

เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นเอง โดยอาศัยคอมโพสิทระหว่าง

ท่อนาโนคาร์บอนกับโพลิเมอร์บางชนิด

ปริญญามาสวัสดิ์*¹ สายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์² และ ศุภโชค อุปาลี²

A Home-made Volatile Organic Compounds Sensor based on Multi-walled Carbon Nanotubes /Polymers Composites

Prinya Masawat*¹ Saisunee Liawruangrath² and Suphachock Upalee²

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิจิตร 65000

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

*Corresponding author. E-mail: prinyam@nu.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้มีการสร้างเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสารอินทรีย์บางชนิดโดยใช้ท่อนาโนคาร์บอนผสมกับโพลิเมอร์หลายชนิด คุณสมบัติในการเป็นเซนเซอร์ของคอมโพสิทระหว่างท่อนาโนคาร์บอนกับโพลิเมอร์ตั้นจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความต้านทานทางไฟฟ้าเมื่อคอมโพสิททำอันตรกิริยากับโมเลกุลของแก๊สที่สนใจซึ่งเกิดจากการบวมตัวของโพลิเมอร์ที่ผสมอยู่ได้ทำการศึกษาคอมโพสิทระหว่างท่อนาโนคาร์บอนกับโพลิเมอร์ในหลายๆ อัตราส่วนกับแก๊สที่เลือกได้แก่ แอมโมเนีย (ในรูปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์) เอทานอล โทลูอิน และ ฟอร์มอลดีไฮด์ โดยการสร้างเซนเซอร์จะใช้วิธีการอัดให้เป็นแท่งเล็กๆ แล้วสอดลวดความร้อนเข้าไปตรงกลางแท่ง และการวัดสัญญาณความต้านทานทางไฟฟ้าทำได้โดยการจ่ายศักย์ไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งผ่านเข้าไปในแท่งของคอมโพสิทระหว่างท่อนาโนคาร์บอนกับโพลิเมอร์ตั้นแล้วตรวจวัดสัญญาณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กซึ่งประกอบไปด้วย แอลซีที 1661 และไอซีตัวแปรสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาล็อกขนาด 10 บิต ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายศักย์ และ เอ็มซีพี3201 และไอซีตัวแปรสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 12 บิต ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดสัญญาณเมื่อผ่านแก๊สที่เลือกเข้าไปโดยอาศัยแก๊สในโตรเจนเป็นแก๊สตัวพา จากผลการทดลองพบว่า โพลิเมอร์ที่มีเอทิลีนเป็นองค์ประกอบ (โพลิเอทิลีน โพลิเอทิลีนไกลคอล โพลิเอทิลีนไกลคอลไดซัคซินิมิดิลซัคซินีนท โพลิเอทิลีนเทเลฟาทเลต และ โพลิเอทิลีนออกไซด์) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 โดยน้ำหนัก (โพลิเมอร์ ต่อ ท่อนาโนคาร์บอน) ให้สัญญาณตอบสนองต่อแก๊สแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 10 ถึง 50 พีพีเอ็ม โดยมีค่าสัญญาณความต้านทานที่ลดลงจาก 100 กิโลโอมห์ ถึง 80 กิโลโอมห์ และตอบสนองภายในเวลา 52

วินาที โพลีเมอร์ที่มีไวโอลเป็นองค์ประกอบ (โพลีไวโอลแอลกอฮอล์ และ โพลีไวโอลคอลไรด์) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 โดยน้ำหนัก (โพลีเมอร์ ต่อ ท่อนานคาร์บอน) ให้สัญญาณตอบสนองต่อไอระเหยของโทลูอินในช่วงความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.5 พีพีเอ็ม โดยมีค่าสัญญาณความต้านทานที่ลดลงจาก 72.5 กิโลโอมห์ ถึง 66.5 กิโลโอมห์ และตอบสนองภายในเวลา 47 วินาที ส่วนคอมโพสิทระหว่างท่อนานคาร์บอนกับโพลีเมอร์ตัวอื่นๆ ให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ อายุการใช้งานของเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นจะประมาณการฉีด 100 ครั้งโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 1.02 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ท่อนานคาร์บอนแบบหลายผนัง สารระเหยอินทรีย์ เซนเซอร์แบบโพลีเมอร์คอมโพสิท

