

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน  
สำหรับตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย

Influence of Temperature on Synthesized Carbon Nanotubes  
for  $\text{NH}_3$  Gas Detection

รววุฒิ เมืองรัตน์<sup>1</sup> ภูวคณ วรธนะชัยแสง<sup>2</sup> และชัยศักดิ์ อิศโร<sup>1,\*</sup>

Worawut Muangrat Bhuwadol Wanthanchaisaeng and Chaisak Issro

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>2</sup>คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สอะเซทีลีนและนิกเกิลเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนและโลหะคะตะลิสต์ ตามลำดับ โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นจะถูกตรวจสอบด้วย เครื่องรามานสเปกโทรสโกปี กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดยท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ทีละอุณหภูมิ ถูกนำไปตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 2000 ถึง 7000 ppm ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แสดงลักษณะเด่นของสมบัติโลหะมีความไวในการตอบสนองต่อการวัดที่ดี โดยค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของโมเลกุลของแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 และ 950 องศาเซลเซียส แสดงสมบัติของการเป็นสารกึ่งตัวนำ มีความไวในการตอบสนองและการวัดแก๊สแอมโมเนียที่ต่ำ

คำสำคัญ : ท่อนาโนคาร์บอน, แก๊สเซ็นเซอร์, การเคลือบไอระเหยทางเคมี

E-mail address : [ichaisak@yahoo.com](mailto:ichaisak@yahoo.com) โทรศัพท์ 038-109140 โทรสาร 038-393493

## Abstract

In this research, multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) were synthesized by thermal Chemical vapor deposition (CVD) at 850, 900 and 950°C. Acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) and nickel were used as a carbon source and metal catalyst, respectively. The structure and morphology of the synthesized MWNTs were characterized by scanning electron microscopy (SEM), transmission Electron microscopy (TEM) and Raman Spectroscopy. The MWNTs of each synthesis temperature were employed for detection ammonia (NH<sub>3</sub>) gas at concentrations in the range from 2000 to 7000 ppm at room temperature. It was found the MWNTs synthesized at 900°C showed the Dominant metallic property with fast response and good sensitivity on NH<sub>3</sub> gas. Resistance change of MWNTs increased with increasing NH<sub>3</sub> gas concentration. The MWNTs synthesized at 850 and 950°C indicated semiconductor property with low response and low sensitivity on NH<sub>3</sub> gas detection.

**Keywords :** carbon nanotubes, gas sensor, chemical vapor deposition

## 1. บทนำ

จากการค้นพบในปี 1991 ท่อนาโนคาร์บอน [1] นับเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในปัจจุบันเนื่องจากมีสมบัติพิเศษทั้งเชิงกลและไฟฟ้า ท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติเป็นได้ทั้งโลหะหรือสารกึ่งตัวนำโดยสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดของท่อนาโนคาร์บอน [2] จากสมบัติดังกล่าวทำให้มีการนำท่อนาโนคาร์บอนไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น Hydrogen Storage [3] Field Emission [4] และ AFM/STM probes [5] เป็นต้น ซึ่งการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น อาร์คดิซชาร์จ [6] การระเหยด้วยเลเซอร์ [7] และการเคลือบไอระเหยทางเคมี [8] เป็นต้น วิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนได้ทั้งท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียว (Single-walled Carbon Nanotubes; SWNTs) และท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น เป็นวิธีที่สังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนได้ง่าย ผลิตได้ในปริมาณมาก มีความบริสุทธิ์สูง และสามารถเลือกบริเวณที่ทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนได้

