

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันมีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และประยุกต์ใช้อุณหภูมิคาร์บอนระดับนาโนเมตรเป็นจำนวนมาก แต่ในบรรดาผลงานวิจัยดังกล่าวเมื่อได้ทำการศึกษาในเบื้องต้นโดยพิจารณาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์ตัวตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากพอลิเมอร์ประกอบแต่งของอุณหภูมิคาร์บอนระดับนาโนเมตรและพอลิเมอร์ พบว่ามีงานที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเป็นงานวิจัยนี้ดังต่อไปนี้

2.1 การสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร และการประยุกต์ใช้ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรในกระบวนการการดูดซับ พบว่ามีงานที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเป็นงานวิจัยใหม่ด้วยคุณสมบัติที่พิเศษของอุณหภูมิคาร์บอนระดับนาโนเมตร เช่น ความสามารถในการดูดซับของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร (Carbon nanotube; CNT) อาจนำมาพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานนั้น มีการศึกษาอย่างกว้างขวางมาก ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกนำเสนอผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมุ่งเน้นข้อมูลงานที่ทำการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรด้วยวิธีการต่างๆ ที่มีแนวโน้มจะได้ลดต้นทุนในการสังเคราะห์ต่ำ โดยตัวอย่างของกรรมวิธีในการสังเคราะห์ต่างๆ นั้นสามารถสรุปโดยสังเขปดังนี้

ก) การระเหด้วยเลเซอร์

วิธีการระเหด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) เป็นการปลูกท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรโดยใช้แสงเลเซอร์กำลังสูงยิงไปบนเป้าหมายแกรไฟต์ (graphite target) ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซอาร์กอน โดยก๊าซเฉื่อยดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นก๊าซตัวพาในการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทไอของอะตอมคาร์บอนไปยังตัวดักจับ (collector) เมื่อเป้าหมายแกรไฟต์มีอุณหภูมิสูงขึ้น อะตอมของคาร์บอนจะกลายเป็นไอ หลังจากนั้นไอของคาร์บอนจะถูกพัดพาออกไปตามทิศทางการไหลของก๊าซเฉื่อยไปยังตัวดักจับ ที่ติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำ และก่อตัวเป็นของแข็งบนตัวดักจับ ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ผลผลิตค่อนข้างสูง (70%) และผลผลิตที่ได้ส่วนมากจะเป็นท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรชนิดผนังเดี่ยว (Single-walled carbon nanotubes; SWCNTs) ซึ่งสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้จากการควบคุมอุณหภูมิ ส่วนข้อเสียของเทคนิคนี้คือต้องใช้เลเซอร์ที่มีราคาแพงเป็นแหล่งพลังงานให้กับเป้าหมายแกรไฟต์ [5]

ข) การปล่อยประจุแบบอาร์ค

วิธีการปล่อยประจุแบบอาร์ค (arc discharge) สามารถกระทำได้โดยต่อขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์สองขั้ว ซึ่งวางห่างกันประมาณ 1 มิลลิเมตร เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ต่ำ (12 ถึง 25 โวลต์) กระแสสูงในระดับประมาณ 50 ถึง 120 แอมแปร์ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซอาร์กอนและก๊าซฮีเลียม เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วจะทำให้ฉนวนรอบขั้วแกรไฟต์เกิดการเบรกดาวน์และทำให้บรรยากาศรอบ ๆ ขั้วแกรไฟต์สามารถนำไฟฟ้าได้ ความร้อนจากการอาร์คทำให้อะตอมของคาร์บอนที่ผิวแท่งแกรไฟต์ระเหยกกลายเป็นไอสู่บรรยากาศ เมื่ออะตอมเย็นตัวลงจะรวมตัวกันเป็นคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ [5-6, 8]

