Received: Jan 27, 2022 **Revised:** Apr 18, 2022 **Accepted:** May 24, 2022

การสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาด้วยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า
A SYNTHESIS OF SILICA NANOFIBERS BY CURRENT HEATING TECHNIQUE

สมอ บุญพันธ์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
Samor Boonphan
Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna
Email: samor_b@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาจากแท่งแกรไฟต์ผสมกับซิลิคอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของซิลิคอนไดออกไซด์เป็น 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอน ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคของเส้นใยนาโนซิลิกาที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometry, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) พบว่าเส้นใยนาโนที่ได้มีลักษณะเรียบยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 50 - 90 นาโนเมตร ความยาวมากกว่า 20 ไมโครเมตร ที่เงื่อนไข 20 wt% ของซิลิคอนไดออกไซด์ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์เนื่องจากปริมาณเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้มากที่สุดคือ 10 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เส้นใยนาโนซิลิกา, เทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า, โครงสร้างจุลภาค, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Abstract

This study aimed to find the optimum conditions for synthesis silica nanofibers from the mixture of graphite and silicon dioxide. The ratio of silicon dioxide at 10%, 20%, 30% and 40% by weight were used. A current heating technique was use for synthesis silica nanofibers in inert gas. A chemical composition and microstructure of silica nanofibers were characterization by X-ray diffractometry (XRD), scanning electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM). It was found that, silica nanofibers were smooth and long, diameter about 50-90 nm and the length more than 20 μm were obtained. At 20 wt% of silicon dioxide is the best condition for synthesis silica nanofiber. Because of, the maximum amount of synthesized nanofibers is 10 percent.

Keywords: Silica nanofiber, Current heating technique, Microstructure, scanning electron microscope

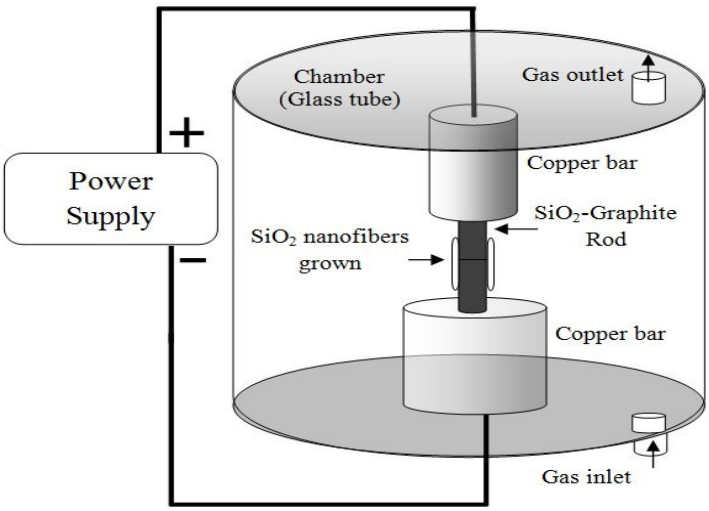
บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาวัสดุนาโน (nanomaterials) ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตปัจจุบัน รวมทั้งอยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ ด้วยขนาดที่เล็กลงจากเส้นใยแบบดั้งเดิมในระดับไมโครเมตร ส่งผลให้เส้นใยนาโนมีสมบัติที่พิเศษมากขึ้น ทั้งความสามารถในการยืดหยุ่นที่ดี อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น รวมไปถึงสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น (E. Loccufier et al., 2019, Yehia et al., 2018) วัสดุนาโนที่กำลังอยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ เช่น ท่อนาโนคาร์บอน กราฟีน เส้นใยนา

