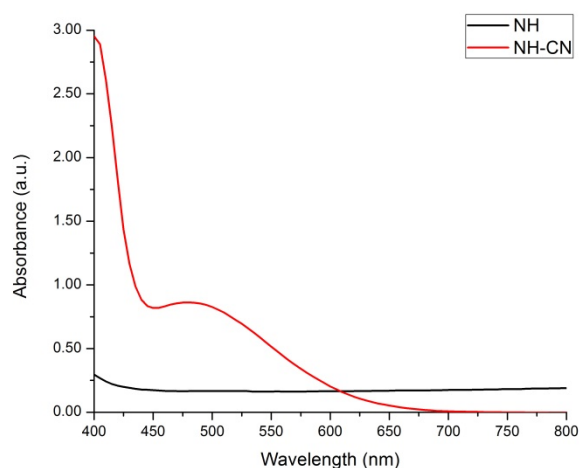
จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยทำการทดสอบการแช่แผ่นเส้นใยในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในภาพที่ 3 พบว่า การดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แต่จะค่อยๆ คงที่ที่เวลา 40 นาที โดยความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 51.05 ถึง 96.65 แสดงให้เห็นว่า แผ่นเส้นใยที่ทำการเตรียมขึ้นนั้น มีความสามารถในการดูดซับสารละลายตัวอย่างโซดาไนด์ได้ดีนั่นเอง



ภาพที่ 3 ร้อยละการดูดซับน้ำที่ได้จากแผ่นเส้นใยที่เวลาต่างๆ

ผลแปดริ่มของสารประกอบนินไฮดรินในแผ่นเส้นใยทดสอบ

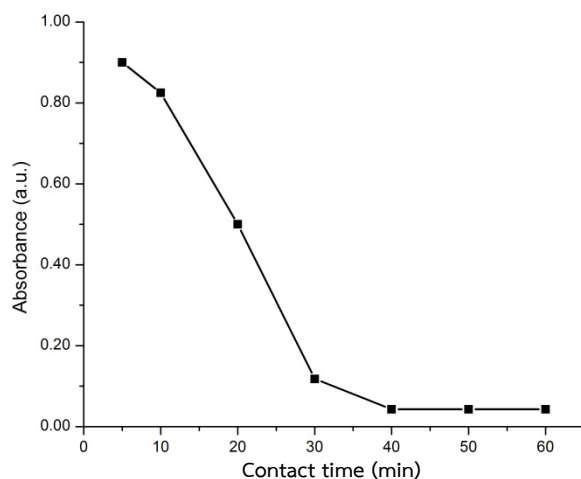
งานวิจัยนี้ได้อาศัยปฏิกิริยาของสารประกอบนินไฮดรินในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ โดยจะทำปฏิกิริยาในรูปของไซยาไนด์อิสระแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบที่มีสีเกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เป็นการวัดแบบทางอ้อมโดยไซยาไนด์ไอออนนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้สารประกอบนินไฮดรินทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นสารประกอบไฮดรินดาตริ่น จากการศึกษาแผ่นเส้นใยทดสอบโดยมีสารประกอบนินไฮดรินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากภาพที่ 4 ได้ทำการทดสอบการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วง 400 ถึง 800 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงคลื่นวิสิเบิล โดยจะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร



ภาพที่ 4 สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยที่มีสารประกอบนินไฮดรินกับสารละลายไซยาไนด์