ปัจจุบันได้มีการนำท่อนาโนคาร์บอนมาประยุกต์ใช้เป็นแก๊สเซ็นเซอร์ (Gas sensor) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวที่สูง มีความไวและการตอบสนองทางไฟฟ้าที่ดี และที่สำคัญมีราคาไม่แพง จากสมบัติดังกล่าวได้มีการนำท่อนาโนคาร์บอนไปตรวจวัดแก๊สชนิดต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ฯลฯ [9] แก๊สแอมโมเนียเป็นแก๊สชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น ปิโตรเลียม เกษตรกรรม และทางการแพทย์ เป็นต้น เป็นแก๊สพิษที่มีอันตรายต่อร่างกาย เมื่อสัมผัสจะทำให้เกิดการระคายเคือง เจ็บคอ แน่นหน้าอก ฯลฯ หากได้รับปริมาณสูงอาจทำให้เสียชีวิตได้ในทันที ดังนั้นเพื่อเป็นการระวังและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวัดและควบคุมปริมาณแก๊สแอมโมเนียในสถานที่ต่างๆให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ [10]

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อนโดยใช้แก๊สอะเซทิลีนเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โครงสร้าง สัณฐานวิทยา และความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนจะถูกวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy; TEM) และเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี ตามลำดับ โดยท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้แต่ละอุณหภูมิจะถูกนำไปทดสอบการตรวจจับแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาประสิทธิภาพของท่อนาโนคาร์บอนไปประยุกต์ใช้เป็นแก๊สเซ็นเซอร์

## 2. วิธีการทดลอง

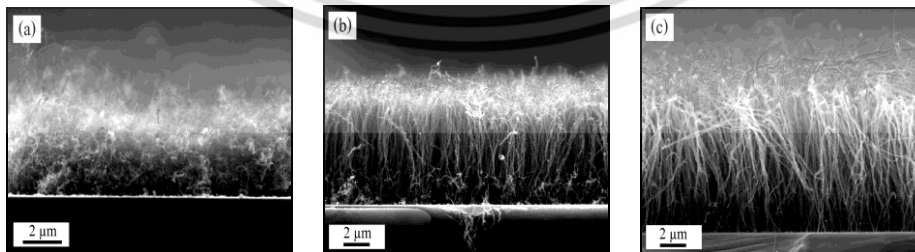
นำแผ่นซิลิคอนชนิดพี ระบาย (100) ขนาด 20×20 มิลลิเมตร ไปทำความสะอาดด้วยอะซิโตน (acetone) โดยเครื่องสั่นอัลตราโซนิค (ultrasonic) และน้ำปราศจากไอออน (deionized water) ตามลำดับ จากนั้นให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศออกซิเจนเพื่อสร้างชั้นซิลิคอนออกไซด์บนแผ่นซิลิคอน นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปเคลือบด้วยนิกเกิลโดยวิธีดีซี-สปีดเตอริง (dc-sputtering) ที่ความหนาของชั้นฟิล์ม นิกเกิลประมาณ 20 นาโนเมตร นำฟิล์มนิกเกิลไปวางบริเวณกึ่งกลางของท่อสแตน-เลสของระบบการเคลือบไอระเหยทางเคมี ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยขั้นตอนเริ่มต้นจากการเปิดแก๊สอาร์กอนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 500 sccm (Standard Cubic Centimeters per Minute; sccm) เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ของตัวอย่างเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จากนั้น

ให้ความร้อนกับระบบจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียด้วยอัตราการไหล 50 sccm เป็นเวลา 20 นาที เพื่อทำหน้าที่กำจัดออกไซด์บนฟิล์มนิกเกิล และเพื่อเปลี่ยนฟิล์มนิกเกิลให้เป็นอนุภาคนิกเกิล ต่อจากนั้นทำการปลดปล่อยแก๊สอะเซทิลีนด้วยอัตราการไหล 20 sccm เป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยการลดอุณหภูมิของระบบลงสู่อุณหภูมิห้องพร้อมกับปลดปล่อยอาร์กอนด้วยอัตราการไหล 500 sccm ผู้ระบบขณะที่อุณหภูมิลดลง

