บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์มากที่สุดคืออุณหภูมิ นั่นคือเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ(550°C) จะมีการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์ค่อนข้างน้อยและมีความเข้มของพีคD ค่อนข้างสูง และโดยการเปรียบเทียบด้วยภาพถ่ายจาก SEM เมื่อสังเคราะห์ที่อุณภูมิสูงขึ้น(600°C-900°C) จะเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ขึ้นหนาแน่นกว่าที่การสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 550°C และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยรามานสเปคโตรสโคปีทำให้ทราบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความบริสุทธิ์และขนาดของทิวป์ และเมื่อสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นความเข้มของพีค D จะลดลงจึงเป็นผลให้ค่าI(G)/I(D) มีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 10 ที่อุณหภูมิ 800°C อย่างไรก็ตามเมื่อทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900°C พบว่าความเข้มของพีค D กลับมีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้ทิวป์ที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์ลดลง โดยมีอัตราส่วนของ I(G)/I(D) ลดลงอยู่ที่ ~2 และเมื่อสังเกตรามานเสปคตรัมในโหมดความถี่ต่ำ สังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นเสปคตรัมมีแนวโน้มไปทางรามานชิฟท์ที่ต่ำลง แสดงว่าขนาดของทิวป์มีแนวโน้มใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

สำหรับผลกระทบของความดันต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์พบว่าที่ความดัน 0.5mbar ความหนาแน่นของการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ค่อนข้างน้อย แต่เมื่อปรับความดันไปที่ช่วง 1-5mbar และ 10-15mbar ทิวป์จะมีความหนาแน่นมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็นช่วง 20-30mbar ความหนาแน่นกลับลดลง จากรามานสเปคตรัมในโหมดความถี่สูง สังเกตได้ว่าเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นความเข้มของพีค D จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราส่วนของ I(G)/I(D) มีค่าลดลงโดยอัตราส่วนของ I(G)/I(D) มีค่าสูงสุด อยู่ที่ความดันช่วง 1-5mbar และเมื่อสังเกตรามานสเปคตรัมในโหมด RBM พบว่า เมื่อความดันเพิ่มขึ้นสเปคตรัมมีแนวโน้มค่อนข้างไปทางรามานชิฟท์ที่ต่ำลงเล็กน้อย แสดงว่าขนาดของทิวป์มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น

ในส่วนของเวลาที่มีผลต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ สังเกตว่าเมื่อใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่ 30s พบว่ามีการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ขึ้นแม้ว่าจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อย และเมื่อสังเกตรามานสเปคตรัมในโหมดความถี่สูงของคาร์บอนนาโนทิวป์เมื่อทำการสังเคราะห์ที่เวลา 30s พบว่ามีความเข้มของพีค D สูงทำให้ความบริสุทธิ์ที่ได้มีค่าต่ำอยู่ที่ประมาณ 1 และเมื่อทำการสังเคราะห์ที่เวลาสูงขึ้น พบว่าอัตราส่วนของ I(G)/I(D) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 10 ที่เวลา 10min แต่เมื่อทำการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ที่เวลามากขึ้นกว่า 10min(ที่เวลา 30min) อัตราส่วนของ I(G)/I(D) กลับมีค่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากความสูงของพีค D ที่สูงขึ้น เมื่อสังเกตรา

มานสเปคตรัมในโหมด RBM พบว่าเวลาในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ ไม่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทิวป์ ทั้งนี้เนื่องจากพีคของรามานชิฟท์จะอยู่คงที่ไม่มีการเลื่อนไปทางใดทางหนึ่งโดยจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ประมาณ 1.4 nm

สำหรับผลกระทบของชนิดของแอลกอฮล์ที่ใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์เมื่อใช้เอทานอลและเมทานอลพบว่ามีการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ ที่หนาแน่นใกล้เคียงกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยรามานสเปคตรัมของคาร์บอนนาโนทิวป์ในโหมดความถี่สูงพบว่าความเข้มของพีค D ของเมทานอลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเอทานอล และอัตราส่วนของ I(G)/I(D) ก็มีค่าใกล้เคียงกันคือ 10 สำหรับเอทานอล และ 9.5 สำหรับเมทานอล แต่เมื่อมาพิจารณาในโหมด RBM ความถี่ของเมทานอลจะเลื่อนไปทางซ้ายเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าขนาดของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดใหญ่กว่าใช้เอทานอลเล็กน้อย

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของการเติมน้ำDI ต่อการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ โดยการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายจาก SEM จะพบว่าทิวป์ที่สังเคราะห์ได้โดยการเติมน้ำ DI ที่ปริมาณ 0.01wt% ลงในแอลกอฮอล์ในปริมาณ 200ml มีการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์น้อยมากเมื่อเทียบกับการไม่เติมน้ำ DI และเมื่อพิจารณากราฟรามานที่ความถี่สูง พบว่าความสูงของพีค G ค่อนข้างน้อยและใกล้เคียงกับความสูงของพีค D จึงทำให้ความบริสุทธิ์ของคาร์บอนนาโนทิวป์น้อยมาก นอกจากนี้เมื่อเติมน้ำ DI ในปริมาณ 0.05wt % พบว่าไม่มีการเกิดของคาร์บอนนาโนทิวป์จากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าน้ำมีผลต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์อย่างมาก อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้อาจจะมากเกินไปทำให้ไม่สามารถสรุปผลของน้ำที่มีต่อการเกิดคาร์บอนนาโนทิวป์ได้ ดังนั้นหากจะพัฒนาต่อไปอาจทำได้โดยนำน้ำ DI ใส่ไว้อีกภาชนะหนึ่งแล้วทำการควบคุมปริมาณการไหลเข้าสู่ระบบที่ปริมาณระดับน้อยๆ หรืออาจปล่อยเข้าสู่ระบบในช่วงระยะเวลาหนึ่งก็ได้

สภาวะที่สังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองคือ ที่อุณหภูมิ 800C ที่ความดันช่วง 1-5mbar ที่เวลา 10min ใช้เอทานอลเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน โดยได้ค่าความบริสุทธิ์อยู่ที่ประมาณ 10

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าแอลกอฮอล์เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนในการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ(ประมาณ 60 อกจากนี้แอลกอฮอล์ยังมีความปลอดภัยสูงไม่เป็นอันตรายและไม่เป็นพิษต่อผู้ทดลอง ที่สำคัญเป็นวัตถุดิบที่มาสารถผลิตได้ในประเทศ ดังนั้นแอลกอฮอล์จึงเป็นหนทางเลือกอีกหนึ่งทางในการใช้สำหรับพัฒนาการสังเคราะห์ เพื่อใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพและมีราคาประหยัดที่คุ้มค่าต่อการลงทุนในเชิงพานิชย์