



## โครงการ

### การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไส้ดินสอเหลือใช้

(Preparation of Conductive Colorant from Residual Pencil Lead)

ชื่อนิสิต นายสุวิทย์ จิรัตน์จิฎกุล

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2561

## คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.



การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ปีการศึกษา 2561

การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไส้ดินสอดเหลือใช้

(Preparation of Conductive Colorant from Residual Pencil Lead)

โดย

นายสุวิทย์ จิรัตน์ฉัฐกุล 5832648123

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

รายงานโครงการวิทยาศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อโครงการวิทยาศาสตร์ชื่อ การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไล้ดินสอเหลือใช้

โดย นายสุวิทย์ จิรัตน์รัฐกุล รหัส 5832648123

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

---

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับว่าโครงการส่งเสริมประสบการณ์เรื่อง "การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไล้ดินสอเหลือใช้" เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

พิชญดา เกตุเมธ .....หัวหน้าภาควิชาฯ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมธ)

สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์ ..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์)

ผู้ดำเนินงาน นายสุวิทย์ จิรัตนจิgul รหัส 5832648123

ชื่อเรื่อง การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไล์ดินสอเหลือใช้

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์

#### บทคัดย่อ

การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไล์ดินสอเหลือใช้โดยใช้วิธีการสังเคราะห์แกรฟีนด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี ใช้ไล์ดินสอเป็นขั้วแอโนด และแท่งแกรไฟต์เป็นขั้วแคโทด เตรียมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ศึกษาผลของเบอร์ดินสอ HB 2B และ 4B และความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี FTIR by ATR Diamond crystal และ XRD และเตรียมหมึกแกรฟีนโดยนำแกรฟีนไปกระจายตัวในสารละลายไดเมทิลฟอร์มาไมด์ด้วยวิธีโซนิเคชัน แล้วระบายหมึกบนกระดาษเอ 4 จำนวน 2 ตัวอย่าง วัดความต้านทานไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเบอร์ดินสอเพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟตเพิ่มขึ้น จากรามานสเปกตรพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก HB มีอัตราส่วนของพีก  $I_D/I_G$  น้อยที่สุดที่ค่า 0.35 ในขณะที่ไล์ดินสอดำ 4B ให้ค่าอัตราส่วนของพีก  $I_D/I_G$  มากที่สุดที่ค่า 0.52 จาก ATR สเปกตรและ XRD ยืนยันได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้เป็นแกรฟีน เมื่อวัดความต้านทานไฟฟ้าบนกระดาษที่ระบายด้วยสารละลายแกรฟีน พบว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลงเมื่อสีดำของแกรฟีนบนกระดาษเข้มข้น ดังนั้น โครงการนี้จึงสามารถเตรียมสารสีนำไฟฟ้าซึ่งเป็นแกรฟีนจากไล์ดินสอเหลือใช้ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี และใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แทนการใช้กรดได้

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่าย

และเทคโนโลยีทางการพิมพ์

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต..... *สุวิทย์ จิรัตนจิgul*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ..... *สุภาภรณ์ นพคุณดิลกรัตน์*

Research Student Mr. Suwit Jirattigun ID No. 5832648123  
 Title Preparation of Conductive Colorant from Residue Pencil Lead  
 Project Advisor Assist. Prof. Dr. Supaporn Noppakundilokrat

#### Abstract

Preparation of conductive colorant from residual pencil lead was done by using the synthesis of graphene with electrochemical cells. The core of pencil lead and a graphite rod were used as an anode and a cathode electrode, respectively. Ammonium sulfate solution was prepared as electrolyte solution. Study the effects of HB 2B and 4B pencil numbers and the concentration of ammonium sulfate solution on the amount of synthetic products. The products were examined by Raman spectroscopy technique, FTIR by ATR Diamond crystal and XRD. Graphene from the synthesis was dispersed in dimethylformamide by sonication and used as graphene ink. Two samples for measuring sheet resistance were prepared by painting the graphene ink on A4 paper. From the results, it was found that the amount of products increased with increasing the pencil number and the concentration of ammonium sulfate solution. From Raman spectra, the product obtained from HB pencil lead had the smallest ratio of  $I_D/I_G$  at 0.35, while the 4B pencil lead gave the highest ratio of  $I_D/I_G$  at 0.52. The synthetic products were characterized ATR spectra and XRD and confirmed that they were graphene. When measuring sheet resistance on painted paper with the graphene ink, it was found that the sheet resistance decreased when black color of graphene on the paper became darker. From these results, it was concluded that the preparation conductive colorant could be synthesized by electrochemical cell from residual pencil lead and using ammonium sulfate as electrolyte solution instead of acid solution

Department Imaging and Printing Technology Student Signature ..... S. Jirattigun

Academic year 2018

Project Advisor Signature ..... S. Noppakundilokrat

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการดูแลจนประสบความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ นพคุณดิถกัรต์น์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น แนวทางในการ แก้ไขปัญหา ตลอดจนความช่วยเหลือต่าง ๆ จนโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณ อาจารย์มา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ คุณสมชาย ภวชินวร เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการที่สละเวลามาคอย ช่วยเหลือ ดูแล ควบคุมห้องปฏิบัติการในการทำโครงงานวิจัย และ นางบังอร พะยอมแย้ม เจ้าหน้าที่ฝ่าย ธุรการ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้ความ ช่วยเหลือในการออกเอกสารต่าง ๆ ในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่ให้งบประมาณในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ พี่ฐิติมาภรณ์ ชาญณรงค์ รุ่นพี่นิสิตปริญญาโท ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งาน เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 จุด สำหรับวิเคราะห์ผลด้านการนำไฟฟ้าของหมึกพิมพ์

ขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตสาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ทุกคนที่คอยพูดคุย แลกเปลี่ยน ความคิดเห็น และคอยช่วยเหลือให้ข้อมูลติดต่อสื่อสารถึงกำหนดการต่าง ๆ ในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณผู้ปกครอง ผู้มีพระคุณให้ความรัก และเป็นกำลังใจจนผู้วิจัยสำเร็จ การศึกษาจากภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายสุวิทย์ จิรัตน์จุฑกุล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 สาระให้สี (colorant)	3
2.2 ดินสอดำ (lead pencil)	4
2.3 แกรไฟต์	5
2.4 แกรฟีน (graphene)	7
2.5 วิธีการสังเคราะห์แกรฟีน	8
<b>งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>9</b>
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	<b>11</b>
3.1 สารเคมีและเครื่องแก้ว	11
3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	11

## สารบัญ (ต่อ)

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย	12
3.3.1 การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต	12
3.3.2 การสังเคราะห์แกรไฟน์ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี	12
3.3.3 การวิเคราะห์ผงสีดำที่ได้จากวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี	13
3.3.4 การเตรียมหมึกแกรไฟน์และทดสอบการนำไฟฟ้า	13
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล</b>	14
4.1 ผลการสังเคราะห์แกรไฟน์ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี	14
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี	16
4.3 การทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้า	19
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	22
5.1 สรุปผลการวิจัย	22
5.2 ข้อเสนอแนะ	22
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	23
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	25



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากเบอร์ไลต์ดินสอดต่างกัน เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 น้ำหนักโดยปริมาตร	14
4.2	ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากเบอร์ไลต์ดินสอดต่างกัน เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นความเข้มข้นร้อยละ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตร	14
4.3	ผลการหาอัตราส่วนฟีก $I_D/I_G$ จากรามานสเปกตร้าของไลต์ดินสอดที่ใช้เป็นสารตั้งต้น และผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนจากไลต์ดินสอดด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี	17
4.4	ค่าความต้านทานไฟฟ้า	21

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การแบ่งกลุ่มของสารให้สี	3
2.2	ค่าความดำและค่าความแข็งเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของแกรไฟต์และดินเหนียว	5
2.3	โครงสร้างของแกรไฟต์	5
2.4	โครงสร้างของแกรไฟน์ในอุดมคติ	7
3.1	เซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับสังเคราะห์แกรไฟน์	13
4.1	ได้ดินสอดำก่อนการทดลอง (ซ้าย) และหลังการทดลอง (ขวา)	15
4.2	รามานสเปกตรัมของ (ซ้าย) ได้ดินสอดำ HB และ (ขวา) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์	16
4.3	รามานสเปกตรัมของ (ซ้าย) ได้ดินสอดำ 2B และ (ขวา) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์	16
4.4	รามานสเปกตรัมของ (ซ้าย) ได้ดินสอดำ 4B และ (ขวา) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์	17
4.5	ATR สเปกตรัมของ (บน) ได้ดินสอดำ HB และ (ล่าง) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์	18
4.6	XRD ของ (บน) ได้ดินสอดำ และ (ล่าง) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์	19
4.7	ก่อนทำ sonication (ซ้าย) หลังทำ (กลาง) sonication และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ขวา)	20
4.8	กระดาษที่ระบายด้วยการจุ่มพู่กันเฉพาะส่วนบนสารละลาย (ซ้าย) กระดาษที่ระบายด้วยการจุ่มพู่กันถึงก้นขวดสารละลาย (ขวา)	20