ท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่างๆ จะถูกนำไปตรวจจับแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน โดยศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอน เริ่มต้นด้วยการปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 2500 sccm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำการปรับระบบก่อนการทดสอบการตรวจจับแก๊ส จากนั้นทำการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียเป็นเวลา 3 นาที ในแต่ละความเข้มข้น และทำการปลดปล่อยแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 2500 sccm เป็นเวลา 5 นาที หลังปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียทุกครั้งเพื่อกำจัดแก๊สแอมโมเนียในระบบก่อนทำการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้นถัดไป การศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของการตรวจจับแก๊ส พิจารณาได้จากค่า Sensivity (S) เมื่อความสัมพันธ์ของ  $S = \frac{|R - R_0|}{R_0} \times 100$  กำหนดให้ R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนขณะปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย และ  $R_0$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนเริ่มต้นภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนก่อนการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ของขนาด รูปร่างและ โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน มีผลดังนี้

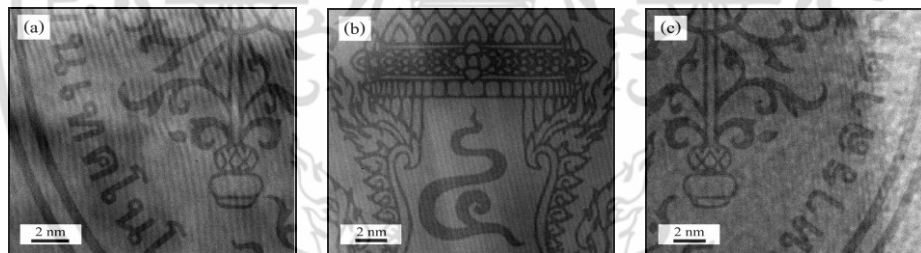


รูปที่ 1. ภาพถ่าย SEM ตามขวางของท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ

(a) 850 องศาเซลเซียส (b) 900 องศาเซลเซียส (c) 950 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 1(a-c) แสดงภาพถ่าย SEM ตามขวางของท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส พบว่าท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส มีลักษณะที่โค้งงอและเป็นเกลียวพันกันและมีรูปแบบการจัดเรียงตัวอย่างไร้ระเบียบ ขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะความเป็นเส้นตรงมากขึ้น และมีรูปแบบการจัดเรียงตัวอยู่ในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกับผิวของแผ่นรองรับ สาเหตุการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส มีรูปแบบการจัดเรียงตัวในลักษณะดังกล่าวเนื่องจากอนุภาค निकเกิด มีความหนาแน่นที่เหมาะสมทำให้ท่อนาโนคาร์บอนที่ก่อตัวแต่ละท่อจะเกิดการบิดขวงและเกิดแรงวนเดอรัวาลส์ระหว่างกันขึ้น [11]

เมื่อทำการสังเกตค่าความยาวเฉลี่ยของท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส มีความยาวที่ 8 และ 10 ไมโครเมตร ตามลำดับ สาเหตุดังกล่าวมาจากการใช้อุณหภูมิของการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นทำให้เกิดอะเซทีลีนมีการแตกตัวได้ในปริมาณที่มากขึ้นและแพร่กระจายลงบนอนุภาค निकเกิดเพิ่มมากขึ้น เป็นผลทำให้ค่าความยาวของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงขึ้น