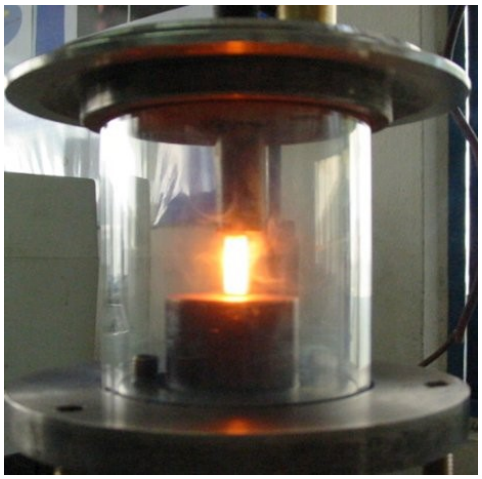
โนซิลิกา อนุภาคนาโนซิลิกา เป็นต้น (Boonphan and Singjai., 2017, Mehran et al., 2018, Daniel et al., 2019) สำหรับซิลิกานั้น มีการนำวัสดุนาโนซิลิกามาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุให้ดีขึ้น เพื่อผลิตและสร้างวัสดุที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุดั้งเดิม รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น วัสดุนาโนคอมโพสิต (Jianming et al, 2019) วัสดุใช้ในงานอุตสาหกรรมการกรองลมร้อน (Beyza et al, 2019) นอกจากนี้ยังมีการใช้ซิลิกาเป็นสารเสริมแรงในผลิตภัณฑ์ยาง ซิลิกายังเป็นสารเสริมแรงที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเพิ่มความแข็งแรงและสมบัติเชิงกลด้านต่าง ๆ (Maha and Sylvie, 2020, Niloufa and Ali., 2017) ซิลิกายังนิยมนำมาใช้ในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะการใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา (Muhamad et al., 2020) ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนนั้นสามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธีด้วยกันไม่ว่าจะเป็น เทคนิคการอาร์คดิสชาร์จ (Arc discharge) เทคนิคเลเซอร์แอบเลชัน (Laser ablation) เทคนิคการตกสะสมไอเคมี (Chemical vapor deposition, CVD) หรือเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า สำหรับเทคนิคการสังเคราะห์เส้นใยนาโนโดยการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้านั้น เป็นเทคนิคที่สามารถทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะผลิตเส้นใยนาโนซิลิกาโดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ต่อไป

ระเบียบการวิจัย

ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาโดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า (Singjai et al., 2002) จากแท่งแกรไฟต์บดเป็นผงผสมกับซิลิคอนไดออกไซด์ที่ส่วนผสมโดยน้ำหนักของซิลิคอนไดออกไซด์เป็น 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ได้ชิ้นงานเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรที่ความยาว 20 มิลลิเมตร และให้กำลังไฟฟ้าในช่วง 200 – 260 วัตต์ เป็นเวลา 50 นาที ภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนเพื่อไม่ให้เกิดการทำปฏิกิริยาของแท่งสารขณะเกิดความร้อนกับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในครอบแก้ว จึงต้องผ่านก๊าซอาร์กอนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยเพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออกไป ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นแบบจำลองชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาโดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยครอบแก้วรูปทรงกระบอก เจาะรูที่ขอบด้านบนและด้านล่างเพื่อให้ก๊าซอาร์กอนไหลผ่านภายในครอบแก้วจะมีแท่งทองแดงเป็นขั้วแคโทดและขั้วแอโนดที่ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ระหว่างขั้วทั้งสองจะวางแท่งสารที่จะทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน รูปที่ 2 เป็นแท่งสารขณะทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาโดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยเริ่มจากนำแท่งสารไปวางไว้ระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ซึ่งทำจากแท่งทองแดง ปิดครอบแก้วแล้วปล่อยก๊าซอาร์กอนด้วยอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาทีเพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในครอบแก้วออกให้หมด จากนั้นจึงให้กำลังไฟฟ้าโดยการปรับเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันจนคงที่ จากนั้นคงที่ไว้ เมื่อครบ 50 นาทีจึงหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า เส้นใยนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะเกาะกันเป็นแผ่นที่ขอบผิวของแท่งสาร นำเส้นใยนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)