ค) การปลูกด้วยไอเคมี

วิธีการปลูกด้วยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition; CVD) เป็นวิธีที่ใช้ก๊าซที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเช่น C_2H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 หรือ CO เป็นสารตั้งต้น โดยกระบวนการจะเริ่มจากการป้อนก๊าซที่มีส่วนผสมของคาร์บอนดังกล่าวเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูง หลังจากนั้นก๊าซจะแตกตัวเป็นไอของอะตอมต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของก๊าซ ซึ่งไอของอะตอมคาร์บอนจะรวมตัวกันและก่อเป็นรูปทรงต่างๆ ของคาร์บอน ณ บริเวณแผ่นฐานที่อุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับเทคนิคนี้หากแผ่นฐานมีการวางตำแหน่งตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ไว้ก็จะทำให้คาร์บอนเลือกที่จะก่อตัว ณ บริเวณที่มีตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า จึงสามารถทำการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบได้ สัดส่วนการก่อตัวเป็นท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรของเทคนิคนี้จะอยู่ระหว่าง 20-100 % ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือ ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่ผลิตได้ส่วนมากเป็นแบบผนังหลายชั้น [5, 7-8]

ง) การไพโรไลซิส

วิธีการไพโรไลซิสร่วม (co-pyrolysis) ต่างจากวิธีการปลูกด้วยไอเคมีที่สารตั้งต้นที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเป็นก๊าซ และอาจจะไม่จำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาก็ได้ แหล่งคาร์บอนที่ใช้อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ผสมรวมกับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมากแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นเฟอร์โรซีนบรรจุอยู่ในถ้วยอะลูมินาวางในท่อควอทซ์บริเวณตำแหน่งต้นท่อซึ่งมีอุณหภูมิสูงพอจะทำให้สารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาระเหยกกลายเป็นไอได้ นอกจากนี้ยังใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซตัวพาในการพัดพาไอของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังบริเวณกลางท่อควอทซ์ที่มีอุณหภูมิสูง ประมาณ 800–1200 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ไอของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการแตกตัวเป็นกลุ่มไอของอะตอมคาร์บอนและกลุ่มไอของอะตอมโลหะ หลังจากนั้นไอของอะตอมคาร์บอนจะแพร่เข้าสู่กลุ่มไอของอะตอมโลหะที่มาจากโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดการก่อตัวเองเป็นอนุภาคคาร์บอนระดับนาโนเมตรบริเวณผนัง

ท่อควอทซ์ วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถผลิตท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรได้ในปริมาณมากและใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำเนื่องจากสามารถใช้แหล่งอะตอมคาร์บอนที่มีราคาถูกได้ในการสังเคราะห์ได้ เช่น แนนพาทินหรือกลีเซอรอล เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร

ในปัจจุบัน มีงานวิจัยพัฒนาจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อนุภาคท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร และวัสดุในกลุ่มที่เกี่ยวข้องกัน วัตถุประสงค์ส่วนใหญ่ของงานวิจัยพัฒนาเหล่านั้นคือการค้นหาวิธีการสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือการใช้แหล่งวัตถุดิบอื่นๆที่มีราคาถูกกว่ามาทดแทน ในงานนี้คณะผู้วิจัยได้พยายามสืบค้นเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร เพื่อใช้อ้างอิงในการอธิบายผลของการสังเคราะห์ที่ได้ดำเนินการในโครงการวิจัยนี้ โดยสามารถสรุปโดยสังเขปดังนี้

Nagaraju และคณะ (2002) ศึกษาการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร โดยใช้เหล็กโคบอลต์ และเหล็กผสมโคบอลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับซิลิกาและอะลูมินา และใช้อะเซทิลีน (Acetylene, C_2H_2) เป็นแหล่งคาร์บอน ส่วนก๊าซไนโตรเจนใช้เป็นก๊าซตัวพา ผลศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ผลได้มากที่สุดคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมระหว่างเหล็กและโคบอลต์ ที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 700 องศาเซลเซียส โดยได้ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่มีคุณภาพดีมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออยู่ในช่วง 5-10 นาโนเมตร [9]

