บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาอิทธิพลของโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนที่แสดงผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ เริ่มต้นการศึกษาด้วยการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อน โดยมีฟิล์มนิกเกิลความหนาประมาณ 20 นาโนเมตร เป็นโลหะคะตะลิสต์ และแก๊สอะเซทีลีนเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนที่มีผลต่อโครงสร้างและรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอน ท่อนาโนคาร์บอนถูกสังเคราะห์ที่ช่วงอุณหภูมิ 850 ถึง 950 องศาเซลเซียส และใช้อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนที่ช่วง 20 ถึง 40 sccm จากนั้นท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่าง ๆ จะถูกนำไปใช้ทดสอบตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 600, 1800 และ 3000 ppm ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนที่มีแสดงผลต่อประสิทธิภาพการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ และหาประสิทธิภาพของท่อนาโนคาร์บอนในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นแก๊สเซ็นเซอร์

ผลการศึกษาอิทธิพลทางด้านอุณหภูมิที่มีผลต่อโครงสร้างและรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอน พบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นท่อแบบท่อผนังหลายชั้น ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางและความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 850 เป็น 950 องศาเซลเซียส จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางและความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนสามารถควบคุมได้ด้วยอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเป็นผลมาจากการเตรียมอนุภาคนิกเกิลที่ช่วงอุณหภูมิ 850 ถึง 950 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างของอนุภาคนิกเกิล จึงส่งผลต่อการก่อตัวของท่อนาโนคาร์บอน เนื่องจากขนาดของอนุภาคนิกเกิลจะเป็นตัวกำหนดขนาดและรูปร่างของท่อนาโนคาร์บอน อีกทั้งการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยทำให้อะตอมของคาร์บอนสามารถแตกตัวจากแก๊สอะเซทีลีนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และตกแพร่ลงบนโลหะคะตะลิสต์ เกิดเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น ขณะที่ค่าความยาวเฉลี่ยของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 8.1±1.0 และ 10.0±1.2 ไมโครเมตร ตามลำดับ สาเหตุดังกล่าวมาจากการใช้อุณหภูมิของการสังเคราะห์ที่สูงขึ้นทำให้แก๊สอะเซทีลีนมีการแตกตัวและแพร่กระจายลงบนอนุภาคนิกเกิลเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความยาวเฉลี่ยของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูงขึ้น ในขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าความยาวของท่อนาโนคาร์บอนได้เนื่องจากท่อมีลักษณะทับกันและเป็นเกลียวพันกันไปมา นอกจากนี้ยังพบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส ท่อนาโนคาร์บอนที่พบส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นท่อแบบผนังหลายชั้นรูปร่างแบบต้นไผ่

ขณะที่การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีน 20, 30 และ 40 sccm พบว่าท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับที่ใกล้เคียงกัน เป็นผลเนื่องมาจากการเตรียมอนุภาคนิกเกิลที่อุณหภูมิเดียวกัน ขณะที่ค่าความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 30 sccm แต่เมื่อใช้อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนที่ 40 sccm ผลปรากฏว่าความสมบูรณ์มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 เงื่อนไขแรก คาดว่าเป็นผลมาจากการใช้ปริมาณของแก๊สอะเซทีลีนที่มากจนเกินไปซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับระบบการสังเคราะห์ที่ทางผู้วิจัยได้สร้างขึ้น ในส่วนของค่าเฉลี่ยความยาวของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนที่ 20 และ 30 sccm มีค่าเท่ากับ 10.0±1.2 และ 8.0±1.0 ไมโครเมตร พบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อัตราการไหลแก๊สอะเซทีลีนที่ 30 sccm มีค่าความยาวเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับท่อนาโนคาร์บอนที่ใช้อัตราการไหลแก๊สอะเซทีลีนที่ 20 sccm เนื่องจากการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนที่ 30 sccm จะมีปริมาณอะตอมของคาร์บอนที่แตกตัวจากแก๊สอะเซทีลีนเพิ่มมากขึ้นและตกแพร่สงบนอนุภาคนิกเกิล เมื่อสะสมในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีจำนวนชั้นและค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอะตอมของคาร์บอนที่แตกตัวและตกแพร่ตามมาทีหลัง จะรวมตัวกันกับอะตอมคาร์บอนที่มาก่อนหน้านี้ ทำให้ปริมาณอะตอมของคาร์บอนส่วนใหญ่จะตกไปอยู่ที่บริเวณด้านข้างแทน ท่อนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขดังกล่าวจึงมีค่าความยาวเฉลี่ยที่น้อยลงขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีนที่ 40 sccm ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้เนื่องจากท่อมีลักษณะทับกันและเป็นเกลียวพันกันไปมา