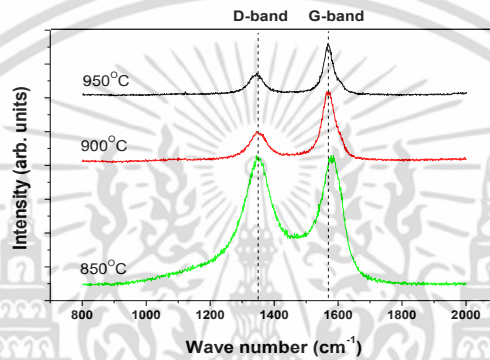


รูปที่ 2. ภาพถ่าย TEM ของท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ

(a) 850 องศาเซลเซียส (b) 900 องศาเซลเซียส (c) 950 องศาเซลเซียส

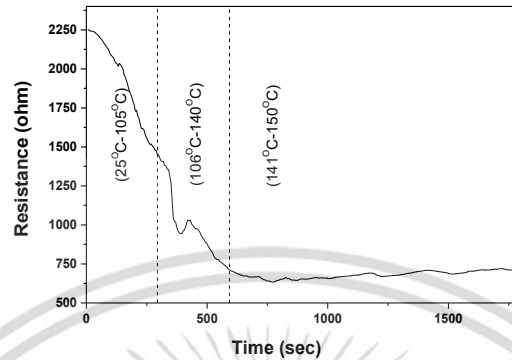
จากรูปที่ 2(a-c) แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วย TEM พบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะแบบผนังหลายชั้น มีความเป็นระเบียบของผนังท่อนาโนคาร์บอนมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดอะเซทีลีนมีการแตกตัวได้ดีขึ้น โดยที่ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส มีค่า 85, 100 และ 105 นาโนเมตร ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงขึ้น

สาเหตุเป็นผลมาจากการเตรียมอนุภาคนิกเกิล เนื่องจากการเตรียมอนุภาคนิกเกิลที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้อนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการก่อตัวของท่อนาโนคาร์บอนทำให้มีขนาดที่เพิ่มขึ้น และพบว่าท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นคล้ายต้นไผ่ (Bamboo-shaped Multi-walled Carbon Nanotubes; BSMWNTs)

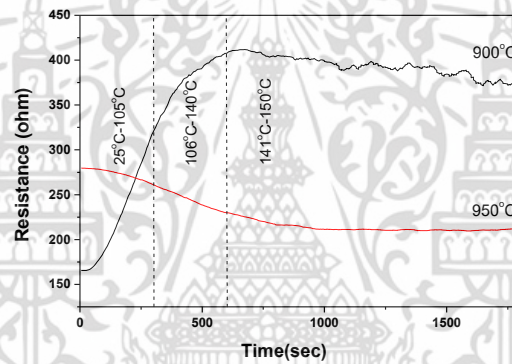


รูปที่ 3. สเปกตรัมรามานของท่อนาโนคาร์บอนภายใต้การสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคของรามานสเปกโทรสโกปี จากการวิเคราะห์พบว่าท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส เกิดพีคของ G แบนด์ที่บริเวณตำแหน่ง 1583, 1578 และ 1568  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งพีคดังกล่าวแสดงลักษณะโครงสร้างของชั้น กราฟีนของท่อนาโนคาร์บอน และเกิดพีค D แบนด์ที่บริเวณตำแหน่ง 1347, 1353 และ 1340  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งพีค D แบนด์ แสดงลักษณะความไม่เป็นระเบียบของอะตอมคาร์บอนในชั้นกราฟีนหรือความบกพร่องของโครงสร้างในชั้นกราฟีน ซึ่งค่าความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเข้มของพีค I(G) และ I(D) พบว่าค่า I(G)/I(D) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.00 เป็น 2.19 เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงขึ้น จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4. การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับความร้อน

