การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอน

Synthesis of Carbon Nanotubes on Carbon Fibers.

ลลิตา เพียราษฎร์ พนมกร ขวาของ อภิชาติ อาจนาเสียว
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ วิธีตกสะสมไอเคมี วิธีตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน วิธีตกสะสมอิเล็กโตรโฟรีติก เทคนิคการใช้เปลวไฟจากการเผาไหม้ การทาบท่อนาโนคาร์บอนลงบนเส้นใยคาร์บอนด้วยเทคนิคอื่นร่วมเช่น การใช้เดนไดรเมอร์ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์ที่กล่าวมานั้นแสดงผลของการเติบโตของท่อนาโนคาร์บอนที่เกิดบนเส้นใยที่ต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณที่เกิดท่อนาโน ลักษณะ และความยาวของท่อนาโนคาร์บอน

คำสำคัญ : เส้นใยคาร์บอนเสริมแรง นาโนคอมโพสิต วัสดุนาโน การสังเคราะห์

Abstract

This article aims to review the literature on the synthesis of carbon nanotubes on carbon fibers (CNTs/CF) by various methods such as chemical vapor deposition, thermal chemical vapor deposition, electrophoretic deposition, flame synthesis, grafting carbon nanotube onto carbon fiber by use of dendrimer etc. Each method used in the synthesis of the above, it shows the effect of the growth of carbon nanotubes on carbon fiber. For example, formation, characteristics, and the length of the carbon nanotubes.

Keywords : Carbon fiber reinforced composites, Nano composite, Nano material, Synthesis

1.บทนำ

เส้นใยนาโนคาร์บอนเสริมแรง (Carbon fiber reinforced polymer composites; CFRPs) เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูง นำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านยานอวกาศ เครื่องบิน อุปกรณ์กีฬา และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น [1] อย่างไรก็ตามความต้านทานต่อความเสียหายของบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับพลาสติกเรซินนั้นมีข้อจำกัด เพื่อแก้จุดด้อยจึงมองหาวัสดุคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติที่ดี [2] ซึ่งท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) ถือเป็นตัวเลือกที่ดีเหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุเสริมแรง เนื่องจากมีค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัสสูง [3-7]

เส้นใยคาร์บอนคอมโพสิตท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube hybridized carbon fiber; CNTs/CF) เป็นวัสดุประสิทธิภาพสูง ที่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านต่าง ๆ เช่น เชิงกล ไฟฟ้า และความร้อน [8] ซึ่งเส้นใยคาร์บอนคอมโพสิตท่อนาโนคาร์บอนได้มีการศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวัสดุผสมในอากาศยานหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [9] การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนมีหลายวิธีการ แต่ละวิธีมีปัจจัยในการใช้ที่ต่างกัน ทำให้ผลที่ได้ออกมาต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นความบริสุทธิ์และปริมาณในการเกิดของท่อนาโนคาร์บอน รูปร่าง ลักษณะและขนาดของท่อนาโนคาร์บอน รวมไปถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

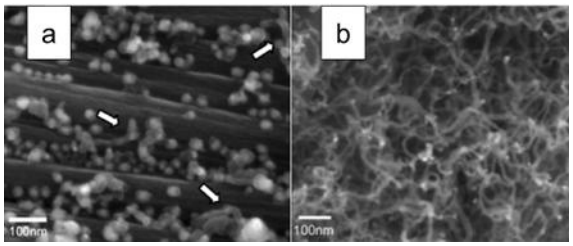
ในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาคาร์บอน และทราบถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนในปัจจุบันอีกด้วย

2. การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอน

กระบวนการในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการตกสะสมไอเคมี (Chemical vapor deposition) วิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน (Thermal chemical vapor deposition) วิธีการตกสะสมอิเล็กโตรโฟรีติก (Electrophoretic deposition) วิธีการใช้เปลวไฟจากการเผาไหม้ (Flame synthesis) และวิธีการทาบท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนโดยใช้เทคนิคอื่นร่วม เป็นต้น

2.1 การใช้เปลวไฟจากการเผาไหม้ (Flame Synthesis)