ผลการทดสอบการนำท่อนาโนคาร์บอนมาประยุกต์ใช้เป็นแก๊สเซ็นเซอร์ โดยนำไปตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 600, 1800 และ 3000 ppm ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขอุณหภูมิต่าง ๆ ที่แสดงผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ผลจากงานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองการตรวจวัดแก๊สของท่อนาโนคาร์บอน เช่น ความสมบูรณ์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว และความหนาแน่นของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อขนาดพื้นที่ผิวของท่อนาโนคราร์บอนในการตรวจวัดแก๊ส ในการศึกษางานวิจัยนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองในการวัดสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 และ 900 องศาเซลเซียส หากพิจารณาผลจากเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส พบว่าท่อนาโนคาร์บอนทั้ง 2 เงื่อนไขนี้ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ผลจากเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนที่มีผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ แต่หากพิจารณาสาเหตุดังกล่าวโดยสังเกตค่าความยาวของท่อนาโนคาร์บอน จะพบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 และ 950 องศาเซลเซียส มีค่าความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 8.1±1.0 และ 10.0±1.2 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าท่อนาโนคาร์บอนทั้ง 2 เงื่อนไขนี้มีค่าเฉลี่ยความยาวของท่อที่แตกต่างกัน ดังนั้นท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส จึงน่าที่จะมีบริเวณพื้นที่ผิวที่ใช้ในการสัมผัสกับแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยความยาวของท่อนาโนคาร์บอนที่มากกว่า ดังนั้นเมื่อแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ถูกปล่อยเข้าสู่ระบบทดสอบแก๊สเซ็นเซลร์ โมเลกุลแก๊สน่าที่จะเคลื่อนตัวเข้าไปภายในกลุ่มของท่อนาโนคาร์บอนและสัมผัสกับผนังของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ได้ในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งบริเวณช่องว่างระหว่างกลุ่มท่อนาโนคาร์บอนเป็นบริเวณพื้นที่ที่มีการส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น (Zhao et al., 2002, pp. 195-200) จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองที่วัดได้มีค่าที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังคาดว่ามีปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ของท่อนาโนคาร์บอน เช่น สมบัติความเป็นโลหะและสารกึ่งตัวนำของ ท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งทางผู้วิจัยยังไม่ได้ทำการศึกษาในส่วนนี้

ขณะที่ท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส พบว่าท่อมีลักษณะทับกันและเป็นเกลียวพันกันไปมาอยู่บนแผ่นรองรับ ซึ่งลักษณะดังกล่าวน่าที่จะทำให้โมเลกุลแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ยากที่จะแทรกตัวเข้าไปภายในกลุ่มของท่อนาโนคาร์บอนได้ ส่งผลให้มีบริเวณพื้นที่ผิวที่ใช้ในการสัมผัสกับโมเลกุลแก๊สลดลง โมเลกุลของแก๊สส่วนใหญ่น่าที่จะสัมผัสกับบริเวณพื้นผิวด้านบนของตัวอย่างมากกว่า ซึ่งการสัมผัสบริเวณพื้นผิวของผนังท่อนั้นจะมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ค่อนข้างต่ำ (Zhao et al., 2002, pp. 195-200) ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองที่ได้มีค่าต่ำ แต่หากพิจารณาในเชิงความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนที่แสดงผลต่อการ

ตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์นั้น จากผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าท่อนาโนคาร์บอนที่มีความสมบูรณ์สูงสุดมีค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองดีที่สุด ซึ่งผลดังกล่าวมีความขัดแย้งกับผลการศึกษาก่อนหน้าทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงทดลองที่กล่าวว่า ท่อนาโนคาร์บอนที่มีความสมบูรณ์ต่ำหรือมีตำหนิสูงนั้นจะมีค่าการตอบสนองต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ดีขึ้น (Valentini et al., 2004, pp. 356-361) ดังนั้นผลจากความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนจึงไม่น่าที่จะใช่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

ขณะที่การทดลองในส่วนสองได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการไหลของแก๊ส อะเซทีลีนต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาอิทธิพลที่แสดงผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่อัตราการไหลของแก๊สอะเซทีลีน 20 sccm ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองในการวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ที่เงื่อนไขอื่น

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ของท่อนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขต่าง ๆ นั้น ควรที่จะใช้อุปกรณ์ที่สามารถวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่ผิวของตัวอย่างมาใช้ในการศึกษาด้วย ซึ่งได้แก่ BET surface area จะทำให้ทราบว่าท่อนาโนคาร์บอนที่เงื่อนไขใดมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้มากที่สุด

2. หลังจากการวัดค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ของท่อนาโนคาร์บอน ควรที่จะทำศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของเวลาคืนตัวของท่อนาโนคาร์บอน เนื่องจากเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการนำท่อนาโนคาร์บอนที่ใช้ทดสอบตรวจวัดแก๊สแล้ว มาทำการกำจัดโมเลกุลแก๊สให้หลุดออกด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

3. รูปแบบการวัดค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของท่อนาโนคาร์บอน ควรที่จะทำการสร้างลายวงจรและขั้วไฟฟ้าลงบนแผ่นซิลิคอนออกไซด์ ก่อนที่จะสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน เนื่องจากลายวงจรและขั้วไฟฟ้าดังกล่าวจะช่วยทำให้การส่งผ่านของประจุไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองต่อการตรวจวัดแก๊สที่ดีขึ้น

4. ควรมีการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ก่อนการทดสอบตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ว่ามีสมบัติทางไฟฟ้าเด่นด้านโลหะหรือสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการตอบสนองต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University