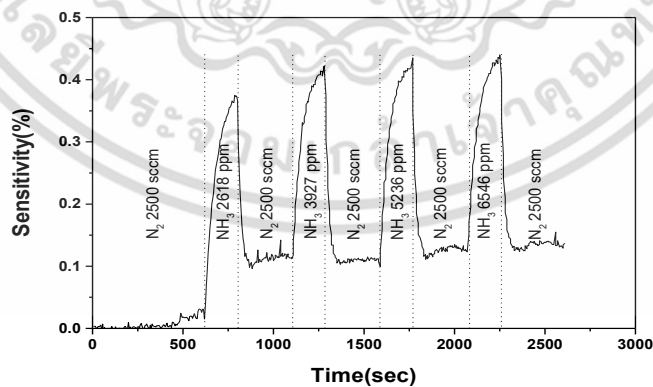


รูปที่ 5. การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับความร้อน

รูปที่ 4-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าของนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่างๆ กับฟังก์ชันของอุณหภูมิขณะทำการวัดความต้านทานของนาโนคาร์บอน จากอุณหภูมิห้องจนถึงกระทั่งถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส พบว่านาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 และ 950 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับความร้อนค่าความต้านทานทางไฟฟ้ามีค่าลดลง สาเหตุมาจากอิเล็กตรอนบางส่วนจากแถบวาเลนซ์เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในแถบนำไฟฟ้าได้ ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งแสดงว่านาโนคาร์บอนมีสมบัติของการเป็นสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่นาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อได้รับความร้อนค่าความต้านทานทางไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนดังกล่าวทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น สมบัติดังกล่าวแสดงสภาวะของโลหะ ดังนั้นต่อ

นาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 และ 950 องศาเซลเซียส จะมีสมบัติของความเป็นสารกึ่งตัวนำ ในสัดส่วนที่มากกว่าโลหะ และท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีความเป็นโลหะในสัดส่วนที่มากกว่าสารกึ่งตัวนำ ขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานเริ่มต้นที่สูงกว่าท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส สาเหตุหนึ่งเกิดจากการที่ท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีความไม่เป็นระเบียบและความบกพร่องของผนังท่อที่สูง ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานเริ่มต้นที่สูงกว่า 900 และ 950 องศาเซลเซียส

รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส สำหรับใช้เป็นแก๊สเซ็นเซอร์ โดยใช้แก๊สแอมโมเนียในช่วงความเข้มข้น 2000 ถึง 7000 ppm พบว่าท่อนาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าทันที เมื่อสัมผัสกับโมเลกุลของแก๊สแอมโมเนียและมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า sensitivity ที่วัดได้มีค่าประมาณ 0.44% สาเหตุเนื่องมาจากท่อนาโนคาร์บอนเมื่อดูดซับโมเลกุลของแก๊สแอมโมเนียจะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างอิเล็กตรอนของแก๊สสู่ผนังท่อนาโนคาร์บอน การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของแอมโมเนียไปยังแถบวาเลนซ์ของท่อนาโนคาร์บอน ส่งผลให้ความหนาแน่นโฮลมีค่าลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มระยะระหว่างแถบนำไฟฟ้ากับแถบวาเลนซ์ จากสาเหตุดังกล่าวทำให้มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี [12]



รูปที่ 6. การเปลี่ยนแปลง Sensitivity ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ

สำหรับท่อานาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 และ 950 องศาเซลเซียส พบว่าท่อานาโนคาร์บอนเมื่อนำไปตรวจจذبโมเลกุลของแก๊สแอมโมเนียมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ สาเหตุดังกล่าวน่าจะมาจากท่อานาโนคาร์บอนแสดงสมบัติการเป็นสารกึ่งตัวนำในสัดส่วนที่มากกว่าโลหะ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ [13] ที่ได้มีการศึกษาการตรวจจذبโมเลกุลแก๊สกับท่อานาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวในกรณีที่มีสมบัติเป็นโลหะและสารกึ่งตัวนำ พบว่าท่อานาโนคาร์บอนที่แสดงสมบัติเป็นโลหะมีการดูดซับเชิงเคมี (Chemisorption) ที่สูงกว่าการดูดซับเชิงกายภาพ (Physisorption) เนื่องจากค่าการดูดซับเชิงเคมีที่สูงนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวที่สูง มีความเสถียร และมีการถ่ายเทประจุได้ดีกว่าทำให้มีค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าที่ดี ในขณะที่ท่อานาโนคาร์บอนที่แสดงสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำจะมีปริมาณการดูดซับเชิงเคมีในระดับที่ใกล้เคียงกับการดูดซับเชิงกายภาพ และทำให้ค่าผลรวมของพลังงานในการยึดเหนี่ยวและการถ่ายเทประจุมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นผลให้ค่าการตอบสนองทางไฟฟ้ามีค่าลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับท่อานาโนคาร์บอนที่มีสมบัติของโครงสร้างที่มีสมบัติเด่นทางด้านโลหะ

