บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

(1) การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนบนแผ่นทองแดงโดยวิธีการตกสะสมไอสารเคมีด้วยความร้อน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนคาร์บอนและท่อนาโนคาร์บอน คือ 750 $^{\circ}$C

(2) กรณีที่อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:10 ml/min เวลาในการสังเคราะห์ 10 นาที อุณหภูมิ 750 $^{\circ}$C เตรียมคะตะลิสต์โดยการสปาร์คจำนวน 10 ครั้ง ที่ตำแหน่งเดียวกัน

การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ โดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน พบว่ามีทั้งเงื่อนไขที่ทำให้ได้เส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียว เส้นใยนาโนคาร์บอนที่เป็นเส้นเรียบ และท่อนาโนคาร์บอน ส่วนองค์ประกอบทางเคมีนั้น พบว่าเงื่อนไขจะพบเฉพาะธาตุคาร์บอนกับธาตุทองแดงเท่านั้น ส่วนผลการทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนสำหรับเส้นใยนาโนคาร์บอนที่เป็นเส้นเรียบ และท่อนาโนคาร์บอนนั้นไม่สามารถทดสอบได้ เพราะว่าเกิดการช๊อตกันภายใน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้วยเทคนิครามาน พบว่าค่าเลขคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับแกรไฟต์และ Carbon pyrolytic ค่า I_D/I_G ของเงื่อนไขที่เป็นเกลียว มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.82 ซึ่งอยู่ที่เงื่อนไข Ni-Ni-100-10-10-750 ส่วนเงื่อนไขที่เป็นเส้นเรียบนั้น ค่า I_D/I_G มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.83 ซึ่งอยู่ที่เงื่อนไข Fe-Co-100-10-10-750

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าเส้นที่บิดเป็นเกลียวนั้นเป็นเส้นใยนาโนคาร์บอน

(3) กรณีที่อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:5 ml/min เวลาในการสังเคราะห์ 5 นาที อุณหภูมิ 750 $^{\circ}$C เตรียมคะตะลิสต์โดยการสปาร์คจำนวน 10 ครั้ง ที่ตำแหน่งเดียวกัน

การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน พบว่ามีทุกเงื่อนไขที่เป็นเส้นเรียบ แต่มีเพียงเงื่อนไขเดียวที่บิดเป็นเกลียวคือ Ni-Ni-100-5-5-750 เงื่อนไขที่เป็นเส้นเรียบและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอ คือ Ni-Fe-100-5-5-750 ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 108 nm ส่วนเงื่อนไขอื่นนั้นเป็นเส้นเรียบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยแตกต่างกันและขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่วนองค์ประกอบทางเคมีนั้นพบว่าทุกเงื่อนไขจะพบเฉพาะธาตุคาร์บอนกับธาตุทองแดงเท่านั้น ส่วนผลการทดสอบการ

ปลดปล่อยอิเล็กตรอนสำหรับเส้นใยนาโนคาร์บอนที่เป็นเส้นเรียบ และท่อนาโนคาร์บอนนั้นไม่สามารถทดสอบได้ เพราะว่าเกิดการช๊อตกันภายใน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้วยเทคนิครามาน พบว่าค่าเลขคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับแกรไฟต์และ Carbon pyrolytic ค่า I_D/I_G มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.82 ซึ่งอยู่ที่เงื่อนไข Ni-Fe-100-5-5-750

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าเส้นที่บิดเป็นเกลียวนั้นเป็นเส้นใยนาโนคาร์บอนและท่อนาโนคาร์บอน

(4) ที่อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:3 ml/min เวลาในการสังเคราะห์ 3 นาที อุณหภูมิ 750 °C เตรียมคะตะลิสต์โดยการสปาร์คจำนวน 1 ครั้ง

การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีการตกสะสมไอเคมีด้วยความร้อน พบว่ามีทุกเงื่อนไขที่เป็นเส้นเรียบ เงื่อนไขที่เป็นเส้นเรียบและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอ คือ Ni-Ni-100-3-3-750 ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 65 nm ส่วนเงื่อนไขอื่นนั้นเป็นเส้นเรียบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยแตกต่างกัน ผลการทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอน พบว่าเงื่อนไข Ni-Ni-100-3-3-750 เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการปลดปล่อยอิเล็กตรอน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้วยเทคนิครามาน พบว่าค่าเลขคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับแกรไฟต์และ Carbon pyrolytic ค่า I_D/I_G มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ที่เงื่อนไข Ni-Ni-100-3-3-750

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าเส้นที่บิดเป็นเกลียวนั้นเป็นท่อนาโนคาร์บอน

(5) เมื่อลดอัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน และจำนวนครั้งในการสปาร์คลง ทำให้ได้ท่อนาโนคาร์บอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง

(6) อัตราส่วนของแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สอะเซทิลีน 100:3 ml/min เวลาในการสังเคราะห์ 3 นาที อุณหภูมิ 750 °C เตรียมคะตะลิสต์โดยการสปาร์คจำนวน 1 ครั้ง เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทำการทดลองในครั้งนี้ เพราะว่าทุกเงื่อนไขที่ทำการทดลองนั้นมีลักษณะเส้นที่เป็นเส้นเรียบทุกเงื่อนไข ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า ผลจากการวิเคราะห์จากเครื่องรามานค่าเลขคลื่นเฉลี่ย และค่า I_D/I_G เฉลี่ยมีค่าที่ดีกว่า และทำการทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรปรับปรุงชุดอุปกรณ์การเตรียมโลหะคะตะลิสต์ด้วยการสปาร์คให้มีการเคลื่อนได้ทั้งแกน X, Y และ Z

(2) ควรตรวจสอบ และวิเคราะห์ขนาด และลักษณะรูปร่างของอนุภาคคะตะลิสต์แต่ละชนิดหลังการสปาร์ค ขนาดของคะตะลิสต์เมื่อถูกให้ความร้อนไปที่อุณหภูมิ 750 °C ก่อนการสังเคราะห์

(3) ตรวจสอบดูว่าคะตะลิสต์ที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าที่ต่างชนิดกันนั้น คะตะลิสต์ที่ขั้วไหนออกมาในปริมาณที่มากกว่า หรือออกมาเท่ากัน และเมื่อหลุดออกมาแล้วแยกกันอยู่ หรือผสมรวมกันเป็น alloy

(4) ควรควบคุมอัตราการไหลของแก๊สทั้งสองชนิดให้คงที่

(5) ควรระมัดระวังการใส่แผ่นทองแดงเข้าไปในเตาเผา เพราะเมื่อเผาเสร็จแล้วจะสังเกตได้ลำบากว่าด้านใดเป็นด้านบนหรือด้านล่าง

(6) การทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนควรปรับปรุงชุดอุปกรณ์ เช่น แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า มัลติมิเตอร์ ปั๊มสุญญากาศ เป็นต้น

(7) ถ้าเป็นไปได้ควรนำทุกเงื่อนไขไปทำ TEM เพื่อยืนยันว่า เงื่อนไขต่าง ๆ ทำให้ได้ลักษณะเส้นเป็นแบบใดบ้าง เป็นเส้นใยนาโนคาร์บอนที่บิดเป็นเกลียว หรือเส้นใยนาโนคาร์บอนที่เป็นเส้นเรียบ หรือท่อนาโนคาร์บอน