Abstract

A home-made volatile organic compounds (VOCs) sensor has been constructed using multi-walled carbon nanotubes (CNTs) composites with various polymers. The sensing property of CNTs/polymer composites is based on the change of electrical resistivity response when the composites interact with interested gas molecules, which is due to the swelling behaviors of polymeric matrixes. Various ratios of CNTs/polymer composites have been tested with selected gases; NH_3 (as NH_4OH), ETOH, Toluene and Formaldehyde. The fabrication of sensor was achieved by a rod-shape pressing method where an internal heating coil was placed into the middle. The measurements of its electrical resistivity change were performed by applying a constant voltage potential through the rod of CNTs/polymer composites. A microcontroller coupled with LCT1661, 10-bit Digital to Analog Converter as a voltage supplier and MCP3201, 12-bit Analog to Digital Converter as a signal detection were used to follow the response of CNTs/polymer upon injection of selected gases via nitrogen carrier-stream. It was found that ethylene based polymer (PE, PEG, PEG-SS2, PET and PEO) with the ratio of 1:50 w/w (Polymer:CNTs) responses to ammonia gas (10-50 ppm) with a drop of resistivity signal (100 k Ω to 80 k Ω) with the response time of 52 seconds. Vinyl based polymer (PVOH and PVC) with the ratio of 1:100 w/w (Polymer:CNTs) response to toluene volatile (0.1-0.5 ppm) with a drop of resistivity signal (72.5 k Ω to 66.5 k Ω) with the response time of 47 seconds. Other CNTs/polymer composites sensors response with unsatisfactory results. The life time of sensor was about 100 injections with the relative standard deviation of 1.02%. The percentage of recovery and percentage of ability of reproduce were 99.9 and 101, respectively.

Keywords: multi-walled carbon nanotubes, volatile organic compounds, polymer-composite sensors

บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์จะต้องพบเจอกับแก๊สหลากหลายชนิด ซึ่งแก๊สแต่ละชนิดจะมีกลิ่นเฉพาะตัว และบางชนิดหากมีปริมาณน้อยเกินกว่าขีดจำกัดของอวัยวะรับสัมผัส มนุษย์อาจไม่ได้กลิ่น แต่มีแก๊สบางชนิดกลับได้กลิ่นอย่างชัดเจนโดยเฉพาะแก๊สของสารอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ กรดชนิดต่างๆ พวกแอมโมเนีย หรืออะซิโตน ฯลฯ ซึ่งกลิ่นของสารเหล่านี้หากได้รับในปริมาณมากก็อาจทำให้ระคายเคืองต่อจมูก หรือมีผลต่อร่างกายได้ ดังนั้นเราจึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่จะใช้ในการตรวจวัดแก๊สชนิดต่างๆ ขึ้นมาเรียกว่า “เซนเซอร์ตรวจวัดแก๊ส” (gas sensor)

ตั้งแต่ได้มีการรายงานการค้นพบท่อนาโนคาร์บอนเมื่อปี ค.ศ.1991 (Iijima, 1991) ทำให้เกิดความสนใจเป็นอย่างมากที่จะทำการสำรวจความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วัสดุขนาดนาโนในด้านต่างๆ และได้มีรายงานการปรับปรุงโครงสร้างของวัสดุนี้ในหลายทางเพื่อประโยชน์หลายๆ ด้าน เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และมีพื้นที่ผิวมาก จึงมีการนำวัสดุนี้ไปใช้เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดทางเคมี (chemical sensors) สำหรับตรวจวัดแก๊สชนิดต่างๆ อย่างแพร่หลาย (Snow *et al.*, 2005; Modi *et al.*, 2003; Someya *et al.*, 2003; Varghese *et al.*, 2001; Chung *et al.*, 2004)