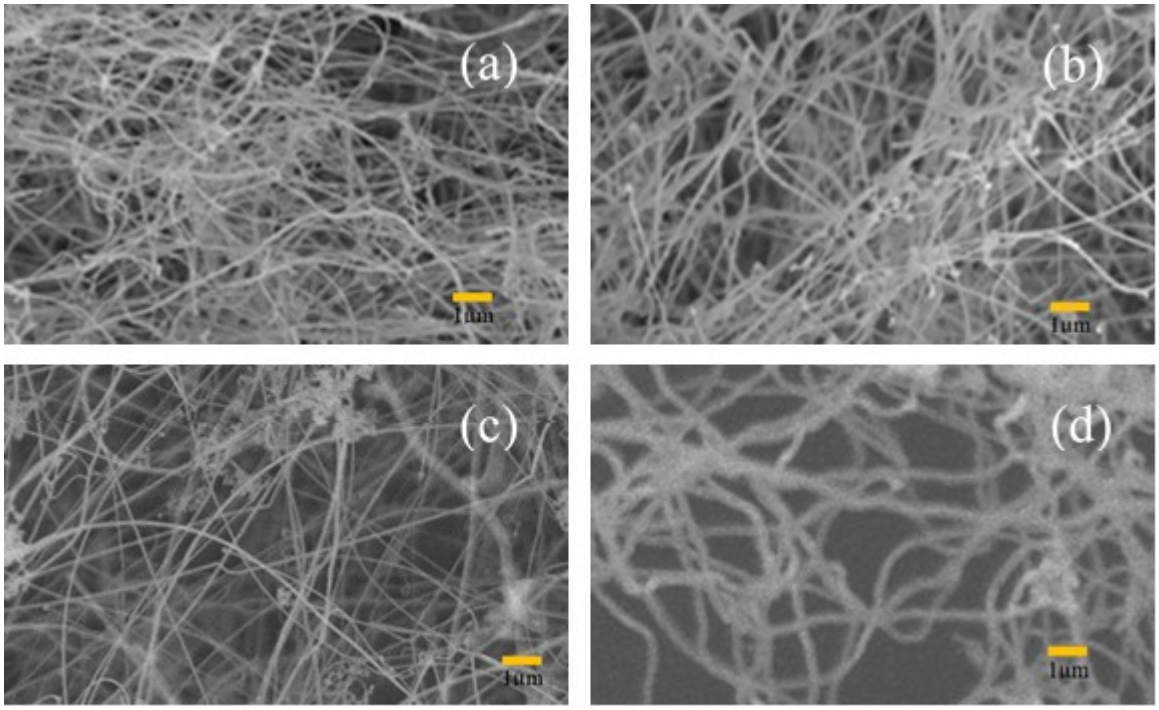
ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาโดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 2 แท่งสารขณะทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาโดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า

ผลการดำเนินงาน

ผลจากการทดลอง เมื่อสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 a – c จะเห็นได้ว่าเส้นใยนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเรียบและยาวมาก มีความยาวมากกว่า 20 ไมโครเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ประมาณ 50 – 90 นาโนเมตร ส่วนในรูปที่3 d จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ประมาณ 150 นาโนเมตร จากการวิเคราะห์พบว่ากลไกที่ทำให้เกิดเส้นใยนาโนซิลิกานั้นเกิดจาก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแท่งวัสดุผสมระหว่างแกรไฟต์กับซิลิคอนไดออกไซด์ จะทำให้ภายในแท่งวัสดุผสมเกิดความร้อนสูงมาก และทำให้ซิลิคอนไดออกไซด์เกิดการหลอมละลายและระเหยออกมาก่อนแกรไฟต์ (จุดหลอมเหลวซิลิคอนไดออกไซด์ประมาณ 1700 ° ซ ส่วนแกรไฟต์ ประมาณ 3600 ° ซ) (Chuang et al., 2010) เมื่อไอของซิลิคอนไดออกไซด์ระเหยออกมาที่ของผิวของแท่งวัสดุผสมมาเจออุณหภูมิภายนอกที่เย็นกว่าจึงทำให้ไอตกสะสมที่ผิวและงอกออกมาเป็นเส้นใยนาโนซิลิกา (Singjai et al., 2002) มีลักษณะเป็นฟิล์มสีขาวที่ผิวของแท่งวัสดุผสม