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

ในปัจจุบัน แกร์ฟีน ถือเป็นวัสดุที่ทั่วโลกให้ความสนใจด้วยสมบัติการนำไฟฟ้า แข็งแรง และยืดหยุ่น จึงมีการนำไปประยุกต์เป็นสารให้สีในหมึกพิมพ์นำไฟฟ้า แต่เนื่องจากราคาที่แพง ทำให้ยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แกร์ฟีนสามารถสังเคราะห์ได้จากแกรไฟต์ และแกรไฟต์ที่มีราคาถูกและหาได้จากวัสดุใกล้ตัว คือ ไม้ดินสอดำ การสังเคราะห์แกร์ฟีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสังเคราะห์โดยวิธีการฮัมเมอร์ดัดแปลง ซึ่งมีขั้นตอนเตรียมแกร์ฟีนออกไซด์ และขั้นตอนเตรียมรีดิวซ์แกร์ฟีนออกไซด์ ที่ใช้ระยะเวลาการสังเคราะห์โดยวิธีการตกผลึกของแกร์ฟีนที่ได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณน้อย และการสังเคราะห์ผ่านกระบวนการลอกชั้นเป็นแผ่นของแกรไฟต์ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ปัจจุบันได้รับความนิยม เนื่องจากใช้เวลาในการทดลองสั้นกว่า และได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมากกว่า โครงการนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการสังเคราะห์แกร์ฟีนจากไม้ดินสอดำเหลือใช้ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำแกร์ฟีนที่ได้จากการสังเคราะห์ไปใช้ในหมึกพิมพ์นำไฟฟ้า และเป็นกรนำดินสอดำที่ไม่ได้ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าได้

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์แกร์ฟีน จากไม้ดินสอดำเหลือใช้ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี
2. เพื่อวัดค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าของแกร์ฟีนที่สังเคราะห์ได้

#### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสังเคราะห์แกร์ฟีนจากไม้ดินสอดำเหลือใช้ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีด้วยสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต
2. เปรียบเทียบผลของแกร์ฟีนจากไม้ดินสอดำ HB, 2B และ 4B
3. วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแกร์ฟีนที่สังเคราะห์ได้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง
  1. ฝึกฝนการค้นหาข้อมูล
  2. คิด วิเคราะห์ แยกแยะข้อมูลที่สำคัญนำมาใช้งาน
  3. ฝึกคิดประยุกต์จากข้อมูลที่ซับซ้อนนำมาปรับใช้ให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมรอบตัว
  4. ลงมือปฏิบัติทางการทดลอง
  5. ทำให้ได้ทราบถึงผลของการนำไดโนเสาร์มาใช้เป็นสารให้สีที่สามารถนำไฟฟ้าได้หรือไม่
2. ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม
  1. สามารถลดขยะดินสอดำที่ยังไม่ได้ใช้งานอย่างเต็มที่
  2. นักเรียน-นักศึกษาสามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ในการทดลองในห้องเรียน
  3. ผู้ที่ต้องการหมึกนำไฟฟ้าสามารถลดต้นทุนการผลิต หรือนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ได้

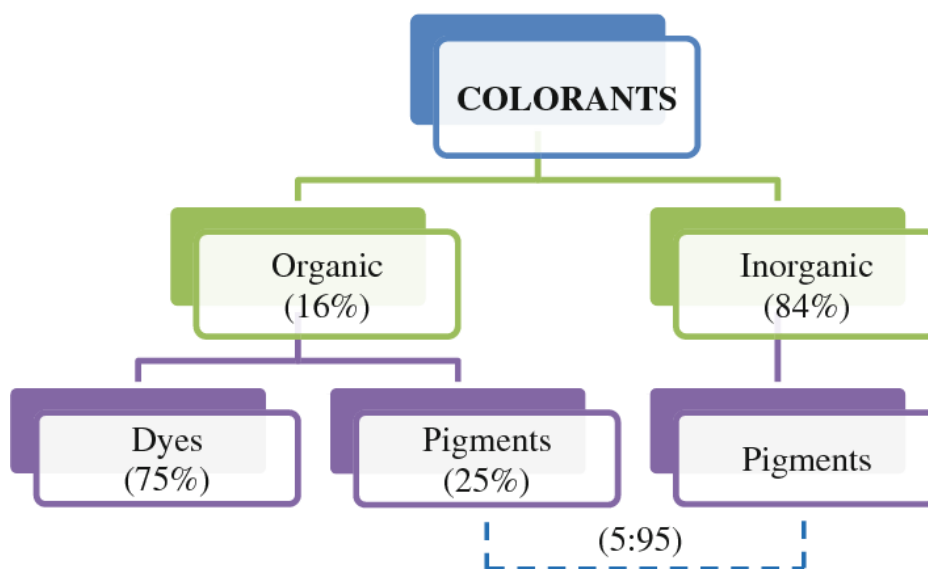
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ทฤษฎี

##### 2.1 สาระให้สี (colorant)

สาระให้สีมีหน้าที่ให้สีในหมึกพิมพ์ โดยมี 2 ชนิด ได้แก่ สาระสี (pigment) และสีย้อม (dye) และยังมี การใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อาหาร เครื่องสำอาง สีทา เป็นต้น ในปัจจุบันนั้นมีการผลิตสาระสีและสีย้อม กว่า 10,000 ชนิด ที่ใช้ในอุตสาหกรรมปริมาณมากกว่า 700,000 ตันต่อปี ทั่วโลก <sup>[1]</sup> ได้มีการแบ่งกลุ่มของ สาระให้สีเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสารอินทรีย์ (organic compound) และกลุ่มสารอนินทรีย์ (inorganic compound)



รูปที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มของสาระให้สี <sup>[1]</sup>

##### ก. สาระให้สีอินทรีย์

สาระให้สีอินทรีย์ คือ สาระให้สีที่มีคาร์บอนอะตอมอยู่ในโครงสร้าง ส่วนใหญ่เป็นสีย้อม ถ้าสีย้อมใช้เตรียมเป็นสาระสีต้องทำให้อยู่ในรูปอนุภาค (particle form) โดยสีย้อมบางชนิดนั้นถ้าหากไม่สามารถละลายได้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อให้ละลายได้

## ข. สารให้สีอินทรีย์

สารให้สีอินทรีย์ คือ สารให้สีที่มีส่วนประกอบเป็นแร่ธาตุ ได้แก่ ออกไซด์ หินแร่ เกลือและเกลือเชิงซ้อน โดยการให้ความร้อนกับแร่เหล่านั้นจะให้สีที่แตกต่างกัน ได้แก่พวก สารสี

## ค. สารสี

สารสีเป็นอนุภาคของสีที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ น้ำมันและเรซิน (resin) ต้องการสารยึด (binder) หรือทำให้ลอยโดยสารช่วยกระจายตัว (dispersing agent) เพื่อช่วยกระจายอนุภาคของสารสี และสมบัติของสารสีนั้นไม่เปลี่ยนเมื่อมีสารมากระทำ และยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของอนุภาคสารสีนั้นอีกด้วย<sup>[1]</sup>

## ง. สีย้อม

สีย้อม คือ สารให้สีที่สามารถละลายในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) สมบัติทางสีของสีย้อมถูกกำหนดโดยโครงสร้างทางเคมี สีย้อมให้สีที่สดใสมากกว่าสารสี แต่มีความคงทนต่อแสงน้อยกว่าสารสี<sup>[13]</sup>

## 2.2 ดินสอดำ (lead pencil)

ดินสอดำ คือ เครื่องมือการเขียนที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปลาย 1400s ได้มีการพัฒนาดินสอดำเกิดขึ้น เกิดจากการค้นพบแกรไฟต์ (graphite) ในประเทศอังกฤษ ซึ่งนำมาพัฒนาเป็นดินสอดำ และได้เป็นที่นิยมในยุคปลาย 1600s ต่อมามีการพัฒนานำไม้มาพันรอบแท่งแกรไฟต์ใน สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี และมีการพัฒนาส่วนผสมโดยการนำดินเหนียว (clay) แกรไฟต์ และน้ำในอัตราส่วนต่าง ๆ เกิดขึ้นส่วนผสมที่สำคัญที่สุดในได้ดินสอดำ คือ แกรไฟต์ หรือที่คนทั่วไปมักนิยมเรียกว่า ตะกั่ว (Lead) เนื่องจากมีสีดำเหมือนกัน แต่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันนิยมใช้แกรไฟต์ในรูปแบบการผสมระหว่างแกรไฟต์ธรรมชาติและสารเคมี<sup>[2]</sup>