#### 4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ท่อานาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อานาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 85, 100 และ 105 นาโนเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี พบว่าค่าความสมบูรณ์ของท่อานาโนคาร์บอนมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้สังเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยท่อานาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส มีลักษณะของท่อเป็นแบบผนังหลายชั้นคล้ายต้นไม้ ผลการทดสอบการตรวจจذبแก๊สแอมโมเนียของท่อานาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับท่อานาโนคาร์บอนสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 และ 950 องศาเซลเซียส สาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิในการสังเคราะห์ท่อานาโนคาร์บอนมีผลต่อการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนของแผ่นกราฟีนบริเวณผนังท่อานาโนคาร์บอนที่มีลักษณะเด่นด้านโลหะจะมีแนวโน้มที่จะตอบสนองต่อการตรวจจذبแก๊สแอมโมเนียได้ดีกว่าท่อานาโนคาร์บอนที่มีสมบัติเด่นด้านสารกึ่งตัวนำ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนทุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ภายใต้โครงการทุนวิจัยมหาวิทยาลัย สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Iijima, S., 1991. Helical Microtubules of Graphitic Carbon. *Nature*, 354, 56-58.
- [2] Avouris, P., 2002. Carbon Nanotube Electronics. *Chem. Phys.*, 281, 429-445.
- [3] Lee, S.M. and Lee, Y.H., 2000. Hydrogen Storage in Single-walled Carbon Nanotubes. *Appl. Phys. Lett.*, 76, 2877-2879.
- [4] Cheng, Y. and Zhou, O., 2003. Electron Field Emission from Carbon Nanotubes. *C.R. Physique*, 4, 1021-1033.
- [5] Dai, H., Hafner, J.H., Rinzler, A.G., Colber D.T. and Smalley, R.E., 1996. Nanotubes as Nanoprobes in Scanning Probe Microscopy. *Nature*, 384, 147-150.
- [6] Journet, C., Maser, WK., Bernier, P., Loiseau, A., Lamy de la Chapelle, M. and Lefrant, S., 1997. Large-scale Production of Single-walled Carbon Nanotubes by the Electric-arc Technique. *Nature*, 388, 756-758.
- [7] Thess, A., Lee, R., Nikolaev, P., Dai, H., Petit, P., Robert, J., Xu, C., Lee, Y.H., Kim, S.G., Rinzler, A.G., Colbert, D.C., Gustavo, E.S., Tomanek, D., Fischer, J.E. and Smalley, R.E., 1996. Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes. *Science*, 273, 483-487.
- [8] Ren, Z.F., Huang, Z.P., Xu, J.W., Wang, J.H., Bush, P., Siegal, M.P. and Provencio, P.N., 1998. Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass. *Science*, 282, 1105-1107.
- [9] Valentini, L., Cantalini, C., Armentano, I., Kenny, J.M., Lozzi, L. and Santucci, S., 2004. Highly Sensitive and Selective Sensors Based on Carbon Nanotubes Thin Films for Molecular Detection. *Diamond Related Mater.*, 13, 1301-1305.

- [10] Christie, S., Scorsone, E., Persaud, K. and Kvasnik, F., 2003. Remote Detection of Gaseous Ammonia using the Near Infrared Transmission Properties of Polyaniline. *Sensors and Actuat. B.*, 90, 163-169.
- [11] Lee, C.J., Park, J., Kang, S.Y. and Lee, J.H., 2000. Growth and Field Electron Emission of Vertically Aligned Multiwalled Carbon Nanotubes. *Chem. Phys. Lett.*, 326, 175-180.
- [12] Faizah, M.Y., Fakhru'l-Razii, A.F., Sidek, R.M. and Abdullah, A.G., 2007. Gas Sensor Application of Carbon Nanotubes. *Int. J. Eng. Tech.*, 4, 106-113.
- [13] Ricca, A. and Bauschlicher Jr., C.W., 2006. The Adsorption of NO<sub>2</sub> on (9,0) and (10,0) Carbon Nanotubes. *Chem. Phys.*, 323, 511-518.