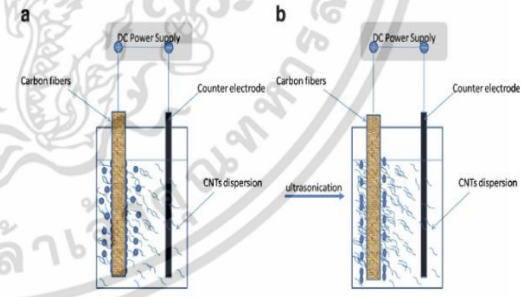
วิธีการสังเคราะห์โดยอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้เป็นอีกหนึ่งวิธีที่กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัด เรียบง่าย และใช้เวลาน้อย ซึ่งการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีปัจจัยที่มีอิทธิพลหลายปัจจัย ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และแหล่งของคาร์บอน เช่น งานวิจัยของ Xusheng Du และคณะ [10] ทำการศึกษาสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอน โดยทำการจุ่มเส้นใยคาร์บอนในสารละลายนิกเกิลคลอไรด์ ($NiCl_2$) นาน 60 วินาที แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ก่อนไปเผาไฟที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และ 300 วินาที ภาพ SEM จากในรูปที่ 1 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณและความยาวของท่อนาโนคาร์บอนเพิ่มขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นความสำคัญของปัจจัยด้านเวลาส่งผลต่อการเติบโตและขนาดของท่อนาโนคาร์บอน



รูปที่ 1 ภาพ SEM ของ CNT/CF ที่เวลา 30 วินาที (a) และ 300 วินาที (b) [10]

2.2 การตกสะสมอิเล็กโตรโฟรีติก (Electrophoretic deposition)

กระบวนการตกสะสมอิเล็กโตรโฟรีติก (EPD) เป็นหนึ่งในกระบวนการเกี่ยวกับคอลลอยด์ มีหลักการ คือ ทำให้อนุภาคผงที่มีประจุกระจายหรือแขวนลอยในตัวกลางของของเหลว จากนั้นทำการตกสะสมอนุภาคดังกล่าวโดยใช้สนามไฟฟ้ากระแสตรงบนฐานรองตัวนำซึ่งมีประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาคนั้น งานวิจัยของ Jinhai Guo และคณะ [6] ได้ทำการเตรียมท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธีตกสะสมอิเล็กโตรโฟรีติก โดยใช้อัลตร้าโซนิคร่วมด้วย



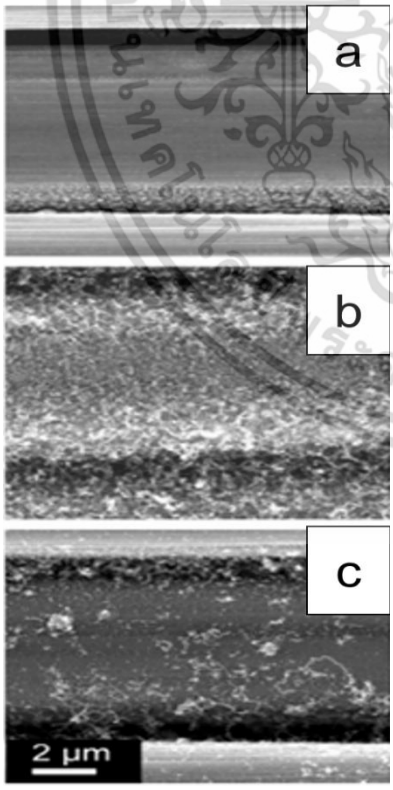
รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการ EPD ของ CNTs/CF โดยไม่ใช้ (a) และใช้อัลตร้าโซนิค (b) [6]

แผนภาพกระบวนการ EPD จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการใช้อัลตร้าโซนิคร่วมในกระบวนการ EPD นั้นส่งผลต่อปริมาณของท่อนาโนคาร์บอน โดยรูปที่ 2 (a) เกิดการสะสมอย่างเบาบาง เมื่อเทียบกับรูปที่ 2 (b) ที่มีการสะสมของท่อนาโนคาร์บอนอย่างแน่นหนา