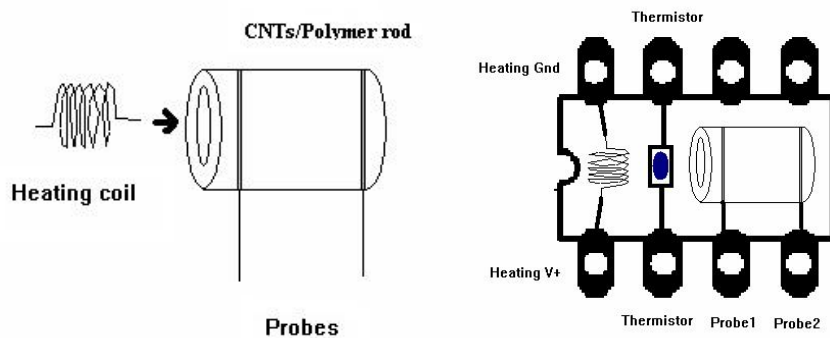
ในปัจจุบัน การเตรียมคอมโพสิตของท่อนาโนคาร์บอนและโพลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติในการเป็นเซนเซอร์ที่ดี เช่น เพิ่มความไวในการตรวจวัด ให้ความเฉพาะเจาะจงกับแก๊สชนิดหนึ่งๆ ให้ขีดจำกัดของการตรวจวัดที่ต่ำลง ขยายความสามารถในการตรวจวัดแก๊สชนิดต่างๆ และทำให้สามารถตรวจวัดได้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นต้น (Santhanam *et al.*, 2005; Valentini *et al.*, 2004; An *et al.*, 2004; Star *et al.*, 2004; Philip *et al.*, 2003; Zhang *et al.*, 2005) Abraham และคณะ (2004) รายงานว่า คอมโพสิตระหว่างท่อนาโนคาร์บอนและโพลิเมทิลเมทาไคเลต ให้สัญญาณตอบสนองที่ไวต่อไอระเหยของไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม อะซิโตน แต่ไม่ไวต่อไอระเหยของเฮกเซน ซึ่งก็เป็นการบอกถึงความเฉพาะเจาะจงในการตรวจวัดไอระเหยของสารอินทรีย์ (Abraham *et al.*, 2004) ต่อมา Bakyarova และคณะ (2004) เปิดเผยว่าคอมโพสิตระหว่างท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (Single-walled carbon nanotube, SWCNTs) กับโพลิเอมีอะมิโนเบนซีน ซัลโฟนิค แอซิด ให้ผลตอบสนองที่ไวต่อการตรวจวัดแอมโมเนียและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วย ในคอมโพสิตนั้น โพลิเมอร์ไม่เพียงแต่จะทำหน้าที่คล้ายเนื้อเยื่อสำหรับการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของท่อนาโนคาร์บอนและทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ที่ไวต่อแก๊สเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดแก๊ส โดยผ่านการทำอันตรกิริยากับโมเลกุลของแก๊สที่ถูกดูดซับและท่อนาโนคาร์บอน อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างการผสมผสานโพลิเมอร์และการทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ของคอมโพสิตกับท่อนาโนคาร์บอนยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างเด่นชัดนัก

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาคอมโพสิตระหว่างท่อนาโนคาร์บอนแบบหลายผนัง (Multi-walled carbon nanotubes, MWCNTs) และโพลิเมอร์ 9 ชนิด ได้แก่ Polyethylene: PE, Polyethylene Glycol: PEG, Polyethylene terephthalate: PET, Polyethylene oxide: PEO, Polyethylene Glycol Disuccinimidyl Succinate: PEG-SS2, Poly (Vinyl Alcohol): PVOH, Polyvinyl chloride: PVC, Polypropylene: PP และ Polystyrene: PS ในหลายๆ อัตราส่วนเพื่อทดสอบการตอบสนองต่อไอระเหยของสารอินทรีย์ที่สนใจได้แก่ แอมโมเนีย เอทานอล โทลูอิน และ ฟอर्मอลดีไฮด์

อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการทดลอง

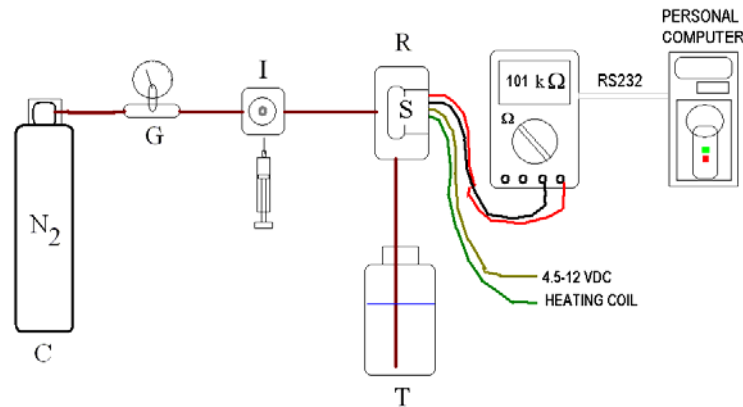
การเตรียมคอมโพสิตของโพลิเมอร์และคาร์บอนนาโนทิวบ์