### 2.2.1 ค่าความดำ (blackness) และค่าความแข็ง (hardness)

ดินสอดำมีการใช้ตัวอักษร B เพื่อแสดงค่าความดำ และตัวอักษร H เพื่อแสดงค่าความแข็งของได้ดินสอดำ ค่าความดำของได้ดินสอดำขึ้นอยู่กับปริมาณของแกรไฟต์ที่อยู่ในไส้ ในขณะที่ค่าความแข็งนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียว<sup>[5]</sup> ความดำและความแข็งแรงแสดงด้วยเบอร์ของดินสอดำ แสดงดังรูปที่ 2



## 2.3.2 การสังเคราะห์แกรไฟต์ (synthesis graphite)

### 2.3.2.1 การสังเคราะห์แกรไฟต์ปฐมภูมิ (primary synthesis graphite)

การสังเคราะห์แกรไฟต์เกิดขึ้นโดยการให้ความร้อนแก่ ปิโตรเลียมโค้ก (petroleum coke) และ น้ำมันถ่านหิน-ดิน (coal-tar pitch) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 2,500-3,000 องศาเซลเซียส ได้เป็นแกรไฟต์ที่มีความบริสุทธิ์ของคาร์บอนถึงร้อยละ 99.5 ซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมที่ต้องการวัตถุดิบบริสุทธิ์<sup>[5]</sup>

### 2.3.2.2 การสังเคราะห์แกรไฟต์ทุติยภูมิ (secondary synthesis graphite)

การฟื้นฟูวัสดุที่ใช้แล้วที่มีส่วนผสมของแกรไฟต์อยู่ จำพวกชิ้นส่วนแกรไฟต์ (graphite part) เศษเหล็กแกรไฟต์ (graphite scrap) เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการทางเครื่องจักร ซึ่งได้ ความบริสุทธิ์ของแกรไฟต์น้อยกว่าแบบปฐมภูมิ<sup>[5]</sup>

## 3.3.3 สมบัติของแกรไฟต์ (graphite property)

แกรไฟต์มีสมบัติมากมายจึงเป็นวัตถุดิบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการ อุตสาหกรรม สมบัติของแกรไฟต์มีดังนี้<sup>[5]</sup>

### 3.3.3.1 จุดหลอมเหลวสูง

### 3.3.3.2 ความหนาแน่นต่ำ

### 3.3.3.3 ความแข็งต่ำ

### 3.3.3.4 การเสียดสีต่ำ หล่อหลอมง่าย

### 3.3.3.5 มีค่าการนำไฟฟ้าสูง โดยไม่ต้องมีส่วนผสมของโลหะ

### 3.3.3.6 การนำความร้อนสูง

### 3.3.3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ

### 3.3.3.8 ความทนต่อความร้อนสูง

### 3.3.3.9 ความทนต่อการกัดกร่อน และสารเคมี

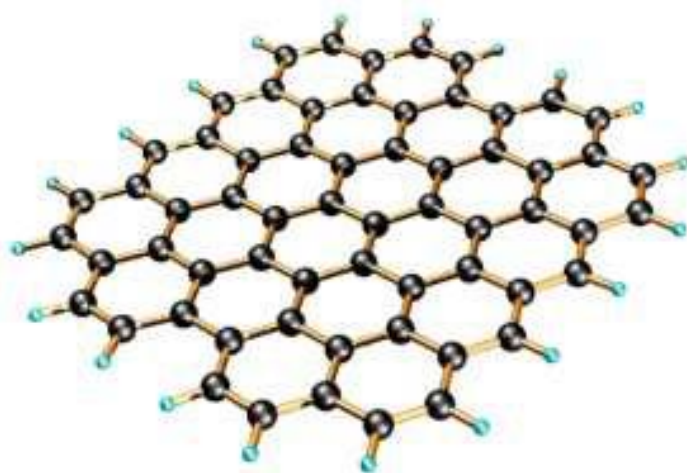


### 3.3.3.10 ยากต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidation)

## 2.4 แกรฟีน (graphene)

แกรฟีนเป็นผลึกของคาร์บอนที่มีคุณสมบัติ 2 มิติ ภายในแกรฟีนอะตอมของคาร์บอนจะถูกบรรจุอย่างหนาแน่นในรูปแบบพันธะ  $sp^2$  รูปร่างทรงหกเหลี่ยม แกรฟีนสามารถนิยามได้ว่าเป็นหนึ่งชั้นอะตอมของแกรไฟต์ ถือว่าเป็นองค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานของวัสดุอื่น ๆ เช่น แกรไฟต์, ถ่าน, ท่อนาโนคาร์บอน และฟูลเลอรีน (fullerene) นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นโมเลกุลแอมโรมาติกขนาดใหญ่

การวิจัยแกรฟีนมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่มีการแยกสารในปี 2004 งานวิจัยได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับคำอธิบายทางทฤษฎีทางองค์ประกอบ โครงสร้าง และสมบัติของแกรฟีน ซึ่งได้มีการวิเคราะห์มาหลายทศวรรษก่อนหน้านี้ แกรฟีนคุณภาพสูงได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถแยกได้โดยง่าย ทำให้การวิจัยต่าง ๆ มีความเป็นไปได้มากขึ้น<sup>[6]</sup>



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของแกรฟีนในอุดมคติ<sup>[6]</sup>

### 2.4.1 สมบัติเชิงกล

สมบัติโดดเด่นอีกข้อของแกรฟีน คือ ความแข็งแรงโดยธรรมชาติ เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะคาร์บอน 0.142 นิวตันเมตร แกรฟีนเป็นวัสดุที่แข็งแรงที่สุดเท่าที่เคยค้นพบมา ความต้านทานแรงดึงสูงสุดถึง 130,000,000,000 ปาสคาล (Pascals) เมื่อเทียบกับ 400,000,000 สำหรับโครงสร้างเหล็ก A36 หรือ 375,700,000 สำหรับ Aramid (Kevlar) แกรฟีนไม่เพียงมีความแข็งแรงเป็นพิเศษเท่านั้น แต่ยังมีน้ำหนักเบามากถึง 0.77 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร เบากว่ากระดาษ 1000 เท่า<sup>[6]</sup>

## 2.4.2 สมบัติอิเล็กทรอนิกส์

แกรฟีนเป็นกึ่งโลหะ (semi-metal) หรือสารกึ่งตัวนำที่ช่องว่างเป็นศูนย์ (zero-gap semiconductor) หนึ่งในสมบัติที่มีประโยชน์ที่สุดของกราฟีนคือการมีทั้งหลุมและอิเล็กตรอนเป็นพาหะของประจุซึ่งมีสมบัติการนำไฟฟ้าสูงมาก<sup>[6]</sup>

## 2.5 วิธีการสังเคราะห์แกรฟีน

### 2.5.1 วิธีการเคลือบโดยการระเหยไอทางเคมี (chemical vapor deposition: CVD)

แกรฟีนที่มีข้อบกพร่องต่ำสามารถผลิตได้ด้วยวิธี CVD บนพื้นผิวของวัสดุอื่น Park และคณะ<sup>[7]</sup> รายงานว่า แกรฟีนหลายชั้นถูกสร้างขึ้นบนวัสดุซิลิคอนที่เคลือบด้วยฟิล์มนิกเกิล พบว่า เมื่อเวลาการเติบโตเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิการสังเคราะห์ 960-970 องศาเซลเซียส ได้กราฟีนที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นไปอย่างไรก็ตาม การใช้อุณหภูมิสูงในการออกซิไดซ์แกรไฟต์ทำให้วิธีนี้มีประสิทธิภาพน้อยลง เนื่องจากการใช้พลังงานสูง นอกจากนี้ การเติบโตของแกรฟีนบนพื้นผิวมีข้อเสียในแง่ของกระบวนการถ่ายโอนเนื่องจากความเป็นไปได้ของการเกิดความเสียหายทางโครงสร้าง จนถึงขณะนี้พารามิเตอร์ (parameter) ที่ดีที่สุดในการผลิตกราฟีนด้วยวิธี CVD ยังไม่เป็นที่เข้าใจในหมู่นักวิจัย

### 2.5.2 วิธีการของฮัมเมอร์ (Hummers method)

วิธีการ Hummers แนะนำวิธีการออกซิไดซ์ผงแกรไฟต์อย่างรวดเร็ว โดยใช้กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) และโซเดียมไนเตรต ( $NaNO_3$ ) วิธีการของ Hummers นำเสนอกระบวนการที่ปลอดภัยยิ่งขึ้น ข้อดีของวิธีนี้ คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลงและใช้อุณหภูมิต่ำลง<sup>[8]</sup>