ผลของเวลาในการแช่แผ่นเส้นใยในสารละลายไซยาไนด์

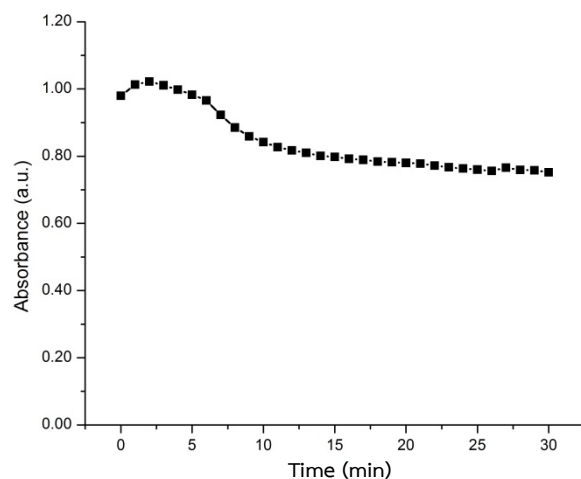
แผ่นเส้นใยที่เตรียมขึ้นนั้นจะมีสารประกอบนินไฮดรินจะอยู่บริเวณผิวของสายโซ่ของพอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อมีการจุ่มแผ่นเส้นใยลงในสารละลายไซยาไนด์ จะทำให้สารละลายไซยาไนด์แทรกเข้าไปในสายโซ่พอลิเมอร์ได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเวลาในการจุ่มแผ่นฟิล์มในสารละลายไซยาไนด์ โดยได้ศึกษาที่เวลา 5 ถึง 60 นาที จากภาพที่ 5 จะเห็นว่า เมื่อแผ่นเส้นใยสัมผัสกับสารละลายไซยาไนด์ในเวลาที่แตกต่างกัน ถ้าเวลาเพิ่มขึ้นจะให้ค่าดูดกลืนแสงลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารประกอบนินไฮดรินจะถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของน้ำ ทำให้หลุดออกจากแผ่นเส้นใย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะจุ่มแผ่นเส้นใยลงในสารละลายไซยาไนด์เพียง 5 นาที



ภาพที่ 5 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของแผ่นเส้นใยที่เวลาต่างกัน

ความเสถียรภาพของแผ่นเส้นใยต่อเวลา

จากการศึกษาความเสถียรภาพของสีที่เกิดขึ้นในแผ่นเส้นใยนาโนต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยได้ทำการศึกษาที่ช่วงเวลา 0 ถึง 30 นาที จากภาพที่ 6 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปค่าการดูดกลืนคลื่นแสงจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 0 ถึง 10 นาที แต่เมื่อเวลาตั้งแต่ 10 นาทีขึ้นไป ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้จะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยหรือเริ่มคงที่ เนื่องจากการที่ไซยาไนด์ได้เข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนไฮดรินในแผ่นเส้นใยได้คงที่ จึงส่งผลทำให้ความเสถียรภาพของสีในแผ่นเส้นใยนั้นคงที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะวิเคราะห์หลังจากแผ่นเส้นใยทำปฏิกิริยาไปแล้ว 10 นาที



ภาพที่ 6 ความเสถียรภาพของแผ่นเส้นใยต่อเวลา

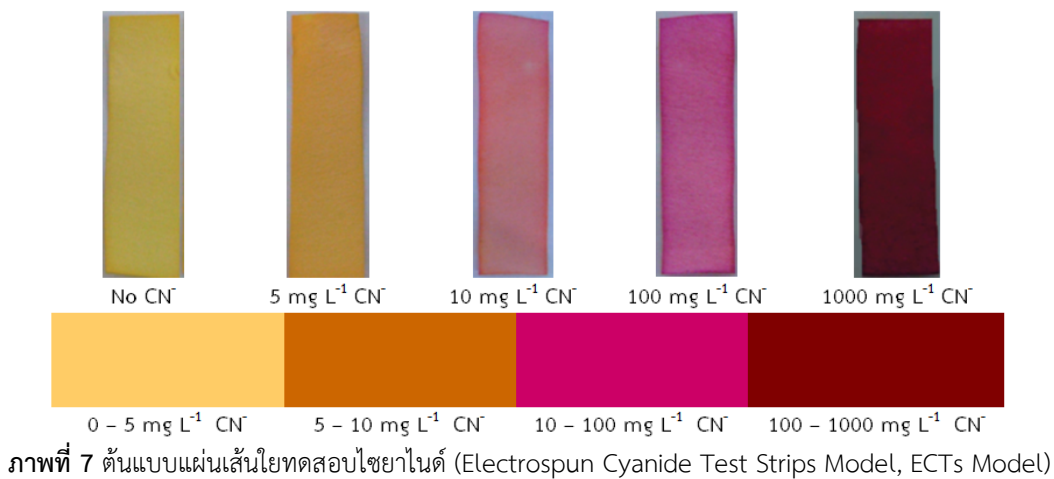
ผลของตัวรบกวน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาชนิดตัวรบกวนที่เป็นแบบแอนไอออน เช่น CH_3COO^- , SCN^- , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} และ PO_4^{3-} ผลปรากฏว่าแอนไอออนดังกล่าวไม่มีผลรบกวนต่อค่าดูดกลืนคลื่นแสงของไนไฮดรินแล้วไซยาไนด์เลย โดยผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัย [5] ที่ผ่านมาโดยได้ทำงานศึกษาตัวรบกวนทั้งชนิดที่เป็นแอนไอออนและแคทไอออน ทุกไอออนนั้นส่งผลต่อค่าดูดกลืนคลื่นแสงของไซยาไนด์น้อยมาก