นำโพลิเมอร์ทั้ง 9 ชนิด ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด โดยใช้ปริมาณของโพลิเมอร์แต่ละชนิด ตั้งแต่ 0.1-0.6 กรัม จากนั้นนำโพลิเมอร์ที่ได้ไปละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยใช้ปริมาตรตัวทำละลายแต่ละชนิดเท่ากับ 10 มิลลิลิตร นำท่อนาโนคาร์บอนไปบดให้ละเอียดและนำไปชั่งโดยเครื่องชั่งละเอียดให้ได้ปริมาณ 1 กรัม นำท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมเรียบร้อยแล้วมาผสมลงในสารละลายโพลิเมอร์ที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากัน แล้วรอให้ตัวทำละลายระเหยไปเองโดยเก็บไว้ในตู้คว่ำ เมื่อตัวทำละลายระเหยหมดแล้วให้นำคอมโพสิตที่ได้มาบดให้ละเอียดอีกครั้ง โดยต้องให้มั่นใจว่าคอมโพสิตละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงแบ่งคอมโพสิตไว้เล็กน้อย (ประมาณเท่าหัวไม้ขีดไฟ) เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ส่วนที่เหลือนำมาขึ้นรูปเป็นเซนเซอร์โดยวิธีการอัดให้เป็นแท่ง (rod-shape pressing method) ซึ่งจะใช้แรงอัดเท่ากับ 850 kg/cm^2 เมื่อได้แท่งของคอมโพสิตแล้ว ทำการสอดลวดความร้อนเข้าไปตรงกลางของแท่ง เพื่อเป็นการควบคุมอุณหภูมิ และวางระบบสายไฟโดยต่อกับ Ni-Cr probes ดังรูป 1 สัญญาณที่ได้จะเป็นผลต่างของค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผ่านแก๊สตัวพาอย่างเดียวกับเมื่อแก๊สตัวพาเป็นไอระเหยของสารอินทรีย์ที่สนใจผ่านเข้าไปยังเซนเซอร์นี้



รูป 1 A rod-pressing molding cell ที่สร้างขึ้น

การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซนเซอร์เมื่อผ่านแก๊สที่สนใจ

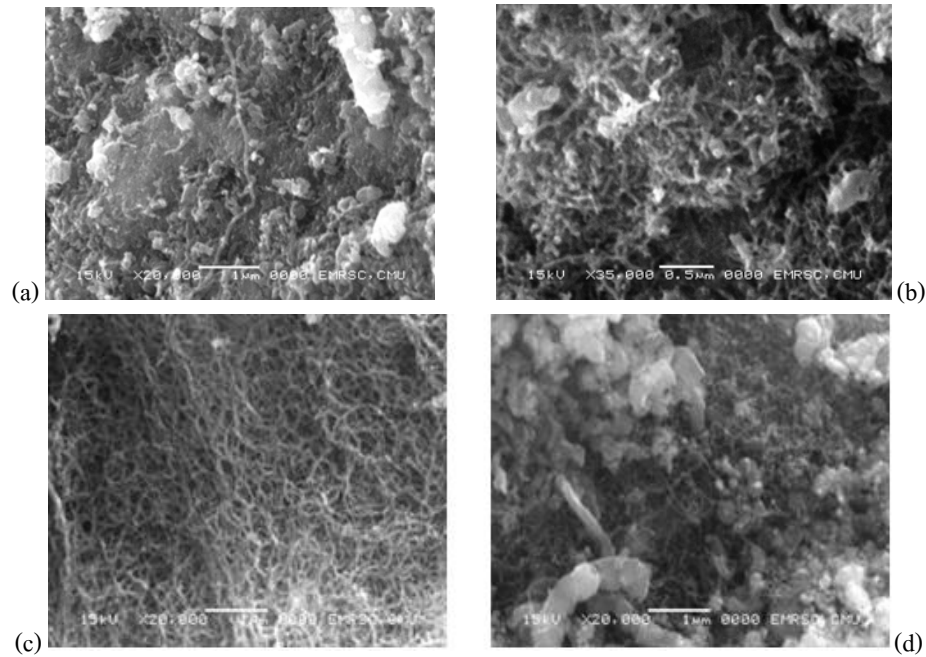


รูป 2 แผนภาพแสดงอุปกรณ์การวัดสมบัติการตรวจวัดแก๊สของเซนเซอร์ที่สร้างขึ้น; C = carrier, G = gauge regulator, I = injection port, R = reactor chamber, S = sensor (CNTs/Polymers composite), T = trapping solution

นำตัวเซนเซอร์ที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังรูป 1 มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ดังไดอะแกรมในรูป 2 แล้วปล่อยแก๊สไนโตรเจนด้วยความเร็ว 1 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นจึงฉีดแก๊สที่สนใจได้แก่ แอมโมเนีย (ในรูปของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์) เอทานอล โทลูอิน และฟอร์มอลดีไฮด์ ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันปริมาณ 1 มิลลิลิตร ทำเช่นเดียวกันนี้ประมาณ 3 ครั้งของแต่ละความเข้มข้น แล้วจึงทำการปล่อยแก๊สไนโตรเจนเพื่อกำจัดแก๊สต่างๆ ที่ฉีดเข้าไป เป็นเวลา 5 นาที ก่อนวัดความเข้มข้นใหม่ การวัดสัญญาณความต้านทานทางไฟฟ้าทำได้โดยการจ่ายศักย์ไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งผ่านเข้าไปในแท่งเซนเซอร์ แล้วตรวจวัดสัญญาณโดยใช้สมองกลขนาดเล็กซึ่งประกอบไปด้วยแอลซีที1661 และ ดีเอซี 10 บิท ทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายศักย์ และ เอ็มซีที3201 และ เอดีซี 12 บิท ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดสัญญาณเมื่อผ่านแก๊สที่เลือกเข้าไปโดยอาศัยแก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สตัวพา