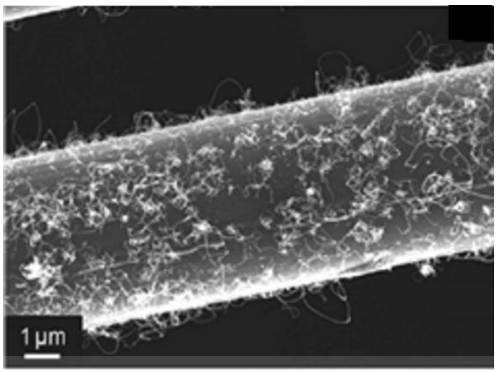
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การตกสะสมไอเคมี (Chemical vapor deposition)

วิธีการตกสะสมไอเคมีเป็นกระบวนการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ด้วยหลักการของการทำให้สารไอของสารตั้งต้นเกิดการแตกตัวด้วยความร้อน และตกสะสมบนฐานรองรับ เมื่อไอของสารตั้งต้นไหลผ่านท่อที่มีความร้อนสูงในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ที่อุณหภูมิหนึ่งจะทำให้ไอของสารตั้งต้นที่เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนเกิดการแตกตัว และตกสะสมลงบนฐานรองเพื่อสร้างท่อนาโนคาร์บอน งานวิจัยของ Niels de Greef และคณะ [2] ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนที่อุณหภูมิต่างกัน (650 – 750 องศาเซลเซียส) ซึ่งจากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนได้หนาแน่นที่สุด และงานวิจัยของ Hui Qian และคณะ [3] ศึกษาท่อนาโนคาร์บอนเส้นใยคาร์บอนที่สังเคราะห์ด้วยวิธี CVD ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ท่อนาโนคาร์บอนที่เกิดบนเส้นใยคาร์บอนมีลักษณะโค้งงอ (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 ภาพ SEM ของ CNTs/CF ที่อุณหภูมิ (a) 650°C (b) 700°C และ (c) 750°C [2]

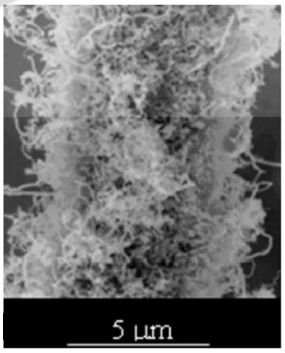


รูปที่ 4 ภาพ SEM ของ CNTs ที่เกิดบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธี CVD [3]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ S. Rahmanian และคณะ [8] ทำการปรับสภาพของเส้นใยคาร์บอนด้วยเอทานอลและอะซิโตน พบว่าเกิดท่อนาโนคาร์บอนเป็นลักษณะกลุ่มและมีลักษณะพันกันยุ่ง

2.4 การตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน (Thermal chemical vapor deposition)

วิธีการนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะชนิด Fe, Ni, Co หรือโลหะผสมทั้งสามชนิด ให้ตกลงบนฐานรองรับ หลังจากนั้นนำไปกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก แล้วนำไปปลูกท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิในการเผาประมาณ 750 – 1050 องศาเซลเซียส จากงานวิจัยของ S.P. Sharma และคณะ [4] ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธี Thermal CVD ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดท่อนาโนคาร์บอนปกคลุมเส้นใยคาร์บอนอย่างหนาแน่น (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ภาพ SEM ของ ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอน [4]

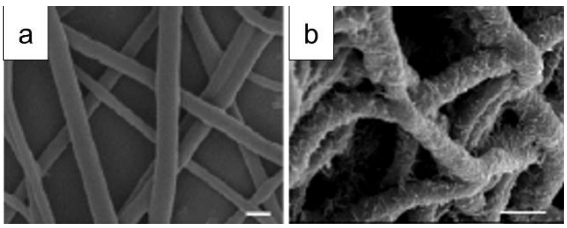
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีงานวิจัยของ Hu Zhi-hui และคณะ [5] ที่ทำการศึกษาอัตราการเติบโตของท่อนาโนคาร์บอนภายใต้ชนิดของสารละลาย ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ ซึ่งอัตราการเติบโตที่ดีที่สุดนั้นคือ ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กเข้มข้น 100 มิลลิโมลลาร์ ที่อุณหภูมิ 1023 องศาเคลวิน และใช้เวลา 30 นาที นอกจากนี้งานวิจัยของ Nilay Kumar Dey และคณะ [11] ทำการศึกษาการเติบโตของท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนที่สังเคราะห์จากวิธี Thermal CVD โดยมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าปริมาณ รูปร่าง ความยาวและความกว้างของท่อนาโนคาร์บอนนั้นขึ้นกับอุณหภูมิในการเติบโต เงื่อนไขที่เหมาะที่สุด คือ ใส่ก๊าซไฮโดรเจน(200 sccm) เป็นเวลา 20 นาที และ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ใส่ก๊าซผสมระหว่างอะเซทิลีน (10 sccm) ไฮโดรเจน (150 sccm) อาร์กอน (50 sccm) และไนโตรเจน (50 sccm) เป็นเวลา 5 นาที