การประเมินค่าทางเคมีวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ไซยาไนด์ด้วยแผ่นเส้นใย

การวิเคราะห์ทางเคมีนั้นจะมีตัวแปรเพื่อบ่งบอกถึงความแม่นยำและความถูกต้องของการตรวจวัดด้วยวิธีนั้นๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาค่าทางเคมีวิเคราะห์ ดังนี้จากการศึกษาหากราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณของไซยาไนด์นั้น ได้ทำการศึกษาที่ความเข้มข้น 200 ถึง 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของไซยาไนด์ไอออน จะพบว่ากราฟมาตรฐานที่ได้นั้นจะมีสมการเส้นตรงเท่ากับ $y = (7.405 \times 10^{-4})x + 0.1187$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9964$ ซึ่งสมการเส้นตรงที่ได้นั้นสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณของไซยาไนด์ในตัวอย่างต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีขีดจำกัดในการตรวจวัดเท่ากับ 82.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [13] แต่ค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้ยังคงมีค่าสูงกว่าทุกงานวิจัยที่เป็นการวิเคราะห์โดยใช้สารละลาย

จากการประเมินค่าทางด้านเคมีวิเคราะห์นั้น แผ่นเส้นใยที่ได้พัฒนานั้นสามารถตรวจวัดไซยาไนด์ในตัวอย่างได้เบื้องต้น (Pre-screening test) โดยสามารถนำไปใช้ได้ภายนอกห้องปฏิบัติการและสามารถวัดไซยาไนด์ได้ที่มีความเข้มข้นระดับมิลลิกรัมต่อลิตรได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาเป็นแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทดสอบไซยาไนด์ได้ (Electrospun Cyanide Test Strips) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ต้นแบบแผ่นเส้นใยทดสอบไซยาไนด์ (Electrospun Cyanide Test Strips Model, ECTs Model)

การวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในตัวอย่างจริง

จากการทดสอบหาปริมาณไซยาไนด์ในตัวอย่างจริง โดยได้ทำการวิเคราะห์แบบแผ่นเส้นใยที่ทำการพัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์แบบสารละลาย ผลปรากฏว่า ในตัวอย่างน้ำเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นไม่มีไซยาไนด์ปนเปื้อนอยู่เลย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในตัวอย่างจริงแบบแผ่นเส้นใยและแบบสารละลาย

วิธีทดสอบ	ปริมาณไซยาไนด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Electrospun Cyanide Test Strips, ECTs	n.d.
Cyanide batch analysis	n.d.

n.d. = not detect

ดังนั้นจากงานวิจัยสามารถประยุกต์ใช้แผ่นเส้นใยตรวจสอบปริมาณไซยาไนด์เบื้องต้นในตัวอย่างน้ำเสียจากการหมักมันสำปะหลังที่ ได้โรงงานอุตสาหกรรมได้ อีกทั้งแผ่นเส้นใยทดสอบไซยาไนด์นี้ราคาถูก ใช้งานง่าย ลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้