Zhang และคณะ (2003) ได้ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาและระยะเวลาระหว่างการเกิดท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังหลายชั้นด้วยวิธีการไพโรไลซิสของฟูลเลอร์โรซินผสมกับไซลีน โดยใช้ผงโคบอลต์เป็นตัวรองรับ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่มีชั้นของผนังท่อหลายชั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อจำนวนชั้นของผนังท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ยังพบว่าระยะเวลาระหว่างการเกิดปฏิกิริยาส่งผลต่อความยาวท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรอีกด้วย [10]

Tokoro และคณะ (2004) ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเหล็กระดับนาโนเมตรที่ถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของแกรไฟต์ขนาดนาโนเมตร โดยการเผาสารผสมของฮีมาไทต์กับคาร์บอนภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน โดยฮีมาไทต์จะสลายตัวเป็นเหล็กอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ผลที่ได้พบว่าอนุภาคของเหล็กถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของแกรไฟต์หลายชั้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-200 นาโนเมตร และพบท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 นาโนเมตร และความยาวหลายไมโครเมตรถูกสังเคราะห์ได้ระหว่างกระบวนการ [11]

Lu และคณะ (2005) ได้ทำการสังเคราะห์แคลซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตรโดยอาศัยการระเบิดของกรดพิคริก (Picric acid, $2,4,6-(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$) และเฟอร์โรซีน เพื่อให้กรดพิคริกเฟอร์โรซีนเกิดการไพโรไลซิส โดยแคลซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้มีส่วนแกนเป็นอนุภาคเหล็กที่ถูกหุ้มด้วยชั้นแกรไฟต์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5-20 นาโนเมตร และลักษณะของแคลซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตรสามารถควบคุมได้ด้วยสัดส่วนของกรดพิคริกและเฟอร์โรซีน เมื่อสัดส่วนของคาร์บอนต่อเหล็กต่ำจะเกิดแคลซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตร เมื่อสัดส่วนของคาร์บอนต่อเหล็กสูงจะพบว่าท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรปนอยู่ด้วยเช่นกัน [12]

Kim และคณะ (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคเหล็กซึ่งอยู่ภายในของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร โดยสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรผนังหลายชั้นโดยวิธีการ chemical vapor deposition ของไซลีน ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$) และเฟอร์โรซีน ($\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส พบเหล็กในสถานะ (-Fe) ที่เสถียรในปริมาณมาก คือปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคเหล็กทั้งหมด ส่วนสถานะอื่นที่พบจะเป็น (-Fe) และไอออนคาร์ไบด์จำนวนเล็กน้อย (Fe_3C) การที่พบเหล็กในสถานะ (-Fe) นั้นอธิบายได้ว่า เกิดจากไอออนคาร์ไบด์ที่ส่วนปลายหัวของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร แต่สมดุลระหว่างไอออนคาร์ไบด์และคาร์บอนนั้นไม่เสถียร ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเป็น (-Fe) และ (-Fe) และเกิดการงอกขึ้นเป็นท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรในที่สุด [13]

Gulino และคณะ (2005) ศึกษาการสังเคราะห์ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรโดยใช้ก๊าซอีเทน (Ethane, C_2H_6) เป็นแหล่งคาร์บอน และอนุภาคเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับอะลูมินา ผลผลิตที่ได้ปริมาณ 20 กรัมต่อ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 660 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบเพียงท่อคาร์บอนผนังหลายชั้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 20 – 40 นาโนเมตร และมีความยาวในหลักร้อยนาเมตร [14]