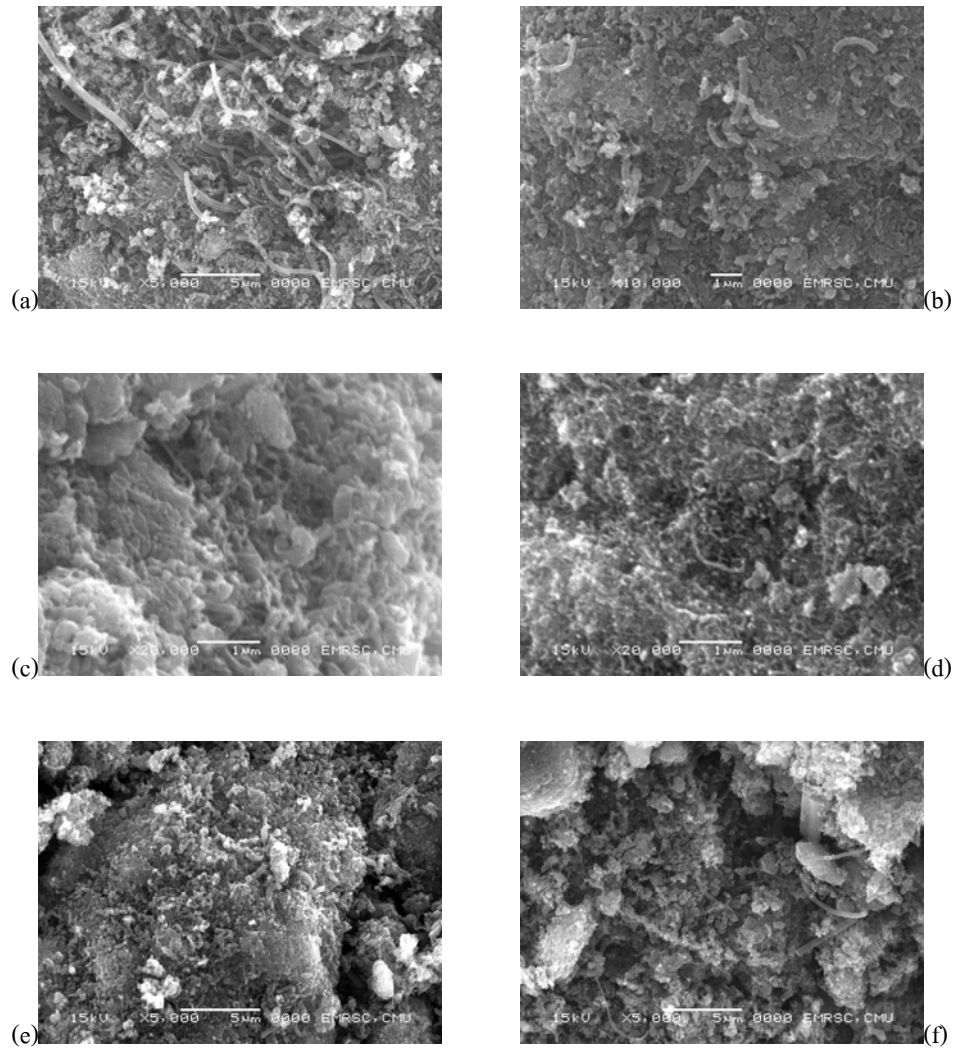
ผลการทดลองและการวิจารณ์

1. การศึกษาลักษณะพื้นผิวของคอมโพสิตโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
คอมโพสิตที่เตรียมได้นั้น มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ โดยเมื่อปริมาณของสารละลายโพลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้บดได้ยากขึ้นเพราะมีการเกาะตัวกันของสารละลายโพลิเมอร์มากขึ้น ซึ่งทำให้คอมโพสิตที่ได้มีความเหนียวและเกาะตัวกันมาก อีกทั้งที่ปริมาณของสารละลายโพลิเมอร์สูงๆ นี้ จะทำให้เห็นประกายของส่วนที่เป็นโพลิเมอร์ได้ชัดเจนกว่าที่ปริมาณน้อยๆ รูป 3 เป็นตัวอย่างลักษณะพื้นผิวของคอมโพสิตระหว่างท่อนาโนคาร์บอนกับโพลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) และ ท่อนาโนคาร์บอนกับโพลิเอทิลีนไกลคอลไดซัลซันนิมิดิลซัลซันเนท (PEG-SS2) ที่อัตราส่วนต่างกัน