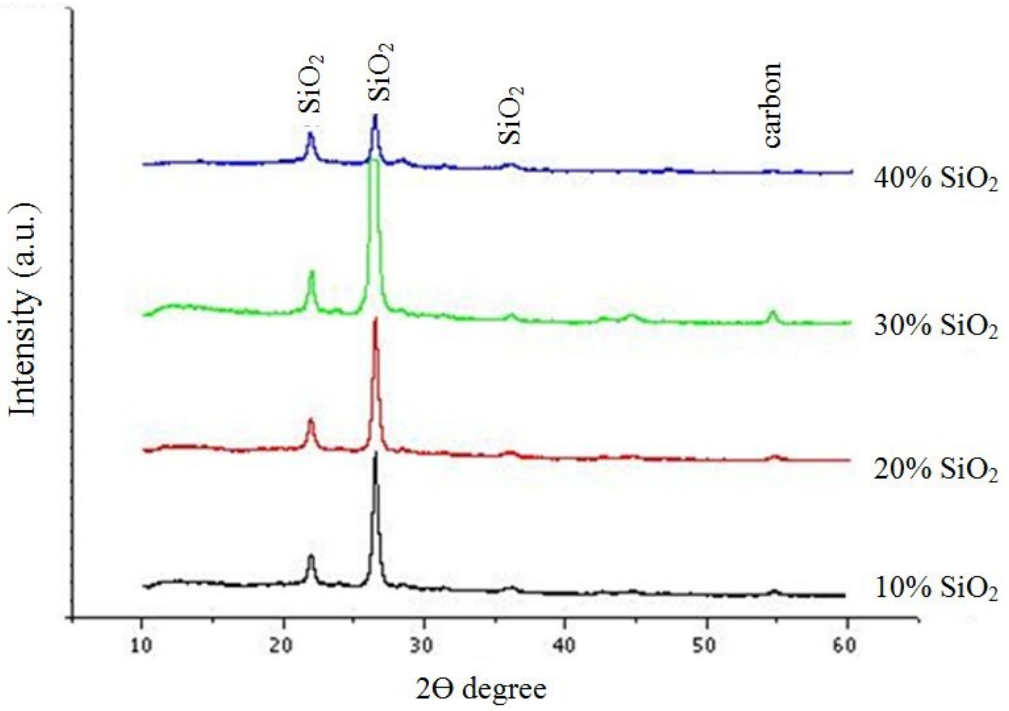


ภาพที่ 3 แสดง SEM ลักษณะเส้นใยนาโนซิลิกาที่เตรียมจากแกรไฟต์ผสมซิลิคอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนผสมของซิลิกา (a) 10 wt%, (b) 20 wt%, (c) 30 wt% และ (d) 40 wt%

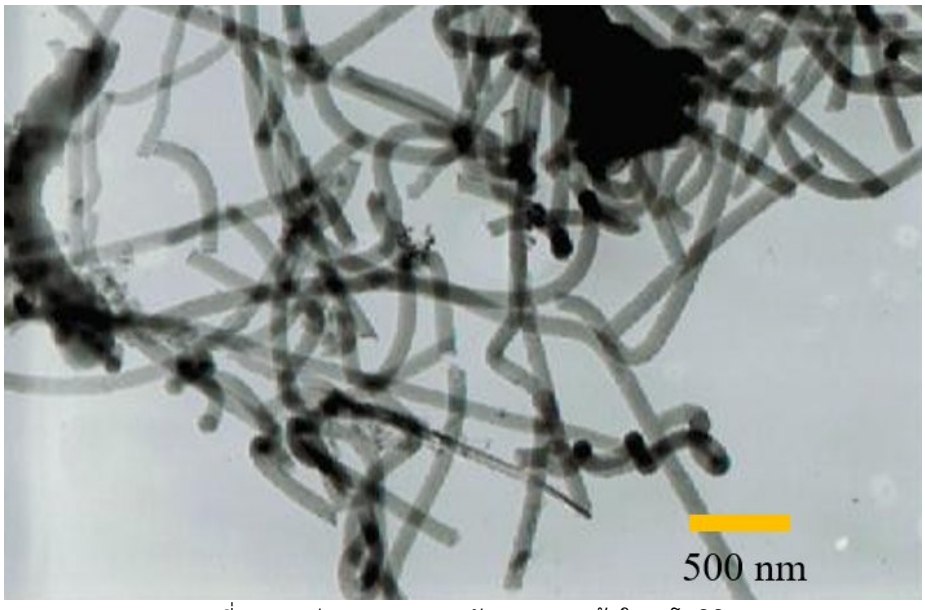
หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ดังรูปที่ 4 พบว่ามีองค์ประกอบของซิลิกา (Magda et al., 2013, Mansour et al., 2018) ซึ่งปรากฏพีคหลัก 2 พีค ที่ระนาบ (100) ซึ่งตรงกับมุม 2Θ เท่ากับ 21.6 ° และระนาบ (101) ที่มุม 2Θ เท่ากับ 26.4 ° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นผลึกของเส้นใยนาโนซิลิกา และจากกราฟที่ส่วนผสมของซิลิกา 30 wt% ความกว้างของพีคค่อนข้างจะกว้างกว่าที่ส่วนผสมอื่น ๆ เมื่อใช้ความสัมพันธ์ของสมการ Scherrer formula