Zhao และคณะ (2006) ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรโดยใช้วิธีการ Chemical vapor deposition (CVD) โดยใช้ก๊าซมีเทน (Methane, CH_4) เป็นแหล่งคาร์บอน และใช้ผง Ni-Cu-Al เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาอิทธิพลของเวลาการเกิดปฏิกิริยา และชนิดของก๊าซตัวพา คือ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไนโตรเจน พบว่าเมื่อใช้เวลาการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซตัวพา ส่งผลให้ผลผลิตมีปริมาณมากกว่ากรณีที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซตัวพา ทั้งนี้โดยมีสมมติฐานว่าก๊าซไนโตรเจนจะส่งผลให้อัตราการส่งผ่านอะตอมคาร์บอนสู่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่า และทำให้อัตราการแพร่สูงขึ้นกว่าเมื่อไม่มีการใช้ก๊าซตัวพา [15]

Charinpanitkul และคณะ (2009) ศึกษาการไพโรไลซิสร่วมระหว่างเฟอร์โรซีนและแนฟทา ลีน (Naphthalene) พบว่าแนฟทา ลีนสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์อนุภาค คาร์บอนระดับนาโนเมตร ทั้งท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรและแคปซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่ มีอนุภาคเหล็กระดับนาโนเมตรถูกห่อหุ้มอยู่ภายใต้ชั้นเกรไฟต์ โดยพบว่าลักษณะและขนาดของ โครงสร้างอนุภาคคาร์บอนระดับนาโนเมตรนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการไพโรไลซิสเป็นสำคัญ โดยอุณหภูมิในการไพโรไลซิสสูงจะเกิดแคปซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตรมากกว่า นอกจากนี้ยัง พบว่าสัดส่วนการผสมของสารตั้งต้นยังส่งผลต่อลักษณะของอนุภาค โดยจะพบท่อคาร์บอนระดับ นาโนเมตรมากกว่าแคปซูลคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่สัดส่วนของแนฟทา ลีนมากกว่าเฟอร์โรซีน [16]

2.3 งานวิจัยด้านการเตรียมวัสดุประกอบแต่งของพอลิเมอร์และท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร

ในเวลาเดียวกัน ก็ได้มีความพยายามในการศึกษาวิจัยเพื่อนำท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร มาประยุกต์ใช้ในหลากหลายแนวทาง ทั้งนี้เนื่องจากโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วัสดุ ประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรร่วมกับพอลิเมอร์ ในที่นี้ทางคณะวิจัยจึงได้สรุป ประเด็นความก้าวหน้าด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมวัสดุประกอบแต่งของพอลิเมอร์และท่อ คาร์บอนระดับนาโนเมตรซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

Li และคณะ (2003) ศึกษาพอลิเมอร์ประกอบแต่งของคาร์บอนอสัณฐานและพอลิสไตรีน โดยเตรียมจากวิธีอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชัน จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ประกอบแต่งจะ ตอบสนองทางไฟฟ้าสูงต่อไอของตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วและมีขั้วต่ำ ในทางกลับกัน สำหรับตัวทำ ละลายที่มีขั้วสูงพบว่าการตอบสนองทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่งจะต่ำกว่า นอกจากนี้ยัง พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่งดังกล่าวจะได้รับผลกระทบจากความสามารถใน การดูดซับก๊าซของพอลิเมอร์และสารเติม โดยความสามารถในการดูดซับก๊าซนี้จะเปลี่ยนแปลง ขึ้นกับชนิดของก๊าซที่ใช้ในการทดลอง [3]

Zhang และคณะ (2005) ศึกษาพฤติกรรมในการนำไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าของพอลิเมอร์ ประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังหลายชั้น และสไตรีน (Styrene) โดยเตรียมพอลิเมอร์ประกอบแต่งด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชันและวิธีโซลูชันมิกซ์ซิง (Solution mixing) จากการการศึกษากิจกรรมในการนำไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบ แต่งเมื่อสัมผัสกับไอของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่าง ๆ พบว่าพอลิเมอร์ประกอบ แต่งที่เตรียมจากวิธีอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชันมีการกระจายตัวของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรใน เมทริกซ์ของพอลิสไตรีนดีกว่าวิธีโซลูชันมิกซ์ซิง และสามารถสร้างพอลิเมอร์ประกอบแต่งที่มี