รูป 3 ภาพถ่าย SEM ของ (a) 0.1:1 (w/w) PEO:CNTs ; (b) 0.3:1 (w/w) PEO:CNTs; (c) 1:50 (w/w) PEG-SS2 : CNTs; (d) 1:20 (w/w) PEG-SS2 : CNTs

ลักษณะพื้นผิวของคอมโพสิตที่มองเห็นโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูป 4 ทำให้ทราบว่าลักษณะของท่อนาโนคาร์บอนซึ่งเป็นร่างแหเมื่อมีการผสมโพลิเมอร์เข้าไป โพลิเมอร์จะไปกระจายตัวเกาะอยู่ตามร่างแหนั้น การมีโพลิเมอร์เข้าไปจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนลดลงหรือก็คือค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น โดยถ้ามีการกระจายตัวของโพลิเมอร์สม่ำเสมอคอมโพสิตนั้นก็จะมีแนวโน้มที่จะทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ในการตรวจจับแก๊สได้ดี และถ้ามีปริมาณของโพลิเมอร์มากเกินไปในคอมโพสิตก็จะทำให้สัญญาณตอบสนองที่ได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากโพลิเมอร์มีการรวมตัวกันเอง ไม่กระจายตัวไปตามท่อนาโนคาร์บอน แต่อย่างไรก็ตาม ที่อัตราส่วน 1:100 โดยน้ำหนัก (Polymers:CNTs) ของคอมโพสิตแต่ละชนิด ดังรูป 4 อสมฐานของโพลิเมอร์จะแตกต่างกัน ซึ่งบ่งชี้ว่า ไม่ใช่คอมโพสิตทุกชนิดที่เหมาะสมจะเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดแก๊สชนิดหนึ่งๆ มีแค่บางชนิดเท่านั้นที่ให้ความจำเพาะเจาะจงกับแก๊สนั้นๆ โดยต้องทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอมโพสิตต่อไป



รูป 4 ภาพถ่าย SEM ของ 1:100 w/w (Polymers:CNTs) composites: (a) PE; (b) PEG; (c) PET; (d) PP; (e) PS; (f) PVOH

2. การศึกษาการตอบสนองต่อแก๊สต่างๆ ของเซนเซอร์ที่สร้างขึ้น

เมื่อได้อัตราร่วมที่เหมาะสมของคอมโพสิตแล้ว ก็ทำการศึกษาการตอบสนองของเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นต่อแก๊สที่สนใจโดยทำการต่ออุปกรณ์ดังรูป 2 แล้วฉีดไอระเหยของสารอินทรีย์ที่สนใจที่ความเข้มข้นต่างๆ กันผ่านกระแสของแก๊สไนโตรเจน ได้ผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 1 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า ($k\Omega$) ของเซนเซอร์ (1:50 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนำไป
 ระบุของแอมโมเนียความเข้มข้น 0.1-0.5 ppm

Concentration Polymers	0.0 ppm	0.1 ppm	0.2 ppm	0.3 ppm	0.4 ppm	0.5 ppm
PE	0	1	1	1	1	1
PVOH	0	0	0	0	0	0
PEG	0	1	1	1	1	1
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	0	0	0	0	0
PVC	0	0	0	0	0	0
PET	0	1	1	1	1	1
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	1.5	1.8	2	2.2	2.5

ตาราง 2 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า ($k\Omega$) ของเซนเซอร์ (1:100 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนำไป
 ระบุของแอมโมเนียความเข้มข้น 0.1-0.5 ppm

Concentration Polymers	0.0 ppm	0.1 ppm	0.2 ppm	0.3 ppm	0.4 ppm	0.5 ppm
PE	0	0	0	0	0	0
PVOH	0	0	0	0	0	0
PEG	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	0	0	0	0	0
PVC	0	0	0	0	0	0
PET	0	0	0	0	0	0
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	0.5	0.8	1.1	1.2	1.3

ตาราง 3 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า (kΩ) ของเซนเซอร์ (1:50 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนำไป
 ระบายของแอมโมเนียความเข้มข้น 10-50 ppm