ผงแกรไฟต์ที่ออกซิไดซ์ด้วยวิธีการ Hummers นั้นทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจน เช่น ไฮดรอกซิล อีพอกซี คาร์บอนิล และคาร์บอกซิลติดอยู่กับโครงสร้างของแกรฟีนออกไซด์ (graphene oxide, GO) ที่สังเคราะห์ได้ ดังนั้น ความสามารถในการละลายของ GO ในตัวทำละลายส่วนใหญ่จึงกลายเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างมาก ต้องมีการสำรวจเพิ่มเติมเพื่อผลิตแกรฟีนชั้นเดียวคุณภาพสูง ในก่อนหน้า Paredes และคณะ<sup>[9]</sup> ได้รายงานพฤติกรรมของ GO ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกัน รวมถึง เอ็น, เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มมาไมด์ (N, N-dimethylformamide) เอ็น-เมทิล-2-ไพโรลิดอน (N-methyl-2-pyrrolidone) เทตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran) และ เอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ด้วยโซนิเคชัน (sonication) อย่าง

ง่าย ได้การกระจายตัวของ GO ที่เสถียรเป็นระยะเวลาสั้นและเป็นชั้นเดียวได้สำเร็จ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่คุ้มค่า เนื่องจากมีการใช้สารที่เป็นกรดแก่สูงและไม่สามารถควบคุมความหนา นอกจากนี้ ระดับความบกพร่องสูงยังคงเห็นได้ชัดในตัวอย่าง และบางครั้งยังกำจัดโลหะหนักที่ติดกับตัวอย่างออกยาก จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมต่อไป<sup>[8]</sup> Zaaba และคณะ (2017)<sup>[10]</sup> ได้ทำการทดลองสังเคราะห์แกรฟีนออกไซด์ (graphene oxide) โดยใช้วิธี Hummers แต่ไม่ใช้โซเดียมไนเตรต (sodium nitrate) พบว่า วิธีนี้สามารถลดรายจ่ายและสารพิษได้ โดยใช้เอทานอล (ethanol) และแอซีโตน (acetone) เป็นตัวกลางของเหลวแทน พบว่า เอทานอลให้ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายได้สูงกว่าแอซีโตน

### 2.5.3 วิธีการหลุดลอกของชั้นโดยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical exfoliation)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาวิธีการเซลล์ไฟฟ้าเคมีได้รับความสนใจอย่างมาก มีการทดลองเตรียมแผ่นแกรฟีนนาโน (graphene nano sheet, GNS) ผ่านวิธีการเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ 1-ออกทิล-3-เมทิล-อิมิดาโซเลียม เฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (1-octyl-3-methyl-imidazolium hexafluorophosphate) และใช้ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ระหว่างขั้วทั้งสองที่ใช้แท่งแกรไฟต์ (graphite rod) หลังจากผ่านกระบวนการ 15 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ได้ตะกอนของ GNS ในสารละลาย<sup>[11]</sup> และมีการสังเคราะห์แกรฟีนโดยใช้สารละลายเกลืออนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต โพแทสเซียมซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสามารถแยกชั้นแกรไฟต์ได้เป็นแกรฟีนที่มีจำนวนชั้นน้อยกว่า 3 ชั้น<sup>[12]</sup>

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Khaled Parvez และคณะ<sup>[12]</sup> ได้สังเคราะห์แกรฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเกลืออนินทรีย์ ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าร้อยละ 85 และแกรฟีนที่ได้มีจำนวนชั้นน้อยกว่า 3 ชั้น และมีสมบัติการนำไฟฟ้าอยู่ที่  $11 \Omega / \square$

Emrah Bulut<sup>[13]</sup> ได้ศึกษาการทำเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าทำงาน (working electrode) คือ ไล้ดินสอด (pencil core) และแกรไฟต์บริสุทธิ์ (pure graphite) และมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) เป็นลวดแพลตินัม (platinum wire) โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) พบว่า แผ่นแกรฟีนที่ได้มีจำนวนชั้นที่น้อยและข้อบกพร่องน้อย และสามารถนำไปประยุกต์ในหลากหลายสาขา

Tran และ Dutta (2018) <sup>[14]</sup> ได้ศึกษาหมึกแกรฟีนพบว่า หมึกแกรฟีน (pristine graphene) สามารถนำไฟฟ้า แต่มีปัญหาด้านการละลายในตัวทำละลาย แกรฟีนที่สกัดทางเคมี (chemically-derived graphene) สามารถละลายได้ในหมึก แต่ไม่สามารถนำไฟฟ้าทันที ยังต้องการกระบวนการเพิ่มเติมทางเคมี ดังนั้น หมึกแกรฟีนลูกผสม (graphene hybrid ink) จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด หากแต่ราคาใช้จ่ายสูง การไหล และการพิมพ์บนวัสดุรองรับ (substrate) ยังไม่ดีพอ ดังนั้น สิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาคือสูตรหมึก (formulation) ที่ต้องการต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Phillips (2017) <sup>[15]</sup> ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนของแกรไฟต์และคาร์บอนแบล็ก (carbon black) ต่อหมึกนำไฟฟ้า พบว่า อัตราส่วนที่ทำให้ค่าความต้านทาน (resistivity) ต่ำสุดคือ 1.8 ต่อ 1 นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงสารเติมแต่ง (filler material) และค่าความหนาของชั้นฟิล์มที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานอีกด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีการศึกษาการสังเคราะห์แกรฟีนด้วยวิธีไดนามิกด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเกลือแทนกรดแก่ และใช้แท่งแกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้า ดังนั้น โครงการนี้จึงศึกษาการเตรียมสารให้สีดำที่นำไฟฟ้าได้ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แอมโมเนียมซัลเฟต เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการสังเคราะห์แกรฟีนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 สารเคมี

- 3.1.1 แอมโมเนียมซัลเฟต จากบริษัท ศึกษาภัณฑ์พานิชย์ ประเทศไทย
- 3.1.2 ดินสอดำ HB, 2B และ 4H จากบริษัท Staedtler สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี
- 3.1.3 แท่งแกรไฟต์
- 3.1.4 น้ำกรอง
- 3.1.5 โพรพานอล จากบริษัท RCI Labscan Limited ประเทศไทย
- 3.1.6 โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone) จากบริษัท Aldrich Chemistry

#### 3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องรามานสเปกโทรสโกปี ยี่ห้อ Horiba รุ่น Xplora PLUS จากประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.2 เครื่อง FTIR by ATR ยี่ห้อ Thermo Nicolet รุ่น Nicolet Nexus 670
- 3.2.3 เครื่อง regulator รุ่น UTP 1306S จากบริษัท UNI-T สาธารณรัฐประชาชนจีน
- 3.2.4 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 จุด รุ่น Keithley model 2450 SourceMeter SMU Instrument จากบริษัท Tektronix company สหรัฐอเมริกา
- 3.2.5 เครื่อง Hot plate รุ่น C-MAG HS 7 จากบริษัท IKA สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี
- 3.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น PG1003-S จากบริษัท METTLER TOLEDO ประเทศไทย
- 3.2.7 เครื่องกรองสุญญากาศ
- 3.2.8 แท่งแก้วคน
- 3.2.9 ช้อนตักสาร
- 3.2.10 ปีกเกอร์
- 3.2.11 ขวดแก้วเก็บสาร
- 3.2.12 ตัวหนีบสายไฟ
- 3.2.13 แผ่นฟิล์มพลาสติก PET จากบริษัท CCL Label ประเทศไทย
- 3.2.14 กระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman

### 3.3 วิธีดำเนินการ

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต

ชั่งแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณ 2.6, 0.26 และ 26.4 กรัม ใส่ในบีกเกอร์เติมน้ำแล้วเติมน้ำได้สารละลาย 200 มิลลิลิตร คิดเป็นสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 1.3, 0.13 และ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตร ตามลำดับ และค่า pH 6.5-7.0 สำหรับใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

#### 3.3.2 การสังเคราะห์แกรไฟินด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี

1. นำไส้ดินสอดำ 2B มาปลอกไม้ที่หุ้มไส้ดินสอดำไว้ ระวังอย่าให้ไส้ดินสอดำหัก นำไส้ดินสอดำที่ได้ความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร มาใช้เป็นขั้วแอโนด
2. นำแท่งแกรไฟต์มาเป็นขั้วแคโทด
3. นำสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 1.3 น้ำหนักโดยปริมาตร ปริมาตร 200 มิลลิลิตร มาใส่ในบีกเกอร์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์
4. ประกอบเซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังรูปที่ 3.1 โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงค่าความต่างศักย์ +10 V เป็นเวลา 5 นาที
5. นำสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีผงสีดำนอนก้นในบีกเกอร์ไปกรองสูญญากาศ และล้างด้วยน้ำกรอง เพื่อชะล้างเกลือที่ตกค้าง ได้ผงสีดำ นำไปอบแห้งก่อนชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณที่เตรียมได้
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 จำนวน 3 ครั้ง คำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยของผงสีดำที่เตรียมได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี
7. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 จำนวน 3 ครั้ง แต่เปลี่ยน ไส้ดินสอดำเป็น HB แล้วคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยของผงสีดำที่เตรียมได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี
8. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 จำนวน 3 ครั้ง แต่เปลี่ยน ไส้ดินสอดำเป็น 4B แล้วคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยของผงสีดำที่เตรียมได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี
9. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-8 จำนวน 9 ครั้ง โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นความเข้มข้นร้อยละ 0.13 น้ำหนักโดยปริมาตร
10. การทดลองซ้ำข้อ 1-8 จำนวน 9 ครั้ง โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นความเข้มข้นร้อยละ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตร



รูปที่ 3.1 เซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับสังเคราะห์แกรฟีน

### 3.3.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี

3.3.3.1 นำผลที่ได้จากการทำเซลล์ไฟฟ้าเคมีในข้อ 3.3.2 จากไส้ดินสอด HB, 2B และ 4B ไปตรวจวัดรามานสเปกตรัมด้วยเครื่องรามานสเปกโทรมิเตอร์ โดยใช้ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

3.3.3.2 นำผลที่ได้จากการทำเซลล์ไฟฟ้าเคมีในข้อ 3.3.2 จากไส้ดินสอด HB ไปตรวจวัด ATR สเปกตรัมด้วยเครื่อง FTIR by ATR Diamond crystal

3.3.3.3 นำผลที่ได้จากการทำเซลล์ไฟฟ้าเคมีในข้อ 3.3.2 จากไส้ดินสอด HB ไปตรวจ X-ray diffraction (XRD) ซึ่งใช้ความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ชนิด Cu และมุม  $2\theta$  ในช่วง 5-80 ดีกรี

### 3.3.4 การเตรียมหมึกแกรฟีนและทดสอบการนำไฟฟ้า

3.3.4.1 นำผลแกรฟีนที่ได้ไปกระจายตัวใน ไดเมทิลฟอมาไมด์ (dimethyl formamide, DMF) โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/1 ml และนำไป sonication เป็นเวลา 20 นาที

3.3.4.2 ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำพู่กันมาจุ่มในสารละลายบริเวณพื้นผิวด้านบน และระบายบนกระดาษปอนด์ A4 80 แกรม นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศา เป็นเวลา 40 วินาที

3.3.4.3 ทำซ้ำข้อ 3.3.4.2 จำนวน 4 ครั้ง

3.3.4.4 ทำซ้ำขั้นตอน 3.3.4.2 และ 3.3.4.3 โดยเปลี่ยนบริเวณที่จุ่มพู่กันเป็นบริเวณด้านก้นพื้นล่างสุดของสารละลาย

3.3.4.5 นำกระดาษที่ทาสารละลายแกรฟีนแล้วไปตรวจค่าความต้านทานไฟฟ้า

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการสังเคราะห์แกรไฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ผลของเบอร์ได้ดินสอด่อบริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 และ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตรแสดงในตารางที่ 4.1-4.2 และรูปที่ 4.1 ในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 น้ำหนักโดยปริมาตรไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากเบอร์ได้ดินสอด่ต่างกัน เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 น้ำหนักโดยปริมาตร

ไส้ดินสอด่	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
HB	0.014	0.018	0.017	0.016 $\pm$ 0.002
2B	0.018	0.02	0.015	0.018 $\pm$ 0.003
4B	0.022	0.02	0.021	0.021 $\pm$ 0.001

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากเบอร์ได้ดินสอด่ต่างกัน เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นร้อยละ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตร

ไส้ดินสอด่	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
HB	0.053	0.051	0.050	0.051 $\pm$ 0.002
2B	0.075	0.075	0.073	0.074 $\pm$ 0.001
4B	0.080	0.078	0.077	0.078 $\pm$ 0.002

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากดินสอด่ชนิด 4B มีค่ามากที่สุด และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไส้ดินสอด่ชนิด HB มีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมที่อยู่ในไส้ดินสอด่ดำนั้นส่งผลต่อการสังเคราะห์จึงได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน เนื่องจากปริมาณของแกรไฟีนในไส้



ดินสอดำ 4B มีปริมาณของแกรไฟต์สูงกว่าไส้ดินสอดำชนิด 2B และ HB ตามลำดับ จึงได้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เรียงจากมากไปหาน้อยตามปริมาณของแกรไฟต์ในไส้ดินสอดำ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไส้ดินสอดำชนิด 4B มีค่ามากที่สุด น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไส้ดินสอดำชนิด HB มีค่าน้อยที่สุด โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับเมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นร้อยละ 1.3 น้ำหนักโดยปริมาตร แต่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มากกว่าในดินสอดำทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตร ปริมาณของไอออนเพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเกิดมากขึ้นตามไปด้วย

ในขณะที่เมื่อใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 น้ำหนักโดยปริมาตร พบว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาที่บริเวณขั้วทั้ง 2 ขั้วของเซลล์ไฟฟ้าเคมี อาจเป็นเพราะสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นน้อยเกินไป จึงไม่สามารถส่งกระแสไฟฟ้าให้เกิดขึ้นได้ในวงจรของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยา

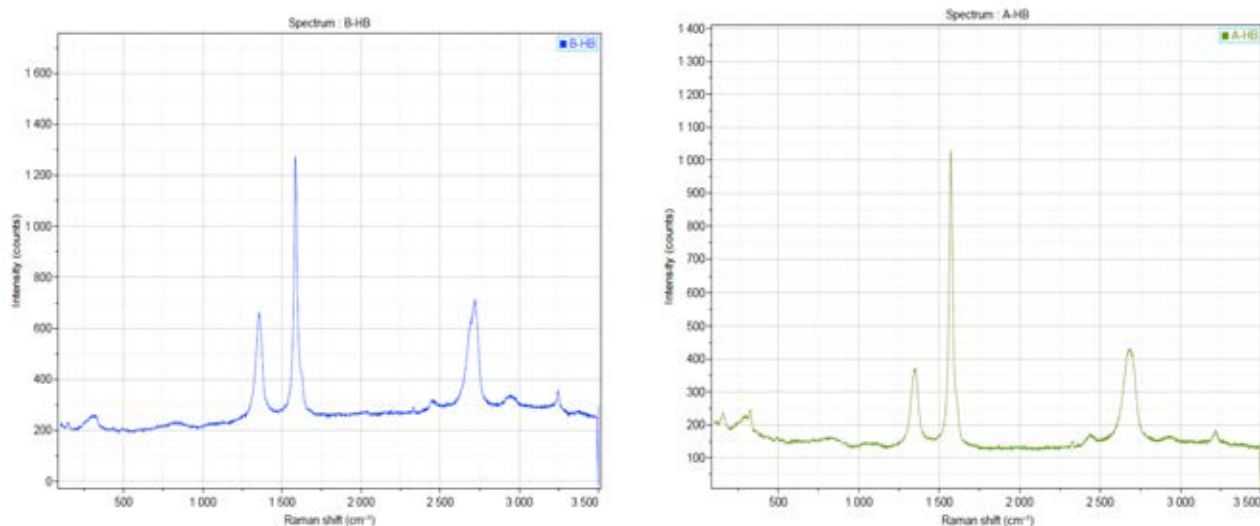


รูปที่ 4.1 ไส้ดินสอดำก่อนการทดลอง (ซ้าย) และหลังการทดลอง (ขวา)

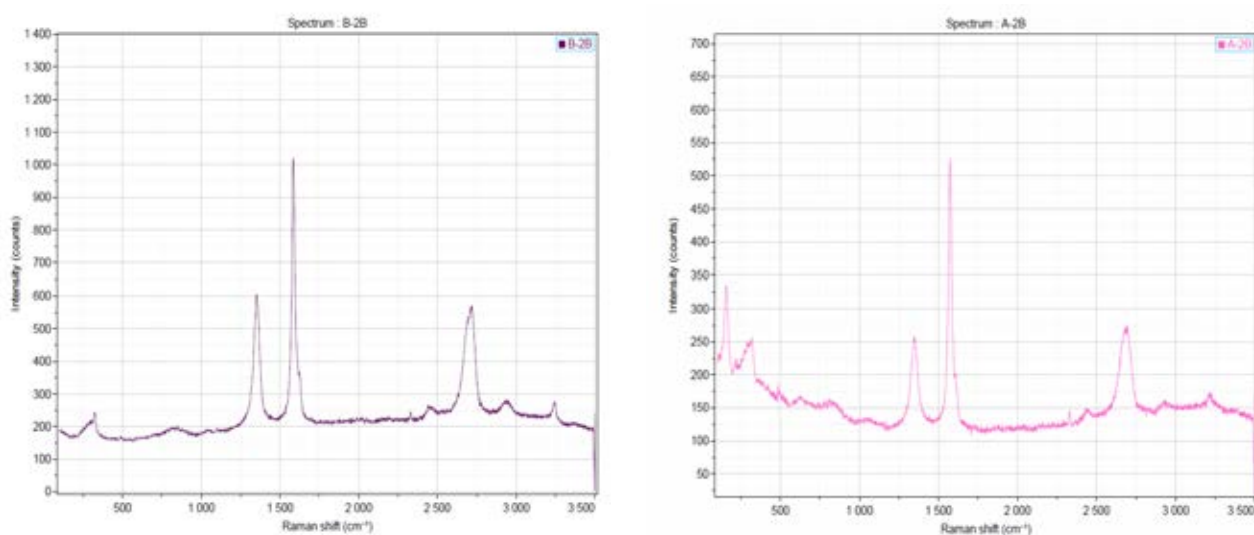
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยาเซลล์ไฟฟ้าเคมีแล้วพื้นผิวของไส้ดินสอดำซึ่งมีแกรไฟต์เป็นองค์ประกอบมีลักษณะขรุขระไม่เรียบเหมือนก่อนทำการทดลอง เนื่องจากมีการหลุดลอกของชั้นแกรไฟต์เข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำให้เห็นเป็นผงสีดำกระจายอยู่ในสารละลาย

