

# สารบัญ

| บทที่                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 1. บทนำ                                                           | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                   | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย (เฟสแรก)                                | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ                           | 3    |
| 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                 | 4    |
| 2.1 ท่อนาโนคาร์บอน (CNTs)                                         | 5    |
| 2.2 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน                                    | 6    |
| 2.3 เทคนิคการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน                             | 8    |
| 2.4 การปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน                        | 9    |
| 2.5 ประโยชน์ของท่อนาโนคาร์บอน สำหรับเป็นแหล่งปลดปล่อยอิเล็กตรอน   | 10   |
| 3.วิธีดำเนินงานวิจัย                                              | 11   |
| 3.1 ขั้นตอนการการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน                         | 11   |
| 3.2 ระบบที่ใช้ในการเตรียมท่อนาโนคาร์บอน                           | 11   |
| 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน                            | 13   |
| 3.4 เทคนิคและกระบวนการในการวิเคราะห์โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน    | 13   |
| 3.5 ขั้นตอนการวัดสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอน             |      |
| ด้วยวิธี 4-โพรบ                                                   | 14   |
| 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนภายใต้สนามไฟฟ้า | 14   |
| 4. ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล                                     | 16   |
| 4.1 ผลการสังเคราะห์และวิเคราะห์โครงสร้างอัญฐานวิทยาของ            |      |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ท่อนาโนคาร์บอน                                                          | 16        |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี                          | 22        |
| 4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอน                           | 23        |
| 4.4 ผลการศึกษาการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน<br>ภายใต้สนามไฟฟ้า | 28        |
| <b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>                                   | <b>32</b> |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                                      | 32        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                                          | 33        |
| <b>บรรณานุกรม</b>                                                       | <b>35</b> |

## สารบัญภาพประกอบ

| รูปที่                                                                                                                                       | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 แสดงภาพของเวกเตอร์ $\vec{C}$                                                                                                             | 6    |
| 2.2 แสดงลักษณะของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวที่โครงสร้างต่างๆ                                                                             | 7    |
| 2.3 แสดงลักษณะของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวที่มีอะตอมของไนโตรเจนแทรกบริเวณผนังท่อ                                                        | 7    |
| 2.4 แสดงไดอะแกรมของพลังงานศักย์กับผลของสนามไฟฟ้าภายนอกที่มีต่อกำแพงพลังงานสำหรับการหลุดของอิเล็กตรอนในผิวโลหะ                                | 9    |
| 3.1 รูปแบบของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยกระบวนการ CVD                                                                        | 12   |
| 3.2 ระบบการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนแบบ CVD                                                                                                   | 12   |
| 3.3 แผนภาพแสดงการทดสอบสมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน                                                                           | 15   |
| 4.1 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของท่อนาโนคาร์บอน                                                                              | 16   |
| 4.2 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของท่อนาโนคาร์บอน                                                                              | 18   |
| 4.3 สเปกตรัมรามานของท่อนาโนคาร์บอน                                                                                                           | 23   |
| 4.4 รูปแบบเทคนิคการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 โพรบ                                                                                             | 24   |
| 4.5 ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง                                                                                   | 25   |
| 4.6 ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนในช่วงอุณหภูมิ 25-150 °C                                                                          | 26   |
| 4.7 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนช่วงอุณหภูมิ 25-150 °C.                                                     | 28   |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนกับสนามไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ภายใต้อัตราการไหลของแก๊สแอมโมเนียต่างกัน | 29   |
| 4.9 ความสัมพันธ์ของกราฟในรูปสมการของ Fowler-Nordheim ของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ภายใต้อัตราการไหลของแก๊สแอมโมเนียต่างกัน                  | 30   |