$$t = \frac{0.9\lambda}{\beta cos\theta} \quad (1)$$

โดยที่ t คือ ขนาดผลึกเฉลี่ย λ คือค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ β คือความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุดของกราฟและ Θ คือมุมของแบรก (Bragg's angle) จากการวิเคราะห์ขนาดผลึกเฉลี่ย (t) แปรผกผันกับความกว้างของพีคที่ความสูงครึ่งหนึ่ง (Full width at half maximum: FWHM) ก็จะสอดคล้องกับรูปที่ 3 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนใหญ่ของเส้นใยนาโนซิลิกาที่ส่วนผสม 30 wt% ค่อนข้างเล็กกว่าที่ส่วนผสมอื่น นอกจากนี้ยังมีพีคของแกรไฟต์ที่โผล่มาด้วย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากตอนที่แกะเส้นใยนาโนซิลิกาออกจากที่ขอบผิวของแท่งสารนั้นจะมีผงแกรไฟต์ติดปนมาด้วย ซึ่งไม่สามารถที่จะแยกออกได้ ด้วยเหตุนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จึงมีพีคของแกรไฟต์โผล่มาด้วย ส่วนในรูปที่ 5 เป็นภาพถ่ายลักษณะของเส้นใยนาโนซิลิกาที่ทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) จากภาพถ่ายเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะทึบ ไม่โปร่งแสง นั่นแสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่สังเคราะห์ได้ไม่เป็นท่อนั่นเอง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ประมาณ 80 นาโนเมตร



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยนาโนซิลิกาที่เตรียมจากแกรไฟต์ผสมซิลิกาที่อัตราส่วนผสมของซิลิกา 10 – 40 wt% ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์



ภาพที่ 5 ภาพถ่าย TEM แสดงลักษณะของเส้นใยนาโนซิลิกา

ในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ลักษณะเส้นใยนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและปริมาณของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้ จากตาราง ในเงื่อนไขที่ใช้ซิลิคอนไดออกไซด์ 10 wt% เส้นใยนาโนที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 50 - 90 นาโนเมตร แต่ปริมาณที่สังเคราะห์ได้น้อยมาก ๆ ส่วนเงื่อนไขที่ใช้ซิลิคอนไดออกไซด์ 20 wt% เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 50 - 90 นาโนเมตร และปริมาณที่สังเคราะห์ได้อยู่ที่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับน้ำหนักก่อนสังเคราะห์ได้ ซึ่งเป็นปริมาณที่สังเคราะห์ได้มากกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ ที่เงื่อนไขซิลิคอนไดออกไซด์ 40 wt% เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 150 นาโนเมตร เมื่อใช้ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ใช้

ในการสังเคราะห์จะมีค่าลดลงทั้งนี้ก็เนื่องมาจากค่าความต้านทานของแท่งสารมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้นั้นมีลักษะที่เรียบและยาวเหมือนกันทุกเงื่อนไข

ตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและปริมาณเส้นใยนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่าง ๆ

SiO_2	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)*	เส้นผ่านศูนย์กลาง (nm)	ปริมาณที่สังเคราะห์ได้ (wt%)**
10	260	50 - 90	-
20	250	50 - 90	10
30	230	50 - 90	5
40	200	150	4

หมายเหตุ: * กำลังไฟฟ้าคำนวณจากค่ากระแสคูณกับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับแท่งสาร