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี

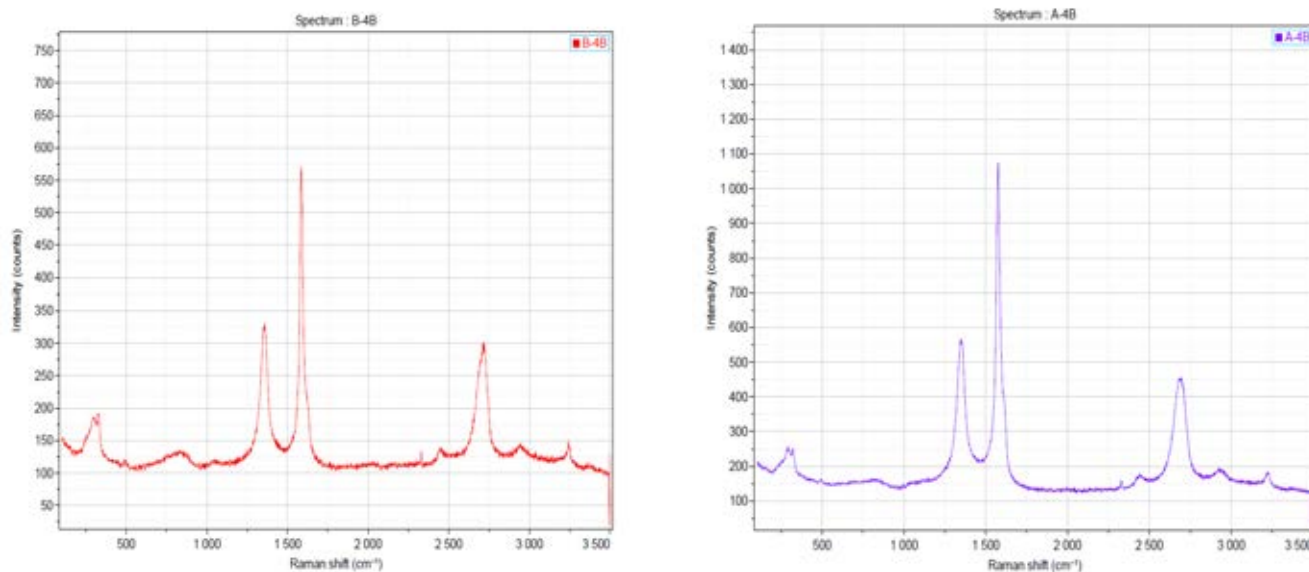
เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงสีดำจากการสังเคราะห์แกรฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีจากไส้ดินสอดำมา วัดรามานสเปกตรัม และเปรียบเทียบผลกับรามานสเปกตรัมของไส้ดินสอดำก่อนการสังเคราะห์ที่ได้ผลดังรูปที่ 4.2-4.4 และตารางที่ 4.4 และวัด ATR สเปกตรัมของไส้ดินสอดำก่อนสังเคราะห์เทียบกับสเปกตรัมของผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์ได้ผลดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 รามานสเปกตรัมของ (ซ้าย) ไส้ดินสอดำ HB และ (ขวา) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์



รูปที่ 4.3 รามานสเปกตรัมของ (ซ้าย) ไส้ดินสอดำ 2B และ (ขวา) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์



รูปที่ 4.4 รามานสเปกตรัมของ (ซ้าย) ไล์ดินสอดำ 4B และ (ขวา) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์

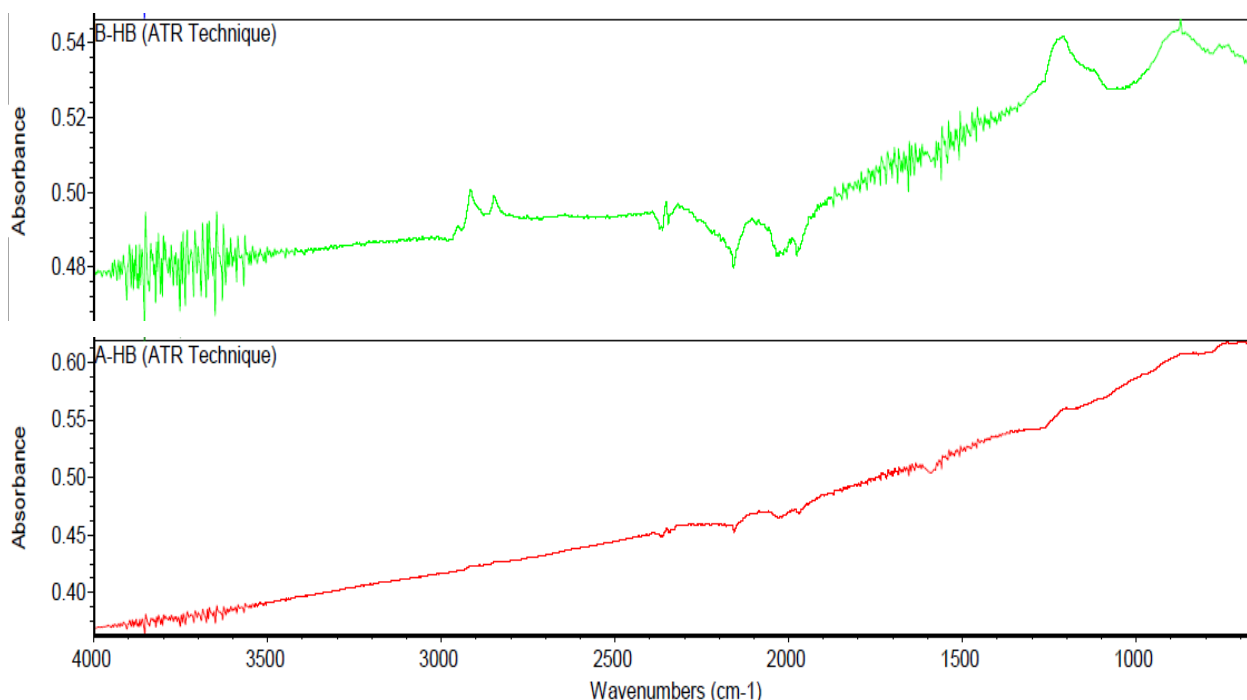
ตารางที่ 4.3 ผลการหาอัตราส่วนพิก  $I_D/I_G$  จากรามานสเปกตรัมของไล์ดินสอดำที่ใช้เป็นสารตั้งต้นและผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์แกรไฟีนจากไล์ดินสอดำด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ไล์ดินสอดำ	อัตราส่วนพิก $I_D/I_G$	
	ไล์ดินสอดำที่ใช้เป็นสารตั้งต้น	ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์
HB	0.53	0.35
2B	0.59	0.50
4B	0.57	0.52

จากรูปที่ 4.2-4.4 พบว่า รามานสเปกตรัมของไล์ดินสอดำทุกชนิดให้พิกที่ประมาณ  $1580\text{ cm}^{-1}$  หรือเรียกว่า G band เป็นพิกการสั่นไหวของคาร์บอนอะตอมที่มีพันธะ  $sp^2$  ในชั้นระนาบแกรไฟีน และพิกที่ประมาณ  $1350\text{ cm}^{-1}$  หรือเรียกว่า D (defect) band เป็นพิกการสั่นไหวของอะตอมที่ไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งในที่นี้แสดงถึงอะตอมที่มีพันธะ  $sp^3$  มีพิกที่ประมาณ  $2713\text{ cm}^{-1}$  หรือเรียกว่า 2D band ใช้กำหนดจำนวนชั้นของแกรไฟีน<sup>[16]</sup> เมื่อผ่านกระบวนการเซลล์ไฟฟ้าเคมีพบว่า รามานสเปกตรัมที่ 2D band มีการเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่าลดลงเกิดพิกที่  $2688\text{ cm}^{-1}$  สอดคล้องกับผลการทดลองของ Niu และคณะ<sup>[17]</sup> แสดงว่าผงสีดำที่ได้ไม่ใช่แกรไฟต์ แต่เป็นแกรไฟีน เมื่อคำนวณหาอัตราส่วนพิก  $I_D/I_G$  ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ไล์ดินสอดำ HB ให้ผลผลิตภัณฑ์เป็นผงสีดำที่มีค่าอัตราส่วนพิก  $I_D/I_G$  น้อยที่สุดที่ค่า 0.35 ในขณะที่ไล์ดินสอดำ 4B ให้ให้ผลผลิตภัณฑ์เป็นผงสีดำที่มีค่าอัตราส่วนพิก  $I_D/I_G$  มากที่สุดที่ค่า 0.52 อาจเนื่องมาจากปริมาณแกรไฟต์ที่อยู่ในไล์ดินสอดำมีน้อย ทำให้การลอกชั้นของแกรไฟีนเป็นไปง่ายกว่าไล์ดินสอดำ