2.5 การทาบท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธีอื่น ๆ (Chemical grafting)

2.5.1 การทาบ CNTs บนเส้นใยนาโนอิเล็กโตรสปันโดยใช้เครื่องสั่นความถี่สูง

จากงานวิจัยของ Jiefeng Gao และคณะ [7] ได้ทำการทาบท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยนาโน อิเล็กโตรสปันโดยนำท่อนาโนคาร์บอนเติมลงในน้ำกลั่นและเขย่าด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง เติมตัวทำละลาย แล้วจุ่มเส้นใยนาโนอิเล็กโตรสปันในสารละลายที่มีท่อนาโนคาร์บอนละลายอยู่ เขย่าด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง ล้างน้ำสะอาด อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลักษณะของเส้นใยนาโนคอมโพสิต แสดงในรูปที่ 6

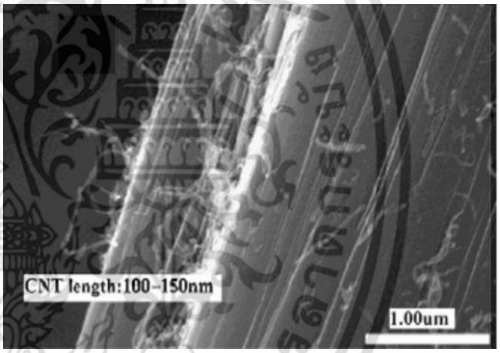


รูปที่ 6 ภาพ SEM (a) ก่อนทาบ และ (b) หลังทาบท่อนาโนคาร์บอน [7]

พบว่าเส้นใยนาโนอิเล็กโตรสปันนั้นถูกปกคลุมด้วยท่อนาโนคาร์บอน มีลักษณะผิวขรุขระและพันกันยุ่งรอบพื้นผิวของเส้นใยนาโน

2.5.2 การทาบ CNTs บนเส้นใยนาโนคาร์บอน โดยใช้เดนไดรเมอร์

จากงานวิจัยของ Lei Mei และคณะ [12] ทาบท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนโดยนำเส้นใยคาร์บอนลงในสารละลาย Polyamidoamine (PAMAM) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ล้างแล้วอบให้แห้ง 1 ชั่วโมง จากนั้นละลายท่อนาโนคาร์บอนในอะซิโตนเขย่าด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง นำเส้นใยมาจุ่มในสารละลายเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ล้างแล้วเป่าให้แห้งท่อนาโนคาร์บอนที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นยาวออกมาจากก้อนกลมที่ติดกับเส้นใยคาร์บอน ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาพ SEM ของท่อนาโนคาร์บอนทาบบนเส้นใยคาร์บอนด้วยวิธีเดนไดรเมอร์[12]

3. สรุป

การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใยคาร์บอนมีกระบวนการสังเคราะห์หลายวิธี โดยต้องทำความเข้าใจถึงกลไกการเกิดท่อนาโนคาร์บอนบนเส้นใย คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์ เช่น เวลา อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวทำละลาย เป็นต้น เพื่อให้ได้โครงสร้างและคุณสมบัติในการนำไปประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้รวบรวมในบทความนี้แล้ว สามารถสรุปได้ว่าปริมาณ รูปร่างและขนาดของท่อนาโนคาร์บอนที่เกิดขึ้นบนเส้นใยคาร์บอนนั้น ขึ้นอยู่ปัจจัยสำคัญอย่าง เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวทำละลาย นอกจากนี้แต่ละวิธีก็มีจุดเด่นหรือข้อจำกัดในการใช้งานที่ต่างกัน เช่น วิธีการใช้เปลวไฟจากการเผาไหม้ เป็นวิธีที่ประหยัดและใช้เวลาน้อย วิธีตกสะสมไอเคมีเป็นวิธีที่ต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา โดยวิธีตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อนจะใช้อุณหภูมิสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นต้น

4. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Feng, L. Chunxiang, L. Yonghong, G. Jinhai, L. Xiaoxuan, L. Huibin, H. Shuqing, Y. Yu,"Preparation and characterization of carbon nanotube- hybridized carbon fiber to reinforce epoxy composite," Materials and Design, Vol.33, pp.197-202, July, 2011.

[2] N. De Greef, Z. Luman, M. Arnaud, F. László, L. Jean-Pierre, V. Ignaas, S. Jin Won, "Direct growth of carbon nanotubes on carbon fibers: Effect of the CVD parameter on the degradation of mechanical properties of carbon fibers," Diamond & Related Materials, Vol. 51, pp. 39-48, November, 2014.

[3] H. Qian, B. Alexander, S.G. Emile, S. Milo S.P, "Carbon nanotube grafted carbon fibres: A study of wetting and fibre fragmentation," Composites: Part A, Vol. 41, pp.1107–1114, April, 2010.

[4] S.P. Sharma, S.C. Lakkad, "Effect of CNTs growth on carbon fibers on the tensile strength of CNTs grown carbon fiber-reinforced polymer matrix composites," Composites: Part A, Vol. 42, pp.8–15, September, 2010.

[5] H. Zhi-hui, D. Shao-ming, H. Jian-bao, W. Zhen, L. Bo, Y. Jin-shan, L. Qing-gang, W. Bin, G. Le, Z. Xiang-yu, "Synthesis of carbon nanotubes on carbon fibers by modified chemical vapor deposition," New Carbon Materials, Vol. 27, pp. 352-361, October, 2012.

[6] G. Jinhai, L. Chunxiang, A. Feng, H. Shuqing, "Preparation and characterization of carbon nanotubes/carbon fiber hybrid material by ultrasonically assisted electrophoretic deposition," Materials Letters, Vol. 66, pp. 382-384, November, 2011.

[7] G. Jiefeng, L. Wan, S. Hengchong, H. Mingjun, L. Robert K.Y, "Preparation, morphology, and mechanical properties of carbon nanotube anchored polymer nanofiber composite," Composites Science and Technology, Vol. 92, pp. 95-102, December, 2013.

[8] S. Rahmanian, A.R. Suraya, R. Zahari, E.S. Zainudin, "Synthesis of vertically aligned carbon nanotubes on carbon fiber," Applied Surface Science, Vol. 271, pp. 424-428, February, 2013.

[9] M.S. Islam, Y. Deng, L. Tong, S. N. Faisal, A. K. Roy, A. I. Minett, V. G. Gomes, " Grafting carbon nanotubes directly onto carbon fibers for superior mechanical stability: Towards next generation aerospace composites and energy storage application," Carbon, Vol. 96, pp. 701-710, October, 2015.

[10] D. Xusheng, L. Hong-Yuan, Z. Cuifeng, M. Steven, M. Yiu-Wing, "On the flame synthesis of carbon nanotubes grafted onto carbon fibers and the bonding force between them," Carbon, Vol. 50, pp. 2347-2374, January, 2012.

[11] D. Nilay Kumar, H. Eun Mi, C. Kang Ho, K. Young Dok, L. Jae-Hong, L. Kyu Hwan, L. Dong Chan, "Growth of Carbon Nanotubes on Carbon Fiber by Thermal CVD Using Ni Nanoparticles as Catalysts," Procedia Engineering, Vol. 36, pp. 556-561, 2012.

[12] M. Lei, H. Xiaodong, L. Yibin, W. Rongguo, W. Chao, P. Qingyu, "Grafting carbon nanotubes onto carbon fiber by use of dendrimers," Materials Letters, Vol. 64, pp.2505-2508, July, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้