Concentration Polymers	0.0 ppm	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm	50 ppm
PE	0	1	2	2	2	2
PVOH	0	0	0	0	0	0
PEG	0	1	2	2	2	2
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	1	2	2	2	2
PVC	0	0	0	0	0	0
PET	0	1	2	2	2	2
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	2	5	10	15	20

ตาราง 4 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า (kΩ) ของเซนเซอร์ (1:100 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนำไป
 ระบายของแอมโมเนียความเข้มข้น 10-50 ppm

Concentration Polymers	0.0 ppm	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm	50 ppm
PE	0	2	2	2	2	2
PVOH	0	0	0	0	0	0
PEG	0	2	2	2	2	2
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	2	2	2	2	2
PVC	0	0	0	0	0	0
PET	0	2	2	2	2	2
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	1	2	3	4	5

จากผลการทดลองดังตารางที่ 1-4 พบว่า เฉพาะโพลิเมอร์ที่มีเอทิลีนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ โพลีเอทิลีน โพลีเอทิลีนไกลคอล โพลีเอทิลีนไกลคอลไคซัลซินนิมิลซัลซินเนท โพลีเอทิลีนเทเลพาทเลต และ โพลีเอทิลีนออกไซด์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 และ 1 ต่อ 100 โดยน้ำหนัก (โพลิเมอร์ ต่อ ท่อนาโนคาร์บอน) ให้สัญญาณตอบสนองต่อไอระเหยของแอมโมเนีย โดยมีแต่โพลีเอทิลีนออกไซด์เท่านั้นที่ให้สัญญาณตอบสนองที่แปรผันตรงกับความเข้มข้นทั้งที่ความเข้มข้นต่ำ (0.1-0.5 ppm) และความเข้มข้นสูง (10-50 ppm)

ตาราง 5 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า ($k\Omega$) ของเซนเซอร์ (1:50 w/w Polymers:CNTs) เมื่อฉีดไอระเหยของโทลูอีนความเข้มข้น 0.1-0.5 ppm

Polymers	Concentration					
	0.0 ppm	0.1 ppm	0.2 ppm	0.3 ppm	0.4 ppm	0.5 ppm
PE	0	0	0	0	0	0
PVOH	0	1	1	1	1	1
PEG	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	0	0	0	0	0
PVC	0	6	6	6	6	6
PET	0	0	0	0	0	0
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	0	0	0	0	0

ตาราง 6 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า (kΩ) ของเซนเซอร์ (1:100 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนิดไอระเหยของโทลูอีนความเข้มข้น 0.1-0.5 ppm

Concentration \ Polymers	0.0 ppm	0.1 ppm	0.2 ppm	0.3 ppm	0.4 ppm	0.5 ppm
PE	0	0	0	0	0	0
PVOH	0	1	1	1	1	1
PEG	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	0	0	0	0	0
PVC	0	1	2	3.3	4.7	6
PET	0	0	0	0	0	0
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	0	0	0	0	0

ตาราง 7 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า (kΩ) ของเซนเซอร์ (1:50 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนิดไอระเหยของโทลูอีนความเข้มข้น 10-50 ppm

Concentration \ Polymers	0.0 ppm	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm	50 ppm
PE	0	0	0	0	0	0
PVOH	0	2	2	2	2	2
PEG	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	0	0	0	0	0
PVC	0	6	6	6	6	6
PET	0	0	0	0	0	0
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	0	0	0	0	0

ตาราง 8 ค่าผลต่างความต้านทานไฟฟ้า ($k\Omega$) ของเซนเซอร์ (1:100 w/w Polymers:CNTs) เมื่อนิดไอระเหยของโทลูอินความเข้มข้น 10-50 ppm

Concentration	0.0	10	20	30	40	50
Polymers	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
PE	0	0	0	0	0	0
PVOH	0	1	1	1	1	1
PEG	0	0	0	0	0	0
PS	0	0	0	0	0	0
PEG-SS2	0	0	0	0	0	0
PVC	0	4	4	4	4	4
PET	0	0	0	0	0	0
PP	0	0	0	0	0	0
PEO	0	0	0	0	0	0

จากผลการทดลองดังตารางที่ 5-8 พบว่า เฉพาะโพลิเมอร์ที่มีไวโอลเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ โพลิไวโอลแอลกอฮอล์ และ โพลิไวโอลคอลไรด์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 และ 1 ต่อ 100 โดยน้ำหนัก (โพลิเมอร์ ต่อ ท่อนาโนคาร์บอน) ให้สัญญาณตอบสนองต่อไอระเหยของโทลูอิน โดยมีแต่โพลิไวโอลคอลไรด์เท่านั้น (อัตราส่วน 1 ต่อ 100 โดยน้ำหนัก) ที่ให้สัญญาณตอบสนองที่แปรผันตรงกับความเข้มข้นที่ความเข้มข้นต่ำ (0.1-0.5 ppm)