** ปริมาณที่เคราะห์ได้เป็นปริมาณเส้นใยนาโนเทียบกับน้ำหนักก่อนสังเคราะห์โดยประมาณ

สรุปผลการวิจัย

เส้นใยนาโนซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าจะมีลักษณะเรียบและมีความยาวมากกว่า 20 ไมโครเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50 – 90 นาโนเมตร ยกเว้นที่เงื่อนไขซิลิคอนไดออกไซด์ 40 wt% เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 150 นาโนเมตร และปริมาณของเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้เมื่อเทียบกับน้ำหนักก่อนทำการสังเคราะห์จะได้อยู่ที่ประมาณ 4 – 10 เปอร์เซ็นต์ การสังเคราะห์ที่เงื่อนไข 20 wt% ของซิลิคอนไดออกไซด์ เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์เนื่องจากปริมาณเส้นใยนาโนที่สังเคราะห์ได้มากที่สุดคือ 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้หากจะทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาให้ได้ปริมาณที่มากขึ้น อาจจะต้องทำการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนขนาดของแท่งสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ให้มีพื้นที่ผิวที่ขอบด้านนอกมากขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเกิดเส้นใยนาโนซิลิกา ซึ่งทางผู้วิจัยก็จะต้องทำการศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาให้ได้ปริมาณที่มากขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ได้สนับสนุนแหล่งทุนสำหรับทำวิจัย และขอขอบคุณหน่วยวิจัยนาโนและวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Loccufier, E., Geltmeyer, J., Esquivel, D., D'hooge, D. R., De Buysser, K., & De Clerck, K. (2019). Electrospinning of silica nanofibers without carrier polymer for advanced engineering applications. 19th World Textile Conference on Textiles at the Crossroads, 11-15 June 2019, Ghent, Belgium.

Yehia, M. M., Ihsanullah, Ayman, S., Tareq A., & Muataz, A. A. (2018). A Review of Carbon Nanomaterials' Synthesis via the Chemical Vapor Deposition (CVD) Method. Journal of Materials, 11, 822-858.

Samor, B. & Singjai, P. (2017). Solar heat absorbing coating from multi-walled carbon nanotube composites with linear low-density polyethylene-coated copper sheet. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 36(9), 714–721.

Mehran, S., Saeed, B. & Morteza, D. J. (2018). Fabrication and investigation of silica nanofibers via electrospinning. Journal of Materials Science & Engineering C, 91, 502-511.

Daniel, F. H. R., Posidia, P. G. & Andres, R. R. (2019). Production and characterization of silica nanoparticles from rice husk. Advanced Materials Letters, 10(1), 67–73.

Jianming, Y., Chao, W., Shiheng, L., Nian, L., Jia, Z. & Zhenda, L. (2019). Li^+-Containing, Continuous Silica Nanofibers for High Li^+ Conductivity in Composite Polymer Electrolyte. Small Journal, 15, 1–9.

Beyza, N., Mehed, D. C., Yusuf, P., Yasin, A. & Ali, K. (2019). Centrifugally spun silica (SiO2) nanofibers for high temperature air filtration. Aerosol Science and Technology, 53(8), 921–932.

Maha, B. & Sylvie, L. (2 020). Laser-induced breakdown measurements of silica nanofibers in air and immersed in water, ethanol and isopropanol. EPJ Web of Conferences, 238, 1–2.

Niloufa, S. & Ali, A. G. (2017). How Porous Nanofibers Have Enhanced the Engineering of Advanced Materials: A Review. Journal of Textiles and Polymers, 5(2), 57-72.

Muhamad, N., Heru, S., & Widiya, S. (2 0 20). Synthesis of PVA/SiO2 Nanofibers by Electrospinning Method for Supercapacitor Separators. 6th International Seminar on Science and Technology, July 25th 2020, Surabaya, Indonesia.

Singjai, P., Wongjamras, A., Yu, L. D. & Tunkasiri, T. (2002). Production and characterization of beaded nanofibers from current heating of charcoal. Journal of Chemistry Physics Letters, 366, 51-55.

Chuang, Hwang, W. & Liu, S. (2010). Effects of Graphite, SiO_2, and Fe_2O_3 on the Crushing Strength of Direct Reduced Iron from the Carbothermic Reduction of Residual Materials. Materials Transactions, 51(3), 488-495.

Magda, A., Hesham, F. A., Hesham, M. S., Aref M. E., & Ahmed, I. (2 0 1 3). Preparation and Characterization of Silica Nanoparticles by Wet Mechanical Attrition of White and Yellow Sand. Journal Nanomedicine and Nanotechnology, 4(6), 183-196.

Mansour, B., Behzad, N. & Ali, M. (2018). A study on crystallization of amorphous nano silica particles by mechanical activation at the presence of pure aluminum. Journal of Solid State Chemistry, 263, 208-215.