สภาพไฟและอัตราการตอบสนองต่อไอของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสูงเมื่ออัตราส่วนของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรต่อพอลิเมอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้อัตราการตอบสนองรวดเร็วขึ้น แต่ค่าการตอบสนองสูงสุดจะต่ำลง [4]

Skakalova และคณะ (2005) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านกายภาพและนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ ประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังเดี่ยวและพอลิเมทิลเมตะไครเลท โดยเตรียมพอลิเมอร์ประกอบแต่งจากการผสมพอลิเมทิลเมตะไครเลทในคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ด้วยท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ประกอบแต่งดังกล่าวนำไฟฟ้าได้ 17 ซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (S/cm) เมื่อเติมท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรในพอลิเมอร์ประกอบแต่ง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลของพอลิเมอร์ประกอบแต่งที่ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรโคปด้วยไทโอนิลคลอไรด์ (Thionyl chloride) พบว่าไทโอนิลคลอไรด์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่ง เมื่อทำการศึกษาคูสมบัติทางด้านกายภาพของพอลิเมอร์ประกอบแต่งที่ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรโคปและไม่ได้โคปด้วยไทโอนิลคลอไรด์ (Thionyl chloride) พบว่าการโคปท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรด้วยไทโอนิลคลอไรด์จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพให้กับพอลิเมอร์ประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังเดี่ยวและพอลิเมทิลเมตะไครเลท [17]

Jia และคณะ (2006) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านกายภาพและความคงทนต่อความร้อนของพอลิเมอร์ประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรและพอลิเมทิลเมตะไครเลท ซึ่งเตรียมด้วยวิธีอินซิทูพอลิเมอร์ไรเซชัน (In situ polymerization) จากการทดลองพบว่าท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรสามารถกระจายตัวในเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมตะไครเลทได้ดี และพันธะระหว่างท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรและพอลิเมอร์มีความแข็งแรงสูง ซึ่งการกระจายตัวดังกล่าวจะขึ้นกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลเมตะไครเลทก่อนที่จะเติมท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรลงไป เมื่อทำการศึกษาคูสมบัติด้านกายภาพและความคงทนต่อความร้อนของพอลิเมอร์ประกอบแต่งดังกล่าวพบว่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรในเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมตะไครเลท [18]

Li และคณะ (2007) ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังหลายชั้นและพอลิเมทิลเมตะไครเลทต่อไอของเมทานอล (Methanol) โดยเตรียมพอลิเมอร์ประกอบแต่งด้วยวิธีการผสมโดยตรง (Direct blending) และศึกษาลักษณะของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรภายในพอลิเมอร์ประกอบแต่งด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM) จากการศึกษาพบว่าท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรสามารถกระจายตัวภายในเมทริกซ์ของพอลิเมทิลเมตาโครเลทได้ดี และสามารถตรวจสอบการตอบสนองทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่งต่อไอของเมทานอล โดยการวัดความเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใต้สภาวะบรรยากาศและอุณหภูมิห้องได้ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อพอลิเมอร์ประกอบแต่งสัมผัสกับไอของเมทานอล ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะสูงขึ้นและสามารถผันกลับได้เมื่อนำกลับมาวางในสภาวะปกติ [20]

Niu และคณะ (2007) ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่งของ ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่ประกอบหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล (MWCNT-COOH) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (Poly(ethylene glycol, PEG) ในไดไซโคลเฮกซิลคาร์โบไดอิมิด (Dicyclohexylcarbodiimide, DCC) จากการทดลองพบว่าชนิดของไอของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการตอบสนองทางไฟฟ้าของพอลิเมอร์ประกอบแต่งดังกล่าว ซึ่งพฤติกรรมการตอบสนองทางไฟฟ้าดังกล่าวสามารถอธิบายจากการ Swelling และ Dissolution ของเมทริกซ์ของพอลิเอทิลีนไกลคอล โดยไอของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย [21]