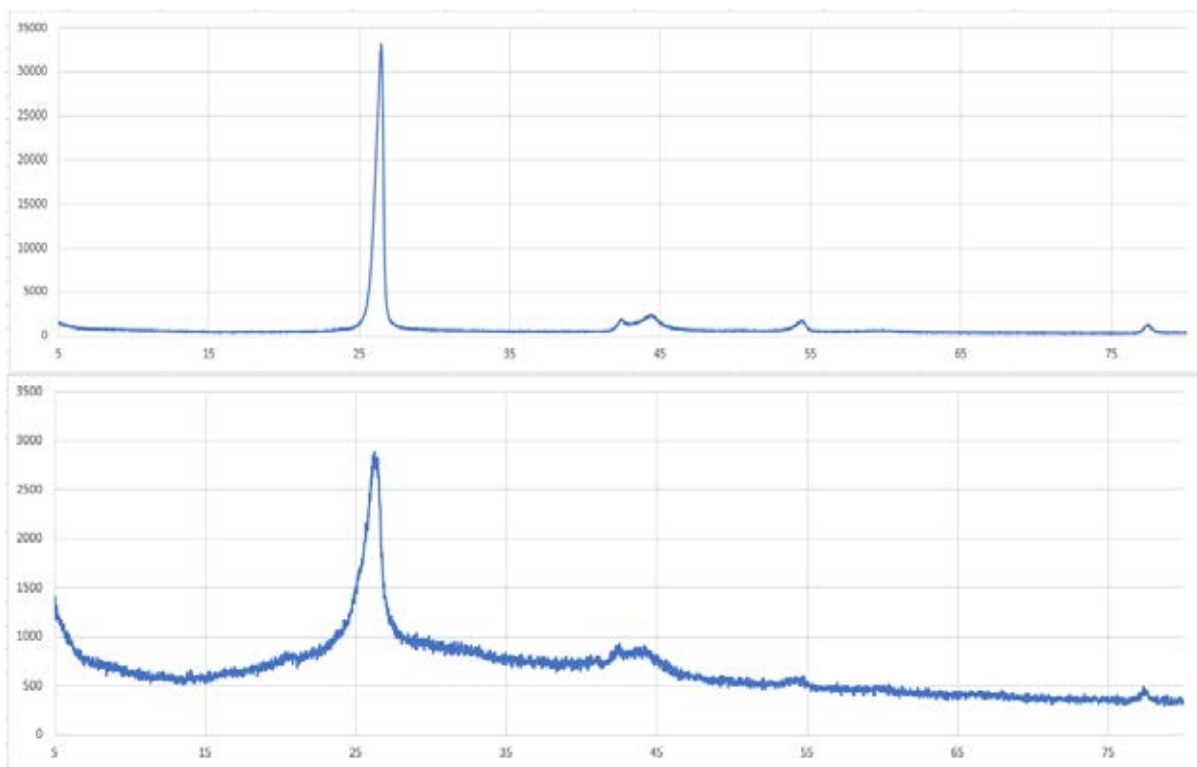
ค่าชนิด 4B เนื่องจากค่าอัตราส่วนพิก  $I_D/I_G$  จากไส้ดินสอดำ HB มีค่าน้อยที่สุด แสดงว่า แกรฟีนมีชั้นน้อยกว่าที่ได้จาก 4B และ 2B ดังนั้น จึงเลือกใช้ไส้ดินสอดำ HB มาสังเคราะห์แกรฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีเพื่อใช้เตรียมหมึกสำหรับวัดการนำไฟฟ้าต่อไป

ATR และ XRD สเปกตร้าของไส้ดินสอดำ HB และผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีแสดงดังรูปที่ 4.5-4.6



รูปที่ 4.5 ATR สเปกตร้าของ (บน) ไส้ดินสอดำ HB และ (ล่าง) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ATR สเปกตร้าของไส้ดินสอดำ HB ในรูปบนมีพิกที่  $1100\text{ cm}^{-1}$  และ  $2800\text{--}2990\text{ cm}^{-1}$  ที่เห็นได้ชัดเจน แสดงถึงพิกของ Si-O ซึ่งเป็นองค์ประกอบในดินเหนียว (clay) ที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงให้ไส้ดินสอดำ และ C-H stretching ของแว็กซ์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นองค์ประกอบในไส้ดินสอดำ ในขณะที่ ATR สเปกตร้ารูปล่าง ของผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์ ไม่พบพิกดังกล่าว นอกจากนี้ยังไม่พบพิกที่แสดงถึงพันธะที่เกิดจากการออกซิไดซ์ เช่น พิกของ C-O หรือ -OH<sup>[13]</sup> แสดงว่าในผงสีดำไม่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มีหมู่ -CH<sub>2</sub> หรือ -CH<sub>3</sub> และ -OH อยู่ แสดงว่าการทำให้เกิดการแยกชั้นของแกรไฟต์ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีสามารถแยกแกรไฟต์ออกมาได้เป็นชั้นบาง ๆ ที่เรียกว่า แกรฟีน จากผลของรามานสเปกตร้า และ ATR สเปกตร้าจึงยืนยันได้ว่าผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีคือแกรฟีน



รูปที่ 4.6 XRD ของ (บน) ไลต์ดินสอดำ และ (ล่าง) ผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์

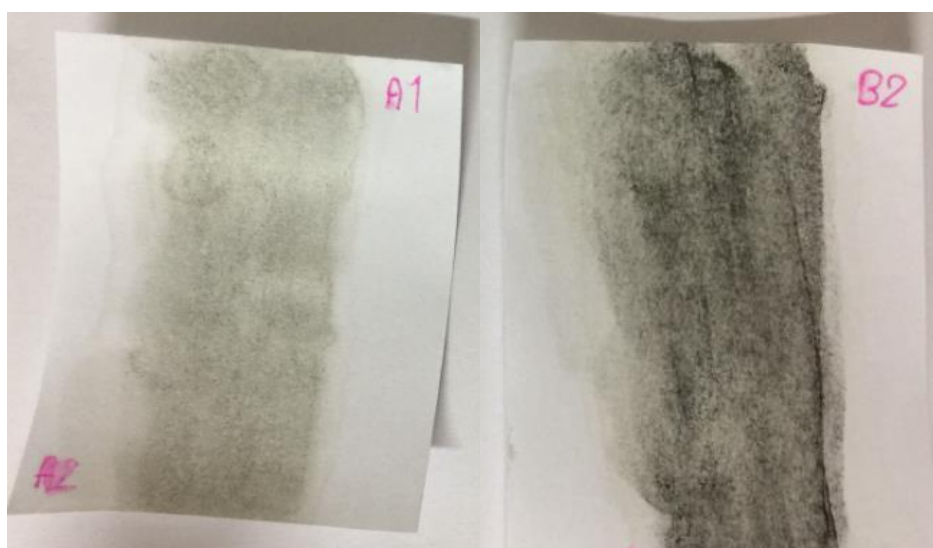
จากรูปที่ 4.6 พบว่า  $2\theta$  ที่ diffraction peak (002) ของไลต์ดินสอดำซึ่งเป็นแกรไฟต์มีค่า 26.5 องศา มี  $d$ -spacing of 3.36 Å และของผงสีดำที่ได้จากการสังเคราะห์มีค่า 26.3 องศา มี  $d$ -spacing of 3.48 Å ซึ่งมีความมุมต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแกรไฟต์ ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Parvez และคณะ [13, 18.] และยืนยันได้ว่า ผงสีดำที่ได้ไม่ใช่แกรไฟต์ แต่เป็นแกรไฟิน