สรุปผลการทดลอง

คอมโพสิทระหว่างท่อนาโนคาร์บอนและโพลิเมอร์สองประเภทคือ ประเภทที่มีเอทิลีนและไวโอลเป็นองค์ประกอบ พบว่า สามารถนำมาผลิตเป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดไอระเหยของแอมโมเนียและโทลูอินได้ตามลำดับ โดยในงานวิจัยนี้ได้วิธีการเตรียมคอมโพสิทอย่างง่ายไม่ต้องผ่านการทำโพลิเมอร์ไรเซชัน และพบว่าเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นสามารถนำกลับมาใช้ได้ซ้ำถึง 100 ซ้ำซึ่งเพียงแค่ผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้าไปก่อนที่จะทำการฉีดความเข้มข้นต่อไป นอกจากนี้ยังให้สัญญาณการตอบสนองในเวลาอันรวดเร็ว (ไม่เกิน 1 นาที) ส่วนคอมโพสิทชนิดอื่นๆ ยังคงต้องมีการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการจะใช้เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดแก๊สต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์รวมทั้งเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ เครื่องมือและโปรแกรมได้รับการพัฒนามาจากกลุ่มวิจัยอัลฟาโพล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- Abraham, J.K., Philip, B., Witchurch, A., Varadan, V.K. and Reddy, C.C. (2004). A compact wireless gas sensor using a carbon nanotube/PMMA thin film chemresistor. *Smart Mater. Struct.*, *13*, 1045-1049.
- An, K.H., Jeong, S.Y., Hwang, H.R. and Lee, Y.H. (2004). Enhanced sensitivity of a gas sensor incorporating single-walled carbon nanotube-polypyrrole nanocomposites. *Adv. Mater.*, *16*, 1005-1009.
- Bakyarova, E., Davis, M., Burch, T., Itkis, M.E., Zhao, B., Sunshine, S., et al. (2004). Chemically functionalized single-walled carbon nanotubes as ammonia sensors. *J. Phys. Chem. B*, *108*, 19717-19720.
- Chung, J., Lee, K.H., Lee, J.H., Troya, D. and Schatz, G.C. (2004). Multi-walled carbon nanotubes experiencing electrical breakdown as gas sensors. *Nanotechnology*, *15*, 1596-1602.
- Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, *354*, 56-58.
- Modi, A., Koratkar, N., Lass, E., Wei, B.Q. and Ajayan, P.M. (2003). Miniaturized gas ionization sensors using carbon nanotubes. *Nature*, *424*, 171-174.
- Philip, B., Abraham, J.K., Chandrasekhar, A. and Varadan, V.K. (2003). Carbon nanotube/PMMA composite thin films for gas-sensing applications. *Smart Mater. Struct.*, *12*, 935-939.
- Santhanam, K.S.V., Sangoi, R. and Fuller, L. (2005). A chemical sensor for chloromethanes using a composite of multiwalled nanotubes with poly(3-methylthiophene). *Sens. Actuators, B*, *106*, 766-771.
- Snow, E.S., Perkins, F.K., Houser, E.J., Badescu, S.C. and Reinecke, T.L. (2005). Chemical detection with a single-walled carbon nanotube capacitor. *Science*, *307*, 1942-1945.
- Someya, T., Small, J., Kim, P., Nuckolls, C. and Yardley, J.T. (2003). Alcohol vapor sensors based on single-walled carbon nanotube field effect transistor. *Nano. Lett.*, *3*, 877-881.
- Star, A., Han, T.R., Joshi, V., GAbreil, J.C.P. and Gruner, G. (2004). Nanoelectronic carbon dioxide sensors. *Adv. Mater.*, *16*, 2049-2052.

- Valentini, L., Bavastrello, V., Stura, E., Armentano, I., Nicolini, C. and Kenny, J.M. (2004). Sensors for inorganic vapor detection based on carbon nanotubes and poly(*o*-anisidine) composite material. *Chem. Phys. Lett.*, 383, 617-622.
- Varghese, O.K., Kichambre, P.D., Gong, D., Ong, K.G., Dickey, E.C. and Grimes, C.A. (2001). Gas sensing characteristics of multi-wall carbon nanotubes. *Sens. Actuators, B.*, 81, 32-41.
- Zhang, B. Fu, R.W., Zhang, M.Q., Dong, X.M., Lan, P.L. and Qiu, J.S. (2005). Preparation and characterization of gas-sensitive composites from multi-walled carbon nanotubes/polystyrene. *Sens. Actuators, B.*, 109, 323-328.