2.4 งานวิจัยพัฒนาตัวตรวจวัดก๊าซ

ในปัจจุบันมีผู้ทำการวิจัยพัฒนาตัวตรวจวัดก๊าซเป็นจำนวนมาก โดยอาศัยหลักการ และวัสดุที่แตกต่างกันไปประกอบเป็นตัวตรวจวัดก๊าซ ทั้งนี้ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ในบรรดาวัสดุชนิดใหม่ต่างๆ ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรถูกจัดตามองว่าเป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมตัวตรวจวัดก๊าซได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในที่นี้ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการค้นคว้าเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมตัวตรวจวัดก๊าซที่มีการประยุกต์ใช้ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการพัฒนาตัวตรวจวัดก๊าซในโครงการวิจัย โดยข้อมูลที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

Quang และคณะ (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเครื่องตรวจวัดก๊าซจากท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังชั้นเดียว ซึ่งพบว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังเดี่ยวจะเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่างๆ และจะมีความไวในการตอบสนองต่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงโดยสามารถตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำสุดได้ที่ 5 ppm และเข้าสู่สถานะอิ่มตัวที่ความเข้มข้น 40 ppm [21]

Suehiro และคณะ (2006) ศึกษาการผลิตตัวตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยการใช้เขาคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังเดี่ยว (SWCNHs) โดยวัดผลจากการ

เปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของเขาคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังเดี่ยวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าเขาคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังเดี่ยวมีพฤติกรรมเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p-type เช่นเดียวกับท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรและมีผลใกล้เคียงกันในการตรวจวัดก๊าซทั้งสองชนิด [22]

Bittencourt และคณะ (2006) เตรียมวัสดุสำหรับใช้ในการศึกษาการตรวจวัดก๊าซด้วยการเติมท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังหลายชั้นลงในทังสเตนออกไซด์ (WO_3) โดยวิธี Drop-coating deposition ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการตรวจวัดก๊าซพิษ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซแอมโมเนีย จากผลการวิจัยพบว่าปริมาณการเติมท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรที่เหมาะสมสามารถลดอุณหภูมิการดำเนินการตรวจวัดก๊าซเป็นที่อุณหภูมิห้องได้ และพบว่าเมื่อเติมปริมาณท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังหลายชั้นเพียงเล็กน้อยส่งผลให้ความไวต่อการตอบสนองต่อการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้น [23]

Ionescu และคณะ (2006) เตรียมตัวตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซแอมโมเนียซึ่งสามารถใช้ในการตรวจวัดก๊าซ ณ อุณหภูมิห้องได้ที่มีความความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซแอมโมเนียต่ำ ๆ ที่ 500 ppb และ 200 ppm ตามลำดับ โดยใช้ท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรแบบผนังหลายชั้นที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกาะตัวลงบนตัวรองรับด้วยวิธี Drop-coating deposition และพบว่าชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นมีพฤติกรรมเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p-type โดยเสนอว่าออกซิเจนบนผิวของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรส่งผลต่อความไวในการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะส่งผลต่อความไวในการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนีย [24]

ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าแม้จะมีงานวิจัยพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์วัสดุท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร วัสดุประกอบแต่งของพอลิเมอร์กับท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตร และตัวตรวจวัดก๊าซที่อาศัยวัสดุประกอบแต่งในลักษณะใกล้เคียงกัน องค์ความรู้ด้านการพัฒนาตัวตรวจวัดก๊าซโดยใช้วัสดุประกอบแต่งของท่อคาร์บอนระดับนาโนเมตรกับพอลิเมทิลเมตะไครเลตยังเป็นประเด็นวิจัยใหม่ที่ยังไม่มีการทำงานวิจัย และรายงานอย่างเป็นระบบ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้พยายามดำเนินโครงการวิจัยซึ่งได้รับข้อมูลใหม่ที่จะได้รายงานในลำดับต่อไป