#### 4.3 การทดสอบค่าความต้านทานไฟฟ้า

ผงสีดำที่กระจายตัวใน DMF ก่อน sonication หลัง sonication และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อนำฟุ้งกันมาจุ่มในขวดหลัง sonication ทิ้งไว้ 1 วันในบริเวณด้านบนบนแล้วระบาย 5 ครั้ง บนกระดาษเอ 4 แสดงดังรูปที่ 4.8 ให้สัญลักษณ์เป็น A1 ในตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 (B2) เป็นการจุ่มไปถึงด้านล่างแล้วนำมาระบาย 5 ครั้ง ซึ่งมีความดำมากกว่า เมื่อนำไปทดสอบวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ sheet resistance ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ตัวอย่างที่ 1 มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย 5 จุด เท่ากับ  $1.838 \times 10^7 \Omega/\text{sq}$  ในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 มีค่า  $2.616 \times 10^6 \Omega/\text{sq}$  ซึ่งต่ำกว่ามาก แสดงว่า เมื่อปริมาณผงสีดำเพิ่มขึ้นความต้านทานไฟฟ้าลดลง หรือกล่าวได้ว่าผงสีดำมีผลต่อความต้านทานไฟฟ้า และจากผลการทดลองทั้งหมดจึงยืนยันได้ว่า ผงสีดำที่ได้คือแกรไฟิน



รูปที่ 4.7 ก่อนทำ sonication (ซ้าย) หลังทำ (กลาง) sonication และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ขวา)



รูปที่ 4.8 กระดาษที่ระบายด้วยการจุ่มพู่กันเฉพาะส่วนบนสารละลาย (ซ้าย)  
กระดาษที่ระบายด้วยการจุ่มพู่กันถึงก้นขวดสารละลาย (ขวา)

ตารางที่ 4.4 ค่าความต้านทานไฟฟ้า

จุดที่วัด	Sheet resistance	
	ตัวอย่างที่ 1 ( $\times 10^7 \Omega/\text{sq}$ )	ตัวอย่างที่ 2 ( $\times 10^6 \Omega/\text{sq}$ )
1	2.035	2.052
2	1.854	2.722
3	2.289	2.982
4	1.588	2.651
5	1.424	2.675
ค่าเฉลี่ย	1.838	2.616

## บทที่ 5

### สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

การเตรียมสารให้สีนำไฟฟ้าจากไส้ดินสอดสีใช้ทำโดยใช้วิธีการสังเคราะห์แกรฟีนด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ สรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 เบอร์ไส้ดินสอดสีมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แกรฟีนด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ  $4B > 2B > HB$

5.1.2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟตมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยความเข้มข้นร้อยละ 13.2 น้ำหนักโดยปริมาตรให้ปริมาณมากที่สุด รองลงมา คือร้อยละ 1.3 น้ำหนักโดยปริมาตรในขณะที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 น้ำหนักโดยปริมาตร ไม่เกิดปฏิกิริยา

5.1.3 แกรฟีนที่ได้จาก HB มีอัตราส่วนของฟังก์  $I_D/I_G$  น้อยที่สุดที่ค่า 0.35 ในขณะที่ไส้ดินสอดสี 4B ให้ค่าอัตราส่วนฟังก์  $I_D/I_G$  มากที่สุดที่ค่า 0.52

5.1.4 สามารถตรวจสอบด้วย ATR สเปกตรัมและ XRD ให้ผลของไส้ดินสอดสีก่อนทำเซลล์ไฟฟ้าเคมีแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้และยืนยันได้ว่าเป็นแกรฟีน

5.1.5 ความต้านทานไฟฟ้าบนกระดาษที่ระบายสารละลายแกรฟีนมีค่าลดลงเมื่อกระดาษมีสีดำของแกรฟีนเข้มมากขึ้น

5.1.6 สามารถเตรียมแกรฟีนซึ่งเป็นสารสีดำได้ด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมีด้วยการใช้สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แทนการใช้กรด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเตรียมกระดาษที่ระบายสารละลายแกรฟีนให้มีสีดำมากยิ่งขึ้น เพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าว่าสามารถลดลงได้ถึงระดับใด

5.2.2 เปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อเปรียบเทียบกับสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต



## เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Gurses et al., Dyes and Pigments, SpringerBriefs in Green Chemistry for Sustainability, 2016, Chapter 2, pp.13-28.
- [2] Pencil. " How Products Are Made, *Encyclopedia.com*, 2019  
<https://www.encyclopedia.com/literature-and-arts/art-and-architecture/art-general/pencil> เข้าวันที่ 11 มกราคม 2019
- [3] Physics (2007): Sample assessment instrument and student response - Extended experimental investigation: Electrical conductivity of graphite, Queensland Studies Authority, June 2013  
[https://www.qcaa.qld.edu.au/downloads/senior/snr\\_physics\\_07\\_sai\\_electric\\_conduct\\_graphite.pdf](https://www.qcaa.qld.edu.au/downloads/senior/snr_physics_07_sai_electric_conduct_graphite.pdf) เข้าวันที่ 11 มกราคม 2019
- [4] Graphite (Natural): Donald W. Olson, Mineral Commodity Summary, United States Geological Survey, 2014.  
[https://www.qcaa.qld.edu.au/downloads/senior/snr\\_physics\\_07\\_sai\\_electric\\_conduct\\_graphite.pdf](https://www.qcaa.qld.edu.au/downloads/senior/snr_physics_07_sai_electric_conduct_graphite.pdf) เข้าวันที่ 11 Jan 2019
- [5] P. Laura, Structural interpretation of graphite-bearing black schist in Aitolampi, Eastern Finland, Åbo Akademi University, Master Thesis, 2018, p. 3.
- [6] T.M. Radadiya, A properties of grapheme, *European Journal of Material Sciences*, 2015, **2(1)**, 6-18.
- [7] H.J. Park, J. Meyer, S. Roth, V. Skakalova, Growth and properties of few layers graphene prepared by chemical vapor deposition, *Carbon*, 2010, **48**, 1088-1094.
- [8] N.M. Disa, S.A. Bakar, S. Alfarisa, S. Mohamed, I.M. Isa, A. Kamari, N. Hashim, M.R. Mahmood, A Review: Synthesis Methods of Graphene and Its Application in Supercapacitor Devices, *Advanced Materials Research*, 2015, **1109**, 40-44.
- [9] J.I. Paredes, S. Villar-Rodil, A. Martinez-Alonso, J.M.D. Tascon, Graphene oxide dispersions in organic solvents, *Langmuir*, 2008, **24**, 10560-10564.
- [10] N.I. Zaaba, K.L. Foo, U. Hashim, S.J. Tan, Wei-Wen Liu, C.H. Voon, Synthesis of graphene oxide using modified Hummers method: Solvent influence. 2017, **184**, 469-477.

- [11] N. Liu, F. Luo, H. Wu, Y. Liu, C. Zhang, J. Chen, One-step ionic-liquid-assisted electrochemical synthesis of ionic-liquid-functionalized graphene sheets directly from graphite, *Advanced Functional Materials*, 2008, **18**, 1518-1525.
- [12] K. Parvez, Z.S. Wu, R. Li, X. Liu, R. Graf, X. Feng, K. Mullen, Exfoliation of graphite into graphene in aqueous solutions of inorganic salts, *American Chemical Society*, 2014, **136**, 6083-6091.
- [13] E. Bulut, Electrochemically exfoliated graphene production by using pure graphite and pencil core, *Journal of the Turkish Chemical Society and Chemical Engineering*, 2017, **1(2)**, 149-156.
- [14] C. Phillips, A. Al-Ahmadi, S. J. Potts, T. Claypole, D. Deganello, The effect of graphite and carbon black ratios on conductive ink performance, *Journal of Materials Science*, 2017, **52**, 9520–9530.
- [15] T. S. Tran, N. K. Dutta, N. R. Choudhury, Graphene inks for printed flexible electronics: Graphene dispersions, ink formulation, printing techniques and application, *Advance Colloid Interface Science*, 2018, **261**, 41-61.
- [16] M. S. Dresselhaus, P. Trans, M Hoffman, Raman spectroscopy as a probe of graphee and carbon nanotubes, *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 2008, **366**, 231-236.
- [17] L. Niu, M. Li, X. Tao, Z. Xie, X. Zhou, A.P.A. Raju, R.J. Young, Z. Zheng, Salt-assisted direct exfoliation of graphite into high-quality, large-size, few-layer graphene sheets, *Nanoscale*, 2013, **5**, 7202-7208.
- [18] Supporting information Exfoliation of graphite into graphene in aqueous solutions of inorganic salts, K. Parvez, Z.S. Wu, R. Li, X. Liu, R. Graf, X. Feng, K. Mullen, *American Chemical Society*, 2014, **136**, 6083-6091.

**ประวัติผู้เขียน**

**ชื่อ** นายสุวิทย์ จิรัตนวิบูล

**วัน เดือน ปีเกิด** 16 เมษายน 2537

**สถานที่เกิด** อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

**ประวัติการศึกษา**

พ.ศ. 2554 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนวัดนवलนรดิศ

พ.ศ. 2558 เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาเทคโนโลยีทาง  
ภาพและการพิมพ์