4. สรุปผล

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นเส้นใยจากพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ (Bio-polymer) เพื่อเป็นเบสในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มทดสอบสารไซยาไนด์นั้น สามารถเตรียมได้จากพอลิเมอร์สมระหว่างพอลิคาร์โพรแลกโตนและพอลิอะคริลาไมด์ แล้วทำให้เกิดเป็นเจลโดยผ่านกระบวนการโซลเจล แผ่นเส้นใยที่เตรียมขึ้นมานี้มีความเหมาะสมอย่างมากในการประยุกต์ใช้เป็นเบสในการขึ้นรูปเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นเส้นใยทดสอบโดยแผ่นเส้นใยทดสอบที่เตรียมขึ้นมานี้มีความจำเพาะเจาะจงต่อไซยาไนด์แม้จะต้องมีแอนไอออนชนิดอื่นปะปนอยู่ในตัวอย่างด้วย จากการศึกษาการประเมินค่าทางเคมีวิเคราะห์นั้นโดยอยู่ในระดับมิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นแผ่นเส้นใยทดสอบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการออกพื้นที่สำรวจโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงเลย อีกทั้งยังเป็นการตรวจวัดที่ง่าย รวดเร็ว ราคาถูกและบุคคลทั่วไปใช้ได้ จึงเหมาะแก่การเป็นแผ่นเส้นใยอิเล็กโทรสปินทดสอบในการตรวจวัดไซยาไนด์ (Electrospun Cyanide Test Strip, ECTs)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2559 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่สนับสนุนงานวิจัยนี้จนเสร็จสิ้น

6. References

- [1] N. Glanpracha, A.P. Annachhatre, Anaerobic co-digestion of cyanide containing cassava pulp with pig manure, Bioresour. Technol. 214 (2016) 112 – 121.
- [2] M.C.B. Quaresma, M.F.B. Carvalho, F.A. Meirelles, V.M.J. Santiago, R.E. Santelli, Application of hydrocyanic acid vapor generation via focused microwave radiation to the preparation of industrial effluent samples prior to free and total cyanide determination by spectrophotometric flow injection analysis, Anal Bioanal Chem. 387 (2007) 1017 – 1025.
- [3] M.R. Haque, J.H. Bradbury, Preparation of linamarin from cassava leaves for use in a cassava cyanide kit, Food Chem. 85 (2004) 27 – 29.
- [4] A. Promchat, P. Rashstasakhon, M. Sukwattanasinitt, A novel indolium salt as a highly sensitive and selective fluorescent sensor for cyanide detection in water, J. Hazard. Mater. 329 (2017) 255 – 261.
- [5] B. Yu, C. Li, Y. Sun, H. Jia, J. Guo, J. Li, A new azine derivative colorimetric and fluorescent dual-channel probe, Spectrochim. Acta A. 184 (2017) 249 – 254.
- [6] A. Surleva, G. Drochioiu, A modified ninhydrin micro-assay for determination of total cyanogens on plants, Food Chem. 141 (2013) 2788 – 2794.
- [7] R.M. Frizzarin, F.R.P. Rocha, A multi-pumping flow-based procedure with improved sensitivity for the spectrophotometric determination of acid-dissociable cyanide in natural waters, Spectrochim. Acta. 758 (2013) 108 – 113.
- [8] P. Jayasudha, R. Manivannan, K.P. Elango, Benzoquinone based chemodosimeters for selective and sensitive colorimetric and turn-on Fluorescent sensing of cyanide in water, Sens. Actuators B. 251 (2017) 380 – 388.
- [9] A. Incel, O. Akin, A. Cagir, U.H. Yildiz, M.M. Demir, Smart phone assisted detection and quantification of cyanide in drinking water by paper based sensing platform, Sens. Actuators B. 252 (2017) 886 – 893.

- [10] J. Isaad, A.E. Achari, F. Malek, Bio-polymer starch thin film sensors for low concentration detection of cyanide anions in water, *Dyes Pigments*. 97 (2013) 134 – 140.
- [11] Y. Shan, J. Zheng, Y. Tsui, Y. Yen, Colorimetric detection of cyanide with phenyl thiourea derivatives, *Spectrochim Acta A*. 79 (2011) 1552 – 1558.
- [12] M. Orojloo, S. Amani, Naked-eyes detection of cyanide ions in aqueous media based on an azo-azomethine chemosensor, *C.R. Chimie*. 20 (2017) 415 – 423.
- [13] R. Chueachot, S.Chanthai, Spectrophotometric determination of trace cyanide in fruit wines by the catalytic reaction of ninhydrin following micro-distillation, *Orient. J. Chem*. 30(1) (2014